



UBO  
CNRS  
IFREMER  
ORSTOM  
BRGM

GRUPE DE FORMATION DOCTORALE GEOSCIENCES :  
GEODYNAMIQUE, GEOPHYSIQUE ET GEOCHIMIE DES OCEANS.

THÈSE DE DOCTORAT DE  
L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

---

Marie-Claire MONJARET

**Le magmatisme des fossés à l'arrière  
de l'arc des Nouvelles Hébrides  
( Vanuatu )**

**( Campagne SEAPSO 2 du NO Jean Charcot )**

*Implications géodynamiques*

*Chronologie , Pétrologie , Géochimie .*

VOLUME 1

BREST 1989

**UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE**  
**GROUPE DE FORMATION DOCTORALE GEOSCIENCES :**  
**GEODYNAMIQUE, GEOPHYSIQUE ET GEOCHIMIE DES OCEANS.**

**THESE PRESENTEE A**  
**L'UNIVERSITE DE BRETAGNE OCCIDENTALE**

**par**

**Marie-Claire MONJARET**

**LE MAGMATISME DES FOSSES A L'ARRIERE DE L'ARC**  
**DES NOUVELLES HEBRIDES (VANUATU).**  
**(CAMPAGNE SEAPSO 2 DU N/O JEAN CHARCOT)**  
**CHRONOLOGIE, PETROLOGIE, GEOCHIMIE.**  
**IMPLICATIONS GEODYNAMIQUES.**

**Soutenue le 23 Janvier 1989 devant le jury composé de :**

**Hervé Bellon, Professeur à l'U.B.O., Brest.**  
**Thierry Juteau, Professeur à l'U.B.O., Brest.**  
**Christian Lefèvre, Professeur à l'Université de Lille Flandres Artois.**  
**Patrick Maillat, chargé de recherche à l'ORSTOM, centre de Brest.**  
**René Maury, Professeur à l'U.B.O., Brest.**

*Je remercie H.Bellon qui m'a accueillie dans son laboratoire depuis le D.E.A. et qui a dirigé ce travail.*

*Je tiens à remercier P.Maillet qui a suivi l'évolution de cette thèse depuis son ébauche jusqu'à la phase finale.*

*L'initiative du projet revient à J.Récy, que je remercie pour avoir accepté ma participation au programme SEAPSO et pour avoir permis le financement nécessaire au déroulement de ce travail.*

*Je remercie C.Lefèvre et R.Maury d'avoir accepté d'être les rapporteurs de ce travail et T.Juteau d'être président du jury.*

*J'adresse mes remerciements à l'équipe de géologie-géophysique du Centre ORSTOM de Nouméa pour son accueil au cours de mon séjour calédonien.*

*Je remercie sincèrement J.Cotten pour ses analyses chimiques, J.C.Philippet pour sa participation aux travaux de datation et M.Bohn pour son accueil à la microsonde.*

*Je remercie J.L.Joron pour ses analyses d'éléments en traces.*

*Je suis reconnaissante à M.N.Deniél et J.L.Travers pour leur travail efficace et soigné au cours de la mise en forme du mémoire.*

*Je remercie les amis qui m'ont aidé à mettre le point final à ce travail, particulièrement Christophe, Marie-Lise, Françoise et Isabelle. Je remercie aussi tous les amis du laboratoire de Brest et les nouveaux amis rencontrés à l'occasion de ce travail, Martine, Cathy, Philippe.*

*Enfin je remercie Yves, pour son aide précieuse et son soutien, et ma famille, je leur dédie ce travail.*

# S o m m a i r e

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| <b>Introduction générale</b> ..... | 1 |
|------------------------------------|---|

## **Chapitre I : L'arc des Nouvelles-Hébrides - Présentation de la campagne SEAPSO2**

|   |   |
|---|---|
| <b>I - CONTEXTE GEODYNAMIQUE - LE PACIFIQUE SUD-OUEST</b> ..... | 9 |
|---|---|

|  |    |
|--|----|
| <b>II - L'ARC INSULAIRE DES NOUVELLES-HEBRIDES</b> ..... | 11 |
|--|----|

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| <b>A. GENERALITES</b> ..... | 11 |
|-----------------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>B. LES DIFFERENTS DOMAINES</b> ..... | 13 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>C. HISTOIRE ET EVOLUTION DE L'ARC DES NOUVELLES-HEBRIDES</b> ..... | 20 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| 1. Nature des roches du complexe de base..... | 20 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| 2. Oligocène terminal à Miocène inférieur..... | 20 |
|--|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3. Miocène moyen ..... | 20 |
|------------------------|----|

|  |    |
|--|----|
| 4. Miocène moyen terminal à Miocène supérieur initial..... | 20 |
|--|----|

|                           |    |
|---------------------------|----|
| 5. Miocène terminal ..... | 22 |
|---------------------------|----|

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 6. Pliocène inférieur ..... | 22 |
|-----------------------------|----|

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| 7. Pliocène terminal à actuel..... | 22 |
|------------------------------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 8. Conclusions..... | 24 |
|---------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>III - PRESENTATION DE LA CAMPAGNE SEAPSO-2 ET ECHANTILLONNAGE<br/>DES FOSSES</b> ..... | 25 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| <b>A. PRESENTATION DE LA CAMPAGNE SEAPSO-2</b> ..... | 25 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| 1. Etat des connaissances avant la campagne ..... | 25 |
|---|----|

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 2. Déroulement de la campagne ..... | 27 |
|-------------------------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| 3. Résultats généraux - cadre bathymétrique et structural des dragages..... | 27 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| 4. Description générale des dragages..... | 44 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>B. ECHANTILLONS PROVENANT DES ILES</b> ..... | 45 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| 1. Ureparapara (îles Banks du Nord)..... | 45 |
|--|----|

|               |    |
|---------------|----|
| 2. Vaté ..... | 45 |
|---------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 3. Autres îles..... | 45 |
|---------------------|----|

## Chapitre II : Chronologie des laves de la chaîne centrale et des fossés à l'arrière de l'arc

|  |               |
|--|---------------|
| <b>I - LA METHODE K-Ar.....</b>  | <b>49</b>     |
| A. PRINCIPES GENERAUX.....   | 49            |
| B. L'EQUATION D'AGE .....  | 51            |
| C. LES CONSTANTES DE DESINTEGRATION .....  | 52            |
| D. L'ANALYSE .....   | 53            |
| E. PROBLEMES LIES AUX MODIFICATIONS EVENTUELLES DU CHRONOMETRE K-AR.....               | 53            |
| 1. Gain ou perte de $K_2O$ .....   | 53            |
| 2. Excès ou perte d'argon 40.....  | 54            |
| <br><b>II - RESULTATS DES DATATIONS RADIOMETRIQUES K-Ar.....</b>                       | <br><b>55</b> |
| A. LE RAPPORT D'ARGON RADIOGENIQUE PAR RAPPORT A L'ARGON TOTAL.....                    | 55            |
| 1. Les îles .....  | 55            |
| 2. Les fossés.....   | 58            |
| B. LA TENEUR EN $^{36}Ar$ .....  | 60            |
| 1. Evolution de $^{36}Ar$ en fonction de $^{40}Ar$ total .....                         | 61            |
| 2. Variations de $^{36}Ar$ en fonction de la teneur en $K_2O$ et de l'âge.....         | 61            |
| 3. Origine possible de la contamination en $^{36}Ar$ .....                             | 65            |
| C. LA REPRODUCTIBILITE DES RESULTATS .....   | 68            |
| D. INFLUENCE DE LA NATURE PETROGRAPHIQUE DES LAVES .....                               | 70            |
| E. DATATIONS SUR PLAGIOCLASES .....  | 70            |
| F. TESTS DE VALEUR DES DONNEES RADIOMETRIQUES .....                                    | 71            |
| <br><b>III - CHRONOLOGIE DE LA CHAINE CENTRALE ET DES FOSSES<br/>ARRIERE-ARC .....</b> | <br><b>74</b> |
| A. LES ILES DE LA CHAINE CENTRALE.....   | 74            |
| B. LES FOSSES ARRIERE-ARC ... ..   | 78            |
| 1. Les fossés du Jean Charcot.....   | 78            |
| 2. Les fossés du Coriolis.....   | 80            |
| 3. Comparaison avec les données de micropaléontologie .....                            | 82            |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>IV - CONCLUSIONS A L'ETUDE CHRONOLOGIQUE.....</b> | <b>86</b> |
| A. ACTIVITE COMPAREE DES FOSSES ET DES ILES .....    | 86        |
| B. PERIODES OU PHASES D'ACTIVITE .....               | 88        |
| C. AGE DE FORMATION DES FOSSES.....                  | 88        |

### **Chapitre III - Pétrographie et minéralogie des laves de la chaîne centrale et des fossés à l'arrière de l'arc**

|  |            |
|--|------------|
| <b>I - PETROGRAPHIE .....</b>  | <b>91</b>  |
| A. PETROLOGIE DES LAVES DES ILES DE LA CHAINE CENTRALE.....  | 91         |
| 1. Rappels sur la nature du volcanisme dans les différentes zones.....   | 91         |
| 2. Pétrologie - Données nouvelles sur les laves des îles.....  | 93         |
| B. PETROLOGIE DES LAVES DRAGUEES DANS LES FOSSES.....  | 95         |
| 1. Généralités .....   | 95         |
| 2. Etude pétrographique en lames minces.....   | 97         |
| 3. Problème de la vésicularité.....  | 105        |
| <b>II - MINERALOGIE .....</b>  | <b>108</b> |
| A. ETUDE DE LAVES REPRESENTATIVES DES ILES DE LA CHAINE CENTRALE.....  | 108        |
| 1. Les olivines.....   | 108        |
| 2. Les clinopyroxènes.....   | 109        |
| 3. Les orthopyroxènes .....  | 119        |
| 4. Les plagioclases .....  | 121        |
| 5. Les oxydes ferro-titanés.....   | 124        |
| 6. Les verres .....  | 126        |
| 7. Conclusions .....   | 126        |
| B. ETUDE MINERALOGIQUE DE LAVES REPRESENTATIVES DES ECHANTILLONS DRAGUES<br>DANS LES FOSSES ARRIERE-ARC DES NOUVELLES-HEBRIDES ..... | 128        |
| 1. Les olivines.....   | 128        |
| 2. Les clinopyroxènes.....   | 133        |
| 3. Les orthopyroxènes .....  | 154        |
| 4. Les plagioclases .....  | 155        |
| 5. Les feldspaths alcalins .....   | 163        |
| 6. Les oxydes ferro-titanés.....   | 163        |
| 7. Les verres .....  | 169        |
| 8. Relations entre les différents minéraux.....  | 171        |
| 9. Conclusions .....   | 174        |

## **Chapitre IV : Géochimie des laves de la chaîne centrale et des fossés à l'arrière de l'arc**

|   |     |
|---|-----|
| <b>I - GENERALITES</b> .....  | 177 |
| A. PRESENTATION DES DONNEES DE CE MEMOIRE .....                           | 177 |
| B. PROPRIETES ET UTILISATION DES ELEMENTS CHIMIQUES ETUDIES .....         | 177 |
| 1. Les éléments majeurs .....   | 178 |
| 2. Les éléments en traces.....  | 178 |
| <b>II - GEOCHIMIE DES LAVES DES ILES.....</b>                             | 179 |
| A. ELEMENTS MAJEURS .....   | 179 |
| B. ELEMENTS EN TRACES.....  | 181 |
| C. TYPES GEOCHIMIQUES DES LAVES DES ILES DE LA CHAINE CENTRALE.....       | 183 |
| D. APPORT DES DONNEES DE TERRES RARES ET AUTRES ELEMENTS EN TRACES .....  | 185 |
| <b>III - GEOCHIMIE DES LAVES DRAGUEES DES FOSSES .....</b>                | 191 |
| A. ELEMENTS MAJEURS .....   | 191 |
| B. ELEMENTS EN TRACES.....  | 192 |
| C. CLASSIFICATION DES LAVES .....   | 195 |
| D. APPORTS DES DONNEES DE TERRES RARES ET AUTRES ELEMENTS EN TRACES ..... | 199 |
| E. CARACTERISATION DES SOURCES .....                                      | 217 |

## **Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du volcanisme des fossés arrière-arc et de la chaîne centrale de l'arc des Nouvelles-Hébrides**

|   |     |
|---|-----|
| <b>I - EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DE LA MINERALOGIE.....</b> | 223 |
| A. LES OLIVINES .....   | 223 |
| B. LES CLINOPYROXENES.....                                    | 223 |
| C. LES PLAGIOCLASES .....                                     | 230 |
| D. LES OXYDES DE FER-TITANE .....                             | 230 |
| E. CONCLUSIONS .....  | 231 |

|   |            |
|---|------------|
| <b>II - EVOLUTION CHIMIQUE DU VOLCANISME DES FOSSES<br/>AU COURS DU TEMPS.....</b>  | <b>232</b> |
| A. EVOLUTION DES ELEMENTS $K_2O$ , $TiO_2$ ET $MgO$ .....   | 232        |
| B. EVOLUTION DE RAPPORTS SIGNIFICATIFS D'ELEMENTS EN TRACES.....  | 232        |
| C. EVOLUTION DE CHAQUE GROUPE GEOCHIMIQUE .....   | 236        |
| D. PROBLEME DES HETEROGENEITES - APPROCHE TEMPORELLE.....   | 236        |
| E. CONCLUSIONS .....  | 238        |
| <br>  |            |
| <b>III - EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU VOLCANISME<br/>DU SYSTEME CHAINE CENTRALE ET FOSSES<br/>ARRIERE-ARC DES NOUVELLES HEBRIDES.....</b> | <b>240</b> |
| A. LES ILES .....   | 240        |
| 1. Synthèse des données précédentes.....  | 240        |
| 2. Evolution spatio-temporelle .....  | 240        |
| 3. Evolution de la chaîne centrale.....   | 246        |
| B. LES FOSSES .....   | 246        |
| 1. Synthèse des différentes données .....   | 246        |
| 2. Evolution spatio-temporelle du volcanisme des fossés arrière-arc.....  | 246        |
| C. EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU VOLCANISME DE LA CHAINE CENTRALE<br>ET DES FOSSES.....  | 252        |
| 1. Récapitulation des données.....  | 252        |
| 2. Modèle proposé.....  | 255        |
| <br>  |            |
| <b>Conclusion générale.....</b>   | <b>257</b> |
| <br>  |            |
| <b>Bibliographie .....</b>  | <b>263</b> |

## LISTE DES FIGURES

Les figures complémentaires de chaque chapitre sont reportées dans le volume 2.

- Figure I-1 : Coupe transverse d'un système arc insulaire typique, montrant les unités tectoniques, d'après Karig et Sharman (1975) (exagération verticale = 5).
- Figure I-2 : Localisation des régions arrière-arc, d'après Brooks *et al.* (1984).
- Figure I-3 : Zones de subduction, bassins marginaux et orogènes anciens dans l'Ouest Pacifique, d'après Aubouin, 1982.
- Figure I-4 : Carte bathymétrique du Sud-Ouest Pacifique, simplifiée d'après Kroenke (1984), montrant en encadré la zone des Nouvelles-Hébrides.
- Figure I-5 : Bathymétrie de la région de l'arc des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu et Iles Salomons orientales, d'après Kroenke (1984).  
Equidistance des courbes bathymétriques = 100 m.
- Figure I-6 : Les caractères géologiques et tectoniques majeurs de l'arc des Nouvelles-Hébrides, d'après Macfarlane *et al.* (1988).
- Figure I-7 : Coupe schématique transverse du système arc insulaire des Nouvelles-Hébrides, montrant les unités morphostructurales décrites dans le texte, d'après Daniel (1982).
- Figure I-8 : Carte bathymétrique de la région arrière-arc Nord des Nouvelles Hébrides, d'après Charvis *et al.* (sous presse).
- Figure I-9a : Carte bathymétrique de la région arrière-arc Sud des Nouvelles Hébrides, d'après Monzier *et al.*(1984).
- Figure I-9b : Schéma de la zone des fossés arrière-arc Sud des Nouvelles Hébrides, d'après Daniel (1982).
- Figure I-10 : Schéma des directions de contraintes le long de l'arc. Modèle proposé par Collot *et al.* (1985).
- Figure I-11 : Plan de la campagne SEAPSO 2 : trajet effectué et secteurs étudiés.
- Figure I-12a : Carte bathymétrique du fossé de Vanikoro avec la position des dragages SPS2 D1 à D7 et la localisation des coupes de la figure I-12c.
- Figure I-12 b : Schéma morphostructural du fossé de Vanikoro.
- Figure I-12c : Coupes bathymétriques du fossé de Vanikoro, (exagération verticale : 3,25) et localisation des dragages.
- Figure I-13a : Carte bathymétrique du fossé de Vot Tande avec la position des dragages SPS2 D8 à D13 et la localisation des coupes de la figure I-13c.
- Figure I-13b : Schéma morphostructural du fossé de Vot Tande.
- Figure I- 13c : Coupes bathymétriques du fossé de Vot tande (exagération verticale : 3) et localisation des dragages.
- Figure I-14 : Carte bathymétrique de la zone d'Hazel Holme et position des dragages SPS2 D14-D15.
- Figure I-15a : Carte bathymétrique du fossé de Futuna avec la position des dragages SPS2 D16 à D21 et la localisation des coupes de la figure I-15c.
- Figure I-15b : Schéma morphostructural du fossé de Futuna.
- Figure I-15c : Coupes bathymétriques du fossé de Futuna (exagération verticale : 4,5) et localisation des dragages.

- Figure I-15d : Profil de sismique réflexion à travers le fossé arrière-arc à hauteur de l'île de Tanna (campagne EVA 3).
- Figure I-16a : Carte bathymétrique du fossé d'Erromango avec la position des dragages SPS2 D22 à D24 et la localisation des coupes de la figure I-16c.
- Figure I-16b : Schéma morphostructural du fossé d'Erromango.
- Figure I-16c : Coupes bathymétriques du fossé d'Erromango *Erromango* (exagération verticale : 3,1) et localisation des dragages.
- Figure I-17a : Carte bathymétrique du fossé de Vaté avec la position des dragages SPS2 D26 à D29 et la localisation des coupes de la figure I-17b.
- Figure I-17b : Coupes bathymétriques du fossé de Vaté (exagération verticale : 3,1) et localisation des dragages.
- Figure I-18 : Carte de localisation générale des dragages et proportion des divers types pétrographiques. Zone nord.
- Figure I-18 (suite) : Zone sud.

- Figure II-1 : Schéma de désintégration de  $^{40}\text{K}$ .
- Figure II-9 : Le pourcentage de  $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{total}$  en fonction de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  dans les laves des îles du Nord et du Sud.
- Figure II-10 : Le pourcentage de  $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{total}$  en fonction de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  dans les laves des fossés du Nord.
- Figure II-11 : Le pourcentage de  $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{total}$  en fonction de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  dans les laves des fossés du Sud.
- Figure II-12 : Histogramme de fréquence de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g) dans les laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides, en fonction du type pétrographique.
- Figure II-13 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$ (cc/g) en fonction de celle de  $^{40}\text{Ar}_{total}$ (cc/g) dans les laves des îles du Nord et du Sud.
- Figure II-14 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$ (cc/g) en fonction de celle de  $^{40}\text{Ar}_{total}$ (cc/g) dans les laves des fossés du Nord.
- Figure II-15 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$ (cc/g) en fonction de celle de  $^{40}\text{Ar}_{total}$ (cc/g) dans les laves des fossés du Sud.
- Figure II-16 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  dans les laves des îles Banks.
- Figure II-17 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  dans les laves des îles du Sud de la chaîne centrale.
- Figure II-18 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  dans les laves des fossés du Jean Charcot (domaine nord).
- Figure II-19 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  dans les laves des fossés du Coriolis (domaine sud).
- Figure II-20 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  en fonction de la vésicularité dans les laves des fossés.
- Figure II-21 : Histogramme de fréquence des âges des laves de l'arc des Nouvelles Hébrides, chaîne centrale et fossés. Les âges sont classés en fonction de la fiabilité des datations (pas = 0,5 Ma).
- Figure II-22 : Histogramme de fréquence des âges des laves des îles de la chaîne centrale des Nouvelles Hébrides (pas = 0,5 Ma).

Figure II-23 : Histogramme de fréquence des âges des laves (pas = 0,5 Ma) pour chacune des zones des fossés des Nouvelles Hébrides, en fonction de la classification des datations.

Figure II-24 : Carte géochronologique des Nouvelles Hébrides : datations nouvelles et datations anciennes (en italique) en Ma, pour chacune des îles et des zones des fossés.

Figure III-1 : Histogramme de fréquence de la teneur en  $\text{SiO}_2$  des laves de la chaîne centrale des Nouvelles Hébrides, d'après Macfarlane *et al.*, 1988.

Figure III-2 : Histogramme de fréquence de la teneur en  $\text{SiO}_2$  des laves des fossés des Nouvelles Hébrides (57 analyses).

Figure III-3 : Diagramme de distribution des vacuoles (pourcentages en volume de la roche totale, évalués au compteur de points) en fonction de la profondeur des dragages (profondeur du sommet du dragage, par exemple : 1500 m pour un trait de drague allant de - 1800 m à - 1500 m).

Figure III-4 : Pourcentage et diamètre des vacuoles en fonction de la profondeur (basaltes de la zone est du rift de Kilauea) d'après Moore (1965).

Figure III-5 : Composition des olivines des laves des îles Banks analysées à la microsonde.

Figure III-6 : Diagramme  $\text{Fe} + \text{Mn} / \text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg}$  (coeur des phénocristaux d'olivine),  $\text{FeO} / \text{MgO}$  (lave).

Figure III-7 : Position des clinopyroxènes des laves des îles Banks et de Vaté dans le diagramme  $\text{Ca-Mg-(Fe+Mn)}$ .

Figure III-8 : Position des clinopyroxènes des laves des îles Banks dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).

Figure III-9 : Position des plagioclases des laves des îles Banks et Vaté dans le diagramme  $\text{Or-Ab-An}$ .

Figure III-10 : Position des oxydes ferro-titanés des laves des îles Banks et Vaté dans le diagramme  $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$ .

Figure III-11 : Composition des olivines des laves des fossés analysées à la microsonde.

Figure III-12 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vanikoro dans le diagramme  $\text{Ca-Mg-(Fe+Mn)}$ .

Figure III-13 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vanikoro dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).

Figure III-14 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vot Tande dans le diagramme  $\text{Ca-Mg-(Fe+Mn)}$ .

Figure III-15 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vot Tande dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).

Figure III-16 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Hazel Holme dans le diagramme  $\text{Ca-Mg-(Fe+Mn)}$ .

Figure III-17 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Hazel Holme dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).

Figure III-18 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vaté dans le diagramme  $\text{Ca-Mg-(Fe+Mn)}$ .

Figure III-19 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vaté dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).

- Figure III-20 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Erromango dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).
- Figure III-21 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Erromango dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).
- Figure III-22 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Futuna dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).
- Figure III-23 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Futuna dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).
- Figure III-24 : Position des plagioclases des laves de la zone Vanikoro dans le diagramme Or-Ab-An.
- Figure III-25 : Position des plagioclases des laves des zones Vot Tande et Hazel Holme dans le diagramme Or-Ab-An.
- Figure III-26 : Position des plagioclases des laves de la zone Vate dans le diagramme Or-Ab-An.
- Figure III-27 : Position des plagioclases des laves des zones Erromango et Futuna dans le diagramme Or-Ab-An.
- Figure III-28 : Position des feldspaths des échantillons D15M12 (zone Hazel Holme) et D27M17 (zone Vaté) dans le diagramme Or-Ab-An.
- Figure III-29 : Position des oxydes ferro-titanés des laves des fossés dans le diagramme  $TiO_2$ -FeO-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.
- Figure III-30 : Comparaison des rapports FM des olivines et des clinopyroxènes dans les laves des fossés - Ordre de cristallisation.
- 
- Figure IV-6 : Spectres de terres rares, normalisés aux chondrites (valeurs de Bougault,1980) des laves des îles de la chaîne centrale - Exemples représentatifs des trois groupes principaux.
- Figure IV-7 : Diagrammes "élargis" de Coryell-Masuda (valeurs de normalisation par rapport aux chondrites de Bougault,1980) des laves des îles de la chaîne centrale - Exemples représentatifs des trois groupes principaux.
- Figure IV-8 : Diagramme La/Ba des laves des îles de l'ensemble de la chaîne centrale.
- Figure IV-9 : Diagramme Ta/Th des laves des îles centrales et sud de la chaîne centrale.
- Figure IV-10 : Diagramme La/Th des laves des îles de l'ensemble de la chaîne centrale.
- Figure IV-11 : Diagramme Ti/Zr des laves basiques des îles de la chaîne centrale.
- Figure IV-14 : Diagramme Rb/K<sub>2</sub>O des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-15 : Histogramme de fréquence des types géochimiques de laves présents dans les îles et dans les fossés de l'arc des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-16 : Diagramme (Ba/Sr)/Ba des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-17 : Spectres des terres rares normalisées aux chondrites (valeurs de Bougault,1980) des laves des fossés.
- Figure IV-18 : Diagramme La/Ba des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-19 : Diagramme La/Ta des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-20 : Diagramme La/Th des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-21 : Diagramme Ta/Th des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-22 : Diagramme Ti/Zr des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.

- Figure IV-23 : Diagramme Th-(Hf/3)-Ta des basaltes des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-24 : Diagrammes "élargis" de Coryell-Masuda (valeurs de normalisation par rapport aux chondrites de Bougault, 1980) des laves des fossés - Exemples représentatifs des types géochimiques dans les différentes zones.
- Figure IV-25 : Diagrammes des éléments hygromagmaphiles (+ Fe, Mg, Cr et Ni) normalisés au MORB (valeurs de normalisation de Saunders et Tarney, 1979) des basaltes des fossés - Exemples représentatifs des types géochimiques.
- Figure IV-26 : Diagramme (Ba/La)/(Sr/Ce) des basaltes des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-27 : Diagramme (Rb/Sr)/(Th/La) des basaltes des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-28 : Diagramme V/(Ti/1000) des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-29 : Diagramme (Ba/La)/(Rb/La) des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-30 : Diagramme (Ba/La)/(Zr/La) des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.

- Figure V-1 : Variation de la composition des olivines des laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides en fonction de l'âge et des types géochimiques.
- Figure V-2 : Variation de la composition des clinopyroxènes des laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides en fonction de l'âge et des types géochimiques.
- Figure V-3 : Variation de la composition des plagioclases des laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides en fonction de l'âge et des types géochimiques.
- Figure V-4 : Variation de  $K_2O$  en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure V-5 : Variation de  $TiO_2$  en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure V-6 : Variation de  $MgO$  en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure V-7 : Variation du rapport La/Yb en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure V-8 : Variation du rapport Ba/La en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure V-9 : Variation du rapport Th/Ta en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure V-10 : Variation du rapport Th/Ta en fonction du rapport Th/Hf dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure V-11 : Types géochimiques des différentes périodes de volcanisme de chacune des îles et des zones de fossés.
- Figure V-12 : Caractérisation des quatre périodes principales de l'activité volcanique du système fossés - chaîne centrale de l'arc des Nouvelles Hébrides.

## LISTE DES TABLEAUX

Les tableaux complémentaires de chaque chapitre sont reportés dans le volume 2.

Tableau I-1 : Histoire de l'arc des Nouvelles Hébrides d'après Macfarlane *et al.*(1988).

Tableau II-1 : Constantes utilisées pour le calcul des âges K-Ar.

Tableau II-10 : Tableau récapitulatif des âges fiables, classés en trois catégories de validité décroissante de 1 à 3.

Tableau II-11 : Tableau comparatif des données de micropaléontologie sur les échantillons volcanosédimentaires et des datations radiométriques des laves des fossés - Echantillonnage de la campagne SEAPSO II.

Tableau III-3' : Ordre de cristallisation des phases minérales des laves des îles.

Tableau III-5' : Ordre de cristallisation des phases minérales des laves des îles.

Tableau III-6 : Composition Fo-Fa des olivines des laves des îles Banks.

Tableau III-7 : Composition Wo-En des clinopyroxènes des laves des îles.

Tableau III-8 : Composition An-Or des plagioclases des laves des îles.

Tableau III-9 : Composition Fo-Fa des olivines des laves des fossés.

Tableau III-10 : Composition Wo-En des clinopyroxènes des laves des fossés du Nord.

Tableau III-11 : Composition Wo-En des clinopyroxènes des laves des fossés du Sud.

Tableau III-12 : Tableau synthétique des données sur les clinopyroxènes des laves des fossés.

Tableau III-13 : Composition An-Or des plagioclases des laves des fossés du Nord.

Tableau III-14 : Composition An-Or des plagioclases des laves des fossés du Sud.

Tableau III-15 : Résumé des données de microsonde pour les laves des fossés du Nord.

Tableau III-16 : Résumé des données de microsonde pour les laves des fossés du Sud.

Tableau IV-7 : Tableau récapitulatif des types géochimiques des laves des îles de la chaîne centrale.

Tableau IV-11 : Tableau récapitulatif des types géochimiques des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

Tableau IV-12 : Tableau comparatif des données des éléments en traces avec les types géochimiques définis (tableau IV-11).

Tableau V-1 : Tableau synthétique des échantillons des îles Banks : datations et types géochimiques.

Tableau V-2 : Tableau synthétique des échantillons des îles centrales : datations et types géochimiques.

Tableau V-3 : Tableau synthétique des échantillons des îles du Sud : datations et types géochimiques.

Tableau V-4 : Tableau synthétique des échantillons des fossés à l'arrière de l'arc des Nouvelles Hébrides.

## Toponymie des Nouvelles Hébrides ; définition des abréviations

La toponymie des îles de l'ex-condominium franco-britannique des Nouvelles Hébrides, devenu République de Vanuatu, est complexe du fait de la coexistence de noms originaux et de noms plus ou moins francisés ou anglicisés. Nous présentons donc un tableau de correspondance des principaux noms utilisés, le premier correspondant au nom utilisé dans ce travail.

Gaua ; Santa Maria.  
Santo ; Espiritu Santo.  
Mallicolo ; Malekula ; Malecoula.  
Maewo ; Aurora.  
Pentecôte ; Pentecost.  
Vaté ; Efate ; Efaté.  
Erromango ; Erromanga.  
Anatom ; Aneityum ; Anatchom.

Quelques abréviations sont également utilisées dans le texte ou dans la légende des figures.

BNF = Bassin Nord Fidjien.  
RE = Ride d'Entrecasteaux.

### Zones des fossés :

VAN = Zone Vanikoro.  
VT = Zone Vot Tande.  
HH = Zone d'Hazel Holme.  
VA = Zone de Vaté.  
ERR = Zone d'Erromango.  
FUT = Zone de Futuna.  
TA = Zone de Tanna.

Enfin nous précisons dès à présent les abréviations fréquentes des termes géochimiques. Nous avons en général utilisé des abréviations françaises, excepté toutefois pour le terme MORB.

|            |   |
|------------|---|
| TR         | = Terres Rares.   |
| TRl        | = Terres Rares légères.   |
| TRL        | = Terres Rares Lourdes.   |
| LLI        | = éléments Lithophiles à Large rayon Ionique (=LILE = Large Ion Lithophile Elements). |
| IHC        | = éléments Incompatibles à Haute Charge (=HFSE = High Field Strength Elements).       |
| MORB N     | = Mid Ocean Ridge Basalt de type Normal.  |
| MORB E     | = Mid Ocean Ridge Basalt de type Enrichi.   |
| MORB T     | = Mid Ocean Ridge Basalt de type Transitionnel.                                       |
| BBAA       | = Basalte de Bassin Arrière-Arc (=BABB = Back Arc Basin Basalts).                     |
| C.A.       | = Calco-Alcalin.  |
| AIP        | = Arc Insulaire Primitif (=PIA = Primitive Island Arc).                               |
| Th.A       | = Tholéite d'Arc (=IAT = Island Arc Tholeiites).                                      |
| Th.A.Mg    | = Tholéite d'Arc Magnésienne.   |
| Th.A.Ti    | = Tholéite d'Arc Titanifère.  |
| Th.A.Ti-Mg | = Tholéite d'Arc Titanifère et Magnésienne.   |
| D-K        | = Dacite potassique.  |
| D-TK       | = Dacite Très potassique.   |

INTRODUCTION GENERALE

## INTRODUCTION GENERALE

Les notions de zone de convergence de plaques et d'arc insulaire, développées depuis plusieurs années, ont conduit à de nombreuses études dans diverses régions du globe, et particulièrement dans le Pacifique Ouest dont la marge est jalonnée par une succession de systèmes d'arcs insulaires.

Selon Karig et Sharman (1975), un système d'arc insulaire typique du Pacifique Ouest comprend plusieurs zones (fig.I-1) : une fosse, un prisme d'accrétion, une discontinuité de haut de pente, un arc frontal, une chaîne volcanique et, dans certains cas, une zone arrière-arc (bassin marginal, bassin inter-arc ou fossés arrière-arc) et éventuellement un troisième arc ou arc fossile, rémanent, en réponse à une extension crustale derrière l'arc frontal (Karig, 1970 ; Karig et Mammerickx, 1972).

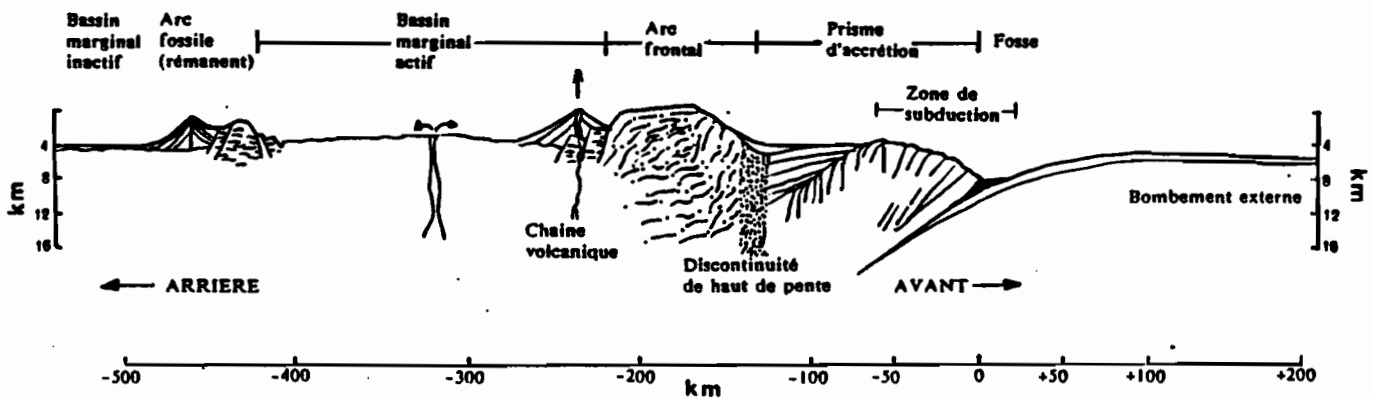
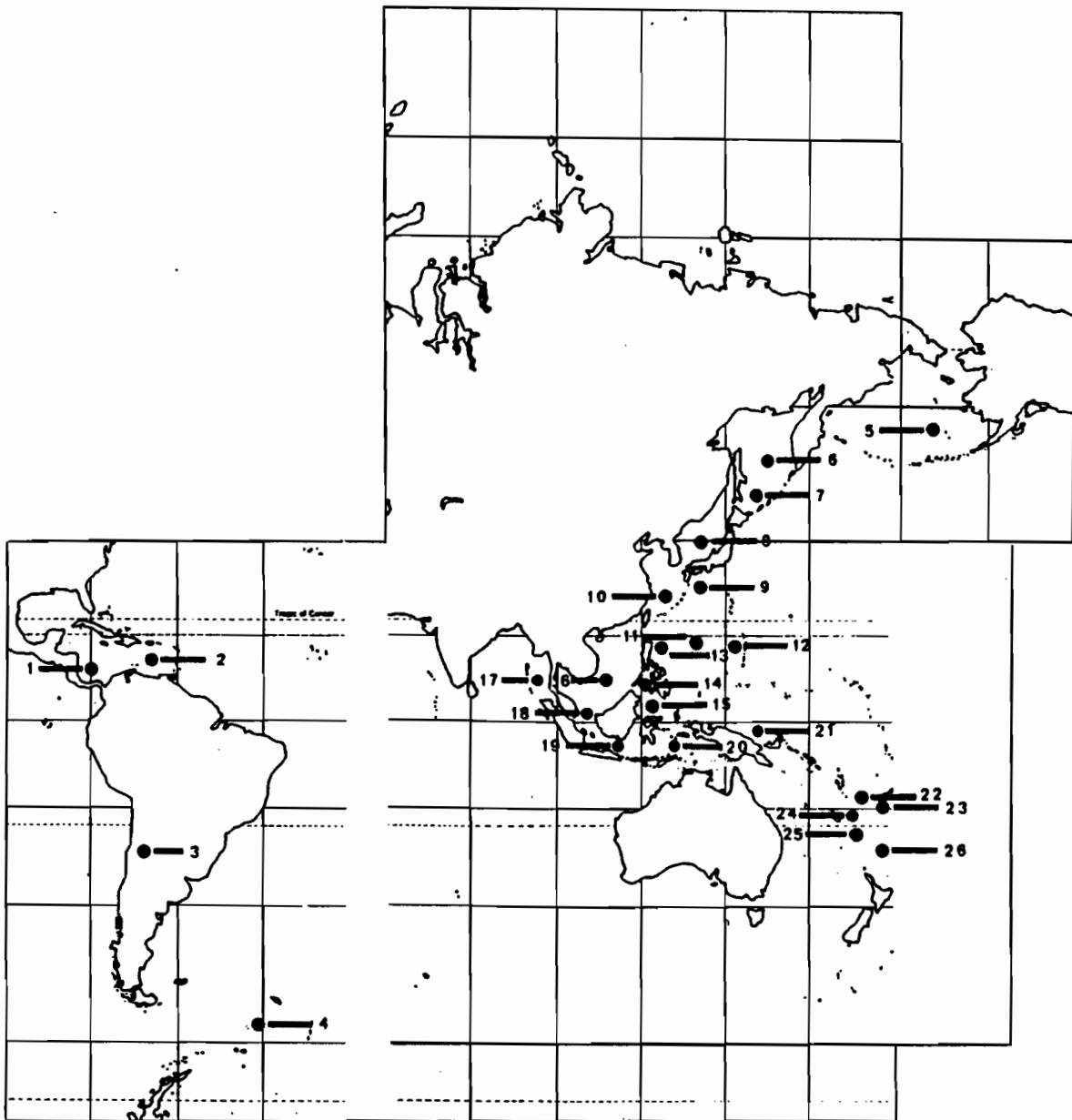


Figure I-1 : Coupe transverse d'un système arc insulaire typique, montrant les unités tectoniques, d'après Karig et Sharman (1975) (exagération verticale = 5).

*Cross section of a typical island arc system, showing the tectonic units, after Karig & Sharman (1975) (vertical exaggeration = 5).*

Un exemple type est illustré par le système des Mariannes (Karig, 1971 b). Malgré une complexité reconnue et un probable polyphasage de l'histoire des arcs (succession au cours du temps d'émissions magmatiques localisées dans la même zone d'arc insulaire), le fonctionnement des arcs commence à être bien appréhendé. Par contre, les zones arrière-arc associées demeurent un domaine peu connu.



- |                                  |                                   |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| 1- Bassin de Colombie            | 14- Mer de Sulu                   |
| 2- Fossé de Grenade              | 15- Mer des Célèbes               |
| 3- Plateau Altiplano             | 16- Mer de Chine                  |
| 4- Mer d'Ecosse                  | 17- Mer d'Andaman                 |
| 5- Mer de Bering                 | 18- Mer de la Sonde               |
| 6- Mer d'Okhotsk                 | 19- Mer de Java                   |
| 7- Bassin des Kouriles           | 20- Mer de Banda                  |
| 8- Mer du Japon                  | 21- Mer de Bismark                |
| 9- Bassin de Shikoku             | 22- Plateau des Fidji             |
| 10- Fossé d'Okinawa              | 23- Bassin de Lau                 |
| 11- Bassin de Parece Vela        | 24- Bassin des Nouvelles-Hébrides |
| 12- Fossé des Mariannes          | 25- Bassin Sud-fidjien            |
| 13- Bassin des Philippines Ouest | 26- Fossé du Havre                |

Figure I-2 : Localisation des régions arrière-arc, d'après Brooks *et al.* (1984).

*Location map of back arc regions after Brooks & al.(1984).*

## PROBLEMES DE LA ZONE ARRIERE-ARC

### A - QU'APPELLE-T-ON ZONE ARRIERE-ARC ?

#### A-1. GENERALITES

Dès 1967, Ménard décrit les petits bassins adjacents aux océans majeurs mondiaux et les classe en fonction de leurs taille et profondeur. En 1970, Karig reconnaît aux bassins inter-arc une origine par extension. En 1971(a), il définit les bassins marginaux comme des "bassins semi-isolés" ou "des séries de bassins situés derrière les chaînes volcaniques dans les systèmes arcs insulaires", leur conférant ainsi une position tectonique arrière-arc. Il distingue les bassins marginaux actifs (Tonga-Kermadec, Mariannes et aussi Nouvelles-Hébrides et Bonin) des bassins marginaux inactifs plus anciens (Mers d'Okhotsk et du Japon, bassin de Parece Vela, bassins Sud-Fidjien et des Aléoutiennes). En 1983, Taylor et Karner, constatant l'existence de bassins marginaux qui ne sont pas en position arrière-arc, réservent le terme de bassins marginaux aux petits bassins ayant une section de croûte océanique, et le terme de bassins arrière-arc aux bassins situés derrière un système d'arc insulaire actif ou inactif, et dont l'origine est liée à la subduction. Brooks *et al.* (1984) présentent un catalogue des zones arrière-arc actives et inactives (fig.I-2). En fait, les bassins arrière-arc représentent une catégorie de bassins marginaux (Saunders et Tarney, 1984) : ceux formés par extension arrière-arc. D'autres peuvent résulter de tectonique transformante dans des zones de convergence obliques de plaques (Golfe de Californie), d'accrétion de croûte océanique sans liaison avec une zone de convergence de plaques (Bassin de Woodlark) (fig.I-3), ou du piégeage de lithosphère océanique plus ancienne (Bassin des Aléoutiennes) (fig.I-3).

#### A-2. CRITERES DE RECONNAISSANCE D'UN BASSIN ARRIERE-ARC ACTIF

Outre les critères purement chronologiques qui nous semblent primordiaux, plusieurs conditions semblent caractériser les bassins arrière-arc actifs, d'après les exemples typiques des Mariannes, des Ryukyu, de Lau et de la Mer de Scotia (Uyeda et Kanamori, 1979 ; Taylor et Karner, 1983) :

- une faible profondeur d'eau, comparable à celle des rides médio-océaniques (2000 à 3000m) ;
- une activité tectonique en extension avec, 1) le développement d'un système de rides et fossés à l'intérieur du bassin, souvent selon des directions non parallèles à l'orientation générale de l'arc, réalisant ainsi des structures en échelons, 2) une bordure du bassin marquée par des escarpements prononcés résultant de failles normales ;
- une sismicité peu profonde sur la plaque supérieure, avec des mécanismes focaux en faille normale ;
- des caractères de structure crustale et de linéations magnétiques similaires à ceux des bassins océaniques majeurs ;

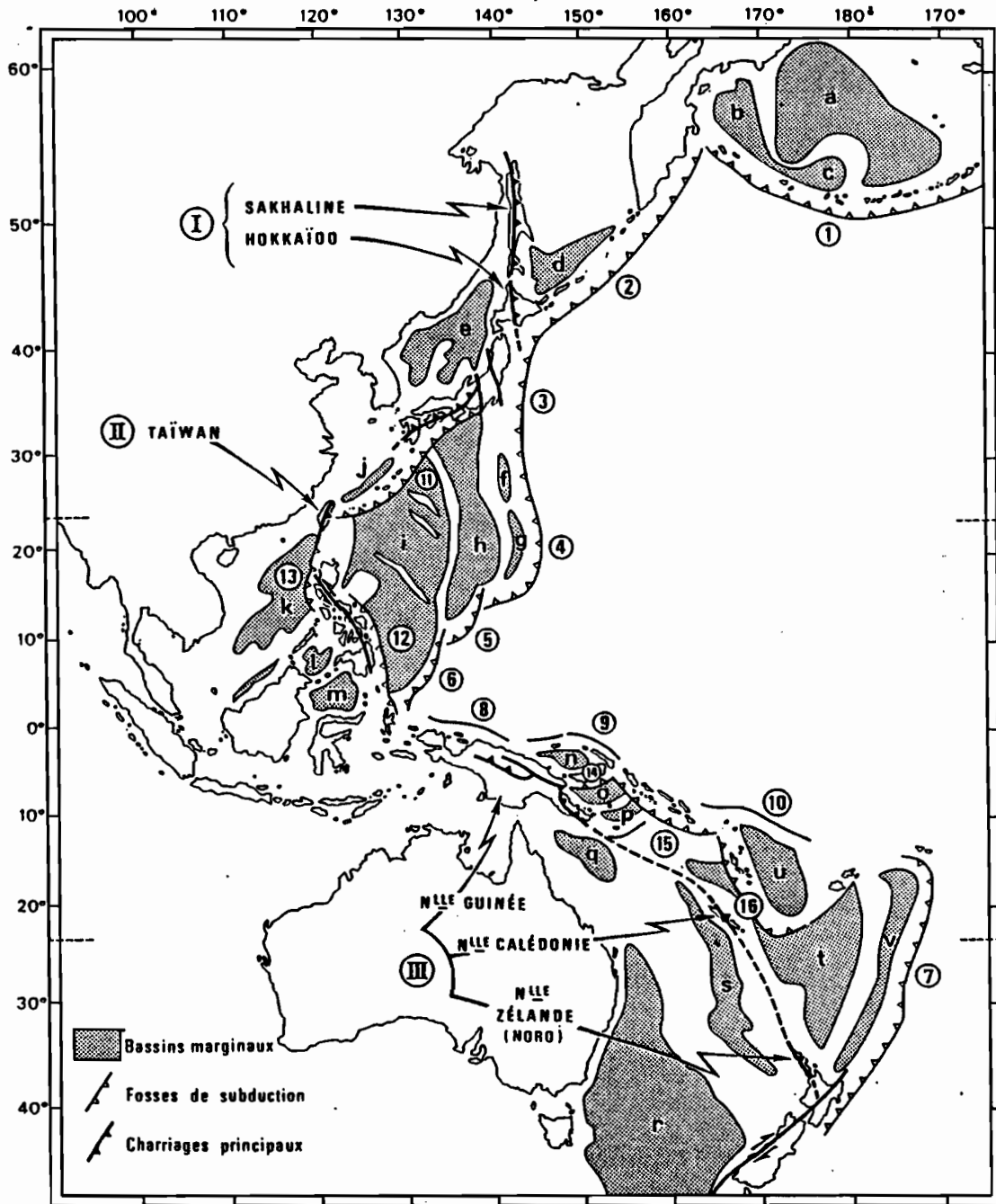


Figure I-3 : Zones de subduction, bassins marginaux et orogènes anciens dans l'Ouest Pacifique, d'après Aubouin, 1982.

*Subduction zones, marginal basins and old orogens in Western Pacific, after Aubouin (1982).*

**Fosses de subduction :**

- 1- Aléoutiennes, 2- Kouriles. 3- Japon, 4- Bonin et Mariannes, 5- Yap, 6- Palau, 7- Tonga-Kermadec (fosses à vergence continentale, "normale").  
 8- Nouvelle-Guinée, 9- Ouest-Mélanésienne, 10- Vitiáz (fosses de signification incertaine).  
 11- Ryou-Kyou, 12- Philippines (fosses à vergence continentale).  
 13- Manille, 14- Nouvelle-Bretagne, 15- Salomon, 16- Nouvelles-Hébrides (fosses à vergence océanique).

**Bassins marginaux :**

- a- Aléoutiennes, b- Kamtchakta, c- Bowers, d- Okhotsk, e- Japon, f- Bonin, g- Mariannes, h- Parece Vela, i- Philippines, j- Okinawa, k- Chine méridionale, l- Sulu, m- Célèbes, n- Bismark, o- Salomon, p- Woodlark, q- Corail, r- Tasmanie, s- Nouvelle-Calédonie, t- Fidji méridionales, u- Fidji, v- Lau-Havre.

**Orogènes anciens = ceintures ophiolitiques charriées vers les continents :**

- I- Japon septentrional, II- Taïwan, III- Couronne ophiolitique périaustralienne.

- un flux de chaleur élevé ou présentant de fortes variations ;
- une fine couverture sédimentaire, récente, sur un relief volcanique accidenté contrastant avec les séries épaisses de flancs de bassin ;
- un volcanisme actif caractérisé par l'émission de basaltes vitreux, souvent très vacuolaires (cf. infra).

Chaque bassin présente cependant ses caractéristiques propres, la taille et le remplissage sédimentaire pouvant particulièrement varier.

#### B - QUELLE EST LA NATURE DU VOLCANISME EMIS EN ZONE ARRIERE-ARC ?

Les roches draguées dans de nombreux bassins arrière-arc (Mariannes, Lau, Mer de Scotia, Woodlark, bassin Nord-fidjien) sont en majorité des basaltes subalcalins, généralement des tholéiites à olivine normative (Hart *et al.*, 1972 ; Hawkins, 1976, 1977 ; Saunders et Tarney, 1979, 1984), très comparables aux basaltes de rides médio-océaniques de type normal (MORB-N) par leur minéralogie et leur composition en éléments majeurs, s'en distinguant cependant au niveau des éléments en trace. Ces basaltes sont en effet très souvent enrichis en éléments lithophiles LLI (LIL = Large Ion Lithophile elements = K, Rb, Ba, Sr, Th) par rapport aux éléments à haute charge, IHC (HFS = High Field Strength elements = Nb, Ta, Ti, Zr, Hf) et enrichis aussi en éléments volatils. Ils ont généralement un spectre de terres rares plat ou légèrement enrichi en terres rares légères, et possèdent un rapport isotopique du strontium ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ) légèrement supérieur à celui des MORB (Hart *et al.*, 1972 ; Hawkins, 1976, 1977 ; Saunders et Tarney, 1979 ; Tarney *et al.*, 1981 ; Wood *et al.*, 1980-1981 ; Matthey *et al.*, 1980 ; Marsh *et al.*, 1980 ; Volpe *et al.*, 1987). Ceci confère aux basaltes de bassins arrière-arc, BBAA (BABB = Back Arc Basin Basalts) un caractère intermédiaire entre MORB-N et Tholéite d'arc insulaire (Th.A = IAT = Island Arc Tholeiite = ) (Gill, 1976 ; Saunders et Tarney, 1979, 1984 ; Taylor et Karner, 1983 ; Volpe *et al.*, 1987). Tarney *et al.* (1977, 1981) suggèrent d'ailleurs que les BBAA évoluent pendant le développement du bassin d'une affinité initiale Th.A vers une affinité MORB, l'influence relative de la subduction diminuant au fur et à mesure de la maturation du bassin arrière-arc. Ces mêmes auteurs considèrent que les caractères géochimiques d'arc, observés surtout dans les stades initiaux, n'apparaissent que lorsque le volcanisme de l'arc adjacent au bassin est calco-alcalin. L'étude détaillée du bassin de Lau (Hawkins et Melchior, 1985) montre l'existence de deux zones, l'une centrale, où les basaltes ont de très nombreux caractères de type MORB, l'autre en bordure de l'arc insulaire adjacent avec des laves plus comparables à celles du fossé des Mariannes et moins proches du type MORB-N.

Une étude récente de ce même bassin de Lau (Boespflug *et al.*, sous presse) distingue une partie nord (MORB-N) d'une partie sud (ride de Valu Fa, cette dernière pouvant correspondre à un arc insulaire naissant ou à un stade initial d'ouverture arrière-arc.

Mais des laves plus différenciées se rencontrent aussi dans quelques zones arrière-arc, notamment dans l'exemple du détroit de Bransfield (Weaver *et al.*, 1979) ; on connaît aussi du volcanisme acide dans le fossé des Mariannes (Lonsdale et Hawkins, 1985).

Un large éventail de processus pétrologiques a été proposé par différents auteurs pour expliquer la genèse du volcanisme arrière-arc, ce qui illustre la complexité du phénomène et sans doute la particularité de chaque zone arrière-arc.

## C - CONCLUSIONS

Une grande diversité des roches, malgré certaines caractéristiques communes, et une grande variété de processus liés à leur origine, semblent marquer le volcanisme arrière-arc. Ceci peut découler d'états d'évolution spécifiques à chaque zone, de l'histoire antérieure du magmatisme et de la position structurale propre à chaque bassin.

Un autre problème rarement soulevé concerne la chronologie relative du volcanisme des zones arrière-arc par rapport à celui de l'arc, et de la formation même des fossés vis-à-vis de l'ensemble de l'arc.

Afin d'apporter des éléments de réponse à ces questions, notre étude a porté sur le volcanisme des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides, à l'aide des données géologiques et géophysiques recueillies lors du second leg de la campagne SEAPSO du N.O. Jean-Charcot (Novembre 1985).

## PRESENTATION DU TRAVAIL

### A - OBJECTIFS DU TRAVAIL

L'évolution de l'arc des Nouvelles-Hébrides commence à être assez bien connue. La zone arrière-arc, par contre, demeure moins bien définie, surtout en ce qui concerne la nature, l'âge et l'origine du volcanisme qu'on y rencontre.

- \* Le premier but de ce travail est de définir la nature et les affinités géochimiques du volcanisme exposé dans les fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides, et ses éventuelles variations spatio-temporelles. Ceci devrait permettre de confirmer ou d'infirmer l'existence d'un processus d'expansion océanique dans les fossés, à un stade juvénile ou avorté. Parallèlement, l'établissement d'une chronologie des formations volcaniques exposées dans les fossés est primordiale. C'est pourquoi ce travail comporte un volet fondamental de géochronologie, constituant le fil conducteur de cette étude.

- \* En second lieu, on recherchera d'éventuelles corrélations entre le volcanisme des fossés et l'activité volcanique de l'arc, grâce à un complément d'analyses géochimiques et surtout géochronologiques réalisées sur quelques échantillons des volcanites de l'arc. Les laves émises dans les fossés sont-elles toutes ou en partie identiques à celles des îles de l'arc ? Existe-t-il dans les fossés des types pétrologiques particuliers (arrière-arc ou océanique) et de quel âge ? Se trouvent-ils en position caractéristique (fond de fossé ou flancs) ? Enfin, les phases volcaniques sont-elles synchrones dans les fossés et sur l'arc ?

Autant de questions que l'on espère résoudre à l'issue de cette étude, qui devrait permettre d'apporter des précisions sur le problème général du fonctionnement et de l'origine des fossés arrière-arc.

## B - METHODES

Les datations radiométriques ( $^{40}\text{K} - ^{40}\text{Ar}$ ) ont été effectuées à l'U.B.O. (M.C. Monjaret - H. Bellon - J.C. Philippet). La méthode potassium-argon comporte deux phases d'analyse, analyse du potassium par spectrométrie d'absorption atomique et dosage de l'argon par spectrométrie de masse.

Les analyses chimiques (roches totales) des éléments majeurs et des éléments en trace (Rb, Ba, Sr, V, Cr, Ni, Co) ont été réalisées à l'U.B.O. par absorption atomique (J. Cotten).

Des analyses chimiques de terres rares et d'éléments en trace (Ta, Th, Zr, Hf, Cs, Sb, U, W, As, Rb, Ba, Sr, Sc, Cr, Ni, Co, Zn, Cu) ont été effectuées par activation neutronique (J.L. Joron, C.E.N., Saclay).

Pour l'étude minéralogique des échantillons, les analyses chimiques ont été réalisées à la microsonde Ouest, Brest.

## C - PLAN GENERAL

Pour présenter les résultats nous avons adopté le plan suivant. Nous présentons la zone étudiée dans un premier chapitre. Ensuite, les chapitres II, III et IV traitent respectivement de l'étude chronologique, pétrologique et minéralogique, enfin géochimique, regroupant les données obtenues sur les laves des îles de la chaîne centrale et celles provenant des laves des dragages de la zone arrière-arc. Enfin, le chapitre V présente l'évolution spatio-temporelle du volcanisme des fossés et de la chaîne centrale des Nouvelles Hébrides.

CHAPITRE 1

L'arc des Nouvelles Hébrides  
Présentation de la campagne SEAPSO 2

## CHAPITRE I

### I - CONTEXTE GEODYNAMIQUE - LE PACIFIQUE SUD-OUEST

La marge Ouest de l'Océan Pacifique est soulignée par une ceinture d'arcs insulaires actifs, du Nord au Sud (Fig.I-3) : Aléoutiennes, Kamchatka, Kouriles, Japon, Izu-Bonin, Mariannes, relayés au Sud-Ouest (Fig.I-4) par les arcs de Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Bretagne, des Salomons, Nouvelles-Hébrides, Tonga-Kermadec et Nouvelle-Zélande. La subduction se fait vers l'Ouest, la plaque Pacifique plongeant sous la plaque Indo-Australienne, sauf au niveau des îles Salomons et des Nouvelles-Hébrides, où le mouvement est inversé : la plaque Indo-Australienne passe sous la plaque Pacifique à l'Est.

Dans cette région particulièrement complexe, deux zones de subduction fossiles (Fig.I-3) sont suggérées par les données géophysiques (sismique réflexion, gravimétrie) : zone des îles Loyauté (Dubois *et al.*, 1974 ; Ravenne *et al.*, 1973) et zone de Vitiaz (Récy *et al.*, 1976), dont le sens de fonctionnement est discuté. Certains auteurs (Luyendick *et al.*, 1974 ; Goula, 1978 ; Hughes, 1978 ; Hanus et Vaneck, 1983 ; Katz, 1988; Louat *et al.*, 1988) considèrent que les sens de subduction n'ont pas varié au cours du temps. Ils pensent que la subduction s'est toujours effectuée vers l'ENE avec des stades successifs expliquant l'irrégularité du plan de Bénéoff, et font intervenir une migration de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides (N.H.) vers l'Est, à partir de la zone fossile des îles Loyauté. D'autres auteurs (Karig et Mammerickx, 1972 ; Gorton, 1974 ; Gill et Gorton, 1974 ; Carney et Macfarlane, 1976,1982; Daniel *et al.*, 1982 ; Carney *et al.*, 1985) pensent qu'il existait au Miocène une direction de subduction générale vers l'Ouest, la zone de Vitiaz fonctionnant alors en prolongement de l'ensemble des arcs insulaires de la marge Pacifique Ouest. Dans ce cas, l'inversion du sens de subduction se serait produite au Miocène supérieur, accompagnée du déplacement relatif des Nouvelles-Hébrides et des Salomons, par l'inter-médiaire d'une faille transformante Hunter-Fidji, et en liaison avec l'ouverture du bassin Nord-Fidjien (B.N.F.) qui a débuté entre 10 et 8 M.a. (Carney et Macfarlane, 1982; Carney *et al.*, 1985 ; Auzende *et al.*, 1988). Ces derniers ont établi que l'ouverture du bassin Nord-Fidjien s'est faite selon un axe N145°-150°E depuis 10-8 M.a. jusqu'à environ 3 M.a., époque de changement de direction de l'axe d'accrétion, qui devient Nord-Sud. Enfin un dernier réajustement a eu lieu vers 1-0,7 M.a. dans la partie centrale du bassin Nord-fidjien avec ouverture selon deux axes N15°E et N160°E respectivement au Sud et au Nord d'un point triple à 16°40'S (situation actuelle).

Les données bathymétriques et géophysiques concernant la zone de Vitiaz sont assez peu nombreuses ; cependant lors de la campagne récente EVA XIV (ORSTOM) (Août 1987) un profil réalisé dans cette région montre l'existence d'une fosse très nette sans qu'on puisse, cependant, mettre en évidence de témoins d'un éventuel ancien arc au SW de cette fosse.

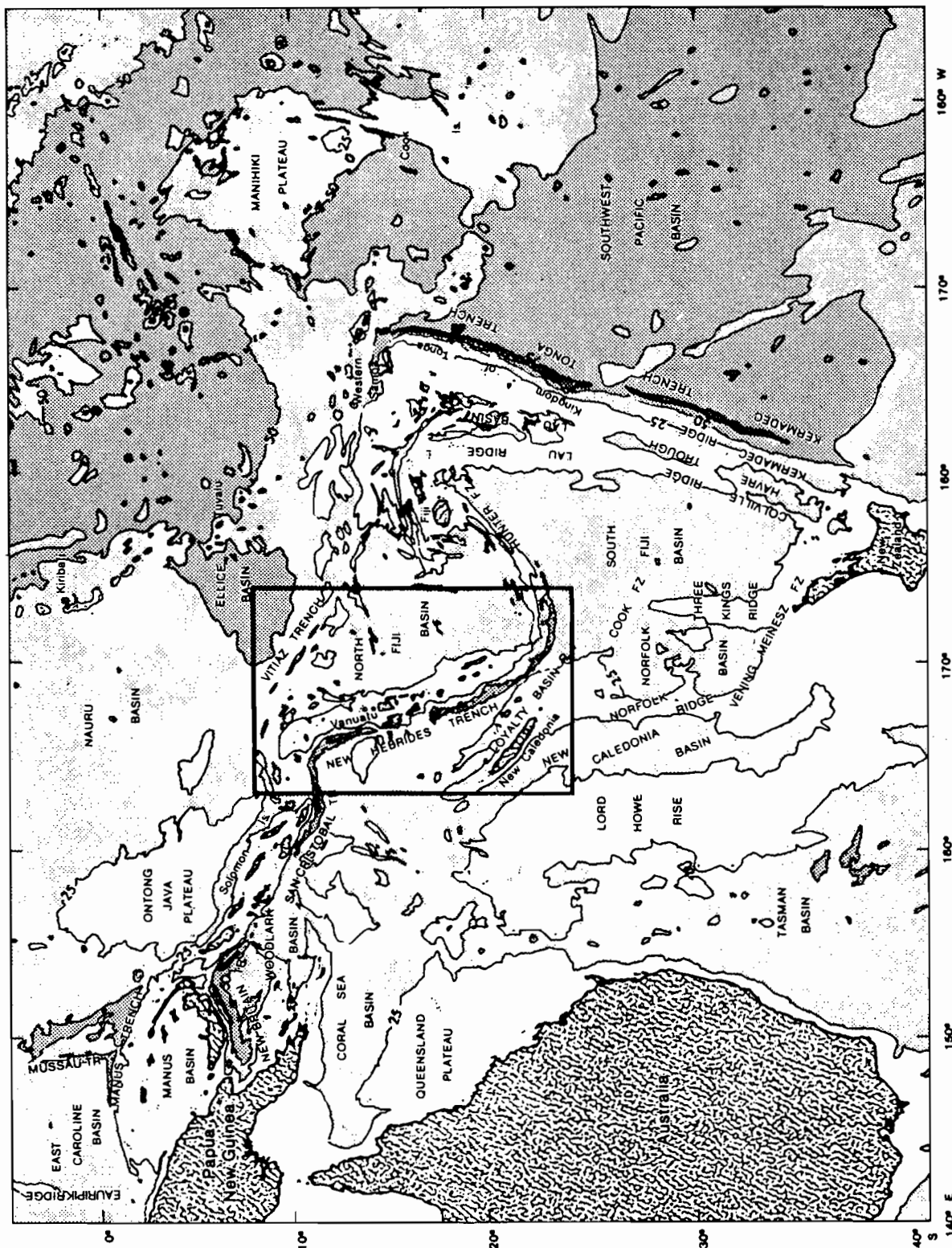


Figure I-4 : Carte bathymétrique du Sud-Ouest Pacifique, simplifiée d'après Kroenke (1984), montrant en encadré la zone des Nouvelles-Hébrides.  
*Simplified bathymetric map of South Western Pacific, after Kroenke (1984), with the New Hebrides area contoured.*

## II - L'ARC INSULAIRE DES NOUVELLES-HEBRIDES

### A - GENERALITES

L'archipel des Nouvelles-Hébrides, comptant 80 îles et ilots, s'étend sur 1500 km, de 10° à 22° S. Il est issu de la subduction vers l'Est - Nord-Est de la plaque Indo-Australienne sous le bassin Nord-Fidjien, et non directement sous la plaque Pacifique (Fig.I-4). La plaque Indo-Australienne présente, au niveau de l'arc des Nouvelles-Hébrides, une morphologie superficielle irrégulière puisque trois "chaînes" ou "rides" sont entraînées ou sur le point de l'être dans la subduction, du Nord au Sud : le massif Ouest-Torres, la zone d'Entrecasteaux, la ride des Loyauté (Fig.I-5). L'arc des Nouvelles-Hébrides se raccorde au Nord au système des Salomons, de même polarité (les îles Santa-Cruz de l'archipel des Salomons appartiennent d'ailleurs au système de l'arc des Nouvelles-Hébrides). Au Sud, le passage au système Tonga-Kermadec par la zone de fracture de Hunter est plus complexe, le mouvement de subduction passant à un mouvement transformant sénestre (Monzier *et al.*, 1984 ; Fig.I-4).

La convergence des deux plaques se fait selon une direction de N75°E à une vitesse de 10 cm/an (Dubois *et al.*, 1977). Au niveau des Nouvelles-Hébrides, le mouvement général des plaques Australo-Indienne et Pacifique présente plusieurs particularités :

- il est inversé par rapport à l'ensemble des subductions du Pacifique Ouest (Fig.I-3).
- il est compliqué par l'ouverture du bassin Nord-Fidjien, dont le taux d'expansion semble compenser les taux de subduction des Nouvelles-Hébrides d'une part, et des Tonga d'autre part (Dubois *et al.*, 1977 ; Pascal *et al.*, 1978).
- la subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux au niveau de la zone centrale de l'arc est surimposée à la subduction classique (Collot *et al.*, 1985). Le début de ce processus n'est pas daté précisément, le prolongement initial de la ride vers l'Est n'étant pas connu. Deux autres structures semblent sur le point de passer en subduction : le massif Ouest-Torres au Nord et la ride des Loyauté au Sud (Fig.I-5).

La subduction des Nouvelles-Hébrides est matérialisée par une fosse NNW-SSE et un plan de Bénéoff (zone à forte sismicité) fortement penté (70°) et continu (Pascal *et al.*, 1978 ; Louat *et al.*, 1982; 1988). Dans sa configuration actuelle (subduction vers l'ENE ayant donné naissance à la chaîne centrale, Fig.I-5), l'arc des Nouvelles-Hébrides, considéré comme intra-océanique, est jeune (moins de 7-8 M.a.) et illustre donc un stade juvénile du phénomène de subduction. La jeunesse de l'arc est confirmée par une distance réduite entre la fosse et la ligne volcanique active (125 à 130 km) et par une faible extension en largeur de la chaîne volcanique (moins de 200 km) (Karig et Mammerickx, 1972 ; Dubois *et al.*, 1973 ; Dugas *et al.*, 1976 ; Ravenne *et al.*, 1976 ; Daniel, 1982).

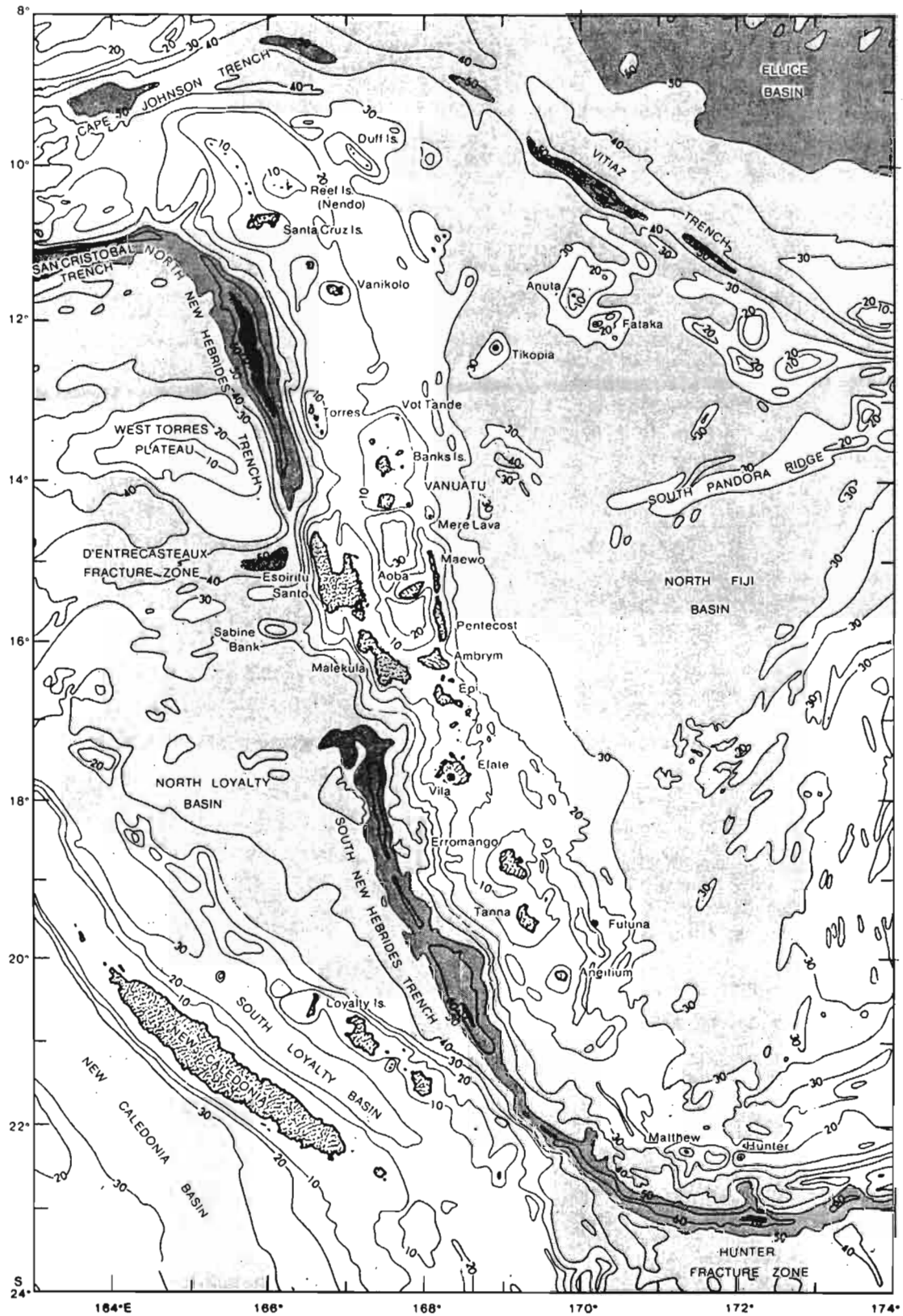


Figure I-5 : Bathymétrie de la région de l'arc des Nouvelles-Hébrides (Vanuatu et Iles Salomons orientales, d'après Kroenke (1984).

Equidistance des courbes bathymétriques = 100 m.

*Bathymetric map of Vanuatu and Eastern Solomon Islands, after Kroenke (1984).*

*Contour intervals = 100 meters.*

## B - LES DIFFERENTS DOMAINES - UNITES MORPHOSTRUCTURALES, DESCRIPTION D'OUEST EN EST

L'arc des Nouvelles-Hébrides présente dans sa position actuelle les caractères morphologiques typiques d'un arc insulaire (Karig et Mammerickx, 1972 ; Dickinson, 1973) : une fosse - un mur interne - un arc frontal - un arc volcanique actif - une zone arrière-arc en horsts et grabens, que l'on a pu comparer aux bassins inter-arc des systèmes des Tonga-Kermadec ou des Mariannes (Karig, 1970a, 1971a ; Karig et Mammerickx, 1972), mais en fait beaucoup plus étroite et très proche de la ligne volcanique.

Mitchell et Warden (1971) ont divisé l'arc en trois provinces géologiques majeures (Fig. I-6) :

- la ceinture Ouest correspondant à l'arc frontal est formée des Torres, Santo et Mallicolo, du Nord au Sud.
- la chaîne centrale ou arc volcanique actuel s'étend des îles Santa-Cruz au Nord à Matthew-Hunter au Sud.
- la ceinture Est, constituée par les îles Maewo-Pentecôte, se situe dans l'axe des fossés arrière-arc au niveau de la zone centrale de l'arc.

Le schéma de Daniel (1982) (Fig.I-7) illustre les unités morphostructurales de l'arc des Nouvelles-Hébrides.

B-1. LA FOSSE DES NOUVELLES-HEBRIDES est interrompue, ou plus exactement surélevée (Pascal, 1974) dans sa partie centrale déformée par la subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux, qui a provoqué : d'intenses déformations de la pente interne de la fosse, la surrection des îles Santo et Mallicolo, l'effondrement du bassin central (bassin d'Aoba) et l'interruption des fossés arrière-arc (Collot *et al.*, 1985). En dehors de cette zone centrale, la fosse est généralement bien marquée, elle atteint la profondeur de 9174 m au N.O. des îles Torres à 12°30'S (Faleyev *et al.*, 1977). Dans la zone Sud la fosse s'incurve vers l'Est en direction de la zone de fracture de Hunter. Aucune trace de prisme d'accrétion n'est décelée sur son flanc interne (Daniel, 1982).

B-2. LA CEINTURE OUEST (arc frontal) est formée de roches volcaniques calco-alcalines d'âge Oligocène supérieur à Miocène moyen. Elle est soulignée par une croûte de 24-26 km d'épaisseur (modèle de gravité de Malahoff, 1970).

Cette province est la plus ancienne de l'arc et se caractérise par une succession de dépôts volcaniques, volcanoclastiques, d'intrusions plutoniques et de dépôts sédimentaires océaniques plus ou moins profonds.

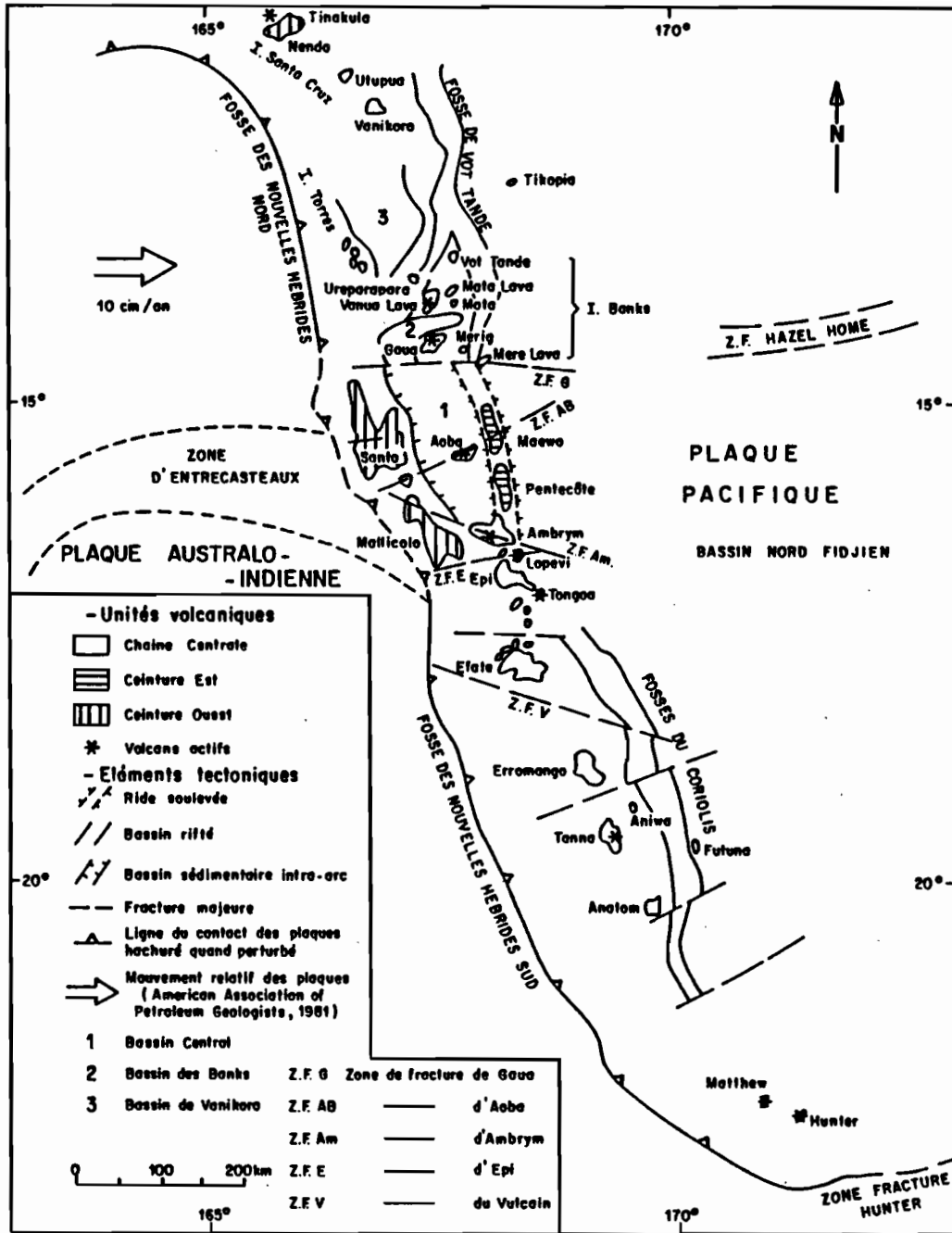


Figure I-6 : Les caractères géologiques et tectoniques majeurs de l'arc des Nouvelles-Hébrides, d'après Macfarlane *et al.* (1988).  
*Main geological and tectonic features of the New Hebrides island arc after Macfarlane & al.(1988).*

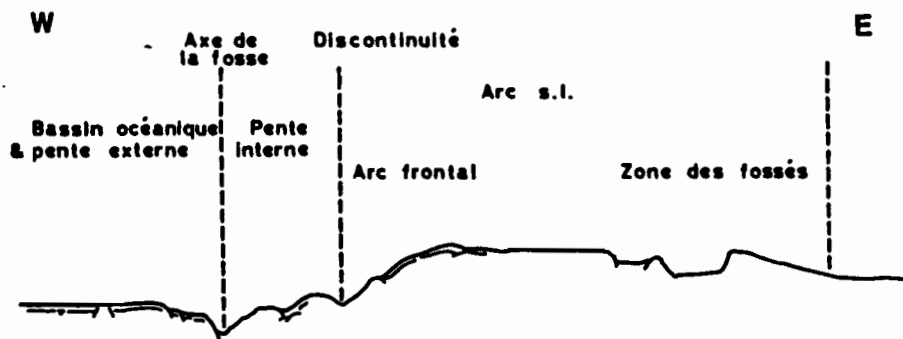


Figure I-7 : Coupe schématique transverse du système arc insulaire des Nouvelles-Hébrides, montrant les unités morphostructurales décrites dans le texte, d'après Daniel (1982).  
*Schematic cross section of the New Hebrides island arc system, showing the morphostructural units described in text, after Daniel (1982).*

Les roches les plus anciennes de la ceinture Ouest sont des sédiments pélagiques oligocènes exposés au N.O. de Mallicolo (formation Red Mudstone, Mitchell, 1971). Les sédiments sont en contact par faille avec des brèches de coulées et de roches volcanoclastiques associées de l'Oligocène - Miocène inférieur, traversées par des andésites et des gabbros. Des âges K/Ar de 39 à 37 M.a. obtenus sur des andésites basiques des Torres placeraient le début de l'activité volcanique à la limite Eocène/Oligocène, mais des déterminations de microfaunes indiquent des âges maximum de 25-20 M.a. (Greenbaum *et al.*, 1975).

Cet ensemble est recouvert par des greywackes et des roches volcanoclastiques, et par une séquence pélagique et hémipélagique discordante, du Miocène supérieur - Plio-Pléistocène. Des calcaires récifaux constituent les dépôts sommitaux les plus récents (Carney et Macfarlane, 1982 ; Carney *et al.*, 1985).

B-3. LA CHAÎNE CENTRALE est le lieu du volcanisme récent à actuel. Elle compte plusieurs volcans actifs (Fig.I-5) : Tinakula, Vanua-Lava, Gaua dans les îles Banks ; Aoba ; Ambrym ; Lopevi ; Tanna ; Matthew-Hunter ; ainsi que quelques volcans sous-marins. L'âge de la partie émergée de la chaîne est estimé à moins de 5 M.a., sauf pour l'île d'Erromango dont le début de l'édification a été daté à 5,8 M.a. (Colley et Ash, 1971 ; Marcelot, 1980 ; Bellon *et al.*, 1984). On peut donc considérer que la chaîne centrale résulte du fonctionnement de la subduction dans sa forme actuelle. Le plan de Bénéioff, qui plonge à 70°, est une structure continue sur au moins 700 km de long, sans interruption au niveau de la zone d'arrivée en subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux, contrairement à la fosse qui est modifiée à ce niveau. La profondeur du plan de Bénéioff varie de 150-200 km sous Anatom à 250-300 km sous Vanua-Lava et Gaua (Pascal *et al.*, 1978). La plupart des centres volcaniques pléistocènes de la chaîne se situent dans une ceinture concave de 20 à 40 km de large à environ 130-150 km de la fosse, hormis les centres plus proches de Vaté (100 km) et des îles de Matthew-Hunter (75 km) (Daniel, 1982).

Le long de la chaîne plusieurs zones de lacunes de volcanisme émergé apparaissent, qui correspondent du Nord au Sud aux segments compris entre Vanikoro et Ureparapara, Gaua et Aoba, Vaté et Erromango, Anatom et Matthew (Fig.I-5 et 6) ; les deux segments extrêmes sont beaucoup plus importants, atteignant 200 km ou plus. La structuration de la chaîne centrale résulte essentiellement d'épisodes successifs de surrection. Ce phénomène de soulèvement est encore actif actuellement au niveau des terrasses coralliennes soulevées à Epi, Vaté, Tanna (Jouannic *et al.*, 1982).

*Principales directions des structures transverses au dispositif :*

Des structures transverses, d'orientations diverses, affectent l'arc en plusieurs endroits (Fig.I-6) :

- directions E-O au Nord de Vaté et au niveau de Mere Lava ; ces deux fractures encadrent ainsi la zone médiane de l'arc, correspondant à la région d'interaction de la ride d'Entrecasteaux avec l'arc. Ces directions sont à peu près symétriques par rapport à la ride d'Entrecasteaux. La zone de fracture Hazel Holme parallèle à cette direction se situe approximativement face à Mere Lava. Des structures parallèles sont décrites à Santo et Mallicolo. Elles affectent essentiellement les formations d'âge Miocène inférieur et moyen. Des signes d'extension tardive le long de ces structures se rattachent au phénomène de soulèvement quaternaire (Macfarlane *et al.*, 1988).

- directions NE-SO dans la zone Sud (Sud Erromango et Sud Anatom), et dans la zone centrale (au niveau de Lopevi, ZFE, et d'Aoba, ZFAB, Fig.I-6).
- directions NO-SE au Sud de Vaté (ZFV), et traversant l'île d'Ambrym (ZFAM) (Fig.I-6). Cette direction est également celle de l'alignement formé par l'île d'Ureparapara, les îlots d'Enwut et l'île de Mota Lava, ainsi que celle d'une faille qui décale les fossés dans cette région (Carney et Macfarlane, 1982).

**B-4. LA CEINTURE EST :** les îles Maewo et Pentecôte correspondent à la crête émergée d'une ride sous-marine en blocs faillés, passant au Nord à la zone de failles bordant les fossés arrière-arc (Ravenne *et al.*, 1976) ; la transition au Sud est moins nette à cause des dépôts des volcans d'Ambrym et Epi. Sur un socle de péridotites serpentinisées (traversées par des gabbros dont l'âge minimum est de  $35 \pm 2$  et  $28 \pm 6$  M.a., selon Mallick et Neef, 1974), repose un ensemble de roches volcaniques tholéitiques mio-pliocènes. La structuration de ces formations consiste en des blocs faillés (failles longitudinales parallèles ou transverses à la direction NNO-SSE des deux îles) et en une flexure de faible amplitude (direction axiale NO-SE à NE-SO) (Carney et Macfarlane, 1982).

**B-5. LA PROVINCE ARRIERE-ARC** ou province marginale des fossés est définie par des rifts sous-marins étroits : *les fossés du Jean Charcot au Nord et les fossés du Coriolis au Sud*, dont le volcanisme constitue l'objet de notre travail. Les fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides ont été découverts par De Chalvron *et al.* (1967) et Puech et Reichenfeld (1969). Tout d'abord appelés "bassins inter-arc en échelon" ou "fossés en extension", ils ont été par la suite qualifiés de bassins intra-arc (Mallick, 1973 ; Luyendick *et al.*, 1974). Les fossés Nord et Sud ont longtemps été considérés comme des structures équivalentes pouvant représenter des stades d'évolution différents, mais des données récentes sur les fossés Nord (Charvis *et al.*, sous presse ; Pelletier *et al.*, 1988) ont montré que leur morphologie est très différente de celle des fossés Sud.

- **Les fossés du Jean Charcot :** la carte bathymétrique (Fig.I-8) et la carte structurale établies par Charvis *et al.* (sous presse) à la suite des campagnes MULTIPSO (Avril 1987) et EVA 14 (Août 1987) apportent de nombreuses informations et illustrent la complexité de cette zone peu connue jusqu'alors. Les fossés Nord sont situés dans le prolongement des îles Banks, dans une région où la chaîne centrale de l'arc des Nouvelles-Hébrides n'est pas exprimée, du moins de façon émergée. Ils constituent une structure Nord-Sud, oblique par rapport à l'axe de la fosse (NNO-SSE) dans cette zone. Les fossés Nord correspondent à un ensemble de petits horsts (-1500 à -2000 m) et grabens (-3000 à -3500 m) N-S discontinus, étroits (5 à 20 km de large). Ils sont brusquement interrompus vers le Sud au niveau de la zone de fracture Hazel Holme, structure E-O du bassin Nord-Fidjien (B.N.F.). Les données de sismique-réflexion permettent de définir une épaisse série sédimentaire sur l'ensemble de la zone des fossés Nord (horsts et grabens), comprenant deux séquences. La séquence inférieure (0,5 à 1,2 std d'épaisseur), basculée dans les fossés et sur les horsts, est surmontée dans les grabens par une seconde séquence (0,2 à 0,3 std) discordante et en éventail. L'ensemble est recoupé par des intrusions volcaniques. D'autre part, les fossés du Nord et la zone de fracture Hazel Holme recoupent les linéations magnétiques N130°E, qui sont en continuité avec celles de la partie NW du bassin Nord-

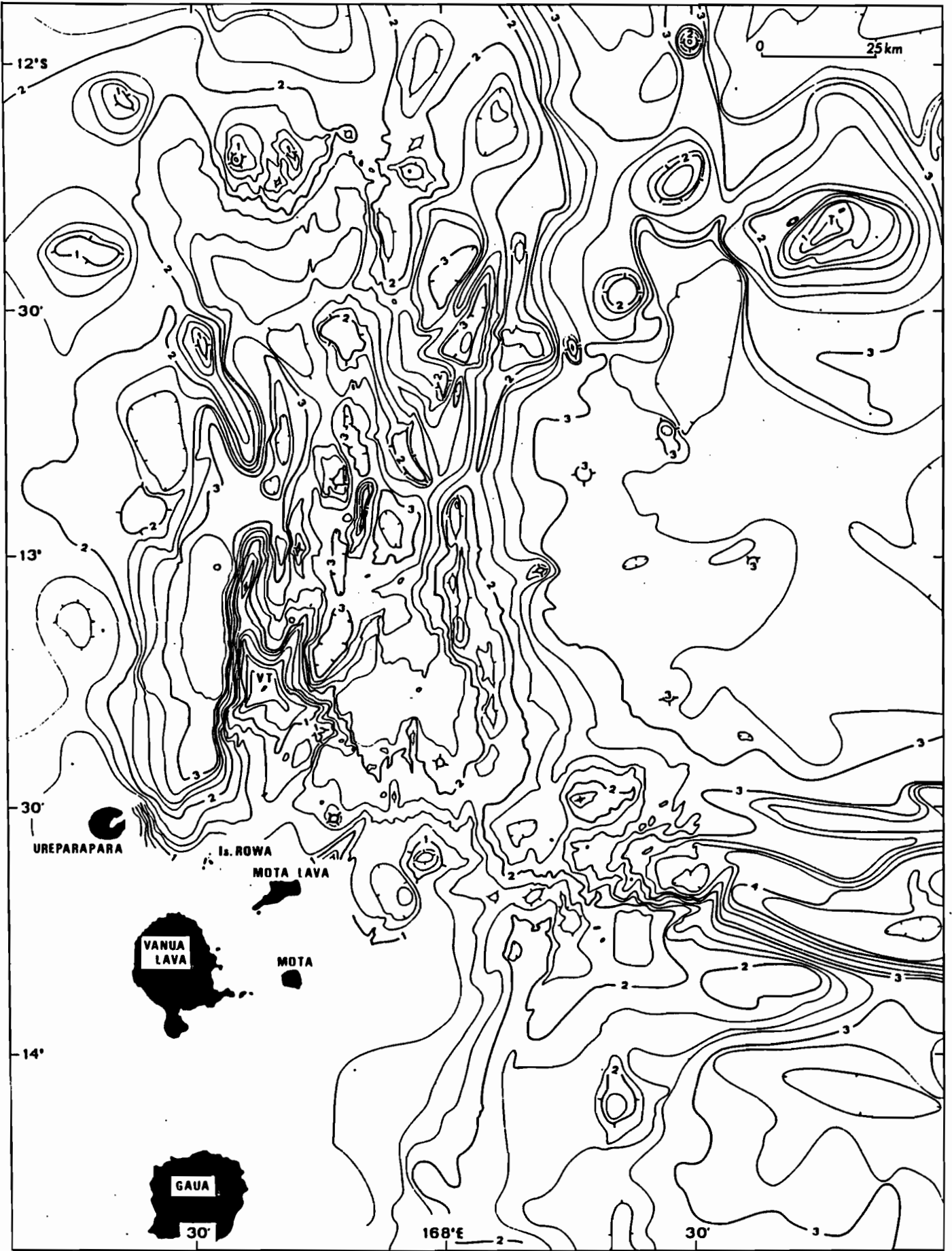


Figure I-8 : Carte bathymétrique de la région arrière-arc Nord des Nouvelles Hébrides, d'après Charvis *et al.* (sous presse).  
*Bathymetric map of the northern New Hebrides back-arc area after Charvis & al.(in press).*

Fidjien; Charvis *et al.* (sous presse) en déduisent que fossés et fracture Hazel Holme sont postérieurs aux linéations, et au vu de la faible épaisseur de la série sédimentaire impliquée dans les déformations, considèrent qu'ils sont récents. Enfin une forte anomalie magnétique positive dans le Nord des fossés suggère la présence d'un volcanisme important, comme en témoignent le nombre et l'importance des monts sous-marins reconnus dans cette zone (Charvis *et al.*, sous presse). Cette zone est également le siège d'un fort flux de chaleur (Yasui *et al.*, 1968 ; Mac Donald *et al.*, 1973). Charvis *et al.* (sous presse) concluent que les fossés Nord résultent d'une extension dominante N45°E (voisine de celle définie pour les fossés Sud), associée à un coulisage dextre.

- **Les fossés du Coriolis** correspondent à des grabens profonds (2000 à 3500 m) et relativement étroits (40 km), simples (au niveau d'Erromango et de Tanna) ou doubles (au niveau de Vaté) (Fig.I-9). Bien que sinueux et découpés par des failles transverses, ils sont globalement parallèles à la fosse et à l'axe de la chaîne centrale, dont leur flanc occidental est distant de 35 à 55 km. D'après les données de sismique-réflexion, le remplissage sédimentaire des fossés du Coriolis correspond à des séries peu épaisses, transparentes, reposant sur un socle de matériaux plus consolidés (Dubois *et al.*, 1975). Ces auteurs décrivent une anomalie magnétique en position centrale avec des anomalies symétriques plus larges en bordure des flancs. Les phénomènes tectoniques sont importants : des mouvements verticaux ont provoqué l'émersion des îles volcaniques Futuna et Aniwa ; des mouvements transversaux sont à l'origine de la forme sinueuse des fossés [série de failles décalant les fossés en échelon (Karig et Mammerickx, 1972), ou déformation moins cassante leur imprimant une allure sinueuse mais continue (Dubois *et al.*, 1975, 1978)]. Selon ces derniers auteurs, les fossés sont nés de mouvements tectoniques en tension provoqués par l'ascension de cellules de convection, au niveau de zones de faiblesse préexistantes. Enfin, Daniel (1982) décrit les fossés comme des zones effondrées dont la structure superficielle a été perturbée par des intrusions.
  
- **Comparaison des fossés Nord et des fossés Sud** : la taille et la structure des fossés du Jean Charcot les distinguent nettement des fossés du Coriolis (plus grands mais de structure plus simple), même si l'on peut supposer qu'ils résultent à l'origine d'un même phénomène d'extension. Les fossés arrière-arc représentent un trait morphologique majeur et original de l'arc des Nouvelles-Hébrides, leur absence dans la région centrale relevant sans doute d'autres phénomènes tectoniques (Daniel, 1982 ; Collot *et al.*, 1985). Cette région centrale est d'ailleurs marquée par la présence du bassin intra-arc d'Aoba (Fig.I-6) séparant les ceintures Est et Ouest (bassins Nord et Sud Aoba, à fort remplissage sédimentaire). Les fossés arrière-arc existent dans les sections Nord et Sud de l'arc de façon symétrique par rapport à la zone d'Entrecasteaux, qui joue sans doute un rôle dans la répartition géographique des fossés (Fig.I-10) sans être à l'origine directe de l'extension arrière-arc (Charvis *et al.*, sous presse).

En outre, les fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides présentent une taille relativement réduite (40 km de largeur maximale) et sont proches de l'axe volcanique actuel, comparativement au système arrière-arc des Mariannes (Karig, 1971).

C'est pourquoi nous considérons que ces fossés, bien que correspondant à des structures en extension en position arrière-arc, ne doivent pas être assimilés aux fossés arrière-arc classiques du type Mariannes, auxquels est rattaché un début d'ouverture océanique.

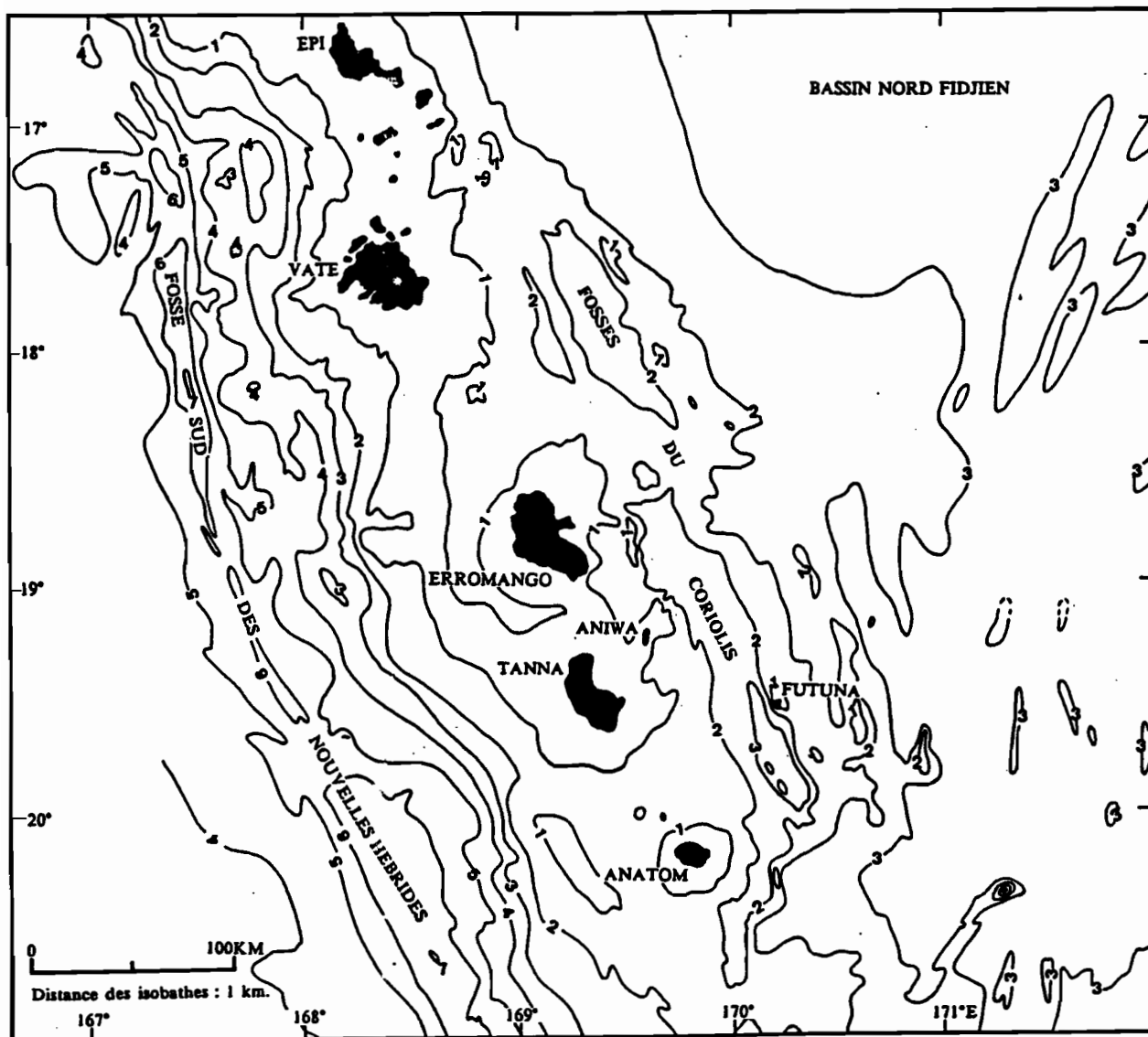


Figure I-9a : Carte bathymétrique de la région arrière-arc Sud des Nouvelles Hébrides, d'après Monzier *et al.*(1984).  
*Bathymetric map of the southern back arc area of New Hebrides after Monzier & al.(1984).*

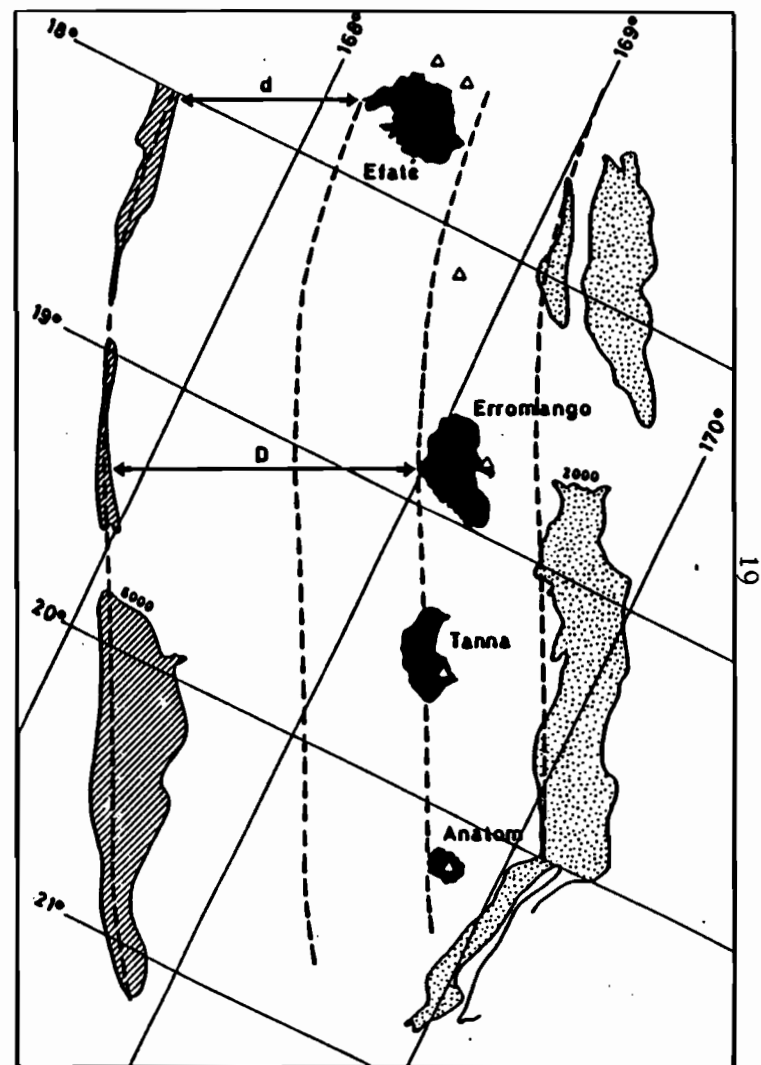


Figure I-9b : Schéma de la zone des fossés arrière-arc Sud des Nouvelles Hébrides, d'après Daniel (1982).  
*Sketch of the southern back arc area of New Hebrides after Daniel (1982).*

## C - HISTOIRE ET EVOLUTION DE L'ARC DES NOUVELLES-HEBRIDES

Cette reconstitution est inspirée des travaux de Mitchell et Warden (1971), Gorton (1974), Carney et Macfarlane (1982), Carney *et al.* (1985), Kroenke (1984), Macfarlane *et al.* (1988). Le tableau I-1 regroupe les informations principales.

### C-1. NATURE DES ROCHES DU COMPLEXE DE BASE

Sur les îles de la ceinture Est, des péridotites serpentinisées, associées à des amphibolites, gabbros et métalaves pourraient constituer une série ophiolitique partiellement préservée. Un âge à  $35 \pm 2$  M.a. sur les amphibolites (Mallick et Neef, 1974) semble indiquer que le volcanisme des Nouvelles-Hébrides repose sur une croûte océanique d'âge Oligocène inférieur, qui aurait pu se former pendant le hiatus volcanique des Tonga-Fidji.

### C-2. OLIGOCENE TERMINAL A MIOCENE INFERIEUR (25 - 14,4 M.A.)

C'est l'époque du fonctionnement d'un arc insulaire à l'origine de l'arc frontal actuel, avec la mise en place des séquences volcaniques de Santo-Mallicolo et des îles Torres, essentiellement constituées de brèches basaltiques et basaltes andésitiques, de paraconglomérats et de sables volcanogéniques. Mais les âges obtenus sur des andésites des Torres de  $39 \pm 5$  et  $36,7 \pm 1$  M.a. (Greenbaum *et al.*, 1975) sont antérieurs à l'Oligocène terminal ; ils pourraient être la preuve du fonctionnement dès cette période d'un système fosse-arc continu des Salomons aux Tonga, la fosse de Vitiaz. La fin du Miocène inférieur est marquée par l'intrusion de gabbros et microdiorites sur Santo ; le cycle effusif momentanément interrompu reprend ensuite jusqu'au Miocène moyen, l'activité étant toutefois plus modérée.

### C-3. MIOCENE MOYEN (14,4 - 11,3 M.A.)

La ceinture Ouest est l'objet d'un épisode d'intrusion de microdiorites (dans la péninsule de Cumberland à Santo), mises en place à la faveur de failles dextres et associées à la phase finale de volcanisme (andésites). Ensuite, se forment des grabens Nord-Sud, rapidement emplis de greywackes volcanogéniques. Le régime général des contraintes devient extensif et non plus compressif (Greene *et al.*, 1988). Dans la ceinture Est, se déposent des sédiments volcanogéniques fins à grossiers (séquence volcanogénique flyshoïde). A Maewo, les clastes de carbonates renferment des foraminifères de l'Eocène supérieur (Coleman, 1969) et du Miocène inférieur - Miocène moyen. Ces sédiments pourraient reposer directement sur les ophiolites soulevées de Pentecôte.

### C-4 - MIOCENE MOYEN TERMINAL A MIOCENE SUPERIEUR INITIAL (11,3 A 8 M.A.)

Cette période est celle du début de l'ouverture océanique du bassin Nord-Fidjien (Kroenke, 1984 ; Auzende *et al.*, 1988). La chaîne Ouest est surélevée et érodée. La ceinture Est enregistre une sédimentation d'eaux profondes.

| Ma |                                      | CEINTURE OUEST  | Chaîne centrale (et Santa Cruz)  | CEINTURE EST   | BASSINS ARRIÈRE-ARC  | AUTRES ÉVÉNEMENTS  |
|----|--------------------------------------|---|--|--|--|--|
| 2  | PLEISTOCÈNE<br>2 - 0 Ma              | Surrection avec brsculement vers l'Est  | Calcaires récifaux - volcans actifs<br>Développement principal de la chaîne avec alternance de cycles volcaniques avec des périodes de surrection et basculement | Surrection et basculement vers l'Ouest   | Importants mouvements verticaux donnant lieu à la formation de fossés étroits et sinueux | Formation de croûte océanique dans le bassin Nord-Fidjien<br>Rotation antihoraire des Nouvelles-Hébrides |
| 5  | PLIOCÈNE<br>5 - 2 Ma                 | Immersion totale  | Est-Ouest - Migration vers l'Est à 1,8 M.a.<br>Hiatus<br>Eruptions à Erromango et Vaté<br>Hiatus   | Volcanisme pyroclastique   | Premier volcanisme dans Fossés du Coriolis (et à Vot Tande)                              | Début de la collision de la ride d'Entre-casteaux possible   |
| 10 | MIOCÈNE<br>Supérieur<br>11,3 - 5 Ma  | Subsidence avec dépôts pélagiques   | premières éruptions datées à Erromango   | Maewo : dépôts d'argiles suivis de pillow-lava   |  |  |
| 15 | MIOCÈNE<br>Moyen                     | Surrection et érosion + séquence bréchique à Mallicolo comparable aux volcanites de Mitre (12, 7 M.a.)<br>Formation de grabens et remplissage<br>Intrusion de diorites et andésites le long de failles dextres = fin du volcanisme                        |  | Pentecôte : 2 cycles éruptifs (laves basiques à intermédiaire)<br>Sédimentation d'eaux profondes   |  | Contraintes = tension<br>Ouverture du bassin Nord Fidjien  |
| 20 | MIOCÈNE<br>Inférieur<br>25 - 14,4 Ma | Intrusion de gabbros, andésites et microdiorites, Sud Santo.<br><br>Arc insulaire (= arc frontal actuel)<br>Séquences volcaniques de Santo, Mallicolo et des Torres : brèches de basaltes et andésites basiques, paraconglomérats, sables volcanogéniques |  | Séquence volcanogénique flyshoïde contenant des clastes à faune éocène supérieur (existence d'une ride sous-marine à l'époque Eocène ?)  |  | contraintes = compression<br>arc inversé<br>volcanisme à Mitre<br>Réactivation de la zone de Vitiaz ?    |
| 25 |                                      |   | Volcanisme à Nendō (Eastern Outer Islands, Salomons) : tholéïtes d'arc insulaire   | Intrusion gabbroïque de Pentecôte  |  | Arrêt du volcanisme de l'arc de Vitiaz   |
| 30 | OLIGOCÈNE<br>39 - 25 Ma              | Volcanisme à Torres ? correspondant au fonctionnement d'un système continu des Salomons aux Tonga   |  | Série ophiolitique probable : péridotites, péridotites serpentinisées, amphibolites, gabbros et métalaves =? surrection de l'arc frontal lors de la formation de la zone de subduction de Vitiaz ? |  | intrusion à Viti-Levu<br>hiatus volcanique aux Tonga-Fidji   |
| 35 |                                      |   |  |  |  |  |

Tableau I-1 : Principaux événements de l'histoire de l'arc insulaire des Nouvelles Hébrides.

Main events of the history of the New Hebrides island arc.

#### C-5. MIOCENE TERMINAL (8 - 5 M.A.)

La subsidence de la ceinture Ouest aboutit à une immersion totale vers 5 M.a. L'accrétion océanique du bassin Nord-Fidjien, entraînant selon certains un changement de polarité de la subduction (Macfarlane *et al.*, 1988), provoque une modification de la sédimentation de la chaîne Est. A Maewo se déposent des argiles à foraminifères, précédant la mise en place d'une série de laves en coussins (picritiques, puis basaltiques à feldspaths). A Pentecôte, deux cycles éruptifs de laves basiques à intermédiaires sont décrits (Mallick et Neef, 1974).

#### C-6. PLIOCENE INFERIEUR (5 - 3 M.A.)

Le volcanisme de la ceinture Est devient nettement pyroclastique et s'achève vers 4-3 M.a. Carney et Macfarlane (1982) et Macfarlane *et al.* (1988) attribuent cette cessation d'activité à l'arrivée en subduction de la ride d'Entrecasteaux. Les premières émissions volcaniques probables de la chaîne centrale sont enregistrées à Erromango (Bellon *et al.*, 1984), puis à Vot Tande (Ash *et al.*, 1980), ainsi que dans les fossés du Coriolis (Dugas *et al.*, 1976). Les deux hiatus observés dans le volcanisme de la chaîne centrale (5,3 à 4,1 M.a. et 3,4 à 2,6 M.a.), semblent correspondre à deux stades de surrection dans les ceintures Ouest et Est, avec individualisation des horsts conduisant à la mise à l'affleurement du complexe de base à Maewo (Macfarlane *et al.*, 1988).

#### C-7. PLIOCENE TERMINAL A ACTUEL (3 - 0 M.A.)

C'est une période de surrection des ceintures Ouest (avec basculement vers l'Est) et Est (avec basculement vers l'Ouest). La zone arrière-arc connaît aussi d'importants mouvements verticaux aboutissant à la formation du système de fossés étroits et sinueux, tandis qu'une activité volcanique se développe sur les îles de Vot Tande et Futuna.

La chaîne centrale se développe principalement à cette époque récente, au cours de cycles volcaniques successifs. Le volcanisme semble donc contemporain et continu entre la chaîne centrale et la zone arrière-arc (Vot Tande, Futuna), avant le Pléistocène inférieur.

Actuellement plusieurs centres volcaniques demeurent actifs et des mouvements de soulèvement affectent particulièrement la zone centrale de l'arc (terrasses coralliennes soulevées de Santo et Mallicolo).

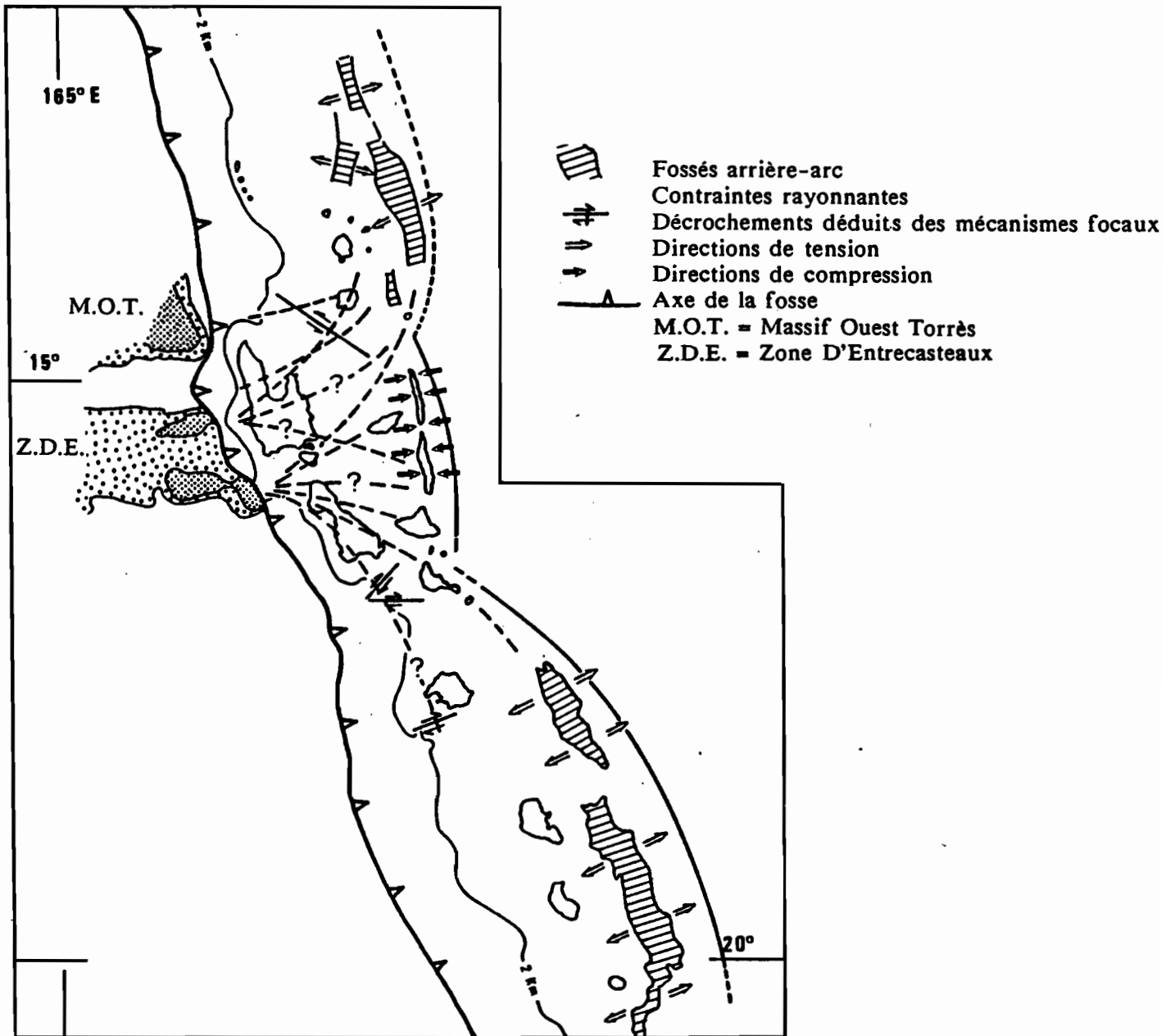


Figure I-10 : Schéma des directions de contraintes le long de l'arc. Modèle proposé par Collot *et al.* (1985).  
 Stress field along the New Hebrides island arc; model from Collot & *al.*(1985).

## C-8. CONCLUSIONS

La subduction aux Nouvelles-Hébrides semble du type "Mariannes" (Daniel *et al.*, 1982) et paraît témoigner d'un *stade juvénile d'arc insulaire*. En outre l'arc des Nouvelles-Hébrides est marqué par des caractères qui lui sont spécifiques : *inversion de l'orientation de la subduction par rapport à l'ensemble des arcs du Pacifique Ouest, subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux*. La configuration classique de l'arc intraocéanique est perturbée au niveau de la zone centrale, ce qui amène à subdiviser l'arc en trois régions :

- > la zone Nord (îles Santa-Cruz et îles Banks).
- > la zone centrale (autour des bassins intra-arc d'Aoba).
- > la zone Sud (au Sud de Vaté).

La zone centrale subit dans son ensemble des déformations compressives (Fig.I-10) (Collot *et al.*, 1985) : surrection des ceintures Ouest et Est, grandes fractures rayonnantes, déformations plicatives sur la bordure Est du bassin d'Aoba, et jusqu'en pied de pente au niveau de la transition avec le bassin Nord-Fidjien. Selon Macfarlane *et al.* (1988), la collision de la ride, débutant vers 4-3 M.a., serait à l'origine de la cessation du volcanisme dans la ceinture Est et d'une migration des centres éruptifs au Nord et au Sud.

### III - PRESENTATION DE LA CAMPAGNE SEAPSO 2 ET ECHANTILLONNAGE DES FOSSES

#### A - PRESENTATION DE LA CAMPAGNE SEAPSO 2

Comme nous l'avons précisé en introduction, le leg 2 de la campagne SEAPSO, qui s'est déroulé du 10 au 30 Novembre 1985 de Port Vila à Port Vila, a été essentiellement consacré à l'étude de la zone arrière-arc des Nouvelles-Hébrides.

##### A-1. ETAT DES CONNAISSANCES AVANT LA CAMPAGNE

Les fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides, présents au Nord de l'arc, entre 11° et 14°30S, et au Sud de celui-ci, entre 17°30 et 20°30S, ont été découverts en 1966 au cours des campagnes du N.O. Coriolis. Les fossés du Sud ont été appelés fossés du Coriolis, et, par la suite, les fossés du Nord ont été dénommés fossés du Jean Charcot.

\* La morphologie des *fossés du Coriolis* a été étudiée pendant les campagnes EVA (Daniel, 1978, 1982 ; Monzier *et al.*, 1984). Leur formation semble résulter d'une tectonique en extension (Dubois *et al.*, 1975 ; Ravenne *et al.*, 1976). Le remplissage sédimentaire, parfois assez important, plus ou moins bien lité, reposerait sur un substratum tectonisé (Daniel, 1982).

\* Les *fossés du Jean Charcot* sont moins bien connus. Ils pourraient être dépourvus de remplissages sédimentaires réguliers.

Les fossés du Coriolis et les fossés du Jean Charcot pourraient donc représenter deux stades d'évolution différents.

Le but du leg 2, selon cet état de connaissance, était, d'une part, l'analyse des contraintes tectoniques présentes à l'arrière de l'arc au niveau des Nouvelles-Hébrides centrales, et, d'autre part, l'étude des secteurs représentatifs des fossés arrière-arc, par des levés géophysiques détaillés et un échantillonnage par dragages. Postérieurement à la campagne SEAPSO, plusieurs missions ont été programmées par l'ORSTOM dans la zone des fossés. Au cours de la campagne EVA 13 en Août 1986 des profils de sismique réfraction ont été réalisés, mais ne sont pas encore interprétés. En 1987, les campagnes de bathymétrie seabeam (MULTIPSO) et de bathymétrie classique et sismique monotrAce (EVA 14) ont permis d'augmenter les connaissances sur les fossés du Jean Charcot, du point de vue bathymétrique, structural et géophysique, notamment en ce qui concerne le magnétisme (Pelletier *et al.*, 1988 ; Charvis *et al.*, sous presse). Nous intégrerons ces données à la présentation des fossés du Jean Charcot.

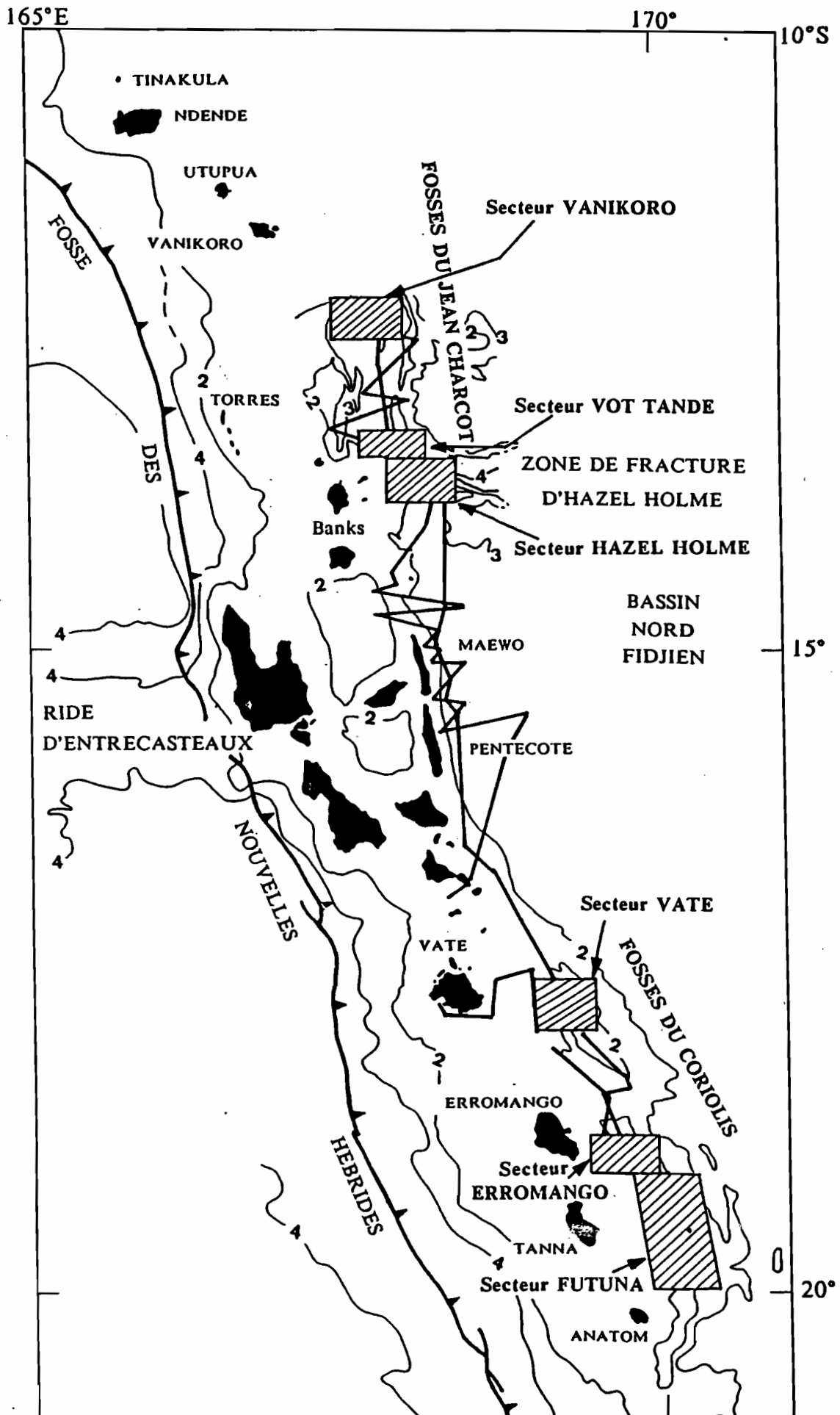


Figure I-11 : Plan de la campagne SEAPSO 2 : trajet effectué et secteurs étudiés.  
*Studied areas (hachured) and reconnaissance tracks realized during the SEAPSO leg II cruise.*

## A-2. DEROULEMENT DE LA CAMPAGNE

La campagne a été organisée en fonction de deux objectifs qui étaient de combler le manque d'information existant sur les régions centrale et septentrionale de l'arrière-arc et d'effectuer des levés plus détaillés de quelques zones préférentielles du domaine des fossés Nord et Sud.

De fait, le leg 2 a comporté trois parties qui sont :

- des levés de grande reconnaissance sur l'arrière-arc des Nouvelles-Hébrides centrales (Maewo-Pentecôte) ;
- l'étude de la zone arrière-arc Nord réalisée en deux temps, tout d'abord une reconnaissance préliminaire, puis une étude détaillée de trois secteurs, Vanikoro, Vot Tande et Hazel Holme (fig.I-11) (la bathymétrie de la figure I-8 n'était pas alors établie) ;
- l'étude de la zone arrière-arc Sud, à la suite d'un transit Hazel Holme - Futuna, basée essentiellement sur l'analyse de trois secteurs, Futuna, Erromango et Vaté (fig.I-11).

Dans chacun des secteurs ont été effectués des levés bathymétriques précis (séries de profils seabeam parallèles, complétés par quelques uns transverses), et des levés géophysiques (sismique-réflexion monotrace pour la partie Nord, magnétisme et gravimétrie). Enfin trente et un dragages ont été réalisés au niveau de six secteurs, en utilisant la cartographie seabeam préalable pour un meilleur positionnement. Notre travail porte plus particulièrement sur l'exploitation des résultats de ces dragages situés dans les zones de fossés arrière-arc Nord et Sud et ne concerne pas les données acquises dans la région centrale.

## A-3. RESULTATS GENERAUX - CADRE BATHYMETRIQUE ET STRUCTURAL DES DRAGAGES

Ces résultats constituent l'aboutissement des travaux préliminaires d'interprétation des données réalisés par l'ensemble de l'équipe scientifique qui a participé à la campagne SEAPSO 2 et de travaux ultérieurs sur la structure de la zone des fossés menés par P.Charvis (ORSTOM, Villefranche), B.Pelletier (ORSTOM, Nouméa) et E.Ruellan (CNRS, Nice). Nous avons donc utilisé l'ensemble de ces travaux pour réaliser cette présentation.

### a/ Zone Nord

#### 1. Le fossé de Vanikoro ou fossé Nord

Il est situé en arrière du bassin de Vanikoro, qui sépare les îles Torres de l'île de Vanikoro, à l'Est d'une zone où n'affleure aucun volcan sur plus de 200 km, entre Vot Tande et Vanikoro. Le profil AUSTRADDEC 409 (campagne AUSTRADDEC 4, 1975) passant au niveau du secteur étudié montre un massif sous-marin marqué par une forte anomalie magnétique. Le secteur étudié du fossé de Vanikoro occupe en fait la partie terminale septentrionale des fossés du Jean Charcot (Charvis *et al.*, sous presse ; Pelletier *et al.*, 1988) (fig.I-8).

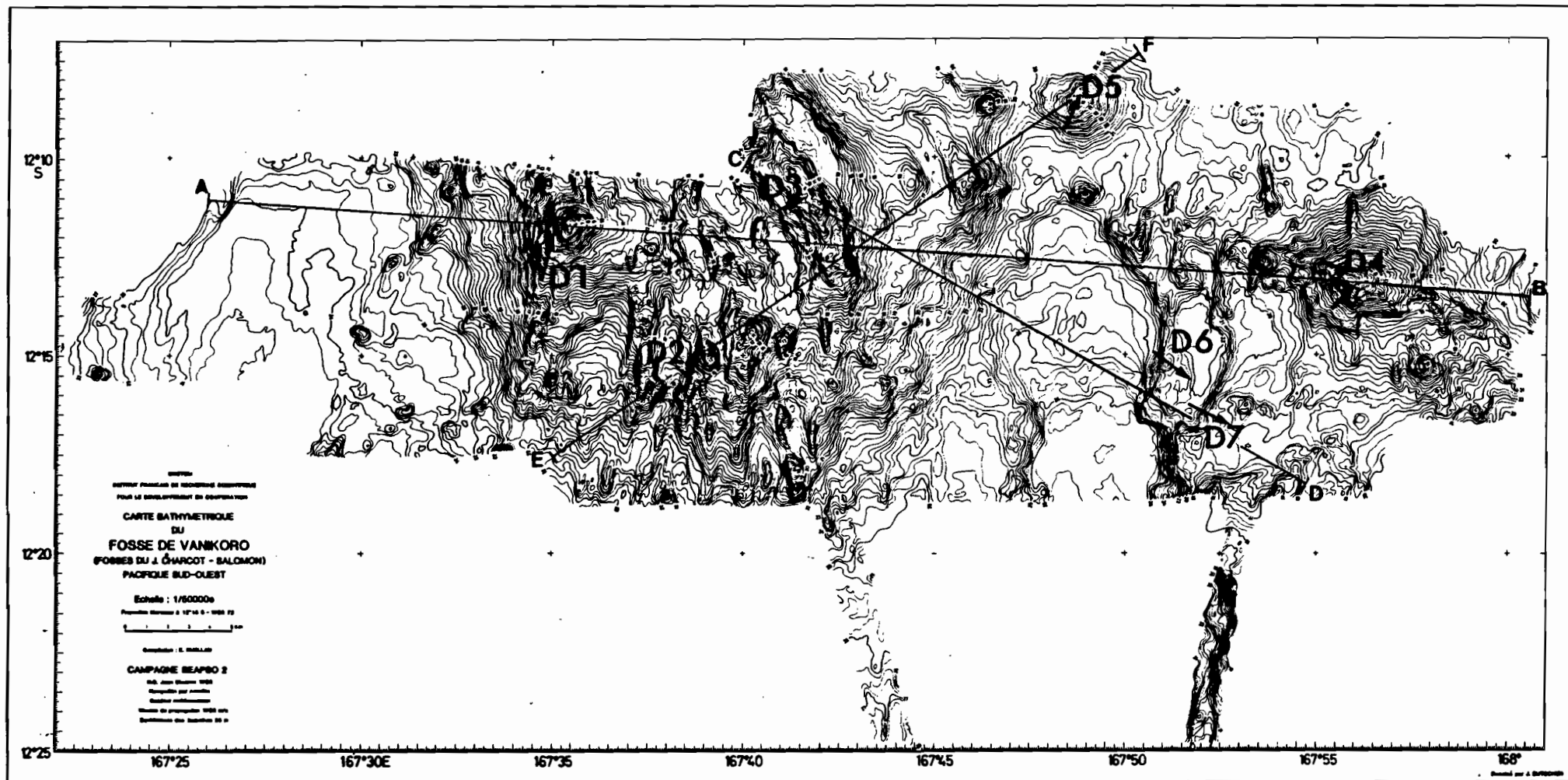
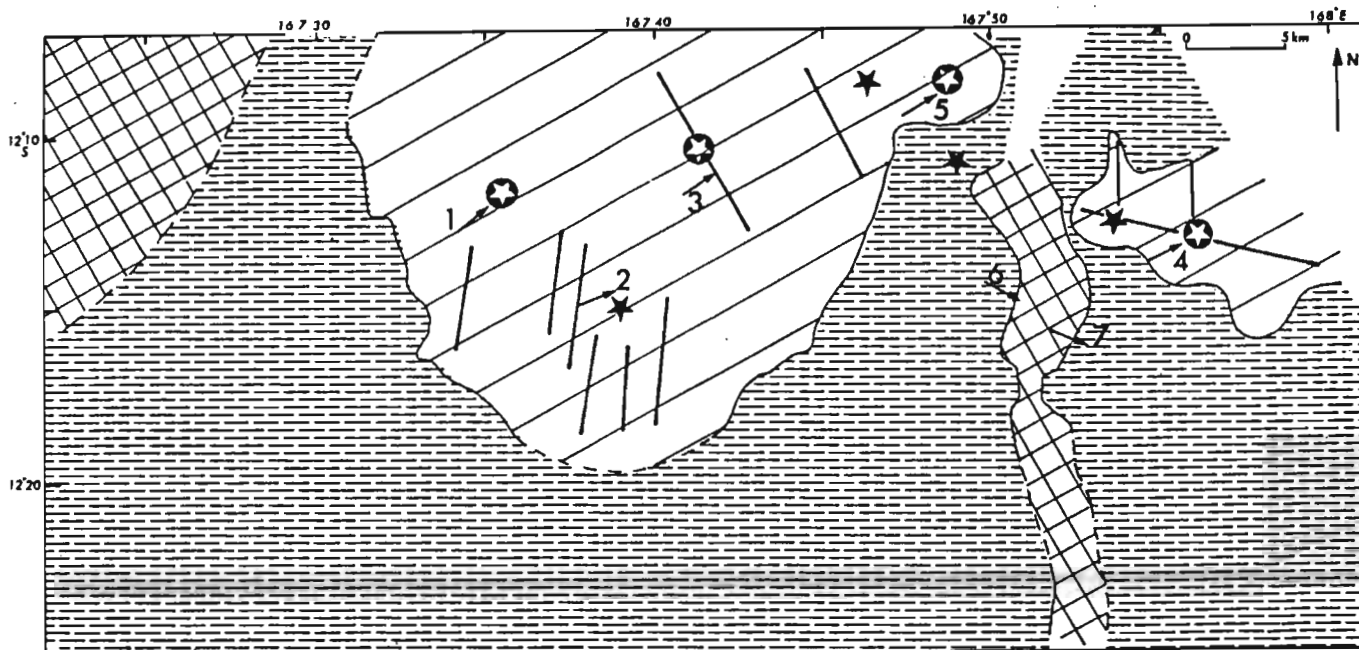


Figure I-12a : Carte bathymétrique du fossé de Vanikoro avec la position des dragages SPS2 D1 à D7 et la localisation des coupes de la figure I-12c.  
*Bathymetric map of Vanikoro trough with location of dredgings SPS2 D1 to D7 and sections of figure 12c.*



- Edifice volcanique
- Flanc du fossé
- Fond plat du fossé ou replat du flanc à l'Est
- Sommet de cône volcanique principal
- Sommet de cône volcanique secondaire
- Faille normale
- Dragage

Figure I-12 b : Schéma morphostructural du fossé de Vanikoro.  
*Morphostructural sketch of Vanikoro trough.*

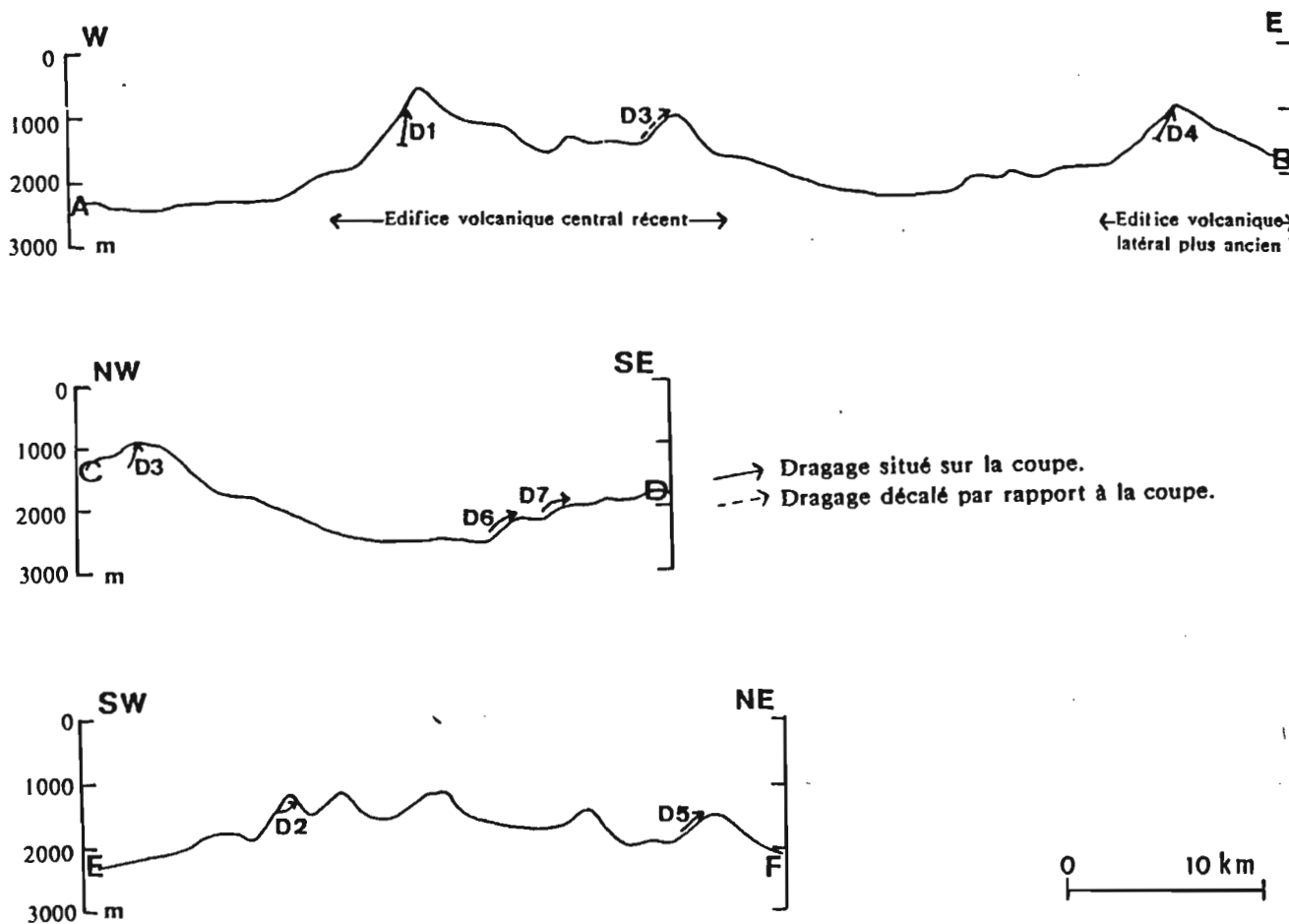


Figure I-12c : Coupes bathymétriques du fossé de Vanikoro, (exagération verticale : 3,25) et localisation des dragages.  
*Bathymetric cross sections of Vanikoro trough (vertical exaggeration : 3.25) and location of dredgings.*

**Morphostructure** : Le fossé de Vanikoro présente une structure générale de graben orienté N-S, oblitéré en partie par un édifice volcanique majeur, de part et d'autre duquel subsistent deux petites dépressions (fig.I-12a,b). Ces deux petits bassins à fond plat, d'orientation subméridienne, profonds de 2500 à 2600 m, sont comblés par des formations volcanosédimentaires ou sédimentaires. L'escarpement Est du bassin oriental (fig.I-12a,b) est affecté par des failles normales N10°-15°E, N30°E et N160°E.

L'édifice volcanique majeur de 30 km de diamètre est supposé se prolonger au Nord de la zone cartographiée. Il est formé de petits volcans juxtaposés (fig.I-12a,c) en cônes principaux (dragages D1 et D3), adventifs (dragage D2) ou latéraux (dragage D5). Le point culminant atteint -600 m (D1). Des directions structurales apparaissent, qui correspondent à des failles normales N-S à N10°E et N150°E, marquées par de petits effondrements (fig.I-12a,b). La forme juvénile de cet édifice nous fait considérer qu'il s'agit d'une structure récente, surimposée à la structure générale de graben, et tectonisée selon des directions identiques à celles affectant les flancs du graben.

A l'Est du bassin oriental, se trouve un autre édifice volcanique plus petit (fig. ), de 11 km de diamètre, atteignant -1000 m à son sommet (dragage D4), et flanqué de cônes adventifs (fig.I-12a). On retrouve au niveau de cet édifice les directions structurales N-S à N10°E mais aussi une direction N110°-120°E, correspondant à l'alignement des cônes volcaniques reconnus.

**Localisation des dragages (fig.I-12a-b-c)** : Les dragages ont porté sur les édifices volcaniques, majeur (D1, D2, D3 et D5) et oriental (D4) ainsi que sur le flanc oriental du fossé (D6, D7). Le dragage D5 est particulier par la position excentrée de ce cône, dans l'alignement du bassin oriental. Cette zone révèle donc la présence d'un édifice volcanique sous-marin important, sans doute récent, qui se situe dans le prolongement, d'une part, de la ligne Ouest des îles Santa-Cruz (Tinakula, Nendö, Ureparapara et Vanikoro) (fig.I-6), d'autre part, des îles Banks. Il semble donc se trouver à l'intersection de deux segments d'arc possibles, tous deux obliques par rapport à la géométrie actuelle de la subduction (Récy *et al.*, 1986). L'obliquité est plus marquée dans le premier cas.

## 2. Le fossé de Vot Tande

Le fossé de Vot Tande est situé à l'Est de l'île du même nom, en position terminale méridionale de la zone des fossés du Jean Charcot, de façon à peu près symétrique au fossé de Vanikoro au Nord (fig.I-8).

**Morphostructure** : Le fossé de Vot Tande est un graben d'axe N-S à N10°E, large de 28 km, profond de 2200 à 2500 m (fig.I-13a). Il est limité par des failles normales N-S et N40°E, l'escarpement par paliers étant plus prononcé à l'Ouest qu'à l'Est (coupe A-B, fig.I-13c). La partie médiane du fossé est soulignée par une ride longitudinale (dragage D11), culminant à -1600 m de profondeur, interprétée comme un horst plus ou moins faillé (Récy *et al.*, 1986) ; cette ride s'interrompt brutalement à 13°19' (fig.I-13a,b), pour être relayée par une légère dépression. Un cône latéral (dragages D8 et D10) existe à l'Est de la ride.

Le remplissage du fossé de Vot Tande est constitué par un ensemble lité de nature probablement volcanosédimentaire, perturbé par des injections volcaniques et/ou des phénomènes tectoniques récents. Les données complémentaires obtenues par des profils de sismique-réflexion multitraces (campagne MULTIPSO, 1987) montrent clairement des intrusions volcaniques dans la couverture sédimentaire.

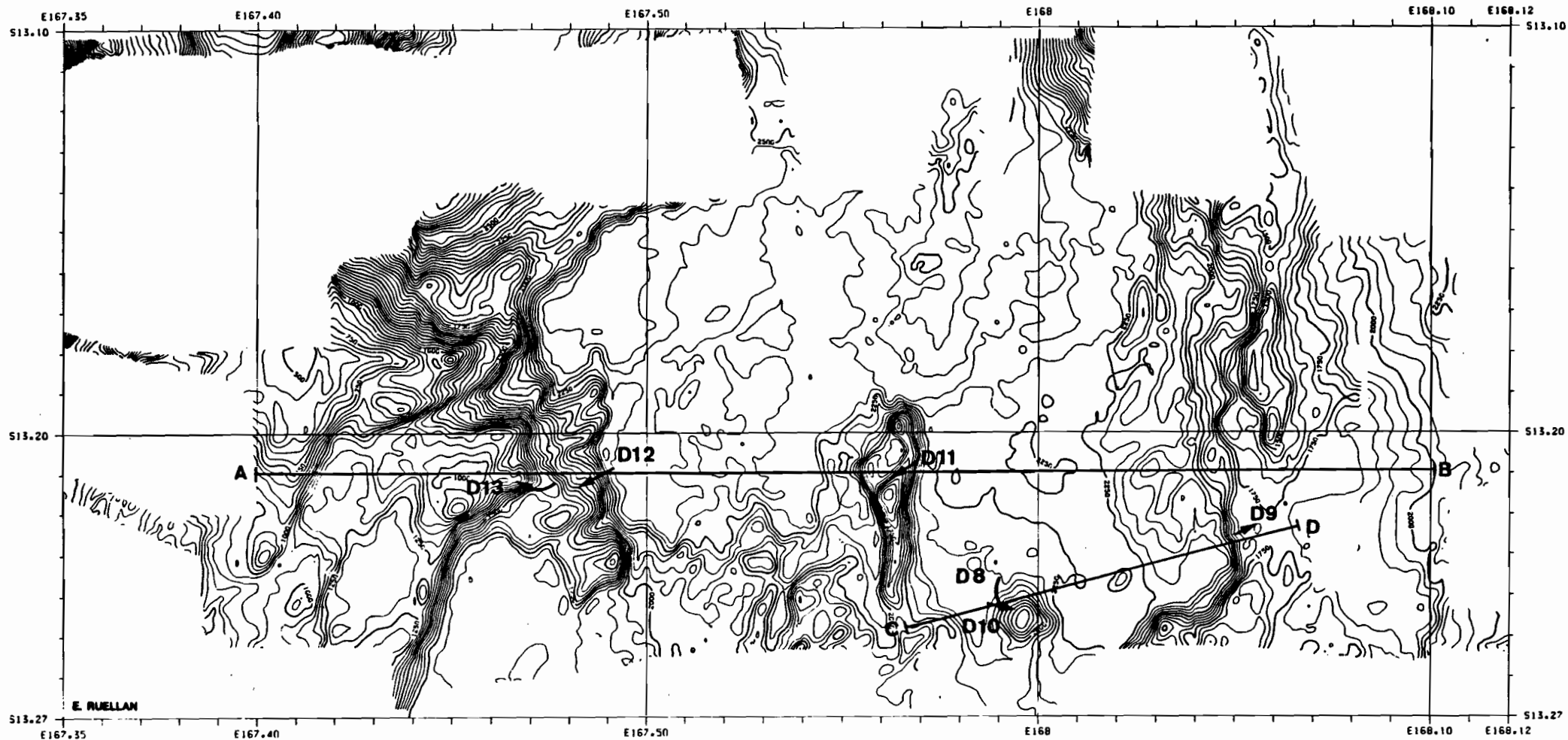
Les anomalies magnétiques définies au fond du bassin sont orientées N130°E. Cette direction n'est pas déterminée sur les flancs. Mais elle correspond à la direction des linéations magnétiques reconnues dans l'ouest du bassin Nord-Fidjien et se retrouve sur l'ensemble de la zone des fossés du Jean Charcot et de la zone de fracture Hazel Holme (Charvis *et al.*, sous presse). Ces anomalies peuvent donc être antérieures à la formation des fossés.

**Localisation des dragages (Fig.I-13a,c) :** Les échantillons dragués dans ce secteur proviennent des flancs de fossé, oriental (D9) et occidental (D12, D13), de la ride médiane (D11) et du cône adjacent (D8, D10). Le fossé de Vot Tande pourrait consister en un graben ayant subi une distension se traduisant par une importante fracturation, qui favorise la mise en place d'un volcanisme axial. Cette structure semble jeune ou récemment modifiée par des phénomènes tectoniques. L'extension serait orientée N40°E, selon une direction qui apparaît clairement sur les flancs des fossés (Récy *et al.*, 1986).

### 3. La zone de fracture Hazel Holme

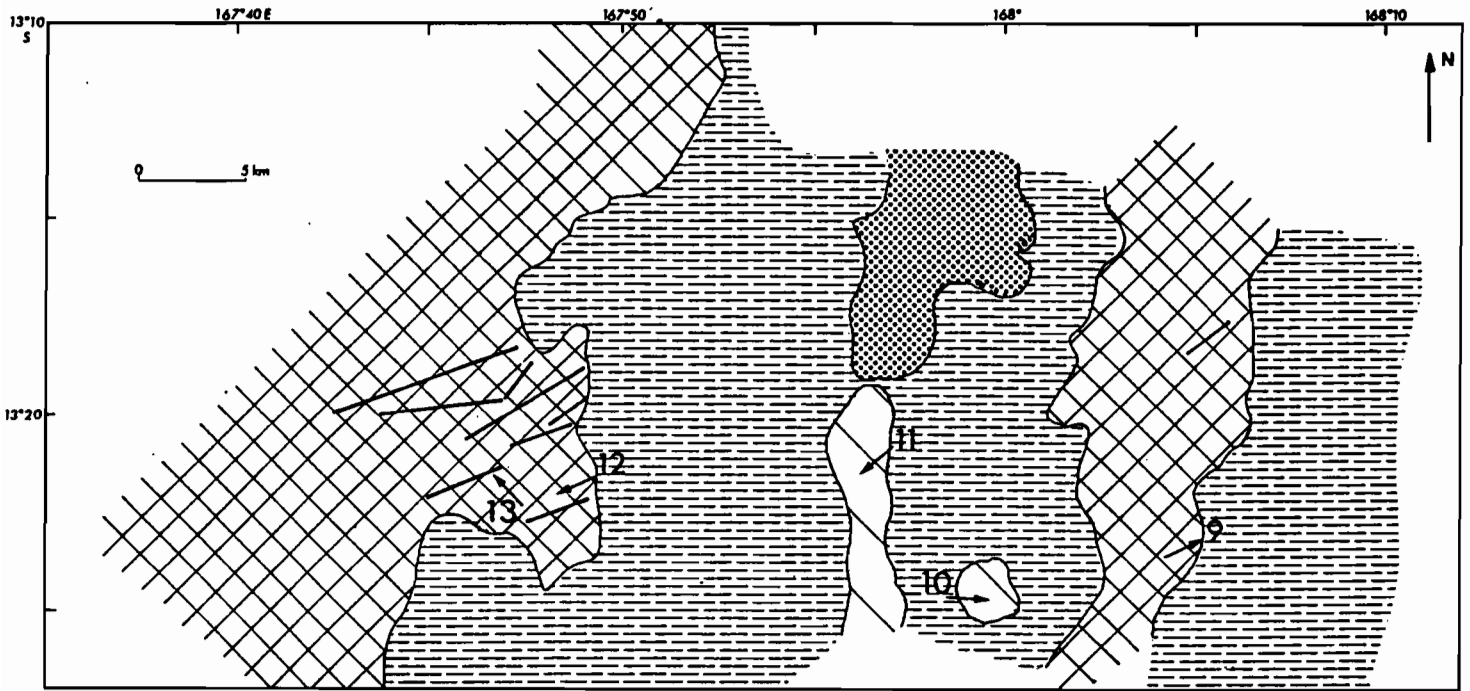
La zone de fracture Hazel Holme est une structure majeure, globalement orientée E-O, du bassin Nord-Fidjien. Chase (1971) la considère comme une faille transformante active liée aux axes d'expansion actuels du BNF. Certains auteurs (Luyendick *et al.*, 1974) ont aussi proposé qu'elle ait scindé l'arc lui-même en deux, avec un mouvement dextre entre les zones Torres-Salomon et Santo-Mallicolo. Les variations dans la morphologie et les directions observées d'Ouest en Est le long de cette structure pourraient signifier qu'elle soit composée de plusieurs secteurs (Luyendick *et al.*, 1974 ; Katz, 1988). De direction ENE-OSO dans sa partie Est elle devient ONO-ESE à 171°E puis N100°E au niveau de sa terminaison Ouest (Fig.I-14). Elle se termine à l'Ouest, au niveau des Nouvelles-Hébrides, dans une zone charnière, à la frontière de deux domaines, un domaine Nord où les fossés sont bien formés et un domaine Sud (jusqu'à l'île de Maewo) où les processus d'extension sont moins nets. Le secteur étudié au cours de la campagne SEAPSO 2 correspond en fait à la terminaison occidentale de la zone de fracture Hazel Holme et au passage aux fossés du Jean Charcot, à l'Est des îles Banks du Nord, dans le prolongement Sud et Sud-Est du secteur de Vot Tande (Fig.I-11). Cette zone d'étude a été choisie afin de préciser les modalités de la terminaison occidentale de la zone de fracture Hazel Holme au niveau de la zone arrière-arc des Nouvelles-Hébrides et ses relations avec l'arc dans son ensemble. La couverture seabeam est d'environ 40 %.

**Morphostructure :** La terminaison occidentale de la zone de fracture Hazel Holme (Fig.I-14) est une zone de topographie irrégulière, large de 60 km où se succèdent rides et grabens orientés N90°-100°E (Charvis *et al.*, sous presse). Le graben le plus profond (-4500 m), au centre de la structure, est limité par des escarpements atteignant -2000 à -2500 m sur le flanc Sud. Vers l'Ouest la structure en graben s'atténue pour passer à une région plus complexe, marquée par des structures N40°-45°E correspondant à des rides parallèles serrées (Fig.I-14). Ces directions N40°-45°E pourraient résulter de mouvements cisailants senestres associés à une composante compressive (rapport de bord de SEAPSO2, 1985). Le basculement du sommet de la série sédimentaire témoigne d'une tectonique récente et active. Les



|   |            |
|---|------------|
| <b>IFREMER</b>                            |            |
| ECH : 1/100000 A S13 20                   | D.I.T./D.G |
| PROJECTION - MERCATOR                     |            |
| PAS . 1,5 MM - NARC . 3 - INTER . 15      |            |
| ISOBATNES - 50 METRES                     |            |
| MATRASSES - 250 METRES                    |            |
| FOSSE DE VOT TANDE - SEAPSO 2 ET MULTIPSO |            |

Figure I-13a : Carte bathymétrique du fossé de Vot Tande avec la position des dragages SPS2 D8 à D13 et la localisation des coupes de la figure I-13c.  
*Bathymetric map of Vot Tande trough with location of dredgings SPS2 D8 to D13 and sections of figure I-13c.*









-  Edifice volcanique (cône ou petite ride)
-  Flanc du fossé
-  Fond plat du fossé  
ou replat du flanc à l'Est
-  Dépression au fond du fossé
-  Faille normale
-  Dragage

Figure I-13b : Schéma morphostructural du fossé de Vot Tande.  
*Morphostructural sketch of Vot Tande trough.*

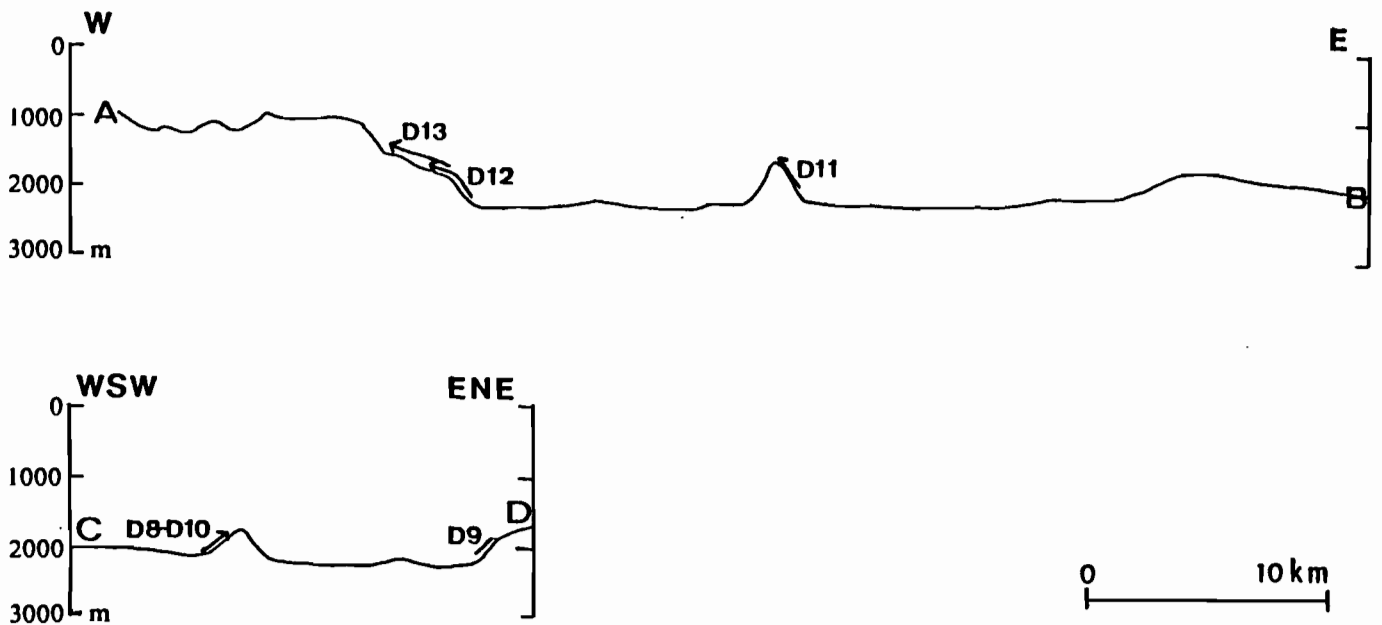


Figure I-13c : Coupes bathymétriques du fossé de Vot tande (exagération verticale : 3)  
et localisation des dragages.  
*Bathymetric cross sections of Vot Tande trough (vertical exaggeration : 3) and  
location of dredgings.*

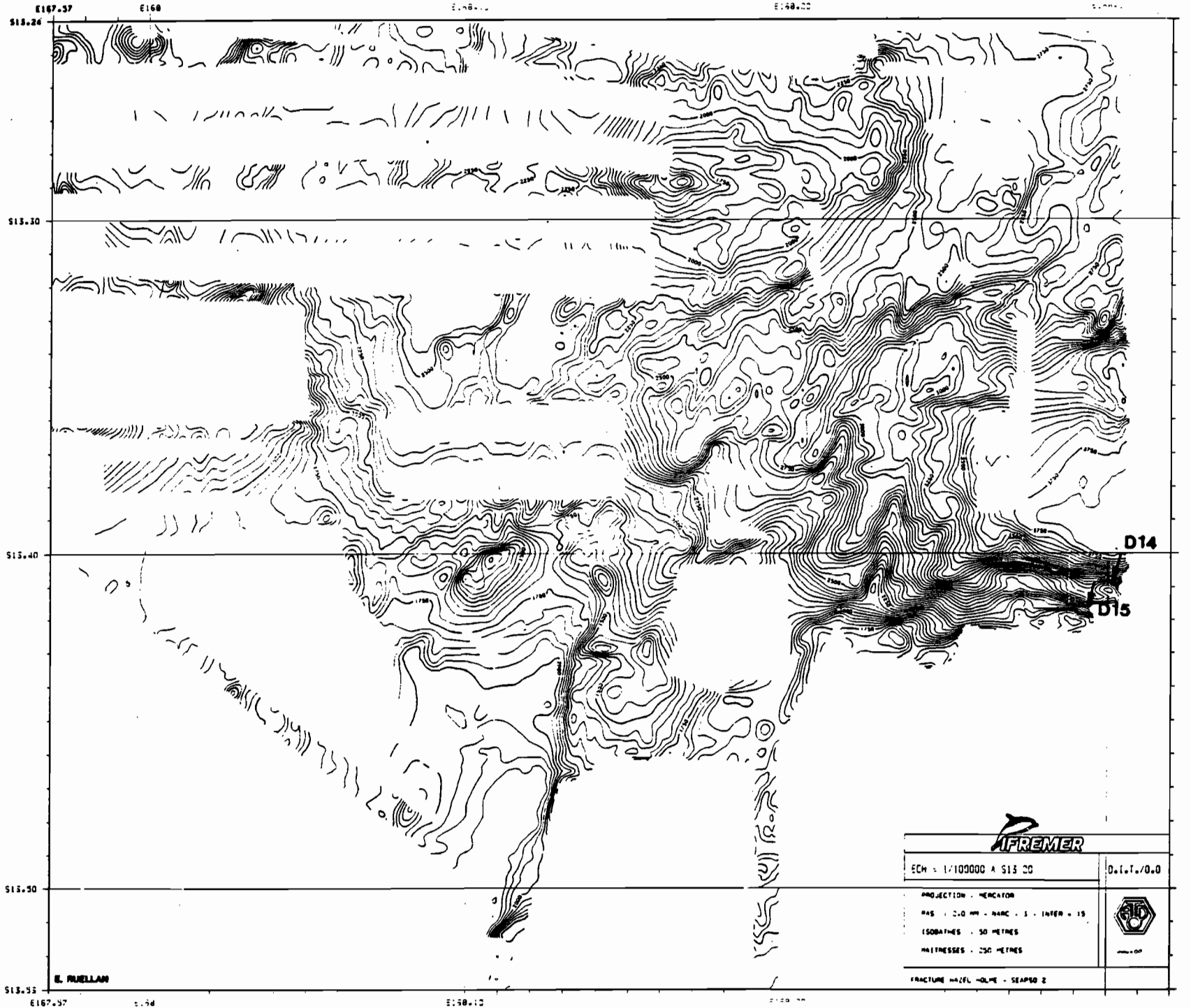


Figure I.14 : Carte bathymétrique de la zone d'Hazel Holme et position des dragages SPS2 D14 -D15.  
 Bathymetric map of Hazel Holme area with location of dredgings SPS2 D14 and D15.

anomalies magnétiques définies dans cette zone (Charvis *et al.*, sous presse ; Pelletier *et al.*, 1988) (figs.I-8, I-14), orientées N130°-135°E sont obliques par rapport à l'axe de la zone de fracture, qui semble donc, comme les fossés, surimposée à ces anciennes directions N130°-135°E. Toutefois, entre 168° et 168°30', les anomalies prennent une direction N100°E, le long d'un couloir limité par des failles NNE-SSO, parallèles aux linéations cartographiées dans le secteur Hazel Holme. Ceci confirme donc l'hypothèse d'un cisaillement senestre, localisé à la jonction de la zone des fossés et de la zone de fracture Hazel Holme, sans doute lié au régime régional d'extension selon Charvis *et al.* (sous presse).

Localisation des dragages (Fig.I-14) : Le flanc Sud de la zone de fracture Hazel Holme a fait l'objet de dragages (D14 et D15), à son extrême terminaison occidentale.

#### 4. Conclusions

Plusieurs points importants se dégagent de l'ensemble du domaine Nord, fossés et zone de fracture Hazel Holme. On observe diverses directions structurales :

- la direction NS-N10°E correspond à l'axe général des fossés ;
- la direction N40°-45°E est celle de failles normales affectant les flancs du fossé de Vot Tande et celle de linéations dans la zone de transition entre les fossés et la zone de fracture Hazel Holme ;
- la direction N130°-135°E des anomalies magnétiques se retrouve sur l'ensemble de la zone et sur la croûte ancienne du bassin Nord-Fidjien.

Dans les fossés, le volcanisme semble bien développé au niveau d'édifices ou cônes volcaniques de tailles variées. Les déformations de la série sédimentaire attestent d'une activité tectonique récente ou encore active. Les relations structurales et géométriques entre les fossés et la zone de fracture Hazel Holme suggèrent que ces deux structures sont liées (Charvis *et al.*, sous presse). Leur surimposition par rapport aux linéations magnétiques de la croûte ancienne du BNF situe leur formation postérieurement à la première phase d'ouverture du bassin Nord-Fidjien entre 12 et 7 M.a. (Pelletier *et al.*, 1988). Toutefois la zone de fracture Hazel Holme pourrait être plus ancienne que les fossés et avoir joué à la faveur de la phase d'extension orientée N45°E, qui est à l'origine des fossés (Charvis *et al.*, sous presse). La datation des produits volcaniques des cônes volcaniques permettra d'établir un âge minimum de la formation des fossés.

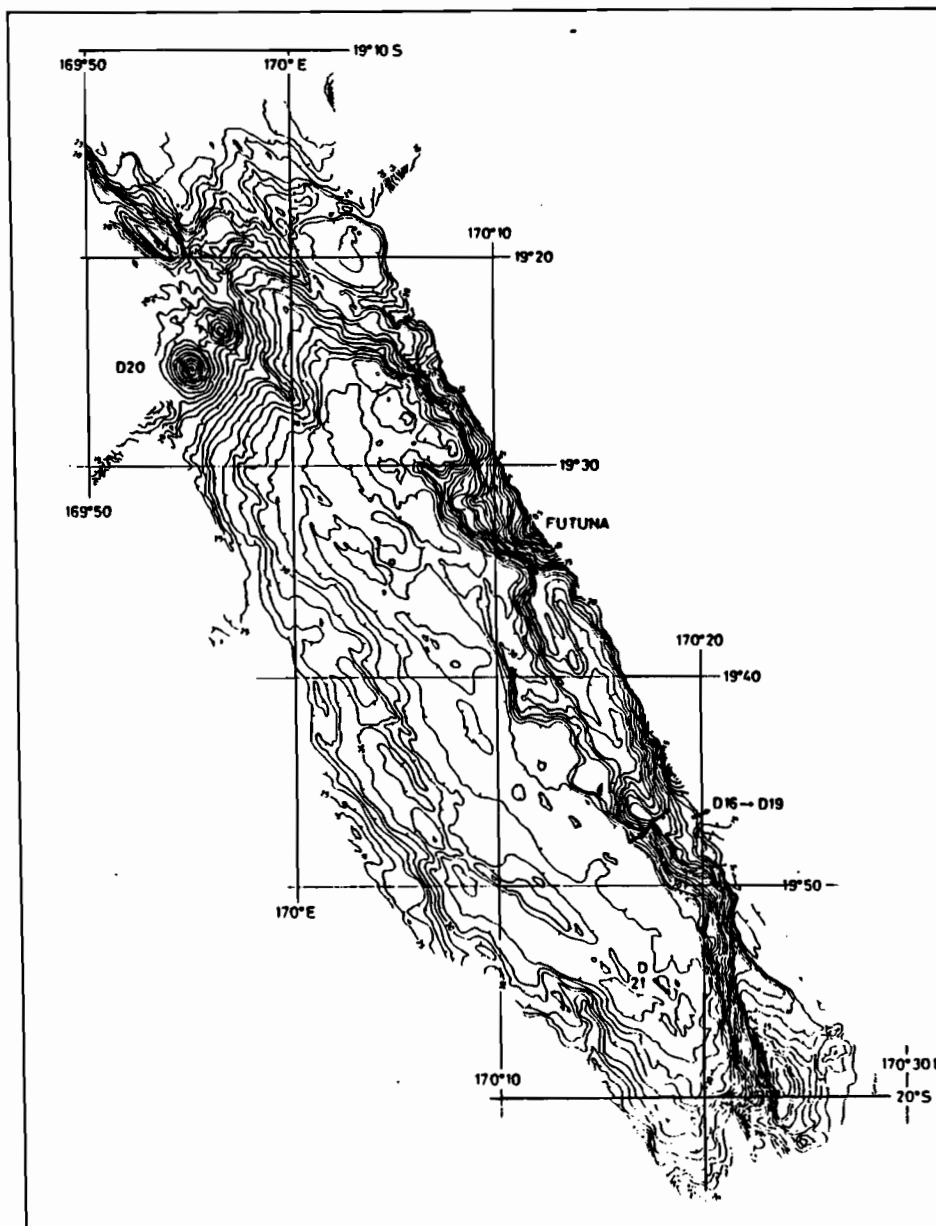


Figure I-15a : Carte bathymétrique du fossé de Futuna avec la position des dragages SPS2 D16 à D21 et la localisation des coupes de la figure I-15c.  
*Bathymetric map of Futuna trough with location of dredgings SPS2 D16 to D21 and sections of figure I-15c.*

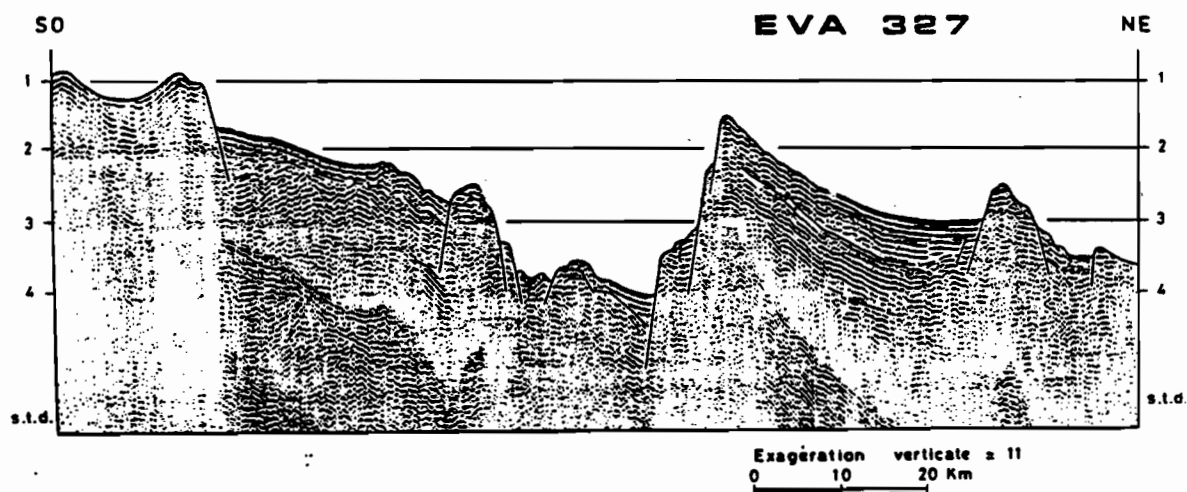


Figure I-15d : Profil de sismique réflexion à travers le fossé arrière-arc à hauteur de l'île de Tanna (campagne EVA 3).  
*Seismic reflexion profile crossing the New Hebrides arc .*

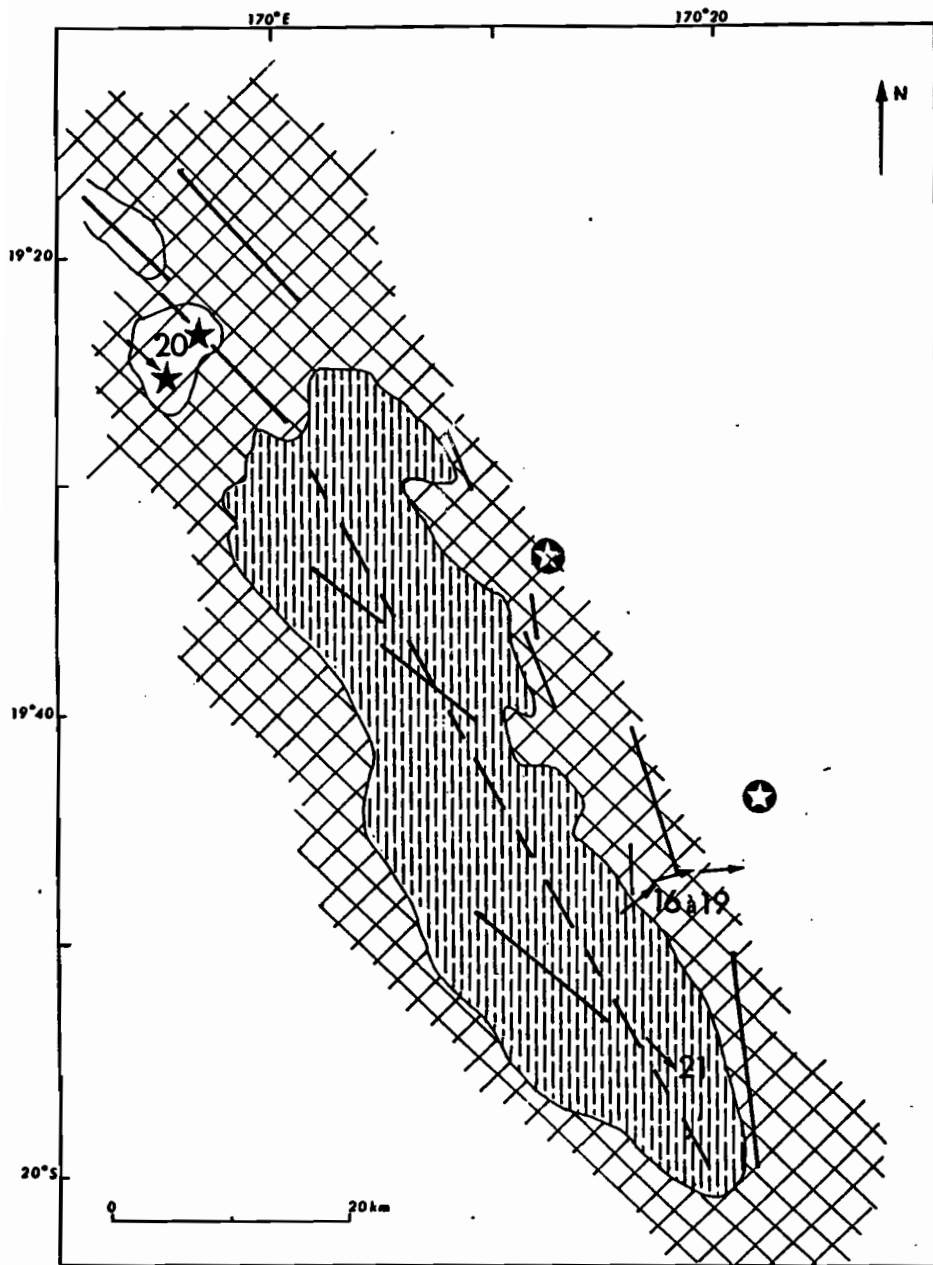


Figure I-15b : Schéma morphostructural du fossé de FUTUNA.  
*Morphostructural sketch of Futuna trough.*

- ★ Sommet d'édifice volcanique majeur (ou île)
- ★ Sommet d'édifice volcanique de taille inférieure
- Faille normale
- - - Axe de fossé
- ➔ Dragage

- ▨ Edifice volcanique
- ▩ Flanc du fossé
- ▤ Fond plat du fossé

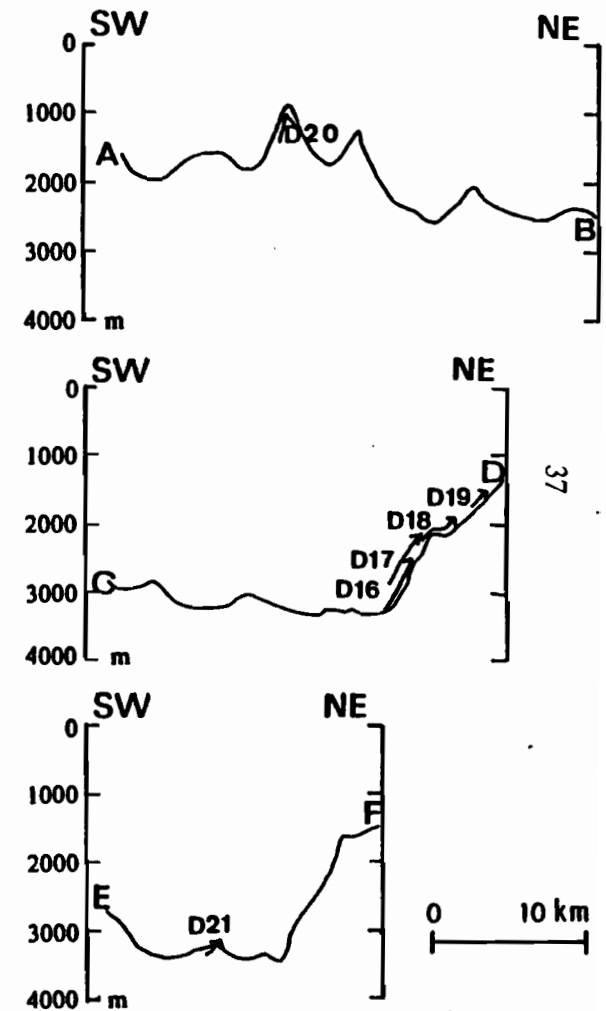


Figure I-15c : Coupes bathymétriques du fossé de Futuna (exagération verticale : 4,5) et localisation des dragages.  
*Bathymetric cross sections of Futuna trough (vertical exaggeration : 4.5) and location of dredgings.*

## b/ Zone Sud

Les fossés du Coriolis sont des grabens ou demi-grabens globalement parallèles à la fosse (Daniel, 1982), sauf au niveau de leur terminaison Sud où ils présentent des structures en échelons obliques par rapport à l'ensemble de l'arc (fig.I-9b).

Hormis cette zone méridionale structurée en échelons, deux zones principales sont observables. La première correspond au fossé double de Vaté, la seconde est le fossé simple de Futuna, que l'on peut subdiviser en fossé d'Erromango, au droit de l'île du même nom, et fossé de Futuna, formé par le prolongement du fossé d'Erromango au Sud du décrochement à 19°S. L'île de Futuna se situe sur son flanc Est. La figure I-9b montre ces différentes zones. Elle illustre aussi qu'à distance fosse-fossés constante (180 km) s'oppose une distance fosse-île variable, de 80 à 130 km (Daniel, 1982).

### 1. Le fossé de Futuna

A environ 50 km à l'Est de l'île de Tanna, le secteur de Futuna est centré sur la dépression N150°E.

**Morphostructure :** Le fossé de Futuna est un graben dissymétrique d'axe général N150°E, de 3500 m de profondeur maximum. La figure I-15a montre qu'en fait le fossé est constitué d'une série de petites dépressions décalées et orientées N130°E. Le fond du fossé est également marqué de petits reliefs d'une centaine de mètres, qui peuvent correspondre soit à des remontées de laves le long de fractures, soit aux sommets de blocs basculés, et alignés selon cette même direction (D21). Les limites Nord, Est et Sud-Est du fossé sont constituées par de forts escarpements, correspondant parfois au lieu d'édification de complexes volcaniques comme l'île de Futuna à 19°33 (fig.I-15b). Les flancs orientaux du fossé de Futuna sont soulignés par deux groupes principaux de failles normales d'orientation N135°E et N165°E. Par contre, au SO du fossé, la transition vers le sommet de l'arc se fait selon une pente douce aux directions structurales peu prononcées. Au NO, à 19°25, deux édifices volcaniques côniques récents (D20) culminant à -800 m, et une ride étroite N135°E à 19°18S, dont la crête atteint -1400 m (fig.I-15a), séparent cette partie du fossé d'une nouvelle dépression, située plus au Nord et appelée fossé d'Erromango.

Le remplissage sédimentaire comporte selon Dubois *et al.* (1975) deux formations rapportées l'une au Plio-Quaternaire, l'autre au Mio-Pliocène. Le profil EVA 327 (fig.I-15d) illustre la difficulté de suivre les réflecteurs profonds dans les fossés, contrairement à la série bien litée à l'Est du fossé. Mais la nature sans doute volcanosédimentaire de ces formations de fond de fossé et la présence d'intrusions contribuent à perturber le remplissage sédimentaire (Daniel, 1982).

Les anomalies magnétiques observées s'orientent selon la direction N135°E (Récy *et al.*, 1986). Une direction structurale majeure N135°E intéresse l'ensemble du fossé de Futuna. Elle correspond à l'alignement des points les plus profonds du fossé et des petits reliefs

situés sur le fond de celui-ci, à l'orientation des anomalies magnétiques, et à une direction de failles normales affectant les flancs du fossé. Ces directions pourraient résulter d'une extension selon un axe N30°E, direction exprimée par deux mécanismes au foyer de séismes localisés à proximité des fossés du Coriolis (Coudert *et al.*, 1981).

Localisation des dragages : Dans ce fossé, trois grands types de structures volcaniques ou volcanosédimentaires ont été échantillonnés :

- la série volcanosédimentaire en flanc Est du fossé, à environ 19°47S au Sud de l'île de Futuna, sans doute en relation avec un édifice non émergé plus à l'Est (D16 à D19) ;
- les édifices volcaniques côniques en position terminale du fossé (D20) ;
- les petits reliefs visibles au fond du fossé (D21).

## 2. Le fossé d'Erromango

Le fossé d'Erromango constitue le prolongement Nord du fossé de Futuna, mais est légèrement décalé vers l'Ouest par rapport à ce dernier. Le secteur étudié porte sur la partie Sud de ce fossé (fig.I-11).

Morphostructure : Le fossé d'Erromango est axé sur une dépression N135°E, profonde au moins de 3100 m (fig.I-16a). Le fossé est limité à l'Est et à l'Ouest par de forts escarpements, le flanc Ouest est donc plus abrupt que celui du fossé de Futuna. Des directions N130°E, N150°-160°E et N-S marquent ces flancs. Un édifice volcanique de forme un peu allongée N100°-110°E a été cartographié à 18°48S, sur le flanc Nord-Ouest du fossé. Les directions structurales, particulièrement la direction N135°E, sont semblables à celles du fossé de Futuna (fig.I-16b).

Localisation des dragages : Les dragages ont porté principalement sur le flanc Ouest du fossé, au niveau de la pente de l'édifice volcanique à 18°48 (D22, D23 et D24) (fig.I-16a,c). D'autre part un autre édifice volcanique au Nord de la zone a fait l'objet du dragage D25. Ce volcan sépare en fait le fossé d'Erromango du fossé double de Vaté.

## 3. Le fossé de Vaté

Dans cette région les fossés arrière-arc sont doubles. Les données sur le secteur sont plus restreintes que dans les cas précédents (fig.I-11).

Morphostructure . La structure du fossé en deux bassins à fond plat, de 2500 et 2150 m de profondeur, séparés par un horst culminant à -1200 m (fig.I-11, I-17a) est nette. L'axe du fossé est orienté N150°E, comme celui de Futuna. Au Sud du secteur étudié, la partie orientale du fossé suit un axe N130°-135°E (Monzier *et al.*, 1984). Le flanc le plus oriental, très abrupt, est marqué par des failles normales N135°E et N165°E.

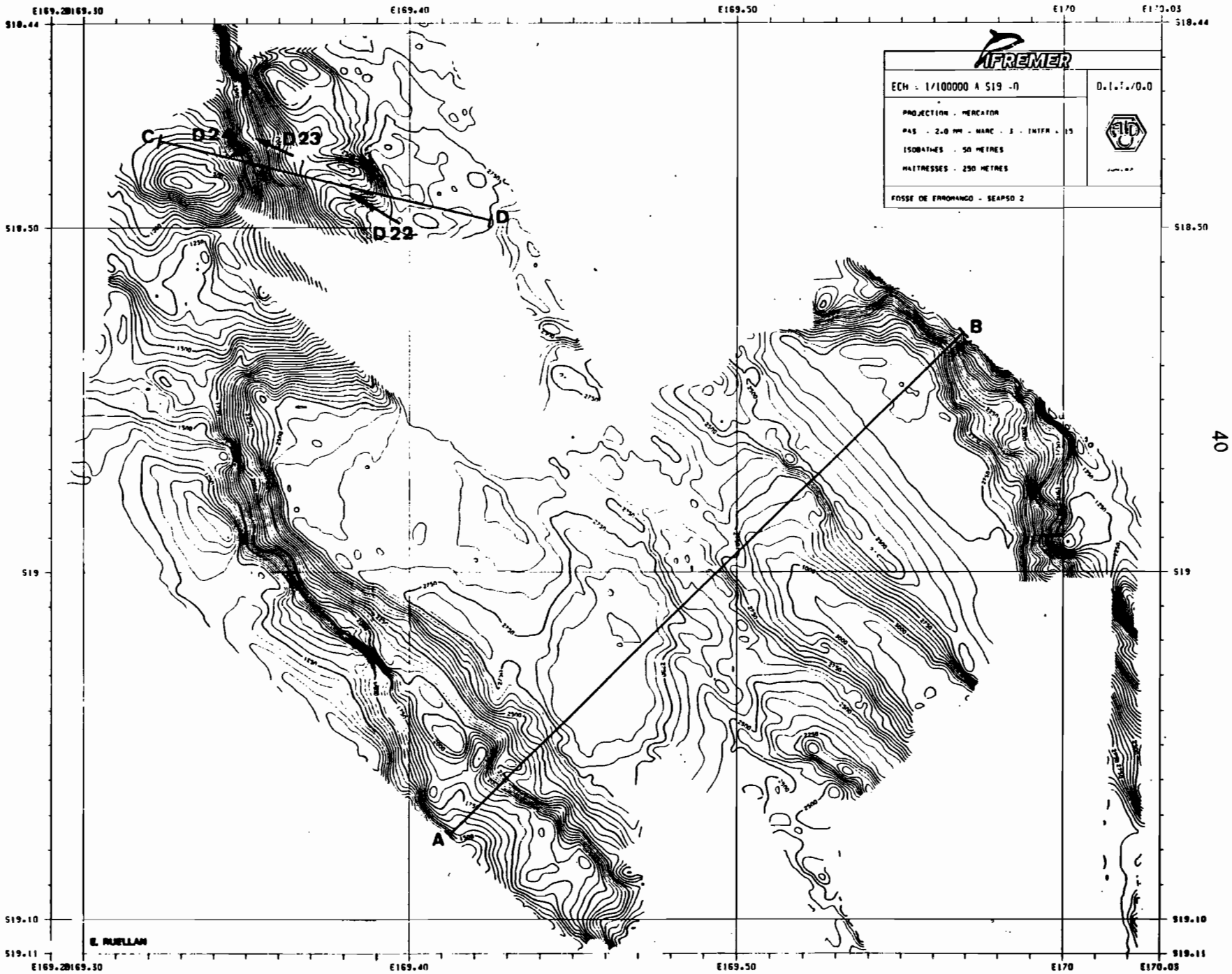


Figure I-16a : Carte bathymétrique du fossé d'Erromango avec la position des dragages SPS2 D22 à D24 et la localisation des coupes de la figure I-16c.  
 Bathymetric map of Erromango area with location of dredgings SPS2 D22 to D24 and sections of figure I-16c.

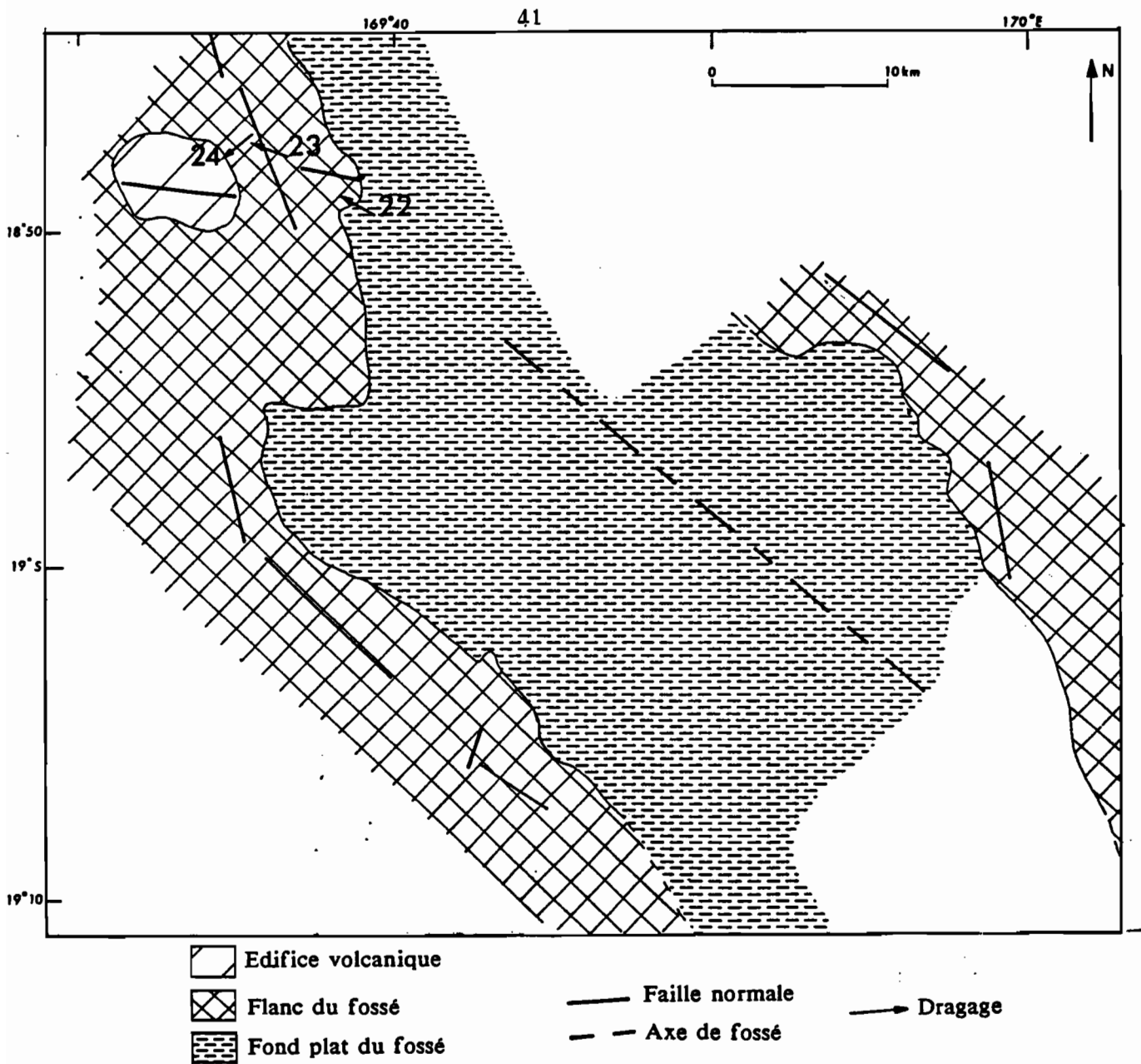


Figure I-16b : Schéma morphostructural du fossé d'Erromango.  
*Morphostructural sketch of Futuna trough.*



Figure I-16c : Coupes bathymétriques du fossé d'Erromango *Erromango* (exagération verticale : 3,1) et localisation des dragages.  
*Bathymetric cross sections of Erromango trough (vertical exaggeration : 3.1) and location of dredgings.*

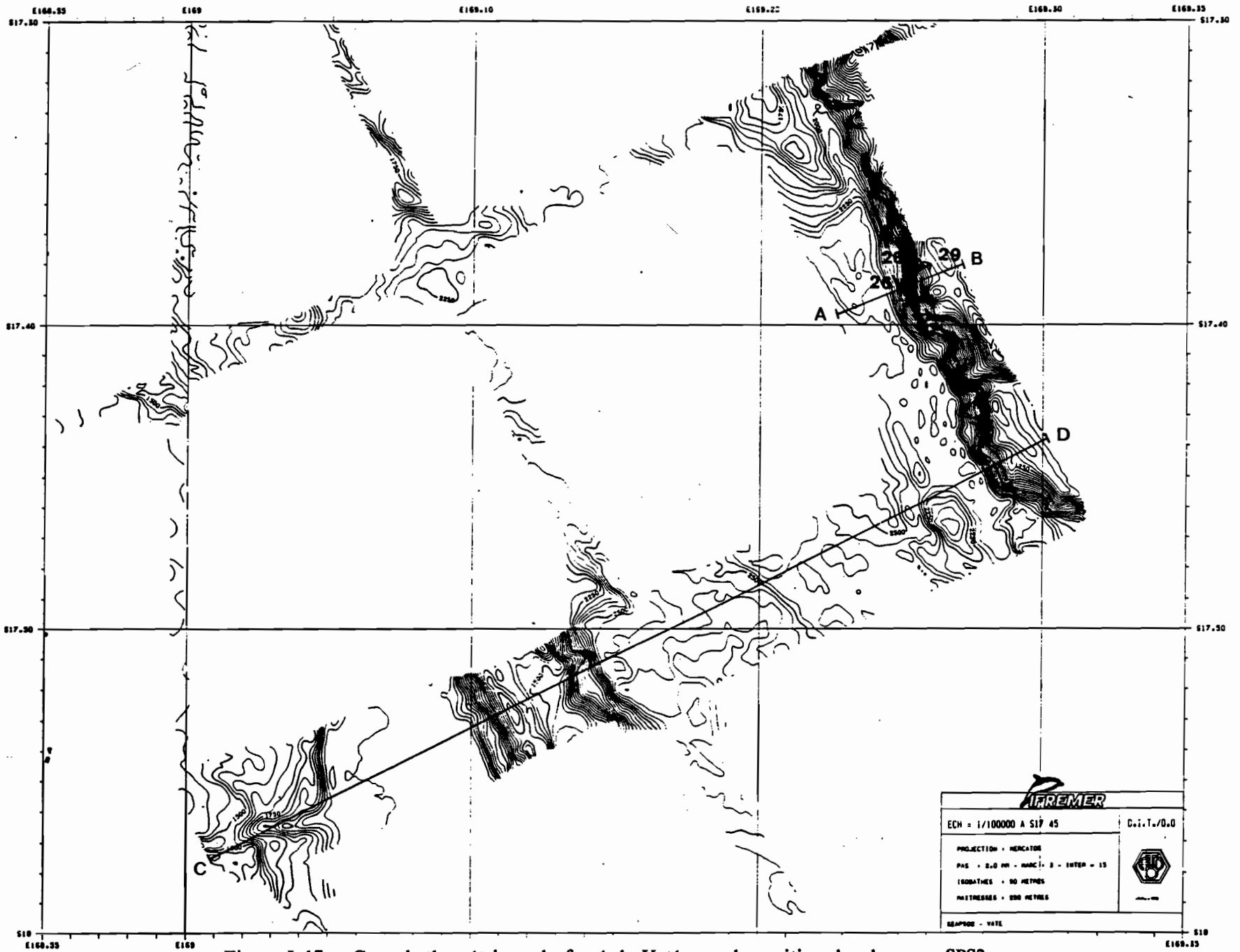


Figure I-17a : Carte bathymétrique du fossé de Vaté avec la position des dragages SPS2 D26 à D29 et la localisation des coupes de la figure I-17b.  
 Bathymetric map of Vate area with location of dredgings SPS2 D26 to D29 and sections of figure I-17h

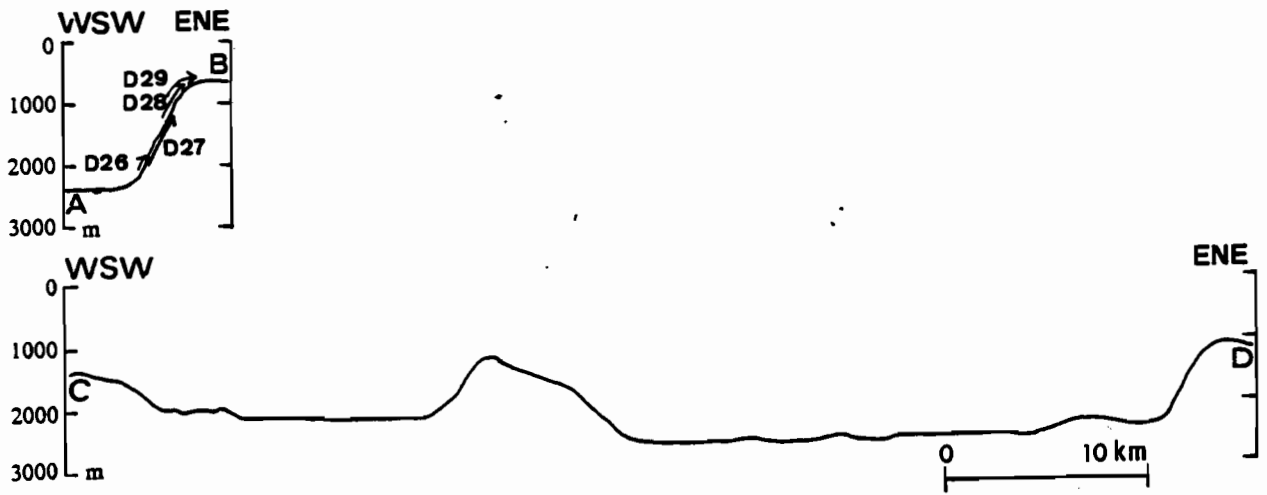


Figure I-17b : Coupes bathymétriques du fossé de Vaté (exagération verticale : 3,1) et localisation des dragages.  
*Bathymetric cross sections of Vate trough (vertical exaggeration : 3.1) and location of dredgings.*

Localisation des dragages (Fig.I-17a-b) : Les dragages sont situés sur le flanc Est du fossé oriental (D26 à D29) et sur deux petits cônes volcaniques culminant à -1000 m dans la zone terminale septentrionale des fossés du Coriolis.

#### 4. Conclusions

La direction structurale majeure rencontrée dans les fossés du Coriolis est N135°E. Elle pourrait résulter d'une extension de direction voisine de N30°E, donc oblique à la subduction N70°-75°E (Récy *et al.*, 1986). La sismicité superficielle enregistrée dans les fossés du Coriolis (Dubois *et al.*, 1975 ; Louat *et al.*, 1982, 1988) témoigne d'une activité récente.

Comme pour les fossés du Jean Charcot, l'âge des volcans édifiés sur les flancs des fossés devrait permettre d'estimer l'âge de formation des fossés.

#### A-4. DESCRIPTION GENERALE DES DRAGAGES

Trente et un dragages, tous couronnés de succès, ont été effectués (répartis sur une durée totale de six jours) dans les six secteurs décrits précédemment, pour permettre l'étude du volcanisme des fossés et de la série sédimentaire de l'arc.

Afin d'obtenir la meilleure localisation possible (les coordonnées précises sont données dans le tableau I-2, vol. 2), les dragages ont été réalisés sur de courtes distances (360 m en moyenne, mais variant de 130 à 930 m), sur des reliefs prononcés (flancs de fossés ou pentes d'édifices volcaniques abrupts). La drague est de type Pautot, elle a été utilisée sans poids actif.

Après chaque dragage, les échantillons sont rangés dans des sacs. La quantité totale étant très importante (évaluée à 4 tonnes), nous avons effectué le classement des échantillons à terre, en estimant pour chaque dragage les proportions des divers types pétrographiques rencontrés, puis en sélectionnant tous les types de roches présents dans un dragage, volcaniques et volcanosédimentaires. La figure I-18 montre la position de l'ensemble des traits de drague et les quantités relatives des types de roches rapportés : laves, roches volcano-sédimentaires (tufs, brèches diverses, boues) et coraux, prélevés à chaque dragage. Le pourcentage global des volcanites sur l'ensemble des dragages est de 55%. Les proportions trouvées dans chaque dragage montrent une certaine cohérence avec leur lieu de provenance : les flancs de fossés ont livré généralement de plus grandes quantités de roches volcanosédimentaires, particulièrement de tufs, à l'exception toutefois du flanc Est du fossé de Vaté (D26 à D29) où ont été surtout récoltées des laves ; par contre, les dragages de cônes volcaniques ont permis de récolter en majorité des volcanites, sauf le dragage D4 dans la boîte de Vanikoro (volcanosédimentaire uniquement). Nous noterons dès à présent l'état de fraîcheur remarquable des volcanites, à l'exception des roches de la boîte Hazel Holme, qui sont, à l'inverse, très altérées. D'autre part, certaines laves des boîtes Vanikoro (dragages D2, D5, D6 et D7), Futuna (D19), et Vaté (D31), présentent une pellicule plus ou moins épaisse (de 1 à 10 mm) de dépôt manganésifère, parfois à deux ou trois niveaux visibles à l'oeil nu. Ces minéralisations ont fait l'objet d'une étude par Martine Gérard (Gérard *et al.*, 1987 ; thèse en cours).

## B - ECHANTILLONS PROVENANT DES ILES

Pour permettre une meilleure comparaison du volcanisme des fossés des Nouvelles-Hébrides avec celui de l'arc lui-même, il était nécessaire d'acquérir, grâce à de nouveaux échantillons, un complément d'analyses géochimiques et de mesures chronologiques. Ces diverses analyses ont été effectuées dans des conditions expérimentales identiques à celles remplies pour les échantillons dragués, ce qui n'est pas le cas de la plupart des données bibliographiques. Nous avons pu échantillonner sur deux îles de l'archipel : Ureparapara et Vaté. Pour les autres îles les échantillons proviennent de la lithothèque du Service des Mines de Port Vila. La localisation de tous ces échantillons n'a pu être obtenue en raison de l'absence des cartes à la lithothèque, c'est pourquoi elle ne figure pas sur toutes les cartes (Fig. I-19 à 30, vol. 2).

### B-1. UREPARAPARA (ILES BANKS DU NORD)

Lors d'une brève escale du N.O. Jean Charcot sur cette île au cours de SEAPSO 2, nous avons échantillonné les deux flancs Nord et Sud de la baie de Loroup (Fig.I-19, vol.2), qui forme une grande ouverture SO-NE dans le stratovolcan constituant l'île. La description macroscopique et la localisation des échantillons récoltés à Ureparapara sont reportées dans le tableau I-4 (vol.2).

### B-2. VATE

A l'issue de la campagne SEAPSO 2, une semaine de terrain sur l'île de Vaté et l'îlot Emau au Nord, nous a permis d'échantillonner les divers édifices (Fig.I-20, tableau I-3, vol.2).

### B-3. AUTRES ILES

Nous avons obtenu l'autorisation de prélever des échantillons de la collection établie à la suite des nombreuses missions de terrain menées par les géologues du "New Hebrides Government Geological Survey". Cette collection est actuellement conservée au Service des Mines de Port Vila (Vanuatu). Ceci nous a permis de compléter l'échantillonnage des îles pour lesquelles nous disposions d'assez peu d'informations : îles Banks au Nord, Tanna, Anatom et Futuna au Sud (tableau I-5, vol.2). La localisation des échantillons est donnée pour chacune des îles sur les cartes correspondantes (Fig. I-21 à I-30, vol.2).

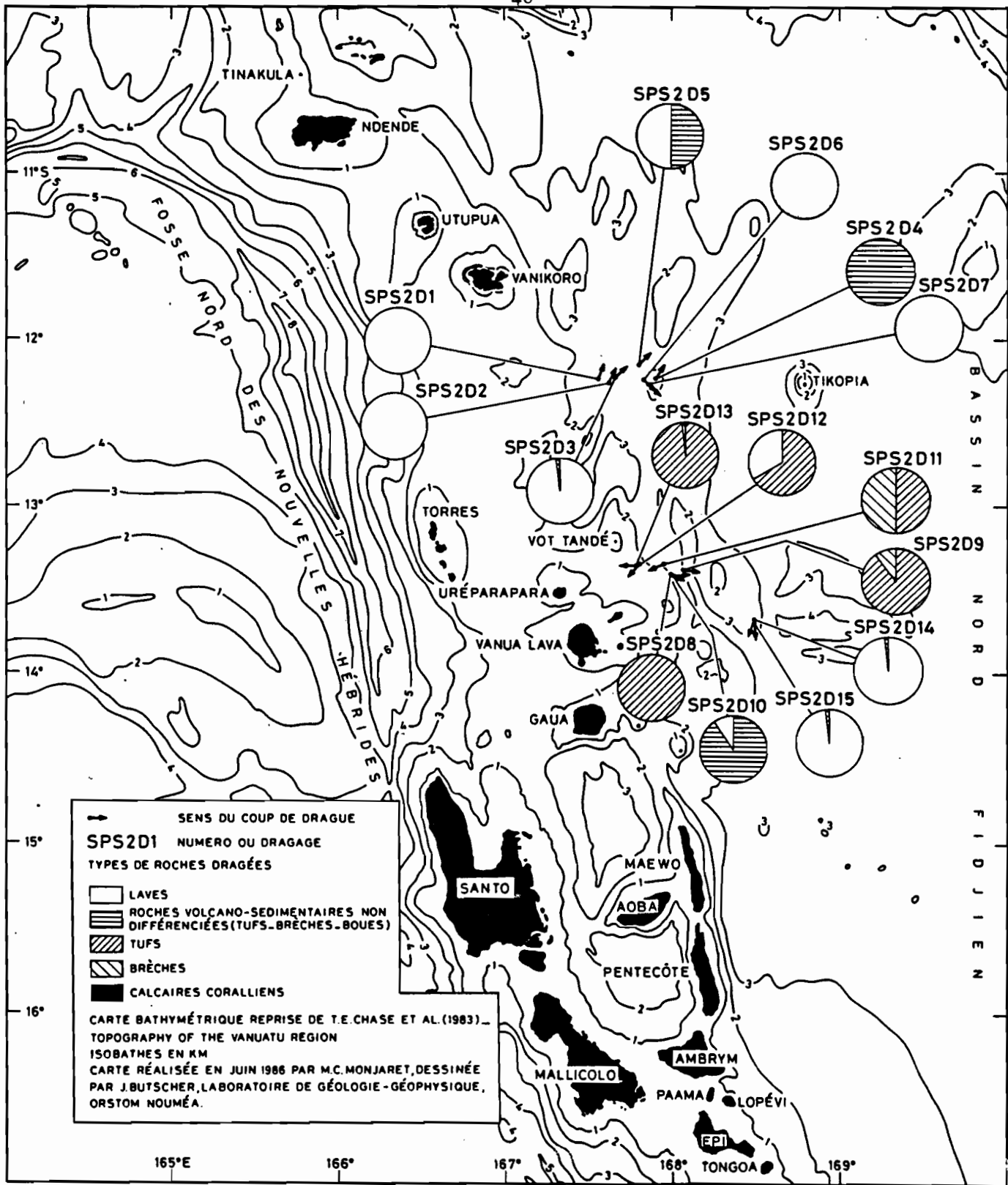


Figure I-18 : Carte de localisation générale des dragages et proportion des divers types pétrographiques. Zone nord.

*Dredging positions and proportions of different petrographic types.*

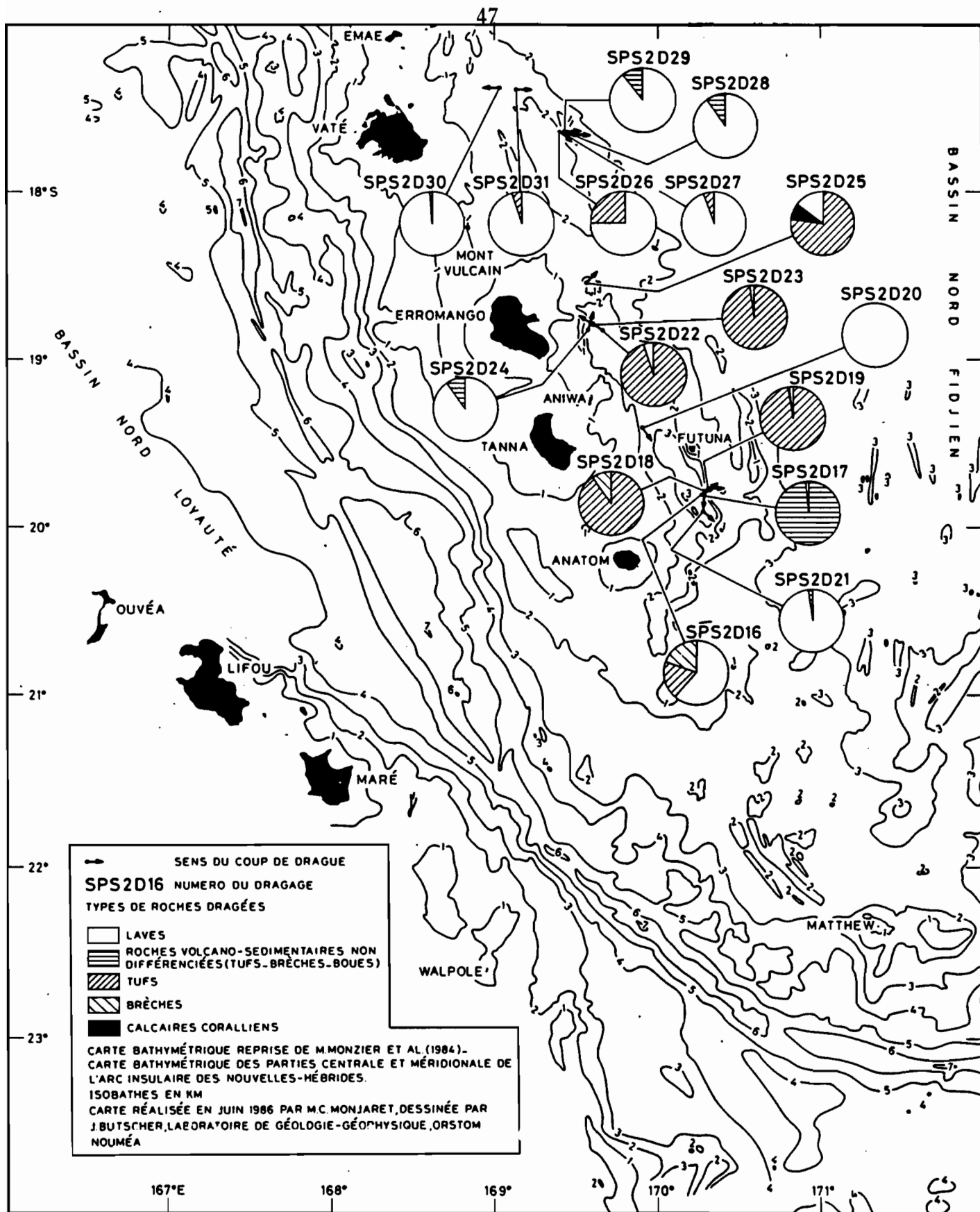


Figure I-18 (suite) : Zone sud.

CHAPITRE 2

Chronologie  
des laves de la chaîne centrale  
et des fossés à l'arrière de l'arc

## CHAPITRE II : CHRONOLOGIE

### DES LAVES DE LA CHAÎNE CENTRALE ET DES FOSSES A L'ARRIÈRE DE L'ARC

#### I - LA METHODE K-Ar

##### A - PRINCIPES GENERAUX

La méthode K-Ar est basée sur le principe général de la désintégration des noyaux radioactifs : au cours d'un intervalle de temps donné, le nombre de noyaux qui se désintègrent est proportionnel au nombre total de ces noyaux,  $dN = -\lambda N dt$ . Sous la forme intégrée, cette équation donne le nombre de noyaux  $N$  qui subsistent à l'instant  $t$  en fonction du nombre de noyaux initiaux  $N_0$ ,  $N = N_0 e^{-\lambda t}$ . Le nombre d'événements  $N_0 - N$  est égal à  $N_0(1 - e^{-\lambda t})$ , ou, puisque  $N_0 = N e^{\lambda t}$ ,  $N_0 - N = N(e^{\lambda t} - 1)$ .

Ainsi, il est possible de calculer  $t$ , si on peut mesurer  $(N_0 - N)$ , le nombre de désintégrations subies par les noyaux initiaux et  $N$ , le nombre de noyaux subsistants. Or,  $(N_0 - N)$  peut être déterminé aisément lorsque les noyaux descendants sont stables.  $N$  est déterminé par le comptage des désintégrations par unité de temps en connaissant  $\lambda$ .

La méthode K-Ar est basée sur la propriétés du potassium 40 qui se désintègre en argon 40. Des trois isotopes du potassium,  $^{40}\text{K}$  est le seul radioactif, avec une période de  $1,25 \cdot 10^9$  ans ( $^{39}\text{K} = 93,21\%$ ,  $^{40}\text{K} = 0,0117\%$ ,  $^{41}\text{K} = 6,78\%$ ). Malgré la masse légère du potassium, Burnett *et al.* (1966) ont montré que sa composition isotopique peut être considérée comme uniforme. En fait, la désintégration du potassium 40 aboutit à la formation de  $^{40}\text{Ar}$  et de  $^{40}\text{Ca}$ , selon trois processus (Fig. II-1) :

- Désintégration en  $^{40}\text{Ca}$  (88,8 %) par émission  $\beta^-$  (émission par le noyau d'un électron, avec transformation d'un neutron en proton) ;
- Radioactivité par capture électronique (11 %) : un électron, généralement issu de la couche la plus interne K, est capturé par le noyau, ce qui donne un neutron. L'atome  $^{40}\text{Ar}$  ainsi produit est dans un état excité mais retrouve un état fondamental par émission d'un rayonnement  $\gamma$ . Ce processus peut aussi s'effectuer en une capture électronique sans émission  $\gamma$  (0,16 %) ;
- Emission d'un positron  $\beta^+$ , ce qui transforme un proton en neutron et produit également  $^{40}\text{Ar}$  (0,001 %).

Ce dernier mode de désintégration est très rare, et seuls les deux premiers processus sont importants en géochronologie. Le chronomètre utilisé principalement est K-Ar, en raison du faible pourcentage de  $^{40}\text{K}$  naturel. A l'opposé,  $^{40}\text{Ca}$  étant l'isotope de calcium naturel le plus abondant (96,94 %), la proportion de  $^{40}\text{Ca}$  produit par désintégration de  $^{40}\text{K}$  est donc le plus souvent négligeable.

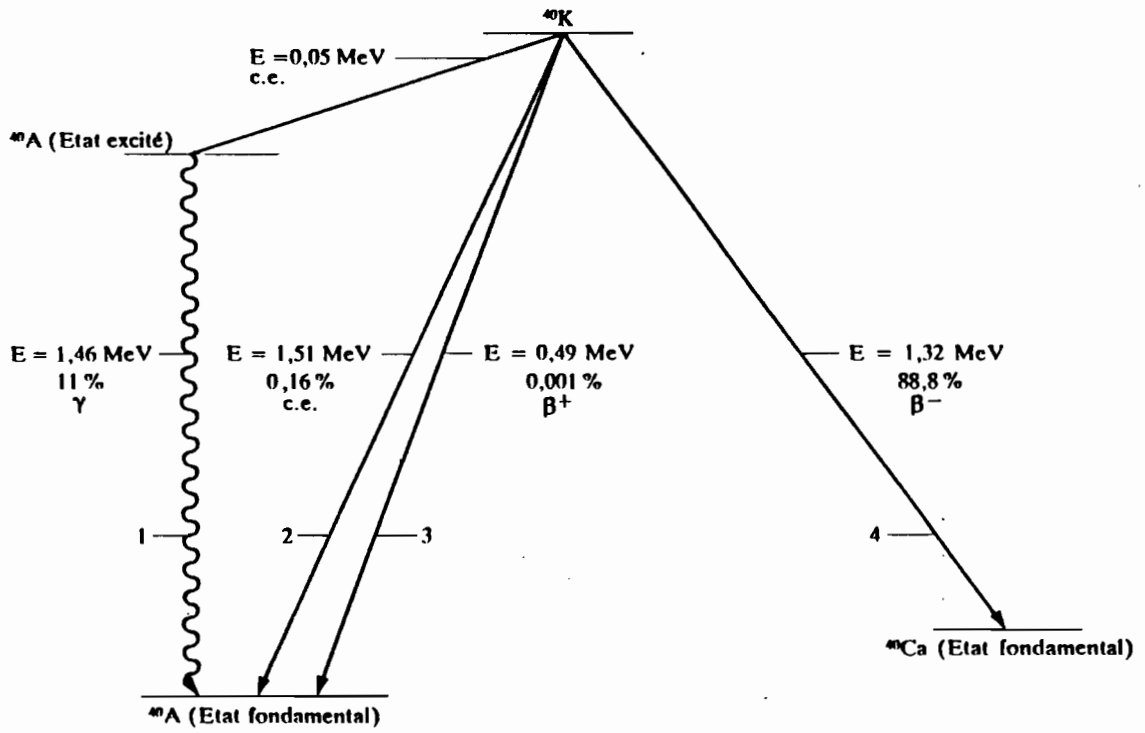


Figure II-1 : Schéma de désintégration de  $^{40}\text{K}$ .  
 Disintegration sketch of  $^{40}\text{Ar}$ .

## B - L'EQUATION D'AGE

La forme générale, 
$$t = \frac{1}{\lambda} \log \left( 1 + \frac{N'}{N} \right) \quad (1)$$

avec :

$N$  = nombre d'atomes de l'isotope père non encore désintégrés à l'instant  $t$ ,

$N'$  = nombre d'atomes de l'isotope fils au même moment,

doit être modifiée dans le cas du potassium.

$N$  (nombre de noyaux de  $^{40}\text{K}$  restant à l'instant  $t + dt$ ) s'écrit :

$$^{40}\text{K} + d(^{40}\text{K}) = ^{40}\text{K} + (\lambda e + \lambda \beta^-) ^{40}\text{K} dt,$$

$\lambda e$  = constante de désintégration de  $^{40}\text{K}$  en  $^{40}\text{Ar}$ , et  $\lambda \beta^-$  = constante de désintégration de  $^{40}\text{K}$  en  $^{40}\text{Ca}$ .

Le nombre de noyaux étant conservé au cours des désintégrations,  $n_0(t=0) = n + n'$ , on a donc :  $^{40}\text{K}_0 = ^{40}\text{K} + ^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$ , ce qui donne :

$$t = \frac{1}{\lambda e + \lambda \beta^-} \log e \left( 1 + \frac{^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}}{^{40}\text{K}} \right)$$

Si on pose  $^{40}\text{Ca} = \frac{\lambda \beta^-}{\lambda} ^{40}\text{Ar}$ , alors :

$$t = \frac{1}{\lambda e + \lambda \beta^-} \log e \left[ 1 + \frac{^{40}\text{Ar}}{^{40}\text{K}} \left( \frac{\lambda e + \lambda \beta^-}{\lambda e} \right) \right] \quad (2)$$

La signification géologique d'un tel âge calculé repose sur la vérification de plusieurs hypothèses (Montigny, 1985) concernant l'histoire du matériau :

- l'argon dans le système est d'origine soit radiogénique, soit atmosphérique ;
- aucun excès d'argon n'a été introduit ni au moment de la formation, ni au cours d'un événement métamorphique ultérieur, c'est-à-dire que l'argon initial  $\text{Ar}_0$  est négligeable ;
- le système est resté clos vis-à-vis de l'extérieur (pour K et Ar) depuis l'événement géologique à dater (la mise en place des laves dans le cadre de cette étude) ;
- $\lambda \beta^-$  et  $\lambda e$  sont constants, la composition isotopique du potassium est identique dans tous les systèmes et une correction doit être effectuée pour pallier la présence d'argon atmosphérique.

## C - LES CONSTANTES DE DESINTEGRATION

La détermination de la valeur des constantes de désintégration radioactive, généralement obtenues par comptage de scintillations en milieu liquide, est fondamentale. Les valeurs actuellement utilisées sont celles définies par Steiger et Jaëger (1977). Elles sont résumées dans le tableau II-1 ci-dessous :

|                              |  |                         |
|------------------------------|--|-------------------------|
| Volume molaire               | 22,41383 l/mole  | (Weast et Selby, 1966)  |
| Masses atomiques             | $^{40}\text{Ar} = 39,9623842$<br>$^{39}\text{K} = 38,9637089$<br>$^{40}\text{K} = 39,9640001$<br>$^{41}\text{K} = 40,9618270$  | (Wapstra et Gove, 1971) |
| Masse atomique de K          | 39,098304 u.m.a.   |                         |
| Abondances isotopiques       | $^{39}\text{K} = 93,2581 \%$<br>$^{40}\text{K} = 0,01167 \%$<br>$^{41}\text{K} = 6,7302 \%$  | Steiger<br>et           |
| Argon atmosphérique          | $^{40}\text{Ar} = 99,6 \%$ $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}_{\text{atm}} = 295,5$<br>$^{38}\text{Ar} = 0,063 \%$<br>$^{36}\text{Ar} = 0,337 \%$                                  | Jaëger<br>(1977)        |
| Constantes de désintégration | $\lambda^{40}\text{K}\beta = \lambda\beta^- = 4,962 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$<br>$\lambda^{40}\text{K}\epsilon = \lambda\epsilon = 0,581 \cdot 10^{-10} \text{ an}^{-1}$ |                         |

Tableau II-1 : Constantes utilisées pour le calcul des âges K-Ar.  
*Constants of the K-Ar ages calcul.*

L'équation (2) avec ces constantes intégrées s'écrit :

$$t \text{ (M.a.)} = 4154,04 \cdot \log \left( 1 + 142,69 \frac{{}^{40}\text{Ar}^*}{\text{K}(\text{g})} \right) \quad (3)$$

## D - L'ANALYSE

La datation K-Ar d'un échantillon nécessite deux analyses distinctes du potassium et de l'argon. Le dosage du potassium est réalisé par spectrométrie d'absorption atomique tandis que la teneur en argon est déterminée par la méthode de spectrométrie de masse. Le détail des procédures pratiquées au Laboratoire de Géochimie de l'U.B.O. est donné en annexe II (vol. 2) (préparation des échantillons, analyse du potassium par spectrométrie d'absorption atomique, analyse par spectrométrie de masse de l'argon, calcul de l'âge, erreurs analytiques).

## E - PROBLEMES LIES AUX MODIFICATIONS EVENTUELLES DU CHRONOMETRE K-AR ET CONSEQUENCES SUR LA VALIDITE DES AGES OBTENUS.

Le chronomètre K-Ar connaît quelques limites d'utilisation, particulièrement dans le cas d'échantillons très jeunes et pauvres en  $K_2O$ . Dans ces conditions, l'incertitude sur les mesures est très importante (cf. erreurs analytiques, vol.2). Le fonctionnement de ce chronomètre est basé sur un phénomène d'accumulation ; il est donc essentiel que le milieu soit resté clos vis-à-vis du milieu extérieur, depuis l'événement géologique que l'on veut dater. A la suite de la désintégration d'un atome de  $^{40}K$  en  $^{40}Ar$ , ce dernier ne peut s'échapper que si le minéral est fondu, recristallisé ou chauffé à une température permettant à  $^{40}Ar$  de diffuser au travers du réseau cristallin. Dans le cas du système roche totale, utilisé dans cette étude, il faut donc que les roches n'aient pas subi d'échanges avec le milieu extérieur, même si au sein même de la lave des migrations de  $K_2O$  ont eu lieu.

Nous examinerons maintenant les événements éventuels pouvant affecter les roches, et plus particulièrement les laves sous-marines, au cours de leur mise en place ou après celle-ci, et susceptibles de fausser le chronomètre K/Ar.

### 1. Gain ou perte de $K_2O$

Un gain de potassium, qui entraînerait un âge apparent inférieur à l'âge réel, peut se produire par des échanges sodium-potassium à basse ou haute température entre fluides et minéraux tels les feldspaths ou certaines phyllites. L'augmentation du K semble caractéristique de l'altération BT des basaltes au contact de l'eau de mer. Mais ces échanges s'accompagnent généralement de modifications minéralogiques décelables au microscope (Montigny, 1985).

La perte de potassium ne semble pas devoir être retenue pour expliquer des âges apparemment trop élevés, quand le matériau est frais, car elle s'accompagnerait le plus souvent d'une perte d'argon (Kulp et Engels, 1963 ; Clauer *et al.*, 1982). D'autre part, la perte de K qui semble accompagner la spilitisation des laves sous-marines (altération à  $T^o > 200^oC$ ) est décelable par la caractérisation minéralogique de ce type d'altération.

## 2. Excès ou perte d'argon $^{40}$

L'excès d'argon, qui donne des âges apparents trop élevés, paraît être un phénomène assez fréquent. Il peut avoir deux origines :

- **Argon introduit dans le réseau du minéral pendant ou après la formation de la roche**, ce qui semble se produire particulièrement pour les basaltes émis en eaux profondes (Walker et MacDougall, 1982) qui se refroidissent assez vite pour former une pellicule vitreuse. L'effet de trempe rapide et des hautes pressions hydrostatiques facilitent le piégeage des gaz du magma ambiant et spécifiquement des gaz rares, au niveau du verre (Dalrymple et Moore, 1968 ; Fischer, 1981). Mais si on considère que dans un basalte le potassium se situe préférentiellement dans la phase interstitielle souvent recristallisée (essentiellement en feldspaths retenant bien l'argon), et non pas dans les phénocristaux, l'âge déterminé a une signification géologique (Montigny, 1985). Dymond (1970), Ozima et Kudo (1972) ont montré que l'excès de  $^{40}\text{Ar}$ , important au niveau de la bordure vitrifiée, diminue rapidement vers l'intérieur (l'excès semble inexistant dans la plupart des cas à partir de 6-8 cm), ce qui implique que les échantillons holocristallins du centre des pillow-lavas doivent être préférés aux échantillons vitreux (à interpréter prudemment) pour les datations K-Ar.

- **Argon hérité** (produit à l'intérieur des minéraux avant l'événement que l'on désire dater) ou de **contamination**, qui provient de xénolithes plus anciens incorporés dans la roche au moment de sa formation. Il convient donc de bien étudier macroscopiquement et microscopiquement les échantillons, avant d'entreprendre leur datation.

La perte d'argon, provoquant un rajeunissement des âges, peut provenir d'un événement thermique (métamorphisme ou réchauffement prolongé à quelques centaines de degrés C par intrusion de filon par exemple) post-formation subi par la roche, ou d'une altération basse ou haute température qui désorganise le réseau cristallin et permet la perte d'argon. Mais une altération est généralement décelable par une étude microscopique (Montigny, 1985).

Il semble donc que la méthode K-Ar classique soit adaptée à la datation du matériau volcanique à étudier, dans la mesure où il s'agit essentiellement de coeurs de blocs et non pas de bordures vitreuses. Dans tous les cas de figures, l'étude détaillée macroscopique et microscopique des échantillons est essentielle pour déterminer les éventuels problèmes d'altération, de vitrification importante. Cette étude est aussi primordiale pour la détermination de la vésicularité des laves. Kurz et Jenkins (1981) ont montré que les laves vacuolaires contiennent une fraction importante de gaz rares (du moins d'hélium) dans leur vésicules. La concentration mesurée d'He, lors du broyage sous vide des échantillons, est fonction de la taille et de la quantité des vacuoles.

## II - RESULTATS DES DATATIONS RADIOMETRIQUES K-Ar

Les résultats obtenus sont présentés en ordre chronologique dans les tableaux II-2 et 3, vol.2 (laves des îles), et II-4 à 9, vol.2 (laves des six zones des fossés). Les analyses répétées sur un même échantillon sont signalées. Les données présentées dans ces tableaux sont directement issues des calculs. Une simplification de l'écriture a été adoptée dans la discussion. Ainsi, un âge calculé de 2,97 Ma sera écrit 3,0 Ma ; un âge calculé de 2,92 Ma sera écrit 2,9 Ma. La fiabilité et le degré de précision sont divers suivant les échantillons traités. Nous avons de ce fait effectué un classement de 1 à 5 de ces résultats afin d'apprécier en fonction de plusieurs facteurs la valeur chronologique de chaque donnée analytique. Les facteurs suivants ont été retenus :

- le rapport  $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$  (argon radiogénique/argon total) recueilli au cours de chaque analyse ;
- la contamination, dite atmosphérique, des échantillons évaluée à partir des concentrations de  $^{36}\text{Ar}$  ;
- la reproductibilité des résultats ;
- l'état de fraîcheur de l'échantillon analysé.

Ce classement a pour but de réaliser une grille chronologique à plusieurs niveaux d'incertitude. Seuls les résultats les plus fiables seront considérés dans la reconstitution de l'histoire géologique et géochimique des fossés (Chapitre V).

### A - LE RAPPORT ARGON 40 RADIOGENIQUE / ARGON 40 TOTAL

L'examen des tableaux II-2 à II-9 (vol.2) met en évidence les variations de ce rapport ( $\%^{40}\text{Ar}^*$ ) dans les échantillons étudiés. Il est lié tout à la fois à l'âge isotopique de l'échantillon, à sa teneur en  $\text{K}_2\text{O}$ , à la faible contamination atmosphérique initiale (au temps  $t = 0$ ) et à l'état de bonne conservation postcristallisation de l'échantillon. Le rapport de la concentration de  $^{40}\text{Ar}^*$  à la concentration de  $^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$  sera d'autant plus faible que la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  et l'âge seront faibles. En première approximation, les âges des échantillons pour lesquels ce rapport est supérieur à 0,10 peuvent être considérés comme très satisfaisants. En deçà de cette valeur, l'erreur analytique devient très élevée (Fig.II-7, vol.2) (Cox et Dalrymple, 1967 ; Dalrymple et Lanphere, 1969). Il convient toutefois de nuancer cette limite générale en examinant plus attentivement deux paramètres : la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  et l'âge de l'échantillon.

Les analyses ont été dupliquées pour de nombreux échantillons. Dans les diagrammes n'a été alors retenu qu'un résultat par échantillon : l'analyse la plus radiogénique (rapport  $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$  le plus élevé et concentration de  $^{36}\text{Ar}$  la plus faible).

#### 1/ Les îles

Dans le diagramme  $\%^{40}\text{Ar}^*/\text{K}_2\text{O}$  (Fig. II-9), les laves de chacune des îles se répartissent différemment. Cette distribution dispersée reflète en premier lieu les différences d'âges.

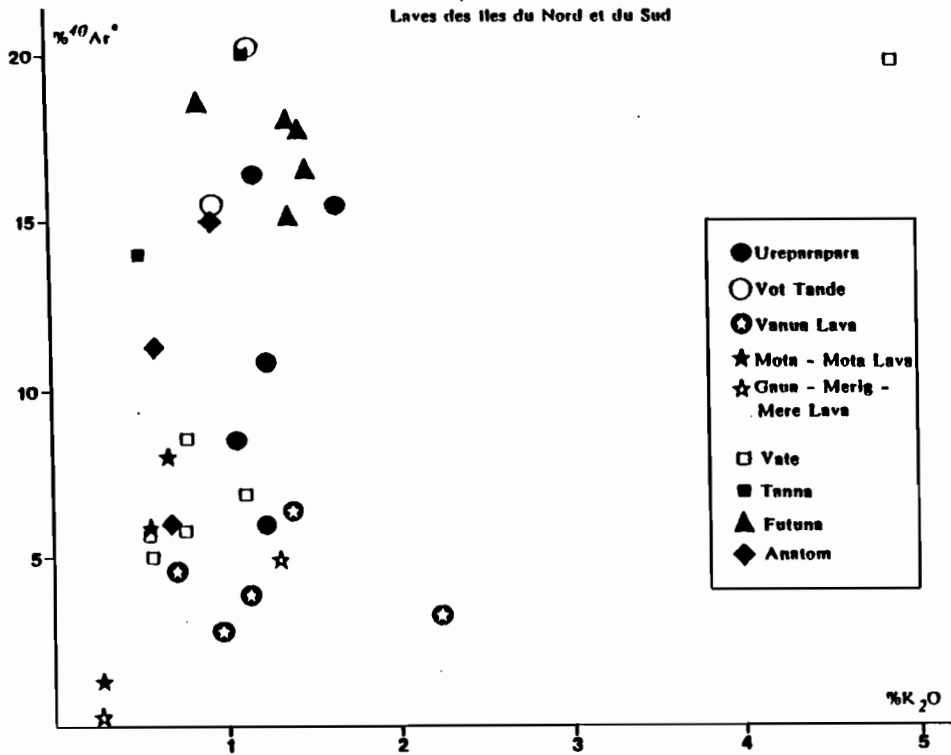


Figure II-9 : Le pourcentage de  $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$  en fonction de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  dans les laves des îles du Nord et du Sud.  
 $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$  ratio versus  $\text{K}_2\text{O}$  content of northern and southern islands lavas.

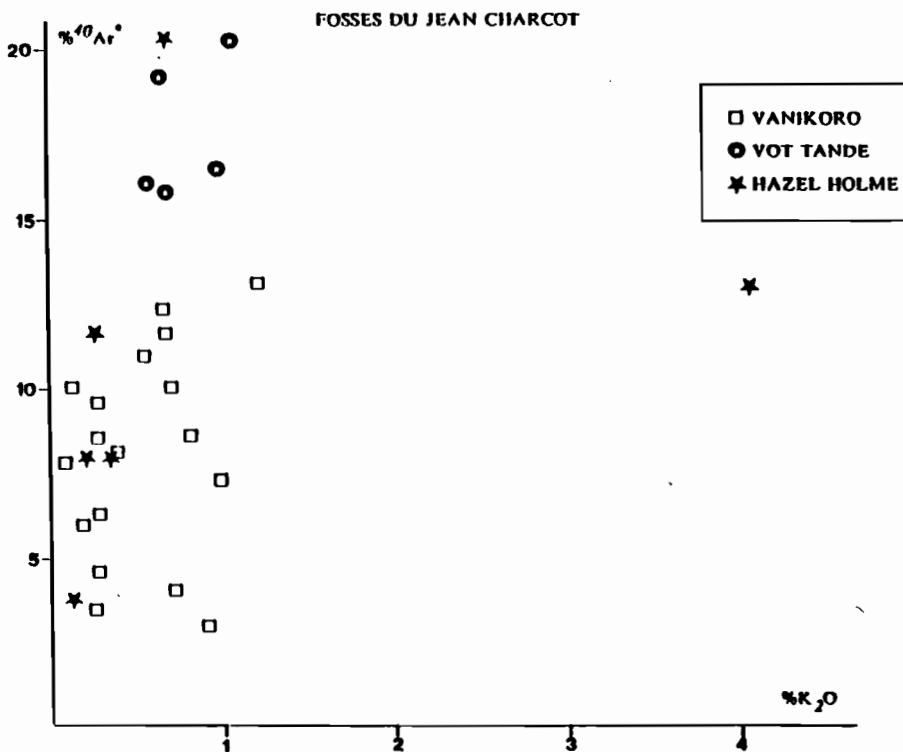


Figure II-10 : Le pourcentage de  $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$  en fonction de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  dans les laves des fossés du Nord.  
 $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$  ratio versus  $\text{K}_2\text{O}$  content of northern troughs lavas.

## FOSSÉS DU CORIOLIS

- VATE
- ▲ ERROMANGO
- ☆ FUTUNA

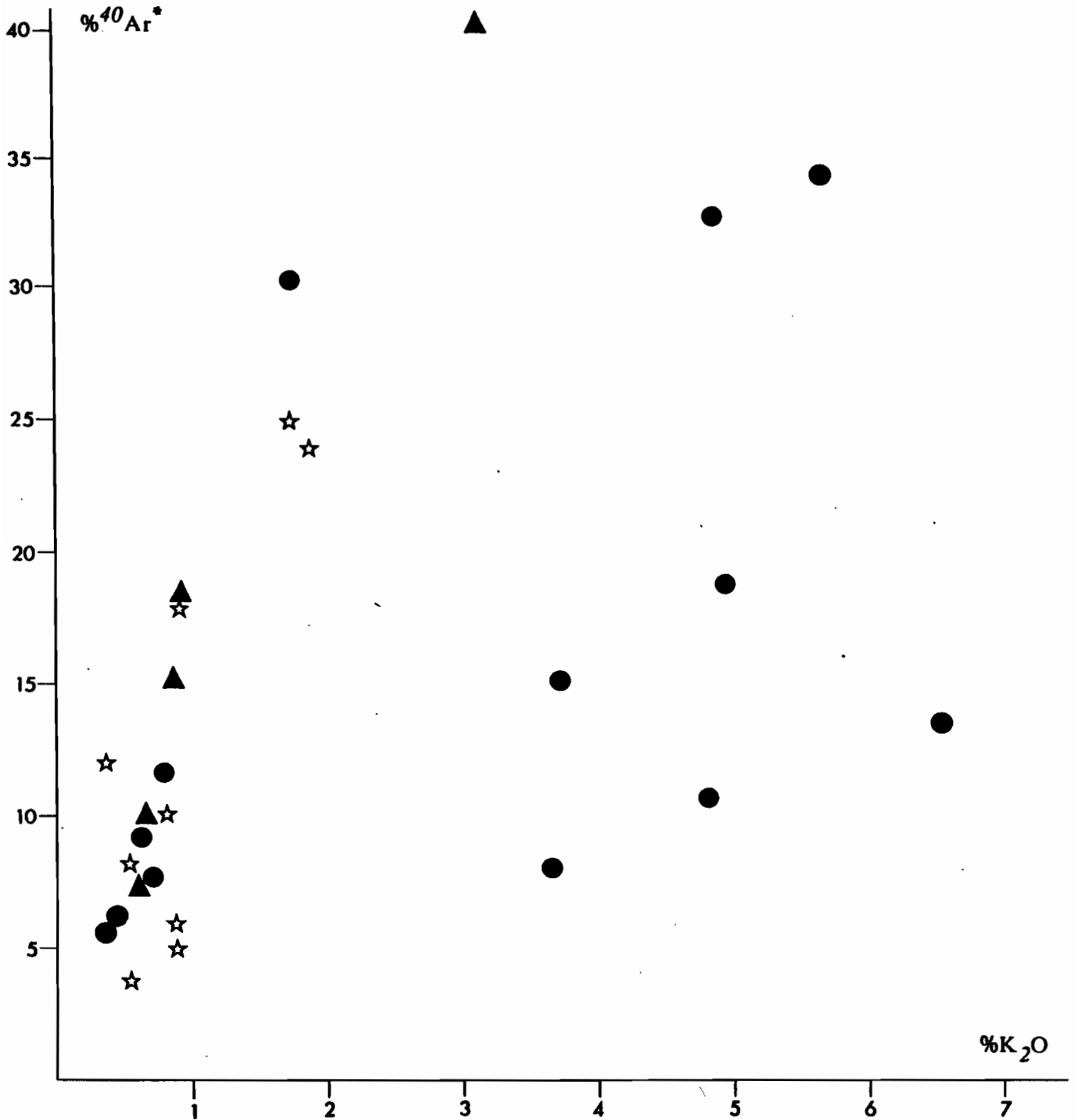


Figure II-11 : Le pourcentage de  $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{total}$  en fonction de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  dans les laves des fossés du Sud.  
 $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{tot}$  ratio versus  $\text{K}_2\text{O}$  content of southern troughs lavas.

La distribution générale correspond à une augmentation de  $^{40}\text{Ar}^*$  en fonction de  $\text{K}_2\text{O}$  et de l'âge. Mais l'examen plus détaillé du diagramme révèle des comportements spécifiques.

Les laves de l'île de Vanua Lava montrent une anti-corrélation avec l'andésite VLA15, riche en  $\text{K}_2\text{O}$  (2,25 %), en position excentrée en raison de son faible rapport  $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$ . Sa richesse en  $\text{K}_2\text{O}$  devrait se traduire par un rapport plus élevé puisque l'âge calculé est équivalent à ceux des basaltes de l'île beaucoup moins potassiques ( $0,7 < \text{K}_2\text{O} < 1,4\%$ ). Les laves des îles d'Ureparapara et Anatom montrent une importante variabilité des rapports  $^{40}\text{Ar}^*$  (6 à 16,5 %) pour des laves d'âges et de  $\text{K}_2\text{O}$  assez peu variables. D'autre part, les échantillons MVA15 (Mota Lava) et GA5 (Gaua), datés respectivement à 2,5 et 3,4 Ma, présentent des rapports de  $^{40}\text{Ar}^*$  (6 à 5 %) faibles au vu des âges obtenus.

## 2/ Les fossés

### a) Zone nord

La figure II-10 donne une image très comparable à celle des laves des îles. Cependant elle illustre clairement la différence entre les concentrations en  $^{40}\text{Ar}^*$  des laves des zones Vanikoro et Hazel Holme et celles des laves de la zone Vot Tande. Pour des teneurs en  $\text{K}_2\text{O}$  et des âges voisins [D6M1, D10M1 et M2, D12M1], les laves de la zone Vot Tande sont nettement plus radiogéniques que celles de la zone Vanikoro. Le basalte D15M6 de la zone Hazel Holme se rapproche du groupe de laves de Vot Tande.

Parmi les laves des zones Vanikoro et Hazel Holme, deux groupes s'individualisent en fonction du rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$ . Les laves dont le rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$  est supérieur à 8 % peuvent être considérées comme bien datées en raison des âges faibles (1 à 2 Ma) ou des teneurs en  $\text{K}_2\text{O}$  très faibles (< 0,2%). Au niveau du groupe caractérisé par moins de 7 % de  $^{40}\text{Ar}^*$  quelques échantillons sont par contre plus problématiques : - D14M5 (zone Hazel Holme) paraît peu radiogénique en comparaison du basalte D7M2 (zone Vanikoro) pour des âges anciens voisins (de 12 à 13 Ma) ; - D3M2 (zone Vanikoro) montre un faible rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$  par rapport aux dacites équivalentes de la zone, de même âge ; - D5M4 de la même zone présente un pourcentage faible (6,4%) par rapport à l'âge de 3,85 Ma ; enfin, la diorite D15M12 de la zone Hazel Holme présente un faible rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$  pour la teneur élevée en  $\text{K}_2\text{O}$  (4,07 %).

### b) Zone sud

Les laves de la zone sud montrent dans l'ensemble des rapports  $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$  plus élevés que ceux des laves des fossés nord et des îles (Fig. II-11). Ceci est en accord avec les concentrations de  $\text{K}_2\text{O}$ , généralement plus élevées dans les laves des fossés du sud.

Les laves les plus potassiques ( $\text{K}_2\text{O} > 3\%$ ) sont bien individualisées et se répartissent en deux groupes, en-deça et au-delà de 20 % de  $^{40}\text{Ar}^*$ , sans qu'il existe de relation directe entre l'âge et le rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$  (les dacites D27M1 et M4 ont respectivement 19 et 33 % de  $^{40}\text{Ar}^*$  pour une même teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  et des âges voisins). Il existe donc entre ces

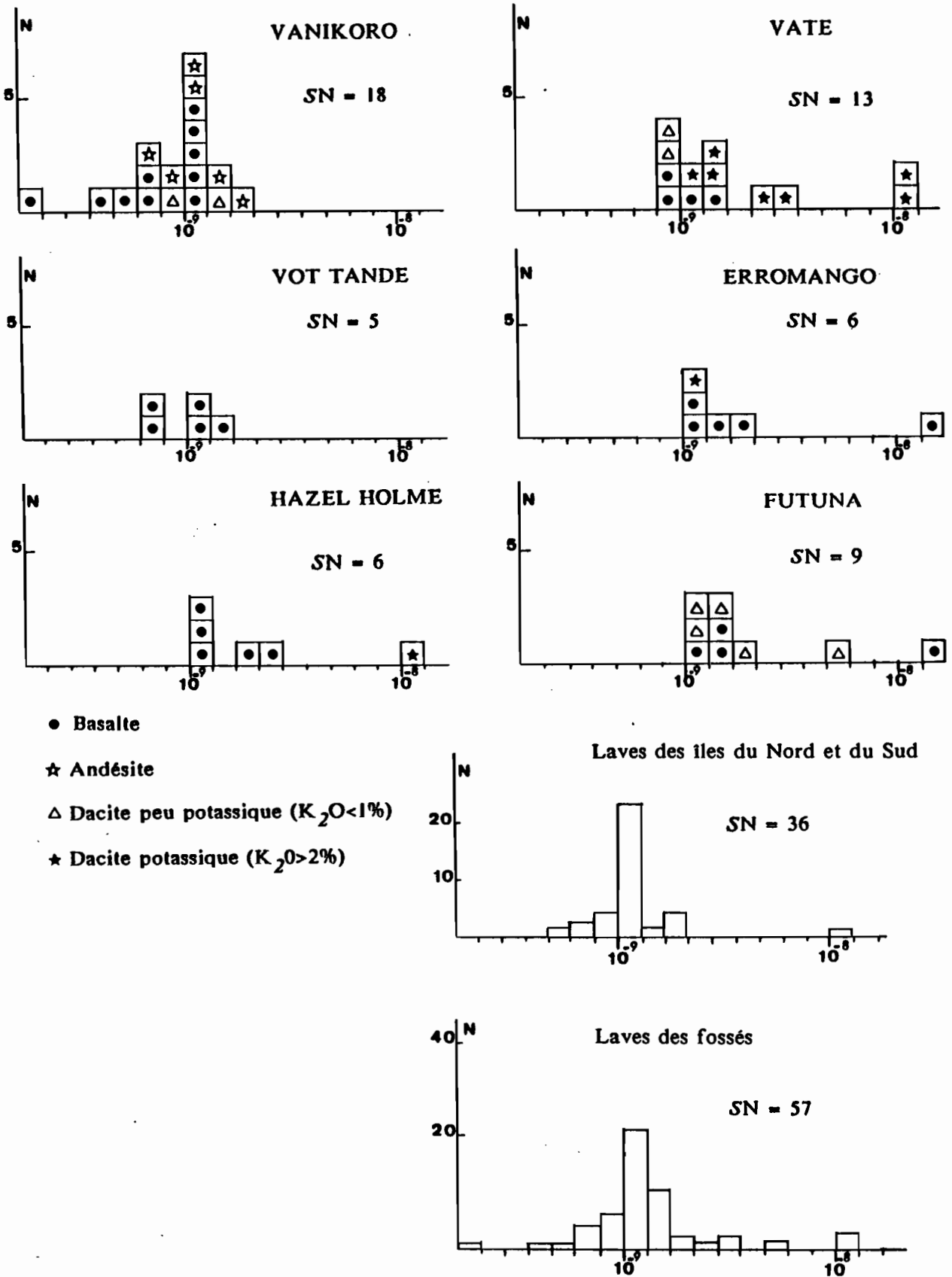


Figure II-12 : Histogramme de fréquence de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g) dans les laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides, en fonction du type pétrographique.  
*Histogram of  $^{36}\text{Ar}$  concentration in lavas from troughs and islands of the New Hebrides arc, according to the petrographic types.*

deux types de résultats une différence de qualité, les rapports les plus élevés garantissant une meilleure précision.

Parmi les laves moins potassiques nous distinguerons deux groupes de données : celui de plus de 10 % de  $^{40}\text{Ar}^*$  et celui de moins de 10 % de  $^{40}\text{Ar}^*$ . Le premier groupe montre une corrélation nette entre les rapports de  $^{40}\text{Ar}^*$  et de  $\text{K}_2\text{O}$ , pour les laves de la zone Futuna d'âges compris entre 6,5 et 6,1 Ma [D21M1 et M7, D17M3]. Les laves du second groupe correspondent généralement aux âges les plus récents et sont assez peu potassiques ( $0,35 < \text{K}_2\text{O} \% < 0,86$ ). Pour cette raison, nous admettrons que ces faibles rapports de  $^{40}\text{Ar}^*$  sont corrects et significatifs, comme nous l'avons fait pour les laves des fossés du Jean-Charcot. La pollution atmosphérique est intrinsèque à l'échantillon et n'a pas pour source principale l'ensemble expérimental.

Toutefois dans ce groupe de laves peu radiogéniques les résultats obtenus sur les deux andésites basiques D20M3 et M6 de la zone Futuna montrent une incohérence : ces deux laves présentent une teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  et un rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$  équivalents mais des âges très différents (4 et 0,7 Ma). En raison du faible rapport calculé, l'âge de 4 Ma de D20M3 paraît fort peu probable.

L'examen de ces diagrammes met donc en évidence un certain nombre de datations problématiques, au vu du faible rapport d'argon radiogénique calculé, compte tenu de l'âge et de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  de l'échantillon:

GA5, MVA15, VLA15 (îles Banks)  
D3M2, D14M5, D15M12 (fossés nord)  
D20M3, D28M1, D29M3 (fossés sud)

Nous constaterons par la suite que ce rapport faible est lié à de fortes concentrations de  $^{36}\text{Ar}$ .

## B - LA TENEUR EN $^{36}\text{Ar}$

La source atmosphérique constitue le réservoir principal responsable de la présence d'argon 36 dans les laves. La mesure de la concentration de cet isotope permet d'évaluer la contamination atmosphérique.

Les concentrations de cet isotope sont comprises entre  $7 \cdot 10^{-10}$  et  $4 \cdot 10^{-9}$  cc/g dans la majorité des échantillons datés (Fig. II-13 à 15); les concentrations les plus faibles sont de  $3 \cdot 10^{-10}$  cc/g et les plus élevées atteignent  $2 \cdot 10^{-8}$  cc/g. Ces valeurs correspondent aux teneurs des roches ignées généralement comprises entre  $10^{-10}$  et  $10^{-8}$  cc/g, dont les extrêmes vont de  $10^{-11}$  à  $10^{-7}$  cc/g (Ozima et Podoseck, 1983).

La position de passage de l'échantillon dans la série d'analyse (n° 1 à 9 qui suit le n° de manipulation) a bien entendu une influence sur le résultat : la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  se révèle plus faible lors d'un passage en fin de série. Les trois ou quatre premières analyses subissent davantage l'influence du blanc de ligne (Fig. II-8).

Les histogrammes de fréquence des concentrations de  $^{36}\text{Ar}$  (Fig. II-12) mettent en évidence ces variations. La concentration de  $^{36}\text{Ar}$  dans la majorité des laves des fossés et des îles se situe aux environs de  $10^{-9}$  cc/g ; un pic situé entre  $10^{-9}$  et  $2 \cdot 10^{-9}$  cc/g est particulièrement net pour les laves des îles et celles des fossés de Vanikoro, Hazel Holme

et Erromango. De façon générale, la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  est plus importante dans les laves des fossés sud que dans celles des fossés nord. Les concentrations particulièrement élevées ( $5.10^{-9}$  à  $2.10^{-8}$  cc/g) sont relatives aux dacites potassiques des zones Vaté et Hazel Holme, à une andésite de la zone Futuna et à un basalte de l'île de Gaua. Dans les autres zones et dans les îles, aucune différence systématique n'est exprimée entre ces laves acides, potassiques ou non, et les laves basiques.

La différence de concentration ne correspond pas à la nature aérienne (laves des îles) ou sous marine (laves des fossés) mais s'observe dans certaines zones (le domaine sud en général, la zone d'Hazel Holme et les îles voisines de Gaua et Vanua Lava), spécifiquement pour les laves potassiques.

### *1/ Evolution de $^{36}\text{Ar}$ en fonction de $^{40}\text{Ar}$ total*

La corrélation positive de  $^{36}\text{Ar}$  avec  $^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$  est remarquable, tant pour les laves des îles que pour celles des fossés (Fig. II-13 à 15) montrant que l'origine de la contamination des échantillons est donc de type atmosphérique.

Ce diagramme permet aussi de déceler des anomalies (pouvant traduire des effets de l'altération ou du séjour prolongé dans l'eau de mer), concernant les laves d'âges relativement élevés et situés à proximité de la droite, pour des valeurs souvent élevées de  $^{36}\text{Ar}$  :

- VLA15, E6, URF1, GA5 (Fig. II-9) (îles Banks)
- D3M2, D14M14, D15M12 (Fig. II-10) (fossés nord)
- D20M3, D28M1, D29M3 (Fig. II-11) (fossés sud)

De façon générale, ces laves correspondent à celles dont les rapports d'argon radiogénique sont problématiques, compte tenu de leurs âges et teneurs en  $\text{K}_2\text{O}$  (cf. A).

### *2/ Variations de $^{36}\text{Ar}$ en fonction de la teneur en $\text{K}_2\text{O}$ et de l'âge*

Afin de préciser les éventuelles anomalies de la teneur en  $^{36}\text{Ar}$ , nous avons représenté pour chaque zone des fossés et pour les îles nord et sud, la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  et l'âge des échantillons en fonction de  $^{36}\text{Ar}$  (Fig. II-16 à 19).

#### a - les laves des îles

Comme nous l'avons vu précédemment (Fig. II-12), les teneurs en  $^{36}\text{Ar}$  des laves des îles (nord et sud) se répartissent selon un spectre étroit entre  $8 \cdot 10^{-10}$  et  $3 \cdot 10^{-9}$  cc/g. Ceci se traduit par l'absence de corrélation de  $^{36}\text{Ar}$  avec  $\text{K}_2\text{O}$  ou l'âge (Fig. II-16 et 17). Toutefois, l'échantillon GA5 (Gaua) s'écarte nettement de la tendance générale par une valeur voisine de  $10^{-8}$  cc/g, pour  $\text{K}_2\text{O}$  égal à 1,3 %, c'est-à-dire relativement moyen mais avec un âge très élevé (3,45 Ma) par rapport à l'ensemble des datations obtenues pour les laves des îles. Cet âge nous paraît donc incertain, sans doute surestimé, la forte contamination semblant introduire un vieillissement artificiel de l'échantillon. D'autres

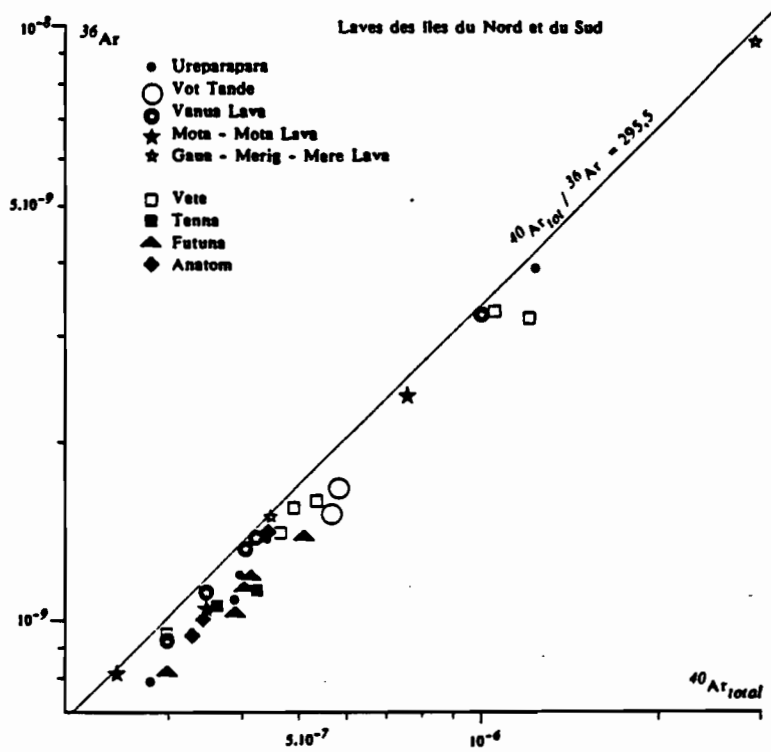


Figure II-13 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$ (cc/g) en fonction de celle de  $^{40}\text{Ar}_{total}$ (cc/g) dans les laves des îles du Nord et du Sud.  
 $^{36}\text{Ar}$  versus  $^{40}\text{Ar}_{tot}$  in the northern and southern islands lavas.

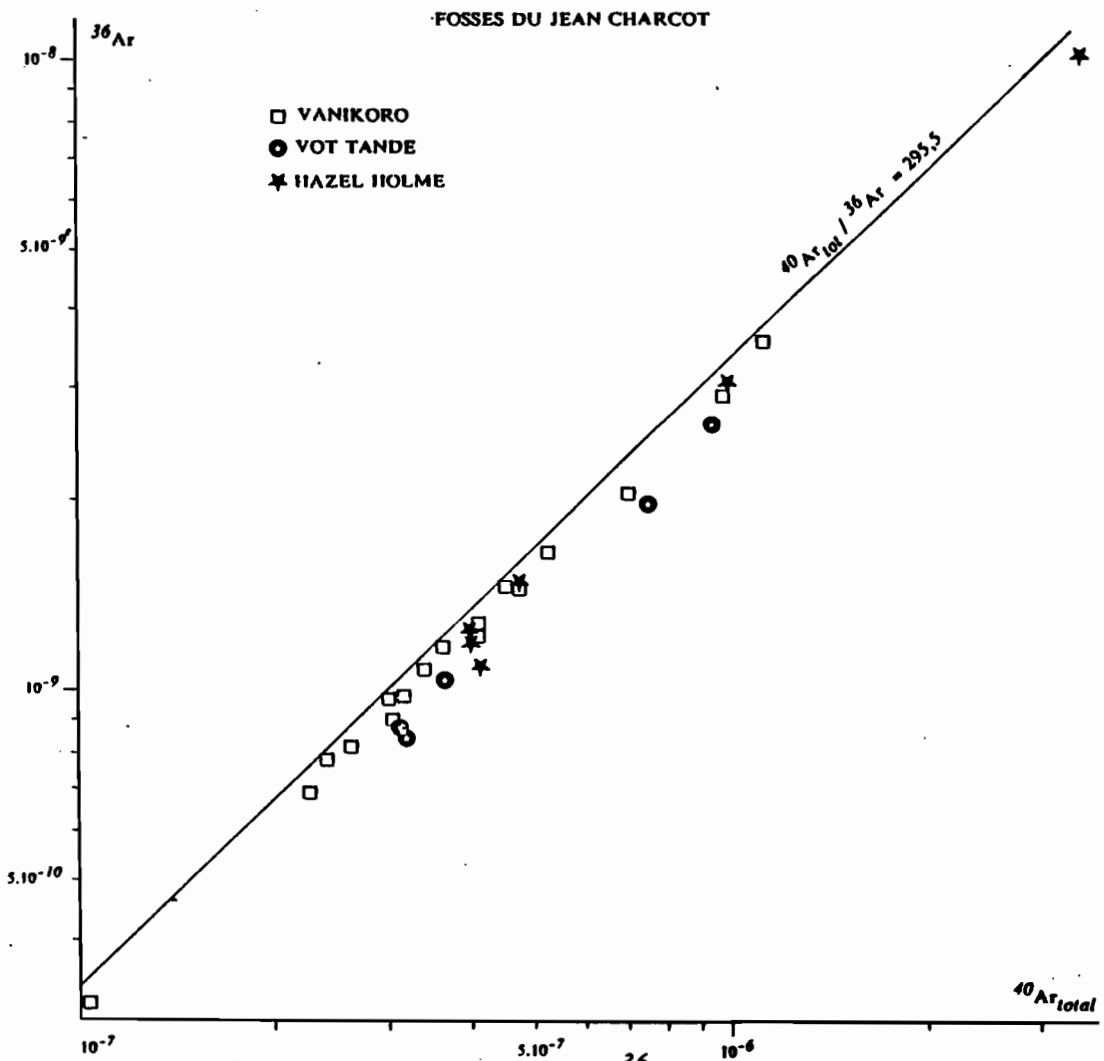


Figure II-14 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$ (cc/g) en fonction de celle de  $^{40}\text{Ar}_{total}$ (cc/g) dans les laves des fossés du Nord.  
 $^{36}\text{Ar}$  versus  $^{40}\text{Ar}_{tot}$  in the northern troughs lavas.

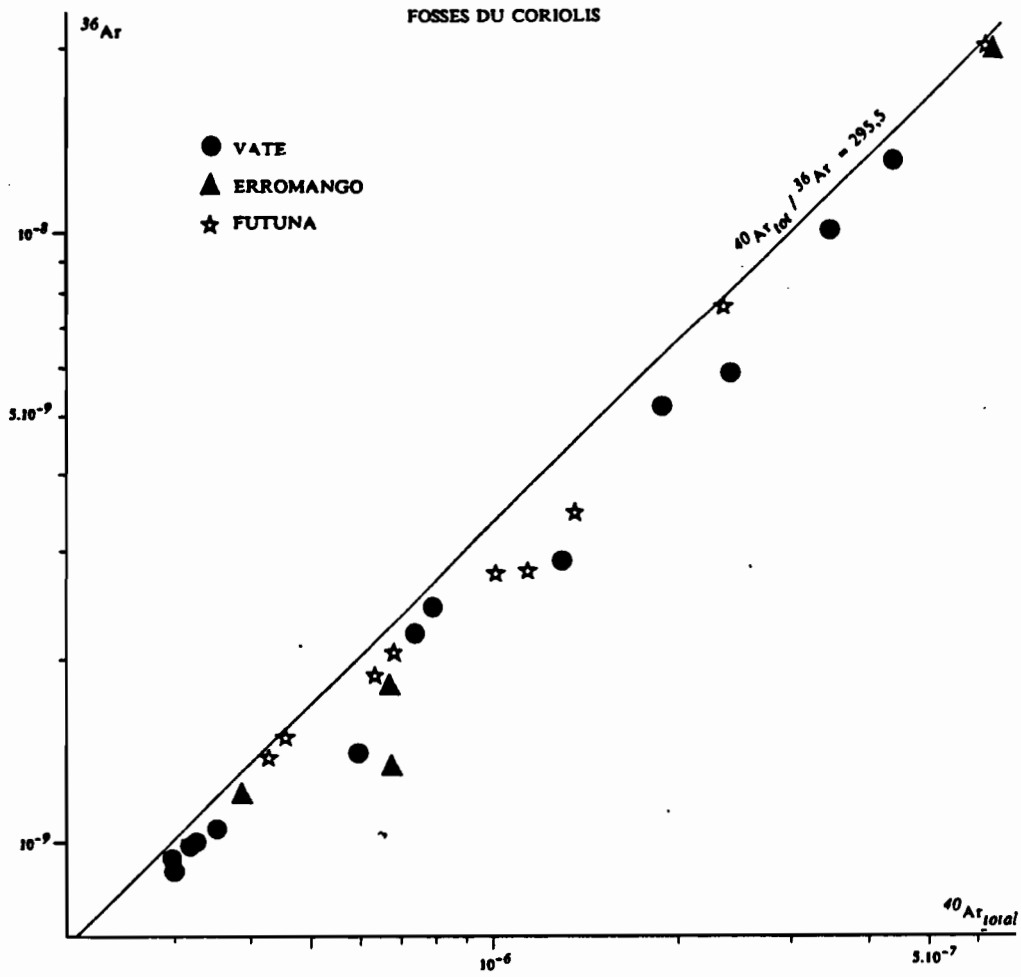


Figure II-15 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$ (cc/g) en fonction de celle de  $^{40}\text{Ar}_{\text{total}}$ (cc/g) dans les laves des fossés du Sud.  
 $^{36}\text{Ar}$  versus  $^{40}\text{Ar}_{\text{tot}}$  in the southern troughs lavas.

échantillons déjà notés (cf. A-1 et B-1) se distinguent également : VLA15, URF1, MVA15, E6.

b - Les laves des fossés (Fig. II-18 et 19)

Pour la zone Vanikoro, quelques échantillons s'écartent de la distribution moyenne : [D3M2 et D1M1], déjà signalés, vers des valeurs supérieures et D3M3 vers des valeurs inférieures. Cette dispersion des valeurs ne permet pas d'établir d'évolution de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  avec l'âge des échantillons.

Par contre, une corrélation positive entre la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  et l'âge des échantillons s'observe pour les basaltes de la zone Vot Tande, bien que l'on reste dans des valeurs modérées de  $^{36}\text{Ar}$  ( $< 3.10^{-9}$ ) (Fig. II-18a).

Les basaltes de la zone Hazel Holme montrent une corrélation positive de  $^{36}\text{Ar}$  avec l'âge, dont la dacite D15M12 s'écarte totalement avec un âge plus jeune (Fig. II-18a). L'enrichissement relatif en  $^{36}\text{Ar}$  dans les laves de cette zone, c'est à dire des basaltes les plus anciens D14M14 et D14M5 et de la dacite D15M12, pourrait provenir en partie de l'altération importante de ces échantillons.

Pour la zone Vaté on distingue dans le diagramme âges/ $^{36}\text{Ar}$  deux groupes différents, pour des âges compris entre 3,5 et 2,25 Ma, en fonction de la richesse en  $^{36}\text{Ar}$  (Fig. II-19a). Un groupe se caractérise par des valeurs nettement plus élevées, supérieures à  $5.10^{-9}$ . Les valeurs de  $^{36}\text{Ar}$  se corrént positivement avec  $\text{K}_2\text{O}$  (Fig. II-19b).

Les laves de la zone Erromango ne présentent pas de variation significative de  $^{36}\text{Ar}$  quels que soient la valeur en  $\text{K}_2\text{O}$  et l'âge, même pour la dacite D24M3 (Fig. II-19b).

Les laves de la zone Futuna montrent quant à elles une plus grande variabilité de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$ . Deux groupes apparaissent dans le diagramme âges/ $^{36}\text{Ar}$  (Fig. II-19a) ; le premier (âges de 0 à 4 Ma) montre une corrélation positive, les laves les plus anciennes du groupe étant plus riches en  $^{36}\text{Ar}$ . La corrélation  $\text{K}_2\text{O}/^{36}\text{Ar}$  est perturbée au niveau des valeurs 0,8-0,9 % de  $\text{K}_2\text{O}$  (Fig. II-19b) par la valeur  $7.10^{-9}$  de  $^{36}\text{Ar}$  de l'andésite D20M3.

La comparaison des diagrammes âges/ $^{36}\text{Ar}$  des laves des îles et de celles des fossés met en évidence, dans le premier cas, une absence de corrélation et, dans le second, une corrélation positive de l'âge avec  $^{36}\text{Ar}$ , pour une période à peu près comparable de 0 à 4 Ma.

Cette différence entre les laves des fossés et celles des îles est nettement plus marquée dans le domaine sud; cela pose le problème d'une éventuelle contamination des échantillons des fossés lors d'un séjour prolongé dans l'eau de mer. Nous avons pu aussi constater dans un certain nombre de cas que des concentrations élevées en  $^{36}\text{Ar}$  semblent produire un certain vieillissement des échantillons. Ceci s'observe pour des échantillons dont la datation a été répétée en donnant des résultats sensiblement différents. Les exemples les plus nets sont ceux des basaltes D2M1 et M5, D5M5, D6M1, D7M4 et de la dacite D1M3 de la zone Vanikoro (Tabl. II-4, vol.2) pour lesquels l'âge le plus récent

obtenu correspond à la teneur la plus faible en  $^{36}\text{Ar}$  et généralement au rapport d'argon 40 radiogénique le plus élevé. Cet âge sera alors retenu. On rencontre encore ce phénomène pour le basalte D14M14 de la zone Hazel Holme, les dacites D26M6, D27M1 et M17, D28M1 de la zone Vaté, les laves basiques D16M1, D17M3, D19M1 et D21M7 de la zone Futuna.

Ceci pose donc le problème d'un possible "vieillessement" des âges mesurés sur les échantillons présentant de fortes concentrations de  $^{36}\text{Ar}$ . Ces variations sur l'âge obtenu sont d'autant plus marquées que l'âge et la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  sont faibles.

Quelques échantillons sont enrichis en  $^{36}\text{Ar}$ , en comparaison de la majorité des échantillons de leur zone. Il s'agit de GA5 (île de Gaua), D14M5 (zone Hazel Holme), D29M3 et D28M1 (zone Vaté), D20M3 (zone Futuna) et dans une moindre mesure URF1 (île d'Ureparapara), D1M1 et D3M2 (zone Vanikoro), D11M1, D11M2 (zone Vot Tande). Mais le problème de l'origine de cette contamination reste entier : s'agit-il d'une conséquence de l'altération des échantillons, de l'influence d'un séjour dans l'eau de mer ou d'un caractère intrinsèque à la source de l'échantillon ?

### *3/ Origine possible de la contamination en $^{36}\text{Ar}$*

#### a-Généralités

L'argon 36 présent dans l'échantillon peut représenter : - le stock présent à l'origine lors de la formation de la lave; - une contamination postérieure à la mise en place de la lave, attribuable à un échange avec l'eau de mer dans le cas des laves sous-marines ou provenant des roches encaissantes réchauffées lors de la mise en place de dykes ou sills.

S'il semble clair qu'il existe un réservoir principal mantellique, avec de faibles concentrations de  $^{40}\text{Ar}$  et de forts rapports  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ , qui constitue la source de la plupart des basaltes sous-marins, on ne peut écarter la possibilité d'hétérogénéités mantelliques pour les teneurs en gaz, ou des variations ultérieures de ces teneurs au cours de la montée des magmas (Ozima et Podoseck, 1983).

#### b-Laves étudiées

Le caractère localisé de cet enrichissement peut résulter de deux situations : 1/ le milieu environnant postcristallisation joue un rôle différentiel selon les secteurs; 2/ l'enrichissement est un phénomène primitif produit lors de la formation des laves et correspond à des phénomènes d'hétérogénéités de la concentration en argon des sources.

##### 1/Enrichissement postcristallisation

La contamination par l'eau de mer ne semble pas être le facteur principal de l'enrichissement en  $^{36}\text{Ar}$ , celui-ci s'observant dans certaines laves des îles ou des fossés. La concentration de  $^{36}\text{Ar}$  augmente au cours du temps (corrélations entre cette teneur et l'âge au niveau de certaines zones, fig. II-18a et 19a). Cet enrichissement secondaire est un phénomène postcristallisation à lente cinétique. Il traduit les interactions entre eau de mer et roche pour les laves des fossés. La contamination postcristallisation par l'eau de mer est

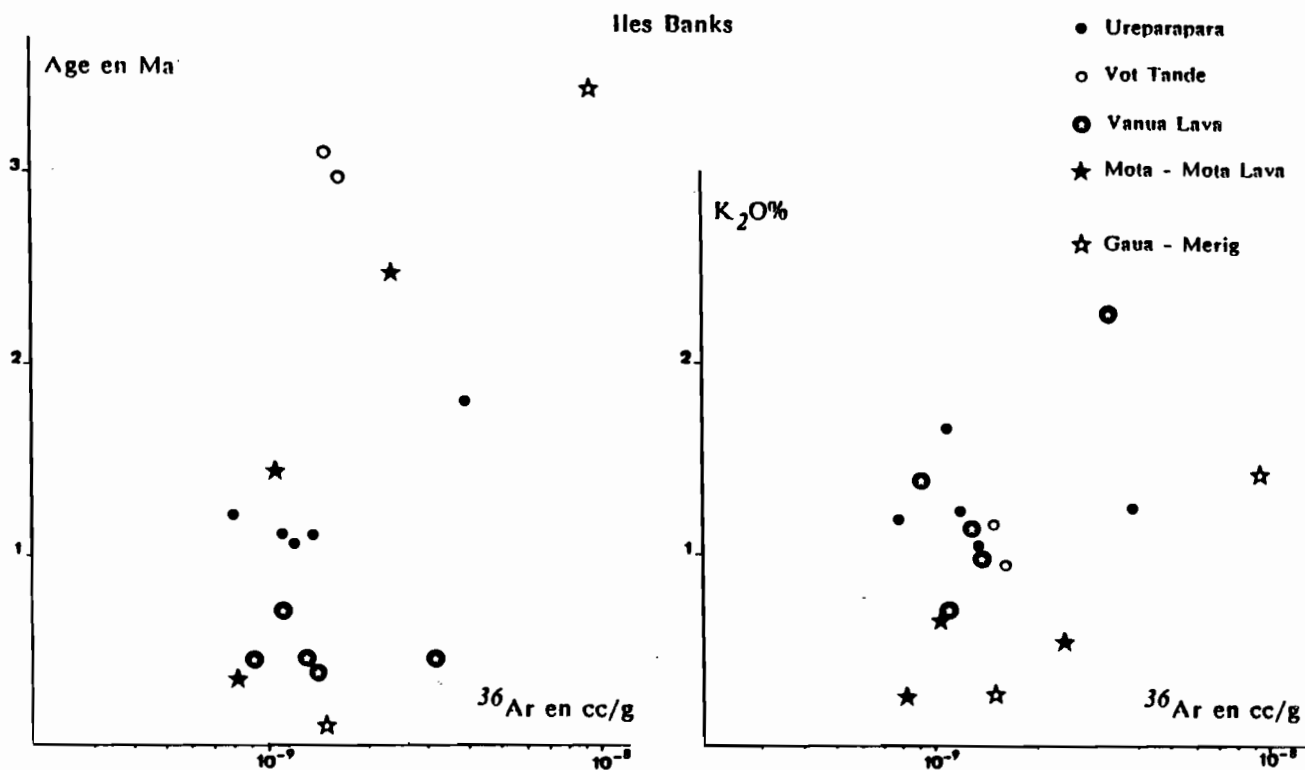


Figure II-16 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  dans les laves des îles Banks.

a - Age (Ma) en fonction de  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

b -  $\text{K}_2\text{O}\%$  en fonction de  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

*Variation of  $^{36}\text{Ar}$  in Banks islands lavas.*

a - Age (Ma) versus  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

b -  $\text{K}_2\text{O}\%$  versus  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

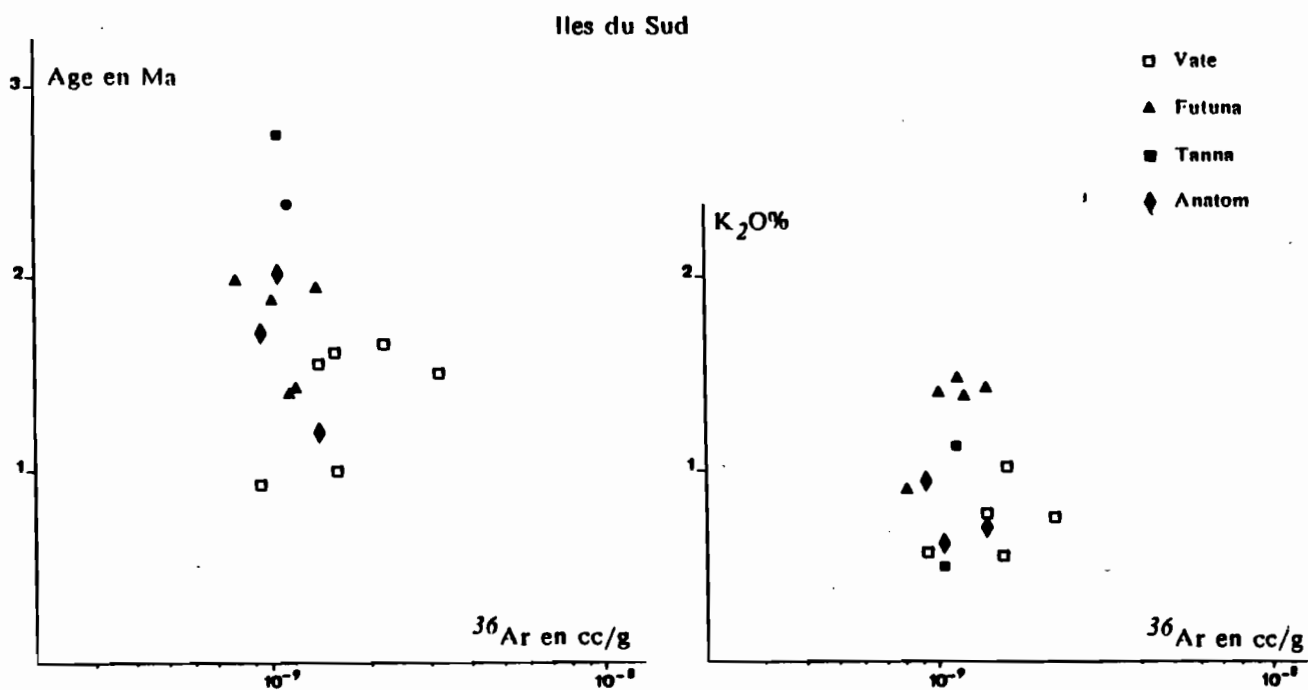


Figure II-17 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  dans les laves des îles du Sud de la chaîne centrale.

a - Age (Ma) en fonction de  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

b -  $\text{K}_2\text{O}\%$  en fonction de  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

*Variation of  $^{36}\text{Ar}$  in lavas from the southern islands .*

a - Age (Ma) versus  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

b -  $\text{K}_2\text{O}\%$  versus  $^{36}\text{Ar}$  (cc/g).

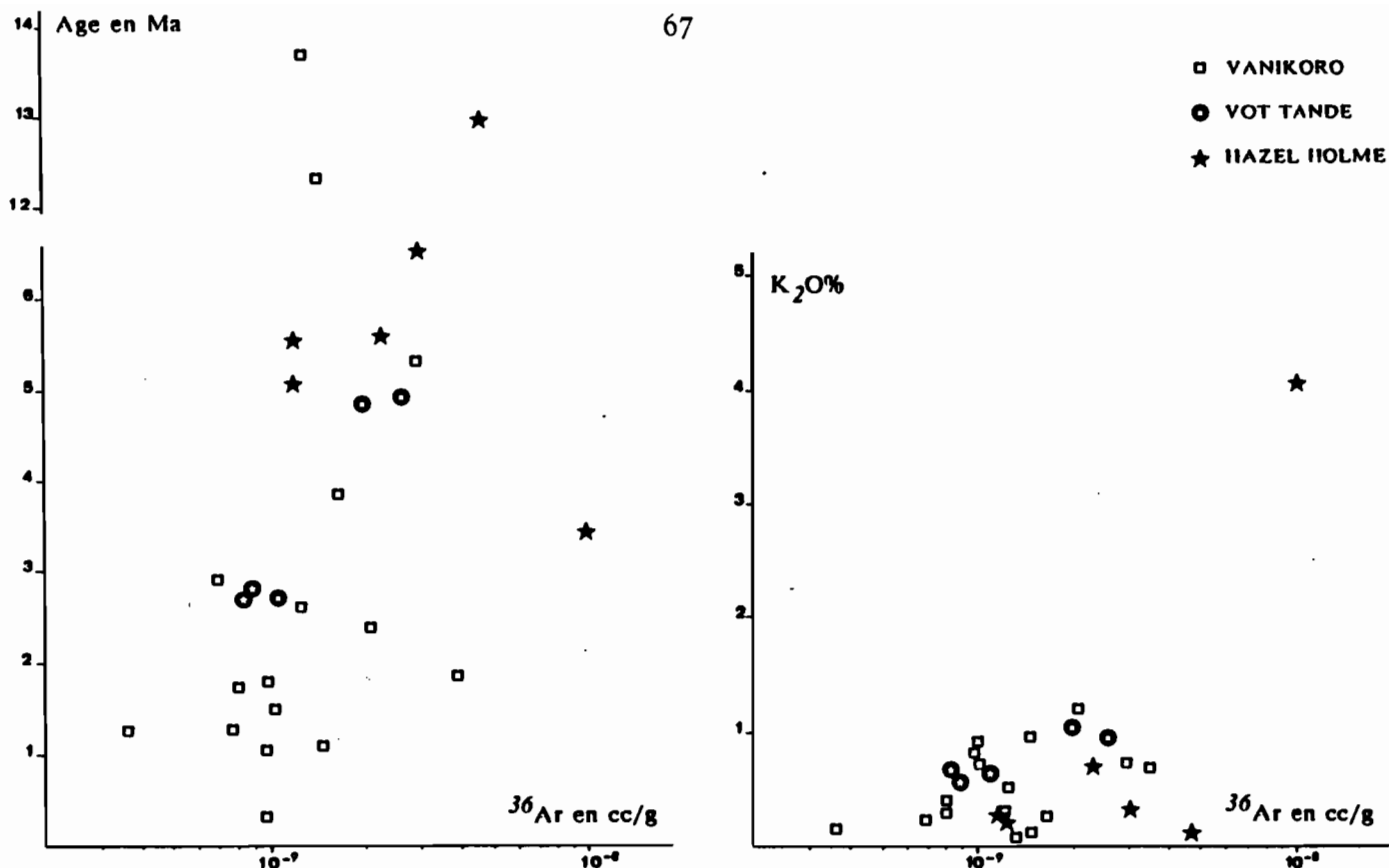


Figure II-18 : Variation de la concentration de <sup>36</sup>Ar dans les laves des fossés du Jean Charcot (domaine nord).

a - Age (Ma) en fonction de <sup>36</sup>Ar (cc/g).

b - K<sub>2</sub>O% en fonction de <sup>36</sup>Ar (cc/g).

Variation of <sup>36</sup>Ar in lavas from the Jean Charcot troughs (northern area).

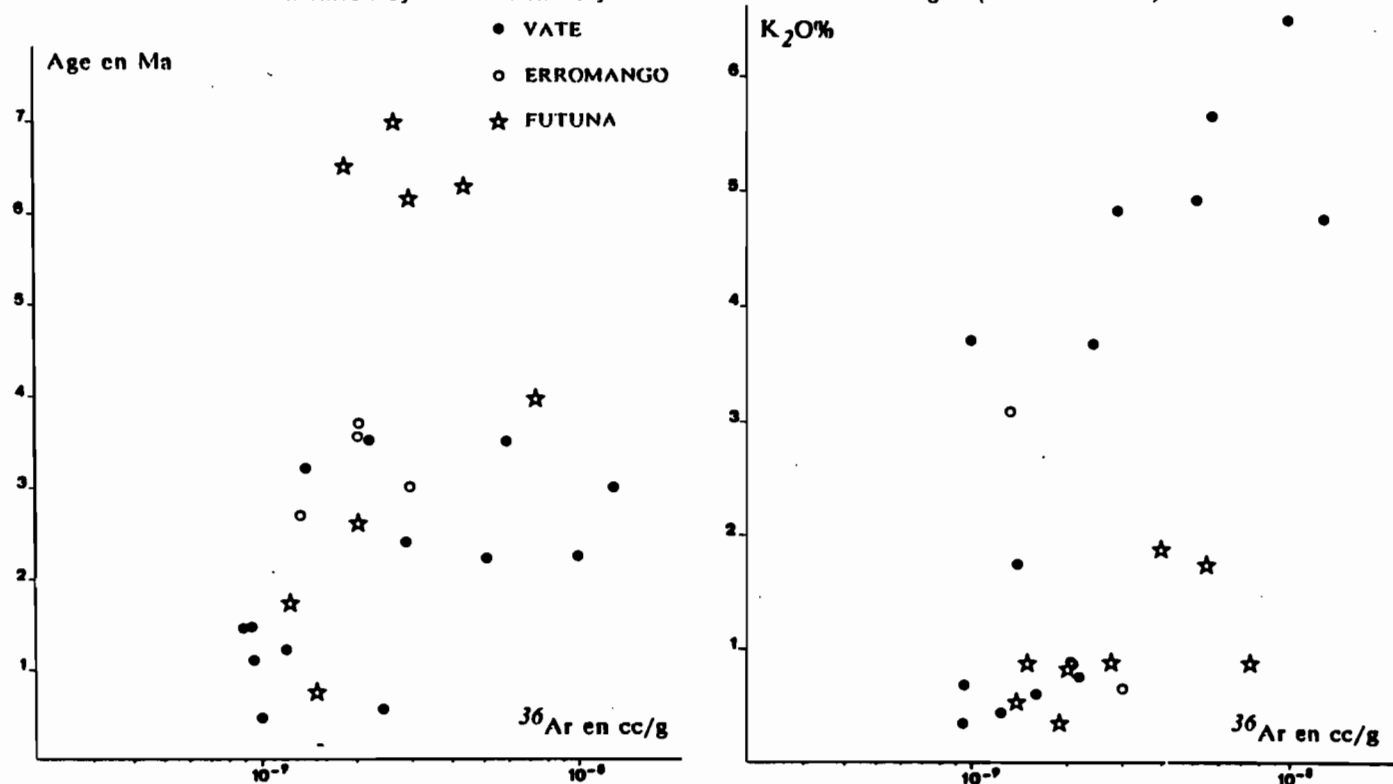


Figure II-19 : Variation de la concentration de <sup>36</sup>Ar dans les laves des fossés du Coriolis (domaine sud).

a - Age (Ma) en fonction de <sup>36</sup>Ar (cc/g).

b - K<sub>2</sub>O% en fonction de <sup>36</sup>Ar (cc/g).

Variation of <sup>36</sup>Ar in lavas from the Coriolis troughs (southern area).

plus importante que la contamination atmosphérique. Le milieu environnant joue un certain rôle car on observe une différence d'intensité du phénomène entre les laves des fossés nord et sud.

## 2/Enrichissement initial

Outre la possibilité d'hétérogénéités de la source, que nous ne pouvons prouver ici, il nous semble intéressant d'examiner le rôle de la vésicularité des laves dans la distribution de l'argon  $^{36}\text{Ar}$ . Deux hypothèses principales sont possibles : la vésicularité favorise le stockage d'Ar ou, au contraire, le dégazage. Dans le premier cas, la vésicularité rend compte, en outre, de conditions de mise en place spécifiques des laves, d'une pression de gaz élevée en particulier ; cette pression peut aussi jouer un rôle dans l'importance de la contamination. Dans le second cas le rôle de la vésicularité correspond à un phénomène postcristallisation favorisant la perte de gaz, notamment au cours de la préparation des échantillons pour la datation (l'argon éventuellement présent dans les vacuoles est alors perdu).

On remarque que les laves les plus vacuolaires (de la zone Vanikoro) (Fig. II-20) appartiennent au groupe le moins riche en argon  $^{36}\text{Ar}$  ; par contre, les teneurs importantes de  $^{36}\text{Ar}$  s'observent dans des laves peu ou pas vacuolaires (excepté D3M2 et D20M3). Ceci serait donc en faveur d'une perte de gaz secondaire postcristallisation plus importante dans le cas des laves vacuolaires. Toutefois des laves massives présentent de faibles concentrations.

La vésicularité semble être un facteur possible d'hétérogénéité de la répartition des gaz, posant des problèmes de reproductibilité des résultats (cas des laves de la zone Vanikoro) mais ne paraît pas la condition principale à une contamination, qui dépend apparemment davantage du milieu environnant anté- et post-cristallisation.

## C - LA REPRODUCTIBILITE DES RESULTATS

Une grande partie des mesures a été doublée, ce qui nous a permis de constater dans l'ensemble une assez bonne reproductibilité, comme en témoignent les résultats des tableaux II-2 à 9. Le choix des échantillons redatés a porté en priorité sur les datations pouvant être douteuses (faible rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$  et/ou fort taux de  $^{36}\text{Ar}$ ) ou paraissant particulièrement importantes au niveau de l'interprétation géologique.

Les problèmes majeurs de reproductibilité ont été rencontrés pour certaines laves, généralement pauvres en potassium et d'âge présumé assez récent. Ils concernent particulièrement un groupe de laves de la zone Vanikoro (basaltes D2M1 et M5, D5M5). La répétition du dosage de l'argon de ces échantillons a donné des résultats discordants. On notera que ces basaltes font partie des laves les plus vacuolaires (Fig. II-20). La vésicularité pourrait favoriser l'hétérogénéité de la répartition des gaz au sein de l'échantillon. Une mauvaise reproductibilité caractérise aussi le basalte D14M14 (Hazel Holme).

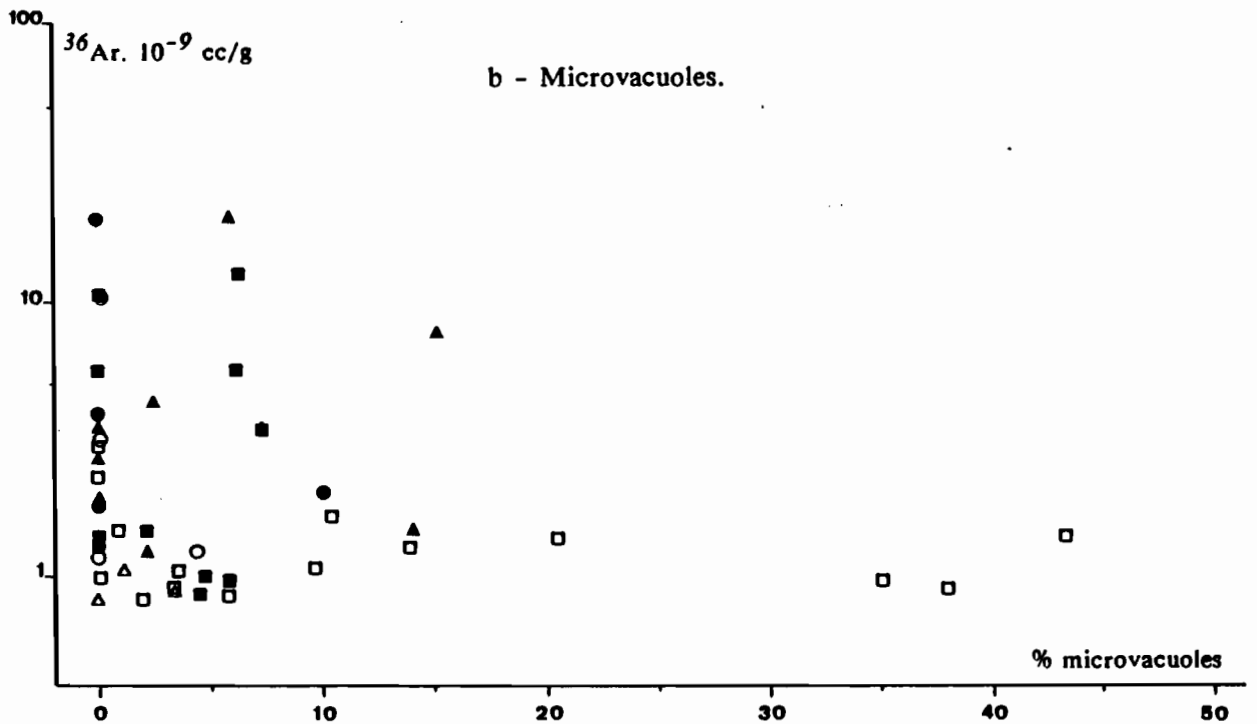
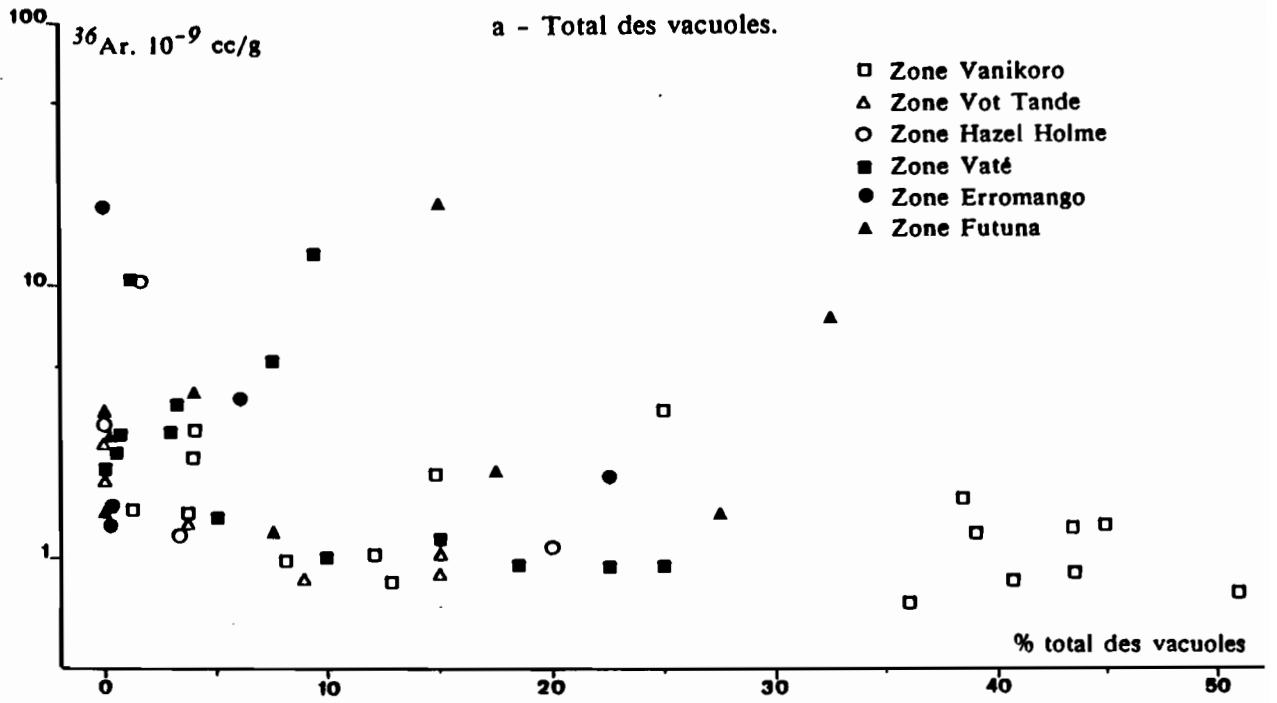


Figure II-20 : Variation de la concentration de  $^{36}\text{Ar}$  en fonction de la vésicularité dans les laves des fossés.

*Variation of  $^{36}\text{Ar}$  against vesicularity in lavas from the New Hebrides troughs.*

Par contre, parmi les échantillons à faible rapport de  $^{40}\text{Ar}^*$ , plusieurs montrent une excellente reproductibilité : D7M2, D5M1 et M4, D3M3 et M4, D1M3 et M5 (zone Vanikoro), D14M2 (zone Hazel Holme), D30M2 (zone Vaté), D20M6 (zone Futuna). De même pour les échantillons les plus riches en  $^{36}\text{Ar}$ , une très bonne reproductibilité a été observée : D11M1 (zone Vot Tande), D28M1 (zone Vaté), D17M3 (zone Futuna).

Cette reproductibilité nous garantit la validité des mesures, mais ne peut nous affranchir d'éventuelles pertes ou gains d'un des éléments du chronomètre, qui, s'ils ont eu lieu, se sont produits de façon homogène.

#### D - INFLUENCE DE LA NATURE PETROGRAPHIQUE DES LAVES

Les échantillons les plus problématiques appartiennent à plusieurs groupes pétrographiques (cf. chapitre III) et concernent, des laves très peu ou peu porphyriques, et des laves porphyriques. Dans la plupart des cas cependant, la phase minérale dominante est le plagioclase. Les laves à tendance ankaramitique (prédominance des clinopyroxènes et des olivines) paraissent moins problématiques.

- 1/ Les problèmes majeurs de reproductibilité concernent des échantillons peu porphyriques, souvent à mésostase contenant du verre et riche en vacuoles. Le problème de la vésicularité a déjà été traité. Turner et Jarrard (1982) ont comparé les âges obtenus sur roche totale et sur la mésostase seule des mêmes échantillons. Ils concluent à une meilleure validité des âges sur roche totale, les âges sur mésostase étant le plus souvent plus récents. Cette phase leur paraît plus susceptible de perdre de l'argon radiogénique au cours de la manipulation, en raison du grain plus fin et de la présence de verre et de produits d'altération. Dans cette hypothèse, la difficulté de dater certaines laves riches en mésostase pourrait s'expliquer. Mais ce phénomène ne peut être généralisé, car des laves comparables ne présentent pas de problème de datation.
- 2/ Les problèmes d'excès apparent d'argon  $^{36}$  souvent associés à un rapport d'argon radiogénique relativement faible se rencontrent principalement dans des laves porphyriques, à dominante plagioclasique.

Nous avons donc effectué quelques datations sur plagioclases.

Quant au problème de migration du potassium, il n'apparaît pas important dans le cas des laves étudiées en raison de deux faits principaux : - l'inexistence de variations marquées de la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  des verres autour des cristaux (cf Chap.III); - l'absence de phases minérales secondaires riches en  $\text{K}_2\text{O}$ .

#### E - DATATIONS SUR PLAGIOCLASES

Le choix des échantillons a été fait en fonction des problèmes posés par la datation sur roche totale et de la quantité possible de plagioclases à séparer.

Le tri est effectué au séparateur magnétique FRANTZ sur la fraction granulométrique inférieure à 100  $\mu$ . Des fragments de la mésostase vitreuse demeurent à l'issue de la séparation, le lot isolé renferme 85 à 90% de plagioclases. Le lot a subi des lavages (eau tridistillée).

Les résultats (tabl.II-13, vol 2) appellent les commentaires suivants :

- Seules les fractions dont les teneurs en  $K_2O$  sont supérieures à 0,2 % (D24M6; D21M1; D16M1) libèrent des fractions d'argon 40 radiogénique significatives ( 6% > R > 22%), autorisant à établir un âge.
- Les très faibles teneurs en  $K_2O$  des autres échantillons analysés rendent très aléatoires les dosages effectués : la constitution isotopique (rapport 40/36) mesurée est très voisine de celle de l'atmosphère. On remarquera l'âge très récent des roches totales D31M1 et DIM8. La difficulté du dosage est encore accentuée par le faible poids traité (0,7g).
- Pour le premier groupe de résultats, il apparaît que les âges mesurés sur plagioclases sont systématiquement supérieurs à ceux des roches totales. Toutefois un bilan tenant compte de la fraction de plagioclases dans la roche (30% maximum), de la faible teneur en  $K_2O$  de ces plagioclases comparativement à celle de la roche totale montre que la participation des plagioclases à la fraction totale d'argon radiogénique est restreinte (10% environ). Ceci permet d'établir que le léger excès d'âge Pl / âge RT n'influe que peu sur le résultat RT.

En conclusion, ces quelques données complémentaires permettent d'affirmer que les âges obtenus sur RT présentés dans ce travail sont significatifs dans les limites de l'incertitude du temps de leur cristallisation.

#### F - TESTS DE VALEUR DES DONNEES RADIOMETRIQUES

La classification proposée tient compte des différents facteurs étudiés dans ce chapitre. Elle traduit les problèmes rencontrés pour certains échantillons, particulièrement celui de la concentration de  $^{36}Ar$  qui produit généralement des diminutions du rapport d'argon 40 radiogénique et celui de la reproductibilité des résultats.

L'ensemble des observations précédentes nous permet d'établir le classement de valeur des datations suivant.

1. Les datations de type 1 correspondent aux échantillons à rapport d'argon radiogénique élevé, à teneurs normales en  $^{40}Ar_{total}$  et  $^{36}Ar$  et à bonne reproductibilité (pour les laves des fossés). Ces âges sont de très grande fiabilité.

2. Les datations de type 2 regroupent les laves présentant une bonne reproductibilité malgré un faible rapport de  $^{40}Ar^*$  (explicable par un âge récent et/ou une faible teneur en  $K_2O$ ) ou une forte valeur de  $^{36}Ar$ . Ces datations sont donc très convenables.

3. Les datations de type 3 comprennent les échantillons légèrement enrichis en  $^{36}Ar$  ou à assez faible rapport de  $^{40}Ar^*$ , et n'ayant pas montré une excellente reproductibilité, ou encore des échantillons dont la datation n'a pas été doublée (suivis du signe \* dans les tableaux II-11 et 12). Ces âges sont moins précis que ceux des catégories 1 et 2 ; il convient de parler de fourchettes d'âges.

## a - Ages des laves des îles.

| Catégorie   | 1                              |             | 3           |             |             |             |
|---|--------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|   | Ech.                           | Age en Ma   | Ech.        | Age en Ma   |             |             |
| I<br>L<br>E<br>S<br><br>B<br>A<br>N<br>K<br>S<br><br>N<br>O<br>R<br>D | Ureparapara                    | URMM3       | 1,2 +/- 0,1 | URF1        | 1,9 +/- 0,3 |             |
|   |                                | URMM2       | 1,1 +/- 0,1 | URG2        | 1,1 +/- 0,1 |             |
|   |                                | URF6        | 1,1 +/- 0,1 |             |             |             |
|   | Vot Tande                      | VGAB        | 3,1 +/- 0,2 |             |             |             |
|   |                                | VGM1        | 3,0 +/- 0,2 |             |             |             |
|   | Vanua Lava                     |             |             | VLC115      | 0,7 +/- 0,2 |             |
|   |                                |             |             | VMAC1       | 0,4 +/- 0,1 |             |
|   |                                |             |             | VLA69       | 0,4 +/- 0,1 |             |
|   |                                |             |             | VMAC006     | 0,4 +/- 0,1 |             |
|   | Mota Lava                      |             |             | MVA15       | 2,5 +/- 0,4 |             |
|   |                                |             |             | MVA11       | <0,3        |             |
|   | Mota                           |             |             | MOT1        | 1,3 +/- 0,1 |             |
|   | I<br>L<br>E<br>S<br><br>U<br>D | Vaté        | BOK11       | 1,5 +/- 0,1 | Ma6         | 1,6 +/- 0,2 |
|   |                                |             |             |             | q1          | 0,8 +/- 0,1 |
|   |                                | Futuna      | FUT65       | 2,0 +/- 0,1 |             |             |
| FMAC22  |                                |             | 2,0 +/- 0,1 |             |             |             |
| FMAC48  |                                |             | 1,6 +/- 0,1 |             |             |             |
| FMAC50  |                                |             | 1,4 +/- 0,1 |             |             |             |
| FUT2  |                                |             | 1,4 +/- 0,1 |             |             |             |
| Tanna   |                                | TAC35b      | 3,0 +/- 0,2 |             |             |             |
|   |                                | TAC37       | 2,3 +/- 0,1 |             |             |             |
| Anatom  |                                | AYMAC40     | 2,0 +/- 0,2 |             |             |             |
|   | AYC54                          | 1,6 +/- 0,1 |             |             |             |             |
|   |                                |             | AYC2        | 1,3 +/- 0,2 |             |             |

Tableau II-10 : Tableau récapitulatif des âges fiables, classés en trois catégories de validité décroissante de 1 à 3.

a - Ages des laves des îles.

b - Ages des laves des fossés.

*Recapitulated table of reliable ages, classified into three groups of decreasing reliability from 1 to 3.**a - Ages from islands lavas.**b - Ages from troughs lavas.*

## b - Ages des laves des fossés.

| Catégorie   |           | 1      |              | 2     |             | 3     |             |
|---|-----------|--------|--------------|-------|-------------|-------|-------------|
| ZONE  |           | Ech.   | Age en Ma    | Ech.  | Age en Ma   | Ech.  | Age en Ma   |
| F<br>O<br>S<br>S<br>E<br>S<br><br>D<br>U<br><br>C<br>O<br>R<br>R<br>I<br>O<br>L<br>I<br>S | VATE      | D27M12 | 3,5 +/- 0,3  | D27M1 | 2,2 +/- 0,1 | D29M3 | 3,0 +/- 0,2 |
|   |           | D27M17 | 3,4 +/- 0,2  |       |             |       |             |
|   |           | D29M6  | 3,2 +/- 0,2  |       |             |       |             |
|   |           | D27M4  | 2,4 +/- 0,1  | D30M2 | 1,4 +/- 0,2 | D28M1 | 2,2 +/- 0,2 |
|   |           |        |              | D31M1 | 1,4 +/- 0,2 | D31M2 | 1,5 +/- 0,2 |
|   |           | D26M6  | 0,5 +/- 0,02 | D26M7 | 0,5 +/- 0,1 | D30M1 | 1,1 +/- 0,2 |
|   | ERROMANGO |        |              | D24M4 | 4,1 +/- 0,2 | D25M2 | 4,1 +/- 0,3 |
|   |           |        |              | D24M6 | 3,6 +/- 0,2 | D25M4 | 4,0 +/- 0,6 |
|   |           | D24M3  | 2,7 +/- 0,1  |       |             |       |             |
|   | FUTUNA    |        |              | D21M7 | 6,5 +/- 0,5 | D21M1 | 6,1 +/- 0,3 |
|   |           |        |              |       |             | D17M3 | 6,1 +/- 0,3 |
|   |           |        |              |       |             | D16M1 | 5,2 +/- 0,3 |
|   |           |        |              |       |             | D19M1 | 2,6 +/- 0,3 |
|   |           |        |              | D20M6 | 0,7 +/- 0,2 | D20M1 | 1,7 +/- 0,3 |

| Catégorie  |             | 1     |             | 2     |              | 3      |             |
|--|-------------|-------|-------------|-------|--------------|--------|-------------|
| ZONE   |             | Ech.  | Age en Ma   | Ech.  | Age en Ma    | Ech.   | Age en Ma   |
| F<br>O<br>S<br>S<br>E<br>S<br><br>D<br>U<br><br>J<br>E<br>A<br>N | VANIKORO    |       |             | D7M2  | 12,4 +/- 0,9 | D5M4   | 3,9 +/- 0,6 |
|  |             |       |             | D5M1  | 2,9 +/- 0,4  |        |             |
|  |             | D3M1  | 1,8 +/- 0,1 | D3M3  | 1,8 +/- 0,3  |        |             |
|  |             | D1M9  | 1,5 +/- 0,1 | D3M4  | 1,2 +/- 0,2  | D6M1   | 2,6 +/- 0,2 |
|  |             |       |             | D1M3  | 1,1 +/- 0,2  | D7M4   | 2,3 +/- 0,2 |
|  |             |       |             | D1M8  | 1,1 +/- 0,2  | D3M2   | 1,8 +/- 0,5 |
|  |             |       |             | D1M3  | < 0,3        |        |             |
| C<br>H<br>A<br>R<br>C<br>O<br>T                                  | VOT TANDE   |       |             | D11M1 | 4,9 +/- 0,2  |        |             |
|  |             |       |             | D11M2 | 4,8 +/- 0,2  |        |             |
|  |             | D12M1 | 2,8 +/- 0,1 |       |              |        |             |
|  |             | D10M1 | 2,7 +/- 0,1 |       |              |        |             |
|  |             | D10M2 | 2,7 +/- 0,1 |       |              |        |             |
|  | HAZEL HOLME |       |             | D14M1 | 5,5 +/- 0,5  |        |             |
|  |             |       |             |       |              |        |             |
|  |             |       |             |       |              |        |             |
|  |             |       |             | D14M2 | 5,3 +/- 0,8  |        |             |
|  |             |       |             | D15M6 | 4,1 +/- 0,2  |        |             |
|  |             |       |             |       |              | D15M12 | 3,5 +/- 0,3 |

4. Les datations de type 4 sont plus problématiques, soit au niveau de la reproductibilité des résultats, pour des teneurs en  $K_2O$  relativement élevées, soit en raison de leur très faible teneur en  $K_2O$ , soit encore à cause d'une contamination excessive. Ces âges sont difficilement utilisables pour une chronologie précise des laves étudiées.

5. Les datations de type 5 concernent des échantillons dont les âges obtenus présentent une très importante incertitude, par une contamination excessive, et sont incohérents avec les teneurs en  $^{40}Ar^*$  ou en  $K_2O$ . Ces âges ne doivent en aucun cas être retenus.

Le tableau II-10 résume les datations retenues comme significatives et utilisées pour la reconstitution de l'évolution du volcanisme des Nouvelles-Hébrides.

### III - CHRONOLOGIE DE LA CHAÎNE CENTRALE ET DES FOSSES ARRIÈRE-ARC DES NOUVELLES-HEBRIDES

En fonction des critères précédents et de la classification adoptée, il est possible d'établir la chronologie de l'activité volcanique de la chaîne centrale et de la zone arrière-arc.

#### A - LES ILES DE LA CHAÎNE CENTRALE

Le spectre d'âge présenté en figure II-21-a reprend les données de la bibliographie (Tabl. II-12, vol.2) et les données nouvelles (tableaux II-2 et 3, vol.2). L'activité de la chaîne centrale est concentrée entre 4 et 0 Ma, avec une amplitude croissante au cours du temps, particulièrement entre 1,5 et 0 Ma. Cependant ces données doivent être considérées séparément en fonction des domaines nord et sud.

##### 1/ Les îles du Nord - îles Banks

Le spectre de l'activité actuellement émergée de ces îles est assez comparable à celui de l'ensemble des îles. L'activité volcanique des îles Banks, tout au moins de leur partie émergée, semble avoir débuté vers 3,5 Ma (Tabl. II-2 et II-12, Vol.2 ; Fig. II-21-a et II-22) au niveau de l'île de Vot Tande et éventuellement de l'île de Gaua.

##### a) Îles Banks Nord

L'édification de la petite île de Vot Tande (3 datations) s'est faite entre 3,5 et 3,0 Ma au cours d'une brève période.

Le bon groupement des âges obtenus pour les échantillons de l'île d'Ureparapara (5 datations) permet de définir une phase majeure d'activité de  $1,2 \pm 0,1 - 1,1 \pm 0,1$  Ma. La construction de l'île a cependant pu débuter antérieurement comme en atteste l'âge obtenu à  $1,9 \pm 0,3$  Ma, affecté toutefois d'une forte incertitude. Ash *et al.* (1980) présumaient que l'âge de l'activité à Ureparapara était voisin de celui de l'activité dans l'île de Vanua Lava (0,5 à 0,2 Ma).

L'île de Mota Lava (3 datations) montre deux épisodes distincts :  $2,5 \pm 0,4$  et  $0,3 \pm 0,1$  Ma; cette seconde phase avait déjà été décrite par Ash *et al.* (1980) qui avaient mesuré un âge de  $0,4 \pm 0,02$  Ma sur un basalte à olivine.

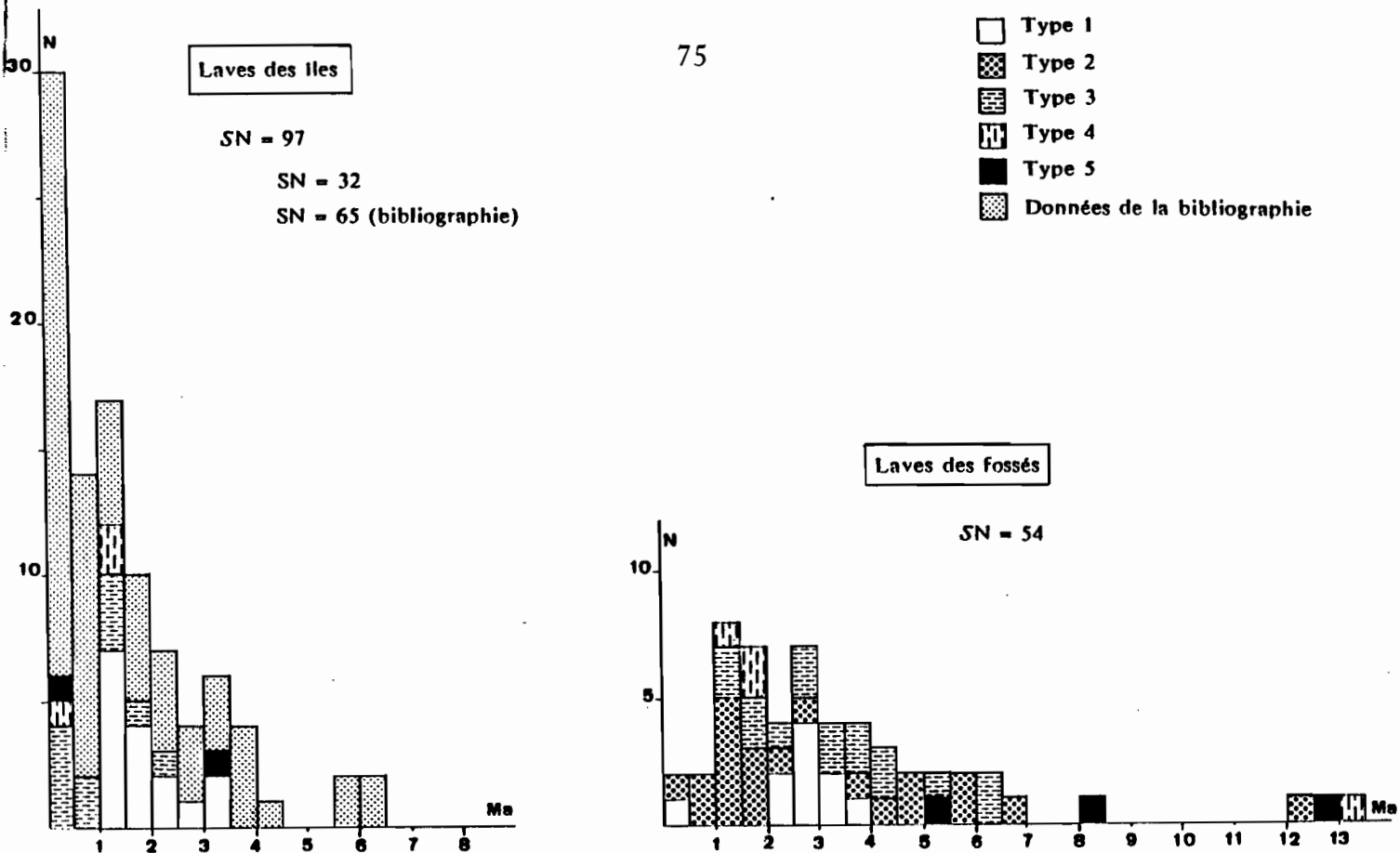


Figure II-21 : Histogramme de fréquence des âges des laves de l'arc des Nouvelles Hébrides, chaîne centrale et fossés. Les âges sont classés en fonction de la fiabilité des datations (pas = 0,5 Ma).

- a - Laves des îles de la chaîne centrale.
- b - Laves des fossés.

*Histogram of lavas ages from the New Hebrides arc, central chain and troughs. Ages are classified according to the datation reliability (step = 0,5 Ma).*

- a - Central chain lavas.
- b - Troughs lavas.

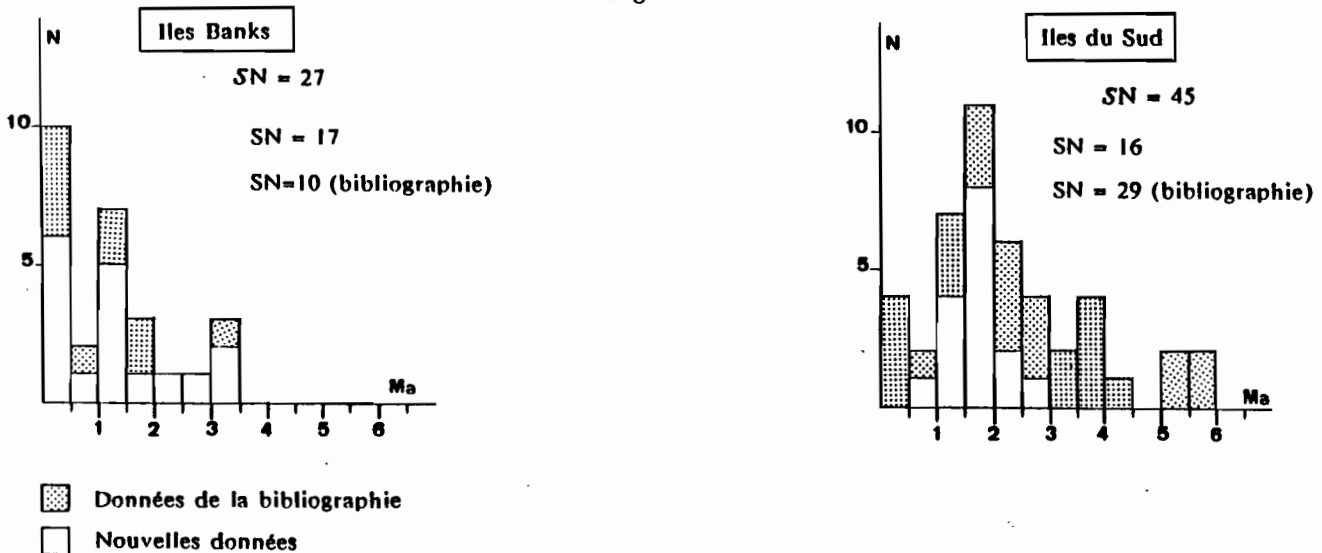


Figure II-22 : Histogramme de fréquence des âges des laves des îles de la chaîne centrale des Nouvelles Hébrides (pas = 0,5 Ma).

- a - Laves des îles du Nord (îles Banks).
- b - Laves des îles du Sud.

*Histogram of lavas ages from the central chain of the New Hebrides arc (step = 0,5 Ma).*

- a - Northern islands lavas (Banks islands).
- b - Southern islands lavas.

Les datations des laves de l'île de Vanua Lava (7 datations) sont concentrées sur une période assez brève et récente :  $0,7 \pm 0,2$  à  $0,4 \pm 0,1$  Ma. Un âge plus récent à 0,2 Ma a été donné par Ash *et al.* (1980).

Pour l'île de Mota, un seul résultat radiométrique à  $1,3 \pm 0,2$  Ma a été obtenu, qui diffère de l'âge présumé pléistocène par Ash *et al.* (1980), par équivalence des formations volcaniques avec celles de l'île de Mota Lava datées à 0,4 Ma. Nous avons également déterminé un âge plus ancien (2,5 Ma), dont la validité incertaine ne permet pas toutefois d'affirmer l'existence d'une phase aussi ancienne.

#### b) Iles Banks Sud

Gaua (4 datations), qui est l'île la plus développée de ce groupe, révèle deux stades d'édification, selon Mallick *et al.* (1975), entre 1,8 et 1,7 Ma et postérieurement à 0,8 Ma. L'âge de  $3,4 \pm 1$  Ma obtenu pour l'échantillon GA5 semble trop douteux pour être pris en considération. On retiendra simplement la possibilité d'un épisode plus ancien.

L'île de Mere Lava (1 datation), la plus orientale des îles Banks semble montrer deux stades d'édification distincts: vers 1,1 Ma (Gorton, 1974) et de moins de 0,3 Ma. Un âge de 1,1 Ma est également rapporté pour l'île de Merig (Mallick et Ash, 1975).

Au niveau des îles Banks Sud, une migration de l'activité volcanique apparaît clairement du NW au SE depuis Gaua (1,8-1,7 Ma), à Merig (1,1 Ma) et enfin Mere Lava ( $< 0,3$  Ma). Une évolution légèrement différente se dégage pour les îles Banks Nord qui montrent une migration de l'activité volcanique du Nord au Sud depuis Vot Tande (3,5-3 Ma), Mota Lava (2,45 Ma) et Mota (1,45 Ma), ou du NE au SW, entre Vot Tande et Ureparapara (1,8 à 1,2-1,05 Ma). Toutefois, la migration a lieu globalement du Nord vers le Sud. Enfin l'activité plus récente 0,7 à 0,3 Ma est localisée au niveau des îles Vanua Lava, Mota Lava et peut être Mota.

## 2/ Les îles du Sud

Les données chronologiques sur les îles de la partie méridionale de la chaîne centrale, qui regroupe les îles de Vaté, Erromango, Tanna, Futuna et Anatom, sont plus nombreuses que pour les îles Banks, particulièrement en ce qui concerne l'île d'Erromango étudiée par Marcelot (1980) et Bellon *et al.* (1984). Le spectre de leur activité (Fig. II-22-b) donne une image différente de celle de l'ensemble des îles (Fig. II-21-a), principalement en raison des âges de l'île d'Erromango.

L'île de Vaté (8 datations) résulte de deux épisodes principaux à  $1,6 \pm 0,2$  -  $1,5 \pm 1$  Ma et postérieurement à  $0,8 \pm 0,1$  Ma. L'édification des îlots situés au nord de l'île correspond sans doute à une activité très récente, comme en témoigne la morphologie très bien conservée, mais les datations réalisées sur les basaltes de l'îlot Emau ne sont pas satisfaisantes. Les âges obtenus se placent entre 2,45 et 1 Ma et ne sont pas reproductibles. Des problèmes de datation de ces formations récentes ont déjà été évoqués par Ash *et al.* (1978).

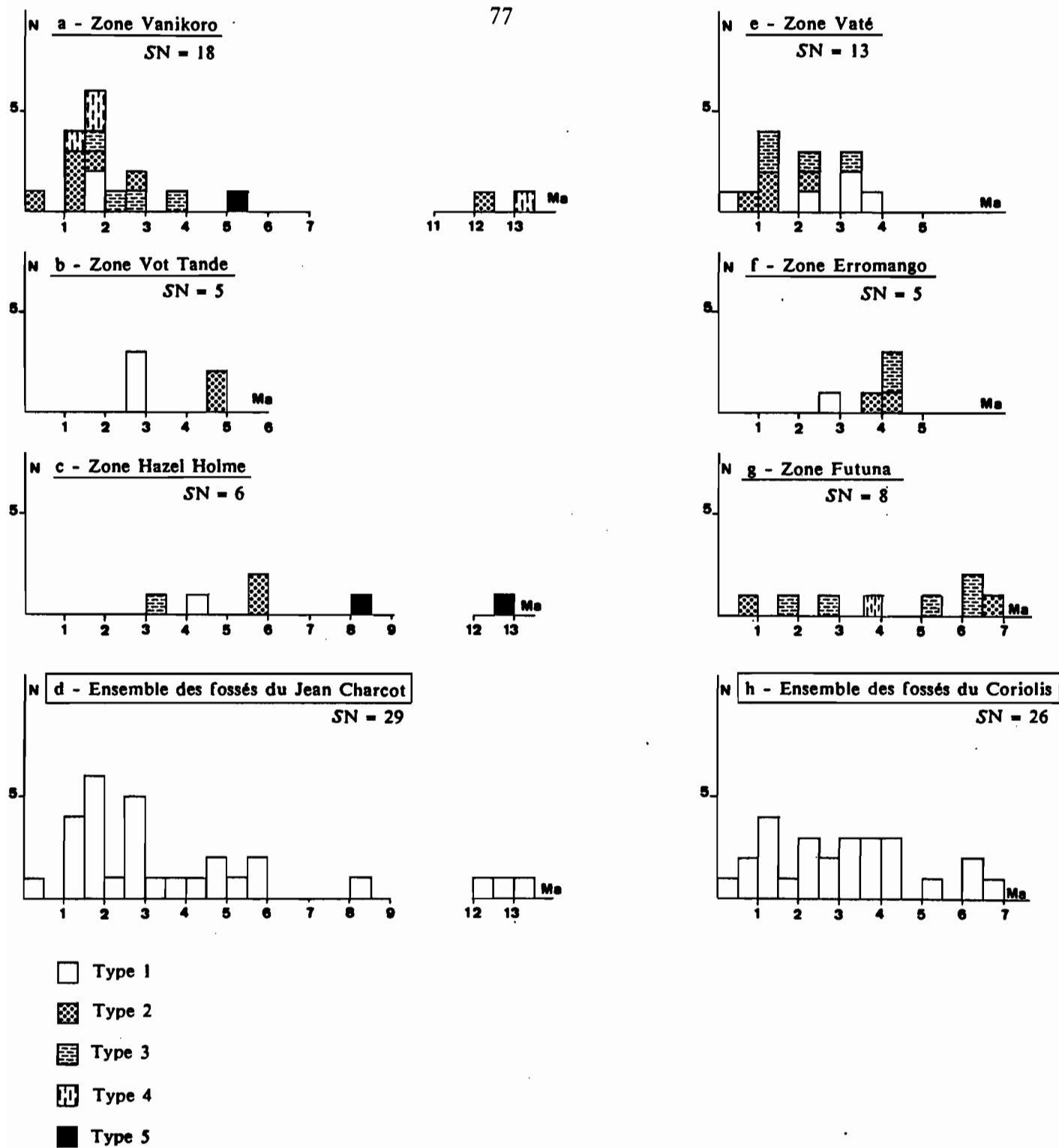


Figure II-23 : Histogramme de fréquence des âges des laves (pas = 0,5 Ma) pour chacune des zones des fossés des Nouvelles Hébrides, en fonction de la classification des datations.

*Histogram of ages of lavas from every area from the New Hebrides troughs, according to the datations classification (step = 0,5 Ma).*

L'île de Tanna (5 datations) montre une activité ancienne à  $3,0 \pm 0,2$  et  $2,3 \pm 0,1$  Ma. Cet âge est proche de celui de  $2,45 \pm 0,05$  Ma donné par un basalte de la formation de Green Hills (Dugas *et al.*, 1976). Une activité plus récente est également enregistrée :  $0,65$  à  $0,09$  Ma (Dugas *et al.*, 1976). Un volcan actif (Yasour) existe sur l'île.

L'activité de l'île de Futuna (7 datations) apparaît plus concentrée dans le temps, entre  $2,12$  et  $1,39$  Ma (datations H. Bellon, 1982, 1984). Les âges que nous avons obtenus sur les échantillons de cette île à  $2,0 \pm 0,1$  -  $1,6 \pm 0,1$  et  $1,4 \pm 0,1$  Ma confirment cette période.

Les laves de l'île d'Anatom (3 datations) sont datées à  $2,0 \pm 0,2$  -  $1,6 \pm 0,2$  Ma. Ces âges sont ceux de l'activité volcanique dans l'île de Futuna.

L'histoire de l'île d'Erromango s'étale sur une plus longue période, depuis  $5,8$  Ma jusqu'au Pléistocène. Il faut noter toutefois que cette île présente la chronologie la plus documentée. Les premiers témoins de l'activité remontent à  $5,76 \pm 0,59$  Ma (Colley et Ash, 1971) et  $5,13 \pm 0,27$  (Bellon *et al.*, 1984). Il s'agit des laves les plus anciennes rencontrées sur l'ensemble des îles de la chaîne centrale, sud et nord. Une activité importante est développée entre  $4,09$  et  $2,33$  Ma, puis des manifestations plus épisodiques sont enregistrées à  $1,69 \pm 0,2$  -  $1,2$ - $1,1$  Ma et enfin plus récemment à moins de  $0,3$  Ma au niveau du Mont Rantop (à l'Est de l'île).

Enfin, pour compléter ce spectre d'âges, rappelons que les îles de la région centrale, Aoba, Ambrym, Epi et les îlots voisins, sont le siège d'une activité récente :  $0,7$  à  $0,15$  Ma à Epi et Aoba et plus jeune que  $0,1$  Ma à Ambrym (Gorton, 1974).

## B - LES FOSSES ARRIERE-ARC

Les données obtenues sont ici entièrement nouvelles. Le spectre des âges de l'activité connue est présenté en figure II-21-b.

### 1/ Les fossés du Jean-Charcot

#### a) Zone Vanikoro (Fig. II-23-a)

Sur l'ensemble des données provenant des fossés et des îles de la chaîne centrale, les quelques témoins anciens d'une activité volcanique (datés à  $13,8 \pm 6,9^*$  et  $12,4 \pm 0,9$  Ma) proviennent du flanc est du fossé de Vanikoro (D7 ; Fig. I-12) ; ces basaltes représentent un événement extérieur à l'activité du fossé, qui pourrait débiter à  $3,9$  Ma (âge problématique) ou plus sûrement à  $2,9$  Ma. A ce moment pourrait débiter la construction de la base de l'édifice volcanique occupant le fond du fossé, au niveau du cône D5. Toutefois, l'âge de  $3,9 \pm 0,6$  Ma du basalte D5M4 pourrait être légèrement trop élevé en raison de la concentration relativement élevée en  $^{36}\text{Ar}$ . L'activité volcanique semble concentrée entre  $2,9 \pm 0,4$  et  $1,1 \pm 0,2$  Ma (Fig. II-23a). A partir de  $1,8 \pm 0,3$

Ma, elle est se limite à l'édifice volcanique et semble absente des flancs du fossé (Fig. I-12). Enfin, des émissions très récentes de moins de 0,3 Ma sont enregistrées au niveau du cône le plus occidental de l'édifice (D1). Dans cette zone, l'activité migre au cours du temps d'Est en Ouest, depuis le cône D5 jusqu'aux cônes D2 et D3, enfin D1 (Fig. I-12). La zone Vanikoro est le lieu d'une activité volcanique importante. L'échantillonnage réalisé permet de situer entre 2,9 et 1,1 Ma une phase importante, plus particulièrement entre 1,8 et 1,1 Ma. Les datations incertaines (type 4) obtenues pour les basaltes D2M1 et M5 rentrent néanmoins dans les limites de cette phase.

*b) Zone Vot Tande (Fig. II-23b)*

Le spectre des âges obtenu est beaucoup plus réduit que celui défini pour la zone Vanikoro : 4,9 à 2,7 Ma ; mais l'échantillonnage du matériel volcanique y est plus réduit.

Les âges à  $4,9 - 4,8 \pm 0,2$  Ma ont été obtenus sur des basaltes récoltés sur la petite ride médiane du fond du fossé (D11 ; Fig. I-13). Les basaltes provenant du petit cône D10, proche de cette ride, et ceux du flanc occidental du fossé (D12), ont des âges très rapprochés compris entre  $2,8 \pm 0,1$  et  $2,7 \pm 0,1$  Ma, légèrement postérieurs aux âges connus sur l'île de Vot Tande.

*c) Zone Hazel Holme (Fig. II-23c)*

L'état d'altération des laves draguées sur l'escarpement sud de la zone est souvent prononcé; ce phénomène doit être relié à l'intense hydrothermalisation de cette zone de fracture. Il vient altérer la validité et la représentativité des âges. Il nous semble que ceci est sensible notamment pour les laves très peu potassiques de la zone. Ainsi les âges les plus anciens obtenus de type 5 ont été rejetés. Par contre, nous retenons l'événement enregistré aux environs de  $5,5 \pm 0,4$  et  $5,2 \pm 0,8$  Ma et l'âge du basalte [D15M6] plus riche en  $K_2O$  et nettement plus radiogénique (Tabl. II-6, vol.2) daté à 4,1 Ma.

Enfin, un âge plus récent a été obtenu à  $3,5 \pm 0,3$  Ma [D15M12], qui doit être considéré avec prudence en raison du pourcentage relativement faible de  $^{40}Ar^*$  (13,1 %) au regard de la teneur élevée  $K_2O$  (4,07 %). L'altération de cet échantillon, assez peu prononcée ( $1,59$  de  $H_2O^+$  et  $0,39$  % de  $H_2O^-$ ) de cette dacite ne semble suffire pas à expliquer ce phénomène.

*d) Conclusions pour le domaine septentrional : îles et fossés*

Les âges les plus anciens à  $13,8 \pm 6,9$  Ma\*\* et  $12,4 \pm 0,9$  Ma qui demeurent isolés, ont été obtenus sur des laves constituant de probables témoins du substratum accidenté par la formation des fossés.

---

\* La forte incertitude calculée pour l'âge de ce basalte est liée à sa très faible teneur en  $K_2O$  (0,065%).

L'activité volcanique s'est exercée dans les fossés du Jean-Charcot entre 5,5 et 0,3 Ma (Fig. II-23d); le situé pic à 2,5 -1 Ma correspond uniquement aux laves de la zone Vanikoro.

Les âges anciens obtenus sur les laves des fossés (5,5 à 4,8 Ma) précèdent l'activité dans les îles Banks, qui commence seulement vers 3,5 Ma et s'accroît entre 2 et 0 Ma. Cette dernière période ne semble enregistrée dans les fossés qu'au niveau de la partie occidentale de l'édifice volcanique du fossé de Vanikoro, situé dans le prolongement N-S des îles de Gaua et Vanua Lava. Toutefois l'activité se poursuit dans les îles après la cessation des émissions dans les fossés. Un relais d'Est en Ouest de l'activité volcanique, depuis les fossés jusqu'aux îles, à la latitude des îles Banks du Nord, s'inscrit entre 2,7 et 2,5 Ma. Les âges des volcanites de l'édifice volcanique présent au fond du fossé de Vanikoro et peu tectonisé postdatent la formation du fossé, qui intervient donc avant 2,9 Ma; nous ne prenons pas en compte l'âge à 3,9 Ma en raison de la forte concentration de  $^{36}\text{Ar}$  de l'échantillon.

Plus au Sud, au niveau du fossé de Vot Tande, le cône D10 marque de la même façon une limite minimale de l'âge des fossés à 2,7 Ma. La ride médiane pourrait résulter de mouvements tectoniques ayant provoqué la surrection de blocs faillés, faisant affleurer au fond du fossé des laves plus anciennes comme celles du dragage D11 (4,8-4,9 Ma). Mais on peut aussi supposer qu'il s'agit d'une ride volcanique marquant le début du fonctionnement du volcanisme du fossé vers 4,9 Ma, dans ce cas précédant légèrement l'activité au niveau du fossé de Vanikoro (cf discussion en fin de chapitre).

## 2/ Les fossés du Coriolis

### a) Zone Vaté (Fig. II-23e)

Dans cette zone, l'activité volcanique se manifeste à partir de  $3,5 \pm 0,3$  Ma sur le flanc oriental actuel du fossé Est, puis s'y poursuit de façon plus ou moins continue jusqu'à  $2,2 \pm 0,2$  Ma. Une deuxième période d'activité ( $1,5 \pm 0,2$  et  $1,1 \pm 0,2$  Ma) développe de petits cônes volcaniques situés au Nord de cette zone (D30, D31 ; Fig. I-17). Les laves les plus récentes de la zone Vaté proviennent de la base du flanc oriental du fossé Est. L'explication la plus simple de cette position est que ces laves correspondent à des blocs éboulés.

On peut supposer que ce flanc a enregistré une succession de phases d'émissions volcaniques de façon plus ou moins continue entre 3,5 et 0,5 Ma. Ceci peut être interprété en une superposition de coulées. La période de 1,6 à 1,1 Ma semble caractérisée par un saut de l'activité volcanique vers l'Ouest, au niveau de l'île et des cônes D30 et D31 au Nord du fossé.

### b) Zone Erromango (Fig. II-23f)

L'activité volcanique débute apparemment un peu plus tôt dans cette zone que dans celle de Vaté, vers  $4,1 \pm 0,2$  Ma. L'échantillonnage volcanique peu important dans cette zone a

cependant permis de définir une phase d'activité entre  $4,1 \pm 0,2$  et  $3,6 \pm 0,2$  Ma, puis un épisode vers  $2,7 \pm 0,1$  Ma. L'ensemble de l'activité correspond globalement à la période 4,1-2,3 Ma définie pour l'île d'Erromango. Mais nous n'avons pas trouvé en position de fossé l'équivalent des activités plus anciennes ( $> 5$  Ma) ou plus récentes ( $< 0,3$  Ma) de l'île.

*c) Zone Futuna (Fig. II-23g)*

Les laves les plus anciennes datées dans le domaine sud proviennent de la zone Futuna, qui montre d'ailleurs le spectre d'âges le plus large. Les âges les plus anciens ( $6,5 \pm 0,5$  et  $6,1 \pm 0,3$  Ma) ont été obtenus pour des basaltes dragués sur de petits reliefs d'une centaine de mètres au fond du fossé (D21). Des âges à peine plus récents de  $6,1 \pm 0,3$  à  $5,2 \pm 0,3$  Ma caractérisent les laves draguées à la base du flanc Est du fossé (D16-D17 ; Fig. I-15), tandis qu'au sommet de ce flanc les laves sont datées à  $2,6 \pm 0,2$  Ma (D19). Cette coupe du flanc oriental du fossé de Futuna se situe au Sud de l'île du même nom, dont les laves d'âges compris entre  $2,0 \pm 0,1$  et  $1,4 \pm 0,1$  Ma semblent succéder aux dernières émissions du dragage D19.

Enfin, dans la partie septentrionale de cette zone, au droit de l'île de Tanna, l'échantillonnage d'un cône (D20) situé au niveau de la terminaison nord du fossé a donné des âges de  $1,7 \pm 0,3$  et  $0,7 \pm 0,2$  Ma, attestant de la construction assez récente de cet édifice et à peu près contemporaine de celle des cônes D30 et D31 de la zone Vaté. L'âge plus ancien de 3,6 Ma obtenu sur une andésite basique de ce cône n'est pas retenu en raison de la forte incertitude quant à sa validité due à la forte concentration en  $^{36}\text{Ar}$ .

*d) Conclusions pour le domaine méridional*

L'activité volcanique des îles de Tanna (3 à 2 Ma puis de moins de 1 Ma) et Futuna (2,1 à 1,4 Ma) est significativement plus récente que les témoins les plus anciens (6,5 à 5,2 Ma) présents dans le fossé de Futuna.

L'activité ancienne des fossés du Coriolis, entre 6,5 et 5,2 Ma, est limitée au fossé de Futuna. Les traces de l'activité ultérieure se trouvent dans le secteur d'Erromango, vers 4,1 Ma, et seulement à partir de 3,6 Ma dans le secteur de Vaté. On observe ainsi un gradient d'âge des premiers témoins volcaniques, de plus en plus jeunes du Sud vers le Nord. Le volcanisme recueilli dans les fossés du Coriolis précède dans le temps, comme au Nord, celui des îles. De la même façon, l'activité des îles se poursuit au-delà de la cessation d'activité enregistrée dans les fossés.

Dans les fossés du Coriolis, les laves les plus récentes proviennent souvent des édifices ou des cônes volcaniques situés au flanc des fossés : le cône D20 de la zone Futuna (1,5 à 0,7 Ma) et les cônes D30-D31 dans la zone de Vaté (1,5 à 1,1 Ma). Ces édifices situés sur les flancs septentrionaux, et non en fond de fossé, sont peu tectonisés. L'absence de déformation de ces cônes conduit à proposer qu'ils post-datent la phase majeure de formation des fossés. Selon cette hypothèse, l'âge de ces édifices constitue la limite

inférieure de l'âge de la formation des fossés : 4,1 Ma au niveau du secteur d'Erromango, 1,7-1,5 Ma pour les secteurs de Vaté et Futuna.

La série sédimentaire récente en éventail observée au niveau du fossé de Vaté témoigne cependant de mouvements récents. La structuration des fossés pourrait donc se réaliser au cours de plusieurs étapes, d'intensité variable.

### 3/ Comparaison avec les données de micropaléontologie

Dans le cadre d'une thèse en cours sur les séries volcano-sédimentaires de l'arc et des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides, Martine Gérard a réalisé des déterminations de microfaune, en collaboration avec C. Müller pour l'étude des nannoplanctons et G. Bizon pour les Foraminifères (Gérard *et al.*, en préparation). Les zones utilisées sont celles définies par Martini (1971) pour les nannoplanctons et par Berggren *et al.* (1985) pour les Foraminifères.

La détermination de la microfaune contenue dans les formations volcano-sédimentaires associées spatialement aux laves draguées dans les fossés constitue une source d'informations indispensables et complémentaires des résultats des datations radiométriques (tableau comparatif II-11).

Les échantillons datables sont essentiellement des roches sédimentaires à fond de calcite micritique avec une fraction biogène importante et des cristaux volcano-détritiques. Le ciment des brèches est le plus souvent azoïque.

L'ensemble des résultats permet de reconstituer une série dont les termes les plus anciens sont du Miocène terminal et les plus récents du Pléistocène; cette série n'est toutefois pas continue tout au long des fossés. La période la plus ancienne (foraminifères de la zone N17 du Miocène terminal), a été identifiée dans deux fossés : Vot Tande (D11) et Futuna (D16-D17). Les laves les plus anciennes de ces dragages sont datées à 4,9 (D11), 5,2 (D16) et 6,1 (D17) ; la correspondance entre les données est excellente pour le fossé de Futuna, la série sédimentaire est donc "synchrone". Pour celui de Vot Tande, la série sédimentaire recouverte est légèrement plus ancienne. Dans ces mêmes fossés (Vot Tande et Futuna), la série sédimentaire se prolonge au Pliocène inférieur (N18-N19) dans les dragages D9, D16 et D17. Les datations K-Ar des laves de ces deux dragages sont de 5,2 et 6,1 Ma. La série sédimentaire est donc là nettement postérieure à la série volcanique.

Le Pliocène supérieur (NN16) est bien représenté sur l'ensemble des fossés (D4-D5, Vanikoro ; D9-D10-D11, Vot Tande ; D28, Vaté ; D23-D24, Erromango ; D17-D18, Futuna). A l'exception du dragage D17, les autres dragages présentent des laves datées dans cette période : 3,4 à 2,5 Ma. La période de 2,2 à 2 Ma (NN18) n'a été reconnue que dans le fossé de Vot Tande (D11-D13).

La sédimentation pléistocène est la mieux conservée sur l'ensemble des fossés, sauf dans les zones Hazel Holme et Vaté. Ainsi la zone NN19 a été reconnue dans les dragages D4 (Vanikoro), D8-D11-D13 (Vot Tande), D23 (Erromango), D17-D18-D19 (Futuna).

Le Pléistocène supérieur - Holocène (NN20-NN21) est souvent difficile à différencier (D9-D11, Vot Tande ; D29-D30, Vaté ; D24, Erromango ; D19-D17-D16, Futuna). La zone NN20 a été identifiée dans les dragages D3-D5 (Vanikoro), D10-D12-D13 (Vot Tande), D26-D27-D31 (Vaté), et la zone NN21 dans D3-D4-D5 (Vanikoro), D22-D23-D25 (Erromango).

La sédimentation récente paraît donc sceller la dernière activité volcanique. Cependant il faut noter que les âges les plus récents du volcanisme proviennent souvent de dragages n'ayant pas rapporté de volcano-sédimentaire : D1 (Vanikoro), D20 (Futuna). On peut remarquer que l'échantillonnage présent montre une lacune apparente au niveau des zones NN17, inexistante, et NN18 très rare (de 3 à 2,2 Ma environ). Il peut bien sûr s'agir d'une lacune d'échantillonnage ou d'une absence de microfaune dans les sédiments de cette période.

La comparaison de ces données permet d'établir pour chaque zone un schéma d'évolution au cours du temps (Tabl. II-11).

La zone Vanikoro.- L'activité volcanique montre une migration d'Est en Ouest au cours du temps. Les dépôts volcano-sédimentaires succèdent à l'activité volcanique au niveau d'un même édifice. Ils sont d'autant plus importants et anciens quand on va vers l'Est.

La zone Vot Tande révèle l'existence d'une série volcano-sédimentaire beaucoup plus ancienne, débutant au Miocène supérieur et dont les témoins ont été prélevés au niveau de la ride médiane (D11). La série se poursuit au Pliocène inférieur et moyen au niveau du flanc oriental du fossé (D9), puis au Pliocène supérieur - Pléistocène, au niveau de la ride (D11), du flanc occidental (D13) et du cône (D10). Il est probable que la série est équivalente sur les deux flancs, les profondeurs de dragages différentes pouvant expliquer le décalage des âges. Le dragage D13 du flanc occidental (-1730 m à -1400 m) se situe stratigraphiquement au dessus du dragage D9 du flanc oriental (-2100 m à -1800 m). La présence des sédiments les plus anciens aux abords de la ride médiane et la lacune des dépôts sédimentaires entre 5,2 et 3,4 Ma sur cette ride, plaident en faveur d'une interprétation en horst de cette structure.

Le flanc sud de la terminaison occidentale de la zone Hazel Holme semble constitué d'une série volcanique relativement ancienne (5,6 à 3,5 Ma). L'absence de sédimentation pourrait témoigner de mouvements tectoniques récents de la zone de fracture.

Le flanc oriental du fossé est de Vaté a livré une série à dominante volcanique, assez récente, du Pliocène supérieur (3,5 à 2,2 Ma) puis du Pléistocène supérieur (0,5 à 0,1 Ma). La position stratigraphique actuelle des échantillons n'est pas conforme à la chronologie établie : les roches les plus récentes se situent à la base du flanc. Deux interprétations peuvent être proposées: (1) il peut s'agir d'éboulements, en particulier pour le dragage le plus profond D26, (2) cela peut aussi être en partie dû à des effondrements tectoniques se produisant lors de la formation du fossé.

Les cônes volcaniques du Pléistocène inférieur du Nord du fossé sont recouverts par une série sédimentaire peu épaisse du Pléistocène supérieur.

84  
a - Fossés du Jean Charcot.

| ZONE                                 | DRAGAGE   | SÉDIMENTS (%) | ZONES                        | MICROFAUNE (Ma)  | VOLCANITES (%) | ECHANTILLON VOLCANIQUE            | AGE (Ma)                   | INTERPRÉTATION  |
|--------------------------------------|---|---------------|------------------------------|--|----------------|-----------------------------------|----------------------------|---|
| V<br>A<br>N<br>1<br>K<br>O<br>R<br>O | D1 - Cône occidental de l'édifice volcanique en Fond du Fossé | 0             |                              |  | 100            | D1M9<br>D1M3<br>D1M8<br>D1M3      | 1,5<br>1,2<br>1,1<br>< 0,3 | Cône volcanique   |
|                                      | D2 - Cône central de l'édifice volcanique                     | 0             |                              |  | 100            | D2M1<br>D2M5                      | 2,0-1,0                    | Cône volcanique   |
|                                      | D3 - Cône oriental de l'édifice volcanique                    | 2             | NN20-NN21                    | 0,5 → 0  | 98             | D3M1<br>D3M2<br>D3M3<br>D3M4      | 1,8<br>1,5<br>1,8<br>1,1   | Cône volcanique pliocène terminal / pléistocène + série sédimentaire pléistocène supérieur  |
|                                      | D4  | 100           | NN16<br>NN19-NN21            | 3,4 → 2,5  |                |                                   |                            |   |
|                                      | D5 - Cône annexe oriental de l'édifice principal volcanique   | 50            | NN20-NN21                    | 0,5 → 0  | 50             | D5M4<br>D5M1<br>D5M5              | 3,9<br>2,9<br>2,5-1,5      | Cône pliocène moyen supérieur + couverture sédimentaire pléistocène supérieur plus développée                                       |
|                                      | D6 - Flanc Est  | 0             |                              |  | 100            | D6M1                              | 2,6 ?                      |   |
|                                      | D7 - Flanc Est  | 0             |                              |  | 100            | D7M2<br>D7M3<br>D7M4              | 12,4<br>(13,8)<br>2,3      |   |
| V<br>O<br>T<br>T<br>A<br>N<br>D<br>E | D10 - Cône adventif à la ride en fond de fossé                | 90            | NN16<br>NN20                 | 3,4 → 2,5<br>0,5 → 0,1                                 | 10             | D10M1<br>D10M2                    | 2,7<br>2,7                 | Cône volcanique pliocène supérieur + couverture sédimentaire pléistocène supérieur peu importante                                   |
|                                      | D11 - Ride médiane en fond de fossé                           | 100           | NN17<br>NN18<br>NN19<br>NN16 | 7,1 → 5,2 - brèches<br>2,2 → 2<br>2 → 0,5<br>3,4 → 2,5 |                | D11M1<br>D11M2                    | 4,9<br>4,8                 | Série volcano-sédimentaire miocène supérieur + volcanisme synchrone + série plus récente  |
|                                      | D12 - Flanc Ouest   | 2/3           | NN20                         |  | 1/3            | D12M1                             | 2,8                        | Série volcano-sédimentaire des flancs recoupée plus profondément à l'Ouest qu'à l'Est.  |
|                                      | D9 - Flanc Est  | 100           | NN18-NN19<br>NN16            | 5,2 → 3<br>3,4 → 2,5                                   | -              |                                   |                            | L'ensemble constitue une série pliocène supérieur/moyen, avec quelques épisodes volcaniques, puis pliocène supérieur / pléistocène. |
| HAZEL<br>HDLME                       | D14   | 1             |                              |  | 99             | D14M5<br>D14M14<br>D14M1<br>D14M2 | (13)<br>> 7<br>5,6<br>5,6  | Série volcanique le long du plan de faille.   |
|                                      | D15   | 2             |                              |  | 98             | D15M6<br>D15M12                   | 4,2<br>3,5                 |   |

migration du volcanisme d'Est en Ouest

A. K. 60

Tableau II-11 : Tableau comparatif des données de micropaléontologie sur les échantillons volcanosédimentaires et des datations radiométriques des laves des fossés. Echantillonnage de la campagne SEAPSO II-

a - Fossés du Jean Charcot.

b - Fossés du Coriolis.

*Comparative table of micropaleontological data from volcanosedimentary rocks and radiometric ages from lavas from the troughs. Sampling of the SEAPSO leg II cruise.*

a - Jean Charcot troughs.

b - Coriolis troughs.

## b - Fossés du Coriolis.

| ZONE                                      | DRAGAGE   | SEDIMENTS (%) | ZONES                             | MICROFAUNE (Ma)                   | VOLCANITES (%) | ECHANTILLON VOLCANIQUE             | AGE (Ma)                 | INTERPRETATION   |
|---|---|---------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|------------------------------------|--------------------------|--|
| V<br>A<br>T<br>E                          | D26<br>Flanc Est base                               | 25            | NN20                              | 0,5 → 0,1                         | 75             | D26M6<br>D26M7                     | 0,5<br>0,5               | Série Pléistocène Supérieur volcanique + sédimentaire  |
|   | D27<br>Flanc Est base                               | 5             | NN20                              |                                   | 95             | D27M12<br>D27M17<br>D27M4<br>D27M1 | 3,5<br>3,4<br>2,4<br>2,2 | Série volcanique Pliocène Moyen-Supérieur + sédimentation pléistocène  |
|   | D28<br>Flanc Est (> D27)                            | 10            | NN16                              | 3,4 → 2,5                         | 90             | D28M1                              | 2,2                      | Volcano-sédimentaire<br>Volcanisme Pliocène Supérieur  |
|   | D29<br>Flanc Est (> D28)                            | 10            |                                   |                                   | 90             | D29M3<br>D29M6                     | 3,0<br>3,2               | Volcanisme Pliocène Moyen  |
|   | D30<br>Cône à terminaison N                         | 1             |                                   |                                   | 99             | D30M2<br>D30M1                     | 1,4<br>1,1               | Cônes volcaniques du Pléistocène Inférieur   |
|   | D31<br>Cône à terminaison N                         | 5             | NN20                              |                                   | 95             | D31M1<br>D31M2                     | 1,4<br>1,5               | + Légère couverture du Pléistocène Supérieur   |
|   |   |               |                                   |                                   |                |                                    |                          | essentiellement des "ceulées" volcaniques  |
| E<br>R<br>R<br>O<br>N<br>A<br>N<br>G<br>O | D22<br>Flanc Ouest - base                           | 95            | NN21                              |                                   | 5              | D22M1                              | ?                        | Série volcano-sédimentaire inverse à la topographie  |
|   | D23<br>- supérieur                                  | 18            | NN16<br>NN19<br>NN21              | 3,4 → 2,5<br>2,0 → 0,5<br>0,1 → 0 | 2 (ponces)     |                                    |                          | → éboulements  |
|   | D24<br>- supérieur                                  | 10            | NN16                              | 3,4 → 2,5                         | 90             | D24M4<br>D24M6<br>D24M3            | 4,1<br>3,6<br>2,7        | (ou décalages tectoniques)   |
|   | D25 - Edifice à terminaison N du fossé Coriolis Sud | 85            | NN21                              | < 0,1                             | 15             | D25M2<br>D25M4                     | 4,0<br>4,0               | Cône volcanique Pliocène Inférieur recouvert / sédiments holocènes   |
| F<br>U<br>T<br>U<br>N<br>A                | D16<br>Flanc Est - base                             | 40            | N18-N19                           | 5,2 → 3,0                         | 60             | D16M1                              | 5,2                      |  |
|   | D17<br>Flanc Est - supérieur                        | 98            | N17<br>N18<br>N19<br>NN16<br>NN19 | 7,1<br>3,6 → 2,5<br>2,0 → 0,5     | 2              | D17M3                              | 6,1                      | Correspondance pour chaque dragage de la série volcano-sédimentaire avec volcanites, mais inversion de la chronologie avec la topographie actuelle : âges croissants vers le somest (sauf D19) → effondrements importants post 3 Ma, anté 2,6 Ma ? |
|   | D18<br>Flanc Est - supérieur                        | 100           | N17<br>NN16<br>NN18               | 7,1 → 5,2<br>3,4 → 3,5<br>2,2 → 2 |                |                                    |                          |  |
|   | D19<br>Flanc est - sommet                           | 98            | NN19                              |                                   | 2              | D19M1                              | 2,6                      |  |
|   | D20 - Cône à terminaison NO du fossé Coriolis       |               |                                   |                                   | 100            | D20M3<br>D20M1<br>D20M6            | 4. ?<br>1,77<br>0,7      | Cône volcanique pléistocène  |
|   | D21 - Relief 100 m fond fossé                       | 2             |                                   |                                   | 98             | D21M1<br>D21M7                     | 6,1<br>6,5               | Volcanisme ancien → horst en fond du fossé   |

Le fossé d'Erromango expose sur son flanc occidental une série à dominante volcano-sédimentaire présentant une inversion des âges par rapport à la profondeur des dragages. L'hypothèse déjà formulée d'une structuration en échelons le long du flanc est là aussi plausible. Le cône D25 montre un volcanisme ancien (Pliocène inférieur) recouvert par une importante série sédimentaire, dont seuls les dépôts les plus récents, holocènes, ont été datés.

Le fossé de Futuna montre une importante série volcano-sédimentaire ancienne et relativement continue du Miocène supérieur au Pléistocène. La répétition de niveaux d'âges équivalents dans des dragages superposés et la présence de formations plus récentes à la base du flanc évoquent à nouveau des décalages tectoniques. Des intrusions ou coulées volcaniques s'intercalent dans cette série.

Les petits reliefs du fond du fossé sont principalement constitués de roches volcaniques, d'âge ancien (Miocène supérieur). L'affleurement de ces laves au fond du fossé s'explique plus facilement par une structure en horst que par une remontée d'épanchements. Cette seconde hypothèse ne pourrait être envisagée que dans le cas d'âges récents de ces laves, non confirmés par nos datations.

Enfin, le cône D20 situé au NO du fossé est uniquement volcanique et récent (Pléistocène).

#### IV - CONCLUSIONS DE L'ETUDE CHRONOLOGIQUE

##### A - ACTIVITE COMPAREE DES FOSSES ET DES ILES

Considérant que les premiers témoins à 13-12 Ma présents dans la zone Vanikoro constituent le substratum du fossé, nous les distinguerons de l'ensemble des données plus récentes.

Le début de l'activité volcanique dans les fossés précède celui des îles de la chaîne centrale s.s. (excepté Pentecôte) (Fig. II-21). Il survient avec un décalage de 1 Ma entre le Sud et le Nord, respectivement vers 6,5 Ma et 5,5 Ma. Ce décalage entre les domaines nord et sud s'observe aussi au niveau des îles où l'activité commence vers 5,5 Ma au Sud (Erromango) et vers 3,5 Ma au Nord (Vot Tande), c'est-à-dire environ 1 à 2 Ma après le début de l'activité volcanique dans les zones des fossés (Fig. II-21). La période d'activité majeure se situe entre 3 et 1 Ma dans les fossés, entre 1,5 et 0 Ma dans les îles. Le décalage observé au niveau du début de l'activité volcanique, entre les fossés et les îles, se retrouve donc également au niveau de la phase majeure. Ceci évoque deux périodes de constructions similaires décalées dans le temps et l'espace. La caractérisation du volcanisme de ces deux périodes est nécessaire à l'interprétation de ce décalage.

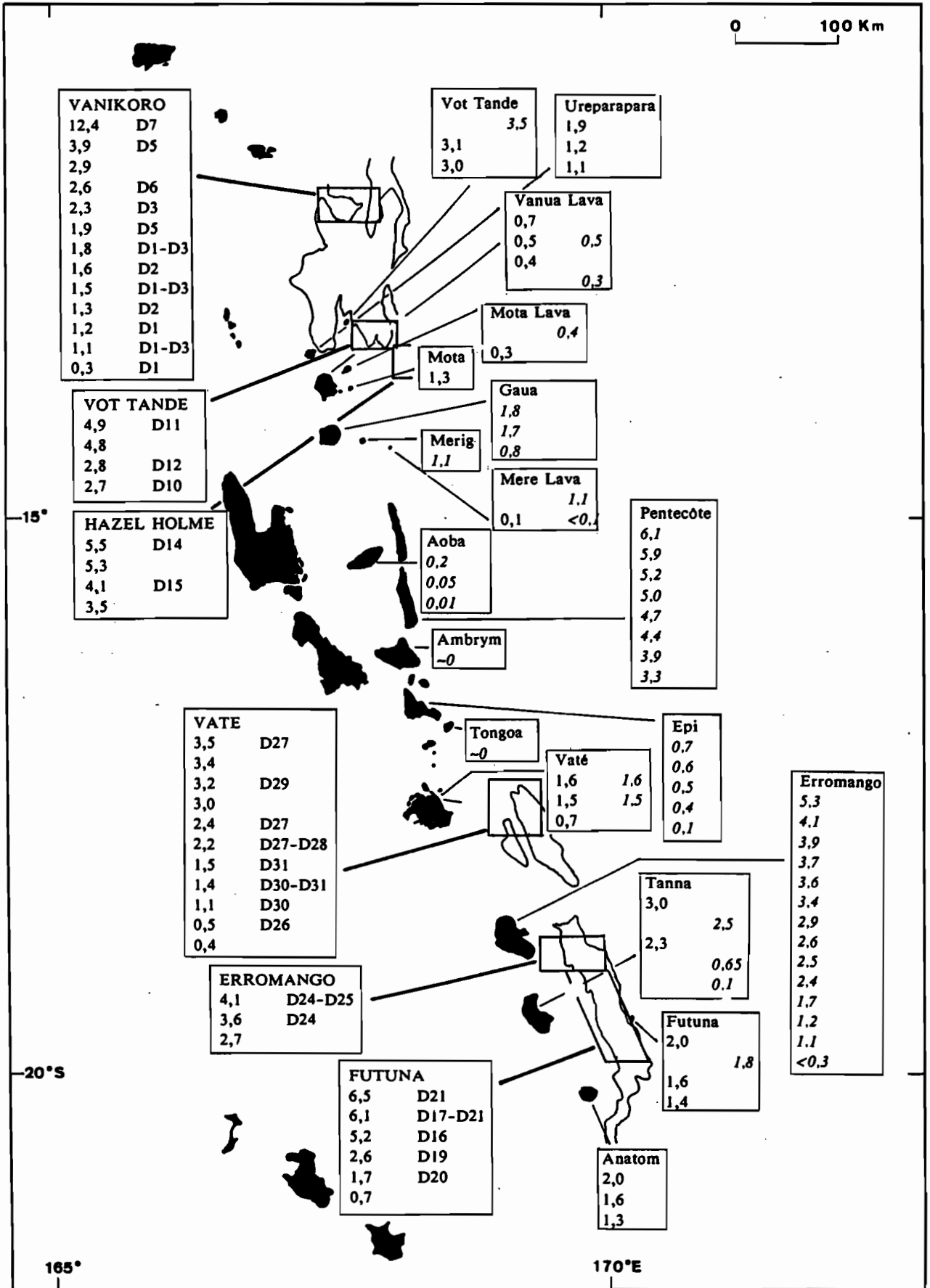


Figure II-24 : Carte géochronologique des Nouvelles Hébrides : datations nouvelles et anciennes (en italique) en Ma, pour chacune des îles et des zones des fossés.  
 Geochronological map of New Hebrides : new and old (italic) K-Ar ages in My for every island and trough area.

## B - PERIODES OU PHASES D'ACTIVITE

Trois facteurs limitent la reconnaissance indubitable des stades de l'activité; il s'agit des éventuelles lacunes d'échantillonnage en toutes zones, de l'échantillonnage restreint dans certaines zones, et de la dispersion des âges qui apparaît parfois dans une zone. Toutefois, les périodes suivantes ont été définies.

- 1/ L'événement le plus ancien enregistré vers 13-12 Ma dans les fossés nord doit être relié au premier stade de l'ouverture du BNF, débutant au moins à 10 Ma selon Auzende *et al.*(1988). La nature du volcanisme déterminée dans les prochains chapitres permettra de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.
- 2/ Le premier événement volcanique lié à l'histoire de l'arc au sens large se situe entre 6,5 et 4,8 Ma. Dans le domaine nord, cet événement concerne l'émission de laves dans les zones Hazel Holme, vers 5,5 Ma, et Vot Tande, vers 4,9-4,8 Ma. Dans le domaine sud, il est marqué par les émissions dans le fossé de Futuna entre 6,5 et 5,2 Ma et sur l'île d'Erromango (vers 5,5 Ma). L'île de Pentecôte est aussi le lieu d'une activité volcanique durant cette période. L'activité montre une période de récession entre 4,8 Ma et 4,1-4 Ma, accusée dans les fossés et sur l'île d'Erromango.
- 3/ Les témoins d'une reprise de l'activité vers 4,1-4 Ma s'observent dans les fossés et sur les îles; elle est un peu plus tardive, vers 3,5 Ma, dans les îles du Nord. Elle se poursuit alors de façon presque continue jusqu'à une période de moindre intensité, entre 3 et 2 Ma dans les îles Banks, entre 2,5 et 2 Ma dans les fossés du Jean Charcot, et entre 2,2 et 1,5 Ma dans les fossés du Coriolis.
- 4/ A l'issue de cette phase de calme relatif, propre à chaque domaine, l'activité s'intensifie régulièrement dans les îles du Nord et les îles centrales (à partir de 2 Ma). Elle est également importante dans le fossé de Vanikoro entre 1,8 et 1,1 Ma. Par contre, elle apparaît plus modérée dans les îles méridionales et épisodique dans les fossés du Coriolis (à partir de 1,5 Ma).

Il apparaît donc trois grandes périodes d'activité, si on exclut les témoins les plus anciens. La première ( 6,5 à 4,8 Ma) caractérise les fossés nord et sud et les îles d'Erromango et de Pentecôte. La seconde ( 4,1 à 2,8 Ma) correspond à la généralisation de l'activité dans les fossés et dans les îles. La troisième est marquée par la diminution de l'activité dans les fossés (la seule zone des fossés qui montre une activité importante est celle de Vanikoro entre 1,8 et 1,1 Ma). La limite entre les deux dernières périodes est variable selon les domaines considérés.

## C - AGE DE FORMATION DES FOSSES

Un critère majeur permettant la détermination de l'âge de formation des fossés est la présence d'édifices volcaniques non déformés en bordure de fossés, au Nord, ou sur les flancs transverses, au Sud (cf chapitre I, III).

## 1/ Fossés du Jean-Charcot

La structure de l'édifice volcanique présent en bordure du fossé de Vanikoro témoigne de son implantation dans un graben déjà formé. Dans cette hypothèse, l'âge minimum de formation du fossé est de 2,9 Ma si on tient compte du cône annexe D5 (Fig. I-12-a).

Dans le secteur de Vot Tande, qui forme la terminaison méridionale des fossés du Jean-Charcot, l'âge des fossés est moins bien contraint, pour la raison suivante : la ride médiane (D11) peut être interprétée de deux façons, ride volcanique ou horst. Selon la première hypothèse, l'âge de 4,9 Ma obtenu sur des blocs de laves constitue une limite inférieure à l'âge de formation du fossé, qui est donc plus ancien que celui défini pour le secteur de Vanikoro. Si, par contre, cette ride correspond à un horst, on peut alors retenir comme âge minimal de structuration du fossé celui de 2,7 Ma, obtenu sur des laves du cône D10, cône voisin de la ride et implanté en bordure immédiate du fossé. C'est cette hypothèse que nous choisirons puisqu'elle est confortée par les données obtenues sur les formations volcano-sédimentaires. La datation de microfaune de ces niveaux a donné des âges anciens d'une part (N17) et des âges récents (NN18-NN19) d'autre part, séparés par une période de lacune importante (entre 5,2 et 3,4 Ma). Ceci peut donc signifier que cette structure correspond à un horst constitué de roches anciennes volcanosédimentaires et volcaniques (7,2 à 4,8 Ma), et mis en place peu avant 3,4 Ma, époque de la reprise de la sédimentation. On peut imaginer que la formation du horst serait la conséquence directe de la structuration des fossés.

Les cônes volcaniques peuvent être interprétés de deux façons : 1) ils scellent la formation des fossés ; 2) ils sont plus ou moins synchrones de cette structuration.

## 2/ Fossés du Coriolis

A la différence des fossés du Nord, ils ne présentent pas d'édifices volcaniques implantés en bordure du fossé; les édifices se situent sur leurs flancs, sur des segments de direction NE-SO, transverses à l'allongement des fossés, c'est-à-dire au niveau des terminaisons des fossés ou des accidents transverses qui les décalent. Ces zones apparaissent donc comme des zones de faiblesse.

La structure non tectonisée des volcans permet de déterminer l'âge minimal des fossés : 4 Ma (D25, Erromango) et 1,5-1,7 Ma (D20, Futuna, D30-D31, Vaté). Dans ce cas, l'ensemble de la série volcano-sédimentaire et volcanique recoupée au niveau des fossés du Coriolis précède (zones Vaté et Futuna) ou post-date (zone Erromango) leur formation.

La série complète du Miocène supérieur au Pléistocène (7,1 à 0,5 Ma), recoupée dans le fossé de Futuna, intègre des dépôts volcanosédimentaires et des émissions volcaniques datées entre 6,1 et 2,6 Ma. Cette série témoigne d'une période continue de construction de l'arc .

Les petits reliefs situés au fond du fossé (D21), un peu à l'Ouest de cette coupe, exposent des volcanites datées à 6,5 - 6,1 Ma, se rapportant donc à la base de la série recoupée sur le flanc. Comme pour la ride D11 du fossé de Vot Tande, nous optons pour une structure

en horst liée à la structuration du fossé, plutôt que pour des épanchements mis en place dans un fossé formé antérieurement et donc ancien.

### **3/ Conclusions**

La formation des fossés apparaît diachrone du Sud au Nord. La structuration des fossés du Coriolis débute au moins vers 4 Ma (zone Erromango), celle des fossés du Jean Charcot remonte au moins à 2,9 Ma (zone Vanikoro).

Cette différence d'âge est en bon accord avec la différence observée dans le développement respectif des domaines nord et sud.

La formation des fossés ne paraît pas résulter d'une phase unique mais d'une histoire complexe.

Pour contraindre davantage ce schéma, il convient d'étudier la nature des laves présentes dans les fossés. La caractérisation géochimique du volcanisme (nature des édifices en fond de fossé ou sur les flancs) peut être un guide précieux. Les chapitres suivants ont pour but de définir les différents types de laves présents dans les fossés, puis d'étudier leurs variations spatio-temporelles.

CHAPITRE 3

Pétrographie et Minéralogie  
des laves de la chaîne centrale  
et des fossés à l'arrière de l'arc

# CHAPITRE III : PETROGRAPHIE ET MINERALOGIE

## DES LAVES DE LA CHAINE CENTRALE

### ET DES FOSSES A L'ARRIERE DE L'ARC

#### I - PETROGRAPHIE

##### A - PETROLOGIE DES LAVES DES ILES DE LA CHAINE CENTRALE

###### 1. Rappels sur la nature du volcanisme dans les différentes zones

###### a/ Ceinture ouest (Torres - Santo - Mallicolo)

Le spectre des laves de la ceinture ouest s'étend des basaltes à olivine jusqu'aux dacites à hornblende et aux ponces rhyodacitiques. L'andésite à deux pyroxènes ou à hornblende est, en volume, la roche la plus abondamment représentée (Mitchell, 1966 ; Robinson, 1969 ; Greenbaum *et al.*, 1975 ; Mallick et Greenbaum, 1977a ; Carney et Macfarlane, 1985). L'orthopyroxène semble absent de la plupart des basaltes.

Hornblende et plagioclase sont les minéraux dominants dans les roches intrusives, qui peuvent aussi contenir de l'augite et de l'hypersthène dans les variantes gabbroïques, ou du quartz dans les diorites plus évoluées. Ces roches intrusives sont souvent altérées : dinopyroxène euralitisé, plagioclase remplacé par de l'épidoxe-calcite-séricite, hornblende primaire transformée en chlorite-magnétite-calcite.

D'un point de vue pétrologique, les laves et intrusions de la ceinture ouest ont des caractères intermédiaires entre ceux des séries tholéitiques d'arc et ceux des séries calco-alcalines (Macfarlane *et al.*, 1988).

###### b/ Ceinture est (Maewo - Pentecôte)

Le complexe de base de Pentecôte, formé de fragments de roches basiques à ultramafiques, est considéré comme ophiolitique (Mallick et Neef, 1974). La majorité des laves basiques qui le constituent sont des basaltes de type MORB, mais une partie de ce complexe de base, formée de tholéites d'arc, pourrait représenter des produits d'arc en intrusion ou sus-jacents à la croûte océanique ancienne. Les laves des groupes du Miocène supérieur au Pliocène inférieur de Maewo-Pentecôte (Mallick et Neef, 1974 ; Gorton, 1974 ; Carney, 1988) sont essentiellement des basaltes et andésites basiques moyennement à fortement potassiques et pouvant évoluer jusqu'à des andésites calco-alcalines très potassiques.

**c/ Chaîne Centrale (Plio-quaternaire)**

Pour les différentes îles de la chaîne centrale situées à proximité des zones draguées lors de la campagne SEAPSO 2, nous présentons sous forme de tableaux les types pétrographiques décrits dans la bibliographie (Tabl. III-1, vol.2).

L'ensemble des données a permis d'établir un spectre de la distribution des laves selon l'acidité (Fig. III-1).

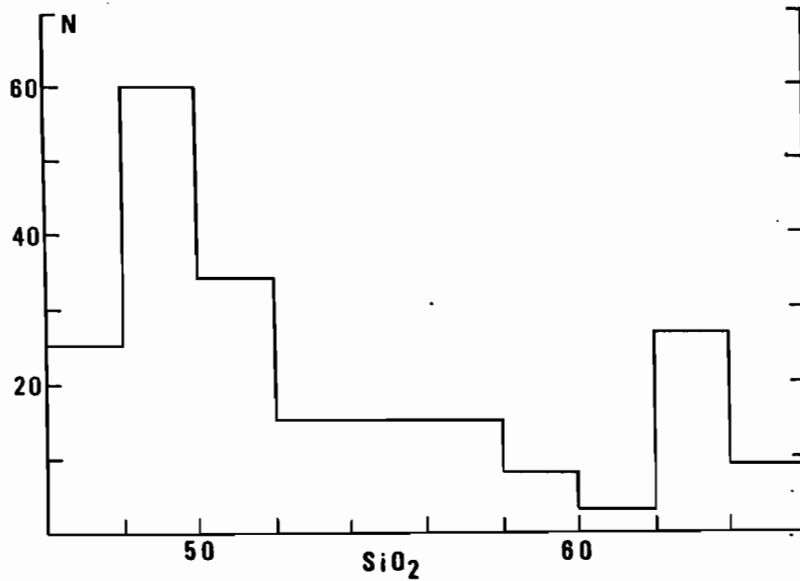


Figure III-1 : Histogramme de fréquence de la teneur en SiO<sub>2</sub> des laves de la chaîne centrale des Nouvelles Hébrides, d'après Macfarlane *et al.*, 1988.

*Histogram of SiO<sub>2</sub> contents for lavas from New Hebrides central chain, after Macfarlane et al., 1988.*

## 2. Pétrologie - Données nouvelles sur les laves des îles

### a/ Les îles du Nord (îles Banks)

#### Description macroscopique des échantillons étudiés (Tabl. I-4, vol.2) :

Les échantillons étudiés sont en majorité des basaltes, puis des andésites basiques et rarement des andésites. Il s'agit de roches porphyriques de teinte plus ou moins sombre, parfois vacuolaires ; les phénocristaux sont le plagioclase, les pyroxènes et l'olivine, en abondance relative variable. L'échantillonnage dont nous disposons (pour le Nord comme pour le Sud) bien que non exhaustif, nous servira cependant de support à une étude comparative des échantillons dragués.

#### Etude en lames minces (Tabl. III-2, vol.2) :

Les laves des îles Banks sont porphyriques à très porphyriques (15 à 50 % de phénocristaux), ou plus rarement subdoléritiques [VMAC1 - MOT1]. La mésostase est à texture intersertale (photos 1-2, pl.I), intergranulaire ou microlitique. Le plagioclase est généralement la phase minérale dominante (40 à 80 % des phénocristaux), suivi par le clinopyroxène (10 à 40 %) et l'olivine (< 5 à 25 %), les minéraux opaques (essentiellement des titanomagnétites) et accessoirement l'orthopyroxène. Cependant, certains basaltes [MVA15 - MLKK1] sont nettement arkaramitiques : là prédominent des minéraux ferromagnésiens, clinopyroxène et olivine, le clinopyroxène étant plus abondant (photo 4, pl.I). D'autre part les glomérocristaux de plagioclase ou de clinopyroxène sont fréquents, ainsi que des agrégats polycristallins. Les cristaux sont couramment euhédriques.

L'échantillonnage étudié semble bien représentatif de l'ensemble des laves des îles Banks (voir tableau II-1, vol.2).

### b/ Les îles du Sud (Vaté - Tanna - Futuna - Anatom)

#### Description macroscopique (Tabl. I-3 et 5, vol.2) :

La majorité des laves étudiées de cette région sont des basaltes, auxquels s'ajoutent deux andésites basiques et une dacite vitreuse. Il s'agit essentiellement de laves porphyriques, allant du gris très sombre au gris clair, pouvant être vacuolaires, à phénocristaux de plagioclase, pyroxènes et olivine.

#### Etude en lames minces (Tabl. III-3, vol.2):

Ces laves sont peu à très porphyriques (10 à 40 % de phénocristaux), c'est-à-dire un peu moins riches en phénocristaux que les laves des îles du Nord, ou microporphyriques [FMAC22] ou encore microdoléritique [TAC35b - TAC37]. La texture de la mésostase est intergranulaire, intersertale ou microlitique, ou encore vitreuse [dacite BOK11]. Certaines laves peuvent montrer une vésiculation toujours assez faible : 1-2 à 5 %, ou 10-20 % dans quelques cas.

Le plagioclase prédomine nettement (60 à 90 % des phénocristaux), sauf dans l'AB (andésite basique) FMAC22 à 70 % d'olivine.

| Ordre de cristallisation |     |     |         |     | Echantillons  |
|--------------------------|-----|-----|---------|-----|---|
| Timg.                    | Cpx | Pl. |         |     | VGM1 VMAC1 GA5  |
| Timg.                    | Cpx | Opx | Pl.     |     | VGAB VLA69 BOK11  |
| Timg.                    | Ol. | Cpx | +/- Opx | Pl. | URF7 URMM3 URG4 URF4 URF6<br>VMAC006 VLA15 MVA11 VLC115<br>Q3 Q1 E9 AYC54 FMAC48 FMAC50 |
| Timg.                    | Ol. | Cpx | Pl.     |     | URG2 URG3 URF1 URMM2<br>AYMAC40 Ma6   |
| Timg.                    | Ol. | Pl. |         |     | E6 E1 AYC2 FMAC22   |
| Ol.                      | Cpx | Pl. | Timg.   |     | MVA15 MOT1 MLKK1  |

Tableau III-3' : Ordre de cristallisation des phases minérales des laves des îles.  
*Cristallization order of minerals for islands lavas.*

Le clinopyroxène est très fréquent et représente souvent de 10 à 30 % des phénocristaux, mais est absent de certaines laves [E6 - E1 - AYC2 - FMAC22].

L'olivine peut être associée au clinopyroxène ou constituer la seule phase ferromagnésienne (1 à 30 %).

Les oxydes-ferro-titanés (titanomagnétites ou plus rarement ilménites) sont presque toujours présents, mais souvent de petite taille (< 500 um) et constituent de fréquentes inclusions dans les plagioclases, clinopyroxènes ou olivines. Les plagioclases forment parfois des glomérocristaux, comme les clinopyroxènes ou les olivines.

Les agrégats polycristallins sont assez fréquents. Les phénocristaux de plagioclase montrent parfois de belles zonations ou des couronnes de micro-inclusions.

## B - PETROLOGIE DES LAVES DRAGUEES DANS LES FOSSES

### 1. Généralités

- Les laves draguées à l'arrière de l'arc des Nouvelles-Hébrides ont des compositions qui varient depuis les basaltes ( $\text{SiO}_2 = 45 \%$ ) jusqu'aux dacites ( $\text{SiO}_2 = 68 \%$ ). L'histogramme de fréquence des teneurs en  $\text{SiO}_2$  de l'ensemble de ces laves (Fig. III-2a), montre une nette prédominance des basaltes ( $45 < \text{SiO}_2 < 53 \%$ ), plus particulièrement des termes entre 49 et 53 % de  $\text{SiO}_2$  (50% des laves). Les andésites basiques (53 à 57 % de  $\text{SiO}_2$ ) et les dacites ( $> 63 \%$   $\text{SiO}_2$ ) sont moins nombreuses (respectivement 21,5 et 19,5 %), et les andésites acides (57 à 63 %  $\text{SiO}_2$ ) sont relativement rares (9 %). Cette distribution correspond assez bien à celle des laves des îles de la chaîne centrale (Fig. III-2) (Roca, 1978 ; Monjaret *et al.*, 1987 ; Macfarlane *et al.*, 1988).
- L'observation macroscopique des échantillons (Tabl. III-4, vol.2) révèle une remarquable fraîcheur de la plupart des laves, hormis celles de la zone Hazel Holme et certaines laves de la zone Vaté. La plupart des échantillons dragués sont des blocs dont la taille varie de quelques centimètres (10 à 20 cm) à plus de 50 cm. Les fragments de pillow-lavas récoltés montrent souvent des fractures perpendiculaires à la périphérie. Cette zone de bordure est le plus souvent altérée, le coeur restant frais. D'autre part, une vésiculation pouvant être très importante ( $> 50 \%$  du volume total de la roche), semble caractéristique de bon nombre de ces échantillons. La vésiculation peut varier de la bordure vers le coeur du coussin au niveau de la densité comme de la taille des vacuoles.

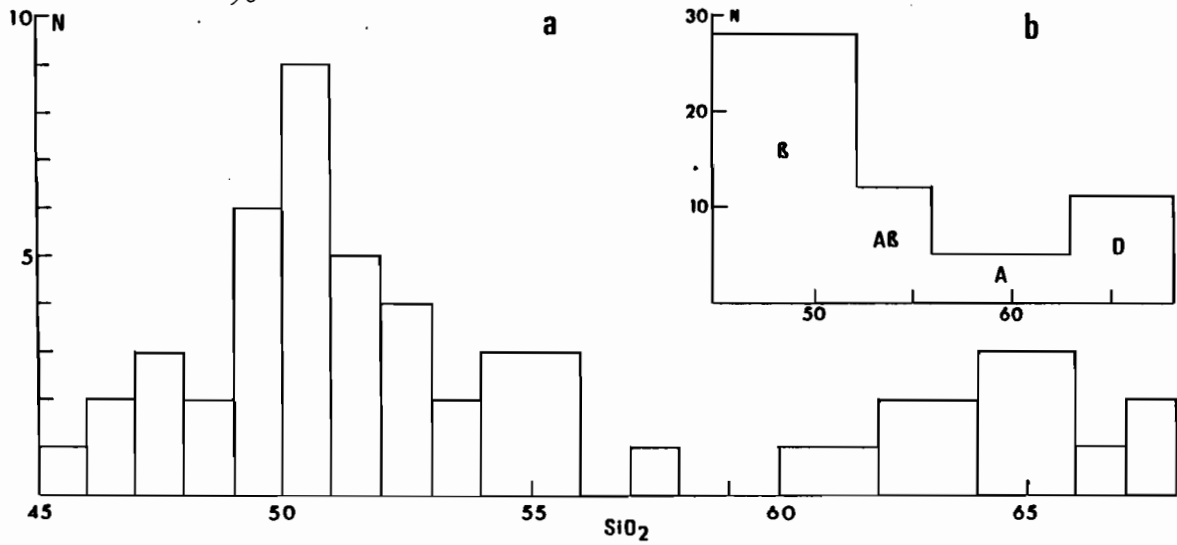


Figure III-2 : Histogramme de fréquence de la teneur en  $\text{SiO}_2$  des laves des fossés des Nouvelles Hébrides (57 analyses).

a - Distribution générale.

b - Distribution des divers types pétrographiques.

*Histogram of  $\text{SiO}_2$  contents for lavas from the New Hebrides troughs.*

*a - General distribution.*

*b - Distribution of petrographic types.*

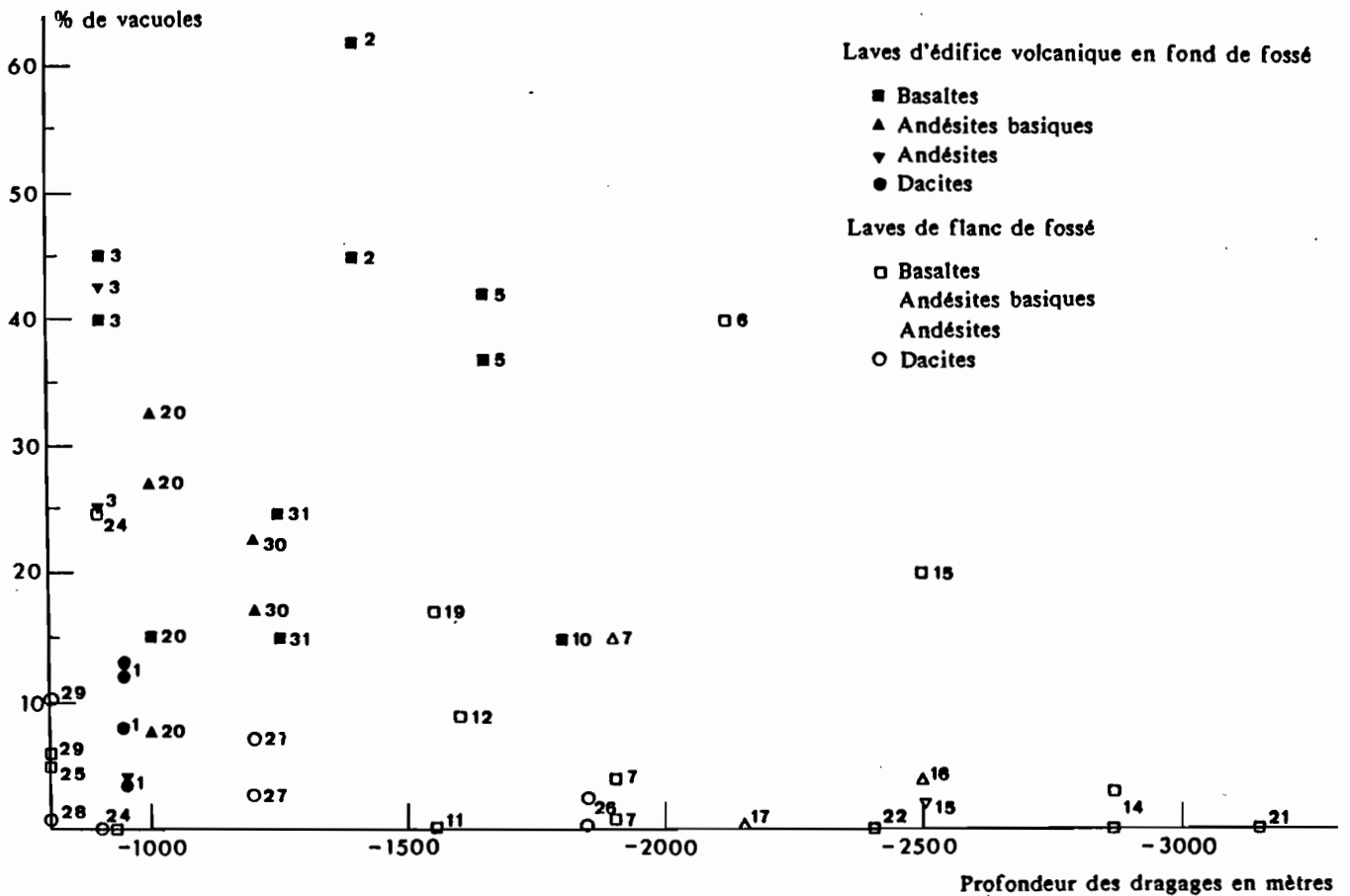


Figure III-3 : Diagramme de distribution des vacuoles (pourcentages en volume de la roche totale, évalués au compteur de points) en fonction de la profondeur des dragages (profondeur du sommet du dragage, par exemple : 1500 m pour un trait de drague allant de - 1800 m à - 1500 m).

*Plot of vesicles percentage versus dredgings depth.*

## 2. Etude pétrographique en lames minces

Les données de l'analyse en lames minces sont présentées dans les tableaux III-5 (vol.2) , où les échantillons de chaque zone sont classés par ordre de silice croissante, les types pétrographiques étant définis sur l'ensemble des zones draguées.

Cette étude permet de distinguer deux grands ensembles de laves, en se basant sur la teneur en phénocristaux et sur la taille de ceux-ci :

- les laves des fossés nord (zones VAN - VT - HH) sont très peu ou peu porphyriques (< 15 % de phénocristaux généralement inframillimétriques);

- les laves des fossés sud (zones VATE - ERR - FUT) sont porphyriques à très porphyriques (10-15 à 35 % de phénocristaux de taille pouvant dépasser 5 mm).

On a vu que, sur les îles, on observe le contraire.

Dans ces deux groupes principaux, plusieurs types de laves s'individualisent. Nous noterons dès à présent que la plupart des laves draguées présentent des microlites de plagioclase à terminaison bifide ou en boucles de ceinture (indices de mise en place sous-marine) (photo 5, pl.I).

On distinguera successivement les basaltes, les andésites basiques, les andésites acides, les dacites et enfin les roches grenues.

### a/ Les basaltes ( $45 < \text{SiO}_2 < 53\%$ )

Plusieurs types se rencontrent :

**Les basaltes subaphyriques plagioclasiques** : < 5 % de plagioclases. [D2M1 - D3M4 - D5M5 - D5M1 - D5M4 - D3M3 - D14M14] (photos 6 à 8, pl.I) .

- \* Le plagioclase, peu ou pas zoné, est dominant (50 à 100 % des phénocristaux, souvent groupés en glomérocristaux) et constitue l'essentiel des microlites.
- \* L'olivine représente 10 à 35 % de phénocristaux dans les échantillons où elle est exprimée [D3M4 - D5M5 - D5M1 - D5M4]. Elle est généralement fraîche mais peut présenter un début d'iddingsitisation en bordure et le long des fissures. Elle constitue une phase mineure de la mésostase.
- \* Le clinopyroxène est assez rare en phénocristaux (15 à 25 %, seulement dans D2M1 et D14M14). Par contre, il s'observe dans la majorité de ces basaltes.

- \* Les oxydes ferro-titanés sont présents uniquement sous la forme de micrograins dans la mésostase ; il s'agit de titanomagnétites.
- \* La mésostase, qui est la phase majeure de ces laves, montre une texture intersertale (avec 10 à 30 % de verre plus ou moins altéré, de couleur sombre, d'aspect poussiéreux ou argileux) ou une texture intergranulaire. Un autre caractère de ces basaltes est l'importante vésiculation marquée par un pourcentage notable (35 à 65 %) de vacuoles, dont la taille varie depuis celle des microvacuoles (photos 7-8, pl.I) jusqu'à 5 mm de diamètre (photo 6, pl.I). Seul l'échantillon D14M14 (zone HH) est totalement dépourvu de vacuoles. Des agrégats polycristallins sont également observés dans certaines laves [D2M1 - D3M4 - D6M1 - D3M3].

**Les basaltes subaphyriques à olivine :** < 5 % de phénocristaux dominés par l'olivine [D7M2 - D7M3] (photo 1, pl.II).

- \* Le plagioclase est également assez abondant (40 à 50 % des phénocristaux) en cristaux pouvant mesurer jusqu'à 1 mm de long ; il est présent sous forme de microlites dans la mésostase.
- \* L'olivine représente 50 à 60 % des phénocristaux ; elle peut atteindre 1,5 mm de longueur, et se trouve en micrograins dans la mésostase ; elle peut inclure des spinelles chromifères et/ou des titano-magnétites.
- \* La mésostase de ces basaltes subaphyriques est relativement vitreuse (25 à 30 % de verre altéré : sombre, avec des microcristaux en voie de cristallisation de clinopyroxène. Elle renferme des microlites de plagioclase, clinopyroxène, olivine, titanomagnétite et spinelles chromifères. Elle contient aussi de la calcite.

**Les basaltes peu porphyriques (5 à 15 % de phénocristaux)** sont de deux sortes :

- à dominante plagioclastique [D2M5 - D10M1 - D10M2 - D14M1 - D11M2 - D14M5 - D15M6 - D31M2] (photos 2 à 4, pl.II);
- à dominante ferromagnésienne (olivine et/ou clinopyroxène) ou à tendance ankaramitique [D12M1 - D21M7 - D29M6] (photos 5-6, pl.II).

- \* Le plagioclase constitue le minéral dominant dans la variété plagioclastique (50 à 95 % des phénocristaux), ou une phase moins importante dans la variété ferromagnésienne (< 5 à 30 %). Il est généralement peu ou pas zoné, sauf pour D14M2 et D31M2. Il est toujours présent, et le plus souvent abondant en microlites dans la mésostase (photos 4-5, pl.II). Dans certains cas il peut être inclus dans l'olivine [D14M5].
- \* L'olivine est souvent la seconde phase en abondance (5 à 40 %) [D10M1 - D10M2 - D14M1 - D31M2] ou même la phase dominante (50 à 95 %) [D12M1 - D29M6] ; elle peut aussi être en quantité équivalente à celle du clinopyroxène (< 5 à 30 %) [D2M5 - D15M6 - D21M7]. L'olivine est souvent automorphe et fraîche, ou en voie d'iddingsitisation [D10M1 - D10M2 - D12M1 - D21M7 - D31M2] (photos 2 et 5, pl.II) ou encore altérée et transformée en chlorite [D29M6] (photo 6, pl.II). Elle se trouve parfois dans la mésostase [D10M1 - D10M2 - D15M6 - D12M1 - D21M7 - D2M5]. Les olivines de D2M5 contiennent des inclusions de spinelles chromifères.

- \* Le clinopyroxène peut inclure olivine et plagioclase [D31M2] et former des glomérocristaux [D31M2]. Certains cristaux semblent correspondre à des xénocristaux, sous forme de fragments [D21M7] ou par l'existence de bordures réactionnelles microgrenues [D31M2].
- \* Les oxydes ferro-titanés, en microphénocristaux, sont rares (1 à 4 %), mais sont par contre abondants dans la mésostase. Ils constituent de fréquentes inclusions dans les plagioclases [D14M1 - D14M2 - D14M5].
- \* La mésostase de ces basaltes présente une texture intersertale (30 à 50 % de verre) [D10M1 - D10M2 - D14M5 - D21M7 - D31M2], intergranulaire [D15M6 - D29M6], ou microlitique [D12M1 - D14M1 - D14M2], avec, dans certains cas, une orientation marquée de microlites selon des structures fluidales [D10M1 - D10M2 - D12M1] (photos 2 et 5, pl.II). La vésiculation est très variable [(0 à 25 %), voire 45 % (D2M5)]. La taille des vacuoles varie de < 250 µm à 3 mm de diamètre. Les agrégats polycristallins ou les glomérocristaux de plagioclase sont communs [D2M5 - D14M1 - D15M6 - D31M2] (photo 3, pl.II), ou plus rares [D21M7 - D14M5].

**Les basaltes porphyriques** (15 à 25 % de phénocristaux) [D19M1 - D31M1 - D24M6 - D11M1 - D11M2] ou **très porphyriques** (25 à 35 % de phénocristaux) [D20M4 - D21M1 - D22M1 - D24M4 - D25M2] présentent également deux tendances :

- plagioclasique [D11M1 - D11M2 - D20M4 - D24M4 - D24M6 - D25M2 - D31M1] (photos 7-8, pl.II et 1-2, pl.III);
- ferromagnésienne [D19M1 - D21M1 - D22M1] (photos 3-4, pl.III).

On remarque que, comme pour les basaltes subaphyriques et peu porphyriques, la variété plagioclasique est beaucoup plus fréquente que la variété à tendance ankaramitique.

- \* Le plagioclase, constamment présent, correspond à la phase minérale dominante (55 à 95 % des phénocristaux) dans les basaltes plagioclasiques, de taille variant entre 1 et 5 mm. Il forme souvent des glomérocristaux. Les phénocristaux peuvent être zonés [D11M1 - D11M2 - D24M6], voire très zonés [D20M4 - D21M1 - D24M4 - D25M2 - D31M1]. Quelques cristaux fragmentés paraissent hérités [D19M1 - D24M4] (photo 8, pl.II). Les microlites de plagioclase forment la composante principale de la mésostase. Le plagioclase se trouve parfois en inclusions dans les clinopyroxènes [D25M2 - D22M1 - D24M6 - D24M4 - D20M4 - D11M1 - D11M2], ou plus souvent dans l'olivine [D22M1].
- \* L'olivine est présente dans tous ces basaltes, excepté D24M6 ; elle peut constituer jusqu'à 60 % des phénocristaux [D19M1], mais plus souvent de 25 à 35 % [D21M1 - D22M1] (photos 3-4, pl.III) dans les basaltes à tendance ankaramitique. Des micrograins sont parfois contenus dans la mésostase [D19M1 - D21M1 - D20M4]. L'olivine peut être incluse dans le clinopyroxène [D22M1 - D20M4 - D21M1]. Elle présente une iddingsitisation peu prononcée [D19M1 - D21M1 - D20M4 - D31M1] ou plus accentuée [D11M1 - D22M1 - D24M4 - D21M1] (photo 3, pl.III), ou une déstabilisation complète (saponitisation et iddingsitisation) dans certains cas [D22M1] (photo 4, pl.III).
- \* Le clinopyroxène est un constituant important de ces basaltes (5 à 40 % des phénocristaux ; de 0,5 à 5-6 mm) et se trouve également dans la mésostase. Il est parfois regroupé en glomérocristaux [D11M1 - D11M2]. Les phénocristaux de clinopyroxène peuvent être automorphes [D11M1 - D11M2 - D21M1 - D22M1 - D24M4] (photo 8, pl.II), parfois zonés [D11M1 - D21M1 - D22M1]. Certains cristaux présentent une bordure réactionnelle

[D11M1 - D11M2 - D31M1] (photo 7, pl.II) ou correspondent à des fragments de grands cristaux [D11M1 - D21M1 - D24M4] ; d'autres ont un coeur d'orthopyroxène. Le clinopyroxène est parfois inclus dans le plagioclase [D24M4 - D24M6] ou encore dans l'olivine [D20M4] (photos 7-8, pl.II et 3, pl.III).

- \* Les oxydes ferro-titanés (titanomagnétite) sont rares en phénocristaux (1 à 4 % ; jusqu'à 250 µm), mais sont abondants en micrograins dans la mésostase qui prend ainsi parfois un aspect "poivré" [D25M2 - D24M6]. Ils sont souvent inclus dans les plagioclases, olivines et clinopyroxènes.
- \* Des spinelles chromifères sont présents uniquement dans l'échantillon D19M1.
- \* La mésostase montre une texture intersertale [D19M1 - D24M4 - D24M6 - D31M1 - D11M1 - D11M2] ou intergranulaire [D21M1 - D22M1 - D25M2]. Le verre, lorsqu'il est présent, est souvent altéré. La vésiculation varie de moins de 1 % à 20-25 % en volume ; les vacuoles peuvent être rondes ou amygdoïdales et leur taille varie depuis celle de microvacuoles jusqu'à 5 mm. Les agrégats polycristallins sont fréquents : clinopyroxène + olivine [D22M1 - D31M1 - D20M4], clinopyroxène + plagioclase [D24M6 - D22M1 - D25M2], plagioclase + olivine [D20M4], plagioclase + clinopyroxène + olivine + opaque [D25M2 - D24M4 - D11M1 - D11M2].

#### b/ Les andésites basiques ( $53 < \text{SiO}_2 < 57$ %)

On distingue deux types d'A.B. (andésites basiques) en fonction de leur indice porphyrique :

**Les andésites basiques peu porphyriques** (5 à 10 % de phénocristaux) sont de deux sortes : à plagioclases, peu zonés [D7M4] et à olivines, fraîches [D30M2]. Ces A.B. sont très comparables aux basaltes peu porphyriques correspondants. Cependant on note l'apparition d'orthopyroxène (7 à 8 % de phénocristaux) dans D7M4.

**Les andésites basiques porphyriques à très porphyriques** (15 à 35 % de phénocristaux) [D30M1 - D16M1 - D17M3 - D20M1 - D20M3 - D20M6] (photos 5 à 7, pl.III) sont à dominante plagioclasique (40 à 70 % des phénocristaux de taille variant entre 1 et 3 mm). Ce caractère plagioclasique est particulièrement marqué pour D20M1 - D20M3 - D20M6 (photo 6, pl.III).

- \* Le plagioclase (prédominant) est parfois zoné [D16M1 - D17M3 - D20M3 - D20M6 - D20M1], automorphe (photo 7, pl.III).
- \* L'olivine constitue une part très variable des laves : de 1 à 25-30 % ; elle est fraîche [D20M1 - D20M3 - D20M6 - D30M1] ou totalement déstabilisée [D17M3].
- \* Le clinopyroxène est généralement quantitativement la seconde phase minérale (15 à 30 % des phénocristaux), en cristaux automorphes [D16M1 - D17M3 - D20M3] (photo 5, pl.III).
- \* L'orthopyroxène apparaît (1 à 10 %), mais semble hérité dans D30M1.
- \* Les oxydes ferro-titanés (titanomagnétite) présents en micrograins ou microphénocristaux (-> 250 µm) sont souvent inclus dans les plagioclases et les pyroxènes.

\* La mésostase présente une texture intersertale (15 à 45 % de verre assez altéré).

La vésiculation, inexistante dans D17M3, varie entre 4 et 35 % dans les autres échantillons ; les microvacuoles peuvent être abondantes [D20M3 - D20M6 - D30M1].

Les agrégats mono- ou polycristallins sont fréquents dans toutes les A.B. (andésites basiques) (photos 5-6, pl.III).

#### c/ Les andésites acides ( $57 < \text{SiO}_2 < 63$ %)

Elles représentent une faible part de l'échantillonnage récolté par dragages. Elles sont subaphyriques ou peu porphyriques.

**Les andésites acides subaphyriques** [D3M1 - D3M2] contiennent essentiellement des plagioclases, automorphes, peu ou pas zonés. Elles sont riches en vacuoles (20 à 45 %, sous forme de microvacuoles et de vacuoles pouvant atteindre 2 mm).

\* Les opaques (titanomagnétite et ilménite) forment quelques microcristaux, mais sont surtout abondants dans la pâte ; ils sont souvent inclus dans les plagioclases.

\* La mésostase est intersertale [D3M1] ou intergranulaire [D3M2].

**Les andésites acides peu porphyriques** [D1M1 - D15M12] contiennent environ 10 % de phénocristaux, essentiellement sous forme de plagioclase, peu zoné, automorphe [D1M1] auquel s'ajoute le feldspath potassique pour D15M12.

\* Les oxydes ferro-titanés (titanomagnétite et ilménite) constituent 10 à 15 % des microphénocristaux, et sont souvent en inclusion dans le plagioclase.

\* La mésostase est intersertale [D1M1] et intergranulaire [D15M12].

Les vacuoles sont rares (1 à 5 %). Quelques agrégats de plagioclase, pyroxènes, opaques sont visibles dans D1M1 (photo 8, pl.III).

#### d/ Les dacites ( $\text{SiO}_2 > 63$ %)

Les dacites sont peu porphyriques (5 à 10 % de phénocristaux) [D1M3 - D1M5 - D1M9 - D24M3 - D27M1 - D27M4] (photos 1-2, pl.IV) soit porphyriques (10 à 20 % de phénocristaux [D26M6 - D26M7 - D29M3 - D1M8] (photo 3, pl.IV) mais la minéralogie est assez comparable quel que soit l'indice porphyrique.

- \* Le plagioclase est nettement prédominant (65 à 90 % des phénocristaux) et parfois zoné [D1M3 - D1M9 - D27M1 - D27M4 - D29M3 - D24M3] ou nettement zoné [D27M4 - D26M6 - D26M7].
- \* Le clinopyroxène représente de 1 à 15-20 % des phénocristaux et se trouve parfois dans la mésostase (photo 3, pl.IV).
- \* L'orthopyroxène est présent dans toutes les dacites (1 à 15 % des phénocristaux) (photo 2, pl.IV).
- \* L'olivine n'a été trouvée que dans la dacite D1M9 où elle représente 15 % des phénocristaux, mais avec une bordure microgrenue (photo 1, pl.IV).
- \* Les oxydes ferro-titanés (titano-magnétite et ilménite) constituent de 1 à 10 % des phénocristaux (--> 450 um) et sont souvent inclus dans le plagioclase et les pyroxènes.
- \* La mésostase de ces dacites possède une texture intersertale (10 à 60 % de verre assez peu altéré) [D24M3 - D1M3 - D1M5 - D1M8 - D1M9] (photo 1, pl.IV) ou vitreuse (70 à 85 % de verre, frais [D26M6 - D26M7] (photo 3, pl.IV), ou peu altéré [D27M4 - D29M3], ou altéré [D27M1]) (photo 2, pl.IV). Les microlites de plagioclase sont parfois alignés donnant alors une texture fluidale à la lave [D29M3 - D1M3 - D1M9 - D27M4].

Les dacites sont assez peu vacuolaires (proportion : < 1 à 10-15 % de vacuoles rondes ou allongées dans le sens de la fluidalité de la lave [D27M4 - D1M3 - D1M5 - D1M9]). Les microvacuoles sont abondantes dans certains cas [D27M1 - D29M3].

#### e/ Les roches grenues

Bien que la grande majorité des roches prélevées lors des dragages de SEAPSO-2 soit du matériel lavique, quelques échantillons grenus ont été observés, parmi les échantillons du domaine sud :

**Les dolérites** : l'échantillon D27M12 (photo 4, pl.IV) est une diorite de composition très basique, à grain très fin (< 1 mm), composée de plagioclases et clinopyroxènes ainsi que de titanomagnétite. Les plagioclases sont parfois regroupés en sphérolites. Elle montre des zones plus ou moins altérées, avec parfois de la chlorite et des serpentines.

**Les diorites acides** : deux types se distinguent :

- \* D27M17 est composée en majorité de plagioclases, de titanomagnétite et accessoirement de feldspath alcalin, d'amphipole, de quartz, de clinopyroxène et d'apatite. Le grain est assez fin, voisin de 1 mm.
- \* D28M1 (photo 5, pl.IV) possède des cristaux plus gros (jusqu'à 2,5 mm), de plagioclase essentiellement et de feldspath potassique.

### f/ Conclusions

L'étude pétrographique permet de définir deux groupes de laves : l'un subapyrique (B + A), l'autre porphyrique (B-AB-A-D). Dans chacun de ceux-ci, on distingue deux variétés de laves, tout au moins en ce qui concerne les laves basiques : une variété à *dominante plagioclasique* (75 % des laves basiques et 80 % de l'ensemble des laves), et une variété à *dominante ferromagnésienne* (clinopyroxène et/ou olivine), moins bien représentée (25 % des laves basiques et 20 % de la totalité des laves). La minéralogie de l'ensemble de ces laves montre assez peu de diversité.

Le plagioclase est généralement la phase minérale la plus abondante (sauf pour les deux basaltes D12M1 et D19M1 à tendance picritique). L'olivine est également commune dans les basaltes, mais aussi dans certaines andésites basiques ; par contre, elle montre des indices de déstabilisation, même au sein des dacites ; sa proportion diminue des basaltes aux dacites. L'orthopyroxène n'apparaît que tardivement, seulement dans certaines andésites basiques, puis dans les andésites et les dacites. L'amphibole est très rare, et toujours peu abondante ; ceci témoigne sans doute d'assez faibles pressions d'eau dans les magmas. Les oxydes ferro-titanés, présents dans la mésostase de tous les échantillons, ne se trouvent ni en microphénocristaux dans les basaltes subapyriques des zones Vanikoro - Hazel Holme, ni dans une partie des basaltes peu porphyriques des autres zones ; ceci est à relier à de faibles fugacités d'oxygène et rappelle des caractéristiques de séries tholéitiques d'arc insulaire (Jakes et Gill, 1970 ; Miyashiro, 1974 ; Gill, 1981). D'autre part, dans les laves acides, les oxydes ferro-titanés, présents en microphénocristaux et en micrograins sont : des titanomagnétites et ilménites dans les laves de la zone Vanikoro, et uniquement des titanomagnétites dans les laves des zones Vaté, Erromango, Hazel-Holme.

Les variations pétrographiques observables lors du passage des basaltes aux dacites sont globalement très restreintes.

Le groupe des laves porphyriques montre des caractères généraux proches de ceux des séries orogéniques (Ewart, 1976 ; Gill, 1981), avec toutefois quelques traits spécifiques : prédominance des termes basiques (fait général pour l'arc des Nouvelles-Hébrides), apparition assez tardive de l'orthopyroxène et absence d'amphibole dans les termes différenciés. Ces caractères sont plutôt ceux de séries tholéitiques d'arc que ceux de séries calco-alkalines. Toutefois, certaines laves plus riches en oxydes ferro-titanés pourraient être à rattacher à ces dernières. Cependant, le terme de série ou de suite prend, dans le cadre de notre étude, un caractère particulier, et ne peut être employé s.s. comme pour une série provenant d'une île, voire d'un édifice particulier, en raison de la dispersion géographique des échantillons. Le groupe des basaltes de la zone nord (VAN-HH), subapyriques ou peu porphyriques, se démarque de ce groupe porphyrique. Ce caractère moins porphyrique s'associe, par les basaltes de la zone VAN à une plus forte vésicularité.

| Cristallisation tardive des titanomagnétites |           |     |       |       | Echantillons   |
|--|-----------|-----|-------|-------|--|
| Ol.  | Sp.chrom. | Pl. | Cpx   | Timg. | D7M2 D7M3 / D14M1 D14M2<br>D12M1 / D19M1 (plus porphyriques)   |
| Ol.  | Sp.chrom. | Cpx | Pl.   | Timg. | D2M1 D2M5 D5M5 (peu porphyriques)<br>D30M2 / D21M1 D21M7 (plus porphyriques)                                       |
| Ol. ou Cpx                                   | Pl.       |     |       |       | D3M3 D3M4 D5M1 D5M4 (à olivines)<br>D6M1 / D14M14 (à Cpx)  |
| Ol.  | Cpx       | Opx | Pl.   | Timg. | D7M4 / D29M6 D31M1   |
| Ol.  | Cpx       | Pl. | Timg. |       | D24M4  |
| Cristallisation précoce de titanomagnetites  |           |     |       |       | Echantillons   |
| Timg.  | Ol.       | Cpx | Opx   | Pl.   | D10M1 D10M2 / D15M6 / D30M1 D31M2  |
| Timg.  | Cpx       | Ol. | Pl.   |       | D11M1 D11M2  |
| Timg.  | Ol.       | Cpx | Pl.   |       | D22M1 / D20M1 D20M3<br>D24M4 (sans olivine)  |
| Timg.  | Cpx       | Opx | Pl.   |       | D1M1 D1M3 D1M5 D3M1 D3M2<br>D1M8 D1M9 (+olivines précoces)<br>D26M6 D26M7 D27M1 D27M4 D29M3<br>D24M3 / D16M1 D17M3 |

Tableau III-5' : Ordre de cristallisation des phases minérales des laves des fossés.  
*Cristallization order of minerals for troughs lavas.*

**En résumé, l'étude pétrographique met en évidence :**

- des basaltes peu porphyriques provenant des zones VAN et HH, nettement différents des basaltes porphyriques du domaine sud, zones de VA-ERR-FUT, auxquels se rattachent les basaltes de la zone VT (domaine nord) ;
- des dacites à titano-magnétite et ilménite dans la zone de VAN opposées à des dacites ne contenant pas d'ilménite dans les zones de VA-ERR et HH.

### *3. Problème de la vésicularité*

La vésicularité des laves draguées à l'arrière-arc des Nouvelles-Hébrides est beaucoup plus prononcée que celle des laves de la chaîne centrale (Tabl. III-2-3 et 5, vol.2). La représentation du pourcentage de vacuoles (en volume de la roche totale) en fonction de la profondeur minimale du dragage ne révèle pas de relation simple entre vésicularité et profondeur du dragage (Fig. III-3). Par contre on remarque plusieurs points :

1. Dans l'ensemble, les laves acides sont beaucoup moins vacuolaires (0 à 12 % de vacuoles) que les basaltes (0 à 62 % de vacuoles). On constate que les laves acides de la zone VAN (provenant du dragage D1 sur un cône volcanique) sont plus vacuolaires (5 à 12 %) que celles des zones VA, ERR et HH (0 à 10 %).
2. Au niveau des basaltes et des andésites basiques, on distingue deux populations :
  - l'une avec un pourcentage de vacuoles inférieur à 10 %, correspondant à la majorité des laves des flancs de fossés (dragages D7 - D11 - D12 - D14 - D21 - D22 - D25 - D29 ; D16 - D17) ;
  - l'autre avec un pourcentage de vacuoles supérieur ou égal à 15 % correspondant à la majorité des laves provenant d'édifices volcaniques du fond des fossés (dragages D2 - D3 - D5 - D24 - D31 ; D20 - D30).

Cela paraît logique si on considère que les laves draguées au niveau des flancs font partie d'une série d'empilements de coulées, voire de sills ou dykes, et de dépôts volcano-sédimentaires ou sédimentaires. La dynamique de mise en place et les conditions de pression sont différentes pour les laves des édifices volcaniques (volcans, cônes) situés au plancher des fossés.

3. Les basaltes les plus vacuolaires sont ceux de la zone VAN. Rappelons ici que les laves arrière-arc sont souvent décrites comme riches en vacuoles.

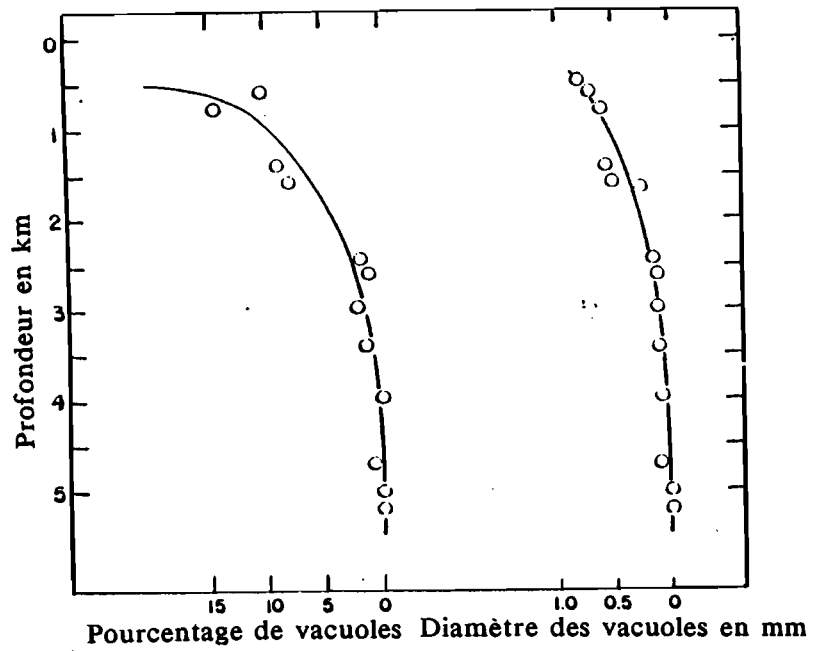


Figure III-4 : Pourcentage et diamètre des vacuoles en fonction de la profondeur (basaltes de la zone est du rift de Kilauea) d'après Moore (1965).  
*Change in volume percent vesicles and average diameter of vesicles with depth for basalts of the east rift zone of Kilauea, after Moore (1965)*

4. Si on considère que la vésiculation des magmas est liée à la teneur en  $H_2O$  et à la pression (Brousse, 1975), les laves d'un magma peu hydraté (environ 1 % d' $H_2O$ , ce qui correspond aux teneurs d'un magma basaltique) ne contiennent des vacuoles que si elles se mettent en place à moins de 1000 m de profondeur, tandis que les laves plus riches en  $H_2O$  (par exemple rhyolitiques) peuvent être explosives jusqu'à 2000 m de profondeur (Fig. III-4) (MacBirney, 1963 ; Moore, 1965). Dans le cadre de cette relation vésicularité et profondeur de mise en place des laves, on constate qu'il n'existe pas, pour les dragages étudiés, de corrélation simple entre le pourcentage de vacuoles et la profondeur des dragages. Cependant, dans l'ensemble, ce pourcentage semble décroître plus ou moins régulièrement avec l'accroissement de la profondeur. D'autre part on remarque que, de façon surprenante, les profondeurs maximales (-2000 m à -3000 m) correspondent aux dragages en flancs de fossés, les dragages des édifices volcaniques ne dépassant pas 2000 m de profondeur, ces édifices étant plutôt sur les flancs ou en bordure des fossés.

Il est toutefois possible d'expliquer la forte vésicularité des basaltes des édifices, en considérant qu'ils ne sont pas tout à fait en place mais proches de leur lieu d'origine et proviennent du sommet de ces édifices atteignant souvent moins de 1000 m de profondeur (D1 - D3 - D20 - D25 - D30). Il n'y a donc pas dans ce cas d'incohérence majeure entre vésicularité des laves et profondeur des dragages.

## II - MINERALOGIE

Le choix des échantillons analysés à la microsonde est fonction des types pétrographiques décrits précédemment et des données de géochimie développées dans le chapitre suivant.

Les analyses présentées dans les tableaux III- 17 à 30 (vol.2) ont été obtenues sur la microsonde automatisée CAMEBAX (Microsonde Ouest, Brest).

Les conditions générales d'utilisation sont les suivantes pour tous les éléments dosés :

- temps de comptage : 6 s
- tension d'accélération : 15 KV
- intensité : 15 nA

### A - ETUDE DE QUELQUES LAVES REPRESENTATIVES DES ILES DE LA CHAINE CENTRALE

#### 1/ Les olivines

La composition des olivines (Tabl. III-17, vol. 2) des laves des îles étudiées est résumée dans le tableau III-7 et présentée dans la figure III-5. Parmi les échantillons récoltés sur les îles, les olivines ne sont présentes que dans les laves des îles d'Ureparapara, Vanua-Lava, Mere-Lava et Mota (îles Banks). Elles se répartissent en deux groupes :

- **Olivines ferrifères** : URG2 - VLA15 et URMM2 ( $Fo_{69-62}$ ), qui correspondent aux échantillons les plus différenciés. Le coeur d'une olivine de URG2 a une composition plus magnésienne ( $Fo_{73}$ ).

- **Olivines plus magnésiennes** : MVA15 - MOT1 et VLC115 ( $Fo_{90-73}$ ), caractérisées par des zonations importantes de type normal (avec enrichissement en fer vers la bordure, pouvant se chiffrer par une baisse de 10 % du taux d'anorthite). Dans le diagramme ( $Fe + Mn / Fe + Mn + Mg$ ) des olivines en fonction de ( $FeO / MgO$ ) de la lave-hôte (fig. III-6), on constate une corrélation positive. Les olivines des laves de l'île d'Ureparapara réalisent une certaine cassure dans cette évolution logique car elles ont les rapports ( $Fe + Mn / Fe + Mn + Mg$ ) les plus élevés, correspondant à leur nature ferrifère. D'autre part, les olivines altérées du basalte MOT1 sont également caractérisées par un rapport ( $Fe + Mn / Fe + Mn + Mg$ ) supérieur, l'altération se traduisant par un très fort enrichissement en fer.

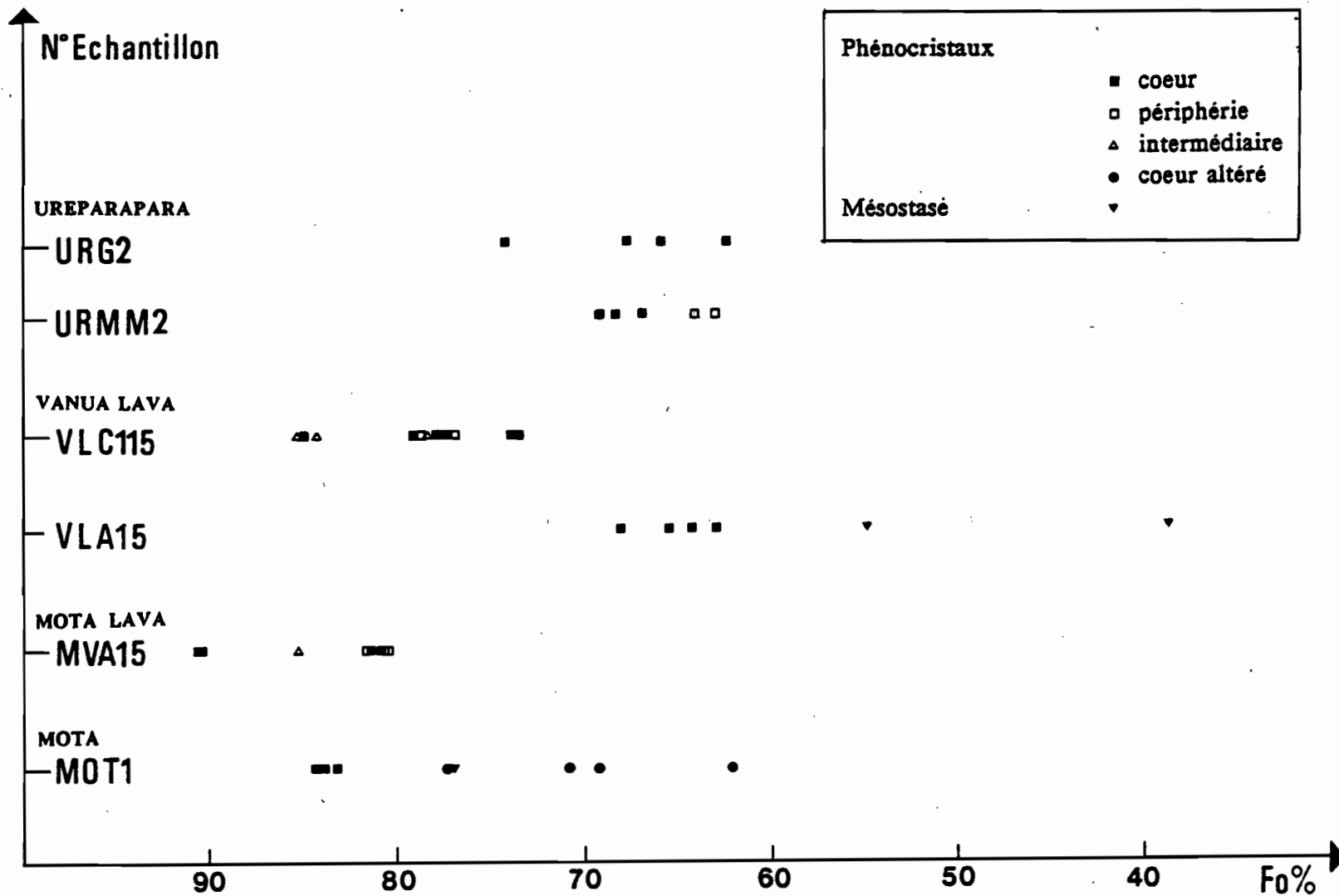


Figure III-5 : Composition des olivines des laves des îles Banks analysées à la microsonde.

*Composition of olivines of lavas from Banks islands.*

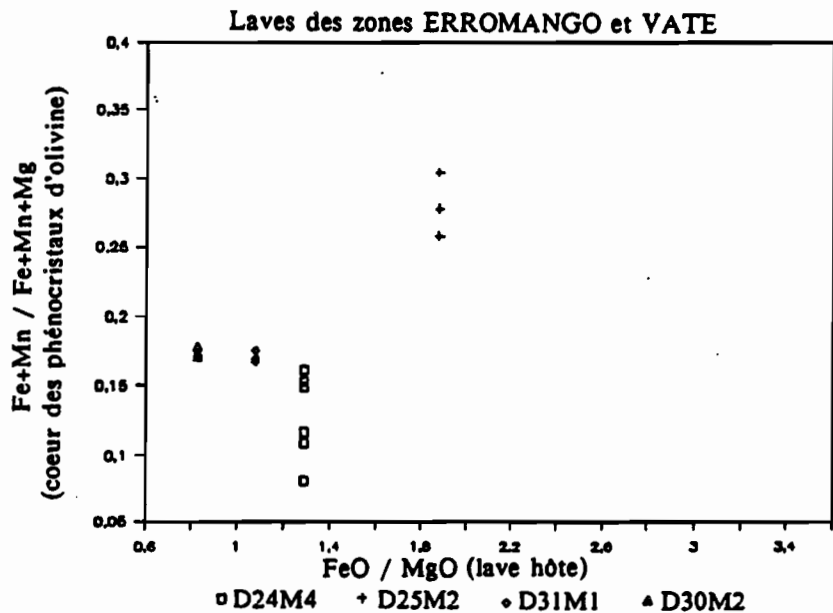
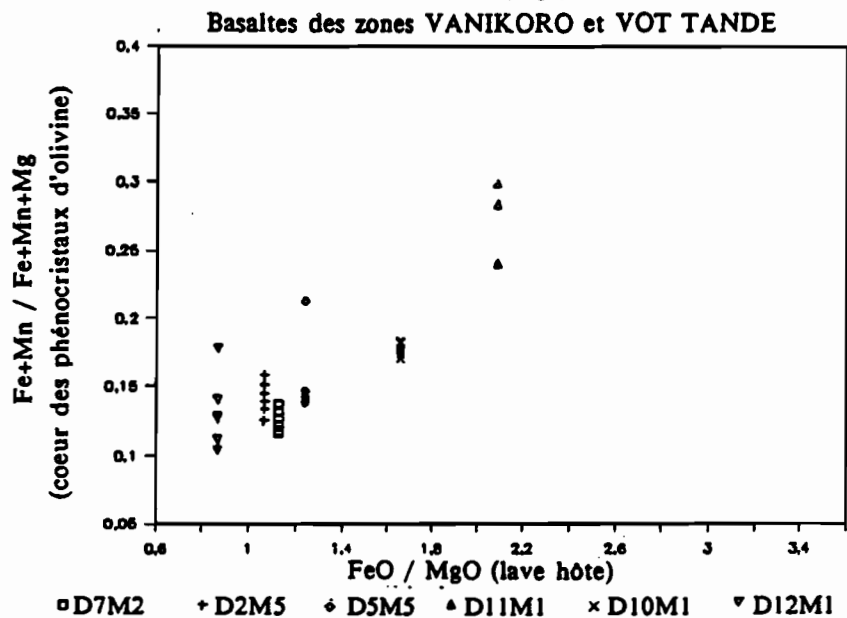
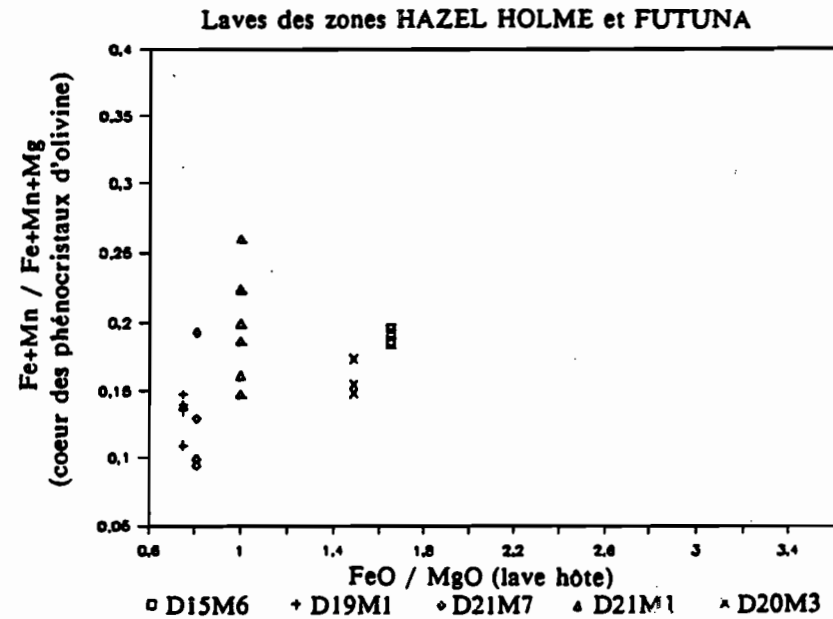
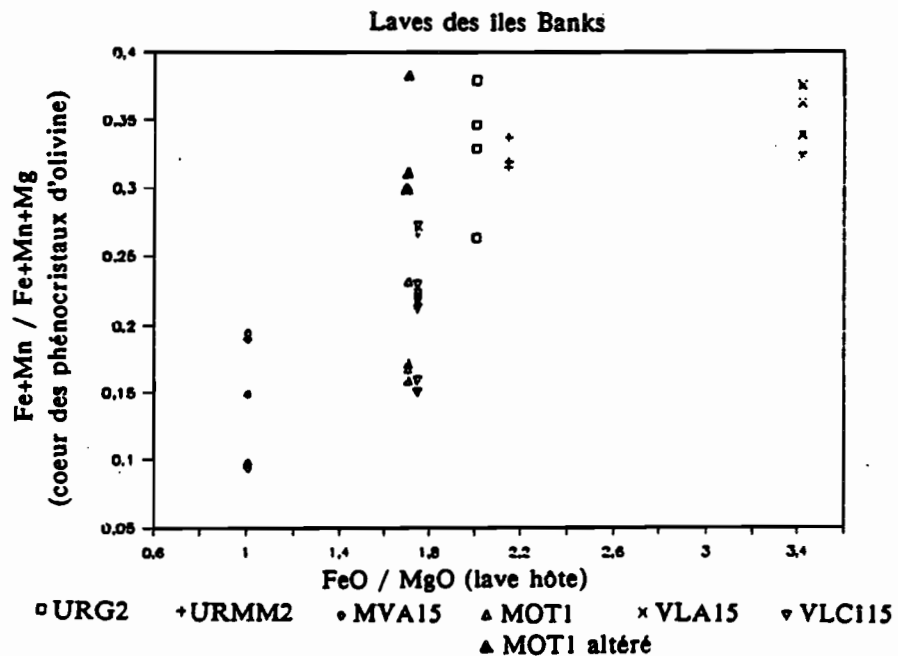


Figure III-6 : Diagramme Fe + Mn / Fe + Mn + Mg (coeur des phénocristaux d'olivine), FeO / MgO (lave).

a - Laves des îles

b - c - d - Laves des fossés

Diagram Fe + Mn / Fe + Mn + Mg (phenocrists cores) versus FeO / MgO (host lavas).

| ILE         | NATURE<br>ECHANT. | SiO <sub>2</sub> | Fo    |       | MESOSTASE |                                  |
|-------------|-------------------|------------------|-------|-------|-----------|----------------------------------|
|             |                   |                  | c     | b     |           |                                  |
| Ureparapara | URG2              | B 51,3           | 68-62 |       | 74        | <u>Remarque</u><br>iddingsitisés |
|             | URMM2             | AB 53,5          | 69-67 | 64-63 |           |                                  |
| Vanua Lava  | VLC115            | B 49,0           | 85-73 | 84-77 | 55-38     |                                  |
|             | VLA15             | A 58,9           | 68-63 |       |           |                                  |
| Mota Lava   | MVA15             | B 49,85          |       | 90-80 |           |                                  |
| Mota        | MOT1              | B 49,9           | 85-83 |       | 77        | altérés                          |
|             |                   |                  | 72-63 |       |           |                                  |

Tableau III-6 : Composition Fo-Fa des olivines des laves des îles Banks.  
*Fo-Fa composition of olivines for Banks islands lavas.*

## 2/ Les clinopyroxènes

### a) Nature des clinopyroxènes

#### \* Ureparapara

Les clinopyroxènes du basalte URG2 et de l'andésite basique URMM2 représentent environ 30 % des phénocristaux de ces laves et constituent l'essentiel des minéraux ferromagnésiens.

Ces clinopyroxènes sont des augites, parfois proches des salites pour URMM2 (Tabl. III-18 (vol. 2) ; Fig. III-7). Les zonations observées consistent généralement en une diminution de Ca vers la bordure (baisse de 1 à 6 % de Wo), accompagnée d'une augmentation de Fe et Mg. Les zonations peuvent être régulières du coeur vers la bordure, ou oscillatoires avec des zonations inverses au niveau des zones intermédiaires des cristaux. D'autre part, certains cristaux de l'andésite basique URMM2 montrent des zonages inverses, c'est-à-dire une augmentation de Ca et une diminution de Fe et Mg vers la bordure. Les microlites sont toujours appauvris en Ca et enrichis en Fe-Mg ; les augites sont pratiquement dépourvues de Cr.

La représentation des différents cations en fonction de FM ( $Fe^{2+*} / Fe^{2+} + Mg$ ) (Fig. III-31, vol.2) met en évidence une assez forte dispersion des points, due en partie à la faible variation de composition de ces échantillons (FM variant de 0,12 à 0,34). Cependant on distingue une tendance à une corrélation positive pour Ti et  $Fe^{3+}$  ou négative pour Al total,  $Al^{IV}$  et Cr, ce qui témoignerait du rôle prépondérant de Ti et  $Fe^{3+}$  au fur et à mesure de la différenciation. Les rapports  $Al^{IV} / Al^{VI}$ , toujours supérieurs à 1, indiquent une cristallisation BP (Aoki-Kushiro, 1968 ; Aoki-Shiba, 1973) ; ceci semble conforté par les relations des faibles teneurs en  $Na_2O$  (< 0,44 %) (Kushiro, 1969).

Les rapports FM des clinopyroxènes montrent des valeurs inférieures à celles des FM des olivines (0,25 à 0,40).

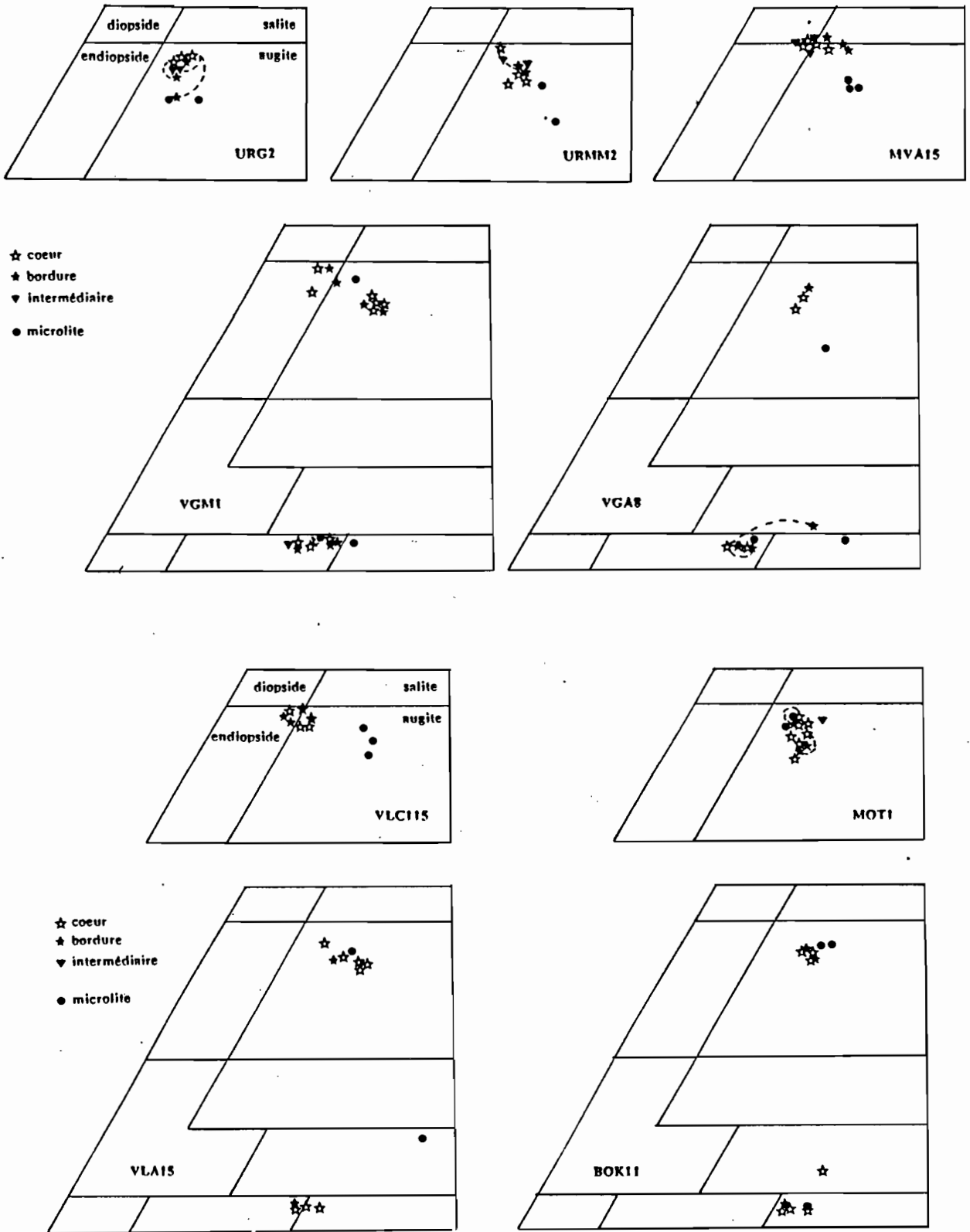


Figure III-7 : Position des clinopyroxènes des laves des îles Banks et de Vaté dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).  
 Plot of clinopyroxene compositions from Banks and Vate islands lavas in the Ca-Mg-(Fe+Mn).

| Ile                                     |             | Ech.   | Type | SiO <sub>2</sub> % | Coeurs    |           | Bordures  |           | Mésostase |           | Zonations   |
|---|-------------|--------|------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|
|   |             |        |      |                    | Wo        | En        | Wo        | En        | Wo        | En        |   |
| ILES<br>NORD<br>(ILES<br>BANKS<br>NORD) | Ureparapara | URG2   | B    | 51,3               | 41-43     | 43-46     | 37-43     | 43-47,5   | 36,5      | 45-47     | W <sub>o</sub> /En-Fs +/- continue<br>ou oscillatoire, 1 a 6%<br>/W <sub>o</sub> EN-Fs ou [W <sub>o</sub> /Fs, 2-3% |
|   |             | URMM2  | AB   | 53,5               |           |           |           |           |           |           |   |
|   | Vot Tande   | VGM1   | B    | 52,7               | 38-44     | 43,5-51,5 | 37,5-42   | 44-48,5   | 25-43     | 33-45     | W <sub>o</sub> -Fs/En, 1-2% ou W <sub>o</sub> /Fs, 1-8%   |
|   |             | VGAB   | AB   | 54,1               | 38-40     | 44-48,5   | 39-41     | 43-44,5   | 32        | 45,5      | W <sub>o</sub> /Fs, 1-2%  |
|   | Vanua Lava  | VLC115 | B    | 49,0               | 42-45     | 42-48     | 42,5-43,5 | 43,5-44,5 | 37,5-41,5 | 40-41,5   | W <sub>o</sub> /Fs, 1-2%  |
|   |             | VLA15  | A    | 58,9               | 38-41,5   | 41,5-45   | 39        | 45        | 40,5      | 42        | W <sub>o</sub> /Fs, 1-2%  |
|   | Mota Lava   | MVA15  | B    | 49,9               | 43,5-45,5 | 44,5-47,5 | 42-46     | 42-46     | 38-39,5   | 43,5-44,5 | W <sub>o</sub> /Fs, 1-5%  |
| Mota                                    | MOT1        | B      | 49,9 | 36,5-43            | 43-47     | 38-42,5   | 44-46     | 41,5-42,5 | 44,5-46   |           |   |
| ILES SUD                                | Vaté        | BOK11  | D    | 65,5               | 40        | 43,5-45   | 39-40,5   | 44        | 41        | 41        |   |

Tableau III-7 : Composition Wo-En des clinopyroxènes des laves des îles.  
*Wo-En composition of clinopyroxenes for islands lavas.*

### \* Vot Tande

Le basalte VGMI et l'andésite basique VGA8 présentent l'association clinopyroxène-orthopyroxène. Les clinopyroxènes sont situés dans le champ des augites ou de l'endiopside (VGMI) (Fig. III-7) ; les orthopyroxènes ont des compositions de bronzite, à la limite avec l'hypersthène.

*Les clinopyroxènes du basalte VGMI* montrent une certaine diversité des compositions depuis un pôle endiopside (à la limite du diopside), jusqu'à l'augite, encadrant ainsi les clinopyroxènes des échantillons d'Ureparapara. Les zonations vers la bordure sont variables :

- diminution de Ca (baisse de 1 à 2 % de Wo) ;
- soit diminution de Fe et augmentation de Mg (de l'ordre de 1-2 % de Fs et En), soit diminution de Mg et augmentation de Fe (de 1 à 8 % de Fs) ; dans ce dernier cas on observe ainsi le passage d'un coeur endiopside à une bordure d'augite.

*Les clinopyroxènes de l'andésite basique VGA8* sont de composition plus homogène, proche de celle des augites les plus ferrifères de VGMI (Tabl. III-18, vol. 2; III-8; Fig. III-7) et présentent peu de zonations ( $Wo_{38-41}$  ;  $En_{43-46}$ ).

Les diagrammes des cations en fonction de FM (Fig. III-8) montrent généralement de bonnes corrélations pour les échantillons de Vot Tande : corrélations positives pour Na-Ti et  $Fe^{3+}$  ou négatives pour Cr. La dispersion est plus importante pour Al total et  $Al^{IV}$ . La variété de composition des clinopyroxènes du basalte VGMI se reflète au niveau du rapport FM, variant entre 0,1 et 0,55.

### \* Vanua Lava

Le basalte VLC115 ne renferme que des clinopyroxènes alors que l'andésite VLA15 contient clinopyroxènes et orthopyroxènes.

*Les clinopyroxènes du basalte VLC115*, situés à la limite endiopside-augite (Fig. III-7 ; Tabl. III-18, vol. 2, III-8) sont assez comparables au groupe le plus magnésien des clinopyroxènes de VGMI (Vot Tande). Les zonations observées sont le plus souvent de type inverse : enrichissement en Mg et appauvrissement en Fe du coeur à la périphérie. Les microlites sont des augites nettement enrichies en fer.

*Les clinopyroxènes de l'andésite VLA15* sont des augites légèrement zonées, de façon normale (augmentation de Fs et diminution de Wo de l'ordre de 1-2 %). Ils sont assez proches des augites de VGA8 (Vot Tande) et du groupe ferrifère de VGMI (Vot Tande). Des corrélations sont observées dans les diagrammes des cations en fonction de FM (Fig. III-31, vol.2) : positives pour Na [VLC115 et VLA15], pour  $Ti^{4+}$  et  $Al^{3+}$  [seulement pour VLC115] ; ces corrélations indiquent l'intégration de ces cations dans les cristaux. Les cations  $Cr^{3+}$  (souvent en très faibles proportions),  $Fe^{3+}$  et  $Al^{IV}$  montrent une forte dispersion. Les valeurs des FM sont soit similaires à ceux des olivines (VLC115) soit légèrement plus faibles (VLA15, FM des olivines = 0,3 à 0,38).

\* Mota

Le basalte MOT1 contient des clinopyroxènes du groupe des augites, de composition comparable à celle des augites de VGM1 (Vot Tande). Les zonations sont variables (Fig. III-7 ; Tabl. III-18, vol. 2, III-9) : généralement baisse de Wo (1 à 4 %) et baisse ou augmentation des deux autres composants (Fs et En) en zonage normal ou inverse.

Les clinopyroxènes de MOT1 se placent bien dans l'évolution tracée par les divers cations en fonction de FM du groupe de laves de Mere-Lava, Mota, Vanua-Lava (Fig. III-31, vol.2) avec des corrélations positives pour Ti et négatives pour Cr. La variation de FM des clinopyroxènes de MOT1 est assez réduite : 0,2 à 0,28, se situant ainsi à un niveau de valeurs légèrement supérieur aux FM des olivines de cette île (0,15 à 0,23).

\* Mota-Lava (Tabl. III-18, vol. 2)

Le basalte MVA15 possède les clinopyroxènes les plus calciques parmi les laves des îles étudiées, à la limite des champs diopside-salite / endopside-augite :  $Wo_{42-46} - En_{42-47,5}$  (Tabl. III-8 ; Fig. III-7). Les zonations révèlent des variations de Fe et Mg, Ca restant à peu près constant. Ces zonations sont de type normal : augmentation de Fs vers la bordure (0,5 à 5 %) compensée par une baisse d'En. Mais il existe de nombreuses zonations oscillatoires (les points les plus magnésiens correspondent aux zones intermédiaires et non aux coeurs). Les microlites sont nettement moins calciques et plus riches en fer :  $Wo_{38-39,5} - En_{43,5-44,5}$ . Les corrélations en fonction de FM sont positives pour Na, Ti, et négatives pour Cr. Les rapports FM sont assez variables (0,12 à 0,30) et plus élevés que ceux des olivines de cette même île (0,09 à 0,20). Le rapport Al/Ti présente des valeurs assez élevées, voisines de 20, pour des rapports FM de 0,14 à 0,17, ce qui est typique des magmas calco-alcalins à activité en silice relativement modérée (Smith et Lindsley, 1971). Des valeurs comparables, voire supérieures de Al/Ti, s'observent pour les clinopyroxènes les moins évolués de VLC115 (Vanua Lava).

Diagrammes de discrimination de Leterrier et al. (1982)

La comparaison des compositions de clinopyroxènes issus de différents types de magmas a mis en évidence des relations entre la chimie des clinopyroxènes et celle des roches-hôtes (Nisbett et Pearce, 1977 ; Fodor *et al.*, 1975 ; Cameron et Papike, 1981). Le comportement des éléments mineurs (Al, Cr, Ti) dépend de la vitesse de refroidissement et de la composition de la roche totale (Gamble et Taylor, 1980), ce qui n'est pas le cas des composants majeurs (Ca, Mg, Fe). La composition des phénocristaux de clinopyroxène est donc plus représentative de la composition de la lave-hôte que ne l'est celle des microlites.

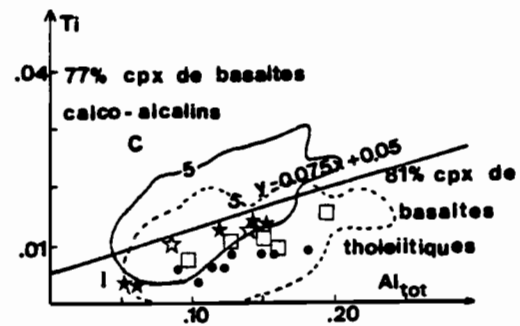
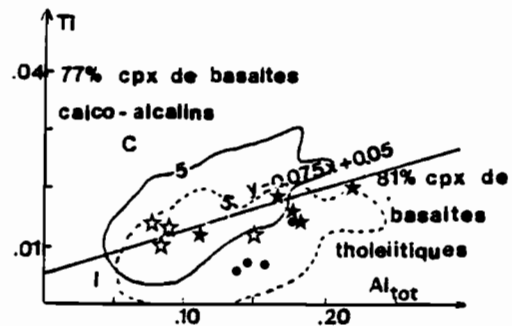
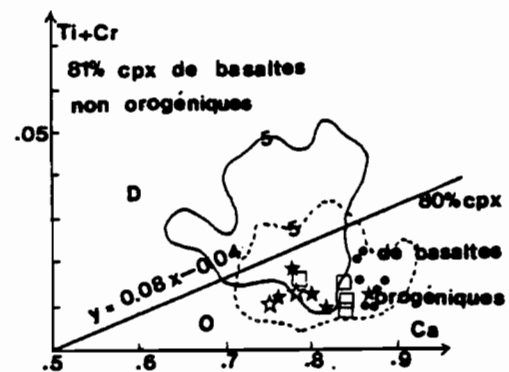
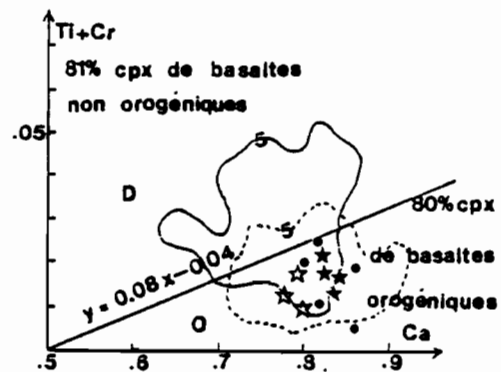
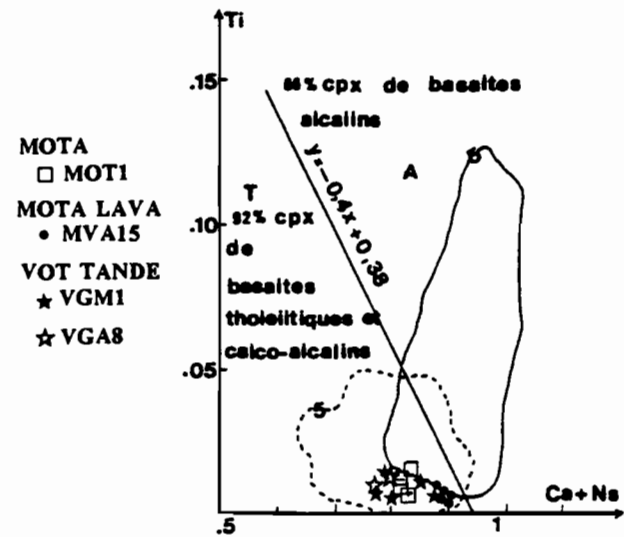
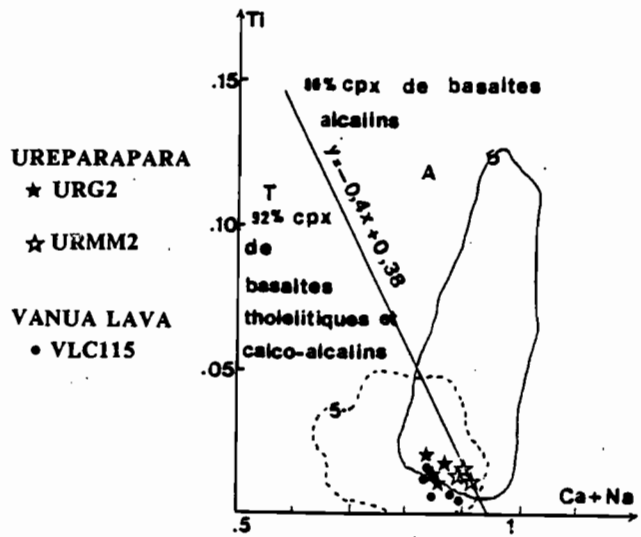


Figure III-8 : Position des clinopyroxènes des laves des îles Banks dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).

Plot of Banks islands lavas in Leterrier *et al.* (1982) diagrams.

Nisbett et Pearce (1977) puis Leterrier *et al.* (1982) ont réalisé des diagrammes de discrimination des affinités magmatiques des laves basiques hôtes, basés sur la composition des clinopyroxènes calciques. Le contexte de zones arrière-arc des échantillons étudiés ici nous semble justifier l'utilisation de tels diagrammes pour caractériser le type des clinopyroxènes de ces laves. Les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982) ont été préférés car les diagrammes de Nisbett et Pearce présentent, dans certains cas, des résultats non satisfaisants (Girard, 1981). Ils s'appliquent aux analyses de coeurs des phénocristaux de clinopyroxènes de laves basiques (dont le DI est inférieur à 50).

Les clinopyroxènes des laves basiques des îles Banks se situent dans ces diagrammes (Fig. III-8) dans les champs non alcalin et orogénique. Ils montrent une nature généralement tholéitique d'arc de la lave-hôte, ou à la limite entre une affinité calco-alcaline et tholéitique d'arc [URG2 - URMM2 - VGM1 - VGA8]. Aucun point ne se situe dans le domaine des basaltes non orogéniques.

\* Yaté (Tabl. III-18, vol. 2)

La dacite BOK11 contient des clinopyroxènes du groupe des augites, très proches des augites de l'andésite basique VGA8 (Vot Tande) et de l'andésite VLA15 (Vanua Lava). Ils sont associés à des orthopyroxènes du type hypersthène (Fig. III-7). Ces compositions sont tout à fait comparables à celles déterminées par Coulon *et al.* (1979) pour les rhyodacites de Yaté, qui présentent le même phénomène de léger enrichissement en fer dans les microlites. On note la faible variation des rapports FM (0,24 à 0,28) qui présentent des valeurs intermédiaires par rapport aux autres laves (Fig. III-31, vol.2).

\*\*\*

Pour l'ensemble des laves des îles étudiées, les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  des phénocristaux de clinopyroxènes sont nulles ou faibles (valeur maximale de 0,4 %, voire 0,6 % pour MVA15). Celles en  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,13 à 0,45 %) et celles en  $\text{TiO}_2$  (0,16 à 0,69 %) sont modérées.

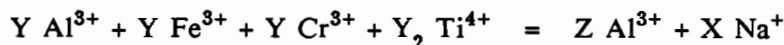
#### b) *Cristallochimie des clinopyroxènes*

\* Rappels sur la cristallochimie des clinopyroxènes

La formule structurale théorique des clinopyroxènes comprend six oxygènes et quatre cations. Les quatre pôles théoriques sont respectivement :  $\text{Ca Mg Si}_2\text{O}_6$  (le diopside),  $\text{Mg}_2 \text{Si}_2\text{O}_6$  (la clino-enstatite),  $\text{Ca Fe Si}_2\text{O}_6$  (l'hedenbergite) et  $\text{Fe}_2 \text{Si}_2\text{O}_6$  (la ferrosilite).

En fait, le silicium remplit rarement le site octaédrique (Z) des clinopyroxènes. Cette différence est comblée par l'aluminium tétra-coordonné ( $\text{Al}^{\text{IV}}$ ), dont l'entrée dans le site Z provoque des déséquilibres de charge dans la formule structurale. Ces déséquilibres sont à leur

tour compensés par des substitutions dans le site octaédrique (Y) de cations hexacoordonnés tri- ou tétravalents,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$ ,  $Al^{3+IV}$ . Ces composants sont dits "non quadrilatéraux" (*non quad*) car ils n'appartiennent pas aux quatre pôles théoriques de substitution. Leur répartition dans le site Y se fait selon l'équilibre suivant (Papike *et al.*, 1974 ; Cameron et Papike, 1980, 1981) :



Dans le cas où les clinopyroxènes analysés contiennent de l' $Al^{IV}$  ( $Si < 2$ ) et de l' $Al^{VI}$  ( $Si + Al > 2$ ) [ce qui est vérifié dans la plupart des échantillons étudiés], les principales substitutions pouvant exister dans les clinopyroxènes sont :

| <u>Molécules de Tschermark</u>         | <u>Molécules sodiques</u> |
|--|---------------------------|
| $Al^{VI} - Al^{IV}$ : Al-Tschermark    | $Na - Fe^{3+}$ : acmite   |
| $Ti - Al^{IV}$ : Ti-Tschermark         | $Na - Al^{VI}$ : jadéite  |
| $Fe^{3+} - Al^{IV}$ : Ferri-Tschermark |                           |
| $Cr^{3+} - Al^{IV}$ : Cr-Tschermark    |                           |

Le calcul de la formule structurale de l'ensemble des clinopyroxènes des laves étudiées (des îles et des fossés), conduit à une somme de cations supérieure à quatre, indicatrice de la présence de fer ferrique, qui est calculé en admettant la stoechiométrie des pyroxènes à quatre cations et six oxygènes. Dans la plupart des cas, les valeurs d'Al sont très supérieures à 2-Si, c'est-à-dire qu'il existe de l'aluminium tétraédrique ( $Al^{IV}$ ) en complément de Si ; le reste d'aluminium se trouve sous forme octaédrique ( $Al^{VI}$ ).

#### \* Cristallochimie - Substitutions des laves des îles étudiées

L'observation de la figure III-32 (vol.2) révèle l'existence de substitutions de l'aluminium en site octaédrique et tétraédrique, la majorité des points se situant au-dessus de la droite  $Al + Si = 2$ , mais cependant dans un domaine relativement proche de cette droite. Par ailleurs, les pourcentages de composants *non quad*, calculés selon la méthode de Cameron et Papike (1981) sont faibles, généralement inférieurs à 14 %, sauf pour quelques bordures de phénocristaux [VLC115] ou de microlites [VLC115 - VGM1] et pour les phénocristaux des basaltes MOT1 et URG2 (11 à 18 %).

La figure III-32 (vol.2) montre les variations de  $Fe^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$  et  $Al^{VI}$  en fonction de  $Al^{IV}$ . Des corrélations positives se dessinent entre  $Ti^{4+}$  et  $Al^{IV}$  pour l'ensemble de ces laves, entre  $Fe^{3+}$  et  $Al^{IV}$  pour les laves de Vot Tande et Ureparapara et de façon un peu moins nette pour les autres laves. Par contre, la dispersion importante des points dans les diagrammes de variation des autres cations, notamment  $Al^{VI}$ , ne permet pas de définir des corrélations malgré une tendance à l'accroissement d' $Al^{VI}$  en fonction d' $Al^{IV}$ .

Ces dispersions s'expliquent en partie par la faible variation des compositions des clinopyroxènes et par le fait que ces laves ne constituent pas une série volcanique s.s.

### *c) Conclusions*

Les clinopyroxènes des laves basiques des îles Banks témoignent de l'affinité orogénique, plutôt tholéitique d'arc des magmas.

Leurs faibles teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$  et l'absence de substitutions  $\text{Fe}^{3+}\text{-Na}^+ / \text{Al}^{\text{IV}}$  sont des indices de cristallisation à basse pression d'un magma à activité modérée en silice et faible en titane (rapports Al/Ti assez élevés, faibles teneurs en  $\text{TiO}_2$ ).

Les augites analysées dans les divers échantillons des îles sont comparables à celles décrites dans les laves d'Erromango, plus particulièrement du mont Rantop et du mont William, alors que les clinopyroxènes plus calciques du basalte MVA15 (Mere Lava) peuvent être comparés aux clinopyroxènes de Robertson's d'Erromango (Marcelot, 1980). La comparaison des clinopyroxènes des laves des îles Banks avec ceux des laves d'Erromango peut paraître paradoxale mais s'explique par l'absence de données minéralogiques sur les premiers.

### **3/ Les orthopyroxènes (Tabl. III-19, vol. 2)**

Les pyroxènes non calciques sont associés aux clinopyroxènes dans les laves les plus différenciées : VGMI et VGA8 de Vot Tande, VLA15 de Vanua Lava et BOK11 de Vaté.

**Le basalte VGMI** contient des hypersthènes et des bronzites (65,5 à 73,5 % d'enstatite) relativement calciques (3,5 à 4,5 % de wollastonite). Elles semblent à l'équilibre avec les augites de la lave dont les rapports FM sont équivalents (Fig. III-7). Les bordures sont souvent plus riches en fer (2 à 3,5 % de Fs). Les teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0,77 à 2,04 %) sont assez faibles.

**L'andésite basique VGA8** contient des bronzites de composition très peu variée (69,5 à 72,5 % d'enstatite), relativement calciques (3 à 4,1 % de wollastonite), parfois zonées (augmentation de 2 à 3 % de Fs, voire passage à une pigeonite à la limite avec l'hypersthène). Ces bronzites sont à l'équilibre avec les augites (Fig. III-7). La teneur en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  est variable (0,8 à 2,6 % dans les bronzites et 4,8 % dans la pigeonite).

**L'andésite VLA15** (Vanua Lava) renferme des orthopyroxènes à la limite bronzite/hypersthène (65,5 à 68,5 % d'enstatite) avec environ 3,5 % de wollastonite. Un microlite à composition de pigeonite est nettement moins magnésien (47,8 % d'enstatite). Un exemple de zonation a été observé qui correspond à un enrichissement en Mg (3 % d'enstatite). Les orthopyroxènes sont peut être postérieurs aux augites, dont le rapport Fm est plus faible. Les teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sont faibles (0,8 à 1,25 %).

**La dacite BOK11** (Vaté) possède des hypersthènes assez magnésiens (64 à 67 % d'enstatite), moyennement calciques (2,7 à 3 % de wollastonite) et sporadiquement de la

| Ile                                     | Ech.       | Type   | SiO <sub>2</sub> % | Coeurs |          | Bordures |          | Mésostase |         | Zonations - Remarques                 |            |
|---|------------|--------|--------------------|--------|----------|----------|----------|-----------|---------|---------------------------------------|------------|
|   |            |        |                    | An     | Or       | An       | Or       | An        | Or      |                                       |            |
| Ureparapara                             | URG2       | B      | 51,3               | 67-76  | 0,5-1,2  | 41-64    | 1-3,2    | 36-61     | 1,5-3,7 | √An (6-25%) régulières                |            |
|   | URMM2      | AB     | 53,5               | 50-92  | 0,2-7,4  | 52-90    | 0,25-2,5 | 7-58      | 2-3,1   | √An (2-32%) ou √An (2-10%)            |            |
| Vot Tande                               | VGM1       | B      | 52,7               | 70-79  | 0,4-0,75 | 54-81    | 0,5-2    | 48-64     | 1-3     | √An (0,5-18%) ou √An (6%)             |            |
|   | VGA8       | AB     | 54,1               | 71-80  | 0,4-0,65 | 72-79    | 0,3-0,8  | 49-58     | 1-2,5   | √An (2-5%) ou √An (6%) ou absentes    |            |
| ILES<br>NORD<br>(ILES<br>BANKS<br>NORD) | Vanua Lava | VLC115 | B                  | 49,0   | 78-89    | 0-0,4    | 69-82    | 0,3-0,8   | 49-62   | 1,4-2,3                               | √An (6-9%) |
|   |            | VLA15  | A                  |        | 58,9     | 50-60    | 1,5-2,1  | 55-70     | 1-2     | 32-63                                 | 1,5-5      |
| Mota Lava                               | MVA15      | B      | 49,9               | 76-88  | 0,1-0,5  | 71-75    | 0,6-1    | 68-72     | 0,5-1,1 | √An (5-16%) et √Or (0,4-0,6%)         |            |
| Mota                                    | MOT1       | B      | 49,9               | 64-88  | 0,3-1,8  | 54-62    | 1,8-2,8  | 45-60     | 2-3,5   | √An (2-33%)                           |            |
| ILES SUD                                | Vate       | BOK11  | D                  | 65,5   | 28-47    | 3-7,2    | 29-43    | 4-7,6     |         | √An (2%) ou √An (4-18%), oscillatoire |            |

Tableau III-8 : Composition An-Or des plagioclases des laves des îles.  
*An-Or composition of plagioclases for islands lavas.*

pigeonite (59,6 % En et 7,8 % Wo). Les rapports FM des orthopyroxènes sont supérieurs à ceux des augites qui ont sans doute cristallisé plus précocement. Les teneurs en  $Al_2O_3$  sont très faibles (0,3 à 0,6 % d' $Al_2O_3$ ).

\*\*\*

Il existe une certaine évolution des orthopyroxènes en fonction de la teneur en silice des laves ; ils s'enrichissent en effet en fer et sont de moins en moins alumineux au fur et à mesure de l'accroissement de l'acidité des laves-hôtes. On notera ainsi que les orthopyroxènes des laves étudiées sont relativement magnésiens.

#### 4/ Les plagioclases

La gamme de variation totale des compositions des phénocristaux de plagioclase des laves des îles de l'arc étudiées, s'étend entre 50 et 95 % d'anorthite. Seule la dacite BOK11 montre des teneurs inférieures, entre 25 et 50 % d'anorthite.

##### \* Ureparapara

Les laves de cette île se caractérisent par une importante variation de la composition des plagioclases (Tabl. III-20, vol. 2 ; Fig. III-9), particulièrement des phénocristaux de l'andésite basique URMM2, dont les teneurs en anorthite sont comprises entre 50 et 92 %. Les zonations sont marquées, normales avec baisse de 6 à 25 % d'anorthite pour le basalte URG2, et de 2 à 32 % d'anorthite pour l'andésite basique URMM2. Des zonations inverses, avec augmentation de 2 à 10 % d'anorthite, s'observent également dans cette dernière. Quelques plagioclases sont également beaucoup plus riches en orthoclase ; il s'agit d'une bordure de phénocristal [URG2] ou de microlites [URMM2].

Les teneurs en MgO, inférieures à 0,1 % en moyenne, sont à la limite de la précision analytique.

##### \* Vot Tande

Le basalte VGM1 et l'andésite basique VGA8 contiennent des plagioclases comparables (Tabl. III-20, vol. 2 ; III-8 ; Fig. III-9), correspondant essentiellement à des phénocristaux de bytownite ou parfois de labrador [VGM1] et des microlites de labrador moins calciques. L'étendue des compositions et les zonations sont plus importantes dans le basalte que dans l'andésite basique. Les zonations peuvent être normales ou inverses.

Les teneurs en MgO sont faibles, moins de 0,12 % en moyenne.

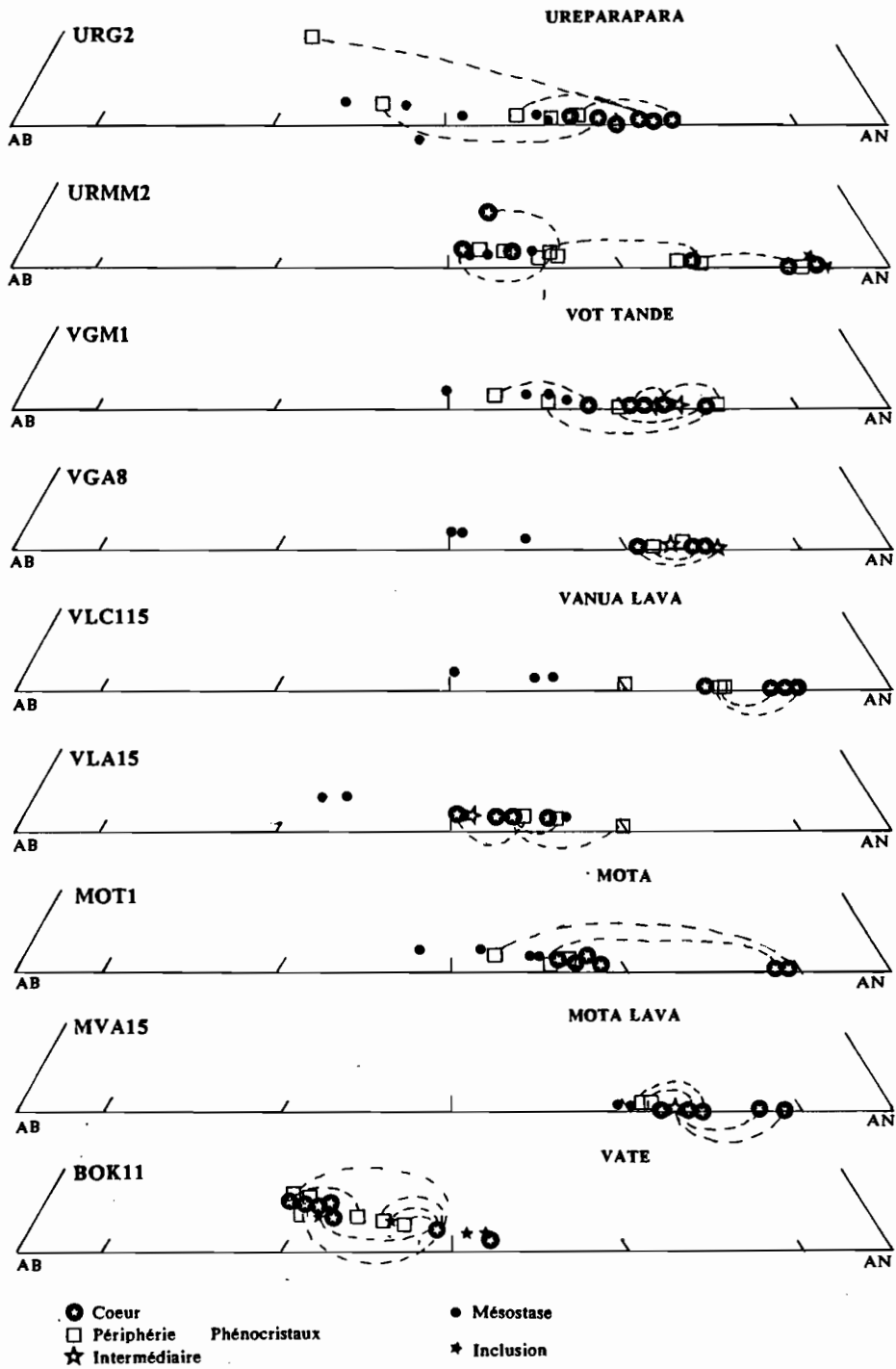


Figure III-9 : Position des plagioclases des laves des îles Banks et Vaté dans le diagramme Or-Ab-An.

*Plot of plagioclases of Banks and Vate islands in Or-Ab-An diagram.*

#### \* Vanua Lava

Le basalte VLC115 et l'andésite VLA15 (Tabl. III-20, vol. 2 ; III-8 ; Fig. III-9) se caractérise par une nette différence de composition des plagioclases. On trouve des phénocristaux de bytownite zonés normalement, associés à des microlites de labrador, dans le basalte, et des phénocristaux de labrador à zonage inverse, associés à des microlites d'andésine dans l'andésite. Ceci illustre une diminution logique de la basicité au passage du basalte à l'andésite. Les microlites sont légèrement enrichis en orthodase (jusqu'à 5 %).

Les teneurs en MgO sont inférieures ou égales à 0,12 %.

#### \* Mota Lava

Le basalte MVA15 contient des phénocristaux de plagioclase assez comparables à ceux du basalte VLC115 de Vanua Lava : bytownite à zonations normales (Tabl. III-20, vol. 2 ; III-12 ; Fig. III-12). Les microlites ont des compositions équivalentes à celles des bordures les moins calciques : limite bytownite-labrador.

MgO présente des teneurs moyennes de 0,18 % légèrement supérieures à celles des échantillons des autres îles.

#### \* Mota

Le basalte MOT1 possède des plagioclases du type labrador dont la basicité décroît depuis les coeurs jusqu'aux bordures des phénocristaux et enfin aux microlites. Quelques phénocristaux ont des coeurs de bytownite riches en anorthite (87-88 %) et des bordures de labrador.

Les valeurs de MgO sont très faibles, 0,06 % en moyenne.

#### \* Vaté

Les plagioclases de la dacite BOK11 sont du type andésine ou accessoirement du type labrador, riches en orthoclase (3 à 8 %). L'enrichissement en  $K_2O$  est proportionnel à l'augmentation du taux d'albite.

#### \* Conclusions

Il existe quelques recouvrements de compositions chimiques des plagioclases lorsque l'on passe d'un groupe pétrographique à l'autre : exemples du basalte et de l'andésite basique de l'île d'Ureparapara ou de l'île de Vot Tande.

Les plagioclases des basaltes étudiés sont parfois relativement sodiques : les valeurs minimales d'anorthite sont de 65 % aux coeurs des phénocristaux et de 55, voire 40 %, à leurs périphéries. Ces taux d'anorthite sont plus faibles que ceux mis en évidence dans les plagioclases de l'île d'Erromango [ $An_{95-75}$  aux coeurs et  $An_{95-50}$  en bordures (Marcelot, 1980)], de l'île de

Tanna [ $An_{95-80}$  aux coeurs et  $An_{70-60}$  en bordures pour les basaltes (Coulon et Maury, 1981)], de l'île de Vaté [ $An_{95-85}$  aux coeurs et  $An_{80-60}$  en bordures (Coulon *et al.*, 1979)] et de l'île de Futuna [ $An_{90-68}$  des coeurs aux bordures (Marcelot *et al.*, 1983a)]. Mais rappelons à nouveau que ces données bibliographiques concernent uniquement les îles du Sud et non les îles Banks.

Par contre, la comparaison de la dacite BOK11 avec les rhyodacites de Vaté (Coulon *et al.*, 1979) révèle une parfaite ressemblance des plagioclases.

## 5/ Les oxydes ferro-titanés

La titanomagnétite est le seul oxyde ferro-titané présent dans les laves analysées des îles des Nouvelles-Hébrides.

### a) Nature des oxydes ferro-titanés

#### \* Ureparapara

Les titanomagnétites du basalte URG2 et de l'andésite basique URMM2 contiennent entre 6 et 13,5 % de  $TiO_2$ , entre 0,3 et 0,7 % de MnO et jusqu'à 0,18 % de  $Cr_2O_3$  (Tabl. III-21, vol. 2). On notera que les totaux sont élevés pour l'ensemble de ces analyses.

Dans le diagramme  $FeO - TiO_2 - Fe_2O_3$ , on observe une tendance à l'augmentation du composant  $Fe_2O_3$  (Fig. III-10).

Le rapport FM varie de 0,81 à 0,98. Ti se corrèle positivement avec FM et Al négativement (Fig. III-33, vol.2). Dans ces deux diagrammes, un groupe de magnétites du basalte URG2 se caractérise par des valeurs légèrement plus fortes de Ti et plus faibles d'Al.

#### \* Vot Tande

Les teneurs en titane des magnétites du basalte VGM1 et de l'andésite basique VGA8 sont comprises entre 6 et 8 % de  $TiO_2$ , à deux exceptions près de 10,4 et 10,7 % de l'échantillon VGM1. Ces deux magnétites également plus riches en MnO (0,4-0,6 %) que les autres (0,2 à 0,4 %) se caractérisent par un rapport FM plus élevé (0,94-0,95) et sont donc peut-être plus tardives que les autres magnétites du basalte, dont le rapport FM varie entre 0,82 et 0,90. Le rapport FM des magnétites de l'andésite basique est plus constant, entre 0,83 et 0,86.

Les valeurs de  $Cr_2O_3$  restent modérées, inférieures à 0,23 % dans VGA8 et atteignant 0,85 % dans VGM1.

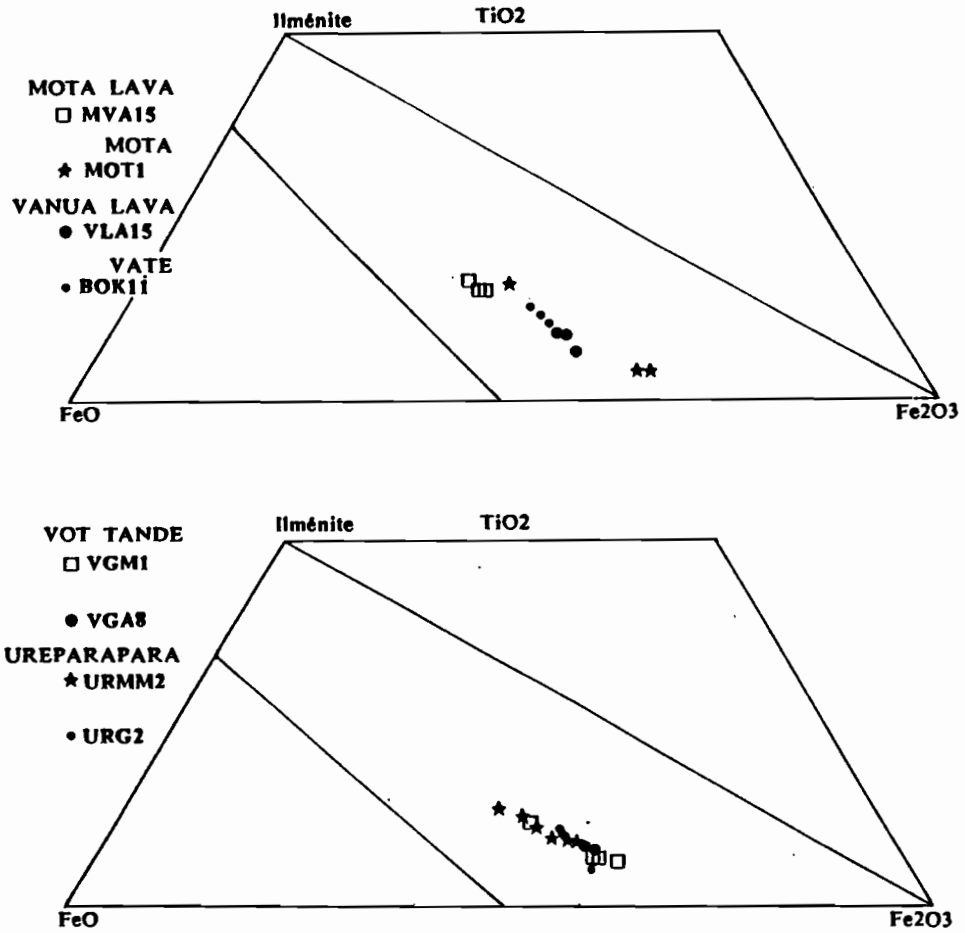


Figure III-10 : Position des oxydes ferro-titanés des laves des îles Banks et Vate dans le diagramme  $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ .  
 Plot of ferro-titanated oxides of Banks and Vate islands lavas in  $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ .

Dans le diagramme  $\text{FeO} - \text{TiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ , les magnétites de Vot Tande s'alignent parfaitement avec les magnétites des laves d'Ureparapara.

\* Vanua Lava

Les titano-magnétites du basalte VLC115 se répartissent en deux ensembles distincts en fonction de leur teneur en  $\text{TiO}_2$  : 3 à 4,5 % dans les inclusions et 6 à 7 % dans les microphénocristaux. Les teneurs en  $\text{MnO}$  sont faibles (0,2 à 0,4 %).  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  est très élevé : il est compris entre 0,19 et 4,7 %, mais le plus souvent supérieur à 3,5 %.

Le rapport FM illustre bien la différence entre les inclusions à FM de 0,72 à 0,81 et les microphénocristaux à FM voisin de 0,88 et donc plus tardifs (Fig. III-33, vol.2).

L'andésite VLA15 contient des magnétites plus riches en  $\text{TiO}_2$  (environ 8,5 %) et  $\text{MnO}$  (0,35 à 0,6 %) et dépourvues de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , sauf pour une valeur à 0,24 %. Le rapport FM est peu variable (0,88 à 0,92).

\* Mota et Mota Lava

Les magnétites de MOT1 (Mota) sont plus pauvres en  $\text{TiO}_2$  (3,5 %) à l'exception d'une analyse à 15 %, tout à fait comparable à celles de MVA15 (Mota Lava) (14,5 à 15,5 % de  $\text{TiO}_2$ ). Les teneurs en  $\text{MnO}$  sont faibles dans les deux laves (0,2 à 0,6 %).  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  est faible (0,02 à 0,21 %) ou peut atteindre 1,71 % dans une magnétite de MOT1 (Tabl. III-13, vol. 2). La teneur en  $\text{TiO}_2$  n'est pas nettement corrélée avec le rapport FM. Celui-ci est très variable dans le basalte MOT1 (0,73 à 0,9), la magnétite titanifère montrant un rapport FM de 0,85 intermédiaire, plus faible que celui des magnétites de MVA15 (0,95 - 0,96) (Fig. III-33, vol.2). Par contre, ces deux groupes s'individualisent bien dans le diagramme  $\text{FeO} - \text{TiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fig. III-14).

\* Vaté

La dacite BOK11 contient des magnétites assez riches en  $\text{TiO}_2$  (12,5 - 12,75 %) et  $\text{MnO}$  (0,95 à 1,30 %) et pauvre en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (jusqu'à 0,1 %). Le rapport FM est très constant (0,88 - 0,90 %) et proche de celui de l'andésite VLA15 (Vanua Lava) (Tabl. III-21, vol. 2 ; Fig. III-33, vol.2).

La composition des magnétites de BOK11 est tout à fait comparable à celle des magnétites des rhyodacites de Vaté, enrichies en  $\text{TiO}_2$  et  $\text{MnO}$  vis-à-vis de celles des basaltes de la même île (Coulon *et al.*, 1979).

### b) Cristallochimie

Pour l'ensemble de ces laves, les diagrammes  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  et  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$  mettent en évidence une évolution cristallochimique caractérisée par une baisse de  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$  et  $Mg^{2+}$  accompagnée d'une augmentation de  $Ti^{4+}$  et  $Fe^{2+}$  (Fig. III-34, vol.2). Ces variations résultent de rééquilibrages successifs et reflètent une évolution continue du liquide magmatique au cours de la cristallisation (Ridley, 1977).

### 6/ Les verres

Seuls deux échantillons des îles ont permis des analyses de verres: le basalte URG2 (Ureparapara) et la dacite BOK11 (Vaté).

Les verres du basalte URG2 (Tabl. III-22, vol.2) sont dacitiques et contiennent environ 3 % de  $K_2O$ .

Les verres de la dacite BOK11 sont rhyolitiques avec 4,1 à 4,8 % de  $K_2O$ , et montrent des compositions très homogènes (Tabl. III-22, vol.2).

Dans ces deux laves, le potassium de la roche totale est essentiellement concentré dans la phase vitreuse.

### 7/ Conclusions

L'étude minéralogique des échantillons des îles Banks met en évidence une cristallisation sous fugacité d'oxygène assez élevée (fractionnement relativement précoce des minéraux opaques qui se trouvent inclus dans les autres phases minérales ; importance de la substitution  $Fe^{3+} / Al^{IV}$  dans les clinopyroxènes), et sous pression relativement basse (pauvreté en Na des clinopyroxènes et absence de jadéite dans ceux-ci). Il n'existe pas de clinopyroxènes très précoces (diopsides riches en Cr par exemple). Par contre, l'olivine est dans certains cas assez précoce [MVA15 - MOT1 - VLC115], dans les laves les plus cumulatives. Enfin la cristallisation du plagioclase semble plus tardive et n'influe pas réellement sur la minéralogie.

**B - ETUDE MINÉRALOGIQUE DE LAVES REPRESENTATIVES DES ECHANTILLONS DRAGUES DANS LES FOSSES ARRIERE-ARC DES NOUVELLES-HEBRIDES.**

**1/ Les olivines**

L'olivine est une phase minérale importante des laves basiques de SEAPSO-2. Parmi les échantillons étudiés à la microsonde, elle est présente dans les laves suivantes :

- 3 basaltes (sur 4 analysés) de la zone Vanikoro,
- 3 basaltes de la zone Vot Tande,
- 1 basalte (sur les 3 étudiés) de la zone Hazel Holme,
- 2 basaltes (sur 3) et 1 andésite basique de la zone Vaté,
- 2 basaltes (sur 4) de la zone Erromango,
- 3 basaltes et 1 andésite (sur 2) de la zone Futuna.

Toutes ces analyses sont présentées dans le tableau III-23 (vol. 2). Le tableau III-9 résume les teneurs en forstérite (Fo) des olivines. La figure III-11 illustre la composition des olivines des échantillons regroupés par zone de dragage.

Les teneurs molaires en forstérite des olivines des laves draguées permettent la distinction de plusieurs groupes :

**Olivines très magnésiennes :** Fo<sub>90-85</sub> au niveau des coeurs des phénocristaux qui montrent parfois des bordures plus ferrifères Fo<sub>82,5-80</sub> [D7M2 - D12M1] basaltes à tendance picritique.

**Olivines magnésiennes :** Fo<sub>91-81</sub> au coeur et Fo<sub>85-76</sub> en bordure [D2M5 - D5M5 - D20M3] avec le plus souvent des valeurs groupées et peu de zonations, et [D19M1 - D21M7 - D24M4] avec une plus forte dispersion des valeurs et des zonations plus marquées.

**Olivines relativement magnésiennes :** Fo<sub>84-80</sub> au coeur, avec peu de variation en bordure [D10M1 - D15M6 - D31M1 - D30M2] ou une dispersion plus prononcée Fo<sub>82-77</sub> [D21M1].

**Olivines peu magnésiennes :** Fo<sub>74-69</sub> sans variation significative du coeur à la bordure des phénocristaux [D11M1 - D25M2 - D29M6]. L'étude pétrographique du basalte D29M6 révèle l'existence de plusieurs générations d'olivine, plus au moins altérées. Seuls les cristaux les moins altérés ont pu être analysés.

| Zone de dragage | Ech.  | Type | SiO <sub>2</sub> % | Teneur en forstérite |         |           | Remarques   |
|-----------------|-------|------|--------------------|----------------------|---------|-----------|---|
|                 |       |      |                    | coeur                | bordure | mésostase |   |
| VANIKORO        | D7M2  | B    | 47,0               | 90-85                |         | 80        | Zonations normales<br>Zonations normales                |
|                 | D2M5  | B    | 49,0               | 87-84                | -> 76   |           |   |
|                 | D5M5  | B    | 49,5               | 87-85                | -> 78   |           |   |
| VOT TANDE       | D11M1 | B    | 47,5               | 73-70                |         | 67        | Inclusion dans Cpx a Fo 76-74<br><br>Zonations normales |
|                 | D10M1 | B    | 49,4               | 84-81                |         |           |   |
|                 | D12M1 | B    | 50,7               | 90-86                | -> 82,5 |           |   |
| HAZEL HOLME     | D15M6 | B    | 51,2               | 82-80                |         |           |   |
| VATE            | D29M6 | B    | 47,5               | 73-69                |         |           |   |
|                 | D31M1 | B    | 52,0               | 84-81                |         |           |   |
|                 | D30M2 | AB   | 53,0               | 84-82                |         |           |   |
| ERROMANGO       | D25M2 | B    | 50,3               | 74-69                |         |           | Zonations normales                                      |
|                 | D24M4 | B    | 52,5               | 92-84                | 83-81   |           |   |
| FUTUNA          | D19M1 | B    | 50,0               | 89-85                | 88-82   | 80        | Zonations normales                                      |
|                 | D21M7 | B    | 50,2               | 91-81                | 83      | 80-76     | Zonations normales                                      |
|                 | D21M1 | B    | 50,7               | 82-77                | 80-77   | 58        | Zonations oscillatoires                                 |
|                 | D20M3 | AB   | 55,7               | 85,5-83              |         |           |   |

Tableau III-9 : Composition Fo-Fa des olivines des laves des fossés.  
*Fo-Fa composition of olivines for trough lavas.*

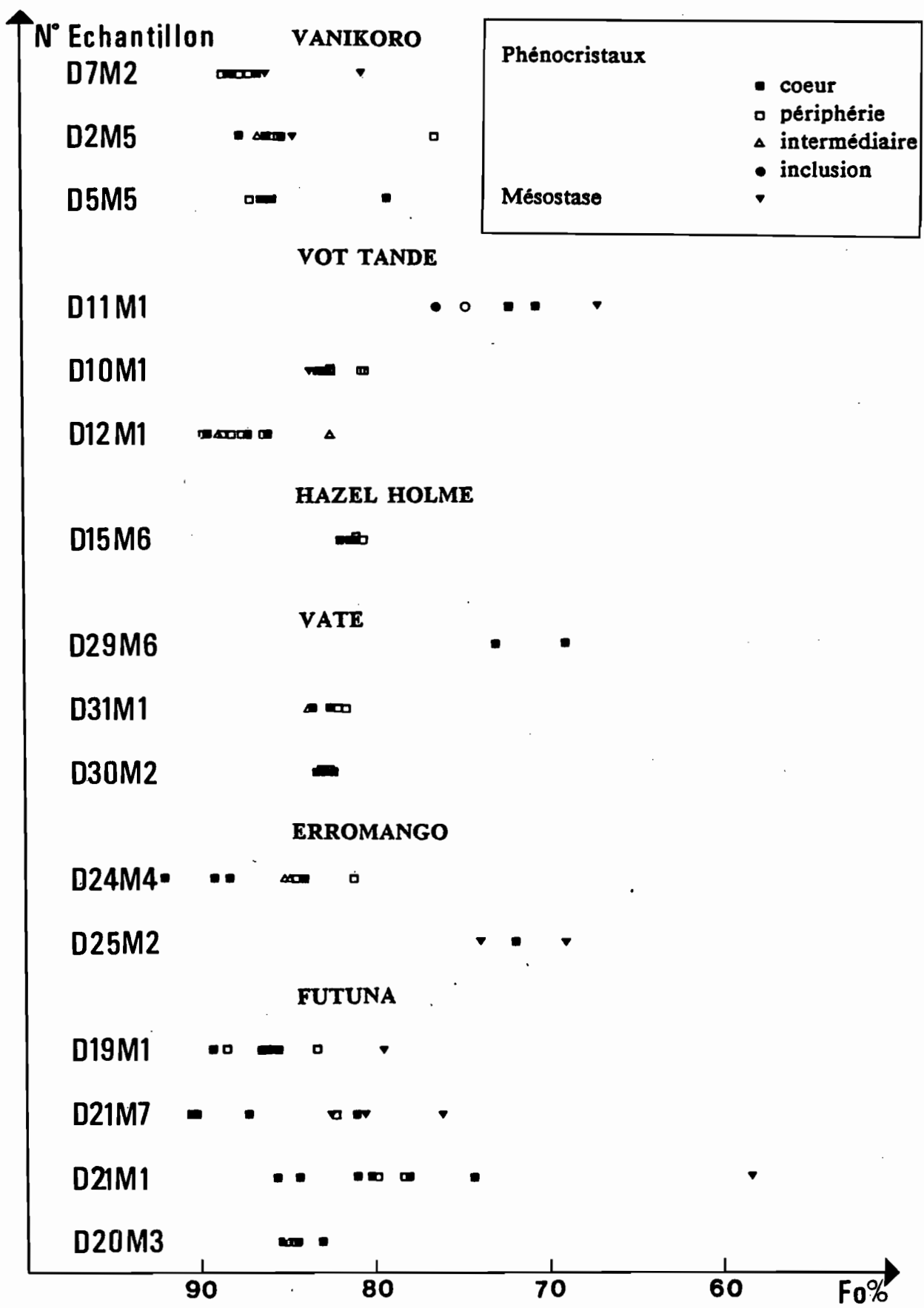


Figure III-11 : Composition des olivines des laves des fossés analysées à la microsonde.  
 Composition of olivines of lavas from troughs lavas.

Les deux premiers groupes, les plus magnésiens, montrent des valeurs de Fo légèrement supérieures à celles admises généralement en contexte d'arc insulaire : Fo<sub>85-70</sub> (Ewart, 1976).

Les zonations observées sont le plus souvent de type normal (augmentation du fer du coeur à la bordure) [D11M1 - D19M1 - D21M7 - D24M4] mais peuvent être oscillatoires (baisse puis augmentation de fer du coeur vers la bordure) [D21M1], ou à tendance inverse (augmentation du fer vers la bordure) [D20M3] ; dans ce dernier cas, les variations sont de très faible amplitude (1 à 2 % de Fo). Par ailleurs, les olivines (peu nombreuses) de cette andésite basique D20M3 de la zone Futuna sont magnésiennes, évoquant un déséquilibre vis-à-vis du liquide. Il pourrait donc s'agir de xénoctaux.

Dans l'ensemble les microlites d'olivine sont nettement enrichis en fer par rapport aux phénocristaux.

Les teneurs en CaO sont très faibles (inférieures à 0,26 %, voire à 0,15 % pour D12M1 - D19M1 - D20M3). Les olivines des basaltes de la zone Vanikoro sont les plus riches (0,27 à 0,32 % de CaO), bien que ces teneurs restent modérées et témoignent pour toutes ces laves d'une assez forte activité de la silice (Stormer, 1973) et de conditions de cristallisation sous pression totale relativement faible (Simkin et Smith, 1970).

Dans les diagrammes  $(Fe + Mn) / (Fe + Mn + Mg)$  des olivines en fonction de FeO/MgO des laves-hôtes (Fig. III-6b à d), on observe deux grandes tendances pour les différentes zones :

- 1/ Une corrélation positive apparaît pour les laves des zones Vot Tande [D12M1 - D10M1 - D11M1] et Erromango [D24M4 - D25M2] et une augmentation parallèle du taux de fayalite. Cette évolution est comparable à celle définie par l'ensemble des laves des îles Banks (Fig. III-6a).
- 2/ Dans les laves des zones de Vanikoro [D2M5 - D7M2 - D5M5], Futuna [D19M1 - D21M7 - D21M1 - D20M3] et Vaté [D31M1 - D30M2], les rapports  $Fe + Mn / Fe + Mn + Mg$ , qui sont relativement faibles, n'augmentent pas ou peu quand le rapport FeO / MgO des laves croît (ces rapports FeO / MgO sont également inférieurs à ceux des laves du premier groupe). Les olivines des laves les plus évoluées gardent un caractère magnésien malgré l'enrichissement en fer du liquide, ceci traduisant un fractionnement dominant des olivines par rapport aux minéraux opaques au cours de l'évolution magmatique. Elles sont plus primitives que celles du groupe précédent.

On notera que les laves les moins évoluées de ce second groupe [D12M1 - D24M4] ou possédant les olivines les plus magnésiennes, sont comparables aux laves du premier groupe. La différence s'observe dans l'évolution différente des termes évolués [D25M2 - D29M6 et D11M1] qui sont plus comparables aux laves les plus différenciées des îles Banks [URG2 - URMM2 - VLA15] (Fig. III-6a) et de l'île d'Erromango (Marcelot, 1980). Ces valeurs supposent une cristallisation à partir de magmas basaltiques déjà évolués.

| Zone                 |             | Ech.  | Type | SiO <sub>2</sub> % | Coeurs    |           | Bordures |         | Mésostase |   | Zonations                    |
|----------------------|-------------|-------|------|--------------------|-----------|-----------|----------|---------|-----------|---|------------------------------|
|                      |             |       |      |                    | Wo        | En        | Wo       | En      | Wo        | En  |                              |
| FOSSÉS<br>DU<br>NORD | VANIKORO    | D7M2  | B    | 47,0               |           |           |          |         | 40-47     | 22-31,5   |                              |
|                      |             | D2M5  | B    | 49,0               | 42,5-46   | 45-49,5   | 46-47    | 45-46   | 42        | 45  | ↑Wo(2-3,5%) ↓En(3%) ↓Fs(<1%) |
|                      |             | D5M5  | B    | 49,5               | 32-44     | 49-57,5   |          |         | 40-41,5   | 47-51   |                              |
|                      |             | D6M1  | B    | 50,8               | 37-39     | 50-51     |          |         | 36,5-41,5 | 46-49   |                              |
|                      |             | D3M1  | A    | 57,9               | 35-38,5   | 42-44     | 41       | 43,5    |           |   | ↑Wo(6%) ↑En(1,5%) ↓Fs(7%)    |
|                      | D1M1        | A     | 62,6 | 39,5-43            | 36,5-42,5 | 16,5-37,5 | 40-46,5  |         |           | ↓Wo(5,5-25%) ↑En(4-7%) ↑Fs(1-20%)                                 |                              |
|                      | D1M8        | D     | 65,2 | 41-42              | 42-43,5   | 42        | 43,5     | 42      | 41,5      | Faibles < 1%  |                              |
|                      | D11M1       | B     | 47,5 | 41-45,5            | 41,5-48   | 39-44     | 41-44,5  | 37-38,5 | 31-42     | ↓Wo(0,5-4,5%) ↓En(0,5-6%)<br>↑Fs(3,5-7,5%), parfois oscillatoires |                              |
|                      | D10M1       | B     | 49,4 | 43-45              | 42-45     | 44-45     | 41-46,5  |         |           | Faibles, ↓Wo(1%) ↑Fs(1,5%)  |                              |
|                      | D12M1       | B     | 50,7 | 40-46              | 45,5-51   | 37        | 52       | 45-46,5 | 43-44,5   | Cristaux de petite taille   |                              |
|                      | HAZEL HOLME | D14M1 | B    | 46,1               |           |           |          | 42,5-48 | 27-34     |   |                              |
| D14M14               |             | B     | 48,2 | 39-42              | 42-49     |           |          | 40-42,5 | 42-47,5   |   |                              |
| D15M6                |             | B     | 39,5 | 39,5               | 50,5      |           |          | 30-37   | 47-53     |   |                              |

Tableau III-10 : Composition Wo-En des clinopyroxènes des laves des fossés du Nord.  
*Wo-En composition of clinopyroxenes for northern troughs lavas.*

## 2/ Les clinopyroxènes

### a) NATURE DES CLINOPYROXENES

#### 1. Zone VANIKORO

Le clinopyroxène est présent en phénocristaux dans tous les échantillons de cette zone qui ont été analysés à la microsonde (4 basaltes, 2 andésites et 1 dacite), sauf dans le basalte D7M2. Il est associé à l'orthopyroxène dans les laves acides, andésites et dacite.

**Les basaltes** contiennent des clinopyroxènes magnésiens (diopside et endiopside) [D2M5 - D5M5] ou moins magnésiens (augite) [D6M1].

\* Les microlites de D7M2 révèlent des compositions beaucoup plus ferrifères (augite-ferroaugite-salite ferrifère) ( $Wo_{40-47} - En_{22-31,5}$ ) (Fig. III-12 ; Tabl. III-24 vol. 2, III-10). Ils sont très riches en  $TiO_2$  (2,34 à 3,98 %),  $Na_2O$  (1,08 à 3,08 %), ce qui pourrait témoigner de conditions de cristallisation sous pression relativement haute (Kushiro, 1969) ; de plus, ils sont riches en  $Al_2O_3$  (3,95 à 7,75 %) et dépourvus de Cr.

\* Les clinopyroxènes du basalte D6M1 (Tabl. III-24, vol. 2 ; III-10 ; Fig. III-12) sont des augites de composition ( $Wo_{37-39} - En_{50-51}$ ), légèrement plus ferrifères pour les microlites ( $Wo_{36-41} - En_{46-49}$ ). Les teneurs en  $TiO_2$  (0,33 à 0,34 %) dans les phénocristaux, augmentent dans les microlites (0,61 à 0,77), de même pour  $Na_2O$  (phénocristaux : 0,18 à 0,23 % ; microlites : 0,26 à 0,29 %), et  $Al_2O_3$  (1,69 et 2,36) et (3,6 et 4,25 %). Exceptionnellement, nous avons pris en compte des analyses dont le total dépasse 101 % pour cet échantillon, car l'ensemble des résultats de ce basalte est supérieur à 101 %, en raison de problèmes de réglage de la microsonde.

\* Les clinopyroxènes du basalte D2M5 forment un ensemble de diopside et endiopside de composition homogène, auquel s'ajoutent quelques augites, comprenant d'ailleurs les microlites. Quelques zonations de faible amplitude sont observées (Tabl. III-10). Le basalte D5M5 contient des microphénocristaux et microlites de clinopyroxène du type endiopside ou plus rarement augite. Les diopsides et endiopsides de ces deux basaltes, riches en  $Cr_2O_3$  (0,15 à 0,90 %) et Mg ( $Mg / Mg + Fe = 0,78$  à 0,88), sont des phases précoces, ayant cristallisé à partir d'un magma peu différencié. Mais les rapports  $Al^{IV} / Al^{VI}$  assez élevés (toujours supérieurs à 1) et les faibles teneurs en  $Na_2O$  (0,07 à 0,27 %) excluent une origine mantellique et indiquent une cristallisation à basse pression (Aoki et Kushiro, 1968 ; Aoki et Shiba, 1973).

La représentation des cations en fonction de FM ( $Fe / Fe + Mg$ ) des clinopyroxènes des basaltes de la zone Vanikoro (Fig. III-35, vol.2) ne permet pas d'établir de corrélations très nettes sauf pour  $Ti^{4+}$ . Les autres cations montrent une forte dispersion. Le rapport FM est très peu élevé (0,1 à 0,22), sauf pour D7M2 (0,4 à 0,71) ; ce rapport est très comparable au rapport FM des olivines, pour les échantillons contenant des phénocristaux de clinopyroxènes et olivines [D2M5 - D5M5]. Il apparaît toutefois des tendances générales d'évolution en fonction de l'augmentation de FM : augmentation dans le cas d' $Al^{3+}$ ,  $Al^{IV}$ ,  $Fe^{3+}$  et Na et diminution du rapport Al/Ti. La valeur de ce rapport Al/ti pour des FM voisins de 0,1 est

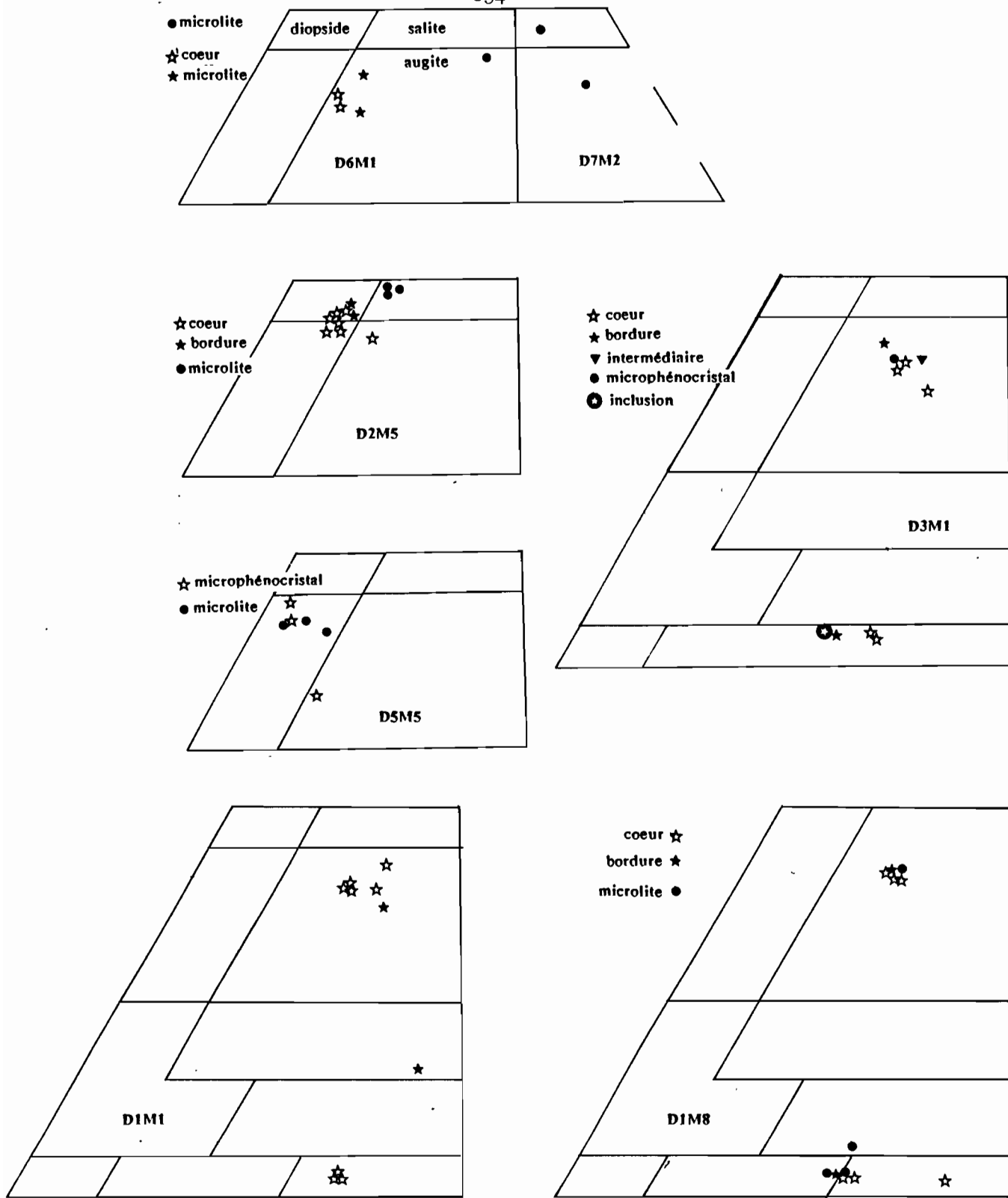


Figure III-12 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vanikoro dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).  
 Plot of clinopyroxene compositions from Vanikoro area lavas in the Ca-Mg-(Fe+Mn).

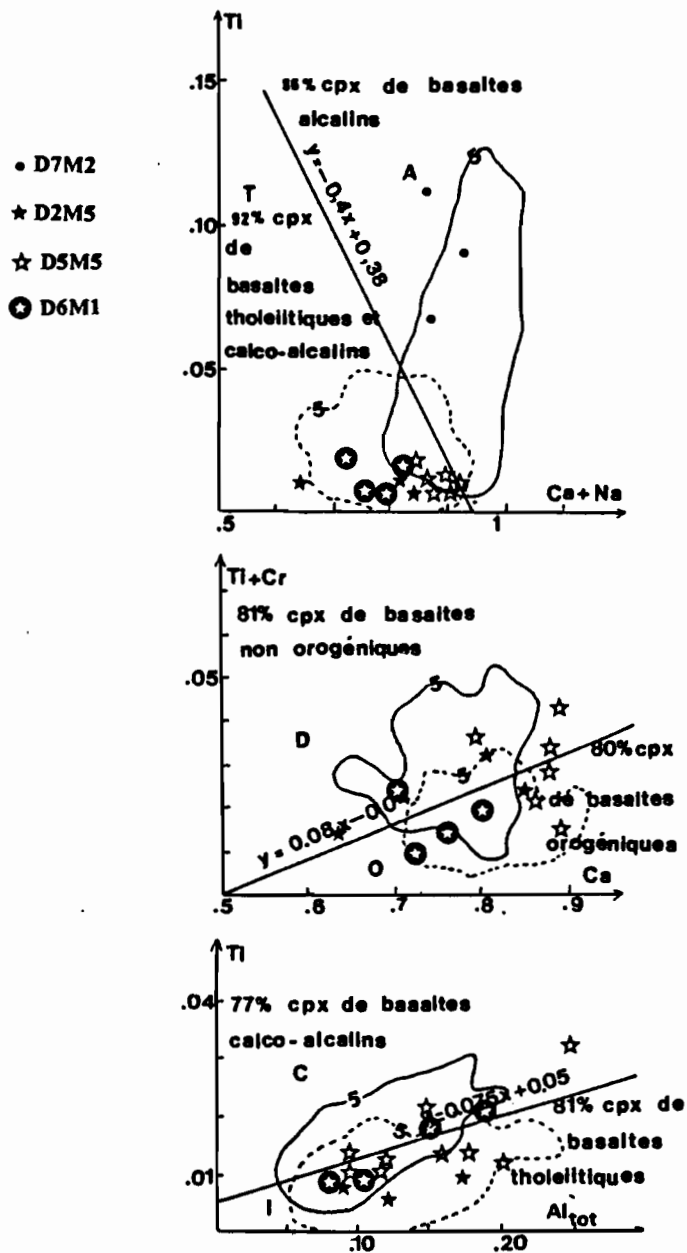


Figure III-13 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vanikoro dans les diagrammes de Letierrier *et al.* (1982).

*Plot of Vanikoro area lavas in Letierrier et al (1982) diagrams.*

généralement inférieure à 20 et même souvent inférieure à 13, c'est-à-dire inférieure aux valeurs admises pour les magmas calco-alcalins à activité en silice relativement modérée (Smith et Lindsley, 1971). Elle se rapporte plutôt à une affinité tholéitique.

Dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982), les clinopyroxènes des basaltes de la zone Vanikoro se situent dans le champ non alcalin, à l'exception des microlites du basalte D7M2, aux teneurs élevées en Cr, Ti et Na, que nous avons replacé dans ce diagramme à titre indicatif. Les clinopyroxènes des autres basaltes se situent à la fois dans les champs orogéniques et non orogéniques, et tholéitique d'arc et calco-alcalin. Mais ils sont généralement proches des limites de ces champs.

**Les laves acides** renferment des phénocristaux d'augite associés à des phénocristaux d'hypersthène et/ou de bronzite.

Les clinopyroxènes ont des compositions d'augite montrant dans certains cas une évolution coeur-bordure (Tabl. III-24, vol. 2 ; III-10 ; Fig. III-12) : - augmentation de Ca et diminution de Fe (7 % de Fs) régulières, et diminution oscillatoire de Mg pour l'andésite D3M1 ; - diminution très nette de Ca (3 à 25 % de Wo) accompagnée d'une augmentation de Mg (4 à 7 % d'En) et Fe (1 à 20 % de Fs) pour l'andésite D1M1.

La dacite D1M8, sans variation significative coeur-bordure, contient des microlites de pigeonite.

Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont faibles (moins de 0,1 %), ainsi que les rapports  $\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}$  (moins de 0,75). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  sont plus fortes dans l'andésite D3M1 (0,58 à 1,01 %) que dans l'andésite D1M1 et la dacite D1M8 (0,14 à 0,63 %). Cette différence se retrouve pour  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,37 à 2,76 % dans D3M1 et 0,14 à 1,86 dans D1M1 et D1M8).  $\text{Na}_2\text{O}$  varie entre 0,31 et 0,49 %, à l'exception d'une valeur à 1,01 % pour D1M1.

## Conclusions

Les clinopyroxènes des laves de la zone Vanikoro semblent résulter de la cristallisation à basse pression (faibles teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$ ) d'un magma à activité en silice modérée et relativement élevée en  $\text{TiO}_2$  (rapports Al/Ti assez faibles), d'affinité tholéitique ; le caractère orogénique évoqué par les teneurs assez élevées en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  n'apparaît pas clairement au niveau des diagrammes de Leterrier *et al.* (1982). Les phases les plus précoces (diopsides et endiopsides) des basaltes D2M5 et D5M5 se distinguent des cristaux du basalte D6M1. Leur cristallisation est contemporaine de celle des olivines.

Les microlites du basalte D7M2, tardifs, se distinguent totalement des compositions précédentes ; ils sont calciques, ferrifères, très riches en titane et sodium, se différenciant des clinopyroxènes de magmas orogéniques.

Les clinopyroxènes des laves acides sont enrichis en fer par rapport à ceux des basaltes et sont parfois nettement ou très fortement zonés. Ainsi, D1M1 offre l'exemple d'un passage d'un coeur d'augite à une bordure d'augite subcalcique plus riche en fer, ce qui peut traduire un phénomène de trempe (Muir et Tilley, 1964 ; Smith et Lindsley, 1971), fréquent dans les clinopyroxènes de séries orogéniques (Lowder, 1970 ; Ewart, 1976).

## 2. Zone VOT TANDE

Les trois basaltes de la zone Vot Tande étudiés à la microsonde contiennent des phénocristaux de clinopyroxènes, qui constituent parfois la phase minérale dominante [basalte D11M1]. Ces clinopyroxènes appartiennent aux groupes de l'augite, de la salite, de l'endiopside et du diopside ; les analyses obtenues se situent souvent à l'intersection de ces quatre champs dans le diagramme Mg-Ca-Fe (Fig. III-14).

\* Les clinopyroxènes du basalte D11M1 se répartissent en deux groupes (Fig. III-14) : augites et diopside/augite. Les zonations sont normales (diminution de Ca et Mg et augmentation de Fe du coeur à la bordure) ou oscillatoires (Tabl. III-10). L'enrichissement en fer s'accroît dans les microlites.

\* Le basalte D10M1 contient des phénocristaux d'augite à la limite des termes salitiques, parfois zonés et passant alors en bordure à des termes plus magnésiens (limite endiopside/diopside). Les zonations, normales, restent faibles (Tabl. III-10).

Dans ces deux basaltes, les clinopyroxènes présentent des teneurs comparables en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (nulles à 0,32 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (< 0,4 %), élevées en  $\text{TiO}_2$  (0,26 à 1,04 %), et des rapports Mg / Mg + Fe voisins (0,71 à 0,85 %).

\* Les phénocristaux de clinopyroxène du basalte D12M1 appartiennent aux groupes du diopside et de l'endiopside (à la limite de l'augite). Les microlites sont des salites proches des diopsides.

Les teneurs en Cr des phénocristaux sont élevées (0,6 à 1 % de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) et sont associées à des rapports Mg / Mg + Fe de 0,85 à 0,88. Les teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$  sont très faibles (0,09 à 0,17 %), ainsi que celles en  $\text{TiO}_2$  (0,18 à 0,44 %). Ces clinopyroxènes semblent donc relativement précoces et comparables à ceux des basaltes D2M5 et D5M5 de la zone Vanikoro.

La représentation des cations en fonction de FM (Fig. III-35, vol.2) met en évidence des corrélations positives pour  $\text{Ti}^{4+}$  dans les trois basaltes de la zone, pour  $\text{Al}^{3+}$  dans les basaltes D11M1 et D12M1. La dispersion est plus forte pour  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .

Le rapport FM des clinopyroxènes de D11M1 (0,15 à 0,33) montre une gamme de variation plus large que celui des olivines (0,23 à 0,30) (Fig. III-30). Le même phénomène s'observe pour D10M1 (0,15 à 0,25 pour les clinopyroxènes et 0,16 à 0,19 pour les olivines), témoignant d'une période de cristallisation des olivines incluse dans celle des clinopyroxènes. Par contre, dans le basalte D12M1, clinopyroxènes et olivines possèdent des rapports FM très proches, attestant de la syncristallisation de ces phases.

Le rapport Al/Ti est plus élevé dans les coeurs de clinopyroxènes de D12M1 que dans ceux de D10M1, à l'image de la différence des teneurs en  $\text{TiO}_2$ , supérieures dans ces derniers. Toutefois, ce rapport reste modéré (< 20), pour des valeurs de FM comprises entre 0,1 et 0,2 et comparable au rapport des basaltes de la zone Vanikoro.

Dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982) (Fig. III-15), les clinopyroxènes des laves de la zone Vot Tande se situent dans le champ non-alkalin et majoritairement dans le champ oro-

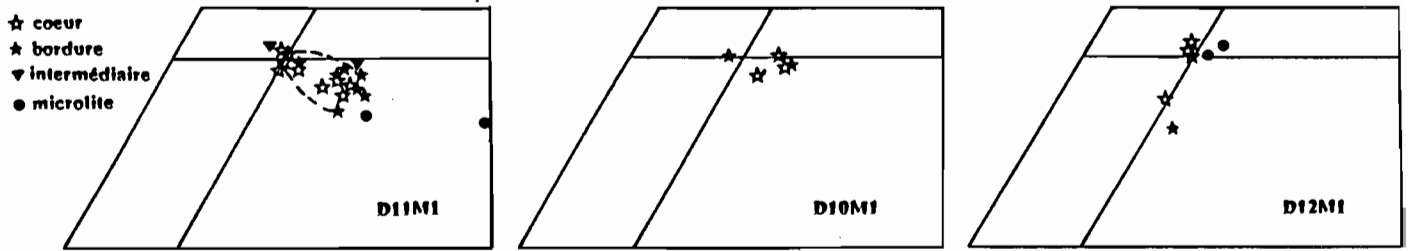


Figure III-14 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vot Tande dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).

*Plot of clinopyroxene compositions from Vot Tande area lavas in the Ca-Mg-(Fe+Mn).*

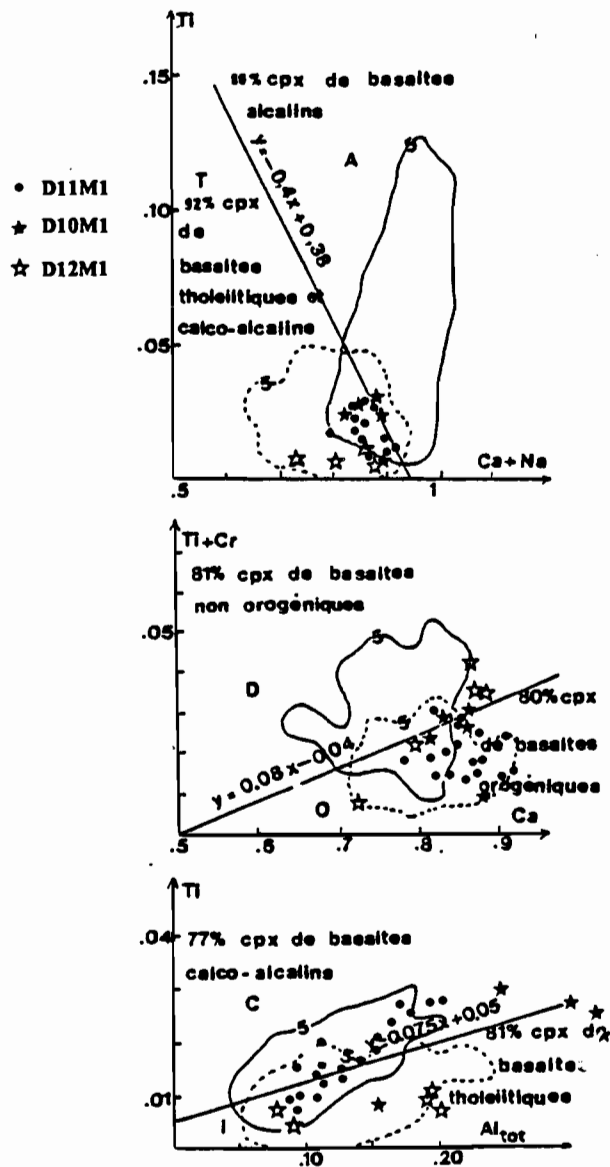


Figure III-15 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vot Tande dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982).

*Plot of Vot Tande area lavas in Leterrier et al. (1982) diagrams.*

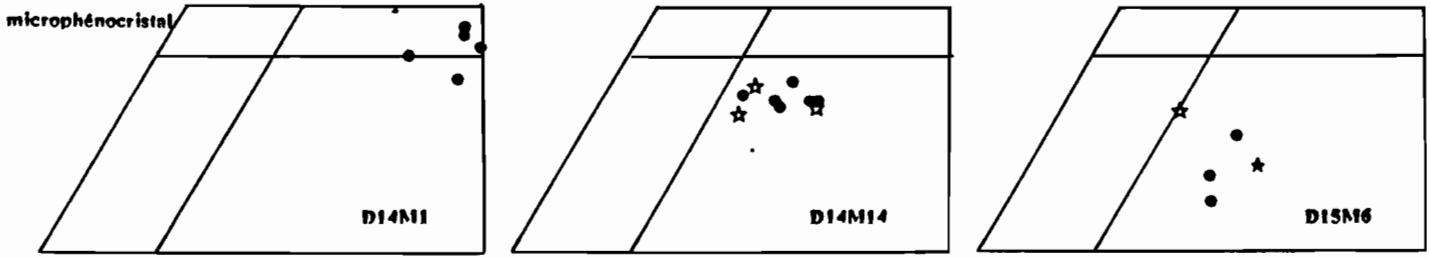


Figure III-16 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Hazel Holme dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).

Plot of clinopyroxene compositions from Hazel Holme area lavas in the Ca-Mg-(Fe+Mn).

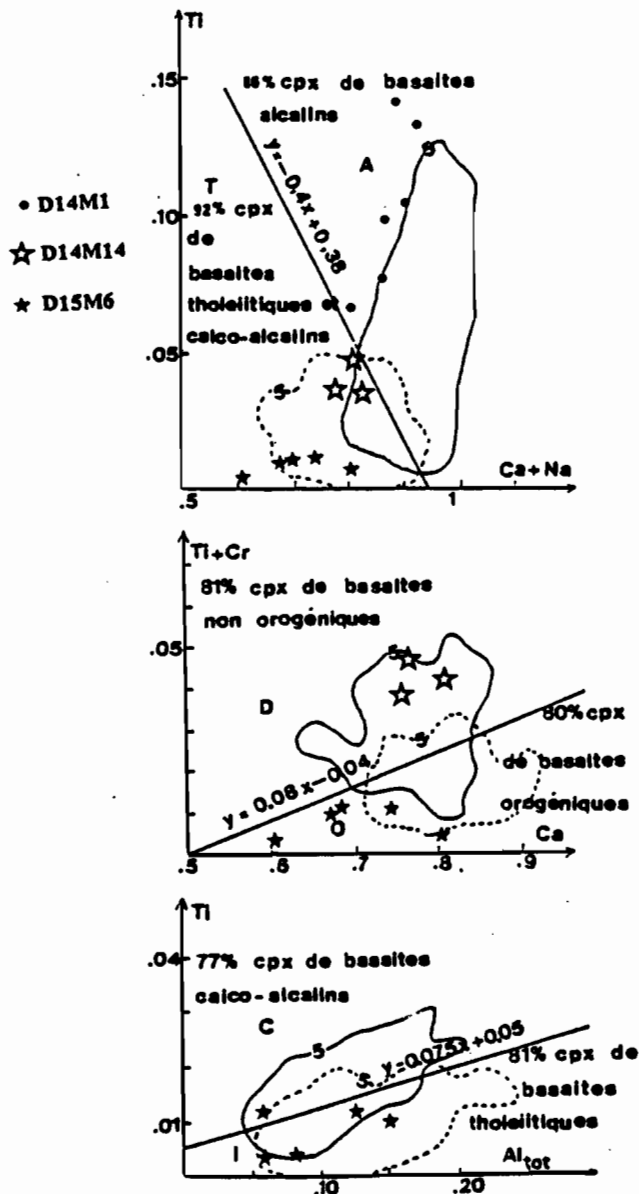


Figure III-17 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Hazel Holme dans les diagrammes de Leterrier et al. (1982).

Plot of Hazel Holme area lavas in Leterrier et al. (1982) diagrams.

génique, à l'exception de quelques points dans le champ non orogénique qui caractérisent surtout le basalte D12M1. L'affinité des basaltes D10M1 et D12M1 paraît tholéitique tandis que celle de D11M1 est plutôt calco-alcaline.

## Conclusions

Les basaltes de la zone Vot Tande contiennent des clinopyroxènes du type diopside, associés à des augites [D11M1], proches des salites [D10M1] ou des endiopsides [D12M1]. Les zonations les plus marquées caractérisent le basalte D11M1 dont les cristaux sont aussi les plus grands. Ce basalte présente une affinité calco-alcaline, alors que les autres sont tholéitiques, au vu de la composition des clinopyroxènes. Mais la cristallisation de l'ensemble de ces minéraux a eu lieu à basse pression (faibles teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$ ) à partir d'un magma à activité en silice modérée du même ordre que celle des basaltes de la zone Vanikoro [D2M5 - D5M5 - D6M1].

### 3. Zone HAZEL HOLME

Les clinopyroxènes sont présents en phénocristaux dans les basaltes D14M14 et D15M6, et seulement sous forme de microlites dans le basalte D14M1.

\* Les phénocristaux de clinopyroxène de D14M14 sont des augites (Fig. III-16) très comparables aux microlites de ce même basalte. Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  sont très élevées (1 à 2 %), les teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sont assez fortes (4,8 à 4-5,8 %).  $\text{Na}_2\text{O}$  est modéré (0,2 à 0,5 %) et  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  assez faible (0 à 0,29 %) Tabl. III-24, vol. 2).

\* Le basalte D15M6 possède des phénocristaux de clinopyroxène du type augite comparable à ceux de D14M14. Les microlites sont plus riches en fer ( $\text{Wo}_{30-37} - \text{En}_{47-53}$ ) (Fig. III-16). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  (0,1 à 0,4 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,3 à 3,4 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,08 à 0,2 %) sont faibles et nettement inférieures à celles de D14M14.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  montre des valeurs similaires à celles de D14M14 (Tabl. III-24, vol. 2).

\* Les microlites de D14M1 sont beaucoup plus calciques et ferrifères ; ils se rapportent aux groupes de salites à la limite des ferrosalites et des augites (Fig. III-16) et sont comparables aux micrograins du basalte D7M2 (zone Vanikoro) (Fig. III-12). Ils sont relativement riches en  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,39 à 0,61 %), à teneurs variables et modérées en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0 à 0,18 %). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  (2,2 à 5 %) et en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (5 à 6,3 %) sont particulièrement fortes.

Les clinopyroxènes de D14M1 ont des rapports FM très supérieurs à ceux de D14M14 et D15M6 (Fig. III-35, vol.2), mais proches de ceux du basalte D7M2 de la zone Vanikoro. Le spectre de valeur de FM des clinopyroxènes de D15M6 s'étend vers des valeurs supérieures à celles de FM des olivines, signifiant que la cristallisation des clinopyroxènes s'est poursuivies bien après celle des olivines (Fig. III-30).

Malgré des FM très comparables, les basaltes D14M14 et D15M6 se distinguent très nettement dans les diagrammes des cations en fonction de FM (Fig. III-35, vol.2), en raison de leur composition très différente, sauf pour  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Cr}^{3+}$ . Les corrélations ne permettent pas

d'établir des droites. Les rapports Al/Ti sont faibles, particulièrement dans le cas de D14M1, indiquant une assez faible activité en silice du magma, et une forte activité en titane [D14M1 - D14M14];

Dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982), les clinopyroxènes de D14M14 se placent dans les champs non alcalin et non orogénique (Fig. III-17). Ceux de D15M6 se situent dans les champs non alcalin, orogénique et tholéitique d'arc. Enfin, les microlites de D14M1 (utilisés pour comparaison) se situent dans le champ alcalin, en raison des fortes teneurs en  $\text{TiO}_2$ , tout comme les microlites de D7M2 (zone Vanikoro).

On constate qu'il existe une grande similitude entre les micrograins de D14M1 et ceux de D7M2 (Vanikoro) au niveau de la composition des constituants majeurs (Ca-Fe-Mg) et des composants *non quad* (Ti, Al), du rapport Al/Ti et de leur position dans les diagrammes de Leterrier. Ces clinopyroxènes résultent de la cristallisation à relative basse pression, d'un magma à activité en silice faible et activité en titane élevée (faible rapport Al/Ti, richesse en Ca et Ti, faibles teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$ ).

Les clinopyroxènes des basaltes de D14M14 et D15M6 ne semblent pas très précoces (faibles teneurs en Cr et Ca) et proviennent sans doute de la cristallisation, à basse pression, d'un magma à activité en silice relativement modérée, sans doute contemporaine puis ultérieure à celle des olivines dans le basalte D15M6. Ces pyroxènes se rapprochent des groupes d'augites des zones Vanikoro et surtout Vot Tande, avec cependant pour D14M14 de fortes concentrations en  $\text{TiO}_2$ , sans doute en relation avec la teneur élevée (2,1 %) de cet élément dans la roche totale.

#### 4. Zone VATE

Les clinopyroxènes sont présents dans tous les échantillons de la zone Vate analysés à la microsonde (3 basaltes, 1 andésite basique, 1 diorite et 2 dacites).

#### **Les laves basiques**

\* Les microphénocristaux de clinopyroxène du basalte D27M12 ont des compositions de diopside à la limite de l'endiopside (Fig. III-18 ; Tabl. III-24 vol. 2 ; III-11). Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  varient depuis 0 jusqu'à 0,6 % pour des rapports de Mg / Mg + Fe assez élevés (0,83 à 0,85). Les teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sont élevées (4,75 à 6,5 %), celles en  $\text{TiO}_2$  (0,5 à 0,7 %) et en  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,14 à 0,24 %) modérées.

\* Les phénocristaux de clinopyroxène du basalte D29M6 à tendance ankaramitique ont des coeurs de composition de diopside/endiopside, comme les microphénocristaux de D27M'2, et des bordures du même type ou augitiques (Fig. III-18 ; Tabl. III-24 vol. 2 ; III-11) ; dans ce dernier cas, les zonations restent tout de même faibles (augmentation de Fs et diminution de Wo et/ou d'En, de l'ordre de 0,5 à 1,5 %). Des zonations différentes, toujours du même ordre de grandeur, correspondent à une baisse d'En et une augmentation de Wo dans certains phénocristaux. Les microlites sont plus pauvres en Ca. Il semble donc y avoir une tendance à l'augmentation de l'activité en silice du magma au cours de la cristallisation, marquée par la baisse du Ca (Smith et Lindsley, 1971 ; Gibb, 1973). Ces microlites moins calciques peuvent

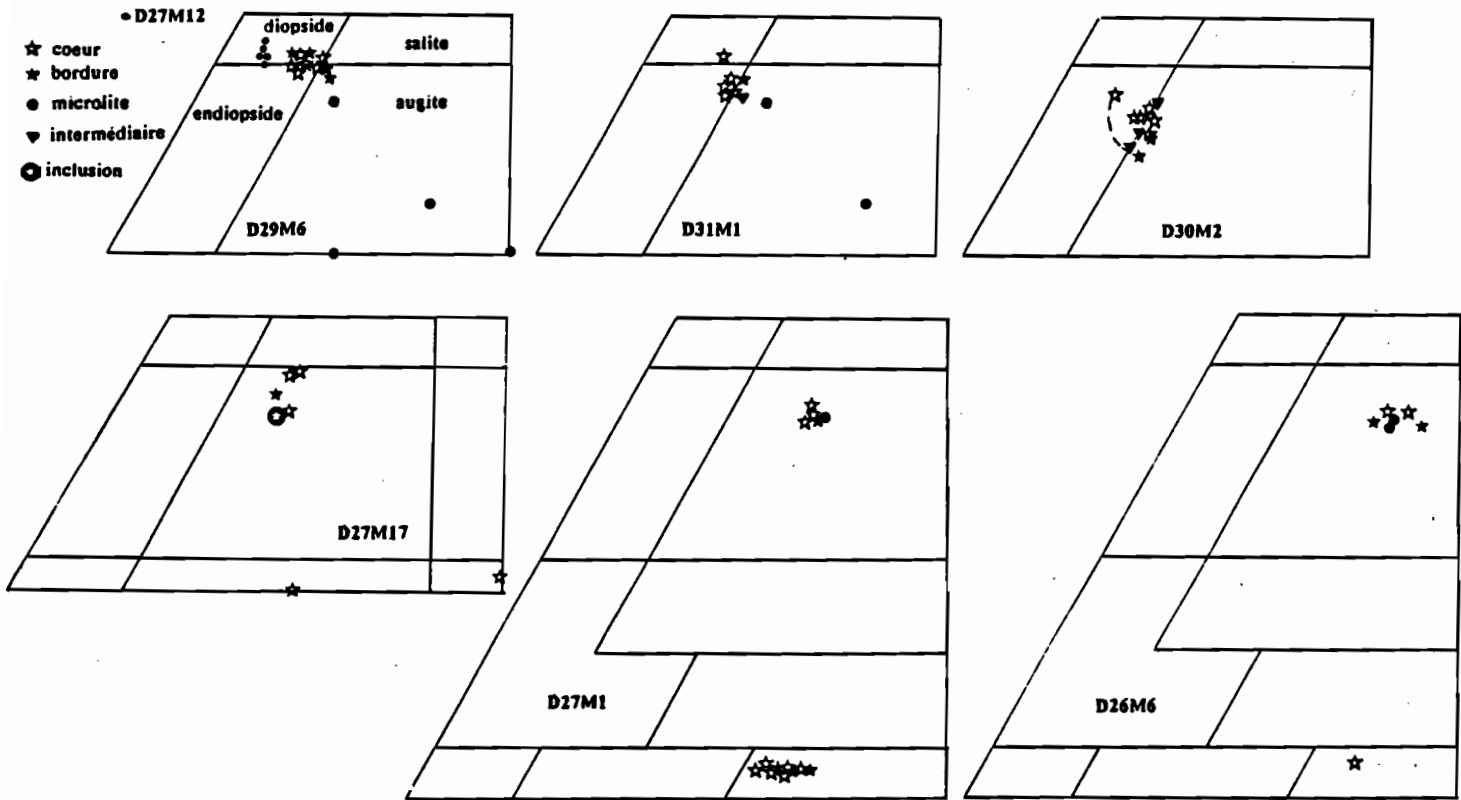


Figure III-18 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vaté dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).  
 Plot of clinopyroxene compositions from Vate area lavas in the Ca-Mg-(Fe+Mn).

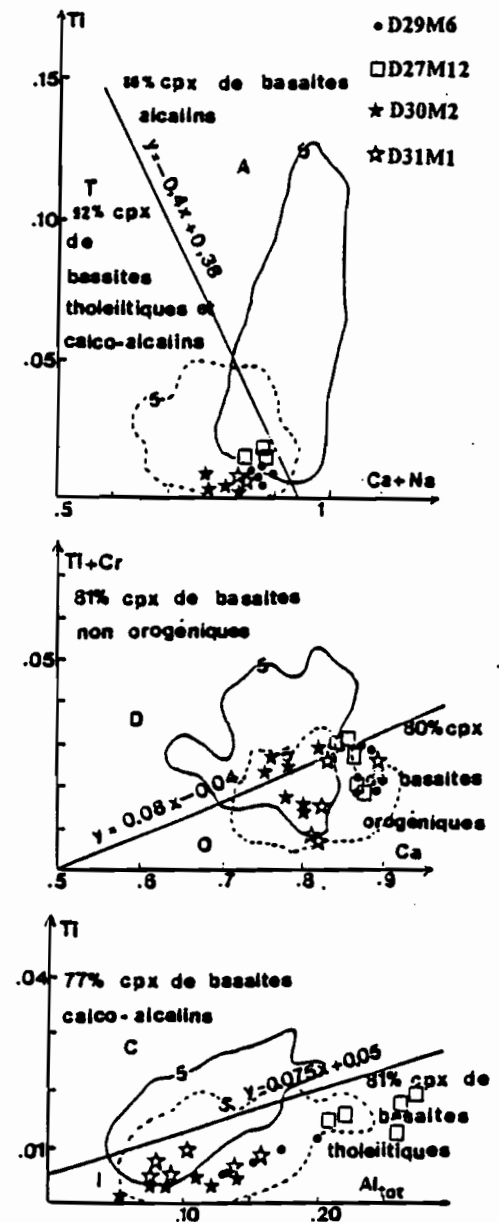


Figure III-19 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Vaté dans les diagrammes de Leterrier et al. (1982).  
 Plot of Vate area lavas in Leterrier et al. (1982) diagrams.

| Zone                |        | Ech.   | Type      | SiO <sub>2</sub> % | Coeurs    |           | Bordures  |           | Mésostase |                                 | Zonations - Remarques                |                                  |
|---------------------|--------|--------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
|                     |        |        |           |                    | Wo        | En        | Wo        | En        | Wo        | En                              |                                      |                                  |
| FOSSÉS<br>DU<br>SUD | VATE   | D27M12 | B         | 46,5               | 44,5-46,5 | 45-47,5   |           |           |           |                                 | Microphénocristaux                   |                                  |
|                     |        | D29M6  | B         | 47,5               | 44,5-46,5 | 45,5-48,5 | 43,5-46   | 45-48     | 42-43     | 46,5-47                         | Faibles, 0,5-1,5%, variables         |                                  |
|                     |        | D31M1  | B         | 52,0               | 41,5-45,5 | 47-49,5   | 41,5-43,5 | 46,5-49,5 | 30,5-41,5 | 42-48                           | Faibles, 0,5-1,5%, variables         |                                  |
|                     |        | D30M2  | AB        | 53,0               | 38,5-42,5 | 50-52     | 36-40     | 50-53,5   |           |                                 |                                      | Wo En-Fs (1-5%) ou oscillatoires |
|                     |        | D27M17 | DI        | 61,8               | 21-42     | 33-53     | 41,5-42   | 44,5-45   |           |                                 |                                      |                                  |
|                     |        | D27M1  | D         | 63,0               | 39,5-40,5 | 42-43,5   | 39,5-40   | 42,5      | 39,5-40   | 42                              |                                      |                                  |
|                     |        | D26M6  | D         | 65,7               | 39,5      | 40        | 38,5      | 39-43     | 38,5-39,5 | 41-42                           |                                      |                                  |
|                     | D24M4  | B      | 52,5      | 35,5-40            | 45-47     | 37-41     | 44,5-48   | 22-41     | 45,5-56   |                                 | Wo-En-Fs (->3%) ou Wo/En-Fs (->2,5%) |                                  |
|                     | D25M2  | B      | 50,3      | 39,5-43            | 42,5-45   | 41,5-42   | 42,44     |           |           |                                 | Très faibles, < 1%                   |                                  |
|                     | D24M3  | D      | 65,0      | 37-39              | 38,5-43   | 37-38     | 37,5-47,5 | 20-38,5   | 36,5-37   |                                 | Wo-En-Fs (1-3,5%) ou inverse         |                                  |
|                     | D19M1  | B      | 50,0      | 45-46              | 45,5-46,5 |           |           | 36,5-42   | 44-50     |                                 |                                      |                                  |
|                     | D21M7  | B      | 50,2      | 36-45              | 49,5-51,5 |           | 50        | 34-38,5   | 45,5-52,5 |                                 | Très faibles, < 1%                   |                                  |
|                     | D21M1  | B      | 50,7      | 41,5-46            | 45-51,5   | 40-43     | 45-47     | 39-41     | 41,5-47   |                                 | Wo-En-Fs (3-6%) ou Wo En (1,5%)      |                                  |
| D16M1               | AB     | 53,5   | 36-40     | 44-47,5            | 37-40,5   | 45-49     | 34,5-40   | 36-42     |           | En Fs (2%) ou Wo-En-Fs (->3,5%) |                                      |                                  |
| D20M3               | AB     | 55,7   | 40,5-44,5 | 42,5-48            | 39,5-43   | 43-47     | 41,5-45   | 40,5-45,5 |           | Wo-Fs En (1,5%) ou inverse      |                                      |                                  |
|                     | FUTUNA |        |           |                    |           |           |           |           |           |                                 |                                      |                                  |

Tableau III-11 : Composition Wo-En des clinopyroxènes des laves des fossés du Sud.

*Wo-En composition of clinopyroxenes for southern troughs lavas.*

témoigner d'un effet de trempe décrit dans les clinopyroxènes de séries orogéniques (Muir et Tilley, 1964 ; Smith et Lindsley, 1971). Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont élevées (0,2 à 1 %), ainsi que les rapports  $\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}$  (0,81 à 0,89). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  sont plutôt faibles (0,2 à 0,5 %) ainsi que celles de  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,1 à 0,25 %).  $\text{Al}_2\text{O}_3$  présente des valeurs moyennes (2,7 à 4,7 %).

\* Les clinopyroxènes du basalte D31M1 sont des endiopsides à la limite des augites, des augites ou plus rarement des diopsides. Les zonations du coeur à la bordure des phénocristaux, toujours modérées (1 à 2,5 %), sont variables (Tabl. III-25, vol.2).

On remarque des microlites nettement moins calciques et plus ferrifères ( $\text{En}_{42-48}$ ) (Fig. III-18 ; Tabl. III-24 vol. 2 ; III-11) que les phénocristaux ( $\text{En}_{47-49}$ ). Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont négligeables (0,01 à 0,06 %) ou plus conséquentes (0,15 à 0,68 %). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  (0,19 à 0,44 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,85 à 3,86 %) et  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,12 à 0,25 %) sont plutôt faibles.

\* L'andésite basique D30M2 contient des clinopyroxènes de composition endiopside/augite, moins calciques que ceux des basaltes précédents ; par contre, ils sont plus riches en Mg ( $\text{En}_{50-53,5}$ ) (Fig. III-30 ; Tabl. III-21 vol. 2 ; III-22). Les zonations sont plus prononcées (baisse de Wo et accroissement de Fs et En, de 1 à 5 %), et peuvent être oscillatoires.

Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,18 à 0,95 %) sont élevées. Les rapports  $\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}$ , compris généralement entre 0,84 et 0,86, peuvent atteindre 0,90 au coeur de certains phénocristaux.  $\text{TiO}_2$  (0,05 à 0,23 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,34 à 3,44 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,04 à 0,23 %) montrent de faibles concentrations.

Les laves basiques de la zone Vaté montrent des corrélations positives des cations  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{\text{IV}}$  et négatives de  $\text{Cr}^{3+}$  avec le rapport FM, mais avec une dispersion des points qui rend impossible le tracé de droites (Fig. III-35, vol.2). Le rapport FM est assez peu variable et plutôt faible : 0,1 à 0,2. Les valeurs pour l'andésite basique D30M2 (0,11 à 0,17) sont globalement inférieures à celles du FM des olivines (0,17 à 0,18) (Fig. III-30) qui pourraient être légèrement plus tardives que les clinopyroxènes dont les teneurs en Cr et les rapports  $\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}$  sont typiques de cristaux précoces. Ces olivines sont toutefois assez primitives. Une situation comparable s'observe pour le basalte D31M1 (FM de 0,13 à 0,18 pour les clinopyroxènes et de 0,16 à 0,18 pour les olivines).

Les rapports Al/Ti compris entre 10 et 40 sont nettement supérieurs à ceux des zones précédentes qui sont, à FM équivalents, de 7 à 20 pour la zone Vanikoro (Fig. III-35, vol.2), de 6 à 18 pour les zones Vot Tande et Hazel Holme (Fig. III-35, vol.2). Ils sont plus typiques de magmas calco-alcalins, à activité en silice relativement modérée, et pour les valeurs les plus élevées comparables aux rapports décrits pour les tholéites d'Erromango (Marcelot *et al.*, 1983) à activité en silice supérieure et activité moindre en titane.

Dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982), les clinopyroxènes des laves basiques de la zone Vaté se situent dans les champs non alcalin, orogénique, tholéitique ou calco-alcalin (Fig. III-19).

## Les laves acides

Les clinopyroxènes des laves acides sont majoritairement des augites.

\* La diorite D27M17 possède toutefois des augites et des ferroaugites sub-calciques. Ces dernières se distinguent des augites par des teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,84 à 2,77 %) nettement supérieures (0,35 à 0,55 % dans les augites). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  (0,25 à 0,65 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,28 à 2,14 %) et  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0 à 0,16 %) plutôt faibles, sont comparables dans les deux types de clinopyroxènes.

\* Les dacites D27M1 et D26M6 renferment des augites comparables (Fig. III-18 ; Tabl. III-24 vol. 2 ; III-11), sans zonations notables. Les orthopyroxènes coexistants de ces laves sont des hypersthènes.

Les valeurs de  $\text{TiO}_2$  sont légèrement plus fortes dans D26M6 (0,2 à 0,42 %) que dans D27M1 (0,21 à 0,34 %) ; à l'inverse,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  présente des teneurs plus élevées dans D27M1 (1,05 à 1,46 %) que dans D26M6 (0,78 à 1,27 %), ces teneurs restant cependant modérées. Les teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$  sont assez faibles pour les deux échantillons (0,37 à 0,46 %).

Les rapports FM de ces laves acides sont élevés, généralement supérieurs à 0,2 et sont très similaires à ceux des clinopyroxènes des laves acides de la zone Vanikoro (0,24 à 0,35). On observe une certaine corrélation négative entre  $\text{Al}^{\text{IV}}$  et FM et une corrélation positive (droite de pente très faible pour l'ensemble des laves basiques et acides de la zone Vaté) pour  $\text{Na}^+$ .  $\text{Ti}^{4+}$  et  $\text{Fe}^{3+}$  présentent une distribution très dispersée mais avec une nette individualisation des clinopyroxènes de la diorite D27M17 par rapport aux dacites (Fig. III-33).

Les clinopyroxènes des basaltes de la zone Vaté sont plutôt magnésiens : diopsides-endiopsides passant parfois à des augites. Ils semblent assez précoces pour D29M6 et D30M2 (richesse en Cr et Mg), généralement non zonés, sauf dans le cas de l'andésite basique D30M2. Les clinopyroxènes de cette dernière ne se placent pas dans l'évolution générale des laves de la zone (évolution par substitution Ca-Fe), mais sont en retrait par des valeurs inférieures en Ca (Fig. III-30).

Dans l'ensemble, les clinopyroxènes des laves basiques de la zone Vaté semblent issus de la cristallisation à basse pression (faibles teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$  et rapport  $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Al}^{\text{VI}}$  élevés) d'un magma à activité en silice assez élevée (rapports Al/Ti élevés), supérieure à celle des autres zones. Ils sont clairement d'affinité orogénique, tholéitique ou calco-alcaline.

De façon générale, les laves acides de la zone Vaté contiennent des clinopyroxènes (augites) semblables à ceux de la zone Vanikoro, mais qui sont moins zonés que D3M1 et D1M1. La diorite D27M17 se singularise par des teneurs en Na supérieures, témoignant de plus fortes pressions.

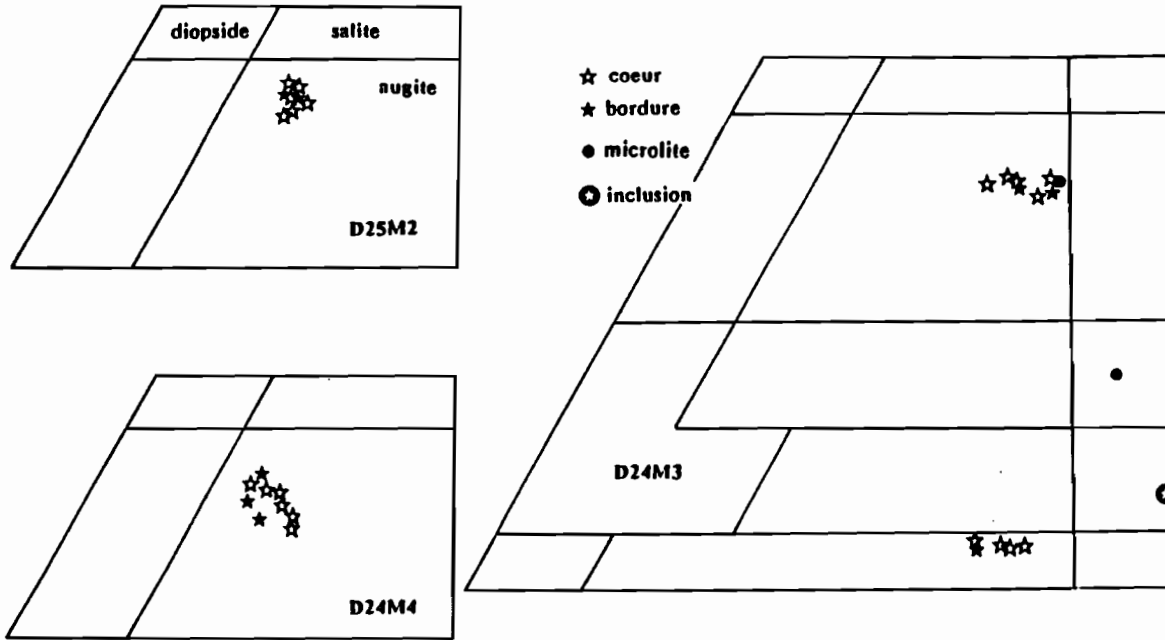


Figure III-20 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Erromango dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).  
 Plot of clinopyroxene compositions from Erromango area lavas in the Ca-Mg-(Fe+Mn).

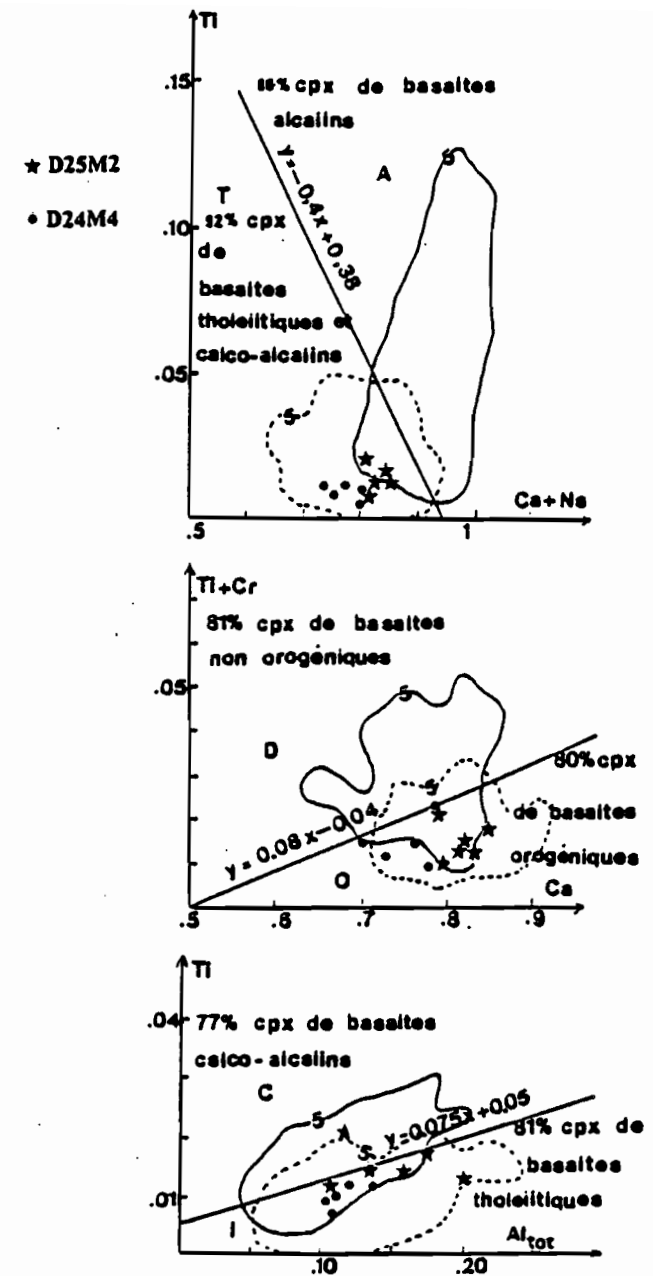


Figure III-21 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Erromango dans les diagrammes de Letierrier et al. (1982).  
 Plot of Erromango area lavas in Letierrier et al. (1982) diagrams.

## 5. Zone ERROMANGO

Les trois échantillons de cette zone (2 basaltes et 1 dacite) étudiés à la microsonde renferment des clinopyroxènes de composition augitique, associés dans le cas de la dacite à des hypersthènes.

\* Le basalte D24M4 contient des augites relativement peu calciques (Fig. III-20, Tabl. III-24 vol. 2 ; III-11) présentant de fréquentes zonations : augmentation de Wo (0,5 à 2,5 %) et d'En (0,5 à 3 %) et baisse de Fs (2 à 4 %), ou, plus rarement, diminution de Wo (2,5 %) et accroissement de En (0,5 %) et Fs (2 %). Des zonations oscillatoires sont observées dans certains cristaux pour Wo et Fs. Les microlites sont soit des augites comparables aux phénocristaux, soit des augites sub-calciques.

Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  (0,21 à 0,47 %), en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2,29 à 4,23 %), en  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,18 à 0,38 %) sont moyennes ; les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont parfois nulles, ou restent parfois modérées (0,08 à 0,45 %).

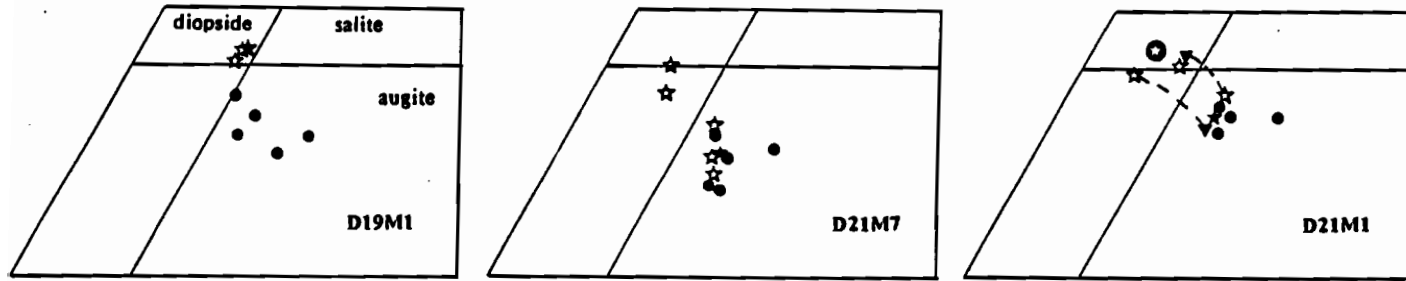
\* Les clinopyroxènes du basalte D25M2 sont des augites plus calciques que celles de D24M4 ( $\text{Wo}_{39,5-43} - \text{En}_{42,5-45}$ ), montrant peu ou pas de zonations, plutôt de type inverse (appauvrissement en fer) (Fig. III-20 ; Tabl. III-24 vol. 2 ; III-11). Les teneurs en Cr sont le plus souvent négligeables, sauf pour deux analyses (0,15 et 0,25 % de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  (0,4 à 0,75 %),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2,52 à 4,6 %),  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,28 à 0,42 %) sont globalement supérieures à celles des clinopyroxènes du basalte D24M4, ces derniers semblant plus précoces.

\* La dacite D24M3 contient des clinopyroxènes du type augite ferrifère, moyennement calcique (Fig. III-20 ; Tabl. III-24 vol. 2 ; III-11) avec des zonations de deux sortes : 1/ baisse de Wo (1 %) et d'En (2,5 %) et augmentation de Fs (3,5 %) ; 2/ augmentation de Wo et En (1 %) et baisse de Fs (2 %).

Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  (0,28 à 0,45 %) et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (1,16 à 1,91 %) sont comparables à celles des dacites de la zone Vaté, alors que les teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,21 à 0,36) sont un peu plus faibles que dans ces dernières.

La distribution des cations en fonction de FM révèle une très forte dispersion des points. FM varie de 0,20 à 0,30 pour les basaltes de la zone Erromango, comme pour les basaltes des zones de Vot Tandé et Hazel Holme (Fig. III-35, vol.2), excepté D14M1, et de 0,3 à 0,53 pour la dacite, essentiellement de 0,3 à 0,4, c'est-à-dire dans un intervalle comparable à celui des dacites des zones Vaté et Vanikoro (Fig. III-35, vol.2). Au niveau du basalte D24M4 on note une différence très nette de ces rapports entre clinopyroxènes et olivines (respectivement de 0,2 à 0,3 et de 0,07 à 0,16) (Fig. III-30) ; les olivines semblent donc plus précoces. Dans le basalte D25M2, olivines et clinopyroxènes possèdent des rapports FM équivalents (0,25 à 0,3 et 0,24 à 0,28) (Fig. III-36).

Dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982) (Fig. III-21), les clinopyroxènes des basaltes de la zone Erromango se placent dans les champs non alcalin, orogénique et tholéitique d'arc.



- ☆ coeur
- ★ bordure
- ▼ intermédiaire
- microlite
- ⊙ inclusion

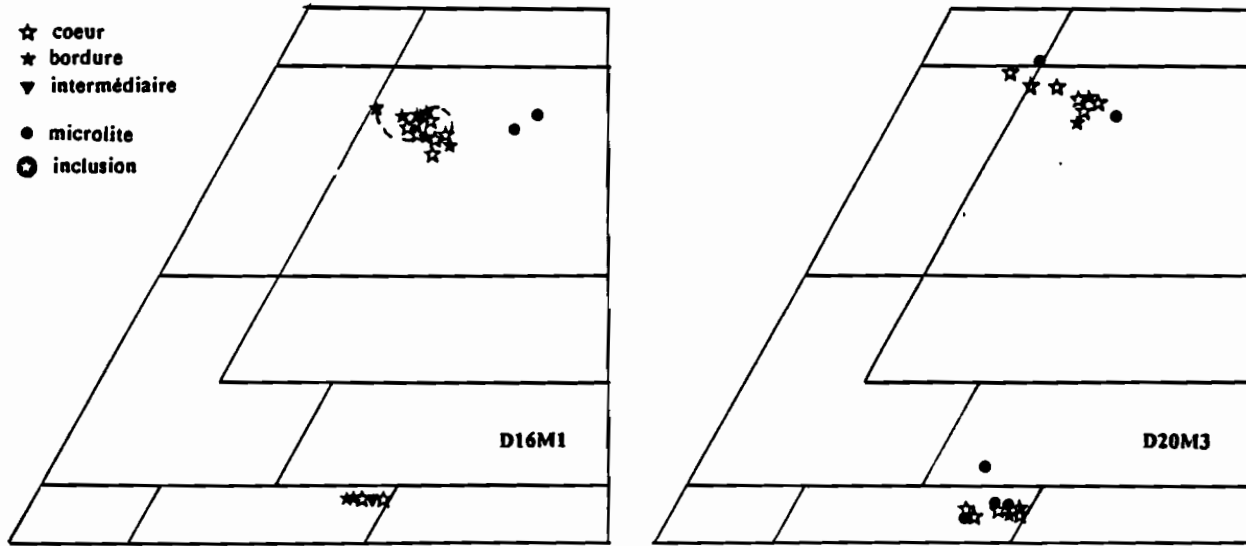


Figure III-22 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Futuna dans le diagramme Ca-Mg-(Fe+Mn).  
 Plot of clinopyroxene compositions from Futuna area lavas in the Ca-Mg-(Fe+Mn).

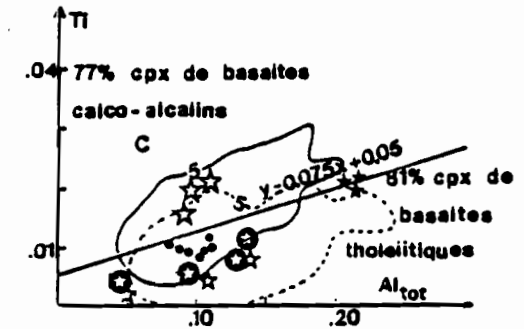
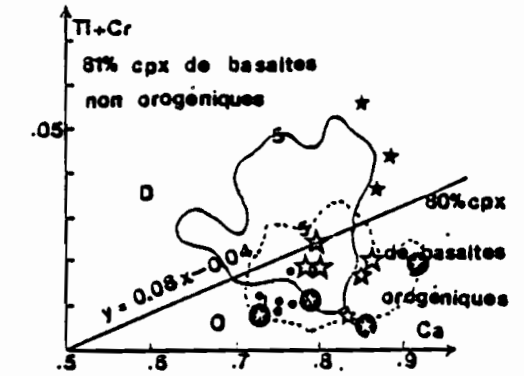
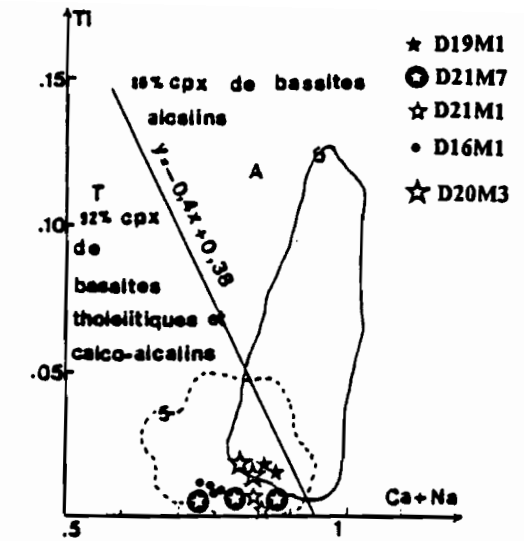


Figure III-23 : Position des clinopyroxènes des laves de la zone Futuna dans les diagrammes de Leterrier et al. (1982).  
 Plot of Futuna area lavas in Leterrier et al. (1982) diagrams.

## Conclusion

Les clinopyroxènes des laves de la zone Erromango sont marquées par un caractère plus ferifère. Dans les basaltes, ils sont typiques de laves orogéniques tholéitiques, ayant cristallisé à basse pression et avec une activité en silice modérée. Ils correspondent assez bien aux clinopyroxènes des laves du Mont Rantop et aux augites des autres formations de l'île d'Erromango (Marcelot, 1980).

## 6. Zone FUTUNA

Le clinopyroxène est une phase minérale commune à tous les échantillons étudiés de cette zone : 3 basaltes et 2 andésites basiques.

\* Les phénocristaux de clinopyroxènes du basalte D19M1 à tendance ankaramitique sont des diopsides (Fig. III-22 ; Tabl. III-24, vol. 2 ; III-11), riches en chrome (0,56 à 1,17 % de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ), relativement riches en  $\text{TiO}_2$  (0,71 à 0,78 %) et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (4,95 à 5,2 %) et pauvres en  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,15 à 0,23 %). Les microlites sont des augites plus riches en  $\text{TiO}_2$  (0,6 à 1,35 %), plus pauvres en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0 à 0,46 %) et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (2,05 à 5,15 %).

\* Le basalte D21M7 à tendance ankaramitique contient des clinopyroxènes assez comparables à ceux de D19M1 (Fig. III-22 ; Tabl. III-24, vol. 2 ; III-11) : phénocristaux de diopside/endiopside et augite et microlites d'augite. Les zonations sont faibles (Tabl. III-11). Les clinopyroxènes du basalte D21M1 montrent des compositions proches de celles des clinopyroxènes de D21M7 : diopside/endiopside (coeurs des phénocristaux), augite (bordures des phénocristaux et microlites). Les augites sont toutefois un peu plus calciques que celles de D21M7 et les zonations observées sont parfois plus importantes (Tabl. III-22). Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont faibles pour ces deux basaltes (0 à 0,44 %), ainsi que celles de  $\text{TiO}_2$  (0,07 à 0,45 %) et  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,09 à 0,33 %). Les teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sont modérées (1 à 3,6 %).

\* L'andésite basique D16M1 contient des augites, enrichies en fer dans les microlites. Les zonations sont de type inverse (Tabl. III-11). Les phénocristaux de clinopyroxènes de l'andésite basique D20M3 sont des augites ou plus rarement des endiopsides, à zonations variables (Tabl. III-22). Les teneurs en  $\text{TiO}_2$  sont généralement modérées (0,21 à 0,76 %) ou plus élevées, dans les microlites de D16M1.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  est peu abondant (0 à 0,5 %), ainsi que  $\text{Na}_2\text{O}$  (0,15 à 0,41 %).  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de concentration moyenne (1,71 à 3,14 %) atteint toutefois 5-6,4 % dans les microlites de D16M1.

La représentation des clinopyroxènes des laves de la zone Futuna dans les diagrammes de cations en fonction de FM (variant entre 0,07 et 0,30 pour les basaltes et atteignant 0,40 dans les andésites basiques) montre une importante dispersion des points (Fig. III-35, vol.2). Cependant on retiendra des corrélations positives assez nettes pour  $\text{Ti}^{4+}$  et  $\text{Na}^+$ . On remarque aussi que les clinopyroxènes du basalte D19M1 et les microlites de l'andésite basique D16M1 s'individualisent de l'ensemble pour  $\text{Ti}^{4+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al/Ti}$ .

Ce rapport  $\text{Al/Ti}$  est nettement plus élevé pour le basalte D21M1 (24 à 30) que pour l'ensemble des autres valeurs comprises entre 4 et 16.

Les rapports FM des clinopyroxènes de D19M1 (0,15 à 0,27) sont plus élevés que ceux des olivines de ce même échantillon (0,11 à 0,15) (Fig. III-30) sans doute plus précoces. D21M7 présente par contre des rapports FM comparables pour les clinopyroxènes (0,07 à 0,26) et les

olivines (0,09 à 0,2). Les valeurs des FM des clinopyroxènes de D21M1 (0,08 à 0,30) s'étendent plus largement que celles des olivines (0,15 à 0,26) ; il en est de même pour l'andésite basique D20M3 (rapports FM des clinopyroxènes variant de 0,14 à 0,30 et rapports FM des olivines restreints aux valeurs plus basses de 0,14 à 0,18).

Dans les diagrammes de Letierri *et al.* (1982) (Fig. III-23), les clinopyroxènes des laves de la zone Futuna se situent dans les champs non alcalin, orogénique et tholéitique d'arc [D21M7 - D21M1 - D16M1] ou calco-alcalin [D20M3], sauf ceux du basalte D19M1 qui appartiennent au groupe des basaltes non orogéniques (du fait de sa richesse en Cr et Ti).

### Conclusion

A l'image des clinopyroxènes des basaltes de la zone Vot Tande (Fig. III-14), ceux des basaltes de la zone Futuna se répartissent en deux pôles, un pôle proche des diopsides/endiopsides et un autre constitué d'augites. Mais les clinopyroxènes de la zone Futuna ne semblent pas précoces (pauvres en Cr, sauf D19M1) et paraissent postérieurs ou synchrones des olivines (sauf pour D21M1). Les zonations sont faibles sauf pour D21M1, et correspondent le plus souvent à une baisse du Mg et une augmentation de Ca. Tous ces clinopyroxènes sont clairement d'affinité orogénique, tholéitique ou calco-alcaline, sauf D19M1, plus riche en Ti et Cr, à clinopyroxènes de type non-orogénique. L'activité en silice des magmas est modérée, sauf pour D21M1, plus proche des basaltes de la zone Vanikoro par des rapports Al/Ti élevés.

### b) CRISTALLOCHIMIE

Dans les diagrammes  $Al_{Tot}/Si$ , les points représentatifs des clinopyroxènes se placent généralement au-dessus de la droite  $Al + Si = 2$  ; ceci témoigne de substitutions de l'aluminium en sites tétra- et octaédriques. Cependant dans certains cas, une partie des clinopyroxènes représentés peut se trouver au-dessous de la droite, signifiant que le site Z, totalement comblé par Si ne contient pas d' $Al^{IV}$ . Les points se situent alors de part et d'autre de la droite, Ceci s'observe pour les clinopyroxènes des laves acides des zones Vanikoro et Vaté et de certains basaltes de la zone Futuna [D21M7 - D21M1] (Fig. III-36, vol.2).

Le calcul des taux de composants non quadrilatéraux, d'après Papike *et al.* (1974), renseigne sur l'importance des substitutions. Pour chaque pyroxène, 3 paramètres sont calculés :  $(Na \text{ pour } 6 \text{ oxygènes}) \times 100$  ;  $(Al^{IV} \text{ pour } 6 \text{ oxygènes}) \times 100$  ;  $(Al^{IV} + Fe^{3+} + Cr^{3+} + Ti \text{ pour } 6 \text{ oxygènes}) \times 100$  ; le paramètre le plus grand correspond au pourcentage de *non quad.*

#### *La substitution $Ti^{4+} / Al^{IV}$*

Des corrélations positives entre  $Ti^{4+}$  et  $Al^{IV}$  sont très fréquentes. Elles s'observent dans les clinopyroxènes des laves des zones Vanikoro et Erromango, des basaltes des zones Vot Tande, Hazel Holme et Futuna, et des laves basiques de la zone Vaté (Fig. III-36, vol.2). Elles sont particulièrement nettes dans les clinopyroxènes des laves D7M2, D2M5 et D1M1 (zone Vanikoro), D11M5 (zone Vot Tande), D30M2 (zone Vaté), D21M7 (zone Futuna). Les clinopyroxènes de toutes ces laves appartiennent aux groupes des diopsides/endiopsides (Tabl. III-12).

Cette substitution marque la tendance alcaline des laves (Le Bas, 1962 ; Kushiro, 1960). Dans le cas de ces laves, cette substitution pourrait en fait remplacer la substitution  $Al^{VI}-Al^{IV}$ , en raison de la baisse du rapport Al/Ti lors de la différenciation, plutôt qu'exprimer une tendance alcaline.

*La substitution  $Al^{VI}-Al^{IV}$*

Elle est généralement bien exprimée dans les clinopyroxènes des laves, surtout en contexte d'arc insulaire (Cameron et Papike, 1980). Cette substitution peu évidente dans la plupart des laves étudiées (absence de corrélation) pourrait avoir été remplacée par la substitution Ti/ $Al^{IV}$  (voir ci-dessus).

Elle est toutefois plus nette pour les microlites des basaltes D15M6 (zone Hazel Holme) et D7M2 (zone Vanikoro), et pour les clinopyroxènes des laves D12M1 (zone Vot Tande), D27M12 et D29M6 (zone Vaté) (Fig. III-36, vol.2).

*La substitution  $Fe^{3+} / Al^{IV}$*

La dispersion des points dans les diagrammes  $Fe^{3+} / Al^{IV}$  est souvent importante, mais on note des corrélations assez nettes pour les clinopyroxènes des laves acides de la zone Vaté, des laves de la zone Erromango, des basaltes D21M7 et D21M1 surtout dans les microlites, et des andésites basiques D16M1 et D20M3 de la zone Futuna, du basalte D11M1 de la zone Vot Tande et dans une certaine mesure (peu de points) des basaltes D10M1 de la même zone et D15M6 de la zone Hazel Holme (Fig. III-36, vol.2). Cette substitution serait exclusivement dépendante des fortes fugacités d'oxygène. Ceci confirme donc pour ces laves l'importance des fugacités d'oxygènes suggérée par l'étude microscopique (présence de titanomagnétites précoces).

*La substitution  $Cr^{3+} / Al^{IV}$*

Elle n'apparaît pas dans les clinopyroxènes des laves étudiées, même pour ceux contenant des teneurs en chrome non négligeables [D2M5 - D5M5, zone Vanikoro ; D12M1, zone Vot Tande ; D29M6 - D30M2, zone Vaté].

*La substitution  $Na^{+} / Al^{IV}$*

Elle n'est observée que dans quelques échantillons : basaltes de la zone Vot Tande (Fig. III-36, vol.2), et montre une image identique à celle de  $Fe^{3+} - Na^{+} / Al^{IV}$ .

*La substitution  $Fe^{3+} - Na^{+} / Al^{IV}$*

Elle existe uniquement dans les clinopyroxènes des basaltes de la zone Vot Tande, des basaltes D21M1 et D21M7 et des andésites basiques D16M1 et D20M3 de la zone Futuna, des laves de la zone Erromango et des laves acides de la zone Vaté (Fig. III-36, vol.2).

|                      | Zone        | Ech.      | Nature des Cpx<br>(laves basiques) | Affinité          | Cristallisation                     | Pression | Activité en silice   |
|----------------------|-------------|-----------|------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------|--|
| FOSSÉS<br>DU<br>NORD | VANIKORO    | D7M2 B    | aug.+faug.+fsal.                   | (alcalin)         | tardive                             | assez HP | +ti  |
|                      |             | D2M5 B    | diops.+endiops.                    | orog./non orog.   | précoce                             | BP       |  |
|                      |             | D5M5 B    | andiops.+aug.                      | orog./non orog.   | précoce                             | BP       | modérée  |
|                      |             | D6M1 B    | aug.                               | thol.arc          | moins précoce                       | BP       |  |
|                      |             | D3M1 A    | aug.                               |                   |                                     | BP       |  |
|                      |             | D1M1 A    | aug.                               |                   |                                     | BP       |  |
|                      | D1M8 D      | aug.      |                                    |                   | BP                                  |          |  |
|                      | VOT TANDE   | D11M1 B   | aug.+diops./aug.                   | orog.             | précoce+tardive                     | BP       | modérée  |
|                      |             | D10M1 B   | aug./sal.+diops.endiops.           | orog./non orog.   | précoce+tardive                     | BP       | modérée  |
|                      |             | D12M1 B   | diops.+endiops.                    | orog./non orog.   | précoce(=Ol.)                       | BP       | un peu + élevée  |
|                      | HAZEL HOLME | D14M1 B   | sal.+fsal.+aug.                    | (alcalin)         | tardive                             | BP       | +ti  |
|                      |             | D14M14 B  | aug.                               | non orog.         | moyenne                             | BP       | modérée +ti  |
| D15M6 B              |             | aug.      | thol.arc                           | moyenne           | BP                                  |          |  |
| FOSSÉS<br>DU<br>SUD  | VATE        | D27M12 B  | diops./endiops.                    | thol.arc<br>ou CA | moins précoce<br>précoce<br>précoce | BP       | un peu + élevée<br>(augmentant +/-<br>au cours de la<br>cristallisation) |
|                      |             | D29M6 B   | diops./endiops.+aug.               |                   |                                     | BP       |  |
|                      |             | D31M1 B   | endiops.+aug.                      |                   |                                     | BP       |  |
|                      |             | D30M2 AB  | endiops./aug.                      |                   |                                     | BP       |  |
|                      |             | D27M17 D1 | aug.+faug.subcalc.                 |                   |                                     | + HP     |  |
|                      |             | D27M1 D   | aug.                               |                   |                                     | BP       |  |
|                      |             | D26M6 D   | aug.                               |                   |                                     | BP       |  |
|                      | ERROMANGO   | D25M2 B   | aug.                               | thol.arc          | assez tardive                       | BP       |  |
|                      |             | D24M4 B   | aug.                               | thol.arc          | assez tardive                       | BP       | modérée  |
|                      |             | D24M3 D   | aug.                               |                   | assez tardive                       | BP       |  |
|                      | FUTUNA      | D19M1 B   | diops.                             | non orog.         | précoce                             | BP       | modérée  |
|                      |             | D21M7 B   | diops./endiops.+aug.               | thol.arc          | moyenne                             | BP       | modérée  |
|                      |             | D21M1 B   | diops./endiops.+aug.               | thol.arc/CA       | précoce+tardive                     | BP       | un peu + élevée  |
|                      |             | D16M1 AB  | aug.                               | thol.arc          | précoce+tardive                     | BP       | modérée  |
|                      |             | D20M3 AB  | aug.+endiops.                      | thol.arc/CA       | assez tardive                       | BP       | modérée  |

aug.=augite  
faug.=ferroaugite  
sal.=salite  
fsal.=ferrosalite  
diops.=diopside  
endiops.=endiopside  
subcalc.=subcalcique

orog.=orogénique  
thol.arc=tholeiite d'arc  
CA=calco-alcalin

BP=basse pression  
HP=haute pression

+ti=activité en titane plus élevée

Tableau III-12 : Tableau synthétique des données sur les clinopyroxènes des laves des fossés.

*Synthetic table of data about clinopyroxenes for troughs lavas.*

Cependant, la différence  $Fe^{3+} - Na^{+}$  est rarement négative, ce qui s'oppose à un rôle important de la jadéite et donc à une origine profonde de ces minéraux.

### c) CONCLUSIONS A L'ETUDE DES CLINOPYROXENES

(Tabl. III-12)

Malgré une certaine homogénéité des compositions, il apparaît deux grandes familles de clinopyroxènes au niveau des laves basiques draguées dans les fossés arrière-arc :

- **des clinopyroxènes calciques et magnésiens** : diopside/endiopside, à caractère précoce [D5M5 - D2M5 (Vanikoro) ; D12M1 (Vot Tande) ; D29M6 - D30M2 (Vaté)] ou non [D10M1 - D11M1 (Vot Tande) ; D19M1 - D21M7 - D21M1 (Futuna) ; D27M12 - D31M1 (Vaté)], résultant de la cristallisation à relative basse pression d'un magma à activité en silice modérée.
- **des clinopyroxènes moins calciques et plus ferrifères** : augites, coexistant parfois avec les clinopyroxènes du groupe précédent pour les laves des zones Vot Tande, Futuna et Vaté [D6M1 (Vanikoro) ; D14M14 - D15M6 (Hazel Holme) ; D24M4 - D25M2 (Erromango) ; D11M1 - D12M1 (Vot Tande) ; D19M1 - D21M7 - D21M1 (Futuna) ; D29M6 - D31M1 (Vaté)], ayant cristallisé à relative basse pression à partir d'un magma à activité en silice modérée ou plus élevée (zone Vaté). Les basaltes D11M1 - D12M1 - D19M1 - D21M7 - D21M1 - D31M1 montrent donc deux ensembles ou générations de clinopyroxènes.

Dans l'ensemble, les zonations sont assez peu marquées, le plus souvent normales, mais parfois oscillatoires ou inverses.

L'affinité des laves-hôtes définie pour les laves basiques est le plus généralement orogénique : tholéitique d'arc pour D2M5 - D6M1 (Vanikoro), D15M6 (Hazel Holme), D27M12 - D29M6 - D31M1 (Vaté), D25M2 et D24M4 (Erromango), D21M7 - D21M1 - D16M1 (Futuna), ou calco-alkaline pour D20M3 (Futuna). Certaines tendances océaniques sont aussi observées : D2M5 - D5M5 (Vanikoro), D14M14 (Hazel Holme), D30M2 (Vaté), D19M1 (Futuna). Enfin, les clinopyroxènes des basaltes D7M2 (Vanikoro) et D14M1 (Hazel Holme) montrent une tendance alcaline.

Les laves acides montrent moins de variation de leurs clinopyroxènes qui sont tous des augites.

### 3/ Les orthopyroxènes

Les pyroxènes non calciques n'apparaissent qu'à partir de certaines andésites basiques et sont présents dans la majorité des andésites et dacites étudiées.

#### 1. Zone VANIKORO (Fig. III-12)

Les laves acides contiennent des orthopyroxènes du type hypersthène passant parfois en bordure au type bronzite, dans l'andésite D3M1 et la dacite D1M8 (61 à 68 % d'enstatite en général, et 56 % dans un cristal de D1M8). Cette dacite [D1M8] contient aussi des microlites de pigeonite. Hormis ces pigeonites, les orthopyroxènes de cette zone contiennent entre 2,6 et 3,8 % de wollastonite. Ils sont peu alumineux (0,15 à 1,16 % d' $Al_2O_3$ ).

#### 2. Zone VATE (Fig. III-18)

Les dacites de la zone Vaté possèdent des phénocristaux d'hypersthène (61 à 66 % d'enstatite), assez peu calciques (2,7 à 3 % de wollastonite) et très peu alumineux (0,5 à 0,9 % d' $Al_2O_3$ ). Les zonations sont faibles.

#### 3. Zone ERROMANGO (Fig. III-20)

Les orthopyroxènes de la dacite D24M3 sont des hypersthènes plus riches en fer (51,5 à 56,5 % d'enstatite) et plus calciques (3,3 à 4 % de wollastonite) que ceux de la zone Vaté. Cet enrichissement en fer est également observé au niveau des clinopyroxènes et reflète une teneur en fer plus forte de la roche totale. Une microinclusion dans un plagioclase est une pigeonite riche en fer (51,5 % de ferrosilite). Ces orthopyroxènes sont pauvres en  $Al_2O_3$  (0,6 à 0,9 %).

#### 4. Zone FUTUNA (Fig. III-22)

Les andésites basiques D16M1 et D20M3 contiennent des bronzites et hypersthènes (67 à 73,5% d'enstatite) pauvres en  $Al_2O_3$  (0,8 à 1,75 %). Les bordures des phénocristaux et les microlites sont parfois légèrement enrichis en magnésium (1 à 1,5 % d'enstatite).

\*\*\*

Dans l'ensemble, on distingue une évolution correspondant à une augmentation de Fe et une diminution d' $Al_2O_3$ , au fur et à mesure de l'augmentation de la teneur en  $SiO_2$ . Cette évolution est comparable à celle décrite pour les îles.

#### 4/ Les plagioclases

Les plagioclases représentent la phase minérale prédominante de la majorité des laves étudiées.

##### 1. Zone VANIKORO

La composition des plagioclases des laves de cette zone montre une très nette évolution en fonction de la teneur en  $\text{SiO}_2$ . Dans les phénocristaux, le taux d'anorthite varie de 72 à 90 % pour les basaltes, de 39 à 55 % pour les andésites et de 32 à 46 % pour la dacite (Tabl. III-25 vol. 2 ; III-13 ; Fig. III-24). Les teneurs en orthoclase sont particulièrement faibles, toujours inférieures à 1 %.

Les plagioclases du basalte D7M2 se distinguent par une nature nettement moins calcique ( $\text{An}_{72-74}$ ) que celle des autres basaltes ( $\text{An}_{75-90}$  et essentiellement  $\text{An}_{81-87}$ ). Les zonations sont très peu marquées dans les basaltes à l'exception d'un cristal de D5M5 à zonation normale de 11 % d'anorthite.

Les zonations des plagioclases sont plus marquées dans les laves acides, et correspondent à des zonages normaux (diminution du taux d'anorthite de 1 à 15 %) ou plus rarement à des zonages inverses (augmentation de 6 % d'anorthite).

Les microlites sont généralement enrichis en albite ; la composition globale varie entre  $\text{An}_{65-85}$  dans les basaltes et  $\text{An}_{24-47}$  dans les laves acides, où ils sont également plus riches en orthoclase (Tabl. III-13 ; Fig. III-24). D'autre part, les teneurs en MgO ne sont pas négligeables dans les basaltes, 0,17 % dans D6M1, 0,18 % dans D2M5, 0,31 % dans D5M5, 0,25 % dans D7M2 ; elles peuvent atteindre 0,66 % dans ce dernier.

##### 2. Zone VOT TANDE

Les coeurs des phénocristaux de plagioclase des basaltes de la zone Vot Tande sont du type bytownite ( $\text{An}_{90-75}$ ). Les bordures sont plus en moins enrichies en albite ( $\text{An}_{61-81,5}$ ) (Tabl. III-25 vol. 2 ; III-13 ; Fig. III-25). Cet enrichissement est encore accentué dans certains microlites ( $\text{An}_{57-78}$ ). Les coeurs des phénocristaux sont assez comparables à ceux des basaltes de la zone Vanikoro, mais les fortes zonations, de type normal (diminution de 3 à 17 % du taux d'anorthite), confèrent aux bordures des compositions plus sodiques. Dans le cas du basalte D11M1, les zonations sont parfois plus complexes, oscillatoires. Les plagioclases des basaltes de la zone Vot Tande sont légèrement plus potassiques que ceux de la zone Vanikoro (Tabl. III-13), mais moins riches en MgO (0,14 à 0,18 % en moyenne).

##### 3. Zone HAZEL HOLME

Les plagioclases des laves de cette zone sont de compositions très variées : bytownite-labrador pour D14M1 et D15M6, andésine-oligoclase pour D14M14 et albite pour la diorite D15M12.

| Zone        | Ech.   | Type | SiO <sub>2</sub> % | Coeurs    |           | Bordures  |           | Mésostase |           | Zonations - Remarques              |
|-------------|--------|------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------------------------|
|             |        |      |                    | An        | Or        | An        | Or        | An        | Or        |                                    |
| VANIKORO    | D7M2   | B    | 47,0               | 72,5-74   | 0         | 73,7      | 0         | 65-73,5   | 0-0,12    |                                    |
|             | D2M5   | B    | 49,0               | 82-86,5   | 0-0,3     | 84        | 0,1       | 69,5-72,5 | 0,07-0,15 |                                    |
|             | D5M5   | B    | 49,5               | 82,5-90   | 0-0,24    | 75-84     | 0,18-0,24 | 76-85     | 0-0,35    | 1 zonaton tres forte √An (11%)     |
|             | D6M1   | B    | 50,8               | 84,5      | 0         | 81-82,5   | 0,35-0,6  | 65        | 0,4       |                                    |
|             | D3M1   | A    | 57,9               | 43,5-55   | 0-0,45    | 49-55,5   | 0,1-0,65  | 44-46,5   | 0,3-0,75  | √An (3-15%) 7Or ou 7An (0,5%)      |
|             | D1M1   | A    | 62,6               | 39,5-45,5 | 0,1-0,5   | 37,5-41,5 | 0,2-0,55  | 25,5-30   | 0,9-0,95  | √An (1-3%)                         |
|             | D1M8   | D    | 65,2               | 32,5-46   | 0,05-0,85 | 38-40,5   | 0,15-0,5  | 24-38     | 0,55-0,9  | √An (1-6%) + 1 7An (6%) √Or        |
|             | D11M1  | B    | 47,5               | 79-86     | 0-0,6     | 61-69,5   | 0,5-1,35  | 57,5-63   | 1-1,9     | √An (8-17%) + 7Or (->1,1%)         |
|             | D10M1  | B    | 49,4               | 75-89,5   | 0-0,12    | 69,5-80   | 0,12-0,75 | 73,5-77,5 | 0,05-0,3  | √An (3-10%) + 1 7An (2%) √Or       |
|             | D12M1  | B    | 50,7               | 80-83,5   | 0,5-0,7   | 71,5-83,5 | 0,4-0,8   | 76        | 0,2-0,5   | √An (12%) ou 7An (3%)              |
| HAZEL HOLME | D14M1  | B    | 46,1               | 74,5-83   | 0-0,23    | 62-82     | 0-0,3     | 66-74,5   | 0-0,35    | √An (6-7%) ou 7An (5%)             |
|             | D14M14 | B    | 48,2               | 15-36,5   | 0,5-0,8   |           |           | 8-37      | 0,4-1,7   | + 1microlite à An 45,5% - Or 7,75% |
|             | D15M6  | B    | 39,5               | 70-87,5   | 0,15-0,95 | 81-88,5   | 0,1-0,6   | 44,5-67   | 1-2,1     | 1 7An (3%)                         |
|             | D15M12 | D    | 62,8               | 0,5-1,7   | 0         | 0,1-2,4   | 0,15-0,5  | 0,9-3,2   | 0,2-0,6   | albite                             |

Tableau III-13 : Composition An-Or des plagioclases des laves des fossés du Nord.

*An-Or composition of plagioclases for northern troughs lavas.*

Les microlites du basalte D15M6 sont nettement enrichis en albite ( $An_{44-67}$ ) (Tabl. III-25 vol. 2 ; III-11 ; Fig. III-25). Les zonations sont faibles ou nulles, normales ou inverses, ne dépassant pas 6-7 % de variation du taux d'anorthite.

Les teneurs en MgO sont élevées dans le basalte D14M1 (moyenne de 0,28 %), plus modérées dans le basalte D15M6 (0,19 %) et très faibles dans le basalte D14M14 (0,09 %).

#### 4. Zone VATE

Les plagioclases des laves de cette zone montrent une évolution de composition depuis les basaltes jusqu'aux dacites (Tabl. III-25 vol. 2 ; III-13 ; Fig. III-26), comme dans la zone Vanikoro.

\* Les teneurs en anorthite varient entre 30 et 90 % dans les basaltes, les valeurs inférieures à 77 % correspondant aux microphénocristaux du basalte D27M12. Les autres basaltes et les andésites basiques sont beaucoup plus riches en anorthite : 84 à 90 % dans les coeurs des phénocristaux, à l'exception d'une composition à 70,5 % d'un plagioclase de D29M6, par ailleurs très enrichi en orthoclase (19 %) par rapport aux valeurs moyennes comprises entre 0 et 3 % dans les basaltes ; ceci est à rapprocher du fait que ce basalte est très enrichi en  $K_2O$  (1,87 %).

Les bordures sont généralement plus riches en albite (jusqu'à 66 % d'anorthite), les zonations de type normal sont de ce fait très nettes dans le basalte D31M1 (8 à 20 %) et l'andésite basique D30M2 (11 %).

Les teneurs en MgO des plagioclases des basaltes sont très faibles pour D27M12 (0,1 % en moyenne), un peu plus élevées pour D31M1 (0,18 %) et D29M6 (0,21 %, avec une valeur atteignant 0,97 % qui correspond au plagioclase à 19 % d'orthoclase).

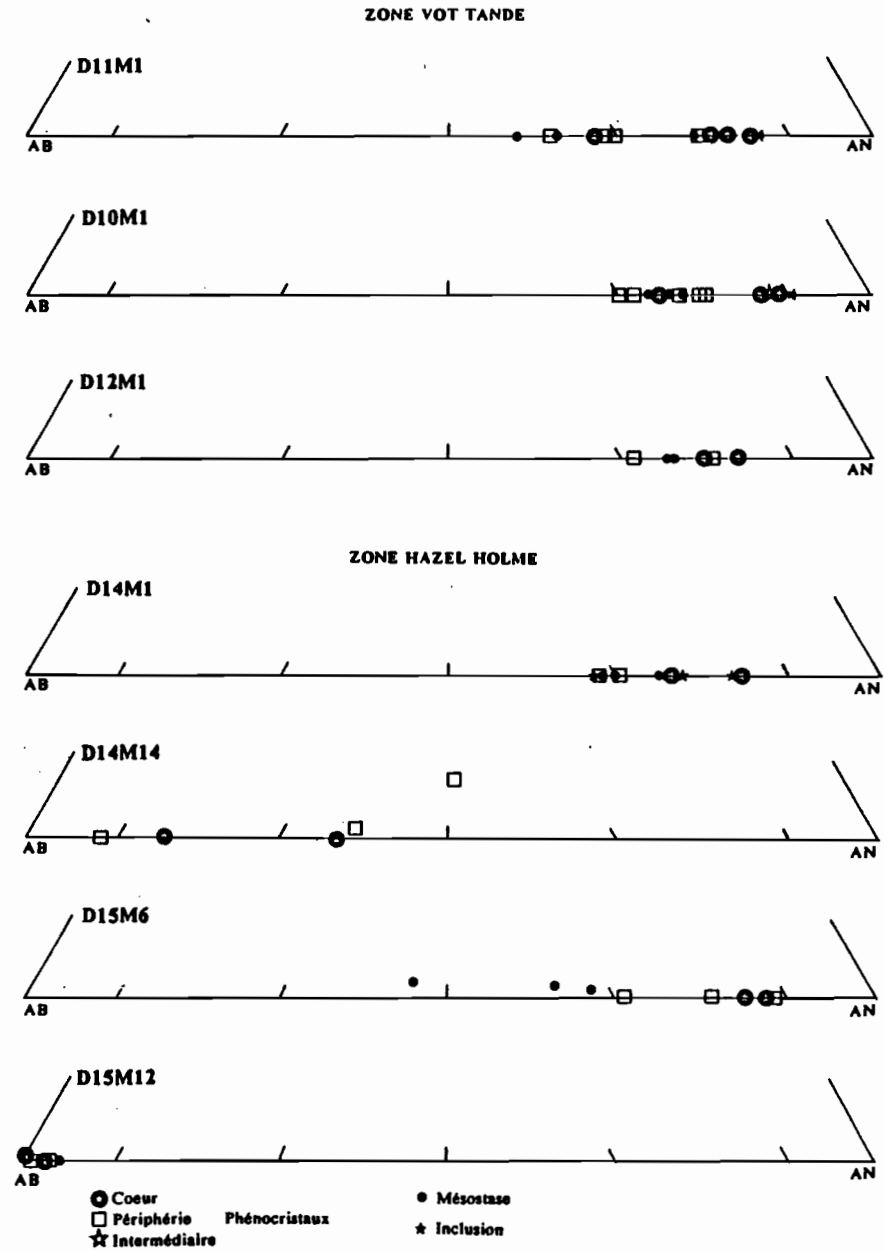
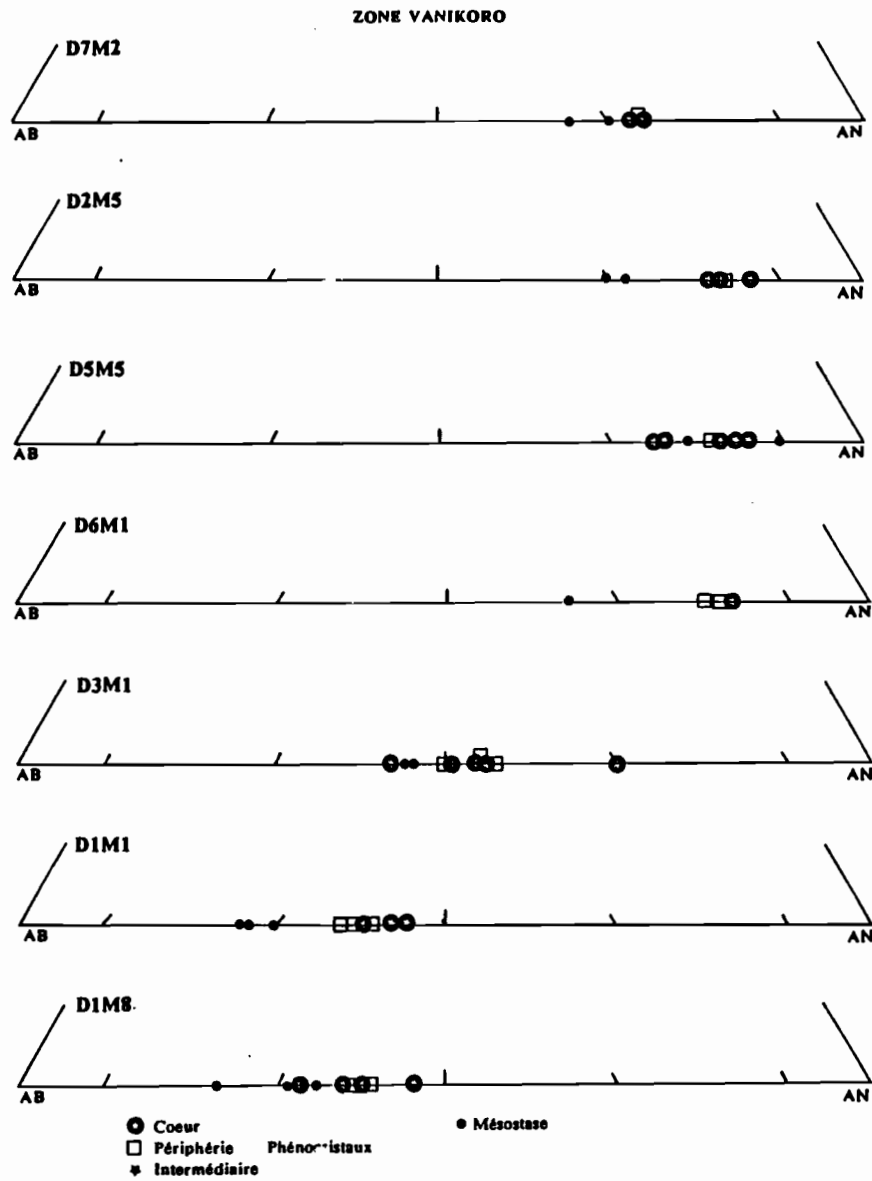
\* Les laves acides de la zone Vaté possèdent des plagioclases dont les teneurs en anorthite varient entre 27 et 53 %, avec des teneurs en orthoclase non négligeables de 1,7 à 7 %. Ce dernier point les distingue des laves acides de la zone Vanikoro. On peut relier cette différence aux teneurs respectives de ces laves en  $K_2O$ , faibles pour la zone Vanikoro et fortes pour la zone Vaté. D'autre part, la teneur en orthoclase augmente proportionnellement à l'accroissement du taux d'albite (Fig. III-26).

Les bordures des phénocristaux sont souvent plus riches en albite, ce qui se traduit par des zonations normales : baisse de 9 % d'anorthite pour la diorite D27M17, baisses de 1,5 à 4 % pour les dacites D27M1 et D26M6. On remarque pour cette dernière que les compositions les plus sodiques correspondent à des coeurs de phénocristaux, tandis que les microlites montrent les compositions les plus calciques (Fig. III-26; Tabl. III-14). Les zonations sont plus faibles dans les laves acides que dans les basaltes.

#### 5. Zone ERROMANGO

Les plagioclases sont relativement basiques : le taux d'anorthite variant entre 45 et 88 dans les phénocristaux. Les plagioclases des deux basaltes sont plus basiques ( $An_{88-70}$ ) que la dacite ( $An_{72-45}$ ) (Tabl. III-25 vol. 2 ; III-14 ; Fig. III-27).

\* Dans les deux basaltes, les microlites sont appauvris en anorthite (53 à 79 %) et légèrement enrichis en orthoclase.



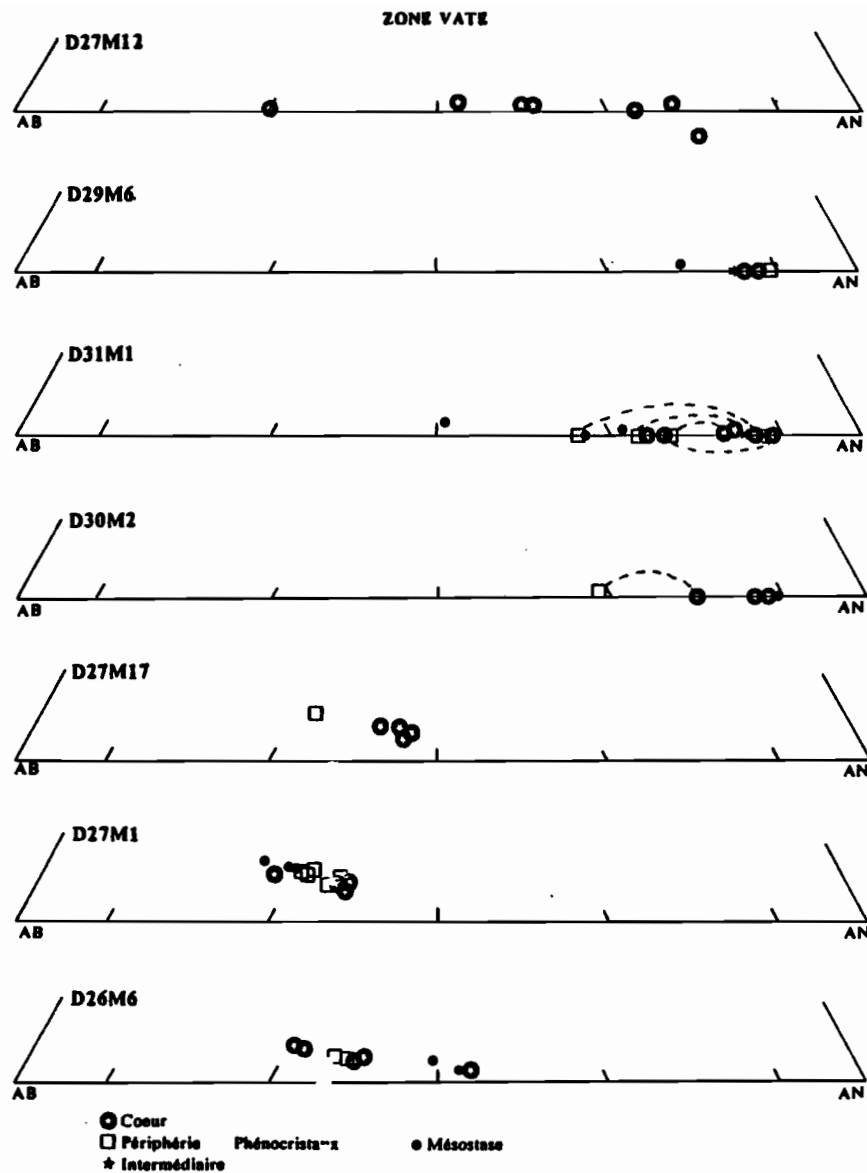


Figure III-26 : Position des plagioclases des laves de la zone Vate dans le diagramme Or-Ab-An.  
*Plot of plagioclases of Vate area in Or-Ab-An diagram.*

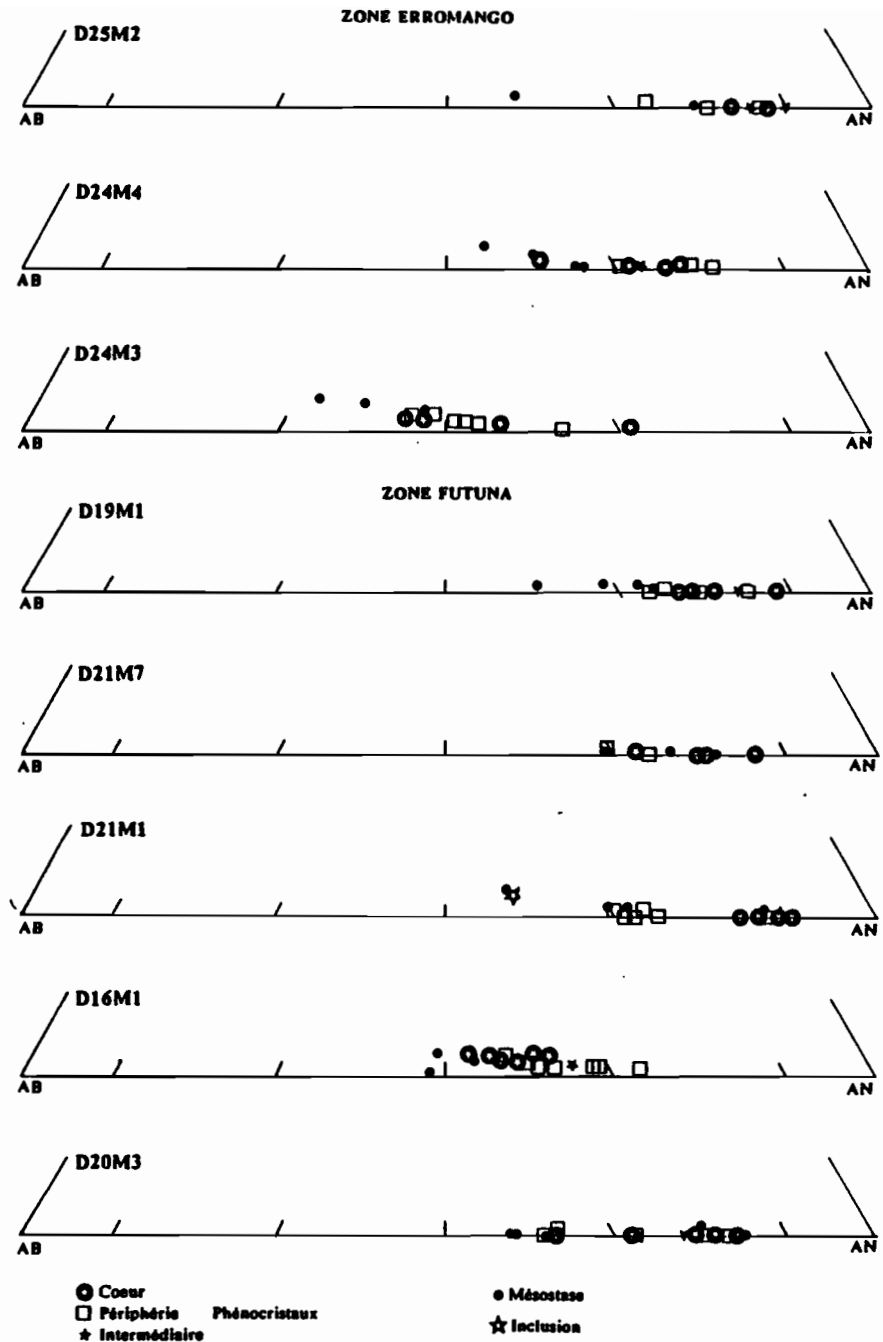


Figure III-27 : Position des plagioclases des laves des zones Erromango et Futuna dans le diagramme Or-Ab-An.

| Zone                                 | Ech.   | Type | SiO <sub>2</sub> % | Coeurs    |          | Bordures  |         | Mésostase |           | Zonations - Remarques                                |
|--------------------------------------|--------|------|--------------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|-----------|--|
|                                      |        |      |                    | An        | Or       | An        | Or      | An        | Or        |  |
| VATE                                 | D27M12 | B    | 46,5               | 30-77     | 0,2-2,9  |           |         |           |           | Microphénocristaux très variables                    |
|                                      | D29M6  | B    | 47,5               | 70,5      | 19       | 89        | 0,5     | 78        | 1,1       | Très fortes zonations                                |
|                                      | D31M1  | B    | 52,0               | 84-89,5   | 0-0,4    | 66-87     | 0,3-0,5 | 49-76     | 0,4-1,9   | ∇An (8-20%)  |
|                                      | D30M2  | AB   | 53,0               | 87-89     | 0-0,3    | 68        | 0,9     | 88,5      | 0         | ∇An (11%)  |
|                                      | D27M17 | DI   | 61,8               | 40,5-44,5 | 3,5-4,5  | 31,5      | 6       |           |           | ∇An (9%) et ∇Or (2%)                                 |
|                                      | D27M1  | D    | 63,0               | 27-36     | 4,5-6,5  | 30-35     | 5-7     | 25-29     | 7-8       | ∇An (1,5-4%)   |
|                                      | D26M6  | D    | 65,7               | 30-53     | 1,7-5    | 35,5-37,5 | 2,8-3,5 | 48-51,5   | 1,7-2,3   | ∇An (1,5%)   |
|                                      | D24M4  | B    | 52,5               | 83-87,5   | 0-0,3    | 73-87     | 0-0,5   | 57-79     | 0,4-1,1   | ∇An(1-10%), oscillatoires(i=An 90%)                  |
|                                      | D25M2  | B    | 50,3               | 76-78     | 0,3-0,9  | 70-82     | 0,2-0,9 | 53-71     | 0,6-3,2   | ∇An (7%) ou ∇An (4%) ou absentes                     |
|                                      | 24M3   | D    | 65,0               | 45-72     | 0,5-2    | 47-64     | 0,75-3  | 32-47     | 2-4       | ∇An (0,5-7%) + 1 ∇An (4%)                            |
| FOSSES<br>DU<br>SUD<br><br>ERROMANGO | D19M1  | B    | 50,0               | 77,5-89   | 0,15-0,5 | 74-86     | 0,1-0,8 | 60-80     | 0,65-1,3  | ∇An(3-5%), parfois oscillatoires                     |
|                                      | D21M7  | B    | 50,2               | 71-86     | 0-0,7    | 67,5-73,5 | 0,8-1   | 68-80     | 0,1-0,8   |  |
|                                      | D21M1  | B    | 50,7               | 84-90     | 0,2-1,1  | 69-87     | 0,1-1,4 | 54-88     | 0,75-3,75 | ∇An (6-18%) + 1 ∇An (3%)<br>inclusion à An 56% Or 3% |
|                                      | D16M1  | AB   | 53,5               | 50,5-60   | 2-3      | 55-72     | 1-2,5   | 47-54     | 2,5-3     | ∇An (2-13%), parfois oscillatoires                   |
|                                      | D20M3  | AB   | 55,7               | 63-84     | 0-0,3    | 62,5-83,5 | 0-0,6   | 57-84     | 0,2-0,7   | ∇An (3-17%) ou absentes                              |
| FUTUNA                               |        |      |                    |           |          |           |         |           |           |  |
|                                      |        |      |                    |           |          |           |         |           |           |  |
|                                      |        |      |                    |           |          |           |         |           |           |  |
|                                      |        |      |                    |           |          |           |         |           |           |  |

Tableau III-14 : Composition An-Or des plagioclases des laves des fossés du Sud.  
An-Or composition of plagioclases for southern troughs lavas

Les zonations des plagioclases du basalte D25M2 sont soit normales avec une baisse de 1 à 10 % du taux d'anorthite, soit oscillatoires, les teneurs les plus fortes en anorthite correspondant aux niveaux intermédiaires des phénocristaux. Dans le basalte D24M4, les plagioclases sont zonés normalement (7 %), ou inversement (4 %).

Les teneurs en MgO sont assez faibles (moyenne de 0,11 et 0,16 %).

- \* La majorité des phénocristaux de plagioclase de la dacite D24M3 contiennent moins de 60 % d'anorthite. Les zonations semblent souvent inverses (augmentation de 0,5 à 7 % d'anorthite). Les microlites, moins basiques ( $An_{47-32}$ ) sont aussi plus riches en potassium (2 à 4 % d'orthoclase). L'évolution de ces plagioclases est équivalente à celle des laves acides de la zone Vaté (augmentation parallèle d'Or et Ab), mais décalée vers des valeurs supérieures en anorthite.

## 6. Zone FUTUNA

La composition des phénocristaux de plagioclases des laves de la zone Futuna s'étend entre  $An_{90}$  et  $An_{50}$ , l'andésite basique D16M1 se démarquant par les valeurs les plus faibles,  $An_{72-50}$ . Les teneurs en orthoclase ne dépassent pas 3 % (Tabl. III-25 vol. 2 ; III-14 ; Fig. III-27).

Les zonations sont de type normal, assez faibles pour D19M1 et D21M7 (1 à 5 %), plus accentuées pour D21M1 et D20M3 (3 à 18 %). Elles sont parfois oscillatoires. Les zonations des plagioclases de D16M1 sont inverses, de l'ordre de 2 à 13 %. On remarque que les plagioclases des deux andésites basiques sont très différents.

Les teneurs en MgO sont assez modérées mais non négligeables : 0,25 % pour D21M7, 0,21 % pour D19M1 et 0,16 pour D21M1.

## 7. CONCLUSIONS

Les coeurs des phénocristaux de plagioclase des laves basiques de la zone arrière-arc des Nouvelles-Hébrides sont du type bytownite ( $An_{75-90}$ ) ou plus rarement du type labrador ( $An_{50-70}$ ) comme dans le basalte D27M12 (zone Vaté) et les andésites basiques de la zone Futuna. Des compositions encore plus sodiques (andésine-oligoclase) se rencontrent dans quelques basaltes [D14M14 (zone Hazel Holme) et D27M12 (zone Vaté)] et dans les laves acides ; l'albite est exceptionnelle [diorite D15M12, zone Hazel Holme]. Le caractère basique prédominant des plagioclases s'accorde avec les traits spécifiques des laves basiques en contexte d'arc insulaire (Ewart, 1976). La corrélation entre le taux d'anorthite des plagioclases et la teneur en  $SiO_2$  de la lave est assez bonne, de même que la corrélation entre le taux d'orthoclase et la teneur en  $K_2O$ .

Le zonage des phénocristaux est généralement faible, le plus souvent de type normal. Il semble plus prononcé dans les basaltes, quand il existe, que dans les laves acides. Le zonage (baisse du taux d'anorthite) normal témoigne de la baisse régulière de la température au fur et à mesure de la cristallisation. Les quelques exemples de zonation inverse indiquent des augmentations locales de la température ou encore de possibles mélanges magmatiques (Fichaut *et al.* 1985). Les zonations oscillatoires résultent de variations de la pression totale ou de  $PH_2O$  du milieu de cristallisation (Gill, 1981), ou de différences entre vitesse de cristallisation et vitesse de diffusion (Gill, 1981).

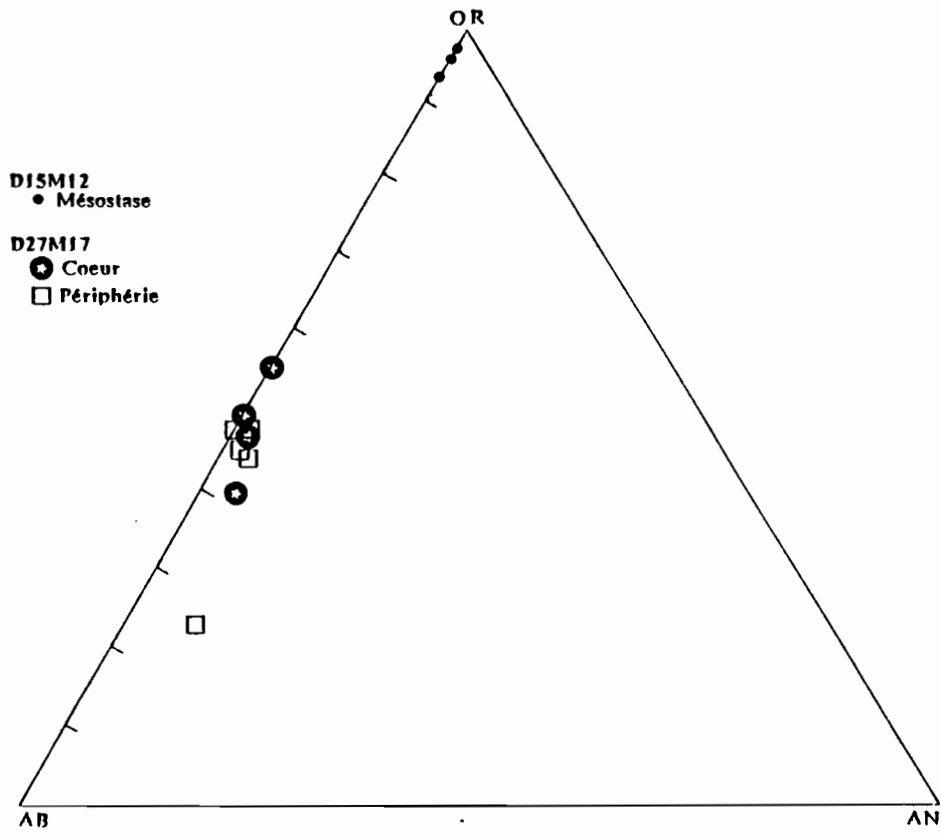


Figure III-28 : Position des feldspaths des échantillons D15M12 (zone Hazel Holme) et D27M17 (zone Vaté) dans le diagramme Or-Ab-An.

*Plot of feldspaths of D15M12 (Hazel Holme area) and D27M17 (Vate area) samples in Or-Ab-An diagram.*

La comparaison avec les plagioclases des îles étudiés (paragraphe II A 4) met en évidence la nature plus basique des plagioclases des laves arrière-arc. Il est intéressant de comparer les teneurs en MgO. Dans les îles, les plagioclases contiennent généralement moins de 0,12 % de MgO, sauf MVA15 (Mota Lava) avec 0,18 % de MgO. Par contre, dans les fossés arrière-arc, les teneurs sont comprises le plus souvent entre 0,12 et 0,21 % et atteignent 0,25-0,28 et même 0,31 % dans les basaltes D7M2, D21M7, D14M1 et D5M5. Les valeurs élevées, supérieures à 0,2 %, peuvent être considérées comme typiques de tholéites océaniques (Maury *et al.*, 1982).

En général, les plagioclases ont cristallisé assez tardivement, après les oxydes ferro-titanés et les phases ferro-magnésiennes, ou ont débuté leur cristallisation alors que ces minéraux poursuivaient encore la leur (inclusions possibles de plagioclases dans les olivines ou pyroxènes).

### 5/ Les feldspaths alcalins

Les feldspaths alcalins sont des minéraux très rares dans les laves étudiées à la microsonde. Ils ont été observés dans les deux échantillons : la diorite acide D27M17 et l'andésite acide D15M12.

Il s'agit uniquement d'orthose ( $O_{r_{93,5-97,2}}$ ) dans l'échantillon D15M12 de la zone Hazel Holme, présent dans la mésostase. La diorite D27M17 de la zone Vaté contient des phénocristaux de sanidine sodique ( $Or_{41-56}$ ) ou d'anorthose ( $Or_{23}$ ) plus rare (Tabl. III-26 vol. 2 ; Fig. III-28).

Des feldspaths alcalins sont également présents dans d'autres échantillons, non analysés à la microsonde, d'après l'étude microscopique [D28M1 par exemple].

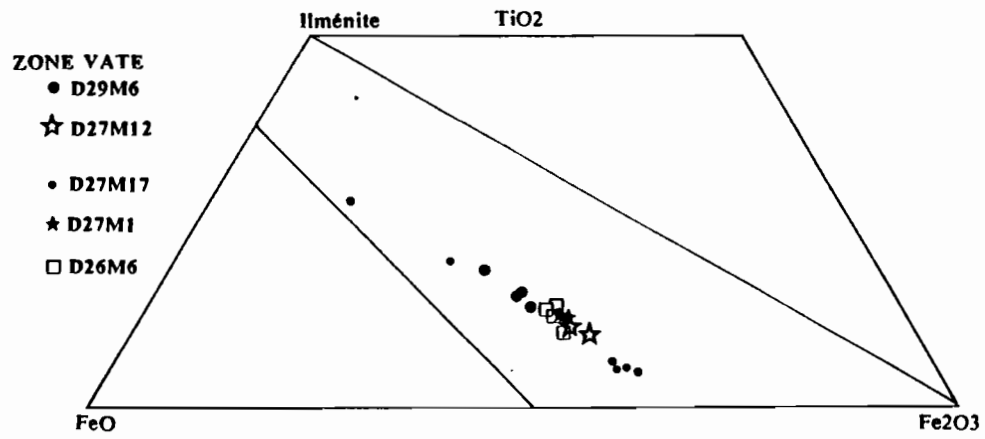
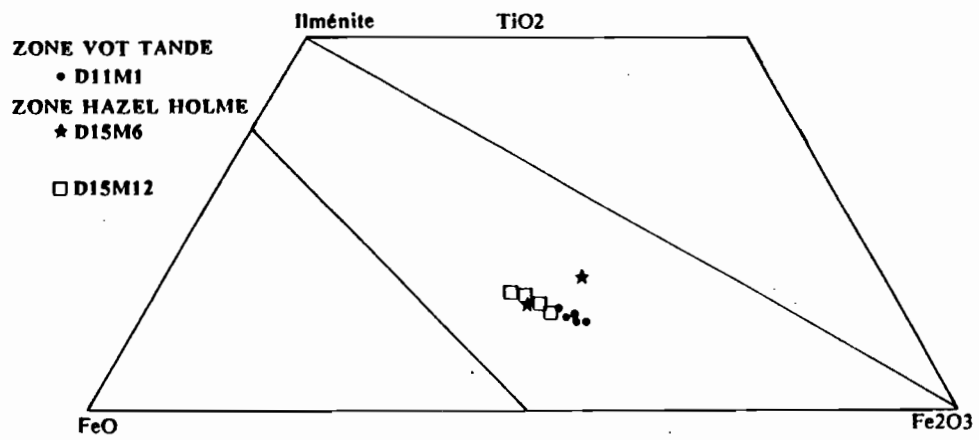
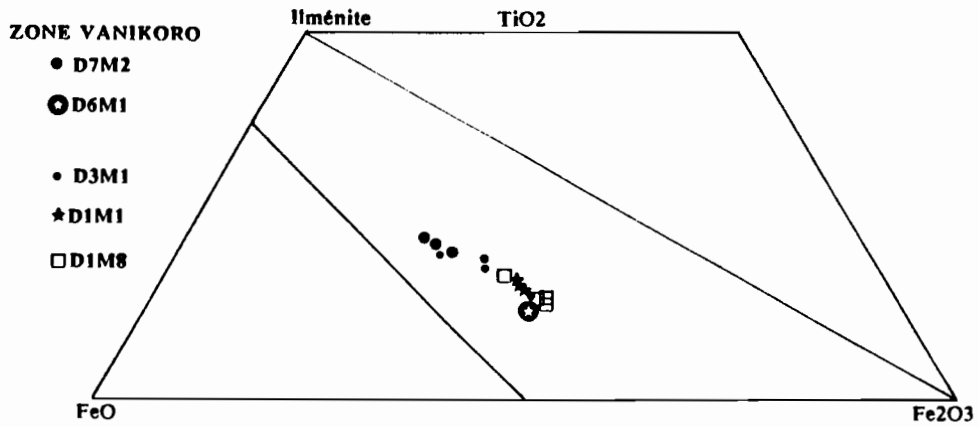
### 6/ Les oxydes ferro-titanés

Les minéraux opaques présents dans la majorité des échantillons analysés sont le plus souvent de petits granules disséminés dans la mésostase ou en inclusions dans les autres phases minérales, pyroxènes, plagioclase et olivine. Il s'agit le plus souvent de titano-magnétites mais quelques échantillons renferment aussi des ilménites ou des spinelles chromifères.

### Les titanomagnétites

#### Nature des titanomagnétites

#### 1. Zone VANIKORO



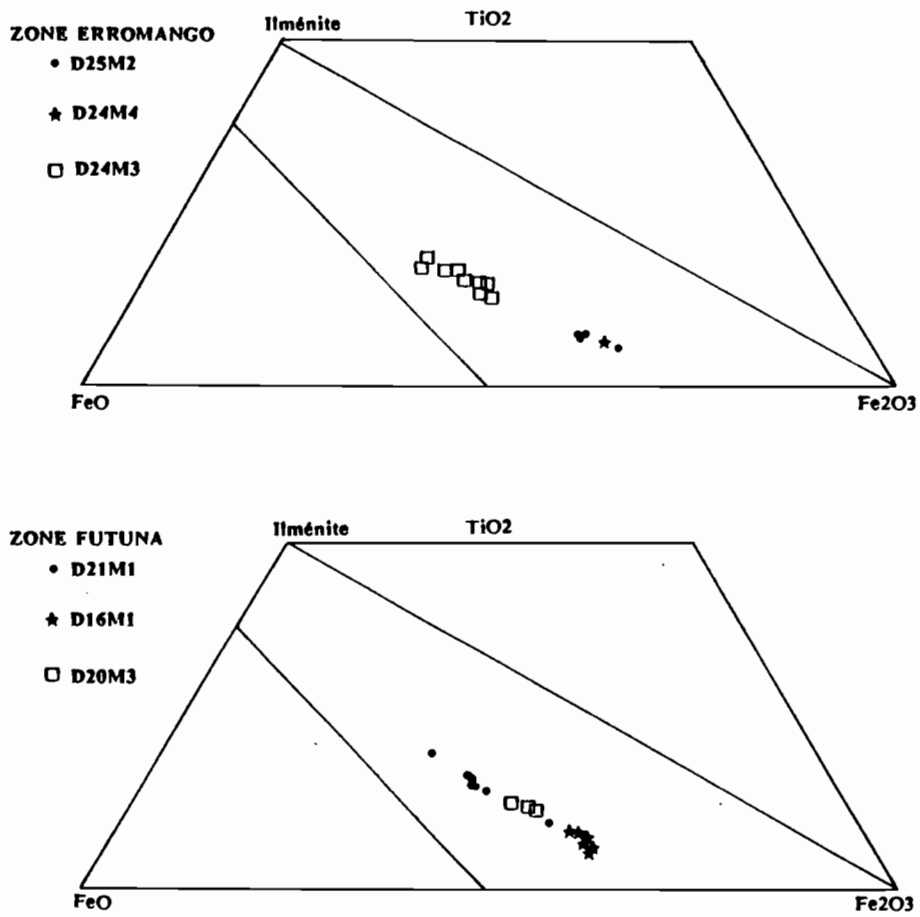


Figure III-29 : Position des oxydes ferro-titanés des laves des fossés dans le diagramme  $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ .  
*Plot of ferro-titanated oxides of lavas from New Hebrides in  $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ .*

Les magnétites sont très rares dans les laves basiques de cette zone. Elles ont pu être analysées uniquement dans le basalte D7M2, elles sont très riches en  $\text{TiO}_2$  (18 à 20 %) (Tabl. III-27 vol. 2).

Les titanomagnétites des laves acides sont également assez riches en  $\text{TiO}_2$  [16 à 17,5 % pour D3M1 ; 14,5 à 15,5 % pour D1M1 ; 12 à 16 % pour D1M8]. La teneur en  $\text{TiO}_2$  décroît avec la teneur en silice croissante de la roche totale (Fig. III-29).

Les teneurs en MnO sont relativement élevées (0,6 à 1,25 %) sauf dans l'andésite D3M1 (0,4 à 0,6 %).  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  montre des valeurs très faibles ou nulles.

Dans le diagramme  $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , l'ensemble des points représentatifs des magnétites de cette zone s'aligne et montre une évolution vers le pôle  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fig. III-29). Les rapports FM sont élevés : 0,88 à 0,99 (Fig. III-37 vol.2). Les variations de  $\text{Ti}^{4+}$  au sein de chaque échantillon sont peu prononcées ; celles d' $\text{Al}^{3+}$  sont plus nettement marquées et tendent à la décroissance en fonction de la différenciation. On remarque que les valeurs de FM les plus fortes correspondent aux titanomagnétites du basalte D7M2, ce qui indique sans doute une cristallisation très tardive de ces minéraux.

## 2. Zone VOT TANDE

Les magnétites du basalte D11M1, assez peu nombreuses, ont des teneurs moyennes en  $\text{TiO}_2$  (10 à 12 %), faibles en MnO (0,1 à 0,36 %) et  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (< 0,06 %) (Tabl. III-27 vol. 2). Le rapport FM est faible et très concentré : 0,83 à 0,85 (Fig. III-37 vol.2). La faible variation de FM ne permet pas d'établir d'évolution nette de Ti ou d'Al. Ses valeurs peu élevées attestent de la relative précocité des magnétites.

## 3. Zone HAZEL HOLME

Les titanomagnétites des laves de cette zone ont entre 11 et 15,5 % de  $\text{TiO}_2$ , sans différence notable entre le basalte D15M6 (où elles sont rares) et la dacite D15M12 (où elles sont nombreuses), sinon la faible valeur des totaux des analyses du basalte (91,84 à 92,56 %). Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont nulles ou très faibles (< 0,1 %). Par contre les teneurs en MnO diffèrent entre le basalte D15M6 où elles sont faibles (0,48 à 0,54 %) et la dacite D15M12 où elles sont élevées (2 à 4 %) (Tabl. III-27 vol. 2). Les rapports FM des magnétites de ces deux roches sont élevés et peu variables : 0,97 à 1, ce qui se traduit par de faibles évolutions de  $\text{Ti}^{4+}$  et  $\text{Al}^{3+}$  (Fig. III-37 vol.2). Ces magnétites ont donc cristallisé assez tardivement.

## 4. Zone VATE

A l'inverse des zones précédentes, toutes les laves étudiées de cette zone possèdent des titanomagnétites, qui présentent des teneurs en  $\text{TiO}_2$  variables. Elles sont de 12 à 16 % dans le basalte D29M6 et 8,7 à 10,2 % dans le basalte D27M12. La diorite D27M17 contient deux sortes de magnétites : l'une à 4-6 % de  $\text{TiO}_2$ , l'autre beaucoup plus riche avec 19 à 27 % de  $\text{TiO}_2$  (Tabl. III-27 vol. 2). Les deux dacites, D27M1 et D26M6 renferment des magnétites à environ 10-12 % de  $\text{TiO}_2$ , ou plus rarement à 9,5 % et 13,7 % pour des inclusions de la dacite D26M6. Les teneurs en MnO sont également variables. Elles sont élevées (1,2 à 3 %) dans les magnétites de D29M6, et faibles dans celles de D27M12 (0,44 à 0,7 %), D27M1 et

D26M6 (0,3 à 0,9 %), D27M17 (0,15 à 0,5 %). Les valeurs de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  sont également nulles ou rarement de 0,13-0,14 %.

Pour un même échantillon, le rapport FM des magnétites varie peu, au maximum de 0,06 dans le cas de D27M12. Dans l'ensemble  $\text{Ti}^{4+}$  tend à augmenter et  $\text{Al}^{3+}$  à diminuer au cours de la différenciation. Le groupe des magnétites très peu titanifères de D27M17 se démarque nettement de l'ensemble de l'évolution (Fig. III-37 vol.2). Leur FM est élevé, comme celui des magnétites du basalte D29M6, témoignant de leur apparition tardive.

Dans le diagramme  $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , l'ensemble des points dessine une droite très nette dont les deux extrémités correspondent aux deux groupes de magnétites de D27M17 (Fig. III-29).

### 5. Zone ERROMANGO

Les magnétites des basaltes D25M2 et D24M6 sont pauvres en  $\text{TiO}_2$  (de 4 à 6,5 %), en  $\text{MnO}$  (0,09 à 0,32 %) et assez riches en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,13 à 0,65 %) (Tabl. III-27 vol. 2). Les rapports FM de 0,75 à 0,84 sont les plus faibles rencontrés dans les laves de la zone arrière-arc, marquant le caractère très précoce de ces magnétites (Fig. III-37 vol.2). Les corrélations de Ti et Al avec FM sont semblables à celles observées dans les autres zones : diminution pour Al et augmentation pour Ti.

La dacite D24M3 contient des magnétites beaucoup plus riches en  $\text{TiO}_2$  (12 à 18 %) et en  $\text{MnO}$  (0,4 à 0,7 %) et dépourvues de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Le rapport élevé FM (0,94 à 0,98) témoigne de leur cristallisation tardive.

### 6. Zone FUTUNA

Le basalte D21M1 contient des magnétites assez riches en  $\text{TiO}_2$  (13,5 à 16 %, ou dans deux cas 8,5 et 18,25 %), à teneurs modérées en  $\text{MnO}$  (0,35 à 0,6 %) et faibles en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0,13-0,14 %, voire 0,29 % dans un cas) (Tabl. III-27 vol. 2). Le rapport FM est élevé (0,9 à 0,96) et identique à celui des magnétites de la dacite D24M3 (zone Erromango) (Fig. III-37 vol.2).

Les titanomagnétites de l'andésite basique D16M1, peu titanifères (5,5 à 7,6 % de  $\text{TiO}_2$  ou même 4 %), diffèrent de celles de l'andésite basique D20M3 (10,5 à 11,5 % de  $\text{TiO}_2$ ). Les teneurs en  $\text{MnO}$  sont comparables à celles du basalte D21M1. Les teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , à peu près nulles dans D20M3, sont généralement comprises entre 0,15 et 1 %, mais peuvent atteindre 2,7 et même 8 % dans D16M1. Ces valeurs élevées de Cr s'accordent avec celles du rapport FM assez faibles (0,77 à 0,84) dans les magnétites de D16M1, qui sont sans doute plus précoces que celles de D20M3 (FM de 0,84 à 0,88).

L'évolution dans le diagramme  $\text{FeO-TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3$  (Fig. III-37 vol.2) est parallèle à l'axe ilménite- $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

#### Cristallochimie des titanomagnétites

L'évolution cristallogénétique des titanomagnétites de l'ensemble de ces laves se caractérise par une diminution d' $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  associée à une augmentation de  $\text{Ti}^{4+}$  et  $\text{Fe}^{2+}$  (Fig. III-38 vol.2).

On remarque que les magnétites peu titanifères de la diorite D27M17 s'isolent de l'évolution générale (Fig. III-38 vol.2). Ces dernières exceptées, les magnétites les plus précoces correspondent en général aux phases précoces.

### Les ilménites

L'ilménite n'est présente que dans quelques échantillons, caractérisés par des teneurs relativement élevées en  $\text{TiO}_2$  qui sont : les laves acides de la zone Vanikoro et un basalte de la zone Hazel Holme. Elle apparaît sous forme de microphénocristaux, ou, le plus souvent, en micrograins ou baguettes dans la mésostase.

L'analyse d'ilménite du basalte D14M14 (zone Hazel Holme) se distingue de celles des andésites et dacites de la zone Vanikoro [D3M1 - D1M1 - D1M8] par des teneurs moindres en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (5,64 % au lieu de 15 % en moyenne) et supérieures en MnO (10,69 % au lieu de 1 % en moyenne ; Tabl. III-28 vol. 2).

### Les spinelles chromifères

Ils constituent essentiellement des phases en inclusion dans les phénocristaux d'olivine, ou plus rarement des microcristaux dans la mésostase, toujours de forme losangique très nette. Les spinelles chromifères ne se trouvent que dans les laves à olivines plus magnésiennes. Dans le basalte D7M2 de la zone Vanikoro, les spinelles sont très magnésiens ( $\text{MgO}$  : 18,75 à 19,5 %) peu chromifères ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  : 16,7 à 18,5 %) et très peu titanifères ( $\text{TiO}_2$  : 0,26 à 0,38 %). Ils sont également très riches en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (46 à 47,3 %) (Tabl. III-29 vol. 2).

Dans le basalte D2M5 de la même zone, les analyses de spinelles, moins nombreuses, révèlent une nature toujours magnésienne ( $\text{MgO}$  : 16 %) mais plus chromifère ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  : 30,6 %) plus riches en titane ( $\text{TiO}_2$  : 1,13 %) et plus pauvre en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (22,6 %) (Tabl. III-29 vol. 2).

Le basalte D12M1 de la zone Vot Tande contient des spinelles encore plus chromifères ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  : 42 à 46 %), moins magnésiens ( $\text{MgO}$  : 9 à 14 %), moins titanifères ( $\text{TiO}_2$  : 0,1 à 0,54 %) et plus alumineux ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 16 à 17 %) (Tabl. III-29 vol. 2).

Les spinelles du basalte D14M1 de la zone Hazel Holme sont assez comparables à ceux du basalte D2M5 ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  : 29,5 à 31 % ;  $\text{MgO}$  : 14 à 14,5 % ;  $\text{TiO}_2$  : 1 à 1,6 %), mais un peu plus riches en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (28,7 à 30,5 %) (Tabl. III-29 vol. 2). Cet échantillon est le seul pour lequel nous ne disposons pas d'analyses d'olivine, réduites à l'état de fantôme.

Enfin, les spinelles du basalte D19M1 de la zone Futuna montrent une plus grande variation des teneurs en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (32 à 41 %),  $\text{MgO}$  (12,5 à 17,2 %),  $\text{TiO}_2$  (0,74 à 1,04 %) et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (20,7 à 25,4 %) (Tabl. III-29 vol. 2).

Dans les diagrammes des cations trivalents en fonction de  $\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}$ , les spinelles du basalte D7M2 se démarquent très nettement (Fig. III-39 vol.2), constituent l'essentiel du groupe dont le rapport  $\text{Mg} / \text{Mg} + \text{Fe}$  est compris entre 0,7 et 0,8. Leurs teneurs en Cr et Fe sont faibles et celles en Al sont élevées.

\*\*\*

Les spinelles chromifères et les ilménites n'ont pas été observées dans les laves des îles.

Les titanomagnétites ne présentent pas de différence significative entre les laves des fossés et celles des îles. On observe même dans certains cas de fortes similitudes [BOK11 et D26M6 - D27M1 ; MOT1 et D24M4 - D25M2]. Mais on peut remarquer que l'échantillonnage étudié montre globalement des pourcentages supérieurs en  $\text{TiO}_2$  pour les laves des fossés. Des valeurs parfois élevées de MnO se trouvent dans certaines laves des fossés [D29M6 - D11M1 - D15M2] et plus rarement dans les îles [BOK11].

D'autre part, les titanomagnétites des laves acides de la zone Vanikoro sont plus titanifères que celles de la zone Vaté, à l'image des roches totales.

## 7/ Les verres

La phase vitreuse est présente dans un grand nombre de laves de la zone arrière-arc, mais son analyse ne donne pas toujours de bons résultats en raison de l'altération. De plus, certaines zones, vitreuses à l'observation microscopique, se révèlent en voie de cristallisation à l'analyse. Les déficits des analyses sont vraisemblablement attribuables en partie à la teneur en eau. Les verres sont le plus souvent rhyolitiques. Les teneurs en potassium de ces verres sont souvent élevées ; ils constituent pour tous les échantillons étudiés la phase qui contient préférentiellement cet élément.

### Les laves basiques

Le verre est généralement peu abondant dans les laves basiques. Sa composition est le plus souvent dacitique, andésitique acide, ou encore rhyolitique (Tabl. III-30 vol.2).

Le basalte D6M1 (zone Vanikoro) contient du verre dacitique à 1,35 % de  $\text{K}_2\text{O}$ , riche en  $\text{TiO}_2$  (1,27 %) (Tabl. III-30 vol.2).

Dans la zone Vot Tande, le basalte D11M1 renferme du verre dacitique ;  $\text{K}_2\text{O}$  varie entre 1,8 et 2,7 % et  $\text{TiO}_2$  est moyen et compris entre 0,6 et 0,8 %. Le basalte D12M1 de la même zone contient du verre rhyolitique très potassique ( $\text{K}_2\text{O}$  : 3,31 %) par rapport à la roche totale ( $\text{K}_2\text{O}$  : 0,66 %) et très titanifère ( $\text{TiO}_2$  : 1,85 %) (roche totale,  $\text{TiO}_2$  : 0,77 %).

Le basalte D31M1 de la zone Vaté possède du verre dacitique à 2,93 % de  $\text{K}_2\text{O}$  et peu titanifère ( $\text{TiO}_2$  : 0,5 %).

Les verres des laves basiques de la zone Futuna sont andésitiques acides ou dacitiques. Ils contiennent des quantités variables de  $\text{K}_2\text{O}$  (3,11 % dans le basalte D19M1 ; 2,55 % dans l'andésite basique D16M1 ; 1,18 à 1,33 % dans l'andésite basique D20M3) et de  $\text{TiO}_2$  (1,7 % dans le basalte ; 0,8 à 1 % dans les andésites basiques).

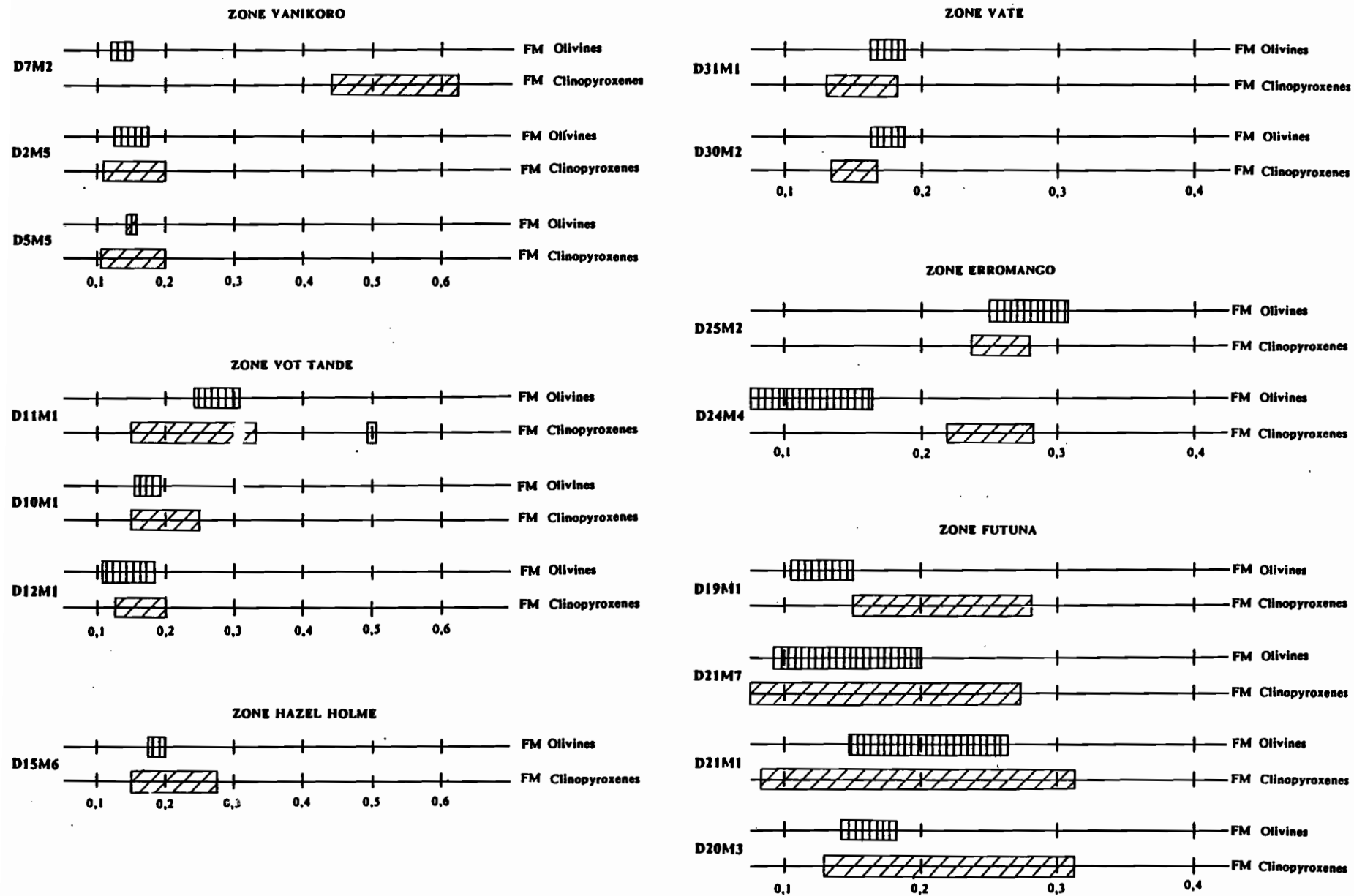


Figure III-30 : Comparaison des rapports FM des olivines et des clinopyroxènes dans les laves des fossés - Ordre de cristallisation.

*Comparison between olivines and clinopyroxenes FM for troughs lavas.*

## Les laves acides

Les verres des laves acides de la zone Vanikoro sont rhyolitiques et présentent des compositions relativement homogènes. La teneur en  $K_2O$  varie depuis 1,11 % dans l'andésite D3M1, à 1,13-1,23 % dans la dacite D1M8 et jusqu'à 1-1,47 % dans l'andésite D1M1.  $TiO_2$  est plus abondant dans l'andésite D3M1 (1,27 %) que dans les deux autres laves (0,5 à 0,7 %).

Les dacites de la zone Vaté sont riches en verre, de composition dacitique ou rhyolitique, avec des teneurs en  $K_2O$  de 4,5 à 5 % dans la dacite D26M6 (à une exception près à 2,96 %) et de 5 à 7,15 % dans la dacite D27M1. Ces verres sont pauvres en  $TiO_2$  [D27M1 : 0,17 à 0,31 % ; D26M6 : 0,27 à 0,54 %].

La dacite D24M3 de la zone Erromango renferme du verre rhyolitique, contenant entre 4,09 et 5,02 % de  $K_2O$ , très pauvre en  $TiO_2$ . D'autre part, on a trouvé dans cette dacite des compositions andésitiques et dacitiques, beaucoup plus riches en  $Al_2O_3$  (19 à 23,5 %) et moins potassiques ( $K_2O$  : 0,85 à 2,27 %) qui évoquent des microlites de plagioclase en voie de cristallisation.

Dans les laves acides, la teneur en  $K_2O$  des verres se corrèle assez bien avec celle des roches totales.

## 8/ Relations entre les différents minéraux

### 1. Relations olivines-clinopyroxènes (Fig. III-30)

Les minéraux ferro-magnésiens constituent une composante importante de nombreuses laves de la zone arrière-arc des Nouvelles-Hébrides. Dans les laves où ces minéraux présentent des tendances cumulatives, leur cristallisation semble précoce, mais présente un ordre variable :

- \* Leur cristallisation a pu être synchrone [D2M5 - D25M2 - D5M5 ; D12M1 ; D21M7] ;
- \* L'olivine cristallise visiblement avant le clinopyroxène [D7M2 - D24M4 - D19M1] ;
- \* L'olivine et le clinopyroxène cristallisent en même temps, puis le clinopyroxène continue à cristalliser seul [D10M1 - D15M6 - D20M3] ;
- \* Le clinopyroxène commence à cristalliser seul, puis cristallise en même temps que l'olivine [D11M1 - D31M1 - D30M2 - D21M1].

## 2. Relations des titanomagnétites avec les autres phases minérales

Deux grands groupes de laves peuvent être distingués en fonction de la présence ou de l'absence des titanomagnétites. Elles sont en effet très rares dans certaines laves [D2M5 - D5M5 - D6M1 (Vanikoro) ; D12M1 (Vot Tande) ; D14M1 - D14M14 (Hazel Holme) ; D30M2 - D31M1 (Vaté) ; D19M1 - D21M7 (Futuna)]. Une partie de ces laves contient par contre des spinelles chromifères, étroitement liées aux olivines [D2M5 - D12M1 - D14M1 - D30M2 - D19M1].

L'apparition des titanomagnétites a lieu à différents moments :

- \* Leur cristallisation est très précoce dans les laves de la zone Erromango, le basalte D11M1 (Vot Tande) et l'andésite basique D16M1 (Futuna). Ceci traduit de fortes fugacités d'oxygène (faible rapport FM des magnétites, inclusions fréquentes dans les autres phases minérales, importance de la substitution  $Fe^{3+}/Al^{IV}$  des clinopyroxènes) ;

- \* La cristallisation des magnétites est relativement précoce dans le basalte D27M12 et les dacites de la zone Vaté et dans l'andésite basique D20M3 de la zone Futuna (mêmes critères que précédemment, mais rapport FM des magnétites plus élevé) ;

- \* La cristallisation est plus tardive dans les laves acides de la zone Vanikoro, mais les magnétites sont toujours en inclusion dans les autres minéraux ;

- \* La cristallisation est nettement plus tardive dans les basaltes D7M2 (Vanikoro), D15M6 (Hazel Holme), D29M6 (Vaté) et D21M1 (Futuna) ainsi que dans les diorites D15M12 (Hazel Holme) et D27M17 (Vaté). Dans ces roches, les magnétites ne se trouvent pas en inclusions dans d'autres phases minérales. Les fugacités d'oxygène sont donc plus faibles.

## 3. Relations des plagioclases avec les autres phases minérales.

Dans la majorité des laves étudiées, la cristallisation des plagioclases semble intervenir tardivement, après les magnétites et les clinopyroxènes et olivines. Ceci se traduit souvent, même dans les laves très riches en plagioclases, par une taille moindre de ces minéraux vis-à-vis des clinopyroxènes et olivines. Dans ces conditions, il est évident que leur influence sur la minéralogie est faible. Leur apparition tardive s'explique par l'activité en silice modérée des magmas ; ceci favorise la cristallisation précoce des phases peu siliceuses, entraînant ainsi l'enrichissement en silice du liquide résiduel qui permet la cristallisation massive du plagioclase.

| Zone                              |  | Ech.   | Ol. | Cpx | Opx | Pl. | Timg. | Ilm.  | Sp.c. | Remarques   |
|-----------------------------------|--|--------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|---|
| VANIKORO                          |  | D7M2   | B   | +   | +   |     | +     | +     | +     | -fO2 faible dans les basaltes,<br>plus elevee dans les laves acides<br>-BP -activite en silice moderee<br>-activite en titane relativement elevee<br>-affinite des Cpx des basaltes a la<br>limite orog./non orog.,sauf D7M2 (alc.)<br>-MgO des Pl. proche des MORB |
|                                   |  | D2M5   | B   | +   | +   |     | +     | ((+)) | +     |   |
|                                   |  | D5M5   | B   | +   | +   |     | +     | ((+)) |       |   |
|                                   |  | D6M1   | B   |     | +   |     | +     | ((+)) |       |   |
|                                   |  | D3M1   | A   |     | +   | +   | +     | +     | +     |   |
|                                   |  | D1M1   | A   |     | +   |     | +     | +     | +     |   |
|                                   |  | D1M8   | D   |     | +   | +   | +     | +     | +     |   |
| FOSSES<br>DU<br>VOT TANDE<br>NORD |  | D11M1  | B   | +   | +   |     | +     | +     |       | -fO2 faible dans D12M1,<br>plus elevee dans D11M1 et D10M1<br>-BP -activite en silice moderee<br>-activite en titane relativement elevee<br>-affinite des Cpx des basaltes a la<br>limite orog./non orog.,sauf D11M1(orog.)   |
|                                   |  | D10M1  | B   | +   | +   |     | +     | (+)   |       |   |
|                                   |  | D12M1  | B   | +   | +   |     | +     | ((+)) | +     |   |
| HAZEL HOLME                       |  | D14M1  | B   | (+) | +   |     | +     | ((+)) | +     | -fO2 faible dans D14M1-D14M14,<br>plus elevee dans D15M6<br>-BP -activite en silice moderee<br>-activite en titane relativement elevee<br>surtout dans D14M14<br>-affinite des Cpx : non orog. D14M14,<br>alc. D14M1, thol.arc D15M6                                |
|                                   |  | D14M14 | B   |     | +   |     | +     | ((+)) | +     |   |
|                                   |  | D15M6  | B   | +   | +   |     | +     | +     |       |   |
|                                   |  | D15M12 | D   |     |     |     | +     | +     |       |   |
| FOSSES<br>DU<br>ERROMANGO<br>SUD  |  | D27M12 | B   |     | +   |     | +     | +     |       | -fO2 faible dans D29M6, D30M2, D31M1<br>plus elevee dans les autres<br>-BP, sauf dans D27M17 (Di)<br>-activite en silice assez elevee<br>-activite en titane relativement faible<br>-affinite des Cpx : thol.arc ou CA  |
|                                   |  | D29M6  | B   | (+) | +   |     | +     | +     |       |   |
|                                   |  | D31M1  | B   | +   | +   |     | +     | ((+)) |       |   |
|                                   |  | D30M2  | AB  | +   | +   |     | +     | ((+)) |       |   |
|                                   |  | D27M17 | Di  |     | +   |     | +     | +     |       |   |
|                                   |  | D27M1  | D   |     | +   | +   | +     | +     |       |   |
|                                   |  | D26M6  | D   |     | +   | +   | +     | +     |       |   |
| FOSSES<br>DU<br>ERROMANGO<br>SUD  |  | D25M2  | B   | +   | +   |     | +     | +     |       | -fO2 assez elevee<br>-BP -activite en silice moderee<br>-activite en titane relativement faible<br>-affinite des Cpx : thol.arc<br>-richesse en Fer des Cpx   |
|                                   |  | D24M4  | B   | +   | +   |     | +     | +     |       |   |
|                                   |  | D24M3  | D   |     | +   | +   | +     | +     |       |   |
| FUTUNA                            |  | D19M1  | B   | +   | +   |     | +     | ((+)) | +     | -fO2 faible dans D19M1, D21M7<br>plus elevee dans les autres<br>-BP -activite en silice moderee<br>-affinite des Cpx : non orog. D19M1<br>orog.pour les autres laves<br>-MgO des Pl. de D21M7 proche des MORB   |
|                                   |  | D21M7  | B   | +   | +   |     | +     | ((+)) |       |   |
|                                   |  | D21M1  | B   | +   | +   |     | +     | +     |       |   |
|                                   |  | D16M1  | AB  |     | +   | +   | +     | +     |       |   |
|                                   |  | D20M3  | AB  | +   | +   | +   | +     | +     |       |   |

Tableaux III-15-16 : Résumé des données de microsonde pour les laves des fossés du Nord (15) et du Sud (16).

*Summary of microprobe data for northern (15) and southern (16) troughs lavas.*

## 9. CONCLUSIONS (Tabl. III-15 et 16)

a/ Les laves basiques peuvent être classées en deux grandes familles sur la base des fugacités d'oxygène :

- Une famille à faible fugacité d'oxygène caractérisée par la rareté ou l'absence de magnétites et l'absence de substitution  $\text{Fe}^{3+}/\text{Al}^{\text{IV}}$  dans les clinopyroxènes, qui regroupe les laves basiques de la zone Vanikoro, les basaltes D12M1 de la zone Vot Tande, D14M1 - D14M14 de la zone Hazel Holme, D21M7 - D19M1 de la zone Futuna et les laves basiques D29M6 - D30M2 - D31M1 de la zone Vaté. Ce groupe correspond globalement aux laves basiques les moins porphyriques (voir I), sauf pour D19M1 et D31M1.
- Une famille à plus forte fugacité d'oxygène marquée par la présence de magnétites et/ou la substitution  $\text{Fe}^{3+}/\text{Al}^{\text{IV}}$  exprimée dans les clinopyroxènes, qui correspond aux basaltes de la zone Erromango, D11M1 et D10M1 de la zone Vot Tande, D15M6 de la zone Hazel Holme, et aux laves basiques D21M1, D16M1 et D20M3 de la zone Futuna. Excepté D10M1, ce groupe est équivalent aux laves basiques les plus porphyriques.

Mais des distinctions sont possibles au sein de ces deux familles.

De façon générale, les clinopyroxènes semblent résulter de la cristallisation à basse pression d'un magma à activité en silice modérée (faibles teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$ , absence de substitution de type jadéite, rapports  $\text{Al}^{\text{IV}}/\text{Al}^{\text{VI}}$  élevés). Cependant des différences d'affinité ont été observées :

- Les microlites et microphénocristaux de clinopyroxènes des basaltes D7M2 (Vanikoro), D14M1 et D14M14 (Hazel Holme) présentent de nombreux caractères de tholéites océaniques. De plus, une tendance alcaline existe : la position des clinopyroxènes dans les diagrammes de Leterrier *et al.* (1982) et les teneurs en Ti, Na et Cr qui témoignent des pressions plus élevées du milieu de cristallisation ;
- Les clinopyroxènes de certains basaltes présentent une ambiguïté au niveau de leur affinité entre une nature orogénique et une nature océanique : D2M5, D5M5 de la zone Vanikoro, D10M1 et D12M1 de la zone Vot Tande, D19M1 de la zone Futuna. Cette ambiguïté se retrouve également à l'examen des teneurs en MgO des plagioclases, qui sont comparables à celles de plagioclases de basaltes océaniques pour D5M5 (zone Vanikoro), D19M1 et D21M7 (zone Futuna) et D29M6 (zone Vaté).

Ces deux groupes incluent en partie les basaltes contenant des spinelles chromifères [D7M2 - D2M5 - D12M1 - D19M1 - D14M1]. L'absence de caractères nettement orogéniques ou océaniques de ces basaltes peut s'expliquer dans le cas des basaltes à tendance ankaramitique [D19M1 - D21M7 et D29M6], pour lesquels la cumulation de minéraux ferro-magnésiens précoces peut masquer l'affinité géochimique originelle. Pour les autres, cela reste plus problématique. Ils semblent présenter une nature intermédiaire entre un pôle orogénique et un pôle océanique.

Les clinopyroxènes des basaltes de la zone Vaté et du basalte D21M1 de la zone Futuna semblent plus typiques de magmas calco-alcalins (rapports Al/Ti plus élevés). Enfin, il convient de noter que certaines laves montrent plusieurs générations de cristaux d'une même phase minérale (olivines du basalte D29M6, zone Vaté; clinopyroxènes des basaltes D11M1-D12M1, zone Vot Tande; D31M1, zone Vaté; D19M1-D21M1-D21M7, zone Futuna).

Dans certains cas, l'indice d'une cristallisation antérieure est évident (xénocristaux d'olivine de l'andésite basique D20M3, zone Futuna). De façon générale, le caractère cumulatif est assez marqué. Il est difficile de regrouper les types pétrographiques en fonction de la minéralogie.

b/ La minéralogie, assez diversifiée pour les laves basiques, semble plus homogène pour les laves acides.

Les différences les plus notables se situent au niveau des fugacités d'oxygène qui sont supérieures pour les laves des zones Vaté et Erromango que pour celles de la zone Vanikoro (différences des taux de substitution  $Fe^{3+}/Al^{IV}$  dans les clinopyroxènes et apparition plus ou moins précoce des magnétites). Des différences s'observent aussi pour les teneurs en  $K_2O$  des plagioclases et des verres, reflétant dans ce cas les différences de composition chimique des roches totales.

c/ De façon générale, les laves basiques et acides d'une même zone montrent des évolutions cohérentes : augmentation du fer dans les pyroxènes et diminution du calcium dans les plagioclases.

d/ En regardant la minéralogie en fonction du temps, on constate quelques évolutions.

Les basaltes de la zone Vanikoro ne montrent pas de variations significatives au cours du temps pour les olivines et les plagioclases. D'autre part, les clinopyroxènes de basaltes d'âge voisin sont différents [D2M5 - D5M5 - D6M1].

Les basaltes de la zone Vot Tande, sans variation majeure des plagioclases, montrent une légère augmentation de la teneur en Mg des olivines et des clinopyroxènes au cours du temps; elle s'accompagne dans les clinopyroxènes d'une augmentation en Ca.

Dans les basaltes de la zone Hazei Holme, on observe une augmentation de Ca dans les plagioclases et une évolution différente des clinopyroxènes, avec augmentation de Ca dans le cas de D14M1 et diminution de Ca dans le cas de D15M6.

Les laves basiques de la zone Vaté montrent au cours du temps une augmentation de Mg dans les olivines et une décroissance de Ca et un enrichissement en Fe dans les clinopyroxènes. Les plagioclases ne montrent pas de variation particulière.

Les plagioclases des basaltes de la zone Erromango sont enrichis en Ca au cours du temps, tandis que Mg diminue dans les olivines.

Les laves basiques de la zone Futuna ne montrent pas de variation des olivines en fonction de l'âge. Les plagioclases de l'andésite basique D20M3 (d'âge probablement inférieur à 3 Ma) sont plus riches en Ca que ceux de l'andésite basique D16M1 plus ancienne (5,2 Ma). On observe le même comportement du Ca dans les clinopyroxènes de ces deux laves. Les clinopyroxènes des basaltes D21M1 - D21M7 d'âges voisins montrent des teneurs différentes en Ca.

*Il ressort donc de cette confrontation géochronologique et minéralogique, la coexistence à une même période de phases minérales différentes pour les laves d'une même zone, ou, au contraire, une similitude de composition. Dans d'autres cas, des évolutions apparaissent au cours du temps. Mais ces variations peuvent refléter une nature ou une affinité différente des laves, comme nous pourrions le constater par l'étude géochimique. C'est pourquoi nous reprendrons à l'issue du chapitre géochimie les résultats de la minéralogie en fonction des affinités géochimiques et de la chronologie.*

CHAPITRE 4

Géochimie  
des laves de la chaîne centrale  
et des fossés à l'arrière de l'arc

## Chapitre IV : GEOCHIMIE

### DES LAVES DE LA CHAÎNE CENTRALE ET DES FOSSES A L'ARRIERE DE L'ARC

#### I - GENERALITES

##### A - PRESENTATION DES DONNEES

L'étude géochimique a été menée dans le but de définir l'affinité des laves des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides, puis de les comparer à celles de la chaîne centrale et d'établir d'éventuelles relations entre les laves basiques et les laves acides. La caractérisation et la modélisation des types de source, ne seront pas abordées dans ce travail, elles nécessitent en effet une approche beaucoup plus spécifique et l'apport de données isotopiques.

92 analyses sur roches totales ont été réalisées : 37 laves des îles et 55 laves draguées des fossés arrière-arc. Ces analyses réalisées par spectrométrie d'absorption atomique (analyste : J. COTTEN, Université de Bretagne Occidentale), sont détaillées dans les tableaux IV-1-3-9 (vol.2). Chacune d'elles comprend :

- 10 éléments majeurs donnés en pourcentages pondéraux, auxquels s'ajoutent  $H_2O^+$  et  $H_2O^-$  correspondant au résidu à 110°C ( $H_2O^-$ ) et 1000°C ( $H_2O^+$  = perte au feu) ;
- 7 éléments en traces (Rb, Ba, Sr, V, Cr, Ni, Co) donnés en ppm. Le calcul de la norme (Iddings, 1909) est effectué pour une valeur de  $Fe_2O_3$  correspondant à 15 % du fer total (donné sous forme de  $Fe_2O_3$ ,  $Fe_2O_3^*$ ).

37 analyses de laves des fossés ont été complétées par le dosage de terres rares (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb) ainsi que d'autres éléments en traces (HF, Zr, Ta, Th, Cs, Sb, U, Sc, As) sur . Ces analyses ont été réalisées par activation neutronique par J.L. JORON (Laboratoire de Pierre Sûe, Saclay).

Nous présenterons tout d'abord les données géochimiques obtenues sur les laves des îles, complétées par des données bibliographiques (Tabl. IV-4-5-6, vol.2), puis celles obtenues sur les laves des fossés arrière-arc. Seules les données analytiques propres à ce travail sont présentées dans les diagrammes, hormis un diagramme  $K_2O/SiO_2$  et quelques spectres de terres rares.

## B - PROPRIETES ET UTILISATION DES ELEMENTS CHIMIQUES ETUDIES

Les propriétés physico-chimiques des divers groupes d'éléments chimiques leur confèrent des comportements variables au cours de la cristallisation et de la différenciation des magmas.

### 1/ Les éléments majeurs

Nous avons choisi d'étudier plus particulièrement le comportement de certains éléments : -  $K_2O$  souvent utilisé comme élément discriminant dans la classification des laves, spécifiquement des laves orogéniques ; -  $TiO_2$  et  $MgO$  discriminants des différents types de laves caractérisant les divers contextes géodynamiques.

### 2/ Les éléments en traces

#### a) Les éléments de transition Sc, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn

La concentration des éléments de transition Sc, V, Cr, Co et Ni compatibles incorporés dans les minéraux qui fractionnent (olivines, pyroxènes, amphiboles et opaques) présente généralement une diminution très nette au cours de la différenciation. L'examen de ces concentrations permet d'apprécier les phénomènes de cumulation des diverses phases minérales : Ni, Cr et Co pour les olivines et les clinopyroxènes et V pour les titanomagnétites et les amphiboles.

#### b) Les éléments incompatibles

Ces éléments ont tendance à se concentrer au cours de la différenciation dans le liquide magmatique formant dans les liquides silicatés des complexes de dimensions telles qu'elles ne permettent pas leur incorporation dans les phases minérales qui cristallisent (Treuil, 1973).

\* Les alcalins rares Rb, Sr et Cs et alcalino-terreux Ba : ont une affinité préférentielle pour le liquide par rapport aux phases minérales. Leurs concentrations tendent donc à s'accroître au cours de la différenciation.

Le comportement de Rb et Ba reproduit souvent fidèlement celui de  $K_2O$ . Le strontium reflète plus particulièrement des phénomènes d'accumulation des phénocristaux de plagioclase. L'évolution de Sr en fonction de  $SiO_2$  est souvent plus anarchique.

\* Les lanthanides constituent une famille d'éléments aux propriétés spécifiques; leur rayon ionique diminue régulièrement au fur et à mesure de l'augmentation du numéro atomique, du lanthane au lutétium ; ce phénomène est appelé la contraction lanthanidique. Les terres rares sont des éléments hygromagmaphiles qui demeurent préférentiellement dans le liquide. Ces éléments normés par rapport aux chondrites (valeurs de normalisation selon Bougault, 1980)

sont représentés sous la forme de spectres. Nous utiliserons le rapport La/Yb pour exprimer le fractionnement des T.R.l. (Terres Rares légères) par rapport aux T.R.L. (Terres Rares Lourdes).

\* Les autres éléments hygromagmaphiles Th, Ta, Zr, Hf, P et U peuvent être représentés dans des diagrammes de T.R. "élargis", normalisés aux chondrites selon des valeurs de Bougault (1980), ou normalisés à des valeurs moyennes de MORB-N selon Saunders et Tarney (1984) (Tabl. IV-8, vol.2).

Les éléments en traces donnent des informations concernant la source et l'histoire de la différenciation des magmas. Les rapports d'éléments en traces fortement incompatibles renseignent sur la composition de la source car ils sont peu variables au cours de la fusion ou du fractionnement, tant que la fraction de liquide ne dépasse pas 10 % (Gill, 1981).

Ainsi, le **thorium**, qui possède le caractère hygromagmaphile le plus marqué et la particularité d'être immobile lors de l'altération par l'eau de mer (Treuil *et al.*, 1979), est utilisé dans plusieurs diagrammes binaires. Des corrélations linéaires passant par l'origine permettent de tester le comportement stable des éléments hygromagmaphiles. Les valeurs des rapports de certains éléments semblent typiques du contexte géodynamique des séries volcaniques qu'ils caractérisent (Joron et Treuil, 1977 ; Cabanis, 1986). Le rapport Th/Ta est considéré comme le meilleur marqueur des contextes géodynamiques (Joron et Treuil, 1977). L'origine des variations de ce rapport est en liaison avec la source des magmas et semble liée à la composition minéralogique du solide initial (présence de minéraux hydroxytes comme l'amphibole ou la biotite, qui possèdent des coefficients de répartition différents pour Ta et Th, plus faibles pour ce dernier), elles-même en relation avec les conditions mantelliques de fusion (Cabanis, 1986).

## II - GEOCHIMIE DES LAVES DES ILES

### A - ELEMENTS MAJEURS

#### 1/ Les îles du Nord (îles Banks) (Tabl. IV-1, vol. 2)

Les laves que nous avons étudiées sont essentiellement des basaltes et des andésites basiques (49 à 56 % de SiO<sub>2</sub>); seule une andésite acide (59% de SiO<sub>2</sub>) a été échantillonnée [VLA15, Vanua Lava]. Cependant des analyses complémentaires (Mallick et Ash, 1975 ; Ash *et al.*, 1980 ; Barsdell *et al.*, 1982) permettent d'élargir ce spectre entre 44 et 62 % (Vanua Lava).

Les données disponibles mettent en évidence le caractère typiquement orogénique de la plupart de ces laves : saturation ou sursaturation en silice (Qz<sub>N</sub> : 0,25 à 10,5 %), teneurs élevées en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (15 à 18,5 %), CaO (5,5 à 12 %), assez faibles en TiO<sub>2</sub> (0,5 à 0,95 %), à l'exception de quelques basaltes des îles d'Ureparapara et de Mota Lava (1,25 à 1,55 %), teneurs modérées en MgO (2 à 6,5 %). Cependant, certaines laves à caractère cumulatif (cf. chapitre III) [MVA15, MERM10, MLKK1] sont moins alumineuses (12,3 à 13,1 % d'Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) et plus magnésiennes (9,5 à 11,5 % de MgO).

La figure IV-1 montre le comportement des divers éléments majeurs en fonction de  $\text{SiO}_2$ .

Le potassium est souvent utilisé comme élément discriminant dans la classification des laves orogéniques. Dans le diagramme  $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  (classification de Peccerillo et Taylor, 1976), les laves des îles Banks montrent un caractère modérément potassique ; quelques échantillons, cependant, peuvent être peu potassiques [MOT1, VLC115, MVA15, MVA11, MERM10, MLKK1] ou au contraire potassiques [VLA15]. Les données bibliographiques sur ces îles confirment ces compositions géochimiques. On notera enfin l'existence de laves plus potassiques sur l'île de Gaua (Fig. IV-1-j ; Tabl. IV-2 vol. 2).

## 2/ Les îles du Sud (Tabl. IV-3, vol. 2)

\* Le spectre de silice s'étend de 47,5 à 65 % de  $\text{SiO}_2$ , avec une très nette majorité de basaltes. Les laves basiques étudiées ont des caractères orogéniques typiques : saturation en silice, richesse en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (15 à 20 %),  $\text{CaO}$  (8 à 12 %), teneur modérée en  $\text{TiO}_2$  (0,6 à 1,1 %),  $\text{MgO}$  (4 à 7 %). Seul le basalte FMAC48 (Futuna) montre une teneur plus faible en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (13,8 %) et plus élevée en  $\text{MgO}$  (9,2 %).

Dans les diagrammes des oxydes en fonction de  $\text{SiO}_2$ , les corrélations sont souvent très nettes (Fig. IV-2, vol.2).

Dans la classification de Peccerillo et Taylor, les basaltes se révèlent moyennement potassiques, à l'exception des basaltes AYM40 (Anatom) et TAC35b (Tanna). La dacite BOK11 de l'île de Vaté est très potassique (Fig. IV-2-i, vol.2).

\* De nombreuses analyses chimiques des laves des îles de la région sud des Nouvelles-Hébrides ont été données dans les travaux antérieurs (Carney & Macfarlane, 1979 ; Marcelot, 1980, 1981 ; Dupuy *et al.*, 1982). La comparaison île par île de ces données avec les nouvelles analyses permet d'élargir nos résultats (Tabl. IV-4 ; Fig. IV-2-j, vol. 2).

Les laves de l'île de Vaté se caractérisent par une distribution bimodale très nette : des basaltes d'une part ( $\text{SiO}_2$  : 46 à 49,5 %) le plus souvent peu potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 0,4 à 0,75 %) ; des andésites acides et des dacites d'autre part ( $\text{SiO}_2$  : 61,75 à 68,5 %) très potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 3,25 à 7,1 %). On notera cependant quelques exemples de basaltes plus riches en potassium ( $\text{K}_2\text{O}$  : 1 à 1,6 %).

Les laves de l'île de Tanna montrent une gamme de variation de la silice plus régulière ( $\text{SiO}_2$  : 46 à 68 %). Les basaltes sont peu potassiques (0,3 à 0,5 %), moyennement potassiques (0,6 à 1%) ou potassiques (1,05 à 1,25 %) et les dacites sont très potassiques (5,3 %) ; ces dernières sont proches de celles de l'île de Vaté.

L'île d'Anatom expose des basaltes et andésites peu potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 0,4 à 1 %), (du type AYC2, AYM40) ou moyennement potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 0,8 à 1,4 %) (type AYC54).

L'île de Futuna est caractérisée par deux types principaux de laves : des basaltes du type FMAC48 renfermant de 0,7 à 0,85 % de  $\text{K}_2\text{O}$  et des andésites basiques du type FMAC50-FMAC22 avec 1,3-1,7 % de  $\text{K}_2\text{O}$ .

Enfin, pour compléter ces données, rappelons les types de laves de l'île d'Erromango (Marcelot, 1980) : il s'agit uniquement de basaltes et andésites basiques alumineux ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 15 à 20 % ; sauf E19 : 13,6 %), calciques ( $\text{CaO}$  : 8 à 13 %), peu titanifères ( $\text{TiO}_2$  : 0,6 à 0,9 %), peu magnésiens ( $\text{MgO}$  : 2 à 5 %, voire 7 %). La teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  est plus variable : un premier groupe montre des concentrations faibles (0,4 à 0,6 %), comprenant essentiellement les basaltes du Mont Rantop, un deuxième groupe présente des valeurs moyennes (0,65 à 0,95 % pour les basaltes et 1,05 à 1,3% pour les andésites basiques), et un dernier groupe de basaltes présente des teneurs plus fortes ( $\text{K}_2\text{O}$  : 1,25 à 1,8 %). Des tendances ankaramitiques sont également observées dans certains cas (teneurs plus fortes en  $\text{MgO}$  et plus faibles en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) [E14].

L'ensemble des laves des îles du Sud possède des teneurs modérées en titane (généralement  $\text{TiO}_2 < 1$  %).

### 3/ Les laves des îles centrales (Aoba, Ambrym, Epi et les îlots voisins)

Les types présents sont comparables à ceux décrits auparavant à savoir : (Tabl. IV-5 vol. 2 ; Fig. IV-3) :

- des laves basiques assez peu potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 0,3 à 0,5 %) à Epi et Pentecôte;
- des laves basiques moyennement potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 0,8 à 1 %) à Epi, Ambrym et Aoba;
- des laves basiques potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 1,35 à 2 %) à Epi, Tongoa, Aoba, Ambrym, Pentecôte;
- des basaltes à tendance ankaramitique plus riches en  $\text{MgO}$  et moins riches en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , particulièrement à Aoba. Cette île présente aussi des laves un peu plus riches en  $\text{TiO}_2$  (1 à 1,3 %) ;
- des andésites acides et dacites potassiques ( $\text{K}_2\text{O}$  : 2,45 à 3,5 %) à Epi, Tongoa et Pentecôte.

## B - ELEMENTS EN TRACES

### a) Les éléments de transition : Ni, Co, Cr, V, Sc, Cu et Zn

Les teneurs en Sc, Cu et Zn retenues par la suite sont extraites de la bibliographie.

#### 1/ Les îles du Nord (Tabl. IV-1, vol.2)

Les éléments de transition compatibles Ni, Co, Cr, Sc et V sont incorporés dans les minéraux qui fractionnent et présentent des corrélations négatives avec les teneurs en  $\text{SiO}_2$  des laves (Fig. IV-4, vol.2).

Les valeurs de ces éléments dans les analyses bibliographiques sont comparables. Des concentrations parfois très élevées en Cr, jusqu'à 1000 ppm, peuvent être présentes dans des basaltes ankaramitiques, (Ash *et al.*, 1980).

## 2/ Les îles du Sud (Tabl. IV-3, vol.2)

Les teneurs en ces éléments sont assez comparables à celles des laves des îles Banks (Fig. IV-5, vol.2). Les données complémentaires de la bibliographie confirment ces valeurs. Pour le vanadium, quelques valeurs supérieures (350 ppm) ont été décrites à Anatom et Tanna (Carney et Macfarlane, 1979) et à Erromango (Marcelot, 1980).

Les laves de l'île d'Erromango ont des teneurs en Sc comprises entre 17 et 48 ppm. Les éléments chalcophiles Cu et Zn ont également été analysés dans quelques laves de cette île. Les teneurs en cuivre varient entre 40 et 180 ppm et diminuent au cours de la différenciation, celles en zinc sont comprises entre 70 et 90 ppm, sans corrélation évidente avec la silice. Ces valeurs et comportements sont fréquents dans les séries orogéniques (Gill, 1981).

## 3/ Les îles centrales (Tabl. IV-5)

Dans les basaltes de ces îles, le chrome varie entre 40 et 970 ppm (voire 1650 ppm pour l'échantillon 492 d'Aoba), les valeurs supérieures à 100 ppm ne se rencontrant que dans les basaltes ankaramitiques.

Le vanadium diminue avec la silice croissante, de 530 à 230 ppm.

### b) Les alcalino-terreux : Rb, Ba, Sr, Cs

Rb, Ba et Sr ont été dosés dans les laves étudiées à l'Université de Bretagne Occidentale (J. COTTEN), tandis que Cs n'est connu que par les données bibliographiques. Les concentrations en ces éléments à large rayon ionique montrent des corrélations généralement positives avec  $\text{SiO}_2$  et  $\text{K}_2\text{O}$ . Rb, Ba et Cs suivent le plus souvent le comportement de  $\text{K}_2\text{O}$ . La concentration de Sr est moins bien corrélée avec  $\text{SiO}_2$  et  $\text{K}_2\text{O}$ .

## 1/ Les îles du Nord (Fig. IV-4, vol.2)

Les remarques précédentes se vérifient pour les laves des îles Banks. Les rapports K/Rb sont compris généralement entre 500 et 860, valeurs des tholéites d'arc (Jakes et White, 1970 ; 1972). Mais quelques valeurs plus élevées (970 à 1200, pour VLC115 et MVA15) sont comparables à celles des MORB (voisin de 1000) bien que des valeurs élevées de ce rapport se rencontrent pour certaines tholéites d'arc peu potassiques (Gill, 1981).

Les rapports Rb/Sr fréquemment compris entre 0,02 et 0,035 sont ceux de tholéites d'arc ; certains plus élevés, entre 0,055 et 0,09, sont typiques de laves calco-alcalines [VLA69 - VLA15] ; d'autres au contraire, de 0,010 à 0,015 sont plus proches de ceux des MORB. Ces rapports augmentent avec la teneur en silice et avec la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$  (Gill, 1981).

## 2/ Les îles du Sud (Fig. IV-5, vol.2)

Rb et Ba augmentent avec la teneur en silice, mais les laves de l'île de Vaté sont plus riches en ces éléments (surtout en Ba) ainsi qu'en Sr. Dans les basaltes de l'île d'Erromango, Sr peut atteindre 700 ppm (E27 ; Tabl. IV-4, vol. 2) (Marcelot, 1980). Des valeurs comprises entre

600 et 1100 ppm sont connues dans les laves de Tanna (Carney et Macfarlane, 1979) et Futuna (Marcelot *et al.*, 1983a).

Les rapports K/Rb sont généralement élevés (> 500), voire très élevés (> 1000 : Q3, Ma6, AYC54, AYC2, AYM40). Les rapports les plus faibles (560-640) sont obtenus pour les laves de l'île de Futuna.

Les rapports Rb/Sr sont très faibles (< 0,017) particulièrement dans les basaltes de l'île de Vaté (0,003 à 0,013), mais peuvent être plus élevés dans les laves de l'île de Futuna (voisins de 0,03) et dans un échantillon de Tanna [TAC37].

### 3/ Les îles centrales

Les données sur Rb, Ba et Sr des laves de ces îles sont en tous points comparables à celles décrites pour les îles du Sud.

#### C - TYPES GEOCHIMIQUES DES LAVES DES ÎLES DE LA CHAÎNE CENTRALE

L'analyse détaillée des différents diagrammes nous permet d'identifier plusieurs types géochimiques (Tabl. IV-7) selon une classification établie pour les laves des fossés (cf infra II-C).

##### 1. Les laves basiques

- Des tholéites d'arc peu potassiques situées dans le champ "low K" du diagramme de Peccerillo et Taylor (1976) (0,15 à 0,35 % de  $K_2O$ ), à teneur généralement modérée en  $TiO_2$  (0,5 à 0,8 %) et MgO (5 à 7 %) sont identifiées sous le nom de **type b'**, par référence au type b, tholéitique d'arc.
- Les laves à teneur moyenne en  $K_2O$  ("medium K") du diagramme de Pecerrilo et Taylor) représentent la majorité des laves des îles de la chaîne centrale. Elles peuvent présenter des variations de la teneur en  $TiO_2$  et MgO.

Le **type b** correspond à des tholéites d'arc, à teneur modérée en  $TiO_2$  (< 0,85 %) et MgO (< 7 %), ou tholéites "normales".

Le **type c** correspond à des tholéites d'arc à teneur plus élevée en  $TiO_2$  (0,85 à 1,1 %).

Le **type d** correspond à des tholéites d'arc plus riches en MgO (7 à 13 %) et Cr-Ni.

Enfin, certaines tholéites présentent à la fois les caractères c et d.

- Le **type e** est constitué par des laves plus riches en  $K_2O$  (> 1 % dans les basaltes), Rb, Ba et Sr, calco-alkalines, qui sont également abondantes. Elles peuvent présenter les caractères d'enrichissement en  $TiO_2$  (e + c) ou en MgO-Cr-Ni (e + d).

|                 | Ile   | LAVES BASIQUES        |   |                    |                              |                         |  |                                  |                          |                         | LAVES ACIDES    |                                   |                  |                   |
|-----------------|---|-----------------------|---|--------------------|------------------------------|-------------------------|--|----------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------|-------------------|
|                 |   | Tholéïtes d'arc       |   |                    |                              |                         | Laves calco- alcalines   |                                  |                          |                         | peu potassiques | potassiques                       | tres potassiques |                   |
|                 |   | Type                  | peu potassiques<br>b'   | "normales"<br>b    | enrichies en TiO2<br>c       | enrichies en MgO<br>d   | enrichies en TiO2 et MgO<br>c+d                                    | "normales"<br>e                  | enrichies en TiO2<br>e+c | enrichies en MgO<br>e+d |                 |                                   |                  | potassiques<br>e' |
| Iles Banks Nord | Vot tande<br>Ureparapara<br>Mota Lava<br>Mota<br>Varua Lava |                       | VGH1-VGA8-VGA1<br>UA1-UA10<br>HVA11-HVB1<br>MOA5<br>VLC115-VLB17        |                    | HVA13-HVA1<br>HMAC4<br>VLA59 |                         | URM2-URM3<br>URF4-UA3  | URF1-URF4-URF7<br>URG2-URG3-URG4 |                          |                         |                 |                                   |                  |                   |
| Iles Banks Sud  | Gaua<br>Merig<br>Mere Lava                                  |                       |   |                    | GM17-605-607<br>541-547      | HERM10                  | GA5  |                                  | VLA39<br>609             |                         |                 | VLA15-VLC60<br>GA33               |                  |                   |
|                 | Pentecôte   | 640                   |   | 612                | 613                          | 719                     | 629  | 718                              |                          |                         |                 | 593-619                           |                  |                   |
| Iles Centrales  | Aoba<br>Ambrym<br>Epi Tongoa Eme                            |                       |   |                    | 492                          |                         | 525<br>1569  | 548-552<br>1568                  | 505-538-576<br>1567      |                         |                 | Tp715-E677                        |                  |                   |
| Iles du Sud     | Veté<br>Erromango<br>Tanna<br>Anaton<br>Futuna              | Hg23<br>TAC100-TAC153 | Hg6-HgA7<br>E7-E11-E16<br>E38-E42-E46<br>E75-E77<br>TAC35b<br>TA72-TA75 | E1-E1-E6-E7<br>V20 | Q3-V36<br>E14-E15<br>TA93    |                         | E1-E12-E27<br>E32-E40-E70<br>TAC37-TAC67<br>TAC82-TAC111<br>TAC156 | V60<br>E19                       |                          |                         | AYC31-AYMAC22   | ROK11-EA200<br>V12-V48<br>TA5-TA7 |                  |                   |
|                 |   |                       |   |                    |                              | FNAC18-FNAC22<br>FNAC48 | FNAC22-FNAC30<br>FNAC35-FNAC39<br>FNAC64                           | FMA1-FMA2<br>FMA5                |                          |                         |                 |                                   |                  |                   |

Tableau IV-7 :  
Tableau récapitulatif des types géochimiques des laves des îles de la chaîne centrale.  
*Recapitulated table for geochemical types of lavas from central chain islands.*

- Le type e' correspond à quelques laves basiques particulièrement riches en  $K_2O$  (> 2 % dans les basaltes) ; il s'agit de laves calco-alcalines potassiques, .

## 2. Les laves acides ( $SiO_2 > 57$ %)

- Le type g' caractérise certaines laves acides dont les teneurs en  $K_2O$  (1 à 1,5 %) sont modérées.
- Le type h correspond à des laves plus riches en  $K_2O$  (2,4 à 3,7 %).
- Le type i regroupe les laves acides très potassiques (4,5 à 7,1 % de  $K_2O$ ).

## D - APPORT DES DONNEES DE TERRES RARES ET AUTRES ELEMENTS EN TRACES : ZR, TA, HF, TH, ET U

Les principaux travaux faisant état de résultats analytiques, Gorton (1974, 1977), Roca (1978), Marcelot (1980), Dupuy *et al.* (1982), Barsdell *et al.* (1982), concernent surtout les îles centrales et méridionales.

Un tableau synthétique des diverses analyses est présenté dans le volume 2 (Tabl. IV-6, vol.2).

### 1. Les terres rares

Les terres rares sont normées par rapport aux chondrites (valeurs de normalisation de Bougault, 1980) (Tabl. IV-8, vol. 2). Des spectres représentatifs de l'ensemble sont représentés en figure IV-6.

Les teneurs en terres rares et la forme des spectres des laves des Nouvelles-Hébrides sont comparables à celles des laves d'autres arcs insulaires (Dupuy *et al.*, 1982). Ces auteurs les ont classées en trois ensembles, sur la base du rapport La/Yb :

\* Le premier groupe comprend les laves dont le rapport La/Yb varie entre 1,2 et 2,7; les spectres sont plats ou très légèrement enrichis en TRI (Terres Rares légères). Ces laves sont les plus pauvres en autres éléments lithophiles à large rayon ionique (LLI). Leurs caractéristiques chimiques sont typiques des tholéïtes d'arc définies par Jakes et Gill (1970).

Il s'agit des échantillons : E46, E53, E11, E16, E40 [Erromango] ; Ta93 [Tanna] ; AY42, AY49 [Anatom] ; Epi24, 26, 670 ; Ambrym 1569 ; Mere Lava 541, 546, 547. Dans la classification établie précédemment, ces laves appartiennent aux groupes de tholéïtes d'arc b (normales), d (cumulatives) ou b' (tholéïtiques les moins potassiques).

\* Le second groupe correspond aux laves dont le rapport La/Yb est compris entre 3,5 et 5,3, et qui présentent un léger fractionnement des terres rares lourdes. Selon Dupuy *et al.* (1982), les teneurs en Rb et Sr de ces laves sont intermédiaires entre celles des laves tholéïtiques d'arc et des laves calco-alcalines.

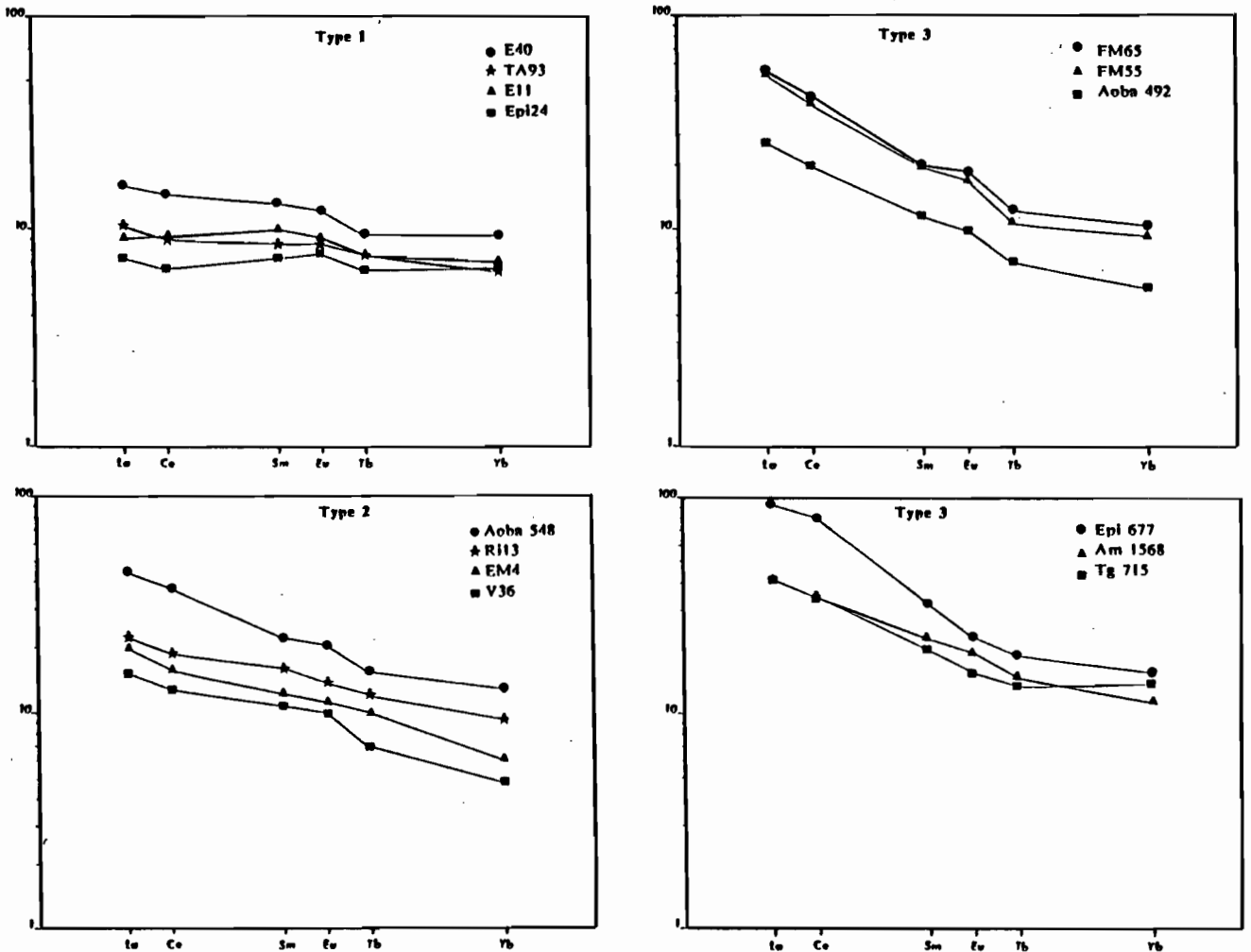


Figure IV-6 : Spectres de terres rares, normalisés aux chondrites (valeurs de Bougault,1980) des laves des îles de la chaîne centrale - Exemples représentatifs des trois groupes principaux.  
*Chondrite normalized REE element abundances in lavas from central chain islands - Representative examples of the three main groups.*

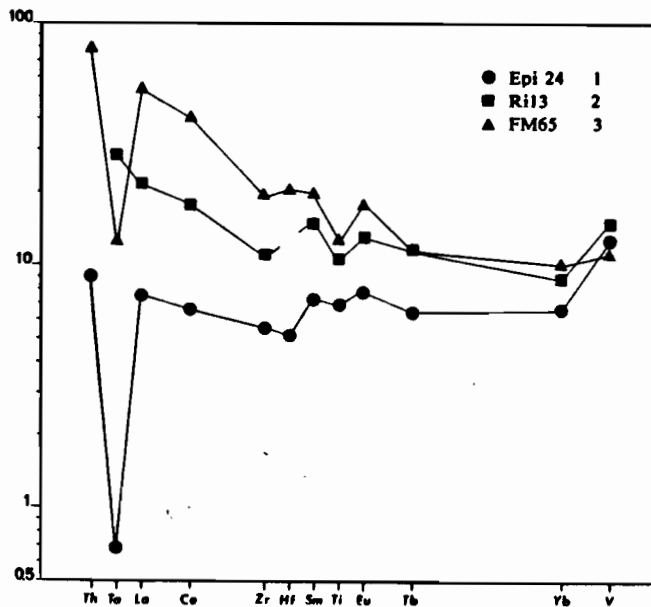


Figure IV-7 : Diagrammes "élargis" de Coryell-Masuda (valeurs de normalisation par rapport aux chondrites de Bougault,1980) des laves des îles de la chaîne centrale - Exemples représentatifs des trois groupes principaux.  
*Extended Coryell-Masuda plots obtained for lavas from central chain islands. Representative examples of the three main groups.*

Ce groupe renferme : Ri 13 [Epi Ririna] ; EM4 [Emae] ; Epi 10, 23 ; Tongoa 698, 715 ; Aoba 348 ; V36, V20, V60 [Vaté] ; Ta72 [Tanna].

D'après notre classification, ces laves sont de types divers : b, c et d (tholéïtes), ou e (tendance calco-alcaline) et h (acide et potassique).

\* Le troisième groupe est celui des laves à fort rapport La/Yb (5,5 à 10) : les spectres montrent un net enrichissement en terres rares légères.

Il comprend les laves : Gaua 607, 605, 609 ; Aoba 492, 538, 576, 505, 548 ; Epi 666, 677 ; Tongoa 697, 715 ; Ambrym 1567, 1568 ; FMA2, FM65, FM55 [Futuna].

Au total, certaines îles sont constituées de laves dont les spectres de terres rares sont tous comparables (spectre à peu près plat pour les laves de Mere Lava, Erromango et Anatom, spectre très enrichi pour les laves de Gaua, Futuna et Aoba, ou spectre légèrement enrichi pour Vaté). A l'inverse, d'autres îles se caractérisent par la diversité des formes de spectres de terres rares (spectres de type plat et légèrement enrichi à Tanna, spectres légèrement et très enrichis à Tongoa et Ambrym, ou encore les trois formes de spectres à Epi).

## 2. Diagrammes de terres rares élargis aux éléments hygromagmaphiles : Zr, Ta, Hf, Th, U

Nous avons représenté quelques résultats analytiques du tableau IV-6 (vol. 2) dans un diagramme de Coryell-Masuda "élargi", selon les valeurs de normalisation proposées par Bougault (1980) (Fig. IV-7).

La forme générale des spectres de terres rares est conservée mais l'enrichissement en TR1 est accentué par les fortes valeurs de  $Th_N$ , proportionnelles à l'enrichissement en TR1. Quand le tantale (Ta) est dosé, on constate généralement une très forte anomalie négative en cet élément, fréquemment observée dans les magmas orogéniques (Briqueu *et al.*, 1984). Les teneurs en Ta sont en effet très faibles : 0,01 à 0,06 ppm pour les laves à spectre plat et 0,3 à 0,9 pour les laves enrichies en TR1. Briqueu *et al.* (1984) considèrent que l'anomalie en Ta est primitive et associée à la présence dans le manteau d'une phase stable sous les conditions de pression (amphibole ou biotite), température et  $H_2O$  engendrées par le contexte géodynamique. Sakuyama et Nesbitt (1986) attribuent cette anomalie à l'effet d'un enrichissement en Th issu des fluides libérés par la plaque subductée.

On observe fréquemment une anomalie négative en titane, témoignant sans doute du fractionnement des titanomagnétites. Les différences de teneurs des éléments, représentés dans ces spectres élargis, croissantes depuis les laves à spectre plat jusqu'à celles à spectre enrichi, sont conformes aux teneurs respectives des séries tholéïtiques d'une part (Ewart *et al.*, 1977 ; Dixon et Batiza, 1979) et des séries calco-alcalines d'autre part (Brown *et al.*, 1977).

En comparaison des MORB de Mg  $\neq$  équivalent, les laves des îles se caractérisent par des concentrations inférieures de Zr, Hf et Ta et supérieures de P .

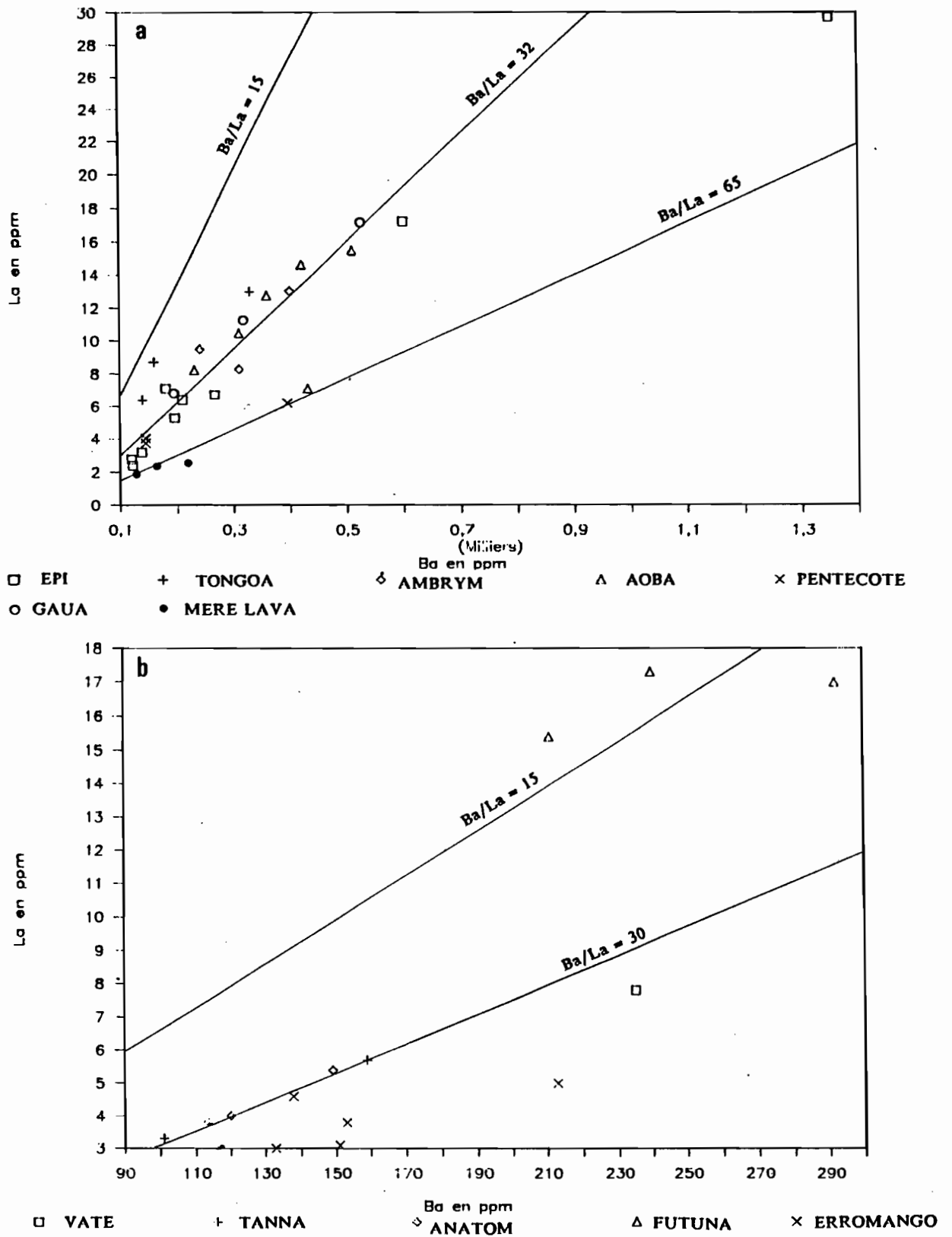


Figure IV-8 : Diagramme La/Ba des laves des îles de l'ensemble de la chaîne centrale.  
 a - Laves des îles des Nord et centrales.  
 b - Laves des îles sud.

*La/Ba diagram for lavas from the central chain.  
 a - Lavas from central and northern islands.  
 b - Lavas from southern islands.*

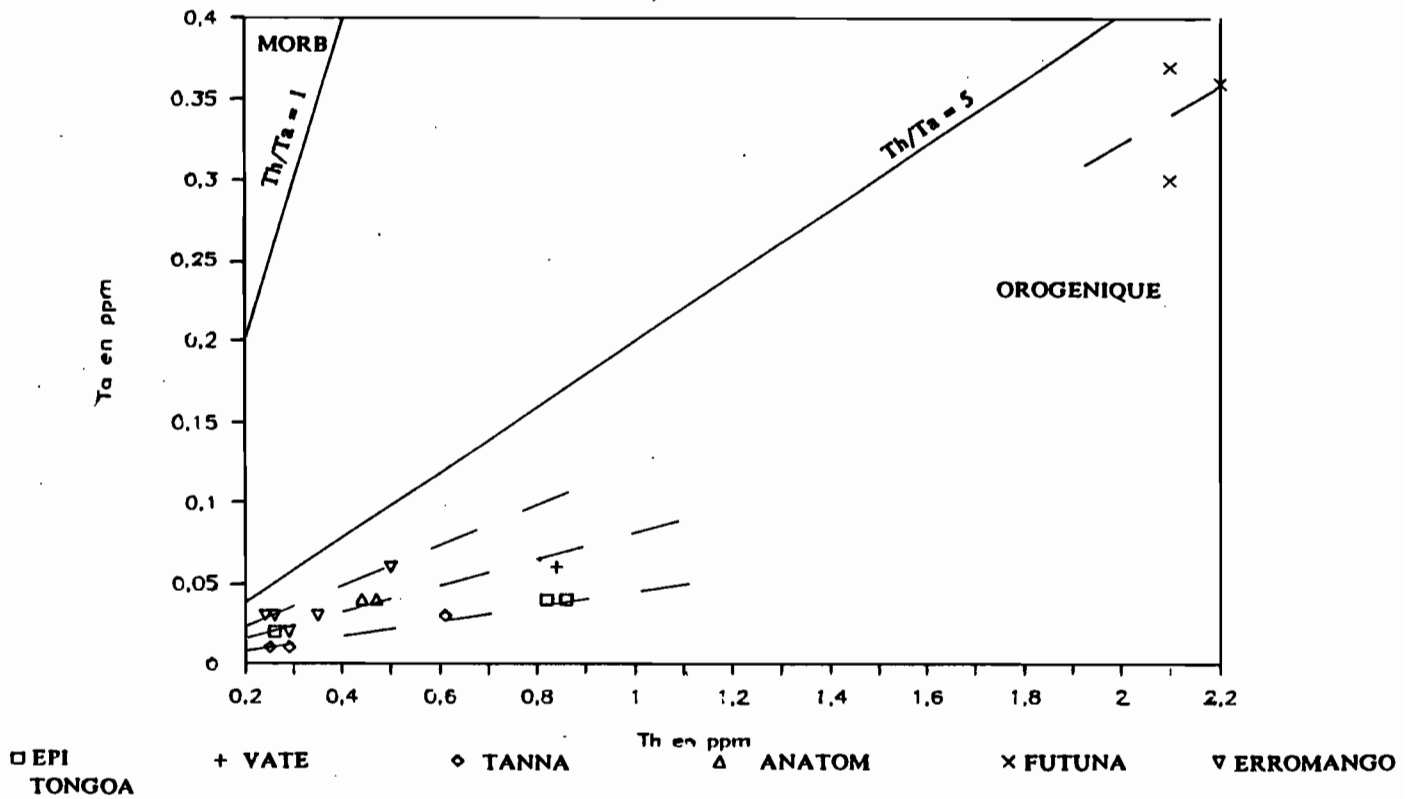


Figure IV-9 : Diagramme Ta/Th des laves des îles centrales et sud de la chaîne centrale.

*Ta/Th diagram for lavas from central and southern islands of the central chain.*

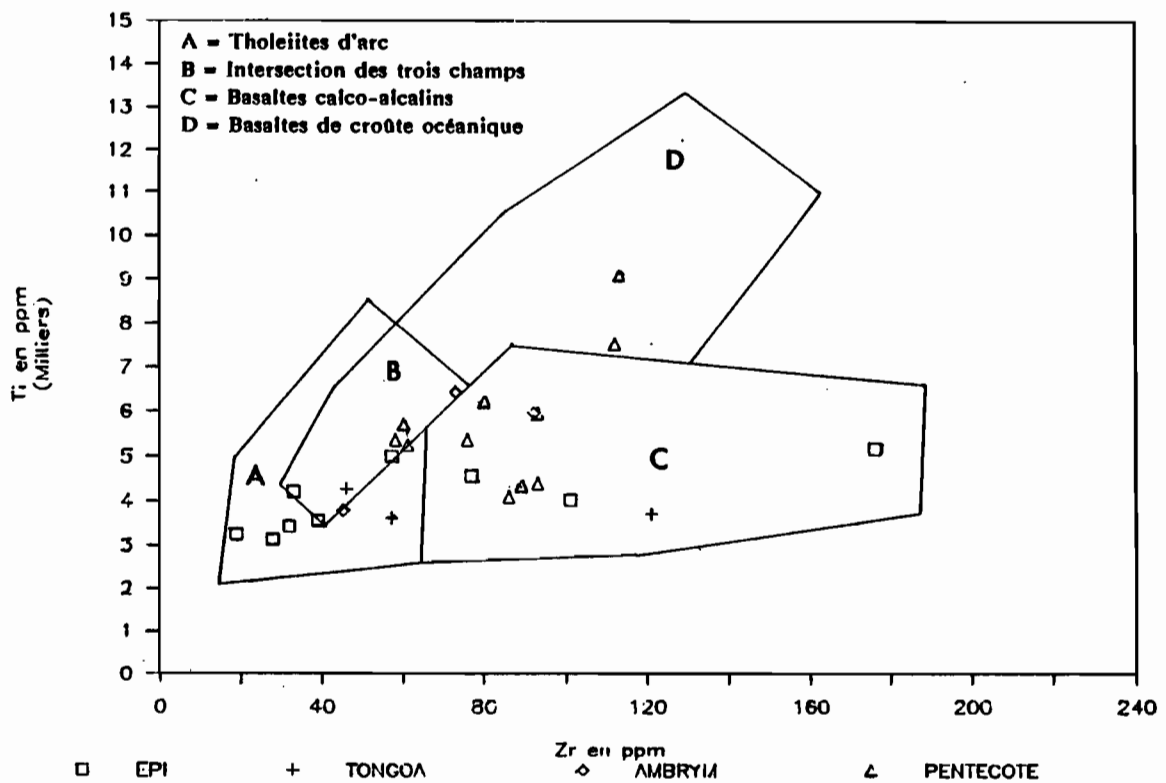


Figure IV-11 : Diagramme Ti/Zr des laves basiques des îles de la chaîne centrale.

*Ti/Zr diagram for basic lavas from the central chain.*

## LAVES DES ILES CENTRALES

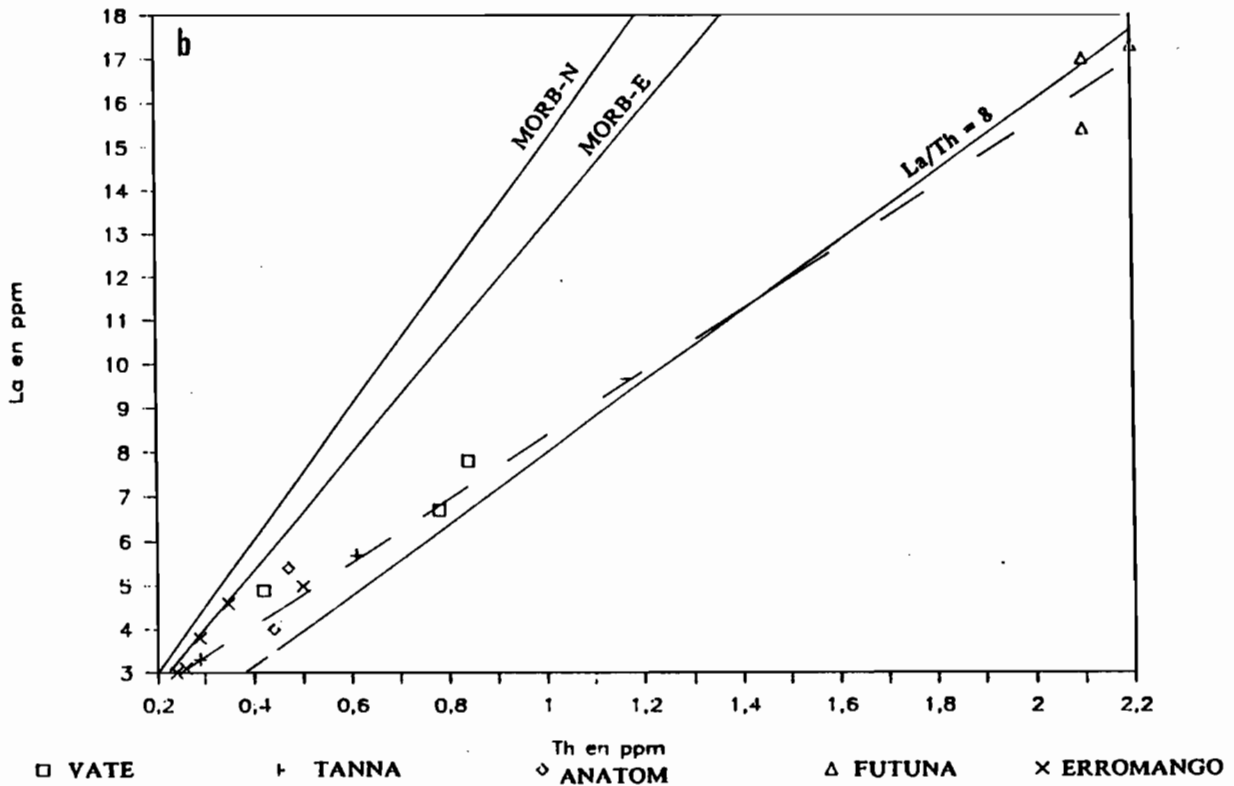
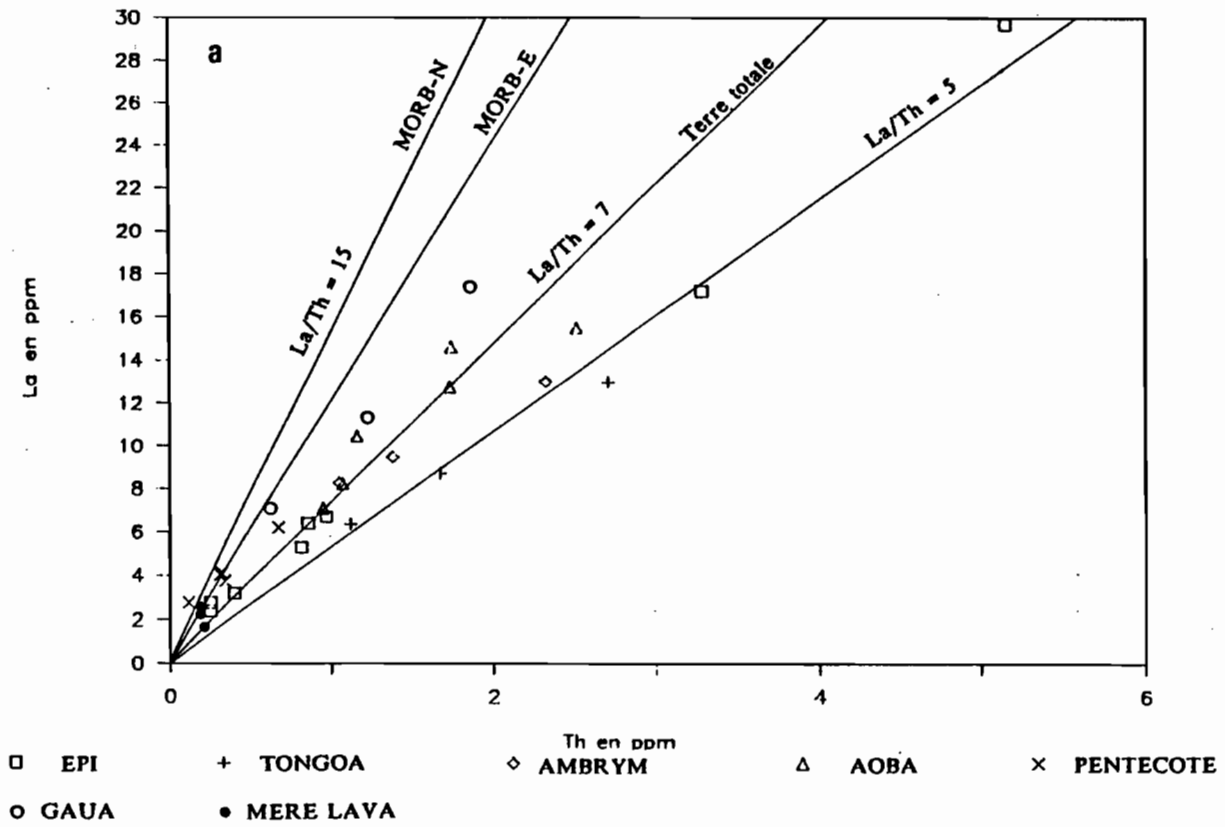


Figure IV-10 : Diagramme La/Th des laves des îles de l'ensemble de la chaîne centrale.

a - Laves des îles nord et centrales.

b - Laves des îles sud.

*La/Th diagram for lavas from the central chain.*

*a - Lavas from central and northern islands.*

*b - Lavas from southern islands.*

### Les diagrammes La/Ba - La/Th - Ta/Th

Les valeurs reportées sont celles de la bibliographie.

\* Dans le diagramme La/Ba (Fig. IV-8), les points représentatifs des laves des îles Banks, des îles centrales et des îles méridionales se placent dans un champ limité par deux demi-droites (rapport Ba/La de 15 et 70). Un fort groupement autour de la droite Ba/La de rapport 30 est observé. Ces valeurs du rapport Ba/La sont typiquement celles de laves orogéniques (Gill, 1981). Par contre, les laves de l'île de Futuna possèdent des rapports voisins de 15 ; cette valeur correspond à la valeur maximale de ce rapport pour les MORB-E.

\* Le rapport Th/Ta est toujours supérieur à 5 (Fig. IV-9), comme dans les laves de contexte orogénique. Les laves de l'île de Futuna montrent également les valeurs les plus faibles de ce rapport.

\* Dans le diagramme La/Th (Fig. IV-10), les laves des îles de la chaîne centrale se placent dans les champs des séries orogéniques peu ou moyennement potassiques, ou parfois à la limite du MORB-E (laves de Pentecôte, Mere Lava et quelques laves d'Epi). Un basalte de Pentecôte se situe dans le champ de MORB-N.

\* Dans le diagramme Ti/Zr les laves de ces îles se situent préférentiellement dans les champs orogéniques (Fig. IV-11).

Les caractéristiques géochimiques de ces laves sont typiques de contexte d'arc insulaire. Selon Dupuy *et al.* (1982), l'origine de ces laves basiques des îles de la zone centrale et de la zone méridionale pourrait découler d'un taux élevé de fusion partielle d'une source comparable à celle de MORB-N, mais enrichie en LLI. Cet enrichissement pourrait provenir de fluides libérés par la plaque océanique subductée. Toutefois cet enrichissement ne semble pas d'intensité comparable pour l'ensemble des laves émises. Il est donc intéressant d'étudier la répartition spatio-temporelle des différents types de laves pour déterminer d'éventuels lieux ou périodes préférentielles d'enrichissement. Ceci fera l'objet du chapitre V.

## III - GEOCHIMIE DES LAVES DRAGUEES DES FOSSES

### A - ELEMENTS MAJEURS

56 analyses ont été réalisées sur les laves des fossés. La gamme de variation de la teneur en SiO<sub>2</sub> est de 45 à 67 % (Tabl. IV-9, vol.2). Le calcul de la norme CIPW (Iddings, 1909) met en évidence le caractère saturé en silice des basaltes de moins de 51 % de SiO<sub>2</sub>. Le caractère de sursaturation apparaît ensuite de plus en plus nettement avec la différenciation (0,75 à 7,5 % de quartz normatif dans les basaltes et andésites basiques, et jusqu'à 20 % dans les dacites). Mais quelques basaltes sont légèrement sous-saturés en silice (0,5 à 2,5 % de néphéline normative) [D7M2, D7M3, D2M1 (zone Vanikoro), D14M2, D14M14 (zone Hazel Holme)]. Ce caractère sous-saturé marqué par de faibles pourcentages de néphéline normative a déjà été signalé pour quelques basaltes des îles de la chaîne centrale. La variation des oxydes en fonction de SiO<sub>2</sub> est reportée dans la figure IV-12 (vol.2).

## B - ELEMENTS EN TRACES

### 1/ Les éléments de transition : V, Ni, Cr, Co

Du fait de leur "compatibilité", ces éléments sont préférentiellement incorporés dans les phases minérales qui cristallisent, particulièrement dans les minéraux ferromagnésiens.

Les variations de ces éléments de transition reflètent généralement celles de MgO et TiO<sub>2</sub> en fonction de SiO<sub>2</sub>. Elles sont présentées en figure IV-13 (vol.2).

### 2/ Les éléments en traces alcalins et alcalino-terreux : Rb, Ba, Sr et Cs

Rb et Ba suivent le comportement du potassium et confirment de ce fait les groupes définis dans le diagramme K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub> (Fig. IV-12-i, vol.2). Les variations de ces éléments en fonction de SiO<sub>2</sub> sont exprimées dans la figure IV-13-f-g-h (vol.2).

Cs a été dosé par activation neutronique. Sa concentration varie entre 0,01 et 2,2 ppm (Tabl. IV-10, vol. 2). Les valeurs les plus faibles, inférieures à 0,1 ppm, ont été définies dans certaines laves des zones Vanikoro et Hazel Holme [D7M2, D2M5-M1, D14M5-M7-14, D15M12]. Les valeurs les plus fréquentes sont comprises entre 0,1 et 0,4 ppm. Quelques valeurs entre 0,4 et 1 ppm caractérisent les andésites basiques des zones Futuna et Vanikoro, le basalte D24M4 (zone Erromango) et la diorite D27M17 (zone Vaté). Enfin on distingue un groupe de teneurs plus élevées (1,3 à 2,2 ppm) [D11M1-M2 (zone Vot Tande), dacites D24M3 (zone Erromango), D26M6 et D27M1 (zone Vaté)]. Cs suit le comportement de K.

Le diagramme Rb/K<sub>2</sub>O (Fig. IV-14) met en évidence une nette discontinuité aux environs de 1 % de K<sub>2</sub>O. La forme générale du diagramme est asymptotique. La distribution des points pour K<sub>2</sub>O < 1 % est linéaire, avec une pente prononcée marquant une augmentation plus rapide de Rb que de K<sub>2</sub>O. Il s'agit de l'ensemble des basaltes [excepté D29M6 de la zone Vaté], des laves acides peu potassiques de la zone Vanikoro et des andésites relativement peu potassiques de la zone Futuna. On peut cependant remarquer quelques divergences dans ce groupe. Les laves de la zone Vaté s'alignent selon une droite parallèle à la direction générale, mais dont l'abscisse est un peu plus élevée, témoignant du caractère potassique plus prononcé de ce groupe. Les laves de la zone Futuna s'alignent selon une droite oblique de pente un peu plus faible, marquant une augmentation moindre de Rb par rapport à K<sub>2</sub>O. Cette tendance est accentuée pour les laves du second ensemble (K<sub>2</sub>O > 1 %) qui montrent une augmentation marquée de K<sub>2</sub>O par rapport à Rb : laves acides des zones de Vaté, Erromango, Hazel Holme et andésites potassiques de la zone Futuna. Les basaltes D11M1 et D11M2 de la zone Vot Tande, ainsi que l'andésite basique D7M4 de la zone Vanikoro, se rattachent également à ce groupe.

Il existe donc un changement net du comportement relatif de Rb par rapport à K<sub>2</sub>O pour les valeurs supérieures à 1 % de K<sub>2</sub>O. En outre, il semble exister plusieurs filiations au niveau de l'ensemble moins potassique.

Les rapports élément/élément montrent des variations significatives :

- Le rapport K/Rb varie entre 400 et 1275 (Tabl. IV-9-10, vol. 2) :

- \* Un premier groupe de basaltes possède des rapports K/Rb > 1000, valeurs classiquement admises pour des MORB (Gill, 1981), [D3M3-M4, D5M4 (zone Vanikoro) ; D27M12, D31M2 (zone Vaté)].
- \* Un second groupe est constitué par les laves basiques dont le rapport K/Rb varie entre 500 et 850, valeurs typiques de tholéites d'arc insulaire (Jakes et White, 1970, 1972). Ce groupe peut être subdivisé en deux sous-ensembles : l'un correspond aux rapports K/Rb < 700 [D5M1, D6M1, D3M1 (zone Vanikoro) ; D10M1-M2, D12M1 (zone Vot Tande) ; D14M2-M14, D15M6 (zone Hazel Holme) ; D19M1, D20M4, D21M1, D17M3, D20M1-M3-M6 (zone Futuna) ; D22M1, D25M2, D24M4 (zone Erromango)] ; l'autre sous-ensemble comprend les laves de rapport K/Rb variant entre 700 et 850 [D2M1-M5, D5M5 (zone Vanikoro) ; D14M1 (zone Hazel Holme) ; D16M1 (zone Futuna) ; D24M6 (zone Erromango) ; D29M6, D31M1, D30M1-M2 (zone Vaté)]
- \* Le troisième groupe correspond aux laves dont le rapport K/Rb est inférieur à 500, comme dans les laves calco-alcalines [D7M2-M3 (zone Vanikoro) ; D11M1-M2 (zone Vot Tande) ; D14M5 (zone Hazel Holme) ; D21M7 (zone Futuna)]. Pourtant l'appartenance de ces basaltes (sauf D11M1-M2) à une série calco-alcaline est à exclure en raison de leurs faibles teneurs en  $K_2O$  (0,09 à 0,32 %). On peut éventuellement envisager un important lessivage de cet élément dans le cas de D14M5 qui présente une altération importante ( $H_2O^+$  : 3,81 %). Par contre cette hypothèse ne peut s'appliquer aux basaltes D7M2-M3 à perte au feu négative.

Toutefois la précision de la mesure du rubidium et du potassium et plus probablement la méthode d'analyse apportent une contrainte à la signification de ces rapports. En effet, on observe pour les très faibles valeurs de Rb des variations considérables du rapport K/Rb selon la valeur considérée de Rb, mesurée par absorption atomique ou mesurée par activation neutronique. Ainsi, les basaltes D2M5 et D14M1 donnent respectivement dans le premier cas (A.A) un rapport de 778 et 722 pour Rb de 3 ppm et dans le second cas (A.N) un rapport de 1167 et 1275 pour Rb de 2 et 1,7 ppm. L'interprétation de ces rapports demeure donc très délicate, dans le cas de laves pauvres en  $K_2O$  et en Rb.

- La valeur du rapport K/Ba permet également de mettre en évidence plusieurs groupes qui ne recouvrent pas exactement les groupes limités en considérant le seul rapport K/Rb :

- \* Un groupe de basaltes montre des rapports K/Ba > 90, comparables à ceux des MORB [D7M2, zone Vanikoro) ; D14M5 (zone Hazel Holme) ; D27M12 (zone Vaté)].
- \* Un groupe de laves possède des rapports K/Ba de 40 à 75, semblables à ceux de tholéites d'arc (la majorité des laves des zones Vanikoro, Vot Tande, Erromango et Futuna, les dacites très potassiques de la zone Vaté, D15M6-M12 de la zone Hazel Holme).
- \* Un groupe de laves présente des rapports K/Ba inférieurs à 40, typiques de laves calco-alcalines [D3M4-M3, D5M4, D7M3 (zone Vanikoro) ; D14M1-M2-M14 (zone Hazel Holme) ; D24M6-M4, D25M2 (zone Erromango) ; la majorité des laves de la zone Vaté]. Mais le problème de la faible teneur en  $K_2O$ , dans certains cas (0,09 à 0,41 %), incompatible avec une nature calco-alcaline, se pose à nouveau. Ceci est peut-être dû en partie à une perte de  $K_2O$  qui diminue artificiellement le rapport K/Ba. Mais de tels rapports ont déjà été observés dans certaines séries orogéniques de la Martinique par exemple (Escalant, 1988).

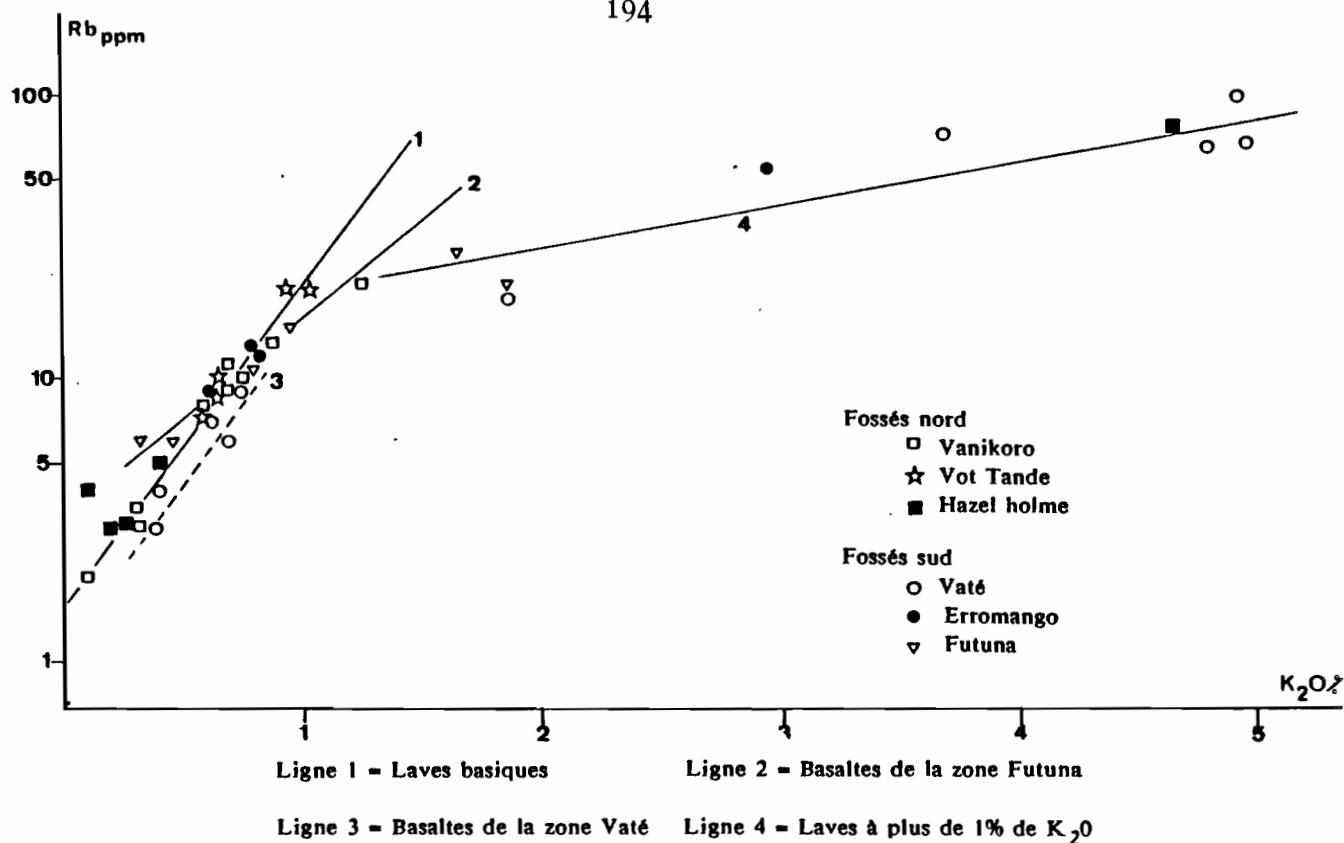


Figure IV-14 : Diagramme Rb/K<sub>2</sub>O des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*Rb/K<sub>2</sub>O diagram for New Hebrides troughs lavas.*

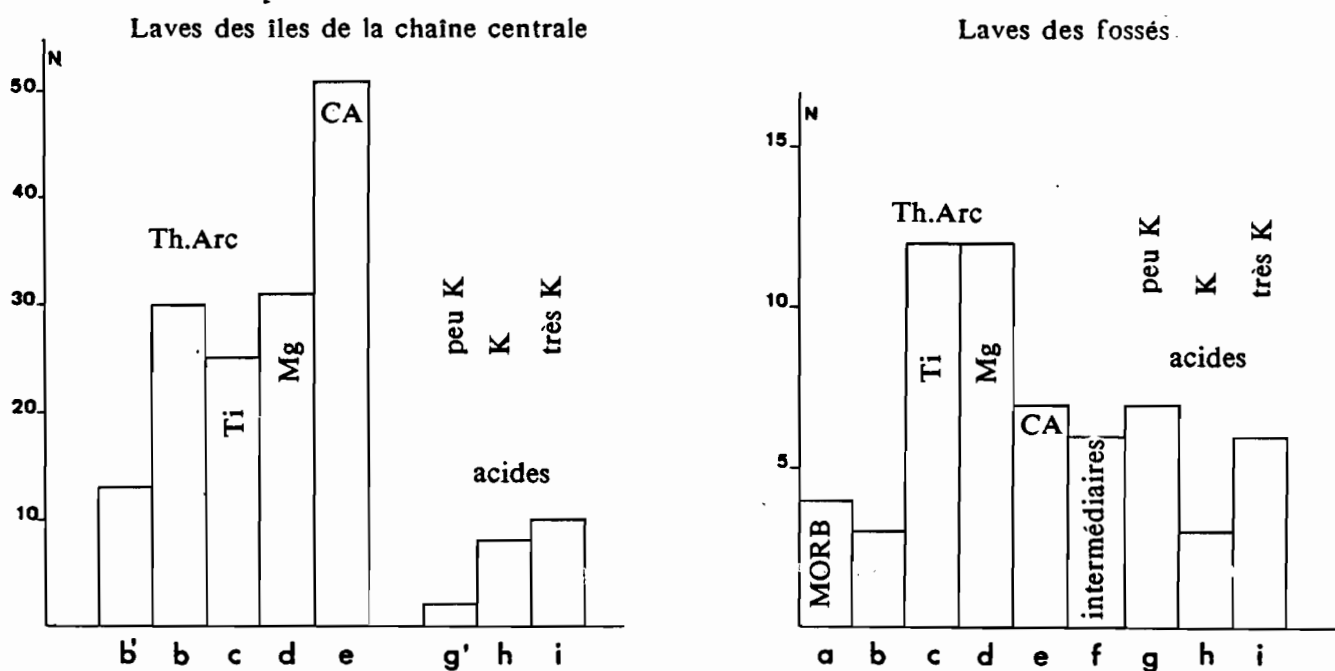


Figure IV-15 : Histogramme de fréquence des types géochimiques de laves présents dans les îles et dans les fossés de l'arc des Nouvelles Hébrides.  
*Histogram of geochemical types of lavas from islands and troughs of the New Hebrides island arc.*

- Le rapport Rb/Sr permet aussi de distinguer trois ensembles principaux :

- \* Quelques basaltes présentent un rapport très faible,  $< 0,012$  [D7M2-M3, D3M4, D5M4 (zone Vanikoro) ; D31M2 (zone Vaté)]. La valeur établie pour les MORB est voisine de 0,008.
- \* La majorité des laves basiques montre en rapport Rb/Sr compris entre 0,014 et 0,040, valeurs des tholéites d'arc (Jakes et Gill, 1970). On séparera tout de même un groupe dont le rapport est inférieur à 0,02 [D2M1-M5, D5M5-M1, D3M3 (zone Vanikoro) ; D14M1-M2-M14 (zone Hazel Holme) ; D20M4 (zone Futuna) ; D25M2 (zone Erromango) ; D31M1 (zone Vaté)] d'un groupe de rapport compris entre 0,02 à 0,04 [D6M1 (zone Vanikoro) ; D10M1-M2, D12M1 (zone Vot Tande) ; D14M5, D15M6 (zone Hazel Holme) ; D27M12, D29M6 (zone Vaté) ; D22M1, D24M4-M6 (zone Erromango) ; D19M1, D21M7-M1, D20M1-M6 (zone Futuna)].
- \* Un dernier ensemble se caractérise par des valeurs plus élevées de ce rapport ( $> 0,04$ ) typiques de séries calco-alkalines [D7M4 (zone Vanikoro) ; D11M1-M2 (zone Vot Tande) ; D30M1-M2 (zone Vaté) ; D16M1, D17M3, D20M3 (zone Futuna)].

A nouveau, les analyses par A.N nuancent cette classification en abaissant de quelques centièmes les rapports précédents. Ainsi, les échantillons D2M5, D14M1-M2-M5-M14 se trouvent dans le groupe présentant des rapports Rb/Sr inférieurs à 0,012.

Dans le diagramme (Ba/Sr)/Ba (Fig. IV-16), on peut mettre en évidence l'existence de deux lignées, au niveau des laves basiques (Fig. IV-16-b) : un groupe possède un rapport Ba/Sr plus faible que la plupart des laves basiques [D19M1, D21M1, D16M1, D17M3 (zone Futuna) ; D22M1, D24M6, D25M2 (zone Erromango)]; un second groupe rassemble la majorité des laves basiques, avec un rapport Ba/Sr plus élevé.

Les laves acides se divisent également en deux grandes familles (Fig. IV-16-a) correspondant aux deux groupes peu potassiques (zone Vanikoro) et potassiques ou très potassiques (autres zones). Ces familles montrent respectivement des rapports Ba/Sr et des teneurs en Ba faibles, des rapports Ba/Sr et teneurs en Ba supérieurs.

#### C - CLASSIFICATION DES LAVES (Tabl. IV-11 et Fig. IV-15)

Une première classification des laves des fossés peut être établie en tenant compte de ces données.

Les premiers éléments discriminants pris en compte sont  $K_2O$  et les éléments en traces associés Rb, Ba ainsi que Sr. On considère en outre les teneurs en  $TiO_2$ , d'une part, MgO, Cr-Ni, d'autre part (Monjaret *et al.*, 1987). Les laves correspondant à chacun des types sont notées dans le tableau IV-11.

##### 1. Les laves basiques : basaltes et andésites basiques ( $46\% < SiO_2 < 56\%$ ).

- \* Le premier groupe (basaltes de type a), peu représenté, correspond aux basaltes les moins potassiques ( $K_2O$  : 0,09 à 0,26 % - Rb : 2 à 3 ppm - Ba : 10 à 70 ppm - Sr : 150 à 180

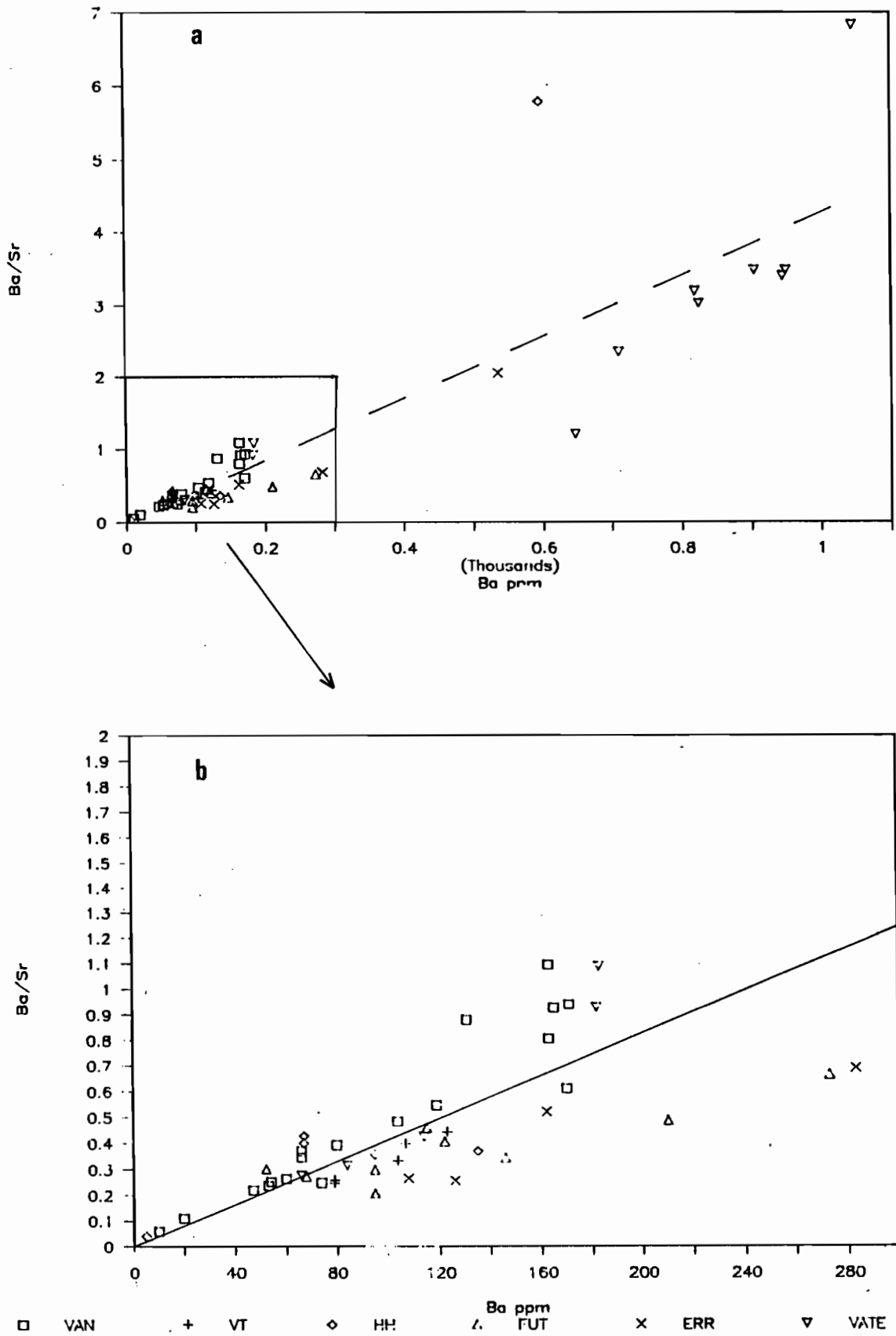


Figure IV-16 : Diagramme (Ba/Sr)/Ba des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

a - Ensemble des laves des fossés.

b - Ensemble des laves basiques et laves acides hypopotassiques.

(Ba/Sr)/Ba diagram for New Hebrides troughs lavas.

a - All troughs lavas.

b - All basic lavas and hypopotassic acid lavas.

ppm), moyennement riches en  $\text{TiO}_2$  (1,25 à 1,55 %) et  $\text{MgO}$  (7,25 à 9 %), Cr (230-300 ppm), Ni (130-190 ppm). Ces basaltes subaphyriques sont proches de MORB, relativement alumineux ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 15 à 17,6 %), peut-être de type enrichi (MORB-E) en ce qui concerne D14M1 et D14M2 (Hazel Holme). Les microlites de clinopyroxènes montrent une affinité de basalte océanique (voir chapitre III).

\* Le second groupe (laves basiques de types b, c, d et c + d) rassemble la majorité des laves basiques des fossés, à teneur moyenne en  $\text{K}_2\text{O}$  (0,5 à 0,9 %), Rb (6 à 12 ppm), Ba (65 à 300 ppm), Sr (200 à 500 ppm). Il s'agit de tholéites d'arc (IAT = Island Arc tholeites) que l'on subdivise en trois ensembles sur la base des teneurs en  $\text{TiO}_2$  et  $\text{MgO}$ . Ces ensembles correspondent à :

- des tholéites d'arc de type "normal" b, caractérisées par des teneurs modérées en  $\text{TiO}_2$  (< 0,85 %) et  $\text{MgO}$  (< 7 %), Cr (< 100 ppm), Ni (< 40 ppm) ;
- des tholéites d'arc enrichies en  $\text{TiO}_2$  (0,85 à 1,25 %). Elles sont qualifiées de type c ;
- des tholéites d'arc enrichies en  $\text{MgO}$  (7 à 11 %) et/ou Cr (200 à 350 ppm) et Ni (65 à 275 ppm). Il s'agit du type d.

Le basalte D19M1 (zone Futuna) montre un enrichissement en  $\text{MgO}$ -Cr-Ni couplé à un enrichissement en  $\text{TiO}_2$  (c + d).

\* Le troisième groupe (laves basiques de type e) est constitué par des laves basiques plus riches en  $\text{K}_2\text{O}$  (0,95 à 1,9 %), Rb (19 à 30 ppm), Ba (100 à 650 ppm), Sr (250 à 550 ppm), souvent individualisées au niveau du comportement de Rb vis-à-vis de  $\text{K}_2\text{O}$  et des rapports Rb/Sr. Il s'agit de laves calco-alcalines qui peuvent, comme les tholéites d'arc de type c et d, être enrichies en  $\text{TiO}_2$  (jusqu'à 1,5 %) ou en  $\text{MgO}$  (jusqu'à 10,5 %), Cr (jusqu'à 340 ppm), Ni (jusqu'à 145 ppm). L'ensemble de ces laves calco-alcalines est regroupé sous le type e ( $\pm$  c + d, c'est-à-dire  $\pm$  enrichies en  $\text{TiO}_2$  et/ou  $\text{MgO}$ , Cr, Ni).

\* Un dernier groupe de basaltes, de type f, présente des caractères intermédiaires entre ceux des MORB (a) et des IAT (b, c, d) :  $\text{K}_2\text{O}$  (0,15 à 0,35 %), Rb (1 à 4 ppm), Ba (45 à 70 ppm), Sr (170 à 230 ppm),  $\text{TiO}_2$  (0,75 à 1,25 %),  $\text{MgO}$  (7 à 8,5 %), Cr (130 à 330 ppm), Ni (40 à 100 ppm). Ces basaltes très peu porphyriques proviennent uniquement de la zone Vanikoro. L'analyse des clinopyroxènes de ces basaltes a révélé un caractère intermédiaire entre une affinité océanique une affinité tholéitique d'arc. Ces basaltes sont comparables aux basaltes d'arrière-arc (B.B.A.A = Basaltes de Bassin Arrière-Arc) par ces caractères intermédiaires. Le type b' défini pour les laves des îles correspond à des basaltes légèrement plus riches en alcalins que ce type f et souvent moins riches en  $\text{TiO}_2$ .

Enfin, deux basaltes de la zone Hazel Holme sont difficiles à classer : D14M14 se rapproche des MORB de type a, mais est particulièrement enrichi en  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb, Ba et Sr, et D14M5 se rapproche des MORB de type a par ses teneurs faibles en alcalins ( $\text{K}_2\text{O}$  : 0,1 % - Rb : 4 ppm - Ba : 5 ppm - Sr : 123 ppm) mais il est également pauvre en  $\text{MgO}$  (6,08 %), Cr (46 ppm) et Ni (28 ppm).

On remarque que les laves basiques des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides présentent souvent des teneurs élevées de  $\text{TiO}_2$  et/ou en  $\text{MgO}$ -Cr-Ni, par rapport au type tholéitique d'arc. Ces teneurs plus élevées que la moyenne sont moins fréquentes dans les laves de la chaîne centrale, dont par ailleurs les laves des fossés sont très proches. On notera cependant

| Zone                 |                |                             |                           |                                      |                                    |                       |                             |                            |  | LAVES ACIDES                             |                  |                                      |
|----------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|--|--|------------------|--------------------------------------|
|                      | Type           | Tholéïtes d'arc             |                           |                                      |                                    | Laves calco-alcalines |                             |                            | Intermédiaires                               | P.I.A.                                   |                  |                                      |
|                      | MORB<br>a      | "normales"<br>b             | enrichies<br>en TiO2<br>c | enrichies<br>en MgO<br>d             | enrichies en<br>TiO2 et MgO<br>c+d | "normales"<br>e       | enrichies<br>en TiO2<br>e+c | enrichies<br>en MgO<br>e+d | entre MORB et<br>Thol. arc<br>f              | Hypopotassiques<br>g                     | Potassiques<br>h | Tres potassiques<br>i                |
| VANIKORO             | D7M2-D7M3      |                             | D6M1                      |                                      |                                    |                       | D7M4                        |                            | D2M1-D2M5-D3M4<br>D5M1-D5M4-D5M5<br>+/- D3M3 | D1M1-D1M3-D1M5<br>D1M8-D1M9<br>D3M1-D3M2 |                  |                                      |
| FOSSÉS<br>DU<br>NORD | VOT TANDE      |                             | D10M1-D10M2               | D12M1                                |                                    |                       | D11M1-D11M2                 |                            |  |  |                  | D15M12                               |
|                      | HAZEL<br>HOLME | D14M1-D14M2<br>D14M5-D14M14 | D15M6                     |                                      |                                    |                       |                             |                            |  |  |                  |                                      |
| FOSSÉS<br>DU<br>SUD  | VATE           |                             |                           | D27M12<br>D30M1-D30M2<br>D31M1-D31M2 |                                    |                       |                             | D29M6                      |  |  | D26M6-D26M7      | D27M17<br>D27M1-D27M4<br>D28M1-D29M3 |
|                      | ERROMANGO      | D24M6                       | D25M2                     | D22M1-D24M4                          |                                    |                       |                             |                            |  |  | D24M3            |                                      |
|                      | FUTUNA         | D20M4                       | D20M1-D20M3<br>D20M6      | D21M7                                | D19M1                              | D16M1-D17M3           |                             | D21M1                      |  |  |                  |                                      |

Tableau IV-11 : Tableau récapitulatif des types géochimiques des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

*Recapitulated table for geochemical types of lavas from New Hebrides troughs.*

l'apparition de deux types de laves inconnues dans les îles : type a (MORB) et type f (intermédiaire). De plus, la proportion de laves calco-alcalines par rapport aux laves tholéitiques d'arc est moindre dans les fossés (Fig. IV-15).

## 2. Les laves acides

Elles peuvent être divisées en trois groupes principaux :

\* Les andésites et les dacites hypopotassiques de type g ( $K_2O$  : 0,7 à 0,95 % - Rb : 7 à 13 ppm - Ba : 100 à 170 ppm - Sr : 150 à 220 ppm), relativement riches en  $TiO_2$  (0,75 à 1,8 %) proviennent uniquement de la zone Vanikoro.

\* Les dacites potassiques de type h contiennent entre 2,95 et 3,7 % de  $K_2O$  pour des teneurs en Rb de 50 à 70 ppm, en Ba de 530 à 950 ppm et en Sr de 260 à 280 ppm.  $TiO_2$  est peu élevé (0,55 à 0,65 %).

\* Les laves acides très potassiques, de type i, sont caractérisées par des teneurs très élevées en  $K_2O$  (4,6 à 6,25 %), Rb (65 à 115 ppm), Ba (600 à 1050 ppm), Sr (100 à 300 ppm) et de faibles teneurs en  $TiO_2$  (0,4 à 0,8 %)

Les types h et i présentent en fait des caractères calco-alcalins potassiques et très potassiques.

Par rapport aux laves acides des îles, le type g est nouveau et s'apparente aux A.I.P (séries d'Arc Insulaire Primitif, PIA définies par Donelly). Le type g' défini pour les îles est en fait légèrement enrichi en K, Rb, Ba et Sr par rapport au type g, mais dans une moindre mesure que le type h.

D - APPORTS DES DONNEES DE TERRES RARES ET AUTRES ELEMENTS EN TRACES : Zr, Ta, Hf, Th, U

### 1. Les terres rares

Les spectres de terres rares présentés (Fig. IV-17) sont représentatifs de l'ensemble des spectres obtenus pour les laves des fossés. Les valeurs de normalisation aux chondrites sont celles de Bougault (1980) (Tabl.IV-8, vol.2).

### Les laves basiques

On distingue quatre types principaux de spectres :

1/ Spectre légèrement appauvri en terres rares légères (TRI) - Quatre basaltes montrent ce type de spectre, avec des valeurs variables de La et Yb, qui restent cependant dans la gamme de variations observées pour les MORB-N (normal) ou T (transitionnel) (Sun *et al.*, 1979). Ces spectres diffèrent toutefois de ceux des MORB typiques par une anomalie positive en Eu (Fig. IV-17). Ces basaltes appartiennent à plusieurs types définis précédemment: D7M2 (Vanikoro) de type a (MORB), D5M5 (Vanikoro) de type f

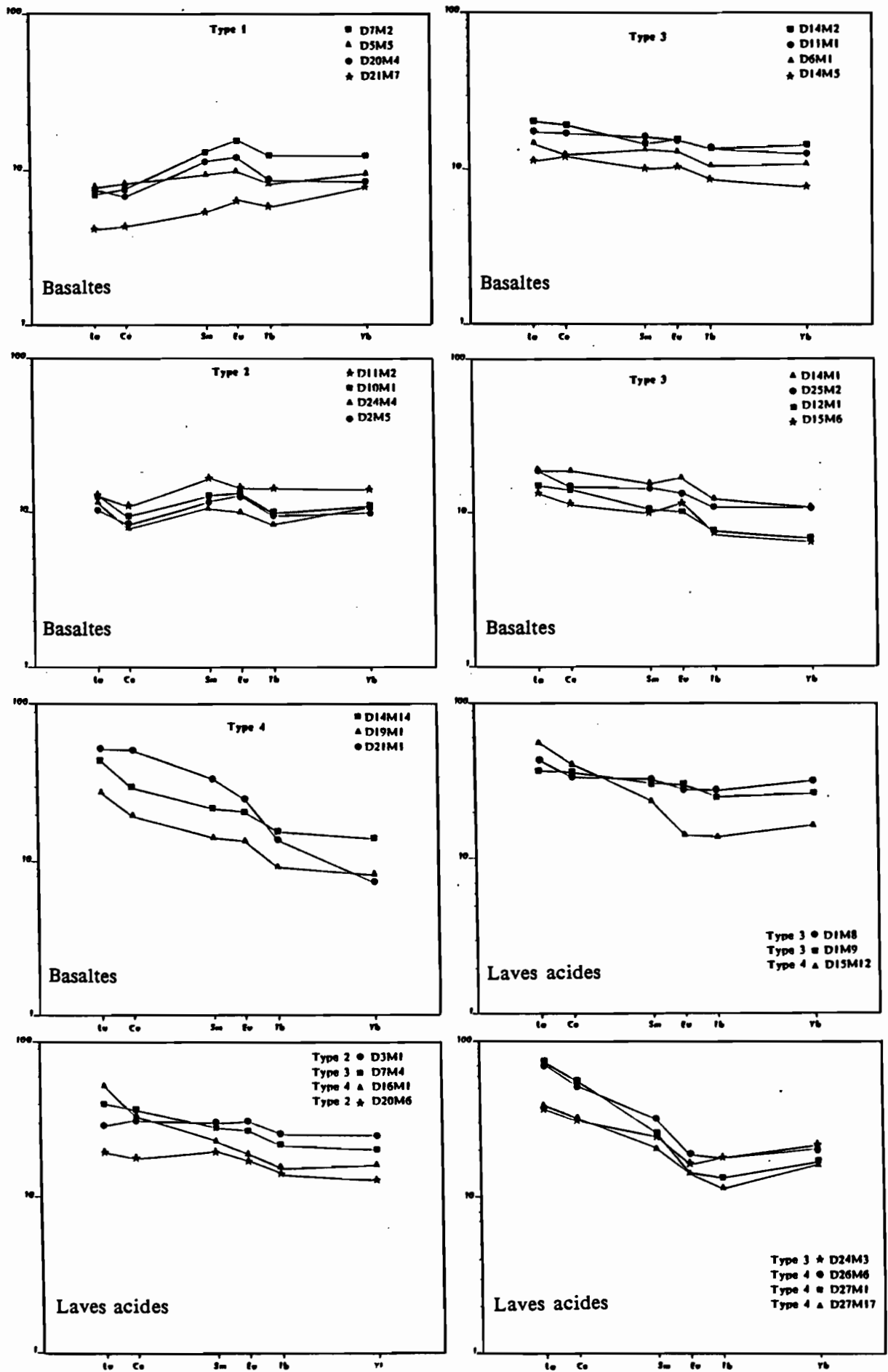


Figure IV-17 : Spectres des terres rares normalisées aux chondrites (valeurs de Bougault,1980) des laves des fossés.  
*Chondrite-normalized REE spectra for lavas from troughs lavas.*

intermédiaire, D20M4 et D21M7 (Futuna) sont de type b et d (Mg-Th.arc). Mais toutes ces laves sont caractérisées par des teneurs en alcalins très faibles.

- 2/ Spectre plat - Des basaltes avec un rapport  $(La/Yb)_N$  voisin de 1, ou  $La/Yb$  variant de 1,5 à 2, avec des valeurs de  $La_N$  variant entre 10 et 13, ont un spectre de terres rares plat, mais avec des anomalies négative en Ce et légèrement positive en Eu (Fig. IV-17). Cette forme de spectre, également décrite pour certains basaltes des îles de l'arc (Epi24, E46 ; Dupuy *et al.*, 1982) caractérise des basaltes de type f intermédiaire [D2M1-M5 (Vanikoro)], de type c (Th.arc-Ti) [D10M1-M2 (Vot Tande)] ou de type d (Th.arc-Mg) [D24M4 (Erromango)].
- 3/ Spectre légèrement enrichi en TR1 - Ces spectres caractérisent la majorité des basaltes des fossés et sont également typiques de nombreuses laves de l'arc des Nouvelles-Hébrides. Ils sont aussi reconnus dans certains MORB-T (Sun *et al.*, 1979). La gamme de variation du rapport  $(La/Yb)_N$  est de 1,25 à 2,2 (ou de 2 à 3,3 pour  $La/Yb$ ), pour des valeurs de  $La_N$  modérées ( $< 20$ ) (Fig. IV-17). On trouve dans ce groupe des laves de type a (MORB) [D14M1-M2 (Hazel Holme)] qui semblent donc plutôt de type MORB-T ou E, des laves de type b (Th.arc) [D15M6, Hazel Holme], de type c (Th.arc-Ti) [D6M1 (Vanikoro), D25M2 (Erromango)], de type d (Th.arc-Mg) [D12M1, Vot Tande] ou de type e (CA) [D11M1, Vot Tande].
- 4/ Spectre nettement enrichi en TR1 - Cette forme de spectre correspond à trois basaltes dont le rapport  $(La/Yb)_N$  varie entre 3 et 6,5 (ou  $La/Yb = 5$  à 11). Elle est toutefois différente. Le spectre de D14M14 (Hazel Holme), basalte de type a (MORB), évoque une tendance alcaline (Fig. IV-17). Celui de D19M1, basalte de type c + d (Th.arc-Ti-Mg) de la zone Futuna est assez semblable à ceux des laves les plus enrichies de l'arc (du type de l'île de Futuna). Le spectre du basalte D21M1, de type e + d (CA-Mg), de la même zone, montre une concavité marquée vers le haut, ce qui pourrait témoigner d'un phénomène de cumulation de ferromagnésien important, déjà évoqué dans le chapitre III.

Dans l'ensemble, les spectres de terres rares des laves basiques des fossés ressemblent à ceux des laves des îles de la chaîne centrale. Cependant, le type 1/, légèrement appauvri en TR1, ne se trouve que dans les fossés. A l'inverse, il existe un type intermédiaire pour les laves des îles ( $La/Yb = 3,5$  à  $5,3$ ) entre les types 3/ et 4/ des laves des fossés. On constate qu'une forme de spectre ne correspond pas exclusivement à un type géochimique de laves défini dans la classification précédente. Ce caractère non discriminant des Terres Rares est déjà connu (Cabanis, 1986), des spectres de forme comparable pouvant être obtenus pour des laves de contexte géodynamique différent, .

### Les laves acides

Les spectres de terres rares des andésites et des dacites peuvent être divisés en deux familles principales :

- 1/ La première, caractérisée par des spectres relativement plats ( $La/Yb = 1,9$  à  $2,3$ ), regroupe les andésites et les dacites de type g de la zone Vanikoro (Fig. IV-17), avec des teneurs en  $La_N$  augmentant depuis 30-40 dans les andésites jusqu'à 40-50 dans les dacites, et les andésites D20M3-D20M6 de type c (Ti-Th.arc) de la zone Futuna, moins riches en  $La_N$  (voisin de 18).

2/ La seconde famille est caractérisée par un enrichissement prononcé en TR1 ( $La/Yb = 2,75$  à  $7,2$ ) et correspond aux andésites potassiques D16M1, D17M3 de la zone Futuna et aux dacites potassiques et hyperpotassiques (h et i) des zones Vaté-Erromango et Hazel Holme. Ces spectres sont similaires à ceux des laves acides de l'arc (dacite 715 à Tongoa légèrement plus enrichie cependant).

## Conclusions à l'étude des terres rares

Les points suivants doivent être particulièrement soulignés :

- \* La particularité des laves du fossé de Vanikoro (types f et g) est confortée par les données de TR. En effet, la forme relativement plate des spectres est conservée quelle que soit la teneur en silice de la roche, seules la concentration des TR varie.
  - \* Les basaltes des zones Vot Tande, Hazel Holme et Erromango montrent une certaine homogénéité (spectres légèrement enrichis), excepté D14M14.
  - \* La diversité de forme des spectres des basaltes de la zone Futuna, où coexistent des basaltes appauvris en TR1 et des basaltes très enrichis en TR1, se retrouve mais légèrement atténuée au niveau des andésites de cette zone; elle correspond respectivement au volcanisme tholéitique d'arc et au volcanisme calco-alcalin. Les spectres enrichis, analogues à ceux des laves de l'île de Futuna, sont ceux de laves provenant du flanc est du fossé, en position méridionale par rapport à l'île; le basalte D21M1 provenant du fond du fossé (Fig. I-17) fait exception à cette localisation groupée.
- Il est regrettable de ne pas disposer des analyses de TR en cours sur les laves basiques de la zone Vaté. Les spectres de terres rares à eux seuls ne peuvent être considérés comme discriminants des contextes géodynamiques, des formes comparables pouvant correspondre à des laves de contextes variés. Par contre, le parallélisme des spectres peut être l'indice d'une même source pour des laves d'acidité variable (Cabanis, 1986) (zone Vanikoro).

## 2. Eléments hygromagmaphiles [Ta, Th, Hf, U, P et les terres rares légères]

Les teneurs en *tantale* (Ta) sont très variables dans les basaltes (0,02 à 0,6 ppm). Ainsi les basaltes [D14-M2 de la zone Hazel Holme) sont aussi riches en Ta que les laves acides les plus potassiques.

La variation des teneurs en *zirconium* (Zr) est également importante : 40 à 215 ppm dans les basaltes et les dacites de la zone Vanikoro. De façon plus générale, ces teneurs évoluent entre 25 et 90 ppm, dans les basaltes, mais peuvent parfois dépasser 100 ppm [D14M2 = 106 ppm ; D14M14 = 140 ppm].

La concentration du *hafnium* (Hf) est comprise entre 1 et 3 ppm dans les basaltes, entre 4 et 6 ppm dans les laves acides.

La concentration en *thorium* (Th) varie entre 0,2 et 1,1 ppm dans les basaltes, sauf dans D14M14 plus riche avec (1,75 ppm). Sa concentration est nettement plus élevée dans les laves acides : entre 1 et 7,5 ppm.

La concentration *en uranium (U)* est comprise entre 0,05 et 0,80 ppm dans les basaltes, et nettement plus élevée dans les laves acides : 0,4 à 2,7 ppm .

On retiendra donc les variations importantes de concentrations de ces éléments au sein d'un même groupe pétrographique (basaltes, andésites et dacites). Représentent-elles la diversité de sources et/ou les modalités de fusion?

*a/ Diagrammes binaires et ternaires des éléments en traces*

Classiquement, les diagrammes La/Ba, La/Th, La/Ta, Ti/Zr, Th-Hf/3-Ta permettent de distinguer des magmas d'affinité orogénique des magmas d'affinité océanique (Wood *et al.*, 1979; Gill, 1981; Cabanis, 1986).

\* La/Ba (Fig. IV-18)

Les rapports calculés Ba/La (Tabl. IV-10, vol. 2) et reportés dans le diagramme La/Ba (Fig. IV-19) peuvent être regroupés en trois grands ensembles :

- Ba/La = 4 à 10 (valeurs de MORB-N) [D7M2 (zone Vanikoro), D14-M2-M5-M7-M14 (zone Hazel Holme), D21M1 (zone Futuna)]. Ces échantillons sont de type a (MORB) ou e + d (CA-Mg) ;
- Ba/La = 11 à 15 (valeurs de MORB-E ou de basaltes intraplaques) [D2M1, D2M5, D3M1, D1M1, D1M8, D1M9 (Vanikoro), D19M1 (Futuna)]. Ces laves sont de type f (intermédiaire) ou g (A.I.P) ou c + d (Th.A-Ti-Mg) ;
- Ba/La > 15, typique de laves orogéniques, pour toutes les autres laves. Dans le diagramme La/Ba, les laves dont le rapport Ba/La est supérieur à 15, se répartissent dans les trois champs définis en fonction de la teneur en potassium; toutefois la majorité des points se place dans le champ des laves "medium-K". Les basaltes D24M4 (Erromango) et D20M4, D21M7 (Futuna) se situent dans le champ "low-k", tandis que les laves acides potassiques des zones Vaté, Erromango, Hazel Holme et l'andésite basique D16M1 de la zone Futuna confirment leur appartenance à la série "high-K".

Rappelons que le rapport Ba/La des laves des îles est systématiquement supérieur à 15 (Fig. IV-8).

\* Le diagramme La/Th (Fig. IV-20) confirme l'appartenance de la majorité des laves des fossés à une série orogénique peu ou moyennement potassique. Il illustre aussi le caractère intermédiaire entre MORB et Th.arc de nombreuses laves dont le rapport La/Th, supérieur à 10, les rattache au groupe des MORB-E (La/Th = 7 à 15). Les dacites peu potassiques du fossé de Vanikoro, dont le rapport La/Th est égal à celui des MORB-E, se distinguent à nouveau très nettement des laves acides très potassiques des autres zones. Ces valeurs du rapport La/Th, typiques de MORB-E sont également observées pour certaines laves des îles, particulièrement de la zone sud (Fig. IV-10-a,b). Selon Gill (1981), les laves de zones arrière-arc montrent une certaine variabilité de la valeur de ce rapport : 3 à 9 pour les laves de la mer de Scotia et jusqu'à 20 pour les Tonga.

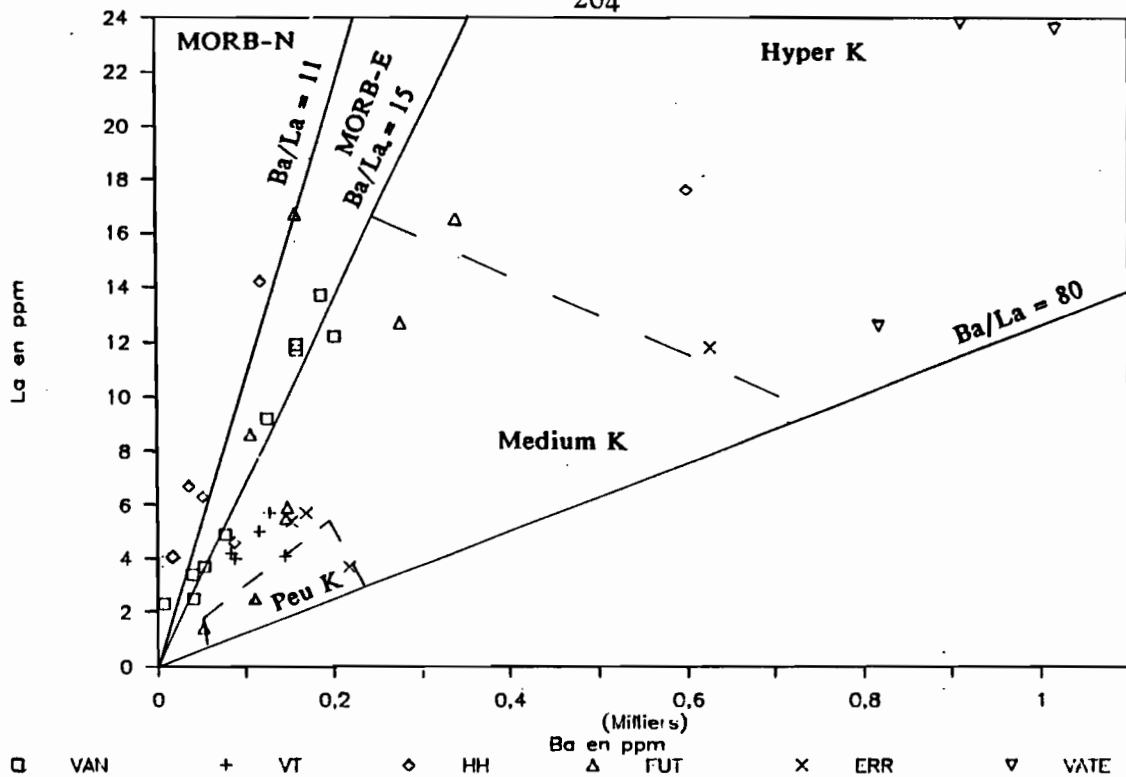


Figure IV-18 : Diagramme La/Ba des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*La/Ba diagram for New Hebrides troughs lavas.*

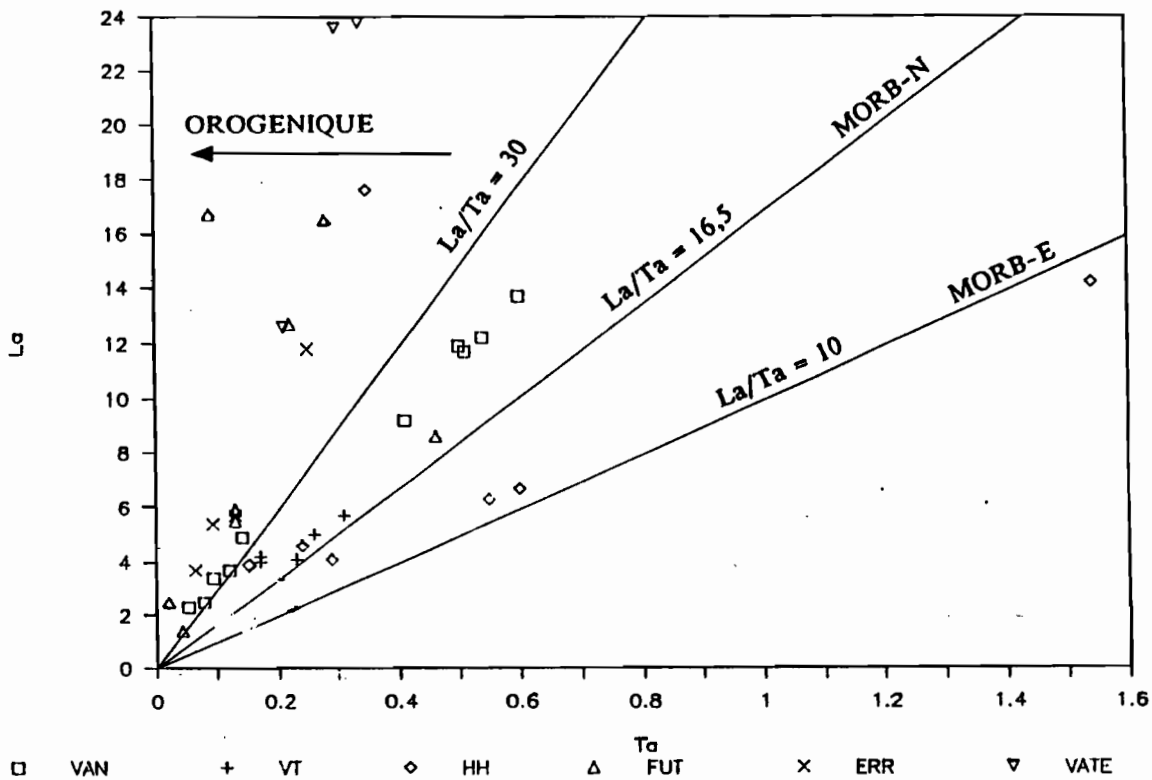


Figure IV-19 : Diagramme La/Ta des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*La/Ta diagram for New Hebrides troughs lavas.*

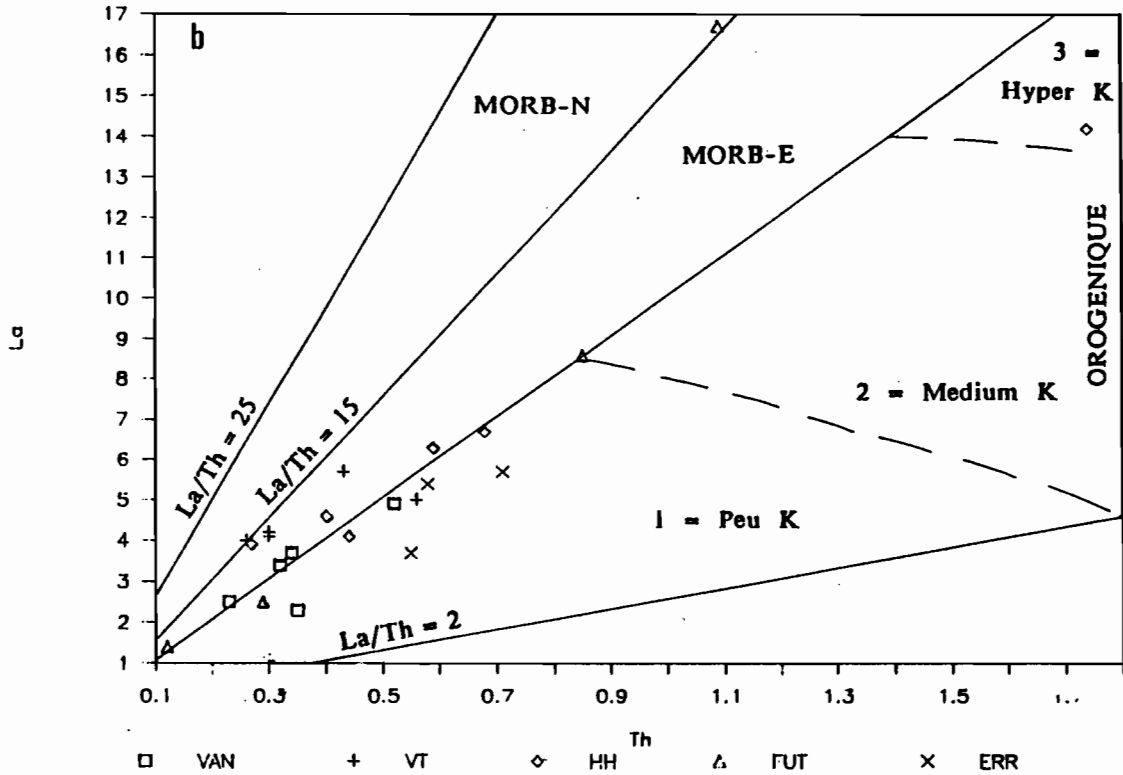
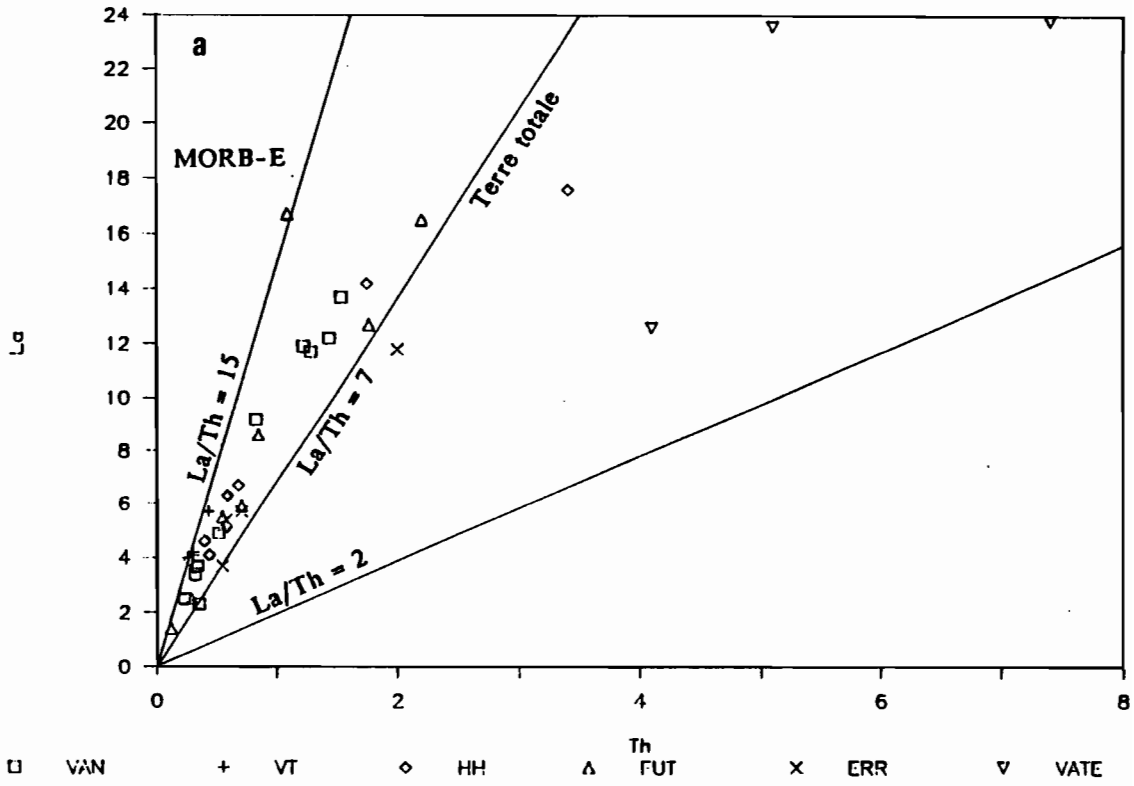


Figure IV-20 : Diagramme La/Th des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.  
 a - Ensemble des laves.  
 b - Basaltes.  
 La/Th diagram for New Hebrides troughs lavas.  
 a - All troughs lavas.  
 b - Basalts.

\* La représentation de La en fonction de Ta (Fig. IV-19) met en évidence quatre groupes de basaltes.

Le rapport La/Ta est voisin de 10 pour les basaltes D14M1-M2-M14 (Hazel Holme) ; cette valeur est celle des MORB-E (Wood *et al.*, 1981), affinité déjà reconnue pour ces basaltes d'après les données de terres rares.

Un groupe de basaltes présente des rapports compris entre 18 et 30, valeurs intermédiaires entre celles des MORB-N (16,5) et des laves orogéniques (> 35) : il s'agit des basaltes de la zone Vot Tande, D15M6 et D14M5 de la zone Hazel Holme, et D19M1 de la zone Futuna.

Les basaltes de la zone Vanikoro (sauf D7M2) et D21M7 de la zone Futuna s'alignent globalement selon une droite La/Ta = 35.

Enfin les autres basaltes des zones Futuna et Erromango ont un rapport supérieur à 60. Les groupes constitués en fonction de ce rapport ne concordent pas, sauf dans le premier cas (MORB-E), avec la classification établie, notamment pour les laves de la zone Vanikoro. La valeur souvent extrêmement faible de Ta, inférieure à 0,15 dans ces dernières, est typique de tholéïtes d'arc et caractérise les laves des fossés arrière-arc des Mariannes (Cabanis, 1986). De telles concentrations de Ta semblent caractéristiques de cumulats par rapport aux concentrations des laves-hôtes (cumulats de la Montagne Pelée; Fichaut, 1986).

\* Le rapport Th/Ta est considéré comme le meilleur marqueur des contextes géodynamiques (Joron et Treuil, 1977 ; Cabanis, 1986). Les variations de ce rapport sont liées à la composition minéralogique du solide initial. L'explication de ce rapport se trouve dans un fractionnement différentiel du Th et du Ta en présence de minéraux hydroxylés (amphibole-biotite) stables dans de telles conditions de fusion (Treuil *et al.*; 1979). Ces minéraux possèdent des coefficients de partage plus élevés pour Ta que pour Th (Villemant *et al.*, 1980).

Ce rapport Th/Ta est compris entre 1 et 5 pour les laves des fossés nord des Nouvelles-Hébrides (Fig. IV-21), c'est-à-dire entre la valeur des MORB (voisin de 1) (Tabl. IV-10 vol. 2) et celle des laves orogéniques (> 5). Les laves des îles ont, elles, un rapport Th/Ta toujours supérieur à 5, typiquement orogénique.

Cette dispersion de valeurs à caractère intermédiaire se retrouve pour les laves des bassins arrière-arc des Mariannes (Wood *et al.*, 1982 ; Cabanis, 1986). Ces valeurs intermédiaires (1 à 5) pourraient s'expliquer de deux façons (Cabanis, 1986). La première est la présence d'une source mantellique plus ou moins hydratée ou métasomatisée sous l'influence de la plaque plongeante; ceci est concevable si les fossés s'ouvrent au dessus du plan de Bénéioff. La seconde correspond à un effet de source dû à une transformation mantellique sous l'influence d'une subduction antérieure, la fusion du manteau encore partiellement hydraté conduisant à des rapports intermédiaires.

Ces deux hypothèses sont envisageables dans le cas présent. Toutefois, la première hypothèse nous semble plus probable en raison de la localisation, dans les seuls fossés du Nord, des laves présentant ces valeurs intermédiaires. Ces fossés situés quasiment dans le prolongement des îles Banks, se placent au dessus du plan de Bénéioff et l'activité y est plus récente que dans les fossés du Sud (cf chapitres 2 et 5).

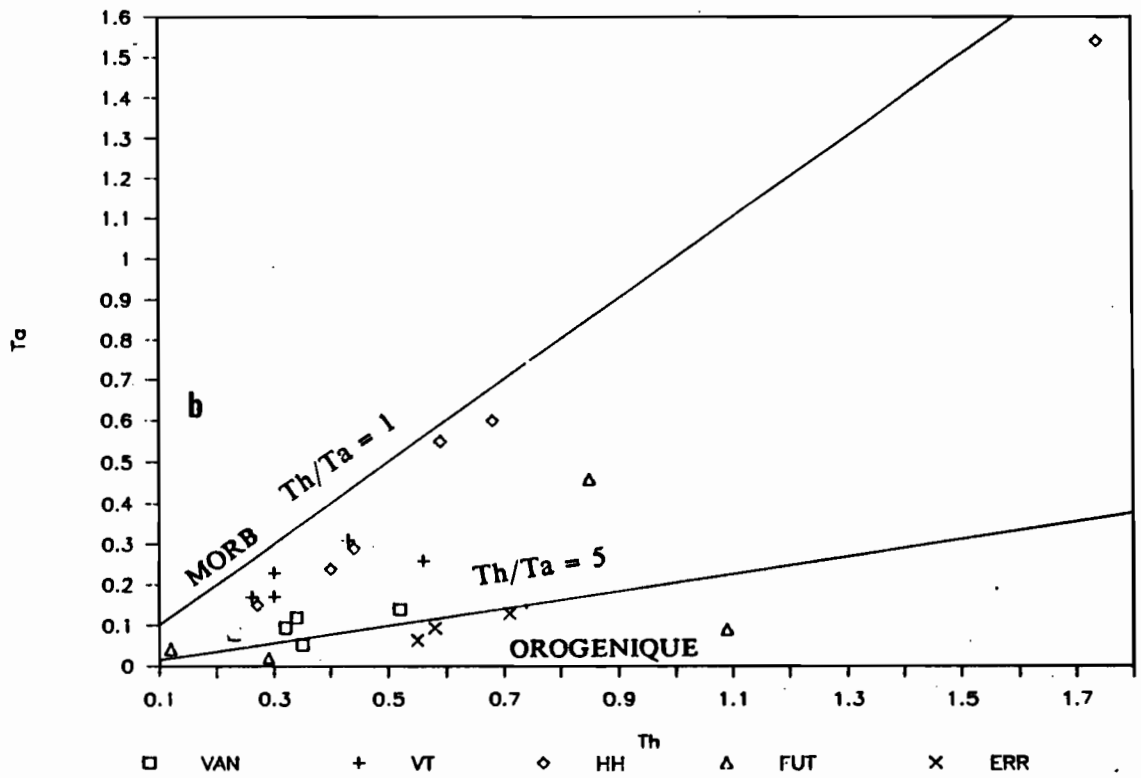
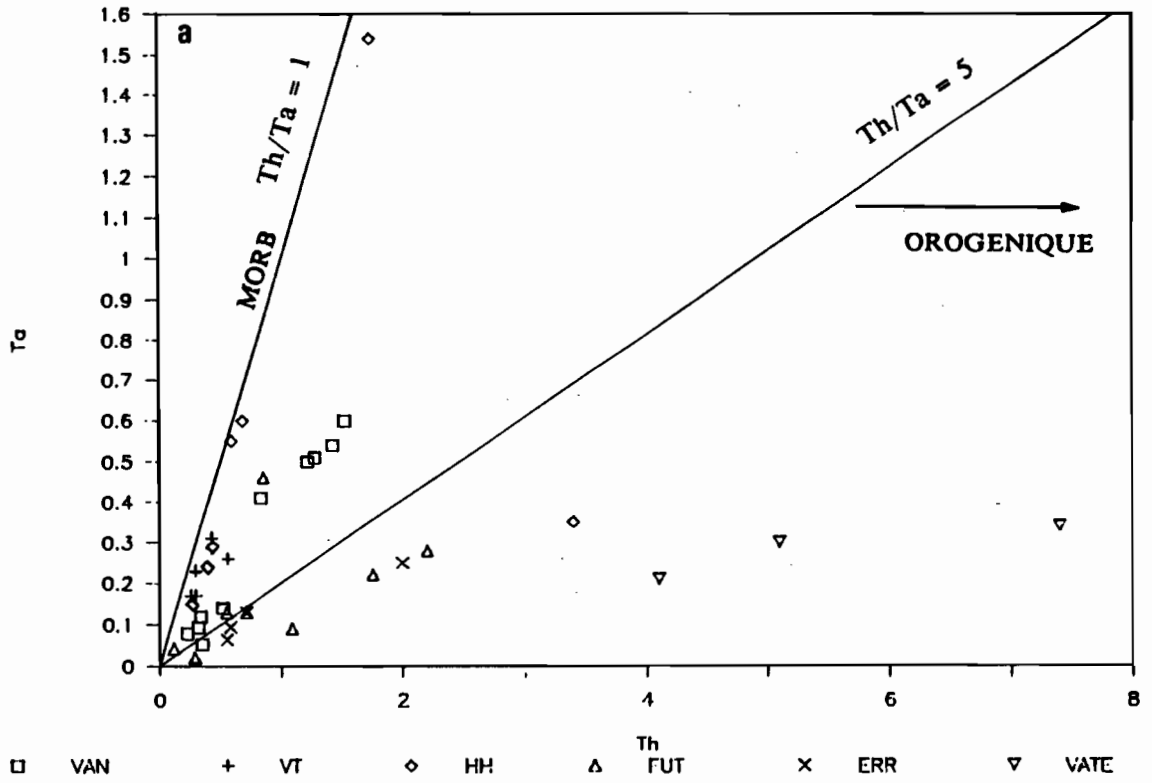


Figure IV-21 : Diagramme Ta/Th des laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

a - Ensemble des laves.

b - Basaltes.

*Ta/Th diagram for New Hebrides troughs lavas.*

*a - All troughs lavas.*

*b - Basalts.*

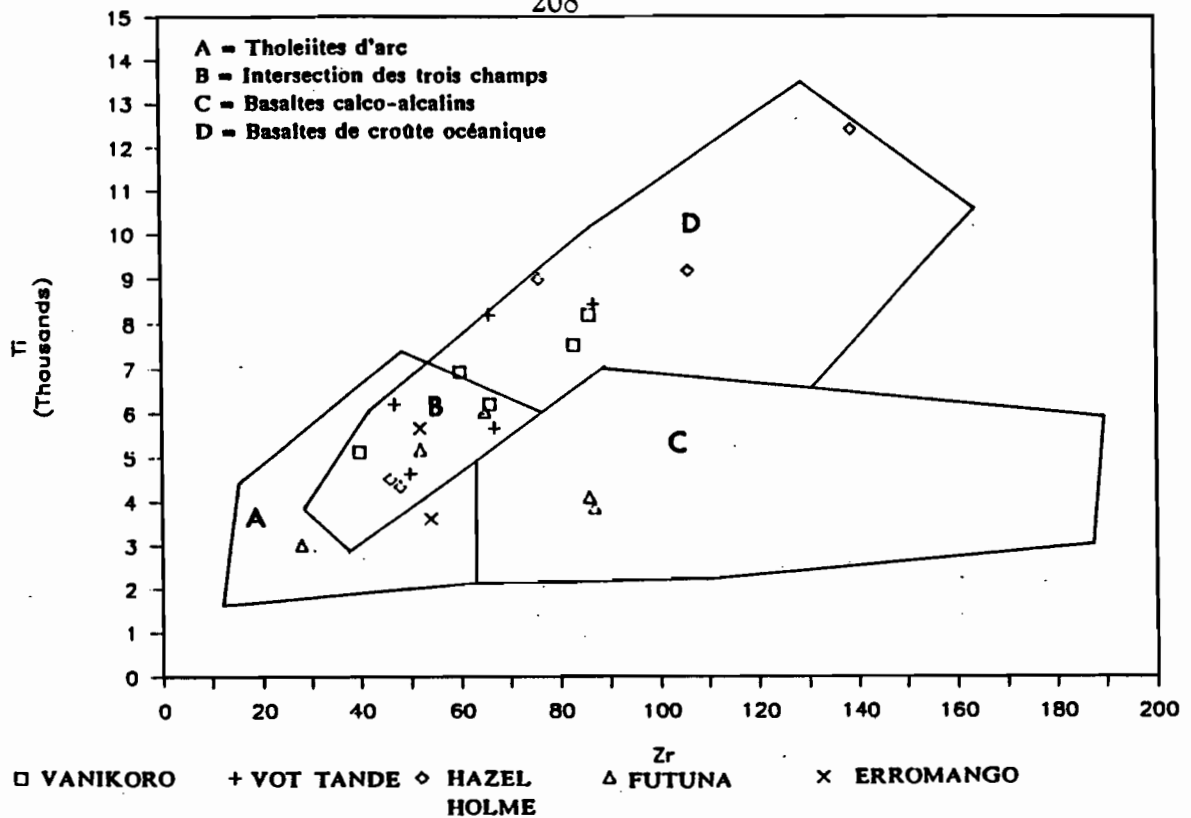


Figure IV-22 : Diagramme Ti/Zr des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*Ti/Zr diagram for New Hebrides troughs basic lavas.*

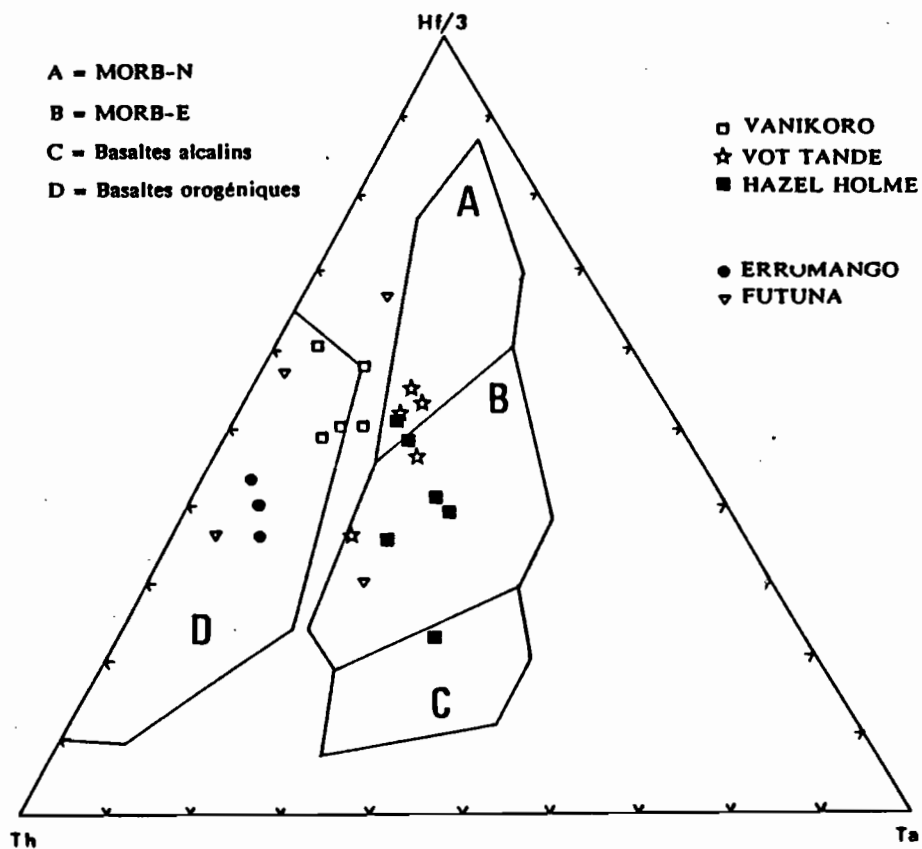


Figure IV-23 : Diagramme Th-(Hf/3)-Ta des basaltes des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*Th-(Hf/3)-Ta diagram for New Hebrides troughs basalts.*

Tous les basaltes de la zone Erromango, D7M2 (un basalte de la zone Vanikoro), D20M4 et D21M1 (zone Futuna) montrent un rapport Th/Ta supérieur à 5, typiquement orogénique. Suivant cette approche, le basalte D7M2 demeure problématique puisqu'il présente par ailleurs des caractères de MORB sur plusieurs critères : type a, rapport Ba/La, spectre de TR appauvri.

\* La position des basaltes dans le diagramme Ti/Zr (Pearce et Cann, 1973) (Fig. IV-22) s'accorde avec les types définis dans le paragraphe C, avec une importante proportion de basaltes dans le domaine d'intersection des champs océanique et orogénique. Ce diagramme reflète surtout le comportement de Ti dont la teneur est relativement élevée dans l'ensemble des basaltes des fossés des Nouvelles-Hébrides.

\* Le diagramme Th-Hf/3-Ta (Fig. IV-23) (Wood *et al.*, 1979 ; Wood *et al.*, 1980) donne une répartition des laves en groupes comparables à ceux reconnus à partir du diagramme La/Ta (Fig. IV-19). Le basalte D14M14 (zone Hazel Holme) montre bien une affinité alcaline. Le pouvoir discriminant de ce diagramme semble donc limité du moins dans sa configuration actuelle, pour les laves étudiées.

Les autres basaltes D14 se rattachent au groupe des MORB-E. Une partie des basaltes se trouve dans le champ orogénique (zone Erromango, D20M4, D21M1 de la zone Futuna, D6M1 et D2M5 de la zone Vanikoro). Mais d'autres basaltes orogéniques (zone Vot Tande) se situent dans le champ des MORB-N ou E et d'autres se placent entre les champs des MORB et ceux des laves orogéniques.

#### *b/ Les diagrammes de terres rares "élargis"*

Les diagrammes de terres rares "élargis" normés aux chondrites (Bougault, 1980) montrent des formes comparables à celles des spectres de terres rares. Le caractère "enrichi en TRI" est accentué en raison des valeurs élevées de Th. Ces spectres sont marqués par des anomalies négatives en Ta et Ce ou positives en Th et Ti (Fig. IV-24).

*L'anomalie négative en Ta* est générale et le plus souvent bien marquée, à l'exception de D14M14 où elle n'existe pas, ce qui confère au spectre une allure alcaline. Cette anomalie est classiquement reconnue dans les magmas orogéniques.

*Une anomalie négative en Th* a été définie pour les basaltes dont le rapport  $(Th/La)_N$  est inférieur à 1 ; il s'agit exclusivement des laves issues de petits reliefs en fond des fossés de Vot Tande et Futuna [D10M1-M2, D11M1-M2, D21M1-M7].

*L'anomalie négative en Ce* est parfois observée, comme pour les laves des îles.

*L'anomalie positive en Ti* semble caractériser les basaltes considérés précédemment de tendance océanique (type a) ou intermédiaire (f), tandis que les laves orogéniques sont marquées par *une anomalie négative en Ti*, témoignant de la cristallisation importante de titanomagnétites et souvent associée à *une anomalie positive en Eu*.

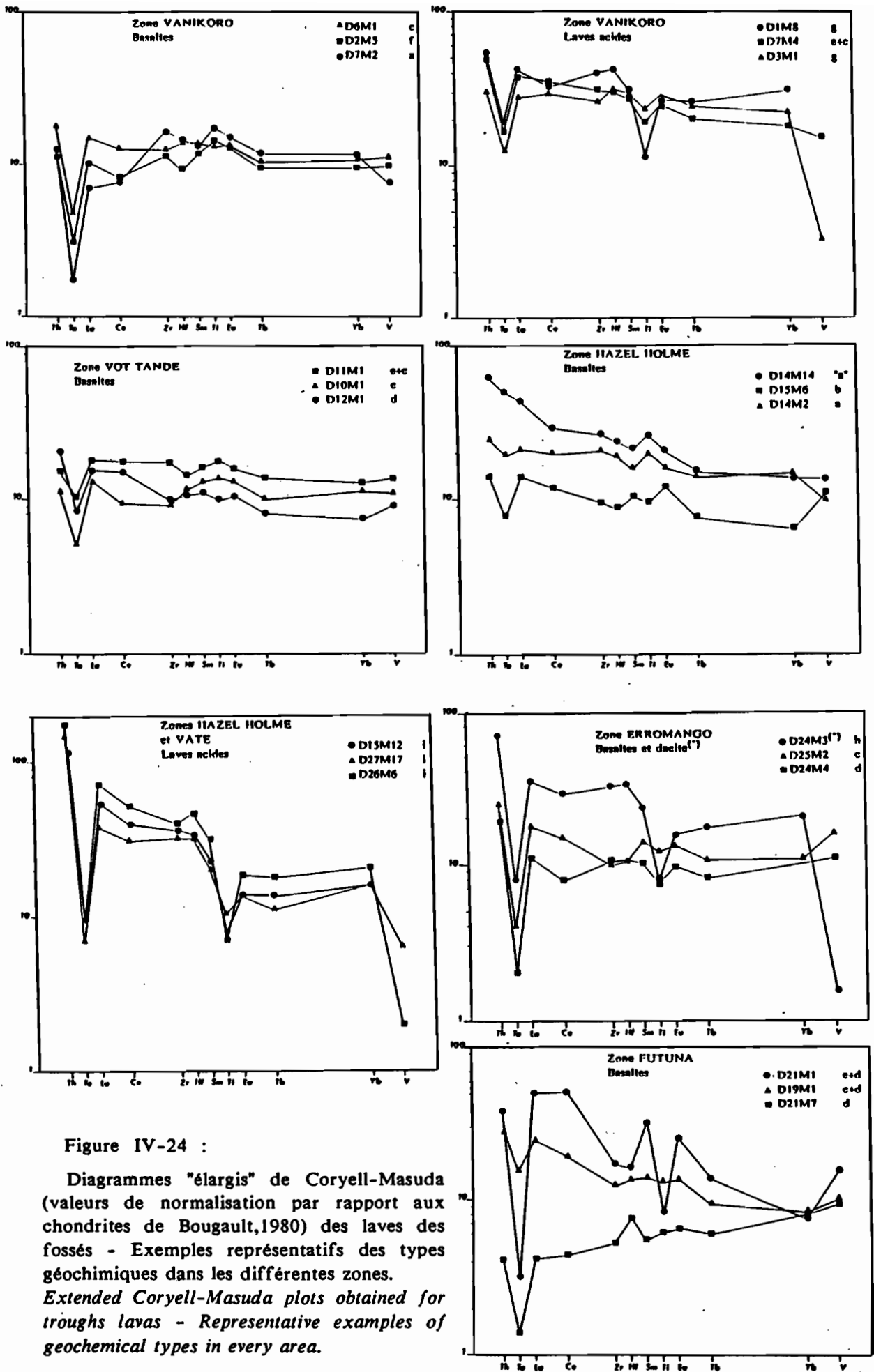


Figure IV-24 :

Diagrammes "élargis" de Coryell-Masuda (valeurs de normalisation par rapport aux chondrites de Bougault, 1980) des laves des fossés - Exemples représentatifs des types géochimiques dans les différentes zones. *Extended Coryell-Masuda plots obtained for troughs lavas - Representative examples of geochemical types in every area.*

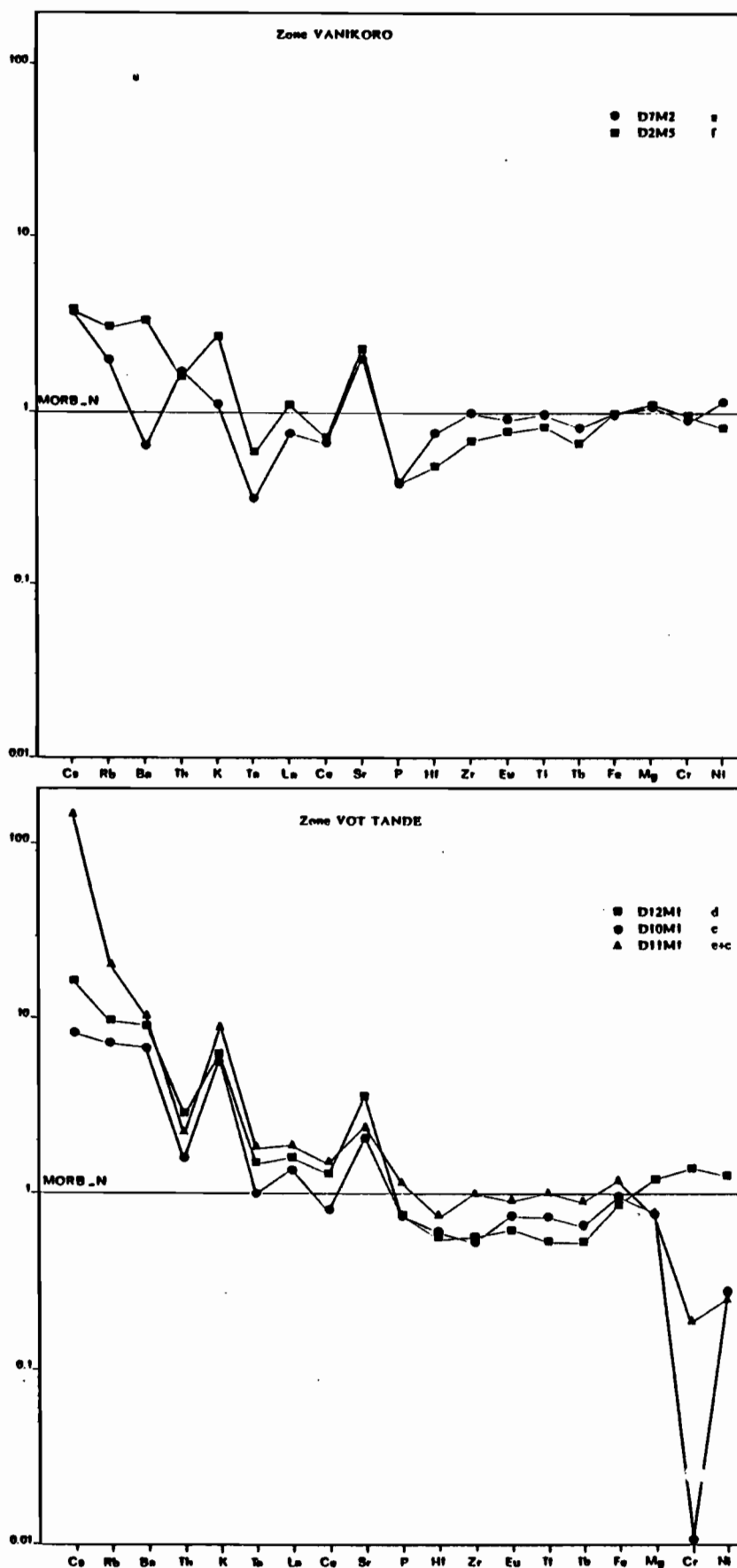


Figure IV-25 : Diagrammes des éléments hygromagmaphiles (+ Fe Mg Cr et Ni) normalisés au MORB (valeurs de normalisation de Saunders et Tarney, 1979) des basaltes des fossés - Exemples représentatifs des types géochimiques.  
*Basalts of New Hebrides troughs normalized against fresh N-MORB - Representative examples of geochemical types.*

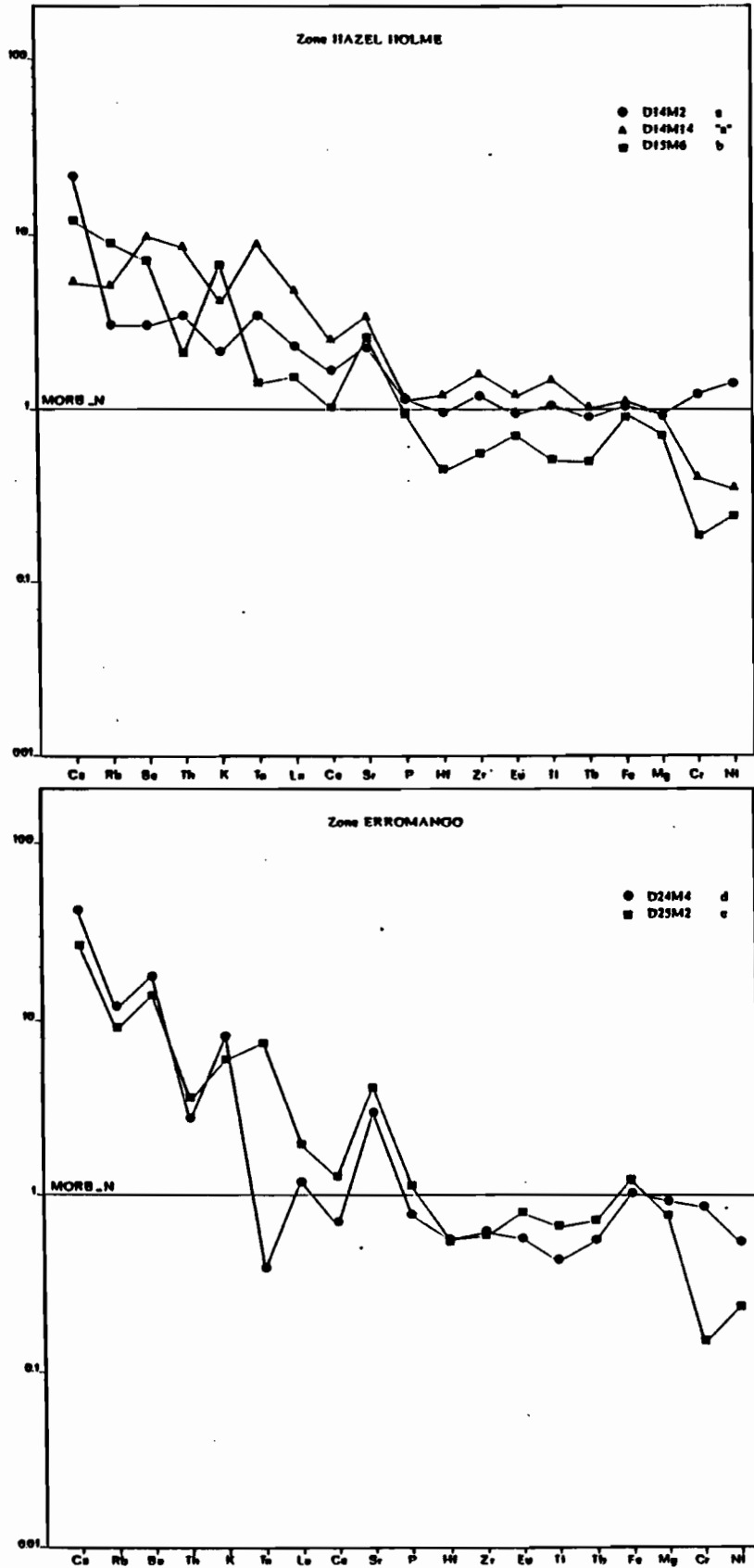


Figure IV-25 suite

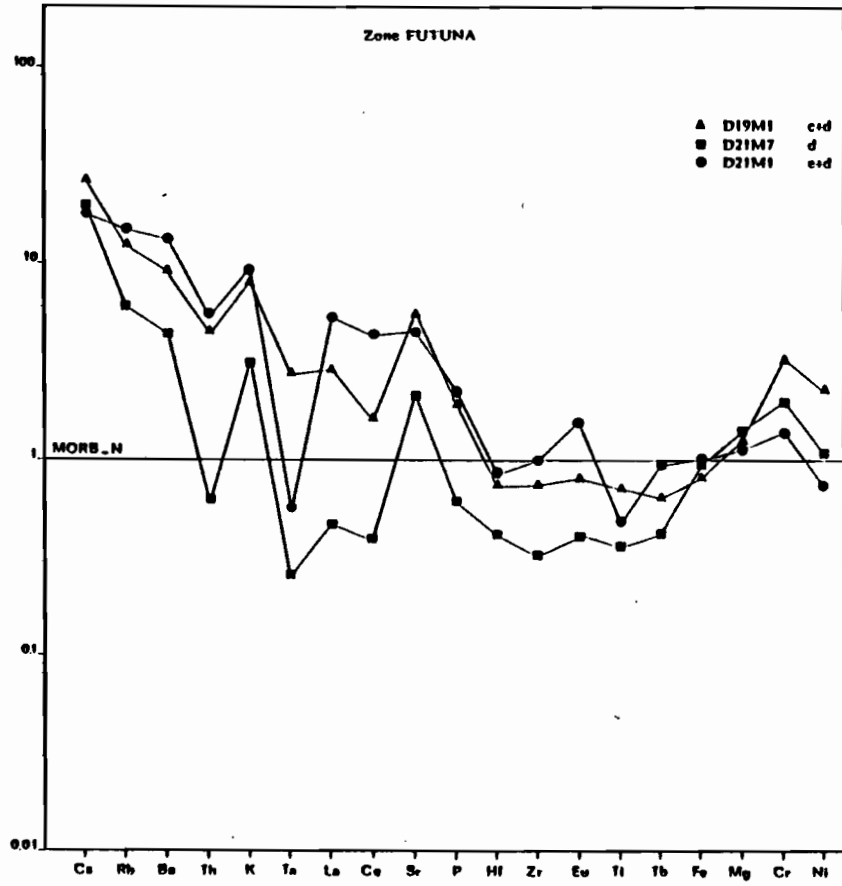


Figure IV-25 suite

Certaines de ces anomalies semblent spécifiques des laves de la zone arrière-arc des Nouvelles-Hébrides, car elles n'existent pas pour les laves de l'arc : anomalies négatives en Th et positives en Ti. Par contre l'anomalie négative en Ta est générale (arc et arrière-arc) sauf pour D14M14 (Hazel Holme). Cette anomalie, considérée comme typique des magmas orogéniques, est aussi reconnue dans certains MORB de type appauvri et fréquemment dans les tholéites arrière-arc (Saunders et Tarney, 1984). Elle reflète un caractère initial de la source (Bougault, 1980 ; Bougault *et al.*, 1985 ; Briquieu *et al.*, 1984).

Dans les diagrammes des éléments hygromagmaphiles normalisés par rapport aux MORB (Tarney *et al.*, 1981) (Fig. IV-25), les basaltes de l'arrière-arc des Nouvelles-Hébrides montrent un enrichissement quasi-général en LLI (= K, Rb, Ba, Th) par rapport aux IHC (= Ta, Nb, Zr, Hf, Ti, P), caractère reconnu dans de nombreux BBAA, mais non pas exclusif (Saunders et Tarney, 1984).

### 3. Conclusion à l'étude des éléments en traces

#### *a/ Confrontation des résultats avec les types géochimiques préalablement définis* (Tabl. IV-12)

Les conclusions déduites de l'analyse des terres rares et des éléments hygromagmaphiles corroborent en général les résultats de l'étude géochimique antérieure, basée sur les éléments majeurs, les éléments de transition et les éléments alcalins et alcalino-terreux. Des exceptions demeurent toutefois (Tabl. IV-12). Ainsi des spectres de TR semblables se rapportent à des laves de types géochimiques différents : les spectres appauvris en TR1 (1) sont observés pour les MORB (a), des laves Th.A(b-d) ou des basaltes intermédiaires (f) ; les spectres plats (2) illustrent des basaltes intermédiaires (f) ou Th.arc (c et d) ; les spectres légèrement enrichis en TR1 (3) caractérisent des basaltes de type MORB-E (a), Th.arc (b, c, d), C.A. (e) et des laves acides A.I.P (g) ; les spectres très enrichis en TR1 (4) se rencontrent pour des basaltes MORB-E (a), des laves Th.arc (c + d) ou CA (e, h, i).

Le rapport Ba/La reflète assez bien, quant à lui, les groupes définis précédemment, les basaltes intermédiaires (f) montrant des rapports de type MORB-E ou juste à la limite des valeurs des laves orogéniques (> 15). Les teneurs en Ti et Zr sont également en assez bon accord avec ces types, mais, pour la majorité des basaltes, ne permettent pas de trancher entre les affinités de MORB, de tholéite d'arc peu potassique ou de basalte calco-alcalin.

Ces deux types de représentation (La/Ba et Ti/Zr) mettent en évidence le caractère particulier, intermédiaire, de certaines laves des fossés, non observé dans les laves des îles : valeurs de Ba/La entre 4 et 10 ou entre 11 et 15 et position dans les champs des MORB ou à l'intersection de tous les champs dans le diagramme Ti/Zr.

De plus, on constate dans un certain nombre de cas des contradictions avec les types géochimiques (a à i) définis sur la base des éléments majeurs, des éléments de transition, alcalins et alcalino-terreux. Le rapport La/Ta, s'il confirme bien une affinité de croûte océanique de la plupart des basaltes de la zone Hazel Holme, indique une nature typiquement orogénique pour les basaltes de la zone Vanikoro. Or, ces derniers sont essentiellement de type a (MORB) et f (intermédiaire). Un problème un peu différent est illustré par le rapport La/Th, qui confère bien aux basaltes intermédiaires de type f de la zone Vanikoro un caractère intermédiaire entre MORB-E et tholéites d'arc peu potassiques, mais place les

| Zone                  | Ech.   | Type  | La/Yb spectre | Ba/La     | La/Th     | La/Ta     | Th/Ta    | Ti/Zr   | Th/(Hf/3)/Ta |              |
|-----------------------|--------|-------|---------------|-----------|-----------|-----------|----------|---------|--------------|--------------|
| VANIKORO              | D7M2   | B a   | 0,95          | 1         | MORB-N    | Th.arc PK | Orog.    | Orog.   | MORB         | Th.arc       |
|                       | D2M1   | B f   | 1,55          | 2         | MORB-E    | Interm.   | Orog.    | Interm. | MORB         | Interm.      |
|                       | D2M5   | B f   | 1,75          | 2         | MORB-E    | Interm.   | Orog.    | Interm. | ind.         | Th.arc       |
|                       | D5M5   | B f   | 1,30          | 1         | MORB-E    | Interm.   | Orog.    | Interm. | ind.         | Interm.      |
|                       | D6M1   | B c   | 2,10          | 3         | Th.arc MK | Th.arc PK | Orog.    | Interm. | ind.         | Th.arc       |
|                       | D7M4   | A e+c | 3,30          | 3         | Th.arc MK |           | Interm.  | Interm. |              |              |
|                       | D3M1   | A g   | 1,95          | 2         | (MORB-E)  |           | Interm.  | Interm. |              |              |
|                       | D1M1   | A g   | 2,25          | 3         | (MORB-E)  |           | Interm.  | Interm. |              |              |
|                       | D1M9   | D g   | 2,25          | 3         | (MORB-E)  |           | Interm.  | Interm. |              |              |
|                       | D1M8   | D g   | 2,20          | 3         | (MORB-E)  |           | Interm.  | Interm. |              |              |
| FOSESSE<br>DU<br>NORD | D11M1  | B e+c | 2,30          | 3         | Th.arc MK | Interm.   | Interm.  | Interm. | MORB         | MORB-E       |
|                       | D10M1  | B c   | 1,90          | 2         | Th.arc MK | Interm.   | Interm.  | Interm. | ind.         | MORB-N       |
|                       | D10M2  | B c   | 1,80          | 2         | Th.arc MK | MORB-E    | Interm.  | Interm. | ind.         | MORB-N       |
|                       | D12M1  | B d   | 3,35          | 3         | Th.arc MK | Th.arc PK | Interm.  | Interm. | ind.         | MORB-E       |
|                       | D11M2  | B e+c | 1,45          | 2         | Th.arc MK | Th.arc PK | Interm.  | Interm. | MORB         | MORB-N       |
| HAZEL HOLME           | D14M2  | B a   | 2,30          | 3         | MORB-N    | Interm.   | MORB-N/E | MORB    | MORB         | MORB-E       |
|                       | D14M1  | B a   | 2,85          | 3         | MORB-N    | Interm.   | MORB-N/E | MORB    | MORB         | MORB-E       |
|                       | D14M14 | B "a" | 5,10          | 4         | MORB-N    | Th.arc MK | MORB-E   | MORB    | MORB         | Intrapl.     |
|                       | D15M6  | B b   | 3,55          | 3         | Th.arc MK | Interm.   | Interm.  | Interm. | ind.         | MORB-E       |
|                       | D14M5  | B "a" | 2,10          | 3         | Th.arc MK | MORB-E    | Interm.  | Interm. | ind.         | MORB-N       |
| D15M12                | D d    | 5,50  | 4             | CA HK     |           | Orog.     | Orog.    |         |              |              |
| VATE                  | D27M17 | Di i  | 3,95          | 3         | CA HK     | CA MK     | Orog.    | Orog.   |              | CA           |
|                       | D27M1  | D i   | 7,20          | 4         | CA HK     | CA HK     | Orog.    | Orog.   |              | CA           |
|                       | D26M6  | D h   | 5,60          | 4         | CA HK     | CA HK     | Orog.    | Orog.   |              |              |
| ERROMANGO             | D25M2  | B c   | 2,60          | 3         | Th.arc MK | Th.arc PK | Orog.    | Orog.   | ind.         |              |
|                       | D24M4  | B d   | 1,75          | 2         | Th.arc PK | Th.arc PK | Orog.    | Orog.   | Th.arc PK    |              |
|                       | D24M3  | D h   | 2,85          | 3         | CA HK     | CA MK     | Orog.    | Orog.   |              |              |
| FOSESSE<br>DU<br>SUD  | D19M1  | B c+d | 5,05          | 4         | MORB-E    | Interm.   | Interm.  | Interm. | ind.         | MORB-E       |
|                       | D21M7  | B d   | 0,85          | 1         | Th.arc PK | Interm.   | Orog.    | Interm. | Th.arc PK    | MORB/Th. Arc |
| FUTUNA                | D20M4  | B b   | 1,40          | 1         | Th.arc PK | Th.arc PK | Orog.    | Orog.   | ind.         | Th.arc       |
|                       | D21M1  | B e+d | 10,55         | 4         | MORB-E    | MORB-E    | Orog.    | Orog.   | CA           | CA           |
|                       | D16M1  | AB e  | 5,30          | 4         | CA HK     | CA HK     | Orog.    | Orog.   |              |              |
|                       | D17M3  | AB e  | 4,90          | 4         | CA MK     | CA MK     | Orog.    | Orog.   |              |              |
|                       | D20M6  | AB c  | 1,90          | 2         | Th.arc PK | Th.arc PK | Orog.    | Orog.   |              |              |
| D20M3                 | AB c   | 2,05  | 2             | Th.arc PK | Th.arc PK | Orog.     | Interm.  |         |              |              |

Tableau IV-12 : Tableau comparatif des données des éléments en traces avec les types géochimiques définis (tableau IV-11).

*Comparative table of trace elements data with geochemical types defined in table IV-11.*

B : Basalte      A : Andésite      AB : Andésite basique  
D : Dacite      Di : Diorite  
PK : Peu K      MK : Medium K      HK : Très K

basaltes de type MORB (a) de cette zone dans le champ des tholéites d'arc peu potassiques. Une situation similaire s'observe pour Ta/Th.

*b/ Définition des lignées géochimiques obtenues à l'aide de l'analyse des TR et autres éléments hygromagmaphiles.*

A l'aide de tous ces éléments, on peut tenter de faire des hypothèses sur l'origine des groupes de laves d'une même zone géographique à partir d'une ou plusieurs sources et d'établir pour les différentes zones les ressemblances ou les différences entre les sources.

- Zone Vanikoro - L'hypothèse d'une source comparable peut être faite dans le cas des basaltes de type f (intermédiaires) et des laves acides de type g (hypopotassiques); ces différentes laves présentent en effet des spectres de TR de formes similaires et des rapports La/Th, Ba/La, Ta/Th comparables (Fig. IV-20-18-21) et très souvent un "cachet" intermédiaire entre des MORB et des Th.arc pour les basaltes.
- Zone Vot Tande - Les basaltes sont comparables entre eux, avec des spectres de TR à peu près plats et des rapports voisins, à l'exception toutefois du basalte D12M1 qui est légèrement enrichi en TR1 et présente des rapports Ta/Th et La/Th un peu plus faibles.
- Zone Hazel Holme - Les basaltes D14M1-M2-M5 semblent issus d'une même source (spectres de TR comparables, alignement dans les diagrammes La/Ta, La/Th, La/Ba et Ta/Th, et des valeurs de ces rapports révélant une signature typique de MORB-E.

Les basaltes D15M6 et D14M14 montrent des caractères différents et propres à chacun d'eux.

- Zone Erromango - Ces laves montrent des spectres de TR de formes comparables (légèrement enrichis en TR1), mais se répartissent en deux groupes au niveau des rapports d'éléments : D25M2-M4 d'une part ; D24M4-M3 d'autre part.
- Zone Futuna - ces laves montrent par contre une importante hétérogénéité, visible au niveau des spectres de TR (La/Yb variant de 0,875 à 10,5) et des diagrammes (fréquente dispersion des points). Cependant il apparaît quelques parentés possibles. Les laves du dragage D20 ont des spectres de TR comparables et des rapports La/Th proches. Les spectres de TR du basalte D19M1 et des andésites basiques D16M1 et D17M3 sont similaires, ainsi que les rapports Th/La, mais les rapports Th/Ta et La/Ta de D19M1 sont très différents de ceux des andésites basiques. Les deux basaltes D21M1-M7 sont quant à eux très difficiles à rapporter à l'un de ces groupes; leurs spectres de TR encadrent l'ensemble des spectres. Le caractère cumulatif de ces basaltes peut être à l'origine de cette complexité.
- Zone Vaté - L'absence actuelle de données sur les laves basiques de cette zone (analyses en cours) ne permet pas d'établir de liaison génétique avec les laves acides. Ces dernières apparaissent très semblables entre elles, si l'on considère les rapports Ta/Th et La/Ta, très voisins. Toutefois il existe une légère différence dans l'enrichissement en TR1 et dans les rapports Ba/La et Th/La, qui semble coïncider avec la différence de teneurs en  $K_2O$ ; cet

enrichissement en TR1, proportionnel à la teneur en  $\text{SiO}_2$ , évoque peut-être le rôle joué par la cristallisation fractionnée.

## E - CARACTERISATION DES SOURCES

L'étude géochimique des laves des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides met en évidence un cachet orogénique typique quasi-général, à l'exception de basaltes MORB et de basaltes intermédiaires de la zone Vanikoro. Nous considérerons dans un premier temps uniquement les basaltes.

Rappelons que tous les basaltes des fossés des Nouvelles-Hébrides se caractérisent par un enrichissement en éléments lithophiles à large rayon ionique (abréviation : LLI) (Rb, Ba, K, Sr) et un appauvrissement en éléments incompatibles à haute charge (abréviation : IHC) (Ta, P, Hf, Zr, Ti) et terres rares lourdes (Eu, Tb, Yb), par rapport aux MORB-N (Fig. IV-25). Toutefois cet enrichissement et cet appauvrissement sont d'intensité variable selon les types géochimiques. Ils sont peu marqués au niveau des basaltes de type f. L'enrichissement en éléments LLI et l'appauvrissement en éléments IHC sont respectivement modérés et assez prononcés dans les basaltes tholéitiques d'arc (type b, c ou d) et accentués ou quasi-inexistants (sauf en Ta) dans les basaltes calco-alcalins (type e). Cette différence a déjà été soulignée pour les basaltes des îles centrales et méridionales de l'arc (Dupuy *et al.*, 1982). Ces auteurs ont proposé deux origines différentes pour les magmas tholéitiques et calco-alcalins des Nouvelles-Hébrides.

### 1/ Rappel des mécanismes de la genèse des magmas orogéniques : exemple des Nouvelles- Hébrides.

Les facteurs qui peuvent être impliqués dans la genèse des magmas orogéniques sont : - le manteau susjacent à la plaque lithosphérique subductée ; - la plaque océanique qui subducte et les sédiments qu'elle porte ; - la croûte de l'arc traversée par les magmas. Dans le cas des Nouvelles-Hébrides, la composante sédimentaire de la plaque subductée doit être considérée comme très minime.

Les processus pouvant contrôler différents stades de la genèse des magmas orogéniques sont les suivants : - la déshydratation et/ou la fusion partielle de la croûte subductée ; - la fusion partielle du manteau supérieur ; - l'intervention de la croûte sous l'arc, qui peut produire des phénomènes de contamination, de cristallisation fractionnée et de mélanges magmatiques.

On admet classiquement que les magmas orogéniques résultent de processus de fusion partielle du manteau supérieur (hydraté ou métagénésé) auxquels se surimposent des mécanismes de contamination qui sont à l'origine des enrichissements en alcalins par rapport aux terres rares lourdes, terres rares légères et aux éléments IHC, typiques des laves orogéniques.

Les deux origines proposées par Dupuy *et al.* (1982), pour les magmas tholéitiques d'une part et les magmas calco-alcalins d'autre part, sont les suivantes :

1/La fusion partielle d'un niveau enrichi en éléments LLI du manteau supérieur est à l'origine des tholéites d'arc . L'enrichissement serait produit par des fluides libérés au

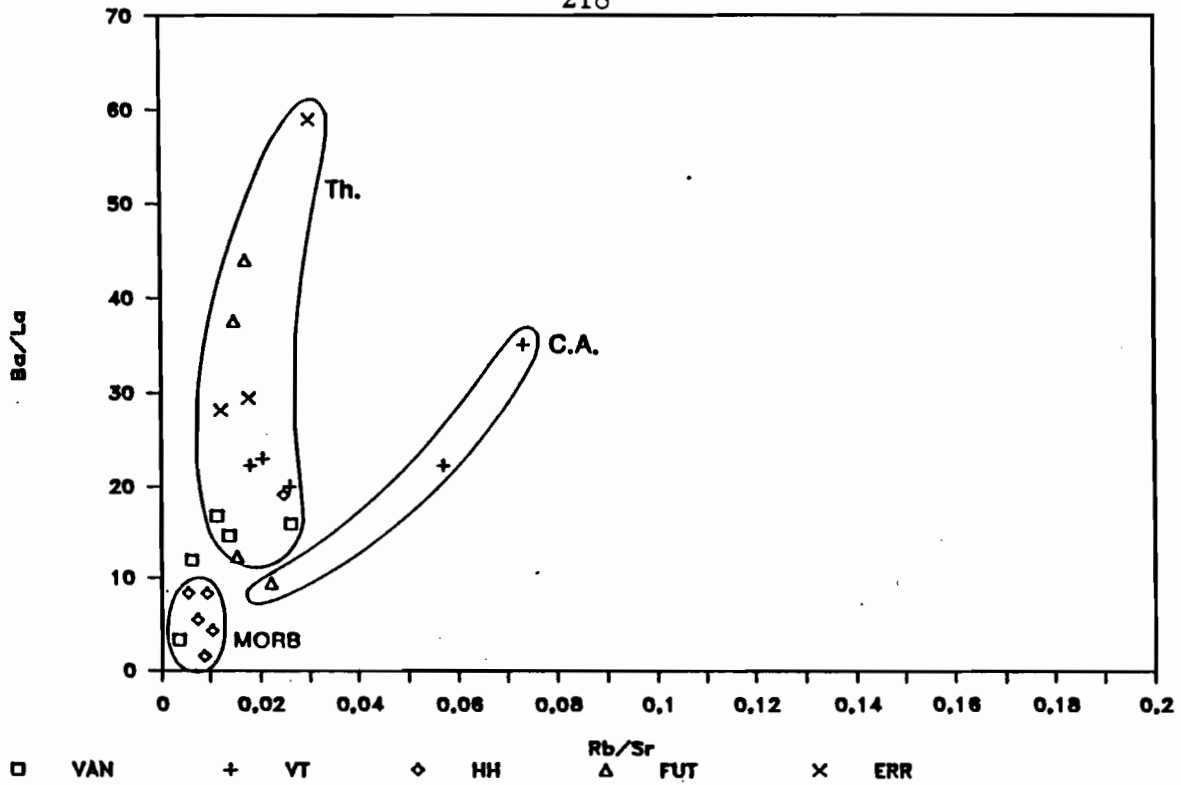


Figure IV-26 : Diagramme  $(Ba/La)/(Rb/Sr)$  des basaltes des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*(Ba/La)/(Rb/Sr) diagram for New Hebrides troughs basalts.*

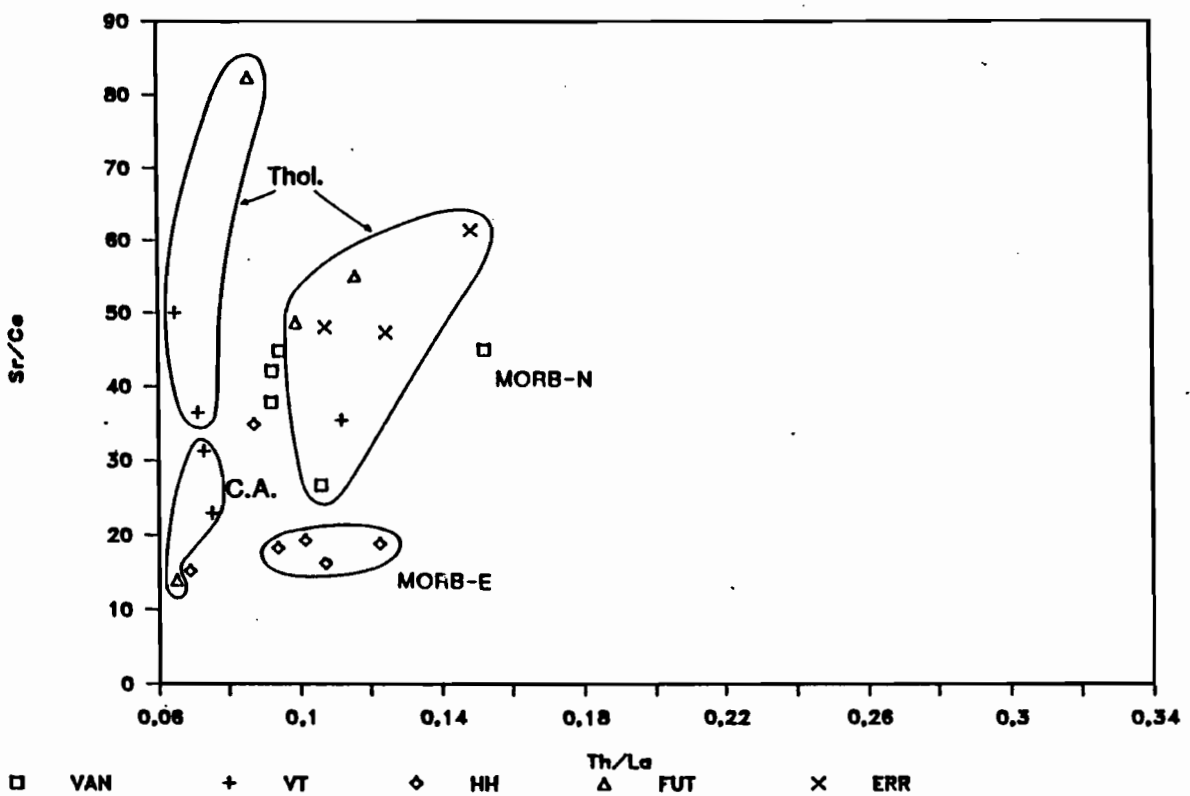


Figure IV-27 : Diagramme  $(Sr/Ce)/(Th/La)$  des basaltes des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*(Sr/Ce)/(Th/La) diagram for New Hebrides troughs basalts.*

cours de la déshydratation de la lithosphère océanique subductée. La source pourrait en fait être comparable à celle des MORB mais subir une fusion partielle de degré élevé, se traduisant par un appauvrissement en éléments IHC.

- 2/ Les basaltes calco-alcalins proviendraient également de la fusion du manteau supérieur enrichi en éléments LLI, mais le mécanisme d'enrichissement serait différent. Le manteau serait en effet modifié par l'interaction de produits de fusion partielle de la croûte océanique subductée. Les produits de fusion, alors enrichis en K, Rb, Ba, Sr, La et Ce, métasomatisent le manteau supérieur qui engendre des magmas enrichis en ces mêmes éléments. Ce mécanisme est également évoqué pour la genèse des laves calco-alcalines de l'arc des Petites Antilles (Hawkesworth et Powell, 1980).

## 2/ Application aux laves des fossés des Nouvelles-Hébrides

Nous nous proposons de reprendre ce schéma pour les laves des fossés. Pour cela nous présentons en figures IV-26 à 30 les diagrammes utilisés par Dupuy *et al.* (1982).

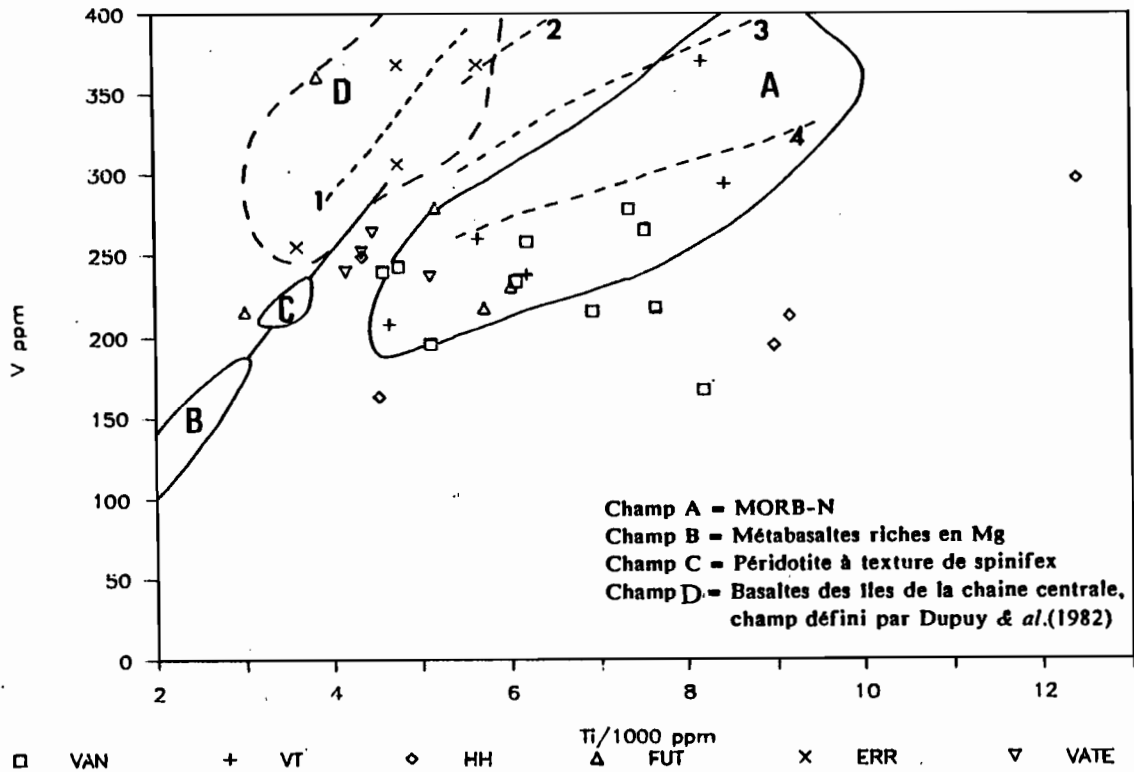
### a) Les rapports d'éléments

Les rapports d'éléments permettent d'appréhender les phénomènes de contamination, parce que peu variables lors des processus de cristallisation fractionnée ou de degré de fusion partielle (contrairement aux teneurs de ces éléments).

- Certains rapports présentent des valeurs assez peu variables et relativement proches de celles des MORB : Ti/Zr, Zr/Hf, Zr/Sm. Ceci permet de supposer que les magmas des fossés des Nouvelles-Hébrides sont issus d'une source comparable à celle des MORB, c'est-à-dire le manteau supérieur.
- D'autres rapports d'éléments présentent une plus grande dispersion des valeurs et sont généralement distincts de ceux des MORB.  
Ba/La et Sr/Ce en sont deux exemples typiques. Ils montrent une gamme de variation depuis les valeurs de MORB (respectivement de 3 à 10 et de 5 à 14) jusqu'à des valeurs de 50 typiques de laves orogéniques (50) (Fig. IV-26). Ces rapports font intervenir des éléments de même degré d'incompatibilité mais de propriétés physiques différentes.  
Les rapports Rb/Sr ou Th/La qui font intervenir des éléments de degré d'incompatibilité différents mais de propriétés physiques comparables, sont peu variables (Fig. IV-27).

On notera l'absence de différences notables de ces rapports lorsque l'on compare les laves tholéitiques et les laves calco-alcalines, contrairement à ce qu'observent Dupuy *et al.* (1982) pour les îles. Les laves calco-alcalines de Futuna montrent en effet une évolution différente avec une variation moins importante des rapports d'éléments de même degré d'incompatibilité mais de propriétés différentes, tandis que les rapports d'éléments de mêmes propriétés et de degrés d'incompatibilité différents varient beaucoup plus. Ce caractère apparaît au niveau des laves plus différenciées des fossés. On peut supposer qu'il affecte aussi les laves basiques calco-alcalines des fossés, mais le nombre restreint d'échantillons (3) ne permet pas d'observer ce fait.

Ceci signifie donc que les processus d'enrichissement du manteau supérieur diffèrent selon le type magmatique. Ils conduisent, dans le cas des tholéites, à des enrichissements des éléments



Les calculs effectués par Dupuy & al. ont été réalisés pour des phases résiduelles (PR) et des degrés de fusion partielle (F) variables en utilisant les coefficients de partage de Sun & al.(1979).

Ligne 1 : PR = 70% olivine + 30% d'opx; F = 20-30%.

Ligne 2 : PR = 70% olivine + 25% d'opx + 5% de cpx%; F = 10-20%.

Ligne 3 : PR = 70% olivine + 25% d'opx + 4% de cpx% + 1% de chromite; F = 10-20%.

Ligne 4 : PR = 70% olivine + 25% d'opx + 3% de cpx% + 2% de chromite.

Figure IV-28 : Diagramme V/(Ti/1000) des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.

*V/(Ti/1000) diagram for New Hebrides troughs basic lavas.*

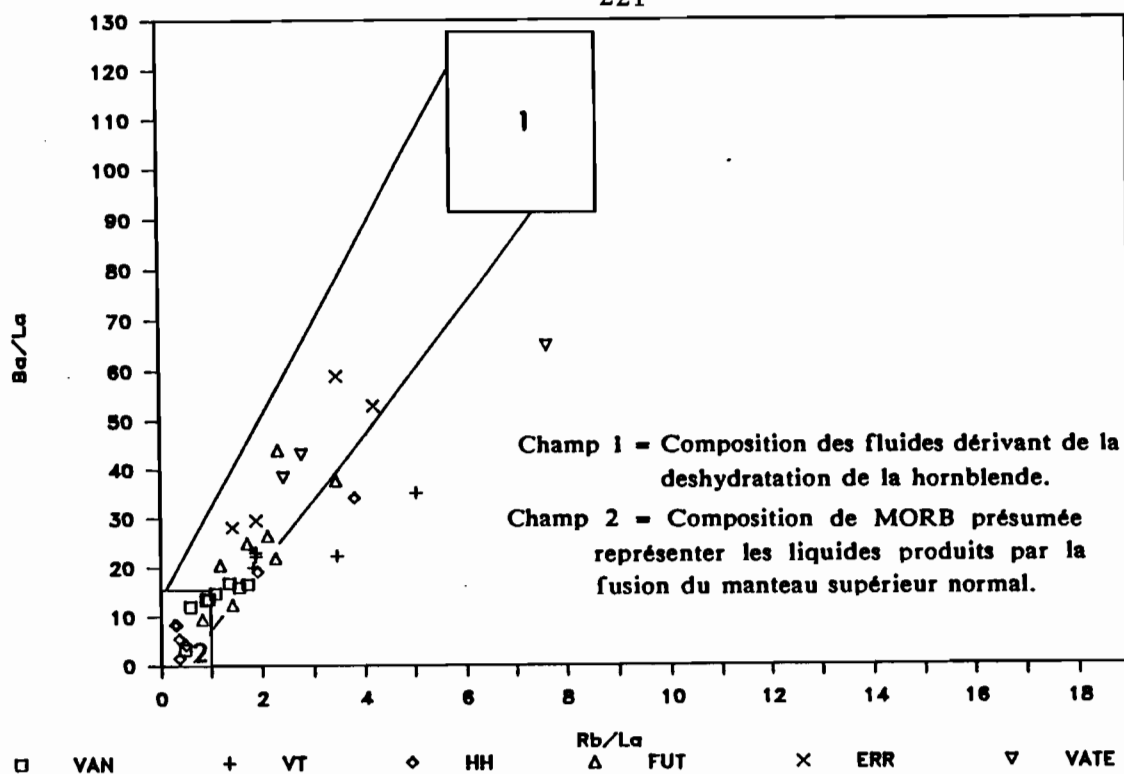


Figure IV-29 : Diagramme  $(Ba/La)/(Rb/La)$  des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*(Ba/La)/(Rb/La) diagram for New Hebrides troughs basic lavas.*

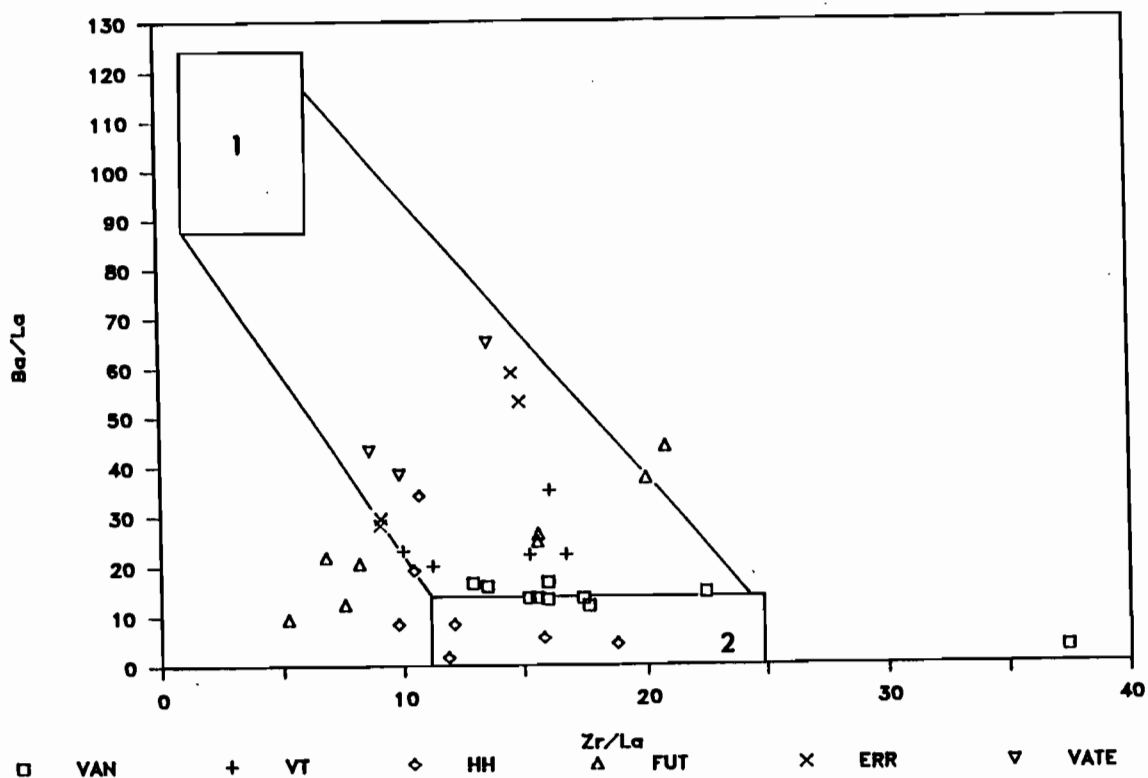


Figure IV-30 : Diagramme  $(Ba/La)/(Zr/La)$  des laves basiques des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*(Ba/La)/(Zr/La) diagram for New Hebrides troughs basic lavas.*

incompatibles corrélés avec leurs propriétés physico-chimiques et non selon leur degré d'incompatibilité. Les laves calco-alkalines proviendraient quant à elles de l'enrichissement en éléments incompatibles fonction du degré d'incompatibilité. Ces conclusions sont obtenues par Dupuy *et al.* (1982) et reprises par Escalant (1988) pour les laves de la Martinique.

*b) Dans le diagramme  $V / (Ti/1000)$  (Fig. IV-28), les basaltes des fossés couvrent un champ beaucoup plus large que celui des laves des îles. Un grand nombre des basaltes des fossés, notamment ceux des zones Vanikoro, Vot Tande, se placent dans le champ des MORB-N. Les basaltes de type a (MORB) des zones Vanikoro et Hazel Holme se situent en fait en dessous du champ des MORB. Les basaltes des zones Erromango et Futuna se situent essentiellement dans le domaine des basaltes des îles de l'arc. Enfin, les basaltes de la zone Vaté et le basalte D15M6 de la zone Hazel-Holme sont en position intermédiaire.*

Il apparaît donc que l'ensemble de ces basaltes sont issus de plusieurs sources. Un groupe semble résulter du même type de source que ceux des îles, soit une source ayant une composition de pyrolite subissant une fusion partielle de 25 %, aboutissant à un liquide résiduel composé à 70 % d'olivine et à 30 % d'orthopyroxène (Dupuy *et al.*, 1982).

Les basaltes des fossés semblent résulter de la fusion partielle selon des degrés différents d'une source comparable à celle des MORB-N.

*c) Pour expliquer ensuite les enrichissements en LLI, Dupuy et al. (1982) font appel à une contamination du manteau supérieur par des fluides issus de la déshydratation de la plaque subductée. Les diagrammes  $(Ba/La) / (Rb/La)$  et  $(Ba/La) / (Zr/La)$  (Fig. IV-29-30) mettent en évidence la position intermédiaire entre un pôle correspondant aux MORB (qui inclut d'ailleurs les basaltes de type a des fossés) et un pôle représentant la composition de fluides libérés par la déstabilisation de la hornblende des basaltes des fossés. Ceux-ci pourraient donc résulter de l'interaction de ces deux composants : les produits de fusion du manteau supérieur et les fluides issus de la déshydratation de la plaque subductée.*

En ce qui concerne les laves calco-alkalines, le processus d'enrichissement proposé est une interaction du manteau supérieur avec des produits de fusion partielle de la lithosphère océanique, plutôt que de la déshydratation de cette plaque.

Les laves des fossés du Sud peuvent résulter de processus équivalents à ceux définis par Dupuy *et al.* (1982) pour les laves des îles centrales et méridionales de l'arc. Par contre, il existe au niveau des fossés du Nord des laves très proches de MORB, inexistantes au niveau des îles, dont la source se rapproche de celle de ces derniers (types a et f).

Enfin, le rapport Th/Ta évoque l'existence de probables hétérogénéités des sources. En règle générale, on constate une particularité des laves de chaque zone. Au sein d'une même zone des variations importantes sont également présentes et accompagnent des types géochimiques différents. Ceci pourrait montrer l'existence d'hétérogénéités des sources au niveau d'une même zone. Ces hétérogénéités découlent vraisemblablement de processus de fusion partielle du manteau et de phénomènes de contamination différents. Ces variations sont locales.

Le but du chapitre suivant est de définir les évolutions spatio-temporelles du volcanisme dans les fossés et les îles de l'arc des Nouvelles-Hébrides.

CHAPITRE 5

Evolution spatio-temporelle  
du volcanisme des fossés arrière-arc  
et de la chaîne centrale  
de l'arc des Nouvelles Hébrides

## Chapitre V

### Evolution spatio-temporelle du volcanisme des fossés arrière-arc et de la chaîne centrale de l'arc des Nouvelles-Hébrides

#### I - VARIATIONS MINÉRALOGIQUES DANS LES DIFFÉRENTS GROUPES DE LAVES

Les principaux résultats de la minéralogie sont repris en fonction des groupes géochimiques des laves, définis dans le chapitre précédent et de la chronologie.

##### A - LES OLIVINES (Fig. V-1)

Les olivines les plus magnésiennes ( $Fo = 90-85$ ) appartiennent aux types géochimiques suivants : MORB (a), intermédiaire (f) ou orogénique, Th.A-Mg ou CA (d ou e+d), basaltes présentant des teneurs élevées en MgO. Toutefois il existe au sein des laves du type d des variations de la composition des olivines en fonction de la teneur en  $SiO_2$  : Mg diminue dans les olivines des andésites basiques [D30M2, D31M1, zone Vaté] par rapport à celles des basaltes. Des teneurs moindres en Mg ( $Fo = 85-75$ ) caractérisent également les olivines des laves calco-alcalines magnésiennes [D21M1, zone Futuna et D29M6, zone Vaté] par rapport à celles des laves tholéitiques.

Le seul basalte de type d des laves des îles analysé à la microsonde [MVA15, Mota Lava] possède également des olivines très magnésiennes ( $Fo = 91-80$ ).

##### B - LES CLINOPYROXÈNES (Fig. V-2)

La composition des clinopyroxènes varie selon le groupe géochimique de la lave.

- Les clinopyroxènes des basaltes MORB (a) sont des microlites très enrichis en Fer et en Ca par rapport à l'ensemble des clinopyroxènes. Toutefois, le basalte D14M14 (zone Hazel Holme) se distingue nettement par des clinopyroxènes de composition comparable à celle des laves orogéniques.

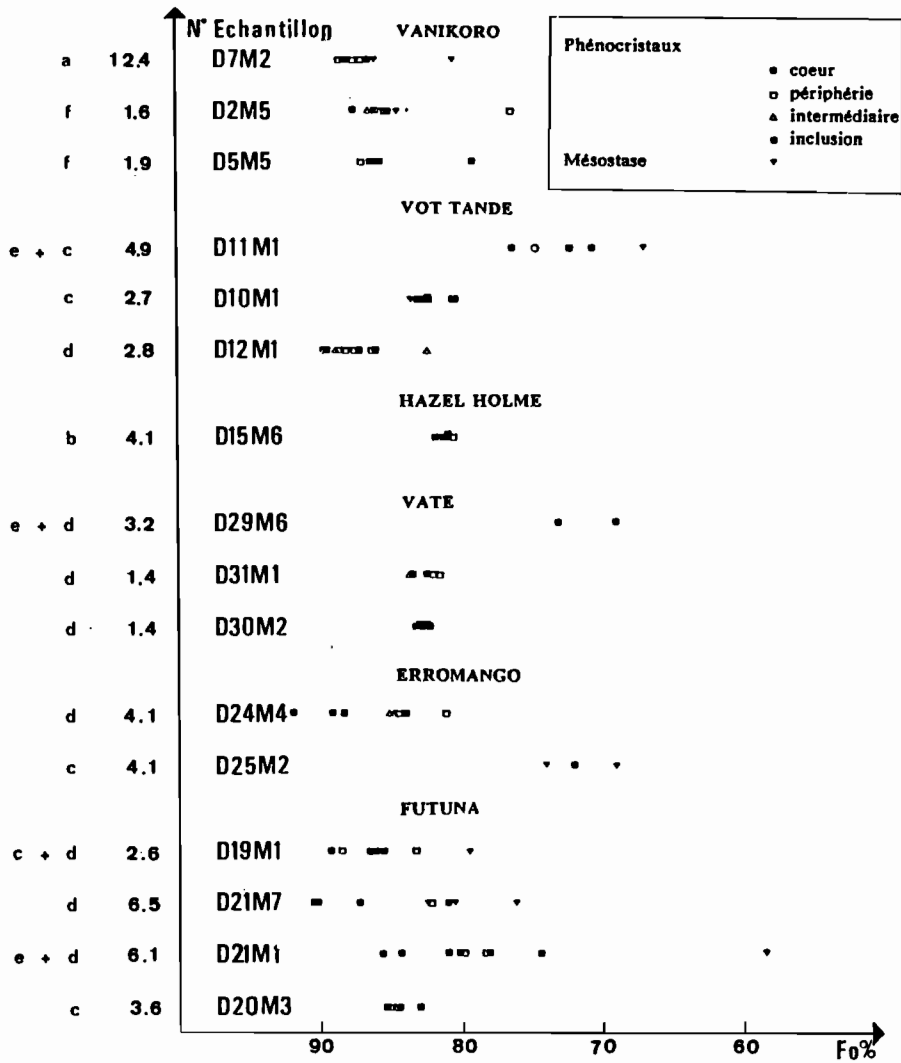
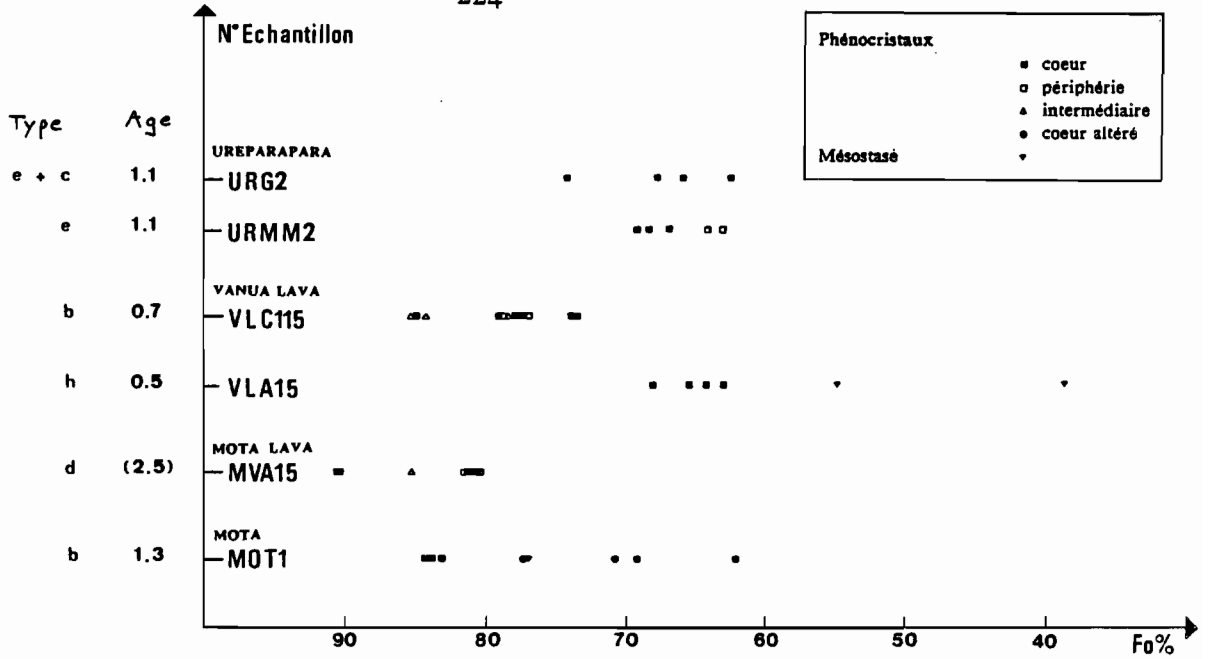


Figure V-1 : Variation de la composition des olivines des laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides en fonction de l'âge et des types géochimiques.  
 Variation of olivine composition for lavas from New Hebrides troughs and islands versus ages and geochemical types.

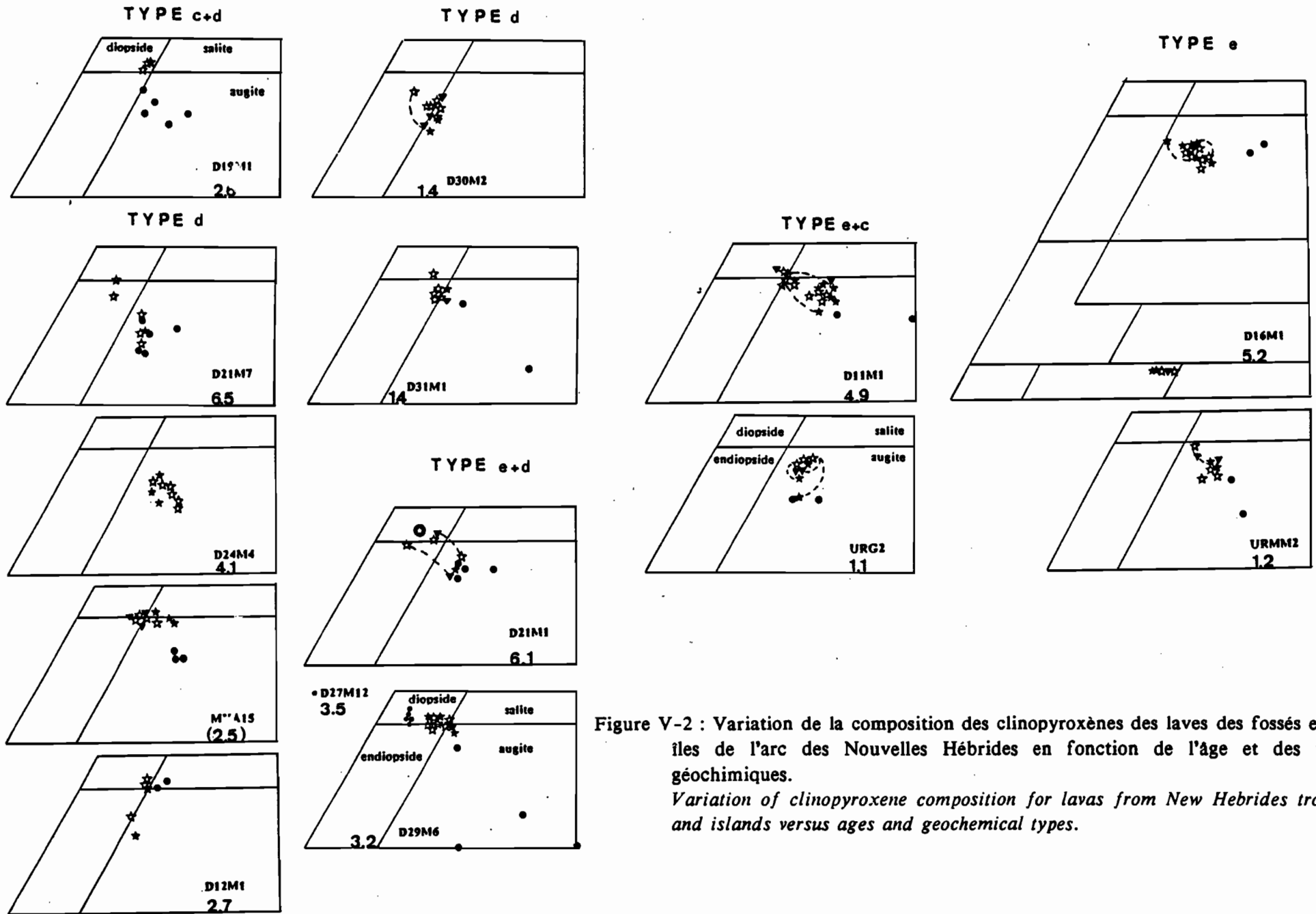


Figure V-2 : Variation de la composition des clinopyroxènes des laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides en fonction de l'âge et des types géochimiques.  
*Variation of clinopyroxene composition for lavas from New Hebrides troughs and islands versus ages and geochemical types.*

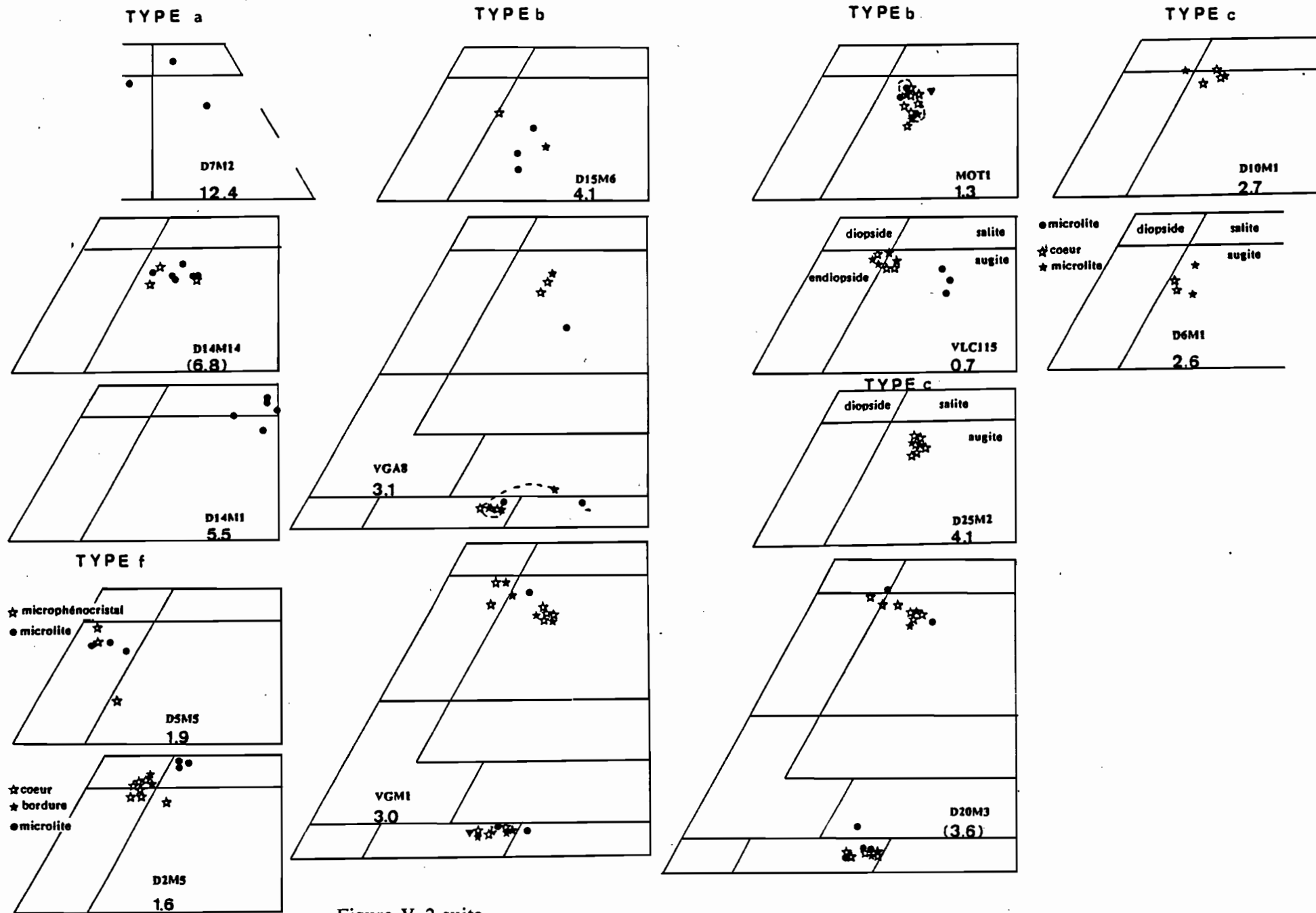
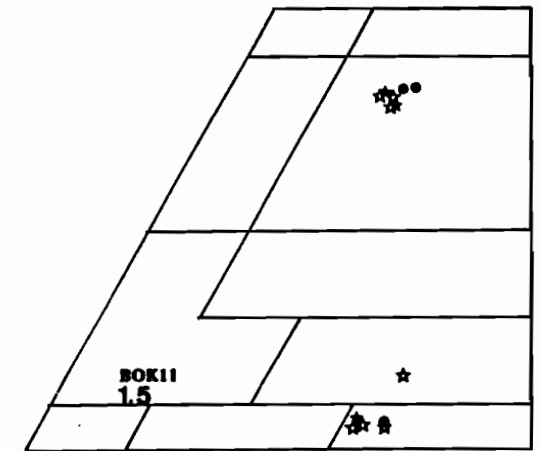
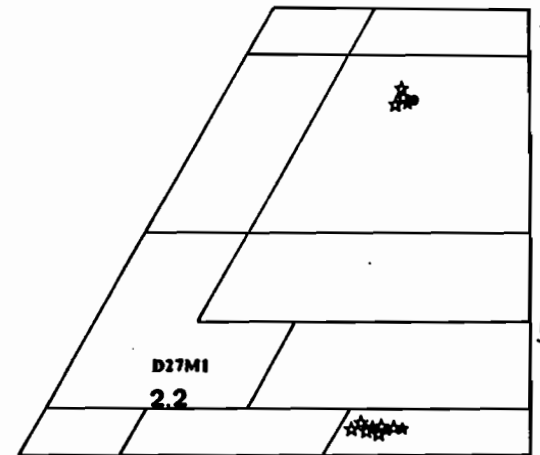
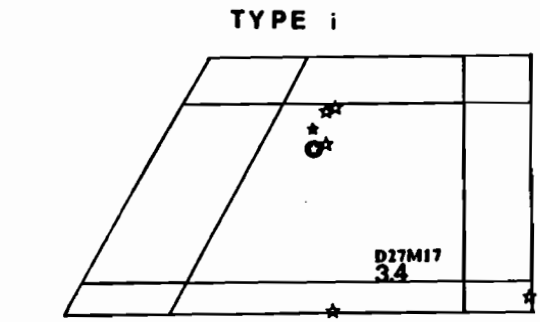
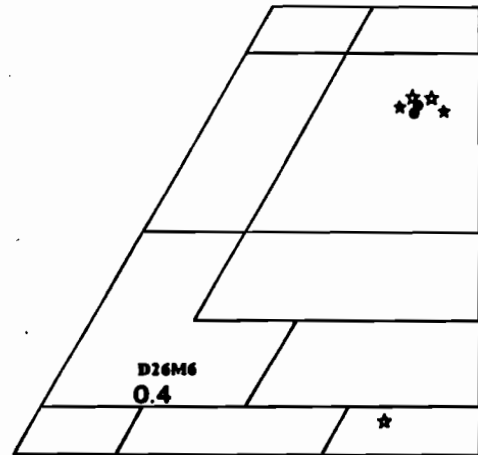
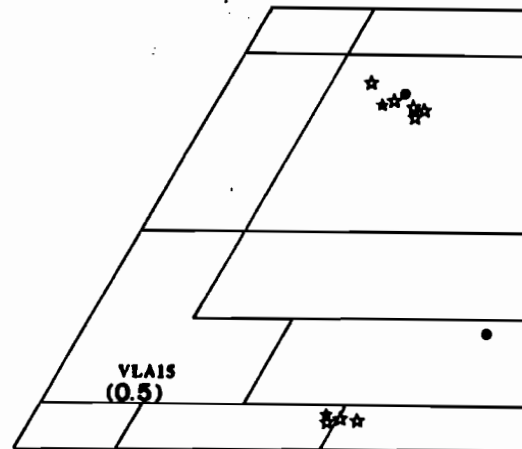
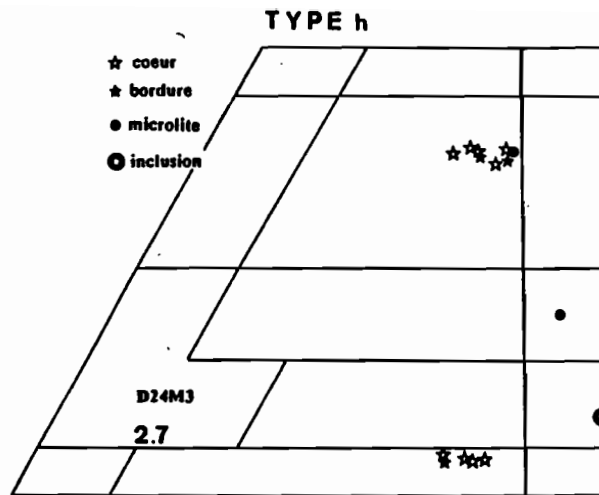
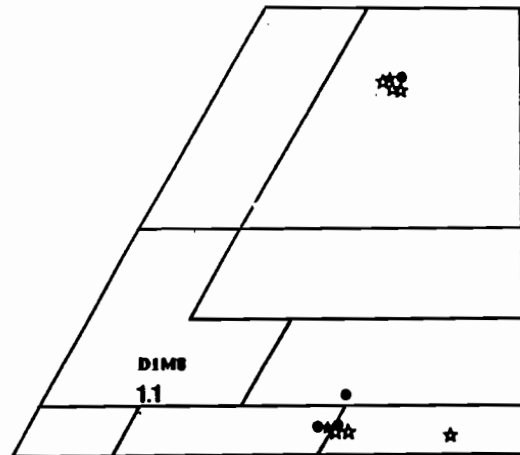
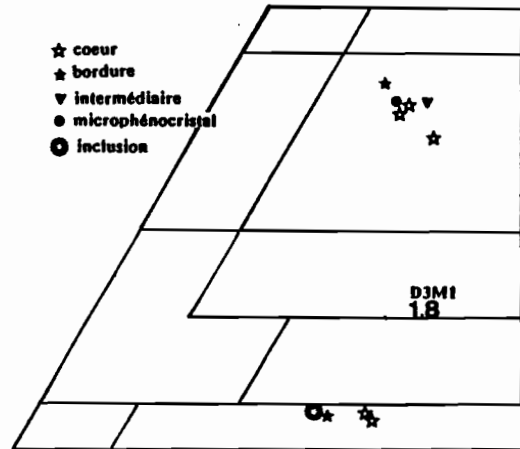
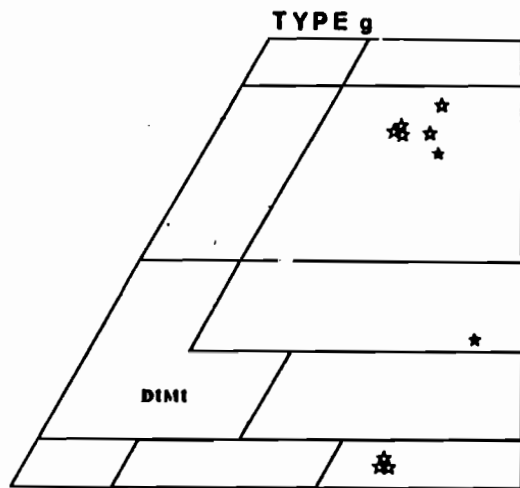


Figure V-2 suite



227

Figure V-2 suite

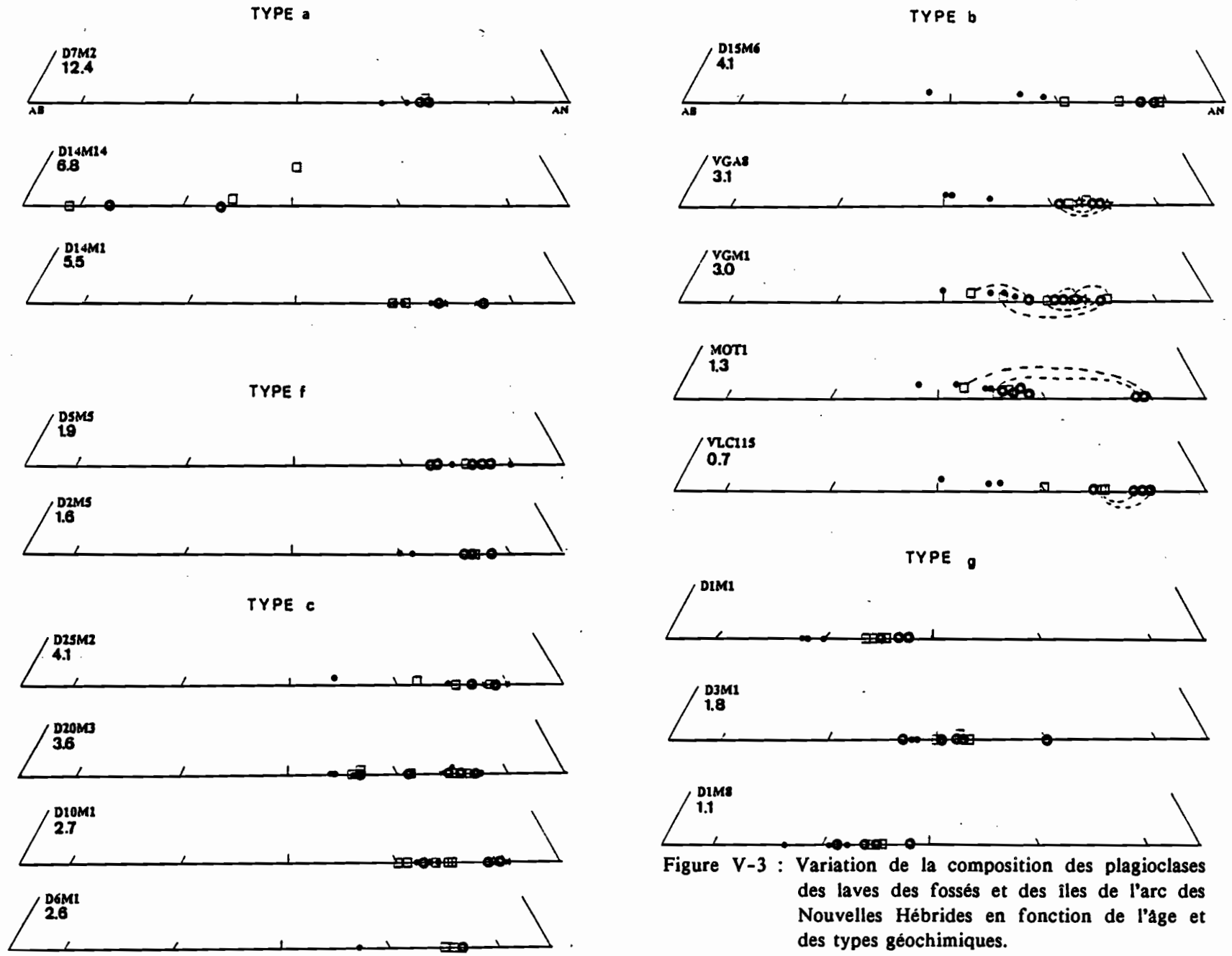


Figure V-3 : Variation de la composition des plagioclases des laves des fossés et des îles de l'arc des Nouvelles Hébrides en fonction de l'âge et des types géochimiques.  
*Variation of plagioclase composition for lavas from New Hebrides troughs and islands versus ages and geochemical types*

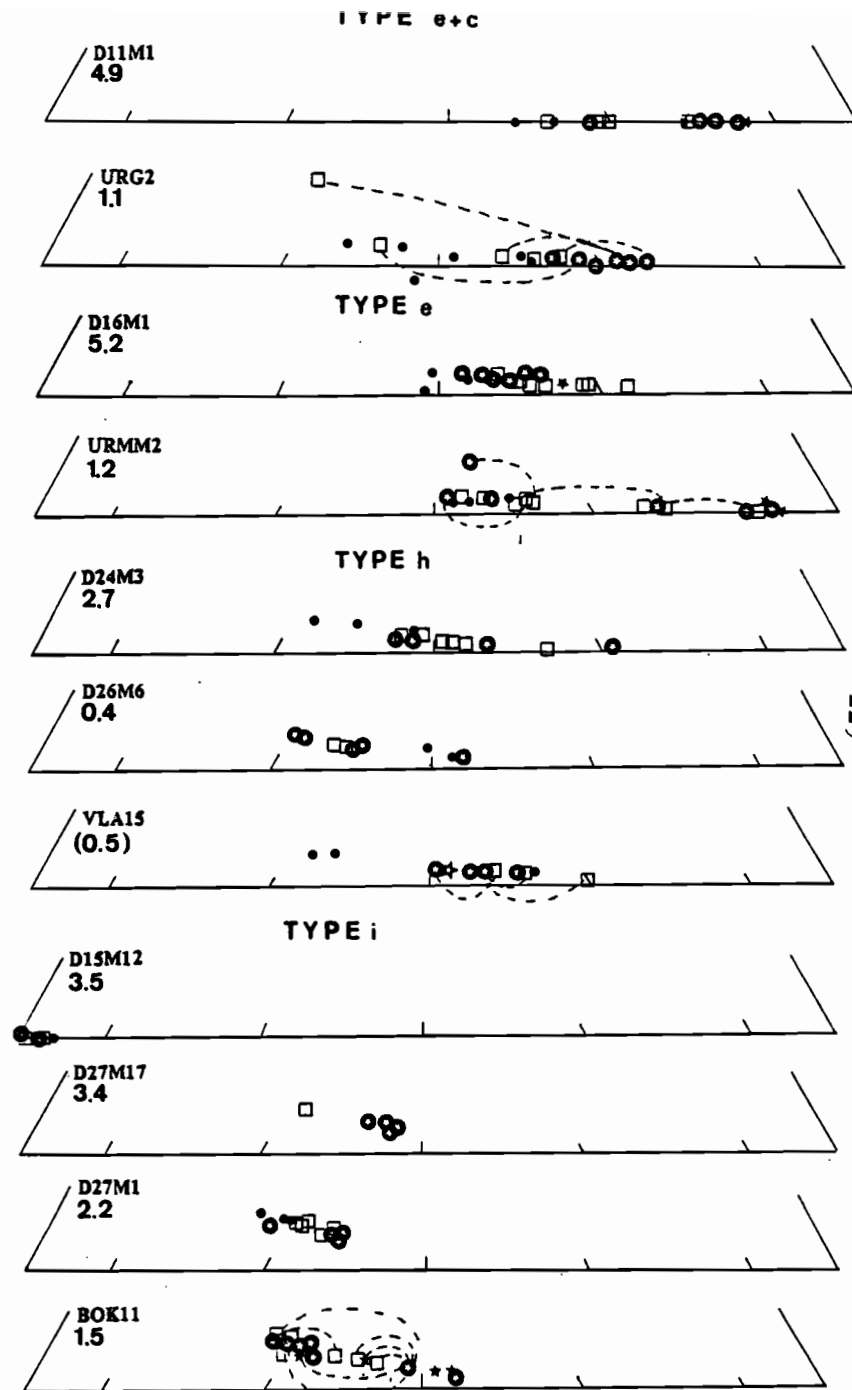
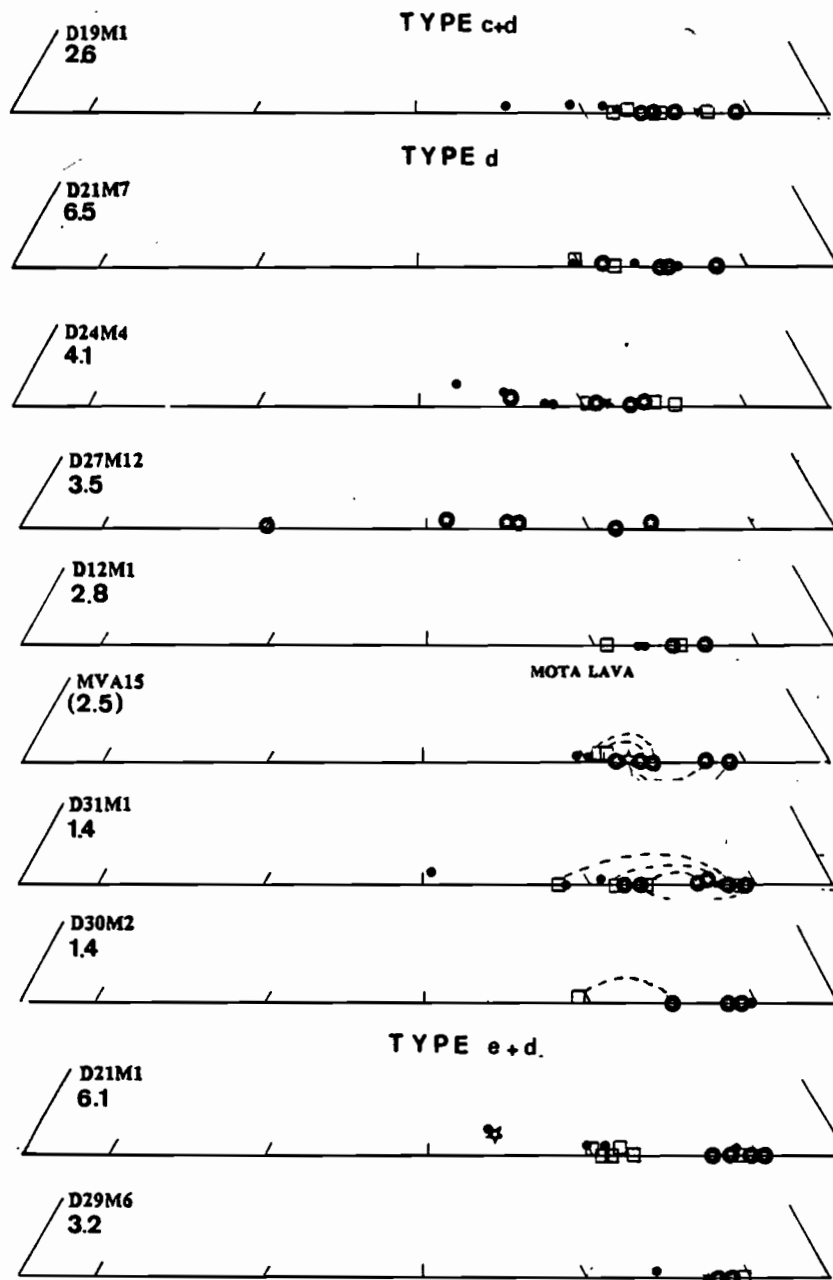


Figure V-3 suite

- Le caractère magnésien des tholéites d'arc (d) ou des laves calco-alkalines (e + d) se traduit par la présence, pour partie, de clinopyroxènes plus magnésiens (diopside ou endiopside), la lave D24M4 (zone Erromango) faisant exception. Ces clinopyroxènes pourraient donc résulter d'une cristallisation plus précoce.
- Le caractère titanifère des basaltes (c, e + c, f ou a) est parfois reflété par la composition des clinopyroxènes [D2M5, D5M5, D6M1, D7M2, D10M1, D11M1, D14M14, D14M1].

Par contre, pour les laves acides, aucune différence notable n'existe entre les clinopyroxènes des laves des différents types (g, h, i).

### C - LES PLAGIOCLASES (Fig. V-3)

Les plagioclases des laves étudiées présentent globalement une évolution de leur basicité qui reflète l'acidité des roches-hôtes, à l'exception du basalte D14M14 (zone Hazel Holme); les plagioclases de ce basalte montrent des teneurs élevées en albite (95 à 50%), semblables à celles des laves acides. Leur composition apparaît homogène pour chaque groupe pétrographique, quel que soit le type géochimique, si ce n'est au niveau des laves acides où le taux d'orthoclase reflète la teneur en  $K_2O$  des laves.

### D - LES OXYDES DE FER-TITANE

La différence primordiale est la présence ou non de spinelles chromifères. Ces derniers se trouvent dans les basaltes D7M2, D2M5, D12M1, D14M1 et D19M1 qui appartiennent aux types a, f ou d. Mais tous les basaltes de ces types n'en ont pas montré à l'analyse [D5M5, D14M14, D24M6, D21M7 et les laves basiques de la zone Vaté].

En second lieu il faut considérer l'absence ou la rareté des titanomagnétites. Mais cette phase minérale ne semble pas spécifique d'un type géochimique donné, sinon des laves calco-alkalines, bien qu'elle soit fréquente dans d'autres échantillons tholéitiques [D27M12, D25M2, D24M6].

Il n'existe pas de relation simple entre la nature des oxydes de fer-titane et les types géochimiques. Mais de façon plus générale, les deux grands groupes de laves basiques définis dans le chapitre II (paragraphe II-9) sur la base de la fugacité d'oxygène, correspondent globalement aux types suivants :

- les types a, f et d ou c + d correspondent au groupe caractérisé par une faible  $fO_2$  (sauf D27M2 et D24M6, type d) ;
- les types b, c ou e + c correspondent au groupe caractérisé par une forte  $fO_2$  (sauf D6M1, type c).

## E - CONCLUSIONS

Une certaine spécificité minéralogique des types géochimiques se dégage, plus spécialement au niveau des olivines et des clinopyroxènes. Le caractère magnésien semble particulièrement se singulariser, pouvant témoigner de conditions spécifiques de mise en place ou de cristallisation de ces laves. Le caractère plus précoce des minéraux ferromagnésiens évoque une cristallisation plus profonde de ces phases minérales. Rappelons aussi l'absence de minéraux hydroxylés (amphiboles ou micas), même dans les termes différenciés, témoignant de faibles pressions d'eau, conditions inhabituelles en contexte de subduction.

Aucune évolution significative de la composition des diverses phases minérales au cours du temps n'est visible pour un type géochimique donné. La dispersion constatée résulte à la fois de l'étendue de la zone étudiée et du nombre parfois restreint d'échantillons d'un groupe donné étudiés à la microsonde; ceci peut limiter l'observation d'une évolution temporelle marquée, d'autant que chacune des zones de fossés montre des caractères géochimiques propres (cf. chapitre IV, paragraphe E).

## II - EVOLUTION CHIMIQUE DU VOLCANISME DES FOSSES AU COURS DU TEMPS

Nous envisagerons ici l'évolution des éléments majeurs  $K_2O$ ,  $TiO_2$  et  $MgO$ . Pour les éléments en traces nous observerons plutôt les variations de quelques rapports jugés caractéristiques. Dans chacun des diagrammes, le comportement des éléments ou rapports est examiné en fonction des âges décroissants.

### A - EVOLUTION DES ELEMENTS $K_2O$ , $TiO_2$ ET $MgO$ AU COURS DU TEMPS

- L'évolution de la teneur en  $K_2O$  (Fig. V-4) (augmentation ou diminution) varie selon les groupes chimiques. Elle est très peu marquée au niveau des basaltes intermédiaires (f) de la zone Vanikoro, ainsi que dans les laves acides hypopotassiques (g). Les tholéites d'arc montrent entre 4,1 et 1,1 Ma une diminution de la teneur en  $K_2O$  particulièrement nette pour le groupe magnésien (d). Les laves basiques calco-alkalines (e) montrent à l'inverse une augmentation de la teneur en  $K_2O$ , entre 6,1 et 2,3 Ma.
- Chaque groupe géochimique de laves basiques montre une augmentation de la teneur en  $TiO_2$  (Fig. V-5), à l'exception des laves basiques magnésiennes les plus récentes de la zone Vaté (1,5 à 1,1 Ma).
- La teneur en  $MgO$  ne montre pas de variation significative pour un groupe chimique donné (Fig. V-6).

### B - EVOLUTION AU COURS DU TEMPS DE QUELQUES RAPPORTS D'ELEMENTS EN TRACES

- Le rapport  $La/Yb$  (Fig. V-7), qui traduit l'enrichissement relatif des TR légères vis-à-vis des TR lourdes, montre des variations importantes dans le groupe des laves basiques calco-alkalines (e) où il diminue (11 à 1,5) entre 6,1 et 4,8 Ma, ainsi que dans le groupe des basaltes tholéitiques magnésiens (d) où il augmente (1 à 5) entre 6,5 et 2,6 Ma. Notons toutefois que l'absence de données d'éléments en traces sur les basaltes de la zone Vaté restreint considérablement les conclusions à propos du groupe des basaltes magnésiens. Précisons également que ces évolutions sont d'ordre général, toutes zones confondues. Par contre, les basaltes tholéitiques, titanifères ou non (c-d), montrent une diminution beaucoup moins marquée du rapport  $La/Yb$  (3,5 à 1,8) entre 4,1 et 0,7 Ma.
- Le rapport  $Ba/La$  montre également deux évolutions antagonistes : augmentation (9 à 40) entre 6,1 et 4,8 Ma dans le groupe calco-alkalin (e) et diminution (37,5 à 12) entre 6,5 et 2,6 Ma dans le groupe tholéitique, tous types confondus (b, c et d).
- Le rapport  $Th/Ta$  présente une variation moins prononcée ; une majorité des échantillons présente des valeurs comprises entre 1 et 5. Toutefois les laves calco-

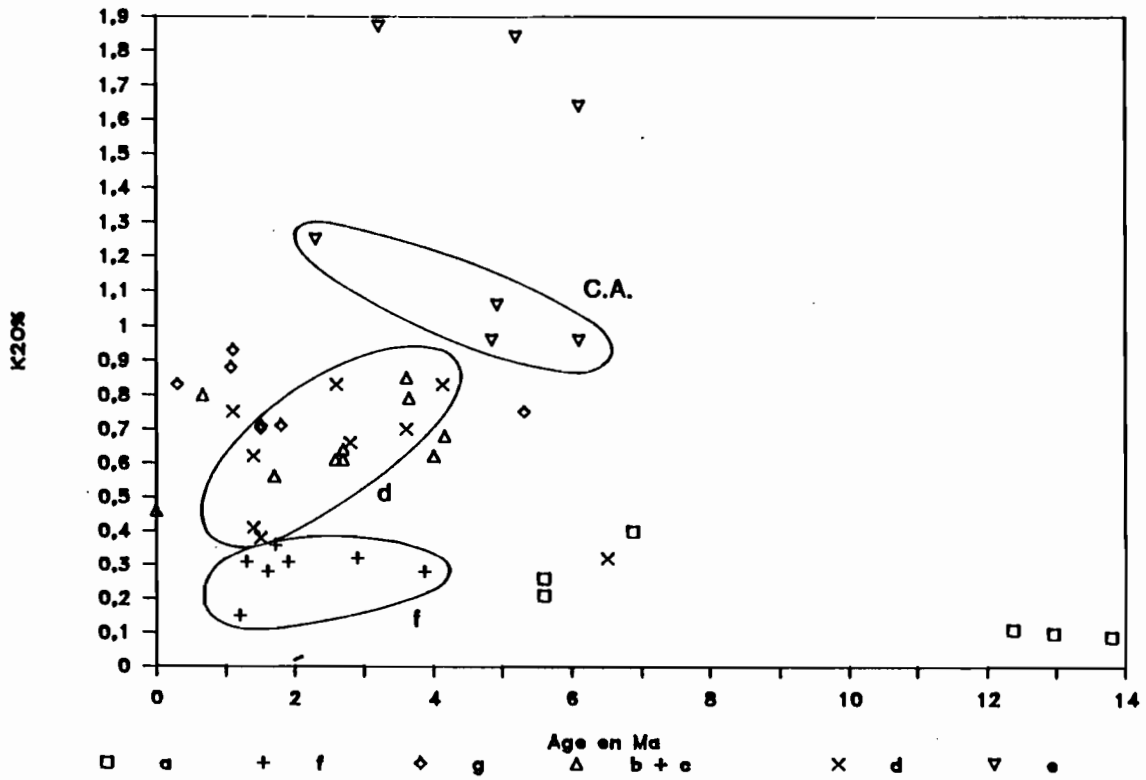


Figure V-4 : Variation de  $K_2O$  en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

*Variation of  $K_2O$  versus time for New Hebrides troughs lavas.*

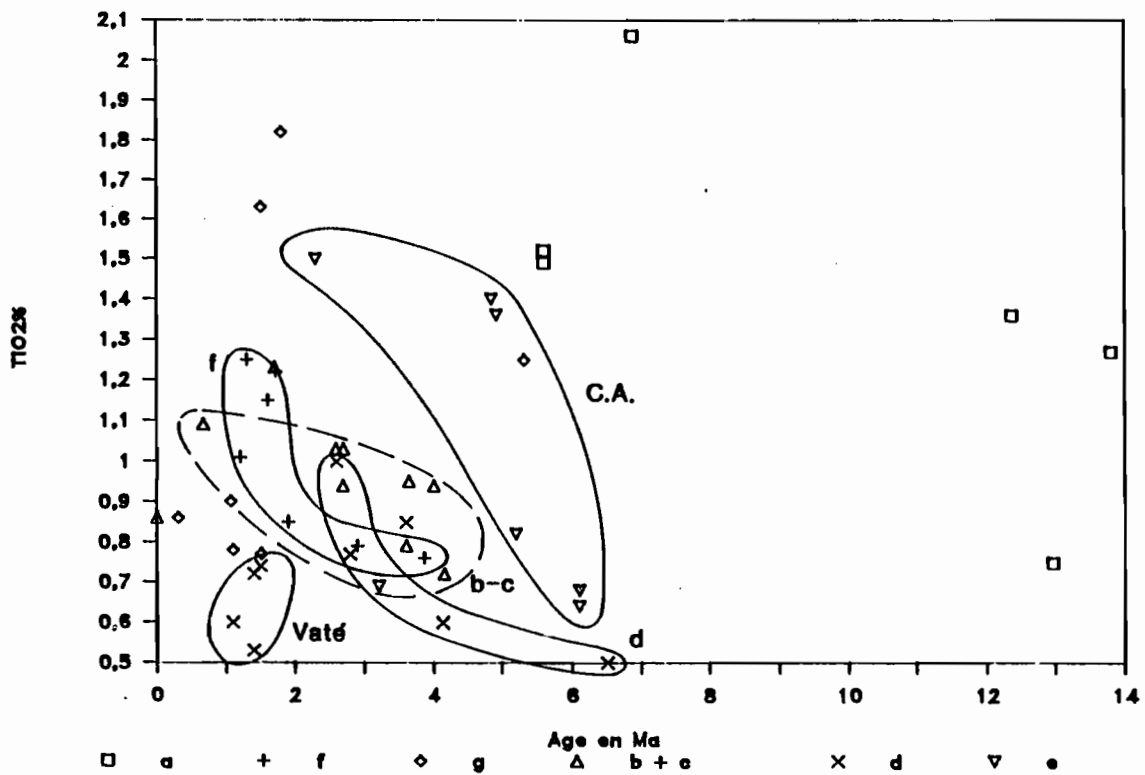


Figure V-5 : Variation de  $TiO_2$  en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

*Variation of  $TiO_2$  versus time for New Hebrides troughs lavas.*

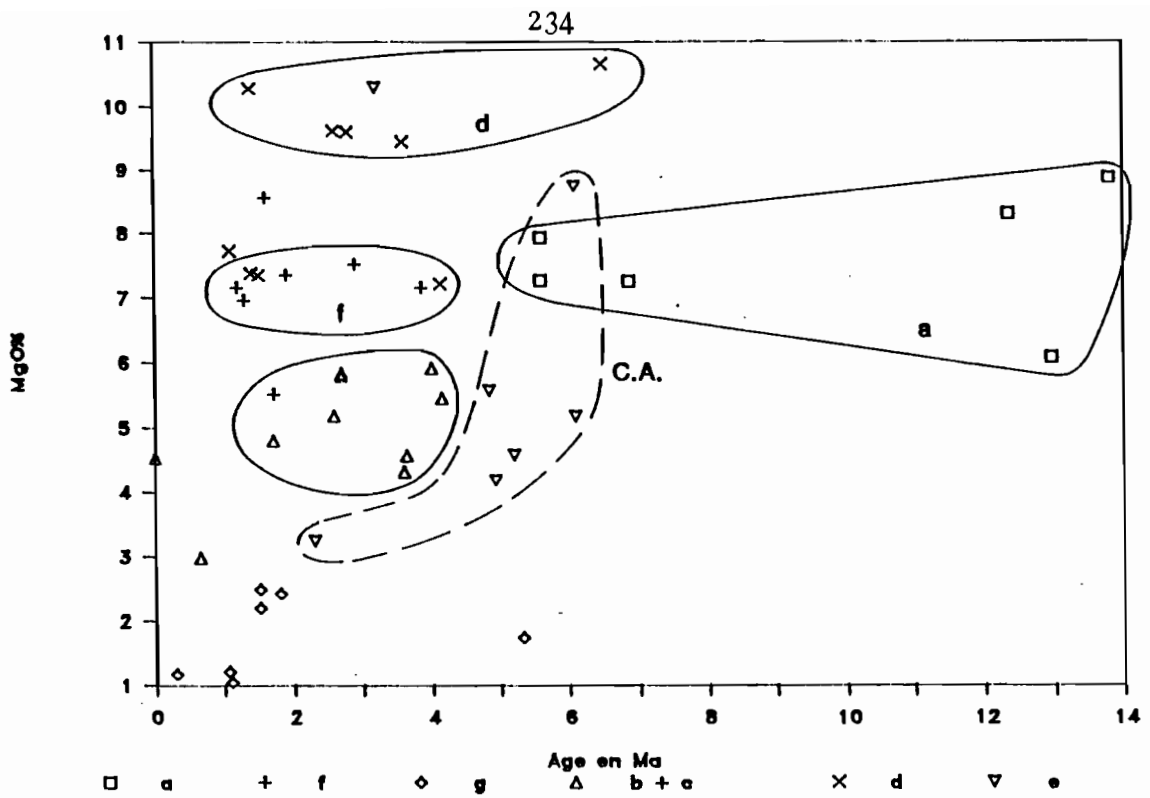


Figure V-6 : Variation de MgO en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*Variation of MgO versus time for New Hebrides troughs lavas.*

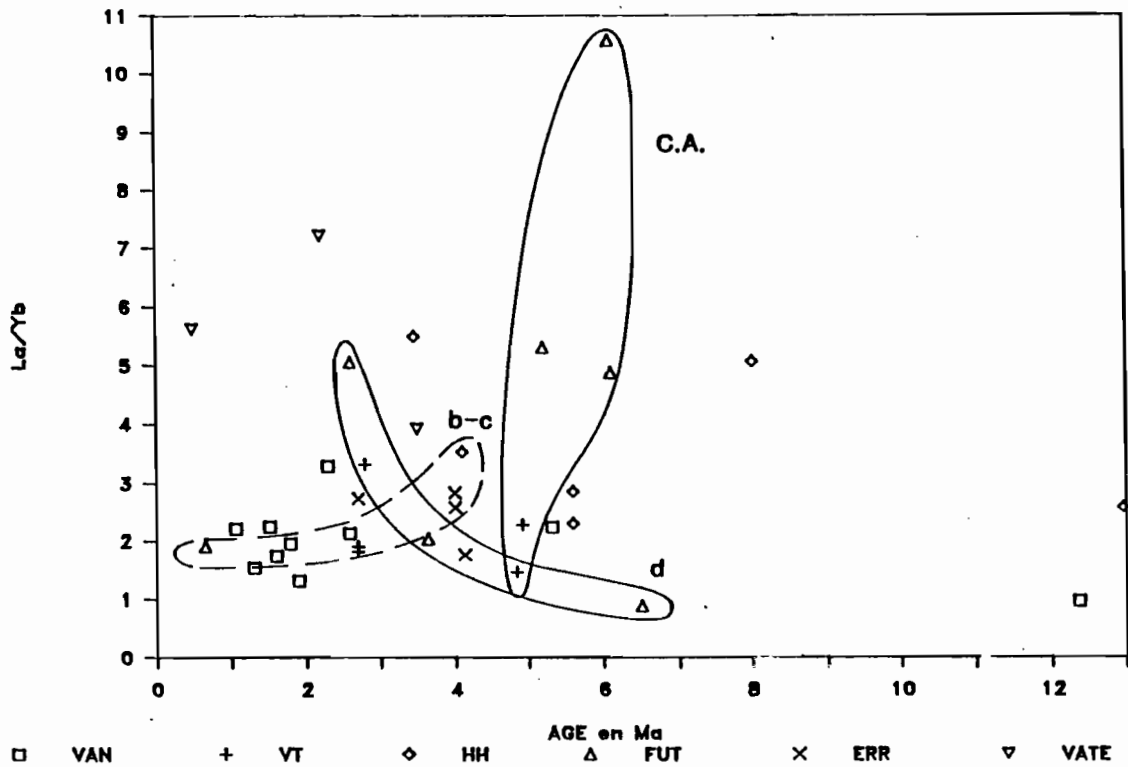


Figure V-7 : Variation du rapport La/Yb en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.  
*Variation of La/Yb ratio versus time for New Hebrides troughs lavas.*

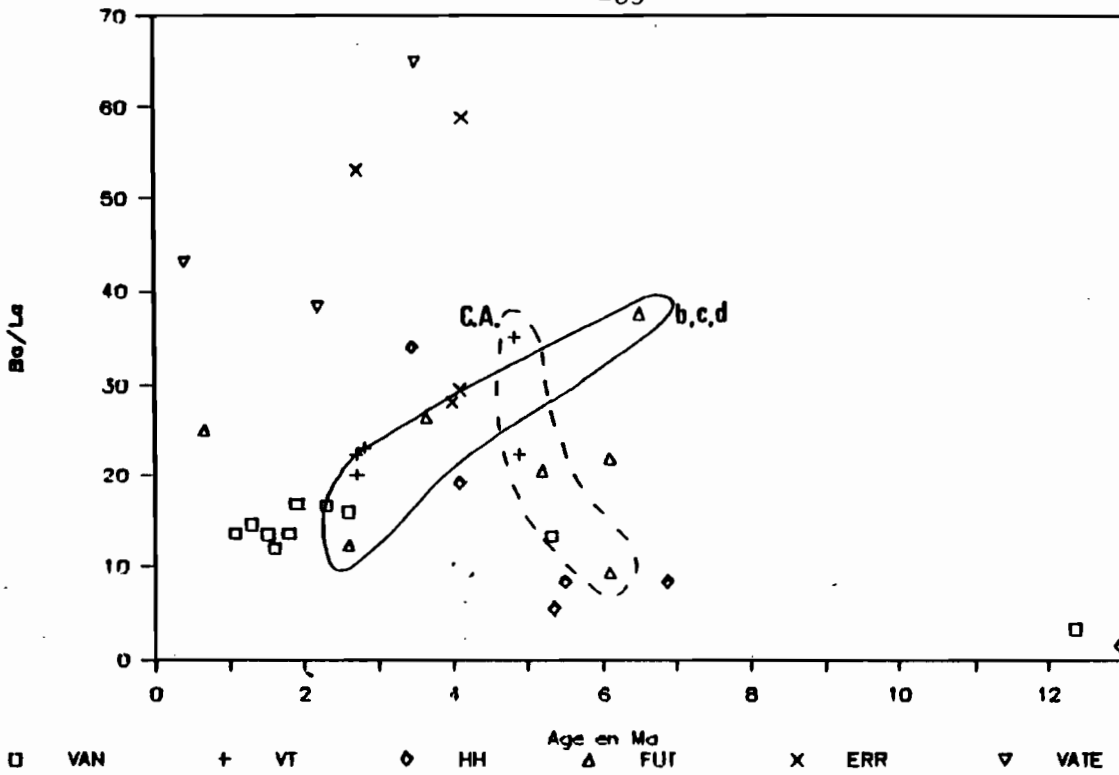


Figure V-8 : Variation du rapport Ba/La en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

*Variation of Ba/La ratio versus time for New Hebrides troughs lavas.*

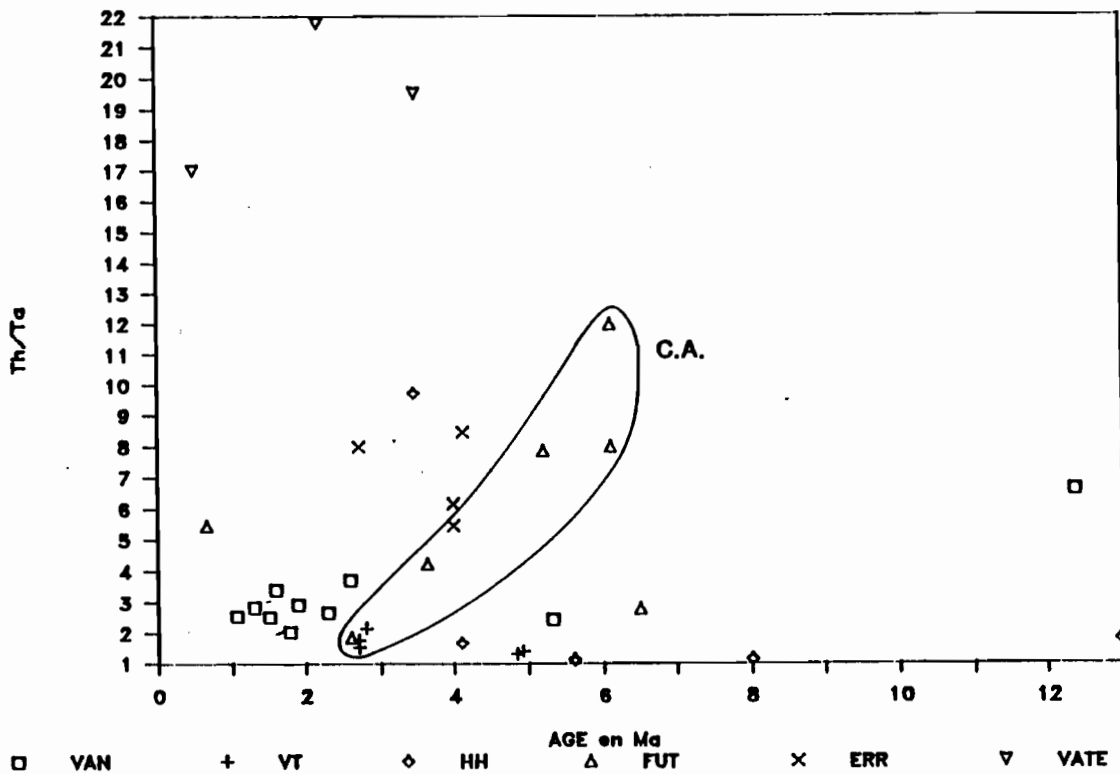


Figure V-9 : Variation du rapport Th/Ta en fonction du temps dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

*Variation of Th/Ta ratio versus time for New Hebrides troughs lavas.*

alcalines voient leur rapport Th/Ta décroître ( 11,5 à 1) entre 6,1 et 4,8 Ma, ainsi que les basaltes tholéitiques magnésiens ( 8,5 à 1,5) entre 4,1 et 2,6 Ma.

#### C - EVOLUTION DE CHAQUE GROUPE GEOCHIMIQUE

De façon générale, le groupe des basaltes intermédiaires entre MORB et TH.A (f) et le groupe des laves acides hypopotassiques (g) de la zone Vanikoro ne montrent pas ou peu de variations au cours du temps, qu'il s'agisse des éléments ou des rapports d'éléments. Ceci suggère que la source de ces laves est restée inchangée entre 3,9 et 1 Ma.

Par contre, les autres groupes de laves typiquement orogéniques montrent une évolution des concentrations. Cette diversité peut être mise en relation avec la dispersion géographique des échantillons; elle peut refléter les hétérogénéités probables de source. Les évolutions les plus nettes sont celles des laves basiques calco-alcalines de la période 6,1-4,8 Ma qui montrent une augmentation de la teneur en  $K_2O$  et en  $TiO_2$ , du rapport Ba/La, et une diminution des rapports La/Yb et Th/Ta. Ceci traduit un enrichissement de la source en alcalins, alcalino-terreux et titane par rapport aux TRI. Les basaltes orogéniques tholéitiques montrent souvent des évolutions inverses de celles des laves calco-alcalines. Ainsi, la teneur en  $K_2O$  tend à diminuer au cours du temps, de même que le rapport Ba/La, tandis que le rapport La/Yb s'accroît sensiblement. Par contre, la teneur en  $TiO_2$  qui augmente au cours du temps montre une évolution similaire à celle des laves calco-alcalines, tout comme le rapport Th/Ta qui diminue, mais seulement dans le groupe magnésien. A l'inverse de la source des laves calco-alcalines, celle des tholéites d'arc s'appauvrit en alcalins et alcalino-terreux par rapport aux TRI. Enfin, les laves acides calco-alcalines potassiques ou très potassiques montrent une variabilité importante des teneurs et des rapports des éléments, qui ne permet pas d'établir pour l'instant de corrélation.

#### D - PROBLEME DES HETEROGENEITES - APPROCHE TEMPORELLE

Il semble donc que la nature de la source varie au cours du temps. Pour préciser ce point, nous étudierons plus particulièrement le diagramme (Th/Ta) / (Th/Hf) proposé par Treuil *et al.* (1983) comme discriminant au regard des hétérogénéités de source. Dans ce type de diagramme, les variations du taux de fusion partielle à partir d'une même source se traduisent par l'alignement de points selon une droite ne passant pas nécessairement par l'origine ; au contraire, des droites de corrélation distinctes passant par l'origine traduisent l'existence de sources différentes. Afin de minimiser les effets de la cristallisation fractionnée, nous considérerons uniquement, dans un premier temps, les basaltes les plus primitifs, dont les teneurs en Co et Sc sont respectivement supérieures à 30 et 20 ppm.

L'éventail des droites passant par l'origine (Fig. V-10) montre la diversité des sources des laves des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides. Toutefois la dispersion importante des points augmente considérablement le nombre de droites correspondant; celles-ci reliant souvent seulement deux ou trois points doivent donc être interprétés avec

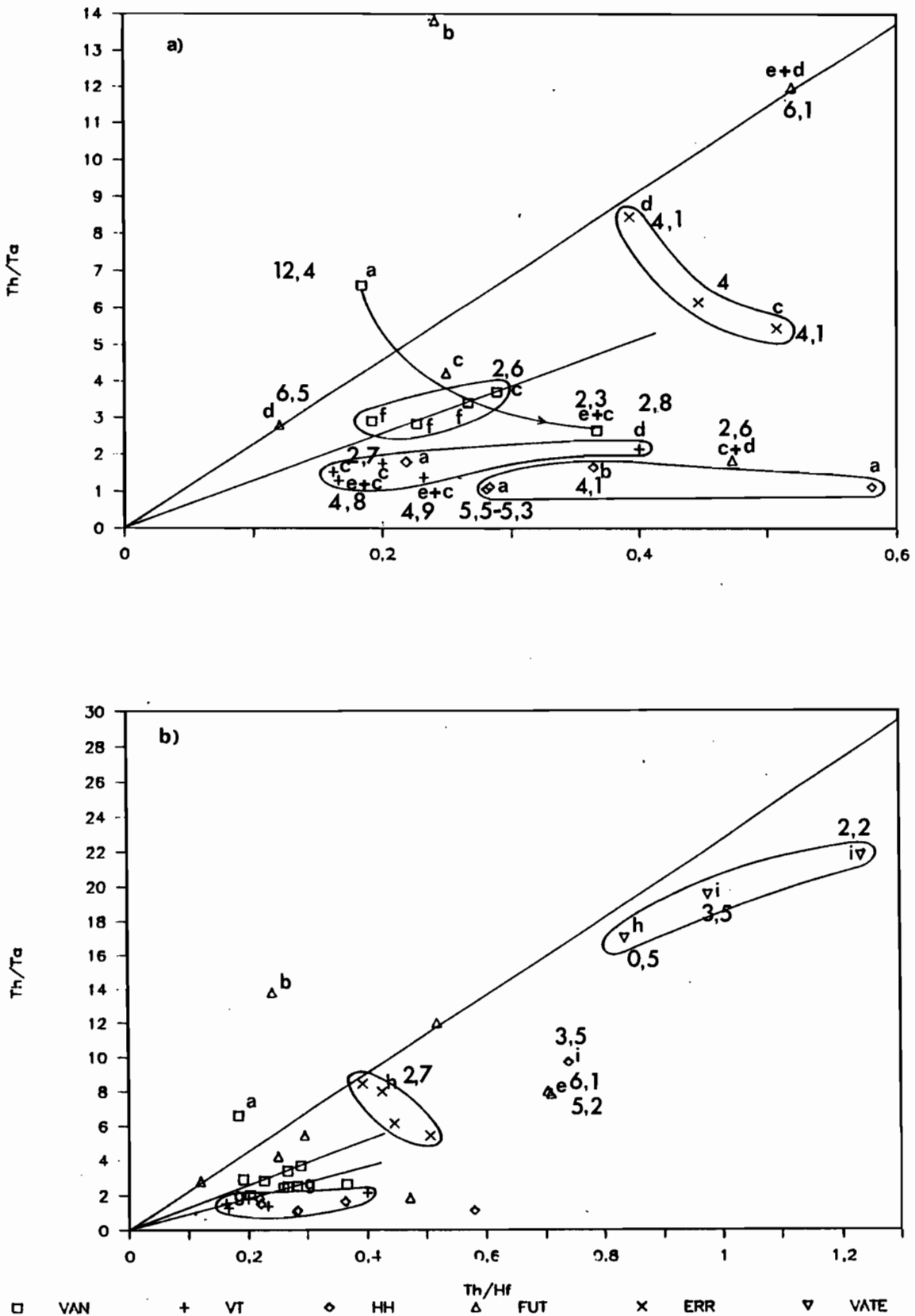


Figure V-10 : Variation du rapport Th/Ta en fonction du rapport Th/Hf dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

a) Laves basiques avec Co > 30 ppm et Sc > 20 ppm.

b) Ensemble des laves des fossés.

*Variation of Th/Ta ratio versus Th/Hf ratio for New Hebrides troughs lavas.*

prudence. Ainsi, des laves d'une même zone mais de types géochimiques différents, révèlent dans cette représentation une source similaire : D21M7 (d) et D21M1 (e + d) ; D2M1-M5 (f) et D6M1 (c) ; D14M1-M2 (a) et D15M6 (b).

Le paramètre temps superposé à cette image permet de constater que ces variations affectant la nature de la source interviennent parfois à la faveur d'un bref intervalle de temps, voire brutalement, ainsi au niveau des basaltes de la zone Erromango entre 4,1 Ma (D24M4 et D25M2) et 4 Ma (D25M4), ou de la zone Vanikoro entre 2,6 Ma (D6M1) et 2,3 Ma (D7M4).

A côté de ces variations brutales, des variations plus régulières apparaissent à plus longue échéance :

- au niveau de la zone Vanikoro entre le basalte MORB D7M2 à 12,4 Ma et la série intermédiaire entre 2 et 1,3 Ma auquel s'ajoute le basalte tholéitique d'arc D6M1 à 2,6 Ma;
- au niveau de la zone Futuna entre les basaltes datés à 6,5-6,1 Ma [D21M1-M7] et le basalte daté à 2,6 Ma [D19M1].

Enfin, on remarque que l'évolution au cours du temps des basaltes se traduit par une droite de pente plus faible: l'évolution des sources semble donc avoir lieu dans le même sens, à partir d'une composition de type MORB. Ce fait est confirmé si l'on prend en compte les données obtenues sur les laves plus différenciées, exceptées toutefois les laves acides potassiques et très potassiques. Il est intéressant de constater que l'ensemble des points se situe entre deux droites correspondant au MORB-N [D7M2] et au MORB-E [D14M1-M2].

Des alignements ne passant pas par l'origine caractérisent certaines zones. Ainsi, les basaltes de la zone Vot Tande s'alignent selon une droite sub-parallèle à l'axe des abscisses, de même les basaltes des zones Vanikoro et Hazel Holme. Ces alignements traduisent des variations du taux de fusion partielle.

## E - CONCLUSIONS

Des variations de la source interviennent au niveau d'un secteur géographique dans un intervalle de temps parfois réduit, de moins de 1 Ma.

Nous avons présenté dans le chapitre IV les possibilités de nature des sources pour les laves orogéniques tholéitiques et les laves calco-calcalines, différant par des phénomènes de contamination du manteau supérieur, de déshydratation ou de fusion partielle de la plaque océanique subductée. Des hétérogénéités de source du manteau supérieur primitif sont de plus évidentes, qui semblent pouvoir évoluer rapidement. Ceci explique en partie la diversité des produits volcaniques émis au niveau des fossés des Nouvelles-Hébrides, d'autant que des laves plus proches des MORB et semblant provenir d'une source peu évoluée par rapport à celle des MORB sont présentes dans le fossé de Vanikoro.

Cette zone Vanikoro semble être le lieu de l'initiation d'un arc, avec la mise en place d'un volcanisme initial correspondant à des basaltes intermédiaires qui possèdent des

caractères communs aux BBAA mais correspondent plutôt à des émissions primitives d'arc, suivies de laves acides hypopotassiques comparables à des laves AIP.

Cependant, le problème de l'origine des basaltes magnésiens d'une part et des laves acides calco-alcalines potassiques et très potassiques d'autre part n'est pas résolu.

**Le volcanisme basique magnésien** rencontré dans les fossés évoque les basaltes magnésiens connus dans l'arc des Petites Antilles, bien que ceux-ci soient souvent plus riches en MgO (8 à 15 %), Cr, Ni. Ces basaltes sont mis en place à la faveur d'accidents crustaux majeurs transverses à l'arc, résultant des contraintes exercées par les rides asismiques de la plaque subductée (Bouysse et Westercamp, sous presse). Ces magmas riches en Mg seraient générés dans le manteau supérieur et leur éruption se produirait par une remontée rapide en liaison avec les phénomènes de subduction de rides océaniques (Westercamp, 1988). Ce volcanisme souligne en fait des zones de fractures de l'arc. Il peut se mettre en place dans les mêmes centres volcaniques que des laves orogéniques normales, bien que ces deux types d'émissions ne soient pas liées génétiquement.

En ce qui concerne le **volcanisme acide potassique ou très potassique**, nous établirons une comparaison avec le volcanisme potassique et très potassique connu à Sulawesi. Ces séries sont considérées comme résultant de la fusion en contexte de distension intraplaque, de manteau supérieur métasomaté lors d'une subduction antérieure (Yuwono).

Bien qu'émis en contexte général différent, ces deux types de volcanisme basique magnésien (Petites Antilles) d'une part, et acide potassique ou très potassique (Sulawesi) d'autre part, semblent caractériser des processus de fracturation et d'extension. Il est donc tentant de faire le rapprochement avec les volcanites assez comparables présentes dans les fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides.

Dans ce cadre, les laves basiques magnésiennes pourraient donc apparaître à la faveur d'épisodes intenses de fracturation. La dispersion des données et l'échantillonnage par dragage ne nous permettent pas d'affirmer qu'elles proviennent de fractures transverses à l'arc, notamment pour celles issues des flancs longitudinaux des fossés. Ces laves basiques pourraient donc résulter d'une remontée rapide des magmas produits à partir d'une source de composition équivalente à celle des autres basaltes orogéniques d'une même zone, les hétérogénéités initiales mises à part. Le volcanisme acide potassique et très potassique pourrait souligner des phases de distension. Il a été essentiellement échantillonné au niveau des flancs longitudinaux des fossés et de la zone de fracture d'Hazel Holme. La similitude de ces laves avec celles connues sur l'île d'Efaté nous permet de proposer une origine par fusion de matériel acide de la plaque océanique subductée selon le modèle proposé par Coulon *et al.* (1979).

**Ces deux types de volcanisme se mettent en place au cours de périodes spécifiques de fracturation et de distension à l'origine de la formation des fossés, se surimposant ainsi à la construction de l'arc.**

### III - EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU VOLCANISME DU SYSTEME "CHAINE CENTRALE ET FOSSES ARRIERE-ARC DES NOUVELLES-HEBRIDES"

#### A - LES ILES

##### *1/ Synthèse des données précédentes*

Nous présentons dans les tableaux V-1 à 3 le récapitulatif des données disponibles pour les échantillons datés. Les données sont classées par île, du Nord au Sud et concernent le nom de l'échantillon, le type géochimique défini par les données des éléments majeurs et des traces (transition - alcalino-terreux), le spectre de TR et le rapport Th/La quand ils sont disponibles.

##### *2/ Evolution spatio-temporelle*

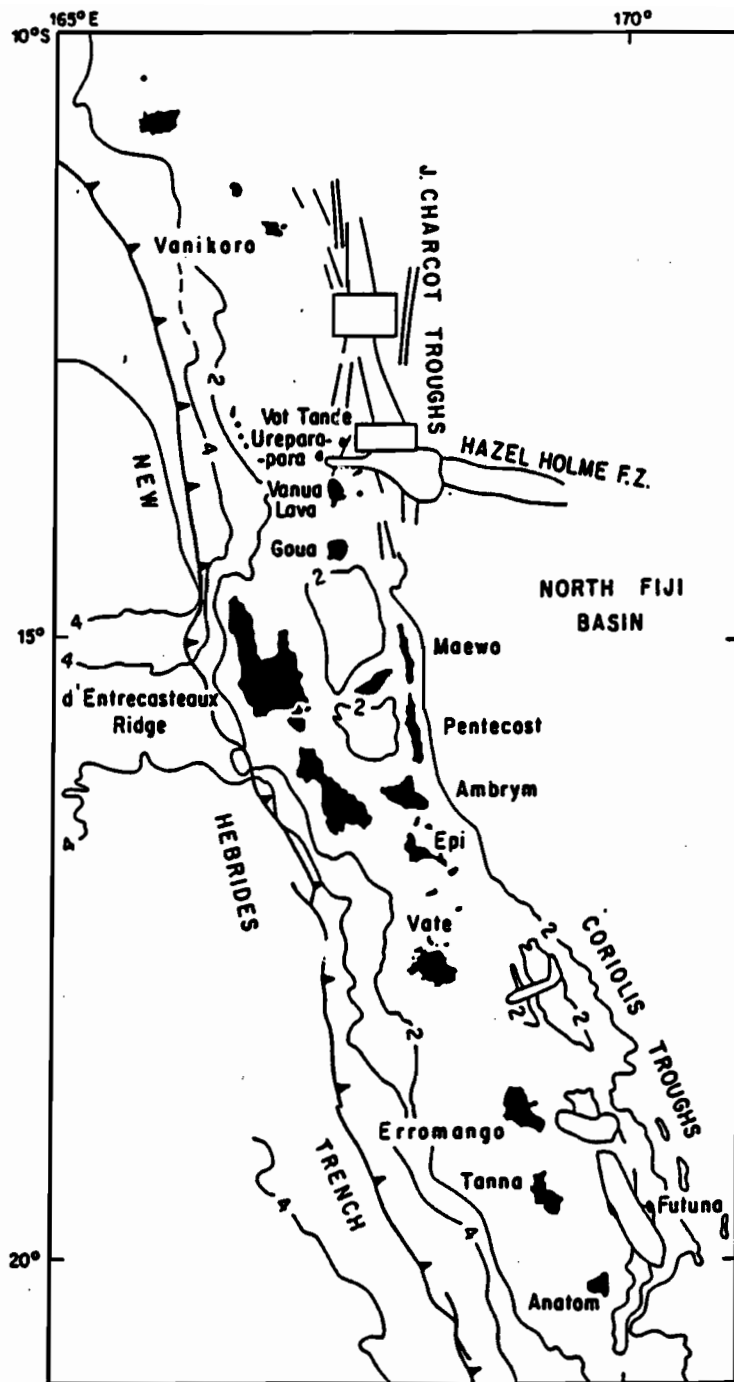
#### a) Les îles du Nord (îles Banks)

Il faut noter dès à présent que nous ne possédons pas de datations pour l'ensemble des types de laves de chacune des îles, ce qui entraîne des incertitudes sur le schéma évolutif.

La figure V-11 et le tableau V-1 mettent en évidence la succession de laves orogéniques tholéitiques et calco-alcalines au cours du temps, d'une île à l'autre, et parfois au sein d'une même île.

Il existe deux situations différentes :

- Les îles de Vot Tande, Mota Lava, Mota et Mere Lava présentent des laves de nature tholéitique d'arc mais d'âges divers. Ces îles sont de petite taille et en position légèrement décentrée vers l'Est par rapport à l'axe de la chaîne volcanique récente.
- Les îles d'Ureparapara, Vanua Lava et Gaua sont caractérisées par la diversité du volcanisme : tholéitique d'arc et calco-alcalin, le caractère calco-alcalin étant prédominant. Ces îles, de taille plus importante que les précédentes, se situent dans l'axe de la chaîne centrale. Malheureusement, les datations de ces deux types de laves n'existent que pour l'île de Vanua Lava. Dans ce cas, le volcanisme tholéitique (0,7 Ma) précède le volcanisme calco-alcalin (0,45-0,2 Ma). Supposons qu'il en soit de même pour les autres îles, on obtient alors la succession tholéitique d'arc à calco-alcalin, schéma classique d'évolution du volcanisme en contexte d'arc insulaire. Dans ce cadre, les petites îles ne montreraient que le premier stade de l'évolution tholéitique, sans doute avorté pour Vot Tande et peut être Mota ou seraient susceptibles de voir leur volcanisme devenir calco-alcalin (Mota Lava et Mere Lava). Par contre, la



— Période d'activité volcanique VOT TANDE = nom de zone de fossé

e Type géochimique      Vot Tande = nom d'île

|                    | 0             | 1 | 2       | 3 | 4         | 5 | 6       | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | Ma |
|--------------------|---------------|---|---------|---|-----------|---|---------|---|---|---|----|----|----|----|----|
| VANIKORO           | g,f           |   | c,e+c   |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    | a  |
| Iles Banks du Nord | h,e+c,c,b     |   | b       |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| VOT TANDE          |               |   | c,d     |   | e+c       |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| HAZEL HOLME        |               |   | i,b     |   | a         |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Iles Banks du Sud  | bc+d,d        |   | e       |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Aoba               | e+c,e         |   |         |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Pentecôte          |               |   | g'      |   | c e+c,h   |   | h,f     |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Epi                | h,e           |   |         |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| VATE               | h,d,i,e+d,i,d |   |         |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Vaté               | c             |   | i,b,d   |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| ERROMANGO          |               |   | h,c,d   |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Erromango          | b             |   | e e,b,d |   | e+d,e,b,d |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Tanna              | b'            |   | c       |   | e b       |   | e,e+d,d |   |   |   |    |    |    |    |    |
| FUTUNA             | c             |   | c+d     |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Futuna             | e,c+d,e+c     |   |         |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |
| Anatom             | c,e,d         |   |         |   |           |   |         |   |   |   |    |    |    |    |    |

Figure V-11 : Types géochimiques des différentes périodes de volcanisme de chacune des îles et des zones de fossés.  
*Geochemical types for the different volcanism periods of every island and every troughs area.*

| Ile   | Ech.        | Age en Ma | Classe      | Bibliographie | Type |
|-------|-------------|-----------|-------------|---------------|------|
|       | Vot tande   | VGMAC1    |             | 3,5 +/- 0,2   |      |
|       |             | VGA8      | 3,1 +/- 0,2 | 1             | b    |
|       |             | VGM1      | 3,0 +/- 0,2 | 1             | b    |
|       | Ureparapara | URF1      | 1,9 +/- 0,3 | 3             | e+c  |
|       |             | URMM3     | 1,2 +/- 0,1 | 1             | e    |
|       |             | URMM2     | 1,1 +/- 0,1 | 1             | e    |
|       |             | URG2      | 1,1 +/- 0,1 | 3             | e+c  |
|       |             | URF6      | 1,1 +/- 0,1 | 1             | e+c  |
| ILES  |             |           |             |               |      |
| BANKS | Vanua Lava  | VLC115    | 0,7 +/- 0,2 | 3             | b    |
| NORD  |             | VLA15     | 0,5 +/- 0,1 | 5             | h    |
|       |             | VMAC1     | 0,4 +/- 0,1 | 3             | e+c  |
|       |             | VLA69     | 0,4 +/- 0,1 | 3             | e    |
|       |             | VMAC006   | 0,4 +/- 0,1 | 3             | e+c  |
|       |             | VLC60     |             | 0,4 +/- 0,05  | h    |
|       | Mota Lava   | MVA15     | 2,5 +/- 0,4 | 3             | d    |
|       |             | MLMAC39   |             | 0,4 +/- 0,05  |      |
|       |             | MVA11     | < 0,3       | 3             | b'   |
|       | Mota        | MOT1      | 1,3 +/- 0,1 | 3             | b    |
| ILES  |             |           |             |               |      |
| BANKS | Gaua        | GA5       | 3,4 +/- 1,0 | 5             | e    |
| SUD   |             | GM62      |             | 1,8 +/- 0,2   |      |
|       |             | GM60      |             | 1,7 +/- 0,6   | e'   |
|       |             | GM61      |             | 0,8 +/- 0,4   | e    |
|       |             | MERN10    |             | 1,1 +/- 0,5   | c+d  |
|       | Merig       | BC14      |             | 1,1 +/- 0,8   | d    |
|       |             | BC18      |             | < 0,1         |      |
|       | Mere Lava   | MLKK1     | < 0,3       | 4             | b'   |

Tableau V-1 : Tableau synthétique des échantillons des îles Banks : datations et types géochimiques.

*Synthetical table for samples from Banks islands : K-Ar ages and geochemical types.*

disposition du volcanisme calco-alcalin et tholéitique, respectivement plus proche et plus éloigné de la fosse, est contraire au schéma classique des arcs, comme l'ont déjà souligné Barsdell *et al.* (1982).

#### **b) Les îles centrales**

Nous considérons dans ce groupe l'île de Pentecôte, malgré son appartenance à la ceinture est de l'arc (mio-pliocène), car la fin de l'activité volcanique de cette île recouvre en partie celle de la chaîne centrale, entre 6,5 et 3 Ma. Les émissions volcaniques montrent une succession de laves tholéitiques et calco-alcalines; le caractère répétitif évoque un cycle. Il est intéressant de constater que le basalte le plus ancien de cette période (70-610) est de type f (intermédiaire) ; il s'agit du seul basalte de ce type trouvé sur l'ensemble des îles et par ailleurs spécifique du fossé de Vanikoro. Du volcanisme acide potassique (h) est également présent sur l'île vers 5,9 Ma, juste après les émissions de basaltes magnésiens (d et e+d) du fossé de Futuna (6,5 et 6,1 Ma).

L'activité des îles centrales *s.s.* débute vers 0,7 Ma à Epi puis seulement à partir de 0,3 Ma à Aoba, Ambrym et sur les îlots voisins d'Epi. L'affinité calco-alcaline prédomine, mais des laves tholéitiques d'arc, généralement non datées, excepté à Tongoa (âge actuel), sont également présentes. Les basaltes tholéitiques de Tongoa sont contemporains des dernières émissions d'Epi ou leur succèdent. Ceci pourrait marquer une migration d'Ouest en Est avec reprise de l'activité d'affinité tholéitique d'arc à l'Est .

#### **c) les îles du Sud**

Les prémices de l'activité de la chaîne centrale apparaissent à Erromango vers 5,6-5,3 Ma ; ces laves sont des tholéites d'arc. Par la suite l'activité se manifeste à partir de 4,1 Ma toujours sur cette île ; elle gagne Tanna vers 3 Ma, Futuna et Anatom vers 2,2-2 Ma et enfin Vaté vers 1,6 Ma. Sur chacune des îles, ces premières émissions sont de nature tholéitique d'arc, sauf à Futuna où elles sont de nature calco-alcaline.

L'activité est caractérisée par une succession de laves tholéitiques et calco-alcalines dans des périodes de temps assez limitées. On observe l'alternance de ces deux types de volcanisme au cours de cycles plus ou moins réguliers. Certaines périodes sont caractérisées par l'un de ces types : entre 4,1 et 3,7 Ma le volcanisme est tholéitique à Erromango, puis entre 3,7 et 3,4 Ma il est calco-alcalin ; entre 3 et 2,55 Ma il est calco-alcalin à Erromango et Tanna ; entre 2,45 Ma et 1,7 Ma il est calco-alcalin à Erromango, Tanna et Futuna. Le volcanisme des périodes plus récentes montre souvent des affinités différentes soit pour des laves contemporaines dans les différentes îles, soit dans une même île (Vaté). Au niveau des grandes îles (Tanna, Erromango et Vaté), l'activité migre d'Ouest en Est au cours des dernières phases d'activité.

L'histoire volcanique des îles du Sud de la chaîne centrale ne montre pas de schéma évolutif aussi simple que celui défini pour les îles septentrionales et centrales. Cette complexité peut tenir à sa durée plus importante et à la taille bien supérieure des îles du Sud; ceci peut laisser supposer une plus grande hétérogénéité caractérisant la source de ces laves.

| Ile               | Ech.          | Age en Ma<br>Bibliographie | Type Spectre TR |                |
|-------------------|---------------|----------------------------|-----------------|----------------|
| ILES<br>CENTRALES | Aoba          | 70-525                     | 0,11 +/- 0,02   | e              |
|                   |               | 70-108                     | 0,08 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-107                     | 0,07 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-106                     | 0,06 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-109                     | 0,06 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-532                     | 0,05 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-515                     | 0,04 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-534                     | 0,04 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-538                     | 0,01 +/- 0,005  |                |
|                   | Ambrym        | 70-1570                    | -0,02 +/- 0,04  |                |
|                   |               | 70-1571                    | -0,004 +/- 0,1  |                |
|                   | Tongoa        | 70-694                     | 0,07 +/- 0,02   |                |
|                   |               | 70-711                     | -0,02 +/- 0,04  |                |
|                   | Epi           | 70-666                     | 0,70 +/- 0,01   | e Très enrichi |
|                   |               | 70-676                     | 0,70 +/- 0,02   |                |
|                   |               | 70-679                     | 0,70 +/- 0,02   |                |
|                   |               | 70-678                     | 0,65 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-677                     | 0,60 +/- 0,02   | h Très enrichi |
|                   |               | 70-674 2                   | 0,60 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-682                     | 0,60 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-675                     | 0,60 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-680                     | 0,50 +/- 0,02   |                |
|                   |               | 70-674 1                   | 0,50 +/- 0,02   |                |
|                   |               | 70-673 2                   | 0,50 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-673 1                   | 0,45 +/- 0,03   |                |
|                   |               | 70-672                     | 0,40 +/- 0,01   |                |
|                   |               | 70-671                     | 0,10 +/- 0,03   |                |
| Pentecôte         | 70-610        | 6,10 +/- 0,60              | f               |                |
|                   | 70-593        | 5,90 +/- 0,15              | h               |                |
|                   | 70-629        | 5,15 +/- 0,10              | e               |                |
|                   | 70-613        | 4,95 +/- 0,20              | d               |                |
|                   | 70-619        | 4,65 +/- 0,25              | h               |                |
|                   | 70-718        | 4,40 +/- 0,10              | etc             |                |
|                   | 70-612        | 3,90 +/- 0,05              | c               |                |
| 70-719            | 3,25 +/- 0,15 | g'                         |                 |                |

Tableau V-2 : Tableau synthétique des échantillons des îles centrales : datations et types géochimiques.

*Synthetical table for samples from central islands : K-Ar ages and geochemical types.*

| Ile               | Ech.      | Age en Ma   | Classe      | Biographie | Type Spectre TR | Th/Ta |              |      |
|-------------------|-----------|-------------|-------------|------------|-----------------|-------|--------------|------|
| ILES<br>DU<br>SUD | Vate      | Q3          | 1,6 +/- 0,2 | 3          |                 | d     |              |      |
|                   |           | Ma6         | 1,6 +/- 0,2 | 3          | 1,58 +/- 0,05   | b     |              |      |
|                   |           | EA301       |             |            |                 | i     |              |      |
|                   |           | BOK11       | 1,5 +/- 0,1 | 1          |                 | i     |              |      |
|                   |           | V5          |             |            | 1,45 +/- 0,10   | i     |              |      |
|                   |           | Q1          | 0,7 +/- 0,2 | 3          |                 | c     |              |      |
|                   | Erromango | E38         |             |            | 5,30 +/- 0,25   | b     |              |      |
|                   |           | E42         |             |            | 5,25 +/- 0,25   | b     |              |      |
|                   |           | E15         |             |            | 4,10 +/- 0,20   | d     |              |      |
|                   |           | E77         |             |            | 3,90 +/- 0,20   | b     |              |      |
|                   |           | E10         |             |            | 3,70 +/- 0,30   | b     |              |      |
|                   |           | E27         |             |            | 3,70 +/- 0,02   | e     |              |      |
|                   |           | E7          |             |            | 3,60 +/- 0,02   | e     |              |      |
|                   |           | E70         |             |            | 3,40 +/- 0,15   | e     |              |      |
|                   |           | E19         |             |            | 3,40 +/- 0,15   | e+d   |              |      |
|                   |           | E31         |             |            | 2,90 +/- 0,40   | d     |              |      |
|                   |           | E16         |             |            | 2,55 +/- 0,15   | b     | Lég.enrichi  | 14,5 |
|                   |           | E75         |             |            | 2,55 +/- 0,15   | b     |              |      |
|                   |           | E40         |             |            | 2,45 +/- 0,10   | e     | Lég.enrichi  | 8,3  |
|                   |           | E1          |             |            | 2,35 +/- 0,10   | e     |              |      |
|                   |           | E4          |             |            | 1,70 +/- 0,20   | e     |              |      |
|                   |           | E32         |             |            | 1,20 +/- 0,05   | e     |              |      |
|                   |           | E12         |             |            | 1,10 +/- 0,10   | e     |              |      |
|                   | E56       |             |             | <0,3       | b               |       |              |      |
|                   | E46       |             |             | <0,3       | b               |       |              |      |
|                   | Tanna     | TAC35b      | 3,0 +/- 0,2 | 1          |                 | b     |              |      |
|                   |           | TAC64       |             |            | 2,45 +/- 0,05   |       |              |      |
|                   |           | TAC37       | 2,3 +/- 0,1 | 1          |                 | e     |              |      |
|                   |           | TAC100      |             |            | 0,65 +/- 0,10   | b'    |              |      |
|                   |           | TAC105      |             |            | 0,09 +/- 0,02   |       |              |      |
|                   | Futuna    | FUT65       | 2,0 +/- 0,1 | 1          |                 | e+c   | Très enrichi | 6,1  |
|                   |           | FMAC22      | 2,0 +/- 0,1 | 1          |                 | e     |              |      |
|                   |           | FMAC56      |             |            | 1,80 +/- 0,05   |       |              |      |
| FMAC48            |           | 1,6 +/- 0,1 | 1           |            | c+d             |       |              |      |
| FMAC50            |           | 1,4 +/- 0,1 | 1           |            | e               |       |              |      |
| FUT2              |           | 1,4 +/- 0,1 | 1           |            |                 |       |              |      |
| Anatom            | AYMAC40   | 2,0 +/- 0,2 | 1           |            | d               |       |              |      |
|                   | AYC54     | 1,6 +/- 0,1 | 1           |            | e               |       |              |      |
|                   | AYC2      | 1,3 +/- 0,2 | 2           |            | c               |       |              |      |

Tableau V-3 : Tableau synthétique des échantillons des îles du Sud : datations et types géochimiques.

*Synthetical table for samples from southern islands : K-Ar ages and geochemical types.*

### *3/ Evolution de la chaîne centrale*

L'activité est tout d'abord limitée à l'île d'Erromango (5,6-5,3 Ma). Elle reprend ensuite à partir de 4,1 Ma sur cette île puis seulement vers 3,5 Ma à Vot Tande et 3 Ma à Tanna. Ensuite, à partir de 2,1-2 Ma elle se distribue plus largement à Futuna, Anatom puis Gaue, éventuellement Ureparapara vers 1,8 Ma et Vaté. Enfin, l'activité se généralise à l'ensemble des îles à partir de 0,7 Ma du Sud au Nord. Toutefois les îles de Vot Tande et Futuna ne présentent aucune trace d'activité récente.

On peut remarquer qu'il existe des similitudes dans la nature des produits émis au Nord et au Sud, par exemple entre 1,7 et 1,1 Ma le volcanisme est d'affinité calco-alcaline à Gaua, Ureparapara et Erromango.

## **B - LES FOSSES**

### *1/ Synthèse des différentes données*

Le tableau V-4 présente une synthèse des données obtenues sur les fossés, pour les échantillons datés, zone par zone.

### *2/ Evolution spatio-temporelle du volcanisme des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides*

#### **a) Le domaine Nord**

##### **\* La zone VANIKORO**

Les témoins anciens datés à 13-12 Ma provenant du flanc oriental du fossé sont des basaltes de type a (MORB) interprétés comme des témoins de la croûte océanique ancienne du BNF. Les âges ultérieurs obtenus pour les laves de cette zone sont de 3,85 Ma - 2,85 Ma au niveau du cône D5 (Fig. I-12) de l'édifice principal, puis sont compris entre 2,6 et 1,05 Ma (cônes D5, D3, D2 et D1). Ils caractérisent un volcanisme basique de type intermédiaire entre MORB et Th.A (f) jusqu'à 1,1 Ma. Les premières émissions du volcanisme acide hypopotassique (g) entre 1,8 et 1,1 Ma sont synchrones de ces basaltes de type f. Puis ces volcanites de type g perdurent jusqu'à 1 Ma. Enfin, elles constituent les émissions les plus récentes connues dans l'ensemble des fossés, de moins de 0,3 Ma. Ce volcanisme hypopotassique (proche des PIAT) prend le relais de celui de type f dans le secteur de Vanikoro.

Vers 2,6 et 2,3 Ma, des laves orogéniques [Th.A-Ti, D6M1 et CA-Ti, D7M4] sont mises en place au niveau du flanc oriental du fossé (Fig. I-12). La construction de l'édifice principal peu tectonisé en bordure du fossé paraît postérieure à la formation du fossé et donc certainement aux laves orogéniques du flanc. Dans ce cas, il faut reconsidérer les âges les plus anciens obtenus sur l'édifice principal (3,85 Ma particulièrement) qui semblent donc trop élevés comme le laissait présumer les concentrations importantes de  $^{36}\text{Ar}$  (cf. chapitre II). Toutefois, les âges de 3,85 et 2,85 Ma correspondent aux basaltes du cône D5, très excentré par rapport à la structure principale. On peut donc considérer que ce cône a constitué les prémices de l'édifice, qui s'est mis en place essentiellement à partir de 1,8 Ma dans le fossé déjà formé. De plus, les âges obtenus pour un même cône de cet édifice témoignent du polyphasage de leur construction.

#### \* La zone VOT TANDE

Le fossé de Vot Tande est caractérisé par un volcanisme de nature orogénique, d'abord calco-alcalin vers 4,9-4,8 Ma (ride médiane D11) puis tholéitique vers 2,75 Ma (cône D10 et flanc occidental D12) (Fig. I-13). Les émissions provenant de la ride et du cône situés à la terminaison méridionale du fossé sont enrichies en  $\text{TiO}_2$ , ce caractère n'est pas observé pour les laves du flanc occidental enrichies par contre en MgO-Cr-Ni. Les laves tholéitiques (c et d) sont d'âge voisin (2,7-2,8 Ma) de celui du basalte D6M1 (c ; 2,6 Ma) du fossé de Vanikoro et sont postérieures aux émissions de l'île de Vot Tande (3,5 à 3 Ma).

#### \* La zone HAZEL HOLME

Cette zone de fracture montre la superposition de laves de type MORB-E, d'âge voisin de 5,5-5,3 Ma. Ce volcanisme est différent des MORB de la zone Vanikoro datés à 13-12 Ma et correspondant aux premiers témoins du BNF. Il est possible que ce MORB-E soit lié au fonctionnement de la zone de fracture d'Hazel Holme interprétée comme une zone en extension (Louat et Charvis, sous presse).

Au-dessus de ces basaltes on trouve des laves orogéniques, basiques tholéitiques d'arc (b) vers 4,1 Ma, puis calco-alcalines hyperpotassiques (i) vers 3,5 Ma.

#### \* Evolution des fossés du Jean-Charcot

Pour reconstituer l'histoire des fossés, nous disposons de deux critères principaux : l'âge et la nature du volcanisme qui s'y trouve aujourd'hui, associés bien sûr à la structuration. A cette fin, nous nous appuyerons sur une déduction logique (1) et une hypothèse (2).

(1) Comme cela a déjà été souligné dans le chapitre de géochronologie (paragraphe III-C), la présence d'édifices volcaniques peu déformés en fond de fossé ou sur leurs flancs témoigne d'une activité volcanique postérieure à la structuration majeure de ces fossés.

| Zone           | Ech.                 | Position structurale           | Age en Ma    | Classe | Type         | Spectre TR Th/Ta   |
|----------------|----------------------|--------------------------------|--------------|--------|--------------|--------------------|
| VANIKORO       | D7M2                 | Flanc est                      | 12,4 +/- 0,9 | 2      | a            | appauvri 6,60      |
|                | D5M4                 | Cone excentre est de l'edifice | 3,9 +/- 0,6  | 2      | f            |                    |
|                | D5M1                 |                                | 2,9 +/- 0,4  | 2      | f            |                    |
|                | D6M1                 | Flanc est                      | 2,6 +/- 0,5  | 3      | c            | plat 3,70          |
|                | D7M4                 | Flanc est                      | 2,3 +/- 0,2  | 3      | e+c          | enrichi 2,65       |
|                | D5M5                 | Cone excentre est D5           | 1,9 +/- 0,3  | 4      | f            | appauvri 2,90      |
|                | D3M1                 | Cone oriental                  | 1,8 +/- 0,1  | 1      | g            |                    |
|                | D3M3                 | Cone oriental                  | 1,8 +/- 0,3  | 2      | f            |                    |
|                | D2M5                 | Cone central                   | 1,6 +/- 0,5  | 4      | f            | plat 3,40          |
|                | D3M2                 | Cone oriental                  | 1,5 +/- 0,4  | 3      | g            |                    |
|                | D1M9                 | Cone occidental                | 1,5 +/- 0,1  | 1      | g            | lég. enrichi 2,50  |
|                | D2M1                 | Cone central                   | 1,3 +/- 0,4  | 4      | f            | plat 2,80          |
|                | D3M4                 | Cone oriental                  | 1,1 +/- 0,2  | 2      | f            |                    |
|                | D1M3                 | Cone occidental                | 1,1 +/- 0,2  | 2      | g            |                    |
|                | D1M8                 | Cone occidental                | 1,1 +/- 0,2  | 2      | g            | lég. enrichi 2,55  |
| D1M5           | Cone occidental      | < 0,3                          | 2            | g      |              |                    |
| VOT TANDE      | D11M1                | Ride centrale                  | 4,9 +/- 0,2  | 2      | e+c          | lég. enrichi 1,40  |
|                | D11M2                | Ride centrale                  | 4,8 +/- 0,2  | 2      | e+c          | plat 1,30          |
|                | D12M1                | Flanc occidental               | 2,8 +/- 0,1  | 1      | d            | lég. enrichi 2,15  |
|                | D10M1                | Cone en fond du fossé          | 2,8 +/- 0,1  | 1      | c            | plat 1,75          |
|                | D10M2                | Cone en fond du fossé          | 2,7 +/- 0,1  | 1      | c            | plat 1,55          |
| HAZEL<br>HOLME | D14M1                | Escarpeement sud, base         | 5,5 +/- 0,4  | 2      | a            | lég. enrichi 1,05  |
|                | D14M2                | Escarpeement sud, base         | 5,2 +/- 0,8  | 2      | a            | lég. enrichi 1,15  |
|                | D15M6                | Escarpeement sud, sommet       | 4,1 +/- 0,2  | 1      | b            | lég. enrichi 1,65  |
|                | D15M12               | Escarpeement sud, sommet       | 3,5 +/- 0,3  | 3      | i            | enrichi 9,70       |
| VATE           | D27M12               | Flanc oriental, base           | 3,5 +/- 0,3  | 1      | d            |                    |
|                | D27M17               | Flanc oriental, base           | 3,4 +/- 0,2  | 1      | i            | lég. enrichi       |
|                | D29M6                | Flanc oriental, sommet         | 3,2 +/- 0,2  | 1      | e+d          |                    |
|                | D29M3                | Flanc oriental, sommet         | 3,0 +/- 0,2  | 3      | i            |                    |
|                | D27M4                | Flanc oriental, base           | 2,4 +/- 0,1  | 1      | i            |                    |
|                | D28M1                | Flanc oriental, milieu         | 2,2 +/- 0,2  | 2      | i            |                    |
|                | D27M1                | Flanc oriental, base           | 2,2 +/- 0,1  | 2      | i            | très enrichi       |
|                | D31M2                | Cone au Nord du fossé          | 1,5 +/- 0,2  | 3      | d            |                    |
|                | D31M1                | Cone au Nord du fossé          | 1,4 +/- 0,2  | 2      | d            |                    |
|                | D30M2                | Cone au Nord du fossé          | 1,4 +/- 0,2  | 3      | d            |                    |
|                | D30M1                | Cone au Nord du fossé          | 1,1 +/- 0,2  | 2      | d            |                    |
| D26M7          | Flanc oriental, base | 0,5 +/- 0,1                    | 2            | h      |              |                    |
| D26M6          | Flanc oriental, base | 0,4 +/- 0,05                   | 1            | h      | très enrichi |                    |
| ERROMANGO      | D24M4                | Flanc occidental, base         | 4,1 +/- 0,2  | 2      | d            | plat 8,42          |
|                | D25M2                | Cone sur le flanc NW           | 4,1 +/- 0,3  | 3      | c            | lég. enrichi 5,45  |
|                | D25M4                | Cone sur le flanc NW           | 4,0 +/- 0,6  | 3      | c            | lég. enrichi 6,15  |
|                | D24M6                | Flanc occidental, base         | 3,6 +/- 0,2  | 2      | b            |                    |
|                | D24M3                | Flanc occidental, base         | 2,7 +/- 0,1  | 1      | h            | lég. enrichi 8,00  |
| FUTUNA         | D21M7                | Petit rel.: (fond fossé)       | 6,5 +/- 0,5  | 1      | d            | appauvri 2,80      |
|                | D21M1                | Petit relief (fond fossé)      | 6,1 +/- 0,3  | 3      | e+d          | très enrichi 12,00 |
|                | D17M3                | Flanc oriental, base 2         | 6,1 +/- 0,3  | 3      | e            | enrichi 8,00       |
|                | D16M1                | Flanc oriental, base 1         | 5,2 +/- 0,3  | 3      | e            | enrichi 7,85       |
|                | D20M3                | Cone sur le flanc NW           | 3,6 +/- 0,5  | 4      | c            | plat 4,25          |
|                | D19M1                | Flanc oriental, sommet         | 2,6 +/- 0,2  | 3      | c+d          | enrichi 1,85       |
|                | D20M1                | Cone sur le flanc NW           | 1,7 +/- 0,3  | 3      | c            |                    |
| D20M6          | Cone sur le flanc NW | 0,7 +/- 0,2                    | 1            | c      | plat 5,45    |                    |

Tableau V-4 : Tableau synthétique des échantillons des fossés à l'arrière de l'arc des Nouvelles Hébrides.

*Synthetical table for samples from troughs behind the New Hebrides arc.*

- (2) Nous postulons que le volcanisme, basique magnésien (d) d'une part, et acide potassique (h) ou très potassique (i) d'autre part, est lié à la formation des fossés. En effet, le volcanisme basique magnésien est mis en place dans l'arc des Petites Antilles à la faveur d'accidents crustaux majeurs transverses à l'arc (Maury et Westercamp, 1985 ; Westercamp, 1988). D'autre part, le contexte géodynamique de la mise en place des séries volcaniques riches en potassium (shoshonitiques, alcalines potassiques et alcalines ultrapotassiques) du SW de Sulawesi est apparemment un contexte de distension (Yuwono, 1987). Par analogie avec ces deux types de volcanisme étroitement liés à des phénomènes de fracturation ou de distension, nous considérons que les laves basiques magnésiennes et les laves acides potassiques ou très potassiques des fossés des Nouvelles-Hébrides se mettent en place à la faveur de leur formation.

D'après le critère (1), l'âge minimum de formation des fossés est de 2,7 Ma au niveau de Vot Tande (âge du cône D10) et de 3,9 Ma (si on retient l'âge de D5M4) ou de 2,9 Ma dans la zone Vanikoro. L'hypothèse (2) permet de contraindre davantage ces âges.

Tout d'abord au niveau de Vot Tande, la formation intervient vers 2,8 Ma (âge du volcanisme basique magnésien du flanc occidental). Cette formation est par ailleurs scellée par la mise en place du cône D10 d'âge très voisin (2,7 Ma). Au niveau de Vanikoro, le volcanisme basique intermédiaire (f), malgré un cachet spécifique à cette zone, est également caractérisé par sa richesse en MgO ; il pourrait donc caractériser la formation des fossés, dans ce cas polyphasée : 3,9 Ma - 2,9 Ma - de 1,9 à 1,1 Ma (âges des cônes D5, puis D3 et D2). Un épisode non distensif est enregistré vers 2,6-2,3 Ma sur le flanc oriental.

## **b) Le domaine Sud**

### **\* La zone VATE**

Au niveau du fossé de Vate plusieurs types de laves se succèdent dans le temps.

La première période d'activité connue de 3,5 à 2,2 Ma, enregistrée au niveau est du graben oriental, se caractérise par la richesse en  $K_2O$  des produits émis, qu'il s'agisse des basaltes (types e + d, CA-Mg) ou des laves acides (D-TK, type i), exception faite du basalte le plus ancien D27M12 de 3,5 Ma (type d, Mg-Th.A).

Entre 1,5 et 1,1 Ma, des laves basiques tholéitiques (type d, Th.A-Mg) parfois peu potassiques ( $K_2O$  : 0,35 à 0,4 %), sont émises au niveau de petits cônes D30-D31 à l'extrémité septentrionale des fossés du Coriolis (Fig. I-17).

La dernière activité connue se situe vers 0,5 Ma et correspond à l'émission de dacites (D-K, type h), à nouveau sur le flanc est du fossé, à proximité des laves de la première période. La position de ces laves récentes à la base du flanc indique sans doute qu'il s'agit de blocs éboulés.

\* La zone ERROMANGO

Le fossé d'Erromango montre une période d'activité plus restreinte, recouvrant en partie la première période du fossé de Vaté, qu'elle précède quelque peu, à savoir de 4,1 à 2,7 Ma. L'essentiel du volcanisme, entre 4,1 et 3,6 Ma, est de type tholéitique d'arc avec enrichissement possible en Mg au niveau du flanc occidental (4,1 et 3,6 Ma) ou en Ti au niveau du cône D25 (4 Ma). Les laves les plus récentes sont des dacites potassiques (type h) à 2,7 Ma, c'est-à-dire à peu près synchrones des émissions hyperpotassiques (type i) de la zone Vaté. L'enrichissement en  $K_2O$  est toutefois atténué dans la zone Erromango, par rapport à la zone Vaté.

\* La zone FUTUNA

Le fossé de Futuna donne une image tout à fait singulière. Il expose en effet les laves les plus anciennes des fossés du Coriolis, d'âges compris entre 6,5 et 5,2 Ma, qui se divisent en deux groupes : le plus ancien de 6,5-6,1 Ma correspond à des basaltes orogéniques d'affinité tholéitique d'arc [D21M7] ou calco-alcaline [D21M1] et enrichis tous deux en Mg ; le second de 6,1-5,2 Ma est constitué d'andésites basiques calco-alcalines (type d ; D16M1, D17M3). Mais ces laves ne se situent pas en position équivalente (Fig. I-15) : les basaltes sont issus du fond du fossé, de structures probables en blocs basculés, et les andésites basiques proviennent de la base du flanc est du fossé.

Au-dessus de ces dernières, se trouvent des basaltes de type c + d (Th.A-Ti-Mg) de 2,6 Ma, qui précèdent les laves de l'île de Futuna qui émerge à quelques kilomètres au Nord de cette coupe.

Enfin, un important volcan (D20), situé en position terminale au Nord du fossé, est constitué de basaltes (type b, Th.A) et d'andésites basiques relativement peu potassiques (type c, Th.A-Ti) ; ces dernières sont d'âges divers de 1,7 et 0,7 Ma, témoignant du polyphasage de l'édification de ce volcan.

\* Evolution des fossés du Coriolis

En reprenant le critère (1) et le postulat (2) considérés pour les fossés du Jean-Charcot, on aboutit au schéma évolutif suivant pour les fossés du Coriolis.

- (1) Les édifices volcaniques mis en place sur les flancs, généralement septentrionaux ou plus exactement selon des directions transverses ( $N45^\circ$ , proche de la direction d'extension  $N30^\circ$  reconnue par Récy *et al.*, 1986 et Charvis *et al.*, sous presse) à la direction d'allongement des fossés du Coriolis, postdatent la structuration majeure des fossés. Celle-ci est donc antérieure à 4 Ma au niveau d'Erromango, à 1,7 Ma au niveau de Futuna et à 1,5 Ma au niveau de Vaté.
- (2) La distribution du volcanisme basique magnésien et acide potassique ou très potassique, très fréquent dans les fossés du Coriolis, permet d'établir un scénario plus complexe.

- \* On peut en effet évoquer la trace d'un fossé ancien (6,5-6,05 Ma) au niveau de la zone Futuna, caractérisé par le volcanisme magnésien (d) présent maintenant en fond de fossé (D21). A la suite de cette phase d'extension, peut être modérée, se mettent en place vers 6,05-5,2 Ma, des laves CA, aujourd'hui en flanc de fossé. Ce volcanisme n'est pas sans rappeler le volcanisme CA "ancien" de la zone Vot Tande (4,9-4,8 Ma). Un autre épisode distensif est enregistré au niveau de ce flanc vers 2,6 Ma (D19). L'île de Futuna, installée en continuité de cette coupe, mais plus au Nord, expose une série calco-alcaline entre 2 et 1,4 Ma, interrompue vers 1,6 Ma par un épisode magnésien, évoquant la reprise de l'extension. Le cône D20 (type c, Th.A-Ti) est édifié après ces phases d'extension et vient sceller en quelque sorte la formation du fossé.
- \* Au niveau de la zone Erromango, le fossé montre également une formation polyphasée en deux étapes principales à 4,1 et 2,7 Ma. Ces deux étapes sont séparées par une période non distensive marquée par la construction du cône D25 (type c) vers 4 Ma et par la mise en place de basaltes tholéitiques (b) vers 3,6 Ma sur ce même flanc. Les premières étapes sont également enregistrées au niveau de l'île d'Erromango : 4,1 Ma (E15, type d) et 3,4 Ma (FE19, type e + d). La troisième étape coïncide approximativement avec celle reconnue à 2,6 Ma du fossé de Futuna.
- \* Le fossé de Vaté résulte de plusieurs épisodes d'extension entre 3,5 et 0,5 Ma, avec une phase particulièrement intense entre 2,4 et 2,2 Ma, légèrement postérieure à la phase 2,7-2,6 Ma des zones Erromango et Futuna. Les cônes D30 et D31 enregistrent encore entre 1,5 et 1,1 Ma des contraintes d'extension (type d) de façon à peu près synchrone des émissions basiques (IAT-Mg, type d) puis acides (D-TK, type i) sur l'île de Vaté entre 1,6 et 1,4 Ma. Un dernier épisode distensif est enregistré à 0,5 Ma (D26).

1 - **La structuration des fossés du Coriolis est diachrone du Sud vers le Nord.** Le fossé le plus ancien se situe au niveau de Futuna; la formation des fossés se poursuit vers le Nord vers 4,1 Ma au niveau d'Erromango, vers 3,6 Ma au niveau de Vaté, c'est à dire après la lacune d'activité enregistrée entre 4,8 et 4,2 Ma.

2 - **La structuration des fossés du Coriolis est polyphasée;** après la première phase diachrone de Sud vers le Nord, une phase majeure intervient vers 2,7-2,6 Ma pour le fossé de Futuna-Erromango et un peu plus tardivement, vers 2,4-2,2 Ma, pour le fossé de Vaté. Ce dernier expose les témoins les plus récents de la poursuite de ce processus d'extension vers 1,6-1,1 Ma puis vers 0,5 Ma.

3 - **La juxtaposition dans les fossés du Coriolis de laves caractérisant la formation de ces fossés (basique magnésien et acide potassique ou très potassique) et de laves résultant du fonctionnement "normal" de l'arc souvent contemporaines ou se succédant dans un bref laps de temps, est un argument pour une nature intra-arc de ces fossés, dont la formation semble évoluer parallèlement à celle de l'arc.** Le substratum des fossés est connu dans la zone Erromango où il est constitué par des laves d'arc anciennes, affleurant aujourd'hui sur l'île. Cette nature intra-arc des fossés a déjà été proposée par Mallick (1973) et Luyendick *et al.* (1974).

C - EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU VOLCANISME DE LA CHAÎNE CENTRALE ET DES FOSSES  
ARRIÈRE-ARC DES NOUVELLES-HEBRIDES

1/ *Récapitulation des données acquises*

Le schéma développé dans le paragraphe précédent doit être revu, en associant les domaines nord et sud des fossés, et confronté à l'histoire des îles de la chaîne centrale.

a) L'histoire des fossés apparaît complexe et polyphasée, montrant un gradient chronologique du Sud vers le Nord. La formation d'un fossé ancien dans la zone de Futuna vers 6,5-6 Ma est probable. D'autre part, ce volcanisme marqueur de l'extension (dacite potassique de type h) est également connu à 5,9 Ma sur Pentecôte, et donc à peu près synchrone de la première phase du fossé de Futuna (6,5-6,1 Ma).

Au niveau de la zone Erromango, le fossé semble se former vers 4,1 Ma et au niveau de Vaté vers 3,5 Ma. On peut supposer que dans la zone Futuna des témoins non récoltés sont présents.

Une phase de formation des fossés du Coriolis semble générale vers 2,7-2,6 Ma (Futuna-Erromango) puis vers 2,4-2,2 Ma (Vaté). Ces deux périodes correspondent respectivement aux âges présumés de la phase majeure de formation des fossés du Jean-Charcot, dans la zone Vot Tande (2,8 Ma) et dans la zone Vanikoro (2,3 Ma).

Par la suite les processus d'extension se poursuivent, comme en témoigne le volcanisme présent dans les fossés de Vaté (1,5-1,1 et 0,5 Ma) et Vanikoro (1,9 à 1,25 Ma) mais aussi au niveau de l'île de Vaté (1,6 à 1,45 Ma) et des îles Banks (Mota Lava, éventuellement vers 2,45 Ma ; Gaua 1,7 et 0,8 Ma ; Maig 1,1 Ma ; Mere Lava 0,45-0,4 Ma) et d'Epi vers 0,6 Ma.

b) A cette histoire "distensive", se superpose celle de l'arc qui se met en place au niveau de la chaîne centrale mais aussi dans la zone actuelle des fossés.

- Les témoins d'un arc ancien sont présents au niveau du fossé de Futuna d'une part (6,1 et 5,2 Ma, type e, CA), de l'île d'Erromango d'autre part (5,3-5,25 Ma, type b) et enfin du fossé de Vot Tande (4,9-4,8 Ma, type e + c). La formation de l'arc et celle des fossés sont donc subcontemporaines dans cette région. Cette activité est rattachée au fonctionnement d'un arc ancien, antérieur à 4,8 Ma, précédant donc l'arrêt apparent du volcanisme entre 4,8 et 4,1 Ma, enregistré tant sur les îles que dans les fossés.
- L'activité de l'arc reprend à 4,1 Ma sur l'île d'Erromango et peut-être au niveau d'Hazel Holme et dans les fossés d'Erromango à 4 Ma, après une phase distensive à 4,1 Ma dans cette zone.

- L'activité de l'arc se poursuit dans cette zone à 3,6 Ma et gagne vers 3,5 Ma l'île de Vot Tande tandis que la zone Vaté enregistre des mouvements d'extension à 3,5-3,4 Ma. Les émissions volcaniques de l'arc gagnent progressivement les îles de Tanna, Anatom, Futuna, Gaua, Ureparapara, Merig, parallèlement à l'activité des fossés de Vot Tande (2,7 Ma) et Vanikoro (2,6-2,3 Ma). Ces deux zones montrent donc la succession rapide de laves marquant la distension (2,9 puis 1,9 Ma dans la zone Vanikoro et 2,8 Ma dans la zone Vot Tande) avec des laves d'arc "normal". L'épisode de 1,8 à 1,2 Ma de la zone Vanikoro, enregistré sur des cônes, correspond assez bien à celui de 1,5 à 1,1 Ma des cônes D30-D31 de la zone Vaté.
- Enfin, après 1 Ma, l'activité de l'arc atteint les îles Banks encore inactives et les îles centrales.

De façon générale, le volcanisme des îles présente des cycles de laves tholéitiques d'arc et calco-alcalines souvent très brefs, mais il montre parfois les caractères attribués au processus de fracturation (Tholéites enrichies en Mg ou dacites K ou TK) : 5,9 et 4,95-4,65 Ma à Pentecôte ; 4,1-3,4-2,9 Ma à Erromango ; 2,5 Ma à Mota Lava ; 2 Ma à Anatom ; 1,6 Ma à Futuna ; 1,6 à 1,4 Ma à Vaté ; 1,1 Ma à Nerig ; 0,5-0,4 Ma à Vanua Lava. Ces laves représentent toutefois une fraction relativement faible du volcanisme des îles.

Plusieurs étapes se dégagent de ce schéma de l'évolution du système arc-fossés des Nouvelles-Hébrides (Fig. V-12).

1. Une histoire ancienne antérieure à 4,8 Ma dont les témoins sont préservés au niveau du fossé de Futuna (6,5-6,1 et 5,2 Ma), de l'île d'Erromango (5,7-5,3 Ma) pour le domaine sud, au niveau du fossé de Vot Tande (4,9 Ma) pour le domaine nord, ainsi que sur l'île de Pentecôte (6,1-5,9-5,2-5-4,7 Ma).
2. Une seconde étape entre 4,1 et 2 Ma qui se caractérise par la reprise de l'activité volcanique généralement au niveau des fossés par une phase distensive (zones Erromango, Vaté, Vot Tande et Vanikoro), puis une extension de l'activité progressive à l'ensemble des îles voisines.
3. Enfin, une dernière époque depuis 2 Ma montre une évolution du système vers la concentration de l'activité au niveau des îles, particulièrement nette à partir de 1 Ma. Elle débute toutefois par un épisode distensif dans les fossés de Vanikoro et Vaté.

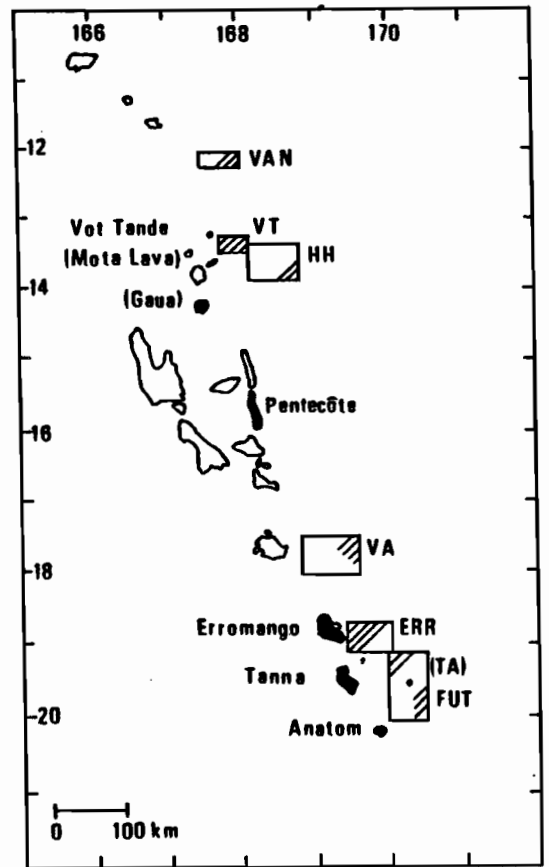
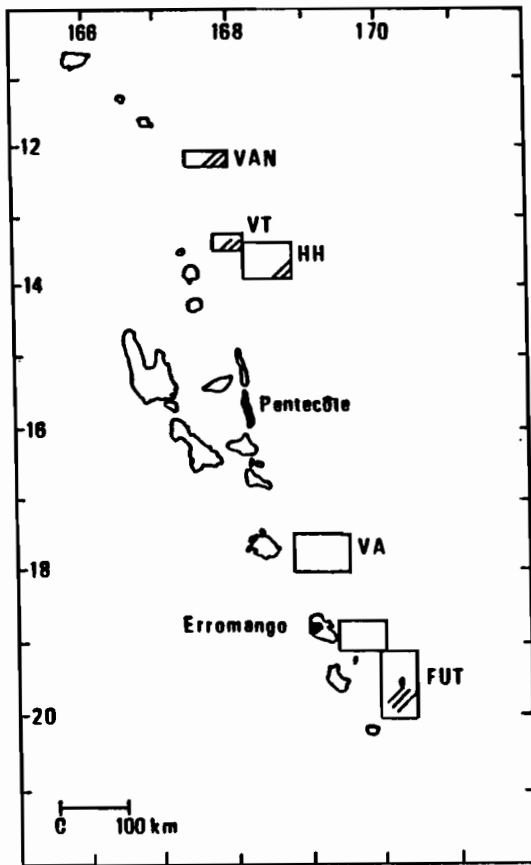
### c) Conclusions

Il apparaît clairement que la formation des fossés et celle de l'arc se font de façon synchrone. Les fossés s'installent sur un substratum d'arc. Dans les zones d'Erromango et de Vot Tande, l'initiation de la structuration des fossés a lieu respectivement à 4,1 et 2,8 Ma; dans ces zones, existe préalablement un arc ancien. Il faut donc considérer que les fossés formés sont des fossés intra-arc et non arrière-arc. Ils ne constituent des fossés

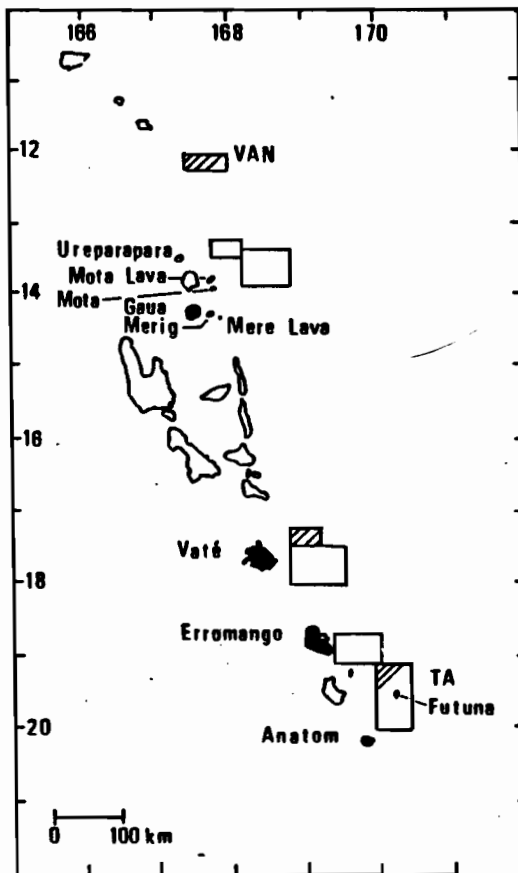
> 4,8 Ma

254

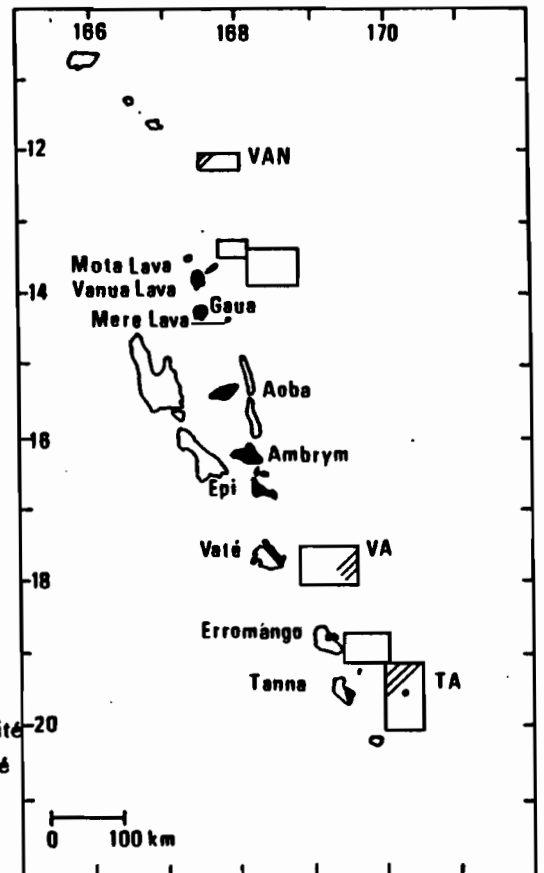
4,1 à 2 Ma



2 à 1 Ma



< 1 Ma





 Zone en activité  
 Fossé  
 Ile

Figure V-12 : Caractérisation des quatre périodes principales de l'activité volcanique du système fossés - chaîne centrale de l'arc des Nouvelles Hébrides.  
 Characterization of the four main periods of volcanic activity for the New Hebrides troughs - central chain system.

arrière-arc que par leur position en arrière de la chaîne centrale, c'est-à-dire de l'arc récent émergé. Par contre, au niveau de la zone Vanikoro, l'existence de l'arc ancien n'est pas prouvée. Cette zone est le siège d'un volcanisme d'arc très primitif (basaltes intermédiaires puis dacites hypopotassiques) entre 2,9 Ma à 1 Ma, voire jusqu'à moins de 0,3 Ma. Un arc semble naître dans cette zone. La progression des âges de formation des fossés du Sud vers le Nord est en bon accord avec leur développement respectif, les fossés du Coriolis étant nettement plus développés que ceux du Jean-Charcot. Au sein des fossés du Coriolis, le fossé de Futuna, qui expose des témoins d'une ouverture plus ancienne à 6,5-6,1 Ma, est lui-même plus mature que celui de Vaté.

Il convient maintenant d'expliquer ce mode de formation, de savoir si l'origine des fossés nord et sud résulte du même phénomène, si l'histoire ancienne (au niveau de Futuna) est en liaison avec l'histoire plus récente. Il faut donc replacer cette histoire dans le contexte général de l'arc des Nouvelles-Hébrides, c'est à dire étudier ses rapports avec le BNF et la ride d'Entrecasteaux.

## 2/ *Modèle proposé*

- La formation des fossés apparaît comme un *phénomène polyphasé*; la durée moyenne est de 2 Ma. Toutefois elle atteint 5 Ma au niveau de Futuna. Il existe un gradient d'âge de la première phase d'extension connue du Sud vers le Nord : 6,5-6,1 Ma au niveau de Futuna, 4,1 Ma au niveau d'Erromango, 2,3 Ma au niveau de Vanikoro. Ces deux derniers âges sont subcontemporains des phases importantes enregistrées dans les fossés du Sud : 2,7 Ma (Erromango), 2,6 Ma (Futuna), 2,4-2,2 Ma (Vaté).

*Cette nouvelle phase d'extension généralisée (2,8 à 2,2 Ma)* est postérieure au changement de la direction d'ouverture du BNF, qui devient N-S vers 3 Ma, alors qu'elle est de N165° entre 10 et 3 Ma (Auzende *et al.*, 1988). Cette première direction est à l'origine probable de la rotation du bloc des Nouvelles-Hébrides. Au cours de ce déplacement, les positions respectives des zones nord et sud de l'arc des Nouvelles-Hébrides ne sont pas équivalentes ; le bloc nord se situe plus près de "l'axe de rotation" et l'ouverture est moins importante qu'au niveau du bloc sud. On peut supposer que **des fossés d'effondrement en bordure du BNF se forment au niveau du domaine méridional sur un substratum d'arc**. La direction d'extension dans ces fossés est alors la même que celle du BNF.

A partir de 3 Ma, le système des Nouvelles-Hébrides se trouve en position différente par rapport au BNF qui s'ouvre selon une direction oblique au sens d'ouverture des fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides.

- **La subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux** est proposée comme une cause possible de l'ouverture des fossés à l'arrière de l'arc des Nouvelles-Hébrides, selon un modèle de Collot *et al.* (1985). Cette hypothèse permet d'expliquer le diachronisme observé au niveau de la phase de distension généralisée, 2,8 à 2,2 Ma, par une influence du Sud vers le Nord au fur et à mesure de la subduction de la ride. En effet, en raison de sa position oblique (à peu près N90) par rapport à la direction générale de la subduction (N70), la ride balaie l'arc du Sud vers le Nord. La subduction de la ride influencerait donc tout d'abord de façon à peu près synchrone au niveau de la zone Vot Tande (2,8 Ma) et du fossé Erromango-Futuna (2,7-2,6 Ma) tandis qu'elle n'affecterait les zones Vanikoro et Vaté qu'à partir de 2,4-2,2 Ma. Le

début de ce processus pourrait donc avoir lieu aux environs de 3 Ma. Toutefois, il est intéressant de constater que le phénomène d'enrichissement marqué en éléments incompatibles observé au niveau des laves acides potassiques ou très potassiques est décrit à partir de 3,5 Ma pour les plus anciennes (zones Vaté et Hazel Holme).

Dans d'autres arcs, un enrichissement de ce type s'observe. Il est mis en relation avec une collision voisine: nord de l'arc de Luzon (Richard, 1986) ; arc éolien, domaine alpin (Giraud, 1983). Les processus proposés expliquant cet enrichissement sont : 1/ l'épaississement de la croûte de l'arc par des charriages successifs liés à la collision, ce phénomène n'est pas envisageable dans le cas des Nouvelles-Hébrides en raison du fonctionnement encore "normal" de l'arc ; 2/ l'entrée de sédiments du prisme d'accrétion dans le système de subduction, mais le prisme est quasi-inexistant dans le système des Nouvelles-Hébrides. L'origine de cet enrichissement reste donc problématique à moins d'envisager la contribution d'une métasomatose antérieure. Cependant la distribution spatiale assez restreinte et à peu près symétrique par rapport à la ride d'Entrecasteaux de ces volcanites laisse présumer qu'*une relation existe entre cette structure et la mise en place de ce volcanisme acide K et TK*. En outre, la mise en place de ces laves est également en liaison avec des phénomènes de fracturation. Ceci nous conduit à proposer que **le début de la subduction-collision de la ride remonte à 3,5 Ma**, cet âge étant celui des premières émissions connues du volcanisme hyperpotassique (Vaté, Hazel Holme).

Une autre conséquence de cette collision pourrait être *l'augmentation de la pente du plan de Bénioff entre 3 et 2 Ma*, qui provoquerait le déplacement vers l'Ouest de l'activité depuis la zone des fossés vers la chaîne centrale, puis l'émersion de celle-ci.

- La poursuite des mouvements distensifs entre 1,8 et 1,2 Ma (volcanisme magnésien), puis vers 0,5 Ma (dacites K), serait **une conséquence de réajustements à la fois de l'ouverture du BNF et de la subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux**.
- Les variations des types géochimiques paraissent résulter de l'association de deux processus : 1) une évolution progressive du volcanisme produisant des variations régulières; 2) des variations brutales surimposées à la première évolution et se traduisant par des changements à faible échelle temporelle et spatiale.
- Enfin, la zone de fracture d'Hazel Holme se distingue également de l'ensemble de l'arc par la présence de laves du type MORB-E précédant des laves d'arc typique. Ces MORB-E peuvent être le produit du fonctionnement de cette zone de fracture en extension.

CONCLUSION GENERALE

## Conclusion générale

L'apport de données nouvelles sur le volcanisme des fossés à l'arrière de l'arc des Nouvelles-Hébrides, obtenues sur l'échantillonnage réalisé par dragages lors de la campagne SEAPSO-2, permet d'appréhender d'une façon plus complète l'histoire "récente" de l'arc (du Miocène terminal à l'actuel). Ce travail contribue à démontrer l'importance du facteur temps dans la compréhension des processus magmatiques. L'association des deux approches chronologique, et géochimique, est essentielle pour obtenir une image complète du magmatisme.

Les principaux résultats sont les suivants :

### 1/ Résultats de chronologie du volcanisme des fossés en comparaison avec celui des îles de l'arc des Nouvelles-Hébrides

L'établissement d'une grille chronologique à différents niveaux de fiabilité a permis d'obtenir un ensemble de données utilisables pour des reconstitutions de l'histoire du volcanisme. Les échantillons montrant des concentrations anormales en  $^{36}\text{Ar}$  ou des rapports  $^{40}\text{Ar}^*/^{40}\text{Ar}_{\text{Tot}}$  faibles au vu de leurs teneurs en  $\text{K}_2\text{O}$  et/ou de l'âge calculé, ont été considérés comme moins fiables.

Les datations retenues révèlent l'existence, dans le domaine nord des fossés, de témoins anciens sur le flanc du fossé de Vanikoro à 13-12 Ma. Les traces ultérieures de l'activité se trouvent dans le fossé de Futuna vers 6,5-6,1 Ma, précédant légèrement les laves anciennes de l'île d'Erromango à 5,7-5,3 Ma et les témoins de la zone Hazel Holme à 5,5-5,3 Ma, ainsi que les volcanites à 4,9-4,8 Ma de la zone Vot Tande. Par la suite, l'histoire des fossés et des îles débute vers 4,1 Ma. A l'exception de la zone Erromango, où le volcanisme de l'île précède celui du fossé, les premiers témoins connus au niveau d'une zone proviennent du fossé. De façon générale, l'activité des fossés diminue à partir de 2,5 Ma et s'intensifie au niveau de la chaîne centrale.

En se basant sur l'âge des édifices scellant la formation des fossés, on obtient un **âge minimum** de cette dernière (âge des laves provenant d'édifices peu tectonisés et mis en place postérieurement à la phase de structuration majeure des fossés) : 2,9 Ma à Vanikoro ; 2,7 Ma à Vot Tande ; 1,5 Ma à Vaté ; 4 Ma à Erromango ; 1,7 Ma à Futuna. Ces premiers résultats montrent un **diachronisme important, entre le Nord et le Sud, et entre les zones des fossés du Sud.**

2/ a) *L'étude pétrologique, minéralogique et géochimique* a permis de classer les laves des fossés en différents types.

### Laves basiques

- Un premier ensemble peu représenté correspond à des MORB-N (Vanikoro) ou MORB-E (Hazel Holme).
- Un second ensemble de basaltes présente des caractères intermédiaires entre MORB et Th.A au niveau des teneurs en alcalins, en  $\text{TiO}_2$ , MgO-Cr-Ni et des rapports Th/Ta, Ba/La, Th/La, ainsi que de la composition des clinopyroxènes. Ils proviennent du fossé de Vanikoro.
- Un troisième ensemble de laves basiques possède les caractères orogéniques mais peut être subdivisé en :
  - tholéites d'arc normales ou enrichies en  $\text{TiO}_2$ , ou encore enrichies en MgO-Cr-Ni ;
  - laves calco-alcalines plus riches en alcalins et LLI que les tholéites d'arc, mais pouvant présenter également les enrichissements en  $\text{TiO}_2$  ou MgO.

### Laves acides

- Un groupe de laves acides hypopotassiques ( $\text{K}_2\text{O} < 1 \%$ ), limitées à la zone Vanikoro, est très semblable aux PIA des Antilles.
- Un groupe de laves acides présente les caractères de laves calco-alcalines potassiques ou très potassiques avec un fort enrichissement en alcalins, alcalino-terreux, LLI.

Si la grande majorité des volcanites des fossés correspondent à des types reconnus sur les îles, des caractères spécifiques apparaissent, telle la valeur du rapport Th/Ta souvent intermédiaire entre la valeur de MORB (1) et celle des laves orogéniques (> 5). D'autre part, les basaltes intermédiaires, les laves acides hypopotassiques et les MORB sont exclusivement présents dans les fossés du domaine nord. Quant aux laves orogéniques, les proportions des différents types tholéitiques et calco-alcalins sont différentes dans les fossés et sur les îles. Dans les fossés, les laves tholéitiques d'arc souvent enrichies en  $\text{TiO}_2$  et/ou MgO sont plus nombreuses que les laves calco-alcalines ; sur les îles, les laves calco-alcalines prédominent et les caractères titanifères et magnésiens sont peu développés.

b) *L'étude des éléments en traces* a montré que les laves présentes dans les fossés (hormis les MORB) possèdent certains caractères communs (anomalies négatives en Tantale, enrichissement plus ou moins prononcé en LLI par rapport aux IHC) et, par contre, d'autres caractères plus spécifiques de chacune des zones (forme des spectres de TR, rapports Th/Ta, Th/La).

L'ensemble de ces données conduit à proposer que la source primitive de ces laves est comparable à celle des MORB; les processus de fusion partielle et de contamination affectant cette source sont variables suivant les lieux d'expression et dans le temps.

Pour les laves des fossés reliées au fonctionnement normal de l'arc, ces processus peuvent être ceux proposés par Dupuy *et al.* (1982), pour les laves des îles.

- Les laves tholéitiques seraient issues de la fusion partielle du manteau supérieur contaminé par les fluides issus de la déshydratation de la plaque subductée. Ce processus conduit à un enrichissement en éléments incompatibles fonction de leurs propriétés physico-chimiques.
- Les laves calco-alkalines proviendraient de la fusion partielle du manteau supérieur contaminé par la fusion de la croûte océanique qui subducte. L'enrichissement en incompatibles a lieu en fonction du degré d'incompatibilité de ces éléments.

Nous ajouterons deux autres origines pour les laves plus typiques des zones de fossés.

- Les basaltes intermédiaires de la zone Vanikoro semblent générés à partir d'une source très semblable à celle des MORB, légèrement enrichie en incompatibles et appauvrie en Ta. Elles pourraient résulter de la fusion partielle à taux modéré d'une source plus riche en chromite que celle des tholéites d'arc.
- Enfin, une origine en relation avec des processus de distension et de fracturation est proposée pour les basaltes magnésiens, en comparaison avec l'arc des Petites Antilles, et pour les laves acides potassiques et très potassiques en comparaison avec le volcanisme de Sulawesi. Ces deux types de laves pourraient être marqueurs de la fracturation accompagnant la formation des fossés. De plus, le volcanisme acide enrichi ou très enrichi en K semble lié à la subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux.

On aboutit ainsi à deux grands types de volcanisme : l'un résultant du fonctionnement normal de l'arc et l'autre (basaltes magnésiens et laves acides potassiques ou très potassiques) plus spécifique de la construction des fossés.

**3/ La confrontation de l'ensemble de ces données et la comparaison îles/fossés nous permettent d'établir une évolution spatio-temporelle du volcanisme.**

a. *La succession dans une même zone*, dans un bref laps de temps, de types géochimiques différents nous permet de conclure que *les modifications de la source sont des phénomènes rapides*, de moins de 1 Ma, voire de 0,5 Ma. Ces modifications des processus de la genèse des magmas s'apprécient particulièrement dans le diagramme [(Th/Ta) / (Th/Hf)] (Fig. V-10).

- b. *La succession au cours d'un bref intervalle de temps* dans une même zone des laves provenant du fonctionnement "normal" de l'arc et de laves marquant la formation des fossés (laves basiques magnésiennes et laves acides potassiques) met en évidence l'étroite relation de l'histoire de l'arc avec celle des fossés. Le caractère orogénique des laves présentes dans les fossés nous amène d'ailleurs à **considérer les fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides comme des fossés intra-arc, implantés sur un substratum d'arc**, connu au niveau d'Erromango et de Vot Tande. Le substratum de l'arc dans la zone Vanikoro est par contre de type MORB et représente probablement les premières émissions du BNF à 12,4 Ma.
- c. *La formation des fossés* est un processus polyphasé au niveau d'une même zone, pouvant s'étendre sur une période relativement longue (5 Ma au niveau du secteur Futuna) et diachrone d'une zone à l'autre. De façon générale elle semble plus précoce dans le domaine sud avec un gradient du Sud vers le Nord : 6,5-6,1 Ma (Futuna) ; 4,1 Ma (Erromango) ; 3,5-3 Ma (Vaté). La formation des fossés du Jean-Charcot (2,8 Ma pour Vot Tande et 2,3 Ma pour Vanikoro) intervient de façon à peu près synchrone de la seconde phase des fossés du Coriolis : 2,7 Ma (Erromango) ; 2,6 Ma (Futuna) ; 2,4-2,2 Ma (Vaté). Enfin, des indices de distension témoignant de la poursuite de la formation des fossés se rencontrent entre 1,5 et 1,1 Ma, puis vers 0,5 Ma dans le secteur de Vaté, et entre 1,8 et 1,2 Ma dans le secteur Vanikoro.
- d. *Le système arc-fossés des Nouvelles-Hébrides expose cinq périodes principales de fonctionnement :*
- 1 - L'histoire ancienne, antérieure à 4,8 Ma, concerne le fossé de Futuna, l'île d'Erromango, les zones Hazel Holme et Vot Tande, ainsi que l'île de Pentecôte. Elle correspond à l'édification d'un arc, associée au niveau de la zone Futuna à la formation du fossé. La zone Hazel Holme illustre une histoire indépendante à relier au fonctionnement de cette fracture en extension pouvant produire les MORB-E.
  - 2 - Le volcanisme reprend à partir de 4,1 Ma, généralement au niveau des fossés puis des îles, d'abord dans les zones Erromango et Hazel Holme (4,1 Ma) puis dans la zone Vaté et l'île de Vot Tande (3,5 Ma).
  - 3 - L'essentiel de l'activité enregistrée sur l'ensemble fossés-arc est postérieur à 3 Ma. Elle se généralise à toutes les zones de fossés au cours de la période 3-2 Ma : à partir de 2,3 Ma (Vanikoro) ; 2,8-2,7 Ma (Vot Tande) ; 2,7 Ma (Erromango) ; 2,6 Ma (Futuna) ; 2,4-2,2 Ma (Vaté). Cette période correspond dans les fossés à des épisodes distensifs, sauf à 2,7 Ma pour Vot Tande.
  - 4 - Au niveau des îles, l'activité apparaît essentiellement à partir de 2 Ma (Ureparapara, Mota, Merig, Gaua, Vaté, Futuna, Anatom) sauf à Tanna (2,8 et 2,3 Ma).

5 - A partir de 1 Ma, le volcanisme, généralisé dans les îles, est beaucoup plus épisodique dans les fossés. La succession, au sein de chaque période, de laves tholéitiques et calco-alcalines dans une même zone ou entre plusieurs zones, s'établit en de courts laps de temps.

e. L'ensemble de ces données nous a conduit à proposer *un modèle pour l'histoire du système fossés-arc des Nouvelles-Hébrides*.

Ce modèle relie la formation des fossés anciens dans le domaine sud de l'arc, au niveau de Futuna (6,5-6 Ma) et éventuellement d'Erromango (4,1 Ma), à un système d'effondrement en bordure du BNF dont l'axe d'expansion est alors orienté N145°, jusqu'à 3 Ma. L'ouverture des fossés est confinée dans ce domaine méridional en raison des relations différentes des domaines nord et sud avec le BNF.

Par la suite l'ouverture des fossés des Nouvelles-Hébrides, à partir de 3,5 Ma à Vaté et Hazel Holme tout d'abord, puis plus générale entre 2,8 et 2,2 Ma avec un décalage entre Sud et Nord, paraît plutôt en relation avec la subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux. Cette subduction-collision pourrait également provoquer l'accentuation de la pente du plan de Bénéioff et expliquer le saut vers l'Ouest du volcanisme depuis les fossés jusqu'à la chaîne centrale qui émerge.

La zone de fracture d'Hazel Holme montre une histoire indépendante jusqu'à 4,1 Ma, avec l'émission de MORB-E à relier à une extension le long de cette zone de fracture.

Enfin, le cachet spécifique du fossé de Vanikoro illustre la naissance de l'arc dans cette zone, où la chaîne centrale n'est pas émergée, depuis 2,9 Ma.

\*\*\*

En conclusion, le volcanisme des fossés se distingue principalement de celui des îles par la présence beaucoup plus importante de volcanites que nous interprétons comme des marqueurs des phases de distension. Il apparaît préférable de considérer l'ensemble "chaîne centrale - fossés" comme deux domaines d'un même système, qui présente une extension latérale beaucoup plus importante que celle de la seule chaîne émergée.

On peut supposer que l'initiation de l'arc a concerné l'ensemble de ce système. La partie la plus orientale (fossés actuels) a subi des épisodes distensifs tout d'abord en liaison avec l'ouverture du BNF puis à partir de 3,5 Ma avec la subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux. Cette dernière a sans doute induit une modification de la pente du plan de Bénéioff, entraînant un déplacement de l'essentiel de l'activité volcanique au niveau de la chaîne centrale puis son émergence. Une légère migration inverse, d'Ouest en Est, semble cependant s'amorcer sur les grandes îles et au niveau des îles Banks au cours de la toute dernière période d'activité (< 0,5 Ma).

Les fossés des Nouvelles-Hébrides font partie intégrante de l'histoire de l'arc : ils correspondent à une unité structurale de l'arc, en bordure du BNF. Mais les fossés du Jean-Charcot et du Coriolis doivent être considérés comme deux domaines différents, bien que résultant principalement du même phénomène à partir de 3 Ma. L'histoire du domaine sud débute plus tôt; sa position différente vis-à-vis du BNF expliquent le développement plus avancé des fossés du Coriolis par rapport aux fossés du Jean-Charcot. Le domaine nord est de plus sous l'influence de la zone de fracture d'Hazel Holme dont la terminaison occidentale coïncide avec la limite méridionale des fossés.

La zone Vanikoro est un domaine spécifique de l'arc ainsi que le montre la nature particulière de l'édifice volcanique du fond du fossé; ces laves sont l'indice de l'initiation d'un arc dans cette région. Les produits les plus primitifs (basaltes intermédiaires de type f) présentent des caractères reconnus dans les BBAA, mais sont ici rattachés au début du fonctionnement d'un arc et précèdent ou accompagnent l'émission de laves acides hypopotassiques d'arc insulaire primitif (AIP).

Le critère chronologique est fondamental pour définir l'évolution du volcanisme et le passage éventuel d'un type à l'autre, ainsi que la distinction entre l'activité des fossés et celle de l'arc.

L'absence de ces données dans la plupart des zones arrière-arc, notamment sur les Bonin et les Mariannes, ne nous permet pas d'établir de comparaison précise.

Le modèle proposé ne constitue qu'une approche préliminaire établie à partir de l'étude à grande échelle du volcanisme des fossés.

- Des données complémentaires, notamment isotopiques, permettraient de préciser la pétrogenèse des laves.
- La comparaison avec les échantillons volcano-sédimentaires, particulièrement la caractérisation (si elle est possible) des éléments volcaniques qu'ils contiennent, devrait permettre de définir plus précisément les épisodes de démantèlement des produits volcaniques.
- Enfin, un échantillonnage complémentaire in situ par plongées en submersible de certaines zones-clés, telles la zone médiane des fossés du Jean-Charcot, la zone de fracture d'Hazel Holme dans sa partie plus orientale, et des coupes symétriques sur les flancs des zones étudiées, comblerait les lacunes réelles ou supposées, inhérentes à la technique des dragages.

 BIBLIOGRAPHIE 

## Bibliographie

- Aoki K.I., Kushiro I. (1968).- Some clinopyroxenes from ultramafic inclusions in Dreiser Weiher, Eifel. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 46, 326-337.
- Aoki K.I., Shiba I. (1973).- Pyroxenes from lherzolite inclusions from Itinome-Gata, Japan. *Lithos*, 6, 41-51.
- Ash R.P., Carney J.N., Macfarlane A. (1978).- Geology of Efate and offshore islands. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 49 p.
- Ash R.P., Carney J.N., Macfarlane A. (1980).- Geology of the Northern Banks Islands. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 52 p.
- Aubouin J. (1982).- Vergence océanique et vergence continentale dans l'Ouest Pacifique : subductions, mers marginales, orogènes anciens. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, t.294, Sér.II, 285-290.
- Auzende J.M., Eissen J.P., Lafoy Y., Gente P., Charlou J.L. (1988).- Sea floor spreading in the North Fiji Basin (SW Pacific). *Tectonophysics*, 146, 317-351.
- Barsdell M., Smith I.E.M., Sporli K.B. (1982).- The origin of reversed geochemical zoning in the Northern New Hebrides Volcanic Arc. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 81, 148-155.
- Bellon H., Marcelot G., Lefèvre C., Maillet P. (1984).- Le volcanisme de l'île d'Erromango (République de Vanuatu) : calendrier de l'activité (données  $^{40}\text{K}$ - $^{40}\text{Ar}$ ). *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. 299, sér. II, 7, 257-262.
- Berggren W.A., Kent D.V., Flynn J.J., Van Couvering J.A. (1985).- Cenozoic geochronology. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 96, 1407-1418.
- Boespflug X., Dosso L., Bougault H., Joron J.L., (sous presse).- Trace elements and isotopic (Sr-Nd) geochemistry of volcanic rocks from the Lau basin. In "Geologisches Jahrbuch", B.G.R., Hannover.
- Bougault H. (1980).- Contribution des éléments de transition à la compréhension de la genèse des basaltes océaniques. Analyse des éléments-traces dans les roches par spectrométrie de fluorescence X. *Thèse Doct. Etat*, Univ. Paris VII, 221 p.
- Bougault H., Joron J.L., Treuil M., Maury R.C. (1985).- 23. Local versus regional mantle heterogeneities : evidence from hygromagmaphile elements. *Rep. DSDP, LXXXII*, Washington (US Govern. Printing Office).

- Bouysse P., Westercamp D., (sous presse).- Effets de la subduction de rides océaniques sur l'évolution d'un arc insulaire : l'exemple des Petites Antilles. *Géol. Fr.*, 2.
- Briqueu L., Bougault H., Joron J.L. (1984).- Quantification of Nb, Ta, Ti and V anomalies in magmas associated with subduction zones : petrogenetic implications. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 68, 297-308.
- Brooks D.A., Carlson R.L., Harry D.L., Melia P.J., Moore R.P., Rayhorn J.E., Tubb S.G. (1984).- Characteristics of back-arc regions. *Tectonophysics*, 102, 1-16.
- Brown G.M., Holland J.G., Sigurdsson H., Tomblin J.F., Arculus J.R. (1977).- Geochemistry of the Lesser Antilles volcanic island arc. *Geochim., Cosmochim. Acta*, 41, 785-801.
- Cabanis B. (1986).- Identification des séries magmatiques dans les socles métamorphiques sur la base de critères géologiques, pétrographiques et géochimiques. *Thèse Doct. Etat*, Univ. Paris VI, 682 p.
- Cameron M., Papike J.J (1980).- Crystal chemistry of silicate pyroxenes. In "Pyroxenes", Prewitt (ed.), *Miner. Soc. Am. Reviews in Mineralogy*, 7, 5-92.
- Cameron M., Papike J.J (1981).- Structural and chemical variations in pyroxenes. *Am. Mineral.*, 66, 1-50.
- Carney J.N. (1988) - In "Geology and offshore resources of Pacific island arcs. Vanuatu region", H.G. Green, F.L. Wong (eds.), Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences series, vol. 8.
- Carney J.N., Macfarlane A., (1976).- Volcano tectonic events and pre Pliocene crustal extension in the New Hebrides. In "Sym. intern. Géodyn. du SW Pacifique", Nouméa, 27 août - 2 sept. 76, 91-104.
- Carney J.N., Macfarlane A. (1979).- Geology of Tanna, Aneityum, Futuna and Aniwa. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 71 p.
- Carney J.N., Macfarlane A. (1982).- Geological evidence bearing on the Miocene to Recent structural evolution of the New Hebrides arc. *Tectonophysics*, 87, 147-175.
- Carney J.N., Macfarlane A., Mallick D.I.J. (1985).- The Vanuatu Island Arc : an outline of the stratigraphy structure and petrology. In "The ocean basins and margins", A.E.M. Nairn, F.G. Stehli, S. Uyeda (eds.), Plenum Publishing Corporation, 7A, 683-718.
- Charvis P., Pelletier B., Ruellan E. (soumis). - The northern New Hebrides back arc troughs : history and relation with the North Fiji basin based on tectonic and magnetic studies. *Tectonophysics*.
- Chase C.G. (1971).- Tectonic history of the Fiji Plateau. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 3087-3110.

- Clauer N., O'Neil J.R., Bonnot-Courtois C. (1982).- The effect of natural weathering on the chemical and isotopic compositions of biotite. *Geochim., Cosmochim. Acta*, **46**, 1755-1762.
- Coleman P.J. (1969).- Derived Eocene larger Foraminifera on Maewo, eastern New-Hebrides, and their earth-west Pacific implications. *Ann. Rep. Geol. Surv. N.H.*, 36-37.
- Colley H., Ash R.P. (1971).- The geology of Erromango. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 112 p.
- Collot J.Y., Daniel J., Burane R.V. (1985).- Recent tectonics associated with the subduction/collision of the d'Entrecasteaux zone in the Central New-Hebrides. *Tectonophysics*, **12**, 325-356.
- Coudert E., Isacks B.L., Barazangi M., Louat R., Cardwell R., Chen A., Dubois J., Latham G., Pontoise B. (1981).- Spatial distribution and mechanisms of earthquakes in the southern New Hebrides arc from a temporary land-ocean bottom seismic network and world wide observations. *J. Geophys. Res.*, **86** (B7), 5905-5925.
- Coulon C., Maillet P., Maury R.C. (1979).- Contribution à l'étude du volcanisme des Nouvelles-Hébrides : données pétrologiques sur les laves de l'île d'Efaté. *Bull. Soc. géol. France*, **XXI**, 619-629.
- Coulon C., Maury R.C. (1981).- Petrology of tholeiite lavas from Tanna Island (New Hebrides) : importance of cumulitic process in island arc magmatism. *Bull. Volc.*, **144**, 661-680.
- Cox A., Dalrymple G.B. (1967).- Statistical analysis of geomagnetic reverse data and the precision of potassium-argon dating. *J. Geophys. Res.*, **72**, 2603.
- Dalrymple G.B., Moore J.G. (1968).- Argon 40 : excess in submarine pillow basalts from Kilauea volcano, Hawaii. *Science*, **161**, 1132-1135.
- Dalrymple G.B., Lanphere M.A. (1969).- Potassium-argon dating. J. Gilluly, A.O. Woodford (eds.), W.H. Freeman & Cie, San Francisco.
- Daniel J. (1978).- Phénomène de subduction et existence du prisme d'accrétion : enseignement de l'arc des Nouvelles Hébrides. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. **286**, sér. D, 24, 1755-1758.
- Daniel J. (1982).- Morphologie et structures superficielles de la partie sud de la zone de subduction des Nouvelles-Hébrides. In "Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique", équipe de Géologie-Géophysique du Centre ORSTOM, Nouméa, *Trav. et Doc. ORSTOM*, **147**, 39-60.
- Daniel J., Collot J.Y., Ibrahim A.B.K., Latham B., Louat R., Maillet P., Malahoff A., Pontoise B. (1982).- La subduction aux Nouvelles-Hébrides. In "Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique", équipe de Géologie-Géophysique du Centre ORSTOM, Nouméa, *Trav. Doc. ORSTOM*, **147**, 149-156.

- De Chalvron M., Dubois J., Puech J.L., Reichenfeld C. (1967).- Croisière bathymétrique aux Nouvelles-Hébrides à bord du Coriolis. *Rapp. ORSTOM*, Nouméa, 11 p.
- Dickinson W.R. (1973).- Widths of modern arc-trench gaps proportional to past duration of igneous activity in associated magmatic arcs. *J. Geophys. Res.*, **78** (17), 3376-3389.
- Dixon T.H., Batiza R. (1979).- Petrology and chemistry of recent lavas in the northern Marianas : implications for the origin of island arc basalts. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **70**, 167-181.
- Dubois J., Larue B., Pascal G., Reichenfeld C. (1973).- Seismology and structure of the New-Hebrides. In "The Western Pacific : island arcs, marginal seas, geochemistry", P.J. Coleman (ed.), University of Western Australia Press.
- Dubois J., Launay J., Recy J. (1974).- Uplift movements in New-Caledonia. Loyalty islands area and their plate tectonics interpretation. *Tectonophysics*, **24**, 1/2, 133-150.
- Dubois J., Dugas F., Lapouille A., Louat R. (1975).- Fossés d'effondrement en arrière de l'arc des Nouvelles-Hébrides, mécanismes proposés. *Rev. Geog. phys. géol. dyn.*, (2), XVII, I, 73-94.
- Dubois J., Launay J., Recy J., Marshall J. (1977).- New-Hebrides trench : subduction rate from associated lithospheric bulge. *Can. J. Earth Sci.*, **14**, 2, 250-255.
- Dubois J., Dugas F., Lapouille A., Louat R. (1978).- The troughs at the rear of the New-Hebrides island arc : possible mechanisms of formation. *Can. J. Earth Sci.*, **15**, 3, 351-360.
- Dugas F., Dubois J., Lapouille A., Louat R., Ravenne C; (1976).- Structural characteristics and tectonics of an active island arc : the New-Hebrides. *Symp. Intern. Geodyn. SW Pacifique*, Nouméa, 27 août - 2 septembre 1976, 79-90.
- Dupuy C., Dostal J., Marcelot G., Bougault H., Joron L., Treuil M. (1982).- Geochemistry of basalts from central and southern New Hebrides arc : implication for their source rock composition. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **60**, 207-225.
- Dymond J. (1970).- Excess argon in submarine basalt pillows. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **81**, 1229-1232.
- Escalant M. (1988). - Evolution spatiale et chronologique du volcanisme de l'île de La Martinique (Petites Antilles) : implications pérogénétiques. *Thèse*, Univ. Aix-Marseille, 206 p.
- Ewart A. (1976).- Mineralogy and geochemistry of modern orogenic lavas : some statistics and implications. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **31**, 417-432.
- Ewart A., Bryan W.B., Gill J.B. (1973).- Mineralogy and geochemistry of the younger volcanic islands of Tonga, SW Pacific. - I. *Petrol.*, **14**, 429-465.

- Ewart A., Brothers R.N., Mateen A. (1977).- An outline of the geology and geochemistry evolution of the volcanic rocks of Tonga-Kermadec, New Zealand island arc. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 2, 205-250.
- Fabre A. (1986).- Le temps dans la construction des courbes de dérive apparente du pôle magnétique. Application à l'Europe du Permien au Jurassique. *Thèse*, Univ. Bretagne Occidentale Brest, 156 p.
- Faleyev V.I., Udintsev G.B., Agapova G.V., Domanitskiy Y.A., Marova N.A. (1977).- Data on the maximum depths of trenches in the world ocean. *Oceanology*, 17, 3, 311-313.
- Fichaut M. (1986).- Magmatologie de la Montagne Pelée (Martinique). *Thèse Doct.*, Univ. Bretagne Occidentale, Brest, 318 p.
- Fichaut M., Maury R.C., Coulon C., Dupuy C., Gourgaud A., Traineau H., Westercamp D. (1985).- Magmatologie de la Montagne Pelée. *Bull. P.I.R.P.S.E.V.*, 101, 94 p.
- Fisher D.E. (1981).- A search of primordial atmospheric-like argon in an iron meteorite. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45, 245-249.
- Fodor R.V., Keil K., Bunch T.E. (1975).- Contribution to mineral chemistry of Hawaiian rocks. IV.- Pyroxenes in rocks from Haleakala and West Mani volcanoes, Mani, Hawaii. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 50, 173-195.
- Gamble G.P., Taylor L.A., (1980).- Crystal-liquid partitioning in augite : effect of cooling rate. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 47, 21-23.
- Gérard M., Person A., Recy J., Dubois J. (1987).- Preliminary results of petrological and mineralogical studies of manganeseiferous encrustations dredged over the New Hebrides back-arc (Vanuatu). *J. of EUG IV*, Strasbourg, 7, 2/3, 189.
- Gérard M., Bizon G., Müller C. (en préparation).- Biostratigraphie et lithologie d'une série volcano-sédimentaire marine de l'arc des Nouvelles-Hébrides. *C.R. Acad. Sci.*, Paris.
- Gibb F.G.F., (1973).- The zoned clinopyroxenes of the Shiant Isles Sill, Scotland. *J. Petrol.*, 14, 2, 203-230.
- Gill J.B. (1976).- Composition and age of Lau Basin and ridge volcanic rocks : implications for evolution of an interarc basin and remnant arc. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 87, 1384-1395.
- Gill J.B. (1981).- Orogenic andesites and plate tectonics. In "Mineral and rocks", P.J. Willie, A. El Gosery, W. Von Engelhart (eds.), Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, New York.
- Gill J.B., Gorton M. (1974).- A proposed geological and geochemical history of eastern Melanesia. In "The Western Pacific : islands arcs, marginal seas, geochemistry", P.J. Coleman (ed.), University of Western Australia Press, 543-566.

- Girard D. (1981).- Pétrologie de quelques séries spililitiques mésozoïques du domaine caraïbe et des ensembles magmatiques de l'île de Tobago : implications géodynamiques. *Thèse 3è cycle*, Univ. Bretagne Occidentale Brest, 230 p.
- Giraud J.P. (1983).- Le problème du potassium dans les séries calco-alcalines et les paragenèses minéralogiques dans les associations (andésite low K et high K). L'exemple du volcanisme paléogène alpin. *Bull. Minéral.*, suppl. 106, 101-102.
- Gorton M.P. (1974).- The geochemistry and geochronology of the New-Hebrides. *Thesis*, Australian National University, 300 p.
- Gorton M.P., (1977).- The geochemistry and origin of quaternary volcanism in the New Hebrides. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 41, 1257-1270.
- Goula X. (1978).- Structure de manteau supérieur dans la partie convexe de l'arc des Nouvelles Hébrides. *Thèse 3è cycle*, Univ. Grenoble, 151 p.
- Greenbaum D., Mallick D.I.J., Tadford N.W. (1975).- Geology of the Tones islands. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 46 p.
- Greene G. et al, (1988).- In "Geology of offshore resources of Pacific island arcs. Vanuatu region", H.G. Greene, F.L. Wong (eds.), Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences series, vol. 8.
- Hanus V., Vaneck J. (1983).- Deep structure of the Vanuatu (New-Hebrides) islands arc-intermediate depth collision of subducted lithospheric plates. *New Zealand J. Geol. Geophys.*, 26, 133-154.
- Hart S.R., Glassley W.E., Kraig D.E. (1972).- Basalts and sea-floor spreading behind the Mariana island arc. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 15, 12-18.
- Hawkesworth C.J., Powell M. (1980).- Magma genesis in the Lesser Antilles island arc. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 51, 297-308.
- Hawkins J.W. Jr. (1976). Petrology and geochemistry of basaltic rocks of the Lau Basin. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 28, 283-297.
- Hawkins J.W. Jr. (1977).- Petrologic and geochemical characteristics of marginal basin basalts. In "Island arcs, deep sea trenches and back-arc basins", M. Talwani, W.C. Pitman (eds.), *Amer. Geophys. Union*, Washington, 355-365.
- Hawkins J.W. Jr., Melchior J.T. (1985).- Petrology of Mariana Trough and Lau Basin basalts. *J. Geophys. Res.*, 90, B13, 11431-11468.
- Hughes G.W. (1978).- The relationship between volcanic island genesis and the indo-australian Pacific plate margins in the Eastern Outer islands, Solomon islands, Southwest Pacific. *J. Phys. Earth.*, 26, suppl., S123-138.
- Iddings (1909).- Igneous rocks. J. Wiley & Sons, New-York.

- Jakes P., Gill J. (1970).- Rare earth elements and the island arc : tholeiitic series. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 9, 17-28.
- Jakes P., White A.J.R. (1970).- K/Rb ratios of rocks from island arcs. *Geochim., Cosmochim. Acta*, 34, 849-856.
- Jakes P., White A.J.R. (1972).- Major and trace element abundances in volcanic rocks or orogenic areas. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 83, 29-40.
- Joron J.L., Treuil M., (1977).- Utilisation des propriétés des éléments fortement hygromagmaphiles pour l'étude de la composition chimique et de l'hétérogénéité du manteau. *Bull. Soc. géol. France*, 7, XIX, 6, 1197-1205.
- Jouannic C., Taylor F.W., Bloom A.L. (1982).- Sur la surrection et la déformation d'un arc jeune : l'arc des Nouvelles-Hébrides. In "Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique", équipe de Géologie-Géophysique du Centre ORSTOM, Nouméa, *Trav. Doc. ORSTOM*, 147, 223-246.
- Karig D.E. (1970).- Ridges and basins of the Tonga-Kermadec island-arc system. *J. Geophys. Res.*, 75, 239-255.
- Karig D.E. (1971a).- Origin and development of marginal basins in the Western Pacific. *J. Geophys. Res.*, 76, 2542-2561.
- Karig D.E. (1971b).- Structural history of the Mariana island arc system. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 82, 2, 323-344.
- Karig D.E., Mammerickx J. (1972).- Tectonic framework of the New-Hebrides island arc. *Mar. Geol.*, 12, 187-205.
- Karig D.E., Sharman G.F. (1975).- Subduction and accretion in trenches. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 86, 3, 377-389.
- Katz H.R., (1988).- In "Geology and offshore resources of Pacific island arcs. Vanuatu region", H.G. Greene, F.L. Wong (eds.), Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences series, vol. B.
- Kroenke L.W. (1984).- Vanuatu and the Eastern Outer Solomon islands. Formation of the New-Hebrides and Vitiac arcs and development of the North Fiji Basin. In "Cenozoic tectonic development of the southwest Pacific", UN ESCAP, CCOP/SOPAC, *Technical Bull.*, 6, 63-75.
- Kulp J.L., Engels J. (1963).- Discordances in K-Ar and Rb-Sr isotopic ages. In "Radioactive dating and methods of low-level counting" (International Atomic Agency, Vienna), 219-238.
- Kurz M.D., Jenkins W.J. (1981).- Systematics of rare gas isotopes in basic lavas and ultramafic xenoliths. *J. Geophys. Res.*, 87, 5611-5630.
- Kushiro I. (1960).- Al-Si relation in clinopyroxenes from igneous rocks. *Am. J. Sci.*, 258, 548-554.

- Kushiro I. (1969).- Clinopyroxenes solid solutions formed by reaction between diopside and plagioclase at high pressures. *Min. Soc. Am.*, spec. paper, 2, 179-191.
- Le Bas M.J. (1962).- The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with their relation to their parentage. *Am. J. Sci.*, 260, 267-288.
- Leterrier J., Maury R.C., Thonon P., Girard D., Marchel M. (1982).- Clinopyroxene compositions as a method of identification of the magmatic affinities of paleovolcanic series. *Earth Plan. Sci. Lett.*, 59, 139-154.
- Lonsdale P., Hawkins J. (1985).- Silicic volcanism at an off-axis geothermal field in the Mariana Trough back-arc basin. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 96, 940-951.
- Louat R., Daniel J., Isacks B. (1982).- Sismicité de l'arc des Nouvelles-Hébrides. In "Contribution à l'étude géodynamique du Sud-Ouest Pacifique", équipe de Géologie-Géophysique du Centre ORSTOM, Nouméa, *Trav. Doc. ORSTOM*, 147, 111-148.
- Louat R., Hamburger M., Monzier M. (1988)- Shallow and intermediate-depth seismicity in the New Hebrides arc : constraints on the subduction process. In "Geology and offshore resources of Pacific island arcs. Vanuatu region", H.G. Greene, F.L. Wong (eds.), Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences series, vol. 8, 329-356.
- Louat R., Charvis P., (sous presse).- Seismotectonics and present-day relative plate motions in the New-Hebrides. North Fiji Basin region. *Tectonophysics*.
- Lowder G.G. (1970).- The volcanoes and caldera of Talasea, New Britain : mineralogy. *Contrib. Miner. Petrol.*, 26, 324-340.
- Luyendick B.P., Bryan W.B., Jesek P.A. (1974).- Shallow structure of the New Hebrides island arc. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, 1287-1300.
- Mac Birney A.B. (1963).- Factors governing the nature of submarine volcanism. *Bull. Volc.*, 26, 455-469.
- Mac Donald K.C., Luyendik B.P., Bryan W.B. (1973).- Heat flow and plate boundaries in Melanesia. *EOS Trans. Am. geophys. Un.*, 53 (4), 518.
- Macfarlane A., Carney J.N., Crawford A.J., Greene G. (1988) - Vanuatu. A review of the onshore geology. In "Geology and offshore resources of Pacific island arcs. Vanuatu region", H.G. Greene, F.L. Wong (eds.), Circum Pacific Council for Energy and Mineral Resources, Earth Sciences series, vol. 8.
- Malahoff A. (1970).- Some possible mechanisms for gravity and thrust under oceanic trenches. *J. Geophys. Res.*, 75 (11), 1992-2001.
- Mallick D.I.J., (1973).- Some petrological and Structural Variations in the New Hebrides. In "The Western Pacific : island arcs, marginal seas, geochemistry, P.J. Coleman (ed.), University of Western Australia Press, 193-212.

- Mallick D.I.J., Neef G. (1974).- Geology of Pentecost. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 103 p.
- Mallick D.I.J., Ash R.P. (1975).- Geology of the Southern Banks islands. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 33 p.
- Mallick D.I.J., Greenbaum D. (1977).- Geology of Southern Santo. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 84 p.
- Marcelot G. (1980).- Contribution à l'étude du volcanisme des Nouvelles-Hébrides : pétrographie, minéralogie et géochimie des laves d'Erromango. *Thèse, Univ. Paris Sud, Orsay*, 252 p.
- Marcelot G. (1981).- Géochimie des laves d'Erromango : implications pétrogénétiques. *Bull. Soc. géol. France*, (7), XXIII, 367-376.
- Marcelot G., Dupuy C., Girod M., Maury R.C. (1983a).- Petrology of Futuna island lavas (New Hebrides) : an example of calc-alkaline magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading. *Chem. Geol.*, 38, 23-37.
- Marcelot G., Maury R.C., Lefevre C. (1983b).- Mineralogy of Erromango lavas (New Hebrides) : evidence of an early stage of fractionation in island arc basalts. *Lithos*, 16, 135-151.
- Marsh N.G., Saunders A.D., Tarney J., Dick H.J.B. (1980).- Geochemistry of basalts from the Shikoku and Daïto basins, DSDP, leg 58. *Rep. DSDP*, (US Govern. Printing Office), 58, 805-842.
- Martini E. (1971).- Standard tertiary and quaternary calcareous nannoplankton zonation. *Proc. IInd Plankt. Conf. Roma*, 2, 739-785.
- Mattey D.P., Marsh N.G., Tarney J. (1980).- The geochemistry, mineralogy and petrology of basalts from the West Philippine and Parece Vela Basins and from the Palau Kyushu and West Mariana ridges, DSDP, leg 59. *Rep. DSDP*, (US Govern. Printing Office), 59, 753-800.
- Maury R.C., Bougault H., Joron J.L., Girard D., Treuil M., Azema J., Aubouin J. (1982).- 23. Volcanic rocks from leg 67 sites : mineralogy and geochemistry. *Rep. DSDP*, (US Govern. Printing Office), 57, 557-576.
- Maury R.C., Westercamp D. (1985).- Variations des basaltes néogènes des Petites Antilles. *Symp. Géodynamique des Caraïbes*, Paris, 5-8 février 1985, Technips éd.
- Menard H.W. (1967).- Transitional types of crust under small ocean basins. *J. Geophys. Res.*, 72, 12, 3061-3073.
- Mitchell A.H.G. (1966).- Geology of South Malekula. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 42 p.
- Mitchell A.H.G. (1969).- Raised reef capped terraces and plio-pléistocene sea level changes, North Malekula, New Hebrides. *J. Geol.*, 76, 56-67.

- Mitchell A.H.G. (1971).- Geology of Malekula, 1:100,000. *New Hebrides Geol. Surv., Map Ser., Sheet 7.*
- Mitchell A.H.G., Warden A.J. (1971).- Geological evolution of the New Hebrides island arc. *J. Geophys. Res.*, **127**, 501-529.
- Miyashiro A. (1974).- Volcanic rocks series in island arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, **274**, 321-355.
- Monjaret M.C., Bellon H., Maillet P., Recy J. (1987).- Le volcanisme arrière-arc des Nouvelles-Hébrides (campagne SEAPSO leg 2 du N/O Jean-Charcot dans le Pacifique sud-ouest) : datation K-Ar et données pétrologiques préliminaires. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, t. **305**, 605-609.
- Montigny R. (1985).- Méthode classique potassium-argon. In "Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels. Applications", E. Roth et B. Poty (eds.), Masson, 309-340.
- Monzier M., Collot J.Y., Daniel J. (1984).- Carte bathymétrique des parties centrale et méridionale de l'arc insulaire des Nouvelles-Hébrides. *ORSTOM*, Paris.
- Moore J.G. (1965).- Petrology of deep-sea basalt near Hawaii. *Am. J. Sci.*, **263**, 40-52.
- Muir I.D., Tilley C.E. (1964).- Iron enrichment and pyroxene fractionation in tholeiites. I. *Geol.*, **4**, 143-156.
- Nisbet E.G., Pearce A.J. (1977).- Clinopyroxene composition in mafic lavas from different tectonic settings. *Contrib. Miner. Petrol.*, **63**, 149-160.
- Ozima M., Kudo K. (1972).- Excess argon in submarine basalts and an earth atmosphere evolution model. *Nature Phys. Sci.*, **234**, 23-24.
- Ozima M., Podosek F.A. (1983).- Noble gas geochemistry. *Cambridge Univ. Press*, 367 p.
- Papike J.J., Cameron K.L., Baldwin K. (1974).- Amphibole and pyroxenes : characterization of other than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **6**, 1053-1054.
- Pascal G. (1974).- Contribution à l'étude de la séismicité des Nouvelles-Hébrides. *Thèse Doct. Etat*, 133 p.
- Pascal G., Isacks B.L., Barazangi M., Dubois J. (1978).- Precise relocations of earthquakes and seismotectonics of the New Hebrides island arc. *J. Geophys. Res.*, **83**, 4957-4973.
- Pearce J.A., Cann J.R. (1973).- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **19**, 290-300.
- Peccerillo A., Taylor S.R. (1976).- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastauram area, northern Turkey. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **58**, 63-81.

- Pelletier B., Charvis P., Daniel J., Hello Y., Jamet F., Louat R., Nanau P., Rigolot P. (1988).- Structure et linéations magnétiques dans le coin nord-ouest du bassin nord-fidjien : résultats préliminaires de la campagne EVA 14 (août 1987). *C.R. Acad. Sci., Paris*, t. 306, 1247-1254.
- Puech J.L., Reichenfeld C. (1969).- Etudes bathymétriques dans la région des îles Erromango, Tanna et Anatom (Nouvelles-Hébrides sud). *C.R. Acad. Sci., Paris*, t. 268, 1259-1261.
- Ravenne C., Aubertin F., Louis J. (1973).- Campagne Austradec I. Etude géologique et géophysique de la région Chesterfield-Nouvelle-Calédonie-Loyauté. *Rapp. IFP-CFP-SNPA-ORSTOM et ELF-ERAP*, 31 p.
- Ravenne C., Pascal G., Dubois J., Dugas F., Montadert L. (1976).- Model of a young intra-oceanic arc : the New Hebrides Island Arc. *Symp. Intern. Geodyn. SW Pacifique*, Nouméa, 27 août - 2 septembre 1976, 63-78.
- Récy J., Dubois J., Daniel J., Dupont J., Launay J. (1976).- Fossil subduction zones. Examples in South-West Pacific. *Symp. Intern. Geodyn. SW Pacifique*, Nouméa, 27 août - 2 septembre 1976, 345-356.
- Récy J., Charvis P., Ruellan E., Monjaret M.C., Gérard M., Auclair G., Baldassari C., Boirat J.M., Brown G.R., Butscher J., Collot J.Y., Daniel J., Louat R., Monzier M., Pontoise B., (1986).- Tectonique et volcanisme sous-marin à l'arrière de l'arc des Nouvelles Hébrides (Vanuatu, Pacifique Sud-Ouest) : résultats préliminaires de la campagne SEAPSO Leg II du N/O Jean Charcot. *C. R. Acad. Sc., Paris*, t.303, 685-690.
- Richard M., (1986).- Géologie et pétrologie d'un jalon de l'arc Taïwan-Luzon : l'île de Batan (Philippines). Etude de nodules mantelliques métasomatisés en enclaves dans des laves calco-alcalines potassiques. *Thèse nouveau régime*, Univ. Bretagne Occidentale Brest, 351 p.
- Ridley W.I. (1977).- The crystallization trends of spinels in tertiary basalts from Rhum and Mull and their petrogenetic significance. *Contrib. Miner. Petrol.*, 64, 243-257.
- Robinson G.P. (1969).- The geology of North Santo. *New Hebrides Geol. Surv. Reg. Rep.*, 77 p.
- Roca J.L., (1978).- Contribution à l'étude pétrologique et structurale des Nouvelles Hébrides. *Thèse*, Univ. Sc. Techn. Languedoc, 147 p.
- Sakuyama M., Nesbitt R.W. (1986).- Geochemistry of the Quaternary volcanic rocks of the Northeast Japan arc. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 29, 413-450.
- Saunders A.D., Tarney J. (1979).- The geochemistry of basalts from a back-arc spreading center in the East Scotia Sea. *Geochim., Cosmochim. Acta*, 43, 4, 555-572.

- Saunders A.D., Tarney J. (1984).- Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins. In "Marginal basin geology. Volcanic and associated sedimentary and tectonic processes in modern and ancient marginal basins", B.P. Kokelaar, M.F. Howells (eds.).
- Simkin T., Smith J.V. (1970).- Minor element distribution in olivine. *J. Geol.*, **78**, 207-219.
- Smith D., Lindsley D.H. (1971).- Stable and metastable augite crystallization trends in a single basalt flow. *Am. Mineral.*, **56**, 225-233.
- Steiger R.H., Jäger E. (1977).- Subcommittee on geochronology : convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **36**, 359-362.
- Stormer J.C. (1973).- Calcium zoning in olivine and its relationship to silica activity and pressure. *Geochim., Cosmochim., Acta*, **37**, 1815-1821.
- Sun S.S., Nesbitt R.W., Sharaskin A.Y. (1979).- Geochemical characteristics of mid-ocean ridge basalts. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **44**, 119-138.
- Tarney J., Saunders A.D., Matthey D.P., Wood D.A., Marsh N.G. (1981).- Geochemical aspects of back-arc spreading in the Scotia Sea and Western Pacific. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, **A300**, 263-285.
- Taylor B., Karner G.D. (1983).- On the evolution of marginal basins. *Rev. geophys. space phys.*, **21**, 8, 1727-1741.
- Treuil M. (1973).- Critères volcanologiques, pétrologiques et géochimiques de la genèse et de la différenciation des magmas basaltiques : exemple de l'Afar. *Bull. Soc. géol. France*, **15**, 506-540.
- Treuil M., Joron J.L., Jaffrezic H., Villemant B., Calas G. (1979).- Géochimie des éléments hygromagmatophiles, coefficients de partage minéraux/liquides et propriétés structurales de ces éléments dans les liquides magmatiques. *Bull. Minéral.*, **102**, 402-409.
- Turner D.L., Jarrard R.D. (1982).- K-Ar dating of the Cook-Austral island-chain : a test of the hot-spot hypothesis. *J. Volc. Geotherm. Res.*, **12**, 187-200.
- Uyeda S., Kanamori H. (1979).- Back-arc opening and the mode of subduction. *J. Geophys. Res.*, **84**, 1049-1061.
- Villemand B., Joron J.L., Jaffrezic H., Treuil M., Maury R.C., Brousse R. (1980).- Cristallisation fractionnée d'un magma basaltique alcalin : la série de la chaîne des Puys (Massif Central français). II : Géochimie. *Bull. Minéral.*, **103**, 267-286.
- Volpe A.M., MacDougall J.D., Hawkins J.W. (1987).- Mariana Trough basalts (MTB) : trace element and Sr-Nd isotopic evidence for mixing between MORB-like and Arc-like melts. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **82**, 241-254.

- Walker D.A., MacDougall I. (1982).-  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  and K-Ar dating of altered glassy volcanic rocks : the Dabi volcanics, PNG. *Geochim., Cosmochim. Acta*, **46**, 2181-2190.
- Wapstra A.H., Gove N.B. (1971).- Nuclear data. Table 9, 265-468.
- Weast R.C., Selby S.M. (1966).- Handbook of chemistry and physics. *Chem. Rubber C. Press*, Boca Rator, Florida.
- Weaver S.D., Saunders A.D., Pankhurst R.J., Tarney J. (1979).- A geochemical study of magmatism associated with the initial stages of back-arc spreading. The Quaternary volcanics of Bransfield Strait, from South Shetland Islands. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **68**, 151-169.
- Westerkamp D. (1988).- Magma generation in the Lesser Antilles : geological constraints. *Tectonophysics*, **149**, 145-163.
- Wood D.A., Joron J.L., Treuil M. (1979).- A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series erupted in different tectonic settings. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **45**, 326-336.
- Wood D.A., Matthey D.P., Joron J.L., Marsh N.G., Tarney J. (1980).- 36. A geochemical study of 17 selected samples from basement cores recovered at sites 447, 448, 449, 450 and 451, Deep Sea Drilling Project Leg 59. *Rep. DSDP*, (US Govern. Printing Office), **59**, 743-752.
- Wood D.A., Marsh N.G., Tarney J., Joron J.L., Fryer P., Treuil M. (1981).- 33. Geochemistry of igneous rocks recovered from a transect across the Mariana Trough, arc, fore-arc, and trench, sites 453 through 461, Deep Sea Drilling Project leg 601. *Rep. DSDP*, (US Govern. Printing Office), **60**, 611-645.
- Yasui M., Kishii T., Watanabe T., Uyeda S. (1968).- Heat flow in the sea of Japan. In "The crust and upper mantle of the Pacific area", L. Knopoff, C.L. Drake, J. Hart (eds.), *Geophys. Monograph 12*, AGU, 3-16.
- Yuwono Y.S. (1987).- Contribution à l'étude du volcanisme potassique de l'Indonésie. Exemples du Sud-Ouest de Sulawesi et du volcan Muria (Java). *Thèse Doct.*, Univ. Bretagne Occidentale Brest, 2 tomes, 285 p.

## ABSTRACT

*This work is a part of the multidisciplinary GIS "Oceanology and Geodynamics" program on SW Pacific and deals with dredged volcanism from New Hebrides back arc troughs (dredgings during SEAPSO 2 cruise, R/V Jean Charcot, 1985). A comparison between troughs volcanism and islands volcanism was established, based on new datas and bibliographic ones.*

*$^{40}\text{K}$ - $^{40}\text{Ar}$  isotopic chronology of troughs and islands lavas underlines several points : - the oldest lavas are exposed in troughs; - activity shows three main periods [6.5 to 4.8 My (Futuna and Vot Tande troughs, Hazel Holme area and Erromango island), 4.1 to 2.8 My (generalization of the activity, first in troughs, then in islands), 2.8 to 0 My (migration of the activity from troughs to islands)]; - the age of volcanic edifices located on bottom or flanks of troughs gives a minimum age for the troughs structuration. This one is polyphased in some troughs and seems older South (Coriolis : 4.1-1.7-1.5 My) than North (Jean Charcot : 2.9-2.7 My).*

*Petrological and geochemical studies allow classification of basic lavas : 1 - N-MORB (ancient lavas from North Fiji Basin (NFB) : 12-13 My) and E-MORB, 2- IAT and 3- calcalkaline lavas (2- and 3- : normal contents or enriched in  $\text{TiO}_2$  and/or in MgO, Cr, Ni), 4- basalts with intermediate composition between MORB and IAT.*

*Acid lavas are subdivided into : low-K lavas similar to PIA, K- to high-K ones. MORB, intermediate basalts and low-K acid lavas are only emplaced in northern troughs. Other troughs lavas also are reported in islands. Tholeiitic lavas are more abundant than calcalkaline ones in troughs. Highest Ti- and Mg-lavas are more frequent in troughs.*

*Trace elements study shows that troughs lavas, inspite of a few common patterns (Ta negative anomaly, LILE enrichment versus HFSE), have specific characteristics for each area (RRE spectra, Th/Ta and Th/La ratios). This illustrates source diversity or variability.*

*Two particular lavas types (magnesian basalts and K- and high-K acid lavas) are assumed to be marks of fracturation phases related to troughs formation.*

*The history of the New Hebrides "arc-troughs" system is reconstructed on isotopic K-Ar and petrochemical data.*

- Old MORB (12-13 My) from Vanikoro area are NFB rocks.*
- An old arc is constructed between 6.5 and 4.8 My (remnants in Futuna and Vot Tande areas and in Erromango island). Futuna trough formation begins at the same time.*
- Structuration of Erromango, Vate and Hazel Holme troughs begins after 4.1 My; volcanism is also expressed in Erromango and Vot Tande areas.*
- Between 3 and 2 My the general activity in troughs areas marks a distensive episode diachrone from South to North.*
- Activity occurs in every island after 2 My.*
- After 1 My, volcanism is general in islands and becomes more occasional in troughs; activity migrates from troughs to islands.*

*The formation of troughs at the rear of the new Hebrides arc is diachrone from South to North and is polyphased in several areas. This formation belongs to the arc history (close chronological relations between troughs and islands lavas and large similarity of volcanics). These troughs must be considered as intra-arc troughs. However Vanikoro area at the northern limit of the arc is specific because of the volcanism nature (intermediate basalts, then PIA acid lavas) which illustrates the initiation of an arc in this area since 2.9 My.*

*The opening of the troughs may be related to collapse at the edge of the NFB between 6.5 and 4.8 My and could result from subduction-collision of the d'Entrecasteaux ridge after 3.5 My.*

## RESUME

Ce travail s'inscrit dans le cadre du programme de recherche pluridisciplinaire du GIS "Océanologie et Géodynamique" sur le Pacifique Sud-Ouest. Il porte sur l'étude des volcanites draguées dans les fossés à l'arrière de l'arc des Nouvelles Hébrides, au cours de la campagne SEAPSO 2 du NO Jean Charcot (1985). Une comparaison du volcanisme des fossés et du volcanisme dans les îles a été entreprise sur la base des données nouvelles et des données bibliographiques.

La chronologie isotopique ( $^{40}\text{K}$ - $^{40}\text{Ar}$ ) des laves des fossés et des îles met en évidence plusieurs points :

- les laves les plus anciennes sont exposées dans les fossés; - l'activité s'exprime selon trois périodes principales [6,5 à 4,8 Ma (fossés de Futuna, Vot Tande, zone Hazel Holme et île d'Erromango), 4,1 à 2,8 Ma (généralisation de l'activité dans les fossés puis dans les îles), 2,8 à 0 Ma (migration de l'activité depuis les fossés vers les îles)]; - l'âge des édifices volcaniques autonomes situés sur le fond ou sur les flancs des fossés assigne un âge minimum à la structuration des fossés. Cette structuration est polyphasée dans certains fossés. Elle semble plus ancienne au Sud (Coriolis : 4,1-1,7-1,5 Ma) qu'au Nord (Jean Charcot : 2,9-2,7 Ma).

L'étude pétrologique et géochimique permet d'établir la classification suivante des laves basiques :

1- MORB-N (témoins anciens du Bassin Nord-Fidjien, BNF, datés à 12-13 Ma) et MORB-E, 2- laves tholéitiques d'arc et 3- laves calco-alcalines ( 2- et 3- , normales ou enrichies en  $\text{TiO}_2$  et / ou en  $\text{MgO}$ , Cr, Ni), 4- basaltes intermédiaires entre MORB et Th.Arc. On distingue parmi les laves acides : des laves hypopotassiques comparables aux tholéites d'arc insulaire primitif, des laves potassiques à très potassiques. Les MORB, basaltes intermédiaires et laves acides hypopotassiques sont trouvés uniquement dans les fossés du Nord. Les autres laves des fossés ont leurs équivalents dans les îles. La proportion de laves tholéitiques par rapport aux laves calco-alcalines est plus élevée dans les fossés. Les laves plus riches en titane et magnésium sont plus fréquentes dans les fossés.

L'étude des éléments en traces montre que les laves des fossés, malgré quelques caractères communs (anomalie négative en Ta, enrichissement plus ou moins prononcé en LILE par rapport aux HFSE), possèdent des caractères spécifiques à chacune des zones (forme des spectres de terres rares, rapports Th/Ta et Th/La). Ceci pourrait illustrer la diversité des sources ou la variabilité de la source.

Deux types particuliers de laves (basaltes magnésiens et laves acides potassiques et très potassiques) sont interprétés comme des marqueurs de phases de fracturation accompagnant la formation des fossés.

L'histoire du "système arc-fossés" des Nouvelles Hébrides est reconstituée en tenant compte des datations isotopiques et des données pétrochimiques.

- Les MORB anciens (12-13 Ma) présents dans le fossé de Vanikoro constituent des témoins du BNF.
- Entre 6,5 et 4,8 Ma se forme un arc ancien dont les témoins sont exposés dans le fossé de Futuna, l'île d'Erromango et les zones Hazel Holme et Vot Tande. Parallèlement débute la formation du fossé de Futuna.
- La structuration des fossés d'Erromango, Hazel Holme, Voté débute après 4,1 Ma; le volcanisme s'exprime aussi dans les îles Erromango et Vot Tande.
- L'activité se généralise dans l'ensemble des fossés entre 3 et 2 Ma, lesquels enregistrent une importante phase de distension diachrone du Sud vers le Nord.
- Elle gagne l'ensemble des îles à partir de 2 Ma.
- Après 1 Ma le volcanisme, quasigénéral dans les îles, devient plus épisodique dans les fossés; l'activité migre ainsi depuis les fossés vers les îles.

La formation des fossés à l'arrière de l'arc des Nouvelles Hébrides est diachrone du Sud vers le Nord et polyphasée dans plusieurs zones. Elle fait partie intégrante de l'histoire de l'arc (relations chronologiques étroites entre les laves présentes dans les fossés et celles des îles, et grande similitude des produits volcaniques). Ces fossés doivent donc être considérés comme des fossés intra-arc. La zone Vanikoro à l'extrême Nord de l'arc est toutefois particulière, par la nature du volcanisme (basique intermédiaire entre MORB et tholéite d'arc, puis tholéitique acide d'arc primitif) qui témoigne de la naissance d'un arc dans cette zone, depuis 2,9 Ma.

L'ouverture des fossés peut être liée entre 6,5 et 3,5 Ma à des effondrements en bordure du bassin Nord-Fidjien ; après 3,5 Ma (période des premières émissions de laves acides très potassiques) elle pourrait être la conséquence de la subduction-collision de la ride d'Entrecasteaux.



UBO  
CNRS  
IFREMER  
ORSTOM  
BRGM

GRUPE DE FORMATION DOCTORALE GEOSCIENCES :  
GEODYNAMIQUE, GEOPHYSIQUE ET GEOCHIMIE DES OCEANS.

THÈSE DE DOCTORAT DE  
L'UNIVERSITÉ DE BRETAGNE OCCIDENTALE

---

Marie-Claire MONJARET

**Le magmatisme des fossés à l'arrière  
de l'arc des Nouvelles Hébrides  
( Vanuatu )**

**( Campagne SEAPSO 2 du NO Jean Charcot )**

*Implications géodynamiques*

*Chronologie , Pétrologie , Géochimie .*

VOLUME 2

BREST 1989

## LISTE DES TABLEAUX (Volume 2)

- Tableau I-2 : Coordonnées et profondeur des dragages effectués lors de la campagne SEAPSO II.
- Tableau I-3 : Liste des échantillons volcaniques prélevés sur l'île de Vaté et l'îlot d'Emau lors de la mission du 4 au 13 Décembre 1985.
- Tableau I-4 : Liste des échantillons volcaniques prélevés sur l'île d'Ureparapara (Banks Nord) lors d'une escale du N/O Jean Charcot au cours (Décembre 1985).
- Tableau I-5 : Liste des échantillons provenant de la lithothèque du Service des Mines du Vanuatu.
- 
- Tableau II-2 : Datations K-Ar sur roches totales des laves des îles du Nord de la chaîne centrale de l'arc des Nouvelles Hébrides.
- Tableau II-3 : Datations K-Ar sur roches totales des laves des îles du Sud de la chaîne centrale de l'arc des Nouvelles Hébrides.
- Tableau II-4 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Vanikoro (fossés du Jean Charcot).
- Tableau II-5 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Vot Tande (fossés du Jean Charcot).
- Tableau II-6 : Datations K-Ar sur roches totales des laves de la zone Hazel Holme (fossés du Jean Charcot).
- Tableau II-7 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Vaté (fossés du Coriolis).
- Tableau II-8 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé d'Erromango (fossés du Coriolis).
- Tableau II-9 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Futuna (fossés du Coriolis).
- Tableau II-12 : Datations K-Ar complémentaires des laves des îles de la chaîne centrale, données de la bibliographie.
- Tableau II-13 : Datations K-Ar sur plagioclases des laves des fossés.
- 
- Tableau III-1 : Types pétrographiques bibliographiques décrits pour les laves de la chaîne centrale.
- Tableau III-2 : Description des lames minces des laves des îles Banks.
- Tableau III-3 : Description des lames minces des îles du Sud.
- Tableau III-4 : Description macroscopique des échantillons dragués.
- Tableau III-5 : Description des lames minces des laves des fossés.
- Tableau III-17 : Analyses chimiques des olivines des laves des îles Banks.
- Tableau III-18 : Analyses chimiques des clinopyroxènes des laves des îles.
- Tableau III-19 : Analyses chimiques des orthopyroxènes des laves des îles.
- Tableau III-20 : Analyses chimiques des plagioclases des laves des îles.
- Tableau III-21 : Analyses chimiques des titanomagnétites des laves des îles.
- Tableau III-22 : Analyses chimiques des verres des laves des îles.
- Tableau III-23 : Analyses chimiques des olivines des laves des fossés.

Tableau III-24 : Analyses chimiques des clinopyroxènes des laves des fossés.  
Tableau III-24' : Analyses chimiques des orthopyroxènes des laves des fossés.  
Tableau III-25 : Analyses chimiques des plagioclases des laves des fossés.  
Tableau III-26 : Analyses chimiques des feldspaths potassiques des laves des fossés.  
Tableau III-27 : Analyses chimiques des titanomagnétites des laves des fossés.  
Tableau III-28 : Analyses chimiques des ilménites des laves des fossés.  
Tableau III-29 : Analyses chimiques des spinelles chromifères des laves des fossés.  
Tableau III-30 : Analyses chimiques des verres des laves des fossés.

Tableau IV-1 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles Banks.  
Tableau IV-2 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles Banks (bibliographie).  
Tableau IV-3 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles du Sud de la chaîne centrale.  
Tableau IV-4 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles du Sud de la chaîne centrale (bibliographie).  
Tableau IV-5 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles centrales (bibliographie).  
Tableau IV-6 : Analyses complémentaires des éléments en traces des laves des îles de la chaîne centrale (bibliographie).  
Tableau IV-8 : Valeurs de normalisation des éléments en traces.  
Tableau IV-9 : Analyses chimiques (roche totale) des laves de chaque zone des fossés.  
Tableau IV-10 : Analyses des éléments en traces des laves de chaque zone des fossés.

## LISTE DES FIGURES (Volume 2)

- Figure I-19 : Carte géologique de l'île d'Ureparapara (Banks du Nord), d'après Ash *et al.*(1980) et localisation des échantillons prélevés.
- Figure I-20 : Carte géologique de l'île de Vaté, d'après Ash *et al.* (1978), et localisation des échantillons prélevés.
- Figure I-21 : Carte géologique de l'île de Vot Tande (Banks du Nord), d'après Ash *et al.*(1980) et localisation des échantillons étudiés (encadrés) ainsi que des échantillons datés repris de la bibliographie.
- Figure I-22 : Carte géologique de l'île de Mota (Banks du Nord), d'après Ash *et al.*(1980) et localisation de l'échantillon étudié.
- Figure I-23 : Carte géologique de l'île de Merig (Banks du Sud), d'après D.I.J. Mallick (1970 et 1971) et localisation des échantillons.
- Figure I-24 : Carte géologique de l'île de Mere Lava (Banks du Sud), d'après D.I.J. Mallick (1970).
- Figure I-25 : Carte géologique de l'île de Gaua (Banks du Sud), d'après Mallick et Ash (1975) et localisation de l'échantillon étudié ainsi que des échantillons datés repris de la bibliographie.
- Figure I-26 : Carte géologique de l'île de Vanua Lava (Banks du Nord), d'après Ash *et al.* (1980) et localisation des échantillons étudiés.
- Figure I-27 : Carte géologique de l'île de Mota Lava (Banks du Nord), d'après Ash *et al.* (1980) et localisation des échantillons étudiés (encadrés) ou datés mais repris de la bibliographie.
- Figure I-28 : Carte géologique de l'île de Tanna, d'après Carney et Macfarlane (1979) et localisation des échantillons étudiés (encadrés) ou datés mais repris de la bibliographie.
- Figure I-29 : Carte géologique de l'île de Futuna, d'après Carney et Macfarlane (1979) et localisation des échantillons étudiés (encadrés) ou repris de la bibliographie.
- Figure I-30 : Carte géologique de l'île d'Anatom, d'après Carney et Macfarlane (1979) et localisation des échantillons étudiés encadrés.
- 
- Figure II-2 : Exemple de courbe d'étalonnage du potassium.
- Figure II-3a : Schéma de l'installation.
- Figure II-3b : Schéma d'une ampoule Getter.
- Figure II-3c : Géométrie du spectromètre de masse TSN 205 SE.
- Figure II-4 : Schéma du déroulement de la manipulation.
- Figure II-5 : Exemple de courbe du rapport  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  de l'air.
- Figure II-6 : Proportionnalité de l'erreur sur la correction de l'argon atmosphérique et du pourcentage d'argon radiogénique (d'après Dalrymple et Lanphère, 1969).
- Figure II-7 : Ecart type en % ( $\sigma$ ) sur un âge K-Ar en fonction de la fraction d'argon radiogénique pour différentes valeurs de  $\sigma \frac{^{36}}{^{38}}$  (d'après Cox et Dalrymple, 1967).

- Figure III-31 : Evolution des principaux composants "non quadrilatéraux" en fonction du rapport  $FM = Fe / Fe + Mg$  dans les clinopyroxènes des laves des îles.
- Figure III-32 : Substitutions des composants "non quadrilatéraux" dans les clinopyroxènes des laves des îles.
- Figure III-33 : Variations de Ti et d'Al en fonction de FM ( $Fe^{2+} / Fe^{2+} + Mg^{2+}$ ) dans les titanomagnétites des laves des îles.
- Figure III-34 : Corrélations  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  dans les titanomagnétites des laves des îles.
- Figure III-35 : Evolution des principaux composants "non quadrilatéraux" en fonction du rapport  $FM = Fe / Fe + Mg$  dans les clinopyroxènes des laves des fossés.
- Figure III-36 : Substitutions des composants "non quadrilatéraux" dans les clinopyroxènes des laves des fossés.
- Figure III-37 : Variations de Ti et d'Al en fonction de FM ( $Fe^{2+} / Fe^{2+} + Mg^{2+}$ ) dans les titanomagnétites des laves des fossés.
- Figure III-38 : Corrélations  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  dans les titanomagnétites des laves des fossés.
- Figure III-39 : Variations des cations trivalents dans les spinelles chromifères en fonction du rapport  $Mg / Mg+Fe$ .

- Figure IV-1 : Variation des oxydes en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des îles Banks.
- Figure IV-2 : Variation des oxydes en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des îles sud de la chaîne centrale.
- Figure IV-3 : Variation de  $K_2O\%$  en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des îles centrales (données bibliographiques, tab.IV-5, vol.2).
- Figure IV-4 : Variation des éléments én traces en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des îles Banks.
- Figure IV-5 : Variation des éléments en traces en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des îles sud de la chaîne centrale.
- Figure IV-12 : Variation des oxydes en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.
- Figure IV-13 : Variation des éléments en traces en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

ANNEXES CHAPITRE 1

Tableau I-2 : Coordonnées et profondeur des dragages effectués lors de la campagne SEAPSO II.

*Location and depth of dredgings realized during SEAPSO II cruise.*

| Boîte | Dragage | Début                | Fin                  | Profondeur      | Cap    |
|-------|---------|----------------------|----------------------|-----------------|--------|
| V     | SPS2D1  | 12°12,9'S-167°34,6'E | 12°11,9'S-167°34,9'E | -1470 à -940 m  | N30°E  |
| A     | SPS2D2  | 12°15,3'S-167°38,5'E | 12°14,9'S-167°38,8'E | -1400 ± 100 m   | N20°E  |
| N     | SPS2D3  | 12°13,5'S-167°40,6'E | 12°10,9'S-167°42,1'E | -1350 à -900 m  | N35°E  |
| I     | SPS2D4  | 12°13,4'S-167°55,5'E | 12°12,8'S-167°56,1'E | -1450 à -1000 m | N45°E  |
| K     | SPS2D5  | 12°09,1'S-167°48,5'E | 12°08,8'S-167°48,8'E | -1850 à -1650 m | N40°E  |
| O     | SPS2D6  | 12°14,7'S-167°50,3'E | 12°15,8'S-167°51'E   | -2450 à -2120 m | N130°E |
| R     | SPS2D7  | 12°16,3'S-167°51,8'E | 12°16,7'S-167°52,7'E | -2165 à -1930 m | N110°E |
| O     |         |                      |                      |                 |        |
|       | SPS2D8  | 13°24,1'S-167°59,5'E | 13°24,3'S-167°59,9'E | -2120 à -1800 m | N100°E |
|       | SPS2D9  | 13°22,9'S-168°04,8'E | 13°22,7'S-168°05,5'E | -2100 à -1800 m | N80°E  |
| VOT   | SPS2D10 | 13°23,9'S-167°59,7'E | 13°24,8'S-167°59,6'E | -2130 à -1800 m | N220°E |
| TAN   | SPS2D11 | 13°20,9'S-167°57,1'E | 13°21,7'S-167°55,9'E | -2000 à -1550 m | N230°E |
| DE    | SPS2D12 | 13°20,9'S-167°49,2'E | 13°21,4'S-167°48,1'E | -2200 à -1600 m | N250°E |
|       | SPS2D13 | 13°21,5'S-167°47,7'E | 13°21,3'S-167°47'E   | -1730 à -1400 m | N250°E |
| HAZEL | SPS2D14 | 13°40'S-168°30'E     | 13°41,6'S-168°28,8'E | -3800 à -2870 m | N190°E |
| HOLME | SPS2D15 | 13°41'S-168°29,7'E   | 13°41,9'S-168°29,6'E | -2900 à -2500 m | N180°E |
|       |         |                      |                      |                 |        |
| F     | SPS2D16 | 19°47,8'S-170°16,5'E | .                    | -3320 à -2500 m | N30°E  |
| U     | SPS2D17 | 19°47,6'S-170°17,2'E | 19°46,8'S-170°18,3'E | -2900 à -2150 m | N180°E |
| T     | SPS2D18 | 19°47,1'S-170°17,9'E | 19°46,2'S-170°19'E   | -2250 à -1900 m | N30°E  |
| U     | SPS2D19 | 19°46,3'S-170°19,1'E | 19°46,2'S-170°20,6'E | -1750 à -1550 m | N90°E  |
| N     | SPS2D20 | 19°25'S-169°54,6'E   | 19°25,6'S-169°55,5'E | -1400 à -1000 m | N150°E |
| A     | SPS2D21 | 19°54,1'S-170°17'E   | 19°55,5'S-170°18,6'E | -3280 à -3150 m | N148°E |
|       |         |                      |                      |                 |        |
|       | SPS2D22 | 18°49,6'S-169°39,8'E | 18°48,8'S-169°37,9'E | -2800 à -2400 m | N280°E |
| ERRO  | SPS2D23 | 18°47,9'S-169°36,6'E | 18°47,1'S-169°33,9'E | -2280 à -1680 m | N260°E |
| MAN   | SPS2D24 | 18°47,8'S-169°35,1'E | 18°47,9'S-169°34,9'E | -1420 à -900 m  | N215°E |
| GO    | SPS2D25 | 18°32,4'S-169°34,3'E | 18°31,9'S-169°34,8'E | -910 à -750 m   | N100°E |
|       |         |                      |                      |                 |        |
|       | SPS2D26 | 17°38,6'S-169°24,7'E | 17°39,4'S-169°25,6'E | -2080 à -1850 m | N95°E  |
| V     | SPS2D27 | 17°39,8'S-169°25,5'E | 17°39,5'S-169°26,3'E | -1960 à -1200 m | N80°E  |
| A     | SPS2D28 | 17°38,4'S-169°26,4'E | 17°38,2'S-169°25,8'E | -1270 à -700 m  | N85°E  |
| T     | SPS2D29 | 17°38,4'S-169°25,6'E | 17°38,2'S-169°26,1'E | -980 à -600 m   | N80°E  |
| E     | SPS2D30 | 17°23,3'S-169°02,5'E | 17°23,2'S-169°02,1'E | -1270 à -1200 m | N270°E |
|       | SPS2D31 | 17°23,5'S-169°08'E   | 17°23,6'S-169°09'E   | -1570 à -1250 m | N100°E |

**Tableau I.3** : Liste des échantillons volcaniques prélevés sur l'île de Vaté et l'îlot d'Emau lors de la mission du 4 au 13 Décembre 1985.

*List of the volcanics sampled on Vate island and Emau Islet (December 4<sup>th</sup> to 13<sup>th</sup> 1985).*

**QUOIN HILL**

- Q1* Basalte massif porphyrique riche en plagioclase ; gros blocs.
- Q2* Basalte vacuolaire gris clair riche en plagioclase ; blocs éboulés.
- Q3* Basalte gris sombre à phénocristaux d'olivine, pyroxène et plagioclase ; blocs.

**RIVIERE BOKUA**

*BOK11* Lave vitreuse noire à phénocristaux de plagioclase ; galet, dacite.

**CREEK MALAWOTA**

- Ma5b* Basalte riche en phénocristaux de plagioclase ; élément d'un conglomérat grossier à ciment calcaire.
- Ma6* Basalte subaphyrique, gris très sombre ; coulée de 1 à 2 m de puissance.

**ILOT EMAU = MAO**

- E1* Basalte clair à phénocristaux de plagioclase, scoriacé ; coulée.
- E2* Basalte un peu moins vacuolaire ; gros blocs.
- E3* Scories rouge-violet en patine, basalte du type *E1*.
- E4* Basalte clair vacuolaire assez peu porphyrique ; blocs métriques.
- E5* Basalte clair à gros phénocristaux de plagioclase peu nombreux ; gros blocs (3-4 cm).
- E6* Basalte gris assez sombre peu vacuolaire ; coulée puissante de 10 m (photo).
- E7* Basalte gris sombre à phénocristaux d'olivine ; blocs sur l'estran.
- E8* Basalte fin à olivine et plagioclase ; bloc de 3 m non en place.
- E9* Basalte avec peu de phénocristaux (olivine, pyroxène, plagioclase) ; coulée peu épaisse (photo).
- E11* Basalte gris clair, vacuolaire, très riche en plagioclase ; coulée de 1 à 2 m de puissance.

**Tableau I.4** : Liste des échantillons volcaniques prélevés sur l'île d'Ureparapara (Banks Nord) lors d'une escale du N/O Jean Charcot au cours de la campagne SEAPSO II (Décembre 1985).

*List of the volcanics sampled on Ureparapara island (Northern Banks islands) during a call of the R/V Jean Charcot during the SEAPSO II cruise (December 1985).*

**PROXIMITE DU TEMPLE DE LEAR**

- URMM1** Gros bloc d'andésite , gris clair, massive; petits phénocristaux verdâtres et noirs et feldspaths (20%).
- URMM2** Lave comparable à URMM1.
- URMM3** Basalte gris clair, verdâtre, massive; 20-30% de phénocristaux (olivines et pyroxènes de 3-4 mm et plagioclases de 1mm).

**FLANC SE DE LA BAIE DE LOROUF**

- URF1** Basalte gris assez clair avec 10-15% de vacuoles millimétriques; gros Cpx et petits feldspaths.
- URF2** Lave semblable à URF1.
- URF3** Lave plus massive, gris verdâtre; gros Cpx et petits feldspaths.
- URF4** Lave comparable à URMM2.
- URF5** Lave similaire à URF1 mais à vacuoles plus *grandes*.
- URF6** Lave gris verdâtre avec des cristaux de taille intermédiaire entre celle de URF4 et URF5.
- URF8** Brèche à éléments de lave gris-violacé, avec 20% de feldspaths et quelques Cpx.

**PROXIMITE DE LA POINTE NGEREP-RO**

- URG1** Lave comparable à URF1.
- URG2** Lave semblable à URG1 mais plus altérée en bordure.
- URG3** Lave gris clair (dyke), massive; olivines +/- Cpx altérés et feldspaths (1mm) plus nombreux que dans les laves précédentes.
- URG4** Lave comparable à URF2 mais de couleur gris plus clair.

Tableau I-5 : Liste des échantillons provenant de la lithothèque du Service des Mines du Vanuatu.

*List of samples from the collection of the Mines and Water Supply of Vanuatu*

**ILES BANKS NORD**

**VANUA LAVA**

- VMAC 006* Basalte noir à phénocristaux d'olivine et pyroxène ; débris de plage au Sud de la pointe Liwono - Older Volcanics.  
*VMAC 1* Basalte gris clair, porphyrique à plagioclase et quelques pyroxènes ; débris de plage au Sud de la pointe Liwono - Older Volcanics.  
*VLA 15* Andésite sombre à nombreux phénocristaux de plagioclase et pyroxène ; baie Irsa Lion.  
*VLA 69* Andésite basique.  
*VLC 115* Basalte gris clair, vacuolaire, porphyrique ; rivière Ranrangkurr, entre Kwitintog et Liserer - Older Volcanics.

**VOT TANDE**

- VGA 8* Andésite basique très sombre à matrice vitreuse et nombreux phénocristaux de plagioclase ; claste de brèche de conglomérat.  
*VGM 1* Basalte gris sombre à phénocristaux de pyroxène et olivine peu nombreux .

**MOTA**

- MOT 1* Lave basique gris sombre, microporphyrique (plagioclase + pyroxène).

**MOTA LAVA**

- MVA 11* Basalte gris légèrement vacuolaire à plagioclase.  
*MVA 15* Basalte à phénocristaux d'olivine et pyroxène.

**ILES BANKS SUD**

**MERIG**

- MERM 10* Andésite à enclave grenue ; galet, plage de Levvolvol.  
*MERM 11* Lave basique gris sombre; galet, plage de Levvolvol.

**GAUA**

- GA 5* Basalte gris à vacuoles étirées, porphyrique ;Sud Gaua, Older Volcanics.

**MERE LAVA**

- MLKK 1* Basalte gris sombre à très gros cristaux d'olivine et pyroxène.

**ANATOM**

- AYC 2* Basalte ; rivière Inwalelegaie, conglomérat bréchifié tuffacé.  
*AYC 54* Basalte assez sombre à phénocristaux de pyroxène ; rivière Inwuga, complexe intrusif.  
*AYMAC 40* Dyke basaltique ; rivière Inwatpitchigow.

**FUTUNA**

- FMAC 22* Andésite basique très sombre légèrement vacuolaire, avec de petits cristaux d'olivine ; côte Ouest de la colline Nokoruwae.  
*FMAC 48* Basalte ; claste dans un conglomérat bréchique(0,5 Km au Nord de Matangui).  
*FMAC 50* Andésite basique sombre à phénocristaux d'olivine et plagioclase ;au Nord de Matangui.

**TANNA**

- TAC 35b* Basalte massif gris, microporphyrique ; Green Hill Volcanics.  
*TAC 37* Basalte massif noir ; Green Hill Volcanics.

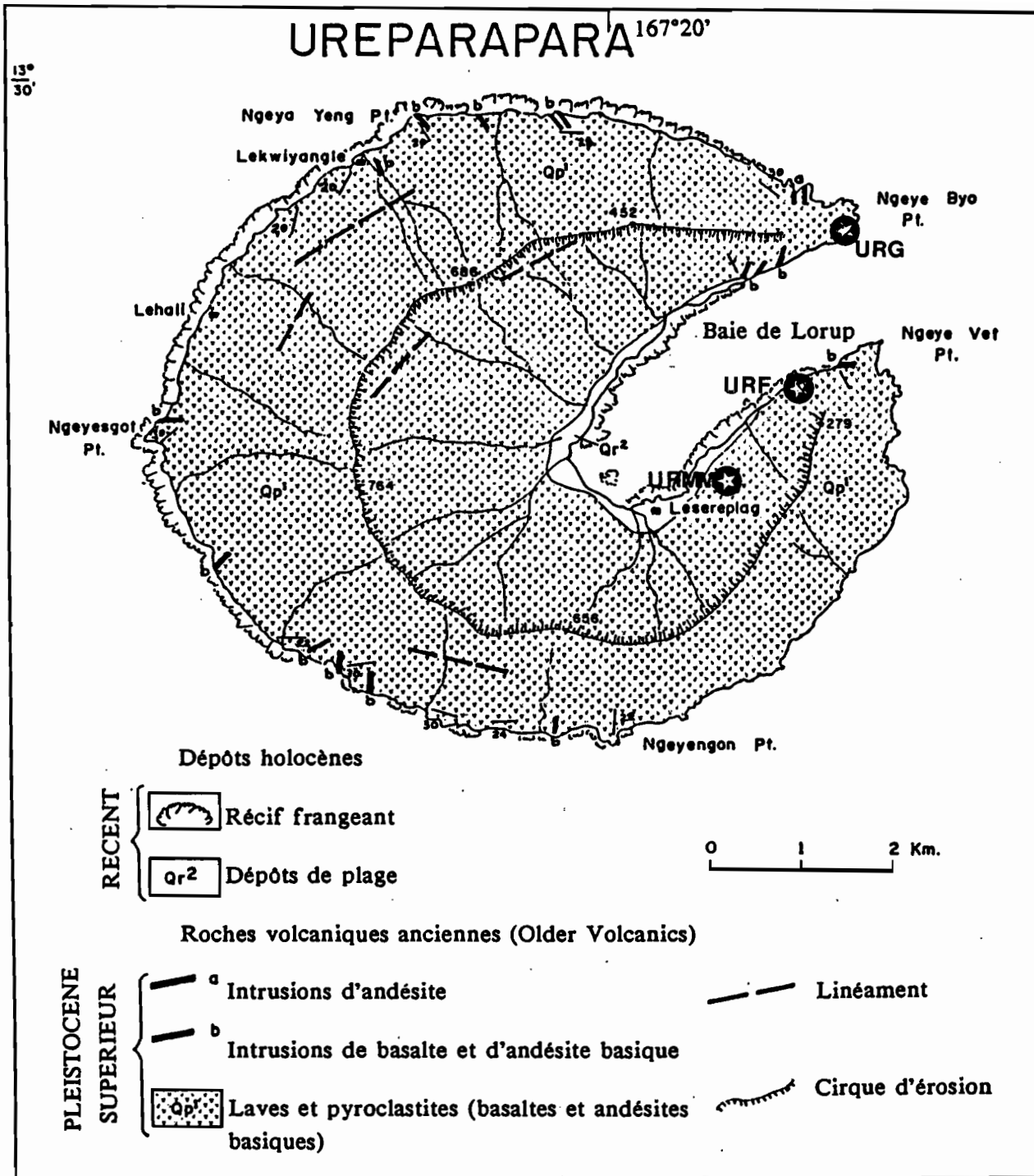


Figure I-19 : Carte géologique de l'île d'Ureparapara (Banks du Nord), d'après Ash et al.(1980) et localisation des échantillons prélevés.  
*Geological sketchmap of Ureparapara (northern Banks islands), after Ash & al.(1980) and location of the samples.*

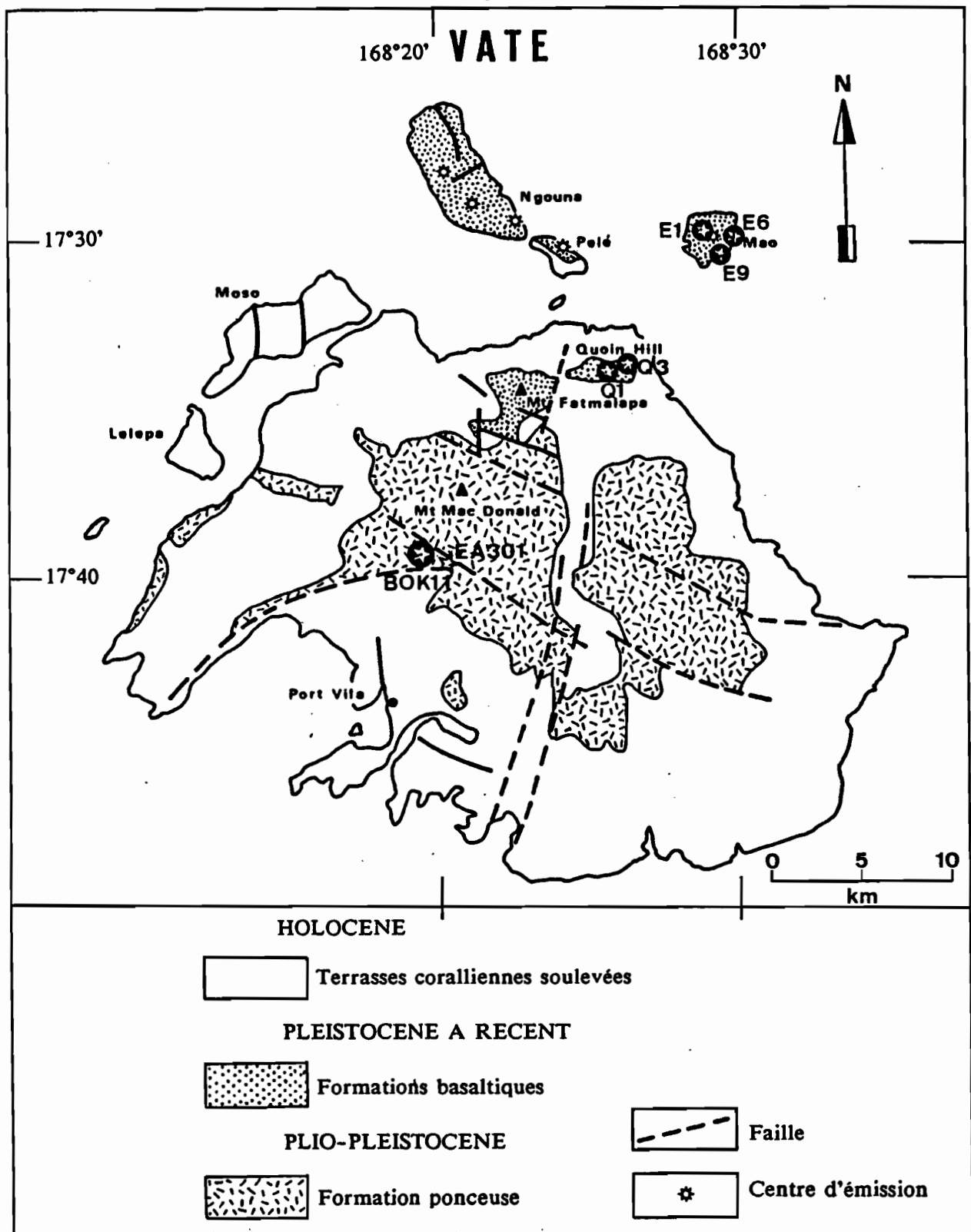


Figure I-20 : Carte géologique de l'île de Vaté, d'après Ash et al. (1978), et localisation des échantillons prélevés.

*Geological sketchmap of Vate, after Ash & al.(1978) and location of the samples.*

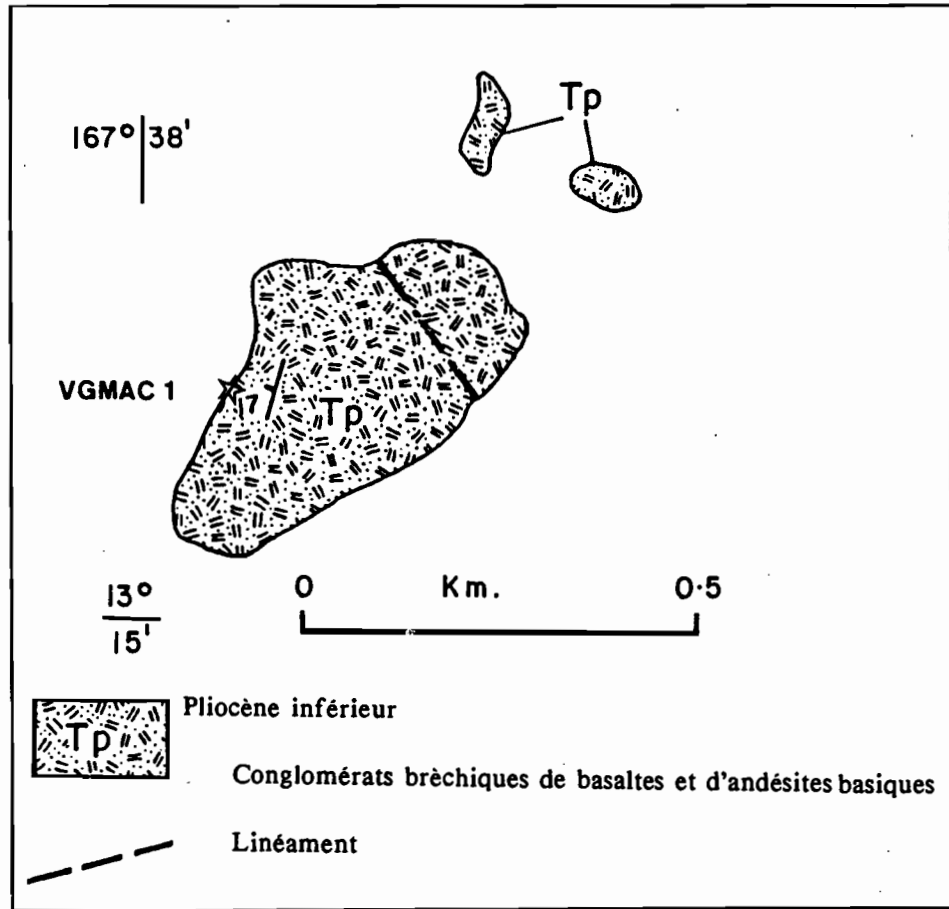


Figure I-21 : Carte géologique de l'île de Vot Tande (Banks du Nord), d'après Ash et al.(1980) et localisation des échantillons étudiés.  
échantillons datés repris de la bibliographie.  
*Geological sketchmap of Vot Tande (northern Banks islands), after Ash & al.(1980) and location of the studied samples.*

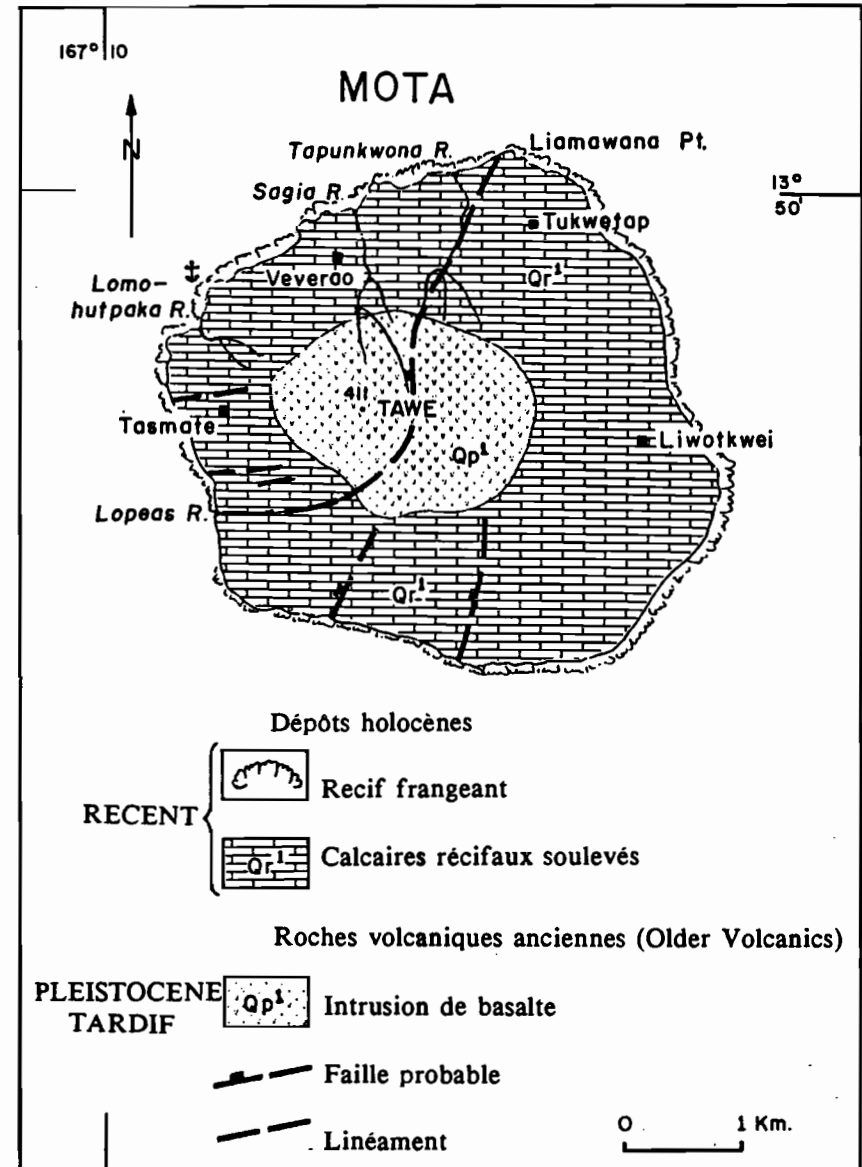


Figure I-22 : Carte géologique de l'île de Mota (Banks du Nord), d'après Ash et al.(1980).  
*Geological sketchmap of Mota (northern Banks islands), after Ash & al.(1980).*

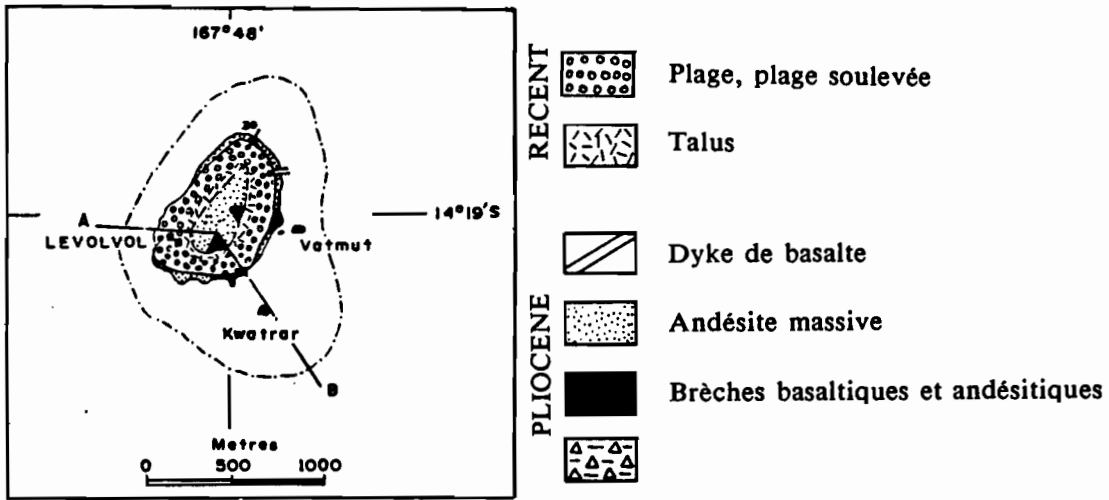


Figure I-23 : Carte géologique de l'île de Merig (Banks du Sud), d'après D.I.J. Mallick (1970 et 1971).  
*Geological sketchmap of Merig (southern Banks islands), after Mallick (1970 & 1971).*

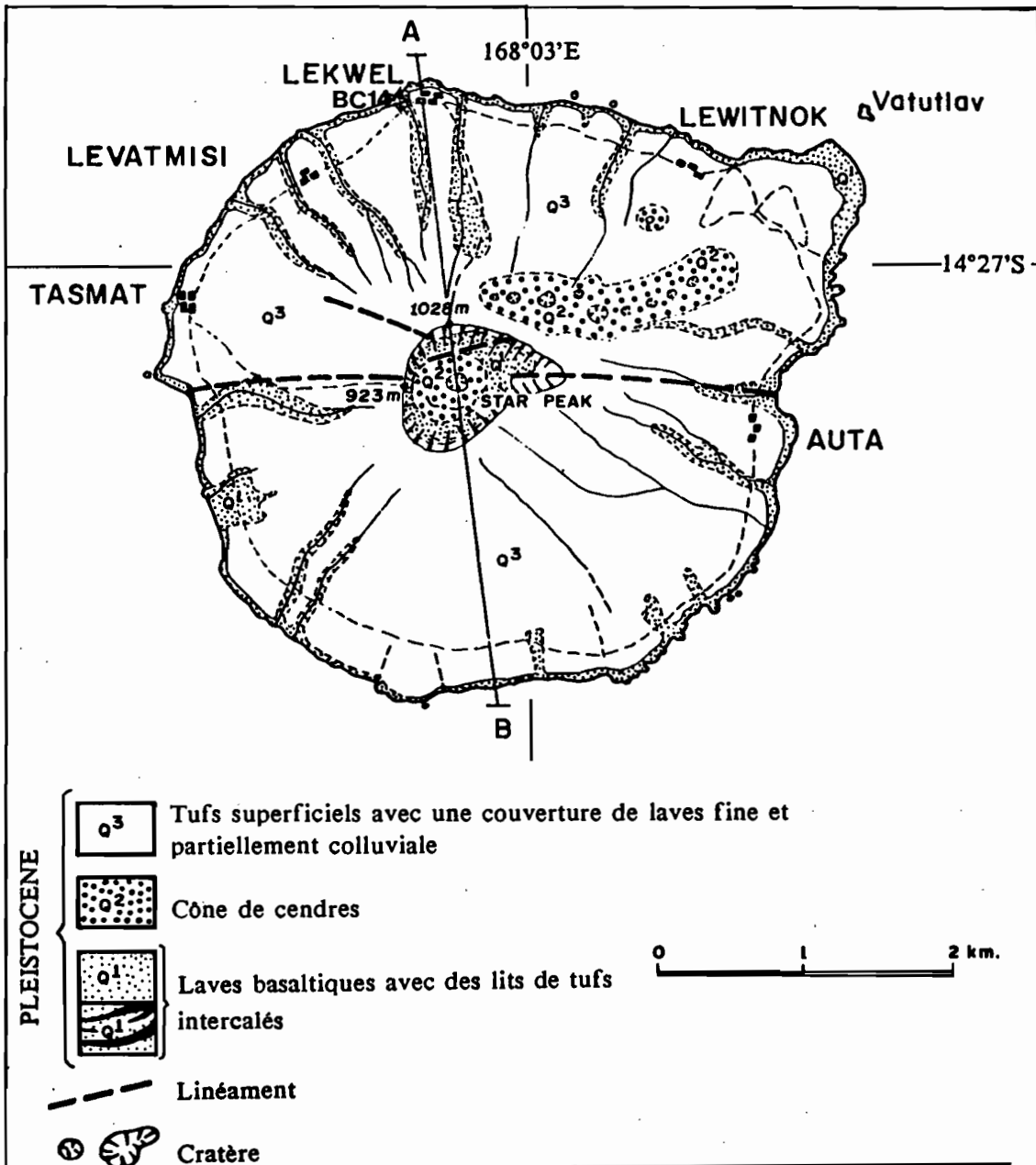


Figure I-24 : Carte géologique de l'île de Mere Lava (Banks du Sud), d'après D.I.J. Mallick (1970).  
*Geological sketchmap of Mere Lava (southern Banks islands), after Mallick (1970).*

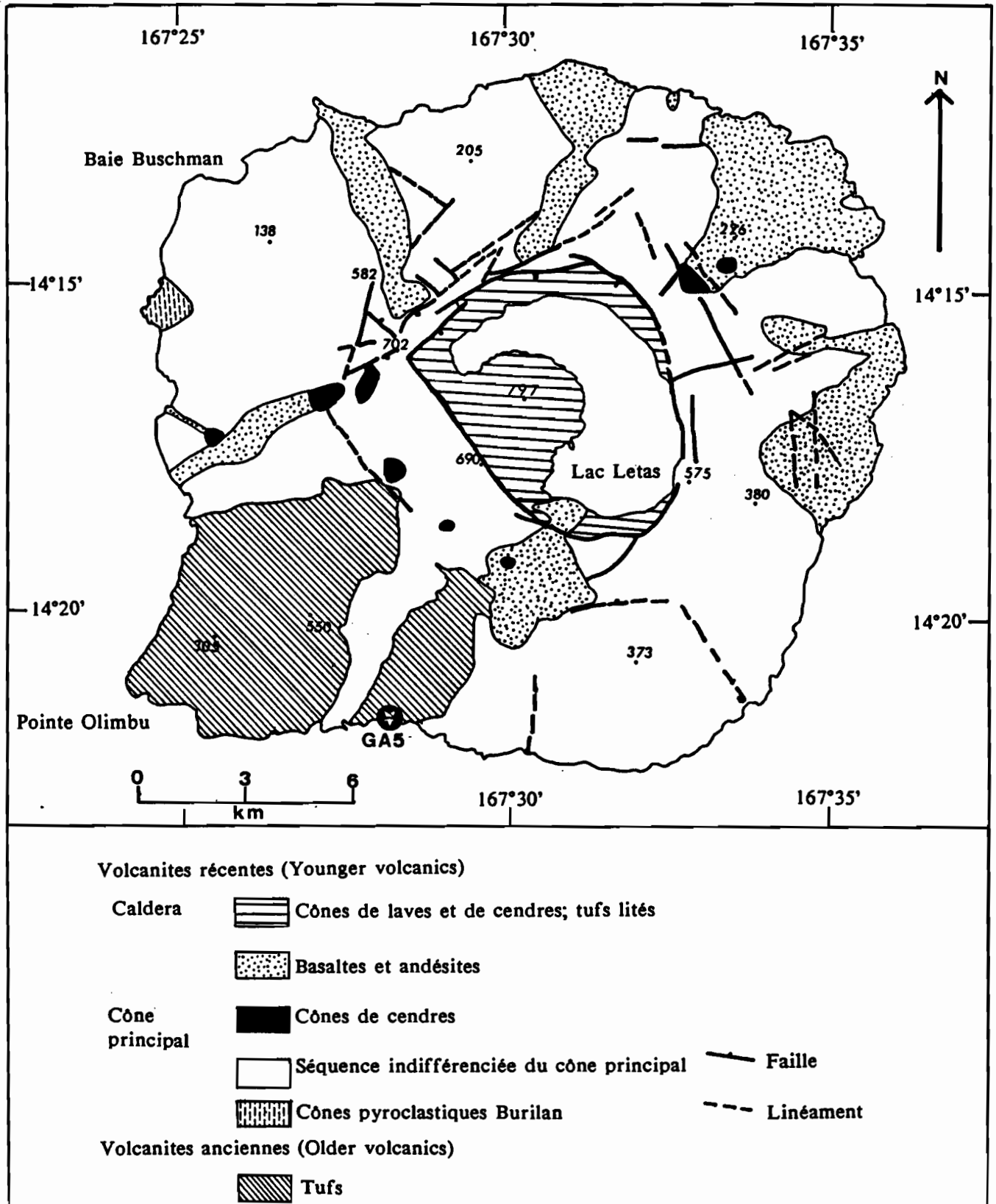


Figure I-25 : Carte géologique de l'île de Gaua (Banks du Sud), d'après Mallick et Ash (1975) et localisation de l'échantillon étudié.

*Geological sketchmap of Merig (southern Banks islands), after Mallick & Ash (1975) and location of the studied sample (surrounded).*

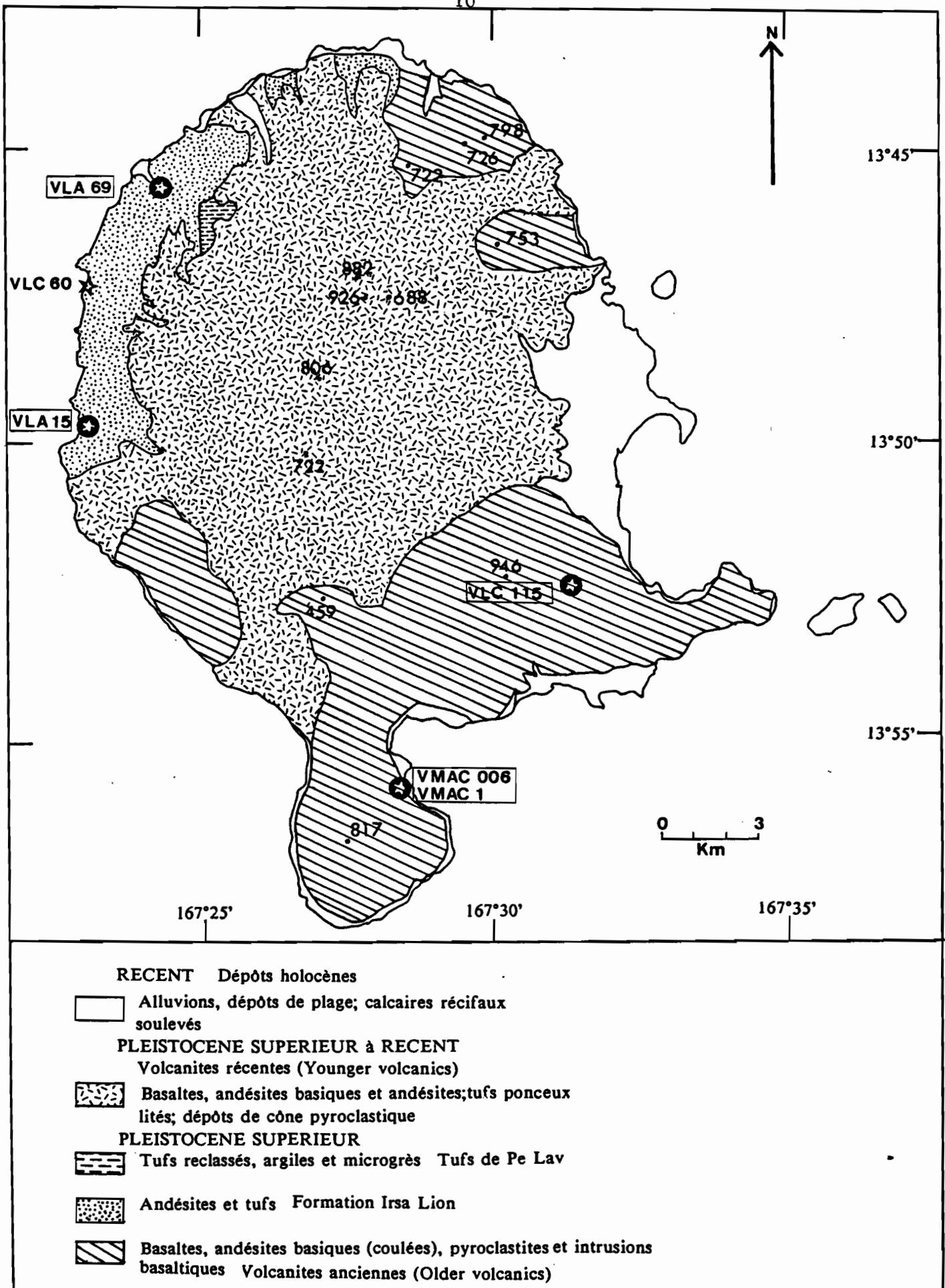


Figure 1-26 : Carte géologique de l'île de Vanua Lava (Banks du Nord), d'après Ash et al. (1980) et localisation des échantillons étudiés.

*Geological sketchmap of Vanua Lava (northern Banks islands), after Ash & al. (1980) and location of the studied sample.*

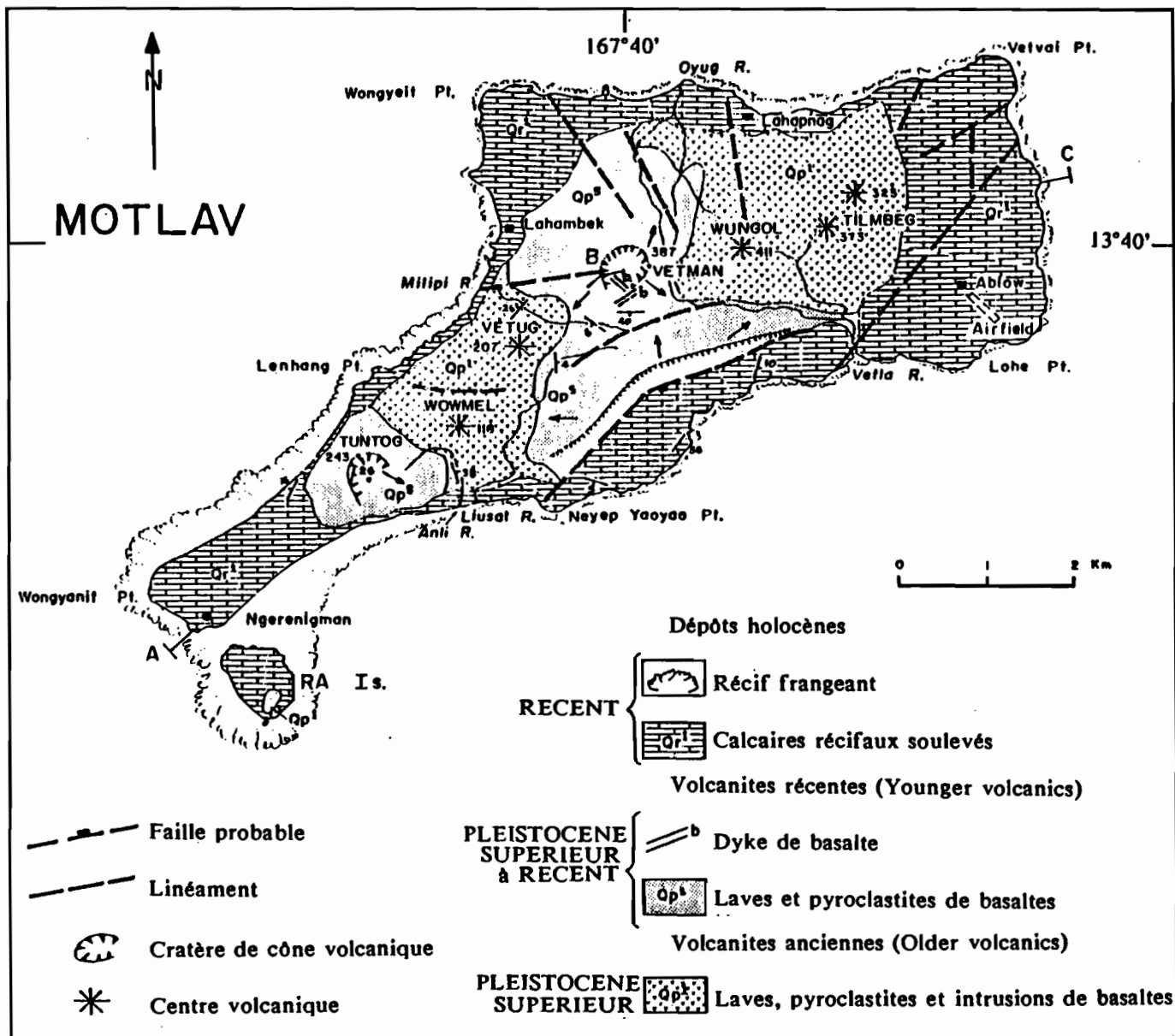


Figure I-27 : Carte géologique de l'île de Mota Lava (Banks du Nord), d'après Ash et al. (1980)

*Geological sketchmap of Mota Lava (northern Banks islands), after Ash & al.(1980)*

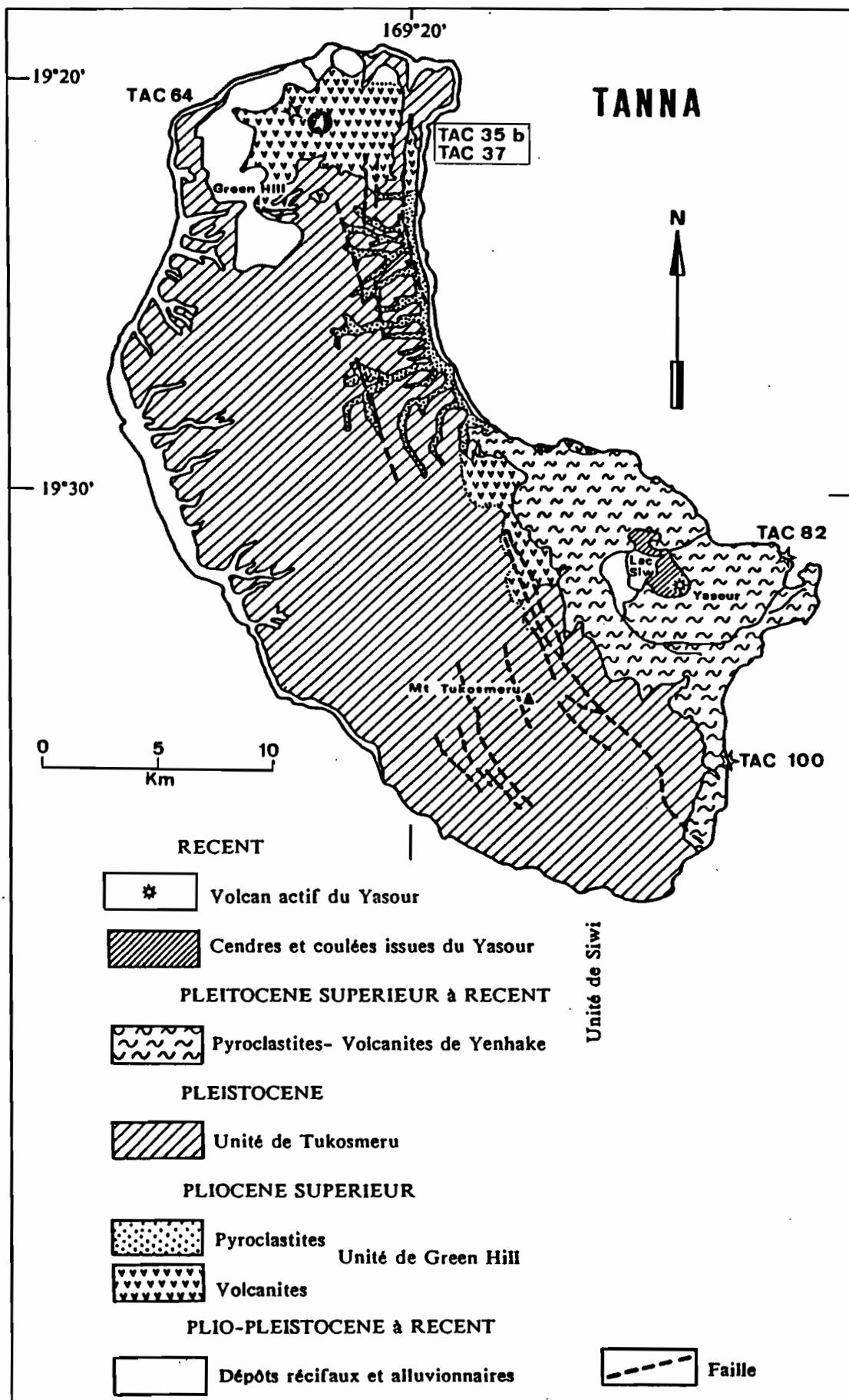


Figure I-28 : Carte géologique de l'île de Tanna, d'après Carney et Macfarlane (1979) et localisation des échantillons étudiés (encadrés) ou datés mais repris de la bibliographie.

*Geological sketchmap of Tanna, after Carney & Macfarlane (1979) and location of the studied samples (surrounded) and of the dated samples from bibliography.*

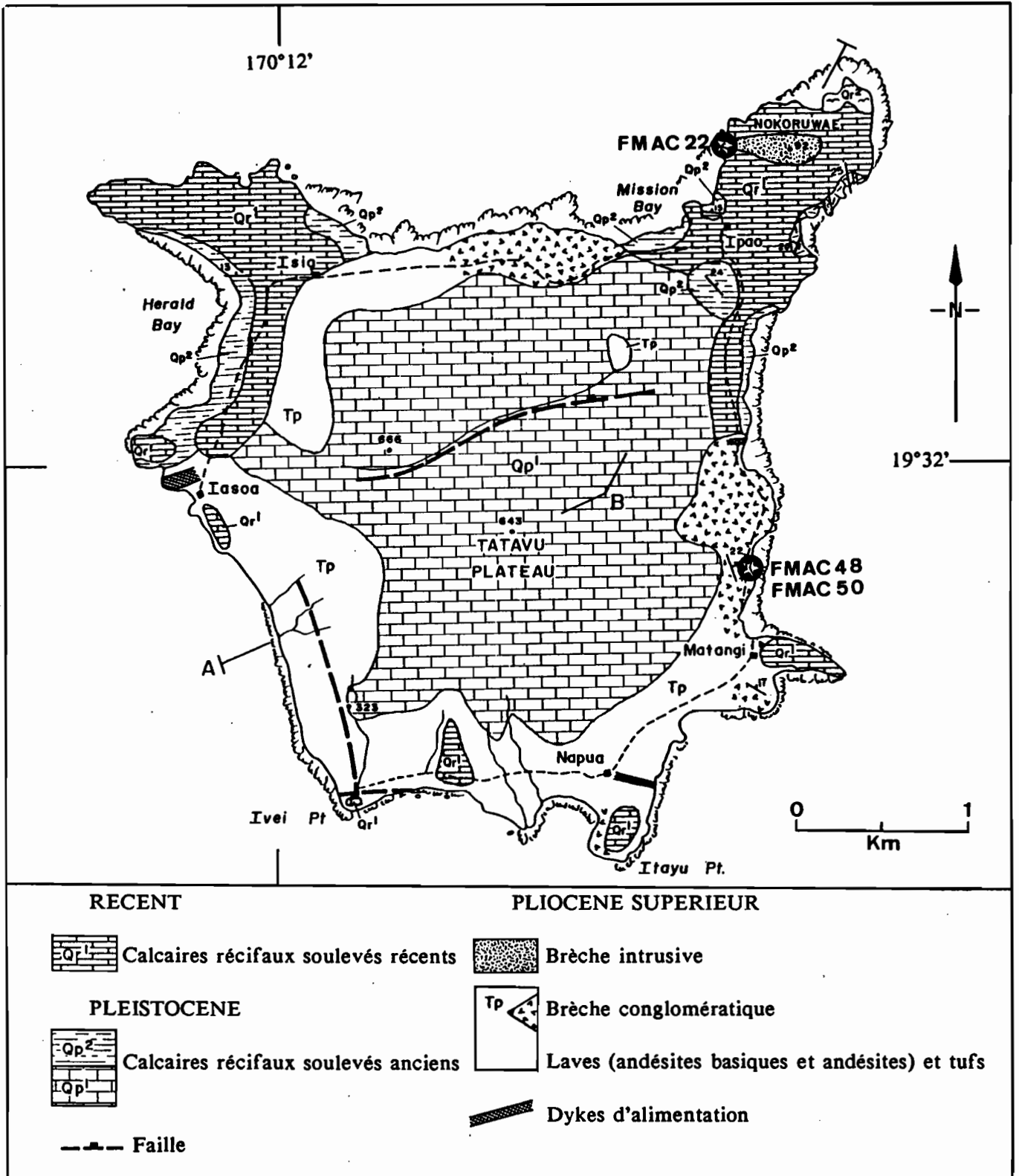


Figure I-29 : Carte géologique de l'île de Futuna, d'après Carney et Macfarlane (1979) et localisation des échantillons étudiés.  
 Geological sketchmap of Futuna, after Carney & Macfarlane (1979) and location of the studied samples.

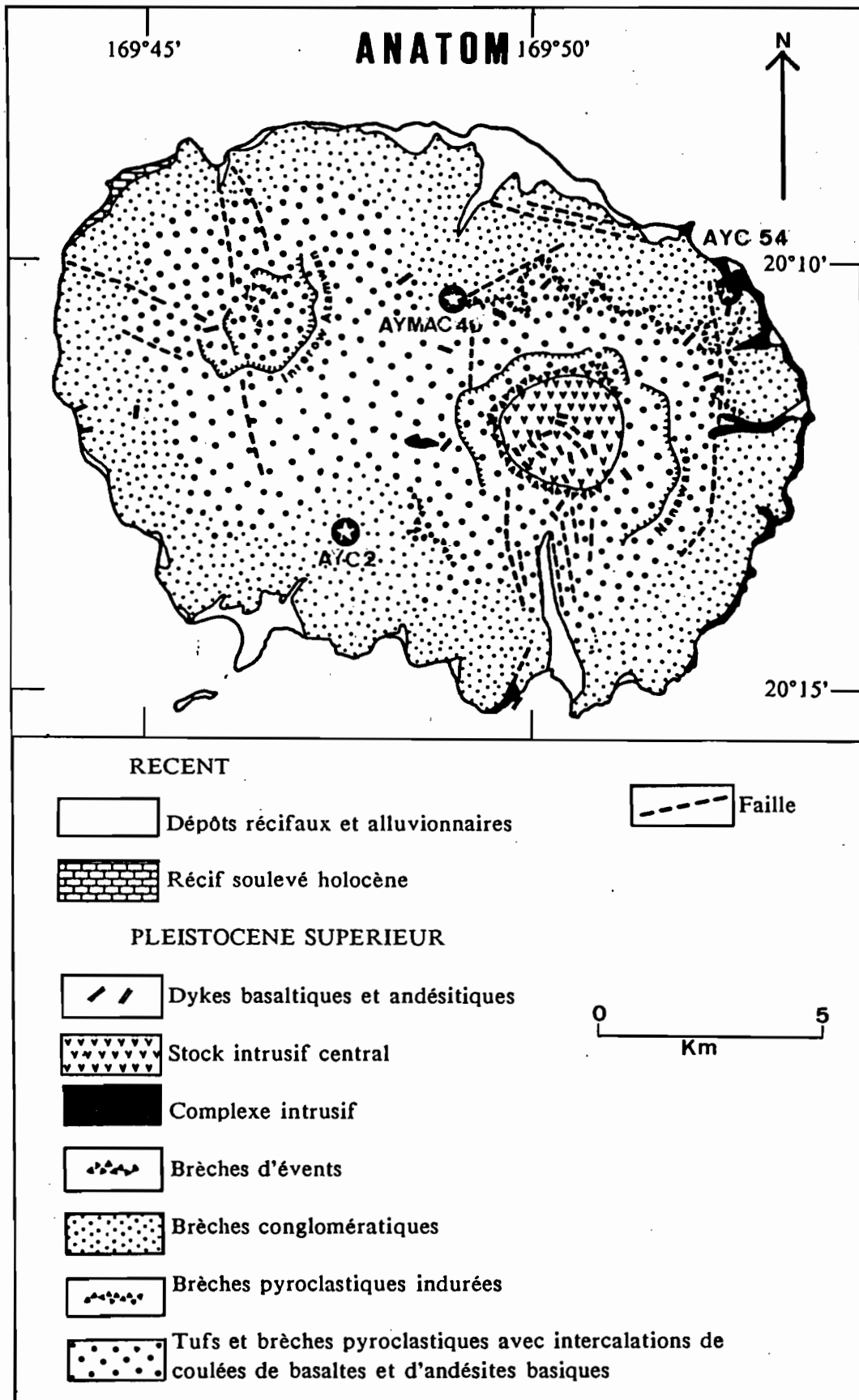


Figure I-30 : Carte géologique de l'île d'Anatom, d'après Carney et Macfarlane (1979) et localisation des échantillons étudiés.

*Geological sketchmap of Anatom, after Carney & Macfarlane (1979) and location of the studied samples.*

ANNEXES CHAPITRE 2

## ANNEXE II

### DATATIONS K-Ar

#### Déroulement d'une analyse au Laboratoire de Géochimie de l'U.B.O.

---

##### A - PREPARATION DES ECHANTILLONS

La nature des roches à dater dans le cadre de cette étude (laves souvent basiques) nous a contraint à effectuer des datations sur roche totale (R.T.). Le potassium est en effet essentiellement renfermé par la mésostase et non dans les phénocristaux ; la seule phase minérale contenant le potassium en quantité non négligeable est le plagioclase. Quelques séparations de ce minéral ont été effectuées. Pour les préparations de roche totale, une fraction représentative de chaque roche (sans filonnets de calcite, vacuoles de zéolites ou à autre remplissage, ni enclaves ou xénocristaux) est broyée en un granulats de 150 à 300  $\mu$  ; la fraction la plus fine ( $< 150 \mu$ ) étant susceptible de concentrer les produits d'altération et les poussières est éliminée. Le granulats est lavé puis rincé à l'eau distillée de façon à obtenir un matériau le plus pur et le plus propre possible.

##### B - ANALYSE DU POTASSIUM PAR SPECTROMETRIE D'ABSORPTION ATOMIQUE

###### 1. Préparation

Une fraction de poudre (pesée précisément, de 0,15 à 0,3 g en général, selon la richesse estimée de la roche en  $K_2O$ ), réalisée à partir du granulats, est prélevée et mise en attaque dans 4 ml d'HF (acide fluorhydrique) en étuve pendant quelques heures.

Ensuite, on neutralise l'HF par adjonction de 50 ml de solution tampon contenant CsCl. Enfin, on complète par 46 ml d'eau tridistillée pour obtenir 100 ml de solution-mère. Une dilution au 1/20<sup>e</sup> est généralement effectuée.

###### 2. Analyse

Dans la méthode d'absorption atomique, la solution est nébulisée dans la flamme. Une lampe à cathode creuse émet une lumière de longueur d'onde donnée, transmise au travers de la flamme et absorbée par l'élément. Plus l'élément est concentré dans la flamme (et donc dans la solution), plus l'intensité de lumière absorbée sera grande.

Pour chaque série de mesures, il est nécessaire d'établir une courbe d'étalonnage réalisée à l'aide de solutions d'échantillons standards, dont le titre en K est connu, et préparés dans des conditions semblables à celles des solutions des échantillons à doser. Le report de l'absorption des échantillons sur cette courbe T en fonction de  $\gamma_K$  permet d'obtenir  $\gamma_K$  de l'échantillon. T est obtenu par lecture directe sur l'enregistrement ; une éventuelle correction est apportée dans le cas où le pic de l'eau tridistillée considérée comme le zéro (T = 100 %) est légèrement décalé :

$$T = \frac{n \text{ divisions éch. } \times 100}{n \text{ divisions eau tridist.}}$$

$$K_2O = \frac{\gamma_{K_2O} \times \text{dil.}}{\text{Pds}} \quad \text{ou} \quad K = \frac{K_2O}{1,205}$$

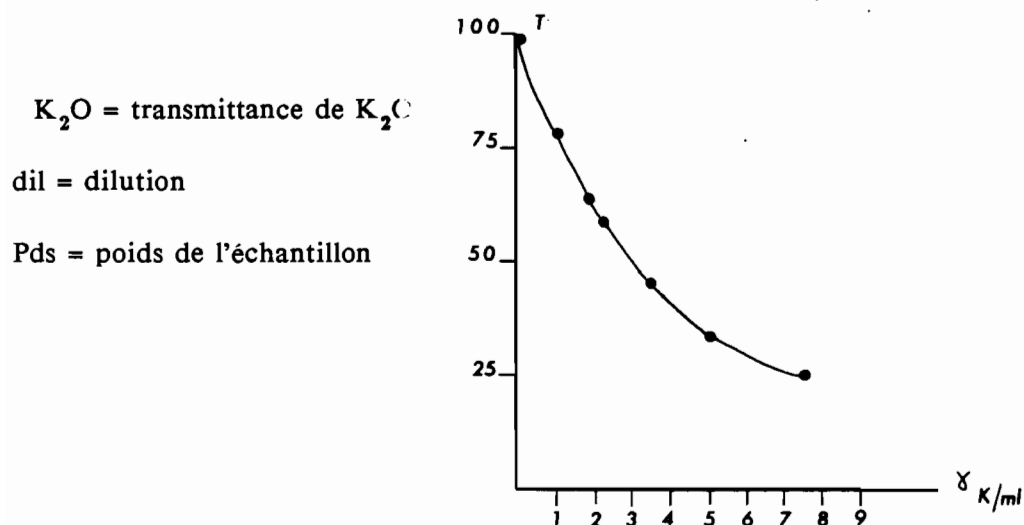


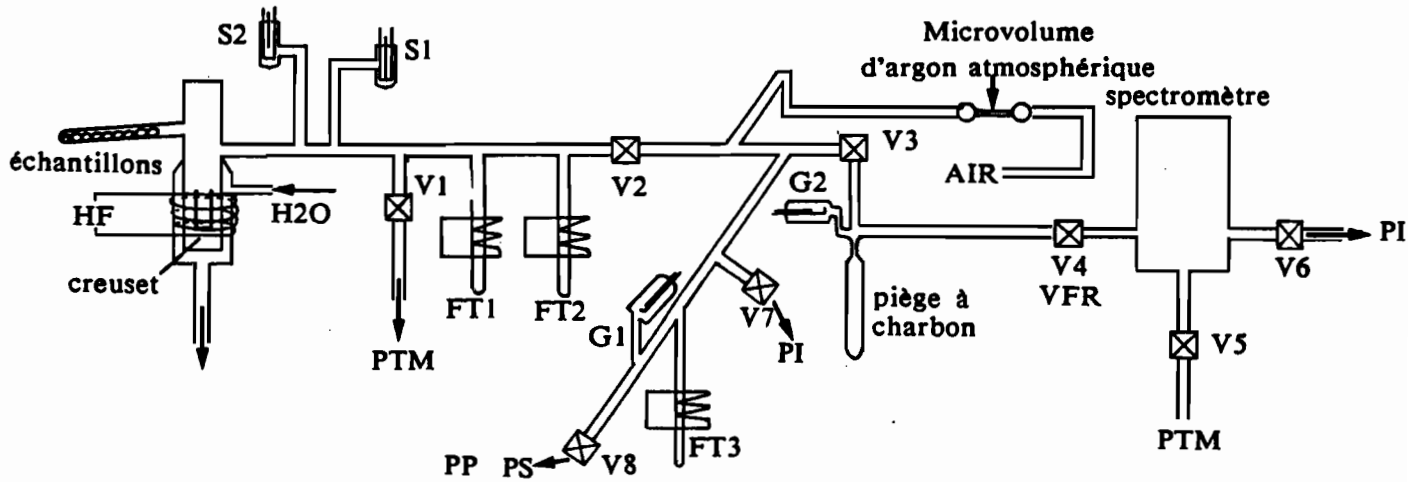
Figure II-2 : Exemple de courbe d'étalonnage du potassium.  
*Example of standardization graph of potassium.*

La précision pour les points situés aux deux extrémités de la courbe, qui devient alors asymptotique, est moins bonne et il convient d'opérer une dilution plus forte (1/40 ou 1/50è), ou de préparer une nouvelle solution-mère moins concentrée pour un échantillon à faible transmittance.

## C - ANALYSE SPECTROMETRIQUE DE L'ARGON

### 1. Appareillage

Le spectromètre de masse (type THN CAMECA 205.SE à déviation de  $180^\circ$  et rayon de courbure de 6,0 ou 2,3 cm) est relié à une ligne en verre pyrex composée de deux parties destinées respectivement à l'extraction des gaz et à la purification du mélange gazeux (cf. Fig. II-3 et les caractéristiques des composants).



V : vannes métalliques UV  
 VFR : vanne à fuite réglable  
 P : pompe

I : ionique

TM : turbomoléculaire

P et S : primaire et secondaire

G : getter

FT1,2,3 : fours au titane  
 (T = 800°C, tube en silice)

S1 : jauge Pirani (froide)

S2 : jauge chaude

La vanne V2 sépare la ligne en verre pyrex ( $\varnothing$  20 mm) en deux parties : la première sert à l'extraction des gaz et la seconde à leur purification. Le vide est réalisé dans la première partie par la pompe turbomoléculaire, fermée pendant la phase d'extraction. Ce segment est muni de deux jauges à vide et de deux pièges au titane chauffés par des fours électriques. Ces pièges à mousse de titane agissent lors de leur refroidissement de 800°C à la température ambiante et réalisent ainsi la première phase de purification. Dans la seconde partie, la purification se poursuit par l'intervention conjuguée d'un troisième four à titane, d'un piège à charbon et de deux getters. Le piège à charbon fonctionne lorsqu'il est refroidi à l'azote liquide. Les getters (fig. II-3b) agissent en capturant les gaz chimiquement actifs, qui se fixent sur l'alliage Zr-Al, lorsqu'ils sont soumis à une tension inférieure à 15 V ( $T^{\circ} = 400^{\circ}\text{C}$ ) à  $T^{\circ}$  ambiante. En phase d'activation (filament soumis à une tension de 40 V,  $T^{\circ} = 700$  à  $800^{\circ}\text{C}$ ), les getters libèrent les gaz les plus actifs.

Figure II-3a : Schéma de l'installation.

*Installation sketch.*

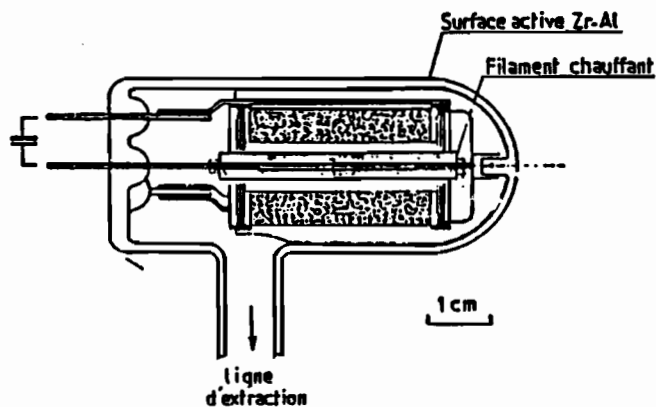


Figure II-3b : Schéma d'une ampoule Getter.

*Sketch of a getter bulb.*

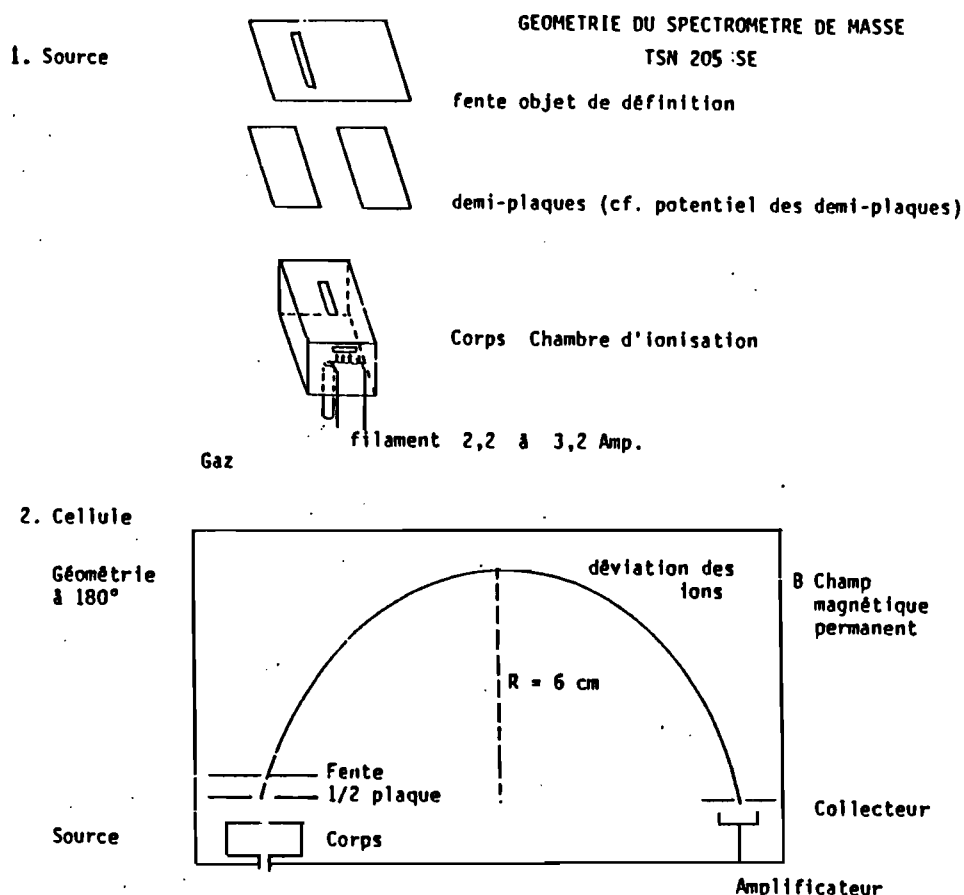


Figure II-3c : Géométrie du spectromètre de masse TSN 205 SE.  
*Geometry of the TSN 205 SE mass spectrometer.*

Le domaine de masse couvert varie de 12 à 130 u.m.a. avec le rayon de courbure de 6 cm.

La déviation magnétique du faisceau dans la cellule est produite par un aimant permanent dont l'entrefer est de 0,35 T. Au niveau de la source, l'ionisation des atomes se fait par bombardement électronique. Des électrons sont formés par effet thermoélectrique (par une cathode en tungstène portée à haute température). Le filament, en forme de bobine produit une émission ponctuelle, annulant ainsi les forces de Laplace créées par l'aimant et qui agissent sur le conducteur chargé. Les électrons sont accélérés et pénètrent dans la cellule avec une énergie de 70 eV suffisante pour ioniser les cellules gazeuses présentes.

Le signal reçu à l'anode, proportionnel au nombre de particules avec un rapport  $q/m$  donné, est amplifié électroniquement, puis dirigé vers un voltmètre électronique connecté à un enregistreur graphique. Le système est équipé d'une présélection de la tension pour chaque isotope de l'argon (40-38-36) ; ce système a été réalisé au LAL Orsay selon les plans de J.C. Philippet.

## 2. Réalisation du vide dans l'enceinte

Avant toute analyse, l'ensemble de cette enceinte et le spectromètre doivent être sous vide ( $10^{-6}$  à  $10^{-8}$  Torr). Le vide est réalisé par pompage ionique et turbomoléculaire dans les deux parties de la ligne (V1, V2 et VS ouvertes). Le spectromètre est isolé de la ligne par fermeture de V3 mais ouvert sur la pompe ionique (V4 ouverte). L'ensemble des pièges purificateurs (titane et getters) est en fonctionnement de dégazage. Le système est soumis à ces conditions dès la fin d'une manipulation.

## 3. Fusion

Lorsque le vide est atteint dans l'enceinte (quelques heures au minimum), on peut procéder à la fusion. L'échantillon (boulette enveloppée de papier aluminium ménager contenant environ 1 g de granulat auquel a été joint une cible en aluminium implantée du traceur  $^{38}\text{Ar}$  :  $4,1 \cdot 10^{12}$  at. ou  $1,8 \cdot 10^{-7}$  CCNTP) est conduit à l'aide d'un barreau aimanté du magasin au creuset en molybdène (0,2 mm d'épaisseur). De cette façon, la dilution isotopique a lieu directement dans le creuset au cours de la fusion, ainsi l'échantillon gazeux et le traceur subissent les mêmes phases de fusion puis de purification.

Après la fermeture de V2 (liaison avec la pompe turbomoléculaire) et vérification de la pression mesurée par la jauge S1 (à éteindre ensuite), la fusion débute à  $\text{BT}^\circ$ . Le contrôle de la température se fait par l'intermédiaire de l'intensité du courant (variation de 0,05 à 0,5 A du début à la fin de la fusion), qui alimente le générateur de haute-fréquence relié à la bobine d'induction qui entoure le four. L'augmentation de la température doit être progressive et très lente au début de la fusion, afin d'éviter une réaction violente dans le cas d'un échantillon très riche en gaz, avec projection éventuelle de granules hors du creuset, ce qui changerait le poids fondu et fausserait les calculs de l'âge (Fig. II-4).

## 4. Purification

La fusion aboutit à un mélange gazeux contenant une partie de gaz rares (pour  $10^5$  parties de gaz actifs : oxygène, hydrogène, azote,  $\text{CO}_2$ , H,  $\text{H}_2\text{O}$ , vapeur...). Les propriétés de ces gaz actifs permettent de les isoler des gaz rares. Dans ce but, deux types de pièges sont utilisés :

- Les pièges à mousse de titane : l'arrêt des fours à  $800^\circ\text{C}$  a lieu successivement 50, 60 et 70 mn après le début de la fusion, de façon à éviter leur saturation simultanée. Le contrôle du piégeage se fait par la baisse de pression dans la ligne 1 qui doit se produire progressivement à partir de l'extinction du premier four. Le passage des gaz dans la seconde partie de la ligne (ouverture de V1) doit se faire quand la pression est inférieure à  $10^{-3}$ .
- Les getters (voir Fig. II-3b et commentaire).

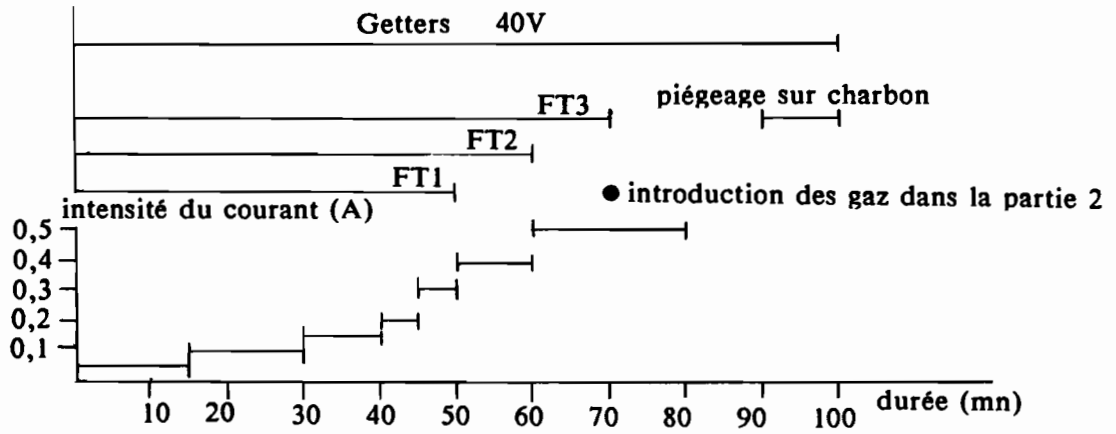


Figure II-4 : Schéma du déroulement de la manipulation.  
*March of the manipulation.*

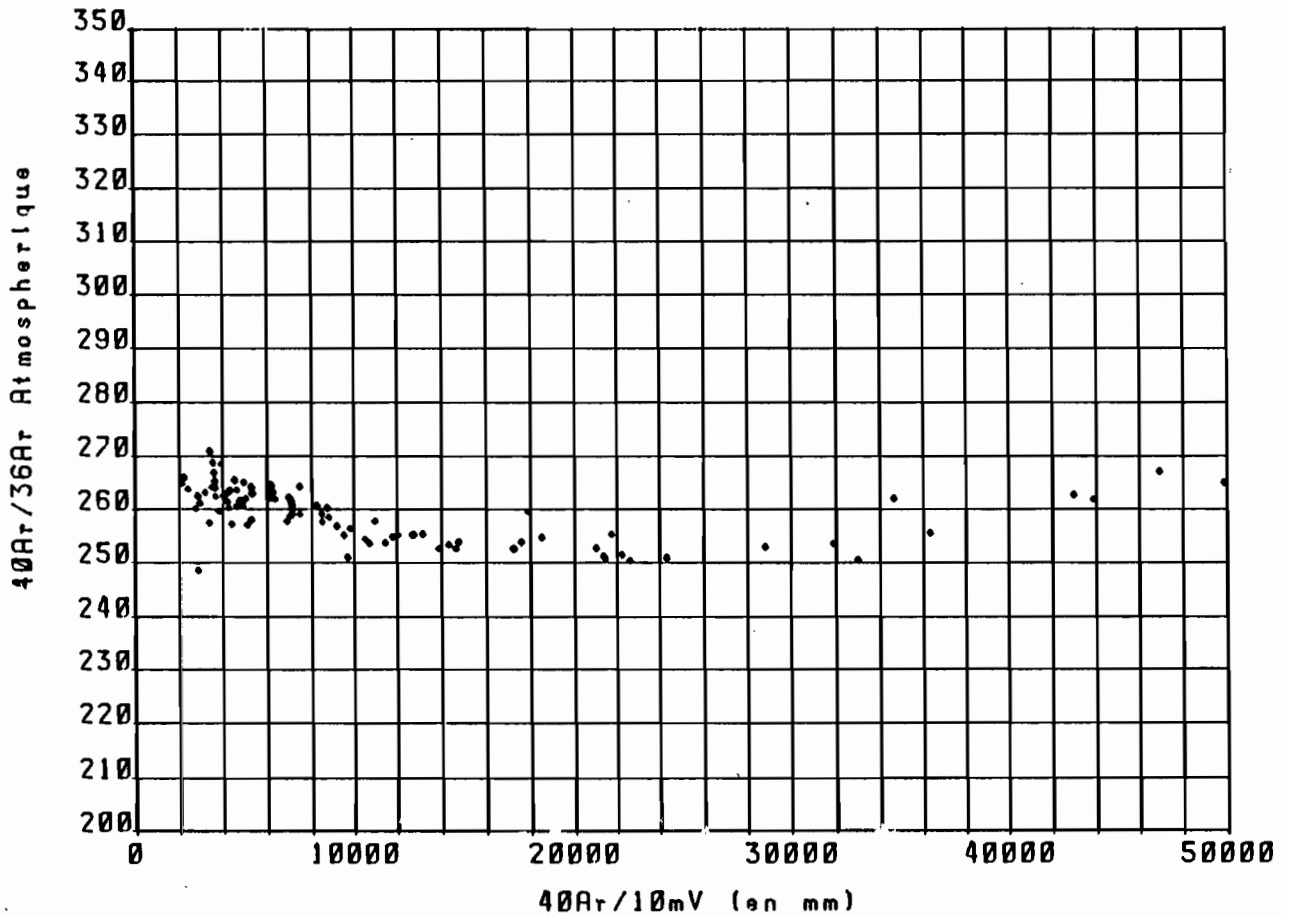


Figure II-5 : Exemple de courbe du rapport  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  de l'air (3 mois).  
*Example of atmospheric  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  graph.*

### 5. Mesure de l'argon

Après le piégeage du mélange gazeux (environ 90 % d'argon et 10 % d'autres gaz résiduels non inertes, après toutes purifications) sur charbon actif, on procède à l'introduction dans le spectromètre de masse (Fig. II-3c), par la vanne V3 à début réglable. Cette vanne reste ouverte pendant toute la mesure, permettant ainsi la mise en équilibre de la pression entre la cellule du spectromètre et la ligne (équilibre atteint en 30 mn environ).

Cependant, avant d'introduire le mélange dans la cellule, on effectue une mesure de l'argon résiduel (pour les 3 isotopes), en affinant manuellement le réglage des tensions pour atteindre le sommet maximum de chaque pic. L'introduction des gaz se fait en régime dynamique. On enregistre environ trois balayages de tension pour chaque isotope (40, 38, 36 séparés par un retour à zéro). La mesure de  $^{40}\text{Ar}$  est faite pour nos échantillons le plus souvent sur 0,5 ou 1 V, mais parfois 5 V, voire 10 V ;  $^{38}\text{Ar}$  est mesuré sur 500 MV ;  $^{36}\text{Ar}$  se mesure sur 5 MV ou 10 MV. Cette analyse achevée, on effectue un pompage de quelques minutes des gaz de la cellule du spectromètre (V3 fermée et V4 ouverte). Simultanément on pompe le reste du mélange gazeux dans la partie 2 de la ligne (V5 et V8 ouvertes). A la suite de ces pompages, on introduit dans le spectromètre une quantité d'air préalablement purifié, provenant du ballon en verre, telle que la valeur de  $^{40}\text{Ar}$  soit égale à celle mesurée par l'échantillon. On mesure ensuite les pics de  $^{40}\text{Ar}$  et  $^{36}\text{Ar}$  atmosphériques pour définir le rapport  $^{40}\text{Ar} / ^{36}\text{Ar}$ . La mesure précise de ce rapport est fondamentale à l'issue du dosage de l'argon pour chaque échantillon. L'évolution du rapport  $^{40}\text{Ar} / ^{36}\text{Ar}$  est contrôlée à l'aide d'une courbe construite au fur et à mesure de  $^{40}\text{Ar} / ^{36}\text{Ar}$  atm. en fonction de  $^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$ . De légères différences sont observées, qui caractérisent les variations de la réponse instrumentale du spectromètre. La figure II-5 illustre un exemple de courbe du rapport de l'air mesuré à la suite de manipulations réalisées dans des conditions stables de courant du filament et de tension des plaques.

### 6. Résultats et calcul de l'âge

On mesure pour chaque isotope les pics enregistrés (correspondant à la tension mesurée sur le collecteur) et on retient généralement la moyenne dont on soustrait la résiduelle. Le pic de  $^{36}\text{Ar}$  correspond à la pollution atmosphérique de l'échantillon et de la faible composante  $^{36}\text{Ar}$  du traceur ( $1,1 \cdot 10^{-4}$  at. pour 1 atome de  $^{38}\text{Ar}$ ). Le pic de  $^{38}\text{Ar}$  représente exclusivement la quantité connue du traceur, et sert donc d'indice en cas de problème ayant pu survenir au cours de la manipulation (fusion incomplète, fuite...). Le pic de  $^{40}\text{Ar}$  est constitué de la part radiogénique de l'échantillon et de la pollution atmosphérique. Cette dernière est évaluée grâce à la valeur des rapports  $^{40}\text{Ar} / ^{36}\text{Ar}$  de l'installation et à la mesure de  $^{36}\text{Ar}$  de l'échantillon :

$$^{40}\text{Ar}^* = ^{40}\text{Ar}_{\text{total}} - ^{36}\text{Ar} \times \frac{^{40}\text{Ar}}{^{36}\text{Ar}}_{\text{atm}} \quad \text{atm} \quad \text{L}^{40}\text{Ar en cm}^3$$

On utilise la valeur de  $^{40}\text{Ar}^*$  corrigé dans le calcul de l'âge par la formule (3).

### 7. Les erreurs analytiques

La valeur  $\pm$  qui suit l'âge calculé rend compte de la précision des mesures, c'est-à-dire de leur reproductibilité. Elle correspond aux erreurs sur la détermination de K et de  $^{40}\text{Ar}^*$ .

Pour le potassium, l'erreur commise sur la mesure est inversement proportionnelle à la teneur en  $\text{K}_2\text{O}$ . Elle sera donc plus élevée pour les faibles valeurs de  $\text{K}_2\text{O} < 0,1 \%$  (erreur 10 %) ; de 0,1 à 0,2 % on considère que l'erreur avoisine 5 % ; pour  $\text{K}_2\text{O} > 0,2 \%$  elle est réduite à 1 %.

L'erreur sur la détermination de  $^{40}\text{Ar}^*$  dépend de plusieurs facteurs :

- précision de la connaissance de la quantité du traceur (la précision du signal de  $^{38}\text{Ar}$  est inférieure à 2 %) ;
- rapport de correction atmosphérique  $^{40}/^{36}\text{Ar}$  (si  $^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$  est faible, l'incertitude sur  $^{40}\text{Ar}^*$  sera plus faible que celle sur  $^{40}\text{Ar}_{\text{atm}}$ ) ;
- incertitude sur la détermination de  $^{40}\text{Ar}^*$  par rapport à  $^{40}\text{Ar}$  total (elle décroît inversement avec la valeur des rapports  $^{40}\text{Ar}^* / ^{40}\text{Ar}_{\text{T}}$ . Dans le cas de valeurs faibles de ce rapport, moins de 5 %, la valeur de l'âge devient essentielle ; ainsi pour des âges très récents, moins de 1 M.a., l'incertitude peut atteindre 50 %) (Fig. II-6).

La mise au point du programme GEARPOT, par J.C. Philippet et A. Fabre, permet la saisie des données, le calcul de l'âge et de l'incertitude, l'édition des résultats et le stockage en fichier des analyses.

## ILES BANKS

| Echantillon        | Age<br>M.a | +/- | Inc<br>M.a | 40 Ar •<br>10-7cc/g | 36 Ar<br>10-9cc/g | 40 Ar •<br>X-----<br>40 Ar T | K20<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|--------------------|------------|-----|------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| C                  |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| <b>UREPARAPARA</b> |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| URF 1              | 3          | 1.9 | +/- 0.3    | 0.73                | 3.94              | 5.9                          | 1.22     | 1.0199              | B1463-8 |
| URMM 3             | 1          | 1.2 | +/- 0.1    | 0.46                | 0.79              | 16.4                         | 1.18     | 1.0806              | B1543-7 |
| URMM 2             | 1          | 1.1 | +/- 0.1    | 0.59                | 1.10              | 15.5                         | 1.67     | 1.0225              | B1382-4 |
| URG 2              | 3          | 1.1 | +/- 0.2    | 0.38                | 1.37              | 8.5                          | 1.06     | 1.0241              | B1561-7 |
| URF 6              | 1          | 1.1 | +/- 0.1    | 0.42                | 1.19              | 10.7                         | 1.23     | 1.0014              | B1622-7 |
| <b>VOT TANDE</b>   |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| VGA 8              | 1          | 3.1 | +/- 0.2    | 1.15                | 1.53              | 20.4                         | 1.15     | 1.0159              | B1461-6 |
| VGM 1              | 1          | 3.0 | +/- 0.1    | 0.90                | 1.67              | 15.5                         | 0.94     | 1.0065              | B1518-9 |
| <b>VANUA LAVA</b>  |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| VLC 115            | 3          | 0.7 | +/- 0.2    | 0.16                | 1.12              | 4.6                          | 0.71     | 1.0009              | B1469-6 |
| VLA 15             | 5          | 0.5 | +/- 0.1    | 0.33                | 3.28              | 3.3                          | 2.24     | 1.0002              | B1459-4 |
| VMAC 1             | 3          | 0.4 | +/- 0.1    | 0.16                | 1.33              | 3.9                          | 1.13     | 1.0341              | B1504-8 |
| VLA 69             | 3          | 0.4 | +/- 0.1    | 0.19                | 0.94              | 6.4                          | 1.38     | 1.0062              | B1517-8 |
| VMAC 006           | 3          | 0.4 | +/- 0.1    | 0.12                | 1.39              | 2.8                          | 0.97     | 1.0026              | B1516-7 |
| <b>NOTA LAVA</b>   |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| MVA 15             | 3          | 2.5 | +/- 0.4    | 0.45                | 2.40              | 5.9                          | 0.56     | 1.0468              | B1544-8 |
| MVA 11             | 3          | 0.3 | +/- 0.1    | 0.03                | 0.81              | 1.3                          | 0.28     | 1.5009              | B1536-9 |
| <b>NOTA</b>        |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| MOT 1              | 3          | 1.3 | +/- 0.2    | 0.28                | 1.07              | 8.2                          | 0.66     | 1.0542              | B1545-9 |
| <b>GAUA</b>        |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| GA 5               | 5          | 3.4 | +/- 1.0    | 1.43                | 9.40              | 4.9                          | 1.30     | 1.0079              | B1460-5 |
| <b>HERE LAVA</b>   |            |     |            |                     |                   |                              |          |                     |         |
| MLKK 1             | 4          | 0.1 | +/- 0.0    | 0.01                | 1.52              | 0.2                          | 0.27     | 1.5014              | B1562-8 |

Tableau II-2 : Datations K-Ar sur roches totales des laves des îles du Nord de la chaîne centrale de l'arc des Nouvelles Hébrides (C = Classe de la datation).  
*K-Ar datations on bulk rock of lavas from the northern islands of the New Hebrides central chain.*

## ILES SUD

| Echantillon | C | Age<br>M.a | +/- | Inc<br>M.a | 40 Ar *<br>10 <sup>-7</sup> cc/g | 36 Ar<br>10 <sup>-9</sup> cc/g | 40 Ar *<br>%-----<br>40 Ar T | K20<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|-------------|---|------------|-----|------------|----------------------------------|--------------------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| VATE        |   |            |     |            |                                  |                                |                              |          |                     |         |
| Q 3         | 4 | 1.6        | +/- | 0.2        | 0.28                             | 1.56                           | 5.8                          | 0.55     | 1.5035              | B1563-9 |
| MA 6        | 3 | 1.6        | +/- | 0.2        | 0.39                             | 1.42                           | 8.6                          | 0.78     | 1.1768              | B1624-9 |
| E 6         | 4 | 2.4        | +/- | 0.4        | 0.60                             | 3.31                           | 5.8                          | 0.76     | 1.0075              | B1894-6 |
|             | - | 1.7        | +/- | 0.2        | 0.41                             | 2.23                           | 5.8                          | 0.76     | 1.0077              | B1879-9 |
| BOK 11      | 1 | 1.5        | +/- | 0.1        | 2.36                             | 3.23                           | 19.8                         | 4.86     | 1.0107              | B1457-2 |
| E 1         | 4 | 1.0        | +/- | 0.2        | 0.36                             | 1.61                           | 6.9                          | 1.10     | 1.0050              | B1892-4 |
| Q 1         | 3 | 0.7        | +/- | 0.2        | 0.14                             | 0.94                           | 4.7                          | 0.57     | 1.5073              | B1527-9 |
| FUTUNA      |   |            |     |            |                                  |                                |                              |          |                     |         |
| FUT 65      | 1 | 2.0        | +/- | 0.1        | 0.90                             | 1.41                           | 17.8                         | 1.43     | 1.0075              | B1621-6 |
| FMAC 22     | 1 | 2.0        | +/- | 0.1        | 0.55                             | 0.82                           | 18.6                         | 0.87     | 1.0027              | B1623-8 |
| FMAC 48     | 1 | 1.6        | +/- | 0.1        | 0.69                             | 1.05                           | 18.2                         | 1.37     | 1.0075              | B1620-5 |
| FMAC 50     | 1 | 1.4        | +/- | 0.1        | 0.64                             | 1.21                           | 15.2                         | 1.38     | 1.0387              | B1605-7 |
| FUT 2       | 1 | 1.4        | +/- | 0.1        | 0.67                             | 1.13                           | 16.6                         | 1.48     | 1.0177              | B 533-7 |
| TANNA       |   |            |     |            |                                  |                                |                              |          |                     |         |
| TAC 35b     | 1 | 3.0        | +/- | 0.2        | 0.50                             | 1.05                           | 13.7                         | 0.51     | 1.5222              | B1589-9 |
| TAC 37      | 1 | 2.3        | +/- | 0.1        | 0.84                             | 1.14                           | 20.1                         | 1.12     | 1.0113              | B1607-9 |
| ANATOM      |   |            |     |            |                                  |                                |                              |          |                     |         |
| AYMAC 40    | 1 | 2.0        | +/- | 0.2        | 0.40                             | 1.05                           | 11.3                         | 0.61     | 1.0036              | B1598-9 |
| AYC 54      | 1 | 1.6        | +/- | 0.1        | 0.49                             | 0.95                           | 14.9                         | 0.94     | 1.0029              | B1606-8 |
| AYC 2       | 1 | 1.3        | +/- | 0.2        | 0.30                             | 1.40                           | 6.7                          | 0.69     | 1.5732              | B1588-8 |

Tableau II-3 : Datations K-Ar sur roches totales des laves des îles du Sud de la chaîne centrale de l'arc des Nouvelles Hébrides.

*K-Ar datations on whole rock of lavas from the southern islands of the New Hebrides central chain.*

| Echantillon C | Age<br>M. a | +/- Inc<br>M. a | 40 Ar *<br>10-7cc/g | 36 Ar<br>10-9cc/g | 40 Ar *<br>%-----<br>40 Ar T | K20<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|---------------|-------------|-----------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| D1 M1         | 5           | 5.3 +/- 0.4     | 1.15                | 2.94              | 11.7                         | 0.67     | 1.0110              | B1383-5 |
| D1 M9         | 1           | 1.5 +/- 0.1     | 0.34                | 1.03              | 10.1                         | 0.70     | 1.0018              | B1209-8 |
| D1 M3         | 2           | 1.2 +/- 0.2     | 0.37                | 1.85              | 6.3                          | 0.98     | 1.0482              | B1466-3 |
| -             | -           | 1.1 +/- 0.2     | 0.34                | 1.46              | 7.4                          | 0.98     | 1.0018              | B1884-5 |
| D1 M8         | 2           | 1.1 +/- 0.2     | 0.28                | 0.98              | 8.7                          | 0.81     | 1.0228              | B1207-6 |
| D1 M5         | 2           | 0.3 +/- 0.1     | 0.09                | 0.98              | 3.0                          | 0.90     | 1.0250              | B1855-8 |
| -             | -           | 0.1 +/- 0.0     | 0.03                | 0.84              | 1.0                          | 0.90     | 1.0012              | B1685-7 |
| D2 M5         | 4           | 2.6 +/- 0.8     | 0.21                | 1.47              | 4.6                          | 0.25     | 1.0203              | B1897-9 |
| -             | -           | 1.6 +/- 0.5     | 0.13                | 1.18              | 3.5                          | 0.25     | 1.0004              | B1865-9 |
| D2 M1         | 4           | 2.1 +/- 0.3     | 0.18                | 1.08              | 5.4                          | 0.27     | 1.0065              | B1896-8 |
| -             | -           | 1.3 +/- 0.4     | 0.11                | 0.78              | 4.6                          | 0.27     | 1.0388              | B1877-7 |
| D3 M2         | 3           | 2.0 +/- 0.6     | 0.45                | 3.60              | 4.1                          | 0.71     | 1.0085              | B1861-5 |
| -             | -           | 1.9 +/- 0.6     | 0.43                | 3.95              | 3.5                          | 0.71     | 1.0047              | B1853-6 |
| -             | -           | 1.5 +/- 0.4     | 0.34                | 3.03              | 3.7                          | 0.71     | 1.2003              | B1322-5 |
| D3 M1         | 1           | 1.8 +/- 0.1     | 0.38                | 0.90              | 12.4                         | 0.65     | 1.2281              | B1191-7 |
| D3 M3         | 2           | 1.8 +/- 0.3     | 0.22                | 0.81              | 8.2                          | 0.38     | 1.0094              | B1876-6 |
| -             | -           | 1.7 +/- 0.3     | 0.21                | 0.85              | 7.8                          | 0.38     | 1.2032              | B1323-6 |
| D3 M4         | 2           | 1.2 +/- 0.2     | 0.07                | 0.36              | 6.0                          | 0.17     | 1.8099              | B1931-7 |
| -             | -           | 1.1 +/- 0.2     | 0.06                | 0.32              | 6.1                          | 0.17     | 1.8018              | B1924-9 |
| D5 M4         | 3           | 3.9 +/- 1.2     | 0.34                | 2.17              | 5.0                          | 0.27     | 1.0621              | B1391-4 |
| -             | -           | 3.9 +/- 0.6     | 0.34                | 1.66              | 6.4                          | 0.27     | 1.0071              | B1895-7 |
| D5 M1         | 2           | 2.9 +/- 0.4     | 0.22                | 0.69              | 9.6                          | 0.23     | 1.0357              | B1878-8 |
| -             | -           | 2.7 +/- 0.4     | 0.20                | 0.96              | 6.5                          | 0.23     | 1.5012              | B1677-5 |
| D5 M5         | 4           | 2.4 +/- 0.4     | 0.20                | 0.60              | 10.0                         | 0.25     | 1.8235              | B1930-6 |
| -             | -           | 1.9 +/- 0.3     | 0.15                | 0.56              | 8.6                          | 0.25     | 1.8064              | B1923-8 |
| D6 M1         | 3           | 3.4 +/- 0.5     | 0.59                | 2.53              | 7.3                          | 0.54     | 1.0150              | B1992-4 |
| -             | -           | 2.6 +/- 0.2     | 0.45                | 1.24              | 11.0                         | 0.54     | 1.0175              | B1210-9 |
| D7 M2         | 2           | 12.5 +/- 1.9    | 0.48                | 1.58              | 9.4                          | 0.12     | 1.0047              | B1392-5 |
| -             | -           | 12.4 +/- 0.9    | 0.48                | 1.45              | 10.1                         | 0.12     | 1.0979              | B1199-6 |
| D7 M3         | 4           | 13.8 +/- 6.9    | 0.29                | 1.15              | 7.9                          | 0.07     | 1.5046              | B1678-6 |
| D7 M4         | 3           | 3.1 +/- 0.2     | 1.18                | 2.44              | 14.1                         | 1.20     | 1.0320              | B1372-3 |
| -             | -           | 2.4 +/- 0.2     | 0.92                | 2.05              | 13.1                         | 1.20     | 1.0134              | B1957-3 |
| -             | -           | 2.2 +/- 0.2     | 0.87                | 2.02              | 12.7                         | 1.20     | 1.0121              | B1991-3 |

Tableau II-4 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Vanikoro (fossés du Jean Charcot).

*K-Ar datations on whole rock of lavas from the Vanikoro trough (Jean Charcot troughs).*

| Echantillon |   | Age<br>M.a | +/- | Inc.<br>M.a | 40 Ar *<br>10-7cc/g | 36 Ar<br>10-9cc/g | 40 Ar *<br>X-----<br>40 Ar T | K20<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|-------------|---|------------|-----|-------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| C           |   |            |     |             |                     |                   |                              |          |                     |         |
| D10 M1      | 1 | 2.8        | +/- | 0.1         | 0.51                | 0.89              | 16.1                         | 0.57     | 1.0090              | B1929-5 |
| D10 M2      | 1 | 2.7        | +/- | 0.1         | 0.59                | 1.04              | 15.9                         | 0.67     | 1.0192              | B1927-3 |
|             | - | 2.5        | +/- | 0.2         | 0.53                | 1.25              | 12.6                         | 0.67     | 1.0055              | B1385-7 |
| D11 M1      | 2 | 4.9        | +/- | 0.2         | 1.56                | 2.66              | 16.5                         | 0.98     | 1.0083              | B1893-5 |
|             | - | 4.8        | +/- | 0.2         | 1.53                | 2.70              | 16.1                         | 0.98     | 1.0224              | B1257-4 |
| D11 M2      | 2 | 4.8        | +/- | 0.2         | 1.66                | 1.98              | 22.0                         | 1.06     | 1.0096              | B1386-8 |
| D12 M1      | 1 | 2.8        | +/- | 0.1         | 0.60                | 0.86              | 19.2                         | 0.66     | 1.0304              | B1928-4 |
|             | - | 2.8        | +/- | 0.2         | 0.60                | 1.36              | 13.0                         | 0.66     | 1.0210              | B1268-6 |
|             | - | 2.5        | +/- | 0.1         | 0.53                | 0.87              | 17.0                         | 0.66     | 1.0039              | B1921-6 |

Tableau II-5 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Vot Tande (fossés du Jean Charcot).

*K-Ar datations on whole rock of lavas from the Vot Tande trough (Jean Charcot troughs).*

| Echantillon |   | Age<br>M.a | +/- | Inc.<br>M.a | 40 Ar *<br>10-7cc/g | 36 Ar<br>10-9cc/g | 40 Ar *<br>X-----<br>40 Ar T | K20<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|-------------|---|------------|-----|-------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| C           |   |            |     |             |                     |                   |                              |          |                     |         |
| D14 M5      | 5 | 13.0       | +/- | 3.9         | 0.55                | 4.77              | 3.7                          | 0.13     | 1.0185              | B1452-7 |
| D14 M14     | 5 | 11.4       | +/- | 1.7         | 1.29                | 4.20              | 9.4                          | 0.35     | 1.0113              | B1958-4 |
|             | - | 9.5        | +/- | 1.4         | 1.07                | 4.49              | 7.5                          | 0.35     | 1.0031              | B1990-2 |
|             | - | 6.9        | +/- | 1.0         | 0.78                | 3.07              | 7.9                          | 0.35     | 1.0263              | B1258-5 |
| D14 M1      | 2 | 5.5        | +/- | 0.4         | 0.47                | 1.20              | 11.6                         | 0.26     | 1.0055              | B1259-6 |
| D14 M2      | 2 | 5.2        | +/- | 0.8         | 0.35                | 1.22              | 8.9                          | 0.21     | 1.0076              | B1864-8 |
|             | - | 5.3        | +/- | 0.8         | 0.34                | 1.35              | 8.0                          | 0.20     | 1.0181              | B1453-8 |
| D15 M6      | 1 | 4.1        | +/- | 0.2         | 0.92                | 1.09              | 22.3                         | 0.69     | 1.0132              | B1952-5 |
|             | - | 4.6        | +/- | 0.2         | 1.03                | 1.65              | 17.5                         | 0.69     | 1.0079              | B2010-5 |
| D15 M12     | 3 | 3.5        | +/- | 0.3         | 4.55                | 10.22             | 13.1                         | 4.07     | 1.0236              | B1267-5 |

Tableau II-6 : Datations K-Ar sur roches totales des laves de la zone Hazel Holme (fossés du Jean Charcot).

*K-Ar datations on whole rock of lavas from the Hazel Holme area (Jean Charcot troughs).*

| Echantillon<br>C | Age<br>M.a | +/- | Inc<br>M.a | 40 Ar •<br>10-7cc/g | 36 Ar<br>10-9cc/g | 40 Ar •<br>%-----<br>40 Ar T | K2O<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|------------------|------------|-----|------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| D26 M6           | 1          | 0.6 | +/- 0.1    | 0.69                | 2.83              | 7.6                          | 3.70     | 1.0068              | B1361-9 |
|                  | -          | 0.4 | +/- 0.0    | 0.53                | 1.01              | 15.2                         | 3.70     | 1.0132              | B1854-7 |
| D26 M7           | 2          | 0.5 | +/- 0.1    | 0.64                | 2.45              | 8.1                          | 3.64     | 1.0060              | B1389-2 |
| D27 M12          | 1          | 3.5 | +/- 0.3    | 0.85                | 2.17              | 11.7                         | 0.76     | 1.0958              | B1390-3 |
|                  | -          | 3.5 | +/- 0.3    | 0.86                | 2.20              | 11.6                         | 0.76     | 1.0008              | B1862-6 |
| D27 M17          | 1          | 3.5 | +/- 0.2    | 6.44                | 5.90              | 26.9                         | 5.66     | 1.0153              | B1891-3 |
|                  | -          | 3.4 | +/- 0.2    | 6.19                | 4.00              | 34.4                         | 5.66     | 1.0010              | B1384-6 |
| D27 M4           | 1          | 2.4 | +/- 0.1    | 3.79                | 2.61              | 32.9                         | 4.85     | 1.0121              | B1670-7 |
| D27 M1           | 2          | 2.6 | +/- 0.2    | 4.09                | 10.95             | 11.2                         | 4.93     | 1.0258              | B1373-4 |
|                  | -          | 2.2 | +/- 0.1    | 3.55                | 5.13              | 19.0                         | 4.93     | 1.0219              | B1824-8 |
| D28 M1           | 3          | 2.3 | +/- 0.2    | 4.74                | 10.79             | 12.9                         | 6.50     | 1.0043              | B1448-3 |
|                  | -          | 2.2 | +/- 0.2    | 4.69                | 10.05             | 13.6                         | 6.50     | 1.0003              | B1883-4 |
| D29 M6           | 1          | 3.2 | +/- 0.2    | 1.80                | 1.39              | 30.5                         | 1.74     | 1.0050              | B1449-4 |
| D29 M3           | 3          | 3.0 | +/- 0.2    | 4.64                | 13.15             | 10.7                         | 4.78     | 1.0080              | B1458-4 |
| D30 M2           | 2          | 1.5 | +/- 0.2    | 0.29                | 1.59              | 5.9                          | 0.60     | 1.0178              | B1886-7 |
|                  | -          | 1.4 | +/- 0.2    | 0.28                | 0.92              | 9.3                          | 0.60     | 1.0223              | B1825-9 |
| D30 M1           | 3          | 1.1 | +/- 0.2    | 0.24                | 0.99              | 7.7                          | 0.68     | 1.0145              | B1870-5 |
| D31 M2           | 3          | 1.5 | +/- 0.2    | 0.17                | 0.95              | 5.6                          | 0.35     | 1.0039              | B1863-7 |
| D31 M1           | 2          | 1.4 | +/- 0.2    | 0.20                | 0.99              | 6.3                          | 0.44     | 1.0085              | B1875-5 |
|                  | -          | 1.2 | +/- 0.4    | 0.17                | 1.19              | 4.7                          | 0.44     | 1.3131              | B1709-4 |

Tableau II-7 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Vaté (fossés du Coriolis).

*K-Ar datations on whole rock of lavas from the Vate trough (Coriolis troughs).*

| Echantillon<br>C | Age<br>M. a | +/-<br>M. a | Inc<br>M. a | 40 Ar *<br>10-7cc/g | 36 Ar<br>10-9cc/g | 40 Ar *<br>%-----<br>40 Ar T | K20<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| D22 M1           | 5           | 19.6 +/-    | 2.9         | 4.46                | 20.15             | 7.0                          | 0.70     | 1.0036              | B1651-6 |
| D24 M4           | 2           | 4.1 +/-     | 0.2         | 1.21                | 1.84              | 18.2                         | 0.91     | 1.0054              | B1365-4 |
| -                | -           | 3.7 +/-     | 0.2         | 1.09                | 2.05              | 15.2                         | 0.91     | 1.0360              | B1964-4 |
| D24 M6           | 2           | 3.8 +/-     | 1.1         | 0.29                | 2.24              | 4.2                          | 0.24     | 0.7051              | B1994-6 |
| -                | -           | 3.6 +/-     | 0.2         | 0.99                | 1.84              | 15.3                         | 0.86     | 1.0048              | B1672-9 |
| D24 M3           | 1           | 2.7 +/-     | 0.1         | 2.72                | 1.36              | 40.3                         | 3.11     | 1.0190              | B1377-8 |
| D25 M4           | 3           | 4.0 +/-     | 0.6         | 0.78                | 3.32              | 7.4                          | 0.60     | 1.0058              | B1983-7 |
| D25 M2           | 3           | 4.1 +/-     | 0.3         | 0.86                | 1.95              | 13.1                         | 0.66     | 1.0090              | B1378-9 |
| -                | -           | 3.2 +/-     | 0.5         | 0.69                | 3.85              | 5.7                          | 0.66     | 1.0049              | B1959-5 |
| -                | -           | 3.0 +/-     | 0.5         | 0.64                | 3.04              | 6.7                          | 0.66     | 1.0272              | B1965-5 |

Tableau II-8 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé d' Erromango (fossés du Coriolis).

*K-Ar datations on whole rock of lavas from the Erromango trough (Coriolis troughs).*

| Echantillon<br>C | Age<br>M. a | +/-<br>M. a | Inc<br>M. a | 40 Ar *<br>10-7cc/g | 36 Ar<br>10-9cc/g | 40 Ar *<br>%-----<br>40 Ar T | K20<br>% | Poids<br>fondu<br>g | No Exp  |
|------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------|-------------------|------------------------------|----------|---------------------|---------|
| D16 M1           | 3           | 6.4 +/-     | 0.3         | 3.88                | 4.90              | 21.1                         | 1.89     | 1.0032              | B1360-8 |
| -                | -           | 6.2 +/-     | 0.3         | 3.77                | 4.05              | 23.9                         | 1.89     | 1.0003              | B1859-3 |
| -                | -           | 5.2 +/-     | 0.3         | 3.17                | 2.79              | 27.8                         | 1.89     | 1.0236              | B1852-5 |
| D17 M3           | 3           | 6.3 +/-     | 0.3         | 3.55                | 5.46              | 18.0                         | 1.74     | 1.0076              | B1363-2 |
| -                | -           | 6.1 +/-     | 0.3         | 3.40                | 3.45              | 25.0                         | 1.74     | 1.0180              | B1920-5 |
| D19 M1           | 3           | 2.7 +/-     | 0.4         | 0.72                | 3.66              | 6.2                          | 0.81     | 1.1959              | B1346-3 |
| -                | -           | 2.6 +/-     | 0.2         | 0.68                | 2.06              | 10.1                         | 0.81     | 1.0143              | B1868-3 |
| D20 M4           | 5           | 14.9 +/-    | 4.5         | 2.55                | 20.11             | 4.1                          | 0.53     | 1.0019              | B1374-5 |
| D20 M3           | 4           | 4.0 +/-     | 1.2         | 1.12                | 7.55              | 4.8                          | 0.87     | 1.0002              | B1860-4 |
| -                | -           | 3.6 +/-     | 0.5         | 1.02                | 6.43              | 5.1                          | 0.87     | 1.0162              | B1364-3 |
| D20 M1           | 3           | 1.7 +/-     | 0.3         | 0.30                | 1.12              | 8.2                          | 0.53     | 1.0297              | B1684-6 |
| -                | -           | 1.0 +/-     | 0.3         | 0.17                | 1.39              | 3.9                          | 0.53     | 1.0209              | B1887-8 |
| D20 M6           | 2           | 0.7 +/-     | 0.2         | 0.19                | 1.20              | 5.0                          | 0.88     | 1.0025              | B1375-6 |
| -                | -           | 0.6 +/-     | 0.2         | 0.17                | 1.49              | 3.8                          | 0.88     | 1.0095              | B1869-4 |
| D21 M7           | 2           | 7.0 +/-     | 0.5         | 0.81                | 2.03              | 11.9                         | 0.36     | 1.0128              | B1922-7 |
| -                | -           | 6.5 +/-     | 0.5         | 0.76                | 1.87              | 12.0                         | 0.36     | 1.0234              | B1888-9 |
| D21 M1           | 3           | 6.1 +/-     | 0.3         | 1.79                | 2.76              | 17.9                         | 0.91     | 1.0288              | B1885-6 |

Tableau II-9 : Datations K-Ar sur roches totales des laves du fossé de Futuna (fossés du Coriolis).

*K-Ar datations on whole rock of lavas from the Futuna trough (Coriolis troughs).*

| ILE               | Ech.   | Age en Ma     |                |              |
|-------------------|--------|---------------|----------------|--------------|
| ILES<br>CENTRALES | 70-525 | 0,11 +/- 0,02 |                |              |
|                   | 70-108 | 0,08 +/- 0,01 |                |              |
|                   | 70-107 | 0,07 +/- 0,01 |                |              |
|                   | 70-106 | 0,06 +/- 0,01 |                |              |
|                   | Aoba   | 70-109        | 0,06 +/- 0,01  | Gorton, 1974 |
|                   |        | 70-532        | 0,05 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-515        | 0,04 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-534        | 0,04 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-538        | 0,01 +/- 0,005 |              |
|                   |        | 70-1570       | -0,02 +/- 0,04 | Gorton, 1974 |
|                   | Ambrym | 70-1571       | -0,004 +/- 0,1 |              |
|                   |        | 70-694        | 0,07 +/- 0,02  | Gorton, 1974 |
|                   | Tongoa | 70-711        | -0,02 +/- 0,04 |              |
|                   |        | 70-666        | 0,70 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-676        | 0,70 +/- 0,02  |              |
|                   |        | 70-679        | 0,70 +/- 0,02  |              |
|                   |        | 70-678        | 0,65 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-677        | 0,60 +/- 0,02  |              |
|                   |        | 70-674 2      | 0,60 +/- 0,01  |              |
|                   | Epi    | 70-682        | 0,60 +/- 0,01  | Gorton, 1974 |
|                   |        | 70-675        | 0,60 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-680        | 0,50 +/- 0,02  |              |
|                   |        | 70-674 1      | 0,50 +/- 0,02  |              |
|                   |        | 70-673 2      | 0,50 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-673 1      | 0,45 +/- 0,03  |              |
|                   |        | 70-672        | 0,40 +/- 0,01  |              |
|                   |        | 70-671        | 0,10 +/- 0,03  |              |
|                   | 70-610 | 6,10 +/- 0,60 |                |              |
|                   | 70-593 | 5,90 +/- 0,15 |                |              |
|                   | 70-629 | 5,15 +/- 0,10 |                |              |
| Pentecôte         | 70-613 | 4,95 +/- 0,20 | Gorton, 1974   |              |
|                   | 70-619 | 4,65 +/- 0,25 |                |              |
|                   | 70-718 | 4,40 +/- 0,10 |                |              |
|                   | 70-612 | 3,90 +/- 0,05 |                |              |
|                   | 70-719 | 3,25 +/- 0,15 |                |              |

Tableau II-12 : Datations K-Ar complémentaires des laves des îles de la chaîne centrale, données de la bibliographie.

*Complementary K-Ar datations of lavas from the central chain, data from bibliography.*

| ILE                   | Ech.       | Age en Ma  | Formation                                    |
|-----------------------|------------|--|--|
|                       | Vot Tande  | VGMAC1 3,51 +/- 0,15   | Ash & al., 1980                              |
| ILES<br>BANKS<br>NORD | Vanua Lava | VMAC006 0,48 +/- 0,05<br>VLC60 0,22 +/- 0,02                   | Older Volcanics Ash & al., 1980<br>Irsa Lion |
|                       | Mota Lava  | MLMAC 39 0,42 +/- 0,02   | Older Volcanics Ash & al., 1980              |
|                       | Gaua       | GM62 1,80 +/- 0,20<br>GM60 1,70 +/- 0,60<br>GM61 0,80 +/- 0,40 | Older Volcanics Mallick & Ash, 1975          |
| ILES<br>BANKS<br>SUD  | Merig      | MERM10 1,10 +/- 0,50   | Base volcanique Mallick & Ash, 1975          |
|                       | Mere Lava  | BC14 1,10 +/- 0,50<br>BC18 < 0,10                              | Gorton, 1974                                 |

| ILE               | Ech.                 | Age en Ma           | Formation                   |                |
|-------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|----------------|
| ILES<br>DU<br>SUD | Vaté                 | EA301 1,58 +/- 0,05 | Formation Ash & al., 1978   |                |
|                   |                      | V5 1,45 +/- 0,10    | ponceuse Coulon & al., 1979 |                |
|                   | E38 5,30 +/- 0,25    | Pumpan              |                             |                |
|                   | E42 5,25 +/- 0,25    | Pumpan              |                             |                |
|                   | E15 4,10 +/- 0,20    | Melkum              |                             |                |
|                   | E77 3,90 +/- 0,20    | Mont William        |                             |                |
|                   | E10 3,70 +/- 0,30    | Robertson's Thumb   |                             |                |
|                   | E27 3,70 +/- 0,02    | F. de Plateau       |                             |                |
|                   | E7 3,60 +/- 0,02     | F. de Plateau       |                             |                |
|                   | E70 3,40 +/- 0,15    | Mont William        |                             |                |
|                   | E19 3,40 +/- 0,15    | F. de Plateau       | Bellon & al., 1984          |                |
|                   | Erromango            | E31 2,90 +/- 0,40   | F. de Plateau               | et             |
|                   |                      | E16 2,55 +/- 0,15   | Melkum                      | Marcelot, 1980 |
|                   | E75 2,55 +/- 0,15    | Mont William        |                             |                |
|                   | E40 2,45 +/- 0,10    | Pumpan              |                             |                |
|                   | E1 2,35 +/- 0,10     | F. de Plateau       |                             |                |
|                   | E4 1,70 +/- 0,20     | F. de Plateau       |                             |                |
|                   | E32 1,20 +/- 0,05    | F. de Plateau       |                             |                |
|                   | E12 1,10 +/- 0,10    | F. de Plateau       |                             |                |
|                   | E56 <0,3             | Mont Rantop         |                             |                |
| E46 <0,3          | Mont Rantop          |                     |                             |                |
| Tanna             | TAC64 2,45 +/- 0,05  | Green Hill          |                             |                |
|                   | TAC100 0,65 +/- 0,10 | Melen Tukosmeru     | Dugas et al., 1976          |                |
|                   | TAC105 0,09 +/- 0,02 | Melen Tukosmeru     |                             |                |
| Futuna            | FMAC56 1,80 +/- 0,05 | Edifice principal   | Dugas et al., 1976          |                |

Tableau II-12 suite

| Echantillon      | Age +/- Inc<br>M.a M.a | 40 Ar *<br>10 <sup>-7</sup> cc/g | 36 Ar<br>10 <sup>-3</sup> cc/g | %<br>$\frac{40 \text{ Ar } *}{40 \text{ Ar T}}$ | K2O<br>% | Poids<br>fondu<br>g | N° Exp  |
|------------------|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|---|----------|---------------------|---------|
| <b>VANIKORO</b>  |                        |                                  |                                |   |          |                     |         |
| D1M1             | 7,65 +/- 3,82          | 0,21                             | 2,20                           | 3,2   | 0,09     | 0,6005              | B1996-8 |
| D1M8             | 1,59 +/- 0,48          | 0,05                             | 1,62                           | 1,1   | 0,10     | 0,7122              | B1976-7 |
| <b>VATE</b>      |                        |                                  |                                |   |          |                     |         |
| D31M1            | 3,05 +/- 0,91          | 0,10                             | 1,93                           | 1,7   | 0,10     | 0,7078              | B1984-8 |
| <b>ERROMANGO</b> |                        |                                  |                                |   |          |                     |         |
| D24M6            | 6,07 +/- 0,46          | 0,46                             | 1,32                           | 10,6  | 0,24     | 0,7131              | B1954-7 |
| <b>FUTUNA</b>    |                        |                                  |                                |   |          |                     |         |
| D21M1            | 10,09 +/- 1,51         | 0,86                             | 4,42                           | 6,2   | 0,26     | 0,3016              | B1995-7 |
|                  | 9,30 +/- 0,70          | 0,80                             | 2,22                           | 10,8  |          | 0,7012              | B1953-6 |
| D16M1            | 6,93 +/- 0,35          | 1,07                             | 1,26                           | 22,4  | 0,48     | 0,7050              | B1947-7 |

Tableau II-13 : Datations K-Ar sur plagioclases des laves des fossés.  
*K-Ar datations on plagioclases of lavas from troughs.*

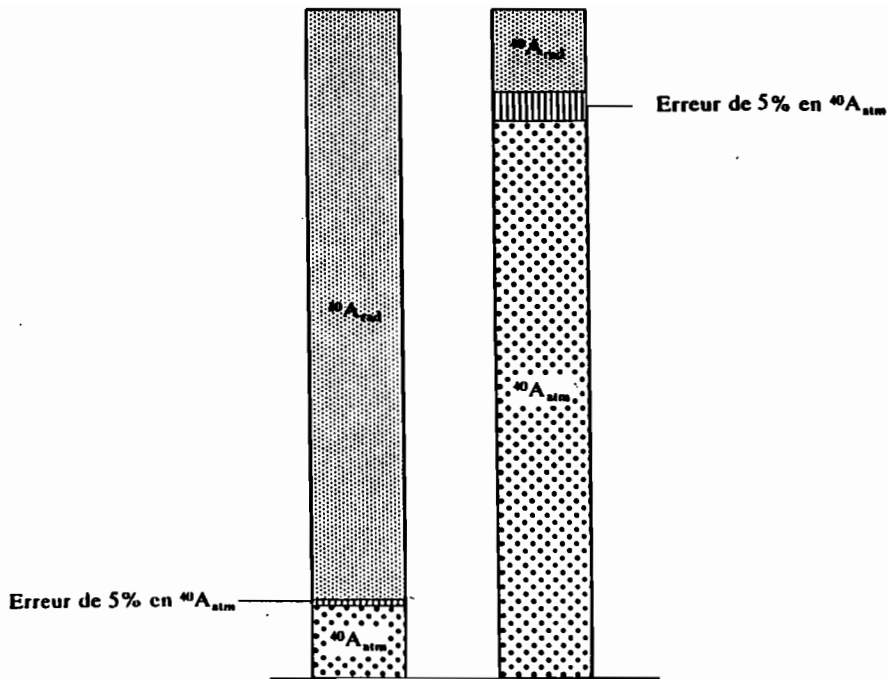
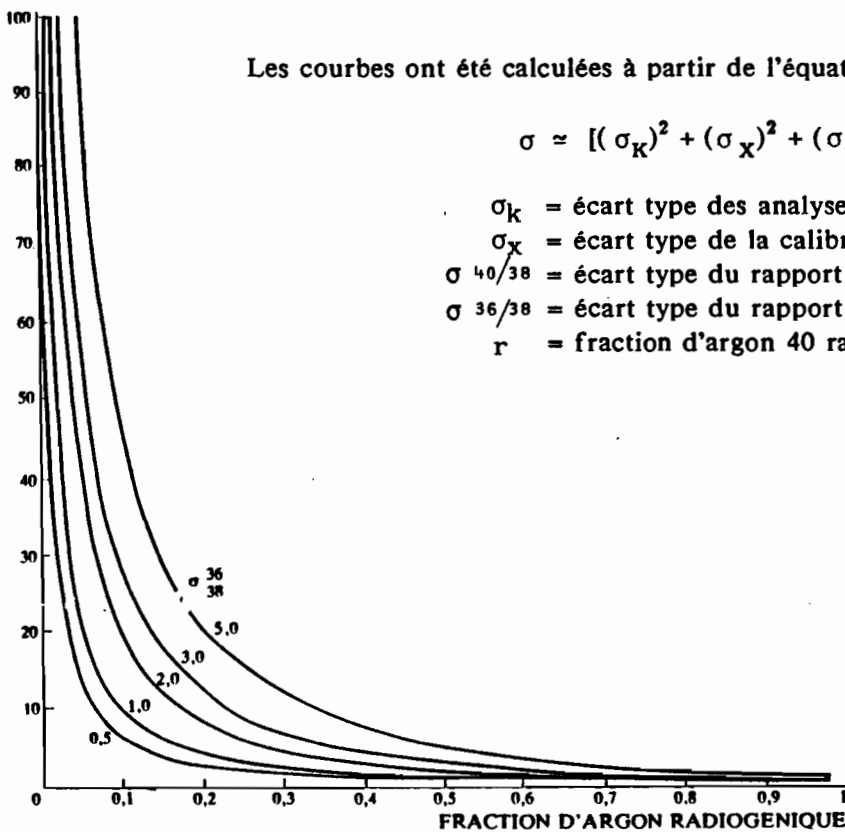


Figure II-6 : Proportionnalité de l'erreur sur la correction de l'argon atmosphérique et du pourcentage d'argon radiogénique (d'après Dalrymple et Lanphère, 1969).  
*Relationship of the error on the atmospheric argon correction with the percentage of radiogenic argon (after Dalrymple & Lanphère, 1969).*

ECART TYPE ( $\sigma$ ) EN %



Les courbes ont été calculées à partir de l'équation :

$$\sigma \approx [(\sigma_K)^2 + (\sigma_X)^2 + (\sigma_{40/38})^2 \left(\frac{1}{r}\right)^2 + \sigma_{36/38}^2 \left(\frac{1-\Gamma}{\Gamma}\right)^2]$$

- $\sigma_K$  = écart type des analyses de potassium = 0,5 %
- $\sigma_X$  = écart type de la calibration du traceur d'argon = 0,3 %
- $\sigma_{40/38}$  = écart type du rapport  $(^{40}\text{Ar}/^{38}\text{Ar})_{\text{mesuré}}$  = 0,2 %
- $\sigma_{36/38}$  = écart type du rapport  $(^{36}\text{Ar}/^{38}\text{Ar})_{\text{mesuré}}$  = 0,2 %
- $r$  = fraction d'argon 40 radiogénique.

Figure II-7 : Ecart type en % ( $\sigma$ ) sur un âge K-Ar en fonction de la fraction d'argon radiogénique pour différentes valeurs de  $\sigma_{36/38}$  (d'après Cox et Dalrymple, 1967).

*Type difference in % ( $\sigma$ ) for a K-Ar age according to radiogenical argon fraction for diverse  $\sigma_{36/38}$  values (Cox and Dalrymple, 1967).*

ANNEXES CHAPITRE 3

Tableau III-1 : Types pétrographiques bibliographiques décrits pour les laves de la chaîne centrale :

- a) Iles Banks.
- b) Iles du Sud.
- c) Iles centrales.

*Petrographic types of bibliography for central chain lavas.*

|   |   |
|---|---|
| ILES BANKS NORD (Ash et al., 1980) : Basaltes (55 %), Andésites basiques (22 %) et Andésites (23 %)                             |   |
| <u>VANUA LAVA</u>   |   |
| Basaltes<br>Basaltes à olivine à affinités ankaramitiques<br>Andésites basiques à opx<br>Andésites à 2 px<br>Latite - andésites | surtout dans les Older Volcanics ; textures intergranulaires ; laves porphyriques (Pl > cpx-ol), la proportion d'ol diminue à partir de 52 % de SiO <sub>2</sub> et est remplacée par l'opx dans les AB à texture intersertale qui prédominent dans les Younger Volcanics ; Pl + cpx + opx + opa ; Les A plus acides sont moins porphyriques. |
| <u>UREPARAPARA</u>  |   |
| Basaltes<br>Basaltes à olivine<br>Andésites basiques<br>Andésites à 2 px  | + ol texture intergranulaire<br>Pl + cpx + opx<br>+ opx + hb + ap   |
| <u>MOTA - MOTA LAVA</u>   |   |
| Basaltes aphyriques<br>Basaltes ankaramitiques à olivine<br>Basaltes à olivine<br>Basaltes                                      | sans cristaux Pl-ol-opa ; texture intergranulaire.<br>ol > cpx >> Pl + opa ; texture intergranulaire, microporphyrique.<br>Pl > cpx-ol-opa ; texture intergranulaire.   |
| <u>VOT TANDE</u>  |   |
| Basaltes à opx<br>Andésites basiques  | Pl > cpx >> ol + opx ; texture intergranulaire à intersertale.<br>Pl > cpx >> opx + ol + opa ; texture intersertale à pilotaxitique.  |
| ILES BANKS SUD (Mallick et Ash, 1975)   |   |
| <u>MERE LAVA</u>  |   |
| Basaltes tholéitiques à olivine   | cpx + ol + Pl ; mésostase holocristalline.  |
| <u>MERIG</u>  |   |
| Basaltes à olivine<br>Andésites   | cpx > ol > Pl + opa<br>Pl > cpx + opx + opa + xénocristaux  |
| <u>GAUA</u>   |   |
| Basaltes à olivine<br>Basaltes à olivine en phénocristaux<br>Basaltes à tendance ankaramitique<br>Andésites basiques            | Pl - cpx - ol - opa<br>ol > cpx - (opa)<br>Pl - cpx - opa - (ol), peu porphyriques  |

B : Basalte  
AB : Andésite basique  
A : Andésite  
cpx : Clinopyroxène

opx : Orthopyroxène  
Pl : Plagioclase  
ol : Olivine  
opa : opaque

a) Iles Banks.

|   |   |                         |
|---|---|-------------------------|
| <b>VATE</b> (Ash et al., 1978)  |   |                         |
| Basaltes porphyriques à olivine<br>(90 % des basaltes)                  | Pl >> ol > cpx + (opa), texture intergranulaire   |                         |
| Basaltes aphyriques à olivine   | quelques Pl glomérophyriques + ol + (petits cpx), texture intergranulaire                         |                         |
| Latite - andésites  | Pl > cpx + opx + opa ± ol ; mésostase à grain fin à fond brun                                     | ] Formation<br>ponceuse |
| Dacites   | roches sombres à grain fin ou vitreuses   |                         |
| Rhyodacites   | Pl >> cpx - opx ± biotite   |                         |
| Rhyolites   | textures pilotaxitiques et hyalopilitiques  |                         |
| Trachytes   | Pl + cpx + opx ; mésostase à grain fin  |                         |
| <b>ERROMANGO</b> (Colley et Ash, 1971 ; Maillet, 1982 ; Marcelot, 1980) |   |                         |
| Basaltes ankaramitiques   | cpx + ol ; mésostase holocristalline (Pl + cpx)   |                         |
| Basaltes  | Pl > cpx > ol + opa (+ opx) ; mésostase holocristalline   |                         |
| Andésites basiques  | Pl + cpx + opx ± ol ± opa   |                         |
| Andésites   | Pl + cpx + opx + opa + hb ; mésostase avec verre  |                         |
| <b>TANNA</b> (Carney et Macfarlane, 1979)                               |   |                         |
| Ankaramite  | cpx > ol >> Pl + opa ; mésostase intergranulaire  |                         |
| Basaltes porphyriques   | Pl > cpx ≈ ol + opa ; mésostase intergranulaire   |                         |
| Basaltes à olivine  | id., mais avec olivine dans la mésostase  |                         |
| Basaltes aphyriques   | quelques Pl > opx ± ol ± opa ; mésostase intergranulaire et taxitique                             |                         |
| Andésites basiques  | roches hyalines et porphyriques (Pl >> cpx + (ol) + (opa) ;                                       |                         |
| Andésites   | mésostase intergranulaire à intersertale  |                         |
| + blocs de gabbro - microgabbro - leucogabbro et monzonite              |   |                         |
| <b>ANATOM</b> (Carney et Macfarlane, 1979)                              |   |                         |
| Ankaramites   | cpx > ol >> Pl (+ opa) ; mésostase intergranulaire à subophitique                                 |                         |
| Basaltes  | Pl >> cpx >> ol (+ opa) ; mésostase intergranulaire ± verre                                       |                         |
| Andésites basiques  | Pl > cpx > ol + opa ± Hb ± opx ; mésostase pilotaxitique ou intergranulaire                       |                         |
| Andésites   | Pl >> cpx ≈ Hb + opx (+ opa + Ap) ; mésostase vitreuse et pilotaxitique, rarement intergranulaire |                         |
| <b>FUTUNA</b> (Carney et Macfarlane, 1979)                              |   |                         |
| Basaltes ankaramitiques   | microphyriques ; cpx ≈ ol + xénocristaux Qz + Pl ; mésostase intergranulaire riche en opa         |                         |
| Andésites basiques  | comparables à celles d'Anatom, sauf Hb peu commune  |                         |
| Andésites   | Pl >> cpx + opx + opa ± ol ± Hb ; mésostase intersertale ou pilotaxitique et hyalopilitique       |                         |
| + xénolites de métagabbros différents des blocs de Tanna                |   |                         |

## EPI, PAAMA, LOPEVI, EMAE, ILES SHEPARD (Warden, 1967)

Laves sous-marines

Basaltes à olivine  
et clinopyroxène

très porphyriques, holocristallin à cpx > olivine,  
plagioclase, mésostase à cpx >>.

Basaltes et andésites

opx + cpx + plagioclase  $\pm$  olivine ; Pl souvent > ;  
glomérocristaux et agrégats polycristallins fréquents ;  
mésostase à Pl > cpx > opx + opaques ; texture granulaire,  
intergranulaire, ophitique plus rare, parfois du verre  
interstitiel.

Laves subaériennes

Basaltes

Pl (30-69 %) + cpx (17-60 %)  $\pm$  olivine (0-16 %)  $\pm$  opaques  
(2-16 %)

Texture porphyrique ou microporphyrique, holocristalline  
avec souvent une petite proportion de verre ;  
glomérocristaux mono- ou polycristallins fréquents ;  
mésostase : Pl, opx + olivines et opaques accessoires ;  
textures granulaires ou intergranulaires, souvent litées.

Andésites

Pl + opx + cpx  $\pm$  olivines, proportions opx/cpx croissantes  
avec l'acidité ; vésiculaires ; phénocristaux isolés ou en  
glomérocristaux moins abondants que dans les basaltes ;  
mésostase : Pl et microlites felsiques orientés en texture  
pilotaxitique ; texture hyaline dans les andésites les plus  
acides.

Roches pseudo-eutaxitiques = tufs andésitiques + agglomérats ponceux + tufs

Granodiorite à grain moyen  
à grossier

Leucocrate : Qz, sanidine, Pl, oligoclase zoné + verre  
pourrait correspondre à des xénolithes du magma.

c) Iles centrales.

|  | Ech.                                     | Structure                                  | Vésicules                          | Phénocristaux +   |                |                 | Microphénocristaux |                |        |
|--|--|--|------------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|--------------------|----------------|--------|
|  |  |  |                                    | Pl.               | Cpx            | Opx             | Ol.                | Opa.           | Autres |
| V<br>O<br>T<br>T<br>A<br>N<br>O<br>E                     | * VGM1                                   | porphyrique<br>30%<br>intersertale         |                                    | 50%<br>1-2 mm     | 40%<br>-> 3mm  |                 |                    | rare:<br>100µ  |        |
|  | * VGB8                                   | porphyrique<br>30%<br>microlitique         | < 5%                               | 60%<br>-> 2mm     | 30%<br>-> 5mm  | rare:<br>-> 2mm |                    | < 5%<br><500µ  |        |
| U<br>R<br>E<br>P<br>A<br>R<br>A<br>P<br>P<br>A<br>R<br>A | URF7                                     | porphyrique<br>30-40%<br>intersertale      |                                    | 65%<br>->2,5mm    | 30%<br>-> 4mm  |                 | Fantomes           | < 5%<br><500µ  |        |
|  | URM3                                     | très porphyrique<br>40%<br>intergranulaire |                                    | 40%<br>->1,5mm    | 40%<br>-> 4mm  | rare:           | 10%<br>->2,5mm     | < 5%<br>->300µ |        |
|  | URG4                                     | porphyrique<br>30-40%<br>intersertale      | < 5%<br>-> 1mm                     | 60%<br>-> 2mm     | 30%<br>-> 3mm  |                 | 5%<br>-> 1mm       | 5%<br>->750µ   |        |
|  | * URG2                                   | très porphyrique<br>50%<br>intersertale    | 5-10%<br>amygdaloïdales<br>->2,5mm | 60%<br>->2,5mm    | 30%<br>->3,5mm |                 | rare:<br>->500µ    | < 5%<br><500µ  |        |
|  | URG3                                     | très porphyrique<br>40-50%                 | qq<br>< 500µ                       | 60%<br>-> 2mm     | 30%<br>-> 4mm  |                 | < 5%<br>->500µ     | qq<br><450µ    |        |
|  | URF1                                     | très porphyrique<br>50%<br>intersertale    | 5-10%<br>amygdaloïdales<br>->2,5mm | 60%<br>->2,5mm    | 30%<br>->4,5mm |                 | rare:<br>->500µ    | < 5%<br><500µ  |        |
|  | URF4                                     | porphyrique<br>25-30%<br>microlitique      |                                    | 60%<br>-> 2mm     | 30%<br>-> 2mm  |                 | 5%<br>-> 1mm       | qq<br><250µ    |        |
|  | URF6                                     | très porphyrique<br>50%<br>microlitique    |                                    | 60%<br>-> 2mm     | 30%<br>-> 4mm  | < 5%<br>-> 1mm  | 5-10%<br>-> 1mm    | < 5%<br><500µ  |        |
| * URM2   | porphyrique<br>30-40%<br>intergranulaire |  | 60-70%<br>-> 2mm                   | 20-30%<br>->1,5mm |                | 5%<br>->500µ    | 5%<br>->500µ       |                |        |
| V<br>A<br>N<br>U<br>A<br>L<br>A<br>V<br>A                | * VLC115                                 | porphyrique<br>30-40%<br>intergranulaire   | < 5%<br>-> 1mm                     | 70%<br>-> 3mm     | 20%<br>->2,5mm | 1               | 10%<br>->2,5mm     | rare:          |        |
|  | VMAC86                                   | porphyrique<br>30-40%<br>intersertale      |                                    | 70%<br>->2,5mm    | 20%<br>-> 4mm  |                 | < 5%<br>-> 1mm     | < 5%<br>->150µ |        |
|  | VMAC1                                    | subdoléritique                             |                                    | 60%<br>->500µ     | 40%<br>-> 2mm  |                 | qq<br>->500µ       |                |        |
|  | VLA69                                    | porphyrique<br>30-40%<br>intersertale      | < 5%<br>-> 500µ                    | 60%<br>->6-7mm    | 30%<br>-> 3mm  | < 5%<br>-> 1mm  |                    | < 5%<br>->750µ |        |
|  | * VLA15                                  | porphyrique<br>25-30%<br>intersertale      |                                    | 60%<br>->4,5mm    | 30%<br>->1,5mm |                 | < 10%<br>->500µ    | 5%<br>->500µ   |        |
| M<br>O<br>T<br>R<br>A<br>L<br>A<br>V<br>A                | * MVA15                                  | porphyrique<br>25%<br>intergranulaire      |                                    | < 5%<br>->750µ    | 70%<br>->3,5mm |                 | 25%<br>-> 2mm      |                |        |
|  | MVA11                                    | porphyrique<br>15%<br>intergranulaire      | < 5%<br>-> 1,5mm                   | 70-80%<br>-> 3mm  | 20%<br>-> 1mm  |                 | < 10%<br>->500µ    | < 5%<br>->250µ |        |
| M<br>J<br>T<br>R<br>A                                    | * MOT1                                   | microporphyrique<br>intergranulaire        |                                    | 80%<br>-> 1mm     | 10%<br>-> 1mm  |                 | < 10%<br>Fantomes  |                |        |
| G<br>A<br>U<br>A   | GA5                                      | porphyrique<br>25%<br>intergranulaire      | 10-20%<br>allongées<br>-> 1 cm     | 60%<br>->4,5mm    | 35%<br>->2,5mm |                 |                    | 5%<br>->500µ   |        |
| M<br>L<br>E<br>R<br>V<br>E<br>A                          | MLKK1                                    | porphyrique<br>30-40%<br>intergranulaire   | 5%<br>-> 1 mm                      | < 10%<br>->500µ   | 70%<br>-> 3mm  |                 | 20%<br>->7,5mm     |                |        |

Tableau III-2 : Description des lames minces des laves des îles Banks.  
Description of thin sections for Banks islands lavas.

| Mésostase |     |      |        | Texture                                 | Indices de mise en place sous-marine | Remarques   | Roche    |
|-----------|-----|------|--------|---|--------------------------------------|---|----------|
| Pl.       | Cpx | Opa. | Autres |   |                                      |   |          |
| +         | +   | +    |        | Microlites Pl. et Opa. assez gros       |                                      | Cpx incluant des Opa. Agrégats de Pl.-Cpx   | B        |
| +         | +   | +    |        | Très fine                               |                                      | Glomérocristaux de Pl. ou Cpx Opa. inclus dans Pl. et Cpx                                   | AB       |
| +         | +   | +    |        | Très sombre                             |                                      | Agrégats de Pl.-Cpx+/-Opa. Pl. souvent zonés Cpx incluant des Opa.                          | B        |
| +         | +   | +    |        | Très fine                               |                                      | Agrégats polycristallins Cpx souvent zonés, incluant des Opa.; Ol. incluant des Opa.        | B        |
| +         |     | +    |        | Fine Fond altéré                        |                                      | Agrégats polycristallins Cpx et Ol. incluant Opa.   | B        |
| +         | +   | +    |        | Très sombre Fond altéré Assez grossière |                                      | Agrégats polycristallins Cpx incluant Opa.+/- Ol. et Pl.                                    | B        |
| +         |     | +    |        | Fond très fin, altéré                   |                                      | Agrégats polycristallins Cpx incluant Opa. Glomérocristaux de Cpx                           | B        |
| +         |     | +    |        | Fond très sombre, très altéré           |                                      | Agrégats polycristallins Cpx souvent zonés, incluant des Opa. et parfois des Pl.            | B        |
| +         |     | +    |        | Fond très fin, altéré                   |                                      | Agrégats polycristallins Opa. inclus dans Pl. et Cpx Quelques Cpx hérités                   | B        |
| +         | +   | +    |        | Fond un peu altéré                      |                                      | Agrégats polycristallins Cpx incluant Opa. Ol. iddingsitiques                               | B        |
| +         | +   | +    |        | Fond altéré                             |                                      | Agrégats polycristallins Cpx incluant Opa. Glomérocristaux de Cpx Pl. souvent impurs, zonés | AB       |
| +         | +   | +    |        | Grain de 5-10µ                          |                                      | Glomérocristaux de Cpx, Ol. et Pl. Ol. incluant Opa.  | B        |
| +         |     | +    |        | Grain de 5-10µ                          |                                      | Glomérocristaux de Cpx, Pl. Cpx incluant Opa.   | B        |
|           |     |      |        |   |                                      | Qq glomérocristaux de Cpx Cpx incluant Opa.   | B/<br>AB |
| +         |     | +    |        | Fond très fin, altéré                   |                                      | Agrégats polycristallins Qq glomérocristaux de Pl. Cpx incluant Opa.                        | AB       |
| +         |     | +    |        | Fond très fin, altéré                   |                                      | Agrégats polycristallins Pl. souvent impurs, incluant Cpx ou Ol.                            | A        |
| +         | +   | +    |        | Grain de 30-40µ                         |                                      | Ankaramite Cpx souvent zonés, incluant ou associés à des Ol.                                | B        |
| +         | +   | +    |        | Grain de 20-30µ                         |                                      | Agrégats de Pl. et Cpx Ol. associées aux Cpx ou Pl.   | B        |
| +         | +   | +    |        | Grain de 20-30µ                         |                                      | Dominée par les Ol. souvent en amas, incluant des Cpx                                       | B        |
| +         | +   | +    |        | Fond altéré Grain de 50µ                |                                      | Agrégats polycristallins Glomérocristaux de Cpx, Pl. Opa. inclus dans Pl. et Cpx            | B        |
| +         | +   | +    |        | Fond altéré                             |                                      | Ankaramite Associations de Cpx et Ol. Cpx incluant Ol.                                      | B        |

Tableau III-2 suite

|                            | Ech.    | Structure                                  | Vésicules                        | Phénocristaux + |                  |              | Microphénocristaux |                |                  |
|----------------------------|---------|--|----------------------------------|-----------------|------------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|
|                            |         |  |                                  | Pl.             | Cpx              | Opx          | Ol.                | Op.            | Autres           |
| V<br>A<br>I<br>E           | Q3      | porphyrique<br>30-40%<br>microgrenue       |                                  | 40%<br>-> 3mm   | 30%<br>-> 4mm    |              | 30%<br>->2,5mm     | qq<br><250µ    |                  |
|                            | Q1      | porphyrique<br>30-40%<br>microgrenue       |                                  | 70%<br>->2,5mm  | < 10%<br>->4,5mm |              | 20%<br>->2,5mm     | < 5%<br>->750µ |                  |
|                            | Ma6     | porphyrique<br>40%<br>intersertale         | < 5%<br>amygdaloïdales<br>-> 1mm | 90%<br>->2,5mm  | < 10%            |              | fantomes           | < 5%<br>->500µ |                  |
|                            | E9      | porphyrique<br>20%<br>microgrenue          | 5-10%<br>< 500µ                  | 70%<br>-> 2mm   | 20%<br>-> 4mm    |              | 10%<br>->1,5mm     | qq<br><250µ    |                  |
|                            | E6      | peu porphyrique<br>10%<br>microlitique     | 10%<br>amygdaloïdales<br>->2,5mm | 90%<br>->3,5mm  |                  |              | 10%<br>-> 1mm      | 10%<br><450µ   |                  |
|                            | E1      | porphyrique<br>25%<br>microgrenue          | 10-20%<br>->4,5mm                | 80%<br>->2,5mm  |                  |              | rare               | qq<br><250µ    |                  |
|                            | * DOK11 | peu porphyrique<br>10%<br>vitreuse         | < 5%<br>-> 4mm                   | 80%<br>->3,5mm  | qq<br>->500µ     | qq<br>->500µ |                    | qq<br>->500µ   |                  |
| T<br>N<br>N<br>A           | TAC35b  | microdoleritique                           |                                  | +               | +                |              | +                  |                |                  |
|                            | TAC37   | microdoleritique                           |                                  | +               | +                |              | +                  | +              | tres nb<br>< 10µ |
| P<br>N<br>T<br>O<br>N      | NYC54   | porphyrique<br>30-40%<br>microlitique      | < 5%<br>250µ                     | 70%<br>->2,5mm  | 20%<br>-> 6mm    |              | 10%<br>->1,5mm     | qq<br><250µ    |                  |
|                            | NYC2    | porphyrique<br>30%<br>microgrenue          |                                  | 80%<br>->2,5mm  |                  |              | qq<br>-> 2mm       | < 5%<br>->450µ |                  |
|                            | NYNAC10 | porphyrique<br>30-35%<br>microlitique      |                                  | 60%<br>->2,5mm  | 25%<br>->4,5mm   |              | 15%<br>->2,5mm     | qq<br><250µ    |                  |
| F<br>U<br>T<br>U<br>N<br>A | FNAC40  | peu porphyrique<br>10-15%<br>intersertale  | 1-2%<br>< 500µ                   | 70%<br>->4,5mm  | qq<br>-> 2mm     |              | qq<br>->1,5mm      | qq<br><250µ    |                  |
|                            | FNAC50  | peu porphyrique<br>10-15%<br>intersertale  | 1-2%<br>< 500µ                   | 70%<br>->4,5mm  | 25%<br>-> 2mm    |              | qq<br>->1,5mm      | qq<br><250µ    |                  |
|                            | FNAC22  | microporphyrique<br>10-20%<br>microlitique | < 5%<br>amygdaloïdales<br>-> 1mm | 20%<br>->450µ   |                  |              | 70%<br>->1,2mm     | rare<br><250µ  |                  |

Tableau III-3 : Description des lames minces des îles du Sud.  
Description of thin sections for southern islands lavas.

| Mésostase |     |      |                       | Texture  | Indices de mise en place sous-marine | Remarques  | Roche |
|-----------|-----|------|-----------------------|--|--------------------------------------|--|-------|
| Pl.       | Cpx | Opa. | Autres                |  |                                      |  |       |
| +         | +   | +    | +<br>Ol.              | Grain de 50-100u   |                                      | Glomérocristaux de Pl. → 4mm<br>Cpx et Ol. incluant Opa.<br>Agrégats de Pl.-Cpx                      | B     |
| +         | +   | +    | +<br>Ol.              | Fond altéré<br>Grain de 50-100u                            |                                      | Glomérocristaux de Pl.<br>ou Ol.<br>Agrégats de Ol.-Cpx+/-Opa.                                       | B     |
| +         | +   | +    |                       | Fond altéré<br>Grain de 50-100u                            |                                      | Glomérocristaux de Pl.<br>Agrégats de Pl.-Cpx<br>Pl. incluant Opa.<br>Cpx incluant Pl.               | B     |
| +         | +   | +    | +<br>Ol.              | Fond assez altéré<br>Grain de 50u                          |                                      | Glomérocristaux de Pl.<br>ou Ol.<br>Rq agrégats polycristallins                                      | B     |
| +         |     | +    | +<br>Oxydes<br>diffus | Très fine<br>Dominée par les<br>microPl.                   |                                      | Lave assez altérée   | B     |
| +         | +   | +    | +<br>Ol.<br>rares     | Grain de 50 à 200u   |                                      | Lave très altérée  | B     |
| +         | +   | +    | +<br>Opx              | Verre brun-rouille<br>altéré                               |                                      | 1 agrégat de Pl.-Cpx<br>Pl. incluant Opx   | D     |
|           |     |      |                       | Grain de 50 à 500u   |                                      |  | B     |
|           |     |      |                       | Très fine<br>Grain de 20 à 100u                            |                                      | Orientation des microlites<br>de Pl.   | B     |
| +         | +   | +    |                       | Grain de 30 à 100u   |                                      | Cpx incluant des Ol.   | B     |
| +         | +   | +    |                       | Grain de 20 à 50u  |                                      | Rq glomérocristaux de Pl.<br>Pl. incluant des Ol.<br>Agrégats de Ol.-Pl.+/-Opa.                      | B     |
| +         | +   | +    |                       | Grain de 10 à 50u<br>un peu altérée                        |                                      | Glomérocristaux de Pl.<br>Cpx incluant des Opa., Pl.,<br>et Ol.                                      | B     |
| +         | +   | +    |                       | Sombre et fine,<br>avec des microlites<br>de Pl. plus gros |                                      | Glomérocristaux de Pl. et Cpx<br>Agrégats polycristallins<br>Pl. zonés à microinclusions<br>de verre | B     |
| +         | +   | +    | +<br>Ol.              | Sombre et fine,<br>avec des microlites<br>de Pl. plus gros |                                      | Glomérocristaux de Cpx<br>Agrégats polycristallins<br>Pl. zonés à microinclusions<br>de verre        | AB    |
| +         | +   | +    |                       | Pl. allongés<br>(→ 150μ)<br>Fond opaque                    |                                      |  | AB    |

Tableau III-3 suite

Tableau III-4 : Description macroscopique des échantillons dragués dans les fossés arrière-arc des Nouvelles-Hébrides

Les échantillons dénommés SPS2 Dx My [SPS2 = SEAPSO2 ; D = dragage ; x correspond au numéro du dragage et y au numéro de l'échantillon dans ce dragage, sans aucune relation avec un éventuel ordre de succession] seront notés DxMy pour plus de commodité. Les échantillons sont classés par ordre de silice croissante pour chacune des zones de dragages.

#### Zone VANIKORO

|      |   |
|------|---|
| D7M2 | Basalte aphyrique, massif.  |
| D7M3 | Basalte comparable à D7M2.  |
| D2M1 | Basalte aphyrique sombre, très vacuolaire (--> 5-7 mm de diamètre), frais.  |
| D2M5 | Basalte peu porphyrique (PL. + cpx + ol), vacuolaire (--> 3 mm), surface "mamelonnée" recouverte d'une fine pellicule de manganèse. |
| D3M4 | Basalte aphyrique, vacuolaire (--> 2 mm), frais.  |
| D5M5 | Basalte aphyrique plus massif, microvacuolaire.   |
| D5M1 | Basalte en pillow à bordure altérée, aphyrique, vacuolaire (la taille des vacuoles augmente vers le coeur).                         |
| D6M1 | Basalte en pillow avec encroûtement de manganèse de 5 mm, peu porphyrique (PL.), vacuolaire (--> 4 mm).                             |
| D5M4 | Basalte à bordure altérée et légèrement encroûtée sur 1-2 mm ; aphyrique, vacuolaire (--> 2,5 mm).                                  |
| D3M3 | Basalte frais, vésiculaire (--> 1,5 mm), subaphyrique.  |
| D7M4 | Andésite basique, peu porphyrique (PL.), légèrement vacuolaire.   |
| D3M1 | Andésite basique fraîche, vitreuse, vacuolaire (--> 2,5 mm), très peu porphyrique (PL.).  |
| D3M2 | Andésite comparable à D3M1.   |
| D1M1 | Andésite fraîche, vitreuse, peu porphyrique (PL.), peu vacuolaire (--> 2,5 mm).   |
| D1M9 | Dacite fraîche, peu porphyrique (PL.), plus vacuolaire (--> 3 mm, étirée).  |
| D1M8 | Dacite fraîche, peu porphyrique (PL.), peu vacuolaire (--> 4 mm).   |
| D1M5 | Dacite comparable à D1M9 et D1M8.   |
| D1M3 | Dacite du même type que précédemment.   |

**Zone VOT TANDE**

- D11M1 Bloc de basalte (éléments de brèche), massif, porphyrique (P + cpx + ol), légèrement altéré.
- D10M2 Basalte peu porphyrique (PL. mm, ou + gros en amas), peu vacuolaire (élément de 10 x 7 cm de brèche).
- D10M1 Basalte comparable à D10M2.
- D12M1 Basalte pur porphyrique (olivines 1 mm), avec quelques vacuoles centimétriques étirées dans le sens du litage matérialisé par des traînées de microbulles.
- D11M2 Élément de brèche comparable à D11M1, avec encroûtement oxydé de grande taille de 1 cm.

**Zone HAZEL HOLME**

- D14M2 Basalte peu porphyrique (PL.), altéré mais plus frais au coeur, massif.
- D14M1 Basalte du type de D14M2.
- D14M14 Basalte aphyrique, massif, gris.
- D15M6 Basalte peu porphyrique (PL. --> 2 mm), vacuolaire.
- D14M5 Basalte spilitisé, de couleur verte, peu porphyrique.
- D15M12 Andésite peu porphyrique (PL. + Fk), massive, de couleur gris brunâtre.

**Zone VATE**

- D27M12 Basalte légèrement altéré, gris verdâtre, doléritique.
- D29M6 Basalte altéré, plus frais au centre, gris verdâtre, légèrement vacuolaire, porphyrique (ol + cpx), ankaramitique.
- D31M2 Basalte en pillow, porphyrique (PL. + cpx-ol), vacuolaire (microvacuoles et qq --> 1 mm) ; bordure de manganèse sur 3 mm.
- D31M1 Basalte gris sombre, porphyrique (PL. + cpx + ol), vacuolaire (--> 5 mm).
- D30M2 Basalte noir, assez frais, porphyrique (ol + PL.), vacuolaire (--> 1 mm).
- D30M1 Andésite basique gris sombre, porphyrique (plagioclases + olivines + cpx), vacuolaire (--> 2 mm).
- D27M17 Roche grenue (grain d'1 mm) grise assez claire, à feldspaths et autres minéraux altérés.
- D27M1 Dacite gris sombre ou brune en cas d'altération, porphyrique (PL.), peu vacuolaire (--> 2 mm).
- D27M4 Dacite relativement fraîche, grise, peu porphyrique (PL.), peu vacuolaire (--> 2 mm, vacuoles allongées).
- D29M3 Dacite gris-brun, porphyrique (PL.), vacuolaire (vacuoles rondes --> 1 mm).
- D28M1 Roche grenue, très fine, spilitisée (PL.), massive.
- D26M6 Dacite très fraîche, noire, vitreuse, porphyrique (PL.).
- D26M7 Dacite comparable à D26M6, verre très friable.

**Zone ERROMANGO**

- D22M1 Basalte gris assez sombre, massif, porphyrique (olivine + cpx + PL.).  
 D25M2 Basalte gris, très porphyrique (PL. + cpx), peu vacuolaire (--> 5 mm).  
 D24M6 Basalte gris sombre, porphyrique (PL.), vacuolaire (--> 0,75 mm) ; bloc semblant bréchifié, poreux en bordure.  
 D24M4 Basalte gris, massif, très porphyrique (PL. + cpx + olivines).  
 D24M3 Dacite grise, massive, peu porphyrique (PL. + cpx).

**Zone FUTUNA**

- D19M1 Basalte (gros bloc de pillow 20 x 20 x 20 cm, à fractures concentriques, encroûté sur 1 cm), porphyrique (olivines + cpx + PL.), vacuolaire (--> 2 mm).  
 D21M7 Basalte gris, assez sombre, porphyrique (cpx + PL. + olivines), massif.  
 D20M4 Basalte porphyrique (PL.), vacuolaire ; pillow à niveaux concentriques de vacuoles sur 5 mm d'épaisseur, alternant avec des niveaux plus massifs, épais de 1 cm ; la taille des vacuoles s'accroît vers le coeur du pillow.  
 D21M1 Basalte gris assez sombre, massif, très porphyrique (cpx + PL. + olivines), subankaramitique.  
 D16M1 Andésite basique, massive, porphyrique (PL. + cpx).  
 D17M3 Andésite basique, grise, très porphyrique (PL. + cpx) ; comparable à D16M1.  
 D20M6 Andésite basique fraîche, porphyrique (PL. + cpx), vacuolaire (vacuoles --> 2 mm).  
 D20M1 Andésite basique, fraîche, vitreuse, très porphyrique (PL. + cpx + olivines), assez peu vacuolaire (vacuoles --> 3 mm, voire 1 cm).  
 D20M3 Andésite basique fraîche, noire, porphyrique (PL. + cpx), vacuolaire (--> 2 mm) ; enclaves de couleur claire aux contours anguleux atteignant 1 cm.

Tableau III-5 : Description des lames minces des laves des fossés :

- a) Zone Vanikoro.
- b) Zones Vot Tande et Hazel Holme.
- c) Zone Vaté.
- d) Zones Erromango et Futuna.

*Description of thin sections for troughs lavas.*

|  | Ech.   | Structure                          | Vésicules                             | Phénocristaux + Microphénocristaux |                  |                  |                |                        |         |
|--|--------|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------------------|------------------|----------------|------------------------|---------|
|  |        |                                    |                                       | Pl.                                | Cpx              | Opx              | Ol.            | Opa.                   | Autres  |
| Z<br>O<br>N<br>E<br><br>V<br>A<br>N<br>I<br>K<br>O<br>R<br>O | * 07M2 | aphyrique <1% intersertale         | < 2 %<br>750 µ                        | 50%<br>->1mm                       |                  |                  | 50%<br>->1,5mm |                        | Calcite |
|  | 07M3   | aphyrique <1% intersertale         | 4 %<br>1 mm                           | 40%<br>->1mm                       |                  |                  | 60%<br>->1,5mm |                        | Calcite |
|  | 02M1   | aphyrique <1% intersertale         | 60-65%<br>arrondies 5-7mm             | 75%<br><1 mm                       | 25%              |                  | 1 mm           |                        |         |
|  | * 02M5 | peu porphyrique 10% intersertale   | 45%<br>arrondies<br>µ -> 3mm          | 50%<br>->700µ                      | 25%              |                  | 25%<br>->2,5mm | sp. chr.               |         |
|  | 03M4   | subaphyrique <5% intergranulaire   | 45%<br>arrondies<br>µ -> 2mm          | 90%<br>->500µ                      |                  |                  | 10%<br>->300µ  |                        |         |
|  | * 05M5 | subaphyrique <2% intergranulaire   | 40-45%<br>arrondies<br>µ -> 500µ      | 65%<br>->1mm                       | 1<br>1mm         |                  | 35%<br>->300µ  |                        |         |
|  | 05M1   | aphyrique 1% intergranulaire       | 35-40%<br>amygdaloïdales<br>0,5-2mm   | 90%<br>->1mm                       |                  |                  | 10%<br>->750µ  |                        |         |
|  | * 06M1 | peu porphyrique 5% intersertale    | 40%<br>amygdaloïdales<br>µ-4mm        | 90%<br>->2mm                       | 9%<br>->300µ     |                  |                |                        |         |
|  | 05M4   | subaphyrique 2-3% intergranulaire  | 35-40%<br>amygdaloïdales<br>-> 2,5mm  | 80%<br>->4mm                       |                  |                  | 20%<br>->500µ  |                        |         |
|  | 03M3   | aphyrique 1% intergranulaire       | 40%<br>+/- arrondies<br>µ ->1,5mm     | 100%<br>->1mm                      |                  |                  |                |                        |         |
|  | 07M4   | peu porphyrique 8-10% intersertale | 15%<br>forme allongée<br>µ ->1mm      | 80%<br>->500µ                      | 9-10%<br>->500µ  | 7-8%<br>->500µ   | 3-4%<br>->500µ |                        |         |
|  | * 03M1 | peu porphyrique 5% intersertale    | 40-45%<br>forme allongée<br>µ ->2,5mm | 50%<br>->1,2mm                     | traces<br>->250µ | traces<br>->500µ |                | traces<br>+ilm.        |         |
|  | 03M2   | aphyrique 1% intergranulaire       | 20-25%<br>arrondies<br>µ -> 2,5mm     | traces<br>->750µ                   | traces<br>->750µ |                  |                | traces<br>->250µ       |         |
|  | * 01M1 | peu porphyrique 5% intersertale    | <5%<br>forme allongée<br>µ ->2,5mm    | 85%<br>->2mm                       | 8%<br>->400µ     | 3%<br>->1,2m     |                | 10%<br>->250µ<br>TM+IL |         |
|  | 01M3   | peu porphyrique 5% intersertale    | 12%<br>moins allongées<br>µ ->3-3,5mm | 75%<br>->1,4mm                     | 8%<br>->450µ     | 2%               | 15%<br>->1,4mm | 1%                     |         |
|  | * 01M8 | peu porphyrique 15% intersertale   | 8%<br>amygdaloïdales<br>µ-4mm         | 75%<br>->2,5mm                     | 15%<br>->1mm     | 5%<br>->1mm      | 1              | 1%<br>->200µ           |         |
|  | 01M5   | peu porphyrique 10% intersertale   | 10-15%<br>forme allongée<br>->5mm     | 80%<br>->2mm                       | 8%<br>->500µ     | 5%<br>->1,5m     |                | 6-7%<br>->250µ         |         |
|  | 01M3   | peu porphyrique 10% intersertale   | <5%<br>forme allongée<br>->4,5mm      | 70%<br>->1,5mm                     | <1%<br>->500µ    | 15%<br>->500µ    |                | 10%<br><250µ           |         |

a) Zone Vanikoro.

| Mésostase |     |            |              | Texture   | Indices de mise en place sous-marine              | Remarques   | Roche |
|-----------|-----|------------|--------------|---|---|---|-------|
| Pl.       | Cpx | Opa.       | Autres       |   |   |   |       |
| +         | +   | +<br>TH+SC | +<br>Olivine | Fond vitreux altéré<br>30 %   | Microlites de Pl.bifides<br>ou boucle de ceinture | Oliv. incluses dans Opaques<br>(TH+SC)  | B     |
| +         |     | +          | +            | Fond vitreux altéré<br>25 %   | Microlites de Pl.bifides<br>ou boucle de ceinture | Oliv. incluses dans Opaques<br>(TH+SC)  | B     |
| +         | +   | +          | +<br>Olivine | Fond vitreux altéré<br>12,5 %   | Microlites de Pl.bifides                          | Quelques agrégats de Pl.-Oli.-Cpx   | B     |
| +         | +   | +          | +            | Fond vitreux altéré<br>30%  | Microlites de Pl.bifides                          | Agrégats polycristallins<br>Glomérocristaux de Pl.  | B     |
| +         | +   | +          |              |   | Microlites de Pl.bifides                          | 1 agrégat de Pl.-Cpx  | B     |
| +         | +   | +          | +<br>Olivine | 10% verre, altéré<br>microlites de Pl.<br>rosettes et opaques<br>(grains + aiguilles) | Microlites de Pl.bifides                          | Glomérocristaux de Pl.  | B     |
| +         | +   | +          | +<br>Olivine | 30% verre, altéré<br>microlites de Pl.<br>aciculaires et opaques<br>en amas           |   | Oliv. parfois incluses dans<br>Pl et fissures iddingsitisées  | B     |
| +         | +   | +          | +<br>Olivine | 10% verre, altéré,<br>microvacuolaire   | Microlites de Pl.bifides                          | Agrégats polycristallins<br>Glomérocristaux de Pl.<br>Pl inclus dans Cpx  | B     |
| +         | +   | +          |              | 30% verre, altéré<br>microlites de Pl.<br>aciculaires et<br>microvacuoles             | Microlites de Pl.bifides                          | Glomérocristaux de Pl.<br>ou olivine  | B     |
| +         | +   | +          |              |   | Microlites de Pl.bifides                          | 1 agrégat de Pl.-Cpx  | B     |
| +         |     | +          |              | fond vitreux (35%)<br>altéré<br>microvacuolaire                                       | Microlites de Pl.bifides                          | Quelques agrégats<br>Opaques inclus dans<br>Pl et Cpx   | NB    |
| +         |     | +          |              | fond vitreux<br>(25-30%) altéré   | Microlites de Pl.bifides                          |   | NB/N  |
| +         |     | +          |              | fond altéré<br>dominé par les<br>microvacuoles  | Microlites de Pl.bifides                          | Opaques inclus dans Pl.<br>Quelques agrégats de Pl.-Cpx   | N     |
| +         |     | +          |              | fond vitreux (50%)<br>microlites de Pl.<br>// aux vacuoles                            | Microlites de Pl.bifides                          | Quelques agrégats de Pl.-Op.-Cpx<br>Opaques inclus dans Cpx<br>Cpx et Opaques inclus dans Pl.                   | N/D   |
| +         |     | +          |              | fond vitreux (25%)<br>altéré<br>riche en Pl.  | Microlites de Pl.bifides                          | Agrégats polycristallins<br>Opaques inclus dans Pl et Cpx<br>Cpx inclus dans Pl<br>Bordures d'Oli. microgrenues | D     |
| +         |     | +          |              | fond vitreux frais<br>(55%)   | Microlites de Pl.bifides                          | Agrégats de Pl.-Op.-Cpx<br>Glomérocristaux de Pl<br>Opaques inclus dans Pl et Cpx<br>Cpx inclus dans Pl         | D     |
| +         | +   | +          |              | fond vitreux frais<br>(55%)   | Microlites de Pl.bifides                          | Agrégats de Pl.-Op.-Cpx<br>Opaques inclus dans Cpx<br>Cpx et Op. inclus dans Pl zones                           | D     |
| +         |     | +          |              | fond vitreux (50%)<br>altéré<br>microlites de Pl.<br>// aux vacuoles                  | Microlites de Pl.bifides                          | Agrégats de Pl.-Op.-Cpx<br>Opaques inclus dans Cpx<br>Cpx et Op. inclus dans Pl.                                | D     |

S I O 2  
C R O I S S A N T E

a) Zone Vanikoro (suite)

|  | Ech.             | Structure                                   | Vésicules             | Phénocristaux +   |                |     | Microphénocristaux |               |                  |
|--|------------------|---|-----------------------|-------------------|----------------|-----|--------------------|---------------|------------------|
|  |                  |   |                       | Pl.               | Cpx            | Opx | Ol.                | Opa.          | Autres           |
| Z<br>O<br>N<br>E<br><br>V<br>O<br>T<br><br>T<br>A<br>N<br>D<br>E           | * D11M1<br>D11M2 | porphyrique<br>25%<br>intersertale          |                       | 70%<br>->1,5mm    | 15%<br>-> 3mm  |     | 15%<br>->500μ      | 2%<br>TM      |                  |
|  | * D10M1<br>D10M2 | peu porphyrique<br>5-10%<br>intersertale    | 15%<br>arrondies      | 70-75%<br>->1,5mm | 2-3%<br>->500μ |     | 20%                | 4%            |                  |
|  | * D12M1          | peu porphyrique<br>5-10%<br>trachitique     | 9%<br>250μ            | <5%               | <5%            |     | 95%<br>-> 1mm      |               |                  |
| Z<br>O<br>N<br>E<br><br>H<br>A<br>Z<br>E<br>L<br><br>H<br>O<br>L<br>M<br>E | D14M2            | peu porphyrique<br>10%<br>subdoléritique    | <5%<br><500μ          | 70-75%<br>->1,5mm |                |     | qq                 |               | épidote          |
|  | * D14M1          | peu porphyrique<br>10%                      | 3%<br><250μ           | 60%<br>-> 2mm     | traces         |     | 40%<br>fantomes    |               |                  |
|  | * D14M14         | peu porphyrique<br>4-5%<br>microgrenue      |                       | 85%<br>-> 1mm     | 15%<br><500μ   |     |                    |               |                  |
|  | * D15M6          | peu porphyrique<br>5-10%<br>intergranulaire | 20%<br>amygdaloidales | 95%<br>-> 2mm     | <5%<br>-> 1mm  |     | <5%<br><500μ       | qq            |                  |
|  | D14M5            | peu porphyrique<br>15%<br>intersertale      | 5%<br><500μ<br>rondes | 80%<br>-> 3mm     | 15%<br><500μ   |     | qq<br><500μ        |               |                  |
|  | * D15M12         | peu porphyrique<br>5-10%<br>microgrenue     | 1-2%<br>-> 1mm        | 35%<br>->2,5mm    |                |     |                    | 15%<br>->500μ | 40% FK<br>10% QZ |

b) Zones Vot Tande et Hazel Holme.

| Mésostase |     |     |               | Texture  | Indices de mise en place sous-éprine                | Remarques   | Roche |
|-----------|-----|-----|---------------|--|---|---|-------|
| Pl.       | Cpx | Op. | Autres        |  |   |   |       |
| +         | +   | +   |               | Fond vitreux (28%) altéré                                  |   | Agrégats polycristallins opaques inclus dans P et Cpx Pl. zonés, inclus dans Cpx, et en glomérocristaux Cpx en glomérocristaux, parfois à cœur d'Opx ou à bordure microgrenue | B     |
| +         |     | +   | + Ol.         | Fond vitreux 38-48%  | Microlites de Pl. bifides                           | Structure à tendance fluidale (alignement des microlites et des vacuoles) Ol. fraîches ou squelettiques, incluant parfois Op. + Pl.   | B     |
| +         | +   | SC  | + Ol.         | Fond microlitique très fin et riche en microlites orientés |   | Structure à tendance fluidale (alignement des microlites et des vacuoles)   | B     |
| +         | +   | +   | + Ep.         | Fond altéré  | Microlites de Pl. bifides ou en boucles de ceinture | Altération en chlorite-épidote  | B     |
| +         |     | SC  |               | Fond altéré  | Microlites de Pl. bifides ou en boucles de ceinture | Pl. en glomérocristaux et incluant des Op.  | B     |
| +         | +   | Il. | + Ep.<br>Chl. | Fond altéré  |   |   | B     |
| +         | +   | TM  | + Ep.<br>Ol.  | Microgrenue  |   | Pl. en glomérocristaux (-> 4mm)   | B     |
| +         | +   |     | +             | Fond microvacuolaire avec Ep. et Chl.                      | Microlites de Pl. bifides                           | Agrégats de Pl.-Cpx-Ol. opaques inclus dans Pl. Pl. inclus dans Ol. Vacuoles à Quartz-Epidote   | B     |
| +         |     | +   | + FK<br>QZ    | Fond très altéré (non vitreux)                             |   | Pl. en glomérocristaux très altérés   | D     |

## b) Zones Vot Tande et Hazel Holme (suite)

| Ech.     | Structure                                | Vésicules                          | Phénocristaux      |                    |                   | Microphénocristaux |                 |                          |
|----------|--|------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------------|
|          |  |                                    | Pl.                | Cpx                | Opx               | Ol.                | Opa.            | Autres                   |
| * 027M12 | Dolérite                                 |                                    | mp                 | mp                 |                   | qq<br>fantômes     | mp<br>TM        |                          |
| * 029M6  | porphyrique<br>10-15%<br>intergranulaire | 5%<br>-> 3mm                       | 15%<br>< 1mm       | 35%<br>-> 3mm      |                   | 50%<br>-> 3mm      | < 1%            |                          |
| 031M2    | porphyrique<br>10-15%<br>intersertale    | 25%<br>-> 1mm<br>rondes            | 60%<br>-> 1,5mm    | 20%<br>-> 3,5mm    |                   | 20%<br>-> 3mm      | < 1%            |                          |
| * 031M1  | porphyrique<br>25%<br>intersertale       | 15%<br>-> 5mm<br>rondes            | 50-55%<br>-> 4mm   | 30-35%<br>-> 3mm   |                   | 10-15%<br>-> 2mm   |                 |                          |
| * 030M2  | peu porphyrique<br>10%<br>intersertale   | 20-25%<br>-> 1mm<br>rondes         | 15-20%<br>< 500µ   | 5-10%<br>-> 5mm    |                   | 70-75%<br>-> 2mm   | 1%<br>SC        |                          |
| 030M1    | porphyrique<br>20%<br>intersertale       | 15-20%<br>-> 2mm<br>amygdaloïdales | 60%<br>< 1mm       | 15%<br>-> 4mm      | 1-2%<br>-> 2,5mm  | 25%<br>-> 3mm      |                 |                          |
| * 027M17 | microgrenue                              | 3-4%                               | > 90%<br>-> 1mm    | < 1%<br>-> 1mm     |                   |                    | 5%<br>-> 450µ   | Amph.<br>FK<br>QZ<br>Rp. |
| * 027M1  | porphyrique<br>10%<br>vitreuse           | 5-10%<br>-> 2mm                    | 80-85%<br>-> 3,5mm | 10%<br>-> 2mm      | 1%                |                    | 6-7%<br>-> 350µ |                          |
| 027M4    | peu porphyrique<br>5-10%<br>vitreuse     | 3%<br>-> 2mm<br>allongées          | 65%<br>-> 5mm      | 15-20%<br>-> 1,5mm | 5-10%<br>-> 1,5mm |                    | 10%<br>-> 300µ  |                          |
| 029M3    | porphyrique<br>10-15%<br>vitreuse        | 10%<br>-> 1mm                      | 85-90%<br>-> 5mm   | 5-10%<br>-> 500µ   | 1-2%<br>< 500µ    |                    | 4-5%<br>-> 300µ |                          |
| 028M1    | microgrenue<br>15-20% de<br>cristaux     | < 2%                               | 80-85%<br>-> 2,5mm |                    |                   | 15-20%             |                 |                          |
| * 026M6  | porphyrique<br>10-15%<br>vitreuse        | 10%<br>amygdaloïdales              | 70-75%<br>-> 2mm   | 10-15%<br>-> 1,5mm | 4-5%<br>-> 1,5mm  |                    | 2%              |                          |
| 026M7    | porphyrique<br>15-20%<br>vitreuse        | < 1%                               | 80-85%<br>-> 2,5mm | 7-8%<br>-> 1,5mm   | 5%<br>-> 1,5mm    |                    | 4-5%<br>-> 400µ |                          |

c) Zone Vaté.

| Mésostase |     |      |           | Texture   | Indices de mise en place sous-marine                   | Remarques  | Roche |
|-----------|-----|------|-----------|---|--|--|-------|
| Pl.       | Cpx | Opa. | Autres    |   |  |  |       |
| +         | +   | +    | +<br>Chl. |   |  | Taille des grains = 300f<br>Pl. en sphérolites<br>Zones plus altérées  | B     |
| +         | +   | +    | +<br>Ep.  |   |  | Cpx en glomérocristaux<br>Ol. chloritisées<br>Vacuoles recristallisées   | B     |
| +         | +   | +    |           | Fond vitreux:<br>altéré<br>20%  |  | Agrégats de Pl.-Cpx-Ol.<br>Cpx en glomérocristaux,<br>incluant des Op. et des Pl.,<br>à bordure réactionnelle                      | B     |
| +         | +   | +    |           | Fond vitreux:<br>altéré<br>10%  |  | Agrégats de Pl.-Cpx-Ol.<br>Cpx en glomérocristaux,<br>à bordure réactionnelle<br>Pl. à inclusions fluides                          | B     |
| +         |     | +    |           | Verre altéré<br>68-65%  |  | Cpx en glomérocristaux,<br>incluant des Ol. (-> 500f)<br>Ol. incluant des SC   | AB    |
| +         |     | +    |           | Verre altéré<br>55%<br>Trains de microbulles                          |  | Agrégats de Pl.-Cpx-Ol.<br>Glomérocristaux de Pl.,<br>Ol., Cpx; Opx à cœur de Cpx<br>Cpx incluant Ol.,<br>Ol. incluant Cpx         | AB    |
| +         | +   | +    | +         |   |  | Grain de lam   | Oi    |
| +         | +   | +    |           | Verre altéré<br>70-75%<br>microvacuolaire                             | Microlites de Pl. bifides                              | Glomérocristaux de Pl.<br>Agrégats de Pl.-Cpx-Ol.<br>Pl. incluant des Op. et Cpx   | A     |
| +         | +   | +    |           | Fond vitreux<br>perlitique (80%)<br>Fluidalité                        | Microlites de Pl. bifides                              | Agrégats de Pl.-Cpx-Ol.<br>et de Cpx-Opx-Op.<br>Pl. incluant des Op. et verre  | O     |
| +         |     | +    | +<br>Ep.  | 70% verre<br>microbulles  | Microlites de Pl. bifides<br>ou en boucles de ceinture | Glomérocristaux de Pl. et Cpx<br>Pl. incluant Op., verre, Cpx<br>Cpx incluant Op.  | O     |
|           |     |      |           | Fond microgranu<br>felsique   |  | Argile interstitielle<br>OZ de recristallisation   | Oi    |
| +         | +   | +    |           | Fond vitreux<br>perlitique (75%)<br>Microlites rares<br>microvacuoles | Microlites de Pl. bifides                              | Agrégats polycristallins<br>Glomérocristaux de Pl.<br>Pl. incluant Op., verre, Cpx<br>Cpx incluant Op.<br>Enclave microdoléritique | O     |
| +         | +   | +    |           | Fond vitreux<br>perlitique (80%)<br>Microlites rares<br>microvacuoles | Microlites de Pl. bifides                              | Agrégats polycristallins<br>Glomérocristaux de Pl.<br>Pl. incluant Op., verre, Cpx<br>Cpx incluant Op.                             | O     |

c) Zone Vaté (suite)

|   | Ech.    | Structure                                  | Vésicules                          | Phénocristaux + Microphénocristaux |                   |                |                    |                 |        |
|---|---------|--|------------------------------------|------------------------------------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------|--------|
|   |         |  |                                    | Pl.                                | Cpx               | Opx            | Ol.                | Opa.            | Autres |
| Z<br>O<br>N<br>E<br>E<br>R<br>R<br>O<br>M<br>A<br>N<br>G<br>O | D22M1   | porphyrique<br>25-30%<br>intergranulaire   |                                    | 30-35%<br>-> 2mm                   | 30-35%<br>-> 5mm  |                | 30-35%<br>->2,5mm  | 2-3%            |        |
|   | * D25M2 | très porphyrique<br>35%<br>intergranulaire | 6%<br>amygdaloïdales<br>200µ à 5mm | 60%<br>-> 5mm                      | 25%<br>-> 5mm     |                | 8%<br>< 1mm        | 6%<br>->250µ    |        |
|   | D24M6   | porphyrique<br>25%<br>intersertale         | 20-25%<br>-> 750µ<br>rondes        | 95%<br>-> 5mm                      | 5%<br>->500µ      |                | 20%<br>-> 3mm      | < 1%            |        |
|   | * D24M4 | très porphyrique<br>35%<br>intersertale    |                                    | 55%<br>-> 3mm                      | 30-35%<br>-> 4mm  |                | 11%<br>->1,5mm     |                 |        |
|   | * D24M3 | porphyrique<br>10%<br>intersertale         | < 1%                               | 75%<br>->2,5mm                     | 15-20%<br>-> 1mm  |                |                    | 5-10%<br>->250µ |        |
| Z<br>O<br>N<br>E<br>F<br>U<br>T<br>U<br>N<br>A                | * D19M1 | porphyrique<br>15-20%<br>intersertale      | 15-20%<br>-> 2mm<br>amygdaloïdales | 15-20%<br>-> 1mm                   | 20-25%<br>-> 1mm  |                | 60%<br>-> 2mm      |                 |        |
|   | * D21M7 | porphyrique<br>10-15%<br>intersertale      |                                    | 30%<br>< 1mm                       | 40%<br>-> 4mm     |                | 30%<br>->1,5mm     | qq              |        |
|   | D20M4   | très porphyrique<br>30%                    | 15%<br>-> 2mm<br>rondes            | 70-75%<br>-> 3mm                   | 10%<br>-> 3mm     |                | 15%<br>-> 2mm      | 1-2%            |        |
|   | * D21M1 | très porphyrique<br>35%<br>intergranulaire | < 1%                               | 35%<br>-> 1mm                      | 35-40%<br>->5-6mm |                | 25%<br>-> 5mm      |                 |        |
|   | * D16M1 | porphyrique<br>25%<br>intersertale         | 4%<br>->700µ                       | 60%<br>->2,5mm                     | 20-25%<br>-> 2mm  | 10%<br>->1,5mm |                    | 2-3%<br>->500µ  | 1Amph. |
|   | D17M3   | très porphyrique<br>30%<br>intersertale    |                                    | 40%<br>->3,5mm                     | 30%<br>-> 2mm     |                | 25-30%<br>Fantomes | 2%<br>->200µ    |        |
|   | D20M6   | porphyrique<br>20%<br>intersertale         | 25-30%<br>-> 2mm                   | 70%<br>->2,5mm                     | 20%<br>-> 2mm     | 3-4%<br>-> 1mm | 4-5%<br>-> 1mm     | 1-2%            |        |
|   | D20M1   | très porphyrique<br>35%<br>intersertale    | 5-10%<br>-> 3mm                    | 70%<br>-> 3mm                      | 15-20%<br>-> 2mm  | 1-2%           |                    | < 1%            |        |
|   | * D20M3 | porphyrique<br>15-20%<br>intersertale      | 30-35%<br>-> 2mm                   | 70%<br>->2,5mm                     | 25%<br>-> 3mm     | 2-3%<br>->500µ | 1-2%<br>->1,2mm    | qq<br>->200µ    |        |

## d) Zones Erromango et Futuna.

| Mésostase |     |               |          | Texture  | Indices de mise en place sous-marine                | Remarques  | Roche |
|-----------|-----|---------------|----------|--|---|--|-------|
| Pl        | Cpx | Opa.          | Autres   |  |   |  |       |
| +         | +   | +             | + Ep.    |  | Microlites de Pl. bifides                           | Glomérocristaux de Pl. et Cpx<br>Cpx incluant des Ol. et Opa.<br>Ol. incluant des Opa. et Pl.<br>Agrégats de Cpx-Ol.                                 | B     |
| +         |     | +             |          | Grain très fin<br>Saupoudrage de micro<br>Opaques          | Microlites de Pl. bifides                           | Glomérocristaux de Pl. et Cpx<br>Cpx incluant des Opa. +/- Pl.<br>Agrégats polycristallins   | B     |
| +         | +   | +             |          | Fond vitreux (48%)<br>altéré<br>micro opaques              |   | Glomérocristaux de Pl.<br>Pl. incluant des Opa. +/- Cpx<br>Agrégats de Pl.-Cpx-Ol.   | B     |
| +         | +   | +<br>TM<br>SC |          | Fond altéré<br>très fin                                    | Microlites de Pl. bifides                           | Glomérocristaux de Pl. Cpx Ol.<br>Cpx incluant des Op.; Ol.<br>incluant Opa.; Pl. incluant Cpx<br>Agrégats polycristallins                           | B     |
| +         | +   | +<br>TM       |          | Fond vitreux<br>(18-15%)<br>Microlites orientés            | Microlites de Pl. bifides                           | Glomérocristaux de Pl.<br>Opa. inclus dans Pl. et Cpx<br>Agrégats polycristallins  | O     |
| +         | +   | +<br>SC       | +<br>Ol. | Fond vitreux (8%)<br>altéré<br>Microvacuoles               | Microlites de Pl. bifides                           |  | B     |
| +         | +   | +             | +<br>Ol. | Fond vitreux (35%)<br>altéré                               |   | Peu d'agrégats et de<br>glomérocristaux  | B     |
| +         | +   | +             |          | Très riche en<br>microlites                                |   | Pl. incluant des Opa., zonés<br>Agrégats de Pl.-Cpx,<br>Ol.-Cpx  | B     |
| +         | +   | +<br>TM       | +<br>Ol. |  |   | Pl. incluant des Opa.<br>Ol. incluant des Opa. +/- Pl.<br>Chlorite interstitielle  | B     |
| +         | +   | +             |          | Fond vitreux (15%)<br>altéré                               | Microlites de Pl. bifides                           | Glomérocristaux de Pl. et Cpx<br>Pl. incluant des Opa. +/- Cpx<br>Cpx incluant des Opa.<br>Opx incluant des Opa. +/- Pl.<br>Agrégats de Pl.-Cpx-Opa. | AB    |
| +         |     | +             |          | Fond vitreux (15%)<br>altéré                               | Microlites de Pl. bifides<br>ou boucles de ceinture | Pl. incluant des Opa. + Cpx<br>Cpx incluant des Opa.<br>Agrégats de Pl.-Cpx-Opa.   | AB    |
| +         | +   | +             |          | Fond vitreux (33%)<br>altéré<br>Microvacuoles              | Microlites de Pl. bifides                           | Enclave microgrenue à<br>Pl. + Cpx + Opa.  | AB    |
| +         | +   | +             |          | Fond vitreux (33%)<br>altéré                               | Microlites de Pl. bifides                           | Pl. incluant des Opa. + Cpx<br>Cpx incluant des Opa. + Pl.<br>Agrégats de Pl.-Cpx +/- Ol.  | AB    |
| +         | +   | +             | +<br>Opx | Fond vitreux (48%)<br>altéré<br>Microvacuoles<br>orientées | Microlites de Pl. bifides                           | Pl. incluant des Opa. + Cpx<br>Cpx incluant des Opa. + Pl. + Ol.<br>Agrégats de Pl.-Cpx-Opa.   | AB    |

## d) Zones Erromango et Futuna (suite)

## Planche I

### Laves des îles

Photo 1 : Basalte porphyrique à texture intersertale, VGM1 de l'île de Vot Tande (Banks du Nord).

Photo 2 : Basalte porphyrique, URG2 de l'île d'Ureparapara (Banks du Nord), phénocrystal de clinopyroxène zoné.

Photo 3 : Phénocrystal de clinopyroxène à inclusions d'opagues du basalte URG2.

Photo 4 : Phénocrystal de clinopyroxène à inclusions d'opagues du basalte ankaramitique MVA15 de l'île de Mota Lava (Banks du Nord).

### Laves des fossés

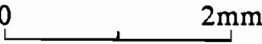

Photo 5 : Mésostase à microlites bifides de plagioclase, andésite basique D16M1 du fossé de Futuna.

### Basaltes subaphyriques plagioclasiques

Photo 6 : Basalte D2M1 vacuolaire plagioclasique du fossé de Vanikoro.

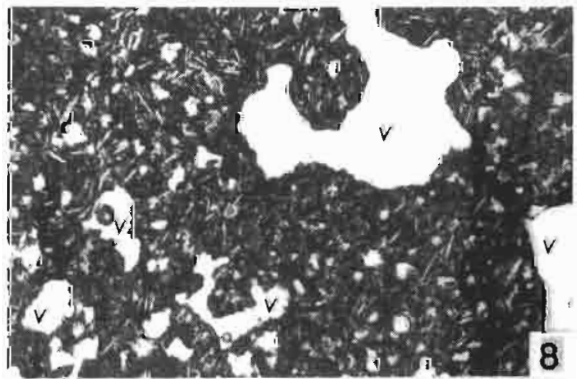
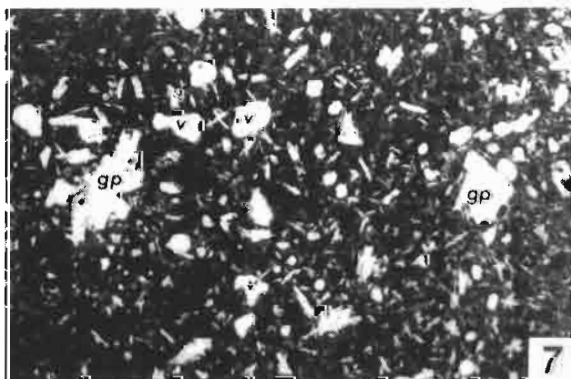
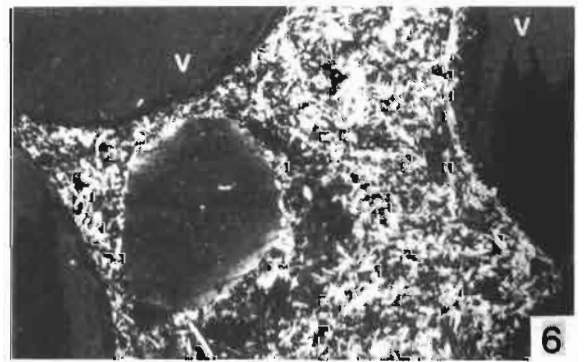
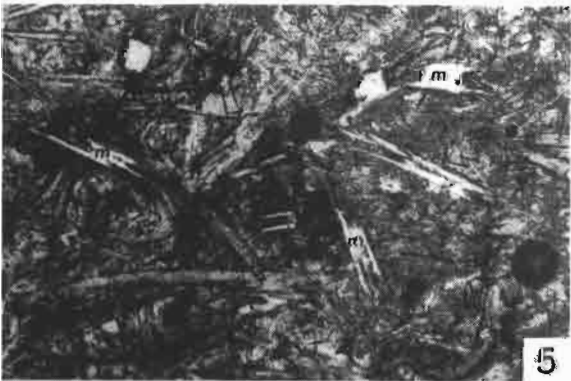
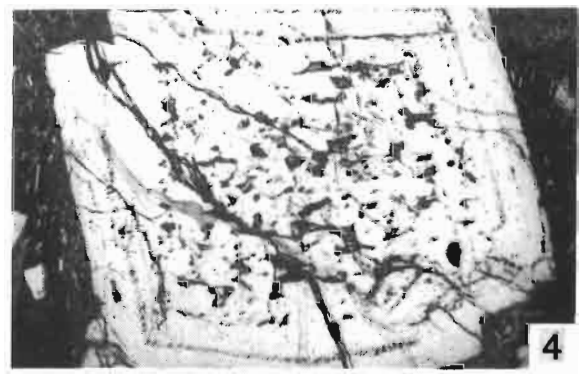
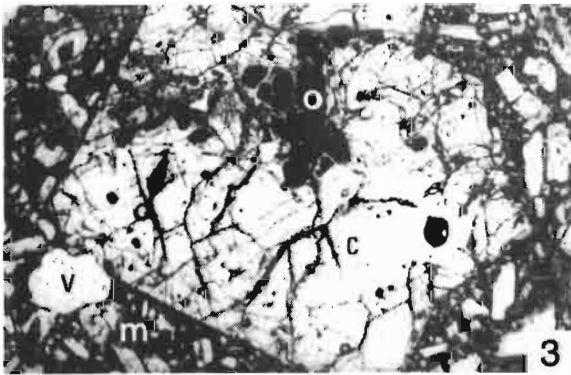
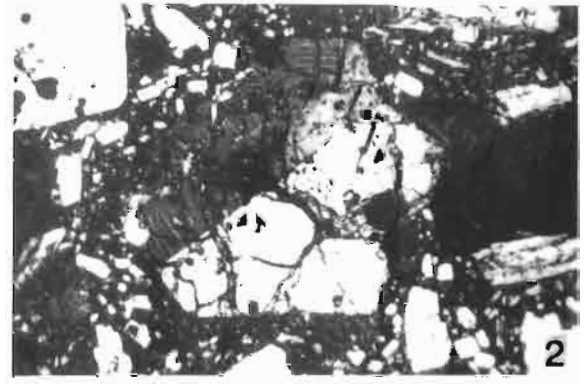
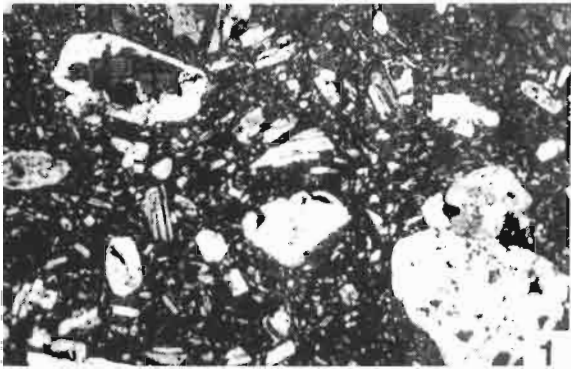
Photo 7 : Basalte D5M5 vacuolaire plagioclasique du fossé de Vanikoro.

Photo 8 : Basalte D3M3 plagioclasique, à vacuoles amygdaloïdes de taille variable, du fossé de Vanikoro.

Echelle 0  2mm  
ou 0  50 u (photo 5)

### Légende générale des planches photos

|    |                 |    |                                  |
|----|-----------------|----|----------------------------------|
| p  | = plagioclase   | A  | = agrégat                        |
| ol | = olivine       | m  | = microlite                      |
| c  | = clinopyroxène | v  | = vacuole                        |
| op | = orthopyroxène | gp | = glomérocristaux de plagioclase |
| o  | = opaque        |    |                                  |



## Planche II

Photo 1 : Basalte D7M2 du fossé de Vanikoro, subaphyrique à olivine.

### Basaltes peu porphyriques

Photo 2 : Basalte D10M1 du fossé de Vot Tande, à plagioclase et olivine squelettique.

Photo 3 : Basalte D15M6 de la zone Hazel Holme, à plagioclase et olivine squelettique, agrégat polycristallin à plagioclase dominant.

Photo 4 : Détail de la mésostase intergranulaire du basalte D15M6.

Photo 5 : Basalte D12M1 du fossé de Vot Tande, à olivine, à structure fluidale de la mésostase.


Photo 6 : Basalte D29M6 du fossé de Vaté, à olivine et clinopyroxène dominants, avec des olivines déstabilisées (ol.d) ou chloritisées (ol.chl).


### Basaltes porphyriques et très porphyriques

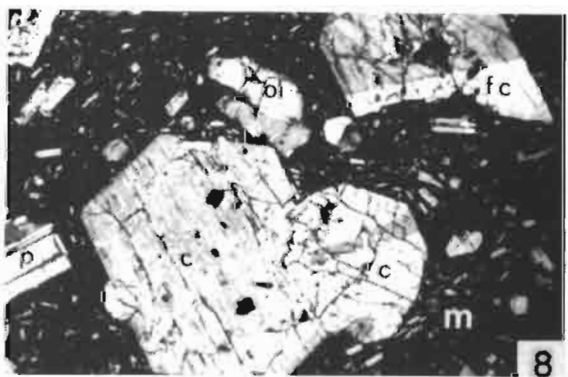
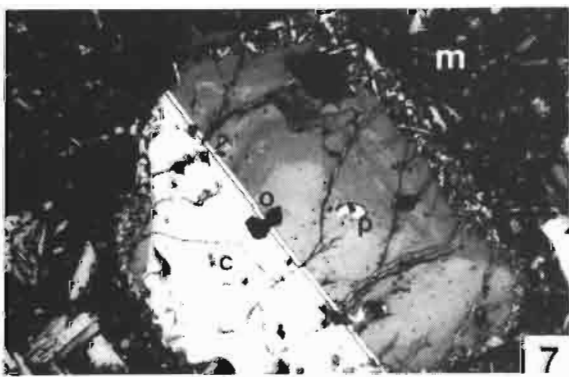
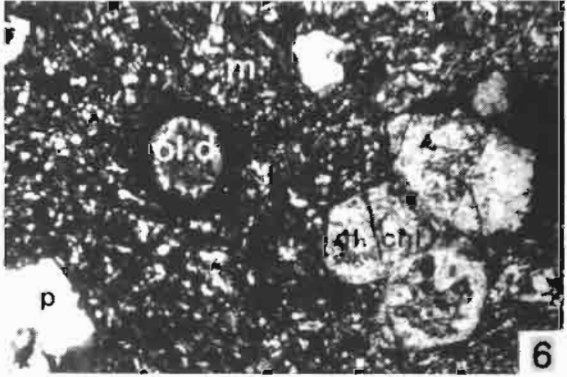
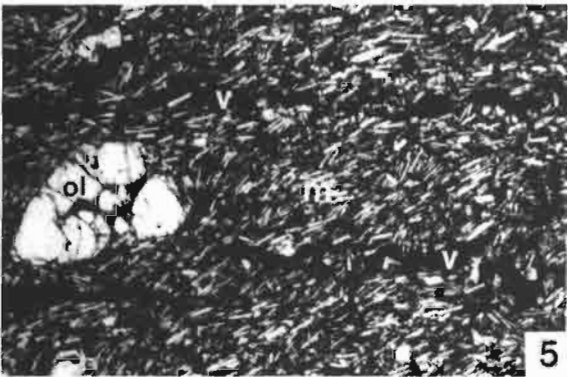
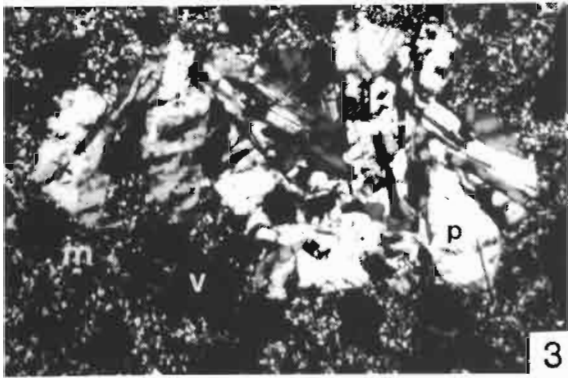
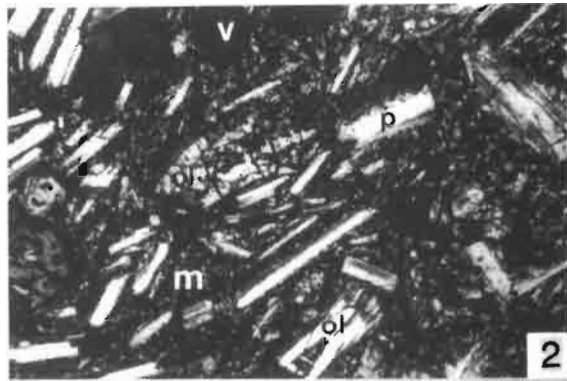
Photo 7 : Basalte D11M1 du fossé de Vot Tande, à plagioclase dominant, cristal de clinopyroxène zoné à bordure microgrenue.

Photo 8 : Basalte D24M4 du fossé d'Erromango, à plagioclase dominant, à cristaux de clinopyroxène automorphes (c) ou fragmentés (fc).

Echelle 0  2mm

ou 0  1,5mm (photos 2 et 7)

ou 0  1mm (photo 4)



## Planche III

### Basaltes porphyriques et très porphyriques

Photo 1 : Glomérocristaux de plagioclase (gp) et d'olivine (ol) du basalte D24M4 du fossé d'Erromango.

Photo 2 : Basalte D31M1 du fossé de Vaté, agrégats polycristallins (A1 - A2).

Photo 3 : Basalte ankaramitique D21M1 du fossé de Futuna, énorme cristal d'olivine à fissures iddingsitisées.

Photo 4 : Basalte ankaramitique D22M1 du fossé d'Erromango, à olivines partiellement conservées (ol 1) ou totalement serpentinisées (ol 2), mésostase intergranulaire.

### Andésites basiques

Photo 5 : Andésite basique porphyrique D16M1 du fossé de Futuna, agrégat polycristallin et clinopyroxène automorphe.

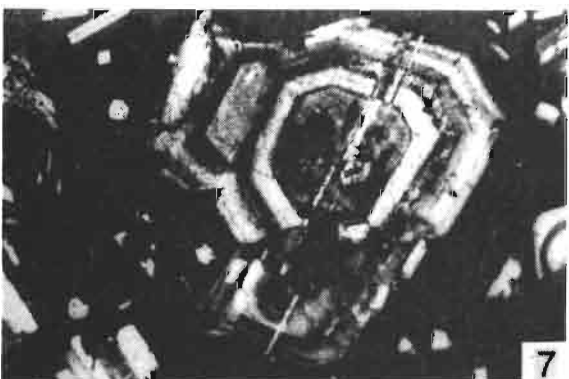
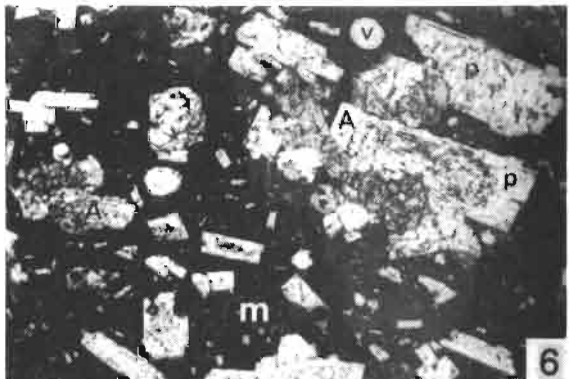
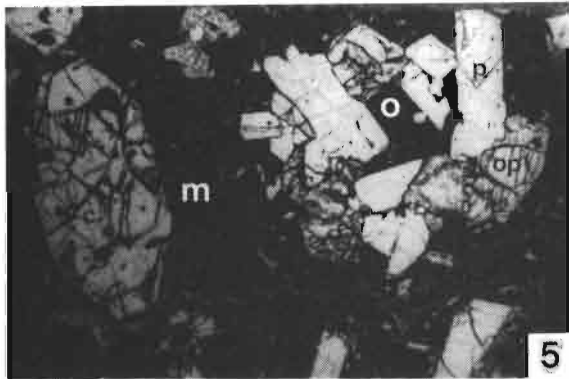
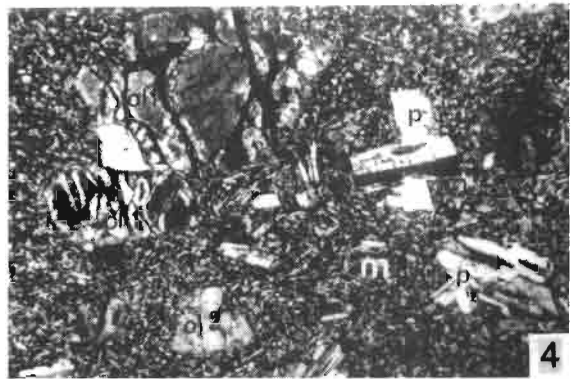
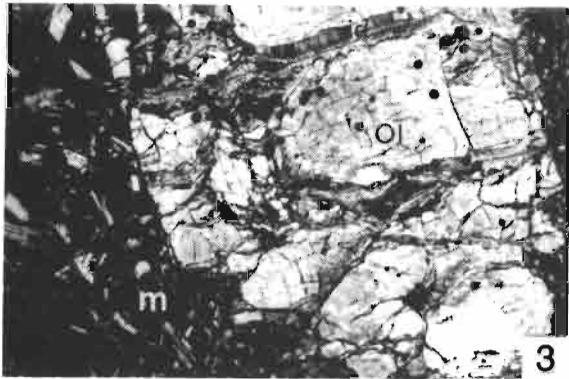
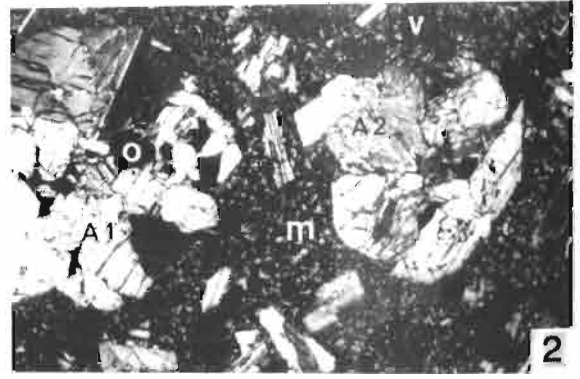
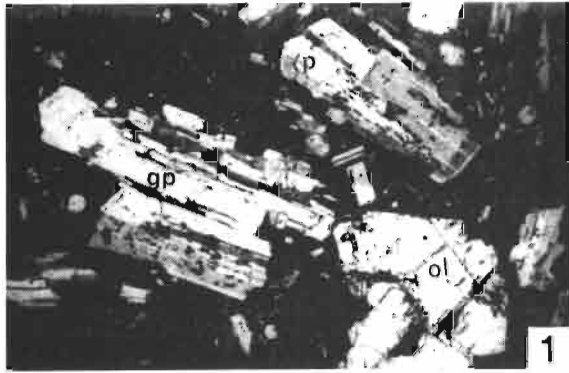
Photo 6 : Andésite basique porphyrique D20M1 du fossé de Futuna, agrégat polycristallin (A) et plagioclase altéré (p).

Photo 7 : Andésite basique porphyrique D20M9 du fossé de Futuna, phénocristal très zoné de plagioclase.

### Andésites acides

Photo 8 : Andésite D1M1 du fossé de Vanikoro, peu porphyrique, à plagioclase dominant et mésostase intersertale.

Echelle 0  2mm



## Planche IV

### Dacites

Photo 1 : Dacite peu porphyrique D1M9 du fossé de Vanikoro, olivines fraîches à bordure microgrenue.

Photo 2 : Dacite D27M1 du fossé de Vaté, agrégat polycristallin.

Photo 3 : Dacite D26M6 du fossé de Vaté, phénocristal zoné de clinopyroxène dans la mésostase vitreuse.

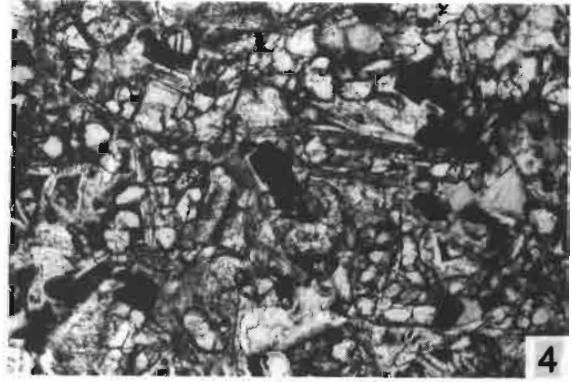
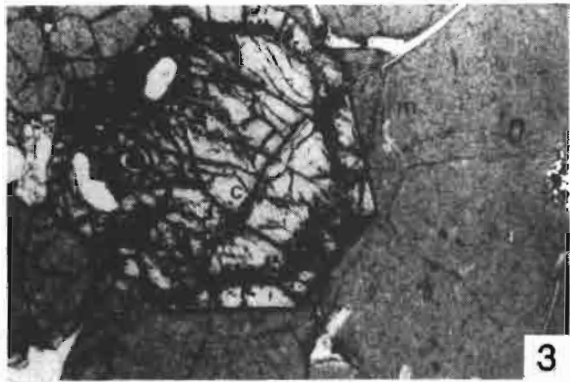
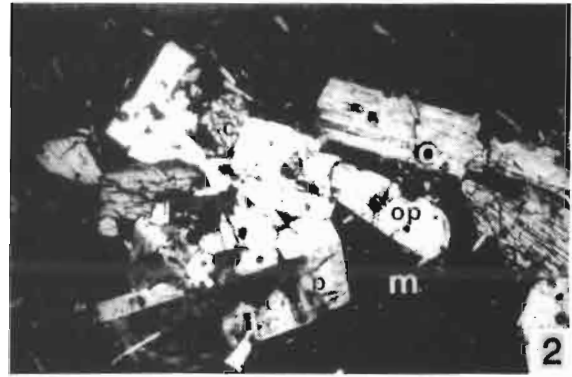
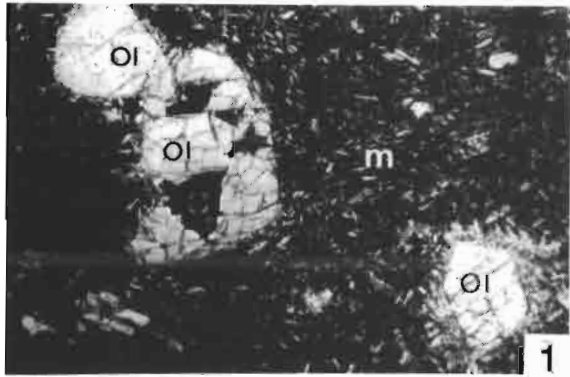
### Roches grenues

Photo 4 : Dolérite à grain fin D27M12 du fossé de Vaté.

Photo 5 : Diorite acide D28M1 du fossé de Vaté, à plagioclase et feldspath potassique.

Echelle 0  2mm

ou 0  1,5mm (photo 4)





| NIEch. | VLC115 suite |        | UR82   |        |        | URM2   |        |        |        |
|--------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | N analyses   |        | 179    | 180    | 182    | 226    | 243    | 232    | 245    |
|        | a            | a      |        |        |        | c      | c      | b      | b      |
| SiO2   | 33.36        | 33.70  | 37.12  | 37.21  | 38.35  | 38.02  | 37.91  | 37.25  | 37.21  |
| TiO2   | 0.10         | 0.06   | 0.00   | 0.37   | 0.02   | 0.04   | 0.00   | 0.01   | 0.00   |
| Al2O3  | 0.05         | 0.08   | 0.05   | 0.20   | 0.00   | 0.03   | 0.02   | 0.01   | 0.02   |
| FeO    | 47.46        | 37.86  | 30.71  | 31.65  | 24.12  | 28.74  | 29.72  | 32.68  | 31.31  |
| MnO    | 1.14         | 0.96   | 0.84   | 0.61   | 0.63   | 0.63   | 0.90   | 0.98   | 0.97   |
| MgO    | 16.91        | 26.01  | 33.39  | 29.62  | 38.95  | 35.17  | 33.81  | 31.74  | 31.88  |
| CaO    | 0.33         | 0.32   | 0.22   | 0.21   | 0.19   | 0.18   | 0.19   | 0.20   | 0.16   |
| Na2O   | 0.02         | 0.07   | 0.00   | 0.03   | 0.01   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.01   |
| K2O    | 0.00         | 0.02   | 0.06   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.02   | 0.00   | 0.02   |
| Cr2O3  | 0.00         | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.06   | 0.04   | 0.00   | 0.10   |
| Total  | 99.37        | 101.08 | 102.39 | 100.10 | 102.27 | 102.87 | 102.61 | 107.87 | 101.68 |
| Si     | 1.002        | 0.997  | 0.985  | 1.012  | 0.985  | 0.991  | 0.997  | 0.992  | 0.997  |
| Ti     | 0.002        | 0.001  | 0.000  | 0.012  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.000  |
| Al     | 0.002        | 0.003  | 0.002  | 0.006  | 0.000  | 0.001  | 0.001  | 0.000  | 0.001  |
| Fe     | 1.192        | 0.884  | 0.681  | 0.720  | 0.518  | 0.627  | 0.634  | 0.728  | 0.702  |
| Mn     | 0.029        | 0.023  | 0.019  | 0.014  | 0.014  | 0.014  | 0.020  | 0.022  | 0.022  |
| Mg     | 0.757        | 1.082  | 1.320  | 1.201  | 1.491  | 1.367  | 1.325  | 1.260  | 1.273  |
| Ca     | 0.011        | 0.010  | 0.006  | 0.006  | 0.005  | 0.003  | 0.003  | 0.006  | 0.005  |
| Na     | 0.001        | 0.004  | 0.000  | 0.002  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  |
| K      | 0.000        | 0.001  | 0.002  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.001  |
| Cr     | 0.000        | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.001  | 0.000  | 0.002  |
| TOTAL  | 2.996        | 3.003  | 3.015  | 2.974  | 3.015  | 3.007  | 3.003  | 3.008  | 3.002  |
| Fe     | 38.8         | 55.0   | 66.0   | 62.5   | 74.2   | 68.6   | 67.0   | 63.4   | 64.5   |
| Fa     | 61.2         | 45.0   | 34.0   | 37.5   | 25.8   | 31.4   | 33.0   | 36.6   | 35.5   |

Tableau III-17 suite

Tableau III-18 : Analyses chimiques des clinopyroxènes des laves des îles.  
*Microprobe analysis of clinopyroxenes for islands lavas.*

| Ech.       | URG2  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
|------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
|            | 139   |        | 142    |        | 144    |        | 147    |        | 149    |        | 185    |        | 141 |   | 146 |   | 148 |   | 145 |   | 145 |   | 158 |
| N analyses | c     | c      | c      | c      | c      | c      | c      | c      | c      | c      | i      | i      | i   | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   |
| SiO2       | 49,56 | 58,55  | 58,99  | 58,84  | 52,88  | 58,78  | 51,99  | 52,68  | 58,45  | 51,38  | 52,48  | 52,79  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| TiO2       | 0,79  | 0,49   | 0,66   | 0,66   | 0,48   | 0,56   | 0,45   | 0,43   | 0,68   | 0,65   | 0,41   | 0,37   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al2O3      | 4,67  | 4,86   | 3,77   | 4,25   | 2,58   | 4,86   | 2,82   | 2,58   | 3,97   | 3,46   | 2,24   | 1,87   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| FeO        | 0,62  | 0,38   | 0,83   | 0,17   | 7,61   | 0,72   | 7,95   | 0,82   | 0,34   | 0,78   | 9,55   | 0,53   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| MnO        | 0,22  | 0,31   | 0,13   | 0,34   | 0,45   | 0,14   | 0,24   | 0,40   | 0,25   | 0,35   | 0,29   | 0,39   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| MgO        | 14,79 | 15,19  | 15,19  | 15,31  | 16,22  | 15,19  | 16,53  | 15,95  | 15,28  | 15,43  | 16,76  | 16,51  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| CaO        | 28,42 | 28,85  | 28,85  | 21,19  | 28,86  | 21,18  | 28,71  | 28,57  | 21,16  | 28,62  | 18,84  | 19,98  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Na2O       | 0,28  | 0,38   | 0,27   | 0,37   | 0,37   | 0,42   | 0,25   | 0,34   | 0,29   | 0,42   | 0,34   | 0,25   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| K2O        | 0,88  | 0,88   | 0,81   | 0,85   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,88   | 0,81   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Cr2O3      | 0,84  | 0,88   | 0,89   | 0,88   | 0,15   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,85   | 0,87   | 0,86   | 0,14   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Total      | 99,39 | 108,13 | 108,79 | 108,36 | 108,68 | 108,97 | 108,94 | 108,97 | 108,37 | 108,99 | 108,89 | 108,84 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Si4+       | 1,856 | 1,877  | 1,883  | 1,888  | 1,917  | 1,873  | 1,907  | 1,929  | 1,871  | 1,898  | 1,937  | 1,939  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Ti4+       | 0,822 | 0,814  | 0,818  | 0,818  | 0,811  | 0,816  | 0,812  | 0,812  | 0,819  | 0,818  | 0,811  | 0,818  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al3+       | 0,286 | 0,178  | 0,164  | 0,186  | 0,188  | 0,177  | 0,122  | 0,188  | 0,174  | 0,158  | 0,898  | 0,881  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Fe2+       | 0,278 | 0,268  | 0,273  | 0,254  | 0,234  | 0,269  | 0,244  | 0,246  | 0,259  | 0,268  | 0,295  | 0,262  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Mn2+       | 0,887 | 0,818  | 0,884  | 0,811  | 0,814  | 0,884  | 0,887  | 0,815  | 0,888  | 0,818  | 0,889  | 0,812  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Mg2+       | 0,826 | 0,841  | 0,836  | 0,847  | 0,898  | 0,835  | 0,984  | 0,872  | 0,848  | 0,814  | 0,925  | 0,984  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Ca2+       | 0,819 | 0,838  | 0,825  | 0,843  | 0,823  | 0,834  | 0,814  | 0,888  | 0,841  | 0,814  | 0,715  | 0,786  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Na+        | 0,828 | 0,822  | 0,819  | 0,827  | 0,826  | 0,838  | 0,818  | 0,824  | 0,821  | 0,838  | 0,824  | 0,818  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| K+         | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Cr3+       | 0,881 | 0,888  | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,884  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| TOTAL      | 4,828 | 4,831  | 4,825  | 4,845  | 4,829  | 4,838  | 4,828  | 4,816  | 4,833  | 4,831  | 4,814  | 4,817  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| MO         | 42,6  | 42,8   | 42,6   | 43,1   | 42,8   | 42,9   | 41,3   | 41,6   | 43,2   | 42,8   | 36,8   | 48,8   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| EN         | 43,8  | 43,3   | 43,1   | 43,3   | 43,4   | 43,8   | 43,9   | 44,9   | 43,1   | 43,7   | 47,5   | 46,8   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| FS         | 14,1  | 13,4   | 14,1   | 13,8   | 12,8   | 13,9   | 12,4   | 12,7   | 13,3   | 13,8   | 15,2   | 13,4   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al IV      | 0,157 | 0,157  | 0,129  | 0,163  | 0,897  | 0,144  | 0,186  | 0,879  | 0,144  | 0,124  | 0,878  | 0,869  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al VI      | 0,848 | 0,839  | 0,834  | 0,821  | 0,811  | 0,831  | 0,815  | 0,829  | 0,828  | 0,825  | 0,827  | 0,812  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Fe 3+      | 0,884 | 0,892  | 0,876  | 0,133  | 0,883  | 0,113  | 0,884  | 0,848  | 0,898  | 0,892  | 0,842  | 0,831  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Fe 2+      | 0,184 | 0,166  | 0,193  | 0,118  | 0,148  | 0,154  | 0,158  | 0,197  | 0,158  | 0,174  | 0,222  | 0,218  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |

| Ech.       | URM2   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|
|            | 177    |        | 178    |        | 191    |        | 194    |        | 197    |        | 224    |        | 193 |   | 192 |   | 195 |   | 223 |   | 237 |   | 248 |
| N analyses | a      | a      | c      | c      | c      | c      | c      | c      | i      | b      | b      | b      | b   | b | b   | b | b   | a | a   | a | a   | a | a   |
| SiO2       | 51,87  | 53,82  | 51,11  | 51,82  | 52,57  | 52,46  | 51,79  | 52,11  | 51,33  | 51,28  | 51,28  | 52,19  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| TiO2       | 0,39   | 0,35   | 0,43   | 0,49   | 0,37   | 0,51   | 0,46   | 0,41   | 0,52   | 0,74   | 0,66   | 0,49   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al2O3      | 1,62   | 1,35   | 3,58   | 2,18   | 1,88   | 1,68   | 2,75   | 2,49   | 3,24   | 3,43   | 2,59   | 1,28   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| FeO        | 11,83  | 9,72   | 6,97   | 9,99   | 9,36   | 8,76   | 7,58   | 8,81   | 9,24   | 9,44   | 11,37  | 13,74  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| MnO        | 0,61   | 0,62   | 0,17   | 0,67   | 0,37   | 0,54   | 0,29   | 0,35   | 0,44   | 0,45   | 0,43   | 0,94   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| MgO        | 16,88  | 17,88  | 15,49  | 15,55  | 15,82  | 16,43  | 15,98  | 15,22  | 15,88  | 15,16  | 14,84  | 15,16  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| CaO        | 18,22  | 18,58  | 22,81  | 19,59  | 28,12  | 19,58  | 28,99  | 28,32  | 28,56  | 28,32  | 18,98  | 16,56  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Na2O       | 0,39   | 0,38   | 0,37   | 0,43   | 0,35   | 0,32   | 0,44   | 0,41   | 0,29   | 0,36   | 0,42   | 0,31   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| K2O        | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,81   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,83   | 0,88   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Cr2O3      | 0,82   | 0,82   | 0,88   | 0,18   | 0,88   | 0,88   | 0,12   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,84   | 0,88   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Total      | 188,25 | 181,14 | 188,14 | 188,75 | 188,76 | 188,25 | 188,32 | 188,18 | 188,62 | 181,18 | 188,64 | 188,67 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Si4+       | 1,935  | 1,945  | 1,891  | 1,925  | 1,941  | 1,941  | 1,912  | 1,933  | 1,982  | 1,898  | 1,912  | 1,933  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Ti4+       | 0,811  | 0,818  | 0,812  | 0,814  | 0,818  | 0,814  | 0,813  | 0,811  | 0,814  | 0,821  | 0,819  | 0,814  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al3+       | 0,871  | 0,866  | 0,156  | 0,892  | 0,878  | 0,873  | 0,128  | 0,189  | 0,142  | 0,149  | 0,114  | 0,836  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Fe2+       | 0,344  | 0,298  | 0,216  | 0,318  | 0,289  | 0,271  | 0,232  | 0,273  | 0,286  | 0,291  | 0,355  | 0,438  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Mn2+       | 0,819  | 0,819  | 0,885  | 0,821  | 0,812  | 0,817  | 0,888  | 0,818  | 0,814  | 0,814  | 0,814  | 0,838  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Mg2+       | 0,894  | 0,934  | 0,854  | 0,859  | 0,871  | 0,986  | 0,879  | 0,841  | 0,828  | 0,834  | 0,825  | 0,846  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Ca2+       | 0,728  | 0,727  | 0,872  | 0,778  | 0,796  | 0,775  | 0,838  | 0,888  | 0,816  | 0,884  | 0,758  | 0,664  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Na+        | 0,828  | 0,821  | 0,827  | 0,831  | 0,825  | 0,825  | 0,831  | 0,829  | 0,821  | 0,826  | 0,838  | 0,822  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| K+         | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Cr3+       | 0,881  | 0,881  | 0,888  | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,884  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| TOTAL      | 4,832  | 4,822  | 4,833  | 4,832  | 4,822  | 4,828  | 4,829  | 4,816  | 4,823  | 4,828  | 4,828  | 4,816  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| MO         | 36,7   | 36,8   | 44,8   | 39,6   | 48,5   | 39,4   | 42,6   | 41,8   | 42,8   | 41,4   | 38,9   | 33,7   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| EN         | 45,8   | 47,2   | 43,9   | 43,6   | 44,3   | 46,8   | 43,5   | 42,6   | 43,9   | 42,9   | 42,3   | 42,9   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| FS         | 17,5   | 15,1   | 11,1   | 15,8   | 14,7   | 13,8   | 11,9   | 14,2   | 14,7   | 15,8   | 18,2   | 21,9   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al IV      | 0,888  | 0,865  | 0,125  | 0,892  | 0,878  | 0,869  | 0,182  | 0,874  | 0,189  | 0,124  | 0,181  | 0,854  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Al VI      | 0,888  | 0,881  | 0,838  | 0,888  | 0,888  | 0,884  | 0,817  | 0,834  | 0,832  | 0,825  | 0,812  | 0,882  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Fe 3+      | 0,895  | 0,886  | 0,898  | 0,894  | 0,886  | 0,899  | 0,888  | 0,847  | 0,878  | 0,884  | 0,884  | 0,847  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |
| Fe 2+      | 0,246  | 0,231  | 0,116  | 0,213  | 0,222  | 0,218  | 0,142  | 0,225  | 0,215  | 0,286  | 0,269  | 0,381  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |

| Ech.       | BOK11  |       |        |        |        |        |        |   |     |   |     |   |     |
|------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|---|-----|---|-----|---|-----|
|            | 181    |       | 184    |        | 185    |        | 182    |   | 183 |   | 128 |   | 129 |
| N analyses | c      | c     | c      | b      | b      | a      | a      | a | a   | a | a   | a | a   |
| SiO2       | 52,91  | 52,35 | 52,74  | 52,88  | 52,53  | 51,77  | 53,96  |   |     |   |     |   |     |
| TiO2       | 0,32   | 0,37  | 0,48   | 0,47   | 0,48   | 0,65   | 0,34   |   |     |   |     |   |     |
| Al2O3      | 1,25   | 1,94  | 1,11   | 1,54   | 1,59   | 2,24   | 1,82   |   |     |   |     |   |     |
| FeO        | 9,89   | 9,48  | 9,29   | 9,65   | 9,77   | 18,25  | 9,74   |   |     |   |     |   |     |
| MnO        | 0,52   | 0,54  | 0,83   | 0,94   | 0,78   | 0,85   | 0,81   |   |     |   |     |   |     |
| MgO        | 15,94  | 15,18 | 15,58  | 15,89  | 15,49  | 14,67  | 15,19  |   |     |   |     |   |     |
| CaO        | 19,84  | 18,45 | 19,69  | 19,65  | 19,89  | 28,48  | 28,32  |   |     |   |     |   |     |
| Na2O       | 0,33   | 0,34  | 0,46   | 0,35   | 0,44   | 0,45   | 0,49   |   |     |   |     |   |     |
| K2O        | 0,88   | 0,14  | 0,88   | 0,81   | 0,81   | 0,88   | 0,88   |   |     |   |     |   |     |
| Cr2O3      | 0,81   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,83   | 0,88   | 0,84   |   |     |   |     |   |     |
| Total      | 188,21 | 98,71 | 188,82 | 188,51 | 188,81 | 181,36 | 181,91 |   |     |   |     |   |     |
| Si4+       | 1,961  | 1,966 | 1,964  | 1,933  | 1,932  | 1,917  | 1,974  |   |     |   |     |   |     |
| Ti4+       | 0,889  | 0,818 | 0,811  | 0,813  | 0,818  | 0,818  | 0,889  |   |     |   |     |   |     |
| Al3+       | 0,835  | 0,886 | 0,849  | 0,867  | 0,878  | 0,898  | 0,844  |   |     |   |     |   |     |
| Fe2+       | 0,282  | 0,298 | 0,289  | 0,388  | 0,273  | 0,317  | 0,298  |   |     |   |     |   |     |
| Mn2+       | 0,816  | 0,817 | 0,826  | 0,838  | 0,825  | 0,827  | 0,825  |   |     |   |     |   |     |
| Mg2+       | 0,888  | 0,845 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,818  | 0,828  |   |     |   |     |   |     |
| Ca2+       | 0,788  | 0,742 | 0,785  | 0,784  | 0,792  | 0,813  | 0,797  |   |     |   |     |   |     |
| Na+        | 0,824  | 0,825 | 0,833  | 0,825  | 0,832  | 0,832  | 0,835  |   |     |   |     |   |     |
| K+         | 0,888  | 0,887 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |   |     |   |     |   |     |
| Cr3+       | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,881  |   |     |   |     |   |     |
| TOTAL      | 4,815  | 3,996 | 4,818  | 4,833  | 4,815  | 4,832  | 4,811  |   |     |   |     |   |     |
| MO         | 48,1   | 39,8  | 48,1   | 39,3   | 48,7   | 41,3   | 48,9   |   |     |   |     |   |     |
| EN         | 44,8   | 44,4  | 43,9   | 44,1   | 44,1   | 41,2   | 42,5   |   |     |   |     |   |     |
| FS         | 14,3   | 15,7  | 14,8   | 15,1   | 14,8   | 16,2   | 15,3   |   |     |   |     |   |     |
| Al IV      | 0,846  | 0,832 | 0,845  | 0,883  | 0,855  | 0,898  | 0,831  |   |     |   |     |   |     |
| Al VI      | 0,888  | 0,854 | 0,885  | 0,888  | 0,814  | 0,888  | 0,812  |   |     |   |     |   |     |
| Fe 3+      | 0,844  | 0,888 | 0,832  | 0,899  | 0,846  | 0,895  | 0,834  |   |     |   |     |   |     |
| Fe 2+      | 0,237  | 0,298 | 0,236  | 0,199  | 0,226  | 0,228  | 0,263  |   |     |   |     |   |     |

Tableau III-18 suite

| Ech.  | MVA15      |        |        |        |       |       |       |        |        |       |       |    |
|-------|------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|----|
|       | N analyses | 13     | 15     | 17     | 19    | 29    | 21    | 22     | 23     | 24    | 25    | 28 |
|       | c          | c      | c      | c      | c     | i     | i     | i      | i      | i     | i     | i  |
| SiO2  | 52,25      | 52,97  | 51,75  | 50,95  | 52,68 | 51,42 | 53,03 | 53,33  | 52,68  | 52,12 | 51,62 |    |
| TiO2  | 0,38       | 0,22   | 0,38   | 0,37   | 0,38  | 0,27  | 0,22  | 0,15   | 0,20   | 0,29  | 0,29  |    |
| Al2O3 | 3,46       | 2,67   | 2,97   | 4,29   | 2,19  | 3,64  | 2,03  | 2,42   | 2,83   | 2,68  | 2,56  |    |
| FeO   | 5,97       | 4,92   | 7,12   | 6,21   | 5,98  | 5,49  | 4,42  | 5,09   | 5,56   | 5,93  | 5,71  |    |
| MnO   | 0,88       | 0,18   | 0,16   | 0,12   | 0,18  | 0,11  | 0,07  | 0,09   | 0,08   | 0,24  | 0,23  |    |
| MgO   | 16,84      | 16,78  | 15,82  | 15,89  | 15,94 | 15,92 | 17,11 | 16,64  | 16,42  | 16,46 | 16,47 |    |
| CaO   | 21,87      | 21,99  | 21,62  | 21,64  | 21,81 | 21,96 | 22,52 | 22,37  | 22,09  | 21,94 | 21,47 |    |
| Na2O  | 0,23       | 0,27   | 0,28   | 0,23   | 0,22  | 0,26  | 0,28  | 0,22   | 0,19   | 0,24  | 0,23  |    |
| K2O   | 0,01       | 0,08   | 0,08   | 0,01   | 0,02  | 0,08  | 0,03  | 0,08   | 0,01   | 0,01  | 0,08  |    |
| Cr2O3 | 0,12       | 0,68   | 0,09   | 0,38   | 0,23  | 0,17  | 0,31  | 0,12   | 0,12   | 0,42  | 0,16  |    |
| Total | 188,25     | 188,44 | 188,11 | 188,11 | 99,47 | 99,24 | 99,96 | 188,48 | 188,18 | 99,85 | 98,74 |    |
| Si4+  | 1,914      | 1,931  | 1,912  | 1,877  | 1,946 | 1,984 | 1,941 | 1,943  | 1,928  | 1,921 | 1,922 |    |
| Ti4+  | 0,088      | 0,086  | 0,088  | 0,088  | 0,088 | 0,088 | 0,086 | 0,084  | 0,086  | 0,088 | 0,088 |    |
| Al3+  | 0,149      | 0,115  | 0,129  | 0,186  | 0,093 | 0,159 | 0,089 | 0,104  | 0,122  | 0,113 | 0,112 |    |
| Fe2+  | 0,183      | 0,158  | 0,228  | 0,191  | 0,185 | 0,178 | 0,135 | 0,153  | 0,178  | 0,183 | 0,178 |    |
| Mn2+  | 0,088      | 0,083  | 0,083  | 0,084  | 0,083 | 0,083 | 0,082 | 0,083  | 0,082  | 0,087 | 0,087 |    |
| Mg2+  | 0,876      | 0,987  | 0,871  | 0,872  | 0,878 | 0,878 | 0,933 | 0,984  | 0,897  | 0,984 | 0,914 |    |
| Ca2+  | 0,839      | 0,839  | 0,835  | 0,834  | 0,863 | 0,871 | 0,883 | 0,873  | 0,868  | 0,831 | 0,837 |    |
| Na+   | 0,016      | 0,019  | 0,028  | 0,018  | 0,016 | 0,019 | 0,014 | 0,016  | 0,014  | 0,017 | 0,017 |    |
| K+    | 0,008      | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,001 | 0,008 | 0,002 | 0,008  | 0,008  | 0,008 | 0,008 |    |
| Cr3+  | 0,083      | 0,017  | 0,083  | 0,011  | 0,087 | 0,083 | 0,089 | 0,083  | 0,083  | 0,012 | 0,083 |    |
| TOTAL | 4,889      | 4,887  | 4,824  | 4,824  | 4,883 | 4,816 | 4,813 | 4,886  | 4,811  | 4,817 | 4,828 |    |
| MO    | 44,8       | 44,8   | 43,8   | 44,5   | 44,8  | 45,3  | 45,2  | 45,1   | 44,8   | 43,7  | 43,8  |    |
| EN    | 45,7       | 47,3   | 44,6   | 43,4   | 45,5  | 45,7  | 47,8  | 46,7   | 46,3   | 46,5  | 46,7  |    |
| FS    | 9,5        | 7,8    | 11,3   | 18,8   | 9,6   | 8,8   | 6,9   | 8,8    | 8,8    | 9,4   | 9,1   |    |
| RI IV | 0,098      | 0,073  | 0,188  | 0,135  | 0,035 | 0,184 | 0,066 | 0,068  | 0,077  | 0,087 | 0,087 |    |
| RI VI | 0,059      | 0,042  | 0,029  | 0,031  | 0,048 | 0,034 | 0,021 | 0,044  | 0,045  | 0,025 | 0,025 |    |
| Fe 3+ | 0,028      | 0,028  | 0,071  | 0,071  | 0,088 | 0,049 | 0,048 | 0,019  | 0,032  | 0,031 | 0,038 |    |
| Fe 2+ | 0,154      | 0,129  | 0,147  | 0,119  | 0,177 | 0,128 | 0,095 | 0,136  | 0,138  | 0,131 | 0,119 |    |

| Ech.  | VGR8       |       |       |       |       |       |        |       |        |       |       |    |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|----|
|       | N analyses | 14    | 16    | 18    | 20    | 26    | 28     | 58    | 51     | 52    | 1     | 47 |
|       | b          | b     | b     | b     | b     | b     | a      | a     | a      | c     | c     |    |
| SiO2  | 51,19      | 49,39 | 58,33 | 49,27 | 52,29 | 51,62 | 51,52  | 51,87 | 51,31  | 58,44 | 51,61 |    |
| TiO2  | 0,46       | 0,69  | 0,38  | 0,67  | 0,38  | 0,33  | 0,58   | 0,54  | 0,58   | 0,46  | 0,36  |    |
| Al2O3 | 3,69       | 3,59  | 4,25  | 5,44  | 2,22  | 3,15  | 2,53   | 3,47  | 2,55   | 3,84  | 1,98  |    |
| FeO   | 6,22       | 7,73  | 6,47  | 8,28  | 7,73  | 5,53  | 11,88  | 9,07  | 10,46  | 9,18  | 9,53  |    |
| MnO   | 0,17       | 0,22  | 0,16  | 0,19  | 0,11  | 0,07  | 0,36   | 0,31  | 0,23   | 0,42  | 0,48  |    |
| MgO   | 16,28      | 14,37 | 15,19 | 14,44 | 15,99 | 16,83 | 13,42  | 15,26 | 15,82  | 15,48 | 16,38 |    |
| CaO   | 22,31      | 21,28 | 22,22 | 21,19 | 28,39 | 21,77 | 18,87  | 18,97 | 19,18  | 19,34 | 18,76 |    |
| Na2O  | 0,14       | 0,22  | 0,23  | 0,27  | 0,21  | 0,19  | 0,32   | 0,38  | 0,29   | 0,42  | 0,21  |    |
| K2O   | 0,08       | 0,02  | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,02  | 0,01   | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,03  |    |
| Cr2O3 | 0,24       | 0,11  | 0,14  | 0,17  | 0,18  | 0,28  | 0,03   | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,08  |    |
| Total | 188,62     | 99,62 | 99,57 | 99,84 | 98,94 | 99,81 | 188,64 | 99,87 | 188,26 | 98,78 | 99,18 |    |
| Si4+  | 1,888      | 1,841 | 1,877 | 1,838 | 1,958 | 1,915 | 1,915  | 1,983 | 1,918  | 1,983 | 1,933 |    |
| Ti4+  | 0,013      | 0,019 | 0,011 | 0,019 | 0,088 | 0,089 | 0,014  | 0,015 | 0,014  | 0,013 | 0,018 |    |
| Al3+  | 0,168      | 0,246 | 0,186 | 0,239 | 0,098 | 0,138 | 0,111  | 0,152 | 0,112  | 0,135 | 0,084 |    |
| Fe2+  | 0,191      | 0,241 | 0,281 | 0,256 | 0,241 | 0,172 | 0,345  | 0,388 | 0,326  | 0,298 | 0,299 |    |
| Mn2+  | 0,085      | 0,087 | 0,085 | 0,086 | 0,083 | 0,082 | 0,081  | 0,081 | 0,087  | 0,083 | 0,083 |    |
| Mg2+  | 0,886      | 0,798 | 0,841 | 0,883 | 0,866 | 0,886 | 0,854  | 0,847 | 0,878  | 0,866 | 0,914 |    |
| Ca2+  | 0,878      | 0,858 | 0,884 | 0,847 | 0,815 | 0,865 | 0,782  | 0,757 | 0,762  | 0,782 | 0,753 |    |
| Na+   | 0,018      | 0,016 | 0,017 | 0,028 | 0,015 | 0,014 | 0,023  | 0,027 | 0,021  | 0,031 | 0,018 |    |
| K+    | 0,008      | 0,001 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,001 | 0,008  | 0,008 | 0,008  | 0,008 | 0,001 |    |
| Cr3+  | 0,087      | 0,083 | 0,084 | 0,083 | 0,083 | 0,088 | 0,081  | 0,088 | 0,088  | 0,088 | 0,088 |    |
| TOTAL | 4,829      | 4,823 | 4,826 | 4,831 | 3,999 | 4,818 | 4,827  | 4,828 | 4,838  | 4,832 | 4,823 |    |
| MO    | 44,8       | 44,8  | 43,8  | 44,3  | 42,3  | 44,9  | 38,3   | 39,4  | 38,6   | 48,1  | 38,1  |    |
| EN    | 45,2       | 42,1  | 43,5  | 42,8  | 45,8  | 46,8  | 43,5   | 44,1  | 44,5   | 44,4  | 46,2  |    |
| FS    | 9,7        | 12,7  | 18,4  | 13,4  | 12,5  | 8,9   | 17,6   | 16,8  | 16,5   | 14,9  | 15,1  |    |
| RI IV | 0,134      | 0,169 | 0,135 | 0,177 | 0,038 | 0,098 | 0,097  | 0,187 | 0,184  | 0,112 | 0,078 |    |
| RI VI | 0,024      | 0,075 | 0,038 | 0,061 | 0,048 | 0,047 | 0,013  | 0,045 | 0,087  | 0,022 | 0,086 |    |
| Fe 3+ | 0,088      | 0,069 | 0,076 | 0,093 | 0,088 | 0,031 | 0,079  | 0,039 | 0,098  | 0,093 | 0,068 |    |
| Fe 2+ | 0,182      | 0,171 | 0,123 | 0,161 | 0,241 | 0,141 | 0,263  | 0,247 | 0,234  | 0,192 | 0,229 |    |

| Ech.  | VGR1       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |        |     |
|-------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----|
|       | N analyses | 2     | 3     | 4     | 5     | 48    | 58    | 118   | 122   | 147   | 149    | 151 |
|       | i          | i     | b     | b     | b     | a     | c     | c     | c     | c     | c      |     |
| SiO2  | 49,86      | 58,53 | 58,63 | 49,71 | 51,89 | 51,88 | 58,65 | 53,33 | 58,45 | 58,58 | 51,32  |     |
| TiO2  | 0,48       | 0,51  | 0,47  | 0,62  | 0,36  | 0,34  | 0,42  | 0,16  | 0,49  | 0,48  | 0,29   |     |
| Al2O3 | 3,26       | 3,82  | 3,87  | 3,36  | 2,33  | 1,32  | 2,68  | 1,14  | 3,23  | 3,49  | 2,84   |     |
| FeO   | 9,64       | 9,72  | 18,82 | 9,55  | 9,78  | 13,47 | 18,47 | 4,79  | 9,71  | 9,34  | 18,11  |     |
| MnO   | 0,19       | 0,29  | 0,34  | 0,28  | 0,43  | 0,38  | 0,18  | 0,13  | 0,31  | 0,28  | 0,18   |     |
| MgO   | 15,54      | 15,48 | 15,28 | 15,88 | 15,74 | 15,88 | 15,28 | 18,55 | 15,66 | 15,59 | 16,11  |     |
| CaO   | 19,24      | 19,27 | 18,95 | 19,99 | 19,37 | 19,68 | 19,89 | 20,48 | 19,24 | 19,41 | 18,95  |     |
| Na2O  | 0,29       | 0,23  | 0,27  | 0,29  | 0,27  | 0,23  | 0,32  | 0,16  | 0,38  | 0,27  | 0,48   |     |
| K2O   | 0,02       | 0,08  | 0,08  | 0,03  | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,03   |     |
| Cr2O3 | 0,08       | 0,08  | 0,03  | 0,08  | 0,03  | 0,03  | 0,08  | 0,35  | 0,23  | 0,13  | 0,11   |     |
| Total | 98,52      | 98,97 | 99,86 | 98,98 | 99,34 | 98,35 | 99,81 | 99,81 | 99,62 | 99,46 | 188,34 |     |
| Si4+  | 1,887      | 1,982 | 1,985 | 1,878 | 1,918 | 1,947 | 1,911 | 1,962 | 1,889 | 1,889 | 1,986  |     |
| Ti4+  | 0,014      | 0,014 | 0,013 | 0,018 | 0,018 | 0,018 | 0,012 | 0,084 | 0,014 | 0,014 | 0,088  |     |
| Al3+  | 0,145      | 0,134 | 0,136 | 0,159 | 0,183 | 0,059 | 0,119 | 0,049 | 0,143 | 0,154 | 0,124  |     |
| Fe2+  | 0,385      | 0,386 | 0,315 | 0,382 | 0,384 | 0,438 | 0,338 | 0,147 | 0,384 | 0,292 | 0,514  |     |
| Mn2+  | 0,086      | 0,089 | 0,081 | 0,088 | 0,084 | 0,082 | 0,086 | 0,084 | 0,088 | 0,088 | 0,086  |     |
| Mg2+  | 0,877      | 0,864 | 0,857 | 0,845 | 0,888 | 0,983 | 0,835 | 1,817 | 0,874 | 0,869 | 0,892  |     |
| Ca2+  | 0,788      | 0,777 | 0,764 | 0,885 | 0,779 | 0,641 | 0,772 | 0,884 | 0,772 | 0,778 | 0,754  |     |
| Na+   | 0,021      | 0,017 | 0,028 | 0,021 | 0,028 | 0,017 | 0,023 | 0,011 | 0,022 | 0,028 | 0,029  |     |
| K+    | 0,001      | 0,008 | 0,008 | 0,001 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,008 | 0,001  |     |
| Cr3+  | 0,088      | 0,088 | 0,081 | 0,088 | 0,081 | 0,082 | 0,088 | 0,088 | 0,087 | 0,084 | 0,083  |     |
| TOTAL | 4,837      | 4,824 | 4,823 | 4,836 | 4,838 | 4,822 | 4,829 | 4,818 | 4,833 | 4,828 | 4,837  |     |
| MO    | 39,6       | 39,7  | 39,2  | 41,1  | 39,4  | 32,3  | 39,3  | 48,8  | 39,4  | 48,8  | 38,4   |     |
| EN    | 44,5       | 44,2  | 44,8  | 43,1  | 44,5  | 45,5  | 43,8  | 51,6  | 44,6  | 44,6  | 45,4   |     |
| FS    | 15,5       | 15,6  | 16,2  | 15,4  | 15,4  | 21,7  | 16,8  | 7,5   | 15,8  | 15,8  | 16,8   |     |
| RI IV | 0,138      | 0,189 | 0,185 | 0,139 | 0,096 | 0,064 | 0,182 | 0,043 | 0,127 | 0,124 | 0,112  |     |
| RI VI | 0,014      | 0,024 | 0,038 | 0,018 | 0,08  |       |       |       |       |       |        |     |



Tableau III-18 suite

| Ech.       | VLC115 |        |       |       |       |       |       |       |       |       |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
|------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|---|----|---|-----|---|-----|---|-----|
|            | 65     |        | 72    |       | 74    |       | 76    |       | 73    |       | 75 |   | 78 |   | 187 |   | 189 |   | 111 |
| N analyses | c      | c      | c     | c     | b     | b     | b     | b     | a     | a     | a  | a | a  | a | a   | a | a   | a | a   |
| SiO2       | 51,91  | 51,84  | 49,97 | 51,79 | 50,81 | 50,21 | 50,82 | 40,63 | 49,71 | 48,63 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| TiO2       | 0,16   | 0,21   | 0,33  | 0,22  | 0,48  | 0,31  | 0,36  | 0,88  | 0,86  | 0,86  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Al2O3      | 3,18   | 3,68   | 3,99  | 3,48  | 5,84  | 4,64  | 4,48  | 4,63  | 4,34  | 5,81  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| FeO        | 5,58   | 6,81   | 9,53  | 5,48  | 7,96  | 6,92  | 7,44  | 10,92 | 12,88 | 12,28 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| MnO        | 0,88   | 0,24   | 0,24  | 0,14  | 0,24  | 0,24  | 0,28  | 0,39  | 0,29  | 0,37  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| MgO        | 16,17  | 16,94  | 14,10 | 16,39 | 14,88 | 15,68 | 15,25 | 13,78 | 13,79 | 13,62 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| CaO        | 21,78  | 20,91  | 19,88 | 21,72 | 20,27 | 20,41 | 20,82 | 19,92 | 17,42 | 18,44 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Na2O       | 0,45   | 0,29   | 0,39  | 0,38  | 0,36  | 0,32  | 0,34  | 0,46  | 0,39  | 0,48  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| K2O        | 0,88   | 0,82   | 0,88  | 0,81  | 0,88  | 0,82  | 0,88  | 0,82  | 0,21  | 0,86  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Cr2O3      | 0,85   | 0,17   | 0,15  | 0,43  | 0,47  | 0,22  | 0,24  | 0,82  | 0,88  | 0,82  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Total      | 99,28  | 100,31 | 98,72 | 99,88 | 99,71 | 98,89 | 99,23 | 99,65 | 99,89 | 99,91 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Si4+       | 1,928  | 1,898  | 1,888 | 1,985 | 1,868 | 1,874 | 1,869 | 1,848 | 1,882 | 1,838 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Ti4+       | 0,084  | 0,086  | 0,016 | 0,086 | 0,013 | 0,089 | 0,018 | 0,025 | 0,024 | 0,028 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Al3+       | 0,139  | 0,159  | 0,178 | 0,147 | 0,221 | 0,284 | 0,197 | 0,287 | 0,194 | 0,223 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Fe2+       | 0,173  | 0,184  | 0,381 | 0,169 | 0,248 | 0,216 | 0,232 | 0,346 | 0,383 | 0,388 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Mn2+       | 0,888  | 0,887  | 0,888 | 0,884 | 0,888 | 0,888 | 0,889 | 0,812 | 0,889 | 0,812 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Mg2+       | 0,891  | 0,924  | 0,794 | 0,898 | 0,823 | 0,868 | 0,849 | 0,777 | 0,778 | 0,767 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Ca2+       | 0,868  | 0,828  | 0,882 | 0,856 | 0,888 | 0,816 | 0,833 | 0,887 | 0,787 | 0,747 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Na+        | 0,832  | 0,821  | 0,829 | 0,821 | 0,826 | 0,823 | 0,825 | 0,834 | 0,829 | 0,833 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| K+         | 0,888  | 0,881  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,881 | 0,818 | 0,883 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Cr3+       | 0,881  | 0,885  | 0,884 | 0,813 | 0,814 | 0,886 | 0,887 | 0,881 | 0,888 | 0,881 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| TOTAL      | 4,821  | 4,825  | 4,819 | 4,828 | 4,822 | 4,824 | 4,831 | 4,849 | 4,816 | 4,841 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| MO         | 44,7   | 42,4   | 42,1  | 44,4  | 42,8  | 42,8  | 43,3  | 41,6  | 37,7  | 39,8  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| EN         | 46,3   | 47,7   | 41,7  | 46,6  | 43,7  | 43,5  | 44,1  | 48,8  | 41,5  | 48,1  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| FS         | 9,8    | 9,5    | 15,8  | 8,8   | 13,1  | 11,3  | 12,1  | 17,8  | 20,4  | 20,3  |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| RI IV      | 0,898  | 0,114  | 0,121 | 0,189 | 0,158 | 0,138 | 0,146 | 0,125 | 0,181 | 0,181 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| RI VI      | 0,848  | 0,844  | 0,836 | 0,842 | 0,878 | 0,865 | 0,858 | 0,821 | 0,868 | 0,848 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Fe 3+      | 0,864  | 0,875  | 0,858 | 0,868 | 0,866 | 0,873 | 0,894 | 0,145 | 0,847 | 0,122 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |
| Fe 2+      | 0,188  | 0,188  | 0,242 | 0,188 | 0,188 | 0,142 | 0,137 | 0,196 | 0,334 | 0,262 |    |   |    |   |     |   |     |   |     |

| Ech.       | VLA15  |       |       |       |       |       |       |        |    |   |    |   |    |   |    |
|------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----|---|----|---|----|---|----|
|            | 18     |       | 21    |       | 32    |       | 33    |        | 34 |   | 52 |   | 53 |   | 28 |
| N analyses | c      | c     | c     | c     | c     | c     | c     | c      | b  | b | a  | a | a  | a | a  |
| SiO2       | 52,86  | 51,51 | 51,73 | 52,32 | 52,85 | 52,13 | 52,87 | 50,63  |    |   |    |   |    |   |    |
| TiO2       | 0,34   | 0,45  | 0,49  | 0,34  | 0,23  | 0,31  | 0,39  | 0,78   |    |   |    |   |    |   |    |
| Al2O3      | 1,28   | 2,35  | 2,32  | 1,18  | 1,26  | 2,89  | 1,98  | 3,56   |    |   |    |   |    |   |    |
| FeO        | 11,69  | 9,71  | 10,85 | 11,88 | 11,71 | 8,14  | 9,17  | 10,49  |    |   |    |   |    |   |    |
| MnO        | 0,34   | 0,41  | 0,48  | 0,71  | 0,58  | 0,31  | 0,49  | 0,36   |    |   |    |   |    |   |    |
| MgO        | 15,12  | 15,48 | 15,29 | 14,95 | 14,45 | 15,73 | 15,58 | 14,53  |    |   |    |   |    |   |    |
| CaO        | 18,77  | 19,34 | 18,97 | 18,98 | 18,48 | 20,22 | 18,74 | 19,52  |    |   |    |   |    |   |    |
| Na2O       | 0,35   | 0,35  | 0,37  | 0,31  | 0,31  | 0,33  | 0,25  | 0,33   |    |   |    |   |    |   |    |
| K2O        | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,81  | 0,83  | 0,88  | 0,88  | 0,88   |    |   |    |   |    |   |    |
| Cr2O3      | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,89  | 0,11  | 0,88   |    |   |    |   |    |   |    |
| Total      | 100,12 | 99,68 | 99,62 | 99,84 | 99,82 | 99,37 | 98,78 | 100,12 |    |   |    |   |    |   |    |
| Si4+       | 1,932  | 1,926 | 1,934 | 1,968 | 1,978 | 1,942 | 1,934 | 1,892  |    |   |    |   |    |   |    |
| Ti4+       | 0,018  | 0,013 | 0,014 | 0,018 | 0,087 | 0,089 | 0,011 | 0,028  |    |   |    |   |    |   |    |
| Al3+       | 0,855  | 0,184 | 0,182 | 0,849 | 0,856 | 0,892 | 0,888 | 0,157  |    |   |    |   |    |   |    |
| Fe2+       | 0,366  | 0,384 | 0,314 | 0,345 | 0,371 | 0,254 | 0,288 | 0,328  |    |   |    |   |    |   |    |
| Mn2+       | 0,817  | 0,813 | 0,813 | 0,823 | 0,816 | 0,818 | 0,816 | 0,811  |    |   |    |   |    |   |    |
| Mg2+       | 0,845  | 0,863 | 0,852 | 0,833 | 0,815 | 0,874 | 0,867 | 0,889  |    |   |    |   |    |   |    |
| Ca2+       | 0,784  | 0,779 | 0,788 | 0,759 | 0,749 | 0,887 | 0,754 | 0,782  |    |   |    |   |    |   |    |
| Na+        | 0,825  | 0,825 | 0,827 | 0,823 | 0,823 | 0,824 | 0,818 | 0,824  |    |   |    |   |    |   |    |
| K+         | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,888 | 0,888  |    |   |    |   |    |   |    |
| Cr3+       | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,883 | 0,883 | 0,888  |    |   |    |   |    |   |    |
| TOTAL      | 4,824  | 4,822 | 4,815 | 4,818 | 4,888 | 4,814 | 3,998 | 4,822  |    |   |    |   |    |   |    |
| MO         | 38,8   | 39,7  | 39,2  | 38,7  | 38,4  | 41,5  | 39,2  | 40,5   |    |   |    |   |    |   |    |
| EN         | 42,6   | 44,1  | 43,9  | 42,6  | 41,8  | 45,8  | 45,1  | 41,9   |    |   |    |   |    |   |    |
| FS         | 18,5   | 15,6  | 16,2  | 17,6  | 19,8  | 15,8  | 15,8  | 17,8   |    |   |    |   |    |   |    |
| RI IV      | 0,868  | 0,884 | 0,874 | 0,837 | 0,834 | 0,865 | 0,845 | 0,119  |    |   |    |   |    |   |    |
| RI VI      | 0,888  | 0,819 | 0,828 | 0,811 | 0,822 | 0,827 | 0,843 | 0,837  |    |   |    |   |    |   |    |
| Fe 3+      | 0,872  | 0,856 | 0,844 | 0,829 | 0,823 | 0,842 | 0,888 | 0,866  |    |   |    |   |    |   |    |
| Fe 2+      | 0,293  | 0,236 | 0,269 | 0,315 | 0,347 | 0,211 | 0,288 | 0,268  |    |   |    |   |    |   |    |

Tableau III-19 : Analyses chimiques des orthopyroxènes des laves des îles.  
*Microprobe analysis of orthopyroxenes for islands lavas.*

| Ech.   | ULAI5  |        |        |        |        |        |       | UGM1   |        |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | 19     |        | 28     |        | 30     |        | 31    |        |        | 29    |        | 51     |       | 127   |       | 148   |       | 145   |       | 187   |       | 129   |       | 143   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|        | c      | c      | c      | c      | c      | c      | b     | b      | b      | a     | c      | c      | c     | c     | c     | c     | c     | c     | c     | i     | i     | i     | i     | i     | i     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| SiO2   | 53,95  | 53,65  | 53,98  | 53,78  | 53,82  | 52,48  | 53,68 | 53,61  | 54,35  | 53,51 | 53,71  | 54,63  | 0,21  | 0,14  | 0,13  | 0,22  | 0,34  | 0,21  | 0,18  | 0,13  | 0,18  | 0,16  | 0,23  | 0,21  | 0,18  | 0,13  | 0,22  | 0,34  | 0,21  | 0,18  | 0,13  | 0,18  | 0,16  | 0,23  |       |       |
| TiO2   | 0,98   | 0,78   | 0,85   | 0,99   | 1,15   | 1,25   | 2,82  | 1,88   | 1,77   | 1,78  | 1,28   | 1,19   | 18,14 | 19,68 | 18,78 | 18,42 | 17,88 | 22,78 | 15,88 | 16,58 | 17,48 | 14,63 | 16,51 | 0,69  | 0,88  | 0,57  | 0,67  | 0,77  | 1,32  | 0,54  | 0,44  | 0,57  | 0,43  | 0,48  | 0,51  |       |
| Al2O3  | 25,28  | 24,16  | 25,15  | 24,88  | 25,48  | 16,53  | 26,42 | 26,81  | 26,86  | 24,75 | 27,85  | 29,87  | 1,98  | 1,75  | 1,76  | 1,81  | 1,82  | 6,24  | 2,88  | 1,91  | 2,81  | 2,17  | 1,81  | 0,85  | 0,84  | 0,85  | 0,88  | 0,91  | 0,25  | 0,81  | 0,86  | 0,83  | 0,81  | 0,83  | 0,86  |       |
| FeO    | 0,85   | 0,84   | 0,85   | 0,88   | 0,85   | 0,85   | 0,81  | 0,81   | 0,85   | 0,85  | 0,81   | 0,81   | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,82  | 0,83  | 0,82  | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |
| MnO    | 0,88   | 0,85   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |       |
| HgO    | 1,98   | 1,75   | 1,76   | 1,81   | 1,82   | 6,24   | 2,88  | 1,91   | 2,81   | 2,17  | 1,81   | 1,81   | 0,85  | 0,84  | 0,85  | 0,88  | 0,91  | 0,25  | 0,81  | 0,86  | 0,83  | 0,81  | 0,83  | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |       |
| CaO    | 0,85   | 0,84   | 0,85   | 0,88   | 0,85   | 0,85   | 0,81  | 0,81   | 0,85   | 0,85  | 0,81   | 0,81   | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,82  | 0,83  | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |       |
| Na2O   | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,81  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |       |
| K2O    | 0,88   | 0,85   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |       |
| Cr-2O3 | 101,38 | 101,85 | 101,27 | 100,92 | 101,19 | 101,18 | 99,96 | 100,51 | 100,29 | 99,87 | 100,84 | 100,84 | 4,819 | 4,817 | 4,820 | 4,814 | 4,818 | 3,999 | 4,812 | 4,819 | 4,812 | 4,807 | 4,814 | 4,882 | 4,819 | 4,817 | 4,820 | 4,814 | 4,818 | 3,999 | 4,812 | 4,819 | 4,812 | 4,807 | 4,814 | 4,882 |
| Total  | 101,38 | 101,85 | 101,27 | 100,92 | 101,19 | 101,18 | 99,96 | 100,51 | 100,29 | 99,87 | 100,84 | 100,84 | 4,819 | 4,817 | 4,820 | 4,814 | 4,818 | 3,999 | 4,812 | 4,819 | 4,812 | 4,807 | 4,814 | 4,882 | 4,819 | 4,817 | 4,820 | 4,814 | 4,818 | 3,999 | 4,812 | 4,819 | 4,812 | 4,807 | 4,814 | 4,882 |
| Si4+   | 1,935  | 1,963  | 1,968  | 1,956  | 1,958  | 1,974  | 1,948 | 1,939  | 1,969  | 1,958 | 1,956  | 1,969  | 0,886 | 0,884 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,885 | 0,884 | 0,885 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 |       |
| Ti4+   | 0,886  | 0,884  | 0,884  | 0,886  | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,885  | 0,884  | 0,885 | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,884 | 0,884 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,885 | 0,884 | 0,885 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 |       |
| Al3+   | 0,842  | 0,834  | 0,836  | 0,843  | 0,849  | 0,856  | 0,846 | 0,837  | 0,833  | 0,836 | 0,835  | 0,836  | 0,834 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 | 0,838 |       |
| Fe2+   | 0,558  | 0,682  | 0,578  | 0,561  | 0,539  | 0,718  | 0,456 | 0,581  | 0,581  | 0,538 | 0,446  | 0,497  | 0,821 | 0,825 | 0,818 | 0,821 | 0,824 | 0,842 | 0,817 | 0,813 | 0,813 | 0,812 | 0,816 | 0,816 | 1,365 | 1,317 | 1,361 | 1,358 | 1,372 | 0,928 | 1,425 | 1,482 | 1,487 | 1,543 | 1,468 | 1,589 |
| Mn2+   | 0,821  | 0,825  | 0,818  | 0,821  | 0,824  | 0,842  | 0,817 | 0,813  | 0,813  | 0,812 | 0,816  | 0,816  | 0,874 | 0,869 | 0,868 | 0,871 | 0,871 | 0,872 | 0,881 | 0,874 | 0,878 | 0,885 | 0,871 | 0,878 | 0,874 | 0,869 | 0,868 | 0,871 | 0,871 | 0,872 | 0,881 | 0,874 | 0,878 | 0,885 | 0,871 |       |
| Hg2+   | 1,365  | 1,317  | 1,361  | 1,358  | 1,372  | 0,928  | 1,425 | 1,482  | 1,487  | 1,543 | 1,468  | 1,589  | 0,874 | 0,869 | 0,868 | 0,871 | 0,871 | 0,872 | 0,881 | 0,874 | 0,878 | 0,885 | 0,871 | 0,878 | 0,874 | 0,869 | 0,868 | 0,871 | 0,871 | 0,872 | 0,881 | 0,874 | 0,878 | 0,885 | 0,871 |       |
| Ca2+   | 0,874  | 0,869  | 0,868  | 0,871  | 0,871  | 0,872  | 0,881 | 0,874  | 0,878  | 0,885 | 0,871  | 0,878  | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 |       |
| Na+    | 0,886  | 0,884  | 0,884  | 0,886  | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,885  | 0,884  | 0,885 | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,884 | 0,884 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,885 | 0,884 | 0,885 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 |       |
| K+     | 0,886  | 0,884  | 0,884  | 0,886  | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,885  | 0,884  | 0,885 | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,884 | 0,884 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,885 | 0,884 | 0,885 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 |       |
| Cr-3+  | 0,886  | 0,884  | 0,884  | 0,886  | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,885  | 0,884  | 0,885 | 0,886  | 0,886  | 0,886 | 0,884 | 0,884 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,885 | 0,884 | 0,885 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 |       |
| TOTAL  | 4,819  | 4,817  | 4,820  | 4,814  | 4,818  | 3,999  | 4,812 | 4,819  | 4,812  | 4,807 | 4,814  | 4,882  | 4,819 | 4,817 | 4,820 | 4,814 | 4,818 | 3,999 | 4,812 | 4,819 | 4,812 | 4,807 | 4,814 | 4,882 | 4,819 | 4,817 | 4,820 | 4,814 | 4,818 | 3,999 | 4,812 | 4,819 | 4,812 | 4,807 | 4,814 | 4,882 |
| MO     | 3,7    | 3,4    | 3,4    | 3,5    | 3,5    | 13,8   | 4,1   | 3,7    | 3,9    | 4,3   | 3,5    | 3,5    | 67,9  | 65,4  | 67,5  | 67,4  | 68,4  | 47,8  | 72,8  | 78,4  | 78,2  | 68,1  | 73,5  | 78,4  | 27,4  | 29,9  | 28,3  | 28,8  | 26,9  | 37,8  | 23,1  | 25,2  | 25,8  | 26,9  | 22,3  | 25,2  |
| EN     | 67,9   | 65,4   | 67,5   | 67,4   | 68,4   | 47,8   | 72,8  | 78,4   | 78,2   | 68,1  | 73,5   | 78,4   | 27,4  | 29,9  | 28,3  | 28,8  | 26,9  | 37,8  | 23,1  | 25,2  | 25,8  | 26,9  | 22,3  | 25,2  | 0,854 | 0,846 | 0,838 | 0,851 | 0,859 | 0,826 | 0,866 | 0,878 | 0,857 | 0,853 | 0,851 | 0,832 |
| FS     | 27,4   | 29,9   | 28,3   | 28,8   | 26,9   | 37,8   | 23,1  | 25,2   | 25,8   | 26,9  | 22,3   | 25,2   | 0,854 | 0,846 | 0,838 | 0,851 | 0,859 | 0,826 | 0,866 | 0,878 | 0,857 | 0,853 | 0,851 | 0,832 | 0,854 | 0,846 | 0,838 | 0,851 | 0,859 | 0,826 | 0,866 | 0,878 | 0,857 | 0,853 | 0,851 |       |
| Al IV  | 0,854  | 0,846  | 0,838  | 0,851  | 0,859  | 0,826  | 0,866 | 0,878  | 0,857  | 0,853 | 0,851  | 0,832  | 0,854 | 0,846 | 0,838 | 0,851 | 0,859 | 0,826 | 0,866 | 0,878 | 0,857 | 0,853 | 0,851 | 0,832 | 0,854 | 0,846 | 0,838 | 0,851 | 0,859 | 0,826 | 0,866 | 0,878 | 0,857 | 0,853 | 0,851 |       |
| Al VI  | 0,854  | 0,846  | 0,838  | 0,851  | 0,859  | 0,826  | 0,866 | 0,878  | 0,857  | 0,853 | 0,851  | 0,832  | 0,854 | 0,846 | 0,838 | 0,851 | 0,859 | 0,826 | 0,866 | 0,878 | 0,857 | 0,853 | 0,851 | 0,832 | 0,854 | 0,846 | 0,838 | 0,851 | 0,859 | 0,826 | 0,866 | 0,878 | 0,857 | 0,853 | 0,851 |       |
| Fe3+   | 0,858  | 0,852  | 0,868  | 0,841  | 0,855  | 0,888  | 0,834 | 0,855  | 0,836  | 0,828 | 0,843  | 0,886  | 0,858 | 0,852 | 0,868 | 0,841 | 0,855 | 0,888 | 0,834 | 0,855 | 0,836 | 0,828 | 0,843 | 0,886 | 0,858 | 0,852 | 0,868 | 0,841 | 0,855 | 0,888 | 0,834 | 0,855 | 0,836 | 0,828 | 0,843 | 0,886 |
| Fe2+   | 0,489  | 0,548  | 0,587  | 0,518  | 0,482  | 0,718  | 0,421 | 0,444  | 0,464  | 0,518 | 0,481  | 0,491  | 0,489 | 0,548 | 0,587 | 0,518 | 0,482 | 0,486 | 0,444 | 0,464 | 0,518 | 0,481 | 0,491 | 0,489 | 0,489 | 0,548 | 0,587 | 0,518 | 0,482 | 0,486 | 0,444 | 0,464 | 0,518 | 0,481 |       |       |

| Ech. | UGRB  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |   |   |   |   |   |    |   |  |    |  |  |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|---|---|---|----|---|--|----|--|--|
|      | 128   |       |       | 141   |       |       | 142   |       |       | 186   |       |      | 169  |      |      | 178  |      |      | 171  |      |      | 6    |   |   | 9 |   |   | 11 |   |  | 58 |  |  |
|      | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b    | b    | b    | b    | b    | b    | b    | b    | b    | b    | c    | c | c | c | c | c | c  | c |  |    |  |  |
| SiO2 | 54,35 | 54,51 | 53,86 | 53,71 | 53,31 | 53,98 | 54,21 | 52,89 | 54,21 | 52,92 | 53,64 | 0,24 | 0,21 | 0,19 | 0,22 | 0,19 | 0,22 | 0,22 | 0,18 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0 |   |   |   |   |    |   |  |    |  |  |

Tableau III-20 : Analyses chimiques des plagioclases des laves des îles.  
*Microprobe analysis of plagioclases for islands lavas.*

| Ech.      | URG2   |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N analyse | 154    | 157    | 163   | 164    | 166    | 161    | 155    | 156    | 158    | 159    | 160    | 162    |
|           | c      | c      | c     | c      | c      | i      | b      | b      | b      | b      | b      | b      |
| SiO2      | 51,72  | 50,38  | 48,60 | 50,93  | 50,01  | 51,48  | 50,00  | 53,63  | 53,70  | 57,92  | 51,31  | 51,80  |
| TiO2      | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,02   | 0,01   | 0,10   | 0,00   | 0,00   | 0,02   | 0,07   | 0,05   |
| Al2O3     | 30,79  | 31,48  | 32,27 | 31,27  | 31,03  | 30,06  | 25,04  | 28,93  | 29,25  | 26,10  | 30,30  | 30,25  |
| FeO       | 0,05   | 0,61   | 0,04  | 0,06   | 0,76   | 0,05   | 0,92   | 0,07   | 0,74   | 0,07   | 0,04   | 0,07   |
| MnO       | 0,00   | 0,03   | 0,02  | 0,04   | 0,02   | 0,02   | 0,05   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,04   | 0,00   |
| MgO       | 0,10   | 0,12   | 0,13  | 0,07   | 0,13   | 0,09   | 0,10   | 0,02   | 0,02   | 0,00   | 0,11   | 0,07   |
| CaO       | 13,69  | 14,01  | 15,21 | 14,36  | 14,03  | 13,33  | 0,33   | 12,19  | 11,03  | 0,69   | 13,27  | 12,97  |
| Na2O      | 3,53   | 2,93   | 2,56  | 3,11   | 3,44   | 4,05   | 6,07   | 4,09   | 4,71   | 6,39   | 3,91   | 4,00   |
| K2O       | 0,20   | 0,10   | 0,00  | 0,14   | 0,10   | 0,25   | 0,53   | 0,20   | 0,20   | 0,56   | 0,24   | 0,17   |
| Cr2O3     | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,02   | 0,00   | 0,02   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,04   | 0,14   | 0,00   |
| Total     | 100,00 | 100,54 | 99,71 | 100,00 | 100,34 | 100,16 | 100,04 | 100,09 | 100,53 | 100,67 | 100,31 | 100,34 |
| Si        | 2,350  | 2,290  | 2,234 | 2,300  | 2,312  | 2,340  | 2,600  | 2,431  | 2,424  | 2,592  | 2,337  | 2,357  |
| Ti        | 0,000  | 0,003  | 0,000 | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,003  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,002  | 0,002  |
| Al        | 1,641  | 1,607  | 1,749 | 1,671  | 1,665  | 1,616  | 1,360  | 1,546  | 1,557  | 1,377  | 1,631  | 1,620  |
| Fe        | 0,032  | 0,023  | 0,032 | 0,033  | 0,029  | 0,032  | 0,035  | 0,033  | 0,020  | 0,033  | 0,032  | 0,033  |
| Mn        | 0,000  | 0,001  | 0,001 | 0,002  | 0,001  | 0,001  | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000  |
| Mg        | 0,007  | 0,000  | 0,000 | 0,003  | 0,000  | 0,006  | 0,007  | 0,007  | 0,001  | 0,005  | 0,007  | 0,005  |
| Ca        | 0,663  | 0,721  | 0,749 | 0,697  | 0,684  | 0,632  | 0,401  | 0,592  | 0,572  | 0,417  | 0,647  | 0,631  |
| Na        | 0,309  | 0,250  | 0,220 | 0,273  | 0,304  | 0,350  | 0,520  | 0,359  | 0,412  | 0,554  | 0,345  | 0,359  |
| K         | 0,012  | 0,006  | 0,000 | 0,000  | 0,006  | 0,015  | 0,030  | 0,016  | 0,016  | 0,032  | 0,014  | 0,010  |
| Cr        | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,005  | 0,000  |
| TOTAL     | 5,002  | 4,996  | 5,000 | 4,997  | 5,000  | 5,020  | 4,903  | 4,904  | 5,011  | 5,012  | 5,023  | 5,016  |
| RB        | 31,4   | 26,2   | 23,2  | 27,9   | 30,6   | 35,0   | 55,1   | 37,1   | 41,2   | 55,5   | 34,3   | 35,9   |
| OR        | 1,2    | 0,6    | 0,5   | 0,8    | 0,6    | 1,4    | 3,2    | 1,7    | 1,6    | 3,2    | 1,4    | 1,0    |
| AN        | 67,4   | 73,2   | 76,3  | 71,2   | 68,9   | 63,6   | 41,0   | 61,2   | 57,2   | 41,5   | 64,3   | 63,1   |

| Ech.      | URM2   |        |        |       |       |        |        |        |        |        |       |        |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| N analyse | 167    | 160    | 169    | 170   | 171   | 189    | 203    | 210    | 211    | 212    | 217   | 204    |
|           | m      | m      | m      | m     | m     | c      | c      | c      | c      | c      | c     | i      |
| SiO2      | 54,03  | 53,23  | 50,92  | 57,96 | 55,40 | 40,62  | 45,00  | 45,32  | 54,40  | 55,00  | 54,41 | 45,44  |
| TiO2      | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,10   | 0,02   | 0,10  | 0,03   |
| Al2O3     | 29,16  | 29,31  | 25,49  | 25,59 | 27,30 | 32,52  | 33,19  | 33,29  | 20,69  | 20,16  | 26,70 | 33,55  |
| FeO       | 0,77   | 0,01   | 0,61   | 0,09  | 0,97  | 0,63   | 0,51   | 0,54   | 1,06   | 0,40   | 1,70  | 0,70   |
| MnO       | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,02  | 0,00   | 0,04   | 0,14   | 0,17   | 0,12   | 0,06  | 0,01   |
| MgO       | 0,10   | 0,06   | 0,05   | 0,13  | 0,13  | 0,06   | 0,03   | 0,03   | 0,13   | 0,06   | 0,23  | 0,01   |
| CaO       | 11,92  | 12,31  | 7,63   | 0,90  | 10,24 | 15,62  | 16,34  | 10,51  | 11,39  | 10,43  | 10,59 | 10,46  |
| Na2O      | 4,32   | 4,19   | 6,09   | 5,00  | 5,30  | 2,49   | 0,92   | 0,93   | 4,74   | 5,46   | 4,70  | 0,04   |
| K2O       | 0,25   | 0,30   | 0,64   | 0,56  | 0,29  | 0,13   | 0,04   | 0,05   | 0,37   | 0,49   | 1,29  | 0,00   |
| Cr2O3     | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,07  | 0,00   | 0,00   | 0,15   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00   |
| Total     | 100,57 | 100,23 | 100,23 | 99,03 | 99,00 | 100,07 | 100,07 | 100,96 | 101,05 | 101,02 | 99,06 | 101,04 |
| Si        | 2,434  | 2,412  | 2,637  | 2,610 | 2,512 | 2,220  | 2,077  | 2,076  | 2,446  | 2,497  | 2,490 | 2,077  |
| Ti        | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,001  | 0,003 | 0,001  |
| Al        | 1,549  | 1,566  | 1,345  | 1,359 | 1,457 | 1,757  | 1,915  | 1,906  | 1,521  | 1,405  | 1,441 | 1,916  |
| Fe        | 0,020  | 0,031  | 0,023  | 0,034 | 0,037 | 0,024  | 0,020  | 0,021  | 0,040  | 0,010  | 0,060 | 0,027  |
| Mn        | 0,000  | 0,003  | 0,000  | 0,000 | 0,001 | 0,000  | 0,002  | 0,005  | 0,006  | 0,005  | 0,002 | 0,000  |
| Mg        | 0,007  | 0,004  | 0,003  | 0,000 | 0,000 | 0,004  | 0,002  | 0,002  | 0,000  | 0,004  | 0,016 | 0,001  |
| Ca        | 0,575  | 0,590  | 0,366  | 0,430 | 0,497 | 0,767  | 0,907  | 0,909  | 0,549  | 0,500  | 0,519 | 0,904  |
| Na        | 0,377  | 0,360  | 0,590  | 0,506 | 0,472 | 0,221  | 0,092  | 0,093  | 0,413  | 0,474  | 0,417 | 0,074  |
| K         | 0,014  | 0,017  | 0,037  | 0,032 | 0,017 | 0,000  | 0,002  | 0,003  | 0,021  | 0,020  | 0,075 | 0,000  |
| Cr        | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,003 | 0,000  | 0,000  | 0,005  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000  |
| TOTAL     | 4,907  | 4,990  | 5,000  | 4,900 | 5,003 | 5,000  | 5,000  | 5,011  | 5,000  | 5,011  | 5,032 | 5,001  |
| RB        | 39,0   | 37,4   | 59,0   | 52,3  | 47,9  | 22,2   | 0,3    | 0,3    | 42,0   | 47,3   | 41,2  | 7,6    |
| OR        | 1,5    | 1,0    | 3,7    | 3,3   | 1,7   | 0,0    | 0,2    | 0,3    | 2,2    | 2,0    | 7,4   | 0,0    |
| AN        | 59,5   | 60,0   | 36,6   | 44,4  | 50,4  | 77,0   | 91,5   | 91,4   | 55,0   | 49,9   | 51,3  | 92,4   |

| N analyse | 200    | 190    | 205    | 206    | 207    | 209   | 213    | 215    | 216    | 220    | 236   | 241    |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
|           | i      | b      | b      | b      | b      | b     | b      | b      | b      | a      | a     | a      |
| SiO2      | 45,45  | 54,14  | 40,04  | 53,56  | 46,57  | 49,10 | 53,10  | 55,70  | 52,47  | 53,31  | 64,66 | 50,61  |
| TiO2      | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,13   |
| Al2O3     | 35,33  | 20,77  | 32,13  | 29,46  | 34,56  | 31,57 | 29,34  | 27,04  | 29,51  | 29,00  | 20,09 | 25,27  |
| FeO       | 0,40   | 0,61   | 0,76   | 0,03   | 0,67   | 0,03  | 0,93   | 0,02   | 0,79   | 0,05   | 0,62  | 0,75   |
| MnO       | 0,13   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,04  | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00  | 0,00   |
| MgO       | 0,02   | 0,09   | 0,00   | 0,13   | 0,01   | 0,05  | 0,12   | 0,10   | 0,07   | 0,05   | 0,05  | 0,06   |
| CaO       | 10,25  | 11,20  | 16,00  | 12,21  | 17,00  | 15,14 | 12,32  | 10,63  | 12,72  | 12,00  | 1,43  | 7,55   |
| Na2O      | 0,96   | 4,00   | 2,44   | 4,41   | 1,14   | 2,69  | 4,33   | 5,17   | 4,20   | 4,63   | 6,90  | 4,93   |
| K2O       | 0,04   | 0,39   | 0,13   | 0,32   | 0,04   | 0,10  | 0,34   | 0,42   | 0,20   | 0,36   | 5,14  | 2,02   |
| Cr2O3     | 0,11   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,14   | 0,03   | 0,00   | 0,00  | 0,00   |
| Total     | 100,77 | 100,16 | 100,54 | 100,90 | 100,59 | 99,71 | 100,56 | 100,92 | 100,16 | 100,42 | 90,95 | 100,12 |
| Si        | 2,003  | 2,449  | 2,232  | 2,411  | 2,131  | 2,261 | 2,406  | 2,500  | 2,306  | 2,416  | 2,922 | 2,642  |
| Ti        | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,002  | 0,000  | 0,001 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002 | 0,004  |
| Al        | 1,909  | 1,534  | 1,731  | 1,563  | 1,864  | 1,711 | 1,565  | 1,471  | 1,502  | 1,500  | 1,070 | 1,343  |
| Fe        | 0,010  | 0,023  | 0,020  | 0,031  | 0,026  | 0,032 | 0,035  | 0,031  | 0,030  | 0,032  | 0,023 | 0,020  |
| Mn        | 0,005  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,000 | 0,000  |
| Mg        | 0,001  | 0,006  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,003 | 0,000  | 0,007  | 0,005  | 0,003  | 0,003 | 0,004  |
| Ca        | 0,096  | 0,547  | 0,707  | 0,509  | 0,053  | 0,746 | 0,597  | 0,511  | 0,620  | 0,507  | 0,069 | 0,365  |
| Na        | 0,005  | 0,420  | 0,216  | 0,305  | 0,101  | 0,240 | 0,300  | 0,449  | 0,377  | 0,407  | 0,603 | 0,431  |
| K         | 0,002  | 0,023  | 0,000  | 0,010  | 0,002  | 0,011 | 0,020  | 0,024  | 0,016  | 0,021  | 0,296 | 0,162  |
| Cr        | 0,004  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,005  | 0,001  | 0,002  | 0,000 | 0,000  |
| TOTAL     | 5,004  | 5,000  | 5,012  | 5,000  | 4,900  | 5,007 | 5,011  | 4,990  | 5,010  | 5,021  | 4,991 | 4,979  |
| RB        | 0,7    | 42,9   | 21,4   | 30,0   | 10,5   | 24,1  | 30,1   | 45,6   | 37,2   | 40,1   | 62,3  | 45,0   |
| OR        | 0,2    | 2,3    | 0,7    | 1,9    | 0,2    | 1,1   | 2,0    | 2,4    | 1,6    | 2,1    | 30,5  | 16,9   |
| AN        | 91,1   | 54,0   | 77,9   | 59,4   | 89,3   | 74,9  | 59,9   | 51,9   | 61,2   | 57,0   | 7,1   | 30,1   |

Tableau III-20 suite

| Ech.      | UGM1  |       |        |        |        |       |       |       |       |       |       |        |       |       |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| N analyse | 138   | 133   | 136    | 137    | 136    | 138   | 139   | 162   | 163   | 131   | 134   | 135    | 138   | 157   |
|           | c     | c     | c      | c      | c      | c     | i     | i     | i     | b     | b     | b      | b     | b     |
| SiO2      | 49,35 | 48,94 | 48,34  | 48,38  | 52,17  | 49,47 | 49,44 | 48,84 | 49,11 | 58,11 | 58,16 | 47,42  | 52,34 | 53,85 |
| TiO2      | 0,18  | 0,88  | 0,81   | 0,84   | 0,81   | 0,84  | 0,88  | 0,83  | 0,88  | 0,83  | 0,81  | 0,86   | 0,82  | 0,86  |
| Al2O3     | 38,46 | 38,98 | 31,86  | 32,84  | 29,88  | 30,89 | 31,19 | 31,87 | 31,19 | 29,91 | 38,51 | 32,51  | 28,61 | 27,28 |
| FeO       | 0,86  | 0,72  | 0,67   | 0,68   | 0,89   | 0,88  | 1,18  | 0,98  | 0,87  | 1,18  | 1,18  | 0,83   | 1,88  | 1,17  |
| MnO       | 0,89  | 0,11  | 0,12   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,82  | 0,88  | 0,84  | 0,88  | 0,15   | 0,88  | 0,88  |
| MgO       | 0,12  | 0,14  | 0,18   | 0,11   | 0,12   | 0,88  | 0,12  | 0,18  | 0,14  | 0,17  | 0,13  | 0,11   | 0,16  | 0,15  |
| CaO       | 14,54 | 15,41 | 16,48  | 16,42  | 15,78  | 15,18 | 15,89 | 15,91 | 15,61 | 14,88 | 14,57 | 17,81  | 12,72 | 11,47 |
| Na2O      | 3,34  | 2,89  | 2,46   | 2,39   | 3,87   | 3,82  | 2,98  | 2,71  | 2,68  | 3,34  | 3,28  | 2,17   | 4,88  | 5,88  |
| K2O       | 0,18  | 0,13  | 0,87   | 0,87   | 0,89   | 0,89  | 0,18  | 0,11  | 0,11  | 0,11  | 0,12  | 0,89   | 0,21  | 0,32  |
| Cr2O3     | 0,85  | 0,17  | 0,85   | 0,18   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,15  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  |
| Total     | 99,81 | 99,49 | 188,16 | 188,18 | 188,75 | 99,67 | 99,94 | 98,97 | 99,79 | 98,96 | 99,88 | 188,33 | 99,36 | 99,38 |
| Si4+      | 2,287 | 2,261 | 2,225  | 2,219  | 2,363  | 2,278 | 2,271 | 2,237 | 2,268 | 2,319 | 2,383 | 2,183  | 2,399 | 2,467 |
| Ti4+      | 0,883 | 0,888 | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,881 | 0,888 | 0,881 | 0,883 | 0,881 | 0,888 | 0,882  | 0,881 | 0,882 |
| Al3+      | 1,664 | 1,687 | 1,727  | 1,735  | 1,596  | 1,677 | 1,689 | 1,786 | 1,692 | 1,632 | 1,651 | 1,764  | 1,546 | 1,473 |
| Fe2+      | 0,833 | 0,828 | 0,826  | 0,826  | 0,834  | 0,834 | 0,842 | 0,838 | 0,833 | 0,843 | 0,845 | 0,832  | 0,838 | 0,845 |
| Mn2+      | 0,884 | 0,884 | 0,885  | 0,888  | 0,888  | 0,881 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,882 | 0,888 | 0,886  | 0,888 | 0,888 |
| Mg2+      | 0,888 | 0,818 | 0,887  | 0,888  | 0,888  | 0,885 | 0,888 | 0,887 | 0,818 | 0,812 | 0,889 | 0,888  | 0,811 | 0,818 |
| Ca2+      | 8,727 | 8,763 | 8,812  | 8,888  | 8,665  | 8,749 | 8,743 | 8,794 | 8,778 | 8,694 | 8,717 | 8,839  | 8,625 | 8,565 |
| Na+       | 0,388 | 0,239 | 0,219  | 0,215  | 0,348  | 0,278 | 0,238 | 0,243 | 0,239 | 0,388 | 0,285 | 0,194  | 0,488 | 0,451 |
| K+        | 0,886 | 0,888 | 0,884  | 0,884  | 0,885  | 0,885 | 0,886 | 0,887 | 0,886 | 0,886 | 0,887 | 0,885  | 0,812 | 0,819 |
| Cr3+      | 0,882 | 0,886 | 0,882  | 0,884  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,885 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 |
| TOTAL     | 5,838 | 5,826 | 5,824  | 5,819  | 5,811  | 5,828 | 5,817 | 5,833 | 5,814 | 5,814 | 5,817 | 5,832  | 5,833 | 5,838 |
| RB        | 29,2  | 25,1  | 21,2   | 28,8   | 33,7   | 26,3  | 25,7  | 23,4  | 23,6  | 38,8  | 28,2  | 18,7   | 38,6  | 43,7  |
| OP        | 8,6   | 8,7   | 8,4    | 8,4    | 8,5    | 8,5   | 8,6   | 8,6   | 8,6   | 8,6   | 8,7   | 8,5    | 1,2   | 1,8   |
| PN        | 78,2  | 74,1  | 78,4   | 78,8   | 65,8   | 73,1  | 73,8  | 76,8  | 73,8  | 69,4  | 71,1  | 88,8   | 68,2  | 54,5  |

| Ech.      | UGR8  |        |       |        |        |        |        |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N analyse | 159   | 168    | 161   | 165    | 166    | 167    | 179    | 188   | 21    | 24    | 32    | 36    | 41    | 33    |
|           | b     | b      | b     | a      | a      | a      | a      | a     | c     | c     | c     | c     | c     | i     |
| SiO2      | 58,27 | 48,29  | 47,64 | 52,91  | 53,88  | 51,95  | 53,38  | 51,92 | 48,47 | 48,18 | 58,34 | 48,47 | 48,61 | 47,55 |
| TiO2      | 0,83  | 0,88   | 0,86  | 0,84   | 0,86   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,85  | 0,83  | 0,85  | 0,88  |
| Al2O3     | 29,93 | 32,88  | 31,91 | 28,14  | 28,46  | 29,39  | 26,54  | 28,96 | 31,65 | 31,84 | 38,67 | 31,84 | 31,54 | 32,82 |
| FeO       | 0,96  | 1,88   | 0,85  | 1,19   | 1,63   | 0,94   | 1,36   | 1,28  | 0,74  | 0,76  | 0,78  | 0,36  | 0,66  | 0,71  |
| MnO       | 0,88  | 0,88   | 0,82  | 0,11   | 0,11   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,86  | 0,82  | 0,84  | 0,88  | 0,88  |
| MgO       | 0,11  | 0,15   | 0,89  | 0,11   | 0,12   | 0,16   | 0,88   | 0,11  | 0,86  | 0,86  | 0,12  | 0,85  | 0,13  | 0,86  |
| CaO       | 14,23 | 16,14  | 16,38 | 12,59  | 12,23  | 13,33  | 18,13  | 12,72 | 15,49 | 15,83 | 14,34 | 15,68 | 15,52 | 16,84 |
| Na2O      | 3,36  | 2,39   | 2,38  | 4,73   | 4,61   | 4,89   | 5,71   | 4,41  | 2,49  | 2,32  | 3,16  | 2,47  | 2,74  | 2,52  |
| K2O       | 0,15  | 0,87   | 0,84  | 0,33   | 0,38   | 0,17   | 0,49   | 0,28  | 0,88  | 0,87  | 0,11  | 0,87  | 0,88  | 0,87  |
| Cr2O3     | 0,15  | 0,81   | 0,88  | 0,13   | 0,86   | 0,88   | 0,17   | 0,84  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,86  |
| Total     | 99,21 | 188,11 | 99,29 | 188,38 | 188,38 | 188,83 | 188,86 | 99,72 | 98,98 | 99,14 | 99,82 | 99,21 | 99,33 | 99,11 |
| Si4+      | 2,321 | 2,221  | 2,218 | 2,414  | 2,411  | 2,371  | 2,517  | 2,381 | 2,246 | 2,228 | 2,318 | 2,248 | 2,246 | 2,289 |
| Ti4+      | 0,881 | 0,888  | 0,882 | 0,881  | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,883 | 0,882 | 0,881 | 0,882 | 0,888 |
| Al3+      | 1,629 | 1,735  | 1,745 | 1,514  | 1,526  | 1,582  | 1,422  | 1,566 | 1,723 | 1,739 | 1,639 | 1,735 | 1,718 | 1,734 |
| Fe2+      | 0,837 | 0,842  | 0,833 | 0,845  | 0,862  | 0,836  | 0,859  | 0,849 | 0,823 | 0,829 | 0,838 | 0,822 | 0,826 | 0,828 |
| Mn2+      | 0,888 | 0,888  | 0,881 | 0,884  | 0,884  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,882 | 0,881 | 0,882 | 0,888 | 0,883 |
| Mg2+      | 0,888 | 0,889  | 0,886 | 0,887  | 0,888  | 0,811  | 0,885  | 0,888 | 0,884 | 0,884 | 0,888 | 0,883 | 0,889 | 0,884 |
| Ca2+      | 8,785 | 8,793  | 8,814 | 8,615  | 8,596  | 8,632  | 8,493  | 8,623 | 8,769 | 8,787 | 8,785 | 8,776 | 8,768 | 8,798 |
| Na+       | 0,381 | 0,213  | 0,287 | 0,418  | 0,487  | 0,362  | 0,583  | 0,392 | 0,224 | 0,288 | 0,281 | 0,221 | 0,245 | 0,227 |
| K+        | 0,889 | 0,884  | 0,882 | 0,828  | 0,817  | 0,818  | 0,828  | 0,816 | 0,885 | 0,884 | 0,886 | 0,884 | 0,885 | 0,884 |
| Cr3+      | 0,885 | 0,888  | 0,888 | 0,885  | 0,882  | 0,888  | 0,886  | 0,881 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,888 | 0,882 |
| TOTAL     | 5,816 | 5,828  | 5,828 | 5,845  | 5,833  | 5,824  | 5,833  | 5,839 | 5,884 | 5,886 | 5,883 | 5,884 | 5,819 | 5,829 |
| RB        | 29,6  | 21,8   | 28,2  | 39,7   | 39,9   | 35,4   | 49,1   | 37,9  | 22,4  | 28,9  | 28,3  | 22,1  | 24,1  | 22,8  |
| OP        | 8,9   | 8,4    | 8,2   | 1,9    | 1,7    | 1,8    | 2,8    | 1,6   | 8,3   | 8,4   | 8,6   | 8,4   | 8,5   | 8,4   |
| PN        | 69,5  | 78,3   | 79,6  | 58,4   | 58,4   | 63,7   | 48,1   | 68,5  | 77,1  | 78,7  | 71,8  | 77,5  | 73,4  | 77,5  |

| N analyse | 34     | 43    | 22    | 23    | 26    | 31    | 37    | 48    | 42    | 44    | 61    | 62    | 64    |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | i      | i     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | a     | a     | a     |
| SiO2      | 48,14  | 48,64 | 48,85 | 49,83 | 48,68 | 48,23 | 47,93 | 47,91 | 48,15 | 48,56 | 56,81 | 53,51 | 55,16 |
| TiO2      | 0,84   | 0,86  | 0,88  | 0,85  | 0,84  | 0,82  | 0,88  | 0,85  | 0,82  | 0,87  | 0,88  | 0,87  | 0,84  |
| Al2O3     | 32,33  | 31,71 | 31,46 | 38,35 | 31,35 | 31,61 | 31,74 | 31,79 | 31,88 | 31,52 | 25,76 | 28,26 | 26,79 |
| FeO       | 0,98   | 0,73  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,81  | 0,97  | 0,88  | 0,77  | 0,72  | 1,32  | 0,77  | 0,85  |
| MnO       | 0,81   | 0,18  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,83  | 0,87  | 0,12  |
| MgO       | 0,87   | 0,89  | 0,88  | 0,86  | 0,88  | 0,89  | 0,11  | 0,88  | 0,86  | 0,18  | 0,35  | 0,13  | 0,84  |
| CaO       | 16,19  | 15,31 | 15,25 | 14,91 | 15,51 | 15,85 | 15,73 | 15,44 | 15,33 | 15,21 | 9,85  | 11,62 | 18,27 |
| Na2O      | 2,23   | 2,73  | 2,66  | 3,88  | 2,57  | 2,51  | 2,71  | 2,76  | 2,76  | 2,62  | 5,38  | 4,49  | 5,27  |
| K2O       | 0,88   | 0,89  | 0,89  | 0,11  | 0,13  | 0,86  | 0,89  | 0,18  | 0,88  | 0,11  | 0,36  | 0,28  | 0,33  |
| Cr2O3     | 0,83   | 0,88  | 0,18  | 0,88  | 0,82  | 0,88  | 0,82  | 0,88  | 0,12  | 0,83  | 0,88  | 0,81  | 0,88  |
| Total     | 188,18 | 99,46 | 99,45 | 28,99 | 99,36 | 99,18 | 98,93 | 98,88 | 99,89 | 98,93 | 99,26 | 99,87 | 98,87 |
| Si4+      | 2,213  | 2,244 | 2,254 | 2,272 | 2,247 | 2,233 | 2,228 | 2,227 | 2,232 | 2,238 | 2,354 | 2,448 | 2,522 |
| Ti4+      | 0,881  | 0,882 | 0,888 | 0,881 | 0,881 | 0,881 | 0,888 | 0,882 | 0,881 | 0,882 | 0,883 | 0,882 | 0,881 |
| Al3+      | 1,732  | 1,725 | 1,712 | 1,691 | 1,719 | 1,727 | 1,738 | 1,742 | 1,738 | 1,722 | 1,385 | 1,521 | 1,444 |
| Fe2+      | 0,838  | 0,828 | 0,834 | 0,831 | 0,831 | 0,831 | 0,838 | 0,831 | 0,838 | 0,828 | 0,838 | 0,829 | 0,833 |
| Mn2+      | 0,888  | 0,884 | 0,883 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,883 | 0,883 |
| Mg2+      | 0,888  | 0,886 | 0,886 | 0,884 | 0,886 | 0,886 | 0,888 | 0,886 | 0,884 | 0,887 | 0,824 | 0,889 | 0,883 |
| Ca2+      | 8,737  | 8,737 | 8,748 | 8,748 | 8,768 | 8,787 | 8,783 | 8,769 | 8,761 | 8,733 | 8,481 | 8,578 | 8,585 |
| Na+       | 0,199  | 0,244 | 0,238 | 0,278 | 0,238 | 0,226 | 0,211 | 0,244 | 0,248 | 0,233 | 0,469 | 0,398 | 0,467 |
| K+        | 0,885  | 0,885 | 0,885 | 0,887 | 0,888 | 0,884 | 0,885 | 0,885 | 0,885 | 0,886 | 0,821 | 0,812 | 0,819 |
| Cr3+      | 0,881  | 0,888 | 0,884 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,884 | 0,881 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |
| TOTAL     | 5,811  | 5,816 | 5,818 | 5,818 | 5,811 | 5,816 | 5,811 | 5,826 |       |       |       |       |       |

Tableau III-20 suite

| Ech.      | VLC115 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| N analyse | 62     | 98    | 100   | 112   | 114   | 59    | 68    | 99    | 113   | 103   | 104   | 105   |
|           | c      | c     | c     | c     | c     | b     | b     | b     | b     | m     | m     | m     |
| SiO2      | 45,38  | 45,43 | 47,73 | 45,11 | 46,41 | 47,02 | 58,16 | 47,66 | 47,17 | 55,10 | 51,75 | 52,83 |
| TiO2      | 0,13   | 0,08  | 0,01  | 0,08  | 0,08  | 0,03  | 0,08  | 0,08  | 0,03  | 0,11  | 0,03  | 0,08  |
| Al2O3     | 33,78  | 33,72 | 31,53 | 33,78 | 33,21 | 32,38 | 38,68 | 32,85 | 32,54 | 27,22 | 29,12 | 28,89 |
| FeO       | 0,94   | 0,89  | 1,06  | 0,78  | 0,78  | 0,94  | 1,18  | 0,99  | 0,88  | 1,17  | 1,32  | 1,38  |
| MnO       | 0,01   | 0,07  | 0,03  | 0,09  | 0,08  | 0,08  | 0,15  | 0,08  | 0,08  | 0,02  | 0,08  | 0,01  |
| MgO       | 0,05   | 0,10  | 0,15  | 0,09  | 0,06  | 0,11  | 0,20  | 0,28  | 0,07  | 0,09  | 0,28  | 0,15  |
| CaO       | 17,34  | 17,54 | 15,95 | 17,91 | 17,16 | 16,68 | 13,72 | 15,95 | 16,18 | 18,18 | 12,64 | 11,66 |
| Na2O      | 1,24   | 1,32  | 2,37  | 1,28  | 1,47  | 1,97  | 3,27  | 2,87  | 2,12  | 5,53  | 4,21  | 4,45  |
| K2O       | 0,08   | 0,03  | 0,07  | 0,03  | 0,03  | 0,07  | 0,14  | 0,06  | 0,06  | 0,39  | 0,27  | 0,24  |
| Cr-2O5    | 0,08   | 0,02  | 0,05  | 0,08  | 0,08  | 0,07  | 0,16  | 0,02  | 0,04  | 0,01  | 0,08  | 0,08  |
| Total     | 98,87  | 99,12 | 98,95 | 98,99 | 99,12 | 99,11 | 98,98 | 99,08 | 99,01 | 99,82 | 99,62 | 98,89 |
| Si4+      | 2,119  | 2,118 | 2,222 | 2,188 | 2,157 | 2,187 | 2,328 | 2,212 | 2,192 | 2,582 | 2,375 | 2,432 |
| Ti4+      | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,004 | 0,001 | 0,003 |
| Al3+      | 1,859  | 1,854 | 1,738 | 1,861 | 1,828 | 1,771 | 1,636 | 1,753 | 1,783 | 1,457 | 1,575 | 1,524 |
| Fe2+      | 0,037  | 0,035 | 0,041 | 0,038 | 0,038 | 0,037 | 0,046 | 0,038 | 0,034 | 0,044 | 0,051 | 0,033 |
| Mn2+      | 0,000  | 0,003 | 0,001 | 0,004 | 0,000 | 0,000 | 0,006 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 |
| Mg2+      | 0,003  | 0,007 | 0,010 | 0,006 | 0,004 | 0,008 | 0,014 | 0,014 | 0,005 | 0,006 | 0,014 | 0,010 |
| Ca2+      | 0,867  | 0,876 | 0,796 | 0,897 | 0,855 | 0,827 | 0,688 | 0,793 | 0,882 | 0,495 | 0,622 | 0,575 |
| Na+       | 0,112  | 0,119 | 0,214 | 0,109 | 0,132 | 0,178 | 0,293 | 0,186 | 0,191 | 0,487 | 0,375 | 0,397 |
| K+        | 0,000  | 0,002 | 0,004 | 0,002 | 0,002 | 0,004 | 0,008 | 0,004 | 0,004 | 0,023 | 0,016 | 0,014 |
| Cr-3+     | 0,000  | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,006 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,003 | 0,000 |
| TOTAL     | 5,003  | 5,015 | 5,021 | 5,017 | 5,008 | 5,016 | 5,089 | 5,084 | 5,012 | 5,028 | 5,038 | 5,009 |
| RB        | 11,5   | 12,0  | 21,1  | 10,0  | 13,4  | 17,6  | 29,9  | 18,9  | 19,2  | 48,5  | 37,8  | 48,5  |
| OR        | 0,0    | 0,2   | 0,4   | 0,2   | 0,2   | 0,4   | 0,0   | 0,4   | 0,4   | 2,2   | 1,6   | 1,4   |
| RN        | 88,5   | 87,9  | 78,5  | 89,0  | 86,4  | 82,0  | 69,3  | 88,7  | 88,5  | 49,3  | 61,4  | 58,3  |

| Ech.      | VLA15 |        |        |       |        |       |        |       |       |       |        |        |
|-----------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| N analyse | 1     | 3      | 10     | 11    | 14     | 15    | 5      | 6     | 2     | 4     | 9      | 13     |
|           | c     | c      | c      | c     | c      | c     | i      | i     | b     | b     | b      | b      |
| SiO2      | 53,11 | 54,31  | 54,93  | 54,78 | 52,99  | 53,82 | 53,57  | 54,74 | 52,19 | 58,42 | 53,21  | 53,69  |
| TiO2      | 0,09  | 0,08   | 0,08   | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,03   | 0,01  | 0,04  | 0,02  | 0,08   | 0,06   |
| Al2O3     | 28,85 | 28,48  | 27,83  | 27,46 | 29,15  | 28,78 | 28,74  | 27,84 | 29,84 | 38,72 | 28,47  | 29,17  |
| FeO       | 0,77  | 0,74   | 0,57   | 0,33  | 0,37   | 0,37  | 0,81   | 0,61  | 0,75  | 0,89  | 0,95   | 0,75   |
| MnO       | 0,09  | 0,08   | 0,32   | 0,08  | 0,08   | 0,05  | 0,08   | 0,02  | 0,08  | 0,01  | 0,28   | 0,08   |
| MgO       | 0,08  | 0,08   | 0,06   | 0,11  | 0,08   | 0,04  | 0,11   | 0,15  | 0,04  | 0,04  | 0,04   | 0,07   |
| CaO       | 11,68 | 11,67  | 11,17  | 10,62 | 12,34  | 11,97 | 12,18  | 10,59 | 12,34 | 14,35 | 11,81  | 12,88  |
| Na2O      | 4,64  | 4,92   | 4,93   | 5,68  | 4,31   | 4,93  | 4,04   | 5,13  | 4,28  | 3,31  | 4,93   | 4,83   |
| K2O       | 0,29  | 0,32   | 0,38   | 0,38  | 0,26   | 0,37  | 0,26   | 0,37  | 0,32  | 0,18  | 0,36   | 0,33   |
| Cr-2O5    | 0,05  | 0,08   | 0,25   | 0,08  | 0,58   | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,08  | 0,08  | 0,41   | 0,08   |
| Total     | 99,65 | 100,52 | 100,36 | 99,28 | 100,88 | 99,73 | 100,56 | 99,46 | 98,92 | 99,94 | 100,46 | 100,98 |
| Si4+      | 2,421 | 2,452  | 2,481  | 2,496 | 2,485  | 2,419 | 2,424  | 2,488 | 2,488 | 2,589 | 2,419  | 2,419  |
| Ti4+      | 0,003 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,003  | 0,000 | 0,002  | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000  | 0,002  |
| Al3+      | 1,551 | 1,516  | 1,482  | 1,475 | 1,568  | 1,548 | 1,533  | 1,492 | 1,574 | 1,658 | 1,526  | 1,538  |
| Fe2+      | 0,029 | 0,028  | 0,022  | 0,013 | 0,014  | 0,022 | 0,031  | 0,023 | 0,029 | 0,034 | 0,036  | 0,028  |
| Mn2+      | 0,003 | 0,000  | 0,012  | 0,000 | 0,000  | 0,002 | 0,003  | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,011  | 0,000  |
| Mg2+      | 0,005 | 0,005  | 0,004  | 0,007 | 0,005  | 0,003 | 0,007  | 0,010 | 0,003 | 0,003 | 0,003  | 0,005  |
| Ca2+      | 0,571 | 0,565  | 0,541  | 0,518 | 0,608  | 0,585 | 0,587  | 0,516 | 0,608 | 0,784 | 0,575  | 0,579  |
| Na+       | 0,418 | 0,431  | 0,432  | 0,495 | 0,379  | 0,436 | 0,425  | 0,452 | 0,374 | 0,294 | 0,434  | 0,422  |
| K+        | 0,017 | 0,018  | 0,017  | 0,022 | 0,015  | 0,022 | 0,015  | 0,021 | 0,019 | 0,011 | 0,021  | 0,019  |
| Cr-3+     | 0,002 | 0,000  | 0,009  | 0,000 | 0,018  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,015  | 0,000  |
| TOTAL     | 5,013 | 5,015  | 4,999  | 5,025 | 5,008  | 5,036 | 5,027  | 5,083 | 5,088 | 5,014 | 5,039  | 5,024  |
| RB        | 41,1  | 42,5   | 43,6   | 47,8  | 38,1   | 41,8  | 41,4   | 45,7  | 37,4  | 29,1  | 42,2   | 41,4   |
| OR        | 1,7   | 1,8    | 1,7    | 2,1   | 1,5    | 2,1   | 1,5    | 2,2   | 1,9   | 1,0   | 2,0    | 1,9    |
| RN        | 57,2  | 55,7   | 54,6   | 58,1  | 60,3   | 56,1  | 57,2   | 52,1  | 68,7  | 69,8  | 55,8   | 56,8   |

| Ech.   | N Analyse |       |       |       |
|--------|-----------|-------|-------|-------|
|        | 41        | 42    | 44    | 45    |
|        | m         | m     | m     | m     |
| SiO2   | 54,28     | 52,16 | 57,83 | 59,65 |
| TiO2   | 0,01      | 0,02  | 0,08  | 0,09  |
| Al2O3  | 27,67     | 29,12 | 24,71 | 24,27 |
| FeO    | 0,72      | 1,16  | 1,21  | 1,19  |
| MnO    | 0,08      | 0,06  | 0,07  | 0,08  |
| MgO    | 0,12      | 0,06  | 0,04  | 0,06  |
| CaO    | 18,43     | 12,27 | 7,17  | 6,68  |
| Na2O   | 5,21      | 3,94  | 6,03  | 7,02  |
| K2O    | 0,43      | 0,25  | 0,07  | 0,03  |
| Cr-2O5 | 0,08      | 0,08  | 0,15  | 0,08  |
| TOTAL  | 98,95     | 99,84 | 98,88 | 99,71 |
| Si4+   | 2,483     | 2,397 | 2,636 | 2,683 |
| Ti4+   | 0,000     | 0,001 | 0,000 | 0,003 |
| Al3+   | 1,492     | 1,578 | 1,328 | 1,287 |
| Fe2+   | 0,028     | 0,045 | 0,046 | 0,045 |
| Mn2+   | 0,000     | 0,002 | 0,003 | 0,000 |
| Mg2+   | 0,008     | 0,004 | 0,003 | 0,004 |
| Ca2+   | 0,511     | 0,684 | 0,358 | 0,318 |
| Na+    | 0,462     | 0,351 | 0,604 | 0,612 |
| K+     | 0,025     | 0,015 | 0,051 | 0,048 |
| Cr-3+  | 0,003     | 0,000 | 0,005 | 0,000 |
| TOTAL  | 5,013     | 4,996 | 5,025 | 5,008 |
| RB     | 46,3      | 36,2  | 60,1  | 62,6  |
| OR     | 2,5       | 1,5   | 3,0   | 4,9   |
| RN     | 51,2      | 62,3  | 34,9  | 32,5  |

Tableau III-20 suite

| Ech.   | MVR15     |       |        |       |       |       |        |       |       |        |       |        |        |       |      |      |
|--------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|------|------|
|        | N analyse |       | c 1    | c 34  | c 36  | c 38  | i 39   | b 2   | b 3   | b 35   | b 37  | b 48   | a 41   | a 42  | a 43 | a 44 |
| SiO2   | 46,53     | 48,98 | 48,67  | 46,78 | 48,25 | 49,86 | 58,48  | 58,38 | 49,99 | 58,28  | 49,52 | 58,38  | 51,89  | 49,78 |      |      |
| TiO2   | 0,84      | 0,88  | 0,88   | 0,83  | 0,88  | 0,84  | 0,82   | 0,87  | 0,88  | 0,88   | 0,87  | 0,88   | 0,88   | 0,84  |      |      |
| Al2O3  | 33,49     | 31,75 | 31,78  | 33,11 | 31,47 | 31,89 | 31,18  | 38,22 | 38,59 | 38,78  | 38,24 | 38,77  | 29,82  | 38,34 |      |      |
| FeO    | 0,91      | 0,88  | 0,93   | 0,87  | 0,78  | 0,91  | 1,85   | 1,88  | 1,84  | 1,84   | 1,23  | 1,25   | 1,34   | 1,22  |      |      |
| MnO    | 0,88      | 0,88  | 0,88   | 0,85  | 0,85  | 0,18  | 0,88   | 0,86  | 0,83  | 0,88   | 0,89  | 0,84   | 0,86   | 0,88  |      |      |
| MgO    | 0,23      | 0,19  | 0,16   | 0,16  | 0,17  | 0,19  | 0,28   | 0,18  | 0,11  | 0,24   | 0,19  | 0,19   | 0,19   | 0,18  |      |      |
| CaO    | 17,46     | 15,47 | 16,14  | 17,83 | 15,68 | 14,92 | 14,41  | 14,41 | 14,73 | 15,89  | 14,73 | 14,28  | 13,91  | 14,78 |      |      |
| Na2O   | 1,28      | 2,58  | 2,45   | 1,67  | 2,79  | 2,63  | 2,91   | 3,87  | 3,21  | 2,94   | 3,24  | 3,27   | 3,46   | 3,11  |      |      |
| K2O    | 0,82      | 0,88  | 0,86   | 0,83  | 0,11  | 0,13  | 0,16   | 0,17  | 0,17  | 0,18   | 0,15  | 0,88   | 0,19   | 0,11  |      |      |
| Cr-2O3 | 0,83      | 0,81  | 0,36   | 0,81  | 0,83  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,82  | 0,88   | 0,88  | 0,83   | 0,81   | 0,88  |      |      |
| Total  | 99,99     | 99,86 | 188,37 | 99,66 | 99,33 | 99,93 | 188,33 | 99,56 | 99,91 | 188,47 | 99,46 | 188,29 | 188,87 | 99,68 |      |      |
| Si4+   | 2,146     | 2,247 | 2,229  | 2,161 | 2,235 | 2,285 | 2,297  | 2,314 | 2,296 | 2,292  | 2,298 | 2,382  | 2,339  | 2,289 |      |      |
| Ti4+   | 0,881     | 0,888 | 0,888  | 0,881 | 0,888 | 0,881 | 0,882  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,882 | 0,888  | 0,888  | 0,881 |      |      |
| Al3+   | 1,821     | 1,728 | 1,716  | 1,886 | 1,719 | 1,688 | 1,639  | 1,656 | 1,657 | 1,648  | 1,637 | 1,637  | 1,689  | 1,638 |      |      |
| Fe2+   | 0,833     | 0,834 | 0,836  | 0,834 | 0,838 | 0,833 | 0,848  | 0,842 | 0,848 | 0,848  | 0,848 | 0,848  | 0,831  | 0,847 |      |      |
| Mn2+   | 0,888     | 0,888 | 0,888  | 0,882 | 0,882 | 0,887 | 0,888  | 0,882 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,884  | 0,882  | 0,888 |      |      |
| Mg2+   | 0,816     | 0,813 | 0,811  | 0,811 | 0,812 | 0,813 | 0,814  | 0,812 | 0,888 | 0,816  | 0,813 | 0,813  | 0,813  | 0,812 |      |      |
| Ca2+   | 0,863     | 0,762 | 0,792  | 0,844 | 0,778 | 0,733 | 0,784  | 0,718 | 0,726 | 0,738  | 0,738 | 0,699  | 0,682  | 0,729 |      |      |
| Na+    | 0,114     | 0,238 | 0,218  | 0,158 | 0,251 | 0,234 | 0,257  | 0,274 | 0,286 | 0,268  | 0,298 | 0,298  | 0,387  | 0,278 |      |      |
| K+     | 0,881     | 0,885 | 0,884  | 0,882 | 0,887 | 0,888 | 0,889  | 0,818 | 0,886 | 0,889  | 0,885 | 0,885  | 0,811  | 0,886 |      |      |
| Cr-3+  | 0,881     | 0,888 | 0,813  | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,881 | 0,883  | 0,888 | 0,881  | 0,888  | 0,888 |      |      |
| TOTAL  | 4,999     | 5,818 | 5,818  | 5,811 | 5,834 | 4,993 | 4,997  | 5,886 | 5,823 | 5,812  | 5,834 | 5,816  | 5,816  | 5,822 |      |      |
| RB     | 11,7      | 23,1  | 21,5   | 15,8  | 24,2  | 24,8  | 26,5   | 27,5  | 28,8  | 25,9   | 28,2  | 29,2   | 38,7   | 27,4  |      |      |
| OR     | 8,1       | 8,5   | 8,3    | 8,2   | 8,6   | 8,8   | 1,8    | 1,8   | 1,8   | 8,6    | 8,9   | 8,5    | 1,1    | 8,6   |      |      |
| PN     | 88,2      | 76,5  | 78,2   | 84,8  | 73,2  | 73,2  | 72,5   | 71,5  | 71,8  | 73,5   | 78,9  | 78,4   | 68,2   | 72,8  |      |      |

| Ech.   | MOT1      |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |        |     |     |
|--------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-----|-----|
|        | N analyse |       | c 77   | c 79  | c 81  | i 83  | i 84  | b 78  | b 88  | b 82  | 118   | 112    | 113 | 114 |
| SiO2   | 45,55     | 51,26 | 46,42  | 51,15 | 58,72 | 53,63 | 51,74 | 53,85 | 54,68 | 56,87 | 52,28 | 53,37  |     |     |
| TiO2   | 0,88      | 0,88  | 0,88   | 0,84  | 0,86  | 0,89  | 0,85  | 0,83  | 0,12  | 0,18  | 0,88  | 0,83   |     |     |
| Al2O3  | 33,58     | 29,54 | 33,78  | 29,88 | 29,57 | 27,28 | 29,16 | 28,84 | 26,81 | 25,95 | 29,81 | 29,25  |     |     |
| FeO    | 0,67      | 0,82  | 0,76   | 0,84  | 1,11  | 0,87  | 0,88  | 1,12  | 1,47  | 1,47  | 1,12  | 0,61   |     |     |
| MnO    | 0,88      | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,83  | 0,18  | 0,88  | 0,87  | 0,88  | 0,18  | 0,85  | 0,88   |     |     |
| MgO    | 0,83      | 0,87  | 0,87   | 0,83  | 0,88  | 0,86  | 0,86  | 0,86  | 0,87  | 0,87  | 0,88  | 0,82   |     |     |
| CaO    | 17,93     | 13,36 | 17,45  | 13,48 | 13,58 | 11,37 | 12,72 | 12,17 | 18,71 | 9,33  | 12,28 | 11,95  |     |     |
| Na2O   | 1,38      | 3,92  | 1,46   | 3,66  | 3,71  | 4,97  | 4,89  | 4,87  | 5,15  | 5,94  | 4,48  | 4,49   |     |     |
| K2O    | 0,18      | 0,32  | 0,85   | 0,28  | 0,38  | 0,49  | 0,34  | 0,38  | 0,49  | 0,58  | 0,35  | 0,35   |     |     |
| Cr-2O3 | 0,88      | 0,84  | 0,12   | 0,82  | 0,88  | 0,86  | 0,81  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,12  | 0,88   |     |     |
| Total  | 99,16     | 99,33 | 188,88 | 99,33 | 99,24 | 98,92 | 98,97 | 99,71 | 99,58 | 99,88 | 99,66 | 188,87 |     |     |
| Si4+   | 2,123     | 2,358 | 2,148  | 2,358 | 2,341 | 2,467 | 2,383 | 2,419 | 2,499 | 2,539 | 2,394 | 2,428  |     |     |
| Ti4+   | 0,888     | 0,888 | 0,888  | 0,881 | 0,882 | 0,883 | 0,882 | 0,881 | 0,884 | 0,883 | 0,888 | 0,881  |     |     |
| Al3+   | 1,845     | 1,682 | 1,834  | 1,618 | 1,689 | 1,479 | 1,583 | 1,551 | 1,444 | 1,396 | 1,566 | 1,564  |     |     |
| Fe2+   | 0,826     | 0,832 | 0,829  | 0,832 | 0,843 | 0,833 | 0,831 | 0,843 | 0,836 | 0,836 | 0,843 | 0,823  |     |     |
| Mn2+   | 0,888     | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,881 | 0,884 | 0,888 | 0,883 | 0,888 | 0,884 | 0,882 | 0,888  |     |     |
| Mg2+   | 0,882     | 0,883 | 0,883  | 0,882 | 0,886 | 0,884 | 0,884 | 0,884 | 0,885 | 0,885 | 0,885 | 0,881  |     |     |
| Ca2+   | 0,896     | 0,658 | 0,862  | 0,664 | 0,668 | 0,568 | 0,628 | 0,595 | 0,524 | 0,456 | 0,681 | 0,581  |     |     |
| Na+    | 0,117     | 0,358 | 0,138  | 0,326 | 0,332 | 0,443 | 0,363 | 0,368 | 0,456 | 0,526 | 0,391 | 0,398  |     |     |
| K+     | 0,886     | 0,819 | 0,883  | 0,815 | 0,822 | 0,829 | 0,828 | 0,817 | 0,829 | 0,834 | 0,828 | 0,828  |     |     |
| Cr-3+  | 0,888     | 0,881 | 0,884  | 0,881 | 0,883 | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,884 | 0,888  |     |     |
| TOTAL  | 5,816     | 5,823 | 5,888  | 5,889 | 5,828 | 5,823 | 5,816 | 4,993 | 5,817 | 5,819 | 5,827 | 5,885  |     |     |
| RB     | 11,5      | 34,8  | 13,1   | 32,5  | 32,5  | 42,9  | 36,1  | 37,8  | 45,2  | 51,8  | 38,6  | 39,6   |     |     |
| OR     | 8,6       | 1,8   | 8,3    | 1,5   | 2,2   | 2,8   | 2,8   | 1,8   | 2,8   | 3,3   | 2,8   | 2,8    |     |     |
| PN     | 87,9      | 64,1  | 86,6   | 66,1  | 63,3  | 54,3  | 62,8  | 61,2  | 52,8  | 44,9  | 59,4  | 58,3   |     |     |

Tableau III-20 suite

| Ech.      | BOK11     |       |        |       |       |        |       |        |        |        |        |        |
|-----------|-----------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | N analyse |       | 87     | 89    | 90    | 91     | 93    | 96     | 99     | 100    | 110    | 94     |
|           | c         | c     | c      | c     | c     | c      | c     | c      | c      | c      | i      | i      |
| SiO2      | 60,96     | 59,24 | 60,99  | 60,52 | 56,57 | 60,02  | 55,66 | 58,70  | 55,92  | 60,00  | 58,36  | 58,36  |
| TiO2      | 0,00      | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Al2O3     | 24,37     | 24,02 | 24,31  | 24,39 | 26,00 | 23,00  | 27,60 | 26,58  | 27,27  | 24,92  | 26,50  | 26,50  |
| FeO       | 0,44      | 0,39  | 0,46   | 0,39  | 0,50  | 0,46   | 0,46  | 0,50   | 0,40   | 0,32   | 0,34   | 0,34   |
| MnO       | 0,00      | 0,05  | 0,00   | 0,04  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| MgO       | 0,05      | 0,01  | 0,04   | 0,00  | 0,06  | 0,01   | 0,06  | 0,02   | 0,04   | 0,04   | 0,04   | 0,04   |
| CaO       | 6,29      | 6,07  | 5,73   | 6,00  | 9,14  | 6,16   | 9,52  | 0,50   | 9,40   | 6,64   | 0,49   | 0,49   |
| Na2O      | 6,06      | 6,71  | 7,34   | 7,02  | 5,40  | 6,75   | 5,49  | 6,01   | 5,60   | 7,11   | 6,35   | 6,35   |
| K2O       | 1,11      | 0,07  | 1,24   | 1,10  | 0,57  | 1,03   | 0,57  | 0,70   | 0,51   | 0,50   | 0,71   | 0,71   |
| Cr2O3     | 0,00      | 0,00  | 0,06   | 0,00  | 0,06  | 0,04   | 0,02  | 0,01   | 0,02   | 0,00   | 0,01   | 0,01   |
| Total     | 100,00    | 98,96 | 100,17 | 99,62 | 99,26 | 99,53  | 99,44 | 101,10 | 99,24  | 100,09 | 100,00 | 100,00 |
| Si        | 2,716     | 2,675 | 2,710  | 2,711 | 2,562 | 2,600  | 2,522 | 2,602  | 2,536  | 2,602  | 2,597  | 2,597  |
| Ti        | 0,000     | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Al        | 1,200     | 1,321 | 1,277  | 1,200 | 1,431 | 1,324  | 1,474 | 1,309  | 1,450  | 1,312  | 1,394  | 1,394  |
| Fe        | 0,016     | 0,015 | 0,017  | 0,015 | 0,022 | 0,017  | 0,017 | 0,019  | 0,015  | 0,012  | 0,013  | 0,013  |
| Mn        | 0,000     | 0,002 | 0,000  | 0,002 | 0,000 | 0,000  | 0,002 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Mg        | 0,003     | 0,001 | 0,003  | 0,000 | 0,004 | 0,001  | 0,004 | 0,001  | 0,003  | 0,003  | 0,003  | 0,003  |
| Ca        | 0,300     | 0,332 | 0,274  | 0,292 | 0,444 | 0,296  | 0,462 | 0,400  | 0,461  | 0,310  | 0,405  | 0,405  |
| Na        | 0,593     | 0,587 | 0,634  | 0,610 | 0,401 | 0,506  | 0,402 | 0,517  | 0,492  | 0,615  | 0,540  | 0,540  |
| K         | 0,063     | 0,000 | 0,070  | 0,067 | 0,033 | 0,059  | 0,033 | 0,040  | 0,030  | 0,030  | 0,040  | 0,040  |
| Cr        | 0,000     | 0,000 | 0,002  | 0,000 | 0,002 | 0,001  | 0,001 | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| TOTAL     | 4,972     | 4,905 | 4,995  | 4,904 | 4,979 | 4,972  | 4,990 | 4,970  | 4,995  | 4,990  | 5,000  | 5,000  |
| AB        | 62,0      | 60,6  | 64,0   | 62,9  | 50,2  | 62,3   | 49,3  | 53,6   | 50,1   | 62,2   | 55,2   | 55,2   |
| OR        | 6,6       | 5,2   | 7,2    | 7,0   | 3,4   | 6,3    | 3,4   | 4,1    | 3,0    | 5,6    | 4,1    | 4,1    |
| AN        | 31,4      | 34,3  | 20,0   | 30,1  | 46,3  | 31,4   | 47,3  | 42,3   | 46,9   | 32,1   | 40,0   | 40,0   |
| N analyse | BOK11     |       |        |       |       |        |       |        |        |        |        |        |
|           | i         | b     | b      | b     | b     | b      | b     | b      | b      | b      | b      |        |
| SiO2      | 54,94     | 59,53 | 50,99  | 50,07 | 60,05 | 61,02  | 60,00 | 57,75  | 61,00  | 61,04  | 61,04  | 61,04  |
| TiO2      | 0,00      | 0,00  | 0,00   | 0,04  | 0,00  | 0,01   | 0,04  | 0,00   | 0,06   | 0,03   | 0,03   | 0,03   |
| Al2O3     | 20,64     | 25,14 | 25,00  | 26,44 | 24,71 | 24,42  | 24,15 | 23,92  | 24,32  | 24,65  | 24,65  | 24,65  |
| FeO       | 0,33      | 0,34  | 0,43   | 0,37  | 0,34  | 0,61   | 0,27  | 0,37   | 0,45   | 0,47   | 0,47   | 0,47   |
| MnO       | 0,06      | 0,00  | 0,00   | 0,12  | 0,01  | 0,00   | 0,06  | 0,00   | 0,01   | 0,05   | 0,05   | 0,05   |
| MgO       | 0,03      | 0,09  | 0,00   | 0,02  | 0,03  | 0,00   | 0,07  | 0,07   | 0,01   | 0,07   | 0,07   | 0,07   |
| CaO       | 10,06     | 6,90  | 7,33   | 0,31  | 6,46  | 5,99   | 6,15  | 0,45   | 5,76   | 6,37   | 6,37   | 6,37   |
| Na2O      | 5,00      | 6,05  | 6,47   | 5,74  | 7,11  | 7,01   | 7,22  | 6,36   | 7,37   | 7,30   | 7,30   | 7,30   |
| K2O       | 0,30      | 0,90  | 0,02   | 0,66  | 0,99  | 1,19   | 1,15  | 0,71   | 1,32   | 1,11   | 1,11   | 1,11   |
| Cr2O3     | 0,04      | 0,02  | 0,00   | 0,00  | 0,11  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Total     | 100,20    | 99,77 | 99,92  | 99,77 | 99,01 | 100,25 | 99,00 | 99,63  | 100,30 | 101,09 | 101,09 | 101,09 |
| Si        | 2,474     | 2,667 | 2,640  | 2,600 | 2,600 | 2,716  | 2,712 | 2,604  | 2,716  | 2,700  | 2,700  | 2,700  |
| Ti        | 0,000     | 0,000 | 0,000  | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,001 | 0,000  | 0,002  | 0,001  | 0,001  | 0,001  |
| Al        | 1,320     | 1,320 | 1,365  | 1,399 | 1,304 | 1,202  | 1,274 | 1,370  | 1,277  | 1,205  | 1,205  | 1,205  |
| Fe        | 0,012     | 0,013 | 0,016  | 0,014 | 0,013 | 0,023  | 0,010 | 0,014  | 0,017  | 0,017  | 0,017  | 0,017  |
| Mn        | 0,002     | 0,000 | 0,000  | 0,005 | 0,000 | 0,000  | 0,002 | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,002  | 0,002  |
| Mg        | 0,002     | 0,006 | 0,000  | 0,001 | 0,002 | 0,000  | 0,005 | 0,005  | 0,001  | 0,005  | 0,005  | 0,005  |
| Ca        | 0,524     | 0,331 | 0,352  | 0,400 | 0,310 | 0,206  | 0,295 | 0,400  | 0,275  | 0,302  | 0,302  | 0,302  |
| Na        | 0,437     | 0,595 | 0,561  | 0,499 | 0,617 | 0,605  | 0,626 | 0,536  | 0,636  | 0,626  | 0,626  | 0,626  |
| K         | 0,022     | 0,051 | 0,047  | 0,030 | 0,057 | 0,060  | 0,066 | 0,041  | 0,075  | 0,063  | 0,063  | 0,063  |
| Cr        | 0,001     | 0,001 | 0,000  | 0,000 | 0,004 | 0,000  | 0,003 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| TOTAL     | 4,995     | 4,992 | 4,901  | 4,962 | 4,995 | 4,979  | 4,994 | 5,006  | 4,999  | 5,001  | 5,001  | 5,001  |
| AB        | 44,4      | 60,9  | 50,5   | 53,3  | 62,7  | 63,1   | 63,5  | 55,3   | 64,5   | 63,2   | 63,2   | 63,2   |
| OR        | 2,2       | 5,3   | 4,9    | 4,0   | 5,7   | 7,1    | 6,7   | 4,1    | 7,6    | 6,3    | 6,3    | 6,3    |
| AN        | 53,3      | 33,9  | 36,6   | 42,7  | 31,5  | 29,0   | 29,9  | 40,6   | 27,9   | 30,5   | 30,5   | 30,5   |

Tableau III-21 : Analyses chimiques des titanomagnétites des laves des îles.  
*Microprobe analysis of titanomagnetites for islands lavas.*

|       | URG2           |                |                |                |          |          | URM2           |                |                |                  |          |                |
|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|----------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------|----------------|
|       | 137<br>inc P   | 138<br>inc cpx | 152<br>inc cpx | 153<br>inc cpx | 175<br>m | 176<br>m | 183<br>mp      | 186<br>inc cpx | 187<br>inc     | 198<br>inc cpx c | 199<br>b | 200<br>inc cpx |
| SiO2  | 0,21           | 0,10           | 0,16           | 0,03           | 0,03     | 0,15     | 0,12           | 0,00           | 0,05           | 0,09             | 0,11     | 0,04           |
| TiO2  | 9,62           | 9,63           | 6,28           | 9,63           | 10,12    | 9,09     | 9,00           | 5,07           | 7,04           | 0,36             | 0,16     | 11,93          |
| Al2O3 | 3,36           | 3,29           | 5,34           | 3,29           | 3,40     | 3,26     | 3,18           | 6,02           | 4,20           | 4,15             | 4,40     | 2,69           |
| Fe3+  | 49,39          | 50,55          | 54,20          | 50,73          | 47,54    | 49,10    | 40,50          | 54,45          | 51,29          | 50,20            | 44,94    | 44,03          |
| Fe2+  | 35,61          | 36,03          | 32,50          | 35,91          | 35,76    | 34,72    | 35,57          | 31,60          | 33,65          | 34,91            | 35,11    | 39,37          |
| MnO   | 0,42           | 0,49           | 0,40           | 0,41           | 0,65     | 0,46     | 0,57           | 0,43           | 0,53           | 0,66             | 0,53     | 0,60           |
| MgO   | 3,20           | 3,20           | 3,60           | 3,45           | 3,15     | 3,13     | 3,26           | 4,03           | 3,34           | 2,00             | 2,66     | 1,74           |
| CaO   | 0,00           | 0,00           | 0,01           | 0,00           | 0,00     | 0,16     | 0,00           | 0,02           | 0,00           | 0,00             | 0,00     | 0,04           |
| Na2O  | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,01     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00             | 0,00     | 0,01           |
| K2O   | 0,02           | 0,00           | 0,02           | 0,03           | 0,01     | 0,00     | 0,01           | 0,00           | 0,00           | 0,01             | 0,01     | 0,00           |
| Cr2O3 | 0,00           | 0,01           | 0,00           | 0,00           | 0,10     | 0,07     | 0,07           | 0,00           | 0,00           | 0,05             | 0,10     | 0,00           |
| Total | 102,00         | 103,45         | 102,67         | 103,47         | 100,75   | 100,16   | 100,96         | 102,51         | 100,90         | 101,22           | 101,22   | 100,54         |
| Si4+  | 0,05           | 0,03           | 0,05           | 0,01           | 0,01     | 0,04     | 0,04           | 0,00           | 0,01           | 0,02             | 0,03     | 0,01           |
| Ti4+  | 2,07           | 2,05           | 1,33           | 2,05           | 2,21     | 2,00     | 2,13           | 1,24           | 1,70           | 1,02             | 1,77     | 2,64           |
| Al3+  | 1,13           | 1,10           | 1,70           | 1,10           | 1,16     | 1,12     | 1,09           | 2,00           | 1,43           | 1,41             | 1,52     | 0,93           |
| Fe3+  | 10,64          | 10,76          | 11,51          | 10,00          | 10,39    | 10,00    | 10,59          | 11,52          | 11,14          | 10,91            | 10,05    | 9,76           |
| Fe2+  | 0,53           | 0,53           | 7,66           | 0,49           | 0,60     | 0,48     | 0,57           | 7,45           | 0,12           | 0,44             | 0,48     | 0,70           |
| Mn2+  | 0,10           | 0,12           | 0,09           | 0,10           | 0,16     | 0,11     | 0,14           | 0,10           | 0,15           | 0,16             | 0,13     | 0,17           |
| Mg2+  | 1,40           | 1,39           | 1,55           | 1,45           | 1,36     | 1,36     | 1,41           | 1,69           | 1,44           | 1,21             | 1,14     | 0,76           |
| Ca2+  | 0,03           | 0,02           | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,05     | 0,00           | 0,01           | 0,02           | 0,00             | 0,02     | 0,01           |
| Na+   | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,01     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00             | 0,00     | 0,01           |
| K+    | 0,01           | 0,00           | 0,01           | 0,01           | 0,00     | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00             | 0,00     | 0,00           |
| Cr3+  | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,02     | 0,02     | 0,02           | 0,00           | 0,00           | 0,01             | 0,04     | 0,01           |
| Total | 23,90          | 23,99          | 23,90          | 24,00          | 24,00    | 23,99    | 23,90          | 24,00          | 24,00          | 23,99            | 23,99    | 24,00          |
|       | UGM1           |                |                |                |          |          |                |                |                |                  |          |                |
|       | 201<br>inc cpx | 202<br>inc P   | 227<br>inc ol  | 220<br>inc cpx | 230<br>m | 239<br>m | 144<br>inc cpx | 174<br>inc cpx | 175<br>inc cpx | 176<br>inc cpx   | 177      |                |
| SiO2  | 0,10           | 0,07           | 0,09           | 0,09           | 0,40     | 0,23     | 0,02           | 0,07           | 0,00           | 0,09             | 0,67     |                |
| TiO2  | 0,46           | 11,07          | 0,23           | 0,43           | 13,54    | 10,95    | 6,25           | 6,40           | 6,39           | 6,26             | 10,40    |                |
| Al2O3 | 4,56           | 3,09           | 4,44           | 4,42           | 0,06     | 0,00     | 3,96           | 3,12           | 2,92           | 3,60             | 1,93     |                |
| Fe3+  | 49,94          | 45,67          | 51,26          | 50,65          | 40,51    | 45,32    | 52,96          | 54,65          | 53,75          | 53,48            | 42,50    |                |
| Fe2+  | 34,94          | 30,03          | 35,40          | 35,14          | 41,46    | 39,30    | 33,34          | 33,50          | 32,93          | 33,77            | 36,96    |                |
| MnO   | 0,50           | 0,55           | 0,62           | 0,30           | 0,70     | 0,61     | 0,31           | 0,29           | 0,25           | 0,30             | 0,59     |                |
| MgO   | 3,04           | 1,04           | 2,74           | 3,10           | 0,50     | 0,42     | 2,50           | 2,60           | 2,71           | 2,23             | 0,99     |                |
| CaO   | 0,06           | 0,05           | 0,03           | 0,00           | 0,12     | 0,10     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00             | 0,00     |                |
| Na2O  | 0,06           | 0,00           | 0,05           | 0,00           | 0,00     | 0,00     | 0,00           | 0,06           | 0,04           | 0,00             | 0,05     |                |
| K2O   | 0,00           | 0,05           | 0,00           | 0,00           | 0,03     | 0,03     | 0,00           | 0,02           | 0,00           | 0,00             | 0,05     |                |
| Cr2O3 | 0,09           | 0,05           | 0,00           | 0,13           | 0,04     | 0,06     | 0,06           | 0,00           | 0,50           | 0,50             | 0,07     |                |
| Total | 101,91         | 101,27         | 102,93         | 102,33         | 90,25    | 97,02    | 100,27         | 100,79         | 99,66          | 100,09           | 94,72    |                |
| Si4+  | 0,05           | 0,02           | 0,03           | 0,02           | 0,12     | 0,07     | 0,01           | 0,02           | 0,02           | 0,03             | 0,21     |                |
| Ti4+  | 1,02           | 2,43           | 1,76           | 1,01           | 23,96    | 23,90    | 1,30           | 1,43           | 1,42           | 1,39             | 2,46     |                |
| Al3+  | 1,53           | 1,06           | 1,49           | 1,40           | 0,51     | 0,29     | 1,37           | 1,00           | 1,02           | 1,20             | 0,57     |                |
| Fe3+  | 10,74          | 10,03          | 10,96          | 10,05          | 9,31     | 10,32    | 11,60          | 12,04          | 11,97          | 11,06            | 10,05    |                |
| Fe2+  | 0,35           | 0,40           | 0,43           | 0,37           | 10,59    | 10,14    | 0,17           | 0,20           | 0,15           | 0,32             | 0,72     |                |
| Mn2+  | 0,14           | 0,14           | 0,15           | 0,07           | 0,10     | 0,16     | 0,00           | 0,07           | 0,06           | 0,07             | 0,16     |                |
| Mg2+  | 1,29           | 0,00           | 1,16           | 1,35           | 0,26     | 0,20     | 1,13           | 1,14           | 1,19           | 0,90             | 0,47     |                |
| Ca2+  | 0,02           | 0,02           | 0,01           | 0,00           | 0,04     | 0,03     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00             | 0,03     |                |
| Na+   | 0,03           | 0,00           | 0,03           | 0,00           | 0,00     | 0,00     | 0,00           | 0,03           | 0,03           | 0,00             | 0,03     |                |
| K+    | 0,00           | 0,02           | 0,00           | 0,00           | 0,01     | 0,01     | 0,00           | 0,01           | 0,00           | 0,00             | 0,02     |                |
| Cr3+  | 0,02           | 0,01           | 0,00           | 0,03           | 0,01     | 0,02     | 0,00           | 0,00           | 0,14           | 0,07             | 0,22     |                |
| Total | 24,00          | 24,01          | 24,00          | 13,99          | 23,95    | 23,90    | 24,00          | 24,01          | 24,00          | 23,99            | 23,93    |                |
|       | UGAB           |                |                |                |          |          |                |                |                |                  |          |                |
|       | 178<br>inc cpx | 105            | 15             | 16             | 17       | 18       | 19             | 20             | 54             | 55               |          |                |
| SiO2  | 0,15           | 0,00           | 0,13           | 0,17           | 0,07     | 0,09     | 0,07           | 0,02           | 0,15           | 0,52             |          |                |
| TiO2  | 10,70          | 5,97           | 7,75           | 7,40           | 7,57     | 7,40     | 7,50           | 6,99           | 7,31           | 7,56             |          |                |
| Al2O3 | 1,54           | 3,22           | 4,62           | 4,53           | 4,44     | 4,39     | 4,62           | 4,25           | 4,51           | 4,61             |          |                |
| Fe3+  | 44,14          | 55,56          | 40,63          | 49,00          | 49,90    | 49,29    | 49,27          | 51,17          | 50,74          | 47,95            |          |                |
| Fe2+  | 30,04          | 30,99          | 33,14          | 32,55          | 33,27    | 32,20    | 32,70          | 32,10          | 32,40          | 32,33            |          |                |
| MnO   | 0,40           | 0,36           | 0,23           | 0,24           | 0,30     | 0,32     | 0,33           | 0,31           | 0,46           | 0,30             |          |                |
| MgO   | 1,10           | 3,70           | 3,25           | 3,34           | 3,17     | 3,54     | 3,34           | 3,47           | 3,53           | 3,23             |          |                |
| CaO   | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00     | 0,00           | 0,04           | 0,00           | 0,01             |          |                |
| Na2O  | 0,01           | 0,02           | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,01     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,02             |          |                |
| K2O   | 0,00           | 0,03           | 0,00           | 0,00           | 0,03     | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00             |          |                |
| Cr2O3 | 0,76           | 0,21           | 0,19           | 0,15           | 0,23     | 0,23     | 0,17           | 0,04           | 0,17           | 0,14             |          |                |
| Total | 96,94          | 100,13         | 97,95          | 97,46          | 99,06    | 97,55    | 97,99          | 90,39          | 99,36          | 96,76            |          |                |
| Si4+  | 0,05           | 0,00           | 0,04           | 0,05           | 0,02     | 0,03     | 0,02           | 0,01           | 0,04           | 0,15             |          |                |
| Ti4+  | 2,40           | 1,31           | 1,73           | 1,67           | 1,67     | 1,67     | 1,67           | 1,56           | 1,61           | 1,70             |          |                |
| Al3+  | 0,56           | 1,11           | 1,61           | 1,59           | 1,54     | 1,54     | 1,61           | 1,40           | 1,55           | 1,62             |          |                |
| Fe3+  | 10,24          | 12,22          | 10,05          | 10,90          | 11,04    | 11,03    | 10,90          | 11,39          | 11,15          | 10,70            |          |                |
| Fe2+  | 0,01           | 7,57           | 0,22           | 0,10           | 0,10     | 0,01     | 0,00           | 7,94           | 7,93           | 0,00             |          |                |
| Mn2+  | 0,10           | 0,09           | 0,06           | 0,06           | 0,09     | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,11           | 0,10             |          |                |
| Mg2+  | 0,54           | 1,65           | 1,44           | 1,40           | 1,39     | 1,57     | 1,40           | 1,53           | 1,54           | 1,44             |          |                |
| Ca2+  | 0,01           | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,00     | 0,00           | 0,01           | 0,00           | 0,00             |          |                |
| Na+   | 0,01           | 0,01           | 0,00           | 0,00           | 0,00     | 0,01     | 0,00           | 0,00           | 0,01           | 0,01             |          |                |
| K+    | 0,00           | 0,01           | 0,00           | 0,00           | 0,01     | 0,00     | 0,00           | 0,00           | 0,00           | 0,00             |          |                |
| Cr3+  | 0,10           | 0,05           | 0,05           | 0,04           | 0,05     | 0,05     | 0,04           | 0,01           | 0,04           | 0,03             |          |                |
| Total | 23,90          | 24,01          | 23,90          | 23,97          | 23,99    | 23,99    | 23,99          | 24,00          | 23,90          | 23,93            |          |                |

Tableau III-21 suite

| Ech.  |            |        |       | BOK11  |        |        |        |        |        |        |
|-------|------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | N analyses |        |       | 73     | 79     | 83     | 84     | 74     | 88     | 127    |
|       | a          | a      | a     | c      | c      | c      | c      | b      | b      | a      |
| SiO2  | 52,85      | 54,38  | 53,46 | 53,79  | 51,19  | 53,77  | 53,66  | 54,37  | 54,43  | 53,86  |
| TiO2  | 0,22       | 0,24   | 0,16  | 0,26   | 0,28   | 0,17   | 0,15   | 0,15   | 0,21   | 0,18   |
| Al2O3 | 0,73       | 1,28   | 1,86  | 0,42   | 0,44   | 0,46   | 0,58   | 0,44   | 0,29   | 0,39   |
| FeO   | 22,77      | 16,68  | 16,63 | 28,28  | 28,15  | 19,18  | 19,48  | 19,22  | 18,88  | 28,18  |
| MnO   | 0,79       | 0,34   | 0,37  | 1,67   | 1,85   | 1,27   | 1,43   | 1,38   | 1,33   | 1,78   |
| MgO   | 28,36      | 26,89  | 25,89 | 23,92  | 22,53  | 25,15  | 24,87  | 25,84  | 24,76  | 24,82  |
| CaO   | 2,83       | 1,88   | 2,81  | 1,42   | 4,12   | 1,43   | 1,51   | 1,45   | 1,51   | 1,47   |
| Na2O  | 0,81       | 0,86   | 0,86  | 0,83   | 0,83   | 0,82   | 0,83   | 0,84   | 0,84   | 0,88   |
| K2O   | 0,88       | 0,81   | 0,83  | 0,81   | 0,88   | 0,84   | 0,82   | 0,88   | 0,83   | 0,88   |
| Cr2O3 | 0,82       | 0,89   | 0,88  | 0,86   | 0,81   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,11   | 0,84   |
| Total | 98,96      | 100,89 | 98,89 | 101,78 | 100,52 | 101,49 | 101,65 | 102,01 | 101,59 | 101,84 |
| Si4+  | 1,977      | 1,957  | 1,969 | 1,964  | 1,921  | 1,988  | 1,954  | 1,967  | 1,976  | 1,965  |
| Ti4+  | 0,886      | 0,887  | 0,884 | 0,887  | 0,886  | 0,885  | 0,884  | 0,884  | 0,886  | 0,885  |
| Al3+  | 0,833      | 0,834  | 0,846 | 0,818  | 0,819  | 0,828  | 0,825  | 0,819  | 0,812  | 0,817  |
| Fe2+  | 0,723      | 0,588  | 0,513 | 0,617  | 0,632  | 0,584  | 0,591  | 0,582  | 0,573  | 0,616  |
| Mn2+  | 0,823      | 0,818  | 0,812 | 0,852  | 0,859  | 0,839  | 0,844  | 0,848  | 0,841  | 0,833  |
| Mg2+  | 1,153      | 1,481  | 1,377 | 1,382  | 1,268  | 1,365  | 1,358  | 1,358  | 1,339  | 1,386  |
| Ca2+  | 0,883      | 0,873  | 0,879 | 0,856  | 0,166  | 0,856  | 0,859  | 0,856  | 0,859  | 0,857  |
| Na+   | 0,881      | 0,884  | 0,884 | 0,882  | 0,882  | 0,881  | 0,882  | 0,883  | 0,883  | 0,888  |
| K+    | 0,888      | 0,888  | 0,881 | 0,888  | 0,888  | 0,882  | 0,881  | 0,888  | 0,881  | 0,888  |
| Cr3+  | 0,881      | 0,883  | 0,888 | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,883  | 0,881  |
| TOTAL | 4,881      | 4,818  | 4,886 | 4,828  | 4,863  | 4,829  | 4,831  | 4,821  | 4,813  | 4,821  |
| MO    | 4,2        | 3,7    | 4,8   | 2,7    | 7,8    | 2,7    | 2,9    | 2,8    | 2,9    | 2,8    |
| EN    | 58,1       | 78,6   | 69,5  | 64,3   | 59,5   | 66,8   | 66,8   | 66,6   | 66,6   | 64,3   |
| FS    | 36,5       | 25,2   | 25,9  | 38,5   | 29,9   | 28,6   | 29,8   | 28,7   | 28,5   | 38,4   |
| Al IV | 0,824      | 0,848  | 0,834 | 0,845  | 0,118  | 0,856  | 0,868  | 0,843  | 0,831  | 0,845  |
| Al VI | 0,889      | 0,886  | 0,812 |        |        |        |        |        |        |        |
| Fe3+  | 0,883      | 0,838  | 0,819 | 0,859  | 0,192  | 0,887  | 0,891  | 0,862  | 0,839  | 0,862  |
| Fe2+  | 0,728      | 0,469  | 0,493 | 0,554  | 0,431  | 0,493  | 0,496  | 0,517  | 0,532  | 0,531  |

Tableau III-21 suite

|        | VLC115       |               |           |               |               |       | VLA15  |        |        |        |       |
|--------|--------------|---------------|-----------|---------------|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
|        | 71<br>inc ol | 93<br>minc ol | 94        | 96<br>minc ol | 97<br>minc ol | 115   | 23     | 24     | 25     | 26     | 27    |
| SiO2   | 0,09         | 0,13          | 0,15      | 0,10          | 0,10          | 0,13  | 0,13   | 0,10   | 0,05   | 0,17   | 0,06  |
| TiO2   | 4,52         | 3,75          | 7,16      | 3,44          | 3,33          | 5,96  | 0,36   | 0,49   | 0,48   | 0,58   | 0,58  |
| Al2O3  | 7,63         | 11,28         | 5,51      | 0,94          | 0,91          | 5,98  | 4,28   | 3,88   | 3,84   | 3,83   | 3,82  |
| Fe3+   | 28,16        | 30,07         | 34,10     | 28,37         | 26,44         | 33,23 | 36,05  | 35,39  | 35,73  | 35,54  | 35,72 |
| Fe2+   | 53,34        | 49,33         | 45,62     | 58,35         | 49,41         | 47,83 | 49,58  | 49,69  | 58,49  | 49,43  | 48,01 |
| MnO    | 0,26         | 0,38          | 0,48      | 0,22          | 0,29          | 0,29  | 0,53   | 0,59   | 0,53   | 0,57   | 0,35  |
| MgO    | 3,14         | 3,98          | 2,58      | 4,61          | 5,58          | 2,53  | 2,18   | 2,47   | 2,47   | 2,39   | 2,85  |
| CaO    | 0,00         | 0,06          | 0,00      | 0,00          | 0,00          | 0,01  | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,02   | 0,00  |
| Na2O   | 0,10         | 0,07          | 0,15      | 0,09          | 0,07          | 0,05  | 0,04   | 0,00   | 0,07   | 0,02   | 0,00  |
| K2O    | 0,00         | 0,01          | 0,01      | 0,00          | 0,00          | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,01  |
| Cr-2O3 | 0,19         | 1,38          | 3,06      | 3,53          | 4,64          | 3,58  | 0,24   | 0,08   | 0,00   | 0,00   | 0,03  |
| Total  | 99,51        | 100,42        | 99,52     | 99,66         | 98,78         | 99,44 | 101,40 | 100,77 | 101,67 | 100,54 | 98,63 |
| Si4+   | 0,03         | 0,04          | 0,04      | 0,03          | 0,03          | 0,04  | 0,04   | 0,03   | 0,01   | 0,05   | 0,02  |
| Ti4+   | 0,97         | 0,79          | 1,57      | 0,73          | 0,71          | 1,31  | 1,82   | 1,86   | 1,84   | 1,88   | 1,93  |
| Al3+   | 2,56         | 3,71          | 1,98      | 2,98          | 2,97          | 2,03  | 1,46   | 1,33   | 1,31   | 1,32   | 1,34  |
| Fe3+   | 11,42        | 10,36         | 10,01     | 10,72         | 10,53         | 10,58 | 10,88  | 10,89  | 10,98  | 10,86  | 10,78 |
| Fe2+   | 6,78         | 7,82          | 8,32      | 6,72          | 6,26          | 8,11  | 8,73   | 8,62   | 8,64   | 8,68   | 8,91  |
| Mn2+   | 0,06         | 0,09          | 0,18      | 0,05          | 0,07          | 0,07  | 0,13   | 0,15   | 0,13   | 0,14   | 0,09  |
| Mg2+   | 2,10         | 1,65          | 1,12      | 1,94          | 2,36          | 1,18  | 0,94   | 1,07   | 1,06   | 1,04   | 0,91  |
| Ca2+   | 0,00         | 0,02          | 0,00      | 0,00          | 0,00          | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  |
| Na+    | 0,10         | 0,04          | 0,00      | 0,05          | 0,04          | 0,03  | 0,02   | 0,05   | 0,04   | 0,01   | 0,00  |
| K+     | 0,00         | 0,00          | 0,00      | 0,00          | 0,00          | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00  |
| Cr3+   | 0,04         | 0,38          | 0,09      | 0,79          | 1,04          | 0,01  | 0,06   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,01  |
| Total  | 24,05        | 24,01         | 24,03     | 24,01         | 24,01         | 24,00 | 23,99  | 24,01  | 24,02  | 23,98  | 23,99 |
|        | MOT 1        |               |           |               | MVA15         |       |        |        |        |        |       |
|        | 94           | 95            | 98        | 102           | 45            | 48    | 49     |        |        |        |       |
| SiO2   | 0,00         | 0,03          | 0,01      | 0,03          | 0,12          | 0,11  | 0,12   |        |        |        |       |
| TiO2   | 14,93        | 3,47          | 3,57      | 3,47          | 14,63         | 14,48 | 15,48  |        |        |        |       |
| Al2O3  | 1,27         | 4,06          | 1,55      | 1,84          | 2,08          | 1,59  | 1,61   |        |        |        |       |
| Fe3+   | 37,98        | 26,18         | 38,66     | 29,75         | 42,38         | 42,17 | 42,78  |        |        |        |       |
| Fe2+   | 39,28        | 56,61         | 68,38     | 59,06         | 57,05         | 38,39 | 36,07  |        |        |        |       |
| MnO    | 0,49         | 0,36          | 0,56      | 0,62          | 0,26          | 0,37  | 0,23   |        |        |        |       |
| MgO    | 3,94         | 5,27          | 1,95      | 2,14          | 1,01          | 1,07  | 1,15   |        |        |        |       |
| CaO    | 0,13         | 0,22          | 0,06      | 0,04          | 0,10          | 0,06  | 0,28   |        |        |        |       |
| Na2O   | 0,02         | 0,00          | 0,00      | 0,05          | 0,10          | 0,07  | 0,05   |        |        |        |       |
| K2O    | 0,00         | 0,00          | 0,00      | 0,00          | 0,00          | 0,01  | 0,00   |        |        |        |       |
| Cr-2O3 | 0,21         | 1,71          | 0,82      | 0,19          | 0,12          | 0,06  | 0,04   |        |        |        |       |
| Total  | 98,18        | 98,78         | 98,76     | 97,19         | 97,78         | 98,38 | 97,66  |        |        |        |       |
| Si4+   | 0,00         | 0,01          | 0,00      | 0,01          | 0,04          | 0,03  | 0,04   |        |        |        |       |
| Ti4+   | 3,35         | 0,76          | 0,82      | 0,80          | 3,35          | 3,38  | 3,53   |        |        |        |       |
| Al3+   | 0,45         | 1,66          | 0,56      | 0,67          | 0,72          | 0,57  | 0,58   |        |        |        |       |
| Fe3+   | 8,79         | 12,38         | 13,79     | 13,66         | 8,49          | 8,76  | 8,27   |        |        |        |       |
| Fe2+   | 9,46         | 6,36          | 7,78      | 7,65          | 10,79         | 10,78 | 10,91  |        |        |        |       |
| Mn2+   | 0,12         | 0,09          | 0,14      | 0,16          | 0,07          | 0,10  | 0,06   |        |        |        |       |
| Mg2+   | 1,75         | 2,29          | 0,88      | 0,98          | 0,46          | 0,48  | 0,52   |        |        |        |       |
| Ca2+   | 0,04         | 0,07          | 0,02      | 0,01          | 0,03          | 0,02  | 0,07   |        |        |        |       |
| Na+    | 0,01         | 0,00          | 0,00      | 3,21          | 0,06          | 0,04  | 0,03   |        |        |        |       |
| K+     | 0,00         | 0,00          | 0,00      | 0,00          | 0,00          | 0,00  | 0,00   |        |        |        |       |
| Cr3+   | 0,05         | 0,39          | 0,01      | 0,05          | 0,03          | 0,01  | 0,01   |        |        |        |       |
| Total  | 24,02        | 24,01         | 24,00     | 24,02         | 24,03         | 24,01 | 24,02  |        |        |        |       |
|        | BOK11        |               |           |               |               |       |        |        |        |        |       |
|        | 77<br>inc P  | 78<br>inc P   | 85<br>agr | 106<br>agr    | 107<br>agr    |       |        |        |        |        |       |
| SiO2   | 0,00         | 0,13          | 0,01      | 0,03          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| TiO2   | 12,69        | 12,62         | 12,55     | 12,76         | 12,75         |       |        |        |        |        |       |
| Al2O3  | 2,47         | 2,24          | 2,38      | 2,33          | 2,21          |       |        |        |        |        |       |
| Fe3+   | 38,68        | 38,71         | 38,72     | 39,09         | 38,57         |       |        |        |        |        |       |
| Fe2+   | 44,38        | 44,92         | 45,54     | 45,82         | 44,61         |       |        |        |        |        |       |
| MnO    | 0,93         | 1,06          | 1,38      | 1,09          | 1,22          |       |        |        |        |        |       |
| MgO    | 2,76         | 2,66          | 2,67      | 2,62          | 2,67          |       |        |        |        |        |       |
| CaO    | 0,00         | 0,02          | 0,00      | 0,03          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| Na2O   | 0,00         | 0,00          | 0,00      | 0,00          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| K2O    | 0,00         | 0,00          | 0,00      | 0,00          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| Cr-2O3 | 0,09         | 0,09          | 0,12      | 0,03          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| Total  | 102,09       | 102,52        | 103,27    | 102,99        | 102,83        |       |        |        |        |        |       |
| Si4+   | 0,02         | 0,04          | 0,00      | 0,01          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| Ti4+   | 2,75         | 2,73          | 2,69      | 2,75          | 2,77          |       |        |        |        |        |       |
| Al3+   | 0,04         | 0,76          | 0,00      | 0,79          | 0,75          |       |        |        |        |        |       |
| Fe3+   | 9,62         | 9,71          | 9,78      | 9,78          | 9,78          |       |        |        |        |        |       |
| Fe2+   | 9,32         | 9,38          | 9,24      | 9,36          | 9,32          |       |        |        |        |        |       |
| Mn2+   | 0,23         | 0,26          | 0,31      | 0,26          | 0,38          |       |        |        |        |        |       |
| Mg2+   | 1,18         | 1,14          | 1,13      | 1,12          | 1,13          |       |        |        |        |        |       |
| Ca2+   | 0,00         | 0,02          | 0,03      | 0,01          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| Na+    | 0,00         | 0,04          | 0,00      | 0,00          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| K+     | 0,00         | 0,00          | 0,00      | 0,00          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| Cr3+   | 0,02         | 0,02          | 0,03      | 0,01          | 0,00          |       |        |        |        |        |       |
| Total  | 23,99        | 24,01         | 23,99     | 23,99         | 23,99         |       |        |        |        |        |       |

Tableau III-22-30 : Analyses chimiques des verres des laves des îles (22) et des fossés (30).

Microprobe analysis of glasses for islands (22) and troughs (30) lavas.

| Ech.    | D5M1  |       | D3M1   |       | D1M1  |       |        |       |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
| Analyse | 133   | 134   | 229    | 238   | 48    | 49    | 58     | 51    |
| SiO2    | 65,89 | 55,66 | 61,87  | 78,74 | 75,45 | 74,39 | 62,98  | 69,88 |
| TiO2    | 1,27  | 1,23  | 0,28   | 1,27  | 0,78  | 0,58  | 0,86   | 0,53  |
| Al2O3   | 16,22 | 13,17 | 23,61  | 11,96 | 12,52 | 12,72 | 23,56  | 14,18 |
| Fe2O3   | 5,54  | 18,48 | 1,25   | 3,65  | 3,28  | 3,33  | 0,63   | 3,88  |
| MnO     | 0,84  | 0,29  | 0,88   | 0,31  | 0,24  | 0,13  | 0,88   | 0,83  |
| MgO     | 0,28  | 3,88  | 0,89   | 0,76  | 0,27  | 0,46  | 0,87   | 0,14  |
| CaO     | 3,94  | 9,88  | 7,51   | 2,71  | 0,98  | 1,59  | 3,68   | 1,79  |
| Na2O    | 5,37  | 2,29  | 6,43   | 1,82  | 0,92  | 1,24  | 0,58   | 3,55  |
| K2O     | 1,35  | 0,98  | 0,18   | 1,11  | 1,32  | 1,47  | 0,18   | 1,88  |
| Cr-2O3  | 0,88  | 0,84  | 0,88   | 0,88  | 0,83  | 0,85  | 0,86   | 0,88  |
| TOTAL   | 99,81 | 97,77 | 188,68 | 94,54 | 95,59 | 95,89 | 181,46 | 95,89 |

| Ech.    | D1M8  |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Analyse | 172   | 174   | 178   | 179   | 181   | 183   | 184   | 185   |
| SiO2    | 73,81 | 73,46 | 74,48 | 74,32 | 74,39 | 74,58 | 73,71 | 69,11 |
| TiO2    | 0,62  | 0,69  | 0,73  | 0,71  | 0,78  | 0,74  | 0,73  | 0,71  |
| Al2O3   | 11,84 | 12,26 | 12,38 | 12,82 | 12,55 | 12,62 | 12,35 | 10,59 |
| Fe2O3   | 3,33  | 3,88  | 3,83  | 3,11  | 2,89  | 3,88  | 2,89  | 4,85  |
| MnO     | 0,23  | 0,87  | 0,16  | 0,28  | 0,81  | 0,29  | 0,87  | 0,23  |
| MgO     | 0,45  | 0,37  | 0,47  | 0,44  | 0,44  | 0,38  | 0,46  | 1,99  |
| CaO     | 1,88  | 1,16  | 1,88  | 1,18  | 1,15  | 1,85  | 1,89  | 1,33  |
| Na2O    | 1,18  | 1,68  | 1,43  | 1,16  | 1,29  | 1,43  | 1,17  | 0,93  |
| K2O     | 1,13  | 1,23  | 1,15  | 1,18  | 1,16  | 1,24  | 1,15  | 1,85  |
| Cr-2O3  | 0,81  | 0,87  | 0,87  | 0,88  | 0,88  | 0,86  | 0,88  | 0,88  |
| TOTAL   | 92,82 | 93,91 | 94,83 | 94,34 | 94,57 | 98,32 | 93,62 | 98,81 |

| Ech.    | D11M1 |       | D12M1 |       | D19M1 |        | D16M1 |       | D28M3  |       |       |  |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--|
| Analyse | 162   | 164   | 165   | 167   | 62    | 111    | 567   | 188   | 182    | 187   | 192   |  |
| SiO2    | 65,11 | 66,33 | 67,48 | 56,78 | 68,55 | 57,49  | 57,32 | 64,85 | 58,78  | 58,36 | 54,79 |  |
| TiO2    | 0,76  | 0,88  | 0,62  | 0,59  | 1,85  | 1,28   | 1,48  | 0,88  | 0,17   | 1,63  | 0,86  |  |
| Al2O3   | 17,63 | 15,32 | 15,35 | 14,77 | 11,81 | 21,95  | 18,57 | 17,84 | 24,52  | 11,41 | 26,73 |  |
| Fe2O3   | 3,85  | 3,95  | 4,82  | 7,32  | 5,46  | 4,94   | 15,74 | 2,57  | 1,38   | 18,58 | 0,94  |  |
| MnO     | 0,88  | 0,84  | 0,23  | 0,88  | 0,17  | 0,88   | 0,28  | 0,88  | 0,88   | 0,12  | 0,85  |  |
| MgO     | 0,48  | 0,38  | 0,19  | 5,19  | 0,44  | 0,76   | 3,72  | 0,38  | 0,53   | 3,87  | 0,28  |  |
| CaO     | 3,93  | 3,78  | 2,77  | 3,38  | 1,99  | 7,75   | 3,79  | 4,78  | 9,37   | 4,88  | 18,82 |  |
| Na2O    | 4,36  | 4,68  | 3,82  | 4,93  | 1,62  | 5,38   | 1,32  | 3,78  | 5,25   | 1,84  | 4,97  |  |
| K2O     | 1,85  | 1,98  | 2,78  | 1,78  | 3,31  | 0,82   | 2,35  | 1,18  | 8,48   | 1,33  | 8,18  |  |
| Cr-2O3  | 0,81  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,81  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  |  |
| TOTAL   | 97,58 | 97,82 | 97,12 | 94,67 | 94,48 | 188,34 | 96,83 | 96,86 | 188,31 | 93,24 | 98,77 |  |

| Ech.    | D24M5 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Analyse | 55    | 55    | 57    | 58    | 59    | 60    | 61    | 62    | 64    | 65    |
| SiO2    | 68,78 | 73,36 | 74,81 | 78,22 | 78,16 | 66,51 | 68,65 | 74,81 | 61,18 | 62,58 |
| TiO2    | 0,89  | 0,14  | 0,28  | 0,19  | 0,27  | 0,13  | 0,85  | 0,39  | 0,82  | 0,12  |
| Al2O3   | 22,64 | 12,37 | 11,12 | 13,55 | 12,49 | 18,88 | 23,54 | 18,58 | 22,68 | 21,91 |
| Fe2O3   | 0,88  | 1,56  | 1,72  | 1,31  | 1,55  | 1,19  | 0,71  | 1,95  | 0,78  | 0,95  |
| MnO     | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,82  | 0,83  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |
| MgO     | 0,88  | 0,83  | 0,83  | 0,88  | 0,87  | 0,84  | 0,88  | 0,88  | 0,83  | 0,82  |
| CaO     | 6,16  | 0,35  | 0,22  | 1,64  | 0,66  | 3,69  | 6,28  | 0,38  | 5,57  | 5,21  |
| Na2O    | 7,14  | 2,86  | 1,58  | 3,35  | 3,32  | 5,67  | 7,47  | 1,64  | 7,38  | 7,88  |
| K2O     | 0,85  | 4,45  | 4,69  | 4,89  | 4,48  | 2,27  | 1,17  | 5,82  | 1,24  | 1,43  |
| Cr-2O3  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,18  | 0,18  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |
| TOTAL   | 98,68 | 95,15 | 94,45 | 94,47 | 93,82 | 98,33 | 99,89 | 94,27 | 98,67 | 99,96 |

| Ech.    | D38M2 |       | D31M1 |       | D26M6 |       | D27M1 |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Analyse | 727   | 341   | 161   | 162   | 163   | 164   | 165   | 53    | 54    | 58    | 68    |
| SiO2    | 56,48 | 65,29 | 68,35 | 67,18 | 65,18 | 67,71 | 66,61 | 67,25 | 66,64 | 63,67 | 66,95 |
| TiO2    | 0,28  | 0,38  | 0,27  | 0,44  | 0,45  | 0,38  | 0,54  | 0,51  | 0,17  | 0,28  | 0,19  |
| Al2O3   | 26,13 | 11,36 | 14,37 | 14,17 | 13,73 | 14,11 | 14,22 | 16,45 | 16,55 | 15,84 | 16,51 |
| Fe2O3   | 1,28  | 2,21  | 1,98  | 1,86  | 4,18  | 1,58  | 3,37  | 1,72  | 1,82  | 1,88  | 0,57  |
| MnO     | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,83  | 0,12  | 0,23  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |
| MgO     | 0,48  | 0,14  | 0,28  | 0,23  | 0,86  | 0,32  | 0,43  | 0,83  | 0,12  | 0,21  | 0,88  |
| CaO     | 11,78 | 2,15  | 1,48  | 1,16  | 1,28  | 1,16  | 1,85  | 0,39  | 1,16  | 0,77  | 0,68  |
| Na2O    | 3,24  | 2,65  | 2,28  | 1,56  | 1,84  | 2,86  | 5,55  | 4,91  | 5,58  | 5,88  | 6,16  |
| K2O     | 0,53  | 2,93  | 4,58  | 4,98  | 4,96  | 4,86  | 2,96  | 7,15  | 5,48  | 6,69  | 5,84  |
| Cr-2O3  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,87  | 0,88  |
| TOTAL   | 99,88 | 87,93 | 93,63 | 91,58 | 92,45 | 92,18 | 95,54 | 98,38 | 96,74 | 96,21 | 96,14 |

| Ech.    | BOK 11 |       |       |       |       |       | URG2  |       | URM2  |       |       |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Analyse | 128    | 121   | 122   | 123   | 124   | 125   | 126   | 173   | 174   | 219   | 236   |
| SiO2    | 67,19  | 68,48 | 68,16 | 67,89 | 68,85 | 68,97 | 67,93 | 63,23 | 62,28 | 97,78 | 64,65 |
| TiO2    | 0,53   | 0,55  | 0,51  | 0,52  | 0,45  | 0,38  | 0,46  | 0,91  | 1,84  | 0,88  | 0,86  |
| Al2O3   | 15,78  | 15,56 | 15,56 | 15,58 | 15,78 | 15,58 | 15,51 | 15,69 | 12,67 | 0,84  | 28,88 |
| Fe2O3   | 2,78   | 2,73  | 2,83  | 2,68  | 2,61  | 2,73  | 2,66  | 5,82  | 9,88  | 0,18  | 0,62  |
| MnO     | 0,11   | 0,18  | 0,86  | 0,84  | 0,88  | 0,12  | 0,12  | 0,19  | 0,18  | 0,88  | 0,88  |
| MgO     | 0,52   | 0,68  | 0,61  | 0,58  | 0,53  | 0,49  | 0,43  | 0,89  | 1,66  | 0,88  | 0,85  |
| CaO     | 1,47   | 1,29  | 1,28  | 1,28  | 1,15  | 1,89  | 1,36  | 2,36  | 4,24  | 0,88  | 1,43  |
| Na2O    | 2,48   | 2,86  | 2,14  | 2,15  | 2,28  | 2,49  | 2,38  | 4,29  | 2,86  | 0,23  | 6,98  |
| K2O     | 4,12   | 4,88  | 4,83  | 4,45  | 4,59  | 4,79  | 4,47  | 3,13  | 2,85  | 0,13  | 5,14  |
| Cr-2O3  | 0,88   | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,87  | 0,88  | 0,87  | 0,88  | 0,88  |
| TOTAL   | 94,97  | 96,23 | 95,95 | 95,89 | 95,44 | 96,67 | 95,42 | 95,71 | 96,94 | 99,11 | 98,95 |

| D7M2  |       |        |        |        |        |       |        |        |        |        |        |        |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|--|
|       | 53    |        | 55     |        | 56     |       | 57     |        | 59     |        | 60     |        | 61 |   | 62 |   | 75 |   | 76 |   | 77 |   | 78 |  |
|       | c     | c      | b      | b      | c      | c     | c      | b      | c      | c      | c      | b      | c  | c | c  | c | b  | c | b  | c | c  | c | c  |  |
| SiO2  | 40.33 | 40.29  | 40.37  | 40.50  | 40.58  | 40.28 | 40.58  | 40.59  | 39.95  | 40.58  | 40.25  | 40.85  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| TiO2  | 0.00  | 0.01   | 0.04   | 0.01   | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.08   | 0.04   | 0.00   | 0.00   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Al2O3 | 0.05  | 0.07   | 0.05   | 0.06   | 0.05   | 0.03  | 0.12   | 0.04   | 0.05   | 0.03   | 0.07   | 0.02   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| FeO   | 11.26 | 11.65  | 11.90  | 11.62  | 11.12  | 12.35 | 12.11  | 11.92  | 13.05  | 11.30  | 12.13  | 11.47  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| MnO   | 0.13  | 0.21   | 0.25   | 0.20   | 0.15   | 0.18  | 0.26   | 0.00   | 0.26   | 0.21   | 0.21   | 0.10   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| HgO   | 47.64 | 47.64  | 47.29  | 47.95  | 47.70  | 46.17 | 47.59  | 47.55  | 47.10  | 47.96  | 47.25  | 48.90  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| CaO   | 0.37  | 0.33   | 0.32   | 0.26   | 0.33   | 0.31  | 0.31   | 0.39   | 0.37   | 0.33   | 0.34   | 0.39   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Na2O  | 0.01  | 0.06   | 0.00   | 0.03   | 0.00   | 0.00  | 0.00   | 0.03   | 0.01   | 0.04   | 0.03   | 0.00   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| K2O   | 0.00  | 0.00   | 0.00   | 0.01   | 0.00   | 0.02  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.02   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Cr2O3 | 0.00  | 0.05   | 0.00   | 0.02   | 0.08   | 0.00  | 0.00   | 0.08   | 0.03   | 0.01   | 0.13   | 0.13   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| TOTAL | 99.79 | 100.31 | 100.22 | 100.66 | 100.01 | 99.34 | 100.97 | 100.51 | 100.90 | 100.50 | 100.41 | 101.79 |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Si4+  | 0.998 | 0.994  | 0.998  | 0.995  | 1.001  | 1.005 | 0.996  | 0.999  | 0.987  | 0.997  | 0.994  | 0.992  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Ti4+  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.001  | 0.000  | 0.000  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Al3+  | 0.001 | 0.002  | 0.001  | 0.002  | 0.001  | 0.001 | 0.003  | 0.001  | 0.001  | 0.001  | 0.002  | 0.001  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Fe2+  | 0.233 | 0.240  | 0.246  | 0.239  | 0.229  | 0.238 | 0.249  | 0.243  | 0.270  | 0.232  | 0.251  | 0.233  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Mn2+  | 0.003 | 0.004  | 0.003  | 0.004  | 0.003  | 0.004 | 0.005  | 0.000  | 0.005  | 0.004  | 0.004  | 0.002  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Hg2+  | 1.737 | 1.732  | 1.742  | 1.733  | 1.718  | 1.741 | 1.744  | 1.734  | 1.736  | 1.740  | 1.769  | 1.769  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Ca2+  | 0.010 | 0.009  | 0.008  | 0.007  | 0.009  | 0.008 | 0.008  | 0.010  | 0.009  | 0.009  | 0.008  | 0.008  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Na+   | 0.000 | 0.003  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000 | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.000  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| K+    | 0.000 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Cr3+  | 0.000 | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.002  | 0.000 | 0.000  | 0.002  | 0.001  | 0.000  | 0.003  | 0.002  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| TOTAL | 3.002 | 3.006  | 3.001  | 3.003  | 2.998  | 2.994 | 3.002  | 3.000  | 3.011  | 3.003  | 3.004  | 3.007  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Fe    | 88.3  | 87.9   | 87.6   | 88.0   | 88.4   | 86.9  | 87.5   | 87.7   | 86.5   | 88.3   | 87.4   | 88.4   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |
| Fa    | 11.7  | 12.1   | 12.4   | 12.0   | 11.6   | 13.1  | 12.5   | 12.3   | 13.5   | 11.7   | 12.6   | 11.6   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |  |

| D7M2 suite |        |        |        |        |        |        |        |        |        | D2M5   |        |       |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|--|
|            | 79     |        | 181    |        | 182    |        | 183    |        | 186    |        | 189    |       | 194 |   | 203 |   | 176 |   | 181 |   | 182 |   | 183 |  |
|            | b      | c      | b      | b      | b      | a      | a      | a      | a      | a      | a      | a     | a   | a | a   | a | c   | b | c   | b | b   | b | b   |  |
| SiO2       | 40.35  | 41.58  | 40.81  | 40.85  | 40.76  | 40.39  | 40.47  | 40.64  | 40.58  | 40.35  | 40.35  | 37.13 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TiO2       | 0.02   | 0.03   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.02   | 0.00   | 0.03   | 0.01   | 0.00   | 0.81  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Al2O3      | 0.09   | 0.07   | 0.06   | 0.05   | 0.08   | 0.11   | 0.07   | 0.08   | 0.03   | 0.00   | 0.02   | 0.31  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| FeO        | 12.03  | 11.07  | 11.72  | 11.36  | 12.93  | 13.47  | 18.19  | 12.64  | 14.38  | 14.17  | 12.00  | 21.58 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| MnO        | 0.00   | 0.22   | 0.16   | 0.17   | 0.26   | 0.27   | 0.23   | 0.20   | 0.24   | 0.25   | 0.24   | 0.46  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| HgO        | 49.25  | 47.79  | 48.13  | 48.02  | 46.74  | 46.58  | 42.26  | 47.38  | 46.28  | 46.50  | 47.77  | 38.86 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| CaO        | 0.23   | 0.27   | 0.30   | 0.33   | 0.38   | 0.42   | 0.28   | 0.44   | 0.30   | 0.26   | 0.42   | 0.44  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Na2O       | 0.02   | 0.05   | 0.07   | 0.09   | 0.05   | 0.00   | 0.02   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.02   | 0.27  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| K2O        | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.02   | 0.01   | 0.03   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.06  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Cr2O3      | 0.00   | 0.16   | 0.08   | 0.00   | 0.00   | 0.04   | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.05   | 0.00   | 0.00  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TOTAL      | 102.19 | 101.24 | 101.33 | 100.89 | 101.21 | 101.31 | 101.68 | 101.22 | 101.84 | 101.59 | 100.67 | 99.92 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Si4+       | 0.983  | 1.011  | 0.996  | 1.000  | 1.001  | 0.995  | 1.012  | 0.997  | 0.997  | 0.994  | 0.993  | 0.970 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Ti4+       | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.016 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Al3+       | 0.003  | 0.002  | 0.002  | 0.001  | 0.002  | 0.003  | 0.002  | 0.002  | 0.001  | 0.000  | 0.001  | 0.010 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Fe2+       | 0.244  | 0.223  | 0.239  | 0.233  | 0.266  | 0.277  | 0.380  | 0.259  | 0.296  | 0.292  | 0.247  | 0.471 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Mn2+       | 0.000  | 0.005  | 0.003  | 0.004  | 0.005  | 0.006  | 0.005  | 0.004  | 0.005  | 0.005  | 0.005  | 0.010 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Hg2+       | 1.779  | 1.732  | 1.751  | 1.751  | 1.711  | 1.710  | 1.575  | 1.732  | 1.695  | 1.707  | 1.753  | 1.513 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Ca2+       | 0.006  | 0.007  | 0.008  | 0.009  | 0.010  | 0.011  | 0.011  | 0.007  | 0.008  | 0.007  | 0.007  | 0.012 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Na+        | 0.001  | 0.002  | 0.003  | 0.004  | 0.002  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.014 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| K+         | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.002 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Cr3+       | 0.000  | 0.003  | 0.002  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.001  | 0.000  | 0.000 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TOTAL      | 3.016  | 2.987  | 3.004  | 3.002  | 2.999  | 3.004  | 2.987  | 3.002  | 3.002  | 3.006  | 3.007  | 3.017 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Fe         | 87.9   | 88.5   | 88.0   | 88.3   | 86.6   | 86.0   | 80.5   | 87.0   | 85.2   | 85.4   | 87.6   | 76.2  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Fa         | 12.1   | 11.5   | 12.0   | 11.7   | 13.4   | 14.0   | 19.5   | 13.0   | 14.8   | 14.6   | 12.4   | 23.8  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |

| D2M5 suite |       |       |       |       |       |       | D5M5  |       |       |       |       |       |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|--|
|            | 185   |       | 188   |       | 190   |       | 195   |       | 77    |       | 70    |       | 137 |   | 145 |   | 148 |   | 150 |   | 157 |   | 159 |  |
|            | i     | b     | b     | b     | c     | c     | c     | c     | c     | c     | c     | c     | c   | c | c   | c | b   | c | c   | c | c   | c | c   |  |
| SiO2       | 40.89 | 40.73 | 40.28 | 39.83 | 39.98 | 40.34 | 40.10 | 41.04 | 41.20 | 39.80 | 40.47 | 40.18 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TiO2       | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.03  | 0.00  | 0.04  | 0.00  | 0.01  | 0.01  | 0.00  | 0.03  | 0.00  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Al2O3      | 0.00  | 0.01  | 0.06  | 0.02  | 0.01  | 0.06  | 0.05  | 0.00  | 0.00  | 0.04  | 0.07  | 0.12  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| FeO        | 12.87 | 13.77 | 13.96 | 13.47 | 14.75 | 15.08 | 14.03 | 13.46 | 13.76 | 12.99 | 13.77 | 19.72 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| MnO        | 0.30  | 0.22  | 0.10  | 0.06  | 0.31  | 0.35  | 0.21  | 0.18  | 0.32  | 0.20  | 0.17  | 0.31  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| HgO        | 47.69 | 46.18 | 46.63 | 46.92 | 47.11 | 46.01 | 47.88 | 47.80 | 46.04 | 48.89 | 47.97 | 41.58 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| CaO        | 0.27  | 0.26  | 0.27  | 0.34  | 0.28  | 0.29  | 0.26  | 0.26  | 0.30  | 0.28  | 0.33  | 0.26  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Na2O       | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.00  | 0.03  | 0.00  | 0.00  | 0.01  | 0.00  |       |       |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |

| NCEch. | D11M1    |          |              |              |          | D10M1  |         |        |         |         |         |         |
|--------|----------|----------|--------------|--------------|----------|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|
|        | 146<br>c | 168<br>c | 103<br>Inc c | 104<br>Inc b | 156<br>a | 8<br>c | 10<br>c | 9<br>b | 11<br>b | 13<br>b | 15<br>b | 16<br>b |
| SiO2   | 38,32    | 37,74    | 38,59        | 38,36        | 37,29    | 39,81  | 39,87   | 38,75  | 39,61   | 39,25   | 39,13   | 39,42   |
| TiO2   | 0,02     | 0,00     | 0,02         | 0,01         | 0,00     | 0,00   | 0,01    | 0,00   | 0,00    | 0,01    | 0,00    | 0,00    |
| Al2O3  | 0,05     | 0,03     | 0,00         | 0,03         | 0,00     | 0,01   | 0,02    | 0,03   | 0,00    | 0,03    | 0,00    | 0,00    |
| FeO    | 23,37    | 26,37    | 21,86        | 23,37        | 29,25    | 16,76  | 17,28   | 17,77  | 16,87   | 17,26   | 18,65   | 18,45   |
| MnO    | 0,44     | 0,61     | 0,54         | 0,25         | 0,62     | 0,15   | 0,22    | 0,37   | 0,19    | 0,22    | 0,38    | 0,20    |
| MgO    | 36,76    | 35,47    | 39,64        | 38,28        | 33,44    | 45,05  | 44,41   | 44,89  | 44,09   | 44,27   | 43,40   | 43,48   |
| CaO    | 0,25     | 0,26     | 0,26         | 0,17         | 0,21     | 0,14   | 0,12    | 0,22   | 0,15    | 0,13    | 0,20    | 0,20    |
| Na2O   | 0,00     | 0,03     | 0,01         | 0,00         | 0,02     | 0,00   | 0,05    | 0,01   | 0,00    | 0,05    | 0,00    | 0,05    |
| K2O    | 0,01     | 0,00     | 0,01         | 0,00         | 0,00     | 0,00   | 0,00    | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,01    | 0,00    |
| Cr2O3  | 0,00     | 0,02     | 0,00         | 0,00         | 0,03     | 0,04   | 0,00    | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| TOTAL  | 101,42   | 100,53   | 100,93       | 100,47       | 100,86   | 101,96 | 101,68  | 102,04 | 100,91  | 101,22  | 101,97  | 101,80  |
| Si4+   | 0,998    | 0,998    | 0,994        | 0,998        | 0,996    | 0,988  | 0,988   | 0,970  | 0,994   | 0,985   | 0,983   | 0,989   |
| Ti4+   | 0,000    | 0,000    | 0,000        | 0,000        | 0,000    | 0,000  | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   |
| Al3+   | 0,002    | 0,001    | 0,000        | 0,001        | 0,000    | 0,000  | 0,001   | 0,001  | 0,000   | 0,001   | 0,000   | 0,000   |
| Fe2+   | 0,557    | 0,583    | 0,471        | 0,508        | 0,654    | 0,348  | 0,361   | 0,372  | 0,354   | 0,362   | 0,376   | 0,387   |
| Mn2+   | 0,010    | 0,014    | 0,012        | 0,006        | 0,014    | 0,003  | 0,005   | 0,008  | 0,004   | 0,005   | 0,008   | 0,004   |
| Mg2+   | 1,427    | 1,398    | 1,521        | 1,484        | 1,332    | 1,667  | 1,653   | 1,674  | 1,649   | 1,656   | 1,625   | 1,625   |
| Ca2+   | 0,007    | 0,007    | 0,007        | 0,005        | 0,006    | 0,004  | 0,003   | 0,006  | 0,004   | 0,003   | 0,005   | 0,005   |
| Na+    | 0,000    | 0,002    | 0,000        | 0,000        | 0,001    | 0,000  | 0,002   | 0,000  | 0,000   | 0,002   | 0,000   | 0,002   |
| K+     | 0,000    | 0,000    | 0,000        | 0,000        | 0,000    | 0,000  | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   |
| Cr3+   | 0,000    | 0,000    | 0,000        | 0,000        | 0,001    | 0,001  | 0,000   | 0,000  | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   |
| TOTAL  | 3,001    | 3,002    | 3,006        | 3,002        | 3,004    | 3,011  | 3,013   | 3,030  | 3,006   | 3,015   | 3,017   | 3,013   |
| Fe     | 71,9     | 70,6     | 76,4         | 74,5         | 67,1     | 82,7   | 82,1    | 81,8   | 82,3    | 82,0    | 80,4    | 80,8    |
| Fa     | 28,1     | 29,4     | 23,6         | 25,5         | 32,9     | 17,3   | 17,9    | 18,2   | 17,7    | 18,0    | 19,6    | 19,2    |

| NCEch. | D10M1 suite |         |         |         |         | D12M1   |         |         |         |         |         |         |
|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        | 24<br>c     | 26<br>c | 27<br>c | 37<br>c | 39<br>c | 44<br>a | 11<br>l | 12<br>l | 16<br>b | 17<br>c | 18<br>b | 20<br>b |
| SiO2   | 39,51       | 39,59   | 39,43   | 39,51   | 39,65   | 39,40   | 40,97   | 39,87   | 40,71   | 41,12   | 40,88   | 40,76   |
| TiO2   | 0,00        | 0,06    | 0,00    | 0,00    | 0,03    | 0,00    | 0,00    | 0,02    | 0,05    | 0,01    | 0,02    | 0,00    |
| Al2O3  | 0,00        | 0,02    | 0,02    | 0,02    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,05    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,02    |
| FeO    | 16,17       | 16,52   | 15,76   | 16,58   | 16,47   | 15,60   | 11,20   | 16,96   | 12,43   | 10,44   | 11,25   | 11,84   |
| MnO    | 0,12        | 0,11    | 0,22    | 0,40    | 0,28    | 0,28    | 0,09    | 0,27    | 0,24    | 0,12    | 0,15    | 0,27    |
| MgO    | 44,46       | 43,23   | 43,71   | 42,63   | 43,77   | 44,02   | 50,03   | 44,80   | 48,64   | 50,80   | 49,13   | 49,33   |
| CaO    | 0,29        | 0,22    | 0,20    | 0,18    | 0,20    | 0,17    | 0,18    | 0,09    | 0,19    | 0,16    | 0,14    | 0,10    |
| Na2O   | 0,02        | 0,00    | 0,02    | 0,00    | 0,00    | 0,05    | 0,05    | 0,03    | 0,07    | 0,02    | 0,00    | 0,04    |
| K2O    | 0,00        | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,02    | 0,03    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Cr2O3  | 0,00        | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,13    | 0,00    | 0,00    | 0,11    | 0,00    | 0,00    |
| TOTAL  | 100,57      | 99,75   | 99,36   | 99,32   | 100,40  | 99,52   | 102,67  | 102,12  | 102,33  | 102,78  | 101,57  | 102,36  |
| Si4+   | 0,992       | 1,003   | 1,001   | 1,007   | 0,999   | 0,998   | 0,985   | 0,989   | 0,988   | 0,984   | 0,993   | 0,986   |
| Ti4+   | 0,000       | 0,001   | 0,000   | 0,000   | 0,001   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,001   | 0,000   | 0,000   | 0,000   |
| Al3+   | 0,000       | 0,001   | 0,001   | 0,001   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,001   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,001   |
| Fe2+   | 0,340       | 0,350   | 0,334   | 0,353   | 0,347   | 0,330   | 0,225   | 0,352   | 0,252   | 0,209   | 0,229   | 0,240   |
| Mn2+   | 0,003       | 0,002   | 0,005   | 0,009   | 0,006   | 0,006   | 0,002   | 0,006   | 0,005   | 0,002   | 0,003   | 0,006   |
| Mg2+   | 1,664       | 1,632   | 1,653   | 1,619   | 1,643   | 1,662   | 1,793   | 1,657   | 1,759   | 1,812   | 1,778   | 1,778   |
| Ca2+   | 0,008       | 0,006   | 0,005   | 0,005   | 0,005   | 0,005   | 0,005   | 0,002   | 0,005   | 0,004   | 0,004   | 0,003   |
| Na+    | 0,001       | 0,000   | 0,001   | 0,000   | 0,000   | 0,002   | 0,002   | 0,001   | 0,003   | 0,001   | 0,000   | 0,002   |
| K+     | 0,000       | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,001   | 0,001   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   |
| Cr3+   | 0,000       | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,002   | 0,000   | 0,000   | 0,002   | 0,000   | 0,000   |
| TOTAL  | 3,008       | 2,996   | 3,000   | 2,993   | 3,001   | 3,003   | 3,015   | 3,011   | 3,013   | 3,015   | 3,007   | 3,015   |
| Fe     | 83,0        | 82,3    | 83,2    | 82,1    | 82,6    | 83,4    | 88,8    | 82,5    | 87,5    | 89,7    | 88,6    | 88,1    |
| Fa     | 17,0        | 17,7    | 16,8    | 17,9    | 17,4    | 16,6    | 11,2    | 17,5    | 12,5    | 10,3    | 11,4    | 11,9    |

| NCEch. | D12M1 suite |         |         |         |         |         |
|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
|        | 32<br>c     | 33<br>b | 35<br>b | 44<br>b | 45<br>c | 59<br>c |
| SiO2   | 40,61       | 40,45   | 41,23   | 41,02   | 41,47   | 41,05   |
| TiO2   | 0,05        | 0,00    | 0,00    | 0,02    | 0,04    | 0,00    |
| Al2O3  | 0,02        | 0,00    | 0,00    | 0,02    | 0,00    | 0,00    |
| FeO    | 12,63       | 13,42   | 12,46   | 10,22   | 12,02   | 13,50   |
| MnO    | 0,12        | 0,20    | 0,07    | 0,00    | 0,24    | 0,24    |
| MgO    | 48,33       | 47,68   | 48,45   | 50,02   | 47,30   | 47,28   |
| CaO    | 0,14        | 0,16    | 0,07    | 0,17    | 0,21    | 0,20    |
| Na2O   | 0,05        | 0,01    | 0,00    | 0,04    | 0,00    | 0,00    |
| K2O    | 0,00        | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    |
| Cr2O3  | 0,00        | 0,00    | 0,00    | 0,06    | 0,00    | 0,00    |
| TOTAL  | 101,95      | 101,92  | 102,28  | 101,57  | 101,28  | 102,27  |
| Si4+   | 0,989       | 0,989   | 0,998   | 0,991   | 1,012   | 1,000   |
| Ti4+   | 0,001       | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,001   | 0,000   |
| Al3+   | 0,001       | 0,000   | 0,000   | 0,001   | 0,000   | 0,000   |
| Fe2+   | 0,257       | 0,275   | 0,252   | 0,207   | 0,245   | 0,275   |
| Mn2+   | 0,002       | 0,004   | 0,001   | 0,000   | 0,005   | 0,005   |
| Mg2+   | 1,754       | 1,738   | 1,748   | 1,802   | 1,720   | 1,716   |
| Ca2+   | 0,004       | 0,004   | 0,002   | 0,004   | 0,005   | 0,005   |
| Na+    | 0,002       | 0,000   | 0,000   | 0,002   | 0,000   | 0,000   |
| K+     | 0,000       | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   | 0,000   |
| Cr3+   | 0,000       | 0,000   | 0,000   | 0,001   | 0,000   | 0,000   |
| TOTAL  | 3,011       | 3,011   | 3,002   | 3,008   | 2,988   | 3,000   |
| Fe     | 87,2        | 86,4    | 87,4    | 89,7    | 87,5    | 86,2    |
| Fa     | 12,8        | 13,6    | 12,6    | 10,3    | 12,5    | 13,8    |

Tableau III-23 suite

| Analyses microsonde des olivines des laves de la zone HAZEL HOLME |        |        |        |        |        |        |        |  |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| NCEch.  | D15H6  |        |        |        |        |        |        |  |
| N(An.   | 87     | 88     | 89     | 90     | 102    | 103    | 95     |  |
|   | c      | b      | c      | b      | c      | c      | ap     |  |
| SiO2  | 39,40  | 38,68  | 39,27  | 39,40  | 39,54  | 39,03  | 39,01  |  |
| TiO2  | 0,08   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,01   | 0,00   | 0,02   |  |
| Al2O3   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,02   | 0,07   | 0,01   |  |
| FeO   | 17,92  | 18,74  | 18,38  | 17,86  | 17,78  | 17,30  | 18,18  |  |
| MnO   | 0,24   | 0,48   | 0,37   | 0,11   | 0,00   | 0,33   | 0,24   |  |
| HgO   | 42,86  | 43,60  | 43,21  | 42,73  | 43,46  | 43,72  | 43,28  |  |
| CaO   | 0,21   | 0,30   | 0,21   | 0,24   | 0,22   | 0,22   | 0,27   |  |
| Na2O  | 0,00   | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |  |
| K2O   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,02   | 0,00   |  |
| Cr2O3   | 0,14   | 0,15   | 0,07   | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,09   |  |
| TOTAL   | 100,86 | 101,95 | 101,52 | 100,37 | 101,04 | 100,70 | 101,10 |  |
| Si4+  | 0,995  | 0,974  | 0,988  | 0,999  | 0,995  | 0,986  | 0,985  |  |
| Ti4+  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |  |
| Al3+  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,002  | 0,000  |  |
| Fe2+  | 0,379  | 0,395  | 0,387  | 0,379  | 0,374  | 0,366  | 0,384  |  |
| Mn2+  | 0,005  | 0,010  | 0,008  | 0,002  | 0,000  | 0,007  | 0,005  |  |
| Mg2+  | 1,613  | 1,635  | 1,621  | 1,614  | 1,629  | 1,646  | 1,629  |  |
| Ca2+  | 0,006  | 0,008  | 0,006  | 0,007  | 0,006  | 0,006  | 0,007  |  |
| Na+   | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |  |
| K+  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  |  |
| Cr3+  | 0,003  | 0,003  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  |  |
| TOTAL   | 3,002  | 3,025  | 3,011  | 3,001  | 3,005  | 3,013  | 3,013  |  |
| Fo  | 81,0   | 80,6   | 80,7   | 81,0   | 81,3   | 81,8   | 80,9   |  |
| Fa  | 19,0   | 19,4   | 19,3   | 19,0   | 18,7   | 18,2   | 19,1   |  |

| Analyses microsonde des olivines des laves de la zone VATE |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NCEch.   | D31M1  |        |        |        |        | D30M2  |        |        |        |        |        |        |
| N(An.  | 313    | 317    | 312    | 314    | 316    | 27     | 33     | 58     | 28     | 30     | 34     | 59     |
|  | c      | l      | b      | b      | b      | c      | c      | c      | b      | b      | b      | b      |
| SiO2   | 39,83  | 39,97  | 40,00  | 40,20  | 40,52  | 40,31  | 39,98  | 40,52  | 40,30  | 40,21  | 40,05  | 40,17  |
| TiO2   | 0,05   | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,01   |
| Al2O3  | 0,02   | 0,00   | 0,02   | 0,01   | 0,06   | 0,02   | 0,02   | 0,00   | 0,03   | 0,03   | 0,00   | 0,00   |
| FeO  | 16,76  | 15,98  | 17,25  | 17,39  | 16,91  | 17,26  | 16,73  | 16,44  | 16,90  | 16,95  | 16,78  | 16,72  |
| MnO  | 0,07   | 0,38   | 0,30   | 0,40   | 0,15   | 0,19   | 0,21   | 0,32   | 0,33   | 0,14   | 0,27   | 0,15   |
| HgO  | 44,54  | 45,81  | 44,63  | 43,99  | 43,98  | 45,24  | 45,32  | 45,71  | 45,34  | 45,34  | 45,70  | 45,44  |
| CaO  | 0,27   | 0,20   | 0,18   | 0,26   | 0,36   | 0,13   | 0,21   | 0,20   | 0,18   | 0,15   | 0,14   | 0,22   |
| Na2O   | 0,03   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,05   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| K2O  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Cr2O3  | 0,11   | 0,00   | 0,16   | 0,10   | 0,00   | 0,04   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,16   | 0,08   |
| TOTAL  | 101,68 | 102,36 | 102,56 | 102,58 | 101,98 | 103,19 | 102,52 | 103,21 | 103,09 | 102,83 | 103,10 | 102,79 |
| Si4+   | 0,992  | 0,986  | 0,990  | 0,997  | 1,005  | 0,990  | 0,987  | 0,992  | 0,990  | 0,990  | 0,984  | 0,989  |
| Ti4+   | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Al3+   | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,002  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  |
| Fe2+   | 0,349  | 0,330  | 0,357  | 0,361  | 0,331  | 0,355  | 0,346  | 0,337  | 0,347  | 0,349  | 0,345  | 0,344  |
| Mn2+   | 0,001  | 0,008  | 0,006  | 0,008  | 0,003  | 0,004  | 0,004  | 0,007  | 0,007  | 0,003  | 0,006  | 0,003  |
| Mg2+   | 1,653  | 1,684  | 1,646  | 1,626  | 1,625  | 1,656  | 1,668  | 1,667  | 1,660  | 1,663  | 1,673  | 1,667  |
| Ca2+   | 0,007  | 0,005  | 0,005  | 0,007  | 0,010  | 0,003  | 0,004  | 0,005  | 0,005  | 0,004  | 0,004  | 0,006  |
| Na+  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| K+   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Cr3+   | 0,002  | 0,000  | 0,003  | 0,002  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,002  |
| TOTAL  | 3,007  | 3,014  | 3,008  | 3,002  | 2,995  | 3,009  | 3,014  | 3,009  | 3,010  | 3,010  | 3,014  | 3,010  |
| Fo   | 82,6   | 83,6   | 82,2   | 81,8   | 82,3   | 82,4   | 82,8   | 83,2   | 82,7   | 82,7   | 82,9   | 82,9   |
| Fa   | 17,4   | 16,4   | 17,8   | 18,2   | 17,7   | 17,6   | 17,2   | 16,8   | 17,3   | 17,3   | 17,1   | 17,1   |

| Analyses microsonde des olivines des laves de la zone ERROMANGO |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |       |  |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--|
| NCEch.  | D24M4  |        |        |        |        |        |        |        | D23M2  |        |       |  |
| N(An.   | 260    | 263    | 290    | 294    | 262    | 267    | 261    | 264    | 182    | 183    | 184   |  |
|   | c      | c      | c      | c      | l      | l      | b      | b      |        |        |       |  |
| SiO2  | 40,03  | 41,62  | 40,73  | 41,08  | 40,34  | 40,69  | 39,79  | 40,36  | 38,23  | 38,27  | 36,92 |  |
| TiO2  | 0,00   | 0,07   | 0,05   | 0,03   | 0,06   | 0,01   | 0,00   | 0,11   | 0,03   | 0,00   | 0,00  |  |
| Al2O3   | 0,00   | 0,05   | 0,03   | 0,00   | 0,05   | 0,02   | 0,01   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,04  |  |
| FeO   | 15,33  | 7,92   | 10,51  | 11,34  | 14,56  | 14,34  | 17,61  | 14,69  | 25,47  | 24,22  | 26,94 |  |
| MnO   | 0,26   | 0,21   | 0,21   | 0,21   | 0,24   | 0,18   | 0,25   | 0,32   | 0,59   | 0,36   | 0,48  |  |
| HgO   | 45,65  | 51,57  | 49,00  | 48,61  | 46,04  | 46,60  | 42,86  | 45,44  | 38,19  | 39,65  | 35,14 |  |
| CaO   | 0,20   | 0,20   | 0,15   | 0,26   | 0,18   | 0,17   | 0,18   | 0,23   | 0,23   | 0,26   | 0,30  |  |
| Na2O  | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,03   | 0,01   | 0,00   | 0,04  |  |
| K2O   | 0,02   | 0,01   | 0,02   | 0,01   | 0,02   | 0,02   | 0,01   | 0,03   | 0,00   | 0,00   | 0,00  |  |
| Cr2O3   | 0,17   | 0,03   | 0,04   | 0,03   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,14   | 0,00   | 0,00   | 0,00  |  |
| TOTAL   | 101,68 | 101,68 | 100,74 | 101,58 | 101,49 | 102,05 | 100,71 | 101,36 | 102,95 | 102,76 | 99,86 |  |
| Si4+  | 0,991  | 0,995  | 0,995  | 0,998  | 0,996  | 0,997  | 1,003  | 0,999  | 0,990  | 0,978  | 0,987 |  |
| Ti4+  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |  |
| Al3+  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001 |  |
| Fe2+  | 0,317  | 0,158  | 0,215  | 0,230  | 0,301  | 0,294  | 0,371  | 0,304  | 0,552  | 0,518  | 0,603 |  |
| Mn2+  | 0,005  | 0,004  | 0,004  | 0,004  | 0,005  | 0,004  | 0,005  | 0,007  | 0,013  | 0,008  | 0,011 |  |
| Mg2+  | 1,684  | 1,837  | 1,783  | 1,760  | 1,694  | 1,702  | 1,611  | 1,676  | 1,463  | 1,510  | 1,401 |  |
| Ca2+  | 0,005  | 0,005  | 0,004  | 0,007  | 0,005  | 0,004  | 0,005  | 0,006  | 0,006  | 0,007  | 0,009 |  |
| Na+   | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,002 |  |
| K+  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |  |
| Cr3+  | 0,003  | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |  |
| TOTAL   | 3,008  | 3,003  | 3,004  | 3,002  | 3,003  | 3,003  | 2,997  | 2,999  | 3,017  | 3,022  | 3,013 |  |
| Fo  | 84,1   | 92,1   | 89,3   | 88,4   | 84,9   | 85,3   | 81,3   | 84,6   | 72,6   | 74,5   | 69,9  |  |
| Fa  | 15,9   | 7,9    | 10,7   | 11,6   | 15,1   | 14,7   | 18,7   | 15,4   | 27,4   | 25,5   | 30,1  |  |

Tableau III-23 suite

| NCEch. | D19H1  |        |        |        |        |        |        |        |        |        | D21M7  |        |        |  |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| NCAn.  | 89     | 91     | 92     | 93     | 96     | 97     | 101    | 102    | 122    | 171    | 172    | 173    | 174    |  |
|        | c      | c      | b      | c      | c      | b      | c      | c      | m      | c      | b      | c      | c      |  |
| SiO2   | 40,37  | 40,64  | 42,00  | 41,35  | 40,44  | 41,05  | 41,21  | 41,70  | 40,03  | 38,77  | 39,16  | 40,46  | 40,51  |  |
| TiO2   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,08   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,02   |  |
| Al2O3  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,05   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,04   | 0,03   | 0,00   |  |
| FeO    | 13,55  | 14,14  | 11,20  | 10,70  | 13,13  | 13,78  | 13,07  | 10,49  | 19,27  | 18,29  | 17,37  | 9,45   | 9,80   |  |
| MnO    | 0,08   | 0,32   | 0,19   | 0,19   | 0,10   | 0,23   | 0,18   | 0,24   | 0,21   | 0,20   | 0,26   | 0,00   | 0,21   |  |
| HgO    | 47,29  | 46,96  | 48,71  | 49,73  | 46,99  | 44,29  | 47,60  | 49,41  | 42,41  | 43,51  | 44,85  | 30,68  | 30,98  |  |
| CaO    | 0,10   | 0,01   | 0,13   | 0,17   | 0,18   | 0,20   | 0,12   | 0,17   | 0,24   | 0,17   | 0,22   | 0,27   | 0,22   |  |
| Na2O   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,04   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   |  |
| K2O    | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,02   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,04   | 0,03   | 0,01   |  |
| Cr2O3  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,03   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,23   | 0,14   |  |
| TOTAL  | 101,39 | 102,07 | 102,23 | 102,18 | 100,89 | 101,71 | 102,24 | 102,01 | 102,19 | 100,93 | 101,94 | 101,16 | 101,89 |  |
| Si4+   | 0,992  | 0,995  | 1,010  | 0,995  | 0,997  | 1,014  | 1,001  | 1,004  | 1,002  | 0,981  | 0,978  | 0,981  | 0,977  |  |
| Ti4+   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |  |
| Al3+   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  |  |
| Fe2+   | 0,279  | 0,290  | 0,225  | 0,215  | 0,271  | 0,326  | 0,266  | 0,211  | 0,403  | 0,387  | 0,363  | 0,192  | 0,198  |  |
| Mn2+   | 0,002  | 0,007  | 0,004  | 0,004  | 0,002  | 0,005  | 0,004  | 0,005  | 0,004  | 0,004  | 0,005  | 0,000  | 0,004  |  |
| Hg2+   | 1,732  | 1,714  | 1,747  | 1,784  | 1,727  | 1,631  | 1,723  | 1,772  | 1,582  | 1,641  | 1,668  | 1,831  | 1,833  |  |
| Ca2+   | 0,003  | 0,000  | 0,003  | 0,004  | 0,005  | 0,005  | 0,003  | 0,004  | 0,006  | 0,005  | 0,006  | 0,007  | 0,006  |  |
| Na+    | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  |  |
| K+     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,000  |  |
| Cr3+   | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,004  | 0,003  |  |
| TOTAL  | 3,008  | 3,005  | 2,990  | 3,004  | 3,003  | 2,988  | 2,998  | 2,996  | 2,999  | 3,019  | 3,022  | 3,017  | 3,021  |  |
| Fe     | 86,1   | 85,5   | 88,6   | 89,2   | 86,4   | 83,3   | 86,6   | 89,4   | 79,7   | 80,9   | 82,1   | 90,5   | 90,3   |  |
| Fa     | 13,9   | 14,5   | 11,4   | 10,8   | 13,6   | 16,7   | 13,4   | 10,6   | 20,3   | 19,1   | 17,9   | 9,5    | 9,7    |  |

| NCEch. | D21M7 suite |       | D21H1 |       |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|-------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NCAn.  | 200         | 201   | 61    | 62    | 72     | 86     | 89     | 90     | 85     | 83     | 91     | 94     |
|        | mp          | m     | c     | b     | c      | l c    | l c    | l c    | l      | b      | b      | c      |
| SiO2   | 39,10       | 38,64 | 39,30 | 38,43 | 39,19  | 38,71  | 40,29  | 40,34  | 39,31  | 39,11  | 39,33  | 40,10  |
| TiO2   | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 0,02  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,04   | 0,00   | 0,00   | 0,02   | 0,00   |
| Al2O3  | 0,02        | 0,16  | 0,00  | 0,00  | 0,05   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,02   |
| FeO    | 16,97       | 21,68 | 18,20 | 18,69 | 20,82  | 23,18  | 14,19  | 15,31  | 18,88  | 20,46  | 18,77  | 17,38  |
| MnO    | 0,27        | 0,33  | 0,27  | 0,33  | 0,46   | 0,34   | 0,29   | 0,21   | 0,27   | 0,42   | 0,54   | 0,37   |
| HgO    | 45,14       | 38,66 | 41,58 | 41,67 | 41,22  | 37,55  | 46,99  | 45,13  | 43,15  | 41,47  | 41,57  | 43,43  |
| CaO    | 0,27        | 0,34  | 0,22  | 0,20  | 0,24   | 0,33   | 0,29   | 0,20   | 0,25   | 0,25   | 0,17   | 0,27   |
| Na2O   | 0,06        | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,05   | 0,00   |
| K2O    | 0,00        | 0,05  | 0,00  | 0,02  | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03   |
| Cr2O3  | 0,00        | 0,12  | 0,00  | 0,08  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,13   | 0,02   |
| TOTAL  | 101,83      | 99,97 | 99,58 | 99,44 | 101,98 | 100,14 | 102,05 | 101,44 | 101,89 | 101,71 | 100,58 | 101,62 |
| Si4+   | 0,976       | 1,003 | 1,006 | 0,990 | 0,992  | 1,009  | 0,989  | 1,003  | 0,987  | 0,992  | 1,001  | 1,002  |
| Ti4+   | 0,000       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Al3+   | 0,001       | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  |
| Fe2+   | 0,334       | 0,470 | 0,390 | 0,403 | 0,441  | 0,505  | 0,291  | 0,317  | 0,397  | 0,434  | 0,399  | 0,363  |
| Mn2+   | 0,006       | 0,007 | 0,006 | 0,007 | 0,010  | 0,008  | 0,006  | 0,004  | 0,006  | 0,009  | 0,012  | 0,008  |
| Hg2+   | 1,679       | 1,495 | 1,586 | 1,600 | 1,556  | 1,459  | 1,718  | 1,665  | 1,615  | 1,567  | 1,577  | 1,617  |
| Ca2+   | 0,007       | 0,009 | 0,006 | 0,006 | 0,007  | 0,009  | 0,008  | 0,005  | 0,007  | 0,007  | 0,005  | 0,007  |
| Na+    | 0,003       | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000  |
| K+     | 0,000       | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  |
| Cr3+   | 0,000       | 0,002 | 0,000 | 0,002 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,003  | 0,000  |
| TOTAL  | 3,025       | 2,994 | 2,994 | 3,009 | 3,007  | 2,991  | 3,011  | 2,996  | 3,012  | 3,008  | 2,999  | 2,998  |
| Fe     | 82,6        | 76,1  | 80,3  | 79,9  | 77,9   | 74,3   | 85,5   | 84,0   | 80,3   | 78,3   | 79,8   | 81,7   |
| Fa     | 17,4        | 23,9  | 19,7  | 20,1  | 22,1   | 25,7   | 14,5   | 16,0   | 19,7   | 21,7   | 20,2   | 18,3   |

| NCEch. | D21H1 suite |        | D20H3  |        |        |        |        |        |
|--------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NCAn.  | 77          | 120    | 134    | 135    | 137    | 167    | 168    | 184    |
|        | lnc         | m      | c      | b      | b      | c      | b      | c      |
| SiO2   | 39,04       | 36,30  | 40,55  | 40,82  | 40,41  | 39,85  | 40,93  | 40,17  |
| TiO2   | 0,00        | 0,00   | 0,07   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Al2O3  | 0,00        | 0,00   | 0,06   | 0,00   | 0,04   | 0,01   | 0,00   | 0,00   |
| FeO    | 20,93       | 36,07  | 14,31  | 14,63  | 14,26  | 15,02  | 14,58  | 16,15  |
| MnO    | 0,33        | 0,75   | 0,18   | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,25   | 0,33   |
| HgO    | 41,63       | 28,28  | 46,62  | 46,35  | 46,86  | 45,96  | 46,06  | 44,03  |
| CaO    | 0,28        | 0,27   | 0,08   | 0,11   | 0,12   | 0,20   | 0,17   | 0,19   |
| Na2O   | 0,00        | 0,00   | 0,00   | 0,06   | 0,00   | 0,01   | 0,01   | 0,01   |
| K2O    | 0,00        | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,01   | 0,00   |
| Cr2O3  | 0,00        | 0,05   | 0,15   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,08   | 0,00   |
| TOTAL  | 102,21      | 101,72 | 102,05 | 102,17 | 101,71 | 101,08 | 102,09 | 100,88 |
| Si4+   | 0,987       | 0,995  | 0,994  | 0,999  | 0,993  | 0,990  | 1,003  | 1,005  |
| Ti4+   | 0,000       | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Al3+   | 0,000       | 0,000  | 0,002  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Fe2+   | 0,443       | 0,827  | 0,293  | 0,299  | 0,293  | 0,312  | 0,299  | 0,338  |
| Mn2+   | 0,007       | 0,017  | 0,004  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,005  | 0,007  |
| Hg2+   | 1,569       | 1,156  | 1,703  | 1,698  | 1,716  | 1,702  | 1,682  | 1,641  |
| Ca2+   | 0,008       | 0,008  | 0,002  | 0,003  | 0,003  | 0,005  | 0,004  | 0,005  |
| Na+    | 0,000       | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| K+     | 0,000       | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  |
| Cr3+   | 0,000       | 0,001  | 0,003  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000  |
| TOTAL  | 3,013       | 3,004  | 3,003  | 3,002  | 3,007  | 3,011  | 2,996  | 2,996  |
| Fe     | 78,0        | 58,3   | 85,3   | 85,0   | 85,4   | 84,5   | 84,9   | 82,9   |
| Fa     | 22,0        | 41,7   | 14,7   | 15,0   | 14,6   | 15,5   | 15,1   | 17,1   |

Tableau III-23 suite

Tableau III-24 : Analyses chimiques des clinopyroxènes des laves des fossés.  
*Microprobe analysis of clinopyroxenes for troughs lavas.*

| Ech.  | D7M2      |        |        | D2M5      |        |        |       | D2M5 bis  |        |        |        |
|-------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-------|-----------|--------|--------|--------|
|       | N analyse |        |        | N analyse |        |        |       | N analyse |        |        |        |
|       | 188       | 197    | 208    | 169       | 171    | 172    | 170   | 73        | 74     | 75     | 78     |
|       | m         | m      | a      | c         | c      | c      | b     | c         | c      | c      | c      |
| SiO2  | 48,65     | 46,68  | 46,12  | 52,92     | 53,88  | 52,71  | 58,33 | 51,13     | 52,93  | 52,41  | 58,94  |
| TiO2  | 2,34      | 3,04   | 3,98   | 0,48      | 0,33   | 0,38   | 0,47  | 0,77      | 0,33   | 0,38   | 0,56   |
| Al2O3 | 3,97      | 6,41   | 7,75   | 2,35      | 2,68   | 2,29   | 1,58  | 3,45      | 2,44   | 2,75   | 4,14   |
| FeO   | 14,85     | 15,15  | 17,95  | 4,58      | 4,58   | 4,92   | 1,56  | 7,53      | 4,65   | 4,45   | 4,63   |
| MnO   | 0,36      | 0,31   | 0,48   | 0,17      | 0,88   | 0,88   | 0,12  | 0,21      | 0,14   | 0,13   | 0,31   |
| MgO   | 18,28     | 7,24   | 6,19   | 17,78     | 16,91  | 17,42  | 15,82 | 16,24     | 17,55  | 17,52  | 16,34  |
| CaO   | 19,65     | 19,62  | 15,41  | 22,14     | 23,11  | 22,57  | 25,87 | 21,16     | 22,29  | 22,78  | 22,71  |
| Na2O  | 1,88      | 1,67   | 3,88   | 0,55      | 0,24   | 0,24   | 0,22  | 0,23      | 0,14   | 0,19   | 0,23   |
| K2O   | 0,88      | 0,33   | 0,39   | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,81  | 0,88      | 0,88   | 0,81   | 0,88   |
| Cr2O3 | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,49      | 0,25   | 0,15   | 0,75  | 0,88      | 0,43   | 0,68   | 0,38   |
| TOTAL | 188,38    | 188,45 | 181,25 | 181,18    | 181,82 | 188,68 | 99,65 | 188,71    | 188,89 | 181,14 | 188,76 |
| Si4+  | 1,857     | 1,797  | 1,771  | 1,915     | 1,924  | 1,928  | 1,857 | 1,881     | 1,928  | 1,991  | 1,862  |
| Ti4+  | 0,067     | 0,088  | 0,115  | 0,013     | 0,089  | 0,018  | 0,013 | 0,021     | 0,089  | 0,018  | 0,015  |
| Al3+  | 0,179     | 0,291  | 0,331  | 0,188     | 0,111  | 0,098  | 0,196 | 0,149     | 0,184  | 0,118  | 0,178  |
| Fe2+  | 0,448     | 0,488  | 0,576  | 0,136     | 0,136  | 0,158  | 0,141 | 0,232     | 0,141  | 0,135  | 0,141  |
| Mn2+  | 0,012     | 0,018  | 0,013  | 0,088     | 0,088  | 0,088  | 0,084 | 0,086     | 0,084  | 0,084  | 0,018  |
| Mg2+  | 0,588     | 0,415  | 0,334  | 0,559     | 0,914  | 0,946  | 0,878 | 0,898     | 0,949  | 0,947  | 0,898  |
| Ca2+  | 0,884     | 0,889  | 0,634  | 0,859     | 0,898  | 0,881  | 0,912 | 0,834     | 0,867  | 0,882  | 0,898  |
| Na+   | 0,888     | 0,125  | 0,229  | 0,823     | 0,817  | 0,817  | 0,816 | 0,816     | 0,818  | 0,814  | 0,816  |
| K+    | 0,888     | 0,016  | 0,019  | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888  |
| Cr3+  | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,814     | 0,887  | 0,884  | 0,822 | 0,888     | 0,812  | 0,817  | 0,826  |
| TOTAL | 4,827     | 4,848  | 4,863  | 4,827     | 4,815  | 4,827  | 4,838 | 4,831     | 4,817  | 4,828  | 4,829  |
| WO    | 43,6      | 47,8   | 48,2   | 43,8      | 46,1   | 44,6   | 47,3  | 42,3      | 44,2   | 44,8   | 46,1   |
| EN    | 31,5      | 24,1   | 22,5   | 49,8      | 46,7   | 47,8   | 45,2  | 43,4      | 48,4   | 48,1   | 46,1   |
| FS    | 24,3      | 28,3   | 36,5   | 7,8       | 7,8    | 7,6    | 7,3   | 11,8      | 7,2    | 6,9    | 7,3    |
| Al IV | 0,153     | 0,228  | 0,256  | 0,897     | 0,883  | 0,893  | 0,157 | 0,153     | 0,888  | 0,112  | 0,151  |
| Al VI | 0,822     | 0,868  | 0,889  | 0,882     | 0,827  | 0,883  | 0,837 | 0,815     | 0,816  | 0,883  | 0,826  |
| Fe 3+ | 0,879     | 0,118  | 0,185  | 0,879     | 0,848  | 0,879  | 0,888 | 0,892     | 0,831  | 0,884  | 0,886  |
| Fe 2+ | 0,366     | 0,363  | 0,382  | 0,856     | 0,888  | 0,869  | 0,852 | 0,138     | 0,889  | 0,888  | 0,853  |

| Ech.  | D8M1      |       |       | D6M1      |        |        |       |       |       |        |        |
|-------|-----------|-------|-------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
|       | N analyse |       |       | N analyse |        |        |       |       |       |        |        |
|       | 79        | 88    | 71    | 161       | 166    | 167    | 156   | 165   | 178   | 126    | 131    |
|       | c         | b     | a     | mp        | mp     | mp     | a     | a     | a     | c      | c      |
| SiO2  | 52,84     | 58,88 | 49,56 | 53,57     | 52,72  | 51,46  | 49,57 | 52,38 | 51,93 | 53,97  | 54,87  |
| TiO2  | 0,48      | 0,58  | 1,17  | 0,28      | 0,25   | 0,38   | 0,73  | 0,27  | 0,38  | 0,33   | 0,34   |
| Al2O3 | 2,58      | 3,74  | 5,49  | 1,96      | 2,79   | 4,84   | 5,63  | 1,94  | 2,21  | 2,36   | 1,69   |
| FeO   | 4,37      | 4,81  | 7,53  | 6,74      | 4,22   | 4,96   | 6,13  | 4,86  | 7,69  | 7,29   | 6,78   |
| MnO   | 0,82      | 0,83  | 0,25  | 0,26      | 0,89   | 0,13   | 0,83  | 0,14  | 0,85  | 0,34   | 0,29   |
| MgO   | 17,85     | 16,32 | 15,33 | 28,89     | 17,61  | 17,95  | 16,75 | 18,57 | 16,68 | 18,39  | 18,36  |
| CaO   | 21,85     | 22,49 | 28,13 | 16,12     | 21,73  | 28,73  | 19,86 | 28,76 | 19,76 | 18,86  | 19,89  |
| Na2O  | 0,27      | 0,27  | 0,32  | 0,87      | 0,24   | 0,22   | 0,23  | 0,12  | 0,12  | 0,23   | 0,18   |
| K2O   | 0,88      | 0,88  | 0,88  | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,82  | 0,88  | 0,88   | 0,88   |
| Cr2O3 | 0,38      | 0,68  | 0,88  | 0,28      | 0,65   | 0,88   | 0,32  | 0,28  | 0,88  | 0,88   | 0,19   |
| TOTAL | 188,67    | 99,63 | 99,81 | 188,88    | 188,28 | 188,65 | 99,25 | 99,19 | 98,74 | 181,77 | 181,71 |
| Si4+  | 1,916     | 1,878 | 1,837 | 1,941     | 1,919  | 1,871  | 1,834 | 1,926 | 1,937 | 1,941  | 1,948  |
| Ti4+  | 0,011     | 0,014 | 0,033 | 0,088     | 0,086  | 0,018  | 0,028 | 0,088 | 0,088 | 0,089  | 0,089  |
| Al3+  | 0,115     | 0,163 | 0,248 | 0,884     | 0,128  | 0,173  | 0,246 | 0,884 | 0,897 | 0,188  | 0,872  |
| Fe2+  | 0,132     | 0,149 | 0,234 | 0,284     | 0,129  | 0,151  | 0,198 | 0,158 | 0,248 | 0,219  | 0,282  |
| Mn2+  | 0,881     | 0,881 | 0,888 | 0,888     | 0,883  | 0,884  | 0,881 | 0,885 | 0,882 | 0,818  | 0,889  |
| Mg2+  | 0,963     | 0,898 | 0,848 | 1,128     | 0,955  | 0,973  | 0,923 | 1,819 | 0,927 | 0,986  | 0,986  |
| Ca2+  | 0,849     | 0,898 | 0,799 | 0,626     | 0,847  | 0,888  | 0,787 | 0,819 | 0,798 | 0,727  | 0,768  |
| Na+   | 0,819     | 0,819 | 0,823 | 0,885     | 0,817  | 0,815  | 0,816 | 0,889 | 0,889 | 0,816  | 0,813  |
| K+    | 0,888     | 0,888 | 0,888 | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,888  | 0,888  |
| Cr3+  | 0,811     | 0,817 | 0,888 | 0,886     | 0,819  | 0,823  | 0,889 | 0,886 | 0,888 | 0,888  | 0,885  |
| TOTAL | 4,019     | 4,828 | 4,822 | 4,889     | 4,814  | 4,828  | 4,827 | 4,826 | 4,818 | 4,888  | 4,811  |
| WO    | 43,6      | 45,9  | 42,3  | 31,8      | 43,8   | 41,7   | 41,4  | 41,1  | 48,3  | 37,4   | 39,1   |
| EN    | 49,6      | 46,3  | 44,9  | 57,4      | 49,4   | 58,3   | 48,6  | 51,2  | 47,4  | 58,8   | 58,2   |
| FS    | 6,8       | 7,7   | 12,4  | 18,4      | 6,7    | 7,8    | 18,8  | 7,5   | 12,2  | 11,3   | 18,3   |
| Al IV | 0,893     | 0,135 | 0,173 | 0,864     | 0,888  | 0,142  | 0,178 | 0,886 | 0,888 | 0,863  | 0,857  |
| Al VI | 0,821     | 0,827 | 0,866 | 0,828     | 0,831  | 0,838  | 0,866 | 0,888 | 0,828 | 0,837  | 0,814  |
| Fe 3+ | 0,858     | 0,883 | 0,863 | 0,828     | 0,843  | 0,884  | 0,879 | 0,831 | 0,831 | 0,824  | 0,832  |
| Fe 2+ | 0,874     | 0,863 | 0,167 | 0,176     | 0,885  | 0,866  | 0,189 | 0,877 | 0,289 | 0,195  | 0,169  |

| Ech.  | D3M1      |        |        | D1M1      |        |        |       |        |       |       |       |
|-------|-----------|--------|--------|-----------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
|       | N analyse |        |        | N analyse |        |        |       |        |       |       |       |
|       | 129       | 132    | 282    | 283       | 222    | 224    | 225   | 213    | 21    | 22    | 23    |
|       | m         | m      | c      | c         | c      | b      | i     | mp     | c     | c     | c     |
| SiO2  | 51,42     | 52,34  | 51,78  | 51,34     | 51,44  | 52,42  | 49,98 | 51,18  | 52,28 | 52,88 | 51,29 |
| TiO2  | 0,77      | 0,61   | 0,98   | 1,01      | 0,99   | 0,58   | 0,92  | 0,78   | 0,59  | 0,43  | 0,54  |
| Al2O3 | 4,25      | 3,68   | 2,26   | 2,67      | 2,76   | 1,37   | 2,75  | 2,24   | 1,18  | 1,33  | 1,78  |
| FeO   | 8,83      | 7,78   | 18,93  | 11,83     | 13,24  | 9,38   | 11,91 | 18,22  | 18,83 | 9,83  | 11,82 |
| MnO   | 0,22      | 0,12   | 0,42   | 0,58      | 0,74   | 0,42   | 0,53  | 0,57   | 0,65  | 0,91  | 0,66  |
| MgO   | 17,59     | 16,36  | 15,32  | 14,82     | 14,48  | 15,38  | 13,86 | 15,32  | 15,16 | 14,94 | 13,61 |
| CaO   | 18,21     | 28,62  | 18,32  | 18,61     | 16,61  | 28,22  | 18,72 | 19,42  | 19,62 | 19,87 | 19,23 |
| Na2O  | 0,39      | 0,26   | 0,48   | 0,43      | 0,43   | 0,43   | 0,39  | 0,31   | 0,39  | 0,39  | 0,39  |
| K2O   | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,81      | 0,88   | 0,88   | 0,83  | 0,88   | 0,83  | 0,88  | 0,88  |
| Cr2O3 | 0,81      | 0,86   | 0,88   | 0,86      | 0,88   | 0,18   | 0,88  | 0,88   | 0,82  | 0,88  | 0,88  |
| TOTAL | 181,59    | 181,67 | 188,25 | 188,56    | 188,61 | 188,44 | 99,81 | 188,24 | 99,67 | 99,82 | 99,24 |
| Si4+  | 1,869     | 1,988  | 1,926  | 1,911     | 1,921  | 1,946  | 1,988 | 1,918  | 1,957 | 1,949 | 1,946 |
| Ti4+  | 0,821     | 0,817  | 0,823  | 0,828     | 0,828  | 0,816  | 0,826 | 0,822  | 0,811 | 0,813 | 0,815 |
| Al3+  | 0,182     | 0,154  | 0,899  | 0,117     | 0,122  | 0,868  | 0,123 | 0,899  | 0,852 | 0,868 | 0,876 |
| Fe2+  | 0,268     | 0,234  | 0,348  | 0,343     | 0,414  | 0,291  | 0,379 | 0,319  | 0,314 | 0,388 | 0,375 |
| Mn2+  | 0,887     | 0,884  | 0,813  | 0,818     | 0,823  | 0,813  | 0,817 | 0,818  | 0,821 | 0,829 | 0,821 |
| Mg2+  | 0,955     | 0,885  | 0,858  | 0,822     | 0,892  | 0,857  | 0,787 | 0,863  | 0,847 | 0,853 | 0,778 |
| Ca2+  | 0,789     | 0,882  | 0,731  | 0,742     | 0,665  | 0,884  | 0,764 | 0,777  | 0,788 | 0,798 | 0,782 |
| Na+   | 0,828     | 0,818  | 0,829  | 0,831     | 0,831  | 0,832  | 0,829 | 0,822  | 0,828 | 0,828 | 0,829 |
| K+    | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,881 | 0,888  | 0,881 | 0,888 | 0,888 |
| Cr3+  | 0,888     | 0,882  | 0,888  | 0,882     | 0,888  | 0,883  | 0,888 | 0,888  | 0,881 | 0,882 | 0,888 |
| TOTAL | 4,829     | 4,815  | 4,814  | 4,817     | 4,885  | 4,823  | 4,827 | 4,888  | 4,821 | 4,822 | 4,815 |
| WO    | 36,6      | 41,7   | 37,8   | 38,5      | 34,9   | 48,9   | 39,2  | 39,3   | 48,8  | 48,5  | 48,1  |
| EN    | 49,2      | 46,8   | 43,9   | 42,7      | 42,1   | 43,6   | 48,4  | 43,7   | 43,8  | 42,4  | 39,5  |
| FS    | 13,9      | 12,2   | 17,6   | 17,8      | 21,8   | 14,8   | 19,5  | 16,2   | 16,8  | 15,7  | 19,3  |
| Al IV | 0,145     | 0,187  | 0,881  | 0,896     | 0,881  | 0,865  | 0,113 | 0,184  | 0,833 | 0,861 | 0,861 |
| Al VI | 0,836     | 0,846  | 0,818  | 0,828     | 0,848  | 0,818  | 0,818 | 0,818  | 0,862 | 0,864 | 0,815 |
| Fe 3+ | 0,887     | 0,844  | 0,842  | 0,838     | 0,816  | 0,868  | 0,888 | 0,888  | 0,862 | 0,864 | 0,84  |

Tableau III-24 suite

| Ech.  | DIMS  |        |       |       |       |        |        |        |        |  |
|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--|
|       | 25    |        | 29    |       | 24    |        | 31     |        | 194    |  |
|       | c     | e      | b     | b     | c     | e      | e      | b      | a      |  |
| S102  | 81,73 | 52,87  | 54,85 | 58,62 | 51,71 | 52,51  | 52,56  | 52,22  | 53,17  |  |
| Ti02  | 0,63  | 0,14   | 0,33  | 0,57  | 0,51  | 0,38   | 0,32   | 0,51   | 0,32   |  |
| Al2O3 | 1,96  | 0,41   | 2,63  | 1,55  | 1,06  | 1,18   | 1,21   | 1,49   | 1,81   |  |
| Fe0   | 18,16 | 12,81  | 18,58 | 12,71 | 9,26  | 9,21   | 8,83   | 8,74   | 9,36   |  |
| Mn0   | 0,82  | 0,52   | 1,43  | 1,86  | 0,72  | 0,57   | 0,71   | 0,64   | 0,97   |  |
| Mg0   | 14,83 | 12,78  | 14,18 | 13,88 | 15,84 | 15,82  | 15,69  | 15,36  | 14,88  |  |
| Ca0   | 19,23 | 28,64  | 7,88  | 17,98 | 28,24 | 28,48  | 21,85  | 28,61  | 28,93  |  |
| Na2O  | 0,48  | 1,81   | 0,22  | 0,48  | 0,46  | 0,44   | 0,49   | 0,49   | 0,46   |  |
| K2O   | 0,88  | 0,88   | 0,29  | 0,88  | 0,88  | 0,83   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |  |
| Cr2O3 | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,84  | 0,82   | 0,18   | 0,88   | 0,88   |  |
| TOTAL | 99,46 | 188,38 | 99,33 | 98,98 | 99,84 | 188,88 | 188,96 | 188,86 | 181,82 |  |
| S14+  | 1,946 | 1,993  | 2,831 | 1,936 | 1,934 | 1,961  | 1,944  | 1,944  | 1,967  |  |
| Ti4+  | 0,818 | 0,884  | 0,889 | 0,816 | 0,814 | 0,888  | 0,889  | 0,814  | 0,889  |  |
| Al3+  | 0,869 | 0,818  | 0,116 | 0,878 | 0,882 | 0,848  | 0,833  | 0,863  | 0,844  |  |
| Fe2+  | 8,319 | 8,379  | 8,579 | 8,487 | 8,298 | 8,288  | 8,273  | 8,272  | 8,298  |  |
| Mn2+  | 0,826 | 0,817  | 0,845 | 0,834 | 0,823 | 0,831  | 0,822  | 0,828  | 0,838  |  |
| Mg2+  | 0,831 | 0,713  | 0,786 | 0,791 | 0,838 | 0,836  | 0,865  | 0,832  | 0,816  |  |
| Ca2+  | 0,775 | 0,834  | 0,288 | 0,737 | 0,811 | 0,816  | 0,834  | 0,822  | 0,838  |  |
| Na+   | 0,833 | 0,874  | 0,816 | 0,836 | 0,833 | 0,832  | 0,835  | 0,833  | 0,833  |  |
| K+    | 0,888 | 0,888  | 0,814 | 0,888 | 0,888 | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |  |
| Cr3+  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,882 | 0,881 | 0,881  | 0,883  | 0,888  | 0,888  |  |
| TOTAL | 4,819 | 4,831  | 3,896 | 4,829 | 4,827 | 4,823  | 4,837  | 4,826  | 4,819  |  |
| MO    | 39,7  | 42,9   | 16,6  | 37,4  | 41,3  | 41,4   | 41,8   | 41,8   | 42,2   |  |
| EN    | 42,6  | 36,7   | 46,5  | 48,2  | 42,7  | 42,4   | 43,4   | 43,3   | 41,5   |  |
| FS    | 16,4  | 15,5   | 34,3  | 28,7  | 14,8  | 14,6   | 13,7   | 13,9   | 14,8   |  |
| Al IV | 0,863 | 0,823  | 0,888 | 0,878 | 0,879 | 0,888  | 0,874  | 0,888  | 0,842  |  |
| Al VI | 0,888 | 0,888  | 0,119 | 0,888 | 0,883 | 0,888  | 0,111  | 0,879  | 0,882  |  |
| Fe 3+ | 0,887 | 0,892  | 0,888 | 0,887 | 0,888 | 0,887  | 0,888  | 0,888  | 0,883  |  |
| Fe 2+ | 0,268 | 0,283  | 0,594 | 0,317 | 0,288 | 0,219  | 0,168  | 0,192  | 0,233  |  |

| Ech.       | D14M1 |       |        |        |        |       | D14M14 |        |       |        |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
|------------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|----|---|----|---|-----|--|-----|--|-----|--|
|            | 171   |       | 165    |        | 169    |       | 175    |        | 178   |        | 68 |   | 69 |   | 73  |  | 71  |  |     |  |
|            | ca    | a     | a      | a      | a      | a     | c      | c      | c     | a      | c  | c | c  | a |     |  |     |  |     |  |
| S102       | 48,45 | 44,64 | 48,98  | 47,72  | 45,17  | 45,41 | 49,51  | 48,57  | 58,82 | 48,47  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ti02       | 3,62  | 4,65  | 2,29   | 2,68   | 4,95   | 3,24  | 1,19   | 1,68   | 1,28  | 2,88   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Al2O3      | 6,27  | 5,78  | 5,53   | 5,72   | 5,88   | 5,87  | 4,93   | 4,93   | 5,88  | 5,72   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Fe0        | 13,16 | 13,58 | 14,34  | 12,11  | 13,75  | 13,34 | 6,97   | 11,87  | 7,94  | 8,79   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mn0        | 0,23  | 0,87  | 0,38   | 0,22   | 0,23   | 0,35  | 0,22   | 0,29   | 0,14  | 0,38   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mg0        | 0,93  | 0,88  | 9,71   | 11,28  | 9,89   | 8,61  | 15,87  | 14,48  | 17,89 | 14,46  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ca0        | 21,11 | 28,99 | 18,58  | 28,69  | 21,81  | 28,17 | 28,88  | 18,96  | 18,98 | 28,83  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Na2O       | 0,54  | 0,48  | 0,61   | 0,39   | 0,55   | 0,44  | 0,33   | 0,44   | 0,27  | 0,36   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| K2O        | 0,81  | 0,82  | 0,84   | 0,88   | 0,81   | 0,89  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Cr2O3      | 0,18  | 0,14  | 0,88   | 0,88   | 0,14   | 0,89  | 0,29   | 0,88   | 0,18  | 0,88   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL      | 99,38 | 99,89 | 188,25 | 188,65 | 188,78 | 99,61 | 99,48  | 188,34 | 99,18 | 188,22 |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| S14+       | 1,766 | 1,788 | 1,857  | 1,881  | 1,732  | 1,767 | 1,841  | 1,828  | 1,841 | 1,883  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ti4+       | 0,185 | 0,136 | 0,865  | 0,874  | 0,145  | 0,895 | 0,833  | 0,847  | 0,835 | 0,888  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Al3+       | 0,286 | 0,263 | 0,239  | 0,254  | 0,262  | 0,269 | 0,216  | 0,218  | 0,217 | 0,251  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+       | 8,428 | 8,439 | 8,455  | 8,382  | 8,441  | 8,499 | 8,217  | 8,347  | 8,217 | 8,274  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mn2+       | 0,888 | 0,882 | 0,812  | 0,887  | 0,887  | 0,812 | 0,887  | 0,888  | 0,885 | 0,818  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mg2+       | 0,514 | 0,513 | 0,549  | 0,638  | 0,519  | 0,499 | 0,879  | 0,884  | 0,937 | 0,882  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ca2+       | 0,874 | 0,873 | 0,735  | 0,836  | 0,853  | 0,841 | 0,888  | 0,761  | 0,749 | 0,799  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Na+        | 0,848 | 0,834 | 0,845  | 0,829  | 0,841  | 0,833 | 0,824  | 0,832  | 0,828 | 0,826  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| K+         | 0,888 | 0,881 | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,884 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Cr3+       | 0,888 | 0,884 | 0,888  | 0,888  | 0,884  | 0,883 | 0,889  | 0,888  | 0,883 | 0,888  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL      | 4,814 | 4,889 | 3,981  | 4,813  | 4,813  | 4,822 | 4,826  | 4,839  | 4,823 | 4,823  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| MO         | 48,8  | 47,8  | 42,6   | 43,1   | 47,1   | 45,4  | 42,8   | 39,6   | 39,3  | 42,4   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| EN         | 28,2  | 28,8  | 31,8   | 33,9   | 28,4   | 27,8  | 46,2   | 41,8   | 49,1  | 42,6   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| FS         | 23,4  | 24,8  | 25,7   | 28,6   | 24,1   | 27,8  | 11,4   | 18,1   | 11,4  | 14,5   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Al IV      | 0,238 | 0,266 | 0,134  | 0,285  | 0,274  | 0,243 | 0,171  | 0,197  | 0,169 | 0,287  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Al VI      | 0,834 | 0,827 | 0,187  | 0,848  | 0,823  | 0,844 | 0,844  | 0,818  | 0,847 | 0,843  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Fe 3+      | 0,841 | 0,827 | 0,888  | 0,838  | 0,839  | 0,884 | 0,876  | 0,117  | 0,889 | 0,874  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Fe 2+      | 0,382 | 0,412 | 0,457  | 0,343  | 0,488  | 0,432 | 0,139  | 0,227  | 0,146 | 0,198  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ech.       | D15M6 |       |        |        |        |       |        |        |       |        |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| N analyses | 72    |       | 78     |        | 79     |       | 88     |        | 86    |        | 91 |   | 93 |   | 186 |  | 188 |  | 189 |  |
|            | a     |       | a      |        | a      |       | a      |        | a     |        | c  |   | ap |   | a   |  | a   |  | a   |  |
|            | a     |       | a      |        | a      |       | a      |        | a     |        | c  |   | ap |   | a   |  | a   |  | a   |  |
| S102       | 48,68 | 49,38 | 48,38  | 49,87  | 48,84  | 52,37 | 51,65  | 58,42  | 52,39 | 58,78  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ti02       | 1,81  | 1,18  | 1,61   | 1,82   | 1,91   | 0,15  | 0,42   | 0,35   | 0,12  | 0,42   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Al2O3      | 3,72  | 5,39  | 3,48   | 5,39   | 4,87   | 1,71  | 1,32   | 3,44   | 1,25  | 2,65   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Fe0        | 8,48  | 7,81  | 18,88  | 8,29   | 18,28  | 6,25  | 11,32  | 9,22   | 18,51 | 9,39   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mn0        | 0,88  | 0,17  | 0,33   | 0,14   | 0,35   | 0,28  | 0,48   | 0,45   | 0,41  | 0,24   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mg0        | 15,34 | 16,28 | 14,36  | 15,56  | 14,25  | 18,48 | 16,62  | 18,34  | 18,92 | 16,73  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ca0        | 19,28 | 19,49 | 19,89  | 18,99  | 18,93  | 28,85 | 16,92  | 16,52  | 15,88 | 18,26  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Na2O       | 0,39  | 0,28  | 0,33   | 0,49   | 0,44   | 0,17  | 0,28   | 0,17   | 0,88  | 0,18   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| K2O        | 0,82  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Cr2O3      | 0,81  | 0,26  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,24  | 0,86   | 0,23   | 0,88  | 0,88   |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL      | 99,58 | 99,21 | 99,59  | 99,76  | 98,99  | 99,66 | 98,99  | 99,12  | 98,68 | 98,87  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| S14+       | 1,813 | 1,832 | 1,816  | 1,823  | 1,828  | 1,929 | 1,945  | 1,879  | 1,957 | 1,987  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ti4+       | 0,881 | 0,831 | 0,846  | 0,881  | 0,884  | 0,884 | 0,812  | 0,818  | 0,883 | 0,812  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Al3+       | 0,231 | 0,236 | 0,243  | 0,236  | 0,217  | 0,874 | 0,888  | 0,151  | 0,883 | 0,117  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+       | 8,262 | 8,218 | 8,317  | 8,257  | 8,323  | 8,192 | 8,357  | 8,287  | 8,328 | 8,381  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mn2+       | 0,888 | 0,888 | 0,811  | 0,885  | 0,811  | 0,889 | 0,815  | 0,813  | 0,813 | 0,888  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Mg2+       | 0,852 | 0,881 | 0,884  | 0,862  | 0,885  | 1,814 | 0,933  | 1,819  | 1,833 | 0,937  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Ca2+       | 0,766 | 0,776 | 0,769  | 0,756  | 0,769  | 0,798 | 0,683  | 0,688  | 0,688 | 0,734  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Na+        | 0,828 | 0,815 | 0,824  | 0,835  | 0,832  | 0,812 | 0,814  | 0,813  | 0,886 | 0,813  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| K+         | 0,881 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |
| Cr3+       | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,887 | 0,882  | 0,887  | 0,888 | 0,888  |    |   |    |   |     |  |     |  |     |  |

Tableau III-24 suite

| Ech.                           | D11M1  |        |        |        |       |        |       |        |        |        |       |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|
| N analyses                     | 97     | 101    | 120    | 108    | 110   | 114    | 116   | 122    | 127    | 131    | 150   |
|                                | c      | c      | c      | c      | c     | c      | c     | c      | c      | c      | c     |
| SiO <sub>2</sub>               | 52,20  | 51,36  | 52,00  | 51,19  | 52,41 | 49,77  | 50,50 | 51,91  | 52,38  | 50,10  | 51,77 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,37   | 0,52   | 0,30   | 0,52   | 0,26  | 0,67   | 0,71  | 0,43   | 0,37   | 0,90   | 0,35  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,35   | 3,04   | 1,60   | 2,45   | 2,11  | 3,43   | 2,50  | 2,63   | 2,07   | 3,96   | 2,45  |
| FeO                            | 6,66   | 7,11   | 5,53   | 9,66   | 5,20  | 9,02   | 9,73  | 5,59   | 6,03   | 6,85   | 5,94  |
| MnO                            | 0,09   | 0,30   | 0,15   | 0,10   | 0,17  | 0,19   | 0,34  | 0,00   | 0,16   | 0,36   | 0,25  |
| MgO                            | 16,46  | 16,36  | 17,00  | 15,20  | 16,67 | 14,86  | 14,72 | 16,40  | 16,64  | 15,21  | 16,06 |
| CaO                            | 22,20  | 22,07  | 21,59  | 20,00  | 22,60 | 20,07  | 20,67 | 22,02  | 22,33  | 21,70  | 22,21 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,34   | 0,21   | 0,09   | 0,19   | 0,20  | 0,40   | 0,27  | 0,12   | 0,22   | 0,20   | 0,20  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00  | 0,00   | 0,01  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,00   | 0,00   | 0,17   | 0,00   | 0,20  | 0,00   | 0,06  | 0,32   | 0,26   | 0,00   | 0,15  |
| TOTAL                          | 100,09 | 100,97 | 99,39  | 100,20 | 99,90 | 99,21  | 99,59 | 100,22 | 100,36 | 99,36  | 99,39 |
| Si <sup>4+</sup>               | 1,912  | 1,007  | 1,940  | 1,900  | 1,929 | 1,070  | 1,903 | 1,909  | 1,925  | 1,070  | 1,921 |
| Ti <sup>4+</sup>               | 0,010  | 0,014  | 0,000  | 0,015  | 0,007 | 0,019  | 0,020 | 0,012  | 0,010  | 0,025  | 0,010 |
| Al <sup>3+</sup>               | 0,110  | 0,132  | 0,073  | 0,100  | 0,092 | 0,153  | 0,111 | 0,114  | 0,090  | 0,174  | 0,107 |
| Fe <sup>2+</sup>               | 0,204  | 0,210  | 0,171  | 0,301  | 0,160 | 0,310  | 0,306 | 0,172  | 0,185  | 0,214  | 0,184 |
| Mn <sup>2+</sup>               | 0,003  | 0,009  | 0,005  | 0,006  | 0,005 | 0,006  | 0,011 | 0,000  | 0,005  | 0,011  | 0,000 |
| Mg <sup>2+</sup>               | 0,099  | 0,096  | 0,039  | 0,049  | 0,014 | 0,036  | 0,025 | 0,099  | 0,011  | 0,046  | 0,000 |
| Ca <sup>2+</sup>               | 0,071  | 0,069  | 0,053  | 0,051  | 0,091 | 0,011  | 0,033 | 0,099  | 0,075  | 0,060  | 0,003 |
| Na <sup>+</sup>                | 0,024  | 0,015  | 0,006  | 0,014  | 0,020 | 0,029  | 0,020 | 0,009  | 0,016  | 0,020  | 0,014 |
| K <sup>+</sup>                 | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Cr <sup>3+</sup>               | 0,000  | 0,000  | 0,005  | 0,000  | 0,006 | 0,000  | 0,002 | 0,009  | 0,000  | 0,000  | 0,004 |
| TOTAL                          | 4,033  | 4,040  | 4,000  | 4,031  | 4,025 | 4,042  | 4,031 | 4,022  | 4,024  | 4,020  | 4,021 |
| WO                             | 44,1   | 43,6   | 43,4   | 41,0   | 45,2  | 41,3   | 42,2  | 45,6   | 44,3   | 44,0   | 45,0  |
| EN                             | 45,5   | 45,0   | 47,7   | 42,7   | 46,4  | 42,6   | 41,0  | 45,6   | 46,1   | 45,6   | 45,2  |
| FS                             | 10,3   | 11,0   | 0,7    | 15,2   | 0,1   | 15,0   | 15,5  | 0,7    | 9,4    | 11,0   | 0,4   |
| Al IV                          | 0,104  | 0,132  | 0,056  | 0,107  | 0,003 | 0,141  | 0,112 | 0,102  | 0,007  | 0,143  | 0,009 |
| Al VI                          | 0,005  | 0,000  | 0,017  | 0,000  | 0,000 | 0,010  | 0,002 | 0,012  | 0,002  | 0,000  | 0,010 |
| Fe 3+                          | 0,104  | 0,120  | 0,024  | 0,091  | 0,074 | 0,123  | 0,092 | 0,066  | 0,073  | 0,004  | 0,062 |
| Fe 2+                          | 0,099  | 0,096  | 0,146  | 0,207  | 0,005 | 0,103  | 0,212 | 0,105  | 0,111  | 0,120  | 0,121 |
| N analyses                     | 96     | 99     | 100    | 93     | 106   | 111    | 123   | 129    | 135    | 136    | 151   |
| SiO <sub>2</sub>               | 51,42  | 50,26  | 50,50  | 49,49  | 51,37 | 50,30  | 49,03 | 49,41  | 51,03  | 49,52  | 49,19 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,56   | 0,75   | 0,72   | 0,76   | 0,59  | 0,00   | 0,99  | 0,03   | 0,50   | 0,00   | 0,96  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,03   | 3,46   | 3,30   | 4,33   | 2,03  | 3,04   | 4,44  | 3,60   | 3,07   | 4,07   | 4,16  |
| FeO                            | 10,29  | 9,20   | 9,42   | 10,22  | 0,47  | 0,96   | 9,72  | 9,29   | 0,93   | 9,70   | 9,44  |
| MnO                            | 0,27   | 0,33   | 0,30   | 0,27   | 0,26  | 0,30   | 0,25  | 0,06   | 0,12   | 0,20   | 0,20  |
| MgO                            | 15,67  | 14,77  | 15,23  | 14,21  | 15,63 | 14,64  | 13,04 | 14,44  | 14,94  | 14,25  | 13,09 |
| CaO                            | 19,23  | 21,10  | 20,72  | 20,00  | 20,52 | 21,54  | 20,67 | 21,12  | 21,12  | 20,02  | 21,15 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,23   | 0,25   | 0,00   | 0,37   | 0,25  | 0,35   | 0,32  | 0,20   | 0,29   | 0,33   | 0,25  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,07   | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00  | 0,11   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  |
| TOTAL                          | 99,70  | 100,12 | 100,50 | 99,00  | 99,92 | 100,92 | 99,26 | 99,11  | 100,00 | 99,06  | 99,24 |
| Si <sup>4+</sup>               | 1,925  | 1,070  | 1,077  | 1,060  | 1,009 | 1,066  | 1,052 | 1,067  | 1,900  | 1,070  | 1,000 |
| Ti <sup>4+</sup>               | 0,016  | 0,021  | 0,020  | 0,021  | 0,016 | 0,022  | 0,020 | 0,024  | 0,016  | 0,025  | 0,027 |
| Al <sup>3+</sup>               | 0,090  | 0,132  | 0,140  | 0,192  | 0,124 | 0,160  | 0,190 | 0,164  | 0,135  | 0,101  | 0,105 |
| Fe <sup>2+</sup>               | 0,322  | 0,207  | 0,293  | 0,321  | 0,263 | 0,270  | 0,307 | 0,294  | 0,270  | 0,309  | 0,290 |
| Mn <sup>2+</sup>               | 0,009  | 0,010  | 0,009  | 0,009  | 0,000 | 0,012  | 0,000 | 0,002  | 0,004  | 0,009  | 0,006 |
| Mg <sup>2+</sup>               | 0,074  | 0,022  | 0,044  | 0,796  | 0,066 | 0,009  | 0,779 | 0,013  | 0,029  | 0,002  | 0,702 |
| Ca <sup>2+</sup>               | 0,771  | 0,045  | 0,025  | 0,005  | 0,017 | 0,056  | 0,037 | 0,055  | 0,043  | 0,010  | 0,056 |
| Na <sup>+</sup>                | 0,017  | 0,018  | 0,022  | 0,027  | 0,010 | 0,025  | 0,023 | 0,021  | 0,021  | 0,024  | 0,010 |
| K <sup>+</sup>                 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Cr <sup>3+</sup>               | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000 | 0,003  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| TOTAL                          | 4,023  | 4,034  | 4,039  | 4,037  | 4,022 | 4,039  | 4,033 | 4,030  | 4,026  | 4,029  | 4,031 |
| WO                             | 39,0   | 43,0   | 41,9   | 41,7   | 41,0  | 43,0   | 43,3  | 43,5   | 43,1   | 42,0   | 44,1  |
| EN                             | 44,2   | 41,9   | 42,0   | 41,2   | 44,3  | 41,4   | 40,4  | 41,4   | 42,4   | 41,6   | 40,3  |
| FS                             | 16,3   | 14,6   | 14,9   | 16,6   | 13,5  | 14,2   | 15,0  | 14,2   | 16,0   | 16,0   | 15,4  |
| Al IV                          | 0,006  | 0,130  | 0,141  | 0,157  | 0,101 | 0,153  | 0,163 | 0,151  | 0,112  | 0,143  | 0,156 |
| Al VI                          | 0,003  | 0,013  | 0,006  | 0,033  | 0,022 | 0,014  | 0,033 | 0,011  | 0,022  | 0,037  | 0,027 |
| Fe 3+                          | 0,009  | 0,101  | 0,116  | 0,109  | 0,064 | 0,116  | 0,097 | 0,113  | 0,079  | 0,006  | 0,093 |
| Fe 2+                          | 0,252  | 0,104  | 0,174  | 0,209  | 0,020 | 0,159  | 0,200 | 0,170  | 0,190  | 0,221  | 0,203 |
| Ech.                           |        |        |        |        |       |        |       |        |        |        | D10M1 |
| N analyses                     | 94     | 95     | 96     | 107    | 119   | 120    | 132   | 150    | 163    | 21     | 23    |
|                                | i      | i      | i      | i      | i     | i      | i     | m      | m      | c      | c     |
| SiO <sub>2</sub>               | 49,47  | 51,00  | 52,30  | 51,92  | 52,02 | 52,96  | 49,92 | 50,16  | 47,24  | 40,04  | 40,73 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,94   | 0,62   | 0,53   | 0,46   | 0,27  | 0,32   | 0,70  | 0,06   | 2,20   | 0,90   | 1,04  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3,05   | 2,06   | 2,33   | 2,43   | 2,05  | 1,90   | 3,61  | 2,62   | 3,91   | 7,23   | 5,25  |
| FeO                            | 10,66  | 0,04   | 6,90   | 9,90   | 5,44  | 5,79   | 0,96  | 12,71  | 17,42  | 7,63   | 0,44  |
| MnO                            | 0,40   | 0,33   | 0,10   | 0,24   | 0,17  | 0,00   | 0,12  | 0,34   | 0,50   | 0,10   | 0,12  |
| MgO                            | 14,47  | 15,50  | 16,52  | 15,52  | 16,60 | 16,75  | 14,55 | 14,72  | 10,51  | 14,34  | 14,59 |
| CaO                            | 20,04  | 20,74  | 21,96  | 20,49  | 22,04 | 22,62  | 21,00 | 18,04  | 17,63  | 21,30  | 21,23 |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,33   | 0,23   | 0,23   | 0,24   | 0,23  | 0,22   | 0,35  | 0,30   | 0,32   | 0,34   | 0,35  |
| K <sub>2</sub> O               | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,05   | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,11   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,21  | 0,02   | 0,04  | 0,00   | 0,06   | 0,25   | 0,00  |
| TOTAL                          | 99,90  | 100,14 | 100,07 | 100,93 | 99,03 | 100,74 | 99,33 | 99,75  | 99,59  | 100,14 | 99,75 |
| Si <sup>4+</sup>               | 1,062  | 1,000  | 1,016  | 1,010  | 1,021 | 1,035  | 1,070 | 1,096  | 1,037  | 1,700  | 1,024 |
| Ti <sup>4+</sup>               | 0,027  | 0,017  | 0,015  | 0,013  | 0,007 | 0,009  | 0,020 | 0,024  | 0,064  | 0,025  | 0,029 |
| Al <sup>3+</sup>               | 0,150  | 0,125  | 0,109  | 0,106  | 0,009 | 0,005  | 0,160 | 0,117  | 0,179  | 0,517  | 0,252 |
| Fe <sup>2+</sup>               | 0,336  | 0,275  | 0,211  | 0,296  | 0,160 | 0,177  | 0,202 | 0,402  | 0,566  | 0,237  | 0,264 |
| Mn <sup>2+</sup>               | 0,013  | 0,010  | 0,003  | 0,000  | 0,005 | 0,002  | 0,004 | 0,011  | 0,016  | 0,002  | 0,004 |
| Mg <sup>2+</sup>               | 0,012  | 0,060  | 0,091  | 0,055  | 0,014 | 0,012  | 0,016 | 0,029  | 0,597  | 0,794  | 0,014 |
| Ca <sup>2+</sup>               | 0,000  | 0,027  | 0,062  | 0,011  | 0,004 | 0,005  | 0,050 | 0,731  | 0,734  | 0,040  | 0,051 |
| Na <sup>+</sup>                | 0,024  | 0,017  | 0,016  | 0,017  | 0,016 | 0,016  | 0,026 | 0,022  | 0,024  | 0,024  | 0,025 |
| K <sup>+</sup>                 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |
| Cr <sup>3+</sup>               | 0,003  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,006 | 0,001  | 0,001 | 0,000  | 0,002  | 0,007  | 0,000 |
| TOTAL                          | 4,043  | 4,030  | 4,023  | 4,026  | 4,032 | 4,021  | 4,035 | 4,032  | 4,021  | 4,041  | 4,044 |
| WO                             | 41,1   | 41,9   | 43,0   | 41,2   | 45,4  | 44,0   | 43,5  | 37,0   | 30,4   | 45,1   | 44,0  |
| EN                             | 41,2   | 43,6   | 45,3   | 43,4   | 45,9  | 46,1   | 41,0  | 42,0   | 31,2   | 42,2   | 42,1  |
| FS                             | 17,1   | 14,0   | 10,7   | 15,0   | 0,4   | 9,0    | 14,5  | 20,4   | 29,6   | 12,6   | 13,7  |
| Al IV                          | 0,157  | 0,116  | 0,095  | 0,094  | 0,094 | 0,076  | 0,139 | 0,119  | 0,173  | 0,233  | 0,196 |
| Al VI                          | 0,000  | 0,013  | 0,005  | 0,011  | 0,000 | 0,009  | 0,020 | 0,005  | 0,005  | 0,000  | 0,033 |
| Fe 3+                          | 0,127  | 0,009  | 0,009  | 0,077  | 0,094 | 0,064  | 0,104 | 0,095  | 0,062  | 0,121  | 0,129 |
| Fe 2+                          | 0,205  | 0,104  | 0,141  | 0,217  | 0,072 | 0,112  |       |        |        |        |       |

Tableau III-24 suite

| Ech.  | D12M1      |       |       |       |        |        |        |        |        |        |    |
|-------|------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|       | N analyses | 34    | 22    | 29    | 42     | 55     | 56     | 57     | 31     | 47     | 48 |
|       | c          | b     | b     | c     | c      | c      | c      | b      | a      | a      |    |
| SiO2  | 48,44      | 48,32 | 51,56 | 53,45 | 51,26  | 51,88  | 51,19  | 53,59  | 50,88  | 49,91  |    |
| TiO2  | 0,84       | 0,99  | 0,32  | 0,18  | 0,28   | 0,39   | 0,44   | 0,28   | 0,81   | 0,85   |    |
| Al2O3 | 7,34       | 6,53  | 3,54  | 2,85  | 4,61   | 4,49   | 4,52   | 1,78   | 6,28   | 6,49   |    |
| FeO   | 7,18       | 8,51  | 3,25  | 4,95  | 5,11   | 5,21   | 5,88   | 6,73   | 6,24   | 6,15   |    |
| MnO   | 0,18       | 0,11  | 0,08  | 0,17  | 0,04   | 0,08   | 0,16   | 0,21   | 0,18   | 0,23   |    |
| MgO   | 15,29      | 14,21 | 16,47 | 18,13 | 16,84  | 15,95  | 16,85  | 18,86  | 15,31  | 14,64  |    |
| CaO   | 28,34      | 28,74 | 22,89 | 28,25 | 22,14  | 22,41  | 21,83  | 18,56  | 21,68  | 21,91  |    |
| Na2O  | 0,26       | 0,28  | 0,19  | 0,17  | 0,09   | 0,15   | 0,09   | 0,08   | 0,15   | 0,26   |    |
| K2O   | 0,88       | 0,88  | 0,83  | 0,88  | 0,88   | 0,82   | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |    |
| Cr2O3 | 0,81       | 0,85  | 0,84  | 0,59  | 0,92   | 0,79   | 1,88   | 0,88   | 0,48   | 0,88   |    |
| TOTAL | 99,88      | 99,66 | 99,49 | 99,94 | 100,49 | 100,41 | 100,38 | 100,81 | 100,97 | 100,44 |    |
| Si4+  | 1,793      | 1,886 | 1,981 | 1,948 | 1,873  | 1,869  | 1,873  | 1,934  | 1,829  | 1,832  |    |
| Ti4+  | 0,823      | 0,828 | 0,889 | 0,885 | 0,888  | 0,811  | 0,812  | 0,888  | 0,822  | 0,823  |    |
| Al3+  | 0,328      | 0,288 | 0,154 | 0,888 | 0,199  | 0,194  | 0,195  | 0,877  | 0,267  | 0,281  |    |
| Fe2+  | 0,222      | 0,266 | 0,162 | 0,151 | 0,156  | 0,168  | 0,155  | 0,285  | 0,191  | 0,189  |    |
| Mn2+  | 0,883      | 0,883 | 0,888 | 0,883 | 0,881  | 0,888  | 0,885  | 0,886  | 0,886  | 0,887  |    |
| Mg2+  | 0,844      | 0,791 | 0,985 | 0,985 | 0,873  | 0,871  | 0,875  | 1,825  | 0,833  | 0,881  |    |
| Ca2+  | 0,887      | 0,831 | 0,873 | 0,791 | 0,867  | 0,888  | 0,856  | 0,725  | 0,845  | 0,862  |    |
| Na+   | 0,819      | 0,814 | 0,814 | 0,812 | 0,888  | 0,811  | 0,888  | 0,888  | 0,811  | 0,819  |    |
| K+    | 0,888      | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,888  | 0,881  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |    |
| Cr3+  | 0,888      | 0,881 | 0,881 | 0,817 | 0,827  | 0,823  | 0,829  | 0,888  | 0,812  | 0,888  |    |
| TOTAL | 4,832      | 4,829 | 4,828 | 4,881 | 4,818  | 4,818  | 4,887  | 4,888  | 4,815  | 4,813  |    |
| MO    | 43,8       | 43,9  | 45,8  | 48,9  | 45,7   | 46,1   | 45,2   | 37,8   | 45,1   | 46,4   |    |
| EN    | 43,8       | 41,8  | 46,7  | 51,8  | 46,8   | 45,6   | 46,3   | 52,2   | 44,4   | 43,1   |    |
| FS    | 11,9       | 14,1  | 8,3   | 7,8   | 8,2    | 8,4    | 8,2    | 18,5   | 18,2   | 18,2   |    |
| R1 IV | 0,221      | 0,287 | 0,188 | 0,853 | 0,132  | 0,148  | 0,131  | 0,846  | 0,178  | 0,174  |    |
| R1 VI | 0,897      | 0,879 | 0,845 | 0,833 | 0,866  | 0,853  | 0,864  | 0,831  | 0,888  | 0,186  |    |
| Fe 3+ | 0,856      | 0,886 | 0,859 | 0,883 | 0,838  | 0,854  | 0,821  | 0,888  | 0,845  | 0,848  |    |
| Fe 2+ | 0,125      | 0,178 | 0,182 | 0,148 | 0,126  | 0,185  | 0,134  | 0,285  | 0,145  | 0,148  |    |

Tableau III-24 suite

| Ech.      | 027M12 (mp) |        |        |        |        |        |        | 038M2  |        |        |        |        |
|-----------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | N analyse   | 3      | 5      | 6      | 7      | 20     | 22     | 24     | c      | c      | c      | 51     |
| SiO2      |             | 58,38  | 58,63  | 49,77  | 58,33  | 58,43  | 58,88  | 58,72  | 52,62  | 54,18  | 54,68  | 52,29  |
| TiO2      |             | 0,58   | 0,61   | 0,69   | 0,64   | 0,58   | 0,46   | 0,61   | 0,11   | 0,12   | 0,05   | 0,18   |
| Al2O3     |             | 6,18   | 4,77   | 6,42   | 5,92   | 5,81   | 5,56   | 4,68   | 2,86   | 1,79   | 1,34   | 3,29   |
| FeO       |             | 3,33   | 5,52   | 5,14   | 5,81   | 5,14   | 4,41   | 5,58   | 5,58   | 5,88   | 3,69   | 6,15   |
| MnO       |             | 0,85   | 0,13   | 0,84   | 0,18   | 0,88   | 0,13   | 0,16   | 0,14   | 0,12   | 0,13   | 0,16   |
| MgO       |             | 15,58  | 15,58  | 15,43  | 15,76  | 16,88  | 16,86  | 15,38  | 17,98  | 18,68  | 18,79  | 18,83  |
| CaO       |             | 21,38  | 21,93  | 22,89  | 21,69  | 22,89  | 21,86  | 21,73  | 20,51  | 20,18  | 21,38  | 19,61  |
| Na2O      |             | 0,16   | 0,14   | 0,15   | 0,24   | 0,21   | 0,17   | 0,16   | 0,18   | 0,84   | 0,14   | 0,14   |
| K2O       |             | 0,88   | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,88   | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |
| Cr-2O3    |             | 0,61   | 0,88   | 0,88   | 0,58   | 0,84   | 0,91   | 0,18   | 0,43   | 0,78   | 0,93   | 0,54   |
| TOTAL     |             | 188,83 | 99,33  | 99,97  | 188,21 | 99,51  | 98,84  | 98,98  | 188,25 | 188,73 | 188,97 | 188,39 |
| Si4+      |             | 1,844  | 1,873  | 1,828  | 1,843  | 1,868  | 1,852  | 1,882  | 1,919  | 1,956  | 1,963  | 1,986  |
| Ti4+      |             | 0,814  | 0,817  | 0,819  | 0,818  | 0,816  | 0,813  | 0,817  | 0,883  | 0,883  | 0,881  | 0,883  |
| Al3+      |             | 0,264  | 0,288  | 0,278  | 0,255  | 0,218  | 0,242  | 0,281  | 0,123  | 0,876  | 0,857  | 0,141  |
| Fe2+      |             | 0,163  | 0,171  | 0,158  | 0,153  | 0,159  | 0,136  | 0,171  | 0,168  | 0,151  | 0,111  | 0,187  |
| Mn2+      |             | 0,882  | 0,884  | 0,881  | 0,883  | 0,888  | 0,884  | 0,883  | 0,884  | 0,884  | 0,884  | 0,885  |
| Mg2+      |             | 0,856  | 0,859  | 0,843  | 0,868  | 0,888  | 0,883  | 0,858  | 0,973  | 1,883  | 1,887  | 0,979  |
| Ca2+      |             | 0,836  | 0,859  | 0,859  | 0,858  | 0,873  | 0,835  | 0,864  | 0,881  | 0,777  | 0,828  | 0,766  |
| Na+       |             | 0,811  | 0,818  | 0,811  | 0,817  | 0,815  | 0,812  | 0,812  | 0,813  | 0,883  | 0,818  | 0,818  |
| K+        |             | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |
| Cr-3+     |             | 0,818  | 0,888  | 0,887  | 0,814  | 0,881  | 0,827  | 0,883  | 0,812  | 0,828  | 0,826  | 0,816  |
| TOTAL     |             | 4,888  | 4,812  | 4,816  | 4,813  | 4,822  | 4,887  | 4,883  | 4,817  | 3,993  | 3,999  | 4,816  |
| WO        |             | 45,82  | 45,68  | 46,41  | 45,57  | 45,68  | 44,86  | 45,71  | 41,18  | 48,14  | 42,25  | 39,53  |
| EN        |             | 46,18  | 45,14  | 45,89  | 46,85  | 46,82  | 47,58  | 45,88  | 49,98  | 51,88  | 51,84  | 58,54  |
| FS        |             | 8,88   | 8,38   | 8,43   | 8,22   | 8,38   | 7,34   | 8,83   | 8,62   | 7,88   | 5,72   | 3,68   |
| R1 IV     |             | 8,168  | 8,133  | 8,179  | 8,164  | 8,158  | 8,151  | 8,121  | 8,889  | 8,842  | 8,837  | 8,181  |
| R1 VI     |             | 8,183  | 8,873  | 8,898  | 8,891  | 8,887  | 8,891  | 8,888  | 8,834  | 8,833  | 8,828  | 8,839  |
| Fe 3+     |             | 8,823  | 8,833  | 8,847  | 8,848  | 8,866  | 8,828  | 8,816  | 8,858  | 8,888  | 8,888  | 8,846  |
| Fe2+      |             | 8,148  | 8,133  | 8,118  | 8,113  | 8,892  | 8,117  | 8,154  | 8,117  | 8,151  | 8,111  | 8,148  |
| N analyse |             | 54     | 53     | 68     | 37     | 39     | 43     | 47     | 52     | 48     | 41     | 44     |
|           |             | c      | c      | c      | b      | b      | b      | b      | b      | i      | i      | il     |
| SiO2      |             | 53,48  | 53,36  | 52,88  | 52,79  | 52,16  | 53,33  | 52,69  | 52,13  | 53,88  | 53,65  | 53,67  |
| TiO2      |             | 0,12   | 0,15   | 0,23   | 0,11   | 0,15   | 0,88   | 0,13   | 0,22   | 0,19   | 0,12   | 0,11   |
| Al2O3     |             | 2,86   | 2,23   | 2,52   | 2,57   | 2,58   | 1,94   | 2,92   | 3,44   | 2,88   | 2,28   | 1,96   |
| FeO       |             | 5,69   | 5,82   | 5,86   | 6,54   | 6,35   | 5,86   | 5,85   | 5,99   | 5,89   | 5,91   | 6,14   |
| MnO       |             | 0,18   | 0,82   | 0,19   | 0,89   | 0,23   | 0,26   | 0,89   | 0,88   | 0,89   | 0,23   | 0,18   |
| MgO       |             | 18,32  | 18,28  | 18,88  | 19,42  | 18,66  | 18,47  | 18,38  | 18,85  | 17,46  | 18,22  | 19,78  |
| CaO       |             | 28,85  | 28,71  | 19,53  | 18,34  | 19,47  | 19,56  | 19,22  | 28,13  | 28,68  | 28,88  | 18,94  |
| Na2O      |             | 0,12   | 0,12   | 0,13   | 0,18   | 0,12   | 0,18   | 0,23   | 0,88   | 0,18   | 0,11   | 0,28   |
| K2O       |             | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,82   |
| Cr-2O3    |             | 0,45   | 0,36   | 0,71   | 0,37   | 0,71   | 0,36   | 0,93   | 0,34   | 0,35   | 0,46   | 0,28   |
| TOTAL     |             | 188,41 | 181,85 | 188,87 | 188,33 | 188,45 | 188,18 | 188,46 | 188,58 | 188,74 | 188,98 | 181,84 |
| Si4+      |             | 1,942  | 1,932  | 1,914  | 1,928  | 1,983  | 1,945  | 1,915  | 1,897  | 1,925  | 1,941  | 1,937  |
| Ti4+      |             | 0,883  | 0,884  | 0,886  | 0,883  | 0,883  | 0,882  | 0,883  | 0,886  | 0,883  | 0,883  | 0,883  |
| Al3+      |             | 0,888  | 0,893  | 0,812  | 0,818  | 0,811  | 0,883  | 0,123  | 0,148  | 0,123  | 0,894  | 0,883  |
| Fe2+      |             | 0,173  | 0,176  | 0,178  | 0,199  | 0,194  | 0,179  | 0,178  | 0,182  | 0,179  | 0,179  | 0,183  |
| Mn2+      |             | 0,886  | 0,881  | 0,886  | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,883  | 0,888  | 0,882  | 0,887  | 0,883  |
| Mg2+      |             | 0,993  | 0,996  | 1,015  | 1,853  | 1,816  | 1,883  | 0,996  | 0,979  | 0,945  | 0,982  | 1,859  |
| Ca2+      |             | 0,781  | 0,883  | 0,738  | 0,715  | 0,762  | 0,784  | 0,749  | 0,785  | 0,882  | 0,778  | 0,732  |
| Na+       |             | 0,888  | 0,888  | 0,889  | 0,887  | 0,888  | 0,887  | 0,816  | 0,886  | 0,887  | 0,888  | 0,814  |
| K+        |             | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  |
| Cr-3+     |             | 0,813  | 0,818  | 0,828  | 0,811  | 0,821  | 0,816  | 0,827  | 0,816  | 0,816  | 0,813  | 0,886  |
| TOTAL     |             | 4,889  | 4,816  | 4,819  | 4,828  | 4,829  | 4,887  | 4,813  | 4,818  | 4,884  | 4,886  | 4,823  |
| WO        |             | 48,81  | 48,85  | 38,73  | 36,38  | 38,38  | 39,18  | 38,89  | 48,33  | 41,58  | 39,99  | 36,98  |
| EN        |             | 58,85  | 58,15  | 51,88  | 53,46  | 51,31  | 51,35  | 51,73  | 58,38  | 49,82  | 58,47  | 53,58  |
| FS        |             | 8,87   | 8,96   | 9,88   | 18,11  | 9,81   | 9,15   | 9,24   | 9,37   | 9,28   | 9,19   | 9,36   |
| R1 IV     |             | 8,862  | 8,876  | 8,893  | 8,898  | 8,188  | 8,899  | 8,891  | 8,111  | 8,877  | 8,862  | 8,875  |
| R1 VI     |             | 8,826  | 8,819  | 8,816  | 8,828  | 8,882  | 8,824  | 8,834  | 8,833  | 8,846  | 8,832  | 8,888  |
| Fe 3+     |             | 8,826  | 8,847  | 8,833  | 8,868  | 8,887  | 8,821  | 8,838  | 8,854  | 8,812  | 8,818  | 8,878  |
| Fe2+      |             | 8,146  | 8,128  | 8,121  | 8,138  | 8,186  | 8,157  | 8,139  | 8,127  | 8,167  | 8,161  | 8,114  |
| Ech.      |             | 031M1  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| N analyse |             | 45     | 46     | 48     | 49     | 58     | 53     | 383    | 386    | 388    | 333    | 337    |
|           |             | i2     | i'1    | i4     | i3     | i'2    | i      | c      | c      | c      | c      | c      |
| SiO2      |             | 53,55  | 54,29  | 51,41  | 52,43  | 52,11  | 52,46  | 52,58  | 51,68  | 53,52  | 53,32  | 52,27  |
| TiO2      |             | 0,15   | 0,89   | 0,29   | 0,15   | 0,18   | 0,18   | 0,32   | 0,29   | 0,28   | 0,24   | 0,22   |
| Al2O3     |             | 1,74   | 1,99   | 2,91   | 3,13   | 3,86   | 2,99   | 2,48   | 3,86   | 2,22   | 1,93   | 3,23   |
| FeO       |             | 5,98   | 4,21   | 6,38   | 5,13   | 5,58   | 6,88   | 5,98   | 5,42   | 5,88   | 5,63   | 4,51   |
| MnO       |             | 0,15   | 0,17   | 0,14   | 0,88   | 0,88   | 0,21   | 0,48   | 0,83   | 0,18   | 0,27   | 0,87   |
| MgO       |             | 18,93  | 18,36  | 18,18  | 17,93  | 18,11  | 18,14  | 17,59  | 17,86  | 17,62  | 18,15  | 17,89  |
| CaO       |             | 19,38  | 21,16  | 19,48  | 19,88  | 28,39  | 28,19  | 21,87  | 21,32  | 21,33  | 21,13  | 22,88  |
| Na2O      |             | 0,13   | 0,18   | 0,16   | 0,17   | 0,17   | 0,14   | 0,17   | 0,24   | 0,28   | 0,12   | 0,23   |
| K2O       |             | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,88   | 0,88   |
| Cr-2O3    |             | 0,31   | 0,89   | 0,78   | 0,67   | 0,18   | 0,57   | 0,19   | 0,57   | 0,83   | 0,83   | 0,68   |
| TOTAL     |             | 188,35 | 181,26 | 99,65  | 99,51  | 99,78  | 188,88 | 188,62 | 188,47 | 188,27 | 188,82 | 181,18 |
| Si4+      |             | 1,947  | 1,958  | 1,895  | 1,919  | 1,989  | 1,986  | 1,928  | 1,887  | 1,947  | 1,937  | 1,897  |
| Ti4+      |             | 0,884  | 0,882  | 0,888  | 0,884  | 0,883  | 0,883  | 0,889  | 0,888  | 0,885  | 0,887  | 0,886  |
| Al3+      |             | 0,873  | 0,884  | 0,126  | 0,133  | 0,132  | 0,128  | 0,183  | 0,166  | 0,893  | 0,883  | 0,138  |
| Fe2+      |             | 0,182  | 0,126  | 0,197  | 0,157  | 0,171  | 0,182  | 0,188  | 0,163  | 0,152  | 0,171  | 0,137  |
| Mn2+      |             | 0,884  | 0,883  | 0,884  | 0,882  | 0,888  | 0,886  | 0,812  | 0,881  | 0,883  | 0,888  | 0,882  |
| Mg2+      |             | 1,826  | 0,983  | 0,999  | 0,979  | 0,989  | 0,982  | 0,957  | 0,928  | 0,955  | 0,982  | 0,924  |
| Ca2+      |             | 0,753  | 0,814  | 0,769  | 0,777  | 0,888  | 0,786  | 0,824  | 0,834  | 0,832  | 0,822  | 0,887  |
| Na+       |             | 0,889  | 0,887  | 0,811  | 0,812  | 0,812  | 0,818  | 0,812  | 0,817  | 0,814  | 0,888  | 0,816  |
| K+        |             | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |
| Cr-3+     |             | 0,818  | 0,823  | 0,828  | 0,819  | 0,883  | 0,816  | 0,883  | 0,816  | 0,881  | 0,881  | 0,828  |
| TOTAL     |             | 4,811  | 3,997  | 4,838  | 4,883  | 4,823  | 4,822  | 4,823  | 4,823  | 4,886  | 4,819  | 4,826  |
| WO        |             | 38,39  | 42,22  | 39,87  | 48,53  | 48,83  | 48,16  | 41,76  | 43,24  | 42,84  | 41,45  | 45,47  |
| EN        |             | 52,16  | 58,93  | 58,72  | 51,13  | 58,44  | 58,19  | 48,49  | 48,13  | 49,17  | 49,52  | 47,48  |
| FS        |             | 9,23   | 6,36   | 9,99   | 8,28   | 8,72   | 9,32   | 9,14   | 8,58   | 7,85   | 8,63   | 7,82   |
| R1 IV     |             | 8,859  | 8,849  | 8,119  | 8,883  | 8,182  | 8,183  | 8,891  | 8,124  | 8,856  | 8,873  | 8,116  |
| R1 VI     |             | 8,816  | 8,833  | 8,886  | 8,832  | 8,829  | 8,823  | 8,811  |        |        |        |        |

Tableau III-24 suite

| Ech.  |           |          |          |          |           |          | 029M6    |          |          |          |          |
|-------|-----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|       | N analyse | 384<br>b | 387<br>b | 336<br>b | 385<br>ap | 338<br>a | 348<br>a | 343<br>c | 345<br>c | 347<br>c | 348<br>c |
| SiO2  | 53,87     | 52,88    | 52,89    | 52,39    | 51,37     | 48,98    | 51,69    | 51,37    | 58,79    | 51,68    | 58,84    |
| TiO2  | 0,24      | 0,19     | 0,44     | 0,25     | 0,36      | 0,85     | 0,19     | 0,36     | 0,33     | 0,26     | 0,39     |
| Al2O3 | 1,85      | 1,98     | 3,12     | 2,46     | 3,85      | 2,98     | 3,85     | 4,01     | 3,98     | 3,62     | 4,65     |
| FeO   | 5,57      | 5,58     | 5,75     | 6,52     | 7,98      | 16,29    | 4,67     | 5,74     | 4,78     | 4,51     | 5,41     |
| MnO   | 0,17      | 0,87     | 0,27     | 0,14     | 0,22      | 0,38     | 0,24     | 0,81     | 0,83     | 0,89     | 0,88     |
| MgO   | 17,78     | 17,81    | 16,64    | 17,11    | 16,34     | 14,29    | 17,16    | 16,11    | 16,24    | 16,72    | 15,69    |
| CaO   | 28,82     | 28,94    | 21,53    | 28,52    | 28,17     | 14,45    | 22,11    | 21,71    | 21,74    | 22,42    | 21,98    |
| Na2O  | 0,14      | 0,21     | 0,22     | 0,24     | 0,25      | 0,33     | 0,11     | 0,18     | 0,15     | 0,25     | 0,14     |
| K2O   | 0,88      | 0,81     | 0,83     | 0,81     | 0,85      | 0,88     | 0,88     | 0,82     | 0,88     | 0,81     | 0,84     |
| Cr2O3 | 0,24      | 0,82     | 0,41     | 0,15     | 0,86      | 0,81     | 0,21     | 0,35     | 0,84     | 0,78     | 0,56     |
| TOTAL | 99,88     | 99,61    | 188,58   | 99,79    | 99,97     | 98,48    | 99,43    | 99,86    | 98,72    | 188,18   | 99,62    |
| Si4+  | 1,945     | 1,942    | 1,986    | 1,929    | 1,982     | 1,888    | 1,985    | 1,898    | 1,886    | 1,889    | 1,875    |
| Ti4+  | 0,887     | 0,885    | 0,812    | 0,887    | 0,816     | 0,825    | 0,885    | 0,818    | 0,889    | 0,887    | 0,811    |
| Al3+  | 0,888     | 0,882    | 0,135    | 0,187    | 0,133     | 0,136    | 0,135    | 0,174    | 0,171    | 0,156    | 0,282    |
| Fe2+  | 0,171     | 0,171    | 0,176    | 0,281    | 0,245     | 0,326    | 0,144    | 0,177    | 0,146    | 0,138    | 0,167    |
| Mn2+  | 0,885     | 0,882    | 0,888    | 0,884    | 0,887     | 0,812    | 0,887    | 0,888    | 0,881    | 0,883    | 0,888    |
| Mg2+  | 0,967     | 0,975    | 0,987    | 0,939    | 0,981     | 0,822    | 0,943    | 0,883    | 0,899    | 0,912    | 0,862    |
| Ca2+  | 0,818     | 0,824    | 0,844    | 0,889    | 0,888     | 0,598    | 0,873    | 0,856    | 0,865    | 0,888    | 0,863    |
| Na+   | 0,818     | 0,815    | 0,816    | 0,817    | 0,818     | 0,825    | 0,888    | 0,813    | 0,811    | 0,818    | 0,818    |
| K+    | 0,888     | 0,888    | 0,881    | 0,888    | 0,882     | 0,888    | 0,888    | 0,881    | 0,888    | 0,888    | 0,882    |
| Cr3+  | 0,887     | 0,881    | 0,812    | 0,884    | 0,882     | 0,888    | 0,886    | 0,818    | 0,825    | 0,828    | 0,816    |
| TOTAL | 4,818     | 4,819    | 4,817    | 4,818    | 4,825     | 4,832    | 4,824    | 4,815    | 4,812    | 4,824    | 4,811    |
| HO    | 41,71     | 41,78    | 43,68    | 41,44    | 48,97     | 38,52    | 44,39    | 44,67    | 45,27    | 45,51    | 45,68    |
| EN    | 49,32     | 49,42    | 46,87    | 48,86    | 46,16     | 41,98    | 47,91    | 46,18    | 47,84    | 47,28    | 45,52    |
| FS    | 8,71      | 8,69     | 9,18     | 18,28    | 12,53     | 26,87    | 7,32     | 9,22     | 7,64     | 7,15     | 8,81     |
| RI IV | 0,889     | 0,867    | 0,182    | 0,888    | 0,118     | 0,127    | 0,188    | 0,117    | 0,128    | 0,122    | 0,138    |
| RI VI | 0,828     | 0,815    | 0,832    | 0,827    | 0,822     | 0,888    | 0,825    | 0,857    | 0,851    | 0,833    | 0,872    |
| Fe 3+ | 0,829     | 0,856    | 0,852    | 0,853    | 0,876     | 0,894    | 0,872    | 0,844    | 0,837    | 0,872    | 0,833    |
| Fe2+  | 0,142     | 0,115    | 0,124    | 0,147    | 0,167     | 0,427    | 0,871    | 0,132    | 0,189    | 0,865    | 0,134    |

| N analyse | 352   |       | 354   |        | 344    |       | 346   |       | 349   |       | 351    |   | 353 |   | 355 |   | 356 |   | 358 |   | 373 |   |
|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
|           | c     | c     | b     | b      | b      | b     | b     | b     | b     | b     | b      | b | b   | b | m   | m | m   | m | m   | m | m   | m |
| SiO2      | 52,18 | 58,96 | 58,78 | 51,39  | 51,58  | 49,86 | 51,59 | 52,56 | 51,82 | 51,63 | 51,21  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| TiO2      | 0,26  | 0,29  | 0,36  | 0,39   | 0,39   | 0,56  | 0,25  | 0,28  | 0,48  | 0,45  | 0,51   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Al2O3     | 2,78  | 3,86  | 4,25  | 3,52   | 3,81   | 5,85  | 3,34  | 3,23  | 3,82  | 3,16  | 4,34   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| FeO       | 4,13  | 4,24  | 4,98  | 6,74   | 5,88   | 6,13  | 3,85  | 4,27  | 6,78  | 6,39  | 6,38   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| MnO       | 0,25  | 0,18  | 0,12  | 0,21   | 0,18   | 0,24  | 0,19  | 0,13  | 0,13  | 0,18  | 0,89   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| MgO       | 17,84 | 16,48 | 16,49 | 16,88  | 16,38  | 15,54 | 16,75 | 16,62 | 16,52 | 16,54 | 16,56  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| CaO       | 21,93 | 22,45 | 22,38 | 21,56  | 22,36  | 28,89 | 22,32 | 21,99 | 28,68 | 21,27 | 28,83  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Na2O      | 0,28  | 0,13  | 0,13  | 0,22   | 0,21   | 0,12  | 0,23  | 0,18  | 0,13  | 0,19  | 0,22   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| K2O       | 0,81  | 0,88  | 0,84  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Cr2O3     | 0,48  | 0,48  | 0,48  | 0,88   | 0,35   | 0,13  | 1,88  | 0,48  | 0,18  | 0,84  | 0,23   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| TOTAL     | 99,18 | 98,83 | 99,83 | 188,11 | 188,26 | 98,52 | 99,52 | 99,74 | 99,55 | 99,83 | 188,37 |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Si4+      | 1,921 | 1,888 | 1,867 | 1,895  | 1,889  | 1,862 | 1,897 | 1,923 | 1,887 | 1,984 | 1,876  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Ti4+      | 0,887 | 0,888 | 0,818 | 0,811  | 0,811  | 0,816 | 0,887 | 0,888 | 0,813 | 0,812 | 0,814  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Al3+      | 0,121 | 0,169 | 0,185 | 0,153  | 0,165  | 0,222 | 0,145 | 0,139 | 0,167 | 0,137 | 0,187  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Fe2+      | 0,127 | 0,131 | 0,151 | 0,288  | 0,153  | 0,191 | 0,118 | 0,131 | 0,287 | 0,197 | 0,195  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Mn2+      | 0,888 | 0,883 | 0,884 | 0,887  | 0,886  | 0,888 | 0,886 | 0,884 | 0,884 | 0,886 | 0,883  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Mg2+      | 0,936 | 0,985 | 0,985 | 0,884  | 0,894  | 0,865 | 0,918 | 0,986 | 0,911 | 0,989 | 0,984  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Ca2+      | 0,866 | 0,891 | 0,883 | 0,832  | 0,878  | 0,836 | 0,888 | 0,862 | 0,817 | 0,841 | 0,818  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Na+       | 0,814 | 0,889 | 0,889 | 0,816  | 0,815  | 0,889 | 0,816 | 0,813 | 0,889 | 0,814 | 0,816  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| K+        | 0,888 | 0,888 | 0,882 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,882 | 0,888 | 0,888  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Cr3+      | 0,812 | 0,812 | 0,814 | 0,888  | 0,818  | 0,884 | 0,829 | 0,814 | 0,883 | 0,881 | 0,887  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| TOTAL     | 4,813 | 4,818 | 4,829 | 4,825  | 4,828  | 4,813 | 4,817 | 3,999 | 4,828 | 4,821 | 4,828  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| HO        | 44,71 | 46,15 | 45,46 | 43,69  | 45,46  | 44,88 | 45,76 | 45,38 | 42,12 | 43,85 | 42,59  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| EN        | 48,32 | 46,89 | 46,58 | 45,32  | 46,32  | 45,52 | 47,77 | 47,62 | 46,98 | 46,56 | 47,89  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| FS        | 6,58  | 6,81  | 7,77  | 18,67  | 7,94   | 18,88 | 6,17  | 6,87  | 18,78 | 18,18 | 18,18  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| RI IV     | 0,885 | 0,128 | 0,147 | 0,117  | 0,128  | 0,144 | 0,118 | 0,877 | 0,122 | 0,186 | 0,133  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| RI VI     | 0,835 | 0,848 | 0,837 | 0,836  | 0,844  | 0,878 | 0,834 | 0,862 | 0,843 | 0,831 | 0,853  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Fe 3+     | 0,839 | 0,854 | 0,887 | 0,875  | 0,888  | 0,839 | 0,858 | 0,888 | 0,861 | 0,863 | 0,861  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Fe2+      | 0,888 | 0,877 | 0,862 | 0,131  | 0,892  | 0,151 | 0,868 | 0,131 | 0,145 | 0,133 | 0,134  |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |

Tableau III-24 suite

| Ech.      | D27M17 |        |        |        |        |        |        | D27M1  |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | 88     |        | 122    | 113    | 130    | 136    | 99     | 114    | 32     | 35     | 37     |
| N analyse | c      | c      | c      | c      | c      | inc    | b      | c      | c      | c      | c      |
| SiO2      | 53,71  | 51,89  | 51,66  | 51,65  | 50,99  | 51,93  | 51,50  | 52,08  | 51,91  | 52,64  | 51,98  |
| TiO2      | 0,58   | 0,25   | 0,44   | 0,58   | 0,65   | 0,54   | 0,64   | 0,18   | 0,32   | 0,51   | 0,27   |
| Al2O3     | 1,28   | 1,96   | 1,89   | 1,89   | 2,14   | 1,46   | 2,05   | 1,42   | 1,29   | 1,27   | 1,46   |
| FeO       | 14,08  | 22,06  | 0,19   | 9,09   | 9,07   | 9,36   | 0,24   | 10,37  | 10,16  | 10,35  | 10,29  |
| MnO       | 0,37   | 0,61   | 0,27   | 0,21   | 0,39   | 0,44   | 0,27   | 0,50   | 0,59   | 0,53   | 0,65   |
| MgO       | 16,85  | 9,91   | 15,57  | 15,45  | 15,77  | 16,35  | 15,73  | 14,86  | 15,43  | 15,15  | 14,85  |
| CaO       | 9,37   | 9,73   | 20,65  | 20,02  | 19,96  | 19,91  | 20,47  | 19,47  | 19,43  | 19,98  | 19,85  |
| Na2O      | 2,77   | 1,84   | 0,43   | 0,42   | 0,55   | 0,35   | 0,52   | 0,30   | 0,41   | 0,37   | 0,30   |
| K2O       | 0,30   | 0,39   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,07   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Cr2O3     | 0,16   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,03   | 0,02   | 0,12   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| TOTAL     | 99,57  | 99,44  | 99,15  | 99,32  | 100,35 | 100,35 | 99,53  | 99,32  | 99,54  | 100,52 | 99,72  |
| Si4+      | 2,002  | 2,015  | 1,935  | 1,935  | 1,903  | 1,929  | 1,923  | 1,960  | 1,949  | 1,957  | 1,951  |
| Ti4+      | 0,016  | 0,007  | 0,012  | 0,016  | 0,010  | 0,015  | 0,018  | 0,005  | 0,009  | 0,009  | 0,008  |
| Al3+      | 0,056  | 0,090  | 0,084  | 0,084  | 0,094  | 0,064  | 0,090  | 0,063  | 0,057  | 0,056  | 0,065  |
| Fe2+      | 0,439  | 0,743  | 0,257  | 0,265  | 0,300  | 0,291  | 0,257  | 0,326  | 0,319  | 0,322  | 0,323  |
| Mn2+      | 0,012  | 0,020  | 0,008  | 0,007  | 0,012  | 0,014  | 0,009  | 0,016  | 0,019  | 0,017  | 0,021  |
| Mg2+      | 0,936  | 0,573  | 0,069  | 0,062  | 0,077  | 0,085  | 0,075  | 0,833  | 0,864  | 0,839  | 0,830  |
| Ca2+      | 0,374  | 0,405  | 0,829  | 0,803  | 0,790  | 0,792  | 0,819  | 0,785  | 0,782  | 0,793  | 0,790  |
| Na+       | 0,200  | 0,130  | 0,032  | 0,030  | 0,040  | 0,025  | 0,030  | 0,022  | 0,030  | 0,027  | 0,020  |
| K+        | 0,018  | 0,019  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| Cr3+      | 0,005  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,003  | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |
| TOTAL     | 4,060  | 4,011  | 4,026  | 4,022  | 4,051  | 4,036  | 4,032  | 4,015  | 4,020  | 4,019  | 4,023  |
| MO        | 21,256 | 23,254 | 42,220 | 41,049 | 39,990 | 39,500 | 41,775 | 40,037 | 39,424 | 40,224 | 40,476 |
| EN        | 53,155 | 32,937 | 44,202 | 44,062 | 43,952 | 45,207 | 44,655 | 42,502 | 43,540 | 42,595 | 42,109 |
| FS        | 24,929 | 42,604 | 13,076 | 14,554 | 15,452 | 14,535 | 13,130 | 16,669 | 16,106 | 16,352 | 16,393 |
| Al IV     | 0,027  | 0,000  | 0,070  | 0,076  | 0,121  | 0,060  | 0,092  | 0,040  | 0,064  | 0,052  | 0,060  |
| Al VI     | 0,020  | 0,009  | 0,005  | 0,007  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,015  | 0,000  | 0,003  | 0,004  |
| Fe 3+     | 0,177  | 0,033  | 0,079  | 0,067  | 0,152  | 0,107  | 0,094  | 0,046  | 0,004  | 0,050  | 0,060  |
| Fe2+      | 0,236  | 0,707  | 0,176  | 0,216  | 0,152  | 0,181  | 0,161  | 0,279  | 0,233  | 0,263  | 0,253  |

| Ech.      | D26M6  |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|           | 36     |        | 61     | 140    | 152    | 153    | 143    | 130    |
| N analyse | b      | m      | c      | b      | c      | b      | mp     | mp     |
| SiO2      | 51,99  | 51,64  | 51,74  | 51,45  | 51,43  | 51,04  | 51,97  | 51,00  |
| TiO2      | 0,54   | 0,21   | 0,32   | 0,42   | 0,20   | 0,36   | 0,37   | 0,41   |
| Al2O3     | 1,05   | 1,50   | 1,10   | 1,27   | 0,70   | 0,95   | 1,11   | 1,03   |
| FeO       | 10,20  | 10,04  | 11,22  | 10,65  | 12,21  | 12,06  | 11,37  | 11,01  |
| MnO       | 0,06   | 0,63   | 0,49   | 0,43   | 0,73   | 0,82   | 0,60   | 0,06   |
| MgO       | 15,01  | 14,77  | 14,59  | 15,07  | 14,00  | 13,01  | 14,67  | 14,27  |
| CaO       | 19,51  | 19,46  | 19,62  | 19,20  | 19,37  | 10,07  | 10,65  | 10,07  |
| Na2O      | 0,57   | 0,41   | 0,42   | 0,30   | 0,30   | 0,42   | 0,43   | 0,46   |
| K2O       | 0,00   | 0,02   | 0,02   | 0,03   | 0,02   | 0,00   | 0,04   | 0,01   |
| Cr2O3     | 0,07   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,05   |
| TOTAL     | 99,40  | 99,20  | 99,53  | 98,91  | 99,21  | 99,15  | 99,30  | 98,70  |
| Si4+      | 1,957  | 1,951  | 1,954  | 1,940  | 1,959  | 1,951  | 1,963  | 1,967  |
| Ti4+      | 0,010  | 0,006  | 0,009  | 0,012  | 0,006  | 0,010  | 0,011  | 0,012  |
| Al3+      | 0,047  | 0,050  | 0,049  | 0,057  | 0,035  | 0,043  | 0,050  | 0,046  |
| Fe2+      | 0,324  | 0,343  | 0,354  | 0,337  | 0,309  | 0,411  | 0,359  | 0,350  |
| Mn2+      | 0,027  | 0,020  | 0,016  | 0,014  | 0,024  | 0,027  | 0,022  | 0,020  |
| Mg2+      | 0,042  | 0,032  | 0,021  | 0,050  | 0,000  | 0,007  | 0,026  | 0,000  |
| Ca2+      | 0,077  | 0,000  | 0,074  | 0,079  | 0,071  | 0,073  | 0,035  | 0,060  |
| Na+       | 0,027  | 0,030  | 0,031  | 0,020  | 0,020  | 0,031  | 0,032  | 0,034  |
| K+        | 0,000  | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,002  | 0,001  |
| Cr3+      | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,002  |
| TOTAL     | 4,022  | 4,029  | 4,029  | 4,026  | 4,032  | 4,033  | 4,010  | 4,014  |
| MO        | 39,742 | 39,739 | 39,900 | 39,334 | 39,400 | 38,700 | 38,479 | 39,321 |
| EN        | 42,530 | 41,963 | 41,371 | 42,935 | 39,922 | 39,306 | 42,090 | 41,357 |
| FS        | 16,360 | 17,296 | 17,069 | 17,044 | 19,446 | 20,605 | 10,320 | 17,936 |
| Al IV     | 0,054  | 0,063  | 0,060  | 0,065  | 0,056  | 0,065  | 0,046  | 0,040  |
| Al VI     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,004  | 0,000  |
| Fe 3+     | 0,066  | 0,000  | 0,000  | 0,079  | 0,095  | 0,090  | 0,055  | 0,043  |
| Fe2+      | 0,233  | 0,254  | 0,266  | 0,256  | 0,291  | 0,309  | 0,303  | 0,305  |

Tableau III-24 suite

| Ech.  | D25M2  |        |        |        |        |        |        |        |        |        | D24M4  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|--|-----|--|-----|--|-----|--|-----|--|
|       | 185    |        | 187    |        | 189    |        | 198    |        | 200    |        | 201    |        | 188 |  | 197 |  | 202 |  | 208 |  | 232 |  |
|       | c      |        | c      |        | c      |        | c      |        | c      |        | c      |        | b   |  | b   |  | b   |  | c   |  | c   |  |
| SiO2  | 58,32  | 58,11  | 58,85  | 51,87  | 49,83  | 49,79  | 49,29  | 49,35  | 58,59  | 51,91  | 51,36  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TiO2  | 8,75   | 8,53   | 8,49   | 8,48   | 8,52   | 8,62   | 8,51   | 8,58   | 8,51   | 8,57   | 8,39   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al2O3 | 2,68   | 3,46   | 3,88   | 2,32   | 4,68   | 3,93   | 4,56   | 3,88   | 3,14   | 2,58   | 2,58   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| FeO   | 3,58   | 8,91   | 18,31  | 9,42   | 8,84   | 9,84   | 9,29   | 9,37   | 8,63   | 18,53  | 11,32  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MnO   | 0,37   | 0,28   | 0,33   | 0,24   | 0,23   | 0,33   | 0,14   | 0,13   | 0,36   | 0,33   | 0,45   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MgO   | 15,41  | 15,37  | 15,13  | 16,23  | 15,15  | 15,28  | 14,96  | 15,84  | 15,51  | 15,83  | 16,85  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| CaO   | 19,57  | 28,37  | 28,23  | 19,86  | 21,88  | 21,81  | 28,28  | 28,48  | 28,48  | 18,22  | 17,61  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Na2O  | 0,36   | 0,38   | 0,29   | 0,29   | 0,48   | 0,33   | 0,28   | 0,42   | 0,26   | 0,38   | 0,33   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| K2O   | 0,88   | 0,88   | 0,82   | 0,83   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Cr2O3 | 0,81   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,23   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,15   | 0,88   | 0,88   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL | 99,86  | 99,26  | 99,95  | 188,88 | 188,98 | 188,32 | 99,24  | 99,25  | 99,66  | 188,27 | 188,28 |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Si4+  | 1,897  | 1,882  | 1,888  | 1,982  | 1,845  | 1,856  | 1,854  | 1,868  | 1,891  | 1,928  | 1,915  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Ti4+  | 0,821  | 0,815  | 0,814  | 0,811  | 0,814  | 0,818  | 0,814  | 0,817  | 0,814  | 0,818  | 0,811  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al3+  | 0,119  | 0,153  | 0,137  | 0,111  | 0,281  | 0,173  | 0,282  | 0,172  | 0,138  | 0,189  | 0,113  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+  | 0,382  | 0,288  | 0,324  | 0,293  | 0,274  | 0,282  | 0,292  | 0,296  | 0,278  | 0,338  | 0,353  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Mn2+  | 0,012  | 0,086  | 0,011  | 0,087  | 0,087  | 0,018  | 0,084  | 0,084  | 0,012  | 0,011  | 0,014  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Mg2+  | 0,866  | 0,868  | 0,847  | 0,982  | 0,836  | 0,849  | 0,838  | 0,845  | 0,864  | 0,876  | 0,892  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Ca2+  | 0,791  | 0,828  | 0,814  | 0,793  | 0,836  | 0,848  | 0,814  | 0,827  | 0,821  | 0,725  | 0,783  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Na+   | 0,826  | 0,822  | 0,821  | 0,821  | 0,829  | 0,823  | 0,821  | 0,831  | 0,819  | 0,827  | 0,825  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| K+    | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Cr3+  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,887  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,884  | 0,882  | 0,883  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL | 4,833  | 4,838  | 4,849  | 4,842  | 4,851  | 4,853  | 4,841  | 4,852  | 4,833  | 4,828  | 4,829  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MO    | 48,118 | 41,698 | 48,798 | 39,726 | 42,886 | 42,379 | 41,762 | 41,946 | 41,736 | 37,33  | 35,85  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| EN    | 43,958 | 43,754 | 42,438 | 45,196 | 42,887 | 42,862 | 43,818 | 42,858 | 43,933 | 45,11  | 45,44  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| FS    | 15,337 | 14,244 | 16,241 | 14,789 | 14,822 | 14,246 | 15,882 | 14,993 | 13,737 | 17,81  | 18,88  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al IV | 0,119  | 0,136  | 0,142  | 0,118  | 0,178  | 0,169  | 0,163  | 0,163  | 0,125  | 0,882  | 0,899  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al VI | 0,888  | 0,816  | 0,888  | 0,888  | 0,828  | 0,882  | 0,836  | 0,887  | 0,812  | 0,827  | 0,813  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe3+  | 0,184  | 0,113  | 0,144  | 0,126  | 0,158  | 0,157  | 0,121  | 0,154  | 0,899  | 0,859  | 0,887  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+  | 0,196  | 0,165  | 0,176  | 0,164  | 0,128  | 0,122  | 0,169  | 0,157  | 0,169  | 0,278  | 0,264  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| rxan. | 254    | 255    | 268    | 248    | 249    | 251    | 253    | 256    | 269    | 278    | 288    |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
|       | c      | c      | c      | b      | b      | b      | b      | b      | i      | b      | e      |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| SiO2  | 51,47  | 51,17  | 51,79  | 58,75  | 51,74  | 51,99  | 58,23  | 49,77  | 51,96  | 51,69  | 51,81  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TiO2  | 8,45   | 8,47   | 8,28   | 8,33   | 8,33   | 8,35   | 8,52   | 8,58   | 8,58   | 8,23   | 8,29   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al2O3 | 2,77   | 3,12   | 2,55   | 3,63   | 2,29   | 2,52   | 4,23   | 4,23   | 2,59   | 2,58   | 2,78   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| FeO   | 9,56   | 7,96   | 8,82   | 8,11   | 9,59   | 8,28   | 9,16   | 8,21   | 8,87   | 9,36   | 8,88   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MnO   | 8,43   | 8,11   | 8,19   | 8,41   | 8,17   | 8,15   | 8,26   | 8,29   | 8,28   | 8,33   | 8,48   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MgO   | 15,88  | 16,38  | 16,47  | 16,12  | 15,39  | 17,87  | 16,49  | 15,64  | 16,11  | 16,45  | 16,18  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| CaO   | 19,88  | 19,45  | 19,72  | 19,62  | 19,18  | 19,89  | 17,71  | 19,67  | 28,81  | 19,86  | 19,28  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Na2O  | 0,31   | 0,31   | 0,23   | 0,29   | 0,31   | 0,21   | 0,18   | 0,26   | 0,28   | 0,29   | 0,31   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| K2O   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,84   | 0,81   | 0,88   | 0,81   | 0,81   | 0,82   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Cr2O3 | 0,12   | 0,32   | 0,87   | 0,17   | 0,12   | 0,16   | 0,23   | 0,23   | 0,21   | 0,14   | 0,22   |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL | 99,99  | 99,21  | 188,12 | 99,47  | 99,84  | 99,86  | 99,82  | 98,82  | 99,74  | 188,14 | 188,11 |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Si4+  | 1,914  | 1,985  | 1,918  | 1,898  | 1,948  | 1,922  | 1,876  | 1,868  | 1,926  | 1,917  | 1,919  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Ti4+  | 0,813  | 0,813  | 0,888  | 0,818  | 0,889  | 0,818  | 0,815  | 0,814  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al3+  | 0,121  | 0,137  | 0,111  | 0,168  | 0,181  | 0,118  | 0,185  | 0,188  | 0,113  | 0,113  | 0,121  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+  | 0,297  | 0,248  | 0,273  | 0,233  | 0,381  | 0,256  | 0,286  | 0,238  | 0,238  | 0,298  | 0,278  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Mn2+  | 0,014  | 0,083  | 0,086  | 0,013  | 0,083  | 0,083  | 0,088  | 0,088  | 0,088  | 0,018  | 0,013  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Mg2+  | 0,888  | 0,985  | 0,989  | 0,893  | 0,868  | 0,948  | 0,918  | 0,873  | 0,898  | 0,989  | 0,893  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Ca2+  | 0,757  | 0,776  | 0,782  | 0,783  | 0,767  | 0,736  | 0,789  | 0,791  | 0,795  | 0,757  | 0,762  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Na+   | 0,822  | 0,822  | 0,817  | 0,821  | 0,823  | 0,815  | 0,813  | 0,819  | 0,828  | 0,821  | 0,822  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| K+    | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Cr3+  | 0,884  | 0,889  | 0,882  | 0,883  | 0,884  | 0,883  | 0,887  | 0,887  | 0,886  | 0,884  | 0,886  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL | 4,822  | 4,819  | 4,826  | 4,828  | 4,818  | 4,828  | 4,819  | 4,838  | 4,816  | 4,829  | 4,821  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MO    | 38,86  | 48,17  | 39,71  | 48,29  | 39,69  | 38,63  | 36,98  | 48,93  | 48,94  | 38,58  | 39,22  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| EN    | 43,18  | 46,82  | 46,13  | 46,84  | 44,48  | 48,88  | 47,78  | 45,26  | 45,85  | 46,22  | 45,97  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| FS    | 15,28  | 12,83  | 13,87  | 13,81  | 15,56  | 13,88  | 14,98  | 13,34  | 12,89  | 14,77  | 14,19  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al IV | 0,896  | 0,184  | 0,893  | 0,124  | 0,863  | 0,888  | 0,132  | 0,145  | 0,881  | 0,897  | 0,891  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al VI | 0,824  | 0,833  | 0,816  | 0,833  | 0,836  | 0,821  | 0,833  | 0,841  | 0,831  | 0,815  | 0,825  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe3+  | 0,866  | 0,858  | 0,877  | 0,883  | 0,829  | 0,859  | 0,857  | 0,888  | 0,848  | 0,886  | 0,863  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+  | 0,238  | 0,189  | 0,194  | 0,166  | 0,271  | 0,195  | 0,228  | 0,168  | 0,281  | 0,282  | 0,211  |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Ech.  |        |        |        |        |        | D24M3  |        |        |        |        |        |        |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| rxan. | 289    | 382    | 247    | 297    | 298    | 8      | 18     | 19     | 24     | 34     | 9      | 28     |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
|       | b      | c      | i      | a      | a      | c      | c      | c      | c      | c      | b      | b      |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| SiO2  | 51,38  | 51,98  | 51,46  | 52,78  | 52,43  | 51,56  | 51,42  | 51,42  | 52,33  | 51,26  | 51,19  | 51,27  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TiO2  | 8,31   | 8,34   | 8,32   | 8,21   | 8,45   | 8,48   | 8,39   | 8,33   | 8,33   | 8,28   | 8,34   | 8,34   |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al2O3 | 3,64   | 2,19   | 2,35   | 1,58   | 3,28   | 1,49   | 1,56   | 1,26   | 1,42   | 1,16   | 1,88   | 1,63   |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| FeO   | 7,98   | 18,81  | 18,21  | 13,62  | 8,18   | 12,62  | 13,11  | 14,32  | 11,58  | 14,38  | 14,74  | 13,84  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MnO   | 8,36   | 8,48   | 8,32   | 8,39   | 8,33   | 8,54   | 8,58   | 8,68   | 8,47   | 8,52   | 8,63   | 8,48   |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MgO   | 16,47  | 16,35  | 16,17  | 28,38  | 15,98  | 13,96  | 14,89  | 13,89  | 15,17  | 13,26  | 13,85  | 13,99  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| CaO   | 19,68  | 18,35  | 18,59  | 11,29  | 19,72  | 18,78  | 18,78  | 18,27  | 18,78  | 17,96  | 18,84  | 18,27  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Na2O  | 0,26   | 0,24   | 0,33   | 0,17   | 0,27   | 0,28   | 0,26   | 0,36   | 0,23   | 0,29   | 0,27   | 0,27   |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| K2O   | 0,81   | 0,88   | 0,83   | 0,81   | 0,81   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,82   | 0,88   | 0,88   |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Cr2O3 | 0,38   | 0,81   | 0,88   | 0,21   | 0,45   | 0,88   | 0,88   | 0,12   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL | 188,23 | 99,87  | 99,78  | 188,48 | 188,94 | 99,64  | 188,82 | 188,73 | 188,38 | 99,12  | 188,86 | 99,52  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Si4+  | 1,892  | 1,933  | 1,921  | 1,948  | 1,918  | 1,951  | 1,942  | 1,941  | 1,954  | 1,962  | 1,944  | 1,943  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Ti4+  | 0,889  | 0,818  | 0,889  | 0,886  | 0,818  | 0,811  | 0,811  | 0,889  | 0,889  | 0,888  | 0,818  | 0,818  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al3+  | 0,158  | 0,896  | 0,183  | 0,863  | 0,141  | 0,866  | 0,869  | 0,866  | 0,862  | 0,852  | 0,881  | 0,883  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+  | 0,244  | 0,311  | 0,319  | 0,419  | 0,248  | 0,399  | 0,414  | 0,458  | 0,361  | 0,468  | 0,468  | 0,413  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Mn2+  | 0,811  | 0,813  | 0,818  | 0,812  | 0,818  | 0,817  | 0,816  | 0,819  | 0,815  | 0,817  | 0,828  | 0,815  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Mg2+  | 0,985  | 0,985  | 0,988  | 1,118  | 0,867  | 0,787  | 0,793  | 0,781  | 0,844  | 0,757  | 0,739  | 0,798  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Ca2+  | 0,778  | 0,731  | 0,744  | 0,445  | 0,773  | 0,761  | 0,757  | 0,759  | 0,751  | 0,757  | 0,734  | 0,742  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Na+   | 0,819  | 0,817  | 0,824  | 0,812  | 0,819  | 0,821  | 0,819  | 0,826  | 0,816  | 0,822  | 0,828  | 0,828  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| K+    | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Cr3+  | 0,889  | 0,888  | 0,888  | 0,886  | 0,813  | 0,888  | 0,888  | 0,884  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| TOTAL | 4,823  | 4,818  | 4,831  | 4,823  | 4,882  | 4,815  | 4,822  | 4,833  | 4,814  | 4,815  | 4,816  | 4,816  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| MO    | 48,13  | 37,28  | 37,71  | 22,32  | 48,73  | 38,744 | 38,226 | 36,983 | 38,184 | 37,383 | 37,424 | 37,833 |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| EN    | 46,71  | 46,28  | 45,62  | 56,85  | 45,87  | 48,889 | 48,852 | 39,119 | 42,818 | 38,485 | 37,666 | 48,381 |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| FS    | 12,59  | 15,89  | 16,17  | 21,83  | 13,87  | 28,332 | 28,938 | 22,965 | 18,347 | 23,374 | 23,896 | 21,899 |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al IV | 0,128  | 0,875  | 0,894  | 0,872  | 0,883  | 0,857  | 0,858  | 0,875  | 0,853  | 0,845  | 0,863  | 0,863  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Al VI | 0,838  | 0,828  | 0,889  | 0,888  | 0,858  | 0,818  | 0,881  | 0,888  | 0,889  | 0,887  | 0,817  | 0,817  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe3+  | 0,873  | 0,853  | 0,892  | 0,874  | 0,887  | 0,845  | 0,864  | 0,899  | 0,841  | 0,845  | 0,846  | 0,848  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |
| Fe2+  | 0,167  | 0,287  | 0,224  | 0,343  | 0,241  | 0,353  | 0,347  | 0,353  | 0,319  | 0,414  | 0,428  | 0,364  |     |  |     |  |     |  |     |  |     |  |

Tableau III-24 suite

| Ech.   | D19M1 |       |        |       |       |        |       |       | D21M7  |       |       |     |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-----|
|        | 71    |       | 73     | 74    | 88    | 103    | 104   | 105   | 106    | 167   | 169   | 170 |
|        | c     | c     | c      | a     | a     | a      | a     | a     | c      | c     | c     |     |
| SiO2   | 58,13 | 58,88 | 58,98  | 58,85 | 49,88 | 52,97  | 52,63 | 58,37 | 53,57  | 51,56 | 53,48 |     |
| TiO2   | 0,78  | 0,71  | 0,71   | 0,93  | 1,35  | 0,78   | 0,58  | 1,88  | 0,14   | 0,29  | 0,15  |     |
| Al2O3  | 5,28  | 4,95  | 5,13   | 3,92  | 4,39  | 3,58   | 2,85  | 5,15  | 1,99   | 2,88  | 1,88  |     |
| FeO    | 5,82  | 4,97  | 5,18   | 9,42  | 18,29 | 5,66   | 8,88  | 7,11  | 2,66   | 6,81  | 3,74  |     |
| MnO    | 0,83  | 0,16  | 0,14   | 0,38  | 0,35  | 0,86   | 0,12  | 0,88  | 0,15   | 0,88  | 0,88  |     |
| MgO    | 15,92 | 15,72 | 15,87  | 16,42 | 15,86 | 16,94  | 17,82 | 16,85 | 18,44  | 17,63 | 18,85 |     |
| CaO    | 21,38 | 22,13 | 22,24  | 17,48 | 18,88 | 28,41  | 18,25 | 18,99 | 23,85  | 19,71 | 21,77 |     |
| Na2O   | 0,23  | 0,16  | 0,15   | 0,37  | 0,29  | 0,32   | 0,87  | 0,88  | 0,18   | 0,26  | 0,89  |     |
| K2O    | 0,88  | 0,83  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,83  |     |
| Cr-2O3 | 1,17  | 0,86  | 0,86   | 0,88  | 0,87  | 0,31   | 0,83  | 0,22  | 0,67   | 0,16  | 0,87  |     |
| Total  | 99,86 | 99,77 | 100,88 | 99,69 | 99,63 | 100,87 | 99,63 | 99,87 | 100,16 | 99,28 | 99,18 |     |
| Si4+   | 1,844 | 1,848 | 1,856  | 1,887 | 1,864 | 1,917  | 1,939 | 1,865 | 1,946  | 1,989 | 1,968 |     |
| Ti4+   | 0,822 | 0,819 | 0,826  | 0,826 | 0,838 | 0,819  | 0,816 | 0,838 | 0,884  | 0,888 | 0,884 |     |
| Al3+   | 0,226 | 0,215 | 0,228  | 0,171 | 0,193 | 0,149  | 0,889 | 0,225 | 0,855  | 0,122 | 0,843 |     |
| Fe2+   | 0,154 | 0,153 | 0,155  | 0,292 | 0,322 | 0,171  | 0,249 | 0,228 | 0,881  | 0,211 | 0,115 |     |
| Mn2+   | 0,881 | 0,885 | 0,884  | 0,889 | 0,811 | 0,882  | 0,884 | 0,888 | 0,885  | 0,888 | 0,888 |     |
| Mg2+   | 0,873 | 0,864 | 0,861  | 0,988 | 0,839 | 0,914  | 0,979 | 0,885 | 0,999  | 0,973 | 1,838 |     |
| Ca2+   | 0,843 | 0,875 | 0,868  | 0,695 | 0,721 | 0,792  | 0,721 | 0,798 | 0,897  | 0,782 | 0,835 |     |
| Na+    | 0,816 | 0,811 | 0,811  | 0,827 | 0,821 | 0,822  | 0,885 | 0,816 | 0,813  | 0,819 | 0,886 |     |
| K+     | 0,888 | 0,881 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,881 |     |
| Cr-3+  | 0,834 | 0,825 | 0,816  | 0,888 | 0,882 | 0,889  | 0,881 | 0,886 | 0,819  | 0,885 | 0,882 |     |
| TOTRL  | 4,813 | 4,819 | 4,811  | 4,815 | 4,811 | 3,996  | 4,882 | 3,997 | 4,819  | 4,829 | 4,817 |     |
| MO     | 45,8  | 46,1  | 45,9   | 36,5  | 38,1  | 42,1   | 36,9  | 48,4  | 45,3   | 39,8  | 42,8  |     |
| EN     | 46,7  | 45,6  | 45,6   | 47,7  | 44,3  | 48,6   | 58,1  | 47,7  | 58,4   | 49,5  | 51,5  |     |
| FS     | 0,3   | 0,1   | 0,2    | 15,4  | 17,8  | 9,1    | 12,8  | 11,9  | 4,1    | 18,7  | 5,7   |     |
| Al IV  | 0,162 | 0,161 | 0,149  | 0,121 | 0,142 | 0,881  | 0,862 | 0,133 | 0,863  | 0,184 | 0,848 |     |
| Al VI  | 0,863 | 0,854 | 0,871  | 0,858 | 0,851 | 0,869  | 0,827 | 0,892 | 0,888  | 0,817 | 0,888 |     |
| Fe 3+  | 0,838 | 0,856 | 0,834  | 0,858 | 0,833 | 0,888  | 0,887 | 0,888 | 0,857  | 0,885 | 0,858 |     |
| Fe 2+  | 0,116 | 0,897 | 0,121  | 0,246 | 0,288 | 0,172  | 0,242 | 0,228 | 0,823  | 0,124 | 0,864 |     |

| Ech.   | D21M1 |       |        |       |        |       |       |        | D16M1  |        |        |
|--------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|        | 179   | 188   | 181    | 175   | 187    | 283   | 286   | 287    | 53     | 63     | 64     |
|        | c     | b     | c      | a     | a      | a     | a     | a      | c      | c      | c      |
| SiO2   | 52,82 | 58,73 | 51,12  | 51,98 | 53,38  | 52,44 | 58,58 | 52,27  | 54,97  | 53,33  | 51,74  |
| TiO2   | 0,23  | 0,54  | 0,26   | 0,17  | 0,24   | 0,28  | 0,46  | 0,28   | 0,87   | 0,89   | 0,15   |
| Al2O3  | 2,83  | 2,46  | 3,44   | 1,69  | 2,84   | 2,47  | 2,93  | 2,51   | 1,18   | 1,67   | 2,62   |
| FeO    | 7,72  | 8,28  | 7,99   | 9,85  | 8,45   | 7,89  | 18,41 | 7,85   | 3,88   | 3,32   | 4,85   |
| MnO    | 0,14  | 0,89  | 0,17   | 0,28  | 0,33   | 0,22  | 0,37  | 0,33   | 0,83   | 0,84   | 0,21   |
| MgO    | 18,42 | 18,46 | 18,73  | 18,75 | 19,82  | 17,86 | 16,19 | 18,63  | 18,44  | 18,28  | 17,18  |
| CaO    | 18,36 | 19,83 | 16,21  | 16,74 | 17,85  | 19,22 | 18,56 | 18,63  | 21,86  | 23,54  | 22,84  |
| Na2O   | 0,28  | 0,23  | 0,33   | 0,18  | 0,19   | 0,28  | 0,17  | 0,26   | 0,11   | 0,14   | 0,28   |
| K2O    | 0,82  | 0,88  | 0,88   | 0,82  | 0,88   | 0,87  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |
| Cr-2O3 | 0,83  | 0,17  | 0,15   | 0,12  | 0,12   | 0,86  | 0,29  | 0,21   | 0,44   | 0,72   | 0,23   |
| Total  | 99,18 | 99,72 | 100,48 | 98,98 | 100,75 | 99,92 | 99,95 | 100,97 | 100,82 | 101,88 | 100,87 |
| Si4+   | 1,928 | 1,884 | 1,876  | 1,935 | 1,948  | 1,927 | 1,898 | 1,987  | 1,986  | 1,929  | 1,983  |
| Ti4+   | 0,886 | 0,818 | 0,887  | 0,885 | 0,887  | 0,888 | 0,813 | 0,888  | 0,882  | 0,882  | 0,884  |
| Al3+   | 0,889 | 0,188 | 0,149  | 0,874 | 0,887  | 0,187 | 0,129 | 0,188  | 0,847  | 0,871  | 0,114  |
| Fe2+   | 0,239 | 0,235 | 0,245  | 0,282 | 0,257  | 0,218 | 0,325 | 0,239  | 0,891  | 0,188  | 0,149  |
| Mn2+   | 0,885 | 0,885 | 0,885  | 0,889 | 0,811  | 0,887 | 0,812 | 0,818  | 0,881  | 0,881  | 0,887  |
| Mg2+   | 1,817 | 1,821 | 1,848  | 1,848 | 1,832  | 0,978 | 0,982 | 1,813  | 0,993  | 0,981  | 0,942  |
| Ca2+   | 0,729 | 0,757 | 0,716  | 0,668 | 0,665  | 0,736 | 0,743 | 0,728  | 0,846  | 0,912  | 0,988  |
| Na+    | 0,815 | 0,817 | 0,825  | 0,887 | 0,814  | 0,814 | 0,812 | 0,818  | 0,888  | 0,818  | 0,818  |
| K+     | 0,881 | 0,888 | 0,888  | 0,881 | 0,888  | 0,883 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |
| Cr-3+  | 0,881 | 0,885 | 0,884  | 0,884 | 0,883  | 0,882 | 0,889 | 0,886  | 0,813  | 0,821  | 0,887  |
| TOTRL  | 4,829 | 4,839 | 4,852  | 4,825 | 4,815  | 4,828 | 4,835 | 4,837  | 3,986  | 4,828  | 4,842  |
| MO     | 36,6  | 37,2  | 36,8   | 33,4  | 33,8   | 38,6  | 37,5  | 36,6   | 43,8   | 45,7   | 45,1   |
| EN     | 51,1  | 50,2  | 51,4   | 52,8  | 52,5   | 49,9  | 45,5  | 58,9   | 51,4   | 49,2   | 47,1   |
| FS     | 12,8  | 12,5  | 12,3   | 14,1  | 13,1   | 11,1  | 16,4  | 12,8   | 4,7    | 5,8    | 7,5    |
| Al IV  | 0,886 | 0,144 | 0,147  | 0,877 | 0,858  | 0,883 | 0,126 | 0,111  | 0,887  | 0,884  | 0,117  |
| Al VI  | 0,882 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,819  | 0,824 | 0,882 | 0,888  | 0,848  | 0,888  | -0,885 |
| Fe 3+  | 0,886 | 0,174 | 0,153  | 0,875 | 0,845  | 0,859 | 0,183 | 0,111  | 0,888  | 0,883  | 0,125  |
| Fe 2+  | 0,151 | 0,877 | 0,889  | 0,285 | 0,211  | 0,158 | 0,219 | 0,126  | 0,891  | 0,817  | 0,823  |

| Ech.   | D16M1  |        |        |       |       |        |        |        |       |        |        |    |
|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|----|
|        | 79     |        | 68     | 88    | 56    | 65     | 92     | 116    | 117   | 118    | 119    | 28 |
|        | c      | b      | b      | i     | i     | In     | a      | a      | a     | a      | c      |    |
| SiO2   | 51,45  | 51,55  | 52,51  | 52,34 | 51,45 | 54,18  | 52,18  | 51,36  | 51,52 | 52,94  | 51,94  |    |
| TiO2   | 0,38   | 0,45   | 0,37   | 0,48  | 0,28  | 0,87   | 0,38   | 0,63   | 0,47  | 0,48   | 0,32   |    |
| Al2O3  | 3,86   | 3,88   | 2,19   | 2,26  | 3,59  | 1,33   | 2,79   | 2,42   | 2,49  | 1,71   | 2,85   |    |
| FeO    | 8,88   | 7,48   | 8,14   | 7,76  | 4,55  | 3,41   | 8,68   | 18,95  | 8,83  | 8,78   | 18,85  |    |
| MnO    | 0,17   | 0,21   | 0,18   | 0,18  | 0,15  | 0,82   | 0,27   | 0,61   | 0,26  | 0,31   | 0,47   |    |
| MgO    | 16,21  | 16,32  | 17,82  | 16,92 | 16,33 | 18,81  | 16,27  | 14,61  | 16,16 | 16,76  | 16,18  |    |
| CaO    | 28,85  | 21,42  | 28,22  | 19,16 | 22,23 | 23,52  | 19,88  | 19,61  | 28,84 | 19,43  | 18,85  |    |
| Na2O   | 0,28   | 0,25   | 0,22   | 0,12  | 0,21  | 0,13   | 0,24   | 0,25   | 0,18  | 0,18   | 0,38   |    |
| K2O    | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81  | 0,88   | 0,88   |    |
| Cr-2O3 | 0,88   | 0,84   | 0,13   | 0,88  | 0,48  | 0,54   | 0,89   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,16   |    |
| Total  | 100,32 | 100,72 | 100,98 | 99,87 | 99,13 | 101,13 | 100,62 | 100,44 | 99,16 | 100,51 | 100,24 |    |
| Si4+   | 1,981  | 1,897  | 1,923  | 1,942 | 1,981 | 1,951  | 1,918  | 1,918  | 1,922 | 1,947  | 1,932  |    |
| Ti4+   | 0,888  | 0,812  | 0,818  | 0,811 | 0,886 | 0,882  | 0,811  | 0,818  | 0,813 | 0,813  | 0,889  |    |
| Al3+   | 0,133  | 0,138  | 0,895  | 0,899 | 0,156 | 0,857  | 0,121  | 0,118  | 0,118 | 0,874  | 0,898  |    |
| Fe2+   | 0,258  | 0,238  | 0,249  | 0,241 | 0,141 | 0,183  | 0,265  | 0,342  | 0,251 | 0,258  | 0,339  |    |
| Mn2+   | 0,885  | 0,887  | 0,886  | 0,883 | 0,885 | 0,881  | 0,888  | 0,819  | 0,888 | 0,818  | 0,815  |    |
| Mg2+   | 0,893  | 0,895  | 0,929  | 0,936 | 0,981 | 0,968  | 0,892  | 0,813  | 0,899 | 0,919  | 0,893  |    |
| Ca2+   | 0,826  | 0,844  | 0,794  | 0,762 | 0,888 | 0,989  | 0,794  | 0,785  | 0,881 | 0,766  | 0,728  |    |
| Na+    | 0,814  | 0,818  | 0,816  | 0,889 | 0,815 | 0,889  | 0,817  | 0,818  | 0,813 | 0,813  | 0,822  |    |
| K+     | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  |    |
| Cr-3+  | 0,888  | 0,881  | 0,884  | 0,888 | 0,812 | 0,815  | 0,883  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,885  |    |
| TOTRL  | 4,831  | 4,834  | 4,825  | 4,882 | 4,816 | 4,815  | 4,819  | 4,828  | 4,817 | 4,889  | 4,822  |    |
| MO     | 41,8   | 42,7   | 48,1   | 39,2  | 45,7  | 45,9   | 48,2   | 48,1   | 48,9  | 39,8   | 36,6   |    |
| EN     | 45,2   | 45,3   | 47,8   | 48,2  | 46,8  | 48,9   | 45,8   | 41,5   | 45,9  | 46,8   | 45,4   |    |
| FS     | 12,7   | 11,7   | 12,6   | 12,4  | 7,3   | 5,2    | 13,6   | 17,5   | 12,8  | 13,7   | 17,2   |    |
| Al IV  | 0,113  | 0,119  | 0,889  | 0,859 | 0,186 | 0,856  | 0,891  | 0,891  | 0,886 | 0,857  | 0,878  |    |
| Al VI  | 0,819  | 0,818  | 0,885  | 0,848 | 0,838 | 0,888  | 0,829  | 0,815  | 0,823 | 0,817  | 0,811  |    |
| Fe 3+  | 0,892  | 0,182  | 0,875  | 0,886 | 0,849 | 0,845  | 0,856  | 0,859  | 0,858 | 0,827  | 0,866  |    |
| Fe 2+  | 0,136  | 0,126  | 0,173  | 0,234 | 0,891 | 0,857  | 0,288  | 0,281  | 0,288 | 0,248  | 0,278  |    |

Tableau III-24 suite

| Ech.   | N analyses |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|        | 29         | 31     | 34     | 37     | 57     | 59     | 61     | 66     | 15     | 38     | 32     |
|        | c          | c      | c      | c      | c      | c      | c      | c      | b      | b      | b      |
| SiO2   | 52,22      | 52,17  | 52,36  | 52,51  | 52,37  | 52,45  | 52,67  | 52,45  | 52,74  | 52,86  | 52,38  |
| TiO2   | 0,34       | 0,37   | 0,39   | 0,34   | 0,33   | 0,36   | 0,38   | 0,43   | 0,38   | 0,24   | 0,29   |
| Al2O3  | 2,52       | 2,52   | 1,81   | 2,46   | 2,43   | 2,84   | 2,38   | 2,11   | 1,96   | 2,56   | 2,66   |
| FeO    | 9,37       | 8,76   | 10,43  | 8,77   | 9,85   | 10,16  | 9,44   | 10,39  | 10,99  | 7,94   | 7,69   |
| MnO    | 0,28       | 0,32   | 0,58   | 0,32   | 0,23   | 0,29   | 0,19   | 0,33   | 0,14   | 0,27   | 0,33   |
| HgO    | 15,92      | 16,74  | 16,49  | 16,43  | 16,98  | 16,25  | 16,39  | 16,69  | 16,67  | 16,32  | 16,59  |
| CaO    | 19,54      | 18,88  | 17,91  | 19,28  | 19,42  | 18,29  | 18,99  | 19,11  | 18,57  | 20,01  | 19,55  |
| Na2O   | 0,35       | 0,29   | 0,34   | 0,38   | 0,23   | 0,37   | 0,25   | 0,31   | 0,28   | 0,24   | 0,35   |
| K2O    | 0,01       | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   |
| Cr-2O3 | 0,12       | 0,07   | 0,08   | 0,33   | 0,13   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,38   | 0,38   |
| Total  | 188,67     | 188,12 | 188,23 | 188,74 | 181,89 | 188,21 | 188,67 | 181,22 | 188,99 | 188,54 | 188,86 |
| Si4+   | 1,927      | 1,926  | 1,942  | 1,929  | 1,928  | 1,943  | 1,937  | 1,931  | 1,944  | 1,915  | 1,927  |
| Ti4+   | 0,089      | 0,018  | 0,011  | 0,089  | 0,089  | 0,018  | 0,088  | 0,012  | 0,088  | 0,087  | 0,088  |
| Al3+   | 0,118      | 0,118  | 0,079  | 0,167  | 0,185  | 0,089  | 0,183  | 0,092  | 0,085  | 0,111  | 0,116  |
| Fe2+   | 0,289      | 0,271  | 0,324  | 0,269  | 0,277  | 0,315  | 0,298  | 0,328  | 0,339  | 0,244  | 0,237  |
| Mn2+   | 0,089      | 0,018  | 0,016  | 0,018  | 0,087  | 0,089  | 0,086  | 0,018  | 0,084  | 0,088  | 0,018  |
| Hg2+   | 0,975      | 0,921  | 0,912  | 0,988  | 0,923  | 0,897  | 0,898  | 0,883  | 0,883  | 0,928  | 0,911  |
| Ca2+   | 0,772      | 0,747  | 0,712  | 0,759  | 0,763  | 0,726  | 0,748  | 0,734  | 0,733  | 0,789  | 0,772  |
| Na+    | 0,025      | 0,021  | 0,024  | 0,021  | 0,016  | 0,027  | 0,018  | 0,022  | 0,014  | 0,017  | 0,025  |
| K+     | 0,008      | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  | 0,008  |
| Cr-3+  | 0,083      | 0,082  | 0,088  | 0,018  | 0,084  | 0,088  | 0,088  | 0,088  | 0,088  | 0,089  | 0,089  |
| TOTRL  | 4,828      | 4,818  | 4,828  | 4,814  | 4,823  | 4,816  | 4,811  | 4,823  | 4,812  | 4,827  | 4,815  |
| MO     | 39,7       | 38,3   | 36,3   | 39,2   | 38,7   | 37,3   | 38,5   | 38,3   | 37,4   | 40,1   | 40,0   |
| EN     | 45,8       | 47,3   | 46,4   | 46,4   | 46,9   | 46,2   | 46,2   | 44,9   | 45,1   | 47,2   | 47,2   |
| FS     | 14,9       | 13,9   | 16,3   | 13,9   | 14,1   | 16,2   | 14,9   | 16,3   | 17,3   | 12,4   | 12,3   |
| Al IV  | 0,083      | 0,082  | 0,087  | 0,078  | 0,092  | 0,085  | 0,088  | 0,088  | 0,082  | 0,088  | 0,088  |
| Al VI  | 0,026      | 0,027  | 0,012  | 0,029  | 0,012  | 0,024  | 0,033  | 0,011  | 0,023  | 0,012  | 0,033  |
| Fe 3+  | 0,068      | 0,053  | 0,058  | 0,042  | 0,074  | 0,047  | 0,033  | 0,058  | 0,036  | 0,081  | 0,045  |
| Fe 2+  | 0,227      | 0,216  | 0,264  | 0,226  | 0,282  | 0,267  | 0,236  | 0,238  | 0,382  | 0,162  | 0,191  |

| Ech.   | N analyses |        |       |        |        |        |       |        | O28M3 |        |       |
|--------|------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|        | 33         | 38     | 68    | 67     | 23     | 24     | 25    | 58     | 152   | 154    | 155   |
|        | b          | b      | b     | b      | a      | a      | a     | a      | c     | c      | c     |
| SiO2   | 52,38      | 52,19  | 52,18 | 51,69  | 48,98  | 48,94  | 47,58 | 47,44  | 51,92 | 52,08  | 51,18 |
| TiO2   | 0,21       | 0,48   | 0,38  | 0,32   | 1,12   | 0,93   | 1,39  | 1,18   | 0,57  | 0,61   | 0,76  |
| Al2O3  | 2,98       | 2,43   | 2,25  | 2,96   | 5,37   | 4,98   | 6,18  | 6,38   | 2,39  | 2,32   | 2,42  |
| FeO    | 6,46       | 6,33   | 9,51  | 8,65   | 13,48  | 13,68  | 12,97 | 13,65  | 8,74  | 9,69   | 8,01  |
| MnO    | 0,13       | 0,31   | 0,27  | 0,34   | 0,42   | 0,47   | 0,38  | 0,58   | 0,31  | 0,28   | 0,36  |
| HgO    | 17,48      | 16,41  | 16,35 | 16,43  | 14,88  | 14,54  | 12,74 | 12,18  | 15,61 | 14,98  | 15,64 |
| CaO    | 28,01      | 19,67  | 18,61 | 28,06  | 16,66  | 16,48  | 17,68 | 18,76  | 19,78 | 28,28  | 19,78 |
| Na2O   | 0,38       | 0,25   | 0,18  | 0,32   | 0,35   | 0,23   | 0,37  | 0,35   | 0,31  | 0,32   | 0,27  |
| K2O    | 0,08       | 0,08   | 0,08  | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,08   | 0,08  |
| Cr-2O3 | 0,58       | 0,13   | 0,07  | 0,19   | 0,08   | 0,18   | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,08   | 0,13  |
| Total  | 188,37     | 188,12 | 99,64 | 188,96 | 188,38 | 188,29 | 98,97 | 188,44 | 99,73 | 188,48 | 99,23 |
| Si4+   | 1,915      | 1,928  | 1,937 | 1,981  | 1,836  | 1,841  | 1,813 | 1,797  | 1,931 | 1,929  | 1,915 |
| Ti4+   | 0,088      | 0,011  | 0,088 | 0,089  | 0,032  | 0,026  | 0,048 | 0,034  | 0,016 | 0,017  | 0,021 |
| Al3+   | 0,125      | 0,186  | 0,099 | 0,128  | 0,238  | 0,221  | 0,275 | 0,285  | 0,185 | 0,181  | 0,187 |
| Fe2+   | 0,198      | 0,257  | 0,296 | 0,266  | 0,423  | 0,428  | 0,414 | 0,433  | 0,272 | 0,281  | 0,276 |
| Mn2+   | 0,084      | 0,018  | 0,089 | 0,011  | 0,013  | 0,015  | 0,018 | 0,018  | 0,018 | 0,089  | 0,011 |
| Hg2+   | 0,953      | 0,983  | 0,986 | 0,981  | 0,788  | 0,815  | 0,725 | 0,688  | 0,865 | 0,828  | 0,873 |
| Ca2+   | 0,784      | 0,779  | 0,741 | 0,791  | 0,678  | 0,664  | 0,728 | 0,762  | 0,788 | 0,883  | 0,798 |
| Na+    | 0,021      | 0,018  | 0,013 | 0,023  | 0,025  | 0,017  | 0,027 | 0,026  | 0,022 | 0,023  | 0,028 |
| K+     | 0,008      | 0,008  | 0,008 | 0,008  | 0,008  | 0,001  | 0,008 | 0,008  | 0,001 | 0,008  | 0,008 |
| Cr-3+  | 0,014      | 0,084  | 0,082 | 0,086  | 0,088  | 0,083  | 0,088 | 0,088  | 0,082 | 0,082  | 0,084 |
| TOTRL  | 4,828      | 4,815  | 4,811 | 4,834  | 4,826  | 4,838  | 4,823 | 4,839  | 4,812 | 4,814  | 4,818 |
| MO     | 48,5       | 39,9   | 38,8  | 48,2   | 35,4   | 34,6   | 38,5  | 48,1   | 48,7  | 41,4   | 48,5  |
| EN     | 49,1       | 46,4   | 46,4  | 45,8   | 41,6   | 42,4   | 38,8  | 36,2   | 44,7  | 42,7   | 44,7  |
| FS     | 18,2       | 13,2   | 15,2  | 13,5   | 22,4   | 22,3   | 22,2  | 22,8   | 14,1  | 15,5   | 14,2  |
| Al IV  | 0,094      | 0,088  | 0,088 | 0,115  | 0,176  | 0,173  | 0,197 | 0,228  | 0,075 | 0,077  | 0,093 |
| Al VI  | 0,038      | 0,026  | 0,038 | 0,012  | 0,061  | 0,046  | 0,076 | 0,062  | 0,029 | 0,024  | 0,013 |
| Fe 3+  | 0,059      | 0,046  | 0,032 | 0,083  | 0,078  | 0,098  | 0,078 | 0,117  | 0,035 | 0,048  | 0,034 |
| Fe 2+  | 0,137      | 0,211  | 0,263 | 0,161  | 0,343  | 0,333  | 0,342 | 0,311  | 0,236 | 0,239  | 0,221 |

| Ech.   | N analyses |       |       |        |       |        |        |        |        |       |        |
|--------|------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
|        | 156        | 161   | 165   | 194    | 153   | 157    | 168    | 162    | 195    | 159   | 185    |
|        | c          | c     | c     | c      | b     | b      | b      | b      | b      | a     | a      |
| SiO2   | 51,81      | 52,58 | 51,92 | 51,53  | 52,89 | 52,58  | 51,53  | 52,84  | 52,34  | 48,94 | 52,19  |
| TiO2   | 0,66       | 0,53  | 0,32  | 0,58   | 0,72  | 0,61   | 0,78   | 0,74   | 0,32   | 0,78  | 0,53   |
| Al2O3  | 2,23       | 2,81  | 3,82  | 2,98   | 2,32  | 2,78   | 2,68   | 2,86   | 3,14   | 5,97  | 1,34   |
| FeO    | 9,88       | 8,78  | 4,68  | 7,57   | 8,91  | 8,91   | 8,87   | 9,27   | 6,86   | 5,69  | 10,71  |
| MnO    | 0,25       | 0,44  | 0,13  | 0,17   | 0,22  | 0,16   | 0,34   | 0,26   | 0,13   | 0,84  | 0,44   |
| HgO    | 15,23      | 15,15 | 16,89 | 16,85  | 14,89 | 15,31  | 15,81  | 15,79  | 16,99  | 15,39 | 14,23  |
| CaO    | 19,61      | 19,88 | 21,87 | 20,92  | 19,93 | 20,58  | 20,56  | 19,38  | 21,94  | 21,26 | 20,57  |
| Na2O   | 0,24       | 0,31  | 0,12  | 0,39   | 0,26  | 0,41   | 0,33   | 0,21   | 0,15   | 0,18  | 0,38   |
| K2O    | 0,08       | 0,08  | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08   | 0,08  | 0,08   |
| Cr-2O3 | 0,08       | 0,08  | 0,08  | 0,08   | 0,08  | 0,08   | 0,14   | 0,07   | 0,34   | 0,76  | 0,08   |
| Total  | 99,11      | 99,44 | 99,33 | 188,29 | 99,34 | 188,86 | 188,13 | 188,54 | 181,81 | 98,93 | 188,11 |
| Si4+   | 1,939      | 1,935 | 1,913 | 1,983  | 1,944 | 1,928  | 1,917  | 1,919  | 1,985  | 1,823 | 1,933  |
| Ti4+   | 0,019      | 0,015 | 0,089 | 0,018  | 0,028 | 0,017  | 0,028  | 0,021  | 0,088  | 0,028 | 0,015  |
| Al3+   | 0,098      | 0,088 | 0,131 | 0,138  | 0,182 | 0,128  | 0,114  | 0,124  | 0,135  | 0,262 | 0,099  |
| Fe2+   | 0,284      | 0,271 | 0,144 | 0,234  | 0,278 | 0,261  | 0,276  | 0,286  | 0,184  | 0,177 | 0,333  |
| Mn2+   | 0,088      | 0,014 | 0,084 | 0,085  | 0,087 | 0,085  | 0,011  | 0,088  | 0,084  | 0,081 | 0,014  |
| Hg2+   | 0,938      | 0,841 | 0,927 | 0,883  | 0,828 | 0,838  | 0,832  | 0,868  | 0,922  | 0,854 | 0,794  |
| Ca2+   | 0,786      | 0,798 | 0,863 | 0,828  | 0,797 | 0,818  | 0,819  | 0,763  | 0,848  | 0,849 | 0,817  |
| Na+    | 0,017      | 0,022 | 0,009 | 0,028  | 0,019 | 0,029  | 0,024  | 0,015  | 0,011  | 0,013 | 0,022  |
| K+     | 0,008      | 0,008 | 0,008 | 0,008  | 0,008 | 0,008  | 0,001  | 0,008  | 0,008  | 0,008 | 0,008  |
| Cr-3+  | 0,008      | 0,008 | 0,011 | 0,082  | 0,088 | 0,088  | 0,084  | 0,082  | 0,018  | 0,022 | 0,088  |
| TOTRL  | 4,882      | 3,997 | 4,811 | 4,829  | 3,995 | 4,889  | 4,817  | 4,885  | 4,819  | 4,822 | 4,812  |
| MO     | 48,8       | 41,2  | 44,5  | 42,4   | 41,7  | 42,3   | 42,3   | 39,6   | 43,1   | 45,1  | 41,7   |
| EN     | 44,1       | 43,9  | 47,8  | 45,3   | 43,4  | 43,8   | 42,9   | 45,1   | 47,3   | 45,4  | 48,5   |
| FS     | 14,7       | 14,2  | 7,4   | 12,8   | 14,6  | 13,7   | 14,2   | 14,9   | 9,5    | 9,4   | 17,1   |
| Al IV  | 0,062      | 0,043 | 0,093 | 0,111  | 0,054 | 0,076  | 0,091  | 0,084  | 0,184  | 0,187 | 0,031  |
| Al VI  | 0,037      | 0,045 | 0,038 | 0,018  | 0,048 | 0,044  | 0,022  | 0,041  | 0,038  | 0,074 | 0,088  |
| Fe 3+  | 0,085      | 0,088 | 0,034 | 0,086  | 0,088 | 0,028  | 0,031  | 0,015  | 0,057  | 0,064 | 0,033  |
| Fe 2+  | 0,279      | 0,271 | 0,189 | 0,146  | 0,278 | 0,233  | 0,223  | 0,271  | 0,126  | 0,112 | 0,299  |

Tableau III-24' : Analyses chimiques des orthopyroxènes des laves des fossés.  
*Microprobe analysis of orthopyroxenes for troughs lavas.*

| Ech.  | D3M1     |          |          |             | D1M1   |        |        |        | D1M8     |  |
|-------|----------|----------|----------|-------------|--------|--------|--------|--------|----------|--|
|       | 215<br>c | 216<br>b | 226<br>c | 212<br>minc | 32     | 39     | 48     | 46     | 131<br>c |  |
| SiO2  | 52,88    | 54,28    | 53,39    | 54,25       | 53,34  | 53,56  | 52,99  | 52,81  | 54,26    |  |
| TiO2  | 0,37     | 0,25     | 0,34     | 0,36        | 0,43   | 0,17   | 0,30   | 0,24   | 0,11     |  |
| Al2O3 | 1,01     | 0,65     | 0,93     | 1,16        | 0,72   | 0,49   | 0,64   | 0,48   | 0,47     |  |
| FeO   | 19,35    | 18,85    | 20,32    | 16,94       | 20,75  | 21,61  | 21,75  | 21,37  | 18,28    |  |
| MnO   | 0,78     | 0,87     | 0,99     | 0,84        | 1,52   | 1,43   | 1,42   | 1,27   | 1,56     |  |
| MgO   | 22,07    | 25,39    | 23,39    | 25,12       | 22,62  | 22,74  | 23,08  | 22,62  | 24,67    |  |
| CaO   | 1,88     | 1,69     | 1,58     | 1,71        | 1,45   | 1,41   | 1,65   | 1,52   | 1,35     |  |
| Na2O  | 0,18     | 0,08     | 0,08     | 0,01        | 0,08   | 0,05   | 0,06   | 0,04   | 0,08     |  |
| K2O   | 0,03     | 0,08     | 0,08     | 0,08        | 0,08   | 0,03   | 0,08   | 0,08   | 0,08     |  |
| Cr2O3 | 0,08     | 0,08     | 0,13     | 0,08        | 0,08   | 0,02   | 0,08   | 0,03   | 0,05     |  |
| TOTAL | 99,19    | 101,26   | 100,99   | 100,39      | 100,91 | 101,51 | 101,89 | 100,38 | 100,75   |  |
| Si4+  | 1,968    | 1,966    | 1,961    | 1,970       | 1,968  | 1,971  | 1,948  | 1,966  | 1,988    |  |
| Ti4+  | 0,018    | 0,007    | 0,009    | 0,018       | 0,012  | 0,005  | 0,008  | 0,007  | 0,003    |  |
| Al3+  | 0,044    | 0,028    | 0,040    | 0,050       | 0,031  | 0,021  | 0,028  | 0,021  | 0,028    |  |
| Fe2+  | 0,683    | 0,547    | 0,624    | 0,514       | 0,648  | 0,665  | 0,669  | 0,665  | 0,558    |  |
| Mn2+  | 0,025    | 0,027    | 0,031    | 0,026       | 0,048  | 0,045  | 0,044  | 0,048  | 0,048    |  |
| Mg2+  | 1,278    | 1,371    | 1,288    | 1,359       | 1,244  | 1,247  | 1,265  | 1,255  | 1,342    |  |
| Ca2+  | 0,075    | 0,066    | 0,059    | 0,067       | 0,057  | 0,056  | 0,065  | 0,061  | 0,053    |  |
| Na+   | 0,007    | 0,006    | 0,008    | 0,001       | 0,006  | 0,004  | 0,004  | 0,003  | 0,008    |  |
| K+    | 0,001    | 0,008    | 0,008    | 0,008       | 0,008  | 0,001  | 0,008  | 0,008  | 0,008    |  |
| Cr3+  | 0,008    | 0,008    | 0,004    | 0,008       | 0,008  | 0,001  | 0,008  | 0,001  | 0,001    |  |
| TOTAL | 4,084    | 4,016    | 4,088    | 3,996       | 4,087  | 4,016  | 4,032  | 4,018  | 4,086    |  |
| MO    | 3,0      | 3,3      | 3,0      | 3,4         | 2,9    | 2,8    | 3,2    | 3,0    | 2,6      |  |
| EN    | 64,4     | 68,2     | 64,2     | 69,1        | 62,5   | 62,8   | 61,9   | 62,1   | 67,1     |  |
| FS    | 38,6     | 27,2     | 31,3     | 26,2        | 32,2   | 33,1   | 32,8   | 33,8   | 27,9     |  |
| Al IV | 0,034    | 0,042    | 0,043    | 0,028       | 0,035  | 0,036  | 0,067  | 0,043  | 0,023    |  |
| Al VI | 0,018    | 0,018    | 0,021    | 0,021       | 0,021  | 0,021  | 0,021  | 0,021  | 0,021    |  |
| Fe3+  | 0,012    | 0,048    | 0,024    | 0,088       | 0,028  | 0,046  | 0,034  | 0,054  | 0,017    |  |
| Fe2+  | 0,598    | 0,497    | 0,599    | 0,515       | 0,619  | 0,616  | 0,578  | 0,608  | 0,548    |  |

| Ech.  | D1M8     |          |          |          |          |          |          |          |  |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
|       | 132<br>b | 133<br>b | 136<br>b | 146<br>c | 147<br>c | 186<br>a | 188<br>a | 189<br>a |  |
| SiO2  | 54,75    | 54,42    | 53,54    | 52,61    | 53,36    | 52,24    | 52,37    | 53,41    |  |
| TiO2  | 0,18     | 0,19     | 0,29     | 0,18     | 0,09     | 0,26     | 0,38     | 0,32     |  |
| Al2O3 | 0,49     | 0,57     | 0,64     | 0,64     | 0,15     | 0,91     | 0,64     | 0,79     |  |
| FeO   | 17,81    | 17,86    | 18,55    | 18,76    | 24,87    | 17,86    | 17,39    | 17,88    |  |
| MnO   | 1,14     | 1,32     | 1,84     | 1,26     | 2,41     | 1,18     | 1,37     | 1,17     |  |
| MgO   | 24,85    | 25,54    | 24,98    | 24,27    | 28,36    | 29,38    | 23,53    | 24,58    |  |
| CaO   | 1,37     | 1,49     | 1,38     | 1,36     | 1,08     | 1,44     | 3,42     | 1,43     |  |
| Na2O  | 0,08     | 0,08     | 0,08     | 0,05     | 0,15     | 0,17     | 0,08     | 0,04     |  |
| K2O   | 0,08     | 0,06     | 0,08     | 0,08     | 0,04     | 0,08     | 0,08     | 0,08     |  |
| Cr2O3 | 0,08     | 0,08     | 0,08     | 0,08     | 0,08     | 0,08     | 0,08     | 0,08     |  |
| TOTAL | 100,59   | 101,45   | 100,42   | 99,13    | 101,61   | 99,44    | 99,88    | 99,62    |  |
| Si4+  | 1,991    | 1,968    | 1,962    | 1,968    | 1,998    | 1,935    | 1,954    | 1,968    |  |
| Ti4+  | 0,003    | 0,003    | 0,008    | 0,005    | 0,003    | 0,007    | 0,008    | 0,009    |  |
| Al3+  | 0,021    | 0,024    | 0,028    | 0,028    | 0,007    | 0,048    | 0,028    | 0,034    |  |
| Fe2+  | 0,542    | 0,548    | 0,568    | 0,585    | 0,751    | 0,553    | 0,543    | 0,548    |  |
| Mn2+  | 0,035    | 0,048    | 0,032    | 0,048    | 0,076    | 0,037    | 0,043    | 0,037    |  |
| Mg2+  | 1,347    | 1,377    | 1,364    | 1,347    | 1,132    | 1,481    | 1,388    | 1,349    |  |
| Ca2+  | 0,053    | 0,058    | 0,054    | 0,054    | 0,048    | 0,057    | 0,137    | 0,056    |  |
| Na+   | 0,008    | 0,008    | 0,008    | 0,004    | 0,009    | 0,012    | 0,008    | 0,003    |  |
| K+    | 0,008    | 0,003    | 0,008    | 0,008    | 0,002    | 0,008    | 0,008    | 0,008    |  |
| Cr3+  | 0,008    | 0,008    | 0,008    | 0,008    | 0,008    | 0,008    | 0,002    | 0,002    |  |
| TOTAL | 3,994    | 4,016    | 4,016    | 4,023    | 4,018    | 4,044    | 4,023    | 4,007    |  |
| MO    | 2,7      | 2,9      | 2,7      | 2,7      | 2,8      | 2,8      | 6,7      | 2,8      |  |
| EN    | 68,1     | 68,3     | 67,6     | 66,5     | 56,6     | 68,4     | 64,4     | 67,8     |  |
| FS    | 27,4     | 26,8     | 28,2     | 28,9     | 37,6     | 27,8     | 26,8     | 27,6     |  |
| Al IV | 0,006    | 0,039    | 0,046    | 0,051    | 0,014    | 0,085    | 0,057    | 0,036    |  |
| Al VI | 0,015    | 0,015    | 0,015    | 0,015    | 0,015    | 0,015    | 0,015    | 0,015    |  |
| Fe3+  | 0,008    | 0,047    | 0,049    | 0,068    | 0,028    | 0,129    | 0,068    | 0,028    |  |
| Fe2+  | 0,542    | 0,491    | 0,517    | 0,513    | 0,721    | 0,418    | 0,471    | 0,527    |  |

Tableau III-24' suite

| Ech.      | D27M1  |        |        |        |        |        |       |        |        |       |        |       | D26M6 |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|---|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|
| N Analyse | 4      |        | 5      |        | 6      |        | 7     |        | 8      |       | 14     |       | 31    |   | 33 |   | 34 |   | 39 |   | 41 |   | 134 |
|           | b      | c      | b      | c      | b      | c      | b     | c      | b      | c     | c      | c     | b     | c | b  | c | b  | c | c  | c | c  | c |     |
| SiO2      | 53,88  | 52,59  | 52,89  | 53,88  | 52,76  | 53,58  | 53,47 | 53,23  | 52,94  | 52,88 | 52,65  | 52,74 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| TiO2      | 0,88   | 0,19   | 0,23   | 0,12   | 0,17   | 0,14   | 0,16  | 0,15   | 0,17   | 0,13  | 0,15   | 0,21  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Al2O3     | 0,88   | 0,89   | 0,67   | 0,68   | 0,70   | 0,71   | 0,56  | 0,58   | 0,53   | 0,53  | 0,70   | 0,84  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| FeO       | 20,33  | 20,96  | 21,39  | 20,26  | 20,82  | 19,41  | 19,26 | 21,27  | 21,69  | 20,79 | 20,19  | 20,61 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| MnO       | 1,07   | 0,94   | 1,10   | 0,82   | 1,09   | 0,93   | 1,19  | 0,95   | 1,33   | 1,09  | 1,30   | 1,10  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| MgO       | 23,27  | 24,82  | 23,46  | 24,81  | 23,70  | 24,21  | 23,61 | 22,93  | 22,69  | 23,81 | 24,84  | 22,85 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| CaO       | 1,57   | 1,54   | 1,42   | 1,47   | 1,53   | 1,49   | 1,56  | 1,57   | 1,52   | 1,46  | 1,48   | 1,46  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Na2O      | 0,85   | 0,81   | 0,88   | 0,87   | 0,83   | 0,88   | 0,87  | 0,85   | 0,82   | 0,88  | 0,85   | 0,81  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| K2O       | 0,82   | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,83  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,81   | 0,84  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Cr-2O3    | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,82   | 0,89   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,85   | 0,88  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| TOTAL     | 188,28 | 181,16 | 181,16 | 188,37 | 188,18 | 188,46 | 99,89 | 188,65 | 188,98 | 99,98 | 188,53 | 99,86 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Si4+      | 1,965  | 1,938  | 1,951  | 1,959  | 1,955  | 1,968  | 1,978 | 1,971  | 1,963  | 1,970 | 1,948  | 1,964 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Ti4+      | 0,882  | 0,883  | 0,886  | 0,883  | 0,885  | 0,884  | 0,884 | 0,884  | 0,883  | 0,884 | 0,884  | 0,886 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Al3+      | 0,835  | 0,839  | 0,829  | 0,826  | 0,831  | 0,831  | 0,824 | 0,822  | 0,823  | 0,823 | 0,831  | 0,837 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Fe2+      | 0,638  | 0,646  | 0,660  | 0,626  | 0,628  | 0,596  | 0,596 | 0,658  | 0,673  | 0,648 | 0,625  | 0,642 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Mn2+      | 0,834  | 0,829  | 0,834  | 0,826  | 0,834  | 0,829  | 0,837 | 0,838  | 0,842  | 0,834 | 0,841  | 0,835 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Mg2+      | 1,284  | 1,319  | 1,298  | 1,322  | 1,314  | 1,325  | 1,381 | 1,265  | 1,254  | 1,277 | 1,325  | 1,268 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Ca2+      | 0,862  | 0,861  | 0,855  | 0,858  | 0,861  | 0,859  | 0,862 | 0,862  | 0,868  | 0,858 | 0,855  | 0,858 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Na+       | 0,884  | 0,888  | 0,888  | 0,885  | 0,882  | 0,888  | 0,885 | 0,884  | 0,882  | 0,888 | 0,883  | 0,881 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| K+        | 0,881  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,882 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Cr-3+     | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,883  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,881  | 0,888 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| TOTAL     | 4,817  | 4,838  | 4,828  | 4,827  | 4,825  | 4,812  | 4,889 | 4,816  | 4,822  | 4,815 | 4,834  | 4,813 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Mo        | 3,1    | 3,8    | 2,8    | 2,9    | 3,8    | 2,9    | 3,1   | 3,1    | 3,8    | 2,9   | 2,7    | 2,9   |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| En        | 63,9   | 64,2   | 63,2   | 63,1   | 64,7   | 66,8   | 63,2  | 62,8   | 61,8   | 63,3  | 64,8   | 63,3  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Fs        | 31,4   | 31,5   | 32,4   | 38,8   | 38,6   | 29,7   | 29,9  | 32,7   | 33,2   | 32,1  | 38,6   | 32,1  |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Al IV     | 0,843  | 0,888  | 0,862  | 0,854  | 0,857  | 0,858  | 0,827 | 0,837  | 0,848  | 0,837 | 0,869  | 0,842 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Al VI     |        |        |        |        |        |        |       |        |        |       |        |       |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Fe3+      | 0,851  | 0,114  | 0,882  | 0,879  | 0,873  | 0,837  | 0,826 | 0,848  | 0,864  | 0,844 | 0,188  | 0,838 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |
| Fe2+      | 0,576  | 0,526  | 0,573  | 0,543  | 0,543  | 0,557  | 0,568 | 0,687  | 0,684  | 0,681 | 0,519  | 0,682 |       |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |

| Ech.      | D24M3  |        |        |       |        |        |        |  |
|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--|
| N Analyse | 13     | 14     | 21     | 33    | 46     | 47     | 43     |  |
|           | c      | c      | c      | c     | c      | b      | meinc  |  |
| SiO2      | 51,84  | 51,92  | 51,35  | 51,42 | 51,65  | 51,84  | 50,63  |  |
| TiO2      | 0,16   | 0,18   | 0,21   | 0,24  | 0,21   | 0,17   | 0,22   |  |
| Al2O3     | 0,61   | 0,87   | 0,79   | 0,67  | 0,68   | 0,64   | 0,69   |  |
| FeO       | 26,28  | 24,61  | 25,90  | 26,81 | 27,32  | 25,88  | 31,88  |  |
| MnO       | 1,86   | 1,85   | 1,81   | 1,11  | 0,99   | 0,87   | 1,25   |  |
| MgO       | 19,47  | 19,99  | 19,14  | 18,62 | 18,58  | 20,41  | 12,85  |  |
| CaO       | 1,71   | 1,96   | 1,79   | 1,79  | 1,86   | 1,67   | 3,93   |  |
| Na2O      | 0,82   | 0,82   | 0,85   | 0,88  | 0,87   | 0,88   | 0,17   |  |
| K2O       | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,82   |  |
| Cr-2O3    | 0,88   | 0,89   | 0,88   | 0,18  | 0,84   | 0,18   | 0,88   |  |
| TOTAL     | 181,15 | 188,68 | 188,25 | 99,75 | 181,32 | 188,87 | 188,76 |  |
| Si4+      | 1,959  | 1,958  | 1,957  | 1,971 | 1,959  | 1,954  | 1,981  |  |
| Ti4+      | 0,884  | 0,885  | 0,886  | 0,881 | 0,886  | 0,885  | 0,887  |  |
| Al3+      | 0,827  | 0,839  | 0,836  | 0,838 | 0,827  | 0,828  | 0,832  |  |
| Fe2+      | 0,831  | 0,776  | 0,826  | 0,834 | 0,867  | 0,791  | 1,814  |  |
| Mn2+      | 0,834  | 0,833  | 0,833  | 0,836 | 0,832  | 0,828  | 0,841  |  |
| Mg2+      | 1,897  | 1,123  | 1,887  | 1,864 | 1,858  | 1,146  | 0,749  |  |
| Ca2+      | 0,869  | 0,879  | 0,873  | 0,873 | 0,876  | 0,868  | 0,165  |  |
| Na+       | 0,881  | 0,882  | 0,884  | 0,888 | 0,885  | 0,888  | 0,813  |  |
| K+        | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,881  |  |
| Cr-3+     | 0,888  | 0,883  | 0,888  | 0,883 | 0,881  | 0,885  | 0,888  |  |
| TOTAL     | 4,823  | 4,817  | 4,821  | 4,812 | 4,823  | 4,825  | 4,883  |  |
| Mo        | 3,4    | 3,9    | 3,6    | 3,7   | 3,7    | 3,3    | 8,4    |  |
| En        | 54,8   | 55,8   | 53,9   | 53,8  | 51,9   | 56,4   | 38,8   |  |
| Fs        | 48,9   | 38,6   | 48,9   | 41,6  | 42,8   | 38,9   | 51,3   |  |
| Al IV     | 0,852  | 0,851  | 0,853  | 0,853 | 0,852  | 0,858  | 0,821  |  |
| Al VI     |        |        |        |       |        |        | 0,811  |  |
| Fe3+      | 0,869  | 0,852  | 0,862  | 0,835 | 0,878  | 0,873  | 0,818  |  |
| Fe2+      | 0,737  | 0,721  | 0,759  | 0,756 | 0,792  | 0,713  | 1,883  |  |

Tableau III-24' suite

| Ech.   | D16M1     |        |        |        |        |        |        |        |    |
|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|        | N Analyse |        | 14     | 19     | 21     | 22     | 35     | 36     | 64 |
|        | c         | b      | b      | i      | c      | b      | c      | b      |    |
| SiO2   | 54,20     | 53,79  | 54,63  | 54,29  | 54,41  | 54,00  | 54,60  | 54,37  |    |
| TiO2   | 0,21      | 0,16   | 0,10   | 0,17   | 0,23   | 0,13   | 0,12   | 0,12   |    |
| Al2O3  | 1,10      | 1,11   | 1,06   | 1,09   | 0,94   | 1,01   | 1,10   | 1,22   |    |
| FeO    | 17,09     | 17,58  | 16,84  | 17,56  | 18,54  | 17,30  | 17,32  | 16,94  |    |
| MnO    | 0,58      | 0,36   | 0,40   | 0,71   | 0,57   | 0,42   | 0,65   | 0,43   |    |
| MgO    | 25,60     | 25,28  | 25,78  | 25,53  | 24,07  | 26,04  | 25,02  | 26,62  |    |
| CaO    | 2,05      | 1,99   | 2,09   | 2,13   | 2,00   | 2,07   | 2,12   | 2,12   |    |
| Na2O   | 0,07      | 0,11   | 0,00   | 0,00   | 0,04   | 0,10   | 0,00   | 0,00   |    |
| K2O    | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,00   |    |
| Cr-2O3 | 0,11      | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |    |
| TOTAL  | 101,01    | 100,38 | 100,90 | 101,51 | 101,70 | 101,90 | 101,09 | 101,00 |    |
| Si4+   | 1,959     | 1,959  | 1,969  | 1,958  | 1,965  | 1,962  | 1,958  | 1,946  |    |
| Ti4+   | 0,006     | 0,004  | 0,005  | 0,005  | 0,006  | 0,004  | 0,003  | 0,003  |    |
| Al3+   | 0,047     | 0,040  | 0,045  | 0,046  | 0,040  | 0,043  | 0,050  | 0,051  |    |
| Fe2+   | 0,317     | 0,336  | 0,308  | 0,330  | 0,360  | 0,318  | 0,319  | 0,307  |    |
| Mn2+   | 0,010     | 0,011  | 0,012  | 0,022  | 0,017  | 0,013  | 0,020  | 0,013  |    |
| Mg2+   | 1,379     | 1,373  | 1,385  | 1,372  | 1,338  | 1,390  | 1,380  | 1,420  |    |
| Ca2+   | 0,079     | 0,078  | 0,081  | 0,082  | 0,080  | 0,079  | 0,081  | 0,081  |    |
| Na+    | 0,005     | 0,008  | 0,000  | 0,000  | 0,003  | 0,007  | 0,006  | 0,004  |    |
| K+     | 0,000     | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  |    |
| Cr-3+  | 0,003     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  |    |
| TOTAL  | 4,013     | 4,016  | 4,004  | 4,015  | 4,010  | 4,017  | 4,017  | 4,027  |    |
| MO     | 4,0       | 3,9    | 4,1    | 4,1    | 4,0    | 4,0    | 4,1    | 4,0    |    |
| EN     | 69,2      | 68,7   | 69,0   | 68,4   | 67,0   | 69,5   | 69,0   | 70,2   |    |
| FS     | 25,9      | 26,0   | 25,6   | 26,4   | 20,1   | 25,9   | 26,0   | 25,1   |    |
| Al IV  | 0,047     | 0,049  | 0,033  | 0,050  | 0,040  | 0,046  | 0,050  | 0,067  |    |
| Al VI  |           |        | 0,012  |        |        |        |        |        |    |
| Fe3+   | 0,038     | 0,049  | 0,011  | 0,046  | 0,031  | 0,051  | 0,050  | 0,000  |    |
| Fe2+   | 0,477     | 0,485  | 0,496  | 0,482  | 0,526  | 0,465  | 0,467  | 0,424  |    |

| Ech.   | D20M3     |        |        |        |        |        |       |        |        |        |       |     |
|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-----|
|        | N Analyse |        | 138    | 140    | 141    | 142    | 144   | 163    | 164    | 176    | 177   | 191 |
|        | c         | c      | b      | c      | c      | c      | c     | c      | a      | a      | a     | a   |
| SiO2   | 53,48     | 54,25  | 55,25  | 54,00  | 53,06  | 53,91  | 53,91 | 53,05  | 55,11  | 53,64  | 54,02 |     |
| TiO2   | 0,30      | 0,25   | 0,19   | 0,17   | 0,27   | 0,32   | 0,23  | 0,36   | 0,10   | 0,40   | 0,21  |     |
| Al2O3  | 1,63      | 1,10   | 0,78   | 0,91   | 0,90   | 1,75   | 1,10  | 1,72   | 0,92   | 3,60   | 1,04  |     |
| FeO    | 17,26     | 18,22  | 17,79  | 17,09  | 17,90  | 15,66  | 16,02 | 17,40  | 15,35  | 14,07  | 15,95 |     |
| MnO    | 0,65      | 0,60   | 0,50   | 0,70   | 0,69   | 0,27   | 0,46  | 0,39   | 0,39   | 0,25   | 0,60  |     |
| MgO    | 26,36     | 25,34  | 25,67  | 24,07  | 25,20  | 26,60  | 26,02 | 25,79  | 27,15  | 24,20  | 25,41 |     |
| CaO    | 1,59      | 1,26   | 1,27   | 1,40   | 1,52   | 1,65   | 1,39  | 1,94   | 1,43   | 3,29   | 1,79  |     |
| Na2O   | 0,01      | 0,00   | 0,00   | 0,06   | 0,07   | 0,01   | 0,00  | 0,00   | 0,07   | 0,16   | 0,05  |     |
| K2O    | 0,00      | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,15   | 0,01  |     |
| Cr-2O3 | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01  | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00  |     |
| TOTAL  | 101,36    | 101,12 | 101,45 | 100,96 | 100,41 | 100,17 | 99,94 | 100,65 | 100,60 | 100,65 | 99,16 |     |
| Si4+   | 1,920     | 1,964  | 1,984  | 1,985  | 1,964  | 1,947  | 1,956 | 1,920  | 1,976  | 1,929  | 1,977 |     |
| Ti4+   | 0,010     | 0,007  | 0,005  | 0,005  | 0,007  | 0,009  | 0,006 | 0,010  | 0,005  | 0,013  | 0,006 |     |
| Al3+   | 0,069     | 0,047  | 0,033  | 0,039  | 0,039  | 0,075  | 0,047 | 0,074  | 0,039  | 0,153  | 0,045 |     |
| Fe2+   | 0,320     | 0,352  | 0,334  | 0,341  | 0,346  | 0,473  | 0,406 | 0,529  | 0,460  | 0,447  | 0,460 |     |
| Mn2+   | 0,020     | 0,021  | 0,015  | 0,024  | 0,021  | 0,000  | 0,014 | 0,012  | 0,012  | 0,000  | 0,021 |     |
| Mg2+   | 1,417     | 1,367  | 1,374  | 1,341  | 1,370  | 1,432  | 1,450 | 1,397  | 1,451  | 1,297  | 1,386 |     |
| Ca2+   | 0,061     | 0,049  | 0,049  | 0,054  | 0,059  | 0,064  | 0,054 | 0,076  | 0,055  | 0,127  | 0,070 |     |
| Na+    | 0,001     | 0,000  | 0,000  | 0,004  | 0,005  | 0,001  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,011  | 0,004 |     |
| K+     | 0,000     | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |     |
| Cr-3+  | 0,000     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 |     |
| TOTAL  | 4,027     | 4,007  | 3,994  | 3,993  | 4,012  | 4,000  | 4,014 | 4,025  | 4,002  | 3,991  | 3,997 |     |
| MO     | 3,0       | 2,5    | 2,5    | 2,0    | 3,0    | 3,2    | 2,7   | 3,0    | 2,0    | 6,7    | 3,6   |     |
| EN     | 70,2      | 68,0   | 69,7   | 68,4   | 68,6   | 72,4   | 72,3  | 69,4   | 73,4   | 69,0   | 70,5  |     |
| FS     | 25,0      | 27,0   | 27,1   | 27,6   | 27,4   | 23,9   | 24,3  | 26,3   | 23,3   | 23,0   | 24,9  |     |
| Al IV  | 0,005     | 0,040  | 0,013  | 0,011  | 0,041  | 0,057  | 0,051 | 0,004  | 0,025  | 0,067  | 0,022 |     |
| Al VI  |           | 0,007  | 0,020  | 0,020  |        | 0,010  |       | 0,011  | 0,014  | 0,006  | 0,023 |     |
| Fe3+   | 0,000     | 0,020  | 0,000  | 0,000  | 0,034  | 0,023  | 0,042 | 0,075  | 0,007  | 0,000  | 0,000 |     |
| Fe2+   | 0,437     | 0,531  | 0,535  | 0,542  | 0,510  | 0,450  | 0,442 | 0,451  | 0,453  | 0,440  | 0,409 |     |

Tableau III-25 : Analyses chimiques des plagioclases des laves des fossés.  
*Microprobe analysis of plagioclases for troughs lavas.*

| Ech.      | D7M2  |       |        |       |        |        |        |       |       |        | D2M5   |     |
|-----------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|-----|
|           | 69    |       | 82     | 83    | 67     | 78     | 72     | 73    | 81    | 85     | 173    | 175 |
| N Analyse | c     | c     | b      | m     | a      | m      | a      | m     | m     | c      | b      |     |
| SiO2      | 50,31 | 48,94 | 49,42  | 49,27 | 49,86  | 50,10  | 50,11  | 49,58 | 50,73 | 47,35  | 46,82  |     |
| TiO2      | 0,00  | 0,01  | 0,00   | 0,00  | 0,04   | 0,06   | 0,10   | 0,00  | 0,03  | 0,04   | 0,04   |     |
| Al2O3     | 31,01 | 31,56 | 31,78  | 30,45 | 31,81  | 31,32  | 31,65  | 31,15 | 28,29 | 33,24  | 33,12  |     |
| FeO       | 0,31  | 0,65  | 0,53   | 0,53  | 0,30   | 0,51   | 0,65   | 0,44  | 1,30  | 0,48   | 0,27   |     |
| MnO       | 0,00  | 0,03  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,05   | 0,03   | 0,00  | 0,03  | 0,00   | 0,00   |     |
| MgO       | 0,15  | 0,22  | 0,17   | 0,23  | 0,23   | 0,18   | 0,23   | 0,18  | 0,66  | 0,19   | 0,11   |     |
| CaO       | 14,96 | 15,15 | 15,49  | 15,03 | 15,46  | 14,95  | 15,17  | 15,28 | 13,75 | 17,39  | 17,96  |     |
| Na2O      | 3,14  | 2,93  | 3,05   | 3,62  | 3,89   | 2,95   | 3,00   | 3,23  | 4,04  | 1,86   | 1,07   |     |
| K2O       | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,01   | 0,02   | 0,00   | 0,00  | 0,01  | 0,05   | 0,02   |     |
| Cr2O3     | 0,01  | 0,04  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,06   | 0,05   | 0,06  | 0,09  | 0,00   | 0,00   |     |
| TOTAL     | 99,97 | 99,53 | 100,36 | 99,13 | 100,00 | 100,20 | 100,99 | 99,92 | 98,93 | 100,60 | 100,21 |     |
| Si4+      | 2,298 | 2,254 | 2,257  | 2,281 | 2,264  | 2,285  | 2,272  | 2,274 | 2,334 | 2,168  | 2,156  |     |
| Ti4+      | 0,003 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,001  | 0,002  | 0,003  | 0,000 | 0,001 | 0,001  | 0,001  |     |
| Al3+      | 1,670 | 1,713 | 1,707  | 1,662 | 1,703  | 1,684  | 1,691  | 1,684 | 1,540 | 1,795  | 1,798  |     |
| Fe2+      | 0,012 | 0,025 | 0,020  | 0,021 | 0,011  | 0,019  | 0,025  | 0,017 | 0,050 | 0,010  | 0,010  |     |
| Mn2+      | 0,000 | 0,001 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,002  | 0,001  | 0,000 | 0,001 | 0,000  | 0,000  |     |
| Mg2+      | 0,010 | 0,015 | 0,012  | 0,016 | 0,016  | 0,012  | 0,016  | 0,012 | 0,046 | 0,013  | 0,008  |     |
| Ca2+      | 0,732 | 0,748 | 0,758  | 0,746 | 0,752  | 0,731  | 0,737  | 0,751 | 0,684 | 0,853  | 0,886  |     |
| Na+       | 0,278 | 0,262 | 0,270  | 0,325 | 0,272  | 0,261  | 0,264  | 0,287 | 0,364 | 0,165  | 0,167  |     |
| K+        | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000 | 0,001 | 0,003  | 0,001  |     |
| Cr3+      | 0,000 | 0,001 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,002  | 0,002  | 0,003 | 0,003 | 0,000  | 0,000  |     |
| TOTAL     | 5,003 | 5,019 | 5,024  | 5,050 | 5,020  | 5,000  | 5,010  | 5,027 | 5,051 | 5,017  | 5,020  |     |
| AB        | 27,5  | 25,9  | 26,3   | 30,4  | 26,5   | 26,5   | 26,4   | 27,7  | 34,7  | 16,2   | 15,0   |     |
| OR        | 0,0   | 0,0   | 0,0    | 0,0   | 0,1    | 0,1    | 0,0    | 0,0   | 0,1   | 0,3    | 0,1    |     |
| AN        | 72,5  | 74,1  | 73,7   | 69,6  | 73,4   | 73,6   | 73,6   | 72,3  | 65,3  | 83,5   | 84,1   |     |

| Ech.      | D5M5   |       |        |        |        |        |       |       |       |       |
|-----------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
|           | 177    |       | 178    | 193    | 67     | 68     | 69    | 148   | 144   | 151   |
| N Analyse | c      | c     | c      | c      | a      | a      | m     | c     | b     | c     |
| SiO2      | 47,12  | 46,86 | 47,42  | 45,98  | 49,63  | 51,04  | 45,37 | 46,51 | 46,98 | 45,70 |
| TiO2      | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,14   | 0,09   | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,00  |
| Al2O3     | 33,40  | 32,50 | 33,39  | 34,15  | 31,04  | 29,89  | 34,52 | 33,22 | 30,91 | 33,62 |
| FeO       | 0,52   | 0,22  | 0,33   | 0,75   | 0,74   | 0,97   | 0,20  | 0,59  | 1,22  | 0,38  |
| MnO       | 0,02   | 0,03  | 0,00   | 0,06   | 0,00   | 0,11   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,05  |
| MgO       | 0,14   | 0,22  | 0,13   | 0,15   | 0,23   | 0,26   | 0,14  | 0,27  | 0,00  | 0,24  |
| CaO       | 18,10  | 17,00 | 17,30  | 17,03  | 15,11  | 14,40  | 18,19 | 16,95 | 16,92 | 17,70 |
| Na2O      | 1,53   | 2,15  | 2,01   | 1,52   | 3,18   | 3,50   | 1,11  | 1,70  | 1,95  | 1,70  |
| K2O       | 0,05   | 0,00  | 0,05   | 0,00   | 0,03   | 0,01   | 0,01  | 0,03  | 0,05  | 0,00  |
| Cr2O3     | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,06   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| TOTAL     | 100,00 | 99,00 | 100,61 | 100,42 | 100,11 | 100,35 | 99,62 | 99,39 | 98,98 | 99,40 |
| Si4+      | 2,156  | 2,168 | 2,170  | 2,114  | 2,274  | 2,330  | 2,100 | 2,155 | 2,197 | 2,122 |
| Ti4+      | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,005  | 0,003  | 0,000 | 0,001 | 0,003 | 0,000 |
| Al3+      | 1,001  | 1,773 | 1,796  | 1,834  | 1,677  | 1,600  | 1,004 | 1,015 | 1,704 | 1,041 |
| Fe2+      | 0,020  | 0,009 | 0,013  | 0,029  | 0,020  | 0,037  | 0,000 | 0,023 | 0,040 | 0,015 |
| Mn2+      | 0,001  | 0,002 | 0,000  | 0,002  | 0,000  | 0,004  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 |
| Mg2+      | 0,010  | 0,015 | 0,009  | 0,010  | 0,016  | 0,010  | 0,009 | 0,010 | 0,061 | 0,017 |
| Ca2+      | 0,007  | 0,002 | 0,002  | 0,000  | 0,742  | 0,700  | 0,002 | 0,042 | 0,040 | 0,005 |
| Na+       | 0,136  | 0,193 | 0,178  | 0,136  | 0,203  | 0,310  | 0,100 | 0,160 | 0,176 | 0,153 |
| K+        | 0,003  | 0,000 | 0,003  | 0,002  | 0,002  | 0,001  | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,000 |
| Cr3+      | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| TOTAL     | 5,013  | 5,042 | 5,022  | 5,026  | 5,025  | 5,010  | 5,006 | 5,017 | 5,039 | 5,034 |
| AB        | 13,2   | 17,9  | 17,3   | 13,4   | 27,6   | 30,4   | 9,9   | 16,0  | 17,2  | 14,7  |
| OR        | 0,3    | 0,0   | 0,3    | 0,0    | 0,2    | 0,1    | 0,0   | 0,2   | 0,3   | 0,0   |
| AN        | 86,5   | 82,1  | 82,5   | 86,6   | 72,3   | 69,5   | 90,0  | 83,9  | 82,5  | 85,3  |

| Ech.      | D6M1  |       |       |       |       |        |        |       |       |        |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|
|           | 163   |       | 164   | 173   | 153   | 154    | 155    | 116   | 114   | 120    |
| N Analyse | c     | c     | b     | c     | a     | a      | c      | b     | b     | m      |
| SiO2      | 46,70 | 48,65 | 46,30 | 46,44 | 48,24 | 49,28  | 47,47  | 47,68 | 47,34 | 51,00  |
| TiO2      | 0,00  | 0,00  | 0,02  | 0,00  | 0,02  | 0,00   | 0,00   | 0,03  | 0,01  | 0,02   |
| Al2O3     | 32,04 | 31,41 | 32,72 | 33,10 | 31,90 | 31,22  | 33,47  | 32,64 | 32,33 | 30,30  |
| FeO       | 0,23  | 0,66  | 0,47  | 0,61  | 0,59  | 0,57   | 0,56   | 0,74  | 0,50  | 0,01   |
| MnO       | 0,00  | 0,02  | 0,04  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| MgO       | 0,19  | 0,33  | 0,21  | 0,24  | 0,29  | 0,32   | 0,11   | 0,20  | 0,20  | 0,19   |
| CaO       | 17,26 | 15,56 | 17,19 | 17,70 | 16,32 | 16,00  | 16,59  | 16,10 | 16,70 | 13,37  |
| Na2O      | 1,56  | 2,05  | 1,91  | 1,71  | 2,31  | 2,76   | 1,74   | 1,03  | 2,07  | 3,92   |
| K2O       | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,03  | 0,06  | 0,00   | 0,00   | 0,10  | 0,06  | 0,07   |
| Cr2O3     | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,06   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00   |
| TOTAL     | 98,77 | 99,53 | 98,95 | 99,02 | 99,73 | 100,21 | 100,34 | 99,40 | 99,29 | 100,56 |
| Si4+      | 2,173 | 2,245 | 2,161 | 2,149 | 2,223 | 2,258  | 2,174  | 2,202 | 2,194 | 2,331  |
| Ti4+      | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000  | 0,000  | 0,001 | 0,000 | 0,001  |
| Al3+      | 1,001 | 1,709 | 1,790 | 1,805 | 1,733 | 1,686  | 1,007  | 1,777 | 1,767 | 1,619  |
| Fe2+      | 0,009 | 0,025 | 0,010 | 0,023 | 0,023 | 0,022  | 0,021  | 0,029 | 0,022 | 0,031  |
| Mn2+      | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000  |
| Mg2+      | 0,013 | 0,023 | 0,014 | 0,017 | 0,020 | 0,022  | 0,000  | 0,014 | 0,014 | 0,013  |
| Ca2+      | 0,061 | 0,769 | 0,858 | 0,877 | 0,806 | 0,786  | 0,034  | 0,001 | 0,029 | 0,649  |
| Na+       | 0,141 | 0,205 | 0,173 | 0,153 | 0,206 | 0,245  | 0,155  | 0,164 | 0,106 | 0,344  |
| K+        | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,002 | 0,004 | 0,000  | 0,000  | 0,006 | 0,004 | 0,004  |
| Cr3+      | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000  |
| TOTAL     | 4,997 | 5,029 | 5,025 | 5,026 | 5,015 | 5,021  | 4,999  | 4,993 | 5,017 | 5,013  |
| AB        | 14,1  | 24,0  | 16,0  | 14,9  | 20,3  | 23,0   | 15,6   | 16,9  | 10,3  | 34,5   |
| OR        | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,2   | 0,3   | 0,0    | 0,0    | 0,6   | 0,3   | 0,4    |
| AN        | 85,9  | 74,9  | 83,2  | 85,0  | 79,3  | 76,2   | 84,4   | 82,5  | 81,4  | 65,1   |

Tableau III-25 suite

| Ech.   | D3M1      |        |        |       |        |        |        |       |        |        |        |        |     |
|--------|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-----|
|        | N Analyse |        | 196    | 197   | 198    | 199    | 200    | 201   | 204    | 205    | 206    | 207    | 210 |
|        | c         | b      | c      | c     | b      | c      | c      | c     | b      | c      | b      | c      | b   |
| SiO2   | 55,99     | 55,46  | 55,83  | 54,63 | 55,67  | 55,81  | 55,58  | 55,72 | 55,28  | 55,46  | 57,71  | 55,92  |     |
| TiO2   | 0,87      | 0,83   | 0,88   | 0,87  | 0,86   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,82   | 0,88   | 0,85   | 0,84   |     |
| Al2O3  | 27,87     | 27,73  | 28,18  | 28,11 | 27,53  | 28,35  | 28,18  | 27,61 | 27,93  | 27,86  | 26,22  | 27,53  |     |
| FeO    | 0,68      | 0,53   | 0,51   | 0,45  | 0,67   | 0,48   | 0,55   | 0,32  | 0,48   | 0,65   | 0,47   | 0,58   |     |
| MnO    | 0,81      | 0,88   | 0,83   | 0,81  | 0,88   | 0,11   | 0,18   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,13   | 0,86   |     |
| MgO    | 0,84      | 0,18   | 0,89   | 0,85  | 0,12   | 0,83   | 0,18   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,87   | 0,83   |     |
| CaO    | 18,51     | 18,65  | 11,25  | 11,81 | 11,14  | 11,83  | 18,88  | 18,45 | 11,37  | 11,36  | 9,28   | 18,24  |     |
| Na2O   | 5,63      | 5,58   | 5,12   | 5,27  | 5,24   | 5,83   | 5,28   | 5,65  | 5,86   | 4,95   | 6,99   | 5,84   |     |
| K2O    | 0,83      | 0,86   | 0,85   | 0,88  | 0,82   | 0,88   | 0,82   | 0,85  | 0,85   | 0,11   | 0,88   | 0,82   |     |
| Cr-2O3 | 0,88      | 0,83   | 0,12   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,11   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |     |
| TOTAL  | 99,95     | 100,17 | 100,38 | 99,68 | 100,65 | 100,12 | 100,72 | 99,88 | 100,27 | 100,47 | 100,68 | 100,28 |     |
| Si4+   | 2,527     | 2,588  | 2,488  | 2,477 | 2,499  | 2,479  | 2,491  | 2,513 | 2,498  | 2,494  | 2,581  | 2,516  |     |
| Ti4+   | 0,882     | 0,881  | 0,888  | 0,882 | 0,882  | 0,883  | 0,888  | 0,888 | 0,881  | 0,888  | 0,882  | 0,881  |     |
| Al3+   | 1,448     | 1,475  | 1,493  | 1,583 | 1,467  | 1,586  | 1,485  | 1,468 | 1,485  | 1,477  | 1,383  | 1,468  |     |
| Fe2+   | 0,823     | 0,828  | 0,819  | 0,817 | 0,825  | 0,818  | 0,821  | 0,812 | 0,818  | 0,824  | 0,818  | 0,822  |     |
| Mn2+   | 0,888     | 0,888  | 0,881  | 0,888 | 0,888  | 0,884  | 0,884  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,885  |     |
| Mg2+   | 0,883     | 0,887  | 0,886  | 0,883 | 0,888  | 0,882  | 0,887  | 0,885 | 0,885  | 0,885  | 0,885  | 0,885  |     |
| Ca2+   | 0,588     | 0,514  | 0,543  | 0,535 | 0,536  | 0,533  | 0,523  | 0,585 | 0,549  | 0,547  | 0,445  | 0,494  |     |
| Na+    | 0,493     | 0,488  | 0,447  | 0,463 | 0,456  | 0,448  | 0,459  | 0,494 | 0,442  | 0,432  | 0,572  | 0,589  |     |
| K+     | 0,882     | 0,883  | 0,883  | 0,888 | 0,881  | 0,888  | 0,881  | 0,883 | 0,883  | 0,883  | 0,886  | 0,885  |     |
| Cr-3+  | 0,888     | 0,881  | 0,884  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,884  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |     |
| TOTAL  | 4,998     | 5,088  | 4,997  | 5,081 | 4,994  | 4,985  | 4,994  | 5,081 | 4,998  | 4,986  | 5,014  | 5,088  |     |
| AB     | 49,1      | 48,5   | 45,8   | 46,4  | 45,9   | 45,2   | 46,7   | 49,3  | 44,5   | 43,8   | 56,8   | 58,7   |     |
| OR     | 8,2       | 8,3    | 8,3    | 8,8   | 8,1    | 8,8    | 8,1    | 8,3   | 8,3    | 8,6    | 8,4    | 8,1    |     |
| AN     | 58,7      | 51,2   | 54,7   | 53,6  | 54,8   | 54,8   | 53,2   | 58,4  | 55,2   | 55,6   | 43,6   | 49,2   |     |

| Ech.   | D1M1      |       |        |       |       |       |       |        |       |        |        |        |    |
|--------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|----|
|        | N Analyse |       | 288    | 289   | 218   | 228   | 4     | 5      | 6     | 9      | 11     | 8      | 18 |
|        | m         | m     | m      | m     | c     | c     | b     | c      | c     | i      | i      | b      |    |
| SiO2   | 57,53     | 56,99 | 57,66  | 57,67 | 57,83 | 56,85 | 57,66 | 58,42  | 58,11 | 57,87  | 57,62  | 58,23  |    |
| TiO2   | 0,84      | 0,11  | 0,15   | 0,22  | 0,81  | 0,81  | 0,83  | 0,88   | 0,88  | 0,18   | 0,81   | 0,88   |    |
| Al2O3  | 26,36     | 25,93 | 25,97  | 25,14 | 25,81 | 25,95 | 25,98 | 25,34  | 25,24 | 25,92  | 26,85  | 25,37  |    |
| FeO    | 0,67      | 0,89  | 0,98   | 1,28  | 0,39  | 0,58  | 0,24  | 0,36   | 0,37  | 0,58   | 0,53   | 0,34   |    |
| MnO    | 0,88      | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,81  | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,83   | 0,82   | 0,88   |    |
| MgO    | 0,83      | 0,15  | 0,89   | 0,16  | 0,83  | 0,84  | 0,89  | 0,83   | 0,87  | 0,82   | 0,88   | 0,81   |    |
| CaO    | 9,46      | 9,63  | 9,86   | 9,88  | 8,34  | 9,87  | 8,67  | 8,48   | 8,13  | 8,45   | 8,58   | 8,44   |    |
| Na2O   | 6,82      | 6,89  | 6,28   | 6,87  | 6,92  | 6,36  | 6,75  | 7,78   | 7,21  | 6,25   | 6,82   | 6,85   |    |
| K2O    | 0,85      | 0,18  | 0,13   | 0,88  | 0,87  | 0,87  | 0,84  | 0,15   | 0,86  | 0,82   | 0,88   | 0,86   |    |
| Cr-2O3 | 0,88      | 0,88  | 0,86   | 0,88  | 0,88  | 0,86  | 0,85  | 0,81   | 0,88  | 0,84   | 0,83   | 0,81   |    |
| TOTAL  | 188,16    | 99,89 | 188,38 | 99,75 | 99,41 | 98,99 | 99,51 | 188,36 | 99,35 | 181,88 | 188,35 | 181,82 |    |
| Si4+   | 2,581     | 2,572 | 2,587  | 2,684 | 2,688 | 2,582 | 2,598 | 2,682  | 2,616 | 2,552  | 2,617  | 2,689  |    |
| Ti4+   | 0,881     | 0,884 | 0,885  | 0,887 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888  | 0,881 | 0,888  | 0,888  | 0,881  |    |
| Al3+   | 1,394     | 1,388 | 1,374  | 1,338 | 1,372 | 1,389 | 1,388 | 1,298  | 1,359 | 1,418  | 1,365  | 1,372  |    |
| Fe2+   | 0,825     | 0,834 | 0,837  | 0,848 | 0,815 | 0,819 | 0,889 | 0,817  | 0,818 | 0,826  | 0,818  | 0,821  |    |
| Mn2+   | 0,888     | 0,888 | 0,882  | 0,882 | 0,888 | 0,883 | 0,888 | 0,882  | 0,882 | 0,883  | 0,888  | 0,881  |    |
| Mg2+   | 0,882     | 0,818 | 0,886  | 0,811 | 0,882 | 0,883 | 0,886 | 0,881  | 0,888 | 0,881  | 0,883  | 0,885  |    |
| Ca2+   | 0,455     | 0,466 | 0,436  | 0,439 | 0,483 | 0,441 | 0,419 | 0,326  | 0,391 | 0,464  | 0,396  | 0,398  |    |
| Na+    | 0,524     | 0,533 | 0,532  | 0,532 | 0,685 | 0,568 | 0,598 | 0,671  | 0,631 | 0,548  | 0,598  | 0,589  |    |
| K+     | 0,883     | 0,886 | 0,887  | 0,885 | 0,884 | 0,884 | 0,882 | 0,889  | 0,883 | 0,881  | 0,885  | 0,883  |    |
| Cr-3+  | 0,888     | 0,888 | 0,882  | 0,888 | 0,888 | 0,882 | 0,882 | 0,888  | 0,888 | 0,881  | 0,881  | 0,888  |    |
| TOTAL  | 4,984     | 5,084 | 4,993  | 4,987 | 5,018 | 5,084 | 5,086 | 5,088  | 5,021 | 5,088  | 4,997  | 5,088  |    |
| AB     | 53,4      | 53,1  | 54,9   | 54,5  | 59,8  | 55,7  | 58,4  | 66,7   | 61,5  | 53,7   | 59,5   | 59,5   |    |
| OR     | 8,3       | 8,6   | 8,8    | 8,5   | 8,4   | 8,4   | 8,2   | 8,8    | 8,3   | 8,1    | 8,5    | 8,3    |    |
| AN     | 46,3      | 46,4  | 44,3   | 45,8  | 39,8  | 43,9  | 41,4  | 32,4   | 38,1  | 46,2   | 48,8   | 48,2   |    |

| Ech.   | D1M8      |        |        |       |        |       |       |       |       |        |       |       |     |
|--------|-----------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-----|
|        | N Analyse |        | 12     | 16    | 34     | 35    | 43    | 44    | 45    | 134    | 135   | 148   | 149 |
|        | c         | c      | c      | b     | m      | m     | m     | m     | c     | b      | c     | b     | b   |
| SiO2   | 55,58     | 58,22  | 58,57  | 59,15 | 61,96  | 61,48 | 68,82 | 68,28 | 57,92 | 57,26  | 58,64 | 58,88 |     |
| TiO2   | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,87  | 0,83   | 0,13  | 0,81  | 0,88  | 0,83  | 0,81   | 0,88  | 0,84  |     |
| Al2O3  | 26,93     | 26,82  | 26,15  | 25,15 | 23,33  | 21,26 | 23,98 | 24,75 | 25,53 | 26,98  | 25,95 | 26,22 |     |
| FeO    | 0,47      | 0,26   | 0,24   | 0,37  | 0,61   | 2,82  | 0,41  | 0,47  | 0,48  | 0,69   | 0,49  | 0,56  |     |
| MnO    | 0,85      | 0,88   | 0,83   | 0,81  | 0,88   | 0,12  | 0,86  | 0,86  | 0,84  | 0,88   | 0,88  | 0,83  |     |
| MgO    | 0,82      | 0,83   | 0,88   | 0,87  | 0,83   | 1,82  | 0,82  | 0,82  | 0,88  | 0,82   | 0,85  | 0,87  |     |
| CaO    | 9,62      | 8,45   | 8,35   | 7,89  | 5,61   | 5,89  | 6,21  | 6,84  | 8,88  | 9,72   | 8,29  | 8,38  |     |
| Na2O   | 6,29      | 7,88   | 6,82   | 7,19  | 8,29   | 8,98  | 7,97  | 6,79  | 6,97  | 7,11   | 6,99  | 7,82  |     |
| K2O    | 0,86      | 0,89   | 0,82   | 0,87  | 0,16   | 0,16  | 0,16  | 0,88  | 0,86  | 0,86   | 0,89  | 0,18  |     |
| Cr-2O3 | 0,18      | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,83   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,83  |     |
| TOTAL  | 99,12     | 188,18 | 188,18 | 99,97 | 188,85 | 99,28 | 99,36 | 99,58 | 98,95 | 188,15 | 99,81 | 99,54 |     |
| Si4+   | 2,529     | 2,686  | 2,615  | 2,647 | 2,754  | 2,772 | 2,721 | 2,638 | 2,638 | 2,597  | 2,594 | 2,623 |     |
| Ti4+   | 0,888     | 0,885  | 0,888  | 0,882 | 0,881  | 0,884 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,883  | 0,888 | 0,888 |     |
| Al3+   | 1,445     | 1,373  | 1,376  | 1,327 | 1,225  | 1,131 | 1,261 | 1,345 | 1,347 | 1,371  | 1,382 | 1,347 |     |
| Fe2+   | 0,818     | 0,818  | 0,889  | 0,814 | 0,823  | 0,876 | 0,815 | 0,814 | 0,814 | 0,819  | 0,828 | 0,813 |     |
| Mn2+   | 0,882     | 0,888  | 0,881  | 0,888 | 0,888  | 0,885 | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,881  | 0,881 | 0,888 |     |
| Mg2+   | 0,881     | 0,882  | 0,888  | 0,885 | 0,882  | 0,869 | 0,881 | 0,882 | 0,885 | 0,881  | 0,888 | 0,881 |     |
| Ca2+   | 0,469     | 0,485  | 0,399  | 0,378 | 0,267  | 0,246 | 0,298 | 0,489 | 0,394 | 0,486  | 0,418 | 0,487 |     |
| Na+    | 0,555     | 0,688  | 0,598  | 0,624 | 0,715  | 0,788 | 0,691 | 0,593 | 0,612 | 0,619  | 0,618 | 0,613 |     |
| K+     | 0,883     | 0,885  | 0,881  | 0,884 | 0,889  | 0,889 | 0,889 | 0,885 | 0,883 | 0,883  | 0,885 | 0,886 |     |
| Cr-3+  | 0,884     | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,881  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,881 |     |
| TOTAL  | 5,826     | 5,811  | 4,993  | 5,881 | 4,995  | 5,813 | 4,999 | 4,996 | 5,884 | 5,824  | 5,822 | 5,812 |     |
| HO     | 54,8      | 59,7   | 59,6   | 62,8  | 72,1   | 73,3  | 69,3  | 58,9  | 68,6  | 68,2   | 59,5  | 59,7  |     |
| EN     | 8,3       | 8,5    | 8,1    | 8,4   | 8,9    | 1,8   | 8,9   | 8,5   | 8,3   | 8,3    | 8,5   | 8,6   |     |
| FS     | 45,6      | 39,8   | 48,3   | 37,6  | 27,8   | 25,8  | 29,8  | 48,6  | 39,1  | 39,5   | 48,8  | 39,7  |     |

Tableau III-25 suite

| Ech.      |        |        |        |       |        |       |        |       |        |        |       |       |
|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|
| N Analyse | 151    | 152    | 153    | 154   | 155    | 156   | 157    | 158   | 167    | 168    | 178   | 171   |
|           | c      | c      | b      | b     | c      | b     | c      | c     | m      | m      | m     | m     |
| SiO2      | 58,82  | 58,22  | 58,19  | 57,31 | 59,83  | 58,47 | 58,83  | 58,51 | 62,29  | 59,83  | 59,84 | 60,47 |
| TiO2      | 0,88   | 0,89   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,82  | 0,89   | 0,88   | 0,82  | 0,81  |
| Al2O3     | 25,62  | 25,81  | 25,87  | 25,89 | 25,35  | 25,11 | 26,88  | 25,16 | 23,27  | 25,69  | 24,93 | 24,12 |
| FeO       | 0,49   | 0,42   | 0,58   | 0,23  | 0,38   | 0,67  | 0,52   | 0,43  | 0,62   | 0,65   | 0,54  | 0,58  |
| MnO       | 0,88   | 0,84   | 0,88   | 0,88  | 0,85   | 0,88  | 0,83   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  |
| MgO       | 0,89   | 0,84   | 0,84   | 0,87  | 0,12   | 0,83  | 0,84   | 0,89  | 0,82   | 0,18   | 0,81  | 0,86  |
| CaO       | 0,57   | 0,48   | 0,32   | 0,59  | 7,91   | 7,96  | 0,82   | 0,26  | 5,15   | 7,97   | 7,39  | 6,51  |
| Na2O      | 7,84   | 6,95   | 7,11   | 6,92  | 7,11   | 7,86  | 7,11   | 6,91  | 8,94   | 7,11   | 7,61  | 7,94  |
| K2O       | 0,87   | 0,83   | 0,85   | 0,89  | 0,11   | 0,88  | 0,81   | 0,87  | 0,16   | 0,18   | 0,13  | 0,18  |
| Cr2O3     | 0,88   | 0,82   | 0,88   | 0,88  | 0,85   | 0,85  | 0,88   | 0,28  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,81  |
| TOTAL     | 188,78 | 188,18 | 188,22 | 99,18 | 188,83 | 99,51 | 188,56 | 99,65 | 188,54 | 188,65 | 99,67 | 99,72 |
| Si4+      | 2,621  | 2,689  | 2,686  | 2,595 | 2,648  | 2,634 | 2,595  | 2,632 | 2,758  | 2,628  | 2,653 | 2,785 |
| Ti4+      | 0,888  | 0,883  | 0,883  | 0,888 | 0,888  | 0,883 | 0,888  | 0,881 | 0,888  | 0,888  | 0,881 | 0,888 |
| Al3+      | 1,346  | 1,364  | 1,366  | 1,382 | 1,337  | 1,334 | 1,371  | 1,334 | 1,215  | 1,348  | 1,321 | 1,272 |
| Fe2+      | 0,818  | 0,816  | 0,822  | 0,889 | 0,811  | 0,825 | 0,819  | 0,816 | 0,825  | 0,824  | 0,828 | 0,819 |
| Mn2+      | 0,888  | 0,882  | 0,888  | 0,888 | 0,882  | 0,888 | 0,881  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 |
| Mg2+      | 0,886  | 0,883  | 0,883  | 0,883 | 0,888  | 0,882 | 0,883  | 0,886 | 0,881  | 0,887  | 0,881 | 0,884 |
| Ca2+      | 0,489  | 0,487  | 0,399  | 0,417 | 0,379  | 0,384 | 0,423  | 0,398 | 0,244  | 0,388  | 0,356 | 0,312 |
| Na+       | 0,688  | 0,684  | 0,617  | 0,688 | 0,617  | 0,617 | 0,616  | 0,683 | 0,767  | 0,614  | 0,663 | 0,689 |
| K+        | 0,884  | 0,882  | 0,882  | 0,885 | 0,886  | 0,883 | 0,881  | 0,884 | 0,889  | 0,886  | 0,887 | 0,886 |
| Cr3+      | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888 | 0,882  | 0,882 | 0,888  | 0,887 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 |
| TOTAL     | 5,812  | 5,889  | 5,818  | 5,828 | 5,882  | 5,886 | 5,828  | 5,888 | 5,828  | 5,887  | 5,821 | 5,886 |
| AB        | 59,5   | 59,6   | 60,6   | 59,8  | 61,5   | 61,3  | 59,3   | 60,8  | 75,2   | 61,4   | 64,6  | 68,4  |
| OR        | 8,4    | 8,2    | 8,2    | 8,5   | 8,6    | 8,5   | 8,8    | 8,4   | 8,9    | 8,6    | 8,7   | 8,6   |
| AN        | 48,1   | 48,2   | 39,2   | 48,5  | 37,8   | 38,2  | 48,6   | 39,6  | 23,9   | 38,8   | 34,7  | 31,8  |

| Ech.      | D14M1  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N Analyse | 138    | 141    | 142    | 143    | 144    | 146    | 147    | 158    | 151    | 152    | 153    | 155    |
|           | c      | i      | i      | c      | b      | b      | i      | c      | b      | c      | b      | a      |
| SiO2      | 58,45  | 58,88  | 52,51  | 48,21  | 52,56  | 54,36  | 48,23  | 58,91  | 52,89  | 58,29  | 48,11  | 52,48  |
| TiO2      | 0,89   | 0,81   | 0,82   | 0,84   | 0,87   | 0,87   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,82   | 0,81   | 0,88   |
| Al2O3     | 32,34  | 32,45  | 29,83  | 33,88  | 29,98  | 28,98  | 33,22  | 31,89  | 38,41  | 32,68  | 33,32  | 38,15  |
| FeO       | 0,38   | 0,24   | 0,89   | 0,38   | 0,38   | 0,68   | 0,58   | 0,25   | 0,78   | 0,28   | 0,36   | 0,73   |
| MnO       | 0,88   | 0,13   | 0,85   | 0,88   | 0,88   | 0,82   | 0,82   | 0,12   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   |
| MgO       | 0,19   | 0,28   | 0,35   | 0,28   | 0,32   | 0,32   | 0,17   | 0,26   | 0,37   | 0,38   | 0,17   | 0,39   |
| CaO       | 15,55  | 15,91  | 13,82  | 16,95  | 13,95  | 12,54  | 16,87  | 15,41  | 14,58  | 15,59  | 16,76  | 14,14  |
| Na2O      | 2,89   | 2,73   | 3,95   | 1,91   | 3,94   | 4,28   | 1,95   | 2,86   | 3,63   | 2,78   | 2,87   | 3,56   |
| K2O       | 0,84   | 0,88   | 0,85   | 0,88   | 0,85   | 0,85   | 0,84   | 0,81   | 0,81   | 0,81   | 0,88   | 0,82   |
| Cr2O3     | 0,89   | 0,81   | 0,88   | 0,88   | 0,84   | 0,88   | 0,81   | 0,86   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,13   |
| TOTAL     | 182,88 | 181,76 | 181,47 | 181,39 | 181,41 | 181,14 | 181,81 | 181,77 | 181,79 | 181,71 | 188,88 | 181,52 |
| Si4+      | 2,262  | 2,252  | 2,363  | 2,182  | 2,363  | 2,436  | 2,194  | 2,285  | 2,338  | 2,258  | 2,191  | 2,354  |
| Ti4+      | 0,883  | 0,888  | 0,881  | 0,881  | 0,882  | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  |
| Al3+      | 1,718  | 1,721  | 1,583  | 1,883  | 1,585  | 1,527  | 1,781  | 1,687  | 1,689  | 1,725  | 1,789  | 1,597  |
| Fe2+      | 0,814  | 0,889  | 0,833  | 0,811  | 0,822  | 0,825  | 0,819  | 0,889  | 0,829  | 0,888  | 0,814  | 0,827  |
| Mn2+      | 0,888  | 0,885  | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,881  | 0,885  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |
| Mg2+      | 0,813  | 0,813  | 0,823  | 0,813  | 0,821  | 0,821  | 0,812  | 0,817  | 0,825  | 0,828  | 0,812  | 0,826  |
| Ca2+      | 0,747  | 0,767  | 0,666  | 0,821  | 0,672  | 0,682  | 0,822  | 0,741  | 0,697  | 0,758  | 0,818  | 0,681  |
| Na+       | 0,251  | 0,238  | 0,345  | 0,168  | 0,344  | 0,365  | 0,172  | 0,249  | 0,316  | 0,235  | 0,183  | 0,318  |
| K+        | 0,882  | 0,888  | 0,883  | 0,888  | 0,883  | 0,883  | 0,882  | 0,881  | 0,881  | 0,881  | 0,888  | 0,881  |
| Cr3+      | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |
| TOTAL     | 5,886  | 5,886  | 5,819  | 4,999  | 5,814  | 4,982  | 5,883  | 4,996  | 5,815  | 4,997  | 5,886  | 5,881  |
| AB        | 25,1   | 23,7   | 34,8   | 17,8   | 33,7   | 37,6   | 17,3   | 25,1   | 31,2   | 23,8   | 18,3   | 31,3   |
| OR        | 8,2    | 8,8    | 8,3    | 8,8    | 8,3    | 8,3    | 8,2    | 8,1    | 8,1    | 8,1    | 8,8    | 8,1    |
| AN        | 74,7   | 76,3   | 65,7   | 83,8   | 66,8   | 62,1   | 82,5   | 74,8   | 68,8   | 76,1   | 81,7   | 68,6   |

Tableau III-25 suite

| Ech.   |           |        | D14M14 |        |       |        |       | D15M6 |       |       |       |  |
|--------|-----------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|        | N Analyse |        | 64     | 65     | 66    | 63     | 76    | 81    | 85    | 86    | 118   |  |
|        | 157       | 188    | c      | c      | b     | b      | b     | c     | b     | b     | c     |  |
| SiO2   | 52,68     | 58,53  | 64,28  | 58,81  | 53,52 | 66,88  | 55,33 | 45,63 | 46,54 | 46,19 | 49,65 |  |
| TiO2   | 0,83      | 0,87   | 0,81   | 0,82   | 0,81  | 0,88   | 0,88  | 0,86  | 0,88  | 0,88  | 0,81  |  |
| Al2O3  | 38,18     | 31,68  | 22,46  | 25,69  | 28,18 | 21,26  | 25,88 | 33,31 | 32,56 | 33,28 | 38,23 |  |
| FeO    | 0,99      | 0,58   | 0,88   | 0,34   | 0,58  | 0,11   | 0,55  | 0,62  | 0,65  | 0,56  | 0,78  |  |
| MnO    | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81  | 0,88   | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,82  | 0,88  |  |
| MgO    | 0,45      | 0,21   | 0,83   | 0,89   | 0,25  | 0,88   | 0,89  | 0,19  | 0,18  | 0,19  | 0,34  |  |
| CaO    | 13,58     | 15,83  | 3,44   | 7,95   | 9,14  | 1,81   | 8,48  | 17,91 | 16,98 | 17,47 | 14,58 |  |
| Na2O   | 3,77      | 2,85   | 18,54  | 7,58   | 5,19  | 11,35  | 7,75  | 1,48  | 2,89  | 1,37  | 3,25  |  |
| K2O    | 0,86      | 0,88   | 0,89   | 0,15   | 1,31  | 0,87   | 0,32  | 0,83  | 0,18  | 0,83  | 0,16  |  |
| Cr-2O3 | 0,88      | 0,88   | 0,12   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,18  | 0,84  |  |
| TOTAL  | 181,66    | 188,87 | 188,97 | 188,63 | 98,18 | 188,68 | 98,33 | 99,14 | 99,81 | 99,23 | 98,96 |  |
| Si4+   | 2,362     | 2,287  | 2,819  | 2,622  | 2,471 | 2,898  | 2,549 | 2,127 | 2,169 | 2,146 | 2,299 |  |
| Ti4+   | 0,881     | 0,882  | 0,888  | 0,881  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |  |
| Al3+   | 1,595     | 1,698  | 1,161  | 1,358  | 1,538 | 1,898  | 1,481 | 1,831 | 1,789 | 1,823 | 1,658 |  |
| Fe2+   | 0,857     | 0,819  | 0,888  | 0,813  | 0,822 | 0,884  | 0,821 | 0,824 | 0,825 | 0,822 | 0,827 |  |
| Mn2+   | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,881 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888 |  |
| Mg2+   | 0,838     | 0,814  | 0,882  | 0,886  | 0,817 | 0,888  | 0,886 | 0,813 | 0,813 | 0,813 | 0,824 |  |
| Ca2+   | 0,649     | 0,729  | 0,162  | 0,388  | 0,452 | 0,885  | 0,418 | 0,895 | 0,844 | 0,878 | 0,723 |  |
| Na+    | 0,328     | 0,258  | 0,896  | 0,655  | 0,464 | 0,964  | 0,692 | 0,126 | 0,188 | 0,123 | 0,292 |  |
| K+     | 0,883     | 0,888  | 0,885  | 0,888  | 0,877 | 0,884  | 0,819 | 0,882 | 0,886 | 0,883 | 0,818 |  |
| Cr-3+  | 0,888     | 0,888  | 0,884  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,884 | 0,881 |  |
| TOTAL  | 5,885     | 4,991  | 5,849  | 5,834  | 5,834 | 5,845  | 5,186 | 5,819 | 5,834 | 5,884 | 5,826 |  |
| RB     | 33,5      | 25,5   | 84,3   | 62,8   | 46,7  | 91,6   | 61,3  | 12,3  | 18,1  | 12,4  | 28,5  |  |
| OR     | 8,4       | 8,8    | 8,5    | 8,8    | 7,7   | 8,4    | 1,7   | 8,1   | 8,6   | 8,3   | 8,9   |  |
| AN     | 66,2      | 74,5   | 15,2   | 36,4   | 45,5  | 8,1    | 37,1  | 87,5  | 81,3  | 87,3  | 78,6  |  |

| Ech.   |           |       | D15M12 |       |       |       |       |       |        |        |       |
|--------|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
|        | N Analyse |       | 118    | 112   | 113   | 72    | 74    | 73    | 79     | 88     | 84    |
|        | 119       | 128   | m      | m     | m     | c     | c     | b     | b      | i      | c     |
| SiO2   | 45,62     | 44,63 | 58,47  | 56,52 | 52,87 | 67,89 | 68,51 | 67,98 | 69,36  | 68,99  | 68,53 |
| TiO2   | 0,88      | 0,84  | 0,88   | 0,12  | 0,88  | 0,84  | 0,88  | 0,51  | 0,88   | 0,88   | 0,81  |
| Al2O3  | 33,38     | 33,51 | 29,71  | 26,19 | 28,43 | 19,51 | 19,34 | 19,38 | 19,78  | 19,51  | 19,72 |
| FeO    | 0,45      | 0,67  | 0,57   | 0,83  | 0,96  | 0,86  | 0,88  | 0,82  | 0,88   | 0,88   | 0,88  |
| MnO    | 0,88      | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,87  | 0,88  | 0,88  | 0,15  | 0,88   | 0,82   | 0,88  |
| MgO    | 0,18      | 0,16  | 0,19   | 0,86  | 0,22  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,82   | 0,81   | 0,84  |
| CaO    | 17,28     | 17,34 | 13,88  | 9,46  | 12,78 | 0,36  | 0,13  | 0,86  | 0,87   | 0,88   | 0,18  |
| Na2O   | 1,62      | 1,26  | 3,65   | 6,22  | 4,19  | 11,29 | 11,44 | 11,35 | 11,79  | 11,29  | 11,14 |
| K2O    | 0,85      | 0,82  | 0,18   | 0,38  | 0,25  | 0,86  | 0,88  | 0,88  | 0,84   | 0,84   | 0,88  |
| Cr-2O3 | 0,86      | 0,88  | 0,88   | 0,85  | 0,82  | 0,88  | 0,85  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,82  |
| TOTAL  | 98,47     | 97,82 | 98,57  | 99,82 | 98,91 | 99,21 | 99,47 | 99,45 | 100,98 | 100,82 | 99,56 |
| Si4+   | 2,136     | 2,188 | 2,538  | 2,558 | 2,482 | 2,988 | 3,883 | 2,983 | 2,997  | 3,885  | 2,997 |
| Ti4+   | 0,888     | 0,881 | 0,888  | 0,884 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,817 | 0,888  | 0,886  | 0,888 |
| Al3+   | 1,838     | 1,866 | 1,623  | 1,397 | 1,546 | 1,812 | 0,999 | 1,884 | 1,884  | 1,882  | 1,817 |
| Fe2+   | 0,818     | 0,826 | 0,822  | 0,831 | 0,837 | 0,882 | 0,888 | 0,881 | 0,888  | 0,883  | 0,888 |
| Mn2+   | 0,888     | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,883 | 0,888 | 0,888 | 0,886 | 0,888  | 0,881  | 0,888 |
| Mg2+   | 0,812     | 0,811 | 0,813  | 0,884 | 0,815 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,881  | 0,881  | 0,883 |
| Ca2+   | 0,863     | 0,887 | 0,685  | 0,459 | 0,628 | 0,817 | 0,886 | 0,883 | 0,883  | 0,884  | 0,885 |
| Na+    | 0,147     | 0,115 | 0,328  | 0,546 | 0,375 | 0,963 | 0,972 | 0,967 | 0,988  | 0,954  | 0,945 |
| K+     | 0,883     | 0,881 | 0,811  | 0,822 | 0,815 | 0,883 | 0,888 | 0,884 | 0,882  | 0,882  | 0,888 |
| Cr-3+  | 0,882     | 0,888 | 0,888  | 0,882 | 0,881 | 0,888 | 0,882 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,881 |
| TOTAL  | 5,819     | 5,816 | 5,828  | 5,823 | 5,828 | 4,988 | 4,983 | 4,984 | 4,996  | 4,971  | 4,966 |
| RB     | 14,5      | 11,5  | 32,8   | 53,2  | 36,8  | 97,9  | 99,4  | 99,2  | 99,5   | 99,4   | 99,5  |
| OR     | 8,3       | 8,1   | 1,1    | 2,1   | 1,4   | 8,3   | 8,8   | 8,5   | 8,2    | 8,2    | 8,8   |
| AN     | 85,2      | 88,4  | 66,9   | 44,7  | 61,7  | 1,7   | 8,6   | 8,3   | 8,3    | 8,4    | 8,3   |

| Ech.   |           |        | D15M12 |        |        |       |       |       |       |       |       |       |
|--------|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|        | N Analyse |        | 86     | 87     | 88     | 181   | 182   | 183   | 98    | 92    | 114   | 117   |
|        | b         | c      | b      | b      | i      | i     | m     | m     | m     | m     | m     | m     |
| SiO2   | 68,19     | 68,73  | 67,55  | 68,84  | 69,64  | 68,35 | 66,91 | 67,22 | 67,58 | 67,88 | 67,88 | 67,88 |
| TiO2   | 0,88      | 0,83   | 0,88   | 0,82   | 0,81   | 0,82  | 0,61  | 0,82  | 0,12  | 0,88  | 0,88  | 0,85  |
| Al2O3  | 19,65     | 19,45  | 19,71  | 19,47  | 19,14  | 19,19 | 19,35 | 19,68 | 19,94 | 19,47 | 19,82 | 19,82 |
| FeO    | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,39  | 0,12  | 0,88  | 0,88  |
| MnO    | 0,88      | 0,87   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81  | 0,82  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |
| MgO    | 0,88      | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |
| CaO    | 0,17      | 0,14   | 0,58   | 0,82   | 0,87   | 0,17  | 0,29  | 0,65  | 0,39  | 0,19  | 0,12  | 0,12  |
| Na2O   | 11,23     | 11,66  | 11,31  | 11,69  | 11,42  | 11,71 | 11,55 | 11,82 | 11,36 | 11,88 | 11,88 | 11,88 |
| K2O    | 0,87      | 0,88   | 0,83   | 0,83   | 0,85   | 0,83  | 0,86  | 0,84  | 0,11  | 0,18  | 0,18  | 0,18  |
| Cr-2O3 | 0,88      | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,82  | 0,88  | 0,88  |
| TOTAL  | 99,31     | 100,18 | 99,18  | 100,87 | 100,35 | 99,48 | 98,79 | 98,63 | 99,89 | 98,78 | 99,85 | 99,85 |
| Si4+   | 2,993     | 2,997  | 2,978  | 3,881  | 3,822  | 3,881 | 2,965 | 2,978 | 2,962 | 2,974 | 2,985 | 2,985 |
| Ti4+   | 0,888     | 0,881  | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,881 | 0,828 | 0,881 | 0,884 | 0,888 | 0,882 | 0,882 |
| Al3+   | 1,817     | 1,888  | 1,824  | 1,881  | 0,978  | 0,993 | 1,811 | 1,824 | 1,831 | 1,818 | 1,829 | 1,829 |
| Fe2+   | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,814 | 0,884 | 0,883 | 0,883 |
| Mn2+   | 0,888     | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,881 | 0,883 | 0,883 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |
| Mg2+   | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |
| Ca2+   | 0,888     | 0,887  | 0,824  | 0,881  | 0,883  | 0,888 | 0,814 | 0,831 | 0,818 | 0,889 | 0,886 | 0,886 |
| Na+    | 0,956     | 0,986  | 0,967  | 0,988  | 0,961  | 0,997 | 0,992 | 0,946 | 0,966 | 1,014 | 0,946 | 0,946 |
| K+     | 0,884     | 0,888  | 0,882  | 0,882  | 0,883  | 0,882 | 0,883 | 0,882 | 0,886 | 0,886 | 0,886 | 0,886 |
| Cr-3+  | 0,888     | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,881 |
| TOTAL  | 4,978     | 4,994  | 4,994  | 4,993  | 4,978  | 5,881 | 5,887 | 4,984 | 5,885 | 5,826 | 5,826 | 4,975 |
| RB     | 98,8      | 99,3   | 97,4   | 99,7   | 99,4   | 99,8  | 98,3  | 96,6  | 97,5  | 98,6  | 98,8  | 98,8  |
| OR     | 8,4       | 8,8    | 8,2    | 8,2    | 8,3    | 8,2   | 8,3   | 8,2   | 8,6   | 8,3   | 8,6   | 8,6   |
| AN     | 8,8       | 8,7    | 2,4    | 8,1    | 8,3    | 8,8   | 1,4   | 3,1   | 1,9   | 8,9   | 8,6   | 8,6   |

Tableau III-25 suite

| Ech.      | D11M1 |        |       |        |        |       |       |        |       |       |       |        |       |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
|-----------|-------|--------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-----|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|--|
|           | 112   |        | 113   |        | 124    |       | 125   |        | 126   |       | 140   |        | 141   |     | 142 |   | 143 |   | 144 |   | 147 |   | 148 |   | 152 |  |
| N Analyse | c     | b      | c     | b      | inc    | c     | i     | i      | i     | i     | b     | c      | b     | inc | i   | b | c   | b | inc | b | inc | b | inc | b | inc |  |
| S102      | 47,67 | 50,51  | 47,65 | 52,94  | 48,87  | 46,49 | 46,13 | 46,96  | 47,82 | 49,99 | 47,07 | 52,45  | 49,63 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Ti02      | 0,11  | 0,01   | 0,05  | 0,17   | 0,05   | 0,02  | 0,00  | 0,07   | 0,04  | 0,04  | 0,04  | 0,10   | 0,00  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Al2O3     | 31,68 | 30,49  | 32,35 | 28,93  | 32,05  | 32,59 | 35,13 | 32,95  | 31,45 | 30,88 | 32,60 | 29,25  | 30,33 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| FeO       | 0,94  | 0,05   | 1,03  | 0,98   | 0,09   | 0,09  | 0,77  | 0,03   | 0,03  | 0,03  | 0,75  | 1,33   | 1,12  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| MnO       | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,01  | 0,00  | 0,00   | 0,01  | 0,00  | 0,01  | 0,00   | 0,00  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| MgO       | 0,14  | 0,13   | 0,10  | 0,15   | 0,12   | 0,06  | 0,13  | 0,14   | 0,15  | 0,11  | 0,15  | 0,14   | 0,13  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| CaO       | 15,91 | 14,76  | 16,53 | 13,25  | 16,61  | 17,22 | 17,46 | 16,97  | 16,68 | 14,31 | 17,11 | 12,74  | 14,45 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Na2O      | 2,27  | 3,53   | 2,23  | 4,20   | 2,40   | 1,61  | 1,49  | 2,21   | 2,22  | 3,59  | 1,96  | 4,39   | 3,70  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| K2O       | 0,10  | 0,10   | 0,05  | 0,24   | 0,01   | 0,00  | 0,05  | 0,02   | 0,06  | 0,14  | 0,05  | 0,20   | 0,12  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Cr-2O3    | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,02   | 0,01  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,11  | 0,09   | 0,06  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TOTAL     | 98,82 | 100,39 | 99,99 | 101,82 | 100,10 | 98,98 | 99,16 | 100,17 | 99,25 | 99,12 | 99,79 | 100,60 | 99,54 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| S14+      | 2,219 | 2,307  | 2,197 | 2,394  | 2,211  | 2,169 | 2,147 | 2,165  | 2,220 | 2,311 | 2,176 | 2,382  | 2,292 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Ti4+      | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,001  | 0,001 | 0,000 | 0,002  | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,003  | 0,000 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Al3+      | 1,739 | 1,642  | 1,799 | 1,542  | 1,737  | 1,792 | 1,810 | 1,791  | 1,722 | 1,648 | 1,777 | 1,566  | 1,651 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Fe2+      | 0,037 | 0,035  | 0,040 | 0,037  | 0,034  | 0,035 | 0,030 | 0,033  | 0,032 | 0,033 | 0,029 | 0,031  | 0,045 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Mn2+      | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Mg2+      | 0,010 | 0,009  | 0,007 | 0,010  | 0,008  | 0,004 | 0,009 | 0,010  | 0,008 | 0,008 | 0,009 | 0,009  | 0,009 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Ca2+      | 0,794 | 0,722  | 0,817 | 0,642  | 0,819  | 0,861 | 0,871 | 0,838  | 0,830 | 0,789 | 0,840 | 0,620  | 0,715 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Na+       | 0,285 | 0,313  | 0,199 | 0,375  | 0,214  | 0,146 | 0,134 | 0,198  | 0,200 | 0,322 | 0,176 | 0,379  | 0,331 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| K+        | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,014  | 0,001  | 0,000 | 0,003 | 0,001  | 0,004 | 0,000 | 0,003 | 0,012  | 0,007 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Cr-3+     | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,003  | 0,001  | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,003  | 0,002 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TOTAL     | 5,013 | 5,031  | 5,023 | 5,023  | 5,026  | 5,007 | 5,012 | 5,037  | 5,019 | 5,032 | 5,022 | 5,025  | 5,031 |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| RB        | 20,4  | 30,0   | 19,6  | 36,4   | 20,7   | 14,5  | 13,3  | 19,0   | 19,3  | 31,0  | 17,1  | 37,5   | 31,5  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| OR        | 0,6   | 0,6    | 0,3   | 1,3    | 0,1    | 0,0   | 0,3   | 0,1    | 0,3   | 0,0   | 0,3   | 1,1    | 0,7   |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| AN        | 79,0  | 69,4   | 80,1  | 62,3   | 79,2   | 83,5  | 86,4  | 80,8   | 80,3  | 68,2  | 82,6  | 61,4   | 67,9  |     |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |

| Ech.      | D12M1 |       |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |        |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|---|-----|---|---|-----|---|-----|---|----|-----|----|-----|----|-----|----|--|
|           | 154   |       |        | 157   |       |       | 160   |       |       | 1     |        | 2     |        | 3 |     | 4 |   | 5   |   | 7   |   | 17 |     | 18 |     | 19 |     | 20 |  |
| N Analyse | m+    | n     | n      | c     | i     | b     | c     | b     | c     | b     | inc    | c     | c      | b | inc | c | b | inc | b | inc | c | b  | inc | b  | inc | b  | inc |    |  |
| S102      | 52,38 | 52,15 | 53,78  | 45,85 | 46,16 | 47,98 | 45,30 | 48,71 | 49,06 | 44,92 | 49,05  | 48,44 | 50,19  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Ti02      | 0,05  | 0,06  | 0,06   | 0,01  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Al2O3     | 29,63 | 28,70 | 27,05  | 34,40 | 33,53 | 31,05 | 33,07 | 31,51 | 30,00 | 33,00 | 31,17  | 30,04 | 30,04  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| FeO       | 1,06  | 1,20  | 1,41   | 0,48  | 0,50  | 0,55  | 0,45  | 0,57  | 0,82  | 0,54  | 0,53   | 0,52  | 0,77   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| MnO       | 0,01  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| MgO       | 0,22  | 0,19  | 0,15   | 0,09  | 0,12  | 0,08  | 0,10  | 0,10  | 0,19  | 0,09  | 0,17   | 0,11  | 0,15   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| CaO       | 12,96 | 13,01 | 12,01  | 17,79 | 17,93 | 16,10 | 18,40 | 16,31 | 14,06 | 18,40 | 15,59  | 16,23 | 14,95  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Na2O      | 4,13  | 4,10  | 4,63   | 1,16  | 1,32  | 2,24  | 1,20  | 2,20  | 3,10  | 1,04  | 2,02   | 2,61  | 3,17   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| K2O       | 0,10  | 0,26  | 0,33   | 0,02  | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,02  | 0,04  | 0,02  | 0,05   | 0,04  | 0,00   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Cr-2O3    | 0,01  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| TOTAL     | 99,03 | 99,75 | 100,20 | 99,00 | 99,57 | 90,00 | 99,40 | 99,57 | 90,93 | 99,02 | 100,16 | 99,30 | 100,20 |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| S14+      | 2,394 | 2,390 | 2,446  | 2,116 | 2,130 | 2,227 | 2,107 | 2,245 | 2,309 | 2,099 | 2,279  | 2,240 | 2,293  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Ti4+      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Al3+      | 1,533 | 1,550 | 1,492  | 1,076 | 1,031 | 1,743 | 1,057 | 1,712 | 1,630 | 1,066 | 1,600  | 1,713 | 1,662  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Fe2+      | 0,041 | 0,045 | 0,054  | 0,015 | 0,019 | 0,021 | 0,017 | 0,022 | 0,021 | 0,020 | 0,020  | 0,020 | 0,020  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Mn2+      | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Mg2+      | 0,015 | 0,013 | 0,010  | 0,006 | 0,008 | 0,006 | 0,007 | 0,012 | 0,013 | 0,006 | 0,012  | 0,008 | 0,010  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Ca2+      | 0,633 | 0,635 | 0,585  | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,917 | 0,005 | 0,737 | 0,921 | 0,764  | 0,604 | 0,732  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Na+       | 0,366 | 0,364 | 0,400  | 0,104 | 0,119 | 0,202 | 0,115 | 0,197 | 0,206 | 0,094 | 0,230  | 0,234 | 0,291  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| K+        | 0,010 | 0,015 | 0,019  | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| Cr-3+     | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| TOTAL     | 5,016 | 5,023 | 5,020  | 4,990 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,000 | 5,016 | 5,013  | 5,000 | 5,016  |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| RB        | 36,2  | 35,0  | 40,3   | 10,5  | 11,0  | 20,1  | 11,2  | 19,6  | 27,9  | 9,3   | 24,6   | 22,5  | 27,6   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| OR        | 1,0   | 1,5   | 1,9    | 0,1   | 0,0   | 0,2   | 0,0   | 0,1   | 0,2   | 0,1   | 0,2    | 0,2   | 0,5    |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |
| AN        | 62,0  | 62,7  | 57,0   | 89,3  | 88,2  | 79,7  | 88,0  | 80,3  | 71,9  | 98,6  | 73,2   | 77,3  | 71,9   |   |     |   |   |     |   |     |   |    |     |    |     |    |     |    |  |

| Ech.      | D12M1 |   |    |   |    |   |    |   |    |   |     |   |   |   |     |   |     |   |     |   |     |   |    |   |    |
|-----------|-------|---|----|---|----|---|----|---|----|---|-----|---|---|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|----|---|----|
|           | 31    |   | 32 |   | 36 |   | 41 |   | 42 |   | 43  |   | 4 |   | 6   |   | 5   |   | 7   |   | 26  |   | 50 |   | 51 |
| N Analyse | b     | c | b  | a | a  | a | c  | c | b  | b | inc | c | c | b | inc | b | inc | b | inc | b | inc | a | a  | a |    |

Tableau III-25 suite

| Ech.      | 027M12 |       |       |       |       |       | 029M6  |        |        |       |        |       |       |     |     |     |     |     |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
|           | 9      |       | 18    |       | 11    |       | 12     |        | 18     |       | 19     |       | 371   | 378 | 372 | 367 | 368 | 369 |
| N analyse | mp     | ap    | mp    | mp    | ap    | ap    | c      | i      | b      | alt   | alt    | alt   | alt   | alt | alt | alt | alt | m   |
| SiO2      | 52,72  | 48,18 | 54,83 | 51,95 | 68,27 | 49,83 | 51,86  | 47,52  | 46,54  | 43,96 | 45,94  | 46,34 | 48,77 |     |     |     |     |     |
| TiO2      | 0,89   | 0,88  | 0,86  | 0,87  | 0,88  | 0,81  | 0,89   | 0,88   | 0,81   | 0,88  | 0,81   | 0,88  | 0,81  |     |     |     |     |     |
| Al2O3     | 28,88  | 31,86 | 28,14 | 29,83 | 24,58 | 31,48 | 38,86  | 35,98  | 34,88  | 34,12 | 34,57  | 33,87 | 31,97 |     |     |     |     |     |
| FeO       | 1,88   | 0,62  | 0,73  | 0,71  | 0,48  | 0,86  | 0,67   | 0,59   | 0,74   | 0,53  | 0,58   | 0,56  | 0,68  |     |     |     |     |     |
| MnO       | 0,81   | 0,85  | 0,88  | 0,81  | 0,88  | 0,88  | 0,86   | 0,81   | 0,86   | 0,88  | 0,86   | 0,88  | 0,87  |     |     |     |     |     |
| MgO       | 0,15   | 0,14  | 0,88  | 0,89  | 0,83  | 0,15  | 0,97   | 0,23   | 0,21   | 0,17  | 0,19   | 0,21  | 0,24  |     |     |     |     |     |
| CaO       | 11,94  | 15,44 | 18,56 | 12,24 | 5,97  | 14,46 | 13,31  | 17,83  | 17,95  | 17,51 | 18,88  | 17,18 | 15,81 |     |     |     |     |     |
| Na2O      | 4,36   | 2,44  | 5,29  | 4,23  | 7,46  | 2,83  | 1,88   | 1,47   | 1,18   | 1,38  | 1,29   | 1,43  | 2,32  |     |     |     |     |     |
| K2O       | 0,17   | 0,18  | 0,19  | 0,13  | 0,48  | 0,83  | 3,18   | 0,84   | 0,89   | 0,82  | 0,87   | 0,86  | 0,19  |     |     |     |     |     |
| Cr2O3     | 0,88   | 0,89  | 0,88  | 0,18  | 0,11  | 0,88  | 0,84   | 0,81   | 0,85   | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  |     |     |     |     |     |
| Total     | 99,24  | 98,84 | 99,88 | 99,36 | 99,38 | 98,85 | 188,36 | 188,48 | 188,73 | 99,61 | 188,71 | 99,65 | 99,98 |     |     |     |     |     |
| Si4+      | 2,414  | 2,232 | 2,481 | 2,376 | 2,783 | 2,268 | 2,338  | 2,173  | 2,132  | 2,125 | 2,187  | 2,141 | 2,238 |     |     |     |     |     |
| Ti4+      | 0,883  | 0,888 | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 |     |     |     |     |     |
| Al3+      | 1,535  | 1,743 | 1,581 | 1,688 | 1,295 | 1,717 | 1,623  | 1,818  | 1,836  | 1,869 | 1,865  | 1,844 | 1,738 |     |     |     |     |     |
| Fe2+      | 0,858  | 0,824 | 0,828 | 0,827 | 0,818 | 0,853 | 0,826  | 0,823  | 0,828  | 0,828 | 0,828  | 0,822 | 0,823 |     |     |     |     |     |
| Mn2+      | 0,888  | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,882  | 0,888  | 0,882  | 0,888 | 0,882  | 0,888 | 0,883 |     |     |     |     |     |
| Mg2+      | 0,818  | 0,818 | 0,885 | 0,886 | 0,882 | 0,818 | 0,856  | 0,816  | 0,814  | 0,812 | 0,813  | 0,814 | 0,816 |     |     |     |     |     |
| Ca2+      | 0,586  | 0,768 | 0,512 | 0,588 | 0,287 | 0,717 | 0,653  | 0,834  | 0,888  | 0,868 | 0,865  | 0,868 | 0,777 |     |     |     |     |     |
| Na+       | 0,587  | 0,228 | 0,464 | 0,375 | 0,649 | 0,254 | 0,889  | 0,158  | 0,185  | 0,117 | 0,115  | 0,128 | 0,286 |     |     |     |     |     |
| K+        | 0,818  | 0,886 | 0,811 | 0,888 | 0,827 | 0,882 | 0,181  | 0,882  | 0,885  | 0,881 | 0,884  | 0,884 | 0,811 |     |     |     |     |     |
| Cr3+      | 0,888  | 0,883 | 0,888 | 0,884 | 0,884 | 0,888 | 0,881  | 0,888  | 0,881  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 |     |     |     |     |     |
| TOTAL     | 5,884  | 5,887 | 5,884 | 5,884 | 4,985 | 5,881 | 4,982  | 4,989  | 5,884  | 5,883 | 5,817  | 5,883 | 5,885 |     |     |     |     |     |
| RB        | 39,4   | 22,1  | 47,8  | 38,2  | 67,4  | 26,1  | 9,6    | 13,5   | 18,6   | 11,8  | 11,4   | 13,8  | 28,7  |     |     |     |     |     |
| OR        | 1,8    | 8,6   | 1,1   | 8,8   | 2,9   | 8,2   | 19,6   | 8,2    | 8,5    | 8,1   | 8,4    | 8,4   | 1,1   |     |     |     |     |     |
| AN        | 59,6   | 77,3  | 51,9  | 61,8  | 29,8  | 73,7  | 78,8   | 86,3   | 88,9   | 88,1  | 88,2   | 86,6  | 78,1  |     |     |     |     |     |

| Ech.      | 031M1  |        |        |       |       |        |       |        |        |        |        |        |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
|-----------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|
|           | 318    |        | 322    |       | 323   |        | 325   |        | 329    |        | 331    |        | 319 |   | 328 |   | 321 |   | 324 |   | 326 |   | 327 |   |
| N analyse | c      | c      | c      | c     | c     | c      | c     | c      | c      | c      | c      | i      | b   | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   | b |
| SiO2      | 46,95  | 47,18  | 46,37  | 46,26 | 47,86 | 46,37  | 46,92 | 49,87  | 51,47  | 58,28  | 58,16  | 45,65  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| TiO2      | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,88  | 0,88  | 0,81   | 0,88  | 0,81   | 0,87   | 0,88   | 0,84   | 0,88   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Al2O3     | 33,71  | 33,67  | 34,26  | 33,53 | 33,49 | 33,64  | 33,17 | 32,15  | 38,42  | 31,42  | 38,88  | 34,46  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| FeO       | 0,56   | 0,47   | 0,77   | 0,72  | 0,52  | 0,79   | 0,78  | 0,76   | 0,84   | 0,74   | 0,69   | 0,68   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| MnO       | 0,88   | 0,89   | 0,12   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,81   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| MgO       | 0,12   | 0,19   | 0,16   | 0,28  | 0,14  | 0,14   | 0,19  | 0,18   | 0,27   | 0,21   | 0,22   | 0,15   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| CaO       | 17,78  | 17,38  | 18,83  | 17,65 | 17,81 | 17,71  | 17,22 | 15,76  | 13,44  | 14,96  | 15,24  | 17,66  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Na2O      | 1,41   | 1,66   | 1,17   | 1,49  | 1,71  | 1,46   | 1,47  | 2,53   | 3,69   | 2,76   | 2,79   | 1,48   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| K2O       | 0,83   | 0,87   | 0,88   | 0,84  | 0,86  | 0,83   | 0,82  | 0,86   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,86   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Cr2O3     | 0,88   | 0,85   | 0,84   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,83  | 0,88   | 0,83   | 0,88   | 0,88   | 0,83   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Total     | 188,48 | 188,68 | 188,93 | 99,89 | 99,99 | 188,15 | 99,77 | 188,52 | 188,34 | 188,42 | 188,18 | 188,82 |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Si4+      | 2,152  | 2,156  | 2,122  | 2,138 | 2,165 | 2,138  | 2,166 | 2,239  | 2,339  | 2,286  | 2,293  | 2,187  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Ti4+      | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Al3+      | 1,822  | 1,817  | 1,848  | 1,827 | 1,816 | 1,828  | 1,885 | 1,738  | 1,638  | 1,687  | 1,664  | 1,875  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Fe2+      | 0,821  | 0,818  | 0,829  | 0,828 | 0,828 | 0,838  | 0,827 | 0,829  | 0,832  | 0,828  | 0,826  | 0,823  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Mn2+      | 0,888  | 0,883  | 0,885  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,882 | 0,888  | 0,881  | 0,883  | 0,888  | 0,888  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Mg2+      | 0,888  | 0,813  | 0,811  | 0,814 | 0,818 | 0,818  | 0,813 | 0,812  | 0,818  | 0,814  | 0,815  | 0,818  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Ca2+      | 0,869  | 0,849  | 0,884  | 0,874 | 0,838 | 0,875  | 0,852 | 0,771  | 0,654  | 0,738  | 0,747  | 0,873  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Na+       | 0,125  | 0,147  | 0,184  | 0,134 | 0,153 | 0,131  | 0,132 | 0,224  | 0,328  | 0,244  | 0,247  | 0,123  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| K+        | 0,882  | 0,884  | 0,888  | 0,882 | 0,884 | 0,882  | 0,881 | 0,883  | 0,885  | 0,883  | 0,885  | 0,884  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| Cr3+      | 0,888  | 0,882  | 0,881  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,881 | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,881  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| TOTAL     | 5,888  | 5,818  | 5,885  | 5,816 | 5,885 | 5,814  | 4,998 | 5,889  | 5,888  | 4,994  | 4,999  | 5,819  |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| RB        | 12,6   | 14,7   | 18,5   | 13,2  | 15,3  | 13,8   | 13,4  | 22,4   | 33,8   | 25,8   | 24,8   | 12,5   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| OR        | 8,2    | 8,4    | 8,8    | 8,2   | 8,4   | 8,2    | 8,1   | 8,4    | 8,5    | 8,3    | 8,3    | 8,4    |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |
| AN        | 87,2   | 84,9   | 89,5   | 86,5  | 84,3  | 86,9   | 86,5  | 77,2   | 66,5   | 74,7   | 74,8   | 87,1   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |

| Ech.      | 038M2 |       |        |       |       |        |        |        |        |       |       |        |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|
|           | 328   |       | 338    |       | 332   |        | 333    |        | 334    |       | 65    |        | 66 |   | 67 |   | 68 |   | 71 |   | 63 |   | 69 |
| N analyse | b     | b     | a      | a     | a     | c      | c      | c      | c      | c     | c     | c      | c  | c | c  | c | c  | b | a  | a | a  | a | a  |
| SiO2      | 48,35 | 49,29 | 53,92  | 51,39 | 58,18 | 46,64  | 46,51  | 46,51  | 46,83  | 45,87 | 52,48 | 45,94  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| TiO2      | 0,89  | 0,88  | 0,88   | 0,86  | 0,14  | 0,88   | 0,82   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Al2O3     | 31,99 | 31,36 | 29,45  | 29,31 | 24,61 | 34,82  | 34,89  | 33,78  | 33,85  | 34,28 | 28,51 | 34,59  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| FeO       | 0,77  | 0,66  | 0,99   | 1,86  | 1,78  | 0,53   | 0,55   | 0,64   | 0,68   | 0,58  | 0,88  | 0,72   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| MnO       | 0,84  | 0,88  | 0,83   | 0,88  | 0,83  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,84  | 0,88  | 0,88   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| MgO       | 0,22  | 0,18  | 0,15   | 0,25  | 0,12  | 0,15   | 0,14   | 0,28   | 0,28   | 0,15  | 0,59  | 0,19   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| CaO       | 15,47 | 15,55 | 12,75  | 13,68 | 9,53  | 17,64  | 17,74  | 17,57  | 17,95  | 17,48 | 13,62 | 17,87  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Na2O      | 2,48  | 2,68  | 2,77   | 3,79  | 5,16  | 1,22   | 1,26   | 1,34   | 1,42   | 1,19  | 3,48  | 1,78   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| K2O       | 0,86  | 0,88  | 0,13   | 0,87  | 0,38  | 0,82   | 0,81   | 0,88   | 0,85   | 0,84  | 0,15  | 0,88   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Cr2O3     | 0,82  | 0,18  | 0,15   | 0,88  | 0,84  | 0,85   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Total     | 99,69 | 99,98 | 188,34 | 99,73 | 99,73 | 188,27 | 188,48 | 188,12 | 188,94 | 99,47 | 99,72 | 188,82 |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Si4+      | 2,234 | 2,262 | 2,429  | 2,363 | 2,626 | 2,141  | 2,134  | 2,141  | 2,141  | 2,124 | 2,398 | 2,188  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Ti4+      | 0,883 | 0,883 | 0,888  | 0,882 | 0,885 | 0,888  | 0,881  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Al3+      | 1,738 | 1,697 | 1,564  | 1,583 | 1,311 | 1,841  | 1,844  | 1,833  | 1,824  | 1,867 | 1,536 | 1,871  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Fe2+      | 0,838 | 0,825 | 0,837  | 0,841 | 0,864 | 0,828  | 0,821  | 0,825  | 0,823  | 0,819 | 0,834 | 0,828  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Mn2+      | 0,882 | 0,888 | 0,881  | 0,888 | 0,881 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,882 | 0,888 | 0,888  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Mg2+      | 0,815 | 0,812 | 0,818  | 0,817 | 0,888 | 0,818  | 0,818  | 0,814  | 0,814  | 0,818 | 0,848 | 0,813  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Ca2+      | 0,763 | 0,765 | 0,615  | 0,667 | 0,462 | 0,868  | 0,872  | 0,867  | 0,881  | 0,867 | 0,667 | 0,878  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Na+       | 0,221 | 0,231 | 0,242  | 0,337 | 0,452 | 0,189  | 0,182  | 0,128  | 0,126  | 0,187 | 0,381 | 0,112  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| K+        | 0,884 | 0,885 | 0,887  | 0,884 | 0,817 | 0,881  | 0,881  | 0,888  | 0,883  | 0,882 | 0,889 | 0,888  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Cr3+      | 0,881 | 0,884 | 0,885  | 0,888 | 0,881 | 0,882  | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| TOTAL     | 5,887 | 5,883 | 4,911  | 5,814 | 4,948 | 4,992  | 4,998  | 5,881  | 5,812  | 4,998 | 4,987 | 5,811  |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| RB        | 22,4  | 23,1  | 28,8   | 33,4  | 48,6  | 11,1   | 11,4   | 12,1   | 12,5   | 18,9  | 38,8  | 11,3   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| OR        | 8,4   | 8,5   | 8,9    | 8,4   | 1,9   | 8,1    | 8,1    | 8,8    | 8,3    | 8,2   | 8,9   | 8,8    |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |
| AN        | 77,2  | 76,4  | 71,2   | 66,2  | 49,6  | 88,8   | 88,6   | 87,9   | 87,2   | 88,8  | 68,3  | 88,7   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |   |    |

Tableau III-25 suite

| Ech.      | 027M17    |       |       |       |       | 027M1 |       |       |       |       |       |     |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
|           | N Analyse |       | 93    | 95    | 100   | 109   | 110   | 13    | 19    | 21    | 22    | 23  |
|           | c         | c     | c     | b     | c     | c     | c     | b     | b     | b     | i     |     |
| SiO2      | 55,14     | 55,93 | 56,97 | 58,76 | 55,76 | 60,20 | 58,61 | 58,63 | 58,53 | 57,87 |       |     |
| TiO2      | 0,01      | 0,00  | 0,03  | 0,02  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,07  | 0,00  | 0,00  |       |     |
| Al2O3     | 26,66     | 26,51 | 25,92 | 23,95 | 26,62 | 23,89 | 24,86 | 24,79 | 24,97 | 23,90 |       |     |
| FeO       | 0,32      | 0,78  | 0,77  | 0,59  | 0,74  | 0,46  | 0,49  | 0,56  | 0,65  | 0,27  |       |     |
| MnO       | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |       |     |
| MgO       | 0,01      | 0,10  | 0,12  | 0,11  | 0,16  | 0,04  | 0,02  | 0,00  | 0,03  | 0,00  |       |     |
| CaO       | 9,66      | 9,10  | 8,46  | 6,71  | 9,13  | 5,76  | 6,48  | 6,71  | 7,30  | 7,62  |       |     |
| Na2O      | 6,26      | 6,13  | 6,32  | 7,35  | 6,18  | 7,03  | 7,19  | 7,20  | 6,82  | 6,90  |       |     |
| K2O       | 0,63      | 0,61  | 0,75  | 1,00  | 0,71  | 1,11  | 1,14  | 1,11  | 1,03  | 0,82  |       |     |
| Cr2O3     | 0,00      | 0,00  | 0,05  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,10  | 0,01  | 0,02  | 0,00  |       |     |
| TOTAL     | 98,69     | 99,24 | 99,39 | 98,59 | 99,30 | 99,35 | 98,94 | 99,24 | 99,36 | 99,45 |       |     |
| Si4+      | 2,527     | 2,546 | 2,584 | 2,677 | 2,539 | 2,711 | 2,658 | 2,654 | 2,646 | 2,612 |       |     |
| Ti4+      | 0,000     | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 |       |     |
| Al3+      | 1,441     | 1,423 | 1,386 | 1,286 | 1,429 | 1,269 | 1,329 | 1,323 | 1,331 | 1,378 |       |     |
| Fe2+      | 0,012     | 0,030 | 0,029 | 0,022 | 0,020 | 0,017 | 0,019 | 0,021 | 0,025 | 0,010 |       |     |
| Mn2+      | 0,000     | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |       |     |
| Mg2+      | 0,001     | 0,007 | 0,000 | 0,000 | 0,011 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,004 |       |     |
| Ca2+      | 0,475     | 0,448 | 0,411 | 0,327 | 0,445 | 0,278 | 0,315 | 0,325 | 0,354 | 0,369 |       |     |
| Na+       | 0,556     | 0,541 | 0,556 | 0,630 | 0,546 | 0,604 | 0,632 | 0,639 | 0,598 | 0,604 |       |     |
| K+        | 0,037     | 0,035 | 0,043 | 0,063 | 0,042 | 0,064 | 0,066 | 0,064 | 0,060 | 0,047 |       |     |
| Cr3+      | 0,000     | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,001 | 0,000 |       |     |
| TOTAL     | 5,049     | 5,030 | 5,021 | 5,035 | 5,040 | 5,027 | 5,025 | 5,034 | 5,016 | 5,024 |       |     |
| RB        | 52,1      | 52,0  | 55,0  | 62,5  | 52,9  | 66,7  | 62,4  | 62,1  | 59,1  | 59,2  |       |     |
| OR        | 3,5       | 3,5   | 4,3   | 6,1   | 4,0   | 6,2   | 6,5   | 6,2   | 5,9   | 4,6   |       |     |
| AN        | 44,4      | 43,7  | 40,7  | 31,5  | 43,1  | 27,1  | 31,1  | 31,6  | 33,0  | 36,1  |       |     |
| N Analyse | 25        | 26    | 27    | 28    | 29    | 40    | 49    | 50    | 51    | 52    |       |     |
|           | b         | c     | c     | b     | b     | c     | b     | n     | m     | m     |       |     |
|           | SiO2      | 59,03 | 58,04 | 57,42 | 57,40 | 58,10 | 57,78 | 58,24 | 59,59 | 59,90 | 61,13 |     |
| TiO2      | 0,02      | 0,04  | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |       |     |
| Al2O3     | 24,25     | 24,04 | 23,70 | 23,65 | 25,15 | 23,55 | 24,97 | 23,92 | 24,16 | 23,33 |       |     |
| FeO       | 0,49      | 0,53  | 0,25  | 0,57  | 0,50  | 0,33  | 0,39  | 0,37  | 0,34  | 0,47  |       |     |
| MnO       | 0,00      | 0,13  | 0,00  | 0,06  | 0,00  | 0,06  | 0,02  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |       |     |
| MgO       | 0,04      | 0,05  | 0,00  | 0,03  | 0,03  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,07  | 0,04  |       |     |
| CaO       | 6,44      | 7,38  | 7,62  | 7,18  | 7,17  | 7,99  | 7,25  | 6,21  | 6,25  | 5,14  |       |     |
| Na2O      | 7,37      | 7,00  | 6,96  | 6,92  | 6,86  | 7,10  | 7,19  | 7,49  | 7,77  | 7,57  |       |     |
| K2O       | 1,20      | 0,92  | 0,85  | 0,96  | 1,03  | 1,00  | 0,93  | 1,26  | 1,33  | 1,41  |       |     |
| Cr2O3     | 0,01      | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,07  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,10  |       |     |
| TOTAL     | 98,95     | 98,95 | 98,80 | 98,78 | 99,01 | 99,07 | 98,99 | 98,83 | 99,01 | 99,23 |       |     |
| Si4+      | 2,678     | 2,638 | 2,609 | 2,613 | 2,639 | 2,688 | 2,643 | 2,781 | 2,692 | 2,749 |       |     |
| Ti4+      | 0,001     | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |       |     |
| Al3+      | 1,297     | 1,331 | 1,376 | 1,376 | 1,345 | 1,360 | 1,336 | 1,270 | 1,280 | 1,230 |       |     |
| Fe2+      | 0,010     | 0,020 | 0,010 | 0,022 | 0,022 | 0,013 | 0,015 | 0,014 | 0,013 | 0,010 |       |     |
| Mn2+      | 0,004     | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |       |     |
| Mg2+      | 0,003     | 0,003 | 0,000 | 0,002 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,005 | 0,002 |       |     |
| Ca2+      | 0,313     | 0,359 | 0,371 | 0,350 | 0,349 | 0,386 | 0,352 | 0,301 | 0,301 | 0,240 |       |     |
| Na+       | 0,649     | 0,617 | 0,613 | 0,611 | 0,603 | 0,621 | 0,632 | 0,658 | 0,677 | 0,660 |       |     |
| K+        | 0,070     | 0,053 | 0,050 | 0,056 | 0,060 | 0,057 | 0,054 | 0,073 | 0,076 | 0,081 |       |     |
| Cr3+      | 0,000     | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 |       |     |
| TOTAL     | 5,032     | 5,030 | 5,034 | 5,032 | 5,020 | 5,050 | 5,033 | 5,026 | 5,044 | 5,000 |       |     |
| RB        | 62,9      | 59,9  | 59,3  | 60,1  | 59,6  | 58,3  | 60,9  | 63,0  | 64,2  | 66,7  |       |     |
| OR        | 6,0       | 5,2   | 4,8   | 5,5   | 5,9   | 5,4   | 5,2   | 7,0   | 7,2   | 8,2   |       |     |
| AN        | 30,4      | 34,9  | 35,9  | 34,4  | 34,5  | 36,3  | 33,9  | 29,2  | 26,6  | 23,1  |       |     |
| Ech.      | 026M6     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|           | N Analyse |       | 124   | 125   | 126   | 128   | 135   | 137   | 150   | 155   | 156   | 157 |
|           | b         | c     | b     | c     | c     | c     | c     | c     | c     | m     | m     |     |
| SiO2      | 57,50     | 56,73 | 57,49 | 58,90 | 56,79 | 57,40 | 59,41 | 54,04 | 54,56 | 53,35 |       |     |
| TiO2      | 0,00      | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,01  | 0,05  | 0,01  | 0,00  |       |     |
| Al2O3     | 23,19     | 23,04 | 23,39 | 24,30 | 23,30 | 23,15 | 24,32 | 27,76 | 27,00 | 27,46 |       |     |
| FeO       | 0,77      | 0,48  | 0,45  | 0,49  | 0,66  | 0,53  | 0,51  | 0,51  | 0,00  | 0,40  |       |     |
| MnO       | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |       |     |
| MgO       | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,02  | 0,00  | 0,02  | 0,02  | 0,01  | 0,12  | 0,10  |       |     |
| CaO       | 7,50      | 8,12  | 7,81  | 6,82  | 0,39  | 8,00  | 6,57  | 11,19 | 10,01 | 10,94 |       |     |
| Na2O      | 7,16      | 6,67  | 6,80  | 7,62  | 6,71  | 6,85  | 7,74  | 5,27  | 5,74  | 5,52  |       |     |
| K2O       | 0,63      | 0,52  | 0,50  | 0,81  | 0,56  | 0,50  | 0,09  | 0,31  | 0,40  | 0,30  |       |     |
| Cr2O3     | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,02  | 0,00  | 0,07  | 0,02  |       |     |
| TOTAL     | 98,91     | 98,54 | 98,62 | 99,31 | 98,53 | 98,58 | 99,50 | 99,15 | 98,97 | 98,18 |       |     |
| Si4+      | 2,620     | 2,589 | 2,617 | 2,666 | 2,590 | 2,610 | 2,679 | 2,471 | 2,500 | 2,465 |       |     |
| Ti4+      | 0,000     | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,000 |       |     |
| Al3+      | 1,351     | 1,390 | 1,362 | 1,299 | 1,365 | 1,352 | 1,293 | 1,496 | 1,463 | 1,496 |       |     |
| Fe2+      | 0,029     | 0,010 | 0,017 | 0,019 | 0,025 | 0,020 | 0,019 | 0,020 | 0,034 | 0,019 |       |     |
| Mn2+      | 0,000     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |       |     |
| Mg2+      | 0,000     | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,007 |       |     |
| Ca2+      | 0,370     | 0,397 | 0,381 | 0,331 | 0,411 | 0,391 | 0,317 | 0,540 | 0,492 | 0,542 |       |     |
| Na+       | 0,631     | 0,590 | 0,607 | 0,660 | 0,595 | 0,605 | 0,677 | 0,467 | 0,510 | 0,495 |       |     |
| K+        | 0,037     | 0,030 | 0,029 | 0,047 | 0,032 | 0,034 | 0,031 | 0,010 | 0,023 | 0,010 |       |     |
| Cr3+      | 0,000     | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,001 | 0,001 | 0,000 | 0,002 | 0,001 |       |     |
| TOTAL     | 5,030     | 5,024 | 5,019 | 5,037 | 5,034 | 5,024 | 5,030 | 5,022 | 5,033 | 5,042 |       |     |
| RB        | 60,9      | 58,0  | 59,7  | 63,9  | 57,3  | 58,0  | 64,0  | 45,2  | 49,0  | 46,9  |       |     |
| OR        | 3,5       | 2,9   | 2,8   | 4,5   | 3,1   | 3,3   | 4,9   | 1,7   | 2,3   | 1,7   |       |     |
| AN        | 33,6      | 39,0  | 37,5  | 31,6  | 39,6  | 30,0  | 30,5  | 53,0  | 40,0  | 31,4  |       |     |

Tableau III-25 suite

| Ech.      | 025M2 |       |       |       |       |       |       |        |       |       |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|--|
|           | 174   |       | 175   | 176   |       | 178   |       | 180    |       | 181   |   | 203 |   | 204 |   | 205 |   | 206 |  |
| N Analyse | c     | b     | b     | i     | b     | i     | c     | b      | m     | a     | c | b   | m | a   | c | b   | m | a   |  |
| SiO2      | 45,38 | 45,43 | 47,38 | 45,91 | 52,46 | 44,59 | 46,68 | 58,52  | 47,58 | 51,66 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TiO2      | 0,88  | 0,83  | 0,82  | 0,88  | 1,77  | 0,88  | 0,86  | 0,81   | 0,88  | 0,88  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Al2O3     | 33,21 | 33,12 | 32,32 | 33,16 | 9,26  | 33,95 | 32,62 | 31,49  | 31,84 | 27,86 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| FeO       | 0,78  | 0,75  | 0,86  | 0,83  | 14,63 | 0,72  | 1,84  | 0,99   | 1,29  | 1,44  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| MnO       | 0,86  | 0,89  | 0,88  | 0,88  | 0,45  | 0,87  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| MgO       | 0,86  | 0,87  | 0,15  | 0,85  | 6,36  | 0,86  | 0,13  | 0,16   | 0,18  | 0,18  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| CaO       | 17,85 | 17,88 | 16,42 | 17,74 | 7,95  | 16,33 | 16,88 | 15,89  | 15,51 | 12,15 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Na2O      | 1,48  | 1,49  | 2,28  | 1,56  | 2,67  | 1,14  | 1,89  | 3,81   | 2,26  | 4,88  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| K2O       | 0,81  | 0,82  | 0,88  | 0,83  | 3,66  | 0,88  | 0,83  | 0,88   | 0,86  | 0,28  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Cr2O3     | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,84  | 0,88  | 0,88  | 0,84  | 0,88   | 0,88  | 0,88  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TOTAL     | 98,75 | 98,79 | 99,45 | 99,33 | 99,21 | 98,95 | 99,38 | 101,86 | 98,64 | 98,41 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Si4+      | 2,126 | 2,128 | 2,195 | 2,138 | 2,631 | 2,888 | 2,169 | 2,281  | 2,216 | 2,483 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Ti4+      | 0,888 | 0,881 | 0,881 | 0,888 | 0,867 | 0,888 | 0,882 | 0,888  | 0,888 | 0,888 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Al3+      | 1,834 | 1,829 | 1,765 | 1,828 | 0,547 | 1,873 | 1,787 | 1,683  | 1,751 | 1,528 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Fe2+      | 0,831 | 0,829 | 0,833 | 0,832 | 0,614 | 0,828 | 0,848 | 0,838  | 0,838 | 0,836 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Mn2+      | 0,882 | 0,888 | 0,883 | 0,888 | 0,819 | 0,883 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Mg2+      | 0,884 | 0,885 | 0,811 | 0,884 | 0,475 | 0,885 | 0,889 | 0,811  | 0,813 | 0,813 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Ca2+      | 0,896 | 0,897 | 0,815 | 0,885 | 0,427 | 0,928 | 0,848 | 0,729  | 0,775 | 0,688 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Na+       | 0,127 | 0,135 | 0,197 | 0,141 | 0,268 | 0,183 | 0,171 | 0,265  | 0,284 | 0,448 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| K+        | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,882 | 0,234 | 0,888 | 0,883 | 0,885  | 0,884 | 0,812 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| Cr3+      | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,883 | 0,881 | 0,888  | 0,888 | 0,888 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| TOTAL     | 5,821 | 5,825 | 5,828 | 5,823 | 5,275 | 5,825 | 5,822 | 5,812  | 5,813 | 5,839 |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| RB        | 12,5  | 13,1  | 19,5  | 13,7  | 28,2  | 18,1  | 16,8  | 26,5   | 28,8  | 41,5  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| OR        | 8,8   | 8,1   | 8,8   | 8,2   | 23,4  | 8,8   | 8,3   | 8,5    | 8,4   | 1,1   |   |     |   |     |   |     |   |     |  |
| RN        | 87,5  | 86,8  | 88,5  | 86,1  | 46,4  | 89,9  | 82,9  | 73,8   | 78,9  | 57,3  |   |     |   |     |   |     |   |     |  |

| Ech.      | 024M4 |       |       |        |       |       |        |        |        |       |        |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | 271   |       | 275   |        | 278   |       | 284    |        | 287    |       | 273    |       | 272   |        | 274    |       | 276   |       | 277   |       | 279   |       | 286   |       | 288   |       |
| N analyse | c     | c     | c     | c      | c     | c     | c      | i      | b      | b     | b      | b     | b     | b      | b      | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | a     | a     |       |
| SiO2      | 48,24 | 48,52 | 48,42 | 48,94  | 52,88 | 49,71 | 58,49  | 58,17  | 58,52  | 48,67 | 48,87  | 58,18 | 51,76 | 55,98  | 51,41  | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 | 53,88 |
| TiO2      | 0,88  | 0,81  | 0,85  | 0,83   | 0,89  | 0,88  | 0,84   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |
| Al2O3     | 31,92 | 32,12 | 31,89 | 31,79  | 28,94 | 31,26 | 38,97  | 31,35  | 38,82  | 31,99 | 32,74  | 38,86 | 29,33 | 26,16  | 29,67  | 28,34 | 28,34 | 28,34 | 28,34 | 28,34 | 28,34 | 28,34 | 28,34 | 28,34 | 28,34 |       |
| FeO       | 0,98  | 0,76  | 0,82  | 0,98   | 0,93  | 0,88  | 1,87   | 0,89   | 0,95   | 0,89  | 0,98   | 0,88  | 1,14  | 1,23   | 1,13   | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  | 1,34  |       |
| MnO       | 0,88  | 0,84  | 0,82  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,86   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |
| MgO       | 0,12  | 0,11  | 0,14  | 0,13   | 0,16  | 0,12  | 0,16   | 0,16   | 0,16   | 0,16  | 0,16   | 0,16  | 0,16  | 0,16   | 0,16   | 0,16  | 0,16  | 0,16  | 0,16  | 0,16  | 0,16  | 0,16  | 0,16  | 0,16  | 0,16  |       |
| CaO       | 15,72 | 15,58 | 15,66 | 15,59  | 12,48 | 14,87 | 14,19  | 14,81  | 14,61  | 15,67 | 16,58  | 15,21 | 14,17 | 13,54  | 18,93  | 13,38 | 12,19 | 12,19 | 12,19 | 12,19 | 12,19 | 12,19 | 12,19 | 12,19 | 12,19 |       |
| Na2O      | 2,44  | 2,35  | 2,43  | 2,65   | 4,29  | 2,94  | 3,12   | 3,84   | 3,25   | 2,39  | 2,81   | 2,53  | 3,82  | 3,84   | 4,93   | 3,64  | 4,31  | 4,31  | 4,31  | 4,31  | 4,31  | 4,31  | 4,31  | 4,31  | 4,31  |       |
| K2O       | 0,11  | 0,12  | 0,85  | 0,89   | 0,16  | 0,89  | 0,15   | 0,16   | 0,13   | 0,87  | 0,84   | 0,13  | 0,11  | 0,35   | 0,12   | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,27  | 0,27  |       |
| Cr2O3     | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |       |
| Total     | 99,58 | 99,33 | 99,48 | 100,12 | 99,78 | 99,79 | 188,28 | 188,83 | 188,55 | 99,83 | 188,42 | 99,31 | 99,66 | 188,47 | 188,61 | 99,58 | 99,84 | 99,84 | 99,84 | 99,84 | 99,84 | 99,84 | 99,84 | 99,84 | 99,84 |       |
| Si4+      | 2,228 | 2,231 | 2,234 | 2,245  | 2,487 | 2,288 | 2,383  | 2,281  | 2,381  | 2,237 | 2,196  | 2,256 | 2,388 | 2,357  | 2,328  | 2,358 | 2,423 | 2,423 | 2,423 | 2,423 | 2,423 | 2,423 | 2,423 | 2,423 | 2,423 |       |
| Ti4+      | 0,888 | 0,888 | 0,882 | 0,881  | 0,883 | 0,888 | 0,883  | 0,883  | 0,883  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |       |
| Al3+      | 1,738 | 1,749 | 1,733 | 1,719  | 1,335 | 1,691 | 1,666  | 1,688  | 1,635  | 1,734 | 1,688  | 1,635 | 1,714 | 1,688  | 1,688  | 1,688 | 1,688 | 1,688 | 1,688 | 1,688 | 1,688 | 1,688 | 1,688 | 1,688 | 1,688 |       |
| Fe2+      | 0,833 | 0,829 | 0,832 | 0,835  | 0,835 | 0,831 | 0,841  | 0,834  | 0,836  | 0,834 | 0,834  | 0,835 | 0,844 | 0,847  | 0,867  | 0,843 | 0,851 | 0,851 | 0,851 | 0,851 | 0,851 | 0,851 | 0,851 | 0,851 | 0,851 |       |
| Mn2+      | 0,888 | 0,888 | 0,881 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |       |
| Mg2+      | 0,888 | 0,888 | 0,810 | 0,888  | 0,811 | 0,888 | 0,811  | 0,811  | 0,811  | 0,811 | 0,811  | 0,811 | 0,811 | 0,811  | 0,811  | 0,811 | 0,811 | 0,811 | 0,811 | 0,811 | 0,811 | 0,811 | 0,811 | 0,811 | 0,811 |       |
| Ca2+      | 0,778 | 0,767 | 0,774 | 0,766  | 0,686 | 0,731 | 0,694  | 0,721  | 0,713  | 0,772 | 0,713  | 0,772 | 0,814 | 0,732  | 0,697  | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 | 0,697 |       |
| Na+       | 0,219 | 0,218 | 0,217 | 0,236  | 0,379 | 0,262 | 0,268  | 0,268  | 0,268  | 0,268 | 0,268  | 0,268 | 0,268 | 0,268  | 0,268  | 0,268 | 0,268 | 0,268 | 0,268 | 0,268 | 0,268 | 0,268 | 0,268 | 0,268 | 0,268 |       |
| K+        | 0,888 | 0,887 | 0,883 | 0,885  | 0,889 | 0,885 | 0,889  | 0,889  | 0,889  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |       |
| Cr3+      | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |       |
| TOTAL     | 5,814 | 5,883 | 5,887 | 5,815  | 5,886 | 5,888 | 5,884  | 5,813  | 5,814  | 5,884 | 5,814  | 5,884 | 5,818 | 5,884  | 5,818  | 5,884 | 5,882 | 5,818 | 5,818 | 5,818 | 5,818 | 5,818 | 5,818 | 5,818 |       |       |
| RB        | 21,8  | 21,4  | 21,9  | 23,4   | 38,1  | 26,2  | 28,2   | 26,8   | 28,5   | 21,5  | 23,8   | 21,5  | 17,9  | 33,7   | 43,5   | 32,9  | 38,4  | 38,4  | 38,4  | 38,4  | 38,4  | 38,4  | 38,4  | 38,4  | 38,4  |       |
| OR        | 8,6   | 8,7   | 8,3   | 8,5    | 8,9   | 8,5   | 8,9    | 8,5    | 8,9    | 8,4   | 8,2    | 8,8   | 8,9   | 8,6    | 8,7    | 8,7   | 8,6   | 8,6   | 8,6   | 8,6   | 8,6   | 8,6   | 8,6   | 8,6   |       |       |
| RN        | 77,6  | 77,9  | 77,8  | 76,1   | 68,9  | 73,3  | 78,9   | 72,2   | 78,8   | 78,8  | 78,8   | 81,8  | 76,3  | 63,7   | 33,3   | 66,4  | 68,8  | 68,8  | 68,8  | 68,8  | 68,8  | 68,8  | 68,8  | 68,8  |       |       |

| N analyse | 284   |       | 287   |       | 273   |       | 272   |       | 274   |   | 276 |   | 277 |   | 279 |   | 286 |   | 288 |   | 281 |   | 282 |   | 283 |   | 296 |  |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|---|-----|--|
|           | c     | c     | i     | b     | b     | b     | b     | b     | b     | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   | b | b   | a | a   | a | a   |  |
| SiO2      | 48,94 | 52,88 | 49,71 | 58,49 | 58,17 | 58,52 | 48,67 | 48,87 | 58,18 |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |   |     |  |

Tableau III-25 suite

| Ech.  | D24M3     |       |       |       |        |        |        |        |       |        |        |
|-------|-----------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
|       | N Analyse |       | 3     | 5     | 6      | 7      | 27     | 29     | 30    | 31     | 32     |
|       | b         | b     | c     | b     | b      | b      | b      | c      | c     | b      | c      |
| SiO2  | 54,45     | 54,22 | 53,10 | 54,52 | 54,61  | 51,75  | 49,60  | 56,20  | 54,10 | 53,60  | 53,60  |
| TiO2  | 0,03      | 0,02  | 0,02  | 0,13  | 0,03   | 0,02   | 0,00   | 0,04   | 0,04  | 0,00   | 0,00   |
| Al2O3 | 27,44     | 27,90 | 28,53 | 27,74 | 28,17  | 30,00  | 31,20  | 27,10  | 27,99 | 27,45  | 27,45  |
| FeO   | 0,59      | 0,50  | 0,45  | 0,51  | 0,70   | 0,69   | 0,76   | 0,56   | 0,62  | 0,45   | 0,45   |
| MnO   | 0,00      | 0,13  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,02   |
| MgO   | 0,10      | 0,07  | 0,12  | 0,07  | 0,13   | 0,06   | 0,13   | 0,05   | 0,06  | 0,12   | 0,12   |
| CaO   | 10,70     | 10,50 | 11,40 | 10,49 | 11,19  | 13,25  | 14,90  | 9,60   | 11,05 | 10,00  | 10,00  |
| Na2O  | 5,74      | 5,40  | 4,92  | 5,23  | 5,10   | 4,09   | 3,25   | 6,20   | 5,33  | 6,13   | 6,13   |
| K2O   | 0,30      | 0,24  | 0,21  | 0,20  | 0,24   | 0,13   | 0,09   | 0,35   | 0,25  | 0,26   | 0,26   |
| Cr2O3 | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   |
| TOTAL | 99,45     | 99,14 | 98,92 | 98,97 | 100,25 | 100,00 | 100,01 | 100,19 | 99,72 | 100,03 | 100,03 |
| Si4+  | 2,405     | 2,475 | 2,436 | 2,400 | 2,460  | 2,337  | 2,274  | 2,535  | 2,464 | 2,511  | 2,511  |
| Ti4+  | 0,002     | 0,001 | 0,001 | 0,004 | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,001  | 0,001 | 0,000  | 0,000  |
| Al3+  | 1,475     | 1,501 | 1,541 | 1,492 | 1,501  | 1,615  | 1,606  | 1,439  | 1,501 | 1,462  | 1,462  |
| Fe2+  | 0,022     | 0,019 | 0,017 | 0,020 | 0,026  | 0,026  | 0,029  | 0,021  | 0,024 | 0,017  | 0,017  |
| Mn2+  | 0,000     | 0,005 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,001  | 0,001  |
| Mg2+  | 0,007     | 0,005 | 0,000 | 0,005 | 0,009  | 0,004  | 0,009  | 0,004  | 0,004 | 0,000  | 0,000  |
| Ca2+  | 0,527     | 0,510 | 0,564 | 0,513 | 0,542  | 0,647  | 0,736  | 0,463  | 0,530 | 0,484  | 0,484  |
| Na+   | 0,500     | 0,406 | 0,437 | 0,463 | 0,454  | 0,361  | 0,209  | 0,541  | 0,400 | 0,537  | 0,537  |
| K+    | 0,010     | 0,014 | 0,012 | 0,016 | 0,014  | 0,000  | 0,005  | 0,020  | 0,015 | 0,015  | 0,015  |
| Cr3+  | 0,000     | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  |
| TOTAL | 5,041     | 5,023 | 5,017 | 5,001 | 5,015  | 5,019  | 5,029  | 5,025  | 5,035 | 5,034  | 5,034  |
| AB    | 40,3      | 47,7  | 43,2  | 46,7  | 44,9   | 35,5   | 20,1   | 52,0   | 46,9  | 51,0   | 51,0   |
| OR    | 1,7       | 1,4   | 1,2   | 1,6   | 1,4    | 0,0    | 0,5    | 2,0    | 1,4   | 1,5    | 1,5    |
| AN    | 50,1      | 50,9  | 55,6  | 51,7  | 53,7   | 63,7   | 71,4   | 45,2   | 51,7  | 46,7   | 46,7   |

| Ech.  | N analyse |       |       |        |       |
|-------|-----------|-------|-------|--------|-------|
|       | 42        | 44    | 52    | 54     | 56    |
|       | b         | c     | a     | a      | a     |
| SiO2  | 55,26     | 56,00 | 56,07 | 57,59  | 58,46 |
| TiO2  | 0,10      | 0,00  | 0,00  | 0,03   | 0,01  |
| Al2O3 | 26,99     | 27,02 | 26,93 | 25,44  | 24,51 |
| FeO   | 0,60      | 0,45  | 0,71  | 0,77   | 0,70  |
| MnO   | 0,00      | 0,13  | 0,00  | 0,00   | 0,10  |
| MgO   | 0,05      | 0,09  | 0,06  | 0,03   | 0,04  |
| CaO   | 9,07      | 9,55  | 9,79  | 0,26   | 7,13  |
| Na2O  | 5,70      | 5,94  | 5,90  | 7,02   | 7,57  |
| K2O   | 0,47      | 0,35  | 0,41  | 0,77   | 0,70  |
| Cr2O3 | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,12   | 0,02  |
| Total | 99,09     | 99,53 | 99,09 | 100,02 | 99,30 |
| Si    | 2,520     | 2,537 | 2,535 | 2,600  | 2,650 |
| Ti    | 0,003     | 0,000 | 0,000 | 0,001  | 0,000 |
| Al    | 1,451     | 1,443 | 1,436 | 1,354  | 1,310 |
| Fe    | 0,023     | 0,017 | 0,027 | 0,029  | 0,027 |
| Mn    | 0,000     | 0,005 | 0,000 | 0,000  | 0,004 |
| Mg    | 0,003     | 0,006 | 0,004 | 0,002  | 0,003 |
| Ca    | 0,402     | 0,463 | 0,474 | 0,400  | 0,346 |
| Na    | 0,500     | 0,522 | 0,510 | 0,615  | 0,665 |
| K     | 0,020     | 0,020 | 0,024 | 0,044  | 0,045 |
| Cr    | 0,000     | 0,000 | 0,000 | 0,004  | 0,001 |
| TOTAL | 5,019     | 5,013 | 5,010 | 5,049  | 5,050 |
| AB    | 49,9      | 51,9  | 50,9  | 50,1   | 62,9  |
| OR    | 2,7       | 2,0   | 2,4   | 4,2    | 4,3   |
| AN    | 47,4      | 46,1  | 46,7  | 37,0   | 32,0  |

Tableau III-25 suite

| Ech.  | D21M7     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
|       | N Analyse |       | 177   | 184   | 188   | 198   | 191   | 193   | 204   | 197   | 198   | 199 |
|       | c         | b     | c     | c     | c     | b     | c     | a     | a     | a     | a     | a   |
| SiO2  | 48,45     | 49,79 | 46,11 | 47,86 | 47,35 | 51,89 | 58,32 | 48,36 | 48,82 | 51,28 | 47,47 |     |
| TiO2  | 0,88      | 0,86  | 0,88  | 0,84  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,85  | 0,81  | 0,88  | 0,88  |     |
| Al2O3 | 51,53     | 50,18 | 53,16 | 51,96 | 51,94 | 28,77 | 29,54 | 51,88 | 58,25 | 28,67 | 51,86 |     |
| FeO   | 0,96      | 0,93  | 0,96  | 0,86  | 0,78  | 0,93  | 0,96  | 0,81  | 1,18  | 1,17  | 0,79  |     |
| MnO   | 0,81      | 0,85  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,81  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,88  |     |
| MgO   | 0,15      | 0,25  | 0,21  | 0,22  | 0,24  | 0,26  | 0,38  | 0,32  | 0,31  | 0,24  | 0,23  |     |
| CaO   | 15,63     | 14,96 | 17,38 | 16,25 | 16,89 | 14,14 | 14,67 | 15,49 | 15,73 | 15,94 | 16,11 |     |
| Na2O  | 2,28      | 2,89  | 1,59  | 2,28  | 2,22  | 3,17  | 3,17  | 2,57  | 2,68  | 3,51  | 2,18  |     |
| K2O   | 0,87      | 0,13  | 0,88  | 0,86  | 0,88  | 0,18  | 0,11  | 0,89  | 0,82  | 0,14  | 0,85  |     |
| Cr2O3 | 0,87      | 0,81  | 0,88  | 0,88  | 0,88  | 0,87  | 0,88  | 0,83  | 0,88  | 0,88  | 0,11  |     |
| TOTAL | 99,17     | 99,17 | 98,92 | 99,34 | 98,82 | 99,82 | 99,28 | 98,73 | 98,14 | 98,95 | 98,98 |     |
| Si4+  | 2,243     | 2,382 | 2,148 | 2,215 | 2,212 | 2,362 | 2,331 | 2,258 | 2,254 | 2,371 | 2,289 |     |
| Ti4+  | 0,888     | 0,882 | 0,888 | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,882 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |     |
| Al3+  | 1,721     | 1,641 | 1,822 | 1,744 | 1,732 | 1,568 | 1,687 | 1,788 | 1,788 | 1,563 | 1,748 |     |
| Fe2+  | 0,837     | 0,836 | 0,822 | 0,826 | 0,827 | 0,836 | 0,837 | 0,831 | 0,843 | 0,845 | 0,831 |     |
| Mn2+  | 0,888     | 0,882 | 0,888 | 0,883 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 |     |
| Mg2+  | 0,811     | 0,817 | 0,815 | 0,815 | 0,816 | 0,818 | 0,828 | 0,822 | 0,822 | 0,816 | 0,816 |     |
| Ca2+  | 0,775     | 0,741 | 0,863 | 0,886 | 0,882 | 0,788 | 0,725 | 0,772 | 0,791 | 0,698 | 0,883 |     |
| Na+   | 0,284     | 0,259 | 0,144 | 0,197 | 0,288 | 0,328 | 0,285 | 0,232 | 0,244 | 0,314 | 0,197 |     |
| K+    | 0,884     | 0,888 | 0,888 | 0,884 | 0,885 | 0,811 | 0,887 | 0,886 | 0,881 | 0,888 | 0,883 |     |
| Cr3+  | 0,883     | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,888 | 0,883 | 0,888 | 0,881 | 0,888 | 0,888 | 0,884 |     |
| TOTAL | 4,999     | 5,889 | 5,813 | 5,812 | 5,815 | 5,818 | 5,811 | 5,817 | 5,838 | 5,889 | 5,815 |     |
| RB    | 28,8      | 25,7  | 14,3  | 19,6  | 19,9  | 31,1  | 27,9  | 23,8  | 23,5  | 31,8  | 19,6  |     |
| DR    | 8,4       | 8,8   | 8,8   | 8,4   | 8,5   | 1,8   | 8,7   | 8,6   | 8,1   | 8,8   | 8,3   |     |
| RN    | 78,8      | 73,5  | 85,7  | 88,8  | 79,6  | 67,9  | 71,4  | 76,5  | 76,4  | 68,1  | 88,1  |     |

| Ech.  | D19M1     |        |        |       |        |        |        |        |        |        |        |        |       |    |
|-------|-----------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|----|
|       | N Analyse |        | 63     | 64    | 66     | 67     | 68     | 69     | 78     | 76     | 78     | 79     | 88    | 81 |
|       | c         | b      | i      | c     | c      | b      | c      | b      | i      | c      | b      | a      | a     |    |
| SiO2  | 46,79     | 47,56  | 47,88  | 48,21 | 48,42  | 48,88  | 49,33  | 58,65  | 48,65  | 48,79  | 58,61  | 58,73  | 52,26 |    |
| TiO2  | 0,85      | 0,85   | 0,88   | 0,81  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,85   | 0,85   | 0,88   | 0,88   | 0,81   | 0,82  |    |
| Al2O3 | 34,27     | 33,14  | 33,57  | 32,37 | 32,77  | 32,51  | 32,33  | 38,81  | 33,41  | 32,61  | 31,38  | 31,29  | 29,28 |    |
| FeO   | 0,55      | 0,78   | 0,48   | 0,42  | 0,68   | 0,68   | 0,61   | 0,82   | 0,57   | 0,69   | 0,68   | 0,65   | 0,94  |    |
| MnO   | 0,87      | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,85   | 0,89   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,84   | 0,88   | 0,88   | 0,88  |    |
| MgO   | 0,18      | 0,13   | 0,21   | 0,17  | 0,24   | 0,23   | 0,28   | 0,33   | 0,21   | 0,22   | 0,22   | 0,18   | 0,21  |    |
| CaO   | 17,97     | 17,32  | 17,15  | 16,42 | 16,17  | 16,16  | 15,68  | 14,93  | 16,85  | 16,24  | 14,81  | 14,22  | 12,38 |    |
| Na2O  | 1,22      | 1,59   | 1,68   | 2,83  | 2,38   | 2,18   | 2,42   | 2,79   | 2,85   | 2,14   | 2,56   | 2,92   | 4,39  |    |
| K2O   | 0,85      | 0,82   | 0,85   | 0,86  | 0,88   | 0,83   | 0,18   | 0,87   | 0,88   | 0,88   | 0,13   | 0,14   | 0,22  |    |
| Cr2O3 | 0,88      | 0,88   | 0,81   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,85   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  |    |
| TOTAL | 181,83    | 188,51 | 188,23 | 99,69 | 188,63 | 188,68 | 188,61 | 188,38 | 181,87 | 188,79 | 188,31 | 188,43 | 99,62 |    |
| Si4+  | 2,135     | 2,178  | 2,161  | 2,218 | 2,218  | 2,225  | 2,246  | 2,388  | 2,285  | 2,222  | 2,382  | 2,385  | 2,398 |    |
| Ti4+  | 0,881     | 0,882  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,882  | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881 |    |
| Al3+  | 1,843     | 1,789  | 1,817  | 1,756 | 1,763  | 1,748  | 1,734  | 1,635  | 1,785  | 1,738  | 1,678  | 1,676  | 1,574 |    |
| Fe2+  | 0,821     | 0,827  | 0,818  | 0,816 | 0,823  | 0,823  | 0,823  | 0,831  | 0,822  | 0,826  | 0,826  | 0,832  | 0,836 |    |
| Mn2+  | 0,883     | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,882  | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,888 |    |
| Mg2+  | 0,887     | 0,889  | 0,814  | 0,812 | 0,816  | 0,816  | 0,814  | 0,816  | 0,814  | 0,815  | 0,815  | 0,812  | 0,814 |    |
| Ca2+  | 0,878     | 0,858  | 0,843  | 0,889 | 0,791  | 0,789  | 0,761  | 0,724  | 0,788  | 0,792  | 0,722  | 0,692  | 0,687 |    |
| Na+   | 0,188     | 0,141  | 0,158  | 0,181 | 0,284  | 0,193  | 0,214  | 0,246  | 0,188  | 0,189  | 0,226  | 0,257  | 0,389 |    |
| K+    | 0,882     | 0,881  | 0,883  | 0,884 | 0,885  | 0,882  | 0,886  | 0,884  | 0,883  | 0,883  | 0,888  | 0,888  | 0,813 |    |
| Cr3+  | 0,888     | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,882  | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,883  | 0,888 |    |
| TOTAL | 4,998     | 4,997  | 5,887  | 4,996 | 5,813  | 4,998  | 4,997  | 4,988  | 4,993  | 4,999  | 4,976  | 4,987  | 5,824 |    |
| RB    | 18,9      | 14,2   | 15,8   | 18,2  | 28,4   | 19,6   | 21,8   | 25,3   | 18,7   | 19,2   | 23,6   | 26,9   | 38,6  |    |
| DR    | 8,2       | 8,1    | 8,3    | 8,4   | 8,5    | 8,2    | 8,6    | 8,4    | 8,5    | 8,4    | 8,8    | 8,8    | 1,3   |    |
| RN    | 88,9      | 85,7   | 84,7   | 81,4  | 79,2   | 88,2   | 77,6   | 74,3   | 88,8   | 88,5   | 73,6   | 72,3   | 68,1  |    |

| Ech.  | D21M1     |        |       |        |        |       |        |        |        |       |       |        |       |     |
|-------|-----------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-----|
|       | N Analyse |        | 84    | 85     | 87     | 95    | 98     | 182    | 183    | 184   | 185   | 186    | 187   | 188 |
|       | a         | a      | a     | c      | b      | c     | b      | c      | c      | b     | c     | b      | c     | c   |
| SiO2  | 51,88     | 49,88  | 49,88 | 45,79  | 58,38  | 47,85 | 46,21  | 46,72  | 45,63  | 58,64 | 45,53 | 49,31  | 46,66 |     |
| TiO2  | 0,84      | 0,81   | 0,82  | 0,82   | 0,88   | 0,88  | 0,81   | 0,88   | 0,88   | 0,84  | 0,84  | 0,86   | 0,88  |     |
| Al2O3 | 38,48     | 32,35  | 31,21 | 34,27  | 38,83  | 32,49 | 33,24  | 33,29  | 33,93  | 29,67 | 34,81 | 31,59  | 32,94 |     |
| FeO   | 1,83      | 0,76   | 0,81  | 0,73   | 0,89   | 0,72  | 1,17   | 0,77   | 0,78   | 1,12  | 0,41  | 0,73   | 0,68  |     |
| MnO   | 0,84      | 0,88   | 0,85  | 0,82   | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,82  | 0,82   | 0,88  |     |
| MgO   | 0,22      | 0,21   | 0,32  | 0,14   | 0,23   | 0,12  | 0,31   | 0,16   | 0,88   | 0,17  | 0,89  | 0,28   | 0,15  |     |
| CaO   | 13,48     | 14,76  | 14,24 | 18,34  | 15,18  | 17,46 | 17,92  | 18,28  | 18,67  | 14,63 | 18,69 | 15,87  | 17,96 |     |
| Na2O  | 3,42      | 2,78   | 2,93  | 1,27   | 3,16   | 1,68  | 1,26   | 1,51   | 1,31   | 3,39  | 1,18  | 2,86   | 1,52  |     |
| K2O   | 0,15      | 0,11   | 0,15  | 0,86   | 0,25   | 0,19  | 0,24   | 0,11   | 0,86   | 0,26  | 0,84  | 0,23   | 0,86  |     |
| Cr2O3 | 0,88      | 0,88   | 0,88  | 0,88   | 0,88   | 0,88  | 0,81   | 0,81   | 0,88   | 0,82  | 0,84  | 0,88   | 0,88  |     |
| TOTAL | 99,78     | 188,76 | 99,63 | 188,64 | 188,84 | 99,71 | 188,37 | 188,98 | 188,49 | 99,98 | 99,88 | 188,85 | 99,98 |     |
| Si4+  | 2,334     | 2,263  | 2,285 | 2,186  | 2,298  | 2,178 | 2,134  | 2,142  | 2,185  | 2,326 | 2,187 | 2,249  | 2,156 |     |
| Ti4+  | 0,881     | 0,888  | 0,881 | 0,881  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881 | 0,881 | 0,882  | 0,888 |     |
| Al3+  | 1,648     | 1,725  | 1,689 | 1,858  | 1,635  | 1,773 | 1,818  | 1,799  | 1,846  | 1,686 | 1,635 | 1,699  | 1,794 |     |
| Fe2+  | 0,839     | 0,825  | 0,831 | 0,828  | 0,834  | 0,828 | 0,845  | 0,838  | 0,827  | 0,843 | 0,816 | 0,828  | 0,823 |     |
| Mn2+  | 0,882     | 0,888  | 0,882 | 0,881  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,888  | 0,888  | 0,881 | 0,881 | 0,888  | 0,888 |     |
| Mg2+  | 0,815     | 0,814  | 0,822 | 0,818  | 0,816  | 0,888 | 0,821  | 0,811  | 0,885  | 0,812 | 0,886 | 0,814  | 0,818 |     |
| Ca2+  | 0,657     | 0,718  | 0,788 | 0,984  | 0,741  | 0,866 | 0,887  | 0,898  | 0,923  | 0,721 | 0,926 | 0,776  | 0,889 |     |
| Na+   | 0,383     | 0,245  | 0,261 | 0,113  | 0,279  | 0,151 | 0,113  | 0,134  | 0,117  | 0,382 | 0,899 | 0,253  | 0,136 |     |
| K+    | 0,889     | 0,886  | 0,889 | 0,884  | 0,815  | 0,811 | 0,814  | 0,886  | 0,884  | 0,815 | 0,882 | 0,813  | 0,884 |     |
| Cr3+  | 0,888     | 0,888  | 0,883 | 0,888  | 0,888  | 0,888 | 0,888  | 0,883  | 0,883  | 0,881 | 0,881 | 0,888  | 0,883 |     |
| TOTAL | 5,881     | 5,888  | 5,883 | 5,823  | 5,829  | 5,816 | 5,824  | 5,826  | 5,831  | 5,828 | 5,814 | 5,833  | 5,815 |     |
| RB    | 31,3      | 25,3   | 26,9  | 11,1   | 27,8   | 14,7  | 11,1   | 12,9   | 11,2   | 29,1  | 9,6   | 24,3   | 13,2  |     |
| DR    | 8,9       | 8,7    | 8,9   | 8,3    | 1,4    | 1,1   | 1,4    | 8,6    | 8,5    | 1,5   | 8,2   | 1,5    | 8,3   |     |
| RN    | 67,8      | 74,1   | 72,2  | 88,6   | 71,6   | 84,2  | 87,5   | 86,5   | 88,4   | 69,5  | 98,2  | 74,4   | 86,4  |     |

Tableau III-25 suite

| Ech.      | N Analyse |        |        |        |        |        |        | D16M1 |       |       |       |       |        |  |
|-----------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--|
|           | 110       | 111    | 100    | 113    | 114    | 115    | 129    | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7      |  |
|           | b         | b      | inc    | a      | a      | a      | a      | c     | b     | c     | b     | c     | b      |  |
| SiO2      | 50,38     | 50,33  | 53,27  | 51,43  | 50,01  | 46,39  | 54,52  | 54,30 | 53,03 | 55,31 | 53,19 | 53,02 | 53,70  |  |
| TiO2      | 0,00      | 0,00   | 0,12   | 0,04   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01   |  |
| Al2O3     | 30,69     | 30,34  | 19,91  | 29,65  | 30,34  | 34,06  | 27,61  | 27,66 | 20,52 | 27,41 | 20,71 | 20,05 | 20,17  |  |
| FeO       | 0,93      | 0,02   | 0,53   | 0,91   | 1,09   | 0,07   | 1,47   | 1,10  | 0,70  | 0,92  | 1,00  | 0,91  | 1,05   |  |
| MnO       | 0,14      | 0,04   | 0,17   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,10   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   |  |
| MgO       | 0,16      | 0,21   | 3,54   | 0,21   | 0,12   | 0,07   | 0,40   | 0,20  | 0,16  | 0,11  | 0,10  | 0,10  | 0,15   |  |
| CaO       | 14,66     | 14,93  | 9,01   | 14,44  | 14,50  | 10,23  | 11,30  | 10,05 | 12,03 | 10,33 | 11,06 | 11,21 | 12,26  |  |
| Na2O      | 3,52      | 3,00   | 3,91   | 3,52   | 3,30   | 1,51   | 4,00   | 4,66  | 4,26  | 0,20  | 4,39  | 4,44  | 4,24   |  |
| K2O       | 0,20      | 0,23   | 0,40   | 0,31   | 0,22   | 0,13   | 0,65   | 0,40  | 0,36  | 0,53  | 0,33  | 0,37  | 0,36   |  |
| Cr-2O3    | 0,07      | 0,21   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,12  | 0,00   |  |
| TOTAL     | 100,00    | 100,11 | 99,74  | 100,51 | 99,66  | 101,07 | 100,00 | 99,25 | 99,14 | 99,91 | 99,67 | 99,05 | 100,11 |  |
| Si4+      | 2,296     | 2,305  | 2,520  | 2,344  | 2,303  | 2,124  | 2,464  | 2,479 | 2,429 | 2,506 | 2,426 | 2,462 | 2,444  |  |
| Ti4+      | 0,000     | 0,000  | 0,004  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000  |  |
| Al3+      | 1,649     | 1,630  | 1,111  | 1,593  | 1,647  | 1,830  | 1,471  | 1,409 | 1,540 | 1,464 | 1,544 | 1,515 | 1,509  |  |
| Fe2+      | 0,035     | 0,031  | 0,330  | 0,035  | 0,042  | 0,033  | 0,036  | 0,042 | 0,030 | 0,035 | 0,030 | 0,033 | 0,040  |  |
| Mn2+      | 0,000     | 0,000  | 0,007  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,004  | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,003  |  |
| Mg2+      | 0,011     | 0,014  | 0,250  | 0,014  | 0,008  | 0,005  | 0,027  | 0,014 | 0,011 | 0,007 | 0,007 | 0,007 | 0,010  |  |
| Ca2+      | 0,716     | 0,733  | 0,497  | 0,705  | 0,719  | 0,094  | 0,547  | 0,531 | 0,590 | 0,502 | 0,500 | 0,549 | 0,597  |  |
| Na+       | 0,311     | 0,266  | 0,359  | 0,311  | 0,295  | 0,116  | 0,421  | 0,412 | 0,370 | 0,457 | 0,300 | 0,394 | 0,374  |  |
| K+        | 0,012     | 0,013  | 0,029  | 0,010  | 0,013  | 0,000  | 0,037  | 0,023 | 0,021 | 0,031 | 0,019 | 0,022 | 0,021  |  |
| Cr-3+     | 0,003     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,004 | 0,000  |  |
| TOTAL     | 5,030     | 5,011  | 5,114  | 5,022  | 5,027  | 5,019  | 5,020  | 4,992 | 5,000 | 5,000 | 5,003 | 4,986 | 4,990  |  |
| RB        | 29,9      | 26,3   | 40,5   | 30,1   | 20,7   | 11,4   | 41,0   | 42,7  | 30,2  | 46,1  | 39,3  | 40,0  | 37,7   |  |
| OR        | 1,1       | 1,3    | 3,3    | 1,7    | 1,3    | 0,7    | 3,7    | 2,4   | 2,1   | 3,1   | 1,9   | 2,2   | 2,1    |  |
| RN        | 60,9      | 72,4   | 56,2   | 60,2   | 70,1   | 87,0   | 54,4   | 54,9  | 59,7  | 50,0  | 58,7  | 56,9  | 60,2   |  |
| N Analyse | 0         | 9      | 10     | 43     | 44     | 45     | 46     | 47    | 48    | 49    | 50    | 51    | 52     |  |
|           | c         | b      | c      | c      | b      | c      | b      | b     | b     | i     | b     | c     | b      |  |
| SiO2      | 55,10     | 54,31  | 52,96  | 54,62  | 53,91  | 54,57  | 54,63  | 51,50 | 52,77 | 52,77 | 51,55 | 53,00 | 50,32  |  |
| TiO2      | 0,06      | 0,05   | 0,02   | 0,03   | 0,00   | 0,01   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03   |  |
| Al2O3     | 27,57     | 20,75  | 20,53  | 20,12  | 20,71  | 27,07  | 27,33  | 29,39 | 20,02 | 20,92 | 29,72 | 20,00 | 30,42  |  |
| FeO       | 0,09      | 1,00   | 0,01   | 0,71   | 0,00   | 0,66   | 1,21   | 0,71  | 1,03  | 0,96  | 0,00  | 1,03  | 1,31   |  |
| MnO       | 0,00      | 0,05   | 0,00   | 0,07   | 0,03   | 0,00   | 0,01   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00   |  |
| MgO       | 0,11      | 0,09   | 0,11   | 0,16   | 0,10   | 0,15   | 0,10   | 0,15  | 0,13  | 0,10  | 0,11  | 0,10  | 0,14   |  |
| CaO       | 10,90     | 11,00  | 12,00  | 11,66  | 12,06  | 11,69  | 11,36  | 13,50 | 12,64 | 12,71 | 13,60 | 12,03 | 14,50  |  |
| Na2O      | 4,70      | 4,22   | 4,23   | 4,42   | 4,26   | 4,50   | 4,75   | 3,57  | 4,01  | 3,79  | 3,57  | 4,40  | 3,01   |  |
| K2O       | 0,36      | 0,27   | 0,35   | 0,41   | 0,41   | 0,33   | 0,44   | 0,27  | 0,31  | 0,20  | 0,26  | 0,41  | 0,19   |  |
| Cr-2O3    | 0,07      | 0,02   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,02  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03   |  |
| TOTAL     | 99,04     | 100,62 | 99,09  | 100,20 | 100,20 | 99,91  | 99,03  | 99,11 | 99,71 | 99,50 | 99,01 | 99,12 | 99,97  |  |
| Si4+      | 2,499     | 2,447  | 2,420  | 2,469  | 2,440  | 2,474  | 2,406  | 2,369 | 2,410 | 2,410 | 2,350 | 2,433 | 2,300  |  |
| Ti4+      | 0,002     | 0,002  | 0,001  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001  |  |
| Al3+      | 1,472     | 1,527  | 1,542  | 1,499  | 1,532  | 1,490  | 1,466  | 1,594 | 1,532 | 1,557 | 1,603 | 1,517 | 1,640  |  |
| Fe2+      | 0,034     | 0,030  | 0,031  | 0,027  | 0,030  | 0,025  | 0,046  | 0,027 | 0,030 | 0,037 | 0,034 | 0,040 | 0,050  |  |
| Mn2+      | 0,000     | 0,001  | 0,000  | 0,003  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 | 0,000  |  |
| Mg2+      | 0,007     | 0,006  | 0,000  | 0,011  | 0,007  | 0,010  | 0,007  | 0,010 | 0,009 | 0,007 | 0,007 | 0,012 | 0,010  |  |
| Ca2+      | 0,529     | 0,574  | 0,593  | 0,565  | 0,565  | 0,560  | 0,534  | 0,663 | 0,610 | 0,622 | 0,667 | 0,593 | 0,713  |  |
| Na+       | 0,413     | 0,369  | 0,376  | 0,397  | 0,374  | 0,403  | 0,419  | 0,310 | 0,353 | 0,336 | 0,317 | 0,392 | 0,260  |  |
| K+        | 0,021     | 0,016  | 0,020  | 0,024  | 0,024  | 0,020  | 0,026  | 0,016 | 0,010 | 0,016 | 0,015 | 0,024 | 0,011  |  |
| Cr-3+     | 0,003     | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,002  |  |
| TOTAL     | 4,979     | 4,979  | 4,999  | 4,906  | 4,993  | 4,991  | 5,004  | 5,001 | 5,001 | 4,906 | 5,005 | 5,015 | 5,007  |  |
| RB        | 42,9      | 30,5   | 30,0   | 39,7   | 30,1   | 40,6   | 42,0   | 31,9  | 35,0  | 34,5  | 31,7  | 30,0  | 27,0   |  |
| OR        | 2,2       | 1,6    | 2,1    | 2,4    | 2,4    | 2,0    | 2,6    | 1,6   | 1,0   | 1,7   | 1,5   | 2,4   | 1,1    |  |
| RN        | 55,0      | 59,9   | 59,9   | 57,9   | 59,5   | 57,3   | 53,5   | 66,6  | 62,4  | 63,9  | 66,0  | 50,0  | 71,9   |  |
| N Analyse | 53        | 11     | 12     | 54     | 120    | 121    | 122    | 123   | 124   | 127   | 126   | 129   |        |  |
|           | c         | a      | a      | a      | i      | i      | b      | c     | b     | c     | b     | c     |        |  |
| SiO2      | 54,21     | 56,12  | 54,61  | 57,07  | 40,49  | 40,04  | 40,90  | 47,23 | 40,34 | 47,44 | 47,31 | 52,70 |        |  |
| TiO2      | 0,00      | 0,01   | 0,12   | 0,12   | 0,04   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,02  |        |  |
| Al2O3     | 27,07     | 26,73  | 27,56  | 26,01  | 32,22  | 31,93  | 32,07  | 32,97 | 32,41 | 33,46 | 33,05 | 29,54 |        |  |
| FeO       | 0,01      | 1,14   | 1,04   | 1,20   | 0,56   | 0,04   | 0,59   | 0,50  | 0,57  | 0,64  | 0,55  | 0,61  |        |  |
| MnO       | 0,09      | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |        |  |
| MgO       | 0,16      | 0,12   | 0,14   | 0,16   | 0,07   | 0,00   | 0,01   | 0,03  | 0,00  | 0,07  | 0,04  | 0,04  |        |  |
| CaO       | 11,50     | 10,50  | 11,26  | 9,41   | 15,94  | 15,57  | 16,26  | 16,64 | 15,96 | 16,57 | 16,36 | 12,67 |        |  |
| Na2O      | 4,50      | 5,10   | 4,94   | 5,49   | 2,34   | 2,43   | 2,14   | 1,07  | 2,10  | 1,74  | 1,76  | 4,06  |        |  |
| K2O       | 0,37      | 0,47   | 0,45   | 0,52   | 0,02   | 0,00   | 0,04   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,03  |        |  |
| Cr-2O3    | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,00  |        |  |
| TOTAL     | 99,31     | 100,07 | 100,12 | 100,01 | 99,60  | 99,73  | 100,05 | 99,40 | 99,40 | 99,96 | 99,17 | 99,77 |        |  |
| Si4+      | 2,469     | 2,536  | 2,477  | 2,500  | 2,230  | 2,244  | 2,223  | 2,104 | 2,227 | 2,179 | 2,109 | 2,400 |        |  |
| Ti4+      | 0,000     | 0,000  | 0,004  | 0,004  | 0,010  | 0,002  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001 |        |  |
| Al3+      | 1,497     | 1,424  | 1,474  | 1,371  | 1,747  | 1,730  | 1,761  | 1,797 | 1,760 | 1,812 | 1,803 | 1,504 |        |  |
| Fe2+      | 0,031     | 0,043  | 0,039  | 0,045  | 0,022  | 0,032  | 0,022  | 0,022 | 0,022 | 0,025 | 0,021 | 0,023 |        |  |
| Mn2+      | 0,000     | 0,000  | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |        |  |
| Mg2+      | 0,011     | 0,000  | 0,009  | 0,011  | 0,005  | 0,005  | 0,001  | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |        |  |
| Ca2+      | 0,561     | 0,503  | 0,547  | 0,451  | 0,705  | 0,767  | 0,792  | 0,624 | 0,700 | 0,616 | 0,611 | 0,617 |        |  |
| Na+       | 0,397     | 0,447  | 0,430  | 0,476  | 0,209  | 0,217  | 0,109  | 0,100 | 0,100 | 0,153 | 0,150 | 0,350 |        |  |
| K+        | 0,022     | 0,027  | 0,026  | 0,030  | 0,001  | 0,000  | 0,002  | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,003 |        |  |
| Cr-3+     | 0,000     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |        |  |
| TOTAL     | 4,992     | 4,900  | 5,012  | 4,976  | 5,000  | 4,997  | 4,991  | 5,001 | 4,900 | 4,993 | 4,900 | 4,900 |        |  |
| RB        | 40,5      | 45,0   | 43,1   | 49,0   | 21,0   | 22,0   | 19,2   | 16,9  | 19,2  | 15,9  | 16,3  | 36,6  |        |  |
| OR        | 2,2       | 2,0    | 2,6    | 3,1    | 0,1    | 0,0    | 0,2    | 0,0   | 0,0   | 0,2   | 0,1   | 0,3   |        |  |
| RN        | 57,3      | 51,5   | 54,3   | 47,1   | 70,9   | 70,0   | 00,6   | 03,1  | 00,0  | 03,9  | 03,7  | 63,1  |        |  |

Tableau III-25 suite

| Ech. D20M3 |        |       |        |        |        |       |        |       |       |       |        |
|------------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|
| N Analyse  | 130    | 148   | 149    | 150    | 151    | 186   | 131    | 132   | 179   | 189   | 190    |
|            | b      | c     | b      | c      | b      | c     | m      | m     | m     | m     | m      |
| SiO2       | 52,33  | 46,23 | 52,93  | 50,69  | 50,72  | 47,61 | 54,74  | 53,57 | 48,22 | 53,11 | 47,79  |
| TiO2       | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,00  | 0,01   | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,02   |
| Al2O3      | 29,54  | 32,29 | 29,59  | 31,64  | 31,20  | 32,53 | 28,36  | 28,61 | 32,27 | 29,39 | 32,86  |
| FeO        | 0,72   | 0,63  | 0,51   | 0,55   | 0,62   | 0,46  | 1,00   | 0,74  | 0,62  | 0,62  | 0,66   |
| MnO        | 0,15   | 0,09  | 0,00   | 0,00   | 0,06   | 0,04  | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,06  | 0,11   |
| MgO        | 0,06   | 0,04  | 0,00   | 0,00   | 0,06   | 0,00  | 0,14   | 0,15  | 0,06  | 0,04  | 0,10   |
| CaO        | 12,93  | 15,61 | 12,04  | 14,35  | 14,50  | 16,64 | 11,33  | 11,48 | 15,79 | 12,20 | 16,87  |
| Na2O       | 4,13   | 2,25  | 4,19   | 3,13   | 3,17   | 2,05  | 4,61   | 4,50  | 2,20  | 4,46  | 1,73   |
| K2O        | 0,10   | 0,03  | 0,00   | 0,04   | 0,03   | 0,05  | 0,07   | 0,11  | 0,00  | 0,04  | 0,04   |
| Cr2O3      | 0,09   | 0,00  | 0,13   | 0,00   | 0,04   | 0,00  | 0,03   | 0,00  | 0,11  | 0,01  | 0,00   |
| TOTAL      | 100,05 | 99,17 | 100,27 | 100,40 | 100,40 | 99,46 | 100,29 | 99,16 | 99,35 | 99,93 | 100,18 |
| Si4+       | 2,302  | 2,228 | 2,397  | 2,299  | 2,306  | 2,200 | 2,469  | 2,445 | 2,225 | 2,411 | 2,194  |
| Ti4+       | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,001  |
| Al3+       | 1,305  | 1,739 | 1,500  | 1,692  | 1,672  | 1,772 | 1,500  | 1,539 | 1,756 | 1,573 | 1,770  |
| Fe2+       | 0,027  | 0,024 | 0,019  | 0,021  | 0,024  | 0,010 | 0,030  | 0,020 | 0,024 | 0,024 | 0,025  |
| Mn2+       | 0,006  | 0,004 | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,002 | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,004  |
| Mg2+       | 0,004  | 0,003 | 0,000  | 0,000  | 0,004  | 0,006 | 0,009  | 0,010 | 0,004 | 0,003 | 0,007  |
| Ca2+       | 0,631  | 0,773 | 0,623  | 0,697  | 0,706  | 0,824 | 0,540  | 0,561 | 0,781 | 0,593 | 0,830  |
| Na+        | 0,365  | 0,202 | 0,360  | 0,275  | 0,279  | 0,104 | 0,403  | 0,390 | 0,197 | 0,393 | 0,154  |
| K+         | 0,006  | 0,002 | 0,000  | 0,002  | 0,002  | 0,003 | 0,004  | 0,006 | 0,000 | 0,002 | 0,002  |
| Cr3+       | 0,003  | 0,000 | 0,005  | 0,000  | 0,010  | 0,000 | 0,001  | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,000  |
| TOTAL      | 5,009  | 4,994 | 4,997  | 4,993  | 4,997  | 5,007 | 4,900  | 4,900 | 4,996 | 5,000 | 4,995  |
| AB         | 36,4   | 20,6  | 37,0   | 20,3   | 20,3   | 18,2  | 42,2   | 41,2  | 20,0  | 39,7  | 15,6   |
| OR         | 0,6    | 0,2   | 0,5    | 0,2    | 0,2    | 0,3   | 0,4    | 0,7   | 0,5   | 0,2   | 0,2    |
| RN         | 63,0   | 79,2  | 62,6   | 71,5   | 71,5   | 81,5  | 57,4   | 58,1  | 79,5  | 60,0  | 84,1   |

Tableau III-26 : Analyses chimiques des feldspaths potassiques des laves des fossés.  
*Microprobe analysis of potassic feldspars for troughs lavas.*

| Ech.      | D27M17 |       |       |       |        |       |       |       |       | D15M12 |       |       |
|-----------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
|           | 98     |       | 94    |       | 96     |       | 97    |       | 98    |        | 108   |       |
| N Analyse | b      | b     | b     | c     | c      | c     | b     | c     | c     | m      | m     | m     |
| SiO2      | 63,71  | 67,44 | 64,46 | 66,13 | 66,38  | 65,41 | 64,95 | 66,86 | 64,44 | 64,20  | 64,42 | 64,19 |
| TiO2      | 0,06   | 0,00  | 0,11  | 0,00  | 0,00   | 0,10  | 0,01  | 0,00  | 0,05  | 0,02   | 0,00  | 0,15  |
| Al2O3     | 18,64  | 17,71 | 20,51 | 18,58 | 18,26  | 18,63 | 18,83 | 18,66 | 19,39 | 17,95  | 18,84 | 18,18 |
| FeO       | 0,33   | 0,26  | 0,23  | 0,09  | 0,41   | 0,08  | 0,28  | 0,28  | 0,15  | 0,21   | 0,00  | 0,01  |
| MnO       | 0,00   | 0,00  | 0,00  | 0,07  | 0,00   | 0,00  | 0,03  | 0,04  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00  |
| MgO       | 0,00   | 0,02  | 0,00  | 0,00  | 0,06   | 0,02  | 0,06  | 0,00  | 0,07  | 0,00   | 0,00  | 0,00  |
| CaO       | 0,40   | 0,05  | 1,00  | 0,07  | 0,00   | 0,33  | 0,52  | 0,26  | 0,06  | 0,00   | 0,00  | 0,00  |
| Na2O      | 6,25   | 5,83  | 8,19  | 6,00  | 5,19   | 5,98  | 6,30  | 5,91  | 6,70  | 0,32   | 0,75  | 0,43  |
| K2O       | 8,19   | 8,28  | 4,25  | 8,98  | 9,94   | 8,52  | 8,16  | 8,54  | 7,55  | 17,03  | 16,29 | 16,19 |
| Cr2O3     | 0,01   | 0,11  | 0,06  | 0,00  | 0,12   | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00   | 0,00  | 0,00  |
| TOTAL     | 99,59  | 99,71 | 99,69 | 99,85 | 100,37 | 99,00 | 99,17 | 99,75 | 99,20 | 99,73  | 99,50 | 99,07 |
| Si4+      | 2,979  | 3,030 | 2,893 | 2,994 | 3,000  | 2,980 | 2,961 | 2,980 | 2,934 | 2,994  | 2,999 | 2,997 |
| Ti4+      | 0,002  | 0,000 | 0,004 | 0,000 | 0,000  | 0,003 | 0,000 | 0,000 | 0,002 | 0,001  | 0,000 | 0,005 |
| Al3+      | 0,996  | 0,941 | 1,005 | 0,907 | 0,973  | 1,001 | 1,012 | 0,995 | 1,041 | 0,907  | 0,990 | 0,996 |
| Fe2+      | 0,013  | 0,010 | 0,009 | 0,003 | 0,016  | 0,003 | 0,011 | 0,011 | 0,006 | 0,009  | 0,000 | 0,000 |
| Mn2+      | 0,000  | 0,000 | 0,000 | 0,003 | 0,000  | 0,000 | 0,002 | 0,001 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 |
| Mg2+      | 0,000  | 0,001 | 0,000 | 0,000 | 0,004  | 0,001 | 0,004 | 0,000 | 0,005 | 0,000  | 0,000 | 0,000 |
| Ca2+      | 0,020  | 0,003 | 0,090 | 0,003 | 0,000  | 0,016 | 0,025 | 0,013 | 0,042 | 0,000  | 0,000 | 0,000 |
| Na+       | 0,549  | 0,510 | 0,712 | 0,527 | 0,455  | 0,520 | 0,557 | 0,510 | 0,592 | 0,029  | 0,060 | 0,039 |
| K+        | 0,474  | 0,476 | 0,243 | 0,519 | 0,573  | 0,493 | 0,475 | 0,493 | 0,438 | 1,013  | 0,967 | 0,964 |
| Cr3+      | 0,000  | 0,004 | 0,002 | 0,000 | 0,004  | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,000 | 0,000 |
| TOTAL     | 5,032  | 4,982 | 5,030 | 5,036 | 5,025  | 5,020 | 5,040 | 5,019 | 5,059 | 5,033  | 5,024 | 5,002 |
| AB        | 52,7   | 51,6  | 60,1  | 50,2  | 44,5   | 50,8  | 52,7  | 50,6  | 55,2  | 2,0    | 6,5   | 3,9   |
| OR        | 45,5   | 48,2  | 23,2  | 49,5  | 55,7   | 47,7  | 44,9  | 48,2  | 40,9  | 97,2   | 93,5  | 96,1  |
| AN        | 1,9    | 0,3   | 0,7   | 0,5   | 0,0    | 1,5   | 2,4   | 1,2   | 3,9   | 0,0    | 0,0   | 0,0   |

Tableau III-27 : Analyses chimiques des titanomagnétites des laves des fossés.  
*Microprobe analysis of titanomagnetites for troughs lavas.*

| Ech.      | 07M2  |        |       | 06M1  | 03M1  |       |       | 01M1   |       |        |       |        |       |
|-----------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| N Analyse | 198   | 191    | 198   | 61    | 228   | 221   | 227   | 26     | 28    | 36     | 37    | 38     | 41    |
| SiO2      | 8,98  | 2,34   | 8,24  | 16,67 | 8,46  | 8,16  | 8,14  | 8,88   | 8,88  | 8,84   | 8,48  | 8,18   | 8,85  |
| TiO2      | 28,19 | 17,97  | 19,86 | 8,89  | 16,63 | 17,42 | 16,21 | 14,47  | 14,98 | 14,54  | 14,76 | 15,49  | 12,69 |
| Al2O3     | 1,69  | 2,29   | 1,27  | 4,86  | 2,32  | 2,63  | 3,11  | 2,18   | 2,88  | 2,14   | 0,57  | 1,86   | 2,18  |
| Fe2O3     | 26,44 | 29,92  | 27,47 | 38,33 | 33,78 | 33,88 | 24,28 | 48,83  | 38,83 | 48,28  | 39,93 | 38,55  | 37,73 |
| FeO       | 47,68 | 45,28  | 47,52 | 38,17 | 42,28 | 42,22 | 41,13 | 41,58  | 41,43 | 41,88  | 41,42 | 42,82  | 37,22 |
| MnO       | 8,86  | 8,73   | 8,83  | 8,32  | 8,39  | 8,59  | 8,43  | 1,81   | 1,81  | 0,61   | 0,99  | 1,24   | 0,83  |
| MgO       | 8,55  | 8,78   | 8,33  | 8,63  | 2,26  | 2,92  | 2,98  | 1,92   | 1,88  | 1,86   | 1,42  | 1,81   | 1,82  |
| CaO       | 8,35  | 8,67   | 8,33  | 8,73  | 8,21  | 8,18  | 8,89  | 8,87   | 8,88  | 8,88   | 8,13  | 8,88   | 6,98  |
| Na2O      | 8,17  | 8,49   | 8,12  | 1,88  | 8,11  | 8,11  | 8,88  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,22  | 8,81   | 8,12  |
| K2O       | 8,88  | 8,88   | 8,88  | 1,19  | 8,88  | 8,88  | 8,83  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,88  |
| Cr2O3     | 8,12  | 8,81   | 8,88  | 8,88  | 8,88  | 8,88  | 8,88  | 8,84   | 8,88  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,88  |
| TOTAL     | 98,96 | 188,48 | 97,97 | 94,88 | 98,36 | 99,16 | 98,32 | 182,83 | 99,97 | 181,28 | 99,86 | 181,17 | 99,61 |
| Si4+      | 8,29  | 8,68   | 8,87  | 4,55  | 8,14  | 8,85  | 8,84  | 8,88   | 8,88  | 8,81   | 8,12  | 8,83   | 8,81  |
| Ti4+      | 4,53  | 3,92   | 4,55  | 1,66  | 3,72  | 3,88  | 3,61  | 3,16   | 3,32  | 3,28   | 3,32  | 3,41   | 2,84  |
| Al3+      | 8,68  | 8,78   | 8,45  | 1,56  | 8,81  | 8,91  | 1,89  | 8,75   | 8,78  | 8,74   | 8,28  | 8,64   | 8,74  |
| Fe3+      | 5,94  | 6,53   | 6,38  | 6,23  | 7,55  | 7,38  | 7,62  | 8,92   | 8,66  | 8,85   | 8,98  | 8,49   | 8,44  |
| Fe2+      | 11,88 | 18,98  | 12,11 | 6,88  | 18,53 | 18,39 | 18,19 | 18,87  | 18,27 | 18,23  | 18,33 | 18,29  | 9,25  |
| Mn2+      | 8,22  | 8,18   | 8,22  | 8,87  | 8,18  | 8,15  | 8,11  | 8,25   | 8,25  | 8,15   | 8,25  | 8,31   | 8,21  |
| Mg2+      | 8,24  | 8,34   | 8,15  | 8,26  | 1,88  | 1,28  | 1,28  | 8,83   | 8,88  | 8,81   | 8,63  | 8,79   | 8,81  |
| Ca2+      | 8,11  | 8,21   | 8,11  | 8,21  | 8,87  | 8,83  | 8,83  | 8,82   | 8,88  | 8,88   | 8,84  | 8,83   | 2,22  |
| Na+       | 8,18  | 8,28   | 8,87  | 8,53  | 8,87  | 8,86  | 8,84  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,81  | 8,81   | 8,87  |
| K+        | 8,81  | 8,88   | 8,88  | 8,43  | 8,88  | 8,88  | 8,81  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,88  |
| Cr3+      | 8,83  | 8,88   | 8,88  | 8,88  | 8,88  | 8,88  | 8,88  | 8,81   | 8,88  | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,81  |
| TOTAL     | 23,94 | 23,89  | 24,83 | 22,37 | 23,99 | 24,82 | 24,82 | 24,88  | 24,88 | 23,99  | 24,83 | 23,99  | 24,59 |

| Ech.      | 01M8   |        |        |        |       |        |        |        |       |        |  |
|-----------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--|
| N Analyse | 138    | 139    | 148    | 142    | 168   | 163    | 164    | 176    | 188   | 187    |  |
|           | inc    | inc    | inc    | inc    | ap    | ap     | ap     | a      | a     | a      |  |
| SiO2      | 8,83   | 8,83   | 8,84   | 8,84   | 8,35  | 8,11   | 8,85   | 8,88   | 8,22  | 8,89   |  |
| TiO2      | 13,85  | 12,96  | 12,72  | 12,77  | 12,17 | 12,78  | 13,84  | 13,45  | 13,93 | 13,81  |  |
| Al2O3     | 2,37   | 2,27   | 2,22   | 2,18   | 2,64  | 2,28   | 2,17   | 1,59   | 1,45  | 1,76   |  |
| Fe2O3     | 43,17  | 46,88  | 43,18  | 43,58  | 48,79 | 42,81  | 43,98  | 42,17  | 36,21 | 42,72  |  |
| FeO       | 38,66  | 38,89  | 38,43  | 39,89  | 37,18 | 38,81  | 48,89  | 48,82  | 41,38 | 39,12  |  |
| MnO       | 1,86   | 8,77   | 1,84   | 1,88   | 8,94  | 8,76   | 8,91   | 8,97   | 1,15  | 1,19   |  |
| MgO       | 2,72   | 2,57   | 2,43   | 2,23   | 2,22  | 2,39   | 2,11   | 1,85   | 1,94  | 1,99   |  |
| CaO       | 8,88   | 8,81   | 8,18   | 8,82   | 8,16  | 8,88   | 8,88   | 8,88   | 8,82  | 8,88   |  |
| Na2O      | 8,88   | 8,88   | 8,81   | 8,88   | 8,82  | 8,16   | 8,18   | 8,87   | 8,12  | 8,45   |  |
| K2O       | 8,88   | 8,84   | 8,88   | 8,81   | 8,88  | 8,84   | 8,88   | 8,88   | 8,82  | 8,88   |  |
| Cr2O3     | 8,83   | 8,85   | 8,88   | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,88   | 8,88   | 8,88  | 8,87   |  |
| TOTAL     | 181,88 | 188,52 | 188,89 | 188,84 | 96,47 | 188,15 | 182,54 | 188,18 | 98,47 | 188,48 |  |
| Si4+      | 8,81   | 8,81   | 8,81   | 8,81   | 8,11  | 8,83   | 8,81   | 8,88   | 8,86  | 8,83   |  |
| Ti4+      | 2,86   | 2,86   | 2,82   | 2,82   | 2,79  | 2,83   | 2,83   | 3,88   | 3,68  | 2,89   |  |
| Al3+      | 8,81   | 8,79   | 8,77   | 8,73   | 8,95  | 8,79   | 8,74   | 8,55   | 8,52  | 8,61   |  |
| Fe3+      | 9,46   | 9,47   | 9,56   | 9,68   | 9,34  | 9,49   | 9,56   | 9,43   | 8,19  | 9,58   |  |
| Fe2+      | 9,41   | 9,54   | 9,48   | 9,38   | 9,47  | 9,56   | 9,68   | 9,94   | 18,48 | 9,67   |  |
| Mn2+      | 8,26   | 8,19   | 8,26   | 8,25   | 8,24  | 8,19   | 8,22   | 8,24   | 8,29  | 8,38   |  |
| Mg2+      | 1,18   | 1,12   | 1,87   | 8,97   | 1,81  | 1,85   | 8,91   | 8,82   | 8,87  | 8,88   |  |
| Ca2+      | 8,88   | 8,88   | 8,83   | 8,81   | 8,85  | 8,88   | 8,83   | 8,88   | 8,81  | 8,88   |  |
| Na+       | 8,88   | 8,88   | 8,81   | 8,88   | 8,81  | 8,89   | 8,86   | 8,84   | 8,87  | 8,26   |  |
| K+        | 8,88   | 8,82   | 8,88   | 8,88   | 8,88  | 8,81   | 8,88   | 8,88   | 8,81  | 8,88   |  |
| Cr3+      | 8,81   | 8,81   | 8,88   | 8,88   | 8,88  | 8,88   | 8,88   | 8,88   | 8,88  | 8,82   |  |
| TOTAL     | 23,99  | 24,81  | 24,88  | 24,88  | 23,97 | 24,85  | 24,85  | 24,83  | 24,82 | 24,15  |  |

| Ech.      | 01M1  |       |        |        |        |        |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| N Analyse | 117   | 118   | 121    | 137    | 138    | 139    |
| SiO2      | 8,84  | 8,16  | 8,11   | 8,89   | 8,16   | 8,88   |
| TiO2      | 9,82  | 18,58 | 18,82  | 18,29  | 11,75  | 18,81  |
| Al2O3     | 4,66  | 4,79  | 5,82   | 5,23   | 4,16   | 5,88   |
| Fe2O3     | 46,21 | 43,44 | 43,89  | 44,61  | 43,85  | 44,58  |
| FeO       | 34,58 | 34,87 | 36,85  | 33,45  | 36,63  | 36,26  |
| MnO       | 8,32  | 8,35  | 8,36   | 8,24   | 8,11   | 8,28   |
| MgO       | 3,86  | 3,88  | 3,78   | 3,82   | 3,88   | 3,67   |
| CaO       | 8,14  | 8,88  | 8,88   | 8,83   | 8,85   | 8,88   |
| Na2O      | 8,88  | 8,88  | 8,88   | 8,88   | 8,87   | 8,88   |
| K2O       | 8,83  | 8,88  | 8,81   | 8,88   | 8,88   | 8,82   |
| Cr2O3     | 8,88  | 8,11  | 8,43   | 8,52   | 8,53   | 8,84   |
| TOTAL     | 99,78 | 98,63 | 188,77 | 188,36 | 188,48 | 188,73 |
| Si4+      | 8,81  | 8,85  | 8,83   | 8,83   | 8,85   | 8,88   |
| Ti4+      | 2,14  | 2,32  | 2,32   | 2,22   | 2,34   | 2,33   |
| Al3+      | 1,59  | 1,65  | 1,79   | 1,77   | 1,41   | 1,71   |
| Fe3+      | 18,87 | 9,54  | 9,43   | 9,64   | 9,32   | 9,62   |
| Fe2+      | 8,37  | 8,51  | 8,61   | 8,51   | 8,82   | 8,69   |
| Mn2+      | 8,88  | 8,89  | 8,89   | 8,86   | 8,83   | 8,87   |
| Mg2+      | 1,67  | 1,69  | 1,61   | 1,64   | 1,67   | 1,57   |
| Ca2+      | 8,84  | 8,82  | 8,88   | 8,81   | 8,81   | 8,88   |
| Na+       | 8,88  | 8,85  | 8,88   | 8,88   | 8,84   | 8,88   |
| K+        | 8,82  | 8,88  | 8,88   | 8,88   | 8,88   | 8,81   |
| Cr3+      | 8,82  | 8,18  | 8,18   | 8,12   | 8,12   | 8,81   |
| TOTAL     | 24,82 | 24,81 | 23,99  | 23,99  | 24,81  | 24,88  |

| Ech.  | D15M6 |       | D15M12    |           |           |          |          |           |         |          |
|-------|-------|-------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|---------|----------|
|       | 115   | 122   | 77<br>inc | 81<br>inc | 82<br>inc | 75<br>ap | 76<br>ap | 111<br>ap | 93<br>a | 118<br>a |
| SiO2  | 8,61  | 8,17  | 8,82      | 8,88      | 8,88      | 8,13     | 8,88     | 8,38      | 8,83    | 8,66     |
| TiO2  | 15,37 | 11,86 | 12,29     | 12,84     | 11,78     | 13,11    | 13,17    | 12,29     | 11,34   | 13,68    |
| Al2O3 | 2,16  | 2,59  | 2,78      | 2,67      | 2,73      | 2,46     | 2,65     | 2,37      | 2,84    | 1,94     |
| Fe2O3 | 43,66 | 48,22 | 48,98     | 48,46     | 42,13     | 37,82    | 38,41    | 48,48     | 42,21   | 36,19    |
| FeO   | 32,82 | 48,57 | 38,42     | 38,57     | 38,42     | 38,58    | 39,87    | 38,24     | 37,91   | 39,74    |
| MnO   | 8,34  | 8,48  | 3,89      | 2,88      | 2,48      | 3,72     | 3,89     | 3,54      | 2,88    | 2,25     |
| MgO   | 8,27  | 8,47  | 8,82      | 8,14      | 8,69      | 8,88     | 8,86     | 8,89      | 8,88    | 8,85     |
| CaO   | 8,28  | 8,22  | 8,18      | 8,84      | 8,81      | 8,87     | 8,88     | 8,88      | 8,88    | 8,27     |
| Na2O  | 8,86  | 8,85  | 8,24      | 8,83      | 8,19      | 8,33     | 8,17     | 8,85      | 8,14    | 8,43     |
| K2O   | 8,88  | 8,88  | 8,88      | 8,88      | 8,81      | 8,81     | 8,83     | 8,84      | 8,83    | 8,18     |
| Cr2O3 | 8,88  | 8,88  | 8,88      | 8,88      | 8,84      | 8,86     | 8,88     | 8,81      | 8,82    | 8,88     |
| TOTAL | 91,84 | 92,56 | 98,57     | 96,82     | 98,48     | 96,38    | 97,23    | 97,41     | 96,66   | 95,23    |
| Si4+  | 8,19  | 8,85  | 8,81      | 8,88      | 8,88      | 8,84     | 8,83     | 8,89      | 8,83    | 8,21     |
| Ti4+  | 3,63  | 2,76  | 2,81      | 2,88      | 2,69      | 3,86     | 3,85     | 2,84      | 2,66    | 3,21     |
| Al3+  | 8,88  | 8,94  | 8,97      | 8,97      | 8,97      | 8,98     | 8,96     | 8,86      | 8,73    | 8,72     |
| Fe3+  | 11,44 | 18,39 | 9,36      | 9,42      | 9,61      | 8,83     | 8,89     | 9,36      | 9,88    | 8,54     |
| Fe2+  | 7,55  | 9,43  | 9,77      | 9,98      | 9,74      | 10,83    | 10,85    | 9,82      | 9,87    | 18,42    |
| Mn2+  | 8,14  | 8,13  | 1,88      | 8,76      | 8,62      | 8,98     | 8,94     | 8,92      | 8,76    | 8,68     |
| Mg2+  | 8,13  | 8,22  | 8,81      | 8,86      | 8,31      | 8,88     | 8,83     | 8,84      | 8,88    | 8,82     |
| Ca2+  | 8,89  | 8,87  | 8,83      | 8,81      | 8,88      | 8,82     | 8,88     | 8,88      | 8,88    | 8,89     |
| Na+   | 8,84  | 8,83  | 8,14      | 8,82      | 8,11      | 8,28     | 8,18     | 8,83      | 8,88    | 8,26     |
| K+    | 8,83  | 8,88  | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,88     | 8,81     | 8,82      | 8,81    | 8,84     |
| Cr3+  | 8,88  | 8,88  | 8,88      | 8,88      | 8,81      | 8,82     | 8,88     | 8,88      | 8,81    | 8,88     |
| TOTAL | 24,84 | 24,82 | 24,89     | 24,81     | 24,87     | 24,11    | 24,86    | 23,98     | 24,84   | 24,11    |

| Ech.  | D23M2    |          |          |          |           |           |            | D24M4 |
|-------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|------------|-------|
|       | 198<br>c | 192<br>c | 193<br>c | 194<br>c | 191<br>ap | 195<br>ap | 388<br>Inc |       |
| SiO2  | 8,18     | 8,14     | 8,38     | 8,16     | 8,19      | 8,64      | 8,52       |       |
| TiO2  | 6,39     | 5,98     | 6,19     | 6,09     | 5,93      | 4,18      | 5,47       |       |
| Al2O3 | 6,83     | 5,73     | 5,67     | 5,46     | 5,58      | 6,84      | 4,19       |       |
| Fe2O3 | 51,88    | 52,71    | 52,81    | 52,43    | 51,88     | 52,91     | 55,82      |       |
| FeO   | 31,44    | 32,11    | 38,63    | 31,16    | 31,34     | 26,22     | 29,37      |       |
| MnO   | 8,89     | 8,28     | 8,23     | 8,32     | 8,24      | 8,38      | 8,28       |       |
| MgO   | 4,18     | 3,43     | 4,33     | 3,98     | 4,39      | 4,92      | 4,68       |       |
| CaO   | 8,82     | 8,88     | 8,84     | 8,84     | 8,85      | 8,47      | 8,26       |       |
| Na2O  | 8,84     | 8,88     | 8,82     | 8,84     | 8,88      | 8,21      | 8,88       |       |
| K2O   | 8,88     | 8,88     | 8,88     | 8,88     | 8,88      | 8,88      | 8,88       |       |
| Cr2O3 | 8,32     | 8,14     | 8,23     | 8,39     | 8,13      | 8,25      | 8,63       |       |
| TOTAL | 94,42    | 95,86    | 94,47    | 94,81    | 94,37     | 91,25     | 188,33     |       |
| Si4+  | 8,83     | 8,84     | 8,89     | 8,85     | 8,86      | 8,19      | 8,15       |       |
| Ti4+  | 1,38     | 1,28     | 1,34     | 1,32     | 1,28      | 8,92      | 1,81       |       |
| Al3+  | 2,85     | 1,95     | 1,92     | 1,85     | 1,89      | 2,89      | 1,42       |       |
| Fe3+  | 11,87    | 11,43    | 11,26    | 11,36    | 11,44     | 11,71     | 11,88      |       |
| Fe2+  | 7,58     | 7,74     | 7,37     | 7,58     | 7,31      | 6,55      | 7,85       |       |
| Mn2+  | 8,82     | 8,85     | 8,86     | 8,88     | 8,86      | 8,87      | 8,87       |       |
| Mg2+  | 1,76     | 1,47     | 1,86     | 1,71     | 1,88      | 2,16      | 2,88       |       |
| Ca+   | 8,81     | 8,88     | 8,81     | 8,81     | 8,81      | 8,15      | 8,88       |       |
| Na+   | 8,88     | 8,88     | 8,81     | 8,82     | 8,88      | 8,12      | 8,88       |       |
| K     | 8,88     | 8,88     | 8,88     | 8,88     | 8,88      | 8,88      | 8,88       |       |
| Cr    | 8,87     | 8,83     | 8,85     | 8,89     | 8,83      | 8,86      | 8,15       |       |
| TOTAL | 24,88    | 23,97    | 23,96    | 23,99    | 23,97     | 24,81     | 23,94      |       |

| Ech.  | D24M3     |           |           |           |           |           |           |          |          |          |         |         |  |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|--|
|       | 15<br>inc | 16<br>inc | 17<br>inc | 22<br>inc | 23<br>inc | 49<br>inc | 58<br>inc | 18<br>ap | 33<br>ap | 51<br>ap | 39<br>a | 48<br>a |  |
| SiO2  | 8,88      | 8,83      | 8,88      | 8,81      | 8,87      | 8,87      | 8,12      | 1,52     | 8,82     | 8,87     | 8,29    | 8,84    |  |
| TiO2  | 13,52     | 13,36     | 12,87     | 18,89     | 15,76     | 15,65     | 14,51     | 16,41    | 14,92    | 14,86    | 12,99   | 16,43   |  |
| Al2O3 | 3,82      | 2,93      | 2,67      | 1,27      | 2,32      | 2,45      | 4,33      | 2,85     | 1,64     | 2,42     | 2,26    | 1,33    |  |
| Fe2O3 | 48,23     | 41,15     | 43,15     | 32,76     | 36,53     | 36,82     | 36,77     | 31,65    | 37,54    | 37,88    | 48,88   | 35,28   |  |
| FeO   | 41,26     | 41,59     | 41,84     | 46,49     | 43,88     | 43,97     | 43,18     | 46,74    | 42,96    | 43,22    | 41,74   | 44,51   |  |
| MnO   | 8,57      | 8,52      | 8,48      | 8,95      | 8,78      | 8,48      | 8,58      | 8,37     | 8,53     | 8,68     | 8,38    | 8,57    |  |
| MgO   | 1,62      | 1,44      | 8,98      | 8,64      | 1,88      | 1,88      | 1,27      | 8,83     | 8,76     | 8,96     | 8,94    | 8,68    |  |
| CaO   | 8,82      | 8,88      | 8,81      | 8,88      | 8,85      | 8,88      | 8,83      | 8,22     | 8,85     | 8,88     | 8,16    | 8,88    |  |
| Na2O  | 8,84      | 8,87      | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,84      | 8,88      | 8,44     | 8,88     | 8,88     | 8,88    | 8,88    |  |
| K2O   | 8,88      | 8,82      | 8,88      | 8,85      | 8,88      | 8,81      | 8,88      | 8,83     | 8,82     | 8,88     | 8,88    | 8,88    |  |
| Cr2O3 | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,82      | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,18     | 8,83     | 8,88     | 8,88    | 8,84    |  |
| TOTAL | 96,33     | 96,55     | 96,89     | 96,59     | 96,72     | 96,88     | 97,82     | 97,19    | 94,69    | 96,24    | 95,47   | 95,56   |  |
| Si4+  | 8,82      | 8,81      | 8,82      | 8,88      | 8,82      | 8,82      | 8,84      | 8,45     | 8,88     | 8,82     | 8,89    | 8,81    |  |
| Ti4+  | 2,99      | 2,94      | 2,69      | 4,87      | 3,51      | 3,51      | 3,18      | 3,64     | 3,41     | 3,32     | 2,92    | 3,74    |  |
| Al3+  | 1,85      | 1,81      | 8,93      | 8,45      | 8,81      | 8,86      | 1,49      | 8,71     | 8,59     | 8,85     | 8,88    | 8,48    |  |
| Fe3+  | 8,92      | 9,87      | 9,63      | 7,39      | 8,14      | 8,88      | 8,87      | 7,82     | 8,58     | 8,46     | 9,19    | 8,82    |  |
| Fe2+  | 18,16     | 18,19     | 18,18     | 11,65     | 18,86     | 18,96     | 18,52     | 11,53    | 18,91    | 18,75    | 18,44   | 11,27   |  |
| Mn2+  | 8,14      | 8,13      | 8,18      | 8,14      | 8,18      | 8,12      | 8,14      | 8,89     | 8,14     | 8,17     | 8,18    | 8,14    |  |
| Mg2+  | 8,71      | 8,63      | 8,43      | 8,29      | 8,47      | 8,44      | 8,55      | 8,37     | 8,34     | 8,43     | 8,42    | 8,31    |  |
| Ca+   | 8,81      | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,82      | 8,88      | 8,81      | 8,87     | 8,82     | 8,88     | 8,85    | 8,83    |  |
| Na+   | 8,82      | 8,84      | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,82      | 8,88      | 8,23     | 8,88     | 8,88     | 8,88    | 8,88    |  |
| K     | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,82      | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,81     | 8,81     | 8,88     | 8,88    | 8,88    |  |
| Cr    | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,81      | 8,88      | 8,88      | 8,88      | 8,82     | 8,81     | 8,88     | 8,88    | 8,81    |  |
| TOTAL | 24,81     | 24,83     | 24,88     | 24,81     | 24,88     | 24,81     | 24,88     | 24,16    | 24,81    | 24,88    | 24,88   | 24,88   |  |

Tableau III-27 suite

| Ech.  | D29M6     |          |          |          | D27M12   |         |         |          |          | D27M17   |          |       |
|-------|-----------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|-------|
|       | N Analyse | 368<br>a | 361<br>a | 378<br>a | 379<br>a | 13<br>c | 14<br>c | 15<br>ap | 16<br>ap | 17<br>ap | 188<br>c | 183   |
| SiO2  | 1,63      | 0,64     | 0,13     | 1,83     | 0,07     | 0,38    | 0,10    | 0,34     | 0,20     | 0,01     | 0,02     | 0,00  |
| TiO2  | 12,32     | 16,16    | 13,57    | 12,27    | 10,05    | 9,20    | 9,82    | 10,21    | 0,79     | 5,63     | 5,21     | 4,90  |
| Al2O3 | 2,57      | 1,34     | 2,38     | 2,08     | 4,82     | 4,74    | 4,33    | 4,79     | 5,00     | 0,93     | 0,20     | 2,09  |
| Fe2O3 | 38,72     | 32,03    | 37,62    | 31,69    | 46,49    | 46,21   | 45,97   | 43,66    | 40,19    | 38,62    | 39,44    | 33,94 |
| FeO   | 38,64     | 41,28    | 39,73    | 33,72    | 36,09    | 35,68   | 36,20   | 36,47    | 34,24    | 36,61    | 35,59    | 33,72 |
| MnO   | 1,22      | 2,45     | 2,49     | 2,98     | 0,49     | 0,44    | 0,68    | 0,59     | 0,45     | 0,17     | 0,31     | 0,22  |
| MgO   | 0,05      | 0,30     | 0,42     | 0,36     | 0,725    | 2,57    | 2,30    | 2,42     | 3,54     | 0,21     | 0,23     | 0,27  |
| CaO   | 0,10      | 0,34     | 0,09     | 0,33     | 0,00     | 0,07    | 0,03    | 0,11     | 0,00     | 0,00     | 0,05     | 0,00  |
| Na2O  | 0,19      | 0,00     | 0,05     | 0,12     | 0,02     | 0,00    | 0,01    | 0,10     | 0,00     | 0,00     | 0,01     | 0,00  |
| K2O   | 0,06      | 0,04     | 0,03     | 0,00     | 0,01     | 0,00    | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,02     | 0,00     | 0,00  |
| Cr2O3 | 0,00      | 0,06     | 0,13     | 0,00     | 0,00     | 0,00    | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,01  |
| Total | 96,29     | 94,72    | 96,57    | 85,57    | 101,29   | 99,30   | 99,01   | 98,69    | 100,41   | 96,30    | 95,10    | 95,03 |
| Si4+  | 0,30      | 0,20     | 0,04     | 0,63     | 0,02     | 0,11    | 0,03    | 0,10     | 0,06     | 0,00     | 0,01     | 0,00  |
| Ti4+  | 2,02      | 3,02     | 3,16     | 3,16     | 2,16     | 2,02    | 2,16    | 2,26     | 1,90     | 1,26     | 1,10     | 1,12  |
| Al3+  | 0,92      | 0,50     | 0,84     | 0,81     | 1,63     | 1,64    | 1,50    | 1,66     | 1,70     | 0,33     | 0,10     | 1,02  |
| Fe3+  | 0,00      | 7,30     | 0,75     | 0,16     | 10,02    | 10,17   | 10,13   | 9,60     | 10,44    | 13,14    | 13,32    | 12,00 |
| Fe2+  | 9,04      | 10,06    | 10,20    | 9,65     | 0,65     | 0,73    | 0,00    | 0,99     | 0,23     | 9,12     | 0,99     | 0,94  |
| Mn2+  | 0,31      | 0,65     | 0,65     | 0,06     | 0,12     | 0,11    | 0,17    | 0,15     | 0,11     | 0,04     | 0,00     | 0,06  |
| Mg2+  | 0,39      | 0,10     | 0,19     | 0,29     | 1,39     | 1,12    | 1,09    | 1,06     | 1,32     | 0,09     | 0,01     | 0,12  |
| Ca2+  | 0,03      | 0,11     | 0,03     | 0,12     | 0,00     | 0,02    | 0,01    | 0,04     | 0,00     | 0,02     | 0,02     | 0,00  |
| Na+   | 0,11      | 0,00     | 0,03     | 0,00     | 0,01     | 0,00    | 0,00    | 0,06     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00  |
| K+    | 0,02      | 0,02     | 0,01     | 0,04     | 0,00     | 0,00    | 0,00    | 0,00     | 0,00     | 0,01     | 0,00     | 0,00  |
| Cr3+  | 0,00      | 0,02     | 0,03     | 0,00     | 0,00     | 0,02    | 0,02    | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,14  |
| TOTAL | 23,04     | 23,94    | 24,01    | 23,79    | 24,00    | 23,95   | 23,99   | 23,99    | 23,97    | 24,01    | 24,00    | 24,00 |

| Ech.  | D27M1     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | N Analyse | 116   | 117   | 134   | 101   | 102   | 9     | 11    | 16    | 17    | 43    | 44    |
| SiO2  | 0,36      | 0,24  | 0,07  | 0,03  | 0,10  | 0,06  | 0,09  | 0,00  | 0,00  | 0,10  | 0,14  | 0,10  |
| TiO2  | 4,43      | 5,66  | 5,97  | 26,07 | 19,16 | 11,07 | 10,94 | 11,47 | 11,52 | 10,77 | 10,07 | 10,74 |
| Al2O3 | 0,36      | 2,00  | 0,92  | 0,22  | 0,13  | 2,61  | 2,61  | 2,66  | 2,57  | 2,40  | 2,53  | 2,50  |
| Fe2O3 | 61,00     | 55,54 | 56,97 | 15,90 | 30,60 | 46,26 | 46,43 | 43,51 | 43,94 | 47,01 | 46,40 | 43,71 |
| FeO   | 34,90     | 35,65 | 36,44 | 53,03 | 47,65 | 37,92 | 37,60 | 38,41 | 38,10 | 37,01 | 37,10 | 37,34 |
| MnO   | 0,20      | 0,44  | 0,16  | 0,66  | 0,31  | 0,60  | 0,59  | 0,49  | 0,04  | 0,70  | 0,94  | 0,32  |
| MgO   | 0,36      | 0,36  | 0,24  | 0,36  | 0,21  | 2,26  | 2,34  | 2,20  | 2,39  | 2,20  | 2,20  | 2,27  |
| CaO   | 0,01      | 0,00  | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,06  |
| Na2O  | 0,00      | 0,00  | 0,07  | 0,00  | 0,05  | 0,00  | 0,07  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| K2O   | 0,02      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  |
| Cr2O3 | 0,10      | 0,30  | 0,06  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,14  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| Total | 95,64     | 94,71 | 95,10 | 96,30 | 95,22 | 96,19 | 96,26 | 96,27 | 96,00 | 97,09 | 95,73 | 94,54 |
| Si4+  | 0,11      | 0,07  | 0,02  | 0,01  | 0,03  | 0,02  | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,04  | 0,03  |
| Ti4+  | 1,00      | 1,20  | 1,33  | 6,16  | 4,42  | 2,44  | 2,41  | 2,53  | 2,52  | 2,35  | 2,40  | 2,41  |
| Al3+  | 0,13      | 0,71  | 0,33  | 0,00  | 0,05  | 0,90  | 0,90  | 0,92  | 0,00  | 0,02  | 0,00  | 0,01  |
| Fe3+  | 13,74     | 12,57 | 12,92 | 3,57  | 7,00  | 10,20 | 10,22 | 10,03 | 10,06 | 10,44 | 10,27 | 10,24 |
| Fe2+  | 0,73      | 0,97  | 0,19  | 13,72 | 12,22 | 9,29  | 9,22  | 9,41  | 9,20  | 9,10  | 9,15  | 9,30  |
| Mn2+  | 0,05      | 0,11  | 0,04  | 0,17  | 0,00  | 0,15  | 0,15  | 0,12  | 0,21  | 0,17  | 0,02  | 0,00  |
| Mg2+  | 0,16      | 0,16  | 0,11  | 0,25  | 0,10  | 0,99  | 1,02  | 1,00  | 1,04  | 0,99  | 1,00  | 1,01  |
| Ca2+  | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,02  |
| Na+   | 0,00      | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| K+    | 0,01      | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,02  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,00  |
| Cr3+  | 0,02      | 0,09  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |
| TOTAL | 23,95     | 23,96 | 24,02 | 24,02 | 24,00 | 24,00 | 24,01 | 24,00 | 24,00 | 23,90 | 23,90 | 23,99 |

| Ech.  | D26M6     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |
|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
|       | N Analyse | 10    | 12    | 132   | 133   | 146   | 154   | 145   | 147   | 148   | 149   | 150 |
| SiO2  | 0,09      | 0,12  | 0,05  | 0,07  | 0,03  | 0,06  | 0,10  | 0,00  | 0,00  | 0,06  | 0,21  |     |
| TiO2  | 11,24     | 11,02 | 12,02 | 11,77 | 12,36 | 11,30 | 11,26 | 11,67 | 11,53 | 13,67 | 9,49  |     |
| Al2O3 | 2,40      | 2,62  | 2,45  | 2,51  | 2,29  | 2,47  | 2,59  | 2,56  | 2,51  | 2,14  | 2,26  |     |
| Fe2O3 | 45,50     | 45,74 | 43,26 | 43,60 | 43,22 | 43,09 | 43,51 | 43,10 | 43,05 | 41,13 | 46,31 |     |
| FeO   | 37,65     | 37,95 | 30,16 | 37,66 | 30,45 | 30,20 | 30,20 | 30,60 | 30,33 | 33,05 | 36,00 |     |
| MnO   | 0,54      | 0,39  | 0,59  | 0,71  | 0,73  | 0,33  | 0,62  | 0,55  | 0,57  | 0,00  | 0,00  |     |
| MgO   | 2,42      | 2,19  | 2,32  | 2,43  | 2,36  | 2,30  | 2,24  | 2,23  | 2,30  | 2,23  | 1,77  |     |
| CaO   | 0,00      | 0,00  | 0,03  | 0,01  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |     |
| Na2O  | 0,00      | 0,10  | 0,00  | 0,00  | 0,02  | 0,02  | 0,00  | 0,00  | 0,04  | 0,00  | 0,00  |     |
| K2O   | 0,00      | 0,03  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |     |
| Cr2O3 | 0,16      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,14  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,04  | 0,00  | 0,00  |     |
| Total | 95,99     | 95,64 | 94,56 | 94,39 | 95,35 | 93,34 | 93,97 | 96,29 | 95,77 | 95,04 | 92,30 |     |
| Si4+  | 0,03      | 0,03  | 0,02  | 0,02  | 0,01  | 0,02  | 0,03  | 0,00  | 0,02  | 0,02  | 0,06  |     |
| Ti4+  | 2,49      | 2,44  | 2,70  | 2,64  | 2,73  | 2,53  | 2,49  | 2,57  | 2,53  | 3,04  | 2,10  |     |
| Al3+  | 0,06      | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,06  | 0,00  | 0,00  | 0,07  | 0,03  | 0,01  |     |
| Fe3+  | 10,00     | 10,14 | 9,71  | 9,79  | 9,64  | 10,04 | 10,06 | 9,97  | 9,96  | 9,15  | 10,69 |     |
| Fe2+  | 9,27      | 9,35  | 9,52  | 9,48  | 9,33  | 9,45  | 9,30  | 9,46  | 9,42  | 9,05  | 9,44  |     |
| Mn2+  | 0,13      | 0,10  | 0,15  | 0,10  | 0,19  | 0,00  | 0,15  | 0,14  | 0,14  | 0,22  | 0,00  |     |
| Mg2+  | 1,05      | 0,96  | 1,03  | 1,00  | 1,04  | 1,01  | 0,90  | 0,97  | 1,01  | 0,90  | 0,81  |     |
| Ca2+  | 0,03      | 0,02  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |     |
| Na+   | 0,00      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,02  | 0,00  | 0,00  |     |
| K+    | 0,00      | 0,01  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,00  |     |
| Cr3+  | 0,04      | 0,00  | 0,00  | 0,00  | 0,03  | 0,00  | 0,00  | 0,01  | 0,01  | 0,00  | 0,00  |     |
| TOTAL | 23,99     | 24,03 | 24,00 | 24,00 | 24,01 | 24,01 | 24,00 | 24,00 | 24,01 | 24,00 | 24,00 |     |

Tableau III-27 suite

| Ech.      | D21M1     |           |            |            |           |          |          |          |          |          |
|-----------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| N Analyse | 81<br>inc | 82<br>inc | 101<br>inc | 121<br>inc | 123.<br>n | 124<br>n | 126<br>n | 127<br>n | 128<br>n | 129<br>n |
| SiO2      | 0,00      | 0,13      | 0,10       | 0,19       | 0,10      | 0,07     | 0,07     | 0,09     | 0,00     | 0,10     |
| TiO2      | 0,49      | 14,36     | 13,56      | 14,29      | 14,17     | 13,03    | 10,27    | 15,71    | 14,54    | 13,90    |
| Al2O3     | 3,47      | 2,50      | 2,22       | 2,63       | 2,03      | 2,00     | 2,21     | 1,51     | 2,06     | 2,39     |
| Fe2O3     | 49,01     | 37,99     | 40,69      | 37,76      | 39,13     | 39,67    | 31,65    | 37,26    | 30,01    | 40,20    |
| FeO       | 33,36     | 42,90     | 41,73      | 41,20      | 42,11     | 41,00    | 45,50    | 43,62    | 42,50    | 42,63    |
| MnO       | 0,56      | 0,35      | 0,60       | 0,39       | 0,60      | 0,32     | 0,50     | 0,57     | 0,56     | 0,52     |
| HgO       | 2,23      | 0,06      | 1,00       | 1,66       | 0,97      | 1,06     | 1,45     | 1,09     | 0,91     | 0,92     |
| CaO       | 0,26      | 0,16      | 0,14       | 0,39       | 0,30      | 0,19     | 0,22     | 0,21     | 0,12     | 0,04     |
| Na2O      | 0,00      | 0,04      | 0,15       | 0,00       | 0,00      | 0,00     | 0,00     | 0,07     | 0,04     | 0,02     |
| K2O       | 0,00      | 0,00      | 0,07       | 0,00       | 0,00      | 0,00     | 0,03     | 0,03     | 0,00     | 0,06     |
| Cr-2O3    | 0,29      | 0,14      | 0,00       | 0,13       | 0,01      | 0,13     | 0,03     | 0,13     | 0,00     | 0,00     |
| TOTAL     | 99,66     | 99,32     | 100,34     | 90,69      | 99,50     | 99,40    | 100,00   | 100,27   | 90,74    | 100,93   |
| Si4+      | 0,00      | 0,04      | 0,03       | 0,05       | 0,03      | 0,02     | 0,02     | 0,02     | 0,00     | 0,05     |
| Ti4+      | 1,09      | 3,22      | 3,03       | 3,21       | 3,19      | 3,12     | 4,06     | 3,51     | 3,30     | 3,00     |
| Al3+      | 1,21      | 0,91      | 0,77       | 0,93       | 0,72      | 0,73     | 0,77     | 0,53     | 0,73     | 0,83     |
| Fe3+      | 10,91     | 0,54      | 9,09       | 0,50       | 0,02      | 0,94     | 7,04     | 0,34     | 0,64     | 9,94     |
| Fe2+      | 0,75      | 10,72     | 10,36      | 10,32      | 10,55     | 10,49    | 11,25    | 10,05    | 10,74    | 10,52    |
| Mn2+      | 0,14      | 0,09      | 0,15       | 0,10       | 0,17      | 0,13     | 0,14     | 0,14     | 0,14     | 0,13     |
| Hg2+      | 0,90      | 0,30      | 0,40       | 0,74       | 0,43      | 0,47     | 0,64     | 0,40     | 0,41     | 0,40     |
| Ca+       | 0,00      | 0,05      | 0,04       | 0,12       | 0,09      | 0,06     | 0,07     | 0,07     | 0,04     | 0,01     |
| Na+       | 0,00      | 0,02      | 0,09       | 0,00       | 0,00      | 0,00     | 0,00     | 0,04     | 0,02     | 0,01     |
| K         | 0,00      | 0,00      | 0,03       | 0,00       | 0,00      | 0,00     | 0,01     | 0,01     | 0,00     | 0,02     |
| Cr        | 0,07      | 0,03      | 0,00       | 0,03       | 0,00      | 0,03     | 0,01     | 0,03     | 0,00     | 0,00     |
| TOTAL     | 24,02     | 24,01     | 24,07      | 24,00      | 24,01     | 24,00    | 24,01    | 24,03    | 24,02    | 23,99    |

| Ech.      | D16M1     |           |           |           |         |         |         | D20M3      |            |           |           |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|------------|------------|-----------|-----------|
| N Analyse | 39<br>inc | 40<br>inc | 41<br>inc | 60<br>inc | 26<br>n | 42<br>n | 62<br>n | 145<br>inc | 146<br>inc | 170<br>ap | 172<br>ap |
| SiO2      | 0,01      | 0,19      | 0,16      | 0,09      | 0,16    | 0,13    | 0,15    | 0,12       | 0,00       | 0,09      | 0,00      |
| TiO2      | 7,60      | 7,43      | 3,94      | 5,72      | 6,52    | 5,66    | 6,73    | 10,73      | 10,53      | 11,50     | 10,51     |
| Al2O3     | 4,46      | 4,36      | 6,50      | 5,00      | 4,27    | 4,11    | 4,54    | 3,04       | 3,90       | 4,06      | 4,20      |
| Fe2O3     | 50,79     | 50,44     | 49,00     | 50,95     | 51,27   | 54,20   | 49,90   | 45,79      | 45,35      | 42,24     | 44,91     |
| FeO       | 32,32     | 31,02     | 20,44     | 30,47     | 30,67   | 31,00   | 30,99   | 35,49      | 35,05      | 36,05     | 35,12     |
| MnO       | 0,49      | 0,47      | 0,46      | 0,44      | 0,32    | 0,31    | 0,57    | 0,52       | 0,33       | 0,44      | 0,33      |
| HgO       | 3,93      | 3,90      | 4,03      | 4,02      | 4,00    | 3,47    | 3,75    | 3,04       | 3,01       | 2,90      | 3,79      |
| CaO       | 0,03      | 0,09      | 0,20      | 0,05      | 0,03    | 0,04    | 0,02    | 0,04       | 0,00       | 0,01      | 0,04      |
| Na2O      | 0,09      | 0,02      | 0,04      | 0,20      | 0,00    | 0,03    | 0,10    | 0,14       | 0,10       | 0,17      | 0,15      |
| K2O       | 0,01      | 0,00      | 0,01      | 0,03      | 0,02    | 0,00    | 0,00    | 0,00       | 0,01       | 0,00      | 0,00      |
| Cr-2O3    | 0,34      | 0,27      | 0,04      | 2,72      | 0,67    | 0,16    | 0,96    | 0,11       | 0,00       | 0,14      | 0,21      |
| TOTAL     | 100,07    | 90,90     | 101,00    | 99,79     | 90,02   | 99,26   | 97,06   | 100,42     | 99,25      | 90,40     | 99,33     |
| Si4+      | 0,00      | 0,05      | 0,04      | 0,03      | 0,03    | 0,04    | 0,04    | 0,03       | 0,00       | 0,02      | 0,00      |
| Ti4+      | 1,65      | 1,63      | 0,03      | 1,24      | 1,45    | 1,20    | 1,50    | 2,53       | 2,32       | 2,50      | 2,30      |
| Al3+      | 1,52      | 1,50      | 2,14      | 1,73      | 1,49    | 1,42    | 1,59    | 1,31       | 1,37       | 1,41      | 1,47      |
| Fe3+      | 11,07     | 11,10     | 10,33     | 11,09     | 11,39   | 11,99   | 11,12   | 9,95       | 9,97       | 9,39      | 9,05      |
| Fe2+      | 7,03      | 7,70      | 6,65      | 7,37      | 7,50    | 7,63    | 7,67    | 0,57       | 0,56       | 9,11      | 0,56      |
| Mn2+      | 0,12      | 0,12      | 0,11      | 0,11      | 0,00    | 0,00    | 0,14    | 0,00       | 0,00       | 0,11      | 0,00      |
| Hg2+      | 1,69      | 1,70      | 2,02      | 1,73      | 1,76    | 1,52    | 1,65    | 1,65       | 1,66       | 1,31      | 1,65      |
| Ca+       | 0,01      | 0,03      | 0,00      | 0,02      | 0,01    | 0,01    | 0,00    | 0,01       | 0,00       | 0,00      | 0,01      |
| Na+       | 0,05      | 0,01      | 0,02      | 0,11      | 0,04    | 0,02    | 0,10    | 0,00       | 0,10       | 0,10      | 0,00      |
| K         | 0,00      | 0,00      | 0,00      | 0,01      | 0,01    | 0,00    | 0,00    | 0,00       | 0,00       | 0,00      | 0,00      |
| Cr        | 0,00      | 0,06      | 1,70      | 0,62      | 0,15    | 0,04    | 0,22    | 0,02       | 0,00       | 0,03      | 0,05      |
| TOTAL     | 24,04     | 23,90     | 24,01     | 24,06     | 24,01   | 23,99   | 24,04   | 24,04      | 24,06      | 24,05     | 24,05     |

Tableau III-28 : Analyses chimiques des ilménites des laves des fossés.  
*Microprobe analysis of ilmenites for troughs lavas.*

| Ech.      | D3M1  | D1M1  | D1M8   |        |        |       |        | D14M14 |
|-----------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| N Analyse | 214   | 27    | 141    | 165    | 198    | 192   | 193    | 84     |
|           | mp    |       | mp     | mp     | mp     | m     | m      |        |
| SiO2      | 0,07  | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,05   | 0,00  | 0,03   | 0,03   |
| TiO2      | 45,42 | 47,07 | 45,05  | 44,38  | 46,49  | 44,29 | 44,38  | 49,42  |
| Al2O3     | 0,45  | 2,18  | 0,28   | 0,26   | 0,19   | 0,22  | 0,21   | 0,05   |
| FeO       | 32,36 | 35,46 | 34,14  | 34,74  | 35,66  | 35,68 | 34,08  | 33,49  |
| Fe2O3     | 15,37 | 14,17 | 16,99  | 18,01  | 13,76  | 17,58 | 18,37  | 5,64   |
| MnO       | 0,59  | 1,24  | 0,96   | 1,01   | 1,38   | 1,26  | 1,19   | 10,69  |
| MgO       | 4,60  | 5,14  | 5,15   | 2,43   | 2,78   | 3,05  | 2,68   | 0,08   |
| CaO       | 0,00  | 0,02  | 0,06   | 0,00   | 0,07   | 0,00  | 0,02   | 0,25   |
| Na2O      | 0,05  | 0,00  | 0,12   | 0,04   | 0,07   | 0,13  | 0,07   | 0,05   |
| K2O       | 0,00  | 0,00  | 0,00   | 0,02   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,01   |
| Cr2O3     | 0,00  | 0,18  | 0,06   | 0,00   | 0,00   | 0,00  | 0,00   | 0,00   |
| TOTAL     | 99,48 | 99,99 | 100,81 | 100,90 | 100,36 | 99,87 | 100,87 | 99,69  |
| Si4+      | 0,004 | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,002  | 0,000 | 0,001  | 0,002  |
| Ti4+      | 1,695 | 1,732 | 1,678  | 1,653  | 1,732  | 1,661 | 1,648  | 1,884  |
| Al3+      | 0,026 | 0,012 | 0,016  | 0,015  | 0,011  | 0,013 | 0,012  | 0,003  |
| Fe2+      | 1,335 | 1,451 | 1,407  | 1,439  | 1,477  | 1,482 | 1,406  | 1,428  |
| Fe3+      | 0,599 | 0,522 | 0,630  | 0,671  | 0,513  | 0,657 | 0,639  | 0,215  |
| Mn2+      | 0,025 | 0,051 | 0,040  | 0,042  | 0,055  | 0,054 | 0,050  | 0,459  |
| Mg2+      | 0,339 | 0,229 | 0,232  | 0,100  | 0,206  | 0,212 | 0,197  | 0,006  |
| Ca2+      | 0,000 | 0,001 | 0,003  | 0,000  | 0,004  | 0,000 | 0,001  | 0,013  |
| Na+       | 0,005 | 0,000 | 0,012  | 0,004  | 0,007  | 0,012 | 0,006  | 0,005  |
| K+        | 0,000 | 0,000 | 0,000  | 0,001  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,001  |
| Cr3+      | 0,000 | 0,004 | 0,002  | 0,000  | 0,000  | 0,000 | 0,000  | 0,000  |
| TOTAL     | 4,006 | 4,000 | 4,012  | 4,006  | 4,007  | 4,010 | 4,006  | 4,000  |

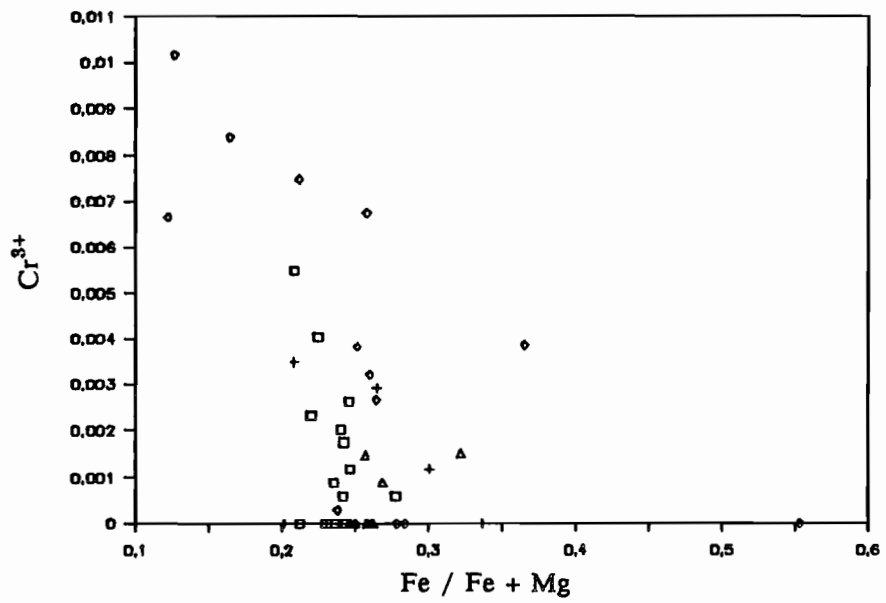
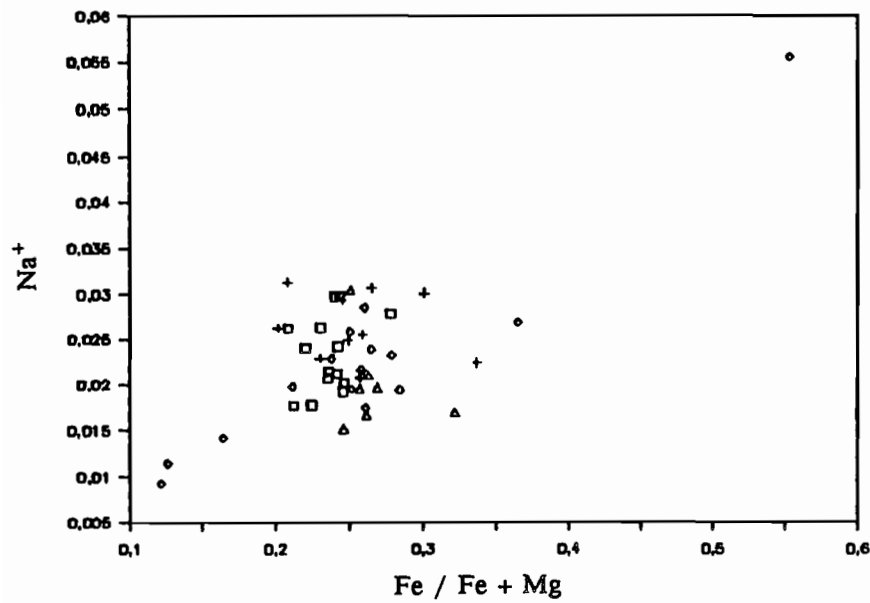
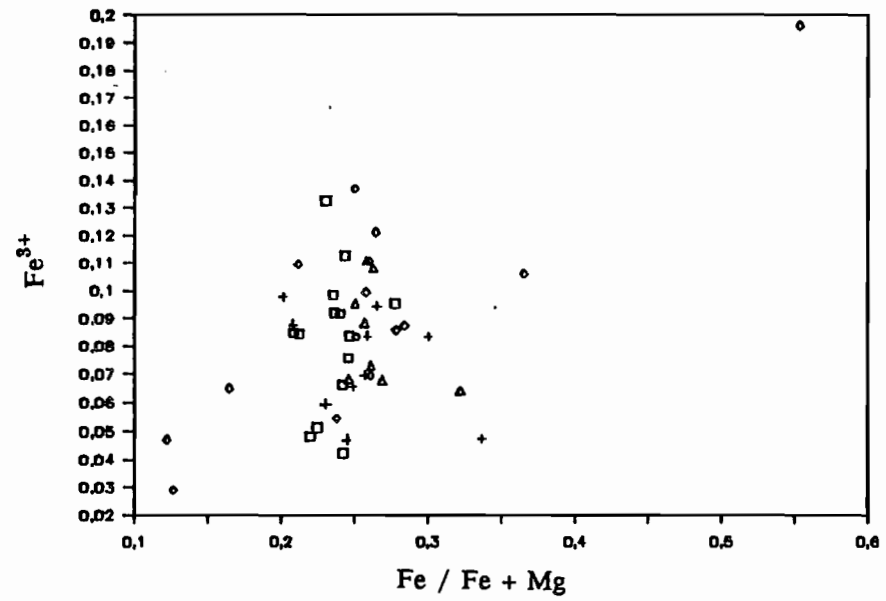
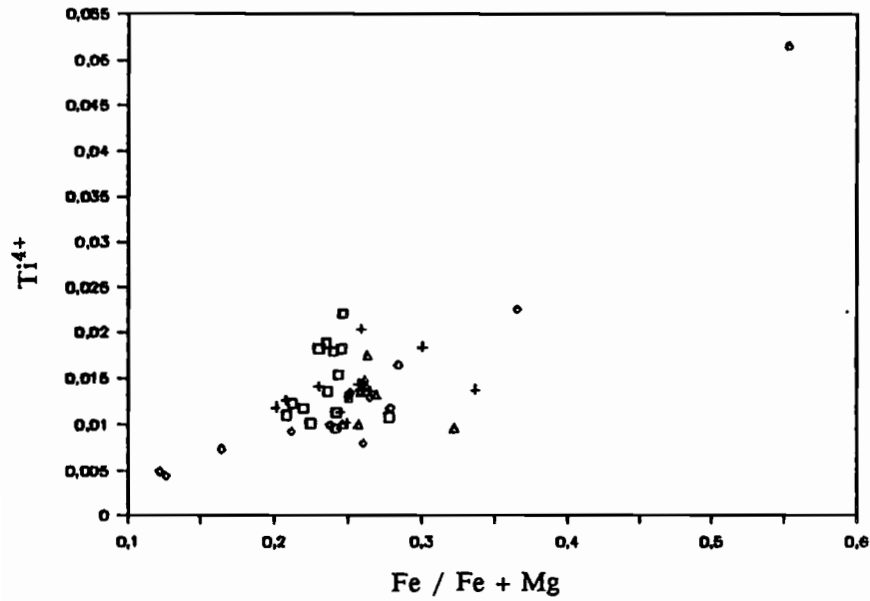
Tableau III-29 : Analyses chimiques des spinelles chromifères des laves des fossés.  
*Microprobe analysis of Cr-spinels for troughs lavas.*

| Ech.  | 07M2      |        |        |        |        | 07M2bis   |        |        |        | 02M3      |  |  |  |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|-----------|--------|--------|--------|-----------|--|--|--|
|       | N Analyse |        |        |        |        | N Analyse |        |        |        | N Analyse |  |  |  |
|       | 63        | 65     | 66     | 68     | 68     | 184       | 205    | 206    | 201    |           |  |  |  |
| SiO2  | 0,12      | 0,00   | 0,10   | 0,09   | 0,09   | 0,07      | 0,03   | 0,15   | 0,54   |           |  |  |  |
| TiO2  | 0,27      | 0,30   | 0,30   | 0,26   | 0,30   | 0,34      | 0,30   | 0,37   | 1,13   |           |  |  |  |
| Al2O3 | 43,96     | 46,37  | 46,62  | 47,29  | 46,95  | 46,63     | 45,77  | 45,00  | 22,50  |           |  |  |  |
| Fe2O3 | 6,42      | 6,75   | 5,20   | 5,56   | 5,95   | 5,30      | 5,30   | 5,70   | 16,17  |           |  |  |  |
| FeO   | 10,30     | 9,90   | 10,67  | 10,71  | 10,21  | 10,35     | 10,03  | 9,79   | 10,60  |           |  |  |  |
| MnO   | 0,00      | 0,12   | 0,07   | 0,17   | 0,01   | 0,00      | 0,00   | 0,10   | 0,39   |           |  |  |  |
| MgO   | 10,77     | 19,14  | 10,96  | 19,00  | 19,40  | 19,21     | 10,90  | 19,00  | 16,00  |           |  |  |  |
| CaO   | 0,00      | 0,00   | 0,04   | 0,03   | 0,05   | 0,04      | 0,10   | 0,04   | 0,11   |           |  |  |  |
| Na2O  | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,03      | 0,05   | 0,00   | 0,63   |           |  |  |  |
| K2O   | 0,01      | 0,00   | 0,00   | 0,03   | 0,00   | 0,01      | 0,00   | 0,00   | 0,11   |           |  |  |  |
| Cr2O3 | 17,06     | 16,70  | 18,33  | 17,90  | 17,71  | 18,50     | 19,30  | 18,90  | 30,60  |           |  |  |  |
| TOTAL | 98,99     | 99,29  | 100,39 | 101,04 | 100,75 | 100,40    | 100,02 | 99,39  | 98,99  |           |  |  |  |
| Si4+  | 0,026     | 0,000  | 0,022  | 0,010  | 0,019  | 0,016     | 0,006  | 0,033  | 0,133  |           |  |  |  |
| Ti4+  | 0,045     | 0,030  | 0,062  | 0,042  | 0,061  | 0,054     | 0,061  | 0,061  | 0,207  |           |  |  |  |
| Al3+  | 11,060    | 11,913 | 11,071 | 11,930 | 11,003 | 11,032    | 11,665 | 11,610 | 6,490  |           |  |  |  |
| Fe3+  | 1,039     | 1,100  | 0,946  | 0,990  | 0,962  | 0,960     | 0,976  | 0,951  | 2,967  |           |  |  |  |
| Fe2+  | 1,007     | 1,006  | 1,920  | 1,921  | 1,835  | 1,860     | 1,959  | 1,791  | 2,170  |           |  |  |  |
| Mn2+  | 0,014     | 0,022  | 0,013  | 0,031  | 0,003  | 0,000     | 0,000  | 0,034  | 0,000  |           |  |  |  |
| Mg2+  | 6,129     | 6,221  | 6,107  | 6,077  | 6,212  | 6,174     | 6,091  | 6,210  | 5,033  |           |  |  |  |
| Ca2+  | 0,000     | 0,000  | 0,010  | 0,007  | 0,011  | 0,000     | 0,023  | 0,011  | 0,030  |           |  |  |  |
| Na+   | 0,000     | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,000  | 0,011     | 0,020  | 0,000  | 0,290  |           |  |  |  |
| K+    | 0,003     | 0,000  | 0,001  | 0,007  | 0,000  | 0,002     | 0,000  | 0,000  | 0,033  |           |  |  |  |
| Cr3+  | 2,956     | 2,879  | 3,131  | 3,036  | 3,007  | 3,155     | 3,313  | 3,260  | 5,900  |           |  |  |  |
| TOTAL | 23,900    | 23,999 | 23,991 | 24,002 | 23,992 | 24,001    | 24,014 | 23,905 | 24,146 |           |  |  |  |

| Ech.  | 012M1     |        |        |        |        | 014M1     |       |        |        | 019M1     |        |        |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|-----------|-------|--------|--------|-----------|--------|--------|
|       | N Analyse |        |        |        |        | N Analyse |       |        |        | N Analyse |        |        |
|       | 21        | 28     | 29     | 39     | 40     | 150       | 159   | 167    | 174    | 94        | 95     | 100    |
| SiO2  | 0,12      | 0,09   | 0,00   | 0,01   | 0,09   | 0,06      | 0,00  | 0,09   | 0,32   | 1,22      | 0,00   | 0,01   |
| TiO2  | 0,54      | 0,53   | 0,52   | 0,45   | 0,40   | 1,02      | 1,00  | 1,01   | 1,09   | 0,74      | 0,66   | 1,04   |
| Al2O3 | 16,64     | 16,16  | 17,16  | 17,22  | 17,00  | 30,55     | 20,70 | 29,29  | 20,70  | 23,40     | 21,00  | 20,70  |
| Fe2O3 | 11,00     | 10,00  | 10,02  | 9,79   | 10,00  | 0,72      | 0,51  | 0,29   | 0,00   | 14,07     | 9,70   | 14,20  |
| FeO   | 13,99     | 13,53  | 21,12  | 13,40  | 13,50  | 15,25     | 15,51 | 15,49  | 15,29  | 10,17     | 14,42  | 16,73  |
| MnO   | 0,17      | 0,44   | 0,33   | 0,17   | 0,16   | 0,07      | 0,17  | 0,16   | 0,42   | 0,14      | 0,02   | 0,40   |
| MgO   | 13,72     | 12,53  | 9,10   | 14,04  | 14,12  | 14,55     | 14,12 | 14,20  | 14,01  | 17,22     | 14,16  | 12,55  |
| CaO   | 0,02      | 0,02   | 0,02   | 0,00   | 0,01   | 0,24      | 0,00  | 0,00   | 0,16   | 0,01      | 0,05   | 0,00   |
| Na2O  | 0,00      | 0,07   | 0,21   | 0,00   | 0,04   | 0,10      | 0,00  | 0,22   | 0,11   | 0,00      | 0,00   | 0,16   |
| K2O   | 0,00      | 0,00   | 0,00   | 0,01   | 0,01   | 0,00      | 0,00  | 0,00   | 0,00   | 0,03      | 0,00   | 0,00   |
| Cr2O3 | 43,61     | 46,16  | 42,12  | 45,13  | 45,60  | 29,57     | 31,41 | 31,56  | 30,56  | 31,93     | 40,02  | 35,19  |
| TOTAL | 100,60    | 101,39 | 101,49 | 100,37 | 101,10 | 100,13    | 99,62 | 100,47 | 99,60  | 101,79    | 100,00 | 101,00 |
| Si4+  | 0,030     | 0,022  | 0,000  | 0,003  | 0,021  | 0,014     | 0,000 | 0,032  | 0,077  | 0,204     | 0,000  | 0,002  |
| Ti4+  | 0,101     | 0,063  | 0,100  | 0,084  | 0,075  | 0,101     | 0,104 | 0,100  | 0,107  | 0,129     | 0,121  | 0,193  |
| Al3+  | 4,907     | 4,700  | 5,172  | 5,069  | 4,974  | 0,509     | 0,107 | 0,107  | 0,116  | 6,967     | 6,072  | 6,041  |
| Fe3+  | 2,222     | 1,099  | 2,002  | 1,039  | 1,003  | 1,550     | 1,534 | 1,479  | 1,595  | 2,604     | 1,705  | 2,661  |
| Fe2+  | 2,926     | 3,264  | 4,517  | 2,015  | 2,003  | 3,013     | 3,109 | 3,072  | 3,060  | 1,900     | 2,931  | 3,464  |
| Mn2+  | 0,033     | 0,093  | 0,072  | 0,036  | 0,033  | 0,014     | 0,034 | 0,033  | 0,003  | 0,027     | 0,004  | 0,004  |
| Mg2+  | 5,170     | 4,609  | 3,497  | 5,227  | 5,225  | 5,125     | 5,043 | 5,047  | 4,996  | 5,974     | 5,162  | 4,634  |
| Ca2+  | 0,005     | 0,005  | 0,004  | 0,000  | 0,002  | 0,000     | 0,019 | 0,020  | 0,042  | 0,002     | 0,012  | 0,001  |
| Na+   | 0,039     | 0,034  | 0,106  | 0,037  | 0,020  | 0,046     | 0,029 | 0,100  | 0,050  | 0,026     | 0,000  | 0,070  |
| K+    | 0,000     | 0,000  | 0,001  | 0,003  | 0,002  | 0,000     | 0,000 | 0,000  | 0,000  | 0,014     | 0,000  | 0,000  |
| Cr3+  | 0,627     | 0,161  | 0,516  | 0,911  | 0,963  | 5,524     | 5,953 | 5,918  | 5,703  | 5,075     | 7,094  | 6,009  |
| TOTAL | 24,009    | 24,011 | 24,066 | 24,022 | 24,002 | 24,036    | 4,021 | 24,053 | 24,002 | 23,002    | 24,002 | 24,047 |

Laves des îles d'Ureparapara et de Vot Tande



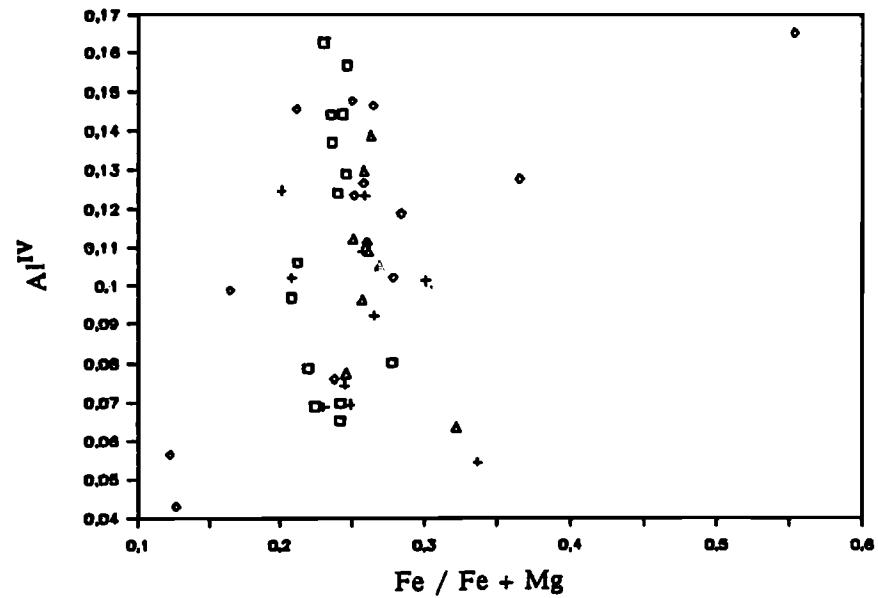
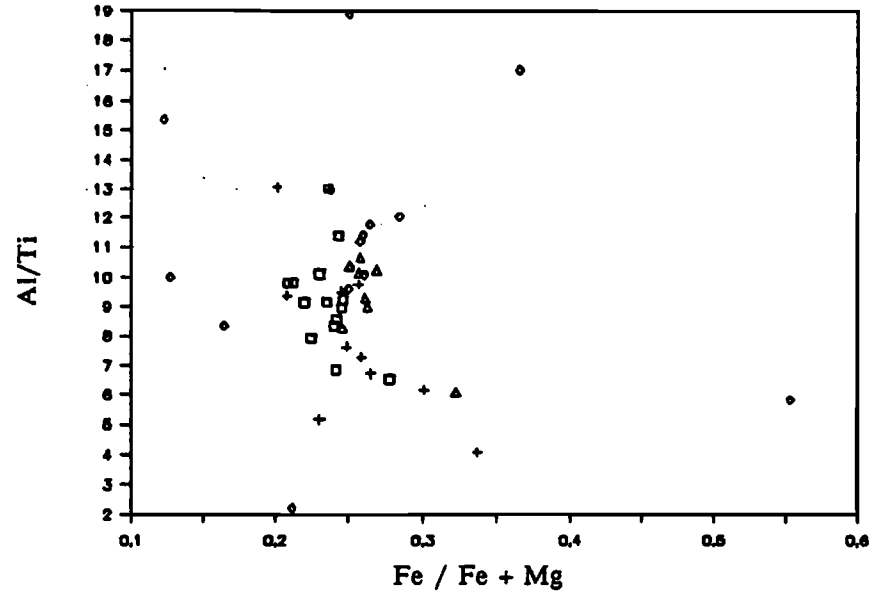
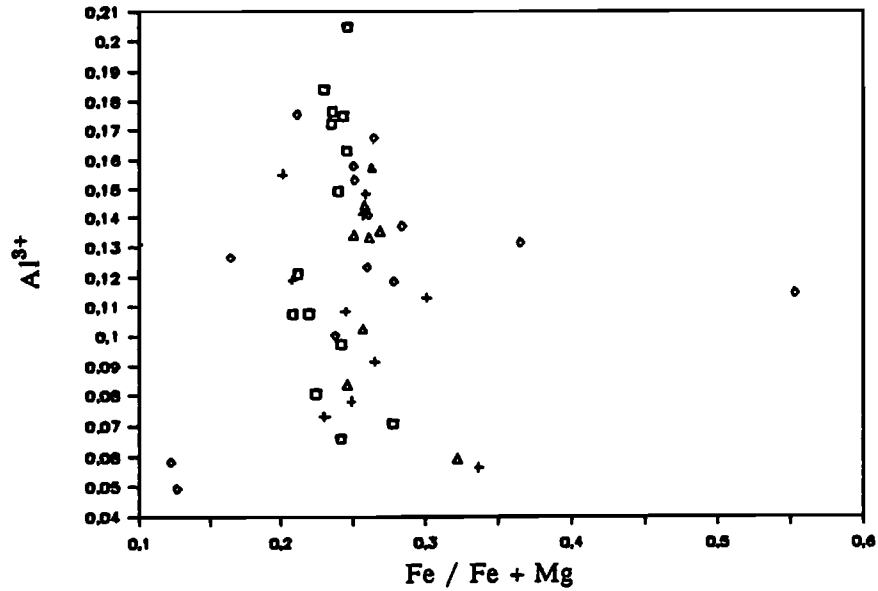


Figure III-31 : Evolution des principaux composants "non quadrilatéraux" en fonction du rapport FM = Fe / Fe + Mg dans les clinopyroxènes des laves des îles de :

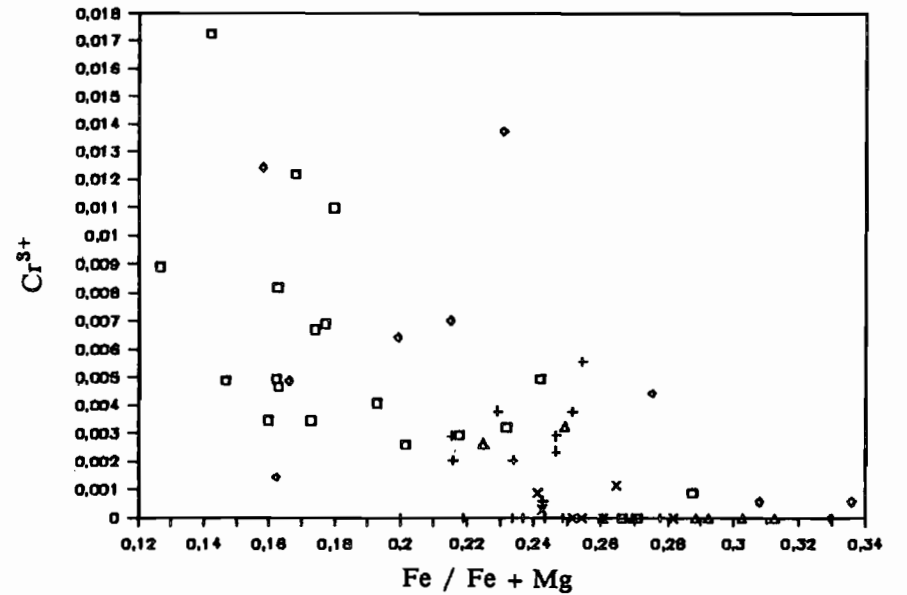
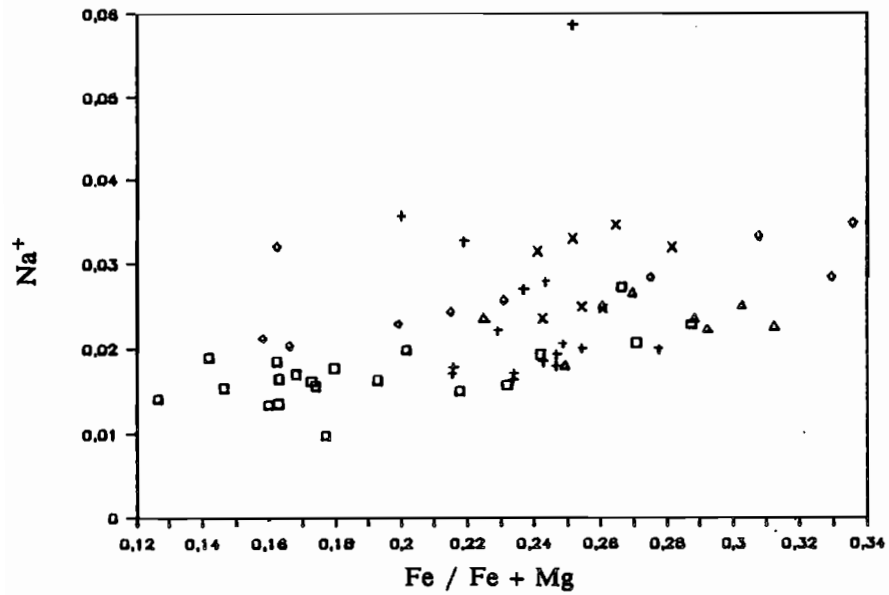
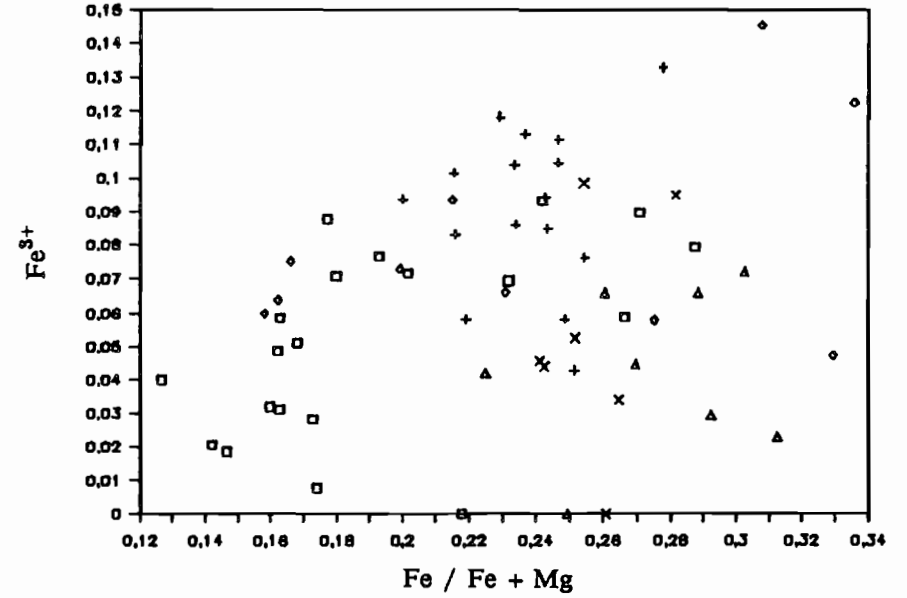
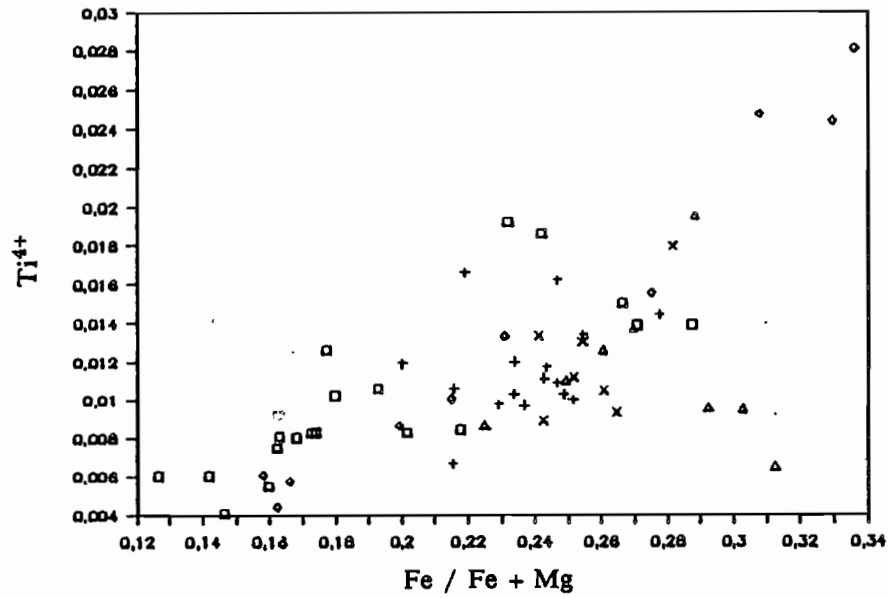
A - Ureparapara et Vot Tande.

*Evolution of main "non quadrilateral" components versus FM in clinopyroxenes for islands lavas :*

*A - Ureparapara and Vot Tande.*

□ URG2    + URMM2    ◊ VGM1    ▲ VGA8

Laves des îles de Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté



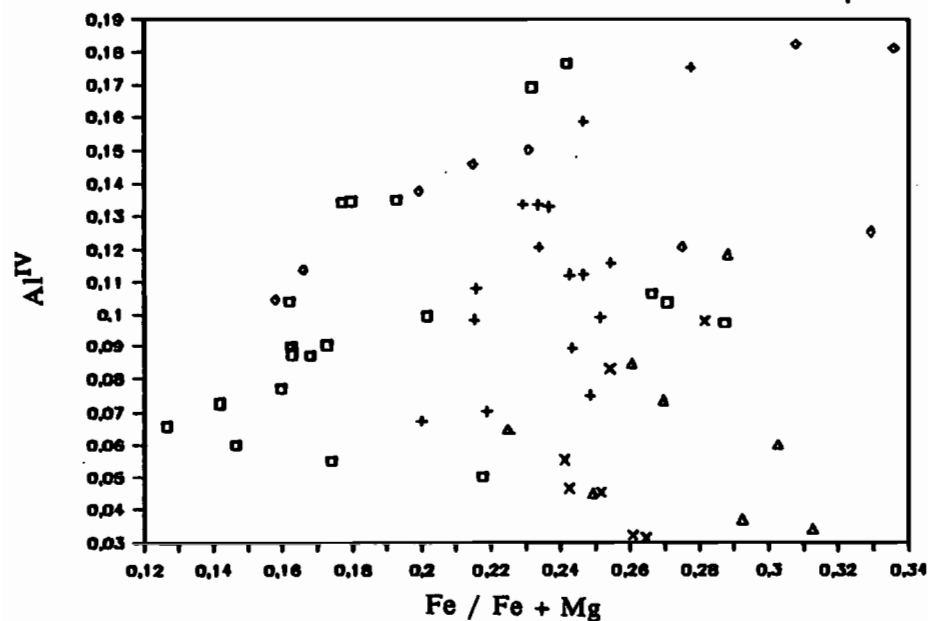
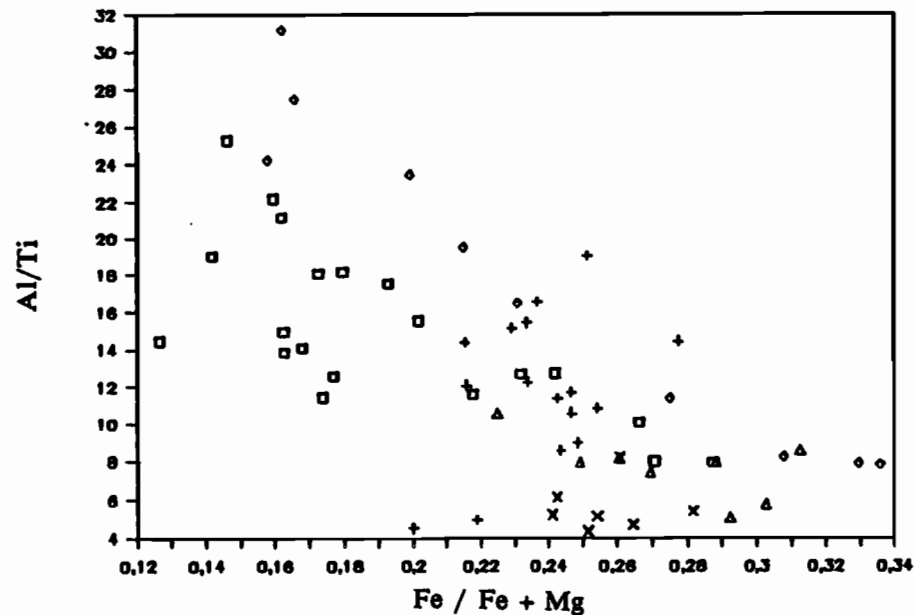
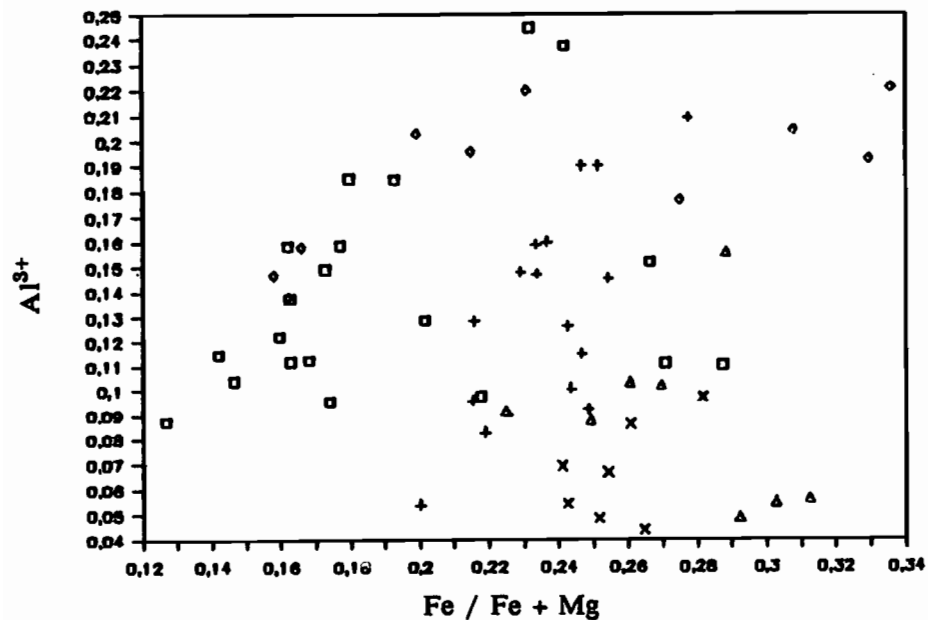


Figure III-31 : Evolution des principaux composants "non quadrilatéraux" en fonction du rapport FM = Fe / Fe + Mg dans les clinopyroxènes des laves des îles de :

B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté.

*Evolution of main "non quadrilateral" components versus FM in clinopyroxenes for islands lavas :*

*B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava and Vate.*

□ MVA15    + MOT1    ◊ VLC115    ▲ VLA15    × BOK11

**Figure III-32 : Substitutions des composants "non quadrilatéraux" dans les clinopyroxènes des laves des îles :**

**A - Ureparapara et de Vot Tande.**

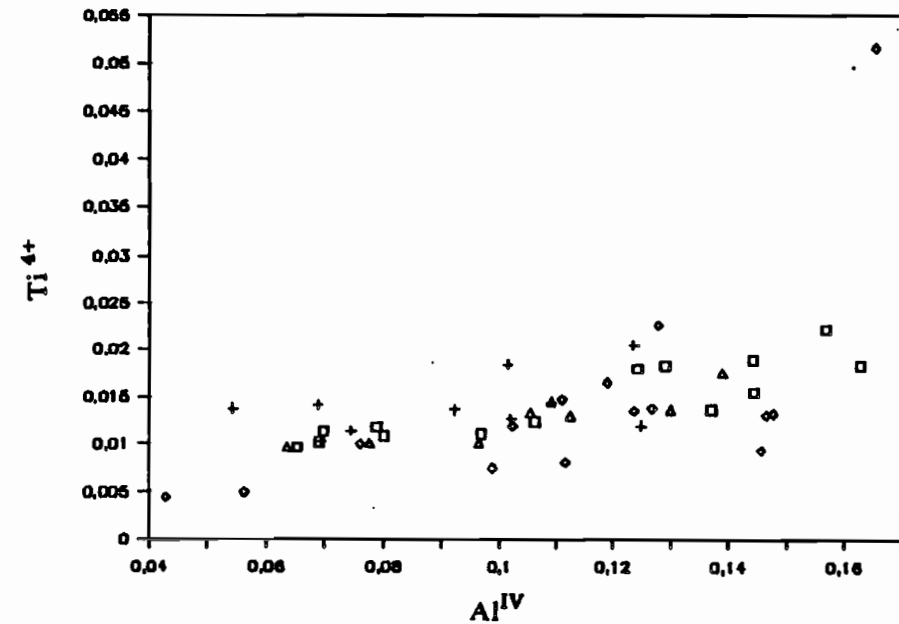
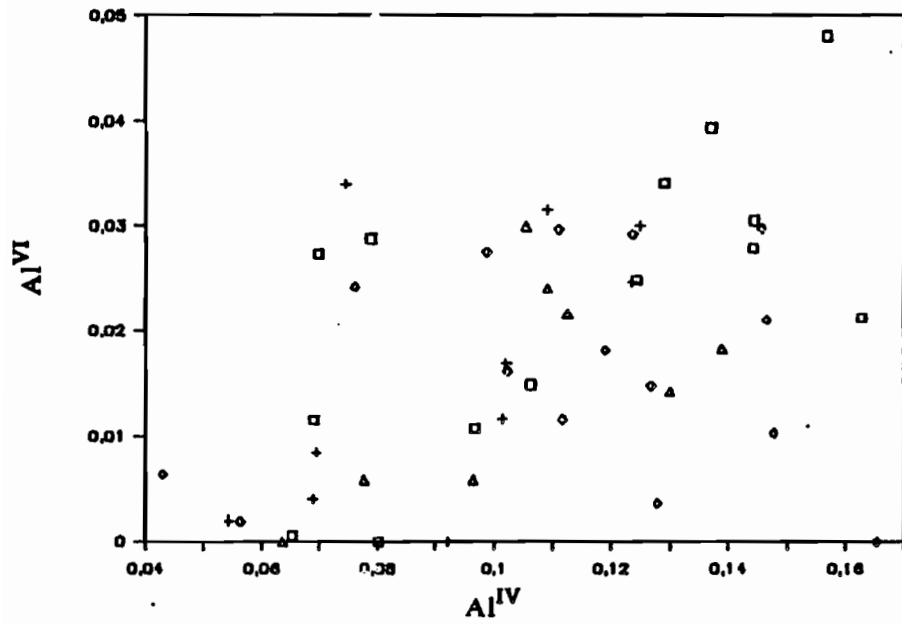
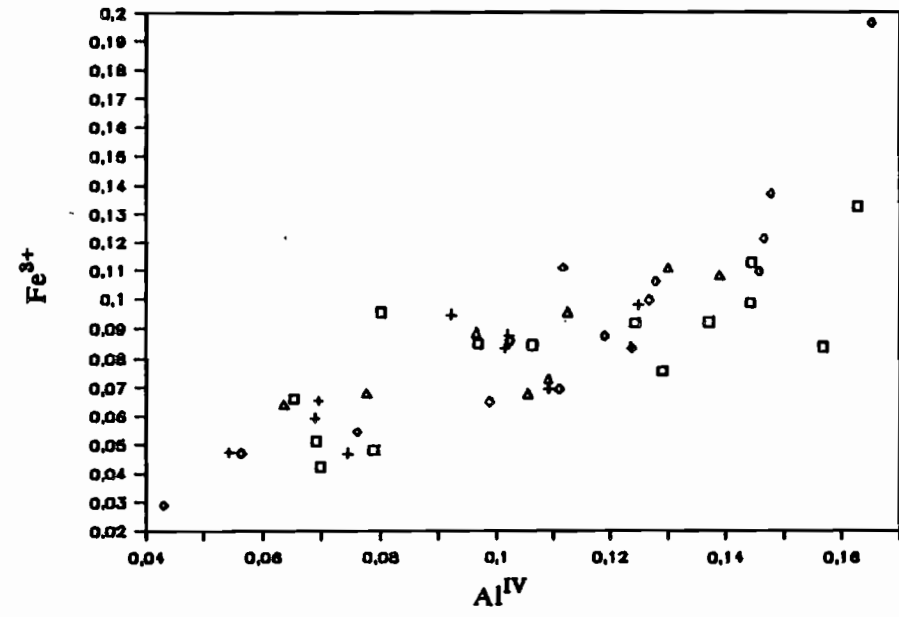
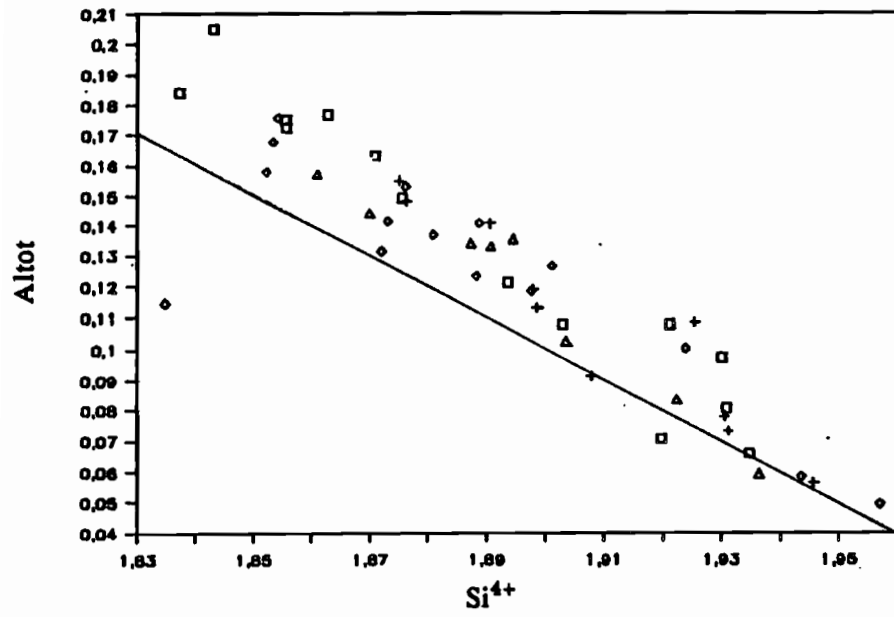
**B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté.**

*Substitutions of "non quadrilateral" components in clinopyroxenes from islands lavas :*

*A -Ureparapara and Vot Tande.*

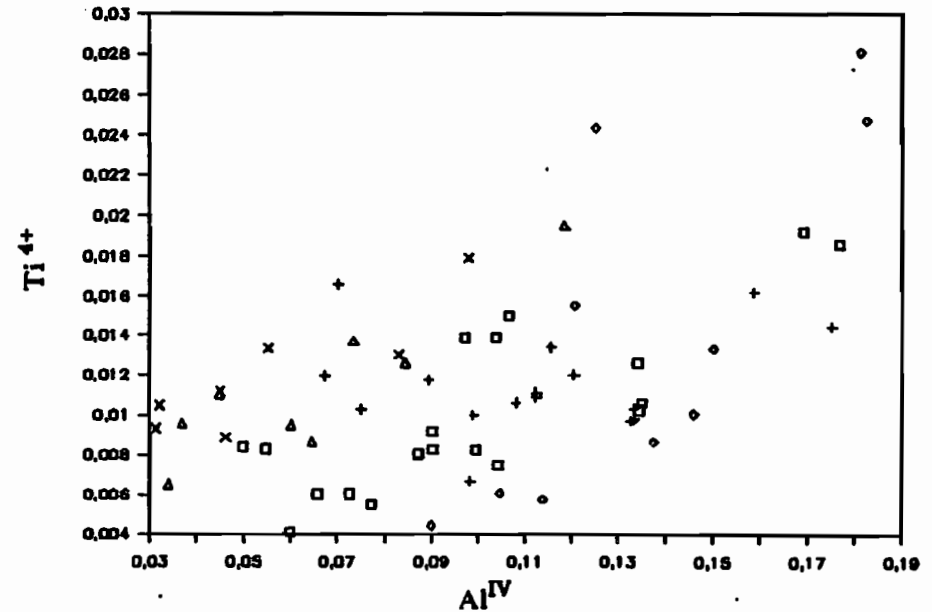
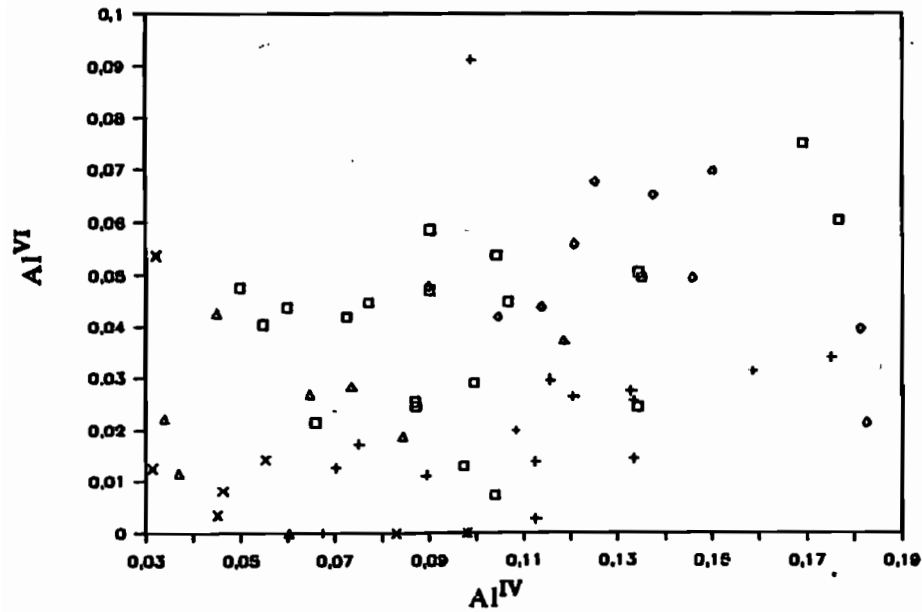
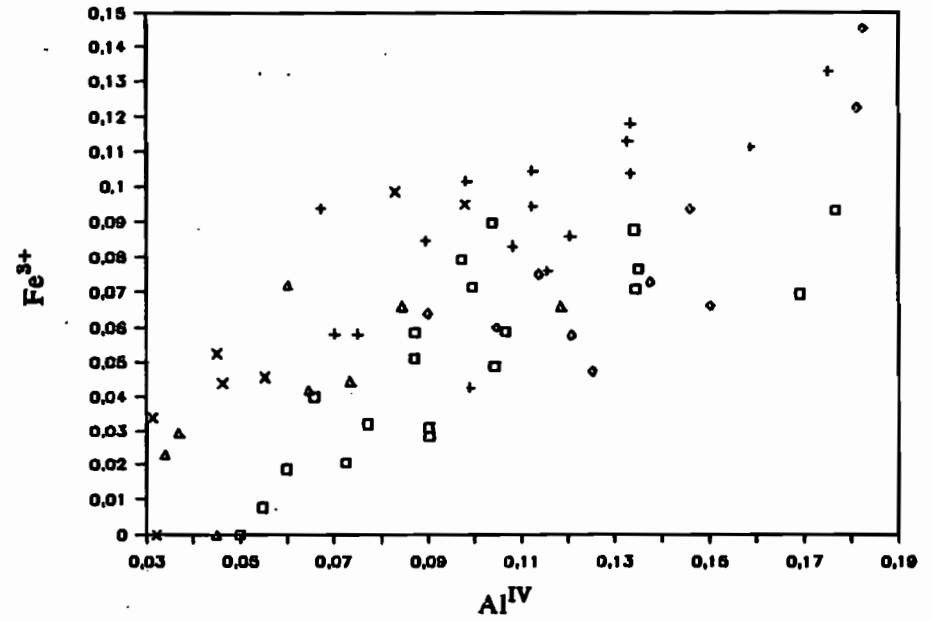
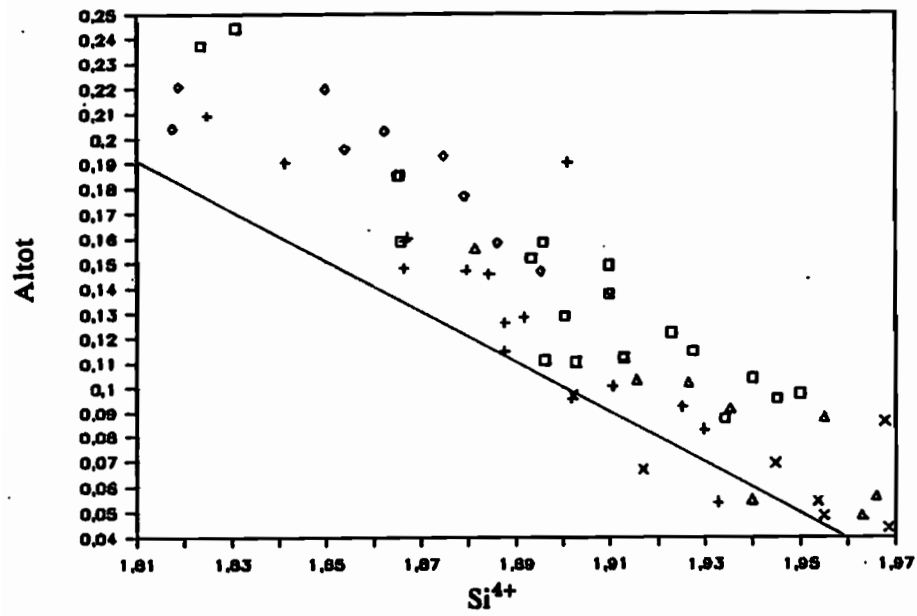
*B -Mota Lava, Mota, Vanua Lava and Vate.*

Laves des îles d'Ureparapara et de Vot Tande



□ URG2 + URMM2 ♦ VGM1 ▲ VGA8

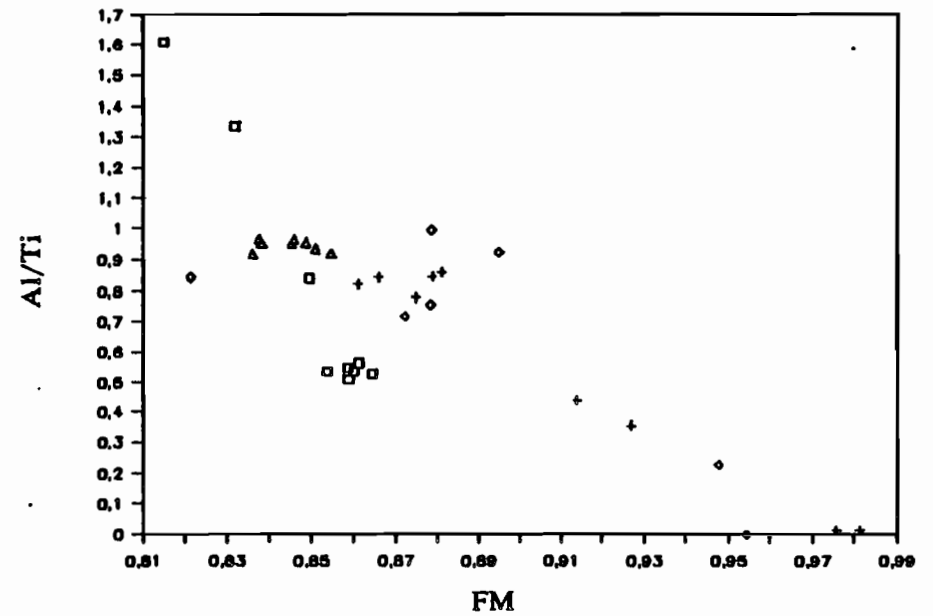
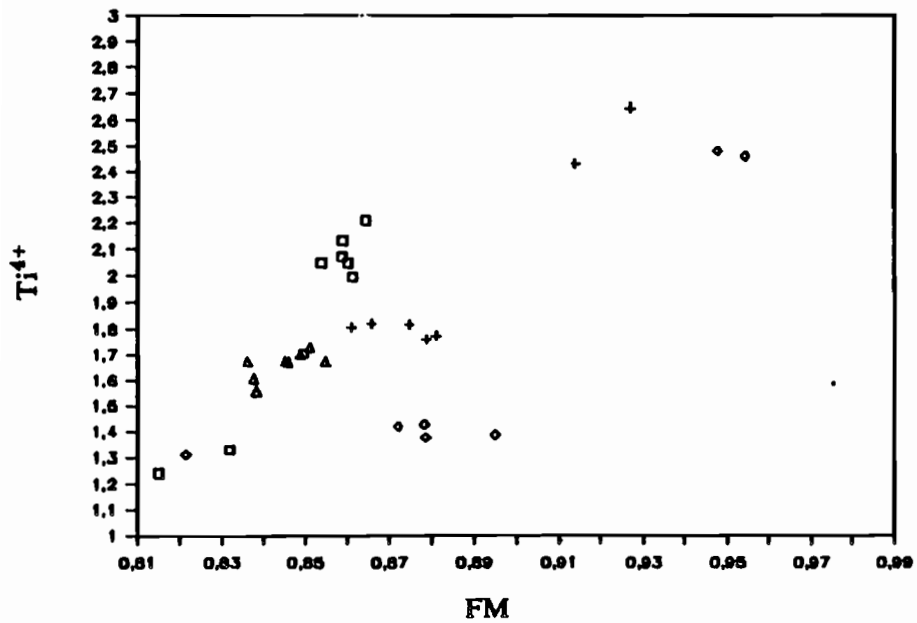
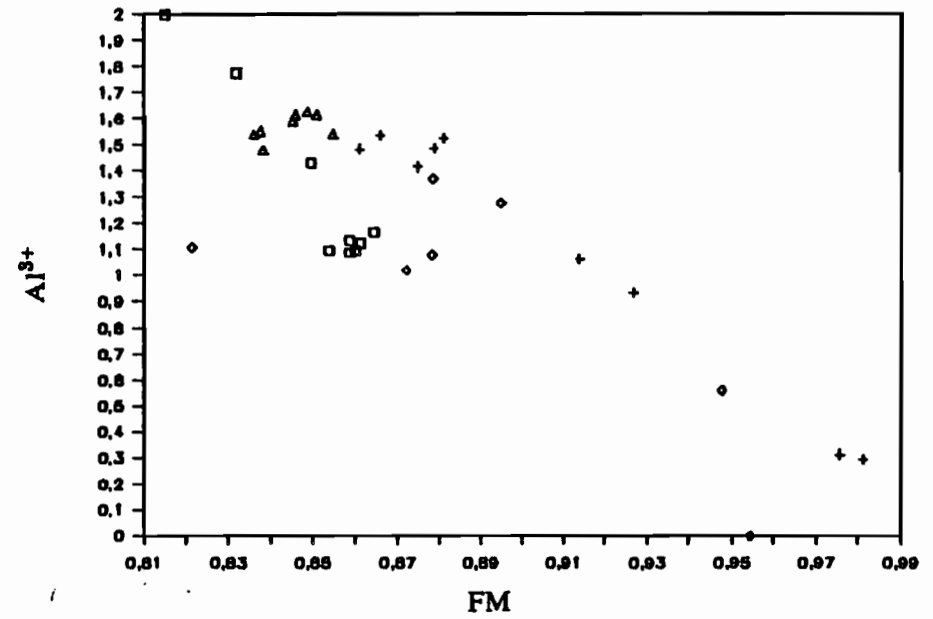
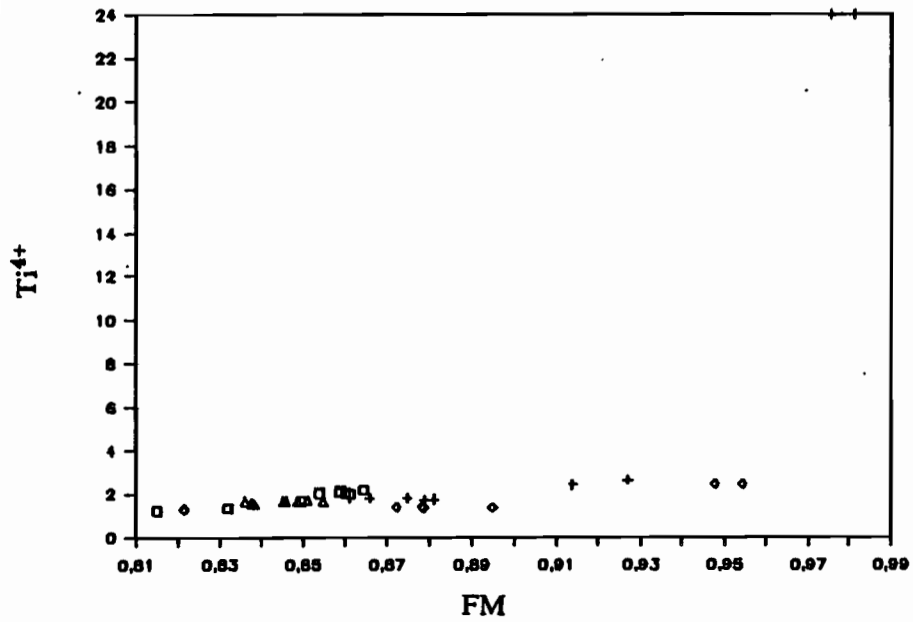
A - Ureparapara et Vot Tande.



□ MVA15 + MOTI • VLC115 ▲ VLA15 × VGA8

B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté.

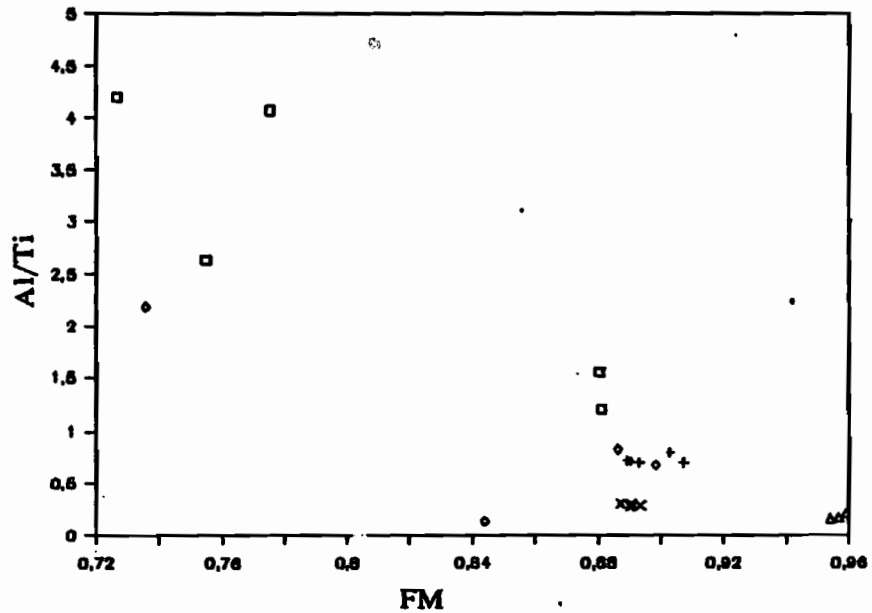
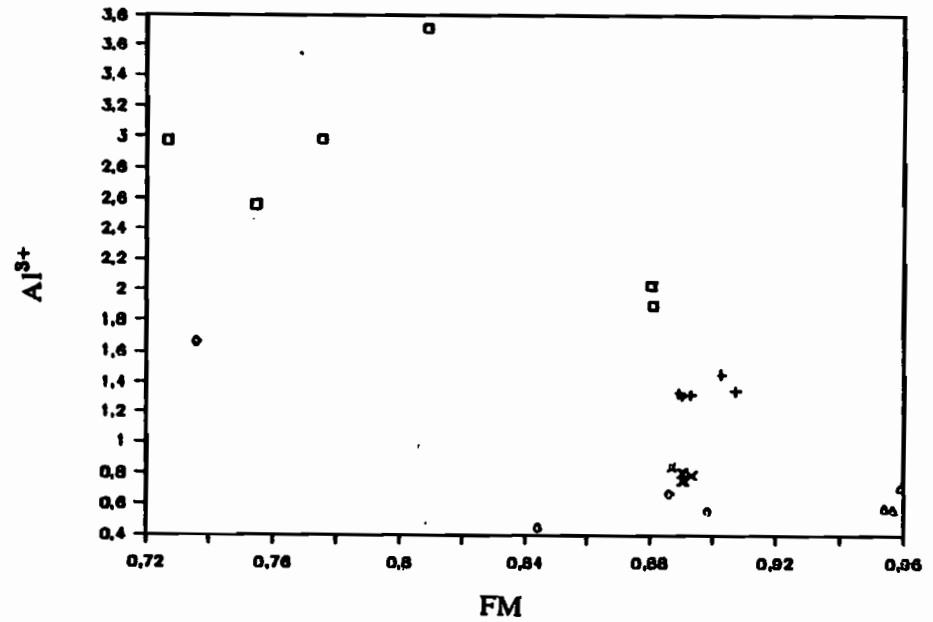
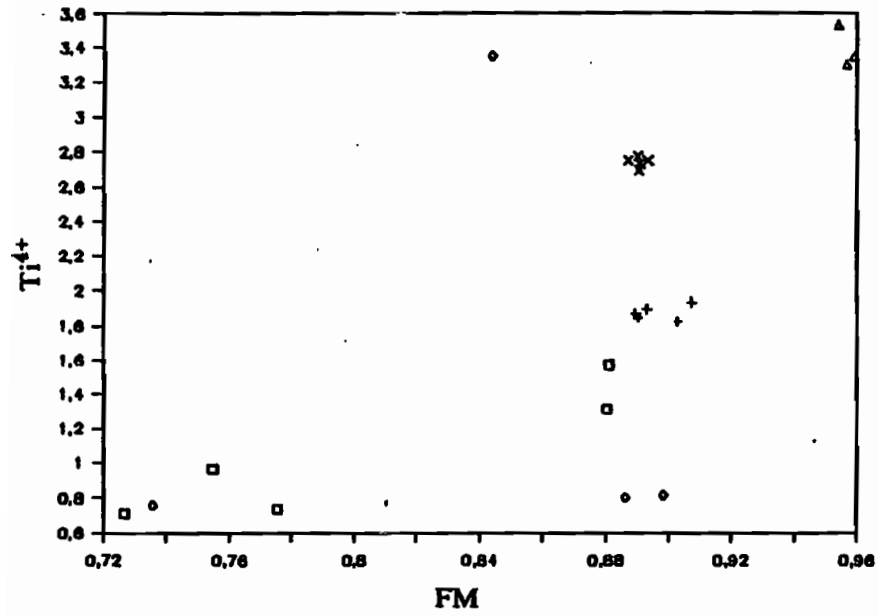
Laves des îles d'Ureparapara et de Vot Tande



□ URG2 + URMM2 • VGM1 ▲ VGA8

A - Ureparapara et de Vot Tande.

Laves des îles de Vanua Lava, Mota, Mota Lava et Vaté



□ VLC115 + VLA15 ◊ MOT1 ▲ MVA15 × BOK11

Figure III-33 : Variations de Ti et d'Al en fonction de FM ( $Fe^{2+} / Fe^{2+} + Mg^{2+}$ ) dans les titanomagnétites des laves des îles :

A - Ureparapara et de Vot Tande.

B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté.

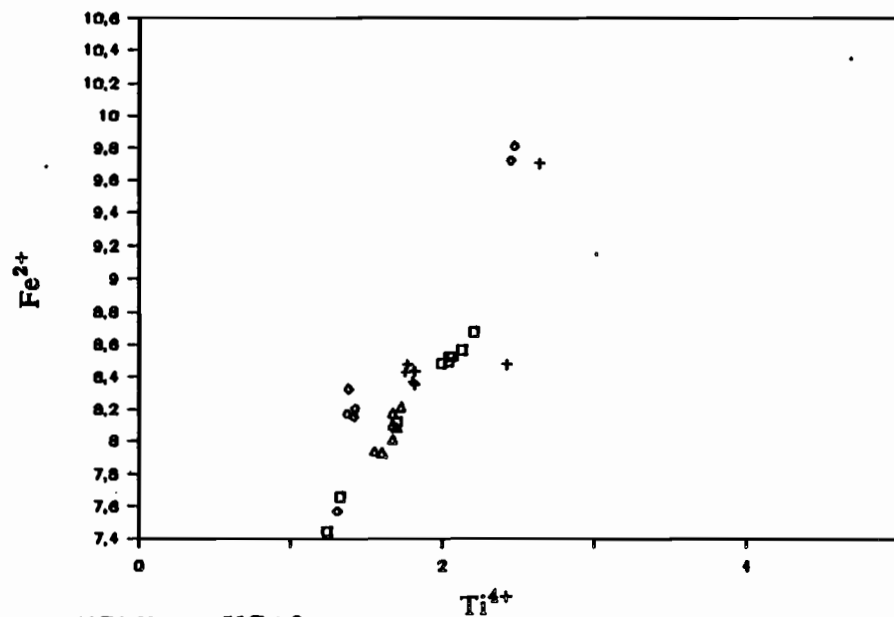
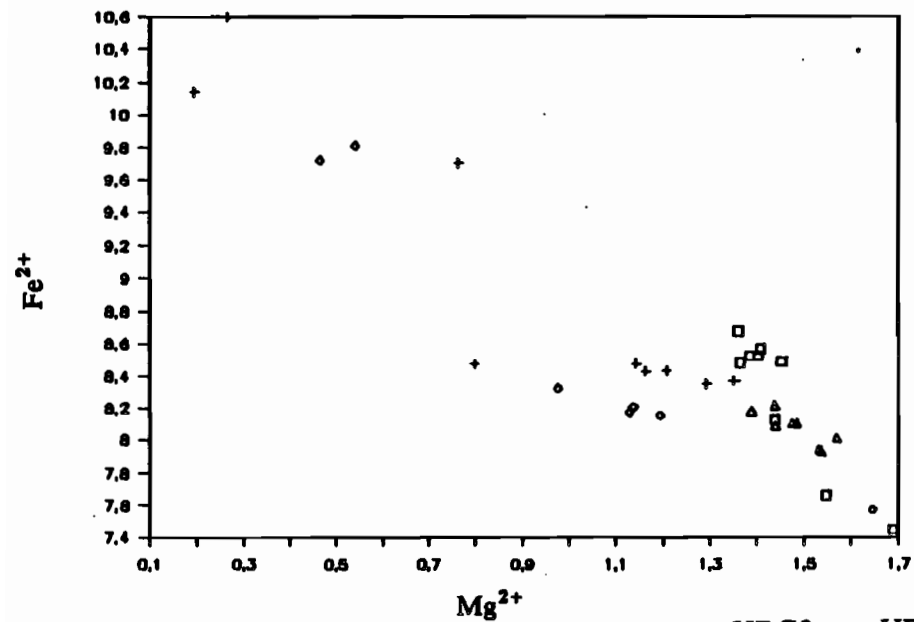
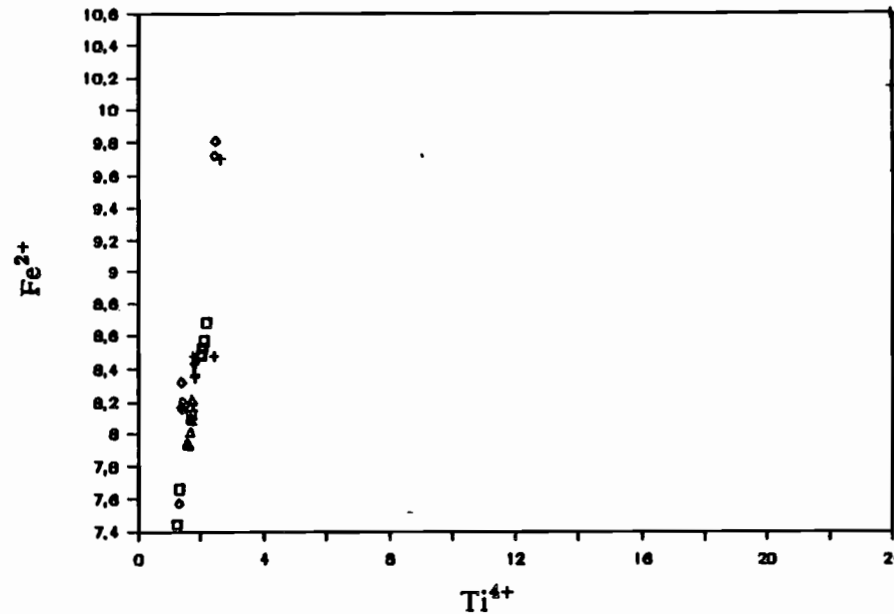
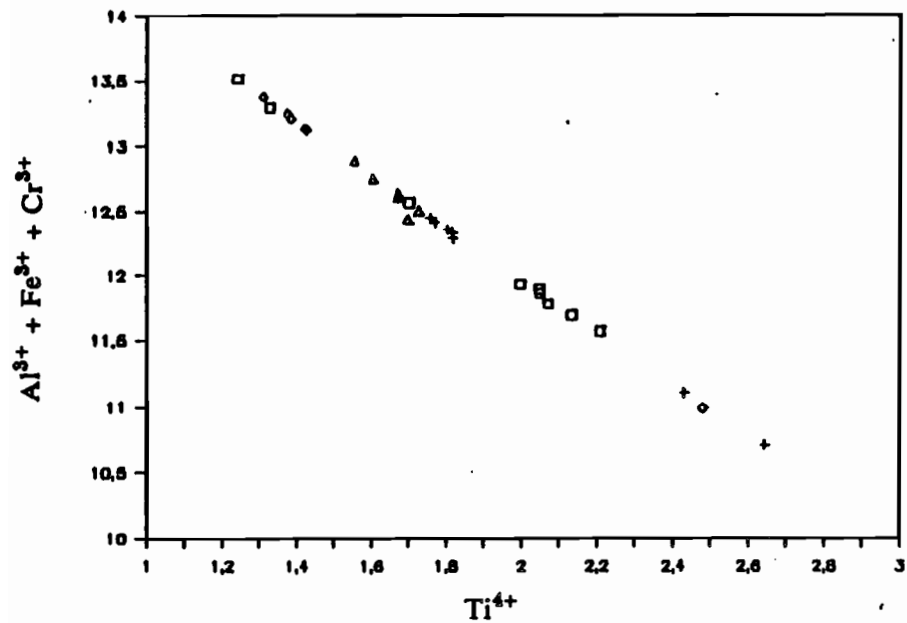
*Variations of Ti and Al versus FM for titanomagnetites from islands :*

*A - Ureparapara and Vot Tande.*

*B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava and Vate.*

B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté.

Laves des îles d'Ureparapara et de Vot Tande



□ URG2 + URMM2   ♦ VGM1   ▲ VGA8

A - Ureparapara et de Vot Tande.

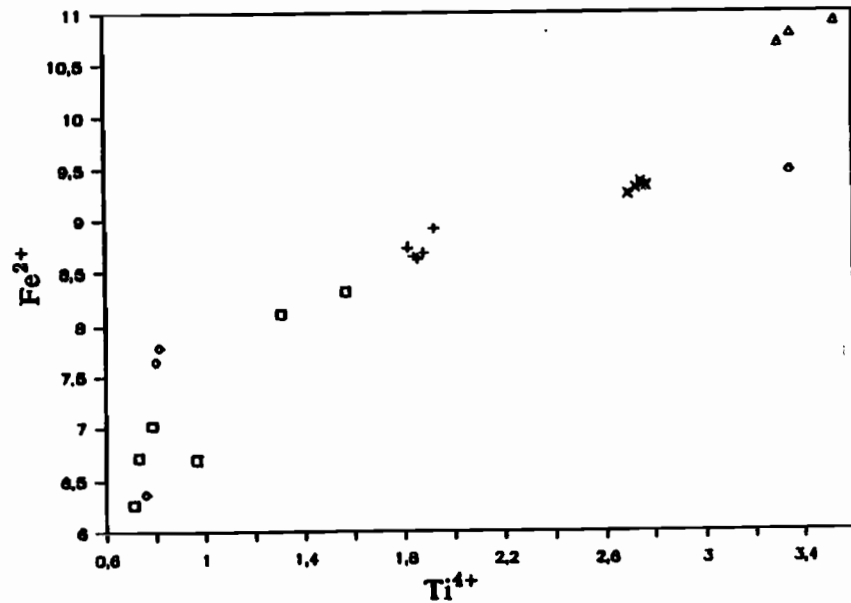
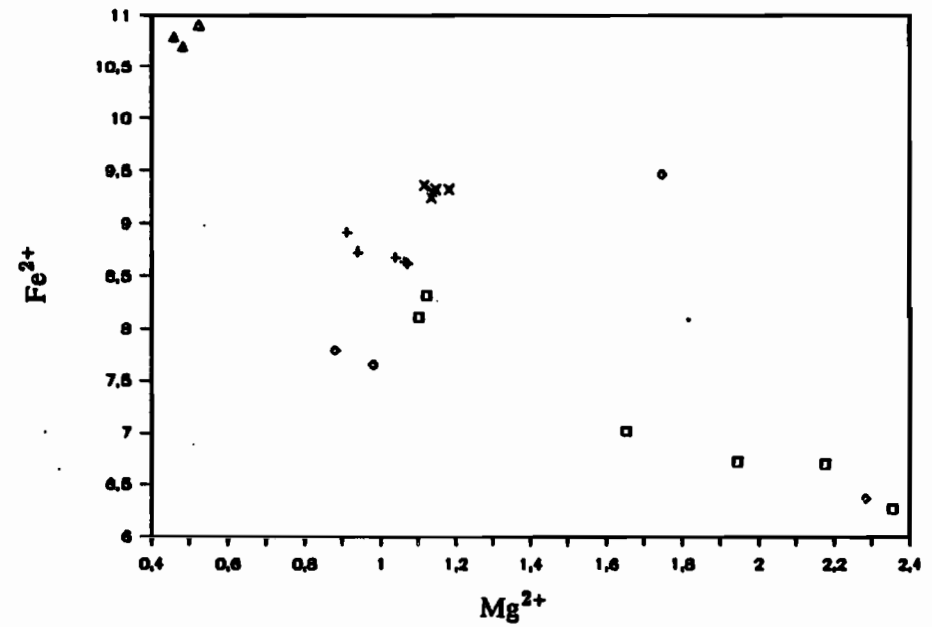
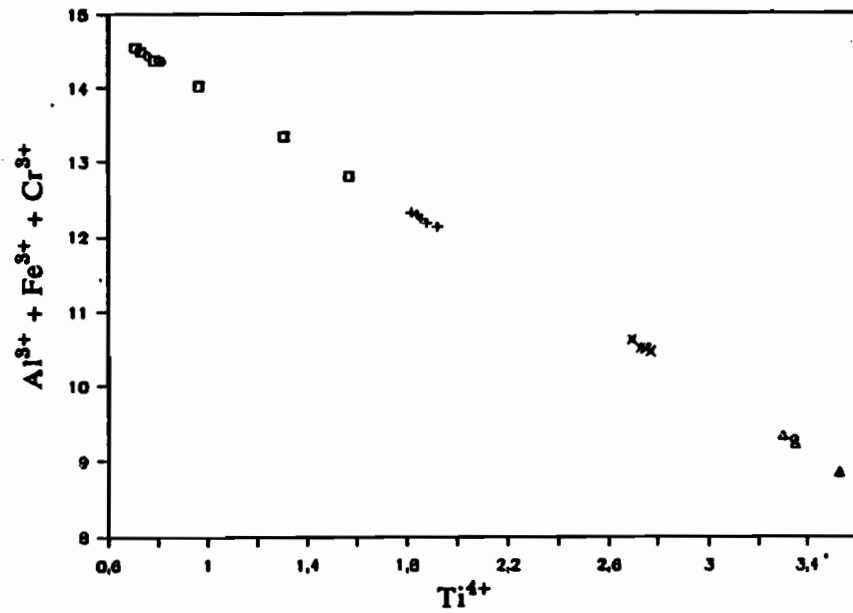


Figure III-34 : Corrélations  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  dans les titanomagnétites des laves des îles :

A - Ureparapara et de Vot Tande.

B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté.

$Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$  and  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  correlation in titanomagnetites from islands

A - Ureparapara and Vot Tande.

B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava and Vate.

□ VLC115   + VLA15   ◊ MOT1   ▲ MVA15   × BOK11

B - Mota Lava, Mota, Vanua Lava et Vaté.

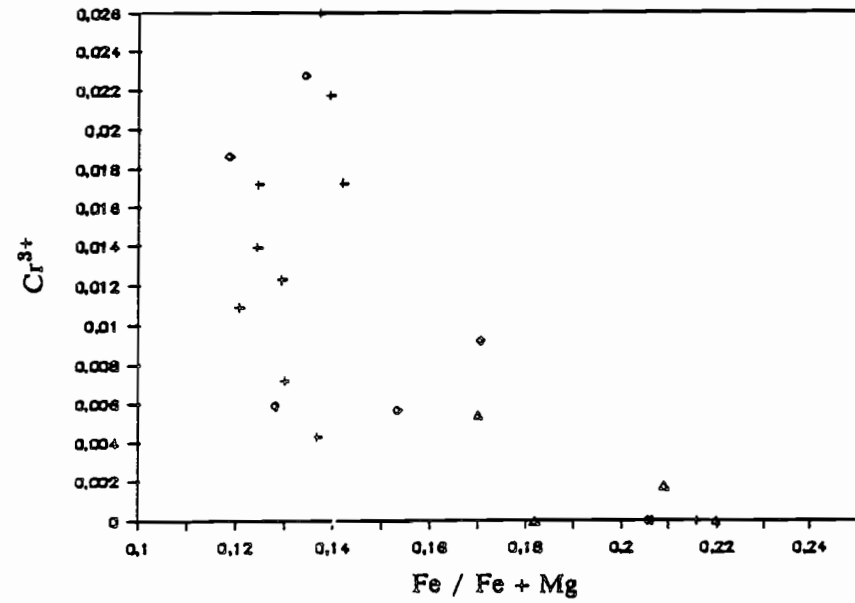
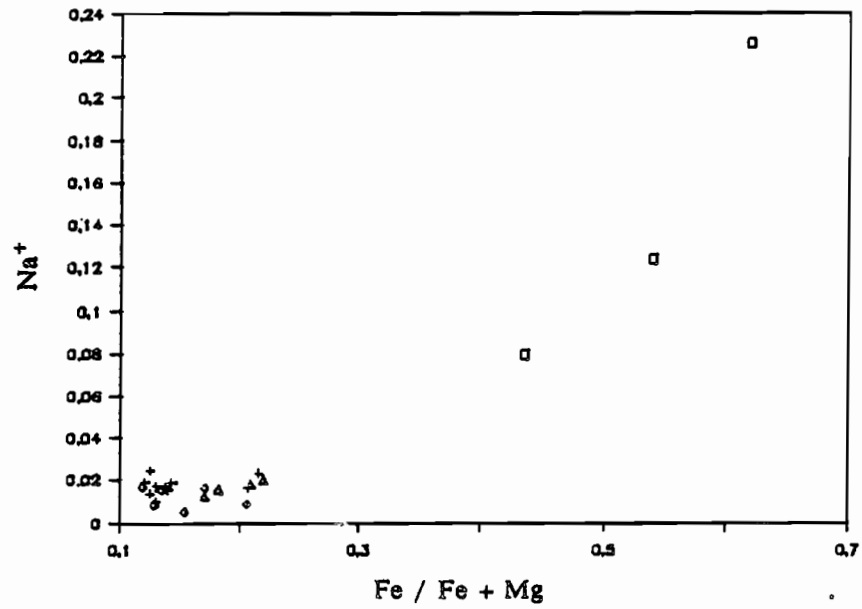
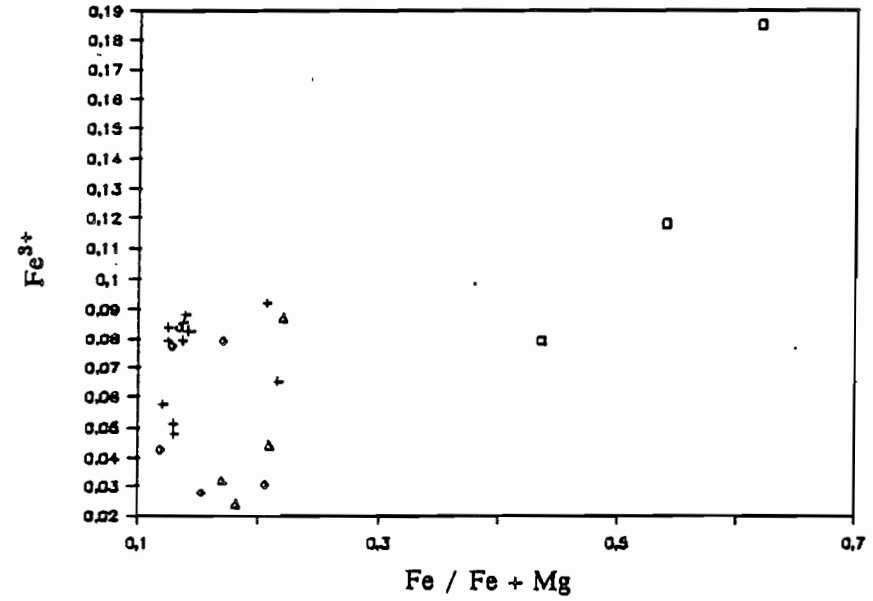
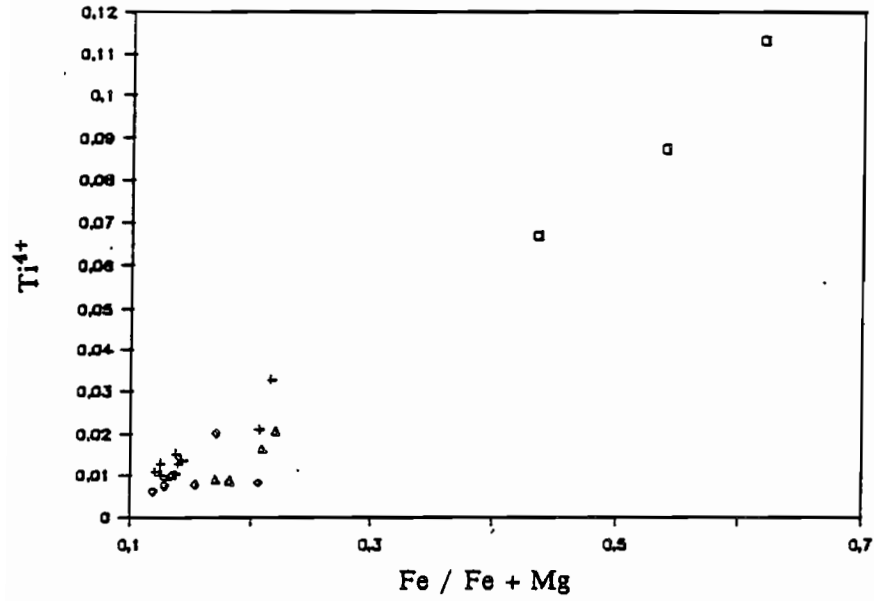
Figure III-35 : Evolution des principaux composants "non quadrilatéraux" en fonction du rapport  $FM = Fe / Fe + Mg$  dans les clinopyroxènes des laves des fossés :

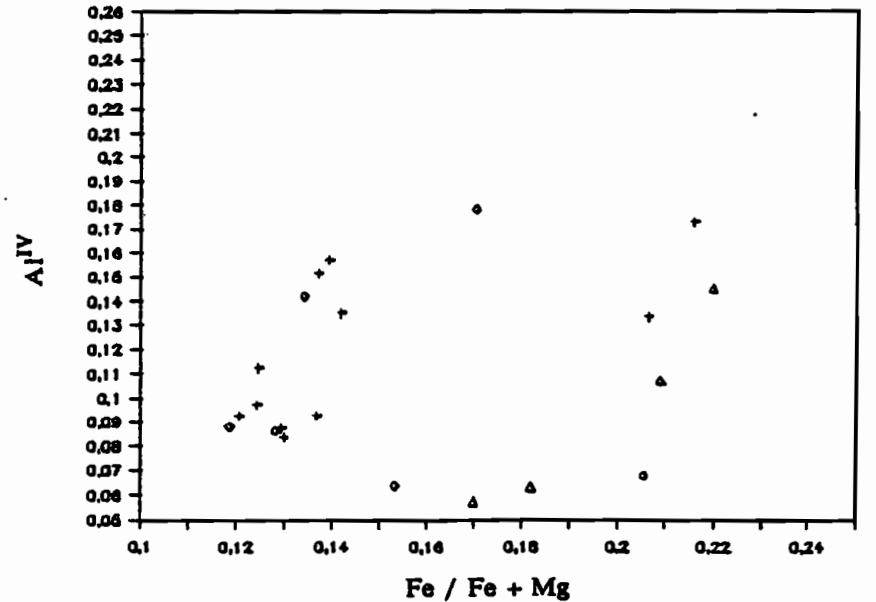
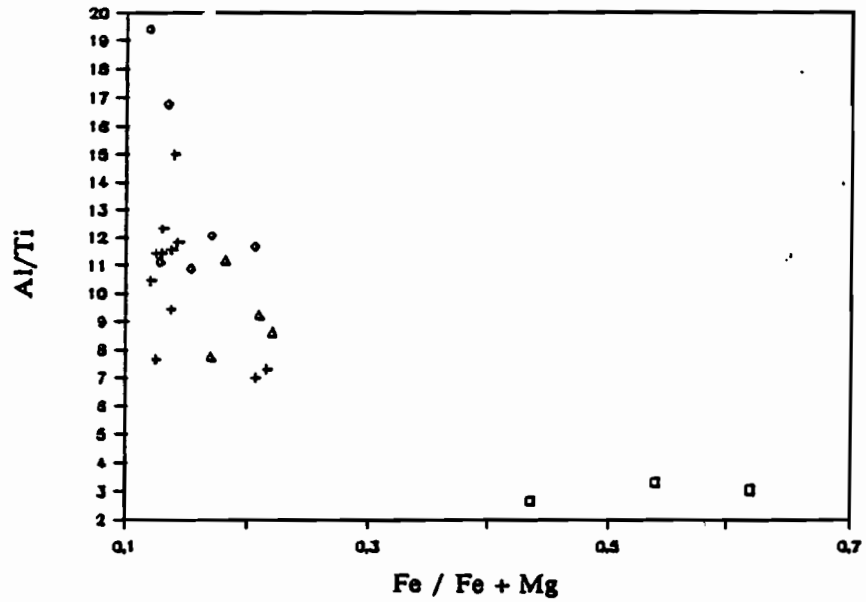
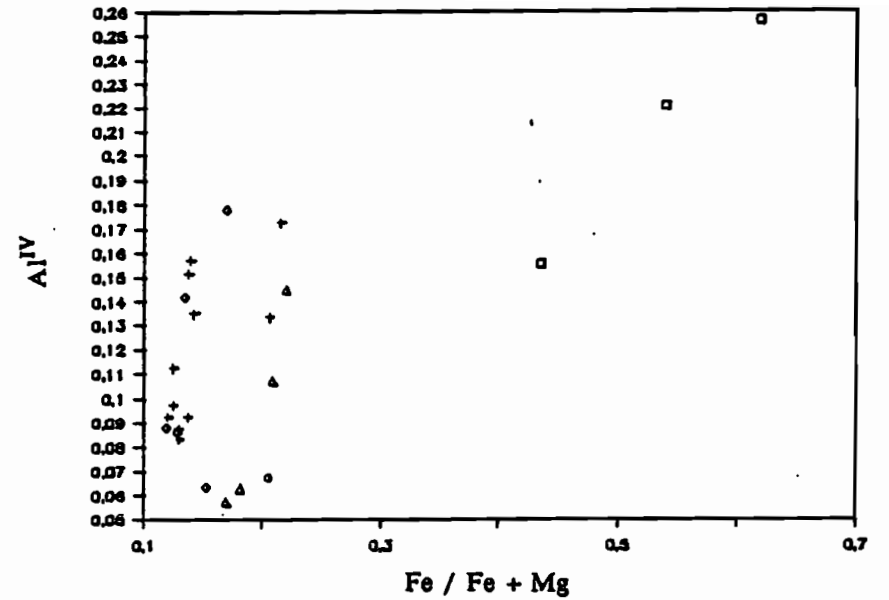
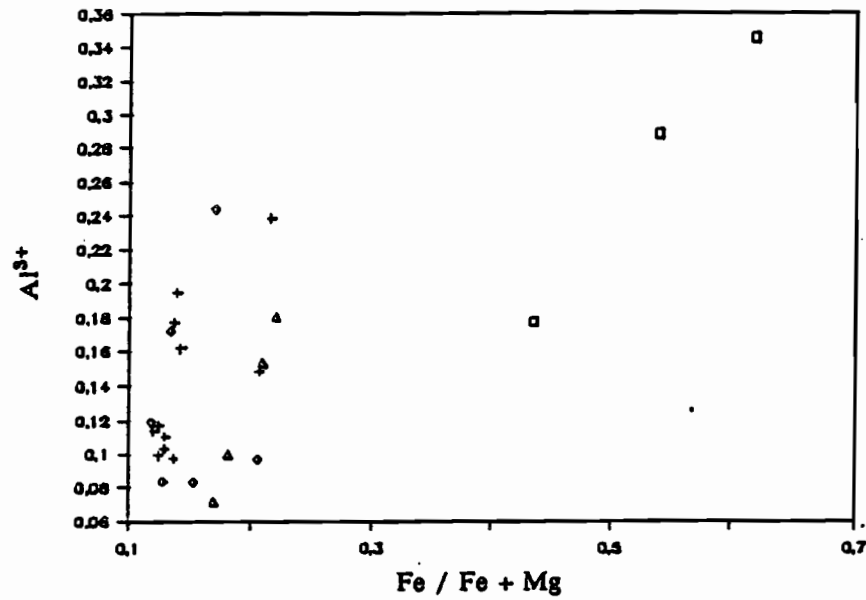
- A - Laves basiques de la zone Vanikoro.
- B - Laves acides de la zone Vanikoro.
- C - Basaltes des zones Vot Tande et Hazel Holme.
- D - Laves basiques de la zone Vaté.
- E - Laves de la zone Vaté.
- F - Laves de la zone Erromango.
- G - Laves de la zone Futuna.

*Plot of the cation numbers against FM for clinopyroxenes from lavas of troughs :*

- A - Basic lavas from Vanikoro area.*
- B - Acid lavas from Vanikoro area.*
- C - Basalts from Vot Tande and Hazel Holme areas.*
- D - Basic lavas from Vate area.*
- E - Lavas from Vate area.*
- F - Lavas from Erromango area.*
- G - Lavas from Futuna area.*

Basaltes de la zone VANIKORO



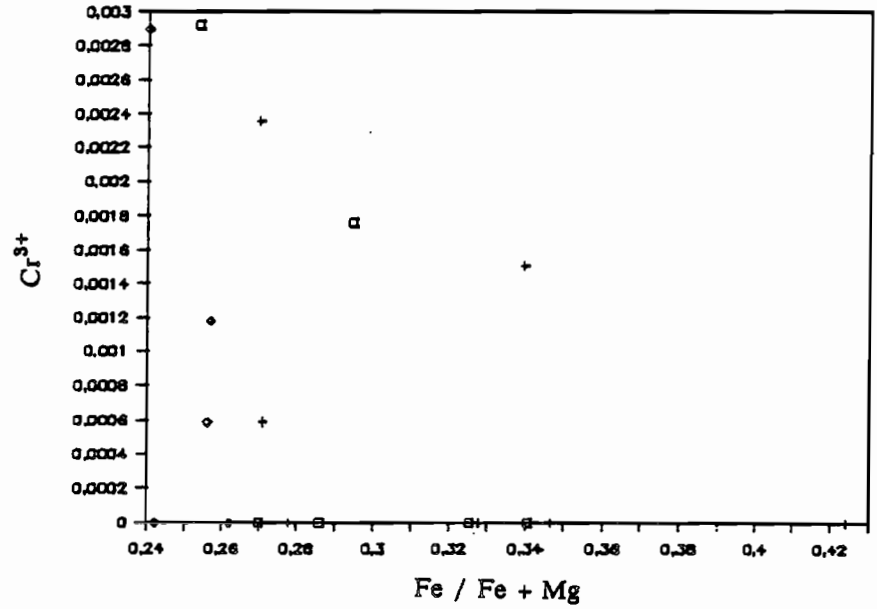
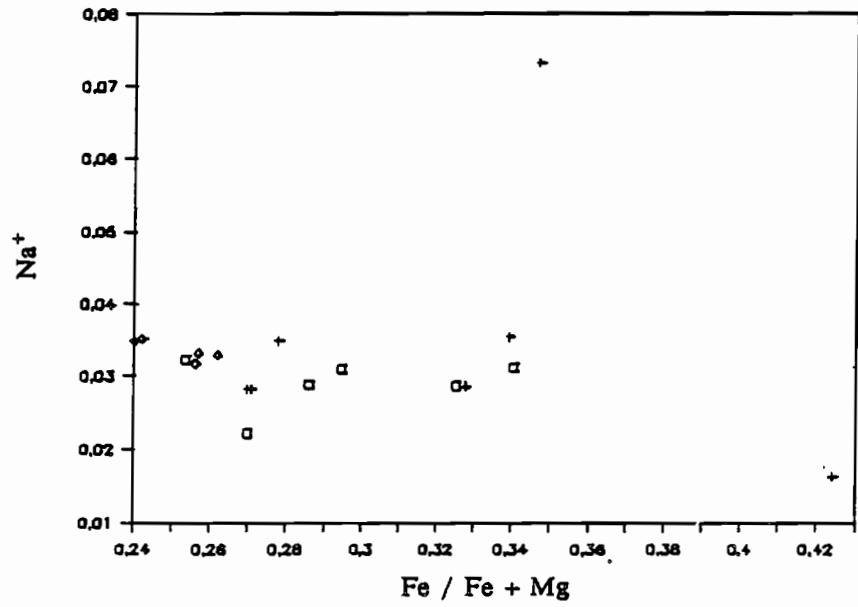
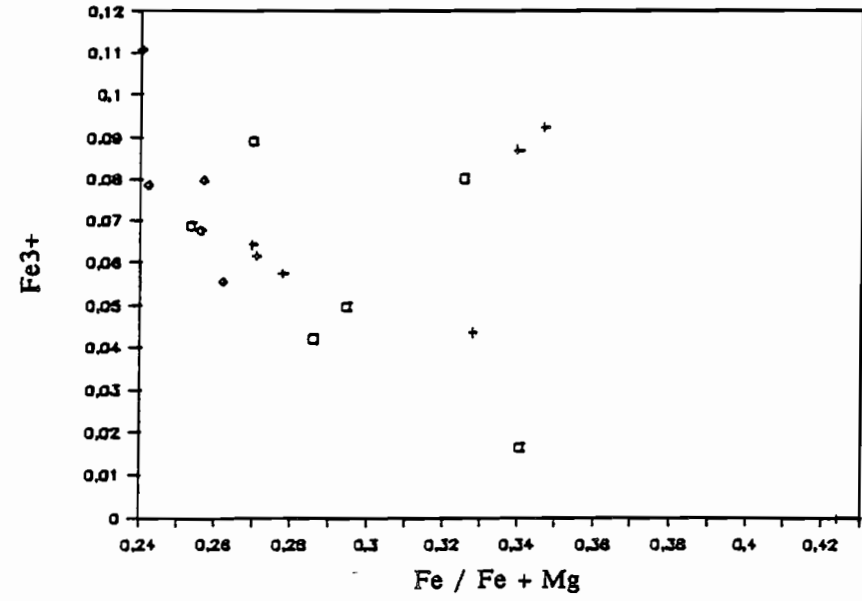
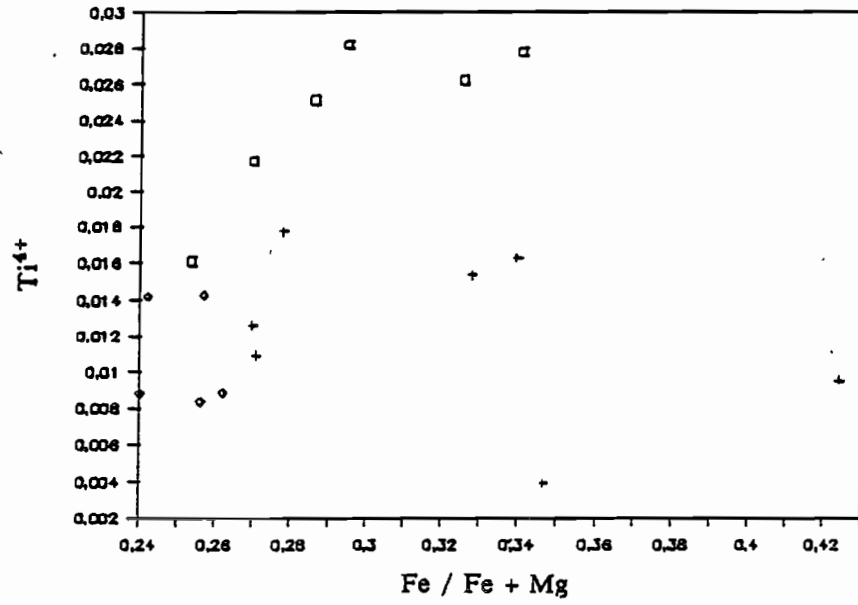


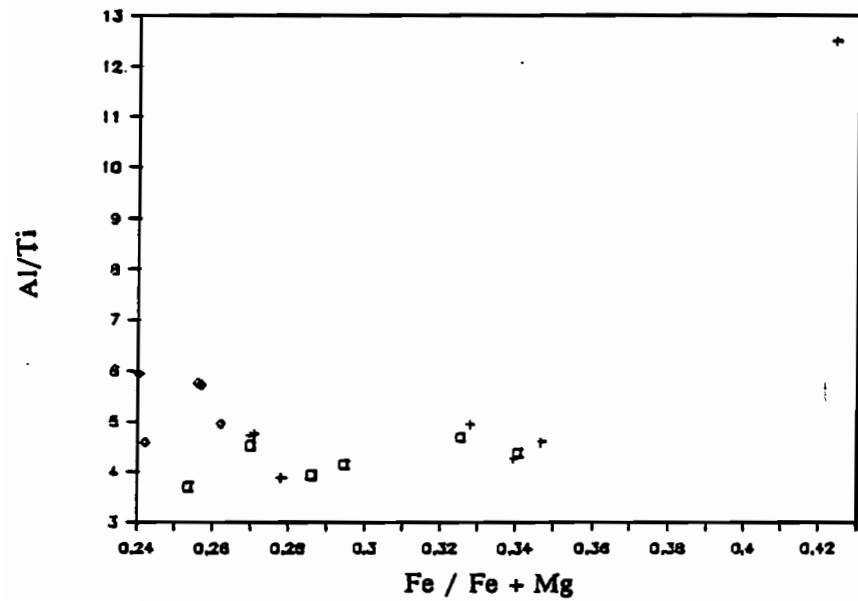
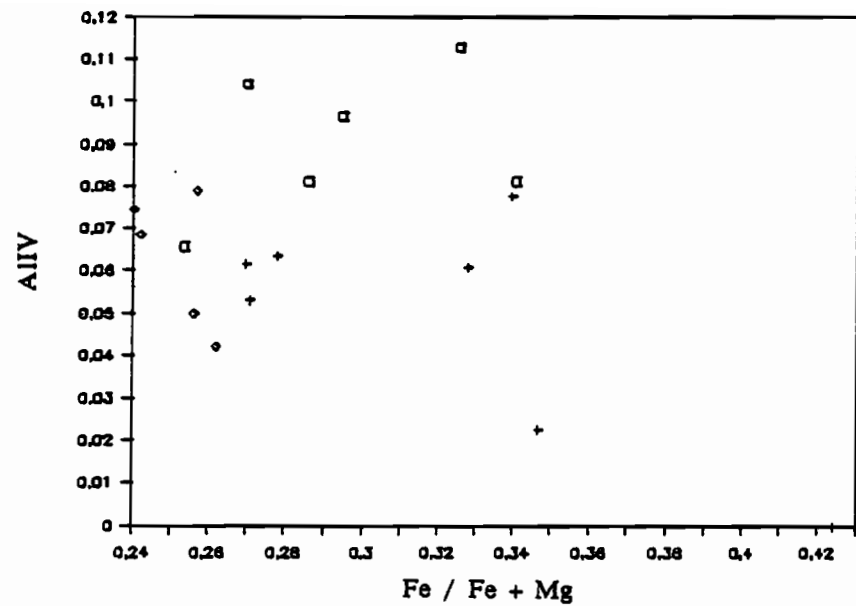
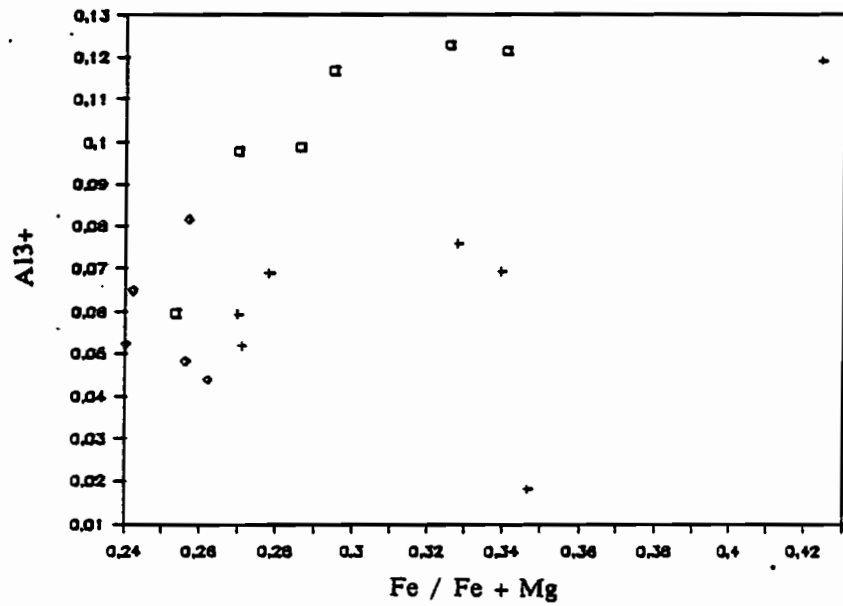
□ D7M2 m    + D2M5 P+m    ◊ D5M5 m    ▲ D6M1 P+m

P : phénocristaux  
m : microlites

A - Laves basiques de la zone Vanikoro.

Andésites et dacites de la zone VANIKORO

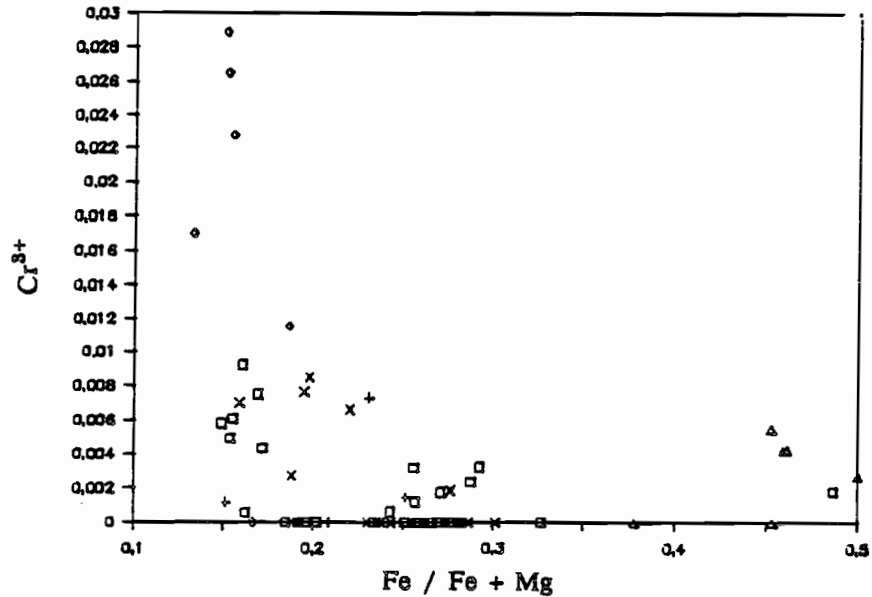
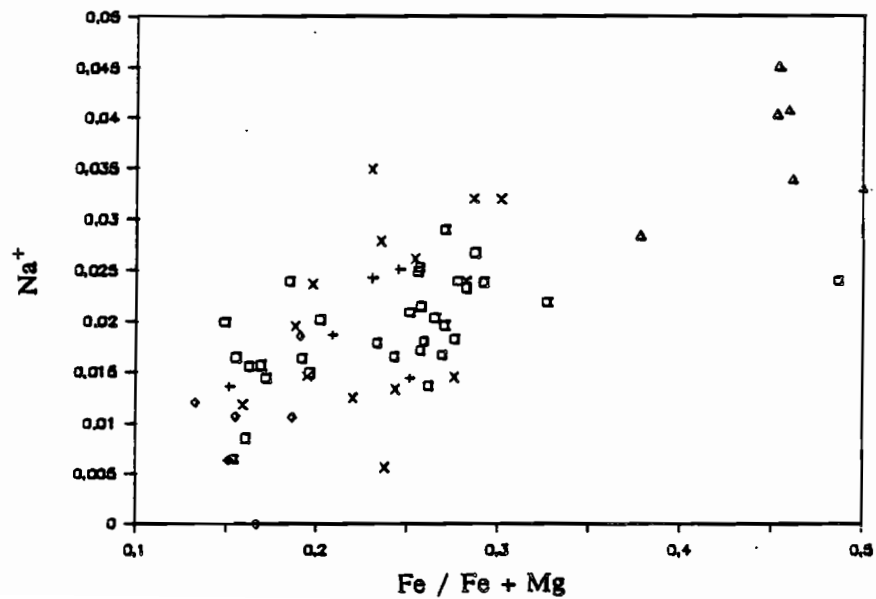
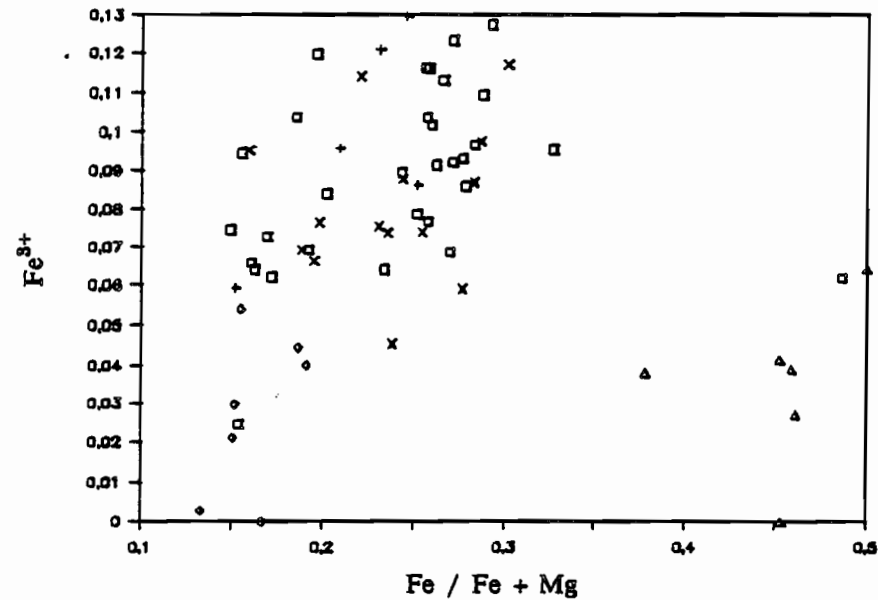
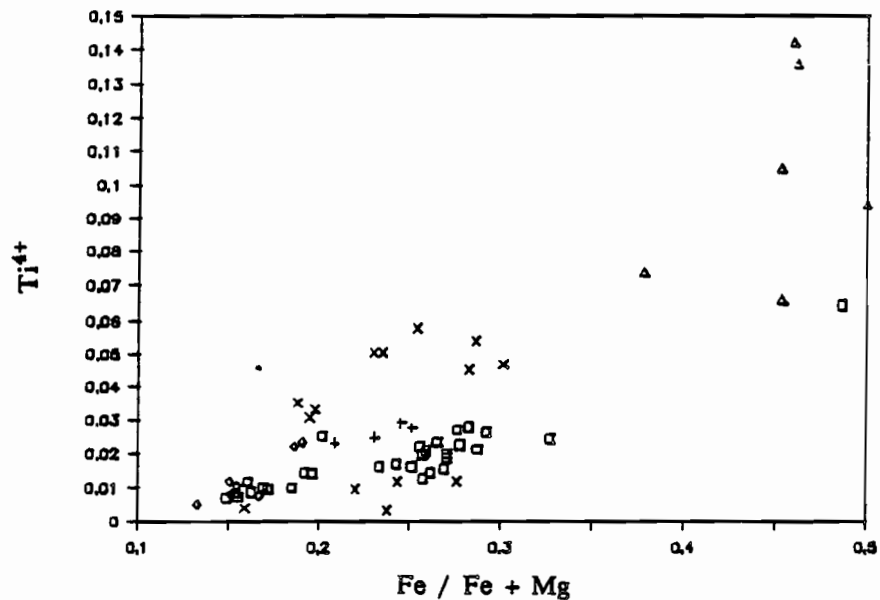


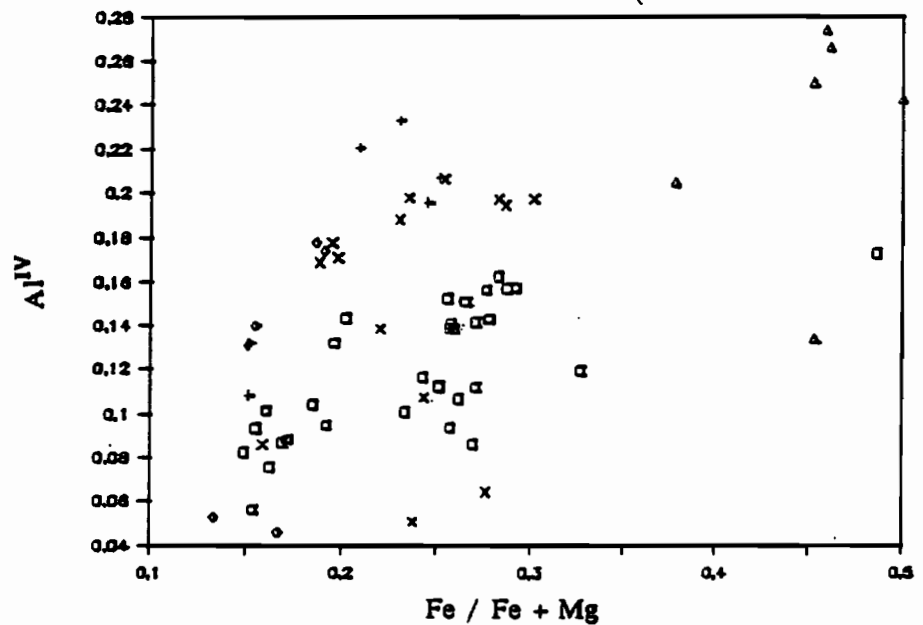
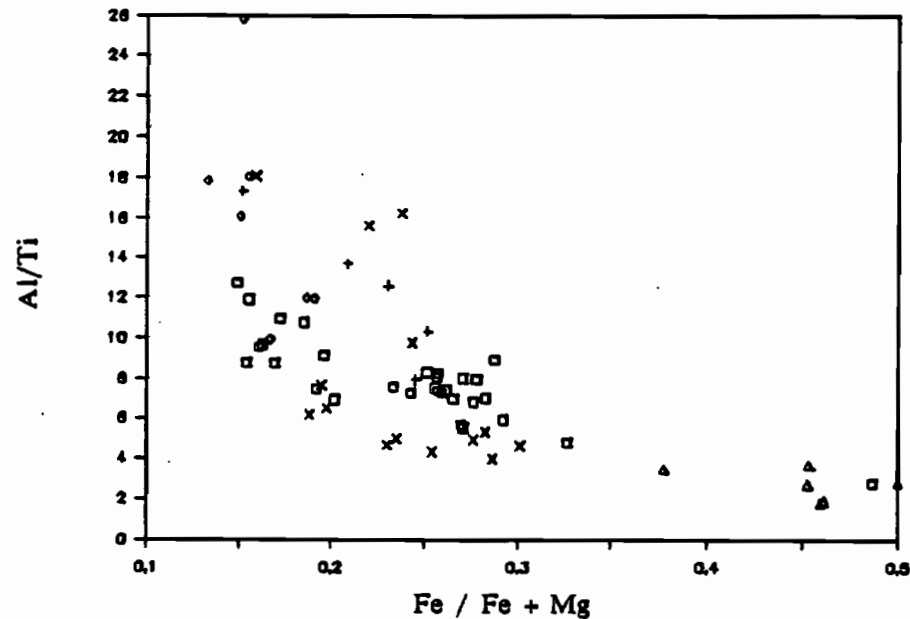
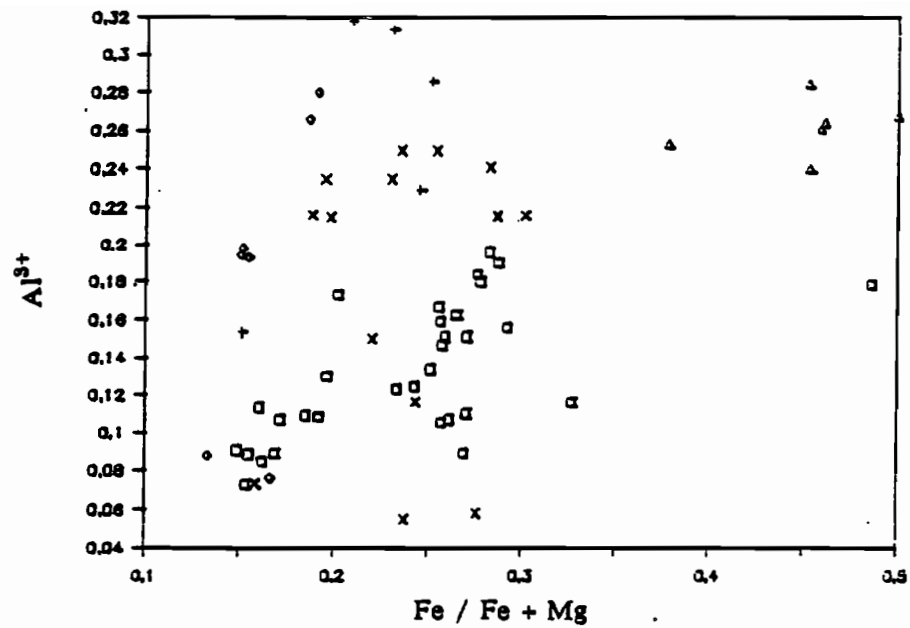


B - Laves acides de la zone Vanikoro.

□ D3M1 + DIM1   ◇ DIM8

Basaltes des zones VOT TANDE et HAZEL HOLME

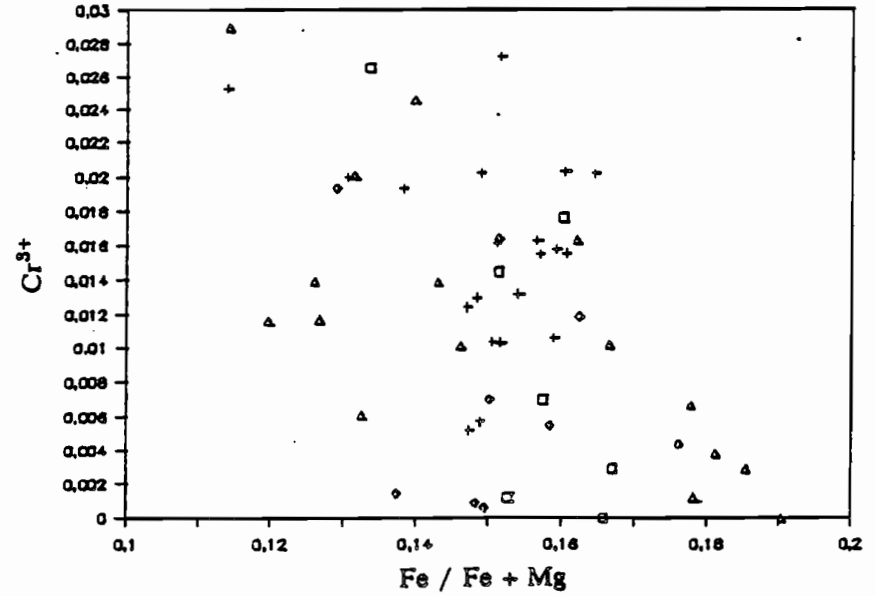
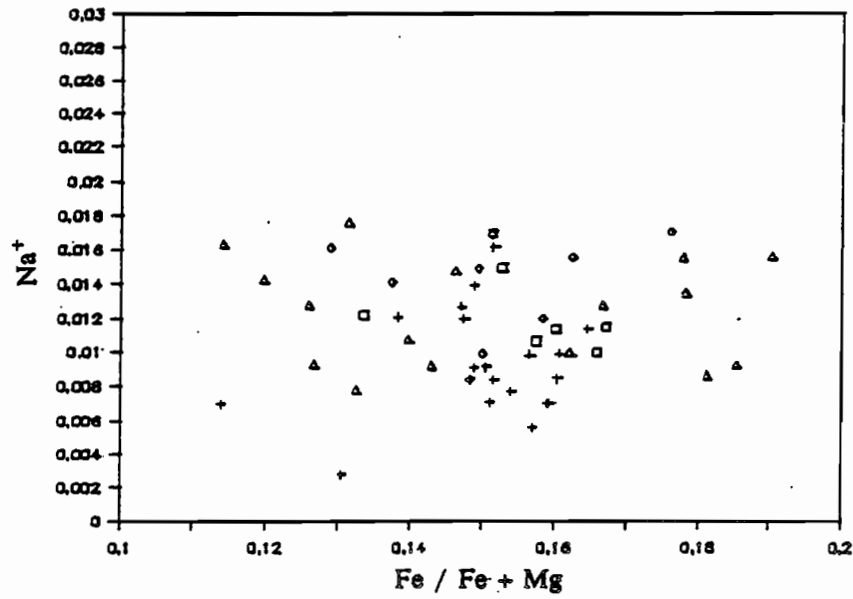
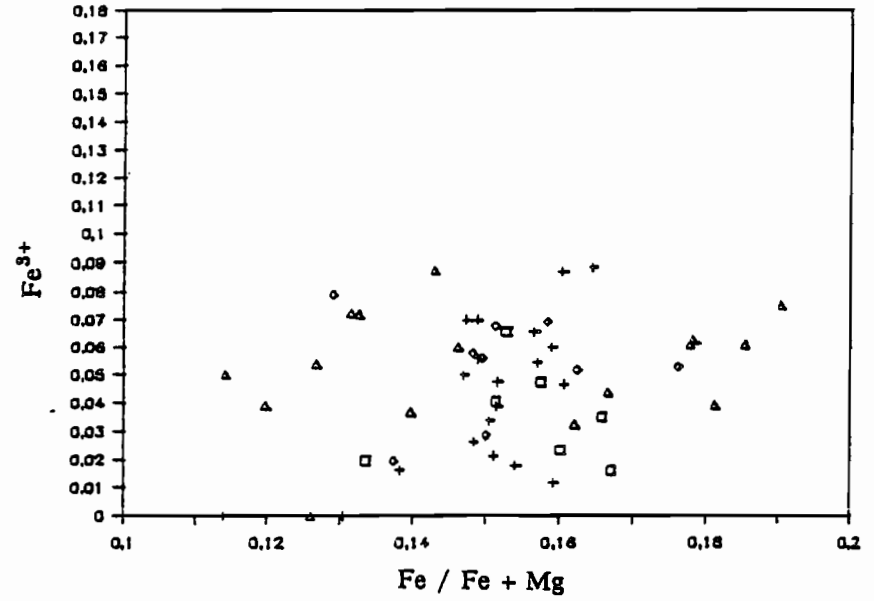
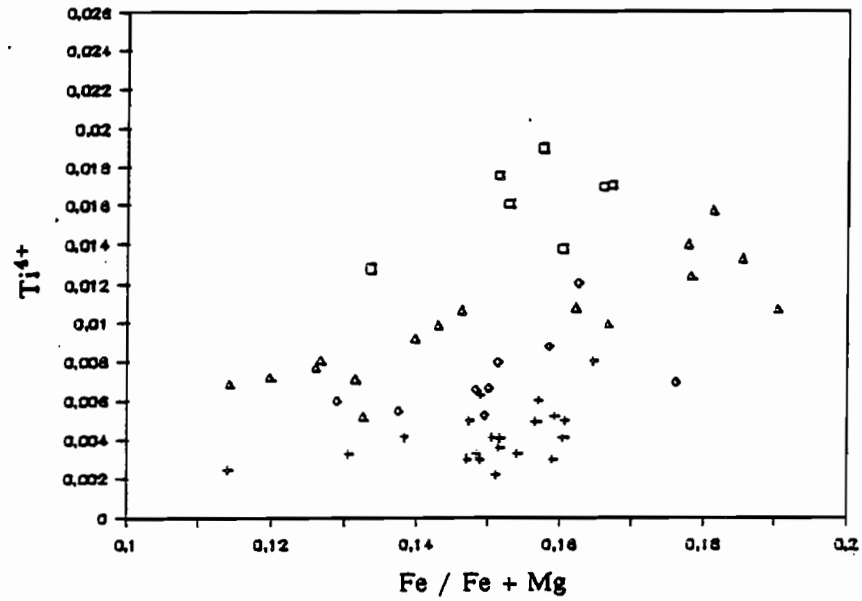


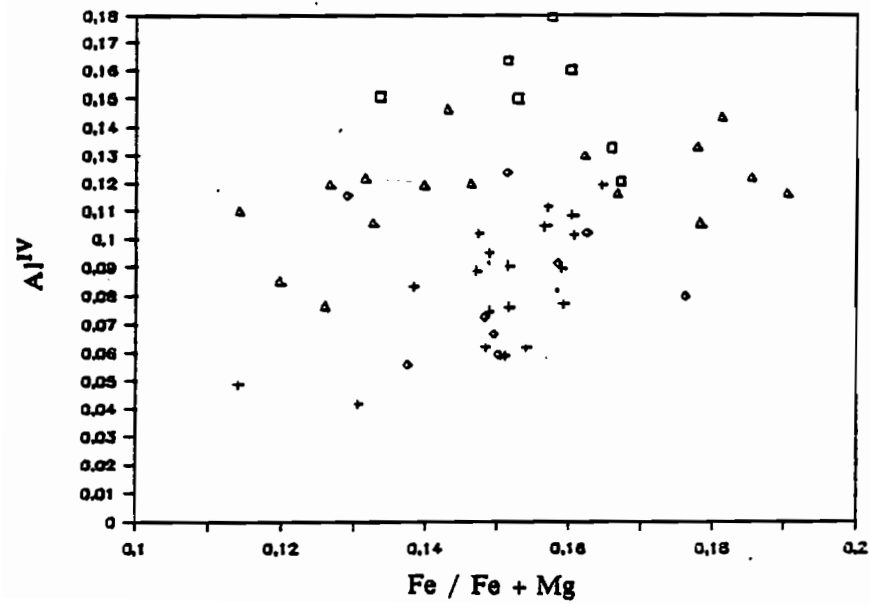
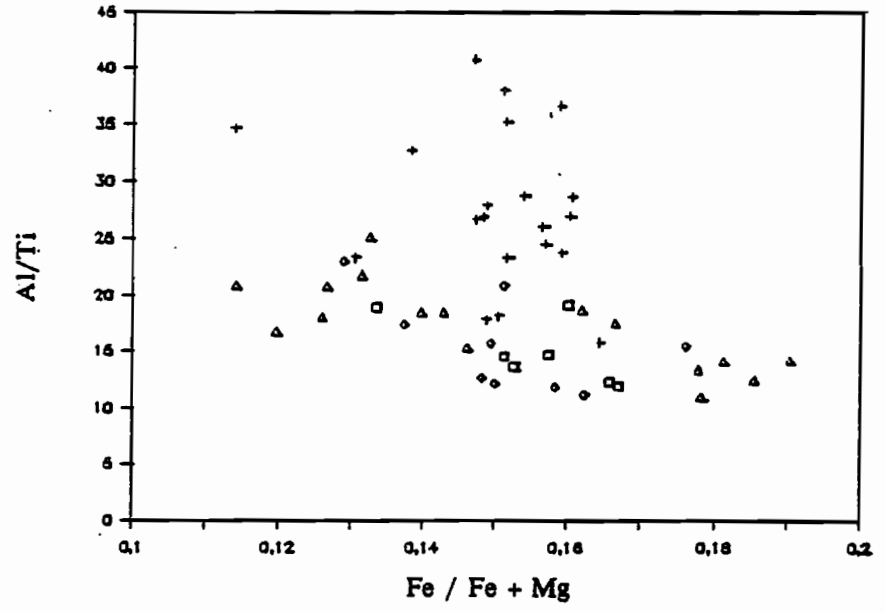
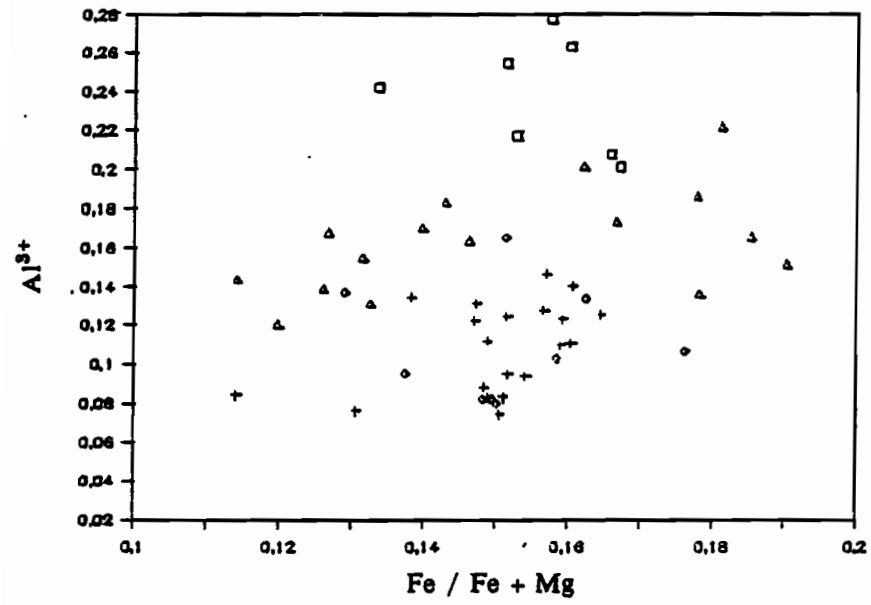


C - Basaltes des zones Vot Tande et Hazel Holme.

□ D11M1    + D10M1    ♦ D12M1    ▲ D14M1    × D14M14    D15M6

Laves basiques de la zone VATE

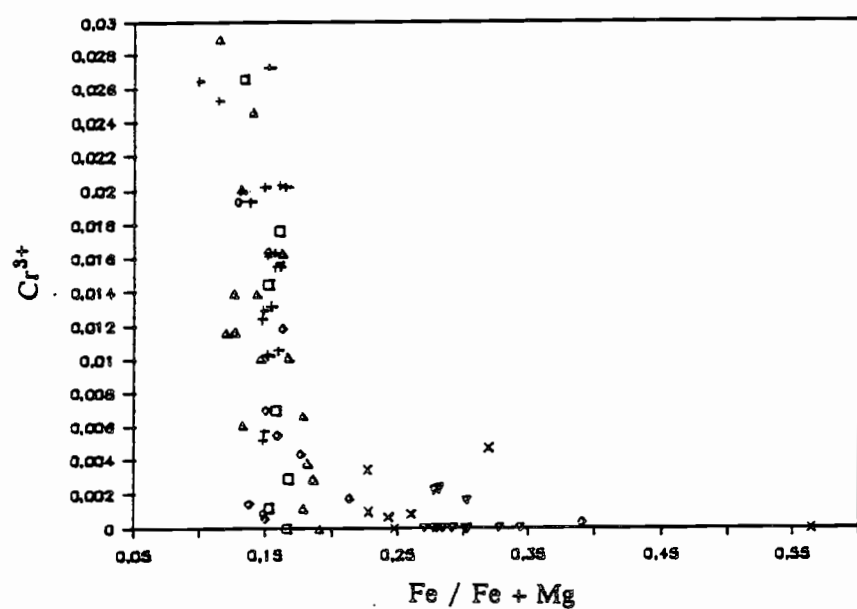
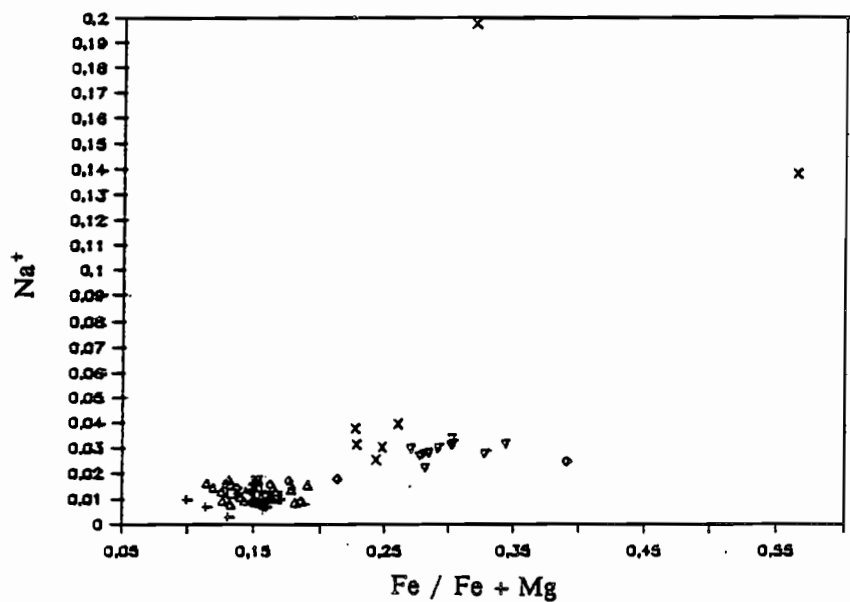
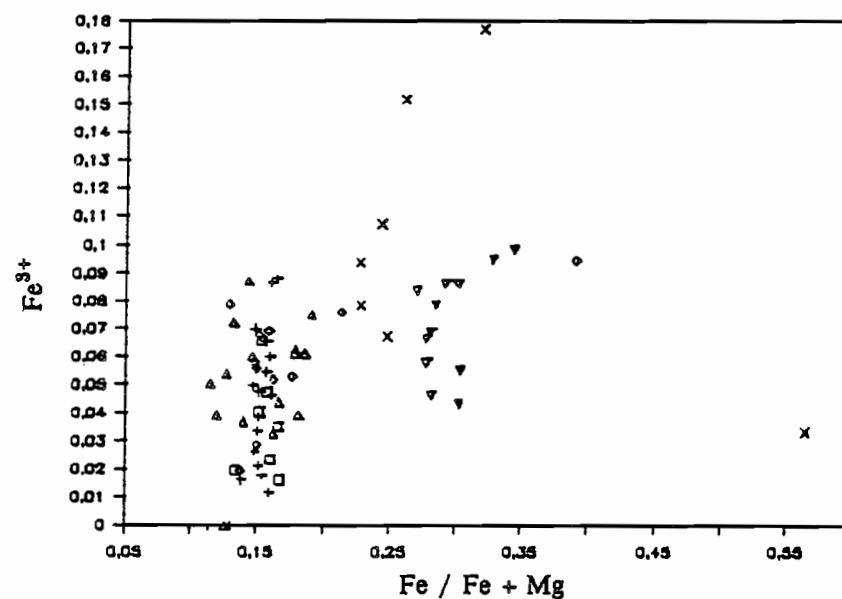
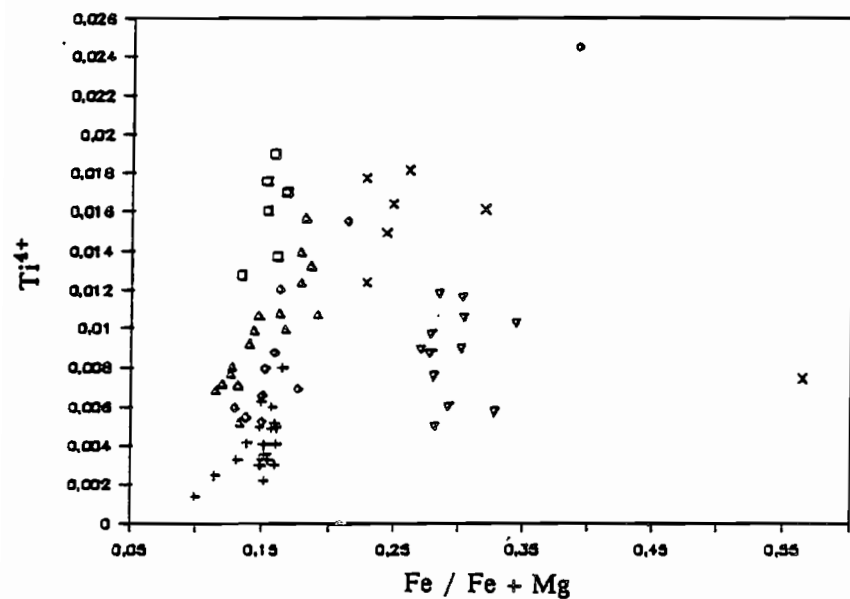


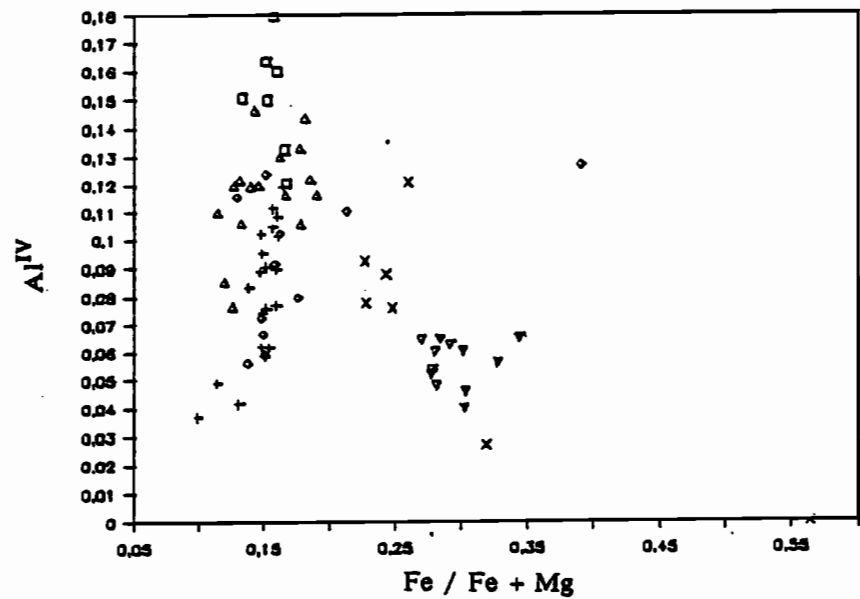
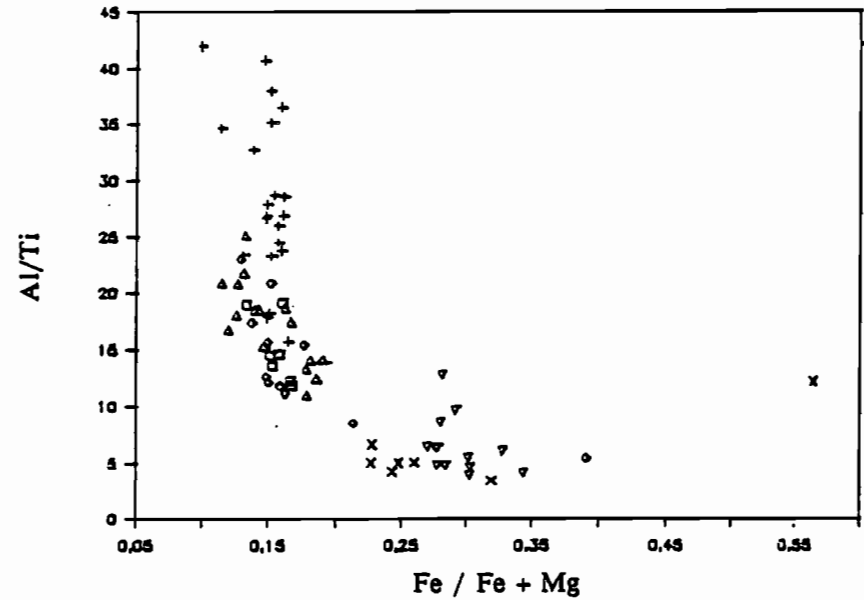
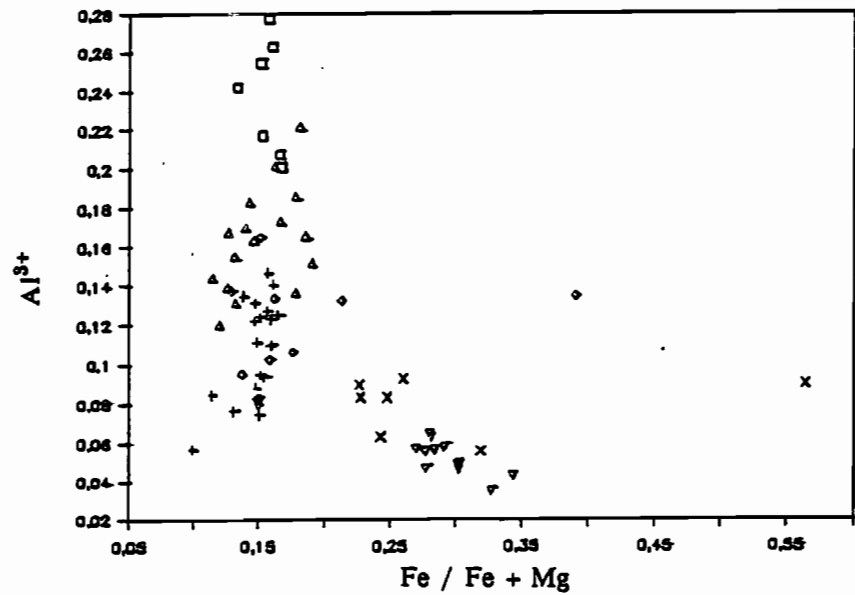


D - Laves basiques de la zone Vaté.

□ D27M12    + D30M2    ○ D31M1    ▲ D29M6

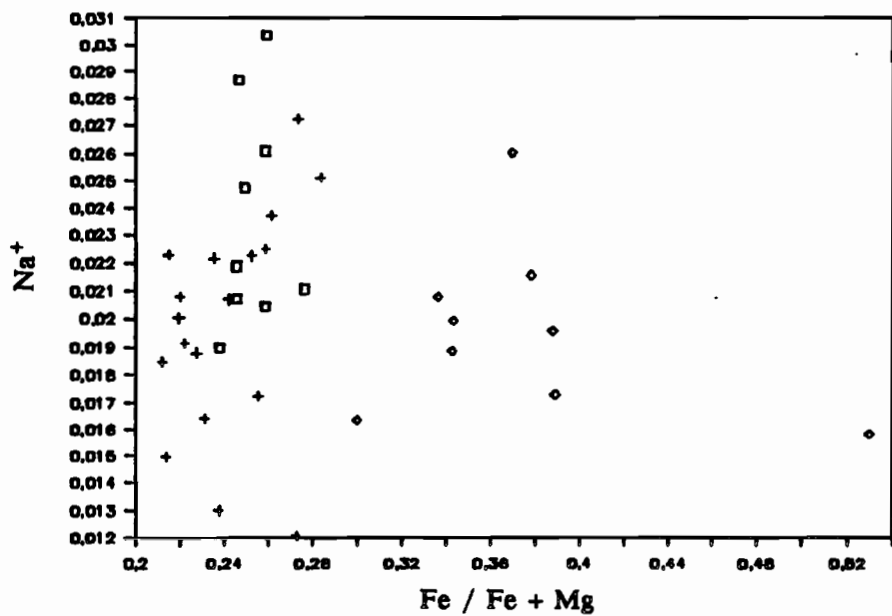
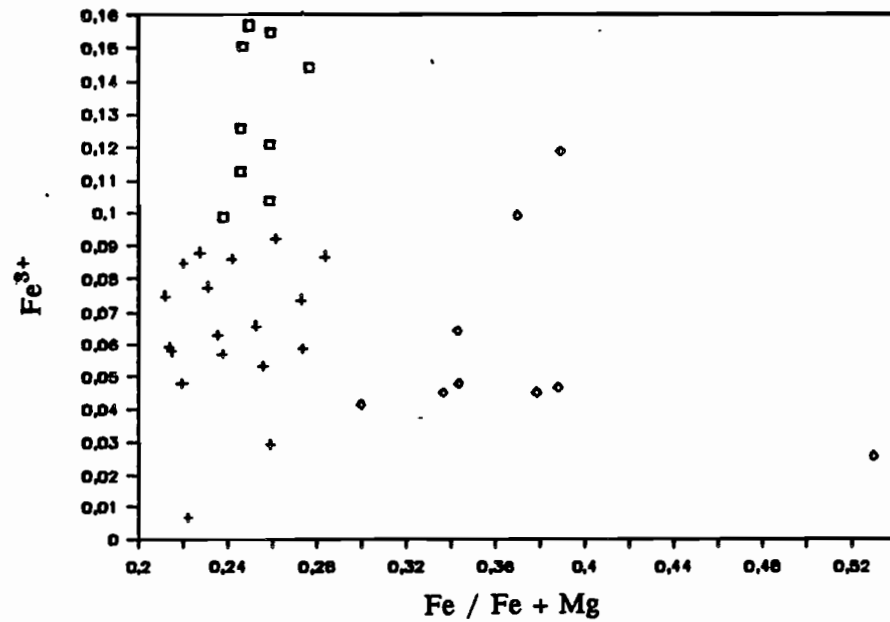
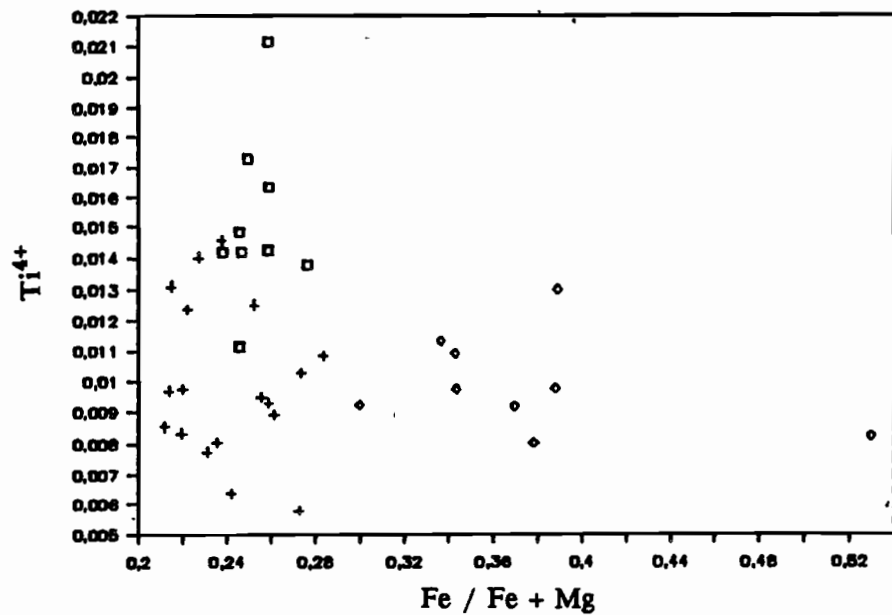
Laves de la zone VATE

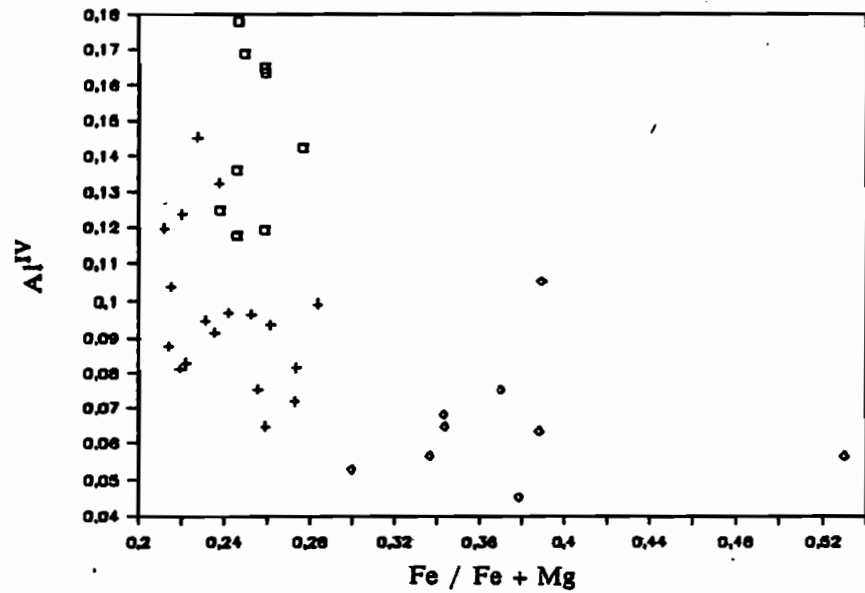
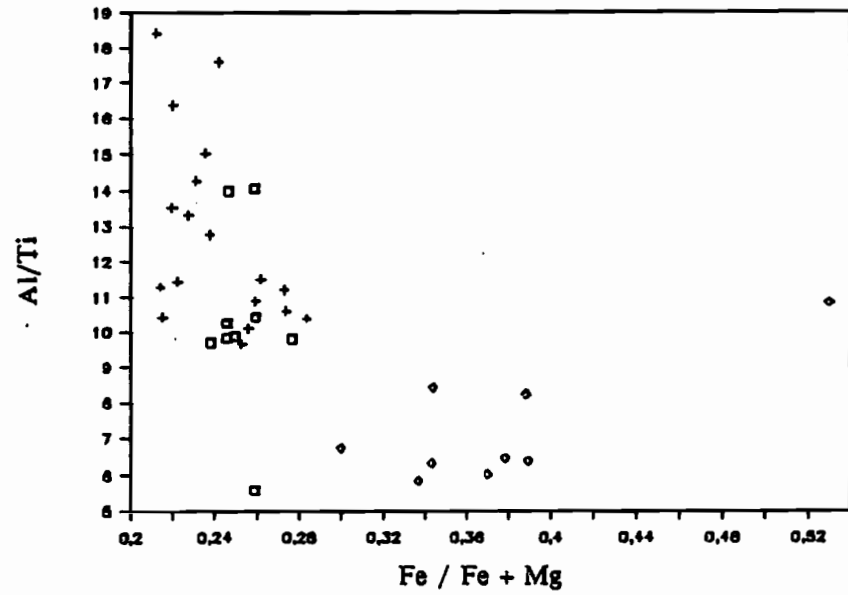
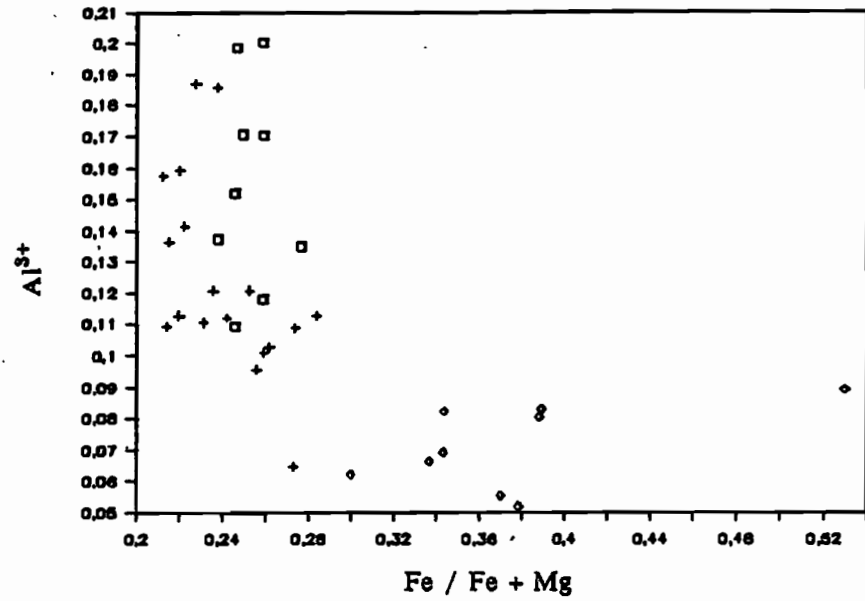




E - Laves de la zone Vaté.

□ D27M12    + D30M2    ◊ D31M1    ▲ D29M6  
 × D27M17    ▼ D27M1 et D26M6

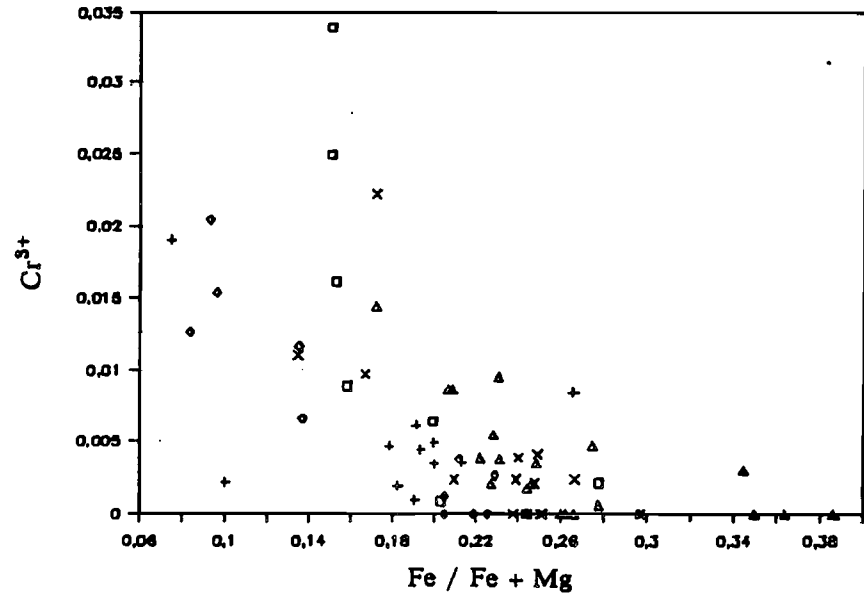
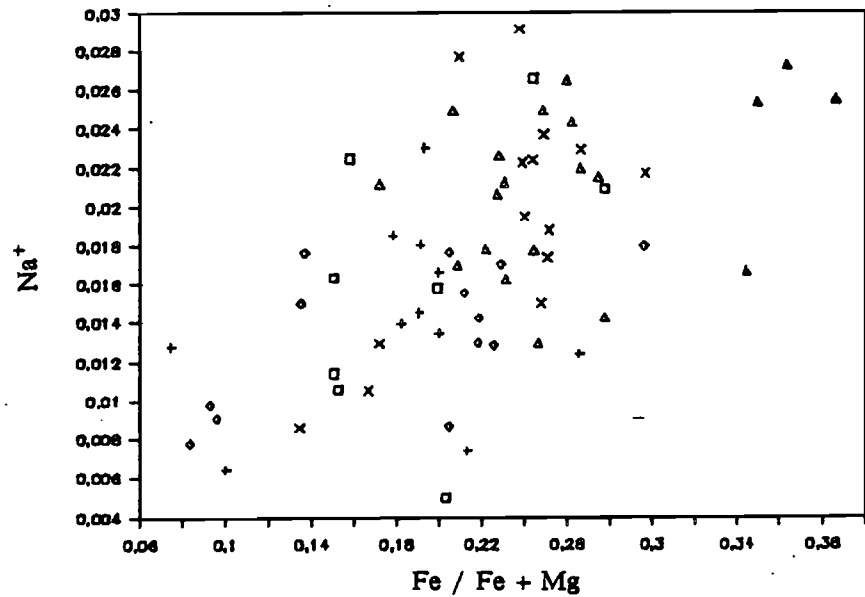
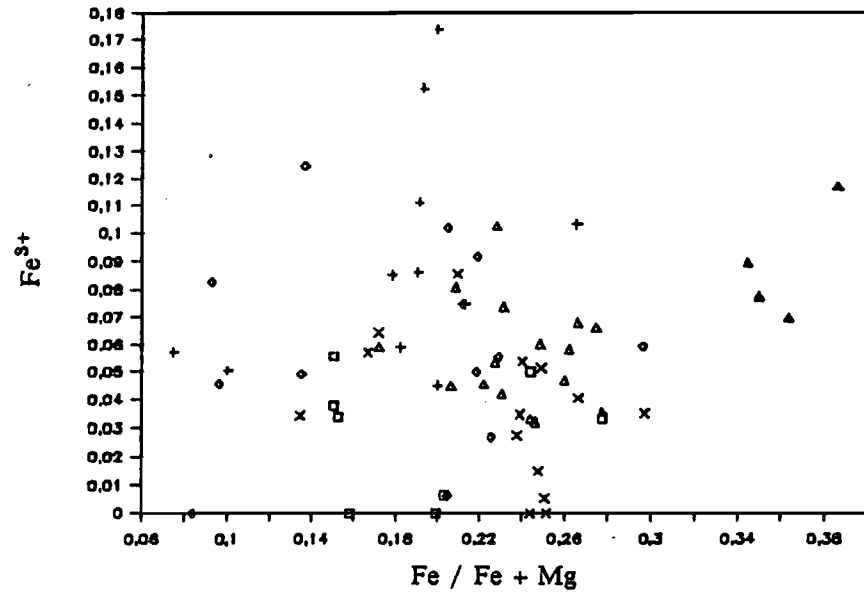
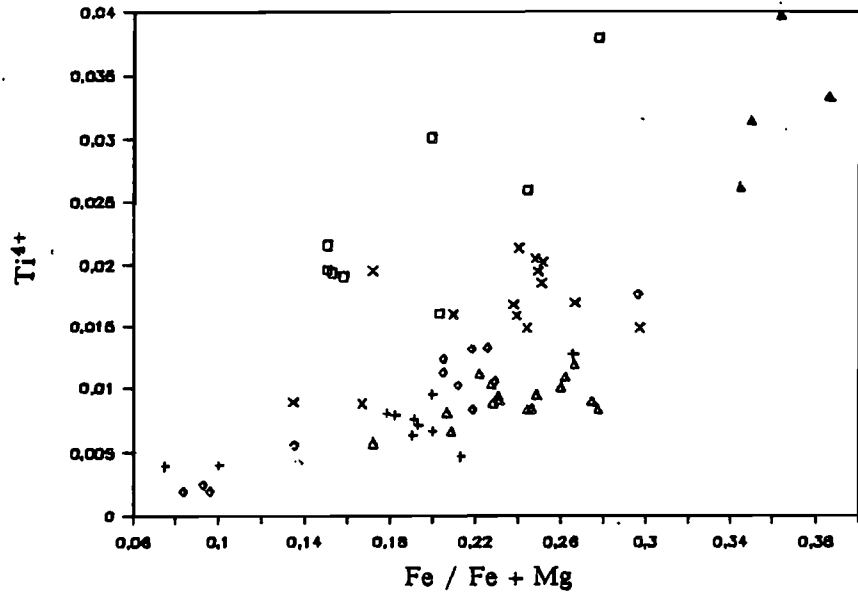


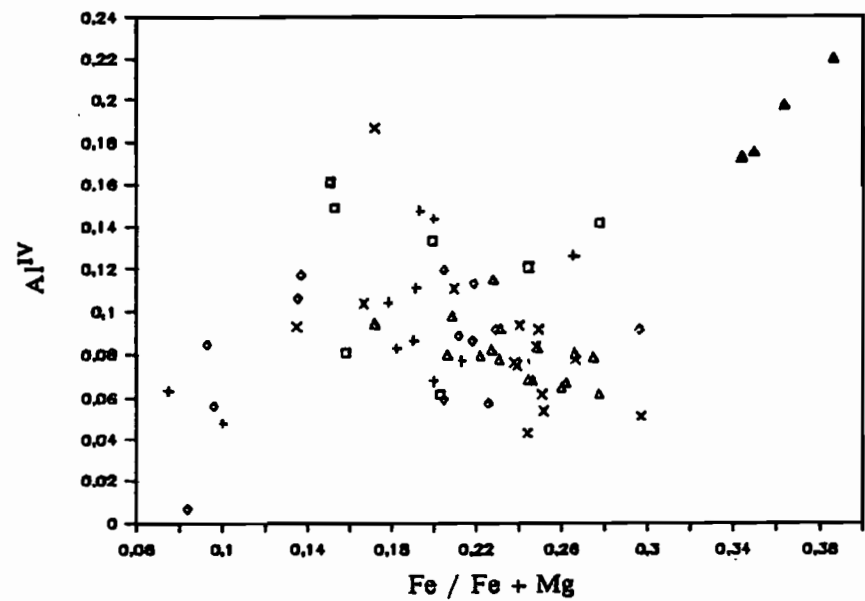
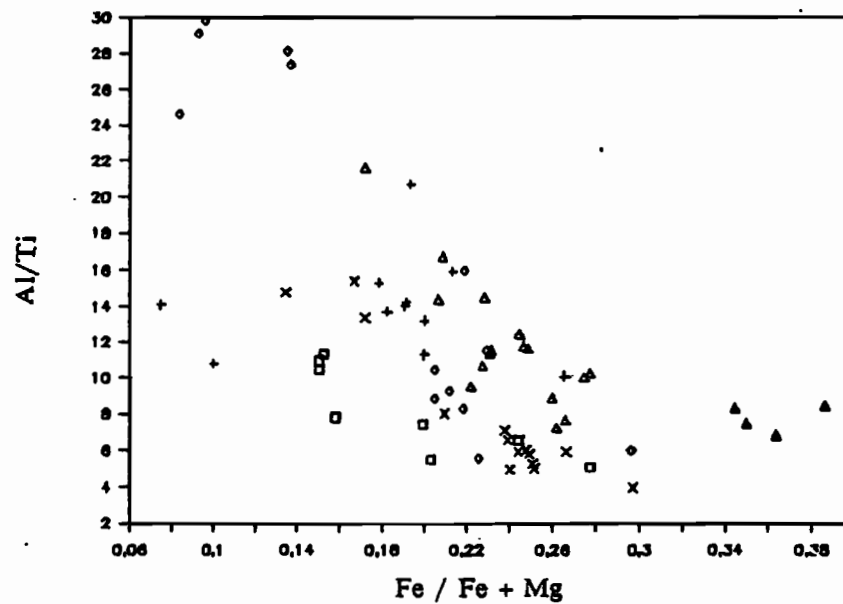
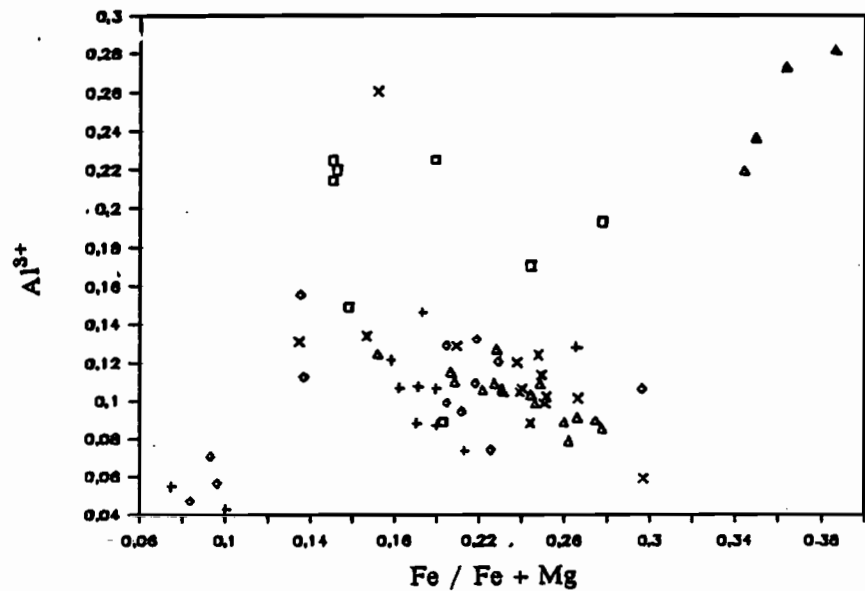


F - Laves de la zone Erromango.

□ D25M2    + D24M4    ♦ D24M3

Laves de la zone FUTUNA





G - Laves de la zone Futuna.

□ D19M1    + D21M7    ◇ D21M1    ▲ D16M1    × D20M3

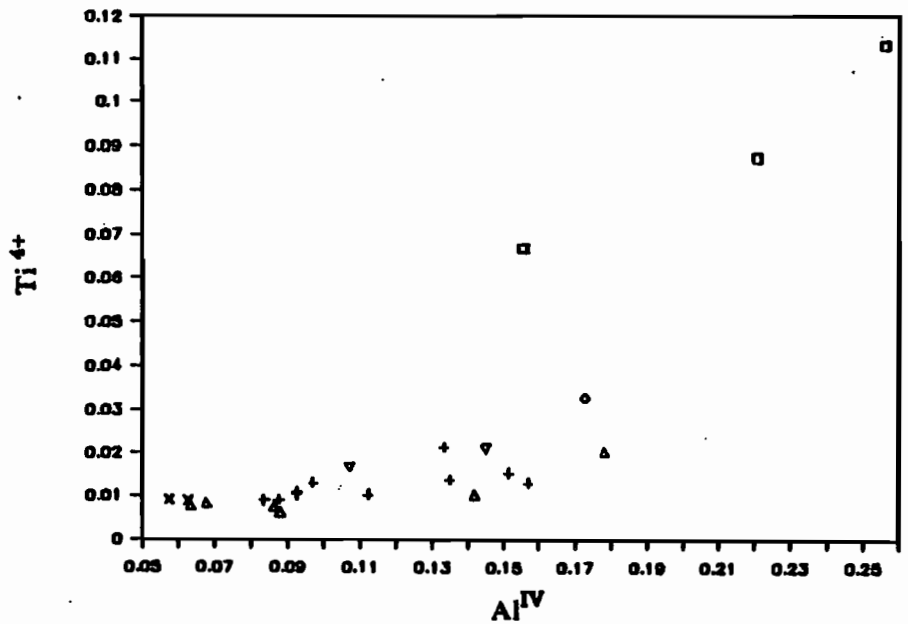
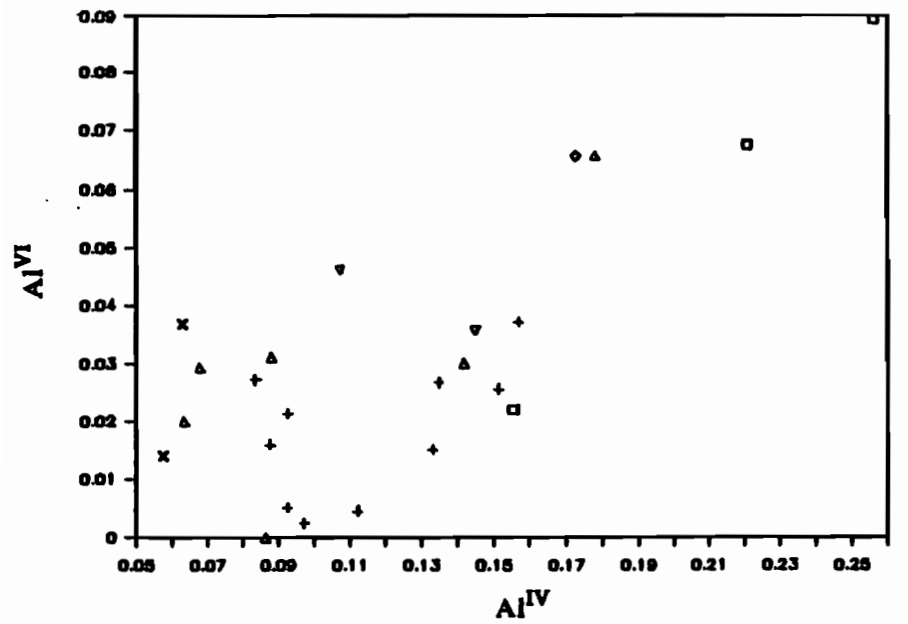
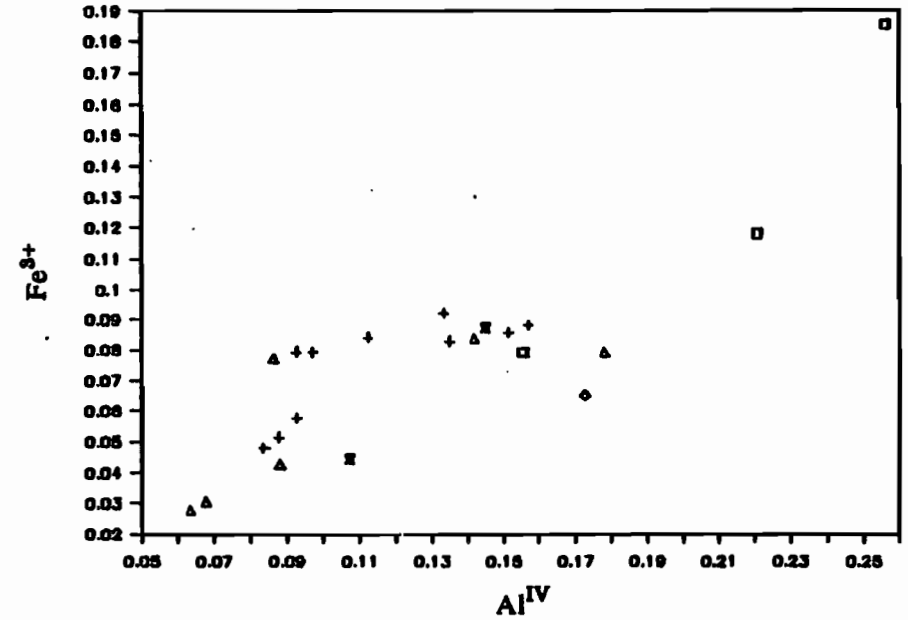
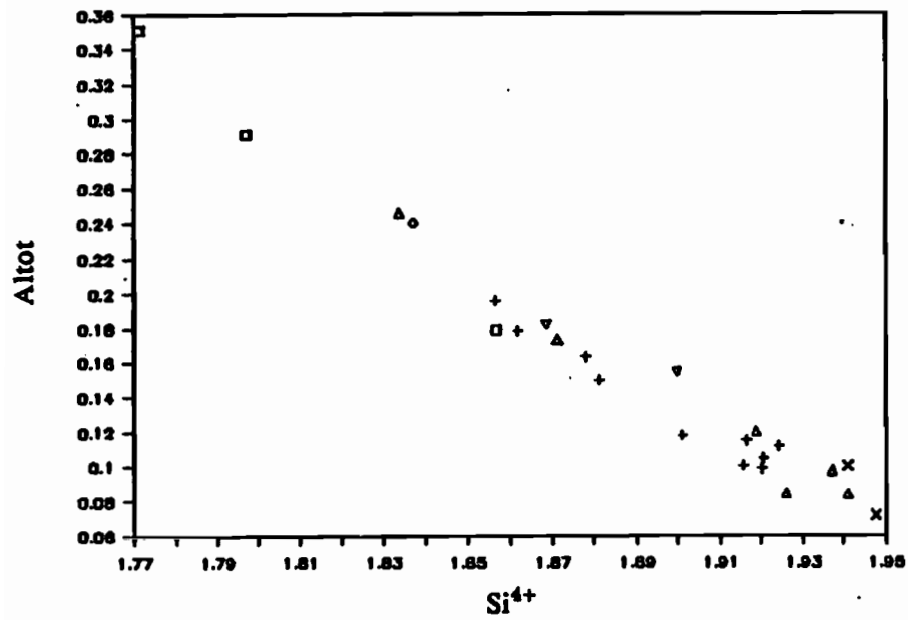
Figure III-36 : Substitutions des composants "non quadrilatéraux" dans les clinopyroxènes des laves des fossés :

- A - Laves basiques de la zone Vanikoro.
- B - Laves acides de la zone Vanikoro.
- C - Basaltes de la zone Vot Tande.
- D - Basaltes de la zone Hazel Holme.
- E - Laves basiques de la zone Vaté.
- F - Laves acides de la zone Vaté.
- G - Laves de la zone Erromango.
- H - Basaltes de la zone Futuna.
- I - Andésites basiques de la zone Futuna.
- J - Substitution  $Fe^{3+} - Na^+ / Al^{IV}$  des clinopyroxènes des laves des zones Vaté, Erromango, et Futuna.

*Evolution of main "non quadrilateral" components versus FM in clinopyroxenes for islands lavas :*

- A - Basic lavas from Vanikoro area.*
- B - Acid lavas from Vanikoro area.*
- C - Basalts from Vot Tande area.*
- D - Basalts from Hazel Holme area.*
- E - Basic lavas from Vate area.*
- F - Acid lavas from Vate area.*
- G - Lavas from Erromango area.*
- H - Basalts from Futuna area.*
- I - Basic andesites from Futuna area.*
- J -  $Fe^{3+} - Na^+ / Al^{IV}$  substitution in clinopyroxenes for lavas from Vate, Erromango and Futuna areas.*

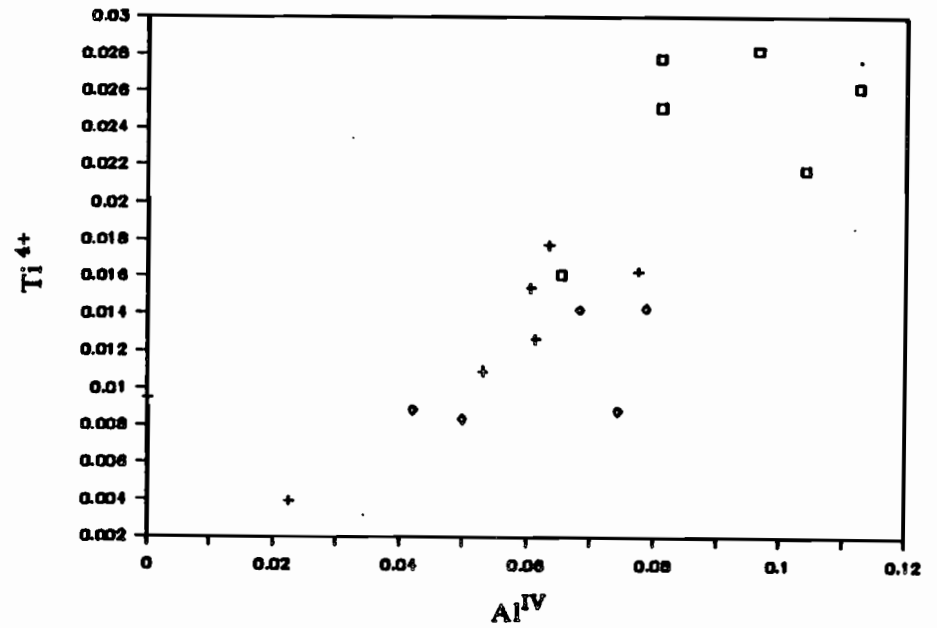
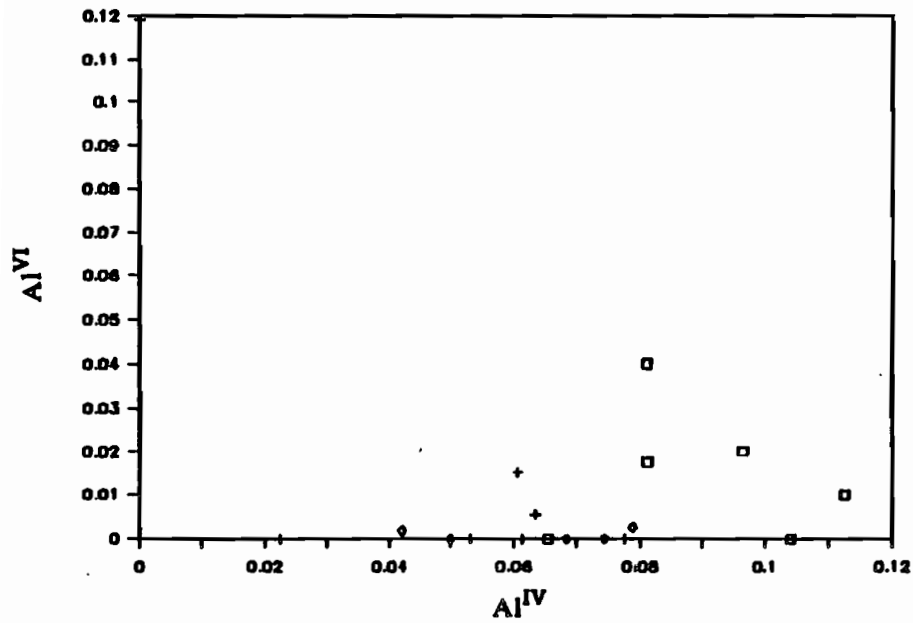
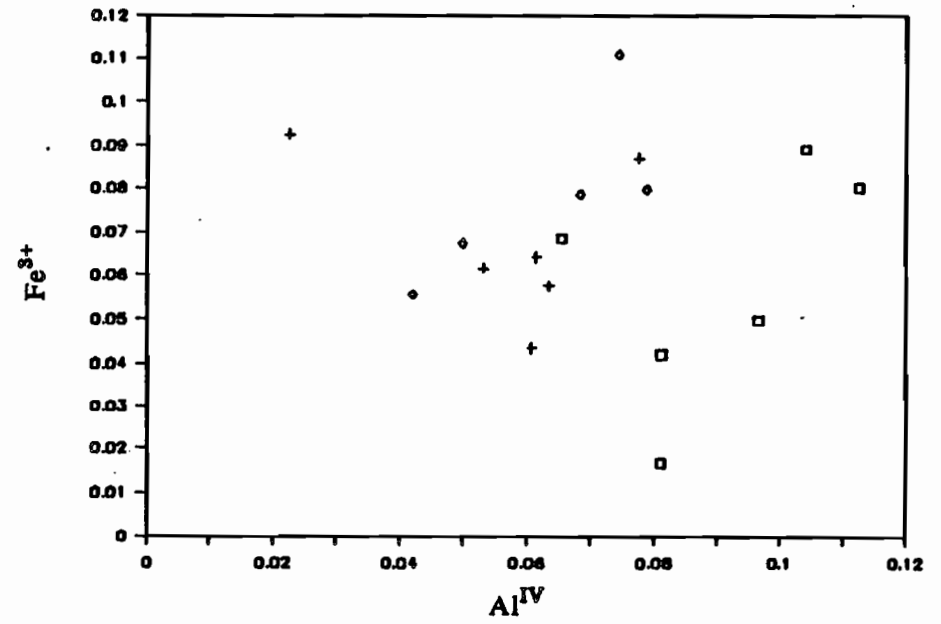
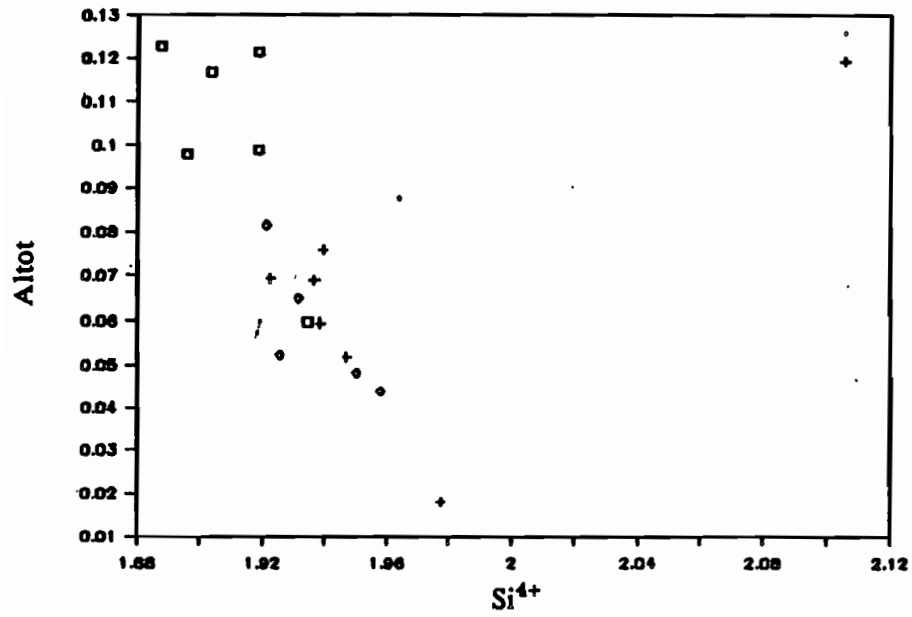
Basaltes de la zone VANIKORO



A - Laves basiques de la zone Vanikoro.

□ D7M2 m    + D2M5 P    ◊ m    ▲ D5M5 m    × D6M1 P    ▽ m

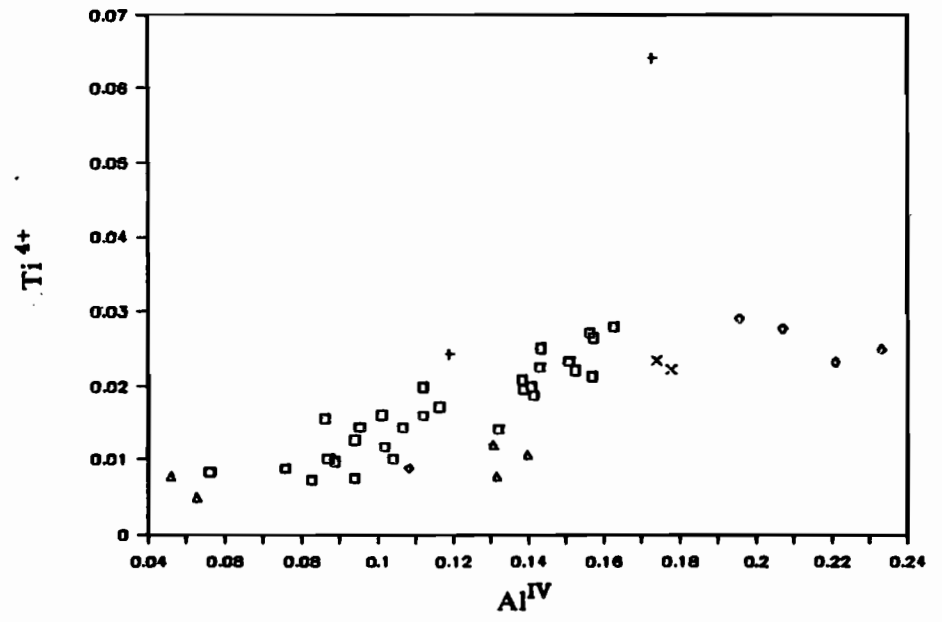
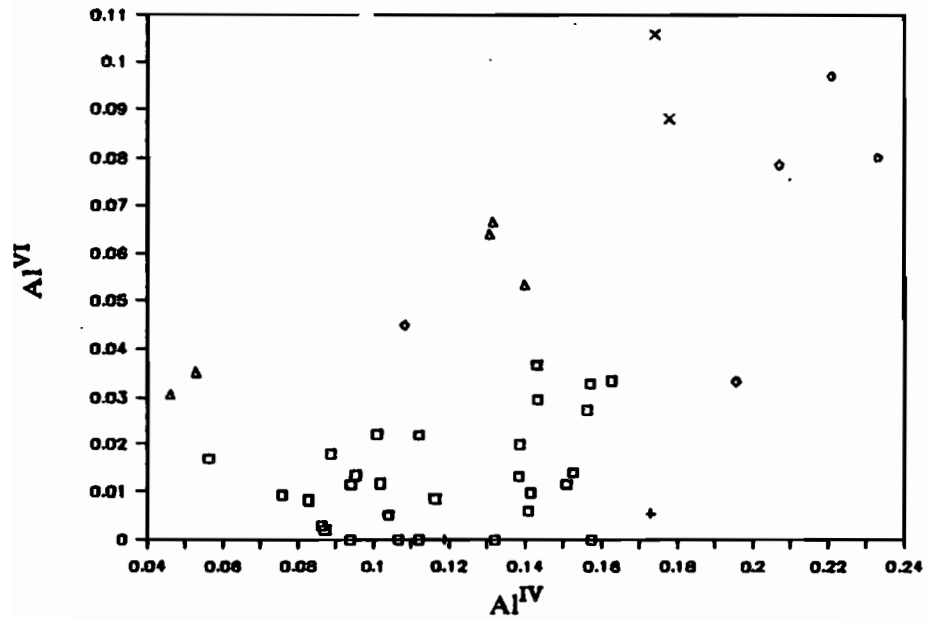
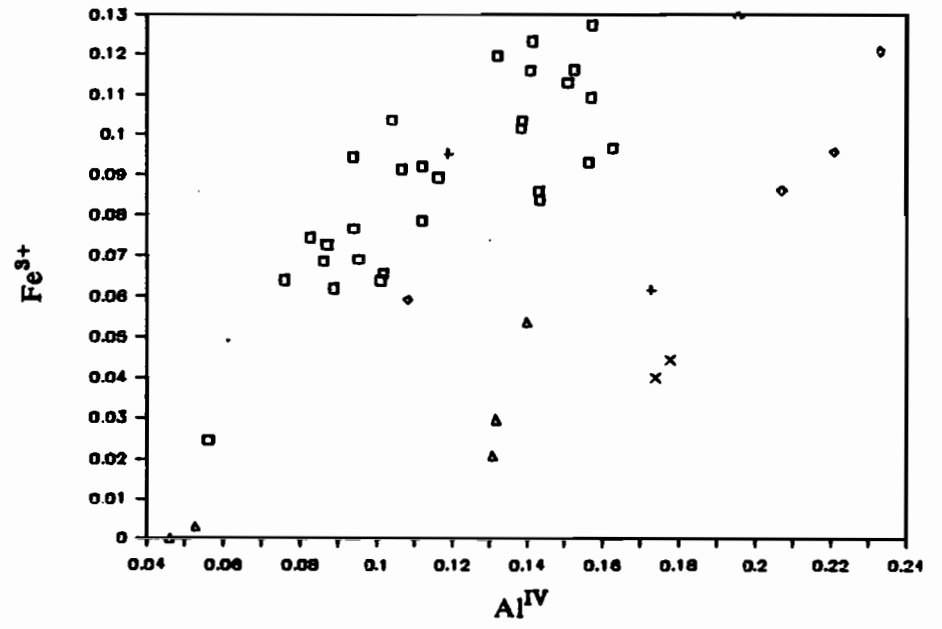
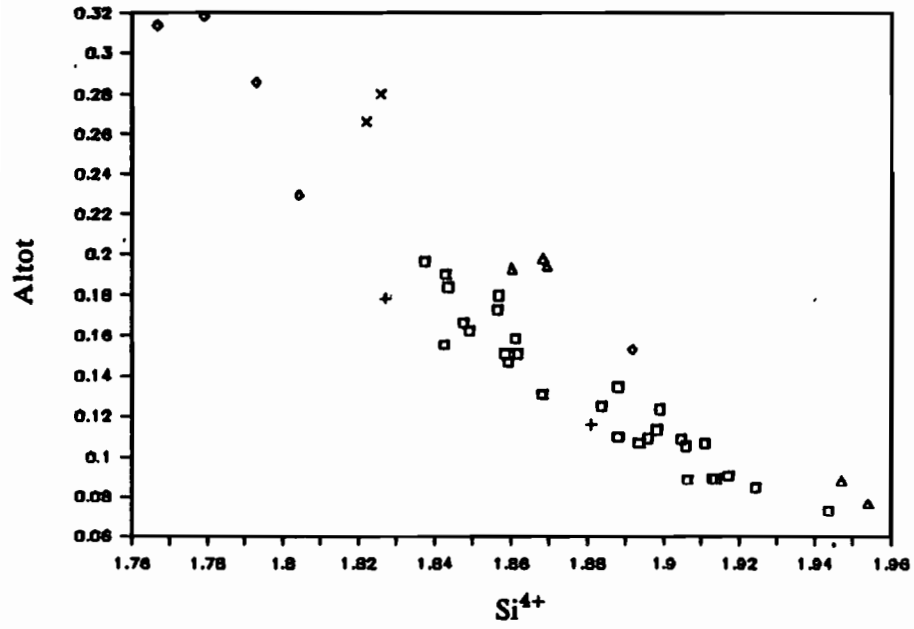
Andésites et dacites de la zone VANIKORO

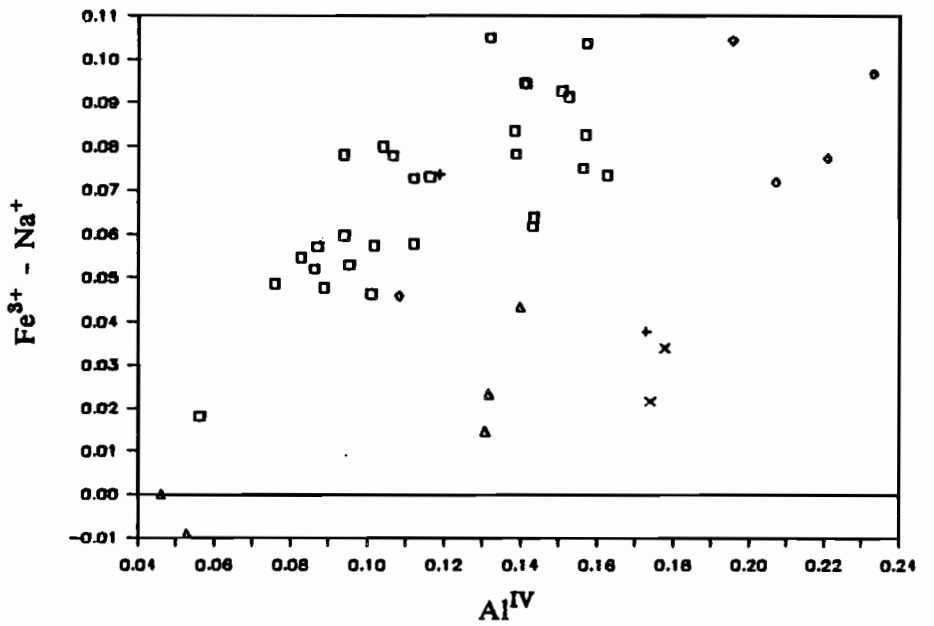
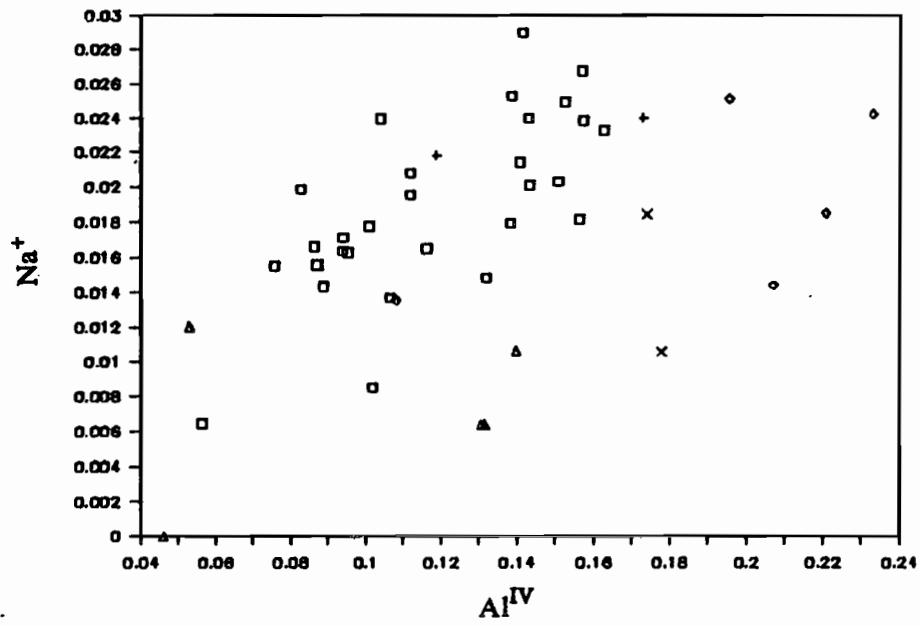


□ D3M1    + DIM1    ◊ DIM8

B - Laves acides de la zone Vanikoro.

Basaltes de la zone VOT TANDE

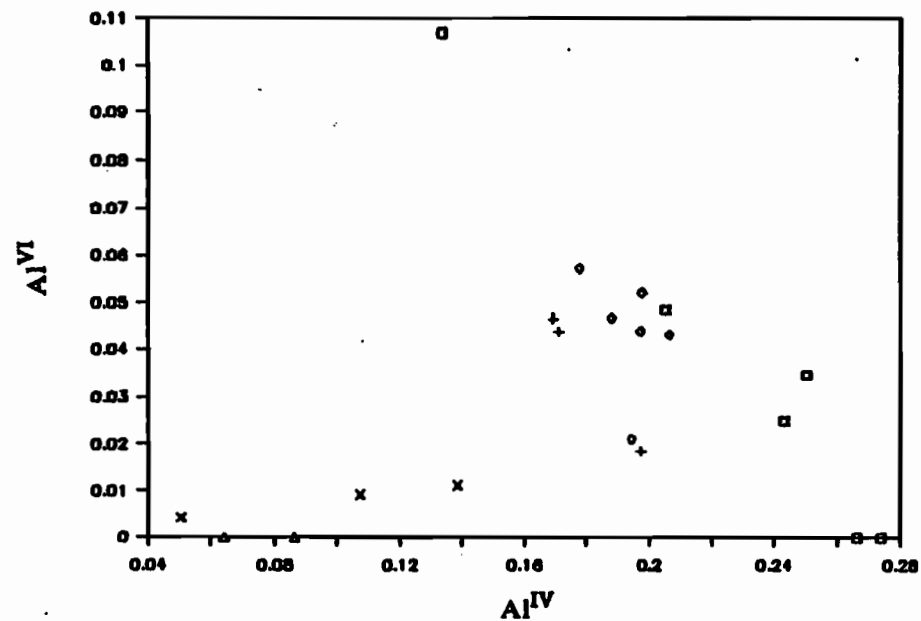
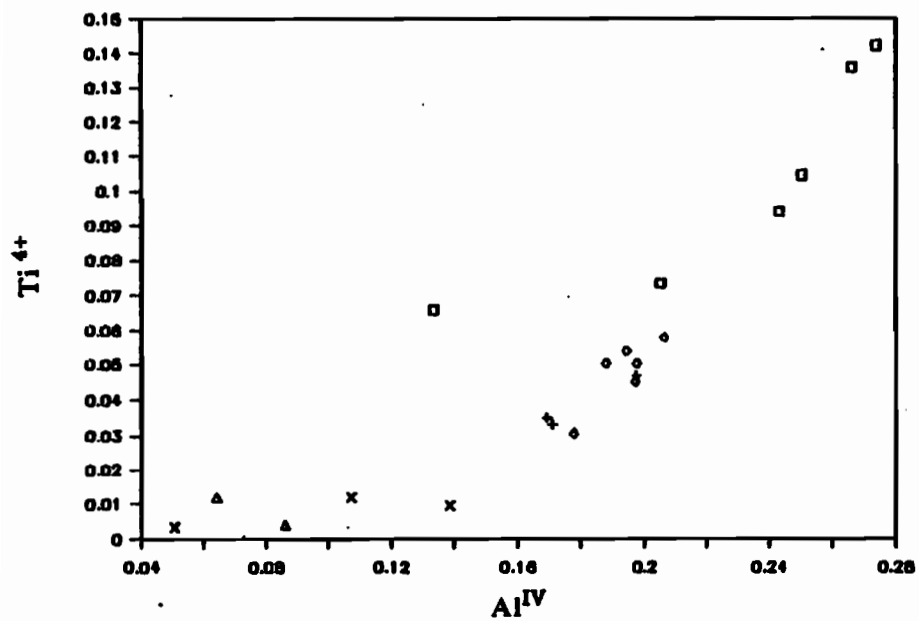
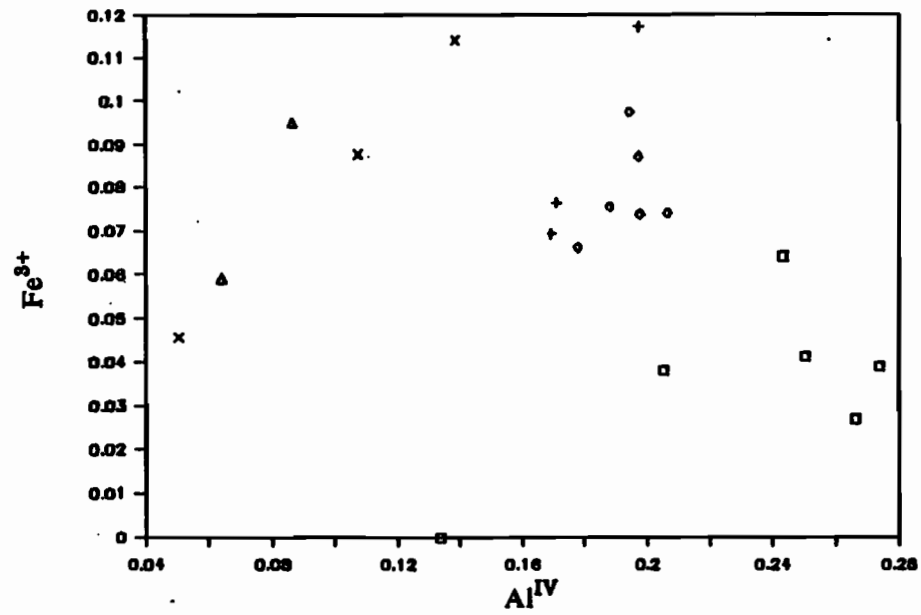
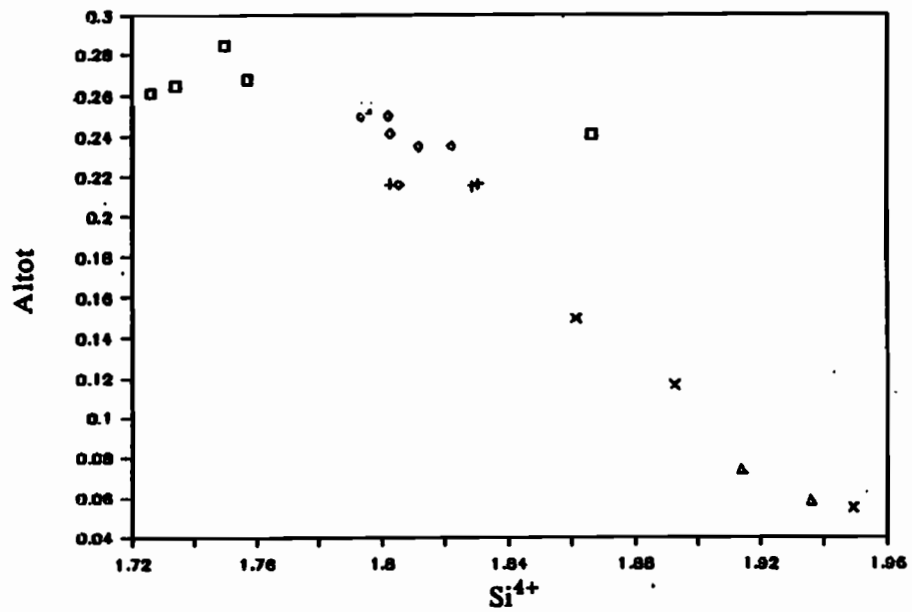




□ D11M1 P    + m    ◇ D10M1 P    ▲ D12M1 P    × m

C - Basaltes de la zone Vot Tande.

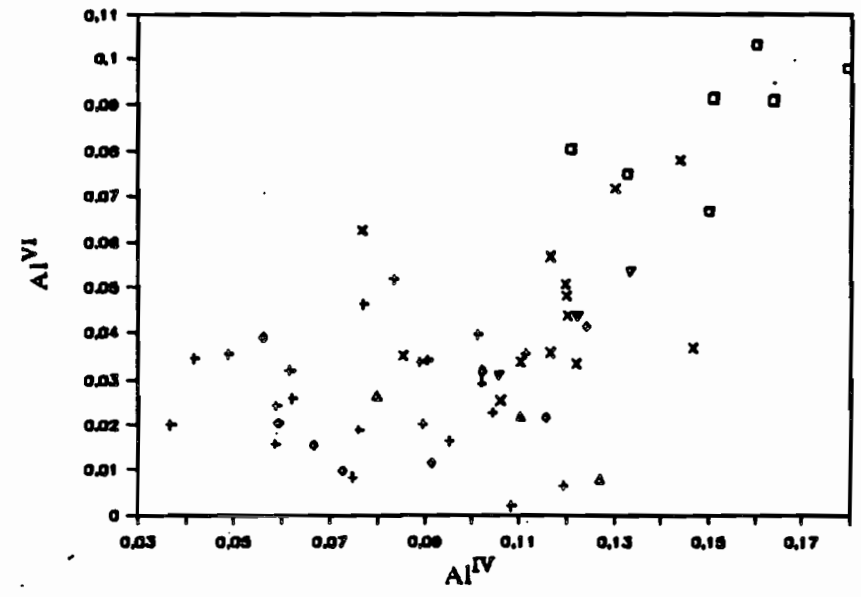
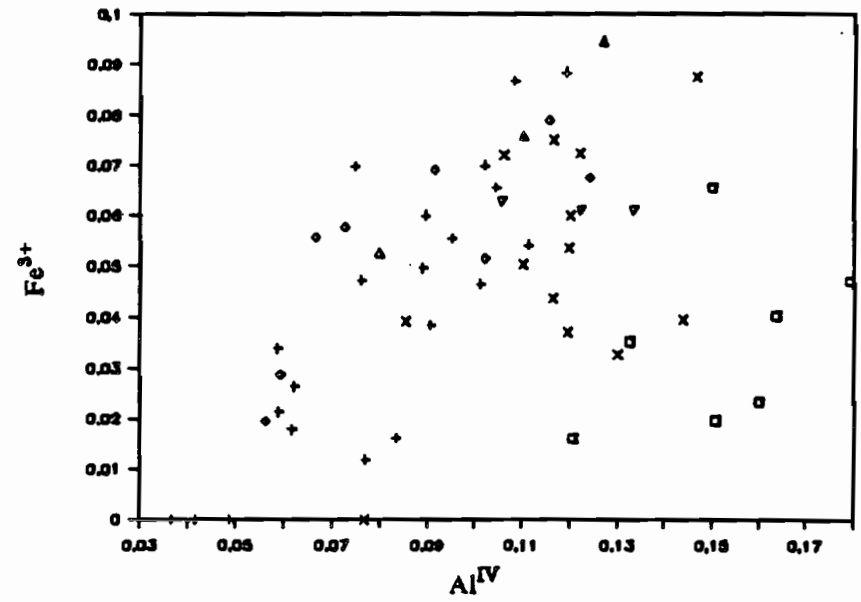
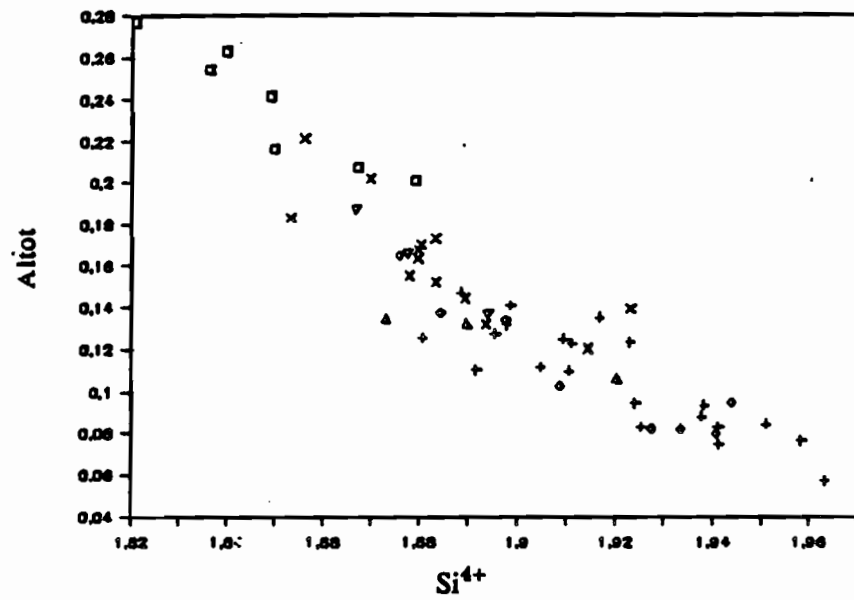
Basaltes de la zone HAZEL HOLME



$\square$  D14M1 m     $+$  D14M14 P     $\diamond$  m     $\triangle$  D15M6 p     $\times$  m

D - Basaltes de la zone Hazel Holme.

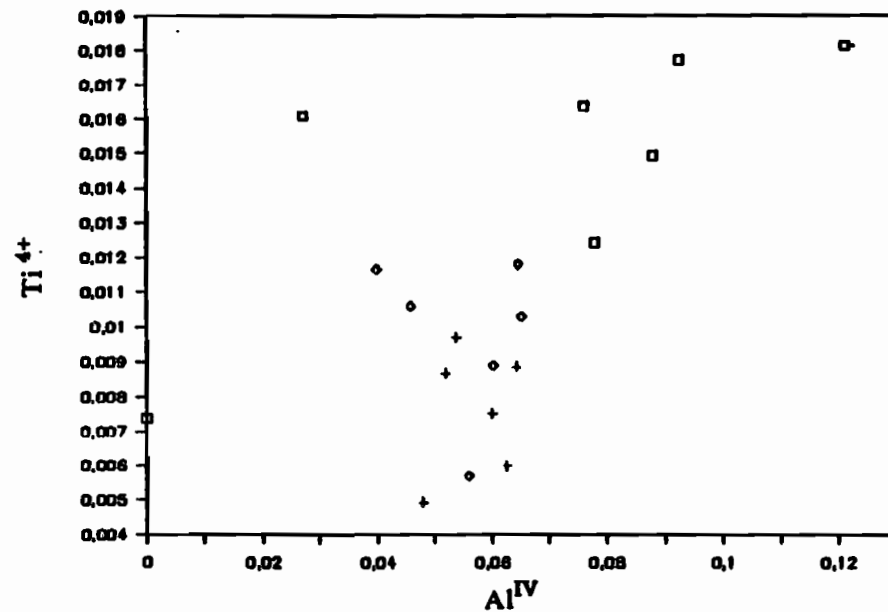
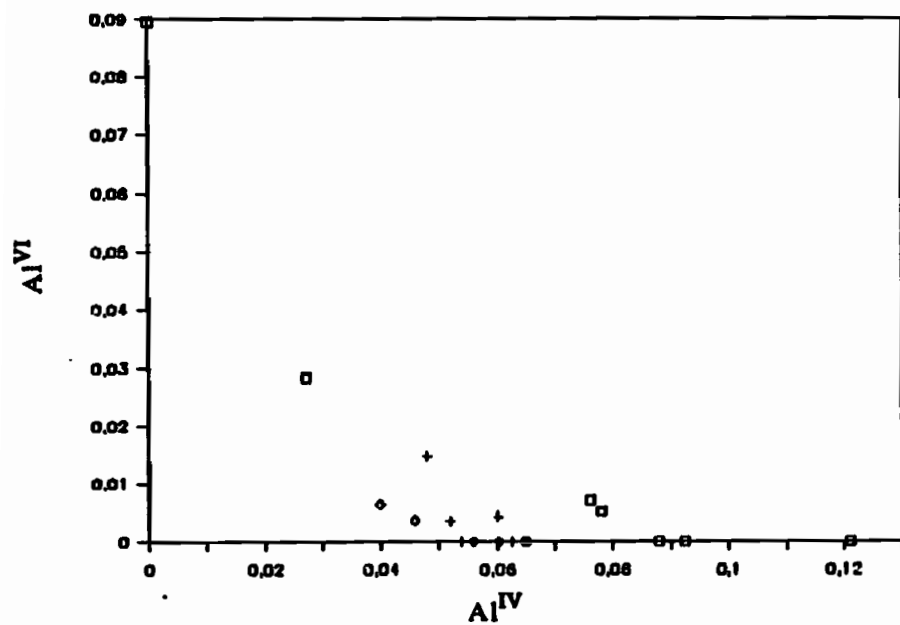
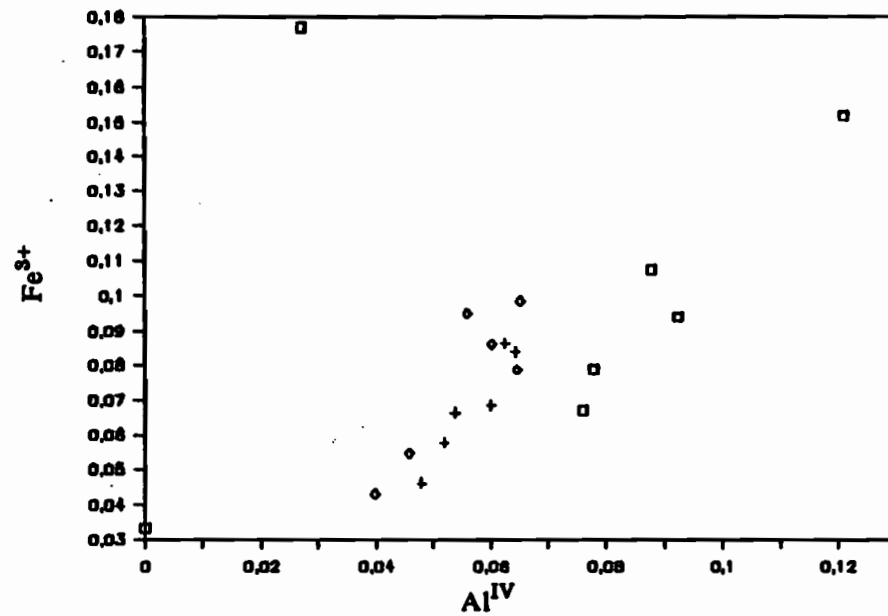
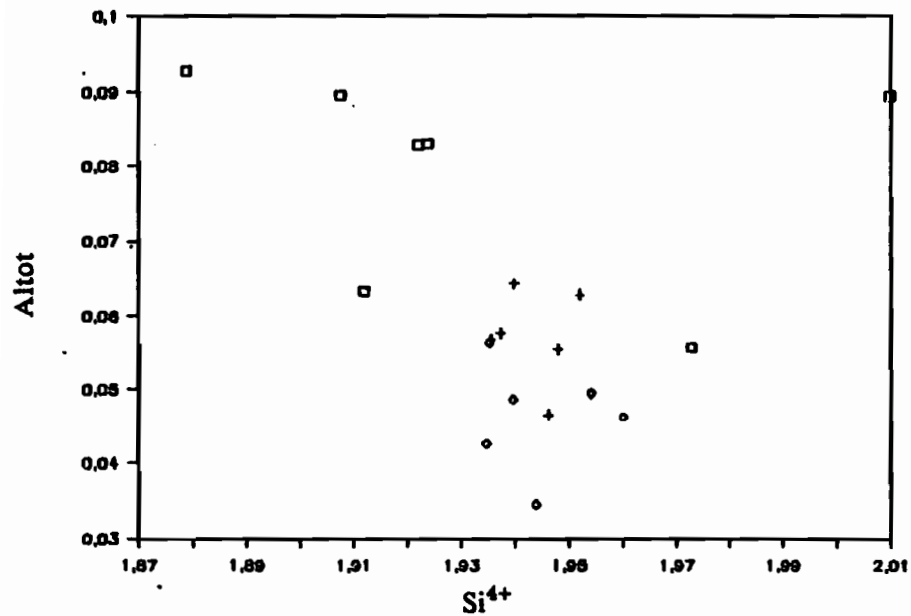
Laves basiques de la zone VATE



□ D27M12    + D30M2    ◊ D31M1 P    △ m    × D29M6 P    ▽ m

E - Laves basiques de la zone Vate.

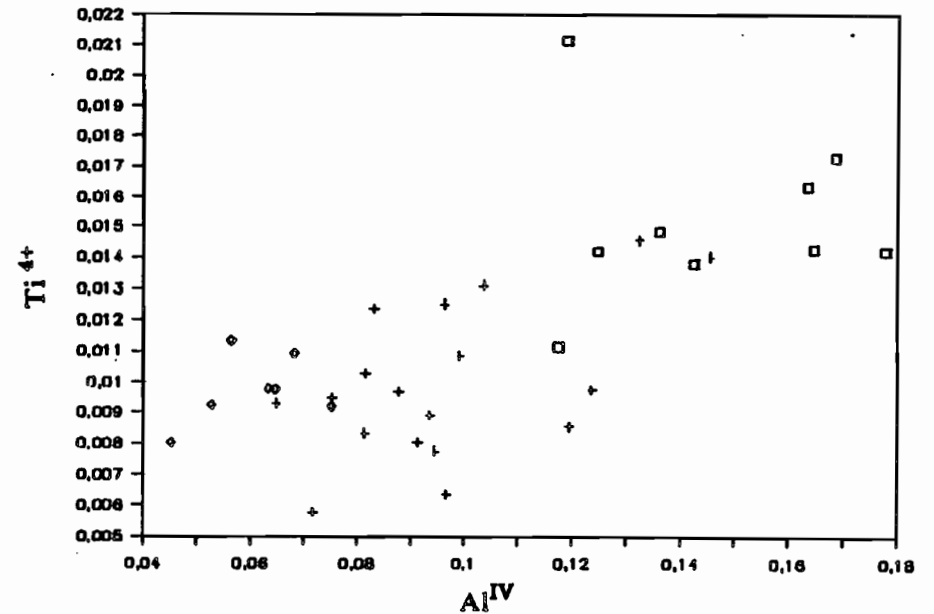
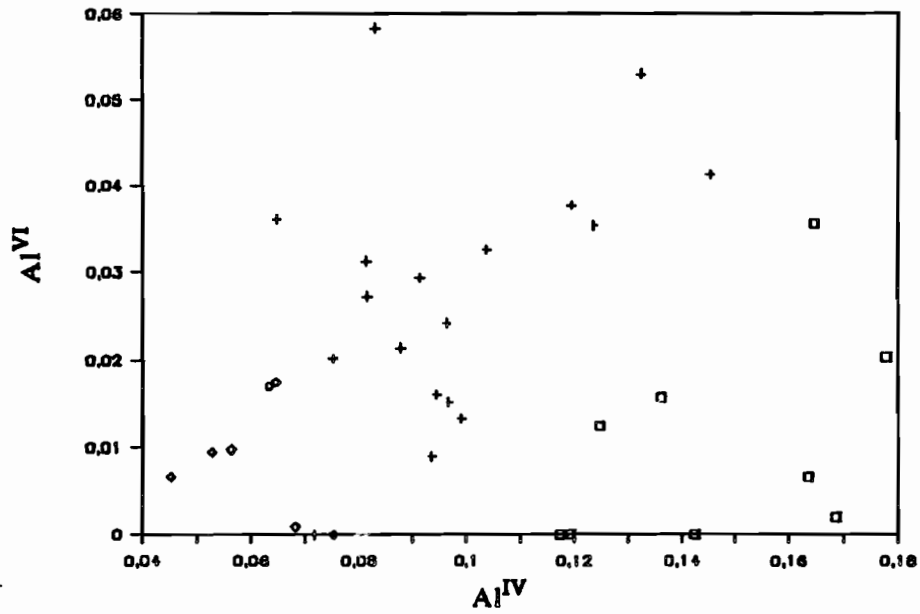
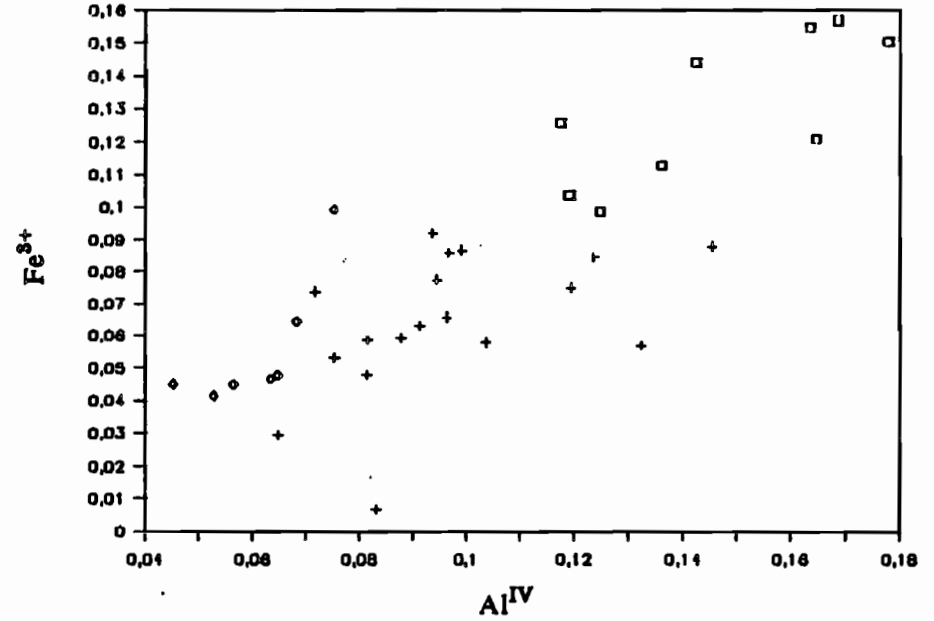
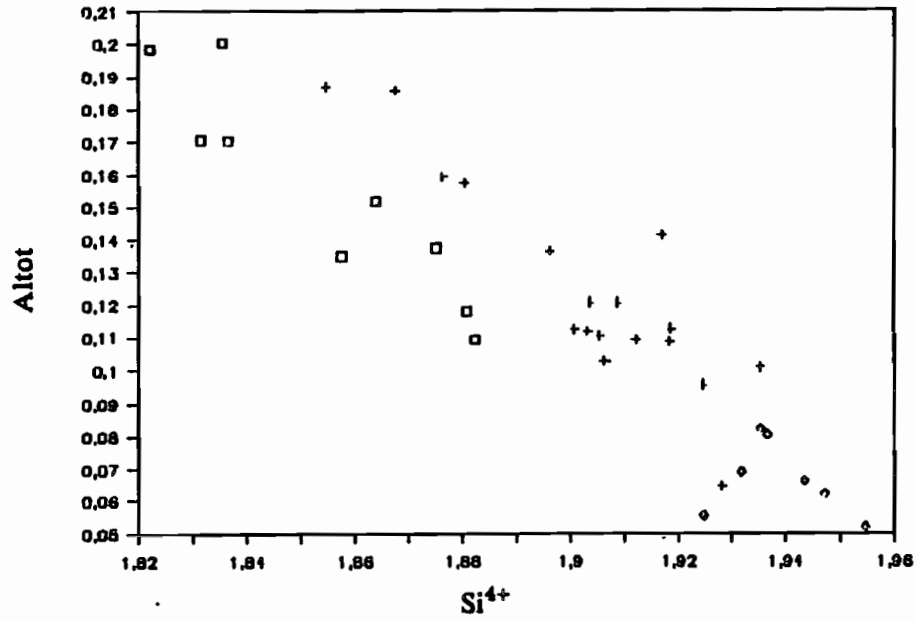
Laves acides de la zone VATE



□ D27M17 P    + D27M1    ◊ D25M6

F - Laves acides de la zone Vaté.

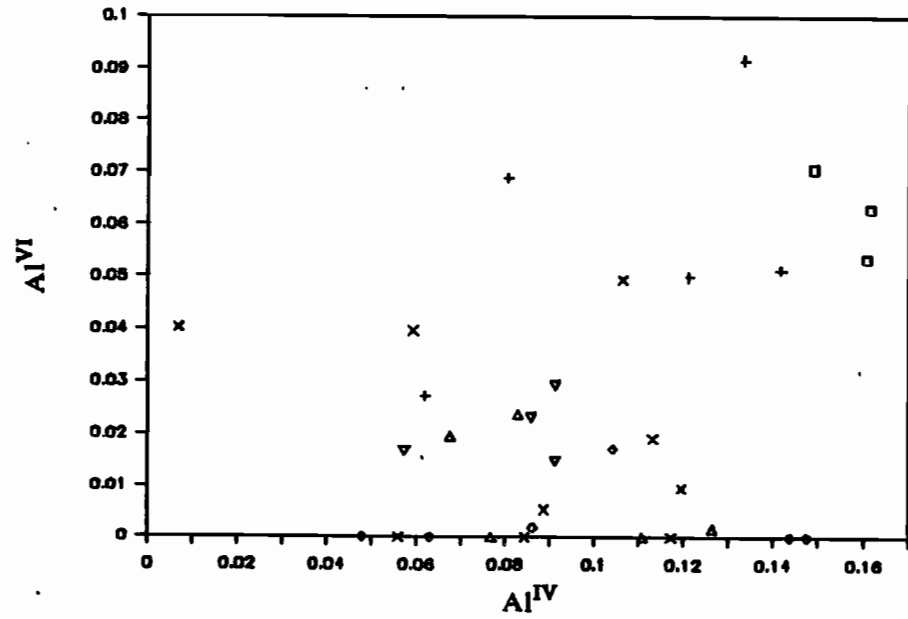
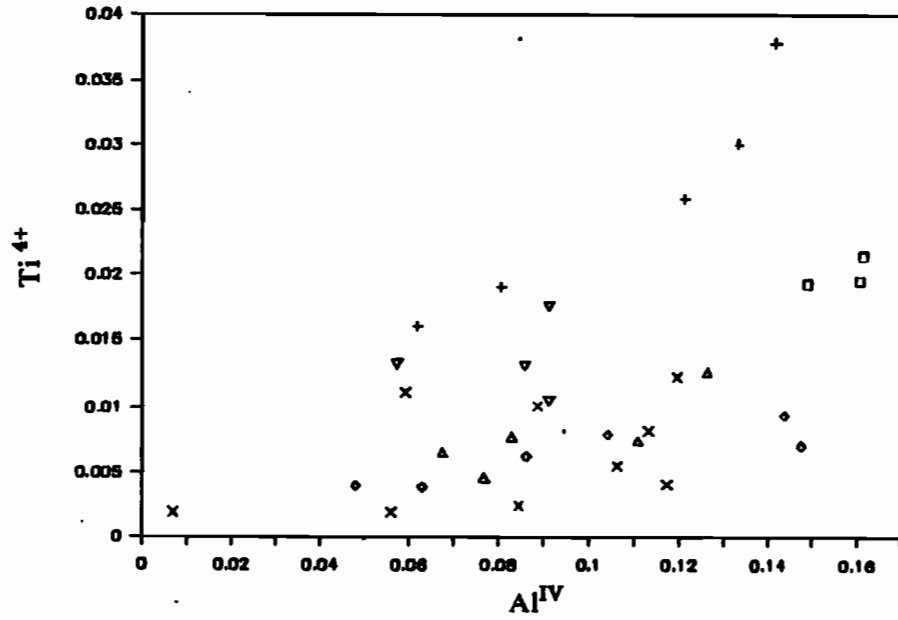
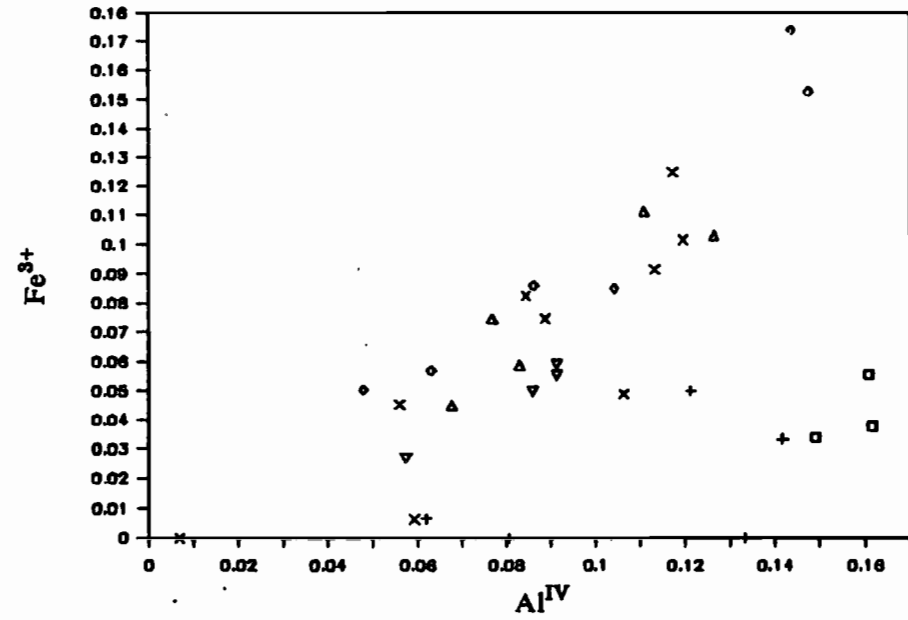
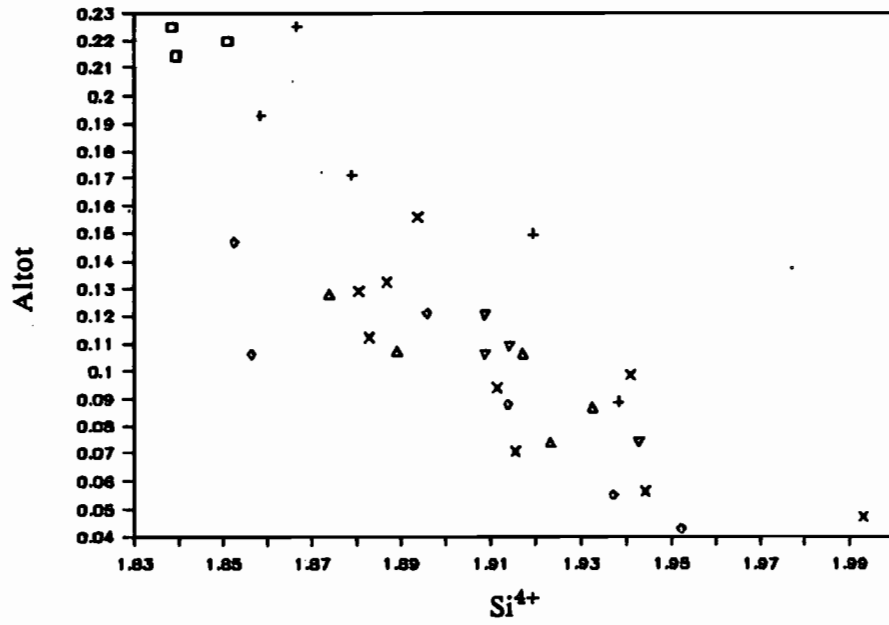
Laves de la zone ERROMANGO

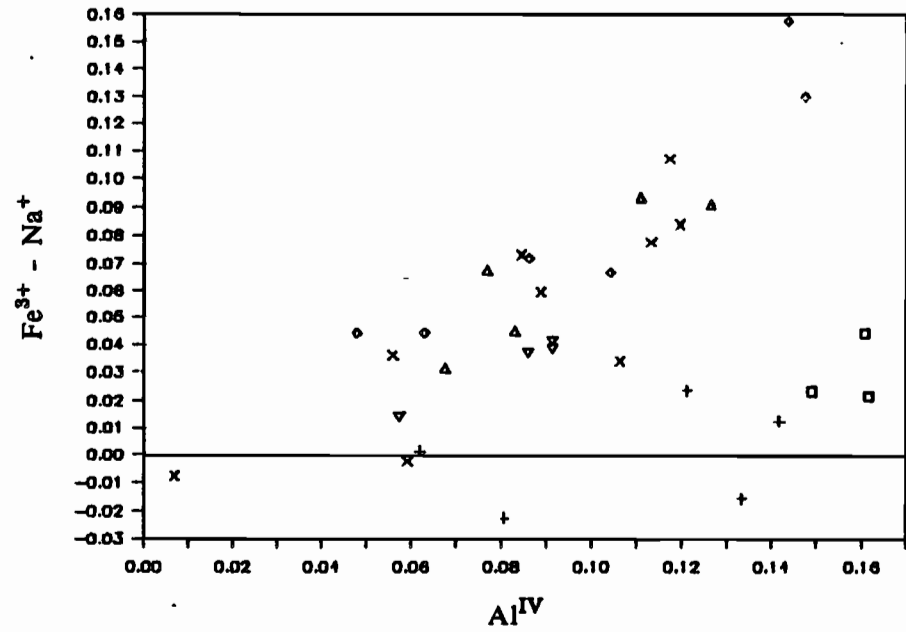
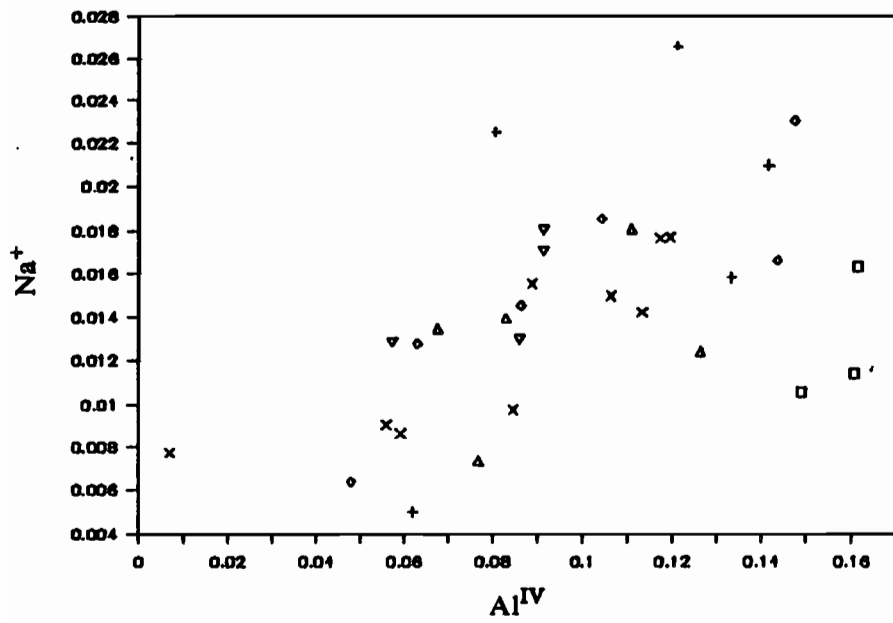


□ D25M2 + D24M4 ♦ D24M3

G - Laves de la zone Erromango.

Basaltes de la zone FUTUNA

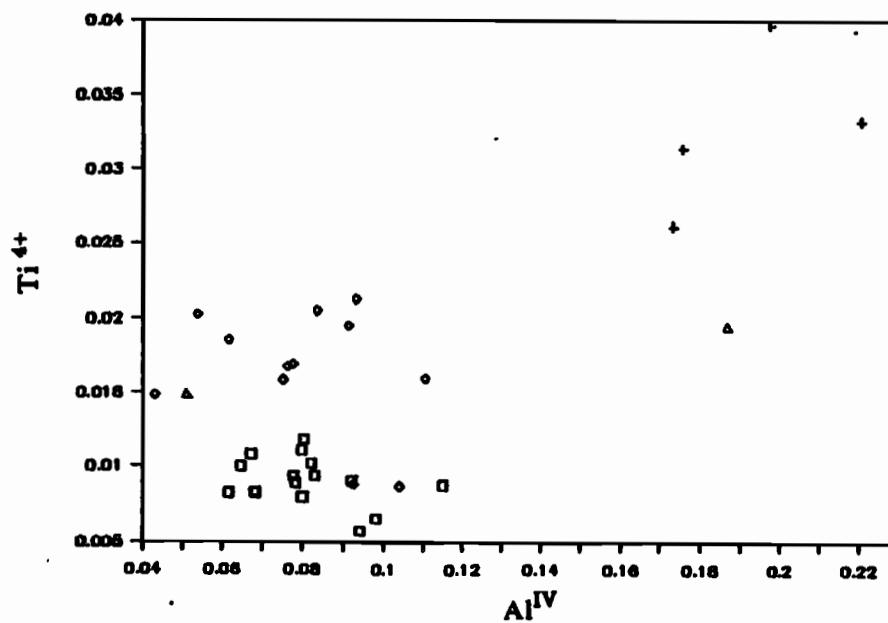
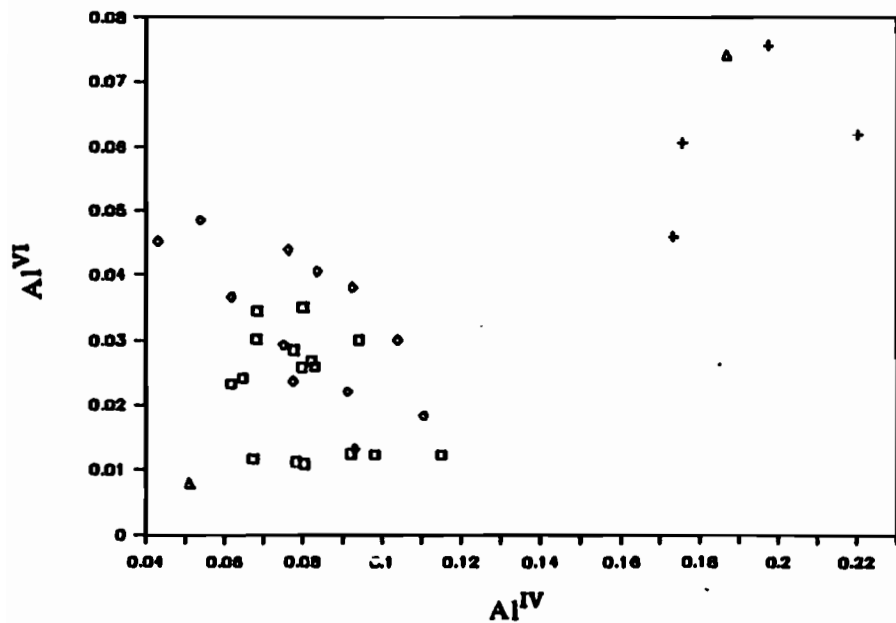
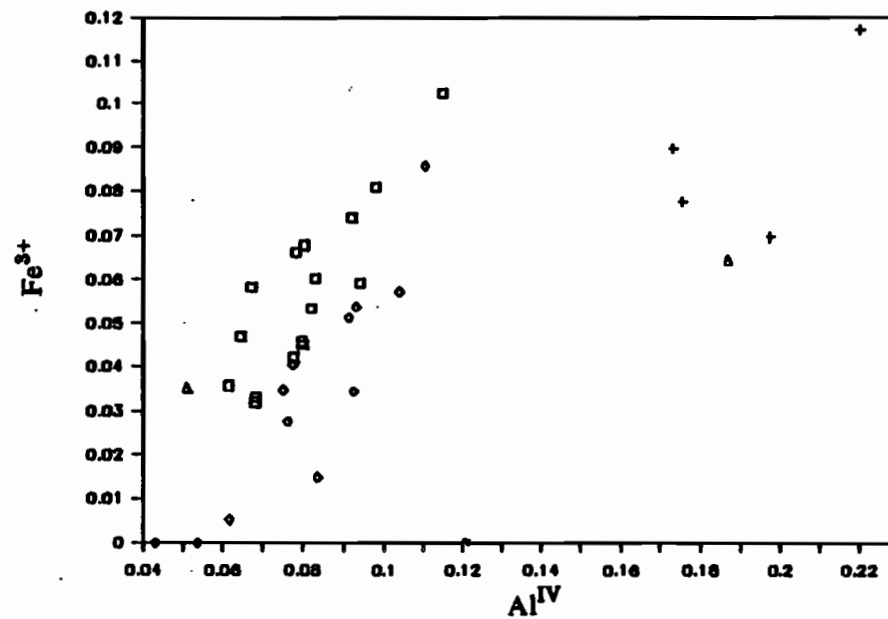
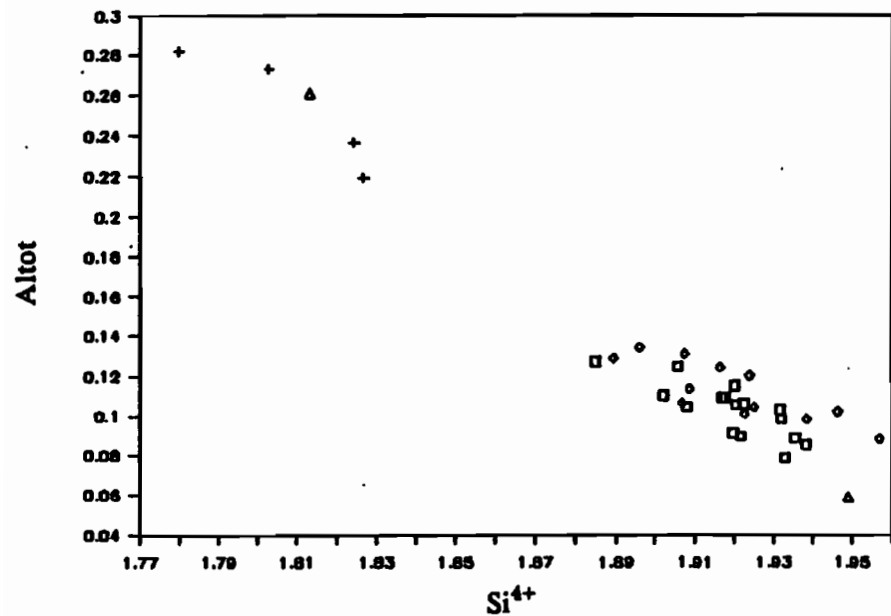




□ D19M1 P    + m    ◊ D21M7 P    △ m    × D21M1 P    ▽ m

H - Basaltes de la zone Futuna.

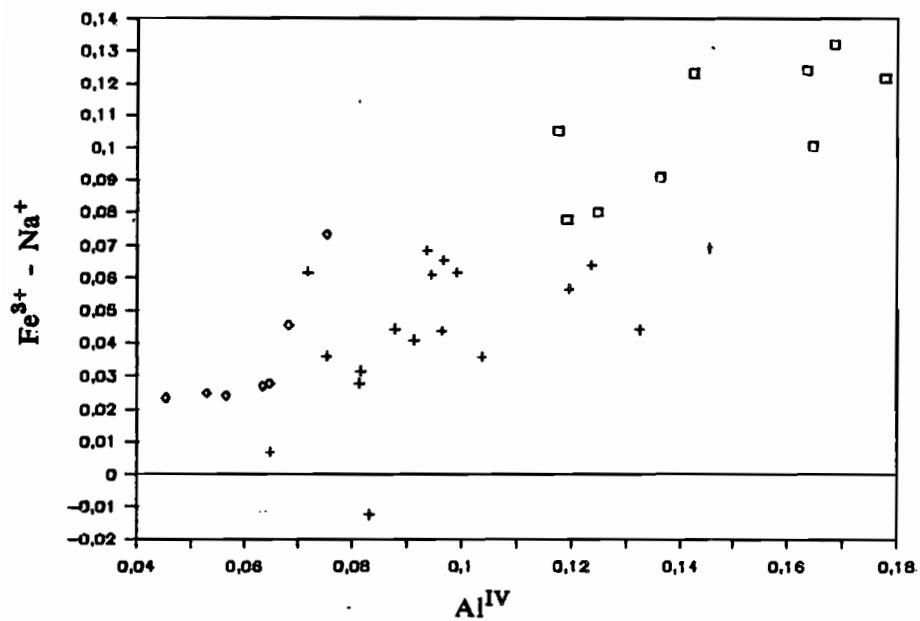
Andésites basiques de la zone FUTUNA



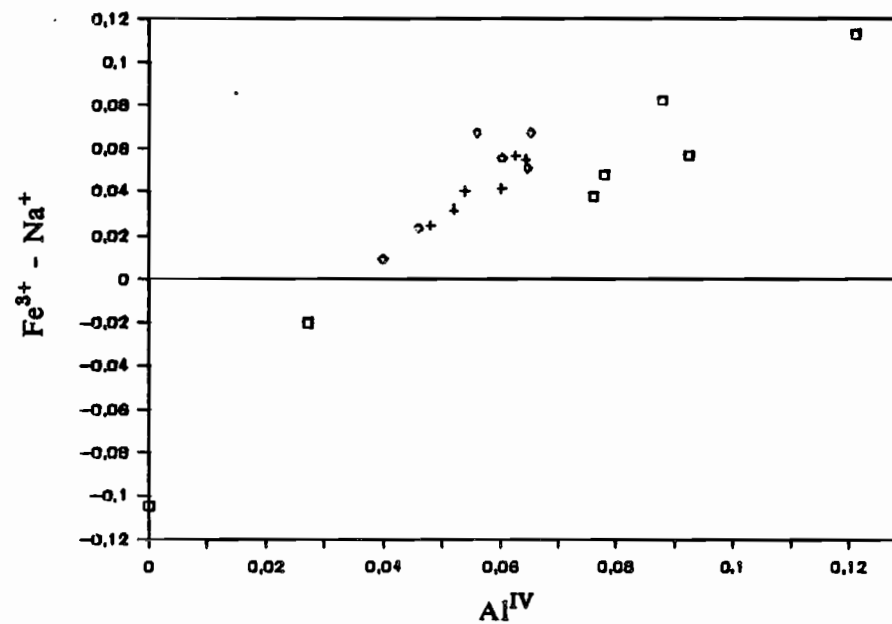
□ D16M1 P    + m    • D20M3 P    ▲ m

I - Andésites basiques de la zone Futuna.

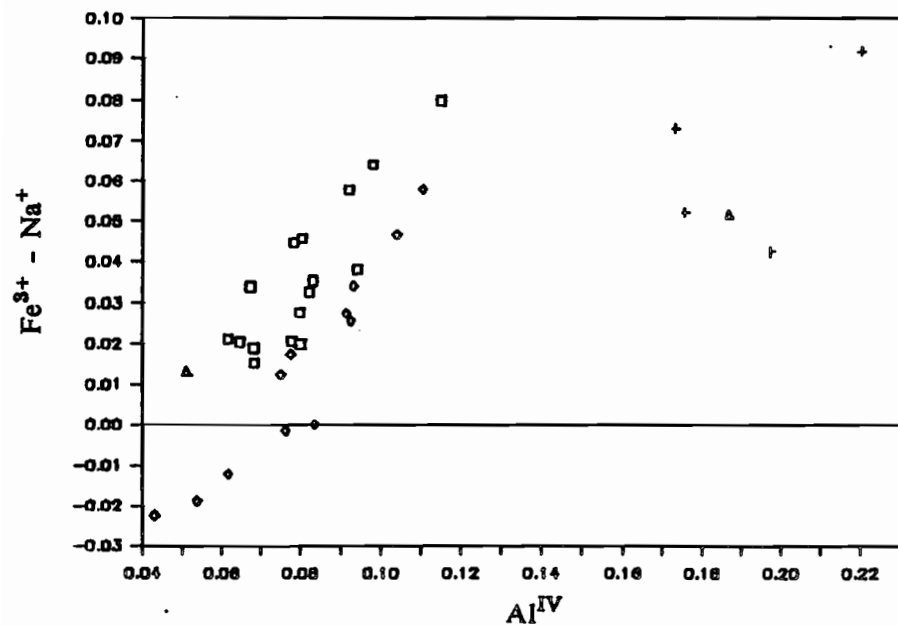
Laves de la zone ERROMANGO



Laves acides de la zone VATE



Andésites basiques de la zone FUTUNA



J - Substitution  $Fe^{3+} - Na^+ / Al^{IV}$  des clinopyroxènes des laves des zones Vaté, Erromango, et Futuna.

□ D25M2 + D24M4 ◊ D24M3

□ D27M17 P + D27M1 ◊ D26M6

□ D16M1 P + m ◊ D20M3 P ▲ m

Laves des zones VANIKORO, VOT TANDE et HAZEL HOLME

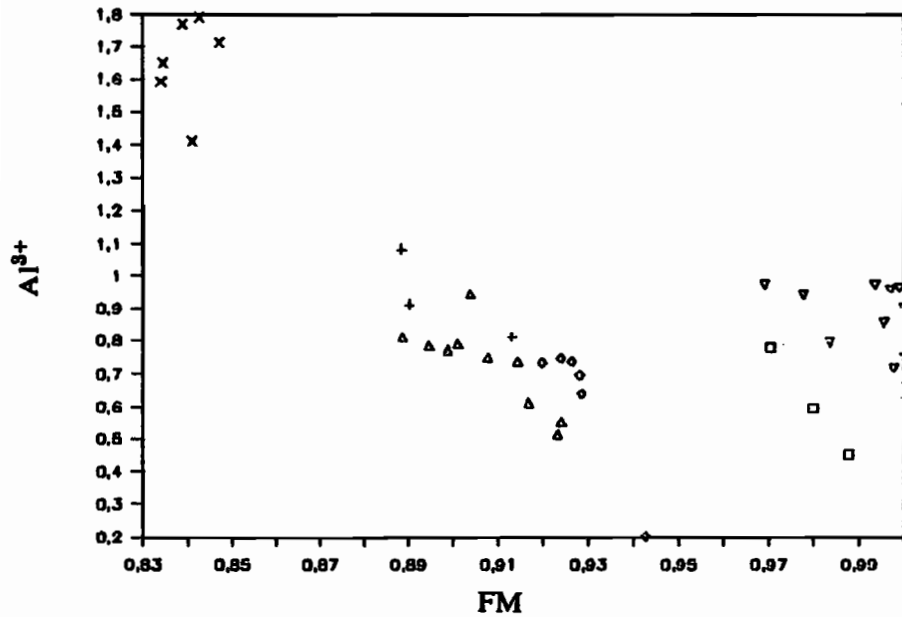
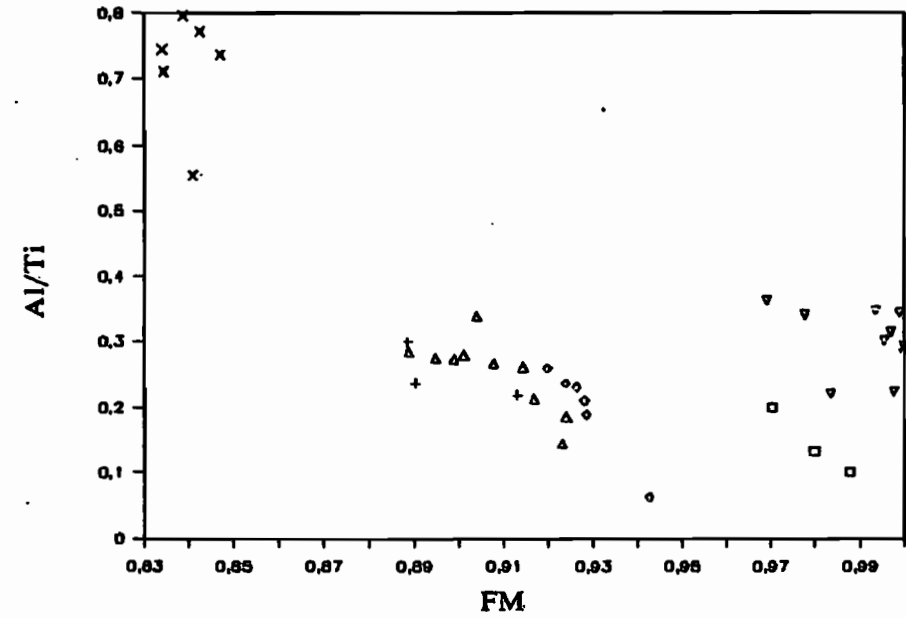
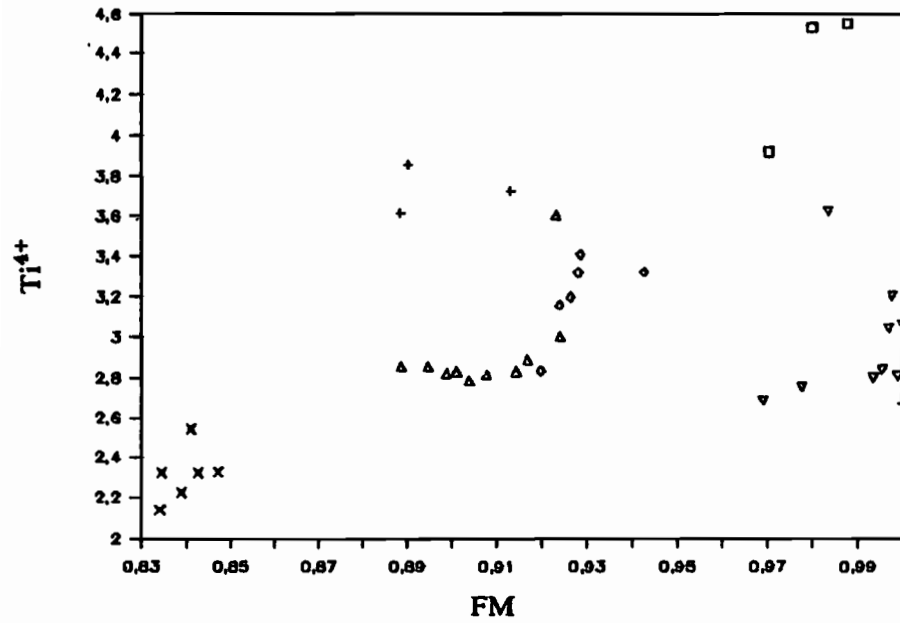


Figure III-37 : Variations de Ti et d'Al en fonction de FM ( $Fe^{2+} / Fe^{2+} + Mg^{2+}$ ) dans les titanomagnétites des laves des fossés :

A - Laves des zones Vanikoro, Vot Tande et Hazel Holme.

Variations of Ti and Al versus FM for titanomagnetites from troughs lavas :

A - Lavas from Vanikoro, Vot Tande and Hazel Holme areas.

□ D7M2    + D3M1    ◊ D1M1    △ D1M8    ◊ D11M1    × D15M6 et D15M12    ▽

Laves de la zone VATE

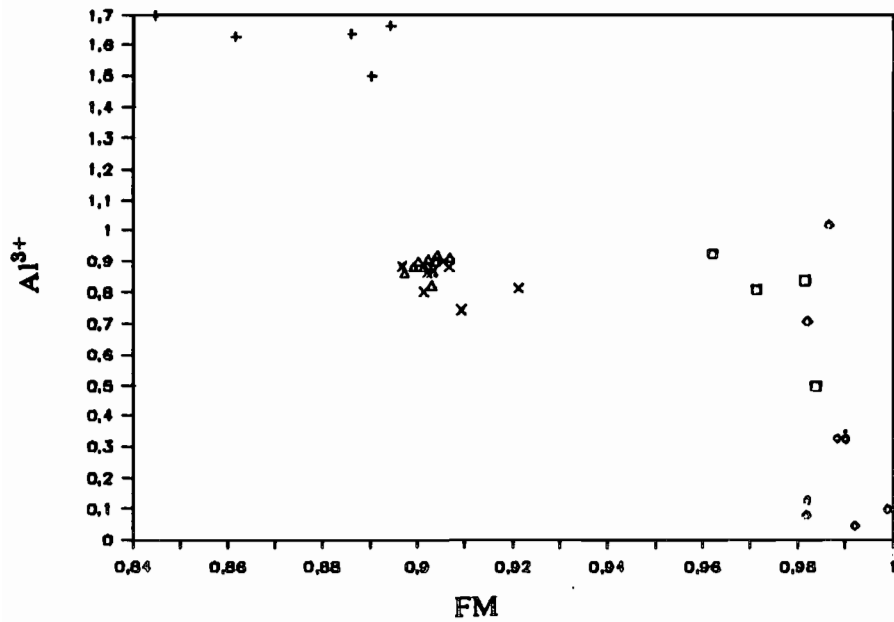
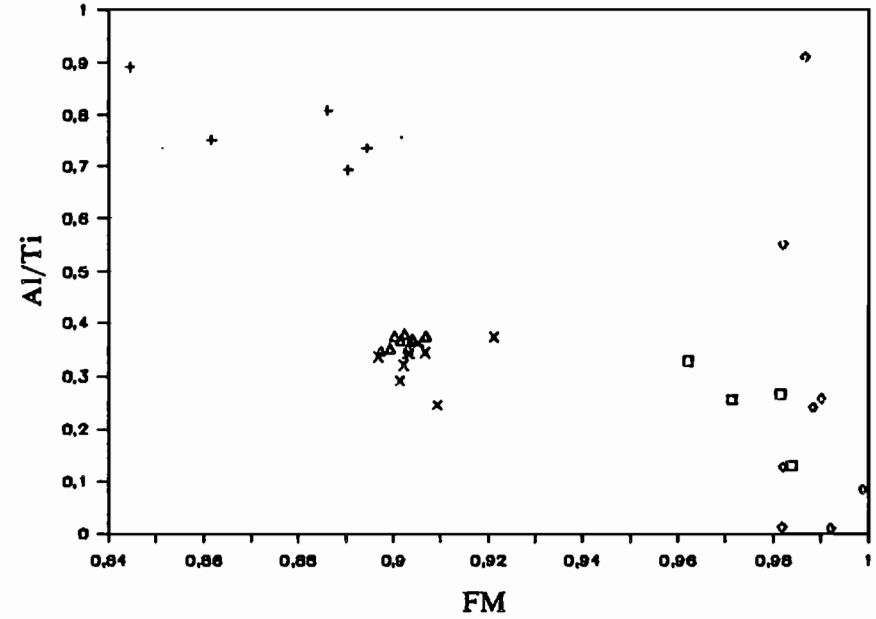
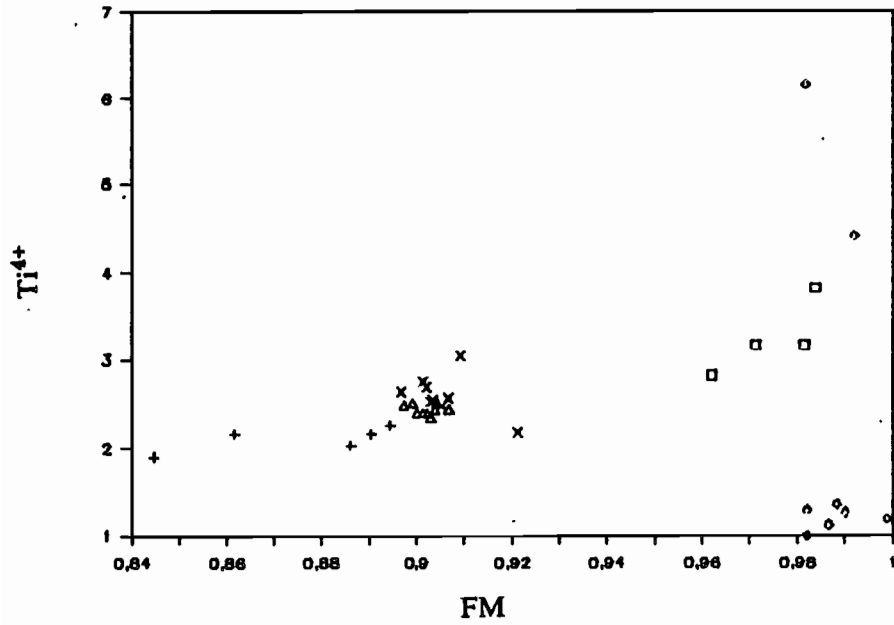


Figure III-37 : Variations de Ti et d'Al en fonction de FM ( $Fe^{2+} / Fe^{2+} + Mg^{2+}$ ) dans les titanomagnétites des laves des fossés :

B - Laves de la zone Vaté.

*Variations of Ti and Al versus FM for titanomagnetites from troughs lavas :*

*B - Lavas from Vate area.*

□ D29M6    + D27M12    ◇ D27M17    △ D27M1    × D26M6

Laves des zones FUTUNA et ERROMANGO

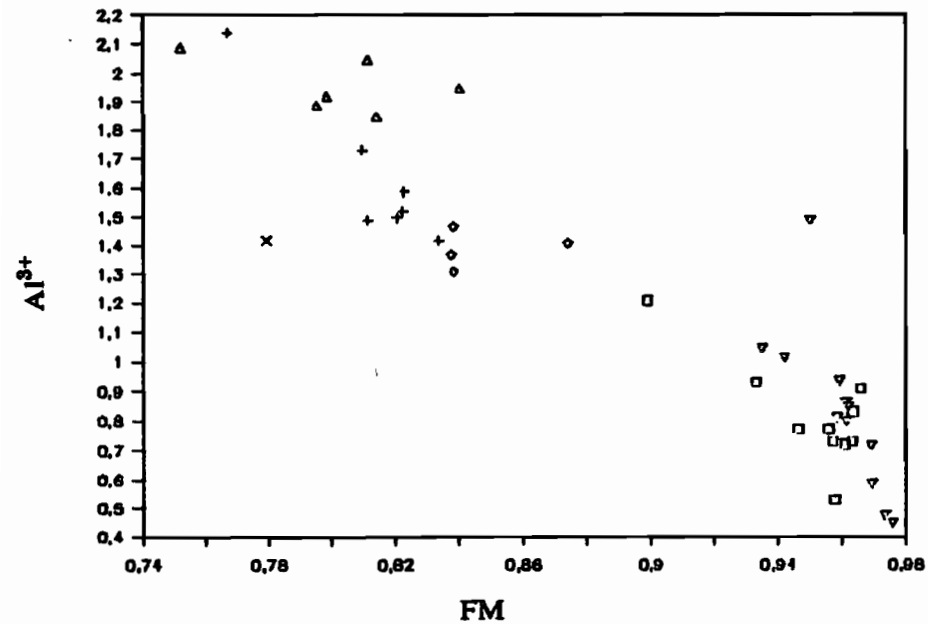
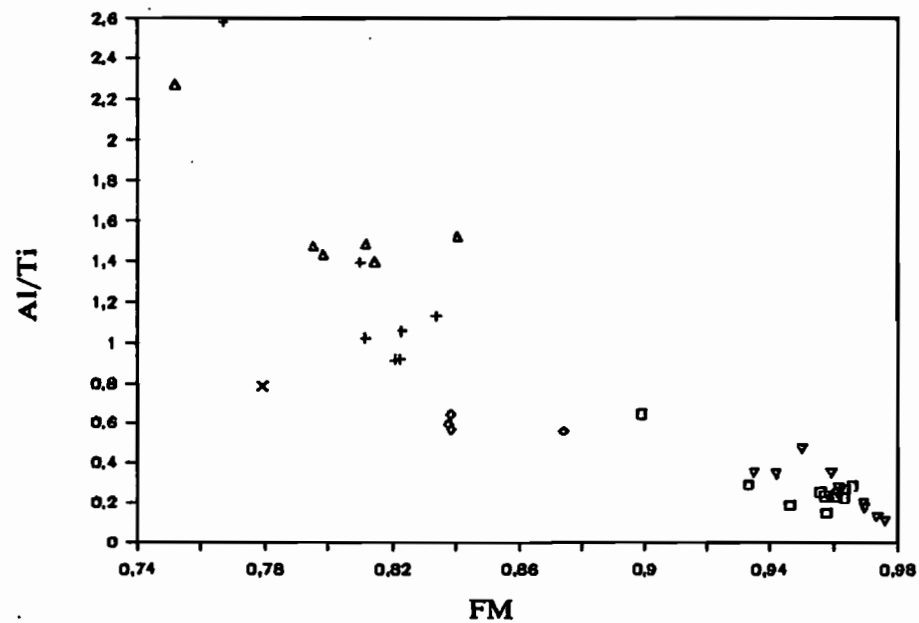
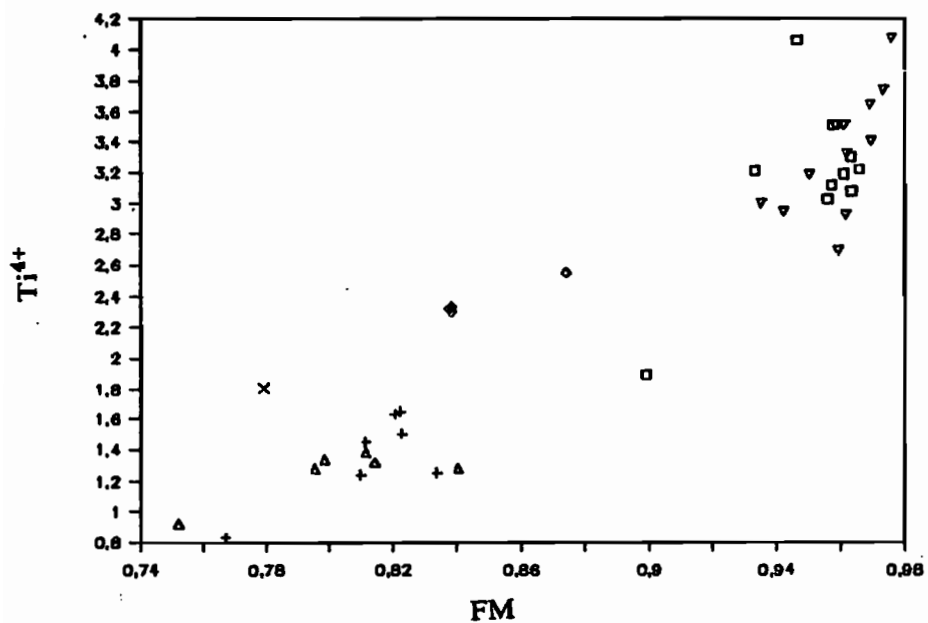


Figure III-37 : Variations de Ti et d'Al en fonction de FM ( $Fe^{2+} / Fe^{2+} + Mg^{2+}$ ) dans les titanomagnétites des laves des fossés :

C - Laves de la zone Erromango et Futuna.

Variations of Ti and Al versus FM for titanomagnetites from troughs lavas :

C - Lavas from Erromango and Futuna areas.

□ D21M1 + D16M1 ♦ D20M3 ▲ D25M2 × D24M4 ▼ D24M3

Laves de la zone VANIKORO

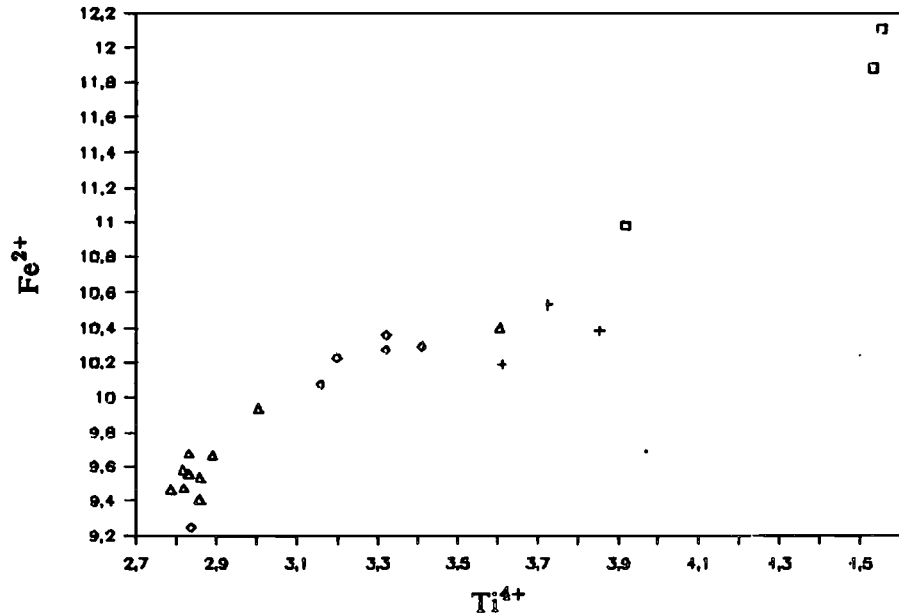
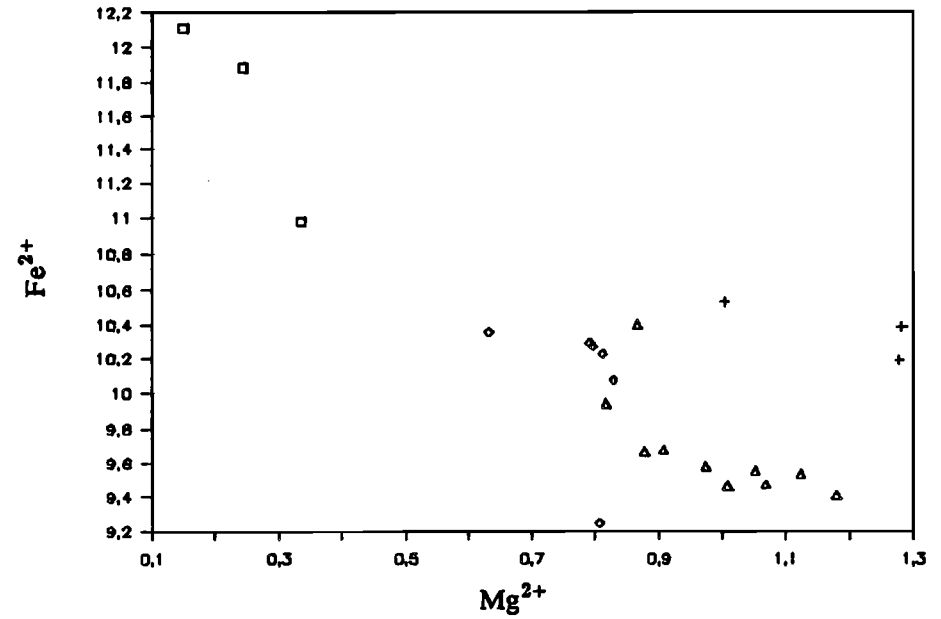
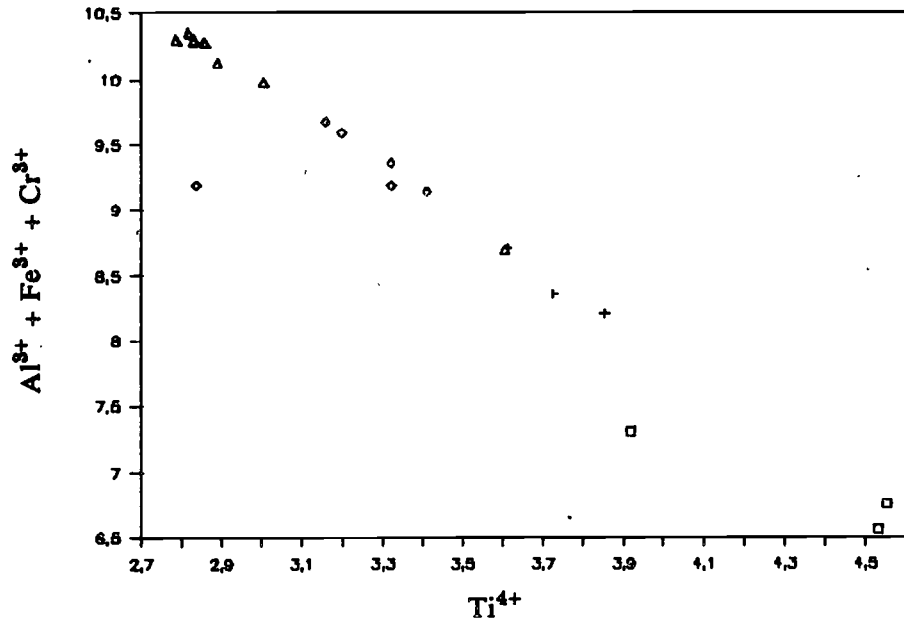


Figure III-38 : Corrélations  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  dans les titanomagnétites des laves des fossés :

A - Laves de la zone Vanikoro.  
 $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$  and  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  correlation in titanomagnetites from troughs lavas:

A - Lavas from Vanikoro area.

□ D7M2 + D3M1    ♦ DIM1    ▲ DIM8

Laves des zones VOT TANDE et HAZEL HOLME

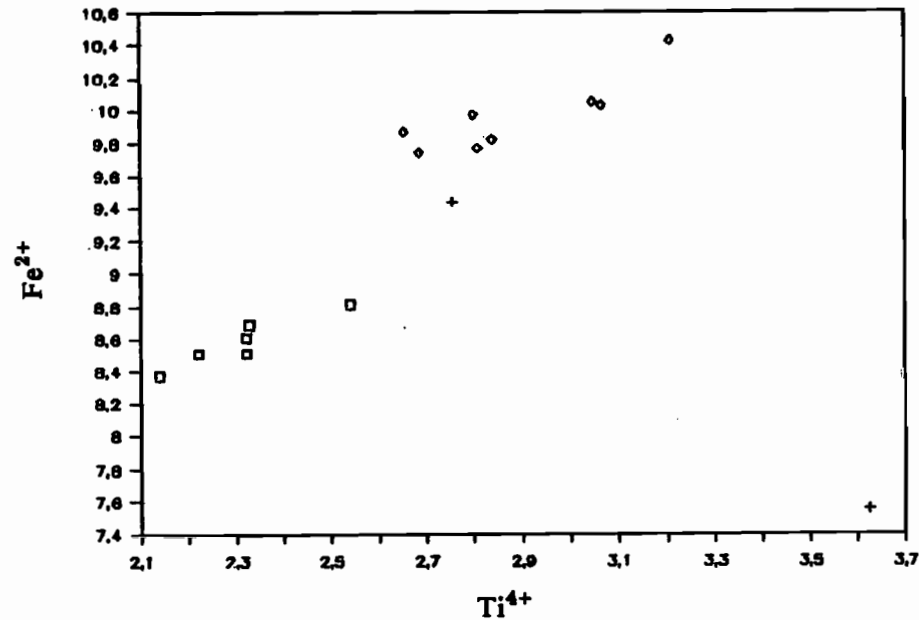
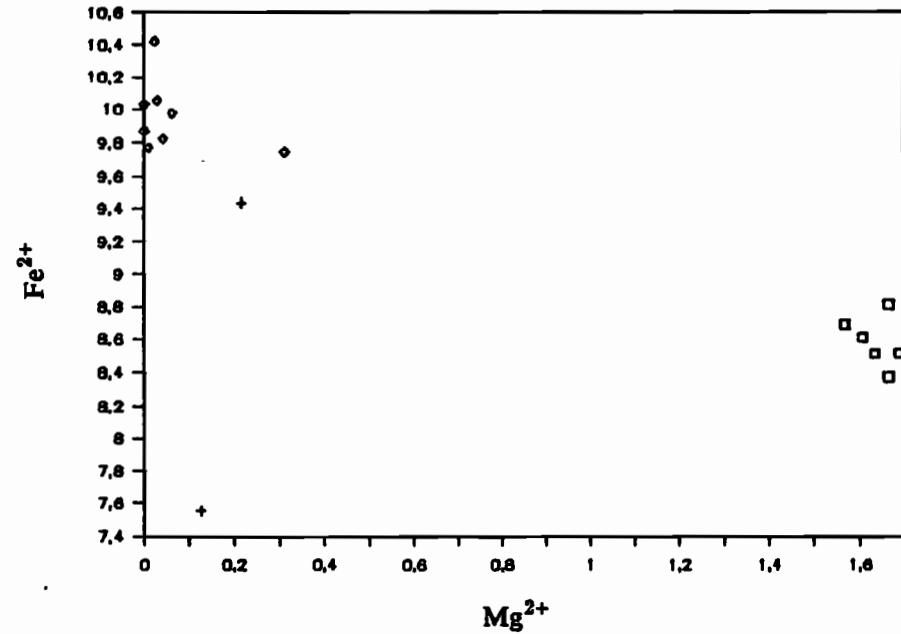
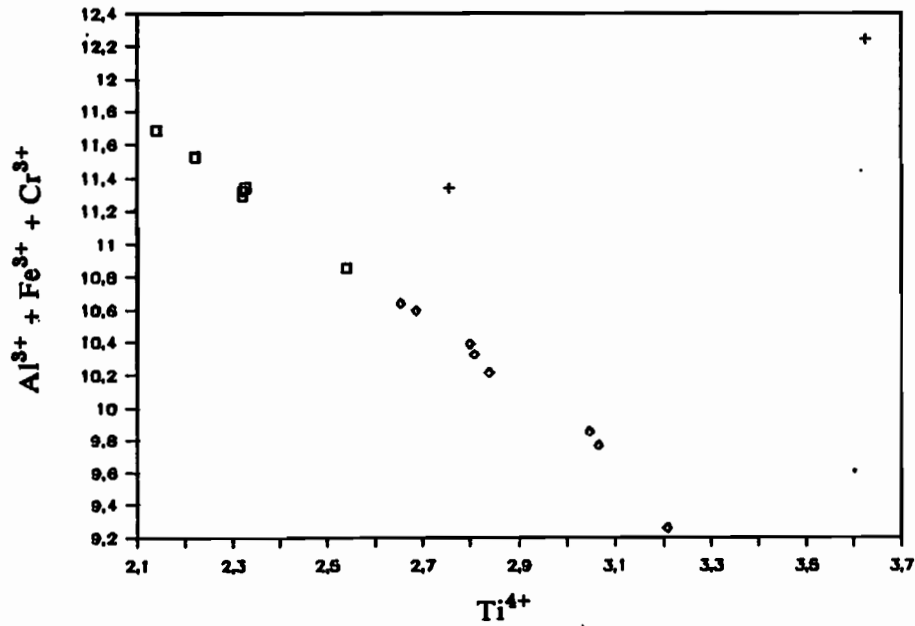


Figure III-38 : Corrélations  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  dans les titanomagnétites des laves des fossés :

B - Laves des zones Vot Tande et Hazel Holme.  
 $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$  and  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  correlation in titanomagnetites from troughs lavas:

B - Lavas from Vot Tande and Hazel Holme areas.

□ D11M1 + D15M6    ♦ D15M12

Laves de la zone VATE

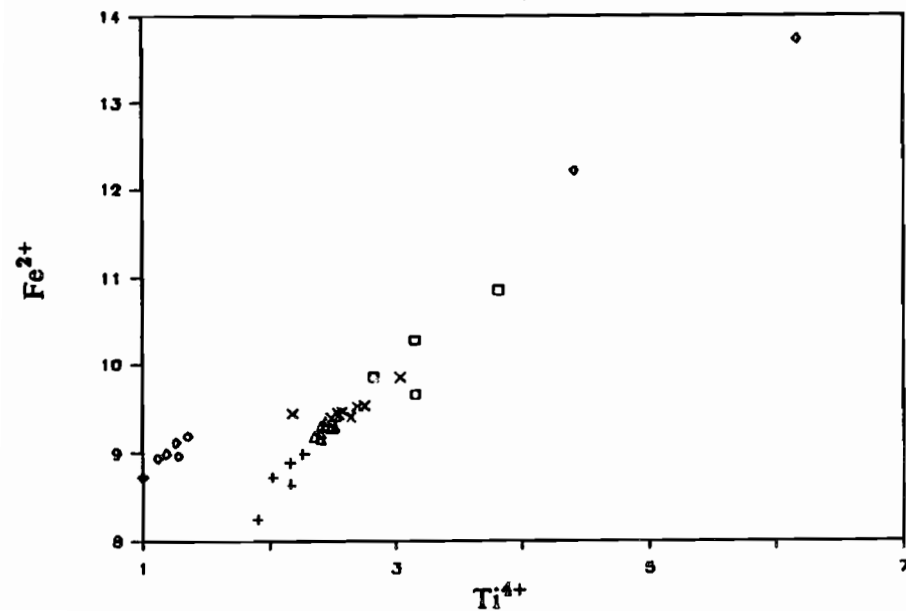
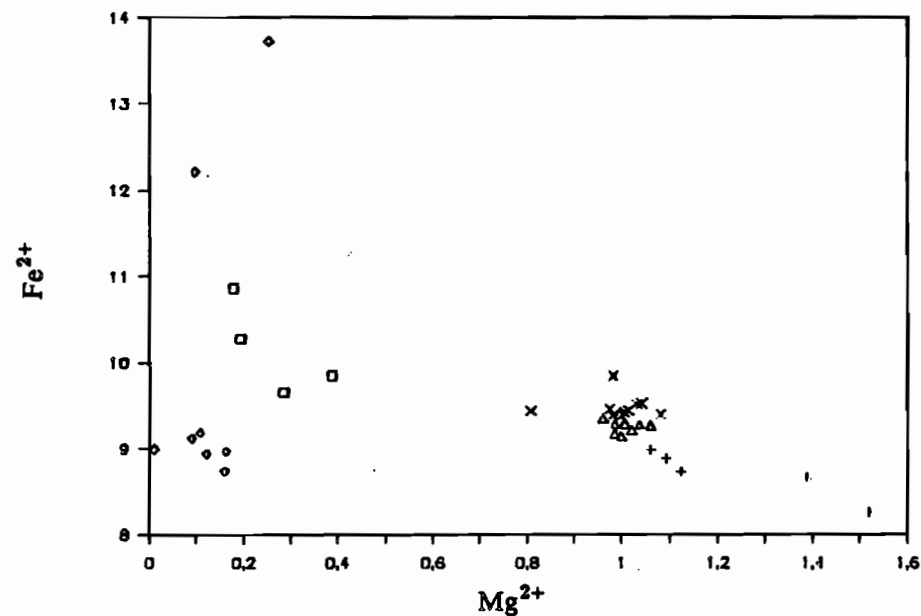
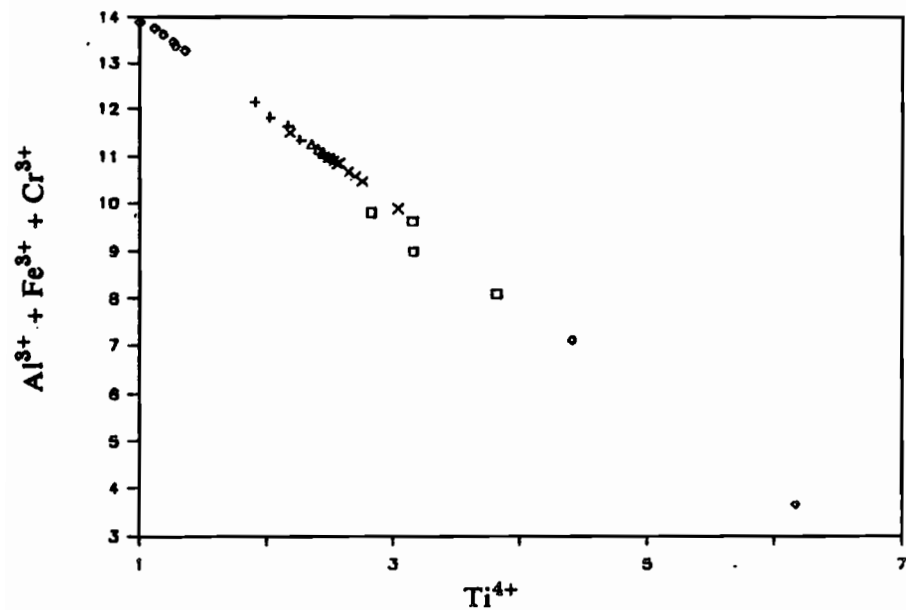


Figure III-38 : Corrélations  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  dans les titanomagnétites des laves des fossés :

C - Laves de la zone Vate.

$Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$  and  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  correlation in titanomagnetites from troughs lavas:

C - Lavas from Vate area.

◻ D29M6   + D27M12   ◊ D27M17   ▲ D27M1   × D26M6

Laves des zones FUTUNA et ERROMANGO

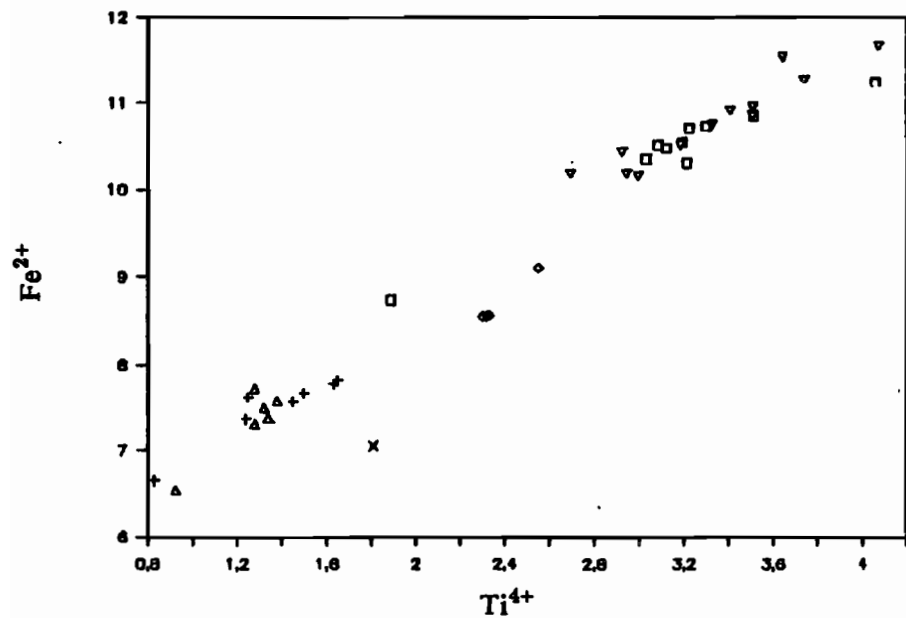
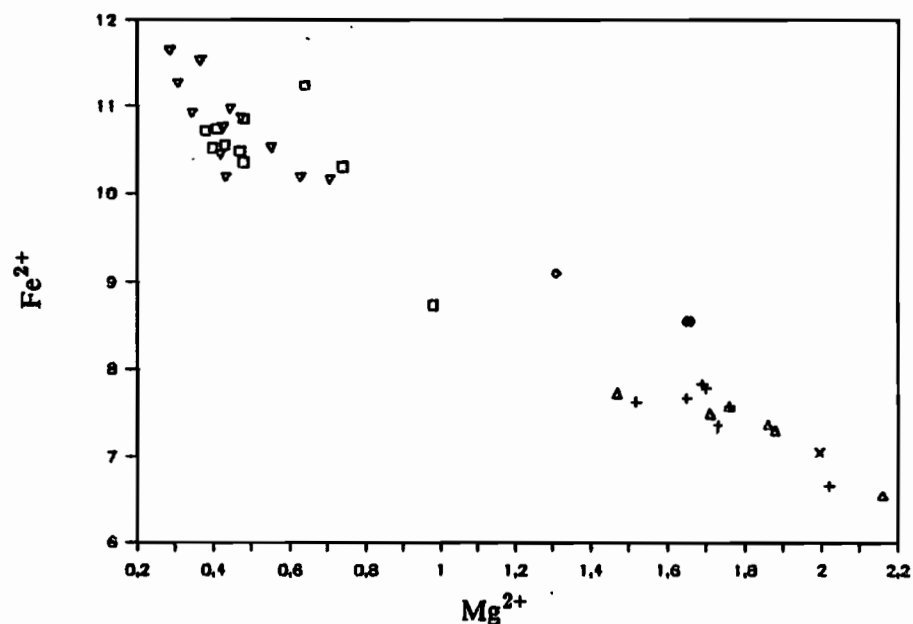
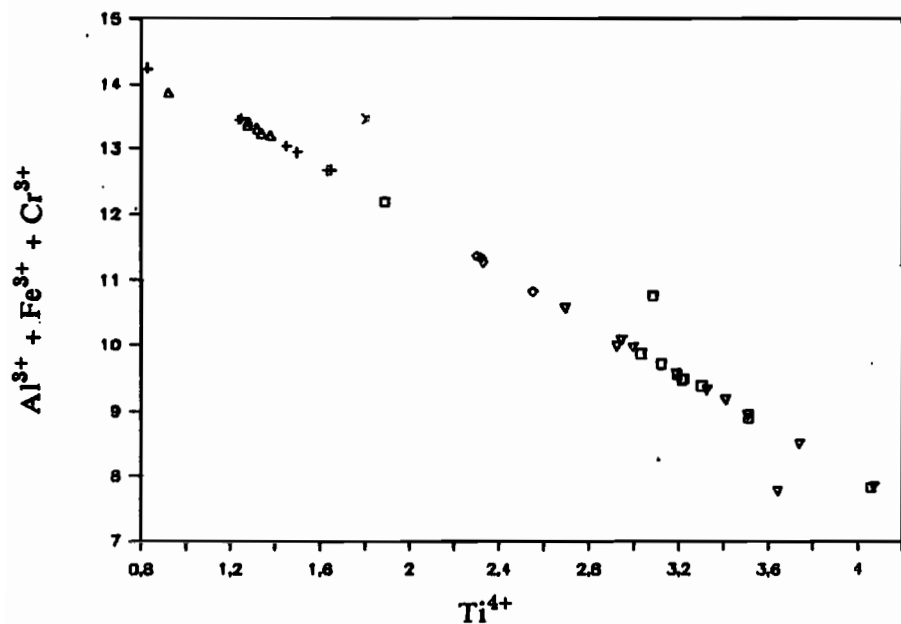


Figure III-38 : Corrélations  $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  dans les titanomagnétites des laves des fossés :

D - Laves de la zone Erromango et Futuna.  
 $Al^{3+} + Fe^{3+} + Cr^{3+} / Ti^{4+}$  and  $Fe^{2+} / Ti^{4+}$ ,  $Fe^{2+} / Mg^{2+}$  correlation in titanomagnetites from troughs lavas:

D - Lavas from Erromango and Futuna areas.

□ D21M1 + D16M1    ◊ D20M3    △ D25M2    × D24M4    ▽ D24M3

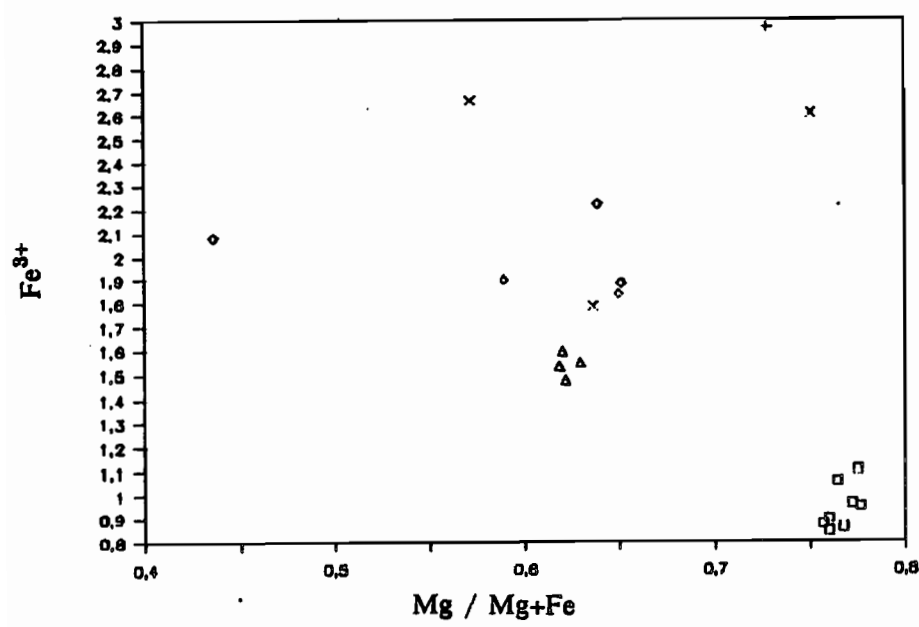
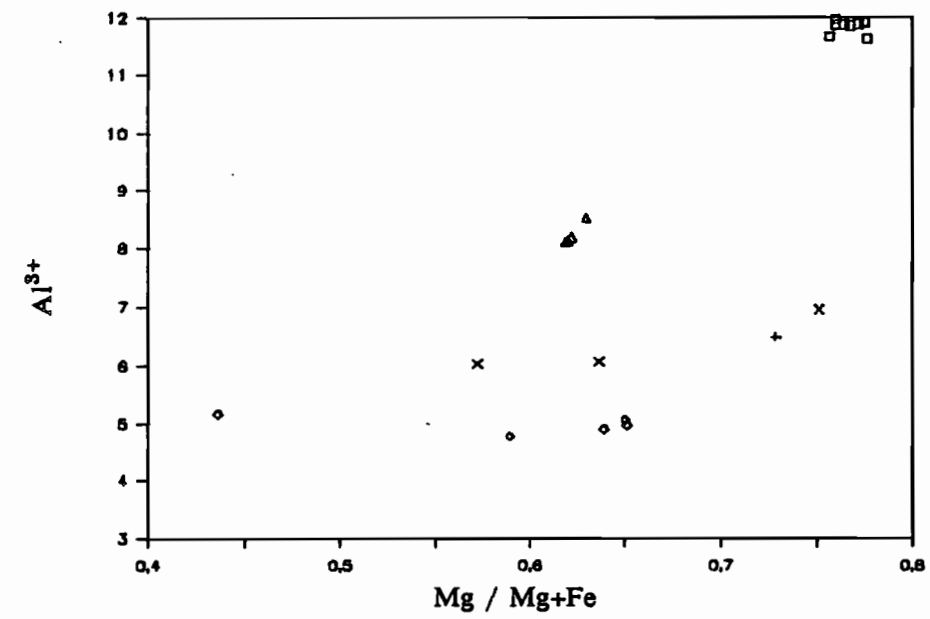
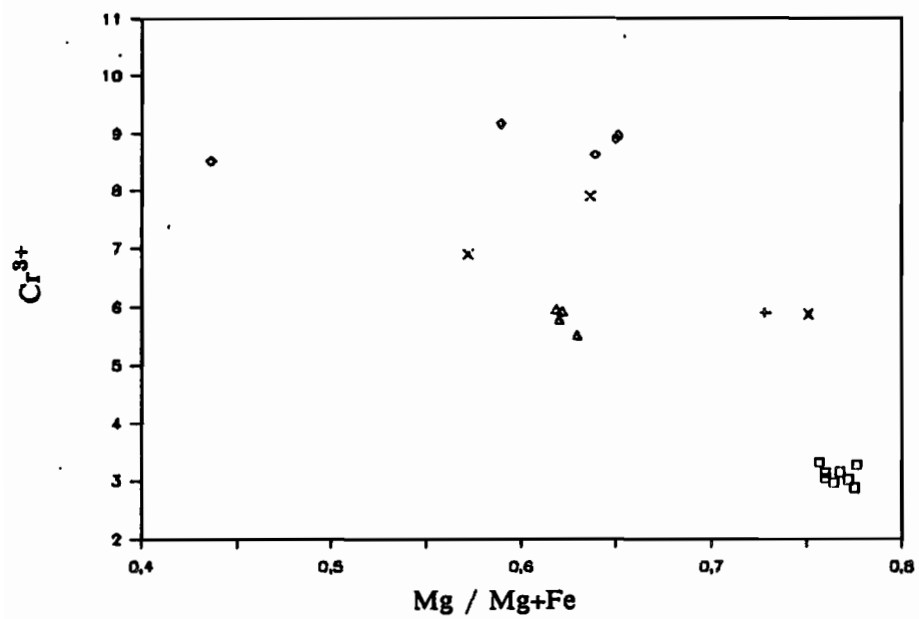


Figure III-39 : Variations des cations trivalents dans les spinelles chromifères en fonction du rapport Mg / Mg+Fe.  
*Variation of trivalent cations versus Mg / Mg+Fe in chromifer spinels.*

□ D7M2    + D2M5    ♦ D12M1    ▲ D14M1    × D19M1

ANNEXES CHAPITRE 4

Tableau IV-1 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles Banks ; analyses par absorption atomique (J.Cotten, UBO, Brest).

Chemical compositions (whole rock) of lavas from Banks islands.

|                                     | Ureparapara |        |        |        |        |        |        |        |        | Mots<br>MDT1 | Vot Tande |        |
|-------------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------|-----------|--------|
|                                     | URF7        | URM3   | URG4   | URG2   | URG3   | URF1   | URF4   | URF6   | URM2   |              | UGM1      | UGB8   |
|                                     | e+c         | e      | e+c    | e+c    | e+c    | e+c    | e      | e+c    | e      |              | b/e       | b/e    |
| SiO2                                | 58,73       | 58,88  | 58,85  | 51,38  | 51,58  | 51,78  | 51,78  | 51,78  | 53,58  | 49,98        | 52,78     | 54,18  |
| TiO2                                | 1,33        | 0,84   | 1,45   | 0,91   | 0,94   | 1,25   | 0,86   | 0,93   | 0,85   | 0,85         | 0,74      | 0,79   |
| Al2O3                               | 17,83       | 15,78  | 15,35  | 16,26  | 16,68  | 16,68  | 16,24  | 16,81  | 17,51  | 16,48        | 15,65     | 18,13  |
| Fe2O3                               | 1,53        | 1,54   | 1,74   | 1,57   | 1,47   | 1,59   | 1,58   | 1,39   | 1,34   | 1,48         | 1,46      | 1,38   |
| FeO                                 | 7,78        | 7,88   | 8,89   | 8,88   | 7,49   | 8,18   | 7,63   | 7,87   | 6,82   | 9,43         | 7,44      | 6,65   |
| MnO                                 | 0,33        | 0,16   | 0,27   | 0,16   | 0,18   | 0,23   | 0,17   | 0,15   | 0,19   | 0,21         | 0,16      | 0,15   |
| MgO                                 | 3,61        | 5,48   | 4,68   | 4,68   | 4,51   | 3,38   | 3,21   | 3,18   | 3,74   | 6,58         | 5,62      | 3,67   |
| CaO                                 | 9,87        | 9,85   | 8,92   | 9,48   | 10,85  | 9,81   | 9,62   | 9,64   | 7,95   | 18,17        | 9,81      | 8,68   |
| Na2O                                | 3,84        | 2,85   | 3,19   | 2,98   | 3,11   | 3,17   | 2,96   | 3,16   | 3,54   | 2,57         | 2,39      | 2,65   |
| K2O                                 | 1,16        | 1,28   | 1,18   | 1,84   | 1,87   | 1,28   | 1,16   | 1,26   | 1,68   | 0,68         | 0,94      | 1,04   |
| P2O5                                | 0,33        | 0,35   | 0,48   | 0,25   | 0,35   | 0,48   | 0,38   | 0,35   | 0,38   | 0,28         | 0,38      | 0,28   |
| H2O+                                | 1,28        | 0,36   | 0,89   | 0,88   | 0,61   | 0,61   | 0,36   | 0,48   | 0,12   | 0,88         | 0,35      | 1,81   |
| H2O-                                | 0,65        | 0,73   | 0,69   | 0,61   | 0,74   | 0,66   | 0,46   | 0,38   | 0,41   | 0,15         | 0,62      | 0,23   |
| TOTAL                               | 98,63       | 97,86  | 98,58  | 98,86  | 98,42  | 98,18  | 98,16  | 98,21  | 97,92  | 98,71        | 98,18     | 98,52  |
| Elements en traces (ppm)            |             |        |        |        |        |        |        |        |        |              |           |        |
| Rb                                  | 16          | 14     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 15     | 25     | 8            | 11        | 14     |
| Sr                                  | 468         | 536    | 487    | 636    | 542    | 499    | 462    | 589    | 782    | 512          | 448       | 588    |
| Ba                                  | 165         | 288    | 288    | 382    | 198    | 251    | 215    | 288    | 252    | 172          | 147       | 148    |
| V                                   | 287         | 278    | 278    | 388    | 388    | 246    | 381    | 332    | 267    | 361          | 348       | 295    |
| Cr                                  | 9           | 76     | 19     | 19     | 58     | 11     | 46     | 58     | 3      | 69           | 85        | 19     |
| Ni                                  | 13          | 25     | 28     | 28     | 21     | 14     | 22     | 21     | 7      | 38           | 21        | 8      |
| Co                                  | 27          | 28     | 26     | 27     | 28     | 24     | 27     | 24     | 28     | 38           | 24        | 28     |
| NORME C.I.P.H., Fe2O3 = 8,15 Fe2O3* |             |        |        |        |        |        |        |        |        |              |           |        |
| QZ                                  | 1,63        | 0,27   | 0,68   | 1,63   | 1,39   | 2,66   | 1,13   | 0,55   | 2,64   |              | 5,38      | 8,47   |
| ORT                                 | 7,88        | 7,34   | 7,19   | 6,33   | 6,51   | 7,88   | 7,84   | 7,68   | 9,78   | 4,87         | 5,71      | 6,31   |
| AB                                  | 26,55       | 24,94  | 27,81  | 26,86  | 27,88  | 27,64  | 25,78  | 27,98  | 38,72  | 28,33        | 28,78     | 33,83  |
| AN                                  | 38,36       | 27,43  | 24,83  | 28,88  | 29,81  | 28,14  | 28,34  | 26,61  | 27,88  | 32,56        | 38,82     | 33,46  |
| DND                                 | 7,94        | 8,77   | 7,66   | 7,61   | 8,43   | 6,48   | 7,86   | 8,61   | 4,37   | 7,27         | 7,59      | 2,99   |
| DEX                                 | 3,31        | 4,58   | 3,58   | 3,66   | 4,84   | 2,77   | 4,84   | 4,58   | 2,85   | 3,71         | 4,83      | 1,48   |
| DF5                                 | 4,82        | 4,85   | 4,88   | 3,84   | 4,26   | 3,71   | 3,63   | 3,76   | 2,28   | 3,58         | 3,33      | 1,55   |
| EN                                  | 5,97        | 9,41   | 8,43   | 8,59   | 7,81   | 6,42   | 9,28   | 8,73   | 7,51   | 11,78        | 18,33     | 7,98   |
| FS                                  | 7,68        | 8,47   | 9,48   | 8,81   | 7,59   | 8,58   | 8,35   | 7,16   | 8,37   | 18,76        | 8,54      | 8,85   |
| FO                                  |             |        |        |        |        |        |        |        |        | 8,65         |           |        |
| FR                                  |             |        |        |        |        |        |        |        |        | 8,65         |           |        |
| MT                                  | 2,28        | 2,32   | 2,61   | 2,35   | 2,19   | 2,57   | 2,23   | 2,87   | 1,98   | 2,72         | 2,18      | 1,94   |
| IL                                  | 2,61        | 1,63   | 2,84   | 1,79   | 1,84   | 2,45   | 1,68   | 1,82   | 1,66   | 1,48         | 1,44      | 1,54   |
| AP                                  | 0,86        | 0,86   | 0,98   | 0,61   | 0,85   | 0,98   | 0,73   | 0,85   | 0,85   | 0,48         | 0,73      | 0,49   |
| XAZ                                 | 4,62        | 0,82   | 1,91   | 4,84   | 3,97   | 6,97   | 3,34   | 1,33   | 6,12   |              | 16,67     | 22,48  |
| XORT                                | 28,87       | 22,54  | 28,14  | 18,65  | 18,61  | 28,47  | 28,78  | 21,45  | 22,55  | 16,78        | 17,96     | 16,78  |
| XAB                                 | 75,31       | 76,64  | 77,95  | 76,51  | 77,42  | 72,56  | 73,89  | 77,82  | 71,35  | 83,38        | 65,37     | 68,71  |
| XFLC                                | 24,76       | 21,63  | 22,48  | 22,19  | 24,16  | 25,34  | 22,51  | 24,67  | 38,48  | 14,77        | 18,81     | 24,31  |
| XFeO                                | 53,96       | 49,52  | 53,61  | 51,97  | 58,95  | 54,27  | 49,82  | 46,42  | 47,46  | 53,75        | 49,46     | 51,52  |
| XMgO                                | 21,28       | 28,83  | 25,98  | 26,84  | 24,91  | 28,58  | 28,47  | 28,91  | 22,12  | 31,48        | 31,74     | 24,17  |
| O1                                  | 35,28       | 35,68  | 35,68  | 34,87  | 34,98  | 38,18  | 33,87  | 33,81  | 43,86  | 24,48        | 31,79     | 37,81  |
| SI                                  | 28,88       | 23,66  | 23,66  | 26,88  | 24,66  | 28,12  | 28,28  | 28,67  | 21,87  | 31,16        | 31,45     | 33,94  |
| Mg                                  | 45,23       | 34,96  | 48,38  | 31,82  | 38,62  | 44,82  | 54,92  | 36,63  | 49,39  | 53,13        | 57,33     | 49,57  |
| Rb/Sr                               | 0,8348      | 0,8232 | 0,8319 | 0,8236 | 0,8277 | 0,8381 | 0,8325 | 0,8253 | 0,8336 | 0,8156       | 0,8258    | 0,8288 |
| K/Rb                                | 684         | 714    | 736    | 578    | 594    | 711    | 644    | 788    | 533    | 788          | 712       | 619    |
| Ba/Sr                               | 8,359       | 8,368  | 8,491  | 8,318  | 8,365  | 8,463  | 8,465  | 8,348  | 8,359  | 8,336        | 8,334     | 8,296  |
| Ba/Rb                               | 18,31       | 14,29  | 15,38  | 13,47  | 13,28  | 15,48  | 14,33  | 13,33  | 18,88  | 21,58        | 13,36     | 18,57  |

Tableau IV-1 suite

|                                     | Iles BANKS Nord |         |        |        |        | Iles BANKS Sud |        |        |           |        |
|-------------------------------------|-----------------|---------|--------|--------|--------|----------------|--------|--------|-----------|--------|
|                                     | Vanua Lava      |         |        |        |        | Mota Lava      |        | Merig  | Meru Lava | Gaua   |
|                                     | ULC115          | VNAC886 | VNAC1  | ULR69  | ULR15  | MVA15          | MVA11  | HERM18 | MLKK1     | GR5    |
|                                     | b               | a+c     | a+c    | a      | g'     | d              | c'     | c+d    | d'        | e      |
| SiO2                                | 49,88           | 49,68   | 53,88  | 55,58  | 58,98  | 49,85          | 58,45  | 58,88  | 51,88     | 51,88  |
| TiO2                                | 8,81            | 8,94    | 8,92   | 8,78   | 8,72   | 8,72           | 1,55   | 8,96   | 8,52      | 8,84   |
| Al2O3                               | 17,22           | 15,88   | 16,25  | 16,25  | 16,58  | 13,88          | 15,94  | 12,75  | 12,56     | 16,25  |
| Fe2O3                               | 1,77            | 1,84    | 1,65   | 1,43   | 1,17   | 1,59           | 1,63   | 1,59   | 1,44      | 1,67   |
| FeO                                 | 9,83            | 9,39    | 8,43   | 7,31   | 5,97   | 8,12           | 8,29   | 8,13   | 7,34      | 8,54   |
| MnO                                 | 8,28            | 8,28    | 8,19   | 8,19   | 8,15   | 8,17           | 8,18   | 8,18   | 8,17      | 8,21   |
| MgO                                 | 6,87            | 5,85    | 4,51   | 3,75   | 2,85   | 9,51           | 6,82   | 11,11  | 11,54     | 5,84   |
| CaO                                 | 18,51           | 18,27   | 8,83   | 7,45   | 5,68   | 11,39          | 10,85  | 9,77   | 11,94     | 9,81   |
| Na2O                                | 2,54            | 2,67    | 3,17   | 3,32   | 3,94   | 1,94           | 3,66   | 2,26   | 1,58      | 2,81   |
| K2O                                 | 8,78            | 1,88    | 1,85   | 1,58   | 2,25   | 8,37           | 8,31   | 8,55   | 8,38      | 1,25   |
| P2O5                                | 8,38            | 8,25    | 8,28   | 8,25   | 8,45   | 8,35           | 8,25   | 8,15   | 8,85      | 8,15   |
| H2O+                                | 8,14            | 8,88    | 8,88   | 8,24   | 8,58   | 8,46           | 8,88   | 8,47   | 8,88      | 8,16   |
| H2O-                                | 8,47            | 8,66    | 8,25   | 8,34   | 8,47   | 8,97           | 8,19   | 1,85   | 8,18      | 8,27   |
| TOTAL                               | 98,76           | 98,56   | 98,45  | 98,32  | 96,75  | 98,73          | 99,38  | 98,96  | 98,95     | 98,76  |
| Elements en traces (ppm)            |                 |         |        |        |        |                |        |        |           |        |
| Rb                                  | 6               | 14      | 14     | 23     | 41     | 4              | 3      | 6      | 4         | 18     |
| Sr                                  | 528             | 499     | 478    | 412    | 452    | 356            | 291    | 296    | 173       | 728    |
| Ba                                  | 222             | 258     | 248    | 388    | 453    | 136            | 81     | 176    | 125       | 364    |
| U                                   | 355             | 348     | 296    | 255    | 178    | 295            | 261    | 256    | 257       | 371    |
| Cr                                  | 184             | 92      | 23     | 21     | 9      | 389            | 92     | 466    | 468       | 12     |
| Ni                                  | 36              | 26      | 12     | 12     | 5      | 188            | 36     | 285    | 129       | 13     |
| Co                                  | 39              | 48      | 34     | 24     | 16     | 39             | 35     | 44     | 42        | 34     |
| NORME C.I.P.W., Fe2O3 = 0,15 Fe2O3+ |                 |         |        |        |        |                |        |        |           |        |
| QZ                                  |                 |         | 2,96   | 6,81   | 18,44  |                |        |        | 8,98      | 8,84   |
| ORT                                 | 4,21            | 6,83    | 6,31   | 9,86   | 13,58  | 5,46           | 1,85   | 5,33   | 1,79      | 7,39   |
| AB                                  | 21,88           | 23,86   | 27,29  | 28,72  | 34,85  | 16,85          | 31,22  | 19,61  | 15,68     | 24,16  |
| AN                                  | 34,13           | 28,99   | 27,58  | 25,58  | 21,15  | 25,99          | 26,38  | 23,57  | 26,88     | 28,51  |
| DWO                                 | 7,16            | 8,98    | 6,63   | 4,47   | 2,86   | 12,49          | 11,83  | 18,54  | 14,83     | 8,36   |
| DEN                                 | 3,61            | 4,41    | 3,85   | 2,81   | 8,76   | 7,66           | 5,98   | 6,88   | 9,21      | 4,81   |
| DFS                                 | 3,38            | 4,41    | 3,52   | 2,44   | 1,53   | 4,12           | 4,67   | 3,84   | 3,83      | 4,21   |
| EN                                  | 7,72            | 6,78    | 8,38   | 7,54   | 4,46   | 14,74          | 2,25   | 14,79  | 19,38     | 6,75   |
| FS                                  | 7,22            | 6,77    | 9,66   | 9,13   | 7,93   | 7,92           | 1,76   | 6,61   | 8,85      | 9,27   |
| FO                                  | 2,84            | 3,58    |        |        |        | 1,34           | 4,82   | 4,76   |           |        |
| FR                                  | 2,93            | 2,84    |        |        |        | 8,88           | 4,15   | 2,34   |           |        |
| MT                                  | 2,61            | 2,73    | 2,44   | 2,13   | 1,73   | 2,37           | 2,38   | 2,37   | 2,11      | 2,47   |
| IL                                  | 1,57            | 1,82    | 1,78   | 1,51   | 1,48   | 1,48           | 2,93   | 1,87   | 1,88      | 1,62   |
| AP                                  | 8,72            | 8,61    | 8,48   | 8,61   | 1,89   | 8,85           | 8,68   | 8,36   | 8,12      | 8,36   |
| XQZ                                 |                 |         | 8,89   | 15,28  | 17,98  |                |        |        | 5,54      | 2,59   |
| XORT                                | 16,14           | 28,74   | 17,27  | 28,32  | 25,39  | 17,83          | 5,59   | 14,53  | 11,88     | 22,81  |
| XAB                                 | 83,86           | 79,26   | 74,64  | 64,39  | 58,63  | 82,97          | 94,41  | 85,47  | 85,46     | 74,66  |
| XALC                                | 16,26           | 17,84   | 22,63  | 28,87  | 48,56  | 11,63          | 28,11  | 11,96  | 8,64      | 21,13  |
| XFeO+                               | 53,29           | 53,72   | 53,19  | 58,18  | 46,88  | 44,38          | 49,41  | 48,73  | 39,51     | 52,58  |
| XMgO                                | 38,46           | 28,44   | 24,18  | 21,84  | 13,43  | 44,87          | 38,49  | 47,38  | 51,85     | 26,35  |
| DI                                  | 26,89           | 29,89   | 36,56  | 44,59  | 58,88  | 28,31          | 33,87  | 22,95  | 16,38     | 32,39  |
| SI                                  | 38,15           | 28,16   | 23,94  | 21,68  | 15,38  | 43,73          | 38,21  | 46,94  | 51,45     | 26,87  |
| Mg                                  | 54,58           | 52,59   | 48,81  | 47,72  | 37,94  | 67,68          | 36,39  | 78,87  | 73,34     | 51,25  |
| Rb/Sr                               | 0,8114          | 0,8281  | 0,8298 | 0,8558 | 0,8987 | 0,8112         | 0,8183 | 0,8283 | 0,8231    | 0,8247 |
| K/Rb                                | 972             | 593     | 625    | 543    | 457    | 1188           | 861    | 764    | 625       | 569    |
| Ba/Sr                               | 8,422           | 8,581   | 8,528  | 8,748  | 8,958  | 8,382          | 8,278  | 8,395  | 8,723     | 8,588  |
| Ba/Rb                               | 57,88           | 17,86   | 17,71  | 15,39  | 18,56  | 34,88          | 27,88  | 29,33  | 31,25     | 28,22  |

Tableau IV-2 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles Banks reprises dans  
 Ash *et al.*(1980), Barsdell *et al.*(1982) et Mallick et Ash (1975).  
 Chemical compositions (whole rock) of lavas from Banks islands.

| ILE<br>Ech. | VANUA LAVA |       |       |       |       |       |       | UREPARAPARA |        |       | MOTA LAVA |       | MOTA  |       | VOT TRANDE |
|-------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--------|-------|-----------|-------|-------|-------|------------|
|             | VL110      | VL159 | VL139 | VL117 | VL117 | VL170 | VL168 | UR10        | UR1    | UR3   | MVB1      | MVB1  | MORS  | MMAC4 | UG1        |
| SiO2        | 44,80      | 46,80 | 47,80 | 47,85 | 50,50 | 55,89 | 56,23 | 49,80       | 51,80  | 55,20 | 47,80     | 48,10 | 48,30 | 48,47 | 52,80      |
| TiO2        | 0,77       | 0,65  | 0,65  | 0,76  | 0,80  | 0,70  | 0,80  | 0,76        | 0,75   | 0,85  | 0,55      | 0,75  | 0,65  | 0,74  | 0,65       |
| Al2O3       | 17,90      | 15,10 | 13,80 | 10,17 | 10,10 | 16,60 | 16,80 | 16,50       | 18,80  | 17,75 | 14,20     | 10,20 | 16,20 | 16,47 | 17,30      |
| Fe2O3       | 7,80       | 9,50  | 7,20  | 2,26  | 5,20  | 3,62  | 4,91  | 3,65        | 3,70   | 4,50  | 2,65      | 4,15  | 5,10  | 5,79  | 2,65       |
| FeO         | 4,30       | 3,65  | 3,85  | 9,20  | 4,85  | 5,40  | 4,20  | 6,80        | 5,50   | 3,70  | 6,45      | 6,70  | 5,75  | 5,50  | 6,25       |
| MnO         | 0,20       | 0,22  | 0,19  | 0,22  | 0,21  | 0,18  | 0,21  | 0,20        | 0,20   | 0,19  | 0,20      | 0,25  | 0,20  | 0,20  | 0,20       |
| MgO         | 6,50       | 8,80  | 10,80 | 5,30  | 4,90  | 3,90  | 2,82  | 6,80        | 5,70   | 3,52  | 13,50     | 7,80  | 9,10  | 7,42  | 6,50       |
| CaO         | 11,80      | 13,80 | 12,70 | 11,11 | 9,50  | 7,76  | 6,95  | 11,50       | 10,80  | 8,30  | 12,40     | 11,20 | 11,80 | 11,47 | 10,50      |
| Na2O        | 2,10       | 1,40  | 1,75  | 2,52  | 3,90  | 3,13  | 3,97  | 2,50        | 2,10   | 3,65  | 1,50      | 2,80  | 1,70  | 2,35  | 1,90       |
| K2O         | 1,80       | 0,80  | 1,00  | 0,75  | 1,00  | 1,63  | 2,83  | 0,50        | 0,70   | 1,36  | <0,25     | 0,50  | 0,30  | 0,74  | 0,50       |
| P2O5        | 0,15       | 0,14  | 0,15  | 0,18  | 0,18  | 0,16  | 0,26  | 0,25        | 0,20   | 0,22  | 0,10      | 0,20  | 0,20  | 0,16  | 0,25       |
| H2O+        | 1,95       | 0,44  | 0,76  | 1,19  | 0,64  | 1,18  | 0,31  | 0,23        | 0,50   | 0,35  | 0,17      | 0,35  | 0,10  | 0,51  | 0,70       |
| H2O-        | 0,90       | 0,82  | 0,19  | 0,52  | 0,56  | 0,29  | 0,53  | 0,78        | 0,21   | 0,13  | 0,13      | 0,40  | 0,21  | 0,15  | 0,54       |
| TOTAL       | 99,07      | 99,65 | 99,21 | 99,59 | 99,89 | 99,71 | 99,57 | 98,81       | 100,09 | 99,78 | 99,45     | 99,60 | 99,74 | 99,77 | 99,54      |
| Rb          |            |       |       |       |       | 24    | 30    | 10          | 5      | 20    | 10        | 15    | 10    | 7     | 50         |
| Sr          |            |       |       |       |       | 450   | 520   |             |        | 490   |           |       |       | 540   |            |
| Ba          |            |       |       |       |       | 400   | 500   |             |        | 320   |           |       |       | 140   |            |
| V           |            |       |       |       |       | 330   | 350   |             |        | 300   |           |       |       | 395   |            |
| Cr          |            | 250   | 1000  |       | 60    |       |       |             |        |       |           |       |       |       |            |
| Ni          |            | 90    | 120   |       | 40    |       |       | 20          | 25     |       | 100       | 20    | 55    |       | 5          |
| Co          |            | 100   | 100   |       | 100   |       |       | 15          | 25     |       | 50        | 25    | 25    |       | 10         |
| Type        | e          | d     | e+d   | b     | e     | e     | e     | b           | b      | e     | d'        | b     | d'    | d     | b          |

| ILE<br>Ech. | GFAU   |       |       |        |        |       |        |        | MERIG |        | MERE LAVA |        |        |        |       |
|-------------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-----------|--------|--------|--------|-------|
|             | GM17   | GM61  | GM60  | GM32   | GM33   | 607   | 615    | 609    | MERM1 | BC20   | MLM6      | MLM10A | 541    | 546    | 547   |
| SiO2        | 46,71  | 49,80 | 50,51 | 50,56  | 56,10  | 46,44 | 46,50  | 43,22  | 57,70 | 62,80  | 52,80     | 52,80  | 50,82  | 52,80  | 52,83 |
| TiO2        | 0,74   | 0,78  | 0,60  | 0,89   | 0,80   | 0,81  | 0,74   | 0,91   | 0,60  | 0,46   | 0,59      | 0,54   | 0,64   | 0,74   | 0,63  |
| Al2O3       | 11,13  | 16,00 | 15,00 | 16,59  | 10,83  | 11,69 | 11,36  | 14,74  | 16,80 | 17,70  | 17,60     | 17,70  | 13,67  | 19,05  | 15,70 |
| Fe2O3       | 5,46   | 5,00  | 4,75  | 5,43   | 4,41   | 6,86  | 5,52   | 5,65   | 3,15  | 4,84   | 1,75      | 1,25   | 2,73   | 3,47   | 4,35  |
| FeO         | 6,34   | 4,65  | 4,80  | 5,44   | 3,72   | 5,99  | 5,40   | 6,20   | 3,90  | 0,86   | 6,75      | 6,85   | 6,79   | 5,75   | 5,46  |
| MnO         | 0,19   | 0,20  | 0,30  | 0,21   | 0,24   | 0,30  | 0,26   | 0,29   | 0,21  | 0,15   | 0,19      | 0,17   | 0,21   | 0,22   | 0,10  |
| MgO         | 12,94  | 4,75  | 5,75  | 4,84   | 1,40   | 11,09 | 14,01  | 6,22   | 4,50  | 2,32   | 5,20      | 6,40   | 9,74   | 4,32   | 7,36  |
| CaO         | 13,51  | 9,40  | 10,50 | 9,90   | 3,90   | 13,01 | 11,70  | 11,59  | 7,95  | 6,83   | 11,60     | 11,70  | 12,90  | 11,20  | 11,23 |
| Na2O        | 1,63   | 2,90  | 2,75  | 3,51   | 5,40   | 2,22  | 2,84   | 2,94   | 2,95  | 3,89   | 2,20      | 2,15   | 1,89   | 2,51   | 2,07  |
| K2O         | 0,60   | 3,05  | 2,85  | 2,16   | 3,66   | 0,78  | 0,60   | 1,40   | 1,35  | 1,52   | 0,45      | 0,65   | 0,30   | 0,53   | 0,43  |
| P2O5        | 0,20   | 0,43  | 0,36  | 0,45   | 0,74   | 0,23  | 0,15   | 0,35   | 0,32  | 0,22   | 0,09      | 0,09   | 0,12   | 0,11   | 0,08  |
| H2O+        | 0,50   | 0,50  |       | 0,40   | 0,90   | 1,33  | 1,09   | 1,43   |       | 0,77   |           |        | 0,20   | 0,15   | 0,16  |
| H2O-        | 0,60   |       |       | 0,21   | 1,13   |       |        |        |       | 0,87   |           |        |        |        |       |
| TOTAL       | 100,65 | 97,54 | 98,43 | 100,75 | 100,75 | 99,86 | 100,35 | 100,10 | 99,73 | 100,83 | 98,57     | 99,11  | 100,09 | 100,86 | 99,60 |
| Rb          |        |       |       |        |        |       | 9      | 20     |       |        |           |        | 5      | 7      | 7     |
| Sr          |        |       |       |        |        | 607   | 502    | 990    |       |        |           |        | 240    | 333    | 255   |
| Ba          |        |       |       |        |        | 310   | 195    | 516    |       |        |           |        | 123    | 224    | 142   |
| V           |        |       |       |        |        | 407   | 320    | 301    |       |        |           |        |        |        |       |
| Cr          |        |       |       |        |        | 390   | 874    | 93     |       |        |           |        | 372    | 21     | 179   |
| Ni          |        |       |       |        |        | 120   | 265    | 19     |       |        |           |        | 75     | 16     | 47    |
| Co          |        |       |       |        |        |       |        |        |       |        |           |        |        |        |       |
| Type        | d      | e'    | e'    | e+c    | e      | d     | d      | e+c    | e/g'  | g'     | b         | b      | d      | b      | d     |

| Ile                                 | Vate   |        |        |        |        |        |        | Anatom |        |        | Tanna   |        | Futuna |        |        |        |
|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                     | Ech.   | Q3     | Q1     | Me6    | E9     | E6     | E1     | 80K11  | RYC54  | RYC2   | RYMAC10 | TAC358 | TAC37  | FMAC40 | FMAC50 | FMAC22 |
|                                     | Type   | d      | d      | d      | d      | d      | d/e    | i      | a      | c      | d       | b      | a+c    | c+d    | e      | e      |
| SiO2                                | 47,50  | 47,70  | 47,80  | 48,00  | 48,50  | 48,60  | 65,10  |        | 48,55  | 49,85  | 58,75   | 58,70  | 51,80  | 52,50  | 56,20  | 56,25  |
| TiO2                                | 0,82   | 1,00   | 0,89   | 0,80   | 0,96   | 1,25   | 0,68   |        | 0,74   | 0,94   | 0,78    | 0,62   | 0,89   | 1,00   | 0,82   | 0,83   |
| Al2O3                               | 15,99  | 16,55  | 18,46  | 15,54  | 15,27  | 17,87  | 14,75  |        | 18,89  | 19,70  | 16,68   | 15,22  | 15,39  | 13,78  | 16,39  | 16,32  |
| Fe2O3                               | 1,80   | 1,91   | 1,95   | 1,95   | 1,95   | 2,82   | 1,80   |        | 1,57   | 1,57   | 1,58    | 1,81   | 1,83   | 1,22   | 1,87   | 1,88   |
| FeO                                 | 9,20   | 9,75   | 7,91   | 9,97   | 18,32  | 9,18   | 2,65   |        | 0,80   | 0,82   | 7,67    | 9,24   | 9,33   | 6,23   | 5,48   | 5,51   |
| MnO                                 | 0,20   | 0,20   | 0,16   | 0,21   | 0,22   | 0,20   | 0,12   |        | 0,17   | 0,18   | 0,20    | 0,20   | 0,17   | 0,14   | 0,14   | 0,14   |
| MgO                                 | 6,99   | 6,12   | 4,41   | 6,85   | 5,78   | 4,38   | 0,71   |        | 5,93   | 4,22   | 6,27    | 6,66   | 4,45   | 9,23   | 4,96   | 5,82   |
| CaO                                 | 11,57  | 11,45  | 11,86  | 11,72  | 10,65  | 10,17  | 1,90   |        | 11,49  | 9,87   | 11,31   | 11,91  | 9,84   | 8,57   | 8,25   | 8,38   |
| Na2O                                | 2,15   | 2,33   | 2,45   | 2,19   | 2,40   | 2,57   | 4,44   |        | 2,86   | 2,52   | 2,12    | 1,91   | 2,65   | 2,56   | 2,53   | 2,54   |
| K2O                                 | 0,51   | 0,57   | 0,68   | 0,55   | 0,75   | 0,99   | 4,89   |        | 1,13   | 0,61   | 0,52    | 0,50   | 1,87   | 0,81   | 1,32   | 1,37   |
| P2O5                                | 0,45   | 0,45   | 0,50   | 0,25   | 0,50   | 0,50   | 0,20   |        | 0,15   | 0,15   | 0,18    | 0,15   | 0,28   | 0,15   | 0,15   | 0,20   |
| H2O+                                | 0,75   | 0,80   | 1,39   | 0,80   | 0,60   | 0,52   | 2,94   |        | 0,34   | 0,39   | 0,54    | 0,80   | 0,79   | 0,98   | 0,89   | 0,75   |
| H2O-                                | 0,99   | 0,20   | 1,85   | 0,20   | 0,39   | 0,51   | 0,16   |        | 0,64   | 0,85   | 0,86    | 0,27   | 1,25   | 1,38   | 0,29   | 0,17   |
| TOTAL                               | 98,91  | 98,24  | 98,29  | 98,51  | 98,22  | 97,42  | 98,88  |        | 99,85  | 98,86  | 99,22   | 99,19  | 98,75  | 98,56  | 98,59  | 98,48  |
| Elements en traces (ppm)            |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |        |        |        |        |
| Rb                                  | 3      | 6      | 5      | 5      | 8      | 11     | 103    |        | 7      | 5      | 4       | 5      | 13     | 12     | 18     | 18     |
| Sr                                  | 294    | 967    | 1067   | 631    | 691    | 910    | 358    |        | 413    | 363    | 336     | 318    | 414    | 375    | 540    | 551    |
| Ba                                  | 284    | 284    | 485    | 215    | 260    | 240    | 1120   |        | 128    | 99     | 124     | 112    | 136    | 111    | 222    | 221    |
| U                                   | 360    | 456    | 385    | 362    | 376    | 384    | 41     |        | 327    | 290    | 270     | 269    | 365    | 199    | 248    | 236    |
| Cr                                  | 139    | 94     | 5      | 69     | 19     | 7      | 0      |        | 85     | 15     | 220     | 85     | 23     | 560    | 89     | 82     |
| Ni                                  | 78     | 38     | 7      | 50     | 12     | 0      | 0      |        | 53     | 12     | 40      | 27     | 16     | 209    | 39     | 38     |
| Co                                  | 44     | 57     | 24     | 41     | 58     | 29     | 3      |        | 32     | 24     | 27      | 41     | 35     | 37     | 20     | 19     |
| NORME C.I.P...., Fe2O3 = 0,15 Fe2O5 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |         |        |        |        |        |        |
| QZ                                  |        |        |        |        |        | 2,24   | 15,56  |        |        | 1,91   | 2,34    | 1,67   | 4,82   | 2,64   | 10,53  | 10,41  |
| QRT                                 | 3,10   | 3,43   | 4,19   | 3,31   | 4,44   | 8,55   | 30,15  |        | 7,35   | 3,69   | 3,14    | 2,99   | 6,33   | 4,97   | 8,00   | 8,29   |
| AB                                  | 10,69  | 20,88  | 21,59  | 10,87  | 20,88  | 22,53  | 39,19  |        | 17,76  | 21,82  | 10,53   | 16,32  | 23,16  | 22,50  | 21,96  | 22,81  |
| AN                                  | 33,39  | 33,63  | 38,94  | 31,53  | 39,56  | 38,31  | 6,14   |        | 37,21  | 41,61  | 33,88   | 31,81  | 27,99  | 24,65  | 38,24  | 29,88  |
| QAD                                 | 9,56   | 8,99   | 6,33   | 10,94  | 9,59   | 4,56   | 0,81   |        | 0,89   | 3,18   | 9,87    | 11,27  | 7,32   | 7,77   | 4,74   | 4,66   |
| QEN                                 | 5,86   | 4,44   | 2,98   | 5,57   | 4,48   | 1,99   | 0,27   |        | 4,25   | 1,46   | 4,96    | 5,88   | 3,17   | 5,17   | 2,74   | 2,70   |
| QFS                                 | 4,20   | 4,38   | 3,27   | 5,10   | 5,81   | 2,56   | 0,57   |        | 3,68   | 1,69   | 3,79    | 5,18   | 4,14   | 2,83   | 1,79   | 1,73   |
| EN                                  | 7,80   | 5,62   | 7,73   | 5,64   | 7,70   | 9,31   | 1,57   |        | 5,64   | 9,30   | 10,99   | 18,96  | 8,28   | 18,71  | 9,94   | 10,11  |
| FS                                  | 5,81   | 5,35   | 0,49   | 5,17   | 0,61   | 11,99  | 3,26   |        | 4,77   | 10,32  | 8,59    | 9,79   | 10,81  | 7,37   | 6,50   | 6,56   |
| FD                                  | 4,88   | 3,84   | 0,52   | 4,32   | 1,84   |        |        |        | 3,61   |        |         |        |        |        |        |        |
| FR                                  | 3,75   | 4,18   | 0,63   | 4,36   | 2,27   |        |        |        | 3,57   |        |         |        |        |        |        |        |
| MT                                  | 2,69   | 2,83   | 2,34   | 2,89   | 3,82   | 2,78   | 0,79   |        | 2,32   | 2,34   | 2,23    | 2,63   | 2,74   | 1,84   | 1,68   | 1,68   |
| IL                                  | 1,60   | 1,94   | 1,76   | 1,70   | 1,88   | 2,83   | 1,19   |        | 1,43   | 1,51   | 1,51    | 1,19   | 1,73   | 1,97   | 1,68   | 1,62   |
| AP                                  | 1,10   | 1,89   | 1,24   | 0,60   | 0,75   | 1,25   | 0,49   |        | 0,68   | 0,36   | 0,24    | 0,36   | 0,49   | 0,37   | 0,37   | 0,49   |
| XQZ                                 |        |        |        |        |        | 8,84   | 10,33  |        |        | 6,95   | 9,83    | 7,96   | 11,93  | 8,77   | 26,88  | 25,56  |
| XQRT                                | 14,21  | 14,60  | 16,24  | 14,95  | 17,52  | 2,18   | 35,51  |        | 29,26  | 13,46  | 13,19   | 14,25  | 19,38  | 16,51  | 19,76  | 20,37  |
| XAB                                 | 6,79   | 65,48  | 83,76  | 65,87  | 82,48  | 80,98  | 46,16  |        | 78,74  | 79,59  | 76,98   | 77,81  | 68,70  | 74,72  | 54,23  | 54,87  |
| XALC                                | 12,99  | 14,15  | 18,58  | 12,85  | 14,87  | 14,91  | 70,93  |        | 17,61  | 18,64  | 14,73   | 12,89  | 19,43  | 16,98  | 25,24  | 25,37  |
| XFE0                                | 52,87  | 55,99  | 55,24  | 55,81  | 57,67  | 68,54  | 25,67  |        | 58,35  | 56,23  | 58,38   | 54,52  | 57,34  | 36,79  | 42,24  | 42,85  |
| XMG0                                | 34,14  | 29,86  | 32,15  | 32,46  | 24,55  | 5,40   |        |        | 31,84  | 25,13  | 34,97   | 35,48  | 25,24  | 46,38  | 32,52  | 32,58  |
| OT                                  | 21,79  | 23,52  | 25,78  | 25,18  | 25,32  | 25,32  | 84,91  |        | 25,10  | 27,42  | 23,81   | 28,98  | 35,71  | 38,11  | 48,49  | 48,71  |
| SI                                  | 35,81  | 29,57  | 25,93  | 31,82  | 27,17  | 24,28  | 5,35   |        | 31,55  | 24,87  | 34,59   | 33,87  | 35,83  | 45,98  | 32,22  | 32,28  |
| Mg                                  | 57,48  | 52,79  | 49,88  | 55,85  | 49,97  | 45,95  | 32,28  |        | 56,92  | 48,39  | 59,29   | 56,22  | 45,94  | 72,53  | 61,77  | 61,89  |
| Rb/Sr                               | 0,8834 | 0,8862 | 0,8847 | 0,8879 | 0,8116 | 0,8136 | 0,2893 |        | 0,8169 | 0,8138 | 0,8119  | 0,8157 | 0,8314 | 0,8328 | 0,8328 | 0,8327 |
| K/Rb                                | 1417   | 792    | 1133   | 917    | 760    | 758    | 396    |        | 1432   | 1817   | 1883    | 833    | 686    | 563    | 611    | 634    |
| Ba/Sr                               | 0,284  | 0,263  | 0,455  | 0,341  | 0,376  | 0,296  | 3,146  |        | 0,310  | 0,273  | 0,369   | 0,352  | 0,329  | 0,296  | 0,485  | 0,491  |
| Ba/Rb                               | 84,67  | 42,33  | 97,88  | 43,88  | 32,58  | 21,82  | 10,87  |        | 18,29  | 19,88  | 31,88   | 22,48  | 18,46  | 9,25   | 12,33  | 12,28  |

Tableau IV-3 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles du Sud de la chaîne centrale ; analyses par absorption atomique (J.Cotten, UBO, Brest).  
*Chemical compositions (whole rock) of lavas from southern central chain islands.*

| Ech.  | An. DUPUY et al. 1982 |       |       | An. ASH et al. 1978 |       |       | An. COULD. |       |
|-------|-----------------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|------------|-------|
|       | V36                   | V28   | V68   | Ngr7                | Ngr23 | ER208 | VR48       | V12   |
| Type  | d                     | a     | c+a   | b                   | a     | i     | i          | i     |
| SiO2  | 46,32                 | 47,28 | 47,78 | 45,78               | 48,34 | 61,78 | 63,43      | 62,84 |
| TiO2  | 0,78                  | 1,11  | 0,97  | 0,72                | 1,03  | 0,73  | 0,5        | 0,33  |
| Al2O3 | 18,38                 | 17,55 | 18,94 | 18,75               | 17,96 | 18,82 | 15,62      | 14,86 |
| Fe2O3 | 4,61                  | 3,97  | 4,49  | 4,63                | 4,4   | 3,48  | 1,72       | 1,49  |
| FeO   | 3,58                  | 6,48  | 6,36  | 6,18                | 7,9   | 0,58  | 2,88       | 1,81  |
| MnO   | 0,17                  | 0,22  | 0,28  | 0,17                | 0,24  | 0,89  | 0,11       | 0,1   |
| MgO   | 7,45                  | 5,26  | 4,68  | 7,46                | 3,33  | 0,77  | 1,88       | 0,88  |
| CaO   | 12,59                 | 11,18 | 11,88 | 12,97               | 18,31 | 1,61  | 2,96       | 1,77  |
| Na2O  | 2,24                  | 2,84  | 2,71  | 1,95                | 3,82  | 5,65  | 3,35       | 2,33  |
| K2O   | 0,33                  | 0,63  | 1,14  | 0,4                 | 0,39  | 5,92  | 4,7        | 7,1   |
| P2O5  | 0,26                  | 0,39  | 0,45  | 0,1                 | 0,36  | 0,15  | 0,16       | 0,13  |
| H2O+  | 0,86                  | 0,16  | 0,89  | 0,39                | 0,23  | 0,56  | 3,62       | 1,56  |
| H2O-  | 0,36                  | 0,68  | 0,33  | 0,61                | 0,41  | 0,63  | 0,4        | 4,6   |
| TOTAL | 99,37                 | 99,59 | 99,14 | 108,18              | 99,64 | 99,98 | 99,73      | 99,22 |
| Rb    | 6,6                   | 6,5   | 22    |                     |       |       |            |       |
| Sr    | 987                   | 972   | 989   |                     |       |       |            |       |
| Ba    |                       |       | 235   |                     |       |       |            |       |
| U     | 347                   | 474   | 388   |                     |       |       |            |       |
| Cr    | 284                   | 31    | 18    |                     |       |       |            |       |
| Ni    | 88                    | 17    | 21    |                     |       |       |            |       |
| Co    | 43                    | 43    | 38    |                     |       |       |            |       |

| Ech.  | Laves Pliocenes |       |       | Mont Ranif Formation de Plateau |       |        |       |       | Mont Willias |       |        | Robertson's Thumb |       |        |        |        |        |
|-------|-----------------|-------|-------|---------------------------------|-------|--------|-------|-------|--------------|-------|--------|-------------------|-------|--------|--------|--------|--------|
|       | E15             | E11   | E16   | E48                             | E77   | E46    | E7    | E19   | E32          | E27   | E12    | E1                | E75   | E78    | E38    | E42    | E14    |
| Type  | d               | b     | b     | a                               | b     | a      | b     | a     | a            | a     | a      | a                 | b     | a      | b      | b      | d      |
| SiO2  | 46,83           | 46,97 | 48,72 | 53,96                           | 54,35 | 49,46  | 49,53 | 49,35 | 58,34        | 58,62 | 51,85  | 56,83             | 47,94 | 58,27  | 48,22  | 49,47  | 48,41  |
| TiO2  | 0,64            | 0,73  | 0,67  | 0,56                            | 0,59  | 0,61   | 0,69  | 0,61  | 0,73         | 0,75  | 0,75   | 0,75              | 0,89  | 0,64   | 0,81   | 0,67   | 0,65   |
| Al2O3 | 15,66           | 17,17 | 18,78 | 19,68                           | 19,88 | 17,48  | 19,24 | 13,68 | 18,83        | 16,93 | 19,36  | 16,58             | 17,33 | 17,96  | 28,38  | 18,75  | 13,57  |
| Fe2O3 | 3,64            | 3,34  | 3,95  | 3,52                            | 3,48  | 3,48   | 3,38  | 3,36  | 6,17         | 4,92  | 4,92   | 3,58              | 5,17  | 3,48   | 4,73   | 4,28   | 3,38   |
| FeO   | 3,83            | 8,82  | 4,66  | 4,42                            | 4,14  | 7,84   | 3,33  | 18,28 | 6,95         | 4,91  | 4,16   | 4,92              | 7,58  | 6,81   | 6,35   | 6,72   | 7,65   |
| MnO   | 0,24            | 0,22  | 0,19  | 0,17                            | 0,17  | 0,19   | 0,88  | 0,87  | 0,86         | 0,88  | 0,84   | 0,85              | 0,87  | 0,84   | 0,19   | 0,23   | 0,28   |
| MgO   | 7,48            | 6,84  | 4,95  | 2,87                            | 2,75  | 6,92   | 4,75  | 8,14  | 3,88         | 3,99  | 1,95   | 3,62              | 5,38  | 4,48   | 4,88   | 5,88   | 7,65   |
| CaO   | 12,85           | 11,24 | 18,95 | 0,27                            | 0,37  | 12,13  | 18,61 | 11,51 | 9,92         | 9,85  | 11,11  | 8,39              | 18,99 | 9,99   | 11,14  | 11,18  | 12,98  |
| Na2O  | 1,88            | 1,85  | 2,24  | 3,82                            | 2,96  | 2,82   | 2,32  | 2,63  | 2,58         | 3,82  | 2,81   | 3,18              | 2,19  | 3,85   | 2,16   | 2,18   | 1,77   |
| K2O   | 0,83            | 0,41  | 0,85  | 1,29                            | 1,88  | 0,62   | 0,87  | 1,39  | 1,88         | 1,25  | 1,42   | 1,26              | 0,78  | 1,34   | 0,68   | 0,79   | 0,88   |
| P2O5  | 0,17            | 0,15  | 0,17  | 0,24                            | 0,22  | 0,14   | 0,29  | 0,37  | 0,28         | 0,37  | 0,35   | 1,82              | 0,28  | 0,25   | 0,15   | 0,17   | 0,16   |
| H2O+  | 0,84            | 0,42  | 0,37  | 0,58                            | 0,37  | 0,83   | 1,85  | 1,35  | 0,99         | 1,22  | 1,13   | 0,97              | 0,72  | 1,76   | 0,58   | 0,38   | 0,65   |
| H2O-  | 1,21            | 1,37  | 1,81  | 1,33                            | 0,88  | 0,39   | 0,54  | 0,33  | 0,48         | 0,64  | 0,68   | 0,49              | 0,27  | 0,93   | 0,81   | 0,74   | 0,93   |
| TOTAL | 188,34          | 98,73 | 99,42 | 99,75                           | 99,28 | 188,43 | 99,29 | 99,83 | 188,34       | 99,79 | 188,45 | 188,84            | 99,63 | 188,12 | 188,92 | 188,44 | 188,38 |
| Rb    | 18              | 7     | 18    | 28                              | 14    | 7      | 9     | 17    | 11           | 9     | 17     | 18                | 5     | 9      | 8      | 18     | 12,2   |
| Sr    | 399             | 441   | 588   | 445                             | 688   | 381    | 451   | 664   | 383          | 782   | 588    | 478               | 438   | 657    | 388    | 451    | 488    |
| Ba    |                 | 133   | 153   | 213                             | 299   | 151    |       |       |              |       |        |                   |       |        |        |        | 123    |
| Sc    |                 | 39    | 32    | 17                              |       | 48     |       |       |              |       |        |                   |       |        |        |        |        |
| U     | 338             | 379   | 331   | 155                             | 152   | 314    | 296   | 345   | 326          | 419   | 335    | 266               | 383   | 298    | 343    | 343    | 312    |
| Cr    | 223             | 67    | 56    | 18                              | 18    | 67     | 35    | 218   | 19           | 7     | 16     | 47                | 14    | 25     | 27     | 32     | 219    |
| Co    | 48              | 42    | 37    | 19                              | 22    | 48     | 29    | 38    | 32           | 35    | 23     | 24                | 38    | 31     | 34     | 34     | 42     |
| Ni    | 55              | 34    | 28    | 8                               | 7     | 38     | 18    | 48    | 24           | 13    | 11     | 19                | 22    | 18     | 19     | 21     | 56     |
| Cu    | 141             | 123   | 58    | 78                              | 78    | 128    |       |       |              |       |        |                   |       |        | 43     | 84     | 139    |

Tableau IV-4 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles du Sud de la chaîne centrale reprises dans Carney et Macfarlane (1979) et Dupuy *et al.*(1982).  
*Chemical compositions (whole rock) of lavas from southern central chain islands.*

| Ech.                     | An. DUPUY et al. 1982 |        |       | An. CARNEY MAC FAUPLANE 1979<br>GREEN HILL TUKOSHERU |       |        | SIMI Group |       |        | 5      |        |
|--------------------------|-----------------------|--------|-------|--|-------|--------|------------|-------|--------|--------|--------|
|                          | T153                  | TA93   | TA72  | TAC75  | TAC67 | TAC111 | TAC108     | TAC82 | TAC156 |        |        |
| Type                     | b'                    | d      | b     | b  | e     | e      | b'         | e     | a      | i      | i      |
| SiO2                     | 45,18                 | 47,78  | 47,33 | 48,87  | 55,99 | 46,82  | 48,88      | 51,53 | 55,41  | 61,88  | 68,38  |
| TiO2                     | 8,91                  | 8,72   | 8,82  | 8,79   | 8,76  | 8,85   | 8,75       | 8,69  | 8,74   | 1,88   | 8,68   |
| Al2O3                    | 19,14                 | 16,14  | 18,68 | 19,97  | 16,13 | 16,22  | 18,24      | 18,58 | 17,75  | 19,88  | 15,18  |
| Fe2O3                    | 3,86                  | 3,41   | 4,38  | 4,18   | 2,92  | 3,55   | 2,44       | 3,56  | 2,44   | 1,38   | 1,28   |
| Fe8                      | 8,39                  | 8,28   | 6,78  | 6,45   | 5,75  | 8,25   | 8,18       | 5,55  | 5,68   | 1,88   | 2,48   |
| MnO                      | 8,22                  | 8,22   | 8,22  | 8,21   | 8,17  | 8,28   | 8,19       | 8,16  | 8,15   | 8,18   | 8,18   |
| MgO                      | 6,55                  | 7,88   | 6,82  | 4,34   | 3,32  | 7,16   | 6,76       | 3,32  | 2,86   | 8,58   | 8,88   |
| CaO                      | 11,58                 | 12,51  | 11,76 | 10,47  | 6,98  | 11,87  | 12,58      | 9,75  | 7,66   | 2,18   | 2,88   |
| Na2O                     | 1,78                  | 1,84   | 2,35  | 2,68   | 3,74  | 1,57   | 1,73       | 3,25  | 3,78   | 6,28   | 3,58   |
| K2O                      | 0,14                  | 0,59   | 8,68  | 0,92   | 2,29  | 1,26   | 0,34       | 1,26  | 2,53   | 5,28   | 5,48   |
| P2O5                     | 8,11                  | 8,16   | 8,18  | 8,19   | 8,35  | 8,28   | 8,89       | 8,28  | 8,38   | 8,18   | 8,18   |
| H2O+                     | 8,69                  | 8,26   | 8,28  | 8,73   | 8,49  | 1,55   | 8,58       | 8,36  | 8,54   | 8,58   | 8,88   |
| H2O-                     | 8,99                  | 8,54   | 8,54  | 8,13   | 8,87  | 8,31   | 8,86       | 8,78  | 8,85   | 8,58   | 8,18   |
| TOTAL                    | 99,38                 | 188,27 | 99,78 | 99,82  | 98,93 | 99,19  | 99,75      | 98,64 | 99,65  | 188,88 | 188,48 |
| Elements en traces (ppm) |                       |        |       |  |       |        |            |       |        |        |        |
| Rb                       | 2,1                   | 8,3    | 6,4   |  | 54    | 22     | 5          | 12    | 36     |        |        |
| Sr                       | 365                   | 458    | 955   |  | 628   | 568    | 318        | 748   | 668    |        |        |
| Ba                       | 96                    | 181    | 159   |  | 648   | 178    | 128        | 598   | 628    |        |        |
| U                        | 422                   | 349    | 312   |  | 288   | 488    | 428        | 488   | 318    |        |        |
| Cr                       | 21                    | 81     | 28    |  |       |        |            |       |        |        |        |
| Ni                       | 14                    | 29     | 29    |  |       |        |            |       |        |        |        |
| Co                       | 44                    | 43     | 34    |  |       |        |            |       |        |        |        |

| Formation | Inrevou Atamwan |        |        |        |        |       |       | Nanawarez |         |         |       |       |       |       |       |
|-----------|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-----------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
|           | FMAC18          | FMAC23 | FMAC64 | FMAC55 | FMA2   | FMA1  | FM65  | AYMAC38   | AYMAC28 | AYMAC22 | AYC22 | AYC63 | AYC31 | AY42  | AY49  |
| Type      | c+d             | c+d    | e      | e      | e+c    | e+c   | e+c   | d         | b       | e/g'    | b     | c'    | g'    | d     | b     |
| SiO2      | 58,13           | 52,66  | 52,41  | 54,44  | 51,38  | 53,14 | 53,72 | 47,92     | 48,34   | 58,23   | 46,57 | 48,16 | 58,61 | 48,84 | 58,88 |
| TiO2      | 8,96            | 8,92   | 8,82   | 8,82   | 1,86   | 1,82  | 8,95  | 8,74      | 8,85    | 8,41    | 8,77  | 8,54  | 8,33  | 8,85  | 8,83  |
| Al2O3     | 14,81           | 14,38  | 16,48  | 17,66  | 17,54  | 17,9  | 17,59 | 14,22     | 28,63   | 17,98   | 16,25 | 15,23 | 17,13 | 15,54 | 17,32 |
| Fe2O3     | 1,62            | 2,15   | 3,82   | 3,83   | 3,63   | 4,57  | 3,94  | 3,68      | 5,11    | 3,63    | 4,28  | 3,33  | 2,79  | 4,82  | 5,84  |
| Fe8       | 6,25            | 5,35   | 5,25   | 4,45   | 4,88   | 3,74  | 3,96  | 6,85      | 4,95    | 2,65    | 5,85  | 5,58  | 2,75  | 5,98  | 5,34  |
| MnO       | 8,14            | 8,14   | 8,16   | 8,16   | 8,16   | 8,17  | 8,16  | 8,19      | 8,19    | 8,17    | 8,21  | 8,17  | 8,15  | 8,28  | 8,19  |
| MgO       | 18,88           | 9,89   | 5,16   | 4,81   | 4,84   | 4,49  | 4,34  | 8,82      | 5,58    | 2,25    | 6,63  | 9,65  | 1,85  | 7,16  | 4,57  |
| CaO       | 18,48           | 9,85   | 18,53  | 8,72   | 18,22  | 9     | 8,76  | 13,82     | 11,36   | 7,78    | 13,45 | 13,88 | 7,17  | 11,98 | 18,32 |
| Na2O      | 2,29            | 3,38   | 2,52   | 2,68   | 2,6    | 2,78  | 2,98  | 1,85      | 2,52    | 2,93    | 1,76  | 1,66  | 2,26  | 2,38  | 2,78  |
| K2O       | 8,71            | 8,84   | 1,48   | 1,59   | 1,48   | 1,66  | 1,43  | 8,86      | 8,61    | 1,27    | 8,42  | 8,27  | 8,99  | 8,67  | 8,76  |
| P2O5      | 8,19            | 8,18   | 8,23   | 8,29   | 8,31   | 8,32  | 8,3   | 8,28      | 8,14    | 8,17    | 8,13  | 8,88  | 8,13  | 8,17  | 8,28  |
| H2O+      | 1,81            | 1,54   | 8,36   | 1,29   | 8,1    | 8,12  | 8,16  | 8,64      | 8,39    | 8,79    | 1,86  | 8,75  | 2,19  | 8,36  | 8,64  |
| H2O-      | 8,23            | 8,65   | 8,62   | 8,11   | 1,84   | 8,67  | 8,89  | 8,92      | 8,68    | 8,12    | 8,18  | 8,15  | 8,32  | 8,78  | 1,38  |
| Total     | 98,88           | 99,35  | 99,59  | 99,17  | 188,84 | 99,58 | 99,18 | 99,16     | 99,24   | 99,32   | 98,23 | 98,54 | 99,52 | 99,47 | 99,21 |
| Rb        | 13              | 17     | 28     | 22     | 18,3   | 28,8  | 17,8  | 13        | 9       | 22      | 5     | <2    | 14    | 4,7   | 3,2   |
| Sr        | 448             | 458    | 688    | 788    | 899    | 923   | 833   | 568       | 528     | 628     | 358   | 288   | 388   | 458   | 544   |
| Ba        | 188             | 138    | 128    | 288    | 211    | 255   | 248   | 98        | 128     | 248     | 98    | 98    | 278   | 128   | 149   |
| U         | 228             | 288    | 398    | 388    | 385    | 276   | 258   | 388       | 448     | 188     | 448   | 388   | 148   | 324   | 328   |
| Cr        |                 |        |        |        | 31     | 27    | 23    |           |         |         |       |       |       | 144   | 39    |
| Ni        |                 |        |        |        | 21     | 18    | 17    |           |         |         |       |       |       | 39    | 31    |
| Co        |                 |        |        |        | 26     | 25    | 25    |           |         |         |       |       |       | 47    | 33    |

Tableau IV-4 suite

| Ech.  | Pentecote |        |       |       |       |       |       |       | ROSA   |       |        |       |       |        | AMERYM |        |       |
|-------|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|
|       | 629       | 648    | 619   | 593   | 612   | 718   | 613   | 719   | 492    | 552   | 538    | 576*  | 583*  | 548*   | 1567   | 1568   | 1569  |
| Type  | e         | (c+d)' | h     | h     | c     | etc   | d     | etc   | d      | c+d   | etc    | e+d   | e+d   | etc    | e+d    | e+d    | c     |
| SiO2  | 53,14     | 51,69  | 59,42 | 61,83 | 51,45 | 54,88 | 55,11 | 57,29 | 46,38  | 47,77 | 49,98  | 48,93 | 49,4  | 49,96  | 48,92  | 52,57  | 52,43 |
| TiO2  | 8,87      | 3,95   | 0,78  | 0,72  | 1,83  | 0,99  | 0,73  | 0,89  | 0,47   | 1,27  | 0,98   | 0,74  | 0,7   | 1,89   | 0,63   | 0,99   | 1,87  |
| Al2O3 | 16,98     | 16,11  | 14,82 | 14,73 | 28,89 | 16,75 | 16,43 | 16,98 | 8,84   | 14,72 | 16,68  | 13,49 | 13,29 | 16,79  | 13,4   | 16,7   | 16,74 |
| Fe2O3 | 1,76      | 1,46   | 1,32  | 1,18  | 1,19  | 1,59  | 1,14  | 1,56  | 1,75   | 1,79  | 1,78   | 1,69  | 1,72  | 1,71   | 1,71   | 1,65   | 1,98  |
| FeO   | 8,78      | 7,28   | 6,58  | 5,49  | 5,94  | 7,97  | 5,71  | 7,82  | 8,76   | 8,95  | 8,98   | 8,47  | 8,6   | 8,53   | 8,51   | 8,25   | 9,91  |
| MnO   | 0,19      | 0,16   | 0,14  | 0,89  | 0,14  | 0,16  | 0,14  | 0,16  | 0,21   | 0,21  | 0,28   | 0,21  | 0,2   | 0,2    | 0,2    | 0,19   | 0,23  |
| MgO   | 4,41      | 8,18   | 4,87  | 2,88  | 3,88  | 4,88  | 6,66  | 3,44  | 22,61  | 8,52  | 5,62   | 11,88 | 18,44 | 6,36   | 11,5   | 4,65   | 4,13  |
| Na2O  | 9,42      | 12,13  | 7,84  | 6,76  | 11,48 | 8,46  | 9,86  | 7,54  | 8,53   | 12,35 | 18,87  | 11,64 | 12,22 | 11,86  | 11,96  | 8,83   | 9,13  |
| CaO   | 3,22      | 1,69   | 3,12  | 3,27  | 3,84  | 3,62  | 2,91  | 2,93  | 1,43   | 2,44  | 3,88   | 2,34  | 2,16  | 2,84   | 1,99   | 3,27   | 3,24  |
| K2O   | 1,38      | 0,34   | 2,49  | 2,89  | 0,62  | 1,37  | 1,83  | 1,23  | 0,81   | 1,41  | 1,83   | 1,18  | 1,86  | 1,19   | 1,83   | 2,55   | 0,97  |
| P2O5  | 0,24      | 0,89   | 0,29  | 0,31  | 0,43  | 0,21  | 0,28  | 0,15  | 0,21   | 0,36  | 0,33   | 0,18  | 0,2   | 0,29   | 0,17   | 0,35   | 0,17  |
| PF    | 3,11      | 4,85   | 2,59  | 1,16  | 2,22  | 3,55  | 2,28  | 2,71  | 0,47   | 0,42  | 0,45   | 0,58  | 0,62  | 0,58   | 0,43   | 0,49   | 0,93  |
| TOTAL | 99,88     | 182,36 | 99,46 | 97,88 | 95,19 | 99,93 | 99,37 | 99,77 | 188,39 |       | 188,22 |       | 99,77 | 188,51 | 99,69  | 188,29 | 99,43 |
| Rb    | 18        | 4      | 48    | 71    | 8     | 22    | 14    | 22    | 14     | 25    | 28     | 18,7  | 17,2  | 16,7   | 18,2   | 58,1   | 15,8  |
| Sr    | 511       | 248    | 353   | 347   | 412   | 485   | 339   | 368   | 422    | 637   | 935    | 677   | 681   | 628    | 488    | 698    | 416   |
| Ba    | 165       |        | 388   | 395   | 175   | 148   | 168   | 98    | 238    | 428   | 518    | 368   | 318   | 428    | 248    | 488    | 318   |
| Sc    | 23        |        | 25    | 27    | 25    | 28    | 38    | 21    | 29     | 42    | 27     | 36    | 39    | 35     |        |        |       |
| V     | 388       |        | 195   | 258   | 238   | 298   | 295   | 295   | 238    | 468   | 458    | 388   | 358   | 468    |        |        |       |
| Cr    | 23        |        | 188   | 188   | 46    | 13    | 235   | 3     | 1658   | 248   | 29     | 598   | 498   | 91     |        |        |       |
| Co    | 29        |        | 24    | 19    | 17    | 25    | 25    | 23    | 88     | 47    | 32     |       |       |        |        |        |       |
| Ni    | 24        |        | 28    | 16    | 18    | 16    | 84    | 6     | 488    | 77    | 35     | 165   | 158   | 32     |        |        |       |
| Cu    | 227       |        | 78    | 365   | 1658  | 258   | 278   | 178   |        |       |        |       |       |        |        |        |       |

| Ech.                     | EPI EST |        |        |        | EPI OUEST |       |       |        | EPI RIRINA Ri 13 | ENRE En 4 | TONSOM |       |     |     |
|--------------------------|---------|--------|--------|--------|-----------|-------|-------|--------|------------------|-----------|--------|-------|-----|-----|
|                          | Epi 26  | Epi 18 | 678    | Epi 24 | Epi 23    | 666   | 677   | Ri 13  |                  |           | En 4   | 697   | 698 | 715 |
| Type                     | b       | d      | d'     | d'     | e         | e     | h     | e      | d                | e+d       | d      | h     |     |     |
| SiO2                     | 47,7    | 48,39  | 47,79  | 48,17  | 58,87     | 55,25 | 68,74 | 58,21  | 46,61            | 49,42     | 51,14  | 63,64 |     |     |
| Al2O3                    | 16,98   | 12,99  | 16,49  | 16,4   | 17,18     | 15,94 | 15,24 | 16,13  | 14,61            | 13,14     | 14,83  | 15,77 |     |     |
| Fe2O3                    | 11,74   | 18,71  | 1,76   | 18,88  | 11,58     | 1,43  | 1,27  | 12,86  | 11,94            | 1,83      | 1,7    | 1,86  |     |     |
| FeO                      |         |        | 8,8    |        |           | 7,15  | 6,37  |        |                  | 9,16      | 8,51   | 5,29  |     |     |
| MnO                      | 8,2     | 8,18   | 8,2    | 8,19   | 8,19      | 8,16  | 8,13  | 8,2    | 8,2              | 8,2       | 8,2    | 8,16  |     |     |
| MgO                      | 7,46    | 12,35  | 8,94   | 8,59   | 5,73      | 5,49  | 2,92  | 5,85   | 8,47             | 9,57      | 8,54   | 1,79  |     |     |
| CaO                      | 13,83   | 11,63  | 13,24  | 13,43  | 18,75     | 9,18  | 4,94  | 11,88  | 13,87            | 12,77     | 12,86  | 4,97  |     |     |
| Na2O                     | 1,98    | 2,89   | 1,78   | 1,86   | 2,55      | 2,49  | 3,59  | 2,47   | 2,32             | 1,76      | 2,85   | 4     |     |     |
| K2O                      | 0,5     | 0,82   | 0,38   | 0,5    | 1,58      | 2     | 3,48  | 1,83   | 0,86             | 1,45      | 0,87   | 2,45  |     |     |
| TiO2                     | 8,57    | 8,59   | 8,54   | 8,52   | 8,76      | 8,67  | 8,86  | 8,83   | 8,7              | 8,6       | 8,71   | 8,62  |     |     |
| P2O5                     | 0,14    | 0,19   | 0,89   | 0,12   | 0,35      | 0,25  | 0,46  | 0,25   | 0,17             | 0,5       | 0,2    | 0,24  |     |     |
| H2O+                     | 0,17    | 0,89   | 0,59   | 0,87   | 0,87      | 1,52  | 1,28  | 0,88   | 0,16             | 0,64      | 0,57   | 0,56  |     |     |
| H2O-                     | 0,21    | 0,5    |        | 0,36   | 0,38      |       |       | 0,21   | 0,86             |           |        |       |     |     |
| TOTAL                    | 188,68  | 188,35 | 188,16 | 188,89 | 188,77    | 99,93 | 99,88 | 188,38 | 188              | 188,85    | 188,52 | 99,52 |     |     |
| Elements en traces (ppm) |         |        |        |        |           |       |       |        |                  |           |        |       |     |     |
| Rb                       | 5,1     | 12,5   | 6,2    | 2,5    | 46,7      | 44,7  | 81,5  | 16,2   | 18,7             | 35,5      | 13,8   | 47,7  |     |     |
| Sr                       | 445     | 538    | 378    | 374    | 587       | 496   | 441   | 568    | 623              | 539       | 488    | 568   |     |     |
| Ba                       | 138     | 195    | 128    | 122    | 266       | 688   | 1358  | 188    | 289              | 168       | 148    | 338   |     |     |
| Sc                       |         |        |        |        |           |       | 15    |        |                  | 31        | 28     | 15    |     |     |
| V                        | 335     | 278    | 338    | 279    | 323       |       | 158   | 325    | 389              | 258       | 248    | 118   |     |     |
| Cr                       | 86      | 678    | 978    | 198    | 87        |       | 31    | 46     | 227              | 268       | 288    | 4     |     |     |
| Co                       | 38      | 55     |        | 28     | 48        |       |       | 42     | 58               |           |        |       |     |     |
| Ni                       | 38      | 288    | 218    | 58     | 58        |       | 9     | 35     | 75               | 46        | 58     | 8,5   |     |     |

Tableau IV-5 : Analyses chimiques (roche totale) des laves des îles centrales reprises dans Dupuy *et al.*(1982) et Gorton (1977).  
*Chemical compositions (whole rock) of lavas from central islands.*

| ILE   | ERROMANGO |        |        |        |        |        |        |        |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | VATE      | V28    | V68    | E11    | E16    | E48    | E46    | E14    |
| Ech.  | V36       | 47,28  | 47,78  | 46,97  | 48,72  | 53,96  | 49,46  | 48,41  |
| SiO2  | 46,32     | 47,28  | 47,78  | 46,97  | 48,72  | 53,96  | 49,46  | 48,41  |
| Type  | d         | c      | e+c    | b      | b      | e      | e      | d      |
| Rb    | 7         | 7      | 22     | 7      | 18     | 28     | 7      | 12     |
| Sr    | 987       | 972    | 989    | 441    | 588    | 445    | 381    | 488    |
| Ba    |           |        | 235    | 133    | 153    | 213    | 151    | 123    |
| Hf    |           |        | 1,21   | 0,83   | 0,98   | 1,48   | 0,83   | 0,99   |
| Zr    | 29        | 37     | 47     | 27     | 32     | 52     | 29     | 37     |
| Ta    |           |        | 0,86   | 0,83   | 0,82   | 0,86   | 0,83   | 0,82   |
| Th    | 0,42      | 0,78   | 0,84   | 0,24   | 0,29   | 0,58   | 0,26   |        |
| U     |           |        |        |        |        |        |        |        |
| La    | 4,98      | 6,78   | 8,88   | 3,88   | 3,88   | 5,88   | 3,18   |        |
| Ce    | 11,88     | 14,88  | 18,88  | 8,88   | 8,88   | 12,88  | 7,18   |        |
| Sm    | 2,18      | 2,98   | 3,38   | 1,98   | 2,88   | 2,58   | 2,88   |        |
| Eu    | 0,71      | 1,88   | 1,18   | 0,64   | 0,69   | 0,85   | 0,65   |        |
| Tb    | 0,33      | 0,46   | 0,53   | 0,36   | 0,38   | 0,45   | 0,37   |        |
| Yb    | 0,98      | 1,42   | 1,54   | 1,45   | 1,51   | 1,92   | 1,78   |        |
| Sc    | 26        | 28     | 27     | 39     | 32     | 17     | 48     |        |
| Cr    | 284       | 31     | 18     | 67     | 56     | 18     | 67     | 219    |
| Co    | 43        | 43     | 38     | 42     | 37     | 19     | 48     | 42     |
| Ni    | 88        | 17     | 21     | 34     | 28     | 8      | 38     | 56     |
| Rb/Sr | 0,0067    | 0,0067 | 0,0222 | 0,0159 | 0,0192 | 0,0445 | 0,0229 | 0,0305 |
| Ba/Sr |           |        | 0,238  | 0,382  | 0,386  | 0,479  | 0,582  | 0,388  |
| Ba/La |           |        | 268,57 | 44,33  | 48,26  | 42,68  | 48,71  |        |
| La/Yb | 5,888     | 4,718  | 0,568  | 2,869  | 2,517  | 2,684  | 1,824  |        |
| La/Th | 11,67     | 8,59   | 1,84   | 12,58  | 13,18  | 18,88  | 11,92  |        |
| La/Ta |           |        | 14,58  | 188,88 | 198,88 | 83,33  | 183,33 |        |
| Th/Ta |           |        | 14,8   | 8,8    | 14,5   | 8,3    | 8,7    |        |
| Th/Hf |           |        | 0,694  | 0,289  | 0,296  | 0,338  | 0,313  | 0,888  |
| Zr/Hf |           |        | 38,84  | 32,53  | 32,65  | 35,14  | 34,94  | 37,57  |

| ILE   | TANNA  |        |        | ANATOMI |        | FUTUNA |        |        |
|-------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
|       | T153   | TA 93  | TA 72  | AY 42   | AY 49  | FMA2   | FM65   | FM55   |
| SiO2  | 45,18  | 47,78  | 47,33  | 48,84   | 50,88  | 51,38  | 53,72  | 54,44  |
| Type  | b'     | d      | b      | d       | b      | e+c    | e+c    | e      |
| Rb    | 2      | 8      | 6      | 5       | 3      | 18     | 18     | 23     |
| Sr    | 365    | 438    | 955    | 458     | 544    | 899    | 833    | 798    |
| Ba    | 96     | 181    | 159    | 128     | 149    | 211    | 248    | 292    |
| Hf    | 0,64   | 0,88   | 1,29   | 1,24    | 1,43   | 2,21   | 2,74   | 2,71   |
| Zr    | 21     | 38     | 38     | 48      | 58     | 98     | 98     | 182    |
| Ta    | 0,81   | 0,81   | 0,83   | 0,84    | 0,84   | 0,38   | 0,36   | 0,37   |
| Th    | 0,25   | 0,29   | 0,61   | 0,44    | 0,47   | 2,18   | 2,28   | 2,18   |
| U     |        |        |        |         |        |        |        |        |
| La    |        | 3,38   | 5,78   | 4,88    | 5,48   | 15,48  | 17,38  | 17,88  |
| Ce    |        | 7,38   | 4,88   | 9,28    | 11,48  | 38,98  | 35,78  | 34,38  |
| Sm    |        | 1,68   | 2,68   | 2,28    | 2,38   | 3,48   | 3,88   | 3,88   |
| Eu    |        | 0,59   | 0,84   | 0,67    | 0,79   | 1,18   | 1,38   | 1,28   |
| Tb    |        | 0,35   | 0,38   | 0,42    | 0,46   | 0,47   | 0,58   | 0,58   |
| Yb    |        | 1,24   | 1,41   | 1,62    | 1,81   | 1,74   | 2,18   | 1,81   |
| Sc    |        | 26     | 24     | 34      | 38     | 27     | 22     | 16     |
| Cr    | 21     | 81     | 28     | 144     | 39     | 31     | 23     | 17     |
| Co    | 44     | 43     | 34     | 47      | 35     | 26     | 25     | 22     |
| Ni    | 14     | 29     | 29     | 39      | 31     | 21     | 17     | 13     |
| Rb/Sr | 0,0058 | 0,0193 | 0,0067 | 0,0184  | 0,0859 | 0,0284 | 0,0214 | 0,0285 |
| Ba/Sr | 0,263  | 0,235  | 0,166  | 0,267   | 0,274  | 0,235  | 0,288  | 0,378  |
| Ba/La |        | 38,61  | 27,89  | 38,88   | 27,59  | 13,78  | 13,87  | 17,18  |
| La/Yb |        | 2,661  | 4,843  | 2,469   | 2,983  | 8,851  | 8,238  | 9,332  |
| La/Th | 8,88   | 11,38  | 9,34   | 3,88    | 11,49  | 7,55   | 7,86   | 8,18   |
| La/Ta |        | 338,88 | 198,88 | 188,88  | 135,88 | 51,33  | 48,86  | 45,95  |
| Th/Ta | 25,8   | 29,8   | 28,3   | 11,8    | 11,7   | 7,8    | 6,1    | 5,7    |
| Th/Hf | 0,391  | 0,362  | 0,473  | 0,355   | 0,329  | 0,958  | 0,883  | 0,775  |
| Zr/Hf | 32,81  | 47,58  | 29,46  | 32,26   | 34,97  | 48,72  | 35,77  | 37,64  |

Tableau IV-6 : Analyses complémentaires des éléments en traces des laves des îles de la chaîne centrale reprises dans Barsdell *et al.*(1982), Dupuy *et al.*(1982) et Gorton (1977).

*Complementary analysis of trace elements for lavas from central chain islands.*

Tableau IV-6 suite

| Ech.  | GRUA  |        |        |
|-------|-------|--------|--------|
|       | 687   | 688    | 689    |
| SiO2  | 46,44 | 46,38  | 43,22  |
| Type  | d     | d      | e+c    |
| Rb    |       | 9      | 28     |
| Sr    | 687   | 582    | 998    |
| Ba    | 318   | 193    | 516    |
| Hf    | 1,6   | 1,2    | 1,8    |
| Th    | 1,2   | 8,3    | 1,9    |
| U     | 8,5   | 8,3    | 8,7    |
| La    | 11,2  | 7,1    | 17,4   |
| Ce    | 24,3  | 16,4   | 39,9   |
| Sm    | 4,1   | 2,7    | 4,8    |
| Eu    | 1,3   | 8,86   | 1,4    |
| Tb    | 8,53  | 8,38   | 8,5    |
| Yb    | 1,5   | 1,2    | 1,6    |
| Cr    | 398   | 654    | 55     |
| Ni    | 128   | 263    | 19     |
| Rb/Sr |       | 0,8179 | 0,8281 |
| Ba/Sr | 0,451 | 0,384  | 0,517  |
| Ba/La | 27,68 | 27,18  | 23,66  |
| La/Yb | 7,47  | 5,32   | 18,87  |
| La/Th | 9,33  | 11,83  | 9,16   |
| Th/Hf | 8,73  | 8,38   | 1,86   |

| Ech.  | AMERYM |        | ROBR   |        |        |        |        |        |  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
|       | 1567   | 1568   | 1569   | 492    | 538    | 576*   | 585*   | 548*   |  |
| SiO2  | 48,32  | 52,57  | 52,43  | 46,38  | 49,98  | 48,93  | 49,48  | 49,96  |  |
| Type  | e+d    | e+d    | c      | e      | e+c    | e+d    | e+d    | e+c    |  |
| Rb    | 18     | 58     | 16     | 14     | 28     | 19     | 17     | 17     |  |
| Sr    | 4961   | 638    | 416    | 422    | 935    | 677    | 681    | 620    |  |
| Ba    | 246    | 488    | 318    | 238    | 518    | 368    | 318    | 428    |  |
| Hf    | 1,36   | 3,82   | 2,47   | 1,84   | 2,22   | 1,79   | 1,37   | 2,59   |  |
| Zr    | 45     | 92     | 73     | 33     | 67     | 38     | 43     | 91     |  |
| Ta    |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Th    | 1,38   | 2,32   | 1,85   | 1,87   | 2,51   | 1,73   | 1,16   | 1,74   |  |
| U     | 8,25   | 8,81   | 8,36   | 8,38   | 8,88   | 8,58   | 8,36   | 8,58   |  |
| La    | 9,43   | 13,83  | 8,28   | 8,22   | 15,51  | 12,76  | 18,46  | 14,61  |  |
| Ce    |        |        | 28,48  | 16,98  | 36,48  | 28,48  | 24,18  | 32,68  |  |
| Sm    | 2,65   | 4,23   | 3,57   | 2,28   | 4,73   | 3,17   | 2,84   | 4,29   |  |
| Eu    | 8,83   | 1,33   | 1,18   | 8,69   | 1,38   | 1,81   | 8,88   | 1,41   |  |
| Tb    | 8,41   | 8,68   | 8,78   | 8,33   | 8,65   | 8,49   | 8,42   | 8,73   |  |
| Yb    | 1,26   | 2,22   | 2,84   | 1,86   | 1,96   | 1,68   | 1,38   | 2,64   |  |
| Sc    |        |        |        |        | 29     | 36     | 39     | 35     |  |
| Cr    |        |        |        |        | 1638   | 29     | 498    | 91     |  |
| Co    |        |        |        |        | 88     | 32     |        |        |  |
| Ni    |        |        |        |        | 488    | 35     | 158    | 32     |  |
| Rb/Sr | 0,8379 | 0,8726 | 0,8388 | 0,8329 | 0,8382 | 0,8276 | 0,8286 | 0,8269 |  |
| Ba/Sr | 0,5881 | 0,588  | 0,745  | 0,545  | 0,545  | 0,532  | 0,516  | 0,677  |  |
| Ba/La | 25,29  | 38,78  | 37,44  | 27,98  | 32,88  | 28,21  | 29,64  | 29,75  |  |
| La/Yb | 7,532  | 5,869  | 2,915  | 7,735  | 7,913  | 7,599  | 7,588  | 5,534  |  |
| La/Th | 6,08   | 5,62   | 7,89   | 7,68   | 6,18   | 7,38   | 8,82   | 8,48   |  |
| La/Ta |        |        |        |        |        |        |        |        |  |
| Th/Hf | 1,815  | 8,768  | 8,423  | 1,829  | 1,131  | 8,966  | 8,847  | 8,672  |  |
| Zr/Hf | 35,15  | 38,46  | 29,58  | 31,73  | 38,18  | 27,93  | 31,39  | 35,14  |  |

Analyses des elements en traces des laves des iles des Nouvelles-Hebrides Dupuy et al 1982

| ILE   | EPI EST |        | EPI OUEST |        |        | EPI RIRINA |        | EMRE   | TONGOR |        |        |        |
|-------|---------|--------|-----------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | Epi 26  | Epi 18 | 678       | Epi 24 | Epi 23 | 666        | 677    | Ri 13  | Em 4   | 697    | 698    | 715    |
| SiO2  | 47,78   | 48,39  | 47,79     | 48,17  | 58,87  | 53,23      | 68,74  | 58,21  | 46,61  | 49,42  | 51,14  | 63,64  |
| Type  | b       | d      | d         | d'     | e      | e          | h      | e      | d      | e+d    | d      | h      |
| Rb    | 5       | 13     | 6         | 3      | 47     | 45         | 82     | 16     | 11     | 36     | 14     | 48     |
| Sr    | 445     | 538    | 378       | 374    | 587    | 496        | 441    | 568    | 623    | 539    | 488    | 368    |
| Ba    | 138     | 193    | 128       | 122    | 266    | 688        | 1358   | 188    | 289    | 168    | 148    | 338    |
| Hf    |         | 1,12   |           | 8,65   |        |            |        |        | -1,88  |        |        |        |
| Zr    | 32      | 39     | 19        | 28     | 77     | 181        | 176    | 57     | 33     | 57     | 46     | 121    |
| Ta    |         | 8,84   |           | 8,82   |        |            |        | 8,98   | 8,84   |        |        |        |
| Th    | 8,41    | 8,82   | 8,26      | 8,26   | 8,97   | 3,28       | 5,15   |        | 8,86   | 1,67   | 1,12   | 2,71   |
| U     |         |        | 8,11      |        |        | 1,85       | 1,96   |        |        | 8,68   | 8,58   | 1,11   |
| La    | 3,28    | 5,38   | 2,78      | 2,48   | 6,78   | 17,28      | 29,78  | 7,18   | 6,48   | 8,71   | 6,37   | 12,99  |
| Ce    | 6,78    | 12,88  | 7,85      | 5,68   | 13,28  | 38,88      | 69,38  | 13,88  | 15,38  | 28,78  | 15,63  | 23,98  |
| Sm    | 1,58    | 1,98   | 1,31      | 1,48   | 2,38   | 3,88       | 6,27   | 3,88   | 2,48   | 2,65   | 2,41   | 3,81   |
| Eu    | 8,57    | 8,66   | 8,32      | 8,54   | 8,87   | 1,18       | 1,59   | 8,96   | 8,88   | 8,84   | 8,88   | 1,87   |
| Tb    | 8,38    | 8,38   | 8,28      | 8,38   | 8,49   | 8,58       | 8,98   | 8,36   | 8,47   | 8,42   | 8,43   | 8,64   |
| Yb    | 1,81    | 1,85   | 1,87      | 1,38   | 1,68   | 2,18       | 3,21   | 1,88   | 1,21   | 1,87   | 1,62   | 2,88   |
| Sc    |         |        |           |        |        |            | 15     |        |        | 31     | 28     | 13     |
| Cr    | 86      | 678    | 978       | 198    | 87     |            | 31     | 46     | 227    | 268    | 288    | 4      |
| Co    | 38      | 53     |           | 28     | 48     |            |        | 42     | 58     |        |        |        |
| Ni    | 38      | 288    | 218       | 38     | 38     |            | 9      | 35     | 75     | 46     | 58     | 1      |
| Rb/Sr | 0,8115  | 0,8236 | 0,8164    | 0,8867 | 0,8796 | 0,8981     | 0,1848 | 0,8289 | 0,8172 | 0,8639 | 0,8345 | 0,1296 |
| Ba/Sr | 0,318   | 0,368  | 0,317     | 0,326  | 0,453  | 1,218      | 3,861  | 0,321  | 0,335  | 0,297  | 0,358  | 0,897  |
| Ba/La | 43,13   | 36,79  | 43,17     | 58,83  | 39,78  | 34,88      | 45,45  | 25,35  | 32,66  | 18,37  | 21,98  | 29,48  |
| La/Yb | 3,168   | 5,146  | 2,598     | 1,846  | 4,188  | 8,198      | 9,232  | 3,944  | 3,289  | 8,148  | 3,932  | 4,639  |
| La/Th | 7,88    | 6,46   | 18,69     | 9,23   | 6,91   | 3,24       | 5,77   |        | 7,44   | 5,22   | 5,69   | 4,79   |
| La/Ta |         | 132,58 |           | 128,88 |        |            |        | 7,89   | 168,88 |        |        |        |
| Th/Hf |         | 28,5   |           | 13,8   |        |            |        |        | 21,5   |        |        |        |
| Zr/Hf |         | 8,732  |           | 8,488  |        |            |        |        | 8,888  |        |        |        |
| Zr/Hf |         | 34,82  |           | 43,88  |        |            |        |        | 35,88  |        |        |        |

Tableau IV-8 : Valeurs de normalisation des éléments en traces (Bougault, 1980) :

a) par rapport aux chondrites.

b) par rapport aux MORB.

*Normalization values of trace elements : a) against chondrites ; b) against MORB.*

| a        | b        |
|----------|----------|
| Cs 0,013 | Th 0,028 |
| Rb 1     | Ta 0,031 |
| Ba 12    | La 0,32  |
| Th 0,2   | Ce 0,85  |
| K 830    | Zr 5,13  |
| Ta 0,17  | Hf 0,128 |
| La 3     | Sm 0,19  |
| Ce 10    | Ti 460   |
| Sr 136   | Eu 0,07  |
| P 570    | Tb 0,047 |
| Hf 2,6   | Yb 0,2   |
| Zr 88    | V 22     |
| Eu 1,2   |          |
| Ti 8400  |          |
| Tb 0,71  |          |
| Fe 10,1  |          |
| Cr 290   |          |
| Ni 138   |          |

Tableau IV-9 : Analyses chimiques (roche totale) des laves de chaque zone des fossés ; analyses par absorption atomique (J.Cotten, UBO, Brest).  
Chemical compositions (whole rock) of lavas from each troughs zone.

| Ech.                               | 07M2   | 07M3   | 02M1   | 02M5   | 03M4   | 03M5   | 05M1   | 05M1   | 05M4   | 05M5   | 07M4   | 03M1   | 03M2   | 01M1   | 01M9   | 01M8   | 01M5   | 01M3   |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO2                               | 47,88  | 48,28  | 49,88  | 49,88  | 49,48  | 49,58  | 58,15  | 58,88  | 51,18  | 52,28  | 55,18  | 57,98  | 68,38  | 62,68  | 64,88  | 65,28  | 67,88  | 67,58  |
| TiO2                               | 1,36   | 1,27   | 1,25   | 1,15   | 1,81   | 8,85   | 8,79   | 1,83   | 8,76   | 1,22   | 1,58   | 1,82   | 1,63   | 1,25   | 8,77   | 8,98   | 8,86   | 8,78   |
| Al2O3                              | 17,68  | 17,39  | 16,43  | 16,58  | 15,78  | 16,65  | 16,53  | 16,98  | 15,98  | 15,83  | 14,52  | 15,73  | 14,78  | 15,93  | 15,58  | 16,28  | 14,99  | 14,68  |
| Fe2O3                              | 1,36   | 1,43   | 1,37   | 1,32   | 1,46   | 1,52   | 1,37   | 1,67   | 1,39   | 1,59   | 1,74   | 1,39   | 1,24   | 1,82   | 8,78   | 8,75   | 8,68   | 8,68   |
| FeO                                | 7,96   | 7,38   | 7,99   | 7,76   | 7,44   | 7,76   | 6,99   | 8,53   | 7,88   | 8,18   | 8,98   | 7,11   | 6,33   | 3,21   | 4,88   | 3,84   | 3,46   | 3,48   |
| MnO                                | 8,14   | 8,16   | 8,15   | 8,14   | 8,28   | 8,16   | 8,16   | 8,16   | 8,16   | 8,18   | 8,28   | 8,18   | 8,21   | 8,16   | 8,18   | 8,15   | 8,15   | 8,16   |
| MgO                                | 8,38   | 8,87   | 6,96   | 8,35   | 7,15   | 7,33   | 7,51   | 5,18   | 7,15   | 5,51   | 3,24   | 2,41   | 2,48   | 1,73   | 2,19   | 1,21   | 1,17   | 8,16   |
| CaO                                | 12,22  | 12,11  | 12,51  | 12,48  | 12,15  | 13,85  | 12,85  | 18,88  | 12,11  | 9,86   | 6,77   | 5,58   | 4,71   | 4,42   | 4,53   | 3,36   | 3,27   | 2,79   |
| Na2O                               | 3,28   | 3,84   | 3,88   | 2,38   | 2,88   | 2,44   | 2,33   | 3,82   | 2,38   | 3,51   | 4,89   | 5,34   | 5,87   | 6,88   | 5,88   | 6,55   | 6,12   | 6,12   |
| K2O                                | 8,11   | 8,89   | 8,31   | 8,28   | 8,15   | 8,31   | 8,32   | 8,61   | 8,28   | 8,36   | 1,25   | 8,71   | 8,78   | 8,73   | 8,71   | 8,88   | 8,83   | 8,93   |
| P2O5                               | 8,85   | 8,82   | 8,85   | 8,85   | 8,18   | 8,85   | 8,85   | 8,18   | 8,85   | 8,15   | 8,35   | 8,18   | 8,48   | 8,28   | 8,15   | 8,15   | 8,25   | 8,15   |
| H2O+                               | -8,88  | -8,14  | 8,11   | 8,12   | 8,28   | 8,83   | 8,42   | 8,49   | 8,15   | 8,16   | 8,58   | 8,79   | 8,97   | 8,78   | 8,78   | 8,72   | 8,73   | 8,98   |
| H2O-                               | 8,24   | 8,11   | 8,18   | 8,14   | 8,33   | 8,11   | 8,19   | 8,27   | 8,18   | 8,21   | 8,27   | 8,11   | 8,25   | 8,87   | 8,89   | 8,85   | 8,11   | 8,15   |
| TOTAL                              | 99,74  | 99,99  | 99,43  | 99,92  | 98,12  | 99,79  | 99,64  | 99,56  | 98,58  | 98,88  | 98,51  | 98,98  | 99,27  | 188,84 | 99,49  | 188,16 | 99,62  | 99,28  |
| Elements en traces (ppm)           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rb                                 | 2      | 2      | 3,5    | 3      | 1      | 3      | 4      | 8      | 2      | 3      | 21     | 9      | 7      | 18     | 11     | 13     | 11     | 13     |
| Y                                  | 168    | 188    | 223    | 214    | 178    | 215    | 227    | 296    | 198    | 283    | 278    | 218    | 215    | 282    | 149    | 182    | 178    | 149    |
| Ba                                 | 18     | 28     | 83     | 54     | 66     | 47     | 68     | 74     | 66     | 88     | 178    | 119    | 184    | 163    | 131    | 171    | 165    | 163    |
| C                                  | 167    | 218    | 265    | 216    | 234    | 196    | 243    | 258    | 248    | 278    | 337    | 73     | 67     | 78     | 38     | 38     | 38     | 15     |
| Cr                                 | 248    | 238    | 153    | 268    | 132    | 159    | 144    | 42     | 131    | 27     | 4      | 5      | 5      | 25     | 3      | 8      | 8      | 8      |
| Ni                                 | 139    | 159    | 44     | 182    | 94     | 46     | 48     | 23     | 44     | 22     | 5      | 2      | 8      | 16     |        |        |        |        |
| Co                                 |        | 58     |        | 36     |        |        | 34     |        | 35     | 139    |        | 7      |        |        |        |        |        | 2      |
| NORME C.I.P.M., Fe2O3 = 8,15 Fe2O3 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| RZ                                 | 8,65   | 8,53   | 1,85   | 1,66   | 8,91   | 1,84   | 1,91   | 3,65   | 1,28   | 8,75   | 5,41   | 8,85   | 13,24  | 11,61  | 14,15  | 13,39  | 19,85  | 28,88  |
| ORT                                | 18,68  | 21,74  | 23,94  | 19,52  | 24,25  | 28,71  | 19,98  | 25,85  | 19,78  | 38,13  | 35,48  | 46,83  | 43,78  | 51,18  | 49,73  | 55,72  | 52,38  | 52,68  |
| FE                                 | 33,58  | 33,58  | 38,65  | 33,99  | 38,77  | 33,68  | 34,85  | 31,13  | 32,88  | 26,77  | 17,98  | 18,14  | 15,81  | 14,43  | 14,37  | 12,28  | 11,12  | 9,88   |
| ME                                 | 4,66   | 2,17   | 8,88   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| CO                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| OB                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| QZ                                 | 11,32  | 11,84  | 13,17  | 11,45  | 12,67  | 12,93  | 12,49  | 9,39   | 11,78  | 9,17   | 5,96   | 3,73   | 2,34   | 2,78   | 3,14   | 1,92   | 1,59   | 1,41   |
| QZ                                 | 6,98   | 7,82   | 7,54   | 7,84   | 7,41   | 7,48   | 4,61   | 6,98   | 4,78   | 2,33   | 1,49   | 1,88   | 1,85   | 1,58   | 8,71   | 8,62   | 8,98   |        |
| OP                                 | 3,79   | 3,31   | 5,85   | 3,76   | 4,65   | 4,86   | 4,38   | 4,68   | 4,23   | 4,14   | 3,78   | 2,38   | 1,34   | 1,69   | 1,59   | 1,24   | 8,99   | 8,94   |
| OP                                 |        |        |        | 5,86   | 4,89   | 3,26   | 7,32   | 7,88   | 11,21  | 9,14   | 5,92   | 4,62   | 5,29   | 3,29   | 4,82   | 2,32   | 2,33   | 2,13   |
| FP                                 |        |        |        | 2,78   | 3,87   | 2,12   | 4,38   | 6,99   | 6,86   | 7,92   | 9,39   | 7,12   | 7,11   | 5,31   | 4,25   | 4,81   | 3,71   | 3,98   |
| FP                                 | 9,72   | 18,57  | 6,95   | 6,49   | 4,16   | 5,34   | 2,69   | 1,81   |        |        |        |        |        | 8,88   |        |        |        |        |
| FP                                 | 5,87   | 5,58   | 5,13   | 3,82   | 2,87   | 3,82   | 1,78   | 1,11   |        |        |        |        |        | 8,88   |        |        |        |        |
| HT                                 | 2,27   | 2,88   | 2,29   | 2,21   | 2,17   | 2,22   | 2,81   | 2,45   | 2,85   | 2,34   | 2,59   | 2,86   | 1,83   | 1,49   | 1,15   | 1,18   | 8,99   | 1,81   |
| IL                                 | 2,68   | 2,41   | 2,38   | 2,19   | 1,96   | 1,62   | 1,91   | 1,98   | 1,47   | 2,55   | 2,91   | 3,52   | 3,15   | 2,39   | 1,48   | 1,72   | 1,63   | 1,51   |
| RP                                 | 8,12   | 8,83   | 8,12   | 8,12   | 8,24   | 8,12   | 8,12   | 8,36   | 8,12   | 8,36   | 8,85   | 8,44   | 8,97   | 8,48   | 8,36   | 8,36   | 8,68   | 8,36   |
| ZRZ                                |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| ZORT                               | 3,39   | 2,39   | 7,16   | 7,84   | 3,61   | 8,15   | 8,75   | 12,37  | 7,42   | 6,53   | 11,19  | 14,23  | 21,65  | 17,29  | 28,77  | 18,82  | 24,94  | 15,63  |
| ZRZ                                | 96,61  | 97,61  | 52,84  | 52,16  | 96,39  | 91,85  | 91,25  | 87,63  | 87,27  | 91,21  | 73,18  | 81,48  | 71,46  | 76,87  | 72,99  | 74,95  | 68,58  | 7,14   |
| ZRZ                                | 15,78  | 15,28  | 16,82  | 12,73  | 15,64  | 14,38  | 14,41  | 19,26  | 14,29  | 38,46  | 28,84  | 34,88  | 36,77  | 46,28  | 48,56  | 56,47  | 57,82  | 57,25  |
| ZRZ                                | 44,64  | 41,71  | 47,88  | 45,88  | 46,44  | 47,49  | 44,74  | 53,25  | 46,11  | 58,48  | 54,95  | 58,61  | 47,45  | 41,95  | 33,11  | 34,34  | 33,38  | 3,51   |
| ZRZ                                | 39,58  | 43,89  | 33,37  | 42,19  | 37,92  | 38,21  | 48,85  | 27,49  | 39,66  | 39,14  | 17,81  | 14,59  | 15,88  | 11,84  | 16,33  | 9,28   | 9,68   | 8,54   |
| DI                                 | 23,91  | 24,44  | 26,67  | 21,18  | 23,16  | 22,55  | 21,81  | 25,49  | 22,68  | 33,83  | 48,57  | 56,55  | 61,16  | 67,17  | 68,15  | 74,34  | 76,39  | 7,33   |
| SI                                 | 39,32  | 42,76  | 35,11  | 41,98  | 37,52  | 37,98  | 48,49  | 27,26  | 39,35  | 28,86  | 16,85  | 14,42  | 15,99  | 11,71  | 16,12  | 9,89   | 9,48   | 8,42   |
| Mqe                                | 65,81  | 68,48  | 68,79  | 66,23  | 63,12  | 62,78  | 65,66  | 51,96  | 64,38  | 54,78  | 39,34  | 57,65  | 41,15  | 57,11  | 49,35  | 35,93  | 35,64  | 34,69  |
| Rb/Sr                              | 0,8119 | 0,8111 | 0,8157 | 0,8148 | 0,8856 | 0,8141 | 0,8176 | 0,8278 | 0,8185 | 0,8148 | 0,8735 | 0,8413 | 0,8326 | 0,8495 | 0,8738 | 0,8714 | 0,8618 | 0,8872 |
| K/Rb                               | 458    | 373    | 738    | 778    | 1238   | 861    | 667    | 635    | 1167   | 1888   | 496    | 657    | 833    | 635    | 538    | 564    | 629    | 596    |
| K/Ba                               | 91,67  | 37,58  | 48,74  | 43,21  | 18,94  | 54,96  | 44,44  | 68,69  | 35,35  | 37,58  | 61,27  | 49,72  | 56,89  | 38,34  | 45,17  | 42,88  | 41,92  | 47,55  |
| Ba/Sr                              | 0,868  | 0,111  | 0,238  | 0,232  | 0,371  | 0,221  | 0,264  | 0,288  | 0,347  | 0,394  | 0,612  | 0,546  | 0,484  | 0,887  | 0,879  | 0,948  | 0,927  | 1,894  |
| Ba/Rb                              | 5,88   | 18,88  | 15,14  | 18,88  | 66,88  | 15,67  | 15,88  | 9,25   | 33,88  | 26,67  | 8,18   | 13,22  | 14,86  | 16,38  | 11,91  | 13,15  | 15,88  | 12,54  |
| Type                               | a      | a      | f      | f      | f      | f      | f      | c      | f      | f      | a+c    | g      | g      | g      | g      | g      | g      | g      |

Tableau IV-9 suite

| Ech.                               | D11M1  | D18M1  | D18M2  | D12M1  | D11M2  | D14M2  | D14M1  | D14M14 | D15M6  | D14M5  | D15M12 |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO2                               | 47,58  | 49,48  | 58,78  | 58,78  | 51,88  | 45,28  | 46,18  | 48,28  | 51,28  | 52,58  | 62,88  |
| TiO2                               | 1,48   | 1,83   | 8,94   | 8,77   | 1,36   | 1,52   | 1,49   | 2,86   | 8,72   | 8,73   | 8,62   |
| Al2O3                              | 15,79  | 18,25  | 17,98  | 16,25  | 16,51  | 16,85  | 15,89  | 14,34  | 17,85  | 16,38  | 16,87  |
| Fe2O3                              | 1,94   | 1,61   | 1,51   | 1,39   | 1,96   | 1,63   | 1,55   | 1,88   | 1,58   | 1,44   | 8,78   |
| FeO                                | 9,98   | 8,22   | 7,73   | 7,11   | 9,99   | 8,31   | 7,93   | 9,68   | 7,65   | 7,32   | 5,68   |
| MnO                                | 8,17   | 8,16   | 8,17   | 8,15   | 8,19   | 8,14   | 8,16   | 8,19   | 8,17   | 8,16   | 8,11   |
| MgO                                | 5,57   | 5,85   | 5,79   | 5,68   | 4,18   | 7,26   | 7,92   | 7,25   | 5,45   | 6,88   | 1,64   |
| CaO                                | 18,62  | 18,82  | 18,53  | 18,62  | 8,88   | 18,85  | 18,59  | 9,85   | 18,74  | 4,11   | 8,73   |
| Na2O                               | 2,62   | 2,97   | 2,89   | 2,32   | 2,68   | 2,84   | 2,88   | 3,82   | 2,42   | 6,88   | 5,99   |
| K2O                                | 8,96   | 8,61   | 8,64   | 8,66   | 1,86   | 8,21   | 8,26   | 8,48   | 8,68   | 8,18   | 4,66   |
| P2O5                               | 8,15   | 8,18   | 8,15   | 8,18   | 8,28   | 8,15   | 8,18   | 8,15   | 8,12   | 8,15   | 8,18   |
| H2O+                               | 1,32   | 8,57   | 8,28   | 8,33   | 8,51   | 2,86   | 2,82   | 1,94   | 8,78   | 3,81   | 1,59   |
| H2O-                               | 1,81   | 8,28   | 8,26   | 8,13   | 8,46   | 5,88   | 5,16   | 8,28   | 8,63   | 8,69   | 8,39   |
| TOTAL                              | 98,95  | 99,66  | 99,49  | 108,14 | 98,82  | 99,22  | 99,25  | 99,36  | 99,11  | 99,49  | 99,88  |
| Elements en traces (ppm)           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rb                                 | 28,5   | 7,5    | 9      | 18     | 28     | 3      | 3      | 5      | 9      | 4      | 78     |
| Sr                                 | 268    | 318    | 385    | 311    | 277    | 167    | 156    | 364    | 266    | 123    | 183    |
| Ba                                 | 187    | 79     | 79     | 184    | 123    | 67     | 67     | 135    | 95     | 5      | 596    |
| V                                  | 394    | 258    | 268    | 288    | 578    | 213    | 195    | 297    | 249    | 163    |        |
| Cr                                 | 68     | 31     | 15     | 248    | 15     | 295    | 299    | 131    | 51     | 46     |        |
| Ni                                 | 29     | 33     | 35     | 146    | 14     | 174    | 184    | 42     | 38     | 28     |        |
| Cc                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| NORME C.I.P.H., Fe2O3 = 6,15 Fe2O3 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| QZ                                 |        |        |        |        | 3,21   |        |        |        | 2,42   |        | 4,36   |
| ORT                                | 5,87   | 3,64   | 3,82   | 5,91   | 6,48   | 1,32   | 1,63   | 2,43   | 4,11   | 8,62   | 28,34  |
| RB                                 | 22,93  | 25,37  | 24,69  | 19,68  | 22,46  | 24,18  | 25,89  | 32,21  | 28,94  | 54,12  | 57,16  |
| AN                                 | 29,48  | 35,81  | 34,33  | 32,88  | 38,98  | 32,31  | 29,21  | 21,97  | 34,44  | 17,78  | 2,64   |
| NE                                 |        |        |        |        |        | 8,76   |        | 8,56   |        |        |        |
| CO                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 8,24   |
| DWO                                | 18,87  | 7,76   | 7,32   | 8,42   | 5,21   | 9,98   | 18,85  | 9,73   | 8,88   | 1,14   |        |
| DEN                                | 4,83   | 4,87   | 3,91   | 5,48   | 2,16   | 5,78   | 6,57   | 5,43   | 4,18   | 8,63   |        |
| DFS                                | 5,88   | 3,47   | 3,18   | 2,47   | 5,88   | 3,73   | 3,78   | 3,92   | 3,68   | 8,47   |        |
| EN                                 | 2,46   | 3,58   | 8,72   | 11,77  | 8,47   |        | 8,37   |        | 9,78   | 3,42   | 4,28   |
| FS                                 | 2,58   | 2,98   | 7,88   | 5,38   | 12,87  |        | 8,21   |        | 8,33   | 2,56   | 5,35   |
| FD                                 | 4,95   | 4,97   | 1,33   | 4,77   |        | 9,48   | 9,83   | 9,21   |        | 8,32   | 8,88   |
| FR                                 | 5,73   | 4,66   | 1,21   | 2,48   |        | 6,68   | 6,18   | 7,33   |        | 6,86   | 8,88   |
| MT                                 | 2,91   | 2,36   | 2,22   | 2,83   | 2,98   | 2,51   | 2,39   |        | 2,23   | 2,19   | 1,85   |
| IL                                 | 2,75   | 1,98   | 1,88   | 1,47   | 2,64   | 3,86   | 3,81   | 4,83   | 1,48   | 1,58   | 1,21   |
| RP                                 | 8,57   | 8,24   | 8,36   | 8,24   | 8,48   | 8,38   | 8,25   | 8,37   | 8,29   | 8,37   | 8,44   |
| XQZ                                |        |        |        | 8,88   | 18,82  |        |        |        | 8,79   |        | 5,14   |
| XORT                               | 28,38  | 12,55  | 13,48  | 18,58  | 19,95  | 5,18   | 5,95   | 7,82   | 14,97  | 1,14   | 33,48  |
| XRB                                | 79,62  | 87,45  | 86,68  | 83,42  | 78,83  | 94,82  | 94,87  | 92,98  | 76,24  | 98,86  | 61,46  |
| XALC                               | 17,31  | 18,76  | 19,17  | 14,22  | 18,68  | 15,19  | 15,48  | 18,34  | 17,66  | 29,61  | 64,47  |
| XFeO*                              | 58,88  | 58,69  | 49,38  | 39,95  | 59,99  | 48,67  | 45,74  | 49,62  | 51,28  | 41,26  | 25,61  |
| XHgO                               | 26,78  | 38,55  | 31,45  | 45,82  | 21,33  | 36,15  | 38,85  | 31,85  | 31,85  | 29,13  | 9,93   |
| DI                                 | 38,88  | 29,81  | 28,51  | 25,59  | 32,88  | 26,18  | 27,52  | 35,21  | 27,47  | 54,74  | 84,86  |
| SI                                 | 28,57  | 38,29  | 31,16  | 38,55  | 21,13  | 35,98  | 38,55  | 31,58  | 38,76  | 28,91  | 9,86   |
| Mg*                                | 58,86  | 55,11  | 57,18  | 78,64  | 42,71  | 68,89  | 64,88  | 57,37  | 5,96   | 59,69  | 44,81  |
| Rb/Sr                              | 8,8765 | 8,8236 | 8,8295 | 8,8322 | 8,8722 | 8,8188 | 8,8192 | 8,8137 | 8,8338 | 8,8325 | 8,7573 |
| K/Rb                               | 398    | 678    | 593    | 558    | 442    | 583    | 722    | 667    | 638    | 288    | 498    |
| K/Ba                               | 74,77  | 64,35  | 67,51  | 52,88  | 71,82  | 26,12  | 32,34  | 24,69  | 59,65  | 166,67 | 65,16  |
| Ba/Sr                              | 8,399  | 8,248  | 8,259  | 8,334  | 8,444  | 8,481  | 8,425  | 8,371  | 8,357  | 8,841  | 5,786  |
| Ba/Rb                              | 5,22   | 18,53  | 8,78   | 18,48  | 6,15   | 22,33  | 22,33  | 27,88  | 18,36  | 1,23   | 7,64   |
| Type                               | e+c    | c      | c      | d      | e+c    | a      | a      | "a"    | b      | "a"    | i      |

Tableau IV-9 suite

| Ech.                               | 027M12 | 029M6  | 031M2  | 031M1  | 038M2  | 038M1  | 027M17 | 027M1  | 027M4  | 029M3  | 028M1  | 026M6  | 026M7  |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO2                               | 46,58  | 47,58  | 51,78  | 52,88  | 53,88  | 54,48  | 61,88  | 63,88  | 63,48  | 64,88  | 64,88  | 63,78  | 66,38  |
| TiO2                               | 0,85   | 0,69   | 0,74   | 0,72   | 0,53   | 0,68   | 0,88   | 0,43   | 0,58   | 0,58   | 0,63   | 0,55   | 0,61   |
| Al2O3                              | 15,18  | 13,63  | 15,58  | 15,33  | 15,22  | 15,38  | 15,89  | 14,93  | 15,89  | 15,88  | 14,93  | 14,36  | 14,16  |
| Fe2O3                              | 1,36   | 1,21   | 1,33   | 1,33   | 1,42   | 1,33   | 0,85   | 0,65   | 0,68   | 0,66   | 0,68   | 0,71   | 0,69   |
| FeO                                | 6,95   | 6,19   | 6,76   | 6,76   | 7,25   | 6,87   | 4,34   | 3,38   | 3,46   | 3,38   | 3,88   | 3,63   | 3,33   |
| MnO                                | 0,15   | 0,18   | 0,15   | 0,15   | 0,16   | 0,15   | 0,12   | 0,12   | 0,12   | 0,12   | 0,09   | 0,12   | 0,12   |
| MgO                                | 9,45   | 10,38  | 7,34   | 7,37   | 10,28  | 7,72   | 2,81   | 1,88   | 0,85   | 0,81   | 2,47   | 1,85   | 1,81   |
| CaO                                | 9,55   | 7,38   | 11,58  | 11,55  | 9,18   | 8,97   | 2,82   | 2,33   | 2,32   | 2,21   | 0,94   | 2,38   | 2,37   |
| Na2O                               | 2,47   | 2,32   | 2,35   | 2,27   | 1,92   | 2,16   | 4,58   | 4,64   | 4,33   | 4,31   | 3,47   | 4,83   | 4,76   |
| K2O                                | 0,78   | 1,87   | 0,38   | 0,41   | 0,62   | 0,73   | 5,68   | 4,96   | 4,92   | 4,79   | 6,23   | 3,78   | 3,62   |
| P2O5                               | 0,18   | 0,28   | 0,15   | 0,15   | 0,85   | 0,18   | 0,38   | 0,15   | 0,15   | 0,15   | 0,48   | 0,15   | 0,28   |
| H2O+                               | 3,48   | 2,89   | 0,38   | 0,89   | 0,32   | 0,27   | 0,41   | 2,73   | 2,63   | 2,26   | 1,34   | 2,16   | 1,91   |
| H2O-                               | 2,71   | 4,63   | 0,12   | 0,18   | 0,12   | 0,18   | 0,18   | 1,59   | 0,44   | 0,99   | 0,61   | 0,33   | 0,87   |
| TOTAL                              | 99,29  | 98,93  | 98,32  | 98,23  | 98,87  | 98,74  | 99,57  | 99,82  | 99,13  | 99,46  | 99,85  | 99,87  | 99,35  |
| Elements en traces (ppm)           |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rb                                 | 6      | 19     | 3      | 4      | 7      | 9      | 185    | 67     | 97     | 65     | 114    | 71     | 78     |
| Sr                                 | 238    | 537    | 266    | 268    | 168    | 196    | 382    | 299    | 272    | 256    | 153    | 277    | 272    |
| Ba                                 | 66     | 646    | 84     | 114    | 183    | 182    | 718    | 984    | 823    | 819    | 1843   | 945    | 938    |
| V                                  | 237    | 248    | 264    | 252    | 214    | 218    | 148    | 48     | 49     | 58     | 83     | 45     | 32     |
| Cr                                 | 231    | 283    | 187    | 195    | 344    | 164    | 36     | 7      | 2      | 3      | 18     | 6      | 2      |
| Ni                                 | 68     | 146    | 68     | 66     | 159    | 113    | 17     | 1      | 1      | 2      | 18     | 1      | 1      |
| Co                                 | 32     | 36     | 31     | 38     | 38     | 65     |        |        | 7      | 7      | 7      |        | 5      |
| NORME C.I.P.M., Fe2O3 = 0,15 Fe2O3 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| QZ                                 |        |        | 2,23   | 2,81   | 3,67   | 6,75   | 4,43   | 18,29  | 11,38  | 12,79  | 14,43  | 15,87  | 17,78  |
| ORT                                | 4,44   | 12,88  | 2,29   | 2,47   | 3,75   | 4,58   | 33,41  | 38,67  | 38,26  | 29,48  | 37,77  | 22,44  | 21,96  |
| RB                                 | 22,41  | 21,46  | 28,38  | 19,57  | 16,63  | 18,57  | 38,43  | 41,88  | 48,86  | 39,63  | 38,82  | 41,94  | 41,33  |
| RN                                 | 38,18  | 23,38  | 31,27  | 31,88  | 26,24  | 38,33  | 6,69   | 5,32   | 6,48   | 7,83   | 2,36   | 6,76   | 6,76   |
| NE                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| CO                                 |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 1,67   |        |        |
| QWO                                | 8,39   | 6,26   | 18,89  | 11,83  | 8,39   | 5,97   | 2,36   | 2,36   | 1,91   | 1,44   |        | 2,29   | 1,71   |
| QEN                                | 5,41   | 4,22   | 6,57   | 6,66   | 5,39   | 3,61   | 1,86   | 0,88   | 0,58   | 0,43   |        | 0,77   | 0,58   |
| QFS                                | 2,42   | 1,57   | 3,73   | 3,78   | 2,44   | 2,83   | 1,29   | 1,63   | 1,41   | 1,87   |        | 1,58   | 1,18   |
| QEN                                | 4,96   | 9,58   | 12,89  | 12,85  | 28,82  | 15,92  | 3,99   | 1,88   | 1,63   | 1,67   | 6,29   | 1,91   | 2,88   |
| QFS                                | 2,22   | 3,57   | 6,87   | 6,84   | 9,41   | 8,94   | 4,84   | 3,64   | 3,99   | 4,18   | 4,34   | 3,94   | 4,88   |
| FO                                 | 18,42  | 9,98   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| FR                                 | 5,13   | 4,18   |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| MT                                 | 2,12   | 1,92   | 1,96   | 1,96   | 2,11   | 1,99   | 1,25   | 0,98   | 1,82   | 1,88   | 0,89   | 1,86   | 1,83   |
| IL                                 | 1,73   | 1,43   | 1,44   | 1,39   | 1,83   | 1,16   | 1,33   | 0,98   | 0,99   | 0,99   | 1,26   | 1,87   | 1,19   |
| RP                                 | 0,23   | 0,32   | 0,36   | 0,36   | 0,12   | 0,24   | 0,72   | 0,37   | 0,37   | 0,37   | 0,37   | 0,37   | 0,49   |
| ZOZ                                |        |        | 9,88   | 11,38  | 15,27  | 22,63  | 5,81   | 12,54  | 13,85  | 15,63  | 17,58  | 19,77  | 21,85  |
| ZORT                               | 16,53  | 36,82  | 9,24   | 9,94   | 15,59  | 15,18  | 43,88  | 37,39  | 37,87  | 35,94  | 45,94  | 27,97  | 27,11  |
| ZRB                                | 83,47  | 63,98  | 81,77  | 78,76  | 69,13  | 62,27  | 58,39  | 58,87  | 49,88  | 48,43  | 36,31  | 52,26  | 51,84  |
| ZALC                               | 15,23  | 19,23  | 15,14  | 14,88  | 11,98  | 15,33  | 58,68  | 66,38  | 65,82  | 66,81  | 61,49  | 61,61  | 61,98  |
| ZFeO                               | 39,38  | 33,44  | 44,14  | 44,19  | 39,96  | 43,19  | 29,69  | 26,79  | 28,27  | 28,24  | 22,89  | 38,81  | 38,64  |
| ZMgO                               | 45,45  | 47,31  | 48,72  | 48,93  | 48,15  | 41,26  | 11,68  | 6,91   | 5,91   | 5,75   | 15,62  | 7,58   | 7,46   |
| Q1                                 | 26,83  | 33,54  | 24,82  | 24,85  | 24,86  | 29,82  | 76,27  | 82,84  | 81,62  | 81,83  | 82,21  | 88,23  | 88,98  |
| SI                                 | 45,12  | 46,92  | 48,38  | 48,59  | 47,79  | 48,93  | 11,63  | 6,85   | 5,86   | 5,78   | 15,54  | 7,52   | 7,39   |
| Mg#                                | 78,78  | 74,77  | 65,98  | 66,83  | 71,64  | 66,71  | 45,28  | 33,12  | 38,58  | 29,97  | 58,88  | 34,88  | 33,73  |
| Rb/Sr                              | 0,8252 | 0,8354 | 0,8113 | 0,8149 | 0,8417 | 0,8459 | 0,3477 | 0,2387 | 0,3566 | 0,2339 | 0,7431 | 0,2563 | 0,2774 |
| K/Rb                               | 972    | 828    | 1856   | 854    | 738    | 694    | 444    | 617    | 423    | 614    | 457    | 434    | 431    |
| K/Ba                               | 88,38  | 24,12  | 37,78  | 29,97  | 28,23  | 34,34  | 65,73  | 45,72  | 49,78  | 48,74  | 49,84  | 32,63  | 31,75  |
| Ba/Sr                              | 8,277  | 1,283  | 0,316  | 0,425  | 1,889  | 0,929  | 2,331  | 3,498  | 3,833  | 3,199  | 6,838  | 3,412  | 3,493  |
| Ba/Kb                              | 11,88  | 34,88  | 28,88  | 28,58  | 26,14  | 28,22  | 6,76   | 13,49  | 8,51   | 12,68  | 9,17   | 13,31  | 13,57  |
| Type                               | d      | e+d    | d      | d      | d      | d      | i      | i      | i      | i      | i      | h      | h      |

Tableau IV-9 suite

| Ech.  | D22M1  | D25M2  | D24M6  | D24M4  | D24M3  | D19M1  | D21M7  | D28M4  | D21M1  | D16M1  | D17M3  | D28M6  | D28M1  | D28M3  |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>  | 49,88  | 58,38  | 51,38  | 52,58  | 65,88  | 58,88  | 58,28  | 58,58  | 58,75  | 53,45  | 54,18  | 54,78  | 55,18  | 55,78  |
| TiO <sub>2</sub>  | 8,79   | 8,94   | 8,79   | 8,68   | 8,62   | 1,88   | 0,58   | 0,86   | 0,64   | 0,82   | 0,68   | 1,09   | 1,23   | 0,95   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 14,73  | 16,84  | 18,13  | 14,88  | 14,66  | 14,98  | 15,16  | 18,38  | 14,17  | 14,72  | 13,97  | 19,46  | 17,68  | 17,38  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>  | 1,54   | 1,85   | 1,58   | 1,55   | 0,98   | 1,21   | 1,44   | 1,48   | 1,45   | 1,44   | 1,34   | 1,89   | 1,17   | 1,13   |
| FeO   | 7,88   | 9,45   | 7,66   | 7,98   | 5,88   | 6,16   | 7,37   | 7,14   | 7,39   | 7,37   | 6,85   | 5,58   | 5,95   | 5,77   |
| MnO   | 8,17   | 8,16   | 8,16   | 8,14   | 8,14   | 8,24   | 8,16   | 8,16   | 8,16   | 8,18   | 8,17   | 8,13   | 8,14   | 8,14   |
| MgO   | 6,51   | 5,91   | 4,31   | 7,21   | 1,11   | 9,62   | 18,66  | 4,52   | 8,73   | 4,57   | 5,18   | 2,98   | 4,79   | 4,56   |
| CaO   | 12,94  | 18,55  | 18,58  | 18,35  | 3,68   | 18,46  | 11,58  | 11,48  | 11,78  | 6,71   | 7,67   | 8,68   | 8,32   | 8,38   |
| Na <sub>2</sub> O   | 2,88   | 2,47   | 2,85   | 2,42   | 4,19   | 2,29   | 1,73   | 2,57   | 1,92   | 3,41   | 3,19   | 3,79   | 3,87   | 3,38   |
| K <sub>2</sub> O  | 8,81   | 8,62   | 8,85   | 8,85   | 2,96   | 8,83   | 8,32   | 8,46   | 8,96   | 1,84   | 1,64   | 8,88   | 8,56   | 8,79   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>   | 8,28   | 8,15   | 8,18   | 8,18   | 8,15   | 8,23   | 8,88   | 8,18   | 8,38   | 8,38   | 8,38   | 8,15   | 8,38   | 8,15   |
| H <sub>2</sub> O+   | 1,95   | 8,14   | 8,72   | 8,12   | 8,92   | 1,12   | 1,13   | 1,59   | 8,58   | 1,99   | 1,86   | 8,18   | 8,89   | 8,58   |
| H <sub>2</sub> O-   | 8,68   | 8,13   | 8,76   | 8,23   | 8,27   | 8,61   | 8,43   | 8,22   | 8,53   | 2,23   | 1,34   | 8,88   | 8,86   | 8,14   |
| TOTAL   | 99,28  | 99,37  | 99,71  | 98,73  | 99,64  | 98,69  | 98,76  | 99,38  | 99,28  | 99,83  | 98,29  | 98,63  | 99,18  | 98,81  |
| Elements en traces (ppm)  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Rb  | 13     | 9      | 18     | 12     | 54     | 12     | 6      | 6      | 15     | 21     | 27     | 11     | 7      | 11     |
| Sr  | 485    | 498    | 418    | 318    | 261    | 457    | 172    | 317    | 423    | 411    | 431    | 388    | 249    | 258    |
| Ba  | 188    | 126    | 283    | 162    | 536    | 95     | 52     | 95     | 146    | 273    | 218    | 122    | 68     | 115    |
| V   | 386    | 368    | 368    | 288    | 438    | 231    | 216    | 279    | 361    | 225    | 195    | 286    | 248    | 218    |
| Cr  | 298    | 49     | 58     | 285    | 438    | 343    | 313    | 38     | 337    | 68     | 166    | 16     | 68     | 68     |
| Ni  | 181    | 26     | 24     | 66     |        | 273    | 127    | 51     | 86     | 21     | 41     | 13     | 26     | 48     |
| Co  | 38     |        | 24     |        |        |        |        |        |        |        |        |        | 23     |        |
| NORME C. I. P. W., Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> = 8,15 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| QZ  |        |        | 1,12   | 2,88   | 18,28  |        |        | 2,82   |        | 3,82   | 5,83   | 5,32   | 4,85   | 7,46   |
| ORT   | 4,95   | 3,69   | 5,11   | 4,98   | 17,78  | 5,86   | 1,94   | 2,79   | 5,77   | 11,46  | 18,18  | 4,88   | 3,34   | 4,75   |
| AB  | 18,19  | 21,84  | 24,53  | 28,88  | 33,98  | 19,97  | 15,85  | 22,29  | 16,53  | 38,48  | 28,36  | 32,55  | 33,83  | 29,11  |
| AN  | 29,44  | 33,28  | 34,78  | 27,51  | 12,48  | 28,79  | 27,98  | 37,99  | 27,78  | 28,48  | 19,93  | 34,25  | 29,27  | 38,25  |
| NE  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| CO  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| DMO   | 14,91  | 7,74   | 7,33   | 18,88  | 1,73   | 9,68   | 12,78  | 8,27   | 12,35  | 5,32   | 7,68   | 3,58   | 4,42   | 4,58   |
| QEN   | 8,19   | 3,82   | 3,34   | 5,63   | 8,48   | 6,49   | 8,25   | 4,13   | 7,99   | 2,62   | 4,83   | 1,72   | 2,51   | 2,49   |
| DFS   | 6,17   | 3,78   | 3,98   | 3,94   | 1,33   | 2,47   | 3,67   | 3,97   | 4,85   | 2,68   | 3,33   | 1,88   | 1,73   | 1,83   |
| EN  | 5,94   | 18,88  | 7,38   | 12,59  | 2,33   | 13,18  | 17,74  | 7,41   | 13,57  | 9,38   | 9,52   | 5,81   | 9,52   | 9,87   |
| FS  | 4,47   | 18,69  | 8,12   | 8,77   | 6,39   | 5,81   | 7,89   | 7,13   | 7,25   | 9,32   | 7,87   | 6,89   | 6,54   | 6,67   |
| FO  | 1,84   | 8,14   |        | 8,88   |        | 3,52   | 8,92   |        | 8,68   | 8,88   |        |        |        |        |
| FR  | 1,55   | 8,16   |        |        |        | 1,47   | 8,45   |        | 8,48   |        |        |        |        |        |
| MT  | 2,32   | 2,71   | 2,22   | 2,28   | 1,44   | 1,88   | 2,15   | 2,88   | 2,14   | 2,21   | 2,85   | 1,61   | 1,71   | 1,67   |
| IL  | 1,35   | 1,88   | 1,53   | 1,16   | 1,28   | 1,96   | 8,98   | 1,67   | 1,24   | 1,64   | 1,36   | 2,18   | 2,36   | 1,84   |
| RP  | 8,49   | 8,36   | 8,24   | 8,24   | 8,68   | 8,61   | 8,28   | 8,24   | 8,72   | 8,73   | 8,73   | 8,36   | 8,72   | 8,36   |
| XQZ   |        |        | 3,64   | 7,45   | 23,38  |        |        | 7,46   |        | 8,37   | 11,54  | 12,47  | 11,76  | 18,85  |
| XORT  | 21,39  | 14,92  | 16,61  | 17,89  | 24,66  | 28,28  | 11,44  | 18,28  | 25,89  | 25,88  | 23,37  | 11,25  | 8,18   | 11,58  |
| XAB   | 78,61  | 85,88  | 79,73  | 74,66  | 49,96  | 79,88  | 88,56  | 82,26  | 74,11  | 66,35  | 63,88  | 76,29  | 88,14  | 78,45  |
| XALC  | 15,48  | 15,36  | 21,74  | 16,45  | 58,54  | 15,61  | 9,59   | 19,88  | 14,18  | 28,48  | 26,74  | 32,48  | 27,31  | 26,88  |
| XFeO*   | 49,65  | 55,26  | 52,93  | 47,86  | 41,61  | 36,25  | 48,54  | 52,66  | 42,82  | 46,88  | 44,59  | 46,43  | 43,16  | 43,74  |
| XMgO  | 34,87  | 29,38  | 25,32  | 36,49  | 7,85   | 18,14  | 49,87  | 28,34  | 43,88  | 24,72  | 28,67  | 21,89  | 29,33  | 29,39  |
| D1  | 23,14  | 24,73  | 38,76  | 27,86  | 72,81  | 29,82  | 17,88  | 27,18  | 22,31  | 45,68  | 43,57  | 42,67  | 41,22  | 41,32  |
| S1  | 34,55  | 29,15  | 25,89  | 36,24  | 7,77   | 47,36  | 49,58  | 28,86  | 42,66  | 24,48  | 28,41  | 28,98  | 29,28  | 29,13  |
| Mg#   | 59,54  | 52,78  | 58,84  | 61,92  | 28,34  | 73,66  | 72,86  | 53,88  | 67,81  | 52,48  | 57,39  | 48,77  | 58,9   | 58,48  |
| Rb/Sr   | 0,8321 | 0,8184 | 0,8244 | 0,8387 | 0,2869 | 0,8263 | 0,8349 | 0,8189 | 0,8355 | 0,8511 | 0,8626 | 0,8367 | 0,8281 | 0,8448 |
| K/Rb  | 519    | 574    | 788    | 576    | 457    | 576    | 444    | 639    | 533    | 738    | 586    | 686    | 657    | 598    |
| K/Ba  | 62,58  | 41,81  | 25,83  | 42,76  | 46,82  | 72,81  | 51,28  | 48,35  | 34,79  | 56,17  | 65,88  | 54,64  | 68,63  | 57,25  |
| Ba/Sr   | 8,267  | 8,257  | 8,698  | 8,533  | 2,854  | 8,288  | 8,382  | 8,388  | 8,343  | 8,664  | 8,487  | 8,487  | 8,273  | 8,468  |
| Ba/Rb   | 8,31   | 14,88  | 28,38  | 13,56  | 9,93   | 7,92   | 8,67   | 15,83  | 9,73   | 13,88  | 7,78   | 11,89  | 9,71   | 18,45  |
| Type  | d      | c      | b      | d      | h      | c+d    | d      | b      | c+d    | e      | e      | c      | c      | c      |

Tableau IV-10 : Analyses des éléments en traces des laves de chaque zone des fossés ; analyses par activation neutronique (J.L.Joron, Pierre Sté, Saclay).

Analysis of trace elements for lavas from each troughs zone.

ZONE WHIKORI

| Ech.  | 07M2   | 02M1   | 02M5   | 03M5   | 05M1   | 07M4   | 03M1   | 01M1   | 01M9   | 01M8   |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Type  | a      | f      | f      | f      | c      | a/c    | g      | g      | g      | g      |
| SiO2  | 47,00  | 49,00  | 49,00  | 49,50  | 50,00  | 55,10  | 57,90  | 62,60  | 64,00  | 65,20  |
| Rb    | 1,1    | 4,0    | 2,0    | 3,4    | 7,6    | 21,0   | 0,7    | 10,6   | 11,1   | 12,4   |
| Sr    | 297    | 200    | 314    | 295    | 291    | 260    | 204    | 207    | 529    | 140    |
| Ba    | 0      | 54     | 41     | 42     | 70     | 202    | 129    | 150    | 150    | 106    |
| Hf    | 1,9    | 1,5    | 1,2    | 1,2    | 1,0    | 3,9    | 4,1    | 4,7    | 4,9    | 5,4    |
| Zr    | 0,05   | 0,03   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Ta    | 0,033  | 0,120  | 0,094  | 0,079  | 0,140  | 0,540  | 0,410  | 0,500  | 0,510  | 0,600  |
| Ti    | 0,33   | 0,34   | 0,32   | 0,23   | 0,52   | 1,45   | 0,03   | 1,22   | 1,20   | 1,53   |
| Cu    | 0,05   | 0,06   | 0,05   | 0,11   | 0,17   | 0,43   | 0,21   | 0,23   | 0,23   | 0,30   |
| Sb    | 0,02   | 0,02   | 0,01   | 0,05   | 0,07   | 0,12   | 0,07   | 0,03   | 0,07   | 0,00   |
| U     | 0,20   | 0,17   | 0,12   | 0,06   | 0,26   | 0,65   | 0,37   | 0,42   | 0,50   | 0,50   |
| La    | 2,30   | 3,70   | 3,40   | 2,50   | 4,90   | 12,20  | 9,20   | 11,90  | 11,70  | 13,70  |
| Ce    | 6,60   | 7,00   | 7,00   | 7,00   | 10,90  | 29,70  | 29,90  | 31,00  | 30,10  | 28,00  |
| Sa    | 2,60   | 2,30   | 2,30   | 1,00   | 2,00   | 5,30   | 5,60   | 5,00   | 5,70   | 6,10   |
| Eu    | 1,10   | 0,97   | 0,93   | 0,72   | 0,95   | 1,00   | 2,10   | 2,10   | 2,00   | 1,91   |
| Tb    | 0,50   | 0,53   | 0,46   | 0,39   | 0,51   | 0,95   | 1,16   | 1,20   | 1,16   | 1,23   |
| Yb    | 2,40   | 2,40   | 1,90   | 1,90   | 2,30   | 3,70   | 4,70   | 5,30   | 5,20   | 6,20   |
| Sc    | 30     | 40     | 37     | 30     | 34     | 30     | 21     | 16     | 15     | 11     |
| Cr    | 255    | 140    | 274    | 141    | 26     | 3      | -      | 0      | 41     | -      |
| Co    | 49     | 37     | 42     | 30     | 52     | 27     | 9      | 6      | 10     | 5      |
| Ni    | 199    | 51     | 110    | 52     | 26     | 7      | 2      | 2      | 16     | 2      |
| Ra    | -      | -      | -      | -      | 1,10   | -      | -      | -      | 0,74   | 1,30   |
| Rb/Sr | 0,0037 | 0,0139 | 0,0064 | 0,0115 | 0,0261 | 0,0704 | 0,0426 | 0,0512 | 0,0210 | 0,0030 |
| K/Rb  | 0,033  | 0,046  | 0,067  | 0,069  | 0,069  | 0,069  | 0,069  | 0,069  | 0,069  | 0,069  |
| K/Ba  | 120,61 | 47,66  | 57,47  | 61,51  | 65,17  | 51,97  | 47,33  | 39,56  | 37,45  | 39,43  |
| K/Ca  | 10333  | 43006  | 46667  | 23405  | 29002  | 23140  | 20175  | 25000  | 25667  | 24444  |
| Ba/Sr | 0,026  | 0,100  | 0,129  | 0,142  | 0,260  | 0,751  | 0,613  | 0,763  | 0,299  | 1,297  |
| Ba/La | 3,30   | 14,65  | 11,94  | 16,00  | 15,92  | 16,56  | 13,59  | 13,20  | 13,50  | 13,50  |
| La/Yb | 0,350  | 1,542  | 1,744  | 1,316  | 2,130  | 3,297  | 1,957  | 2,245  | 2,250  | 2,210  |
| La/Ti | 6,57   | 10,00  | 10,63  | 10,07  | 9,42   | 0,53   | 11,00  | 9,70   | 9,14   | 0,90   |
| La/La | 43,40  | 30,03  | 36,17  | 31,65  | 35,00  | 22,09  | 22,44  | 23,00  | 22,94  | 22,03  |
| Ti/La | 6,60   | 2,03   | 3,40   | 2,91   | 3,71   | 2,65   | 2,02   | 2,44   | 2,51   | 2,93   |
| Ti/Hf | 0,10   | 0,23   | 0,27   | 0,19   | 0,29   | 0,37   | 0,20   | 0,26   | 0,27   | 0,20   |
| Zr/Hf | 45,26  | 55,33  | 50,00  | 33,33  | 36,67  | 40,26  | 34,15  | 40,43  | 42,50  | 39,44  |
| Ti/Zr | 95,26  | 70,72  | 115,46 | 120,01 | 94,01  | 57,56  | 70,31  | 39,63  | 22,74  | 23,45  |

ZONE VUT TAFDE

ZONE INTZEL NOLHE

| Ech.  | 01M1   | 01M1   | 01M2   | 01M1   | 01M2   | 01M2   | 01M1   | 01M7   | 01M14  | 01M5   | 01M5   | 01M12  |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Type  | a/c    | c      | c      | d      | a/c    | a      | a      | a      | b      | a      | a      | i      |
| SiO2  | 47,50  | 49,40  | 50,70  | 50,70  | 51,00  | 45,20  | 46,10  |        | 40,20  | 51,20  | 52,50  | 62,00  |
| Rb    | 19,6   | 7,7    | 7,9    | 9,4    | 20,6   | 2,4    | 1,7    | 2,0    | 4,4    | 0,0    | 1,4    | 66,0   |
| Sr    | 344    | 295    | 410    | 457    | 201    | 310    | 304    | 190    | 460    | 350    | 150    | 00     |
| Ba    | 127    | 04     | 07     | 144    |        | 37     | 52     | 10     | 110    | 00     | 6      | 600    |
| Hf    | 1,9    | 1,5    | 1,6    | 1,4    | 1,0    | 2,4    | 2,1    | 2,0    | 3,0    | 1,1    | 1,2    | 4,6    |
| Zr    | 0,07   | 0,03   | 0,03   | 0,03   | 0,03   | 0,06   | 0,06   | 0,06   | 0,06   | 0,06   | 0,06   | 0,06   |
| Ta    | 0,310  | 0,170  | 0,170  | 0,260  | 0,230  | 0,600  | 0,550  | 0,270  | 1,540  | 0,240  | 0,150  | 0,350  |
| Ti    | 0,43   | 0,30   | 0,26   | 0,56   | 0,30   | 0,60   | 0,59   | 0,44   | 1,74   | 0,40   | 0,27   | 3,40   |
| Cu    | 2,00   | 0,11   | 0,16   | 0,22   | 1,30   | 0,29   | 0,11   | 0,02   | 0,02   | 0,16   | 0,01   | 0,06   |
| Sb    | 0,20   | 0,11   | 0,11   | 0,09   | 0,05   | 0,01   | 0,10   | 0,07   | 0,09   | 0,13   | 0,10   | 0,20   |
| U     | 0,17   | 0,11   | 0,12   | 0,20   | 0,10   | 0,22   | 0,30   | 0,20   | 0,45   | 0,14   | 0,11   | 1,40   |
| La    | 5,70   | 4,20   | 4,00   | 0,60   | 4,10   | 6,70   | 6,30   | 4,10   | 14,20  | 4,60   | 3,90   | 17,60  |
| Ce    | 15,00  | 0,10   | 0,30   | 12,90  | 9,00   | 16,50  | 16,60  | 11,70  | 24,70  | 10,20  | 10,40  | 34,30  |
| Sa    | 3,10   | 2,40   | 2,30   | 2,10   | 3,10   | 2,90   | 3,00   | 2,30   | 4,10   | 2,00   | 2,00   | 4,50   |
| Eu    | 1,10   | 0,90   | 0,80   | 0,76   | 1,05   | 1,12   | 1,23   | 0,70   | 1,45   | 0,06   | 0,70   | 0,90   |
| Tb    | 0,64   | 0,47   | 0,40   | 0,50   | 0,65   | 0,63   | 0,59   | 0,40   | 0,73   | 0,36   | 0,39   | 0,65   |
| Yb    | 2,50   | 2,20   | 2,20   | 1,50   | 2,00   | 2,90   | 2,20   | 1,00   | 2,30   | 1,30   | 1,51   | 3,20   |
| Sc    | 30     | 31     | 31     | 35     | 35     | 30     | 34     | 23     | 41     | 36     | 30     | 7      |
| Cr    | 54     | -      | -      | 410    | 6      | 350    | 390    | 39     | 115    | 53     | 51     | -      |
| Co    | 42     | 34     | 30     | 30     | 37     | 49     | 45     | 24     | 42     | 35     | 34     | 6      |
| Ni    | 30     | 34     | 31     | 170    | 17     | 199    | 204    | 23     | 40     | 35     | 32     | 5      |
| Ra    | -      | 1,30   | 1,20   | -      | 0,16   | -      | -      | -      | 1,10   | -      | -      | 2,50   |
| Rb/Sr | 0,0070 | 0,0260 | 0,0101 | 0,0206 | 0,0733 | 0,0070 | 0,0056 | 0,0100 | 0,0094 | 0,0247 | 0,0009 | 0,0300 |
| K/Rb  | 400    | 660    | 711    | 305    | 429    | 729    | 1270   |        | 730    | 644    | 590    | 501    |
| K/Ba  | 62,99  | 60,52  | 59,93  | 47,03  | 61,34  | 47,60  | 41,35  | 20,25  | 64,39  | 130,09 | 64,72  | 64,72  |
| K/Ca  | 4000   | 46212  | 33333  | 25000  | 6700   | 6034   | 19697  |        | 47019  | 35417  | 03333  | 64722  |
| Ba/Sr | 0,369  | 0,204  | 0,214  | 0,252  | 0,512  | 0,110  | 0,172  | 0,092  | 0,253  | 0,247  | 0,030  | 7,600  |
| Ba/La | 23,20  | 20,00  | 22,20  | 23,00  | 30,12  | 5,40   | 0,32   | 4,27   | 0,31   | 19,13  | 1,54   | 34,09  |
| La/Yb | 2,300  | 1,900  | 1,910  | 3,333  | 1,464  | 2,310  | 2,664  | 2,270  | 5,071  | 3,930  | 2,503  | 5,500  |
| La/Ti | 13,20  | 14,00  | 15,30  | 0,93   | 13,67  | 9,00   | 10,60  | 9,32   | 0,16   | 11,50  | 14,44  | 5,10   |
| La/La | 10,39  | 24,71  | 23,93  | 19,23  | 17,03  | 11,17  | 11,45  | 14,14  | 9,22   | 19,17  | 26,00  | 50,20  |
| Ti/La | 1,39   | 1,76   | 1,53   | 2,15   | 1,30   | 1,13   | 1,07   | 1,52   | 1,13   | 1,67   | 1,00   | 9,71   |
| Ti/Hf | 0,23   | 0,20   | 0,16   | 0,40   | 0,17   | 0,20   | 0,20   | 0,22   | 0,50   | 0,36   | 0,22   | 0,74   |
| Zr/Hf | 47,03  | 31,33  | 41,00  | 35,71  | 36,67  | 44,17  | 36,19  | 30,50  | 46,33  | 45,64  | 37,10  | 40,07  |
| Ti/Zr | 96,34  | 132,02 | 04,52  | 92,77  | 124,13 | 06,30  | 110,10 | 0,00   | 09,20  | 90,36  | 90,22  | 19,07  |

Tableau IV-10 suite

| Ech.<br>Type | ZONE VATE |        |        | ZONE EMBOUMINGO |        |        |        |
|--------------|-----------|--------|--------|-----------------|--------|--------|--------|
|              | D27M17    | D27M1  | D26M6  | D25M12          | D24M4  | D25M4  | D24M3  |
|              | i         | i      | i      | c               | d      |        | h      |
| SiO2         | 61,00     | 63,00  | 65,70  | 50,30           | 52,50  |        | 65,00  |
| Rb           | 96,0      | 57,6   | 65,4   | 10,8            | 12,0   | 7,7    | 49,4   |
| Sr           | 257       | 297    | 220    | 606             | 424    | 620    | 244    |
| Ba           | 818       | 912    | 1017   | 168             | 210    | 152    | 626    |
| Hf           | 4,2       | 6,0    | 6,1    | 1,4             | 1,4    | 1,3    | 4,7    |
| Zr           | 171       | 235    | 204    | 52              | 54     | 49     | 176    |
| Ta           | 0,210     | 0,340  | 0,300  | 0,130           | 0,065  | 0,034  | 0,250  |
| Th           | 4,10      | 7,40   | 5,10   | 0,71            | 0,55   | 0,50   | 2,80   |
| Cs           | 0,68      | 1,70   | 2,20   | 0,35            | 0,55   | 0,19   | 2,20   |
| Sb           | 0,10      | 0,23   | 0,23   | 0,09            | 0,12   | 0,00   | 0,47   |
| U            | 2,20      | 2,70   | 1,85   | 0,25            | 0,27   | 0,26   | 1,10   |
| La           | 12,60     | 23,00  | 23,60  | 5,70            | 3,70   | 5,40   | 11,00  |
| Ca           | 27,30     | 40,10  | 44,20  | 12,00           | 6,90   | 12,70  | 26,10  |
| Sm           | 3,90      | 5,00   | 6,10   | 2,00            | 2,00   | 2,80   | 4,60   |
| Eu           | 0,90      | 1,00   | 1,30   | 0,35            | 0,70   | 0,93   | 1,14   |
| Tb           | 0,53      | 0,62   | 0,84   | 0,51            | 0,40   | 0,47   | 0,84   |
| Yb           | 3,20      | 3,30   | 4,20   | 2,20            | 2,10   | 1,90   | 4,30   |
| Sc           | 9         | 0      | 10     | 57              | 30     | 35     | 14     |
| Cr           | 42        | -      | 2      | 40              | 256    | 42     | -      |
| Co           | 7         | 0      | 6      | 40              | 37     | 39     | 9      |
| Ni           | 17        | 2      | 2      | 53              | 75     | 33     | 1      |
| As           | 0,00      | 3,70   | 6,10   | 1,50            | 1,90   | -      | 6,90   |
| Rb/Sr        | 0,3735    | 0,1939 | 0,2060 | 0,0170          | 0,0302 | 0,0124 | 0,2025 |
| K/Rb         | 406       | 710    | 471    | 470             | 340    |        | 499    |
| K/Ba         | 57,05     | 45,32  | 30,32  | 30,75           | 31,73  |        | 39,40  |
| K/Cs         | 60627     | 23221  | 14015  | 14762           | 12576  |        | 11212  |
| Ba/Sr        | 3,103     | 3,071  | 4,461  | 0,177           | 0,514  | 0,245  | 2,566  |
| Ba/La        | 64,92     | 30,32  | 45,09  | 29,47           | 50,92  | 20,15  | 53,05  |
| La/Yb        | 3,937     | 7,212  | 5,619  | 2,591           | 1,762  | 2,042  | 2,744  |
| La/Th        | 3,07      | 3,22   | 4,63   | 0,03            | 6,73   | 9,31   | 5,90   |
| La/Ta        | 60,00     | 70,00  | 70,67  | 45,05           | 56,92  | 57,45  | 47,20  |
| Th/Ta        | 19,52     | 21,76  | 17,00  | 5,46            | 0,46   | 6,17   | 0,00   |
| Th/Hf        | 0,90      | 1,23   | 0,84   | 0,51            | 0,39   | 0,45   | 0,43   |
| Zr/Hf        | 40,71     | 39,17  | 33,44  | 37,14           | 30,57  | 37,69  | 37,45  |
| Ti/Zr        | 20,10     | 11,02  | 16,24  | 101,90          | 66,93  | 0,00   | 21,22  |

| Ech.<br>Type | ZONE FUTUNA |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|              | D19M1       | D21M7  | D20M4  | D21M1  | D16M1  | D17M3  | D20M6  | D20M3  |
|              | c+d         | d      | b      | e+d    | a      | e      | c      | c      |
| SiO2         | 50,00       | 50,20  | 50,50  | 50,75  | 53,45  | 54,10  | 54,70  | 55,70  |
| Rb           | 12,2        | 4,0    | 5,0    | 13,7   | 19,4   | 20,0   | 10,1   | 11,5   |
| Sr           | 789         | 321    | 336    | 610    | 547    | 437    | 329    | 363    |
| Ba           | 106         | 53     | 110    | 157    | 339    | 277    | 147    | 145    |
| Hf           | 1,0         | 1,0    | 1,2    | 2,1    | 3,1    | 2,5    | 2,4    | 2,2    |
| Zr           | 65          | 20     | 52     | 07     | 135    | 06     | 92     | 06     |
| Ta           | 0,460       | 0,043  | 0,021  | 0,091  | 0,200  | 0,220  | 0,130  | 0,130  |
| Th           | 0,05        | 0,12   | 0,29   | 1,09   | 2,20   | 1,76   | 0,71   | 0,55   |
| Cs           | 0,36        | 0,25   | 0,17   | 0,24   | 0,40   | 0,04   | 0,32   | 0,30   |
| Sb           | 0,10        | 0,06   | 0,04   | 0,04   | 0,14   | 0,11   | 0,06   | 0,10   |
| U            | 0,32        | 0,09   | 0,13   | 0,00   | 0,74   | 0,79   | 0,29   | 0,30   |
| La           | 0,60        | 1,40   | 2,50   | 16,70  | 16,50  | 12,70  | 5,90   | 5,50   |
| Ca           | 16,20       | 3,90   | 6,10   | 44,30  | 20,00  | 22,00  | 15,00  | 16,70  |
| Sm           | 2,00        | 1,10   | 2,30   | 6,70   | 4,40   | 4,10   | 3,60   | 3,50   |
| Eu           | 0,97        | 0,40   | 0,92   | 1,09   | 1,30   | 1,12   | 1,21   | 1,20   |
| Tb           | 0,45        | 0,29   | 0,44   | 0,65   | 0,69   | 0,61   | 0,64   | 0,62   |
| Yb           | 1,70        | 1,60   | 1,00   | 1,50   | 3,10   | 2,60   | 3,10   | 2,70   |
| Sc           | 33          | 40     | 33     | 41     | 26     | 20     | 22     | 30     |
| Cr           | 943         | 574    | 22     | 400    | 59     | 139    | 15     | 09     |
| Co           | 39          | 47     | 30     | 40     | 20     | 29     | 10     | 23     |
| Ni           | 324         | 146    | 32     | 100    | 30     | 46     | 16     | 50     |
| As           | 0,90        | 0,60   | 0,60   | -      | 1,10   | 1,90   | 1,20   | 1,70   |
| Rb/Sr        | 0,0155      | 0,0150 | 0,0173 | 0,0222 | 0,0355 | 0,0659 | 0,0307 | 0,0320 |
| K/Rb         | 567         | 556    | 661    | 504    | 790    | 475    | 660    | 560    |
| K/Ba         | 65,25       | 50,60  | 34,05  | 50,96  | 45,23  | 49,34  | 45,35  | 45,40  |
| K/Cs         | 19213       | 10667  | 22549  | 33333  | 31944  | 16270  | 20033  | 17325  |
| Ba/Sr        | 0,134       | 0,164  | 0,327  | 0,254  | 0,620  | 0,634  | 0,447  | 0,399  |
| Ba/La        | 12,33       | 37,64  | 44,00  | 9,40   | 20,55  | 21,01  | 24,92  | 26,36  |
| La/Yb        | 5,059       | 0,075  | 1,309  | 10,570 | 5,523  | 4,005  | 1,903  | 2,037  |
| La/Th        | 10,12       | 11,67  | 0,62   | 15,32  | 7,50   | 7,22   | 0,31   | 10,00  |
| La/Ta        | 10,70       | 32,56  | 119,05 | 103,52 | 50,93  | 57,73  | 45,30  | 42,31  |
| Th/Ta        | 1,05        | 2,79   | 13,01  | 11,90  | 7,06   | 0,00   | 5,46   | 4,25   |
| Th/Hf        | 0,47        | 0,12   | 0,24   | 0,52   | 0,71   | 0,70   | 0,30   | 0,25   |
| Zr/Hf        | 36,11       | 20,00  | 43,33  | 41,43  | 43,53  | 34,40  | 30,33  | 39,09  |
| Ti/Zr        | 92,60       | 107,57 | 93,63  | 44,32  | 36,93  | 47,63  | 71,37  | 66,55  |

Figure IV-1 : Variation des oxydes en fonction de  $\text{SiO}_2\%$  dans les laves des îles Banks.

a -  $\text{TiO}_2\%$ ; b -  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ ; c -  $\text{MgO}\%$ ; d -  $\text{MnO}\%$ ; e -  $\text{CaO}\%$ ;

f -  $\text{Na}_2\text{O}\%$ ; g -  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*\%$ ; h -  $\text{P}_2\text{O}_5\%$ ; i -  $\text{K}_2\text{O}\%$ ;

j -  $\text{K}_2\text{O}\%$  - Données complémentaires des analyses de la bibliographie sur les îles Banks présentées dans le tableau IV-2 (vol.2) - Diagramme de Peccerillo & Taylor (1976).

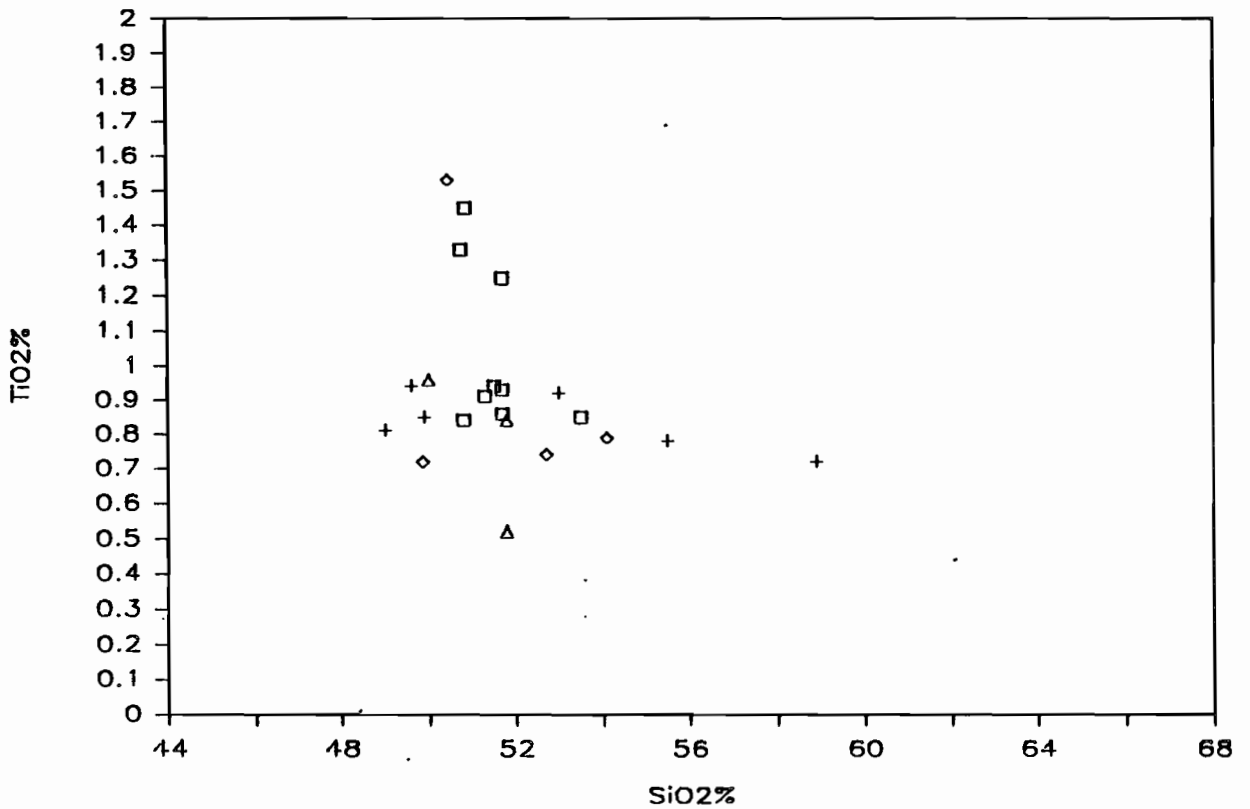
*Variation of the oxydes contents versus  $\text{SiO}_2\%$  in the lavas of Banks islands.*

a -  $\text{TiO}_2\%$ ; b -  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ ; c -  $\text{MgO}\%$ ; d -  $\text{MnO}\%$ ; e -  $\text{CaO}\%$ ;

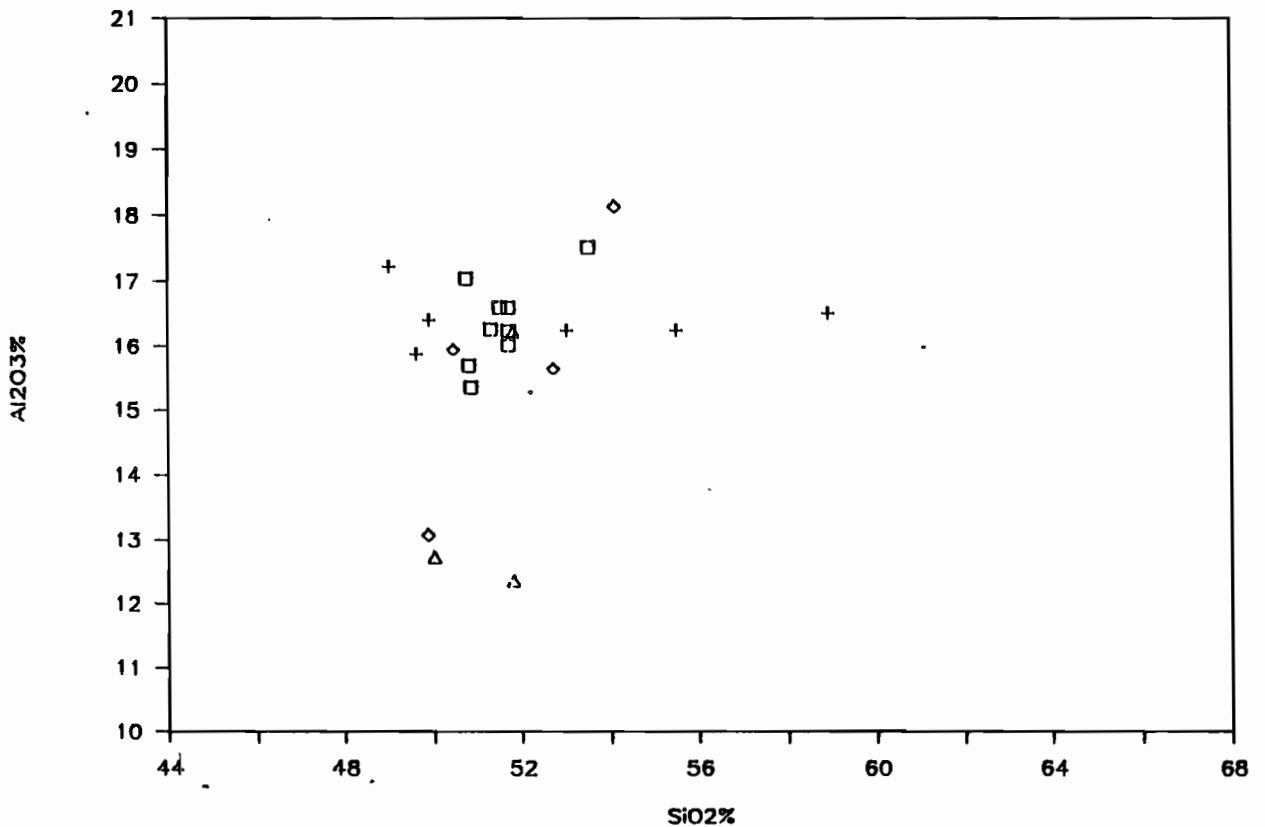
f -  $\text{Na}_2\text{O}\%$ ; g -  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*\%$ ; h -  $\text{P}_2\text{O}_5\%$ ; i -  $\text{K}_2\text{O}\%$ ;

j -  $\text{K}_2\text{O}\%$  - Complementary data from bibliography concerning the Banks islands (Tab.IV-2, vol.2) - Diagram of Peccerillo & Taylor (1976).

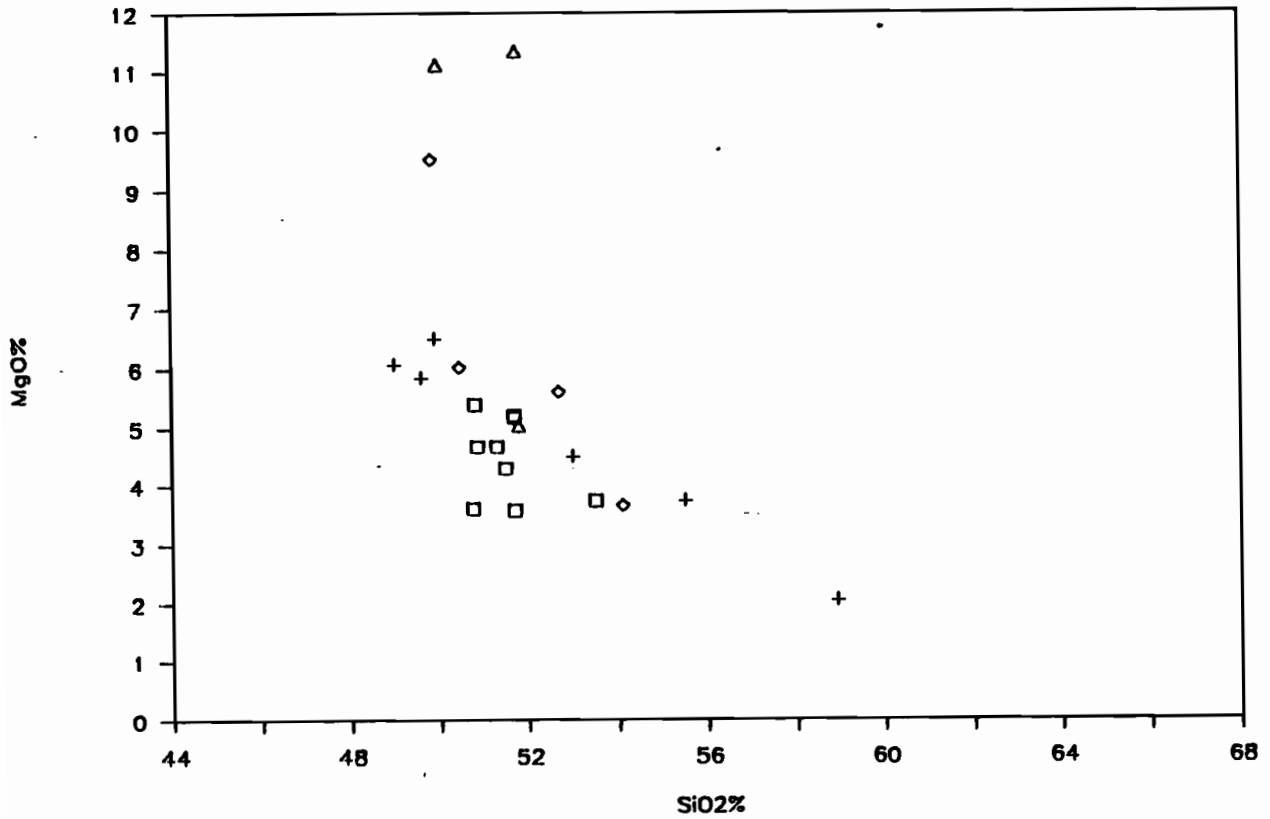
|                            |                   |
|----------------------------|-------------------|
| □ Ureparapara              | ] Iles Banks nord |
| + Mota et Vanua Lava       |                   |
| ◇ Vot Tande et Mota Lava   |                   |
| △ Merig, Mere Lava et Gaua | Iles Banks sud    |



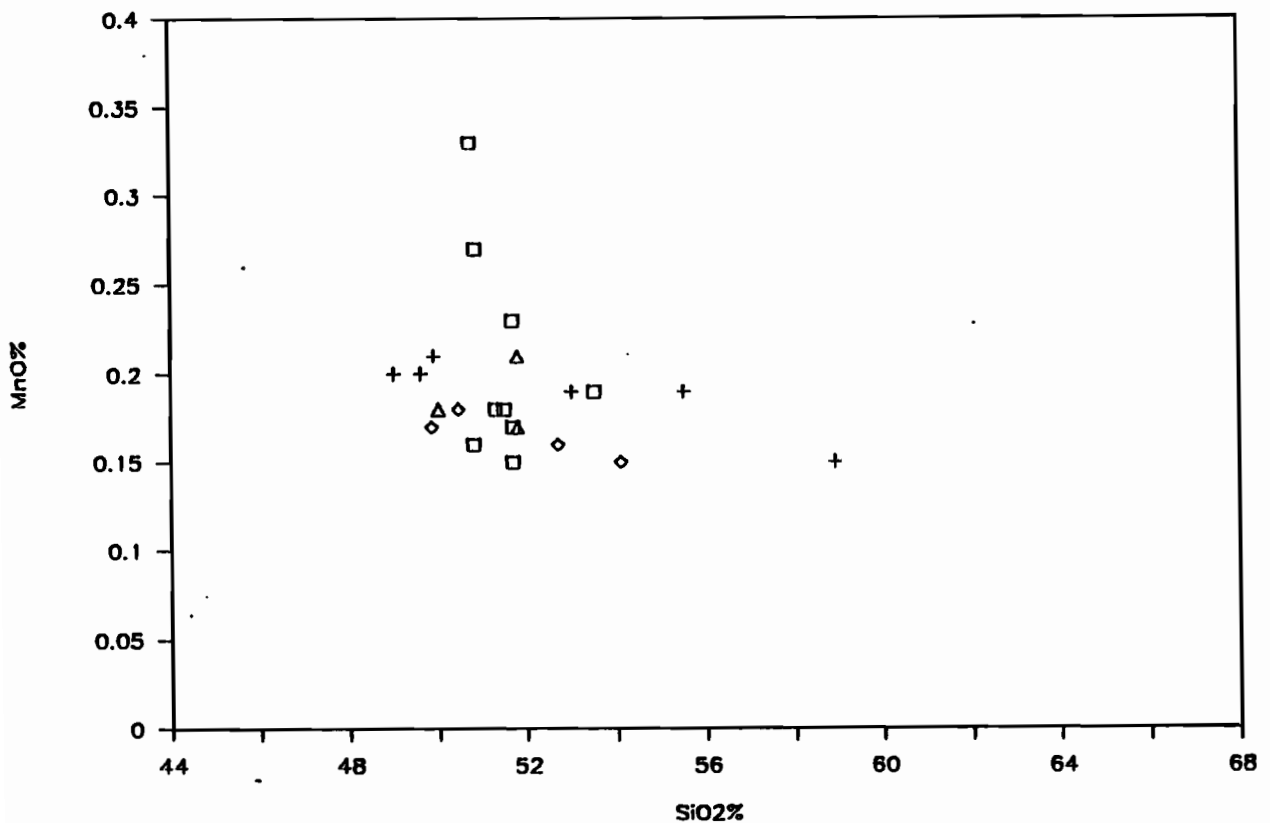
a/ Les teneurs en TiO<sub>2</sub> montrent une faible corrélation négative avec SiO<sub>2</sub> et sont comprises pour l'essentiel entre 0,7 et 1 %. Les quelques valeurs plus élevées (1,2 à 1,6 %) correspondent à des laves d'Ureparapara [URF1, URF7, URG4] et de Mota Lava [MVA11].



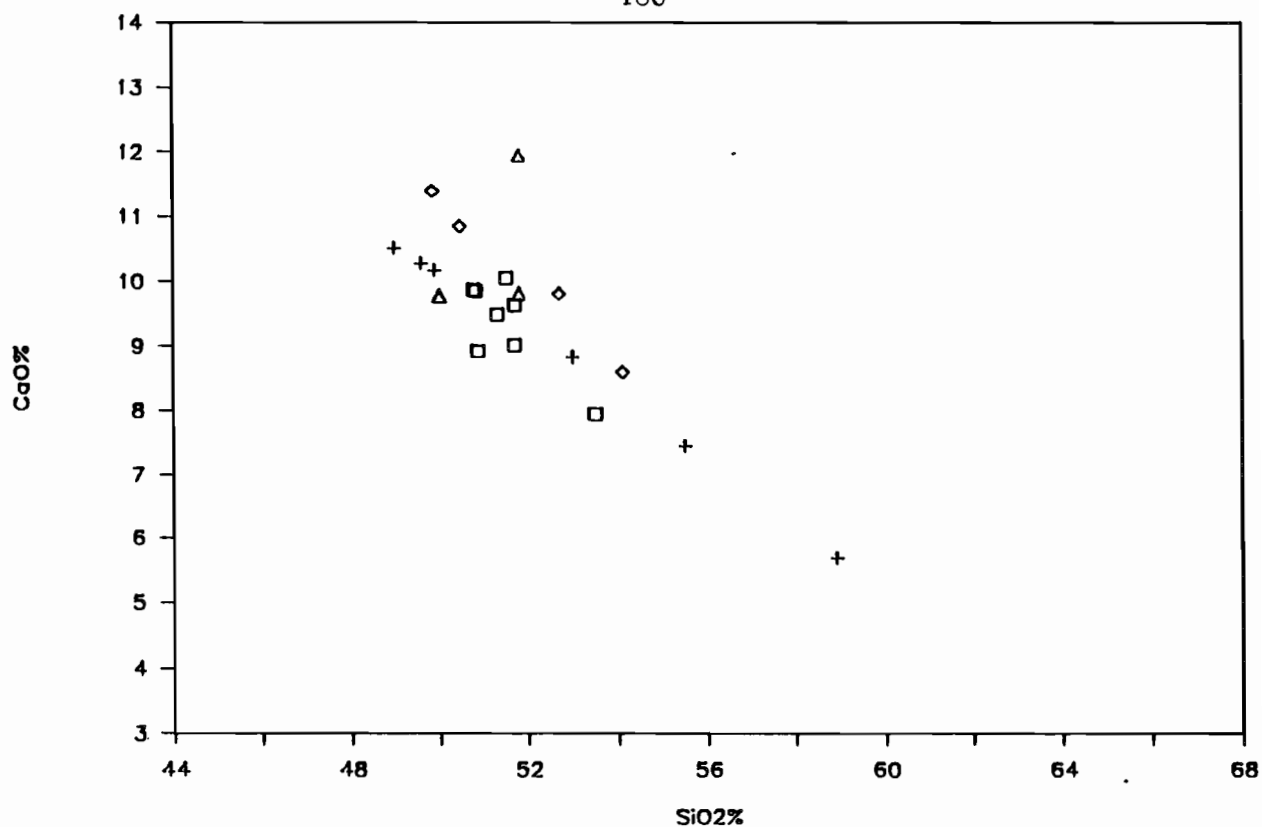
b/ Les teneurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont assez dispersées. Les valeurs les plus faibles, entre 12,3 et 13,5 %, correspondent aux basaltes ankaramitiques [MVA15, MERM10, MLKK1].



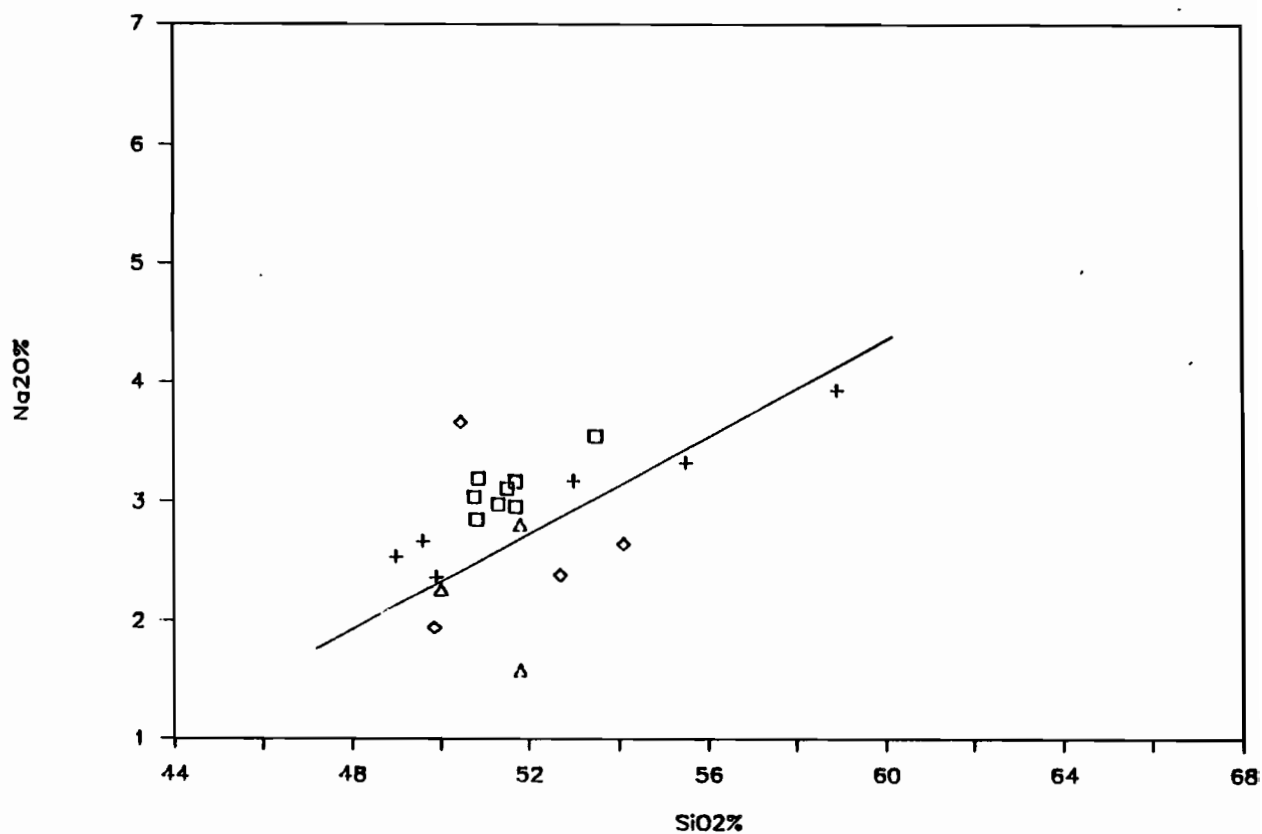
c/ Les basaltes à tendance ankaramitique se distinguent par des teneurs élevées (9 à 12 %); la tendance générale correspond à une diminution de MgO des basaltes (7 %) aux andésites (2 %).



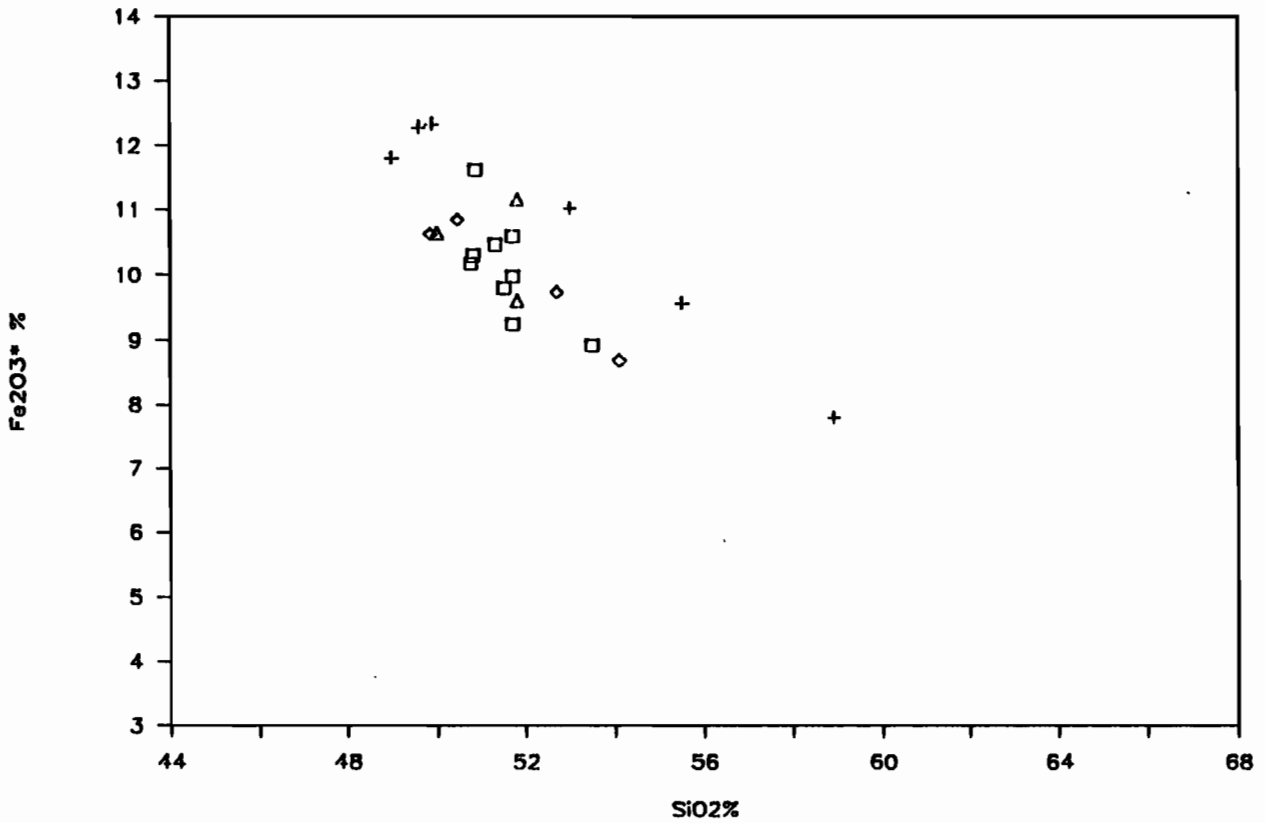
d/ Les valeurs de MnO sont dispersées entre 0,15 et 0,25 %. Seuls deux basaltes d'Ureparapara ont des teneurs supérieures à 0,25 %.



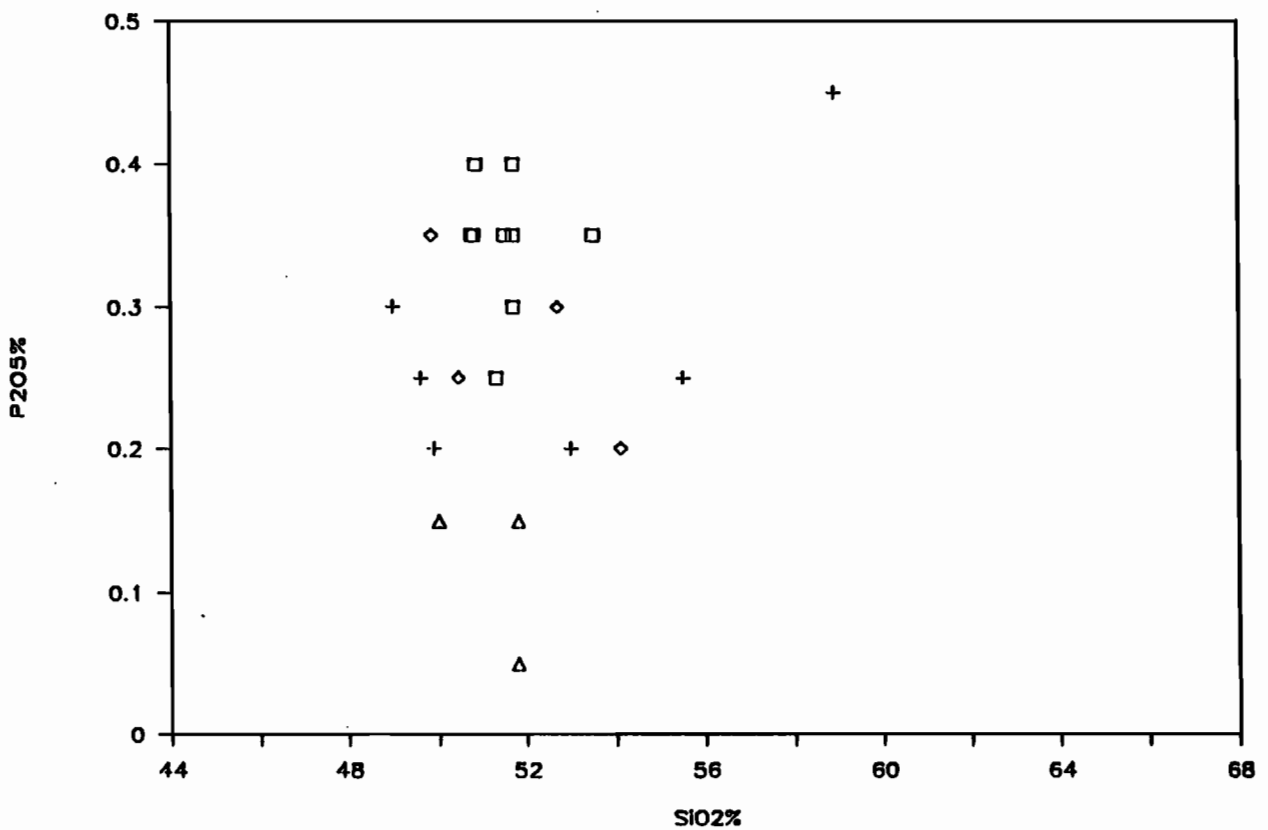
e/ CaO montre une diminution régulière depuis les basaltes jusqu'aux andésites.



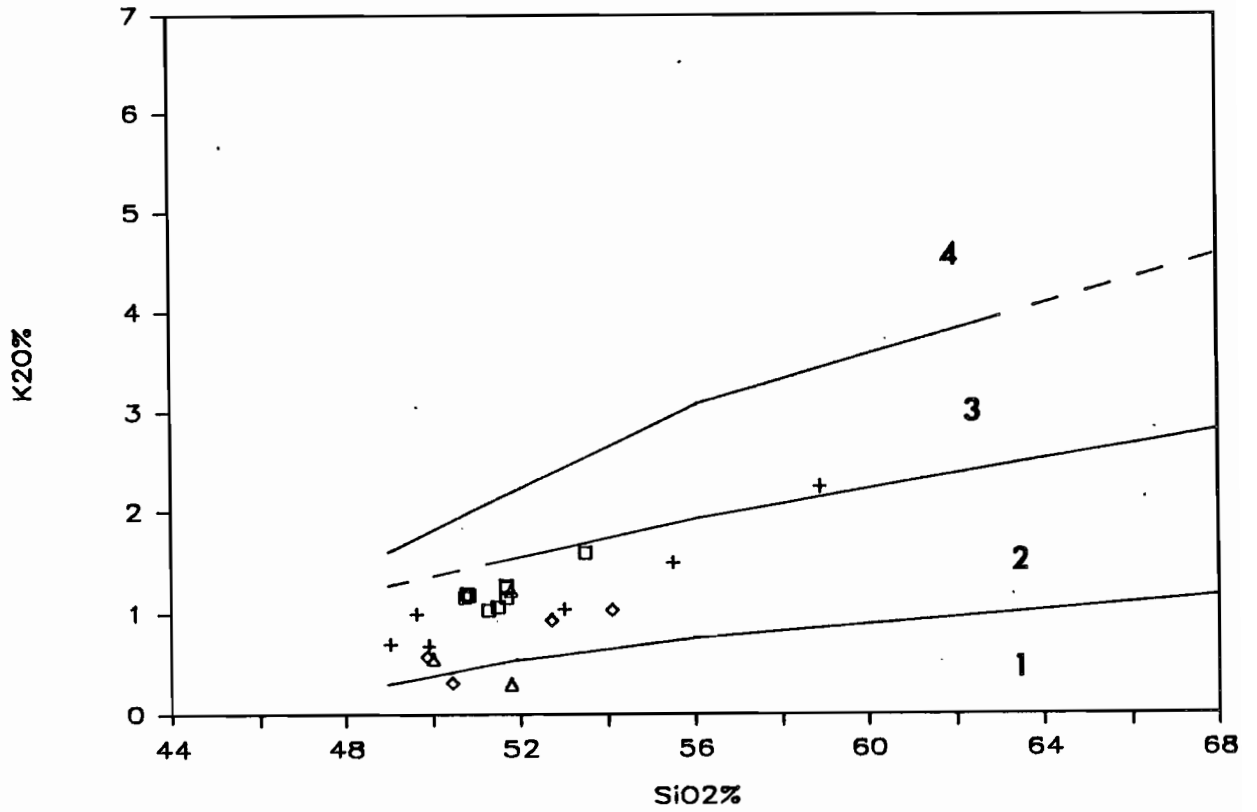
f/ Na<sub>2</sub>O (2 à 4 %) croît avec SiO<sub>2</sub>. On notera la valeur plus faible à 1,5 % [MLKK1, Mere Lava]. Les laves basiques semblent se répartir en deux ensembles ; le plus sodique rassemble les basaltes d'Ureparapara et de Vanua Lava.



g/  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  (fer total sous forme de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) diminue régulièrement lorsque l'on va vers les termes différenciés.



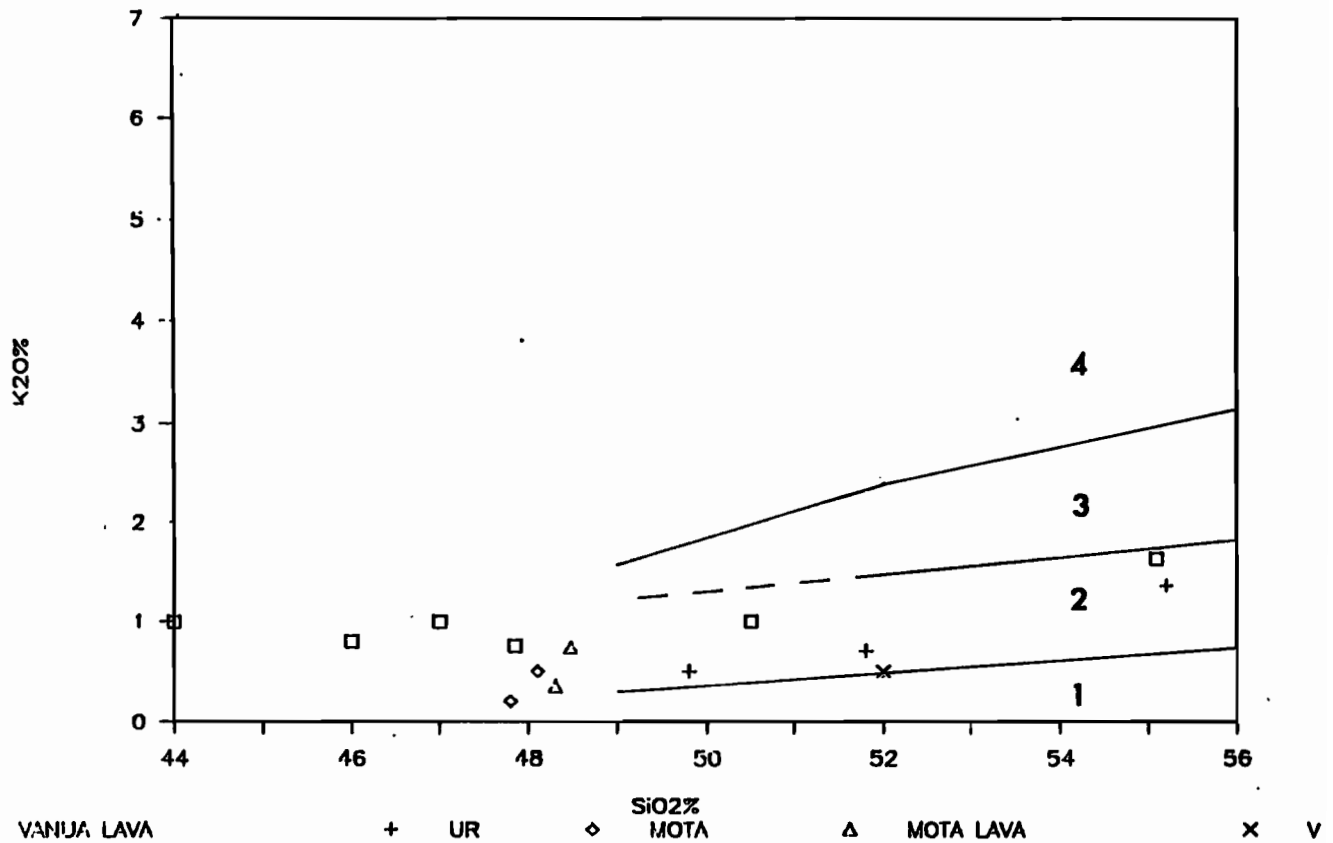
h/ Les valeurs de  $\text{P}_2\text{O}_5$  sont dispersées entre 0,05 et 0,4 % et ne montrent aucune corrélation avec  $\text{SiO}_2$ .



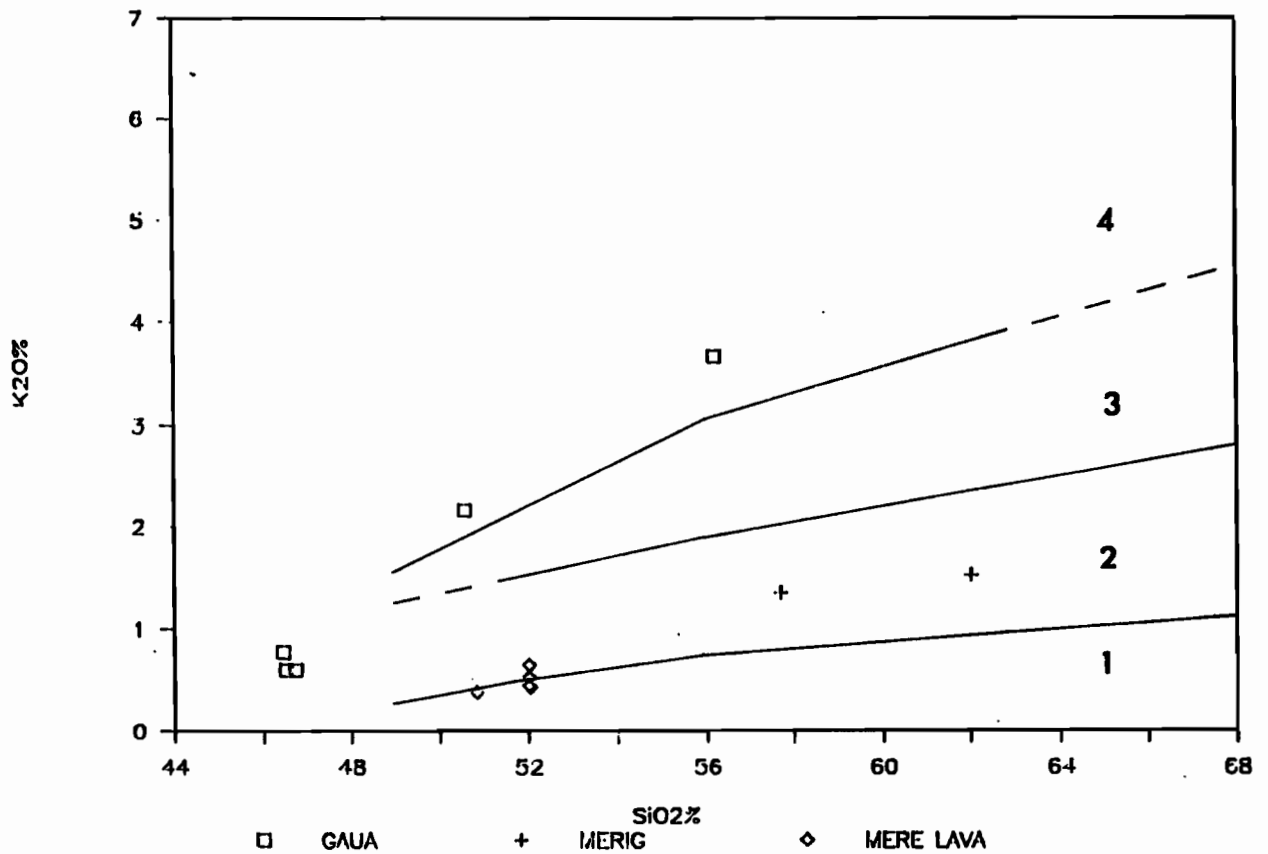
1 = Peu K (potassique) 2 = Médium K 3 = Très K 4 = Shoshonite

i/ K<sub>2</sub>O augmente régulièrement en fonction de SiO<sub>2</sub>. Ces laves ont le plus souvent un caractère modérément potassique, voire peu potassique pour MVA11 (Mota Lava) et MLKK1 (Mere Lava).

## LAVES DES ILES BANKS NORD



## LAVES DES ILES BANKS SUD



j -  $K_2O\%$  - Données complémentaires des analyses de la bibliographie sur les îles Banks présentées dans le tableau IV-2 (vol.2) - Diagramme de Peccerillo & Taylor (1976).



Figure IV-2 : Variation des oxydes en fonction de  $\text{SiO}_2\%$  dans les laves des îles sud de la chaîne centrale.

a -  $\text{TiO}_2\%$ ; b -  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ ; c -  $\text{MgO}\%$ ; d -  $\text{MnO}\%$ ; e -  $\text{CaO}\%$ ;

f -  $\text{Na}_2\text{O}\%$ ; g -  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*\%$ ; h -  $\text{P}_2\text{O}_5\%$ ; i -  $\text{K}_2\text{O}\%$ ;

j -  $\text{K}_2\text{O}\%$  - Données complémentaires des analyses de la bibliographie présentées dans le tableau IV-4 (vol.2) - Diagramme de Peccerillo & Taylor (1976).

*Variation of the oxydes contents versus  $\text{SiO}_2\%$  in the lavas of southern central chain islands.*

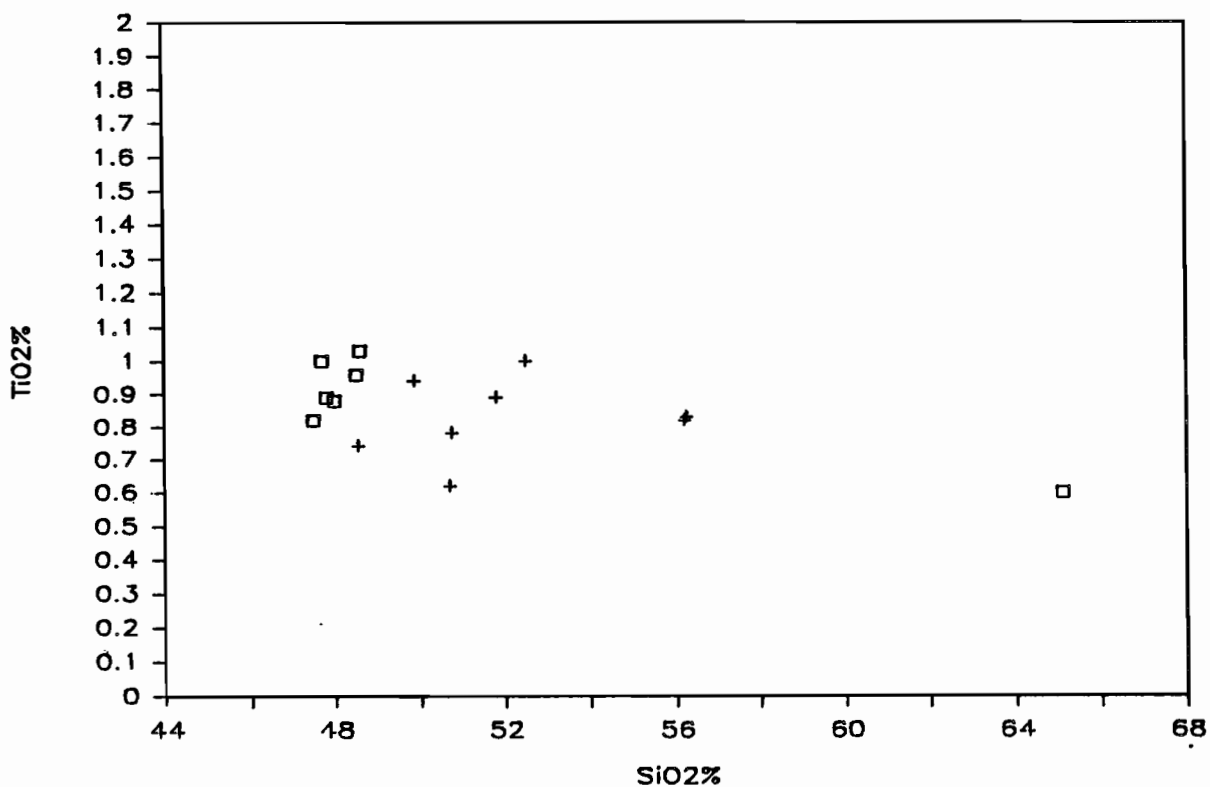
a -  $\text{TiO}_2\%$ ; b -  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ ; c -  $\text{MgO}\%$ ; d -  $\text{MnO}\%$ ; e -  $\text{CaO}\%$ ;

f -  $\text{Na}_2\text{O}\%$ ; g -  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*\%$ ; h -  $\text{P}_2\text{O}_5\%$ ; i -  $\text{K}_2\text{O}\%$ ;

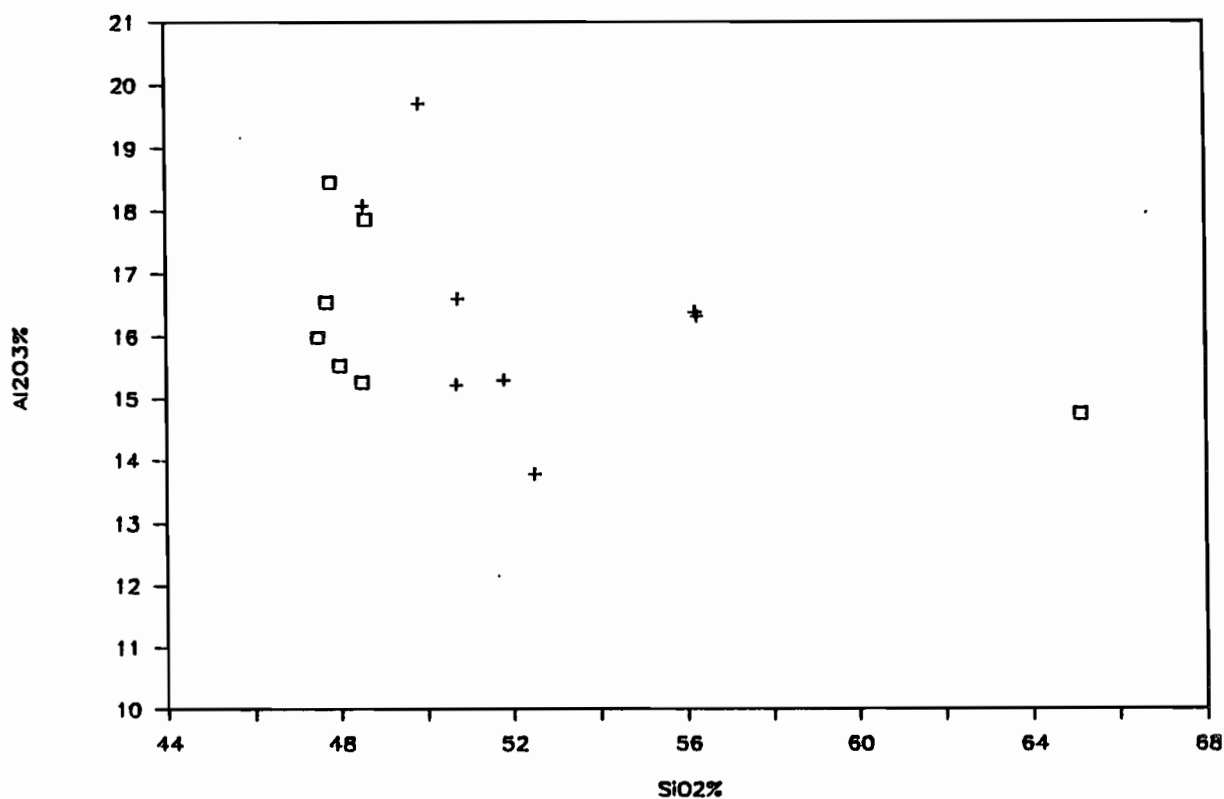
j -  $\text{K}_2\text{O}\%$  - Complementary data from bibliography compiled in table IV-4 (vol.2) - Diagram of Peccerillo & Taylor (1976).

□ Vaté

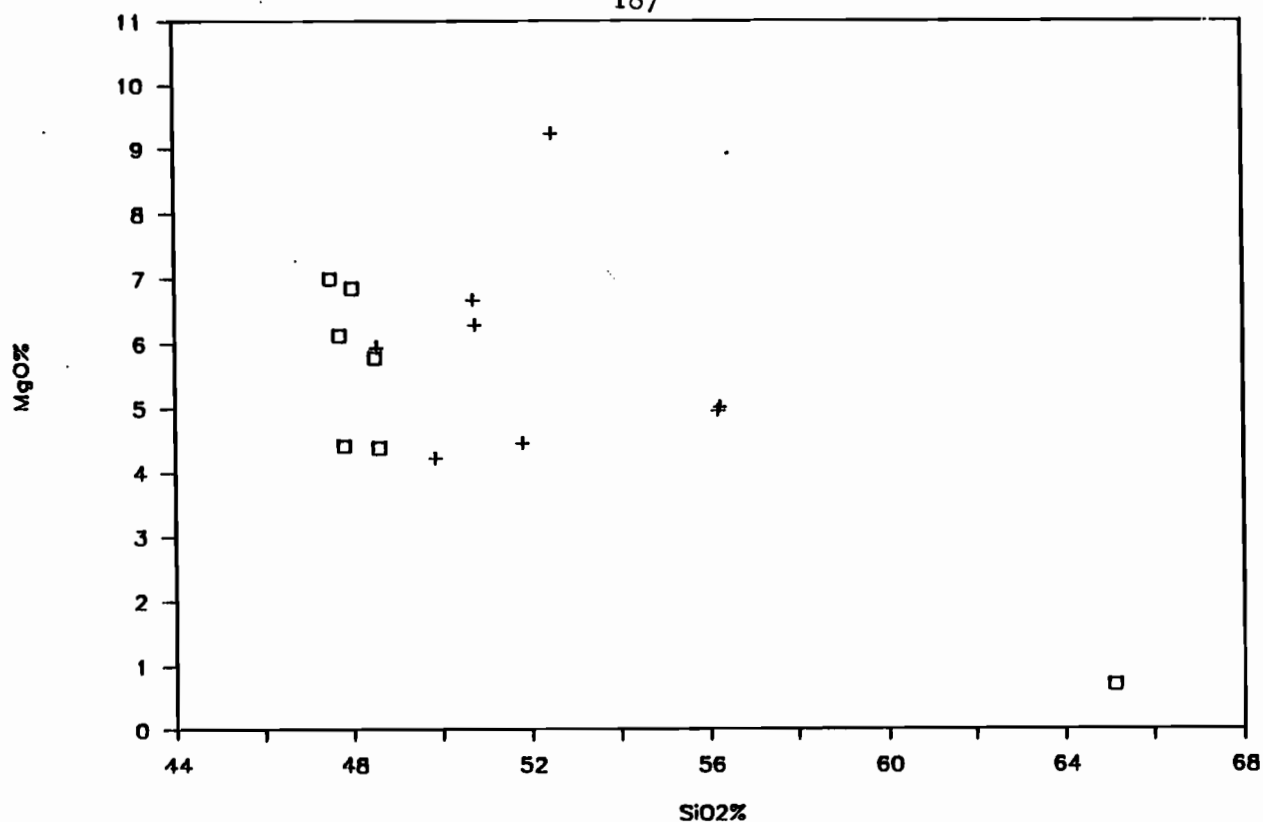
+ Anatom, Tanna et Futuna



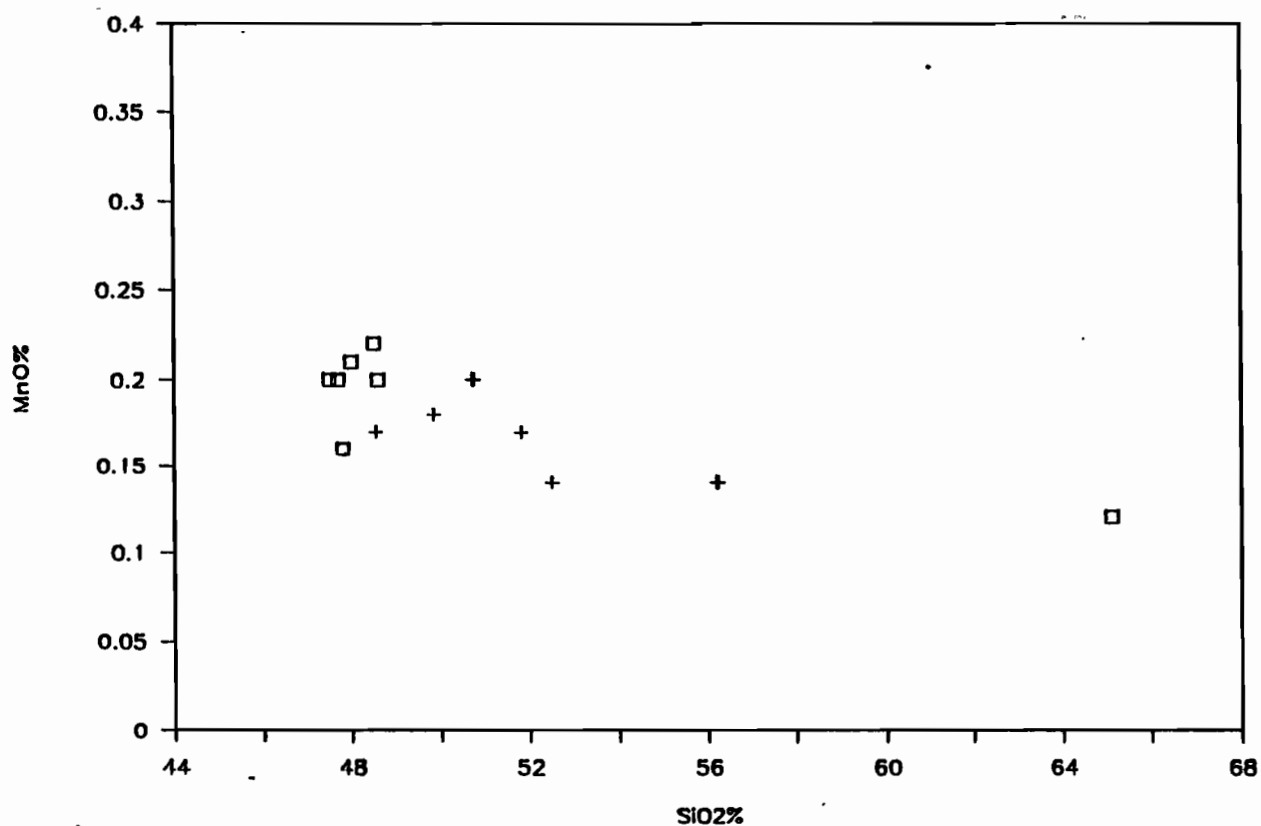
a/ Les teneurs en TiO<sub>2</sub>, modérées (0,6 à 1,1 %) varient peu au cours de la différenciation. Les basaltes de Vaté, et pour partie d'Anatom et Futuna (avec plus de 0,85 % de TiO<sub>2</sub>), sont tout de même assez riches.



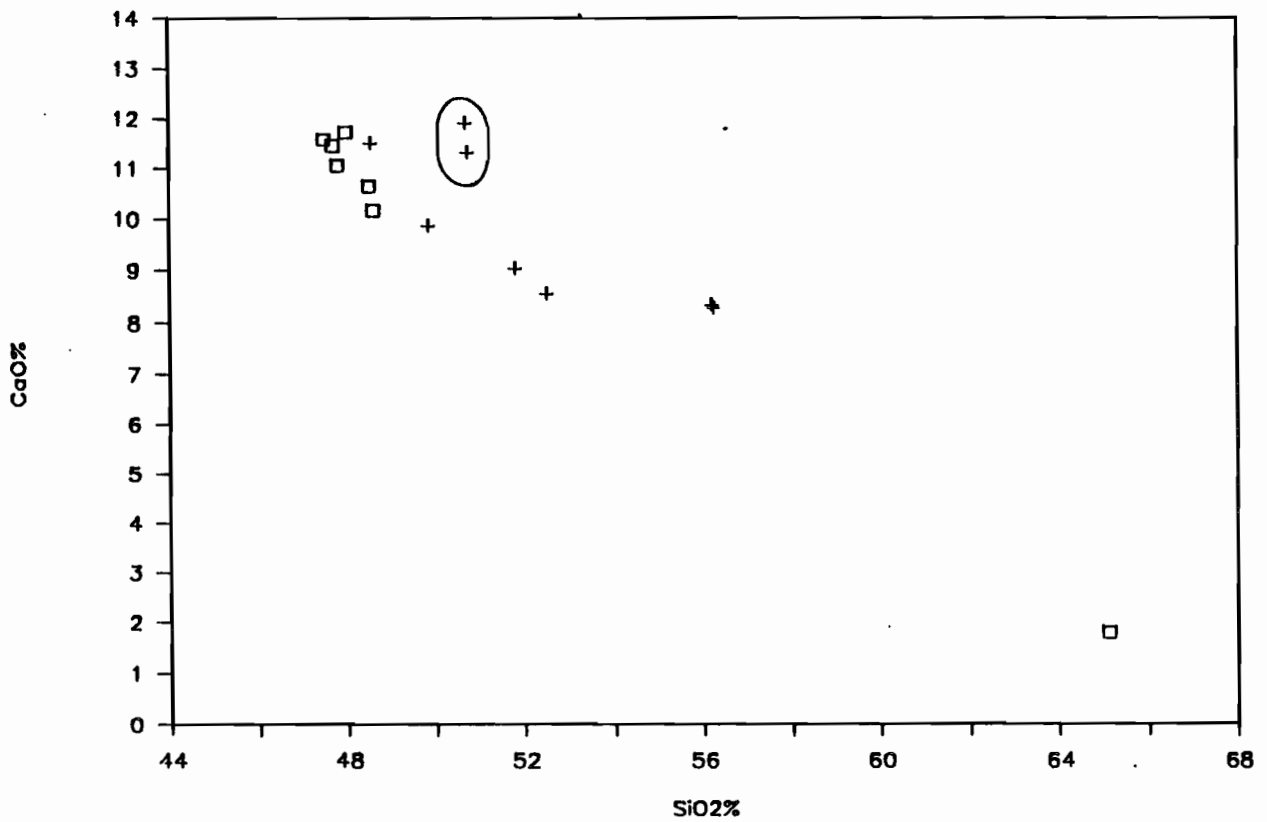
b/ Les teneurs en Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont comprises entre 15 et 20 %, à l'exception d'un basalte de Futuna [FMAC48] à 13,75 %, et diminuent avec SiO<sub>2</sub>. On note une certaine variabilité de cet élément dans les basaltes de Vaté.



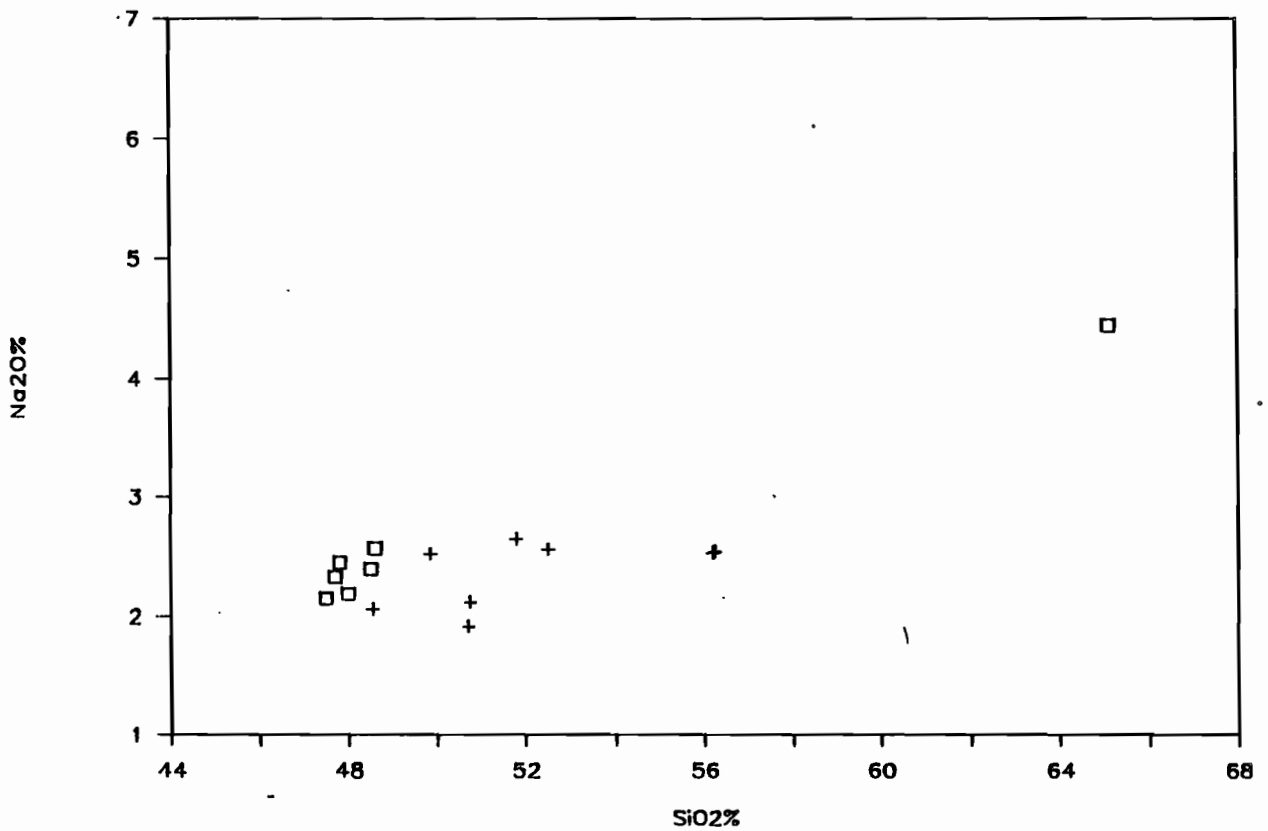
c/ Le basalte de Futuna [FMAC46] se démarque de l'ensemble de ces laves par une teneur plus élevée de MgO (9,25 % pour des valeurs de 4 à 7 %). La diminution de la teneur en MgO dans la dacite est très importante (< 1 %).



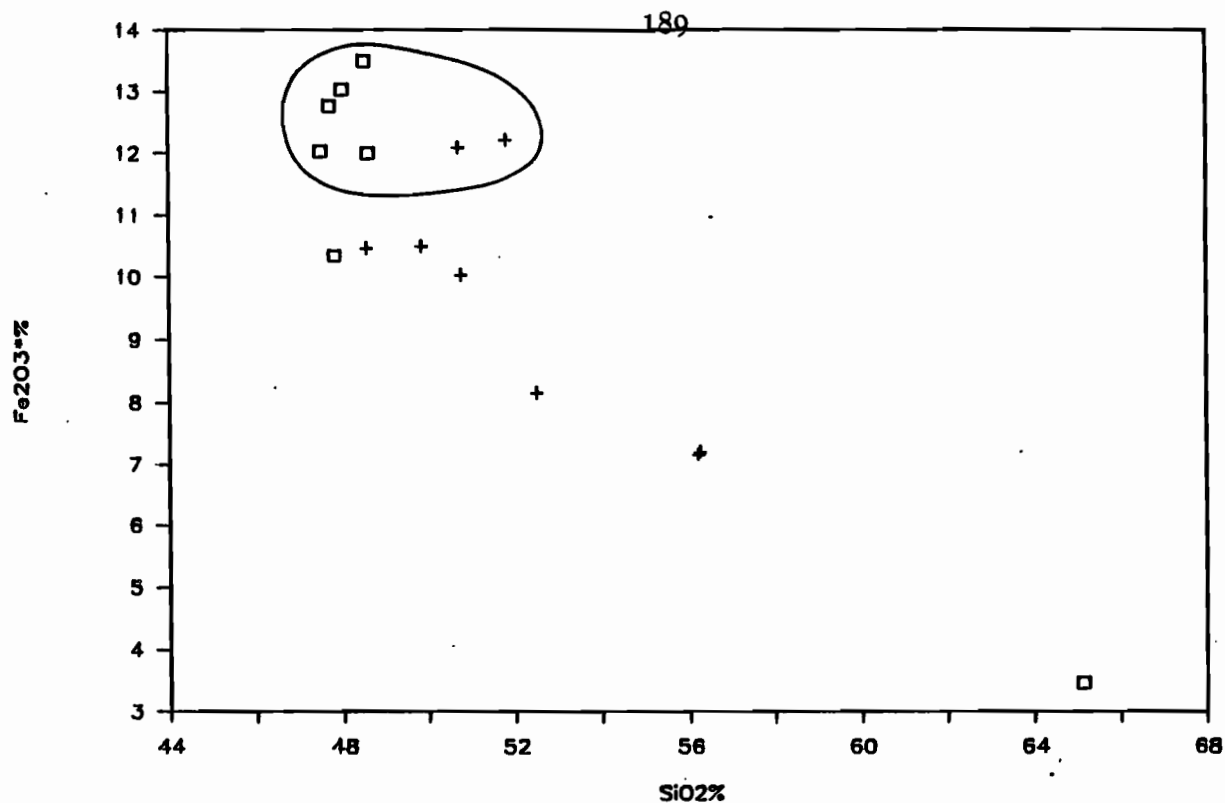
d/ MnO montre une légère décroissance au cours de la différenciation, mais la variation totale est plutôt faible.



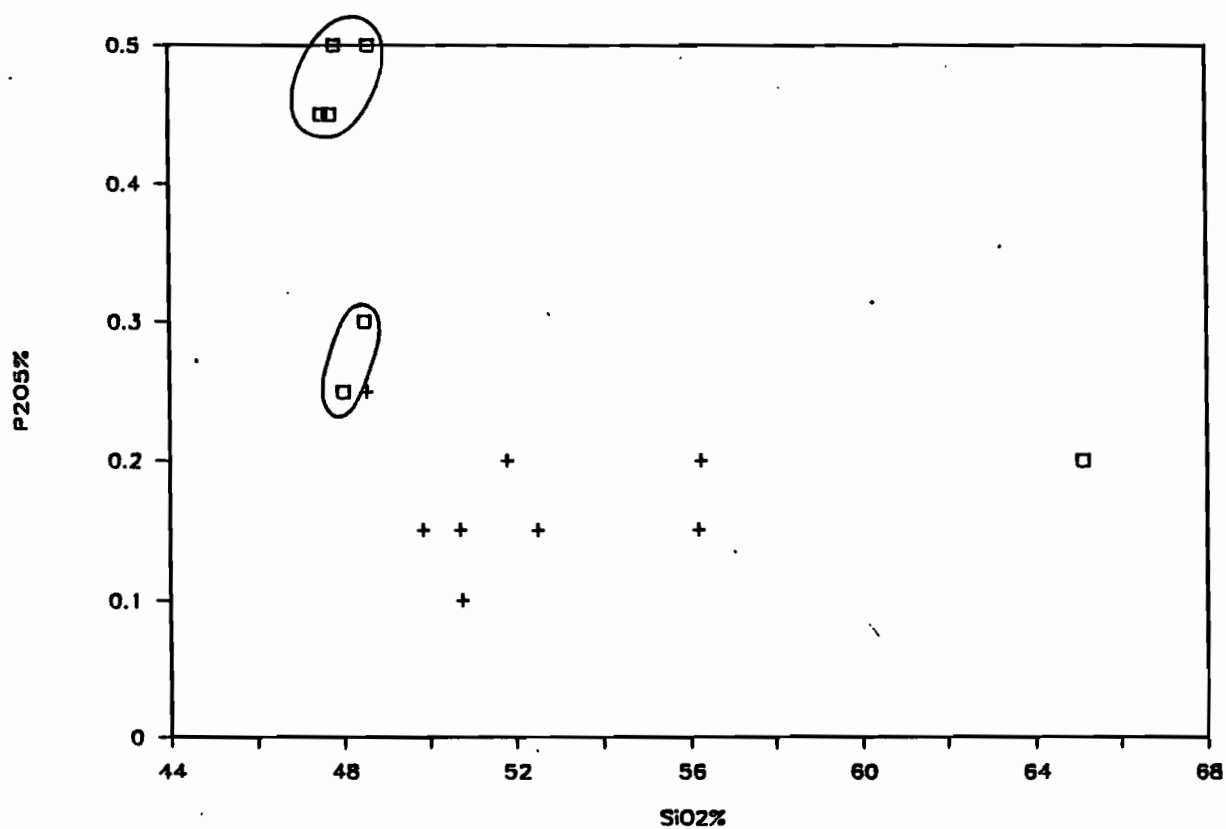
e/ CaO décroît fortement avec la silice croissante. Deux basaltes [AYMAC40 et TAC35b] sont un peu plus riches avec 11,3-11,9 % de CaO pour 30,75 % de SiO<sub>2</sub>.



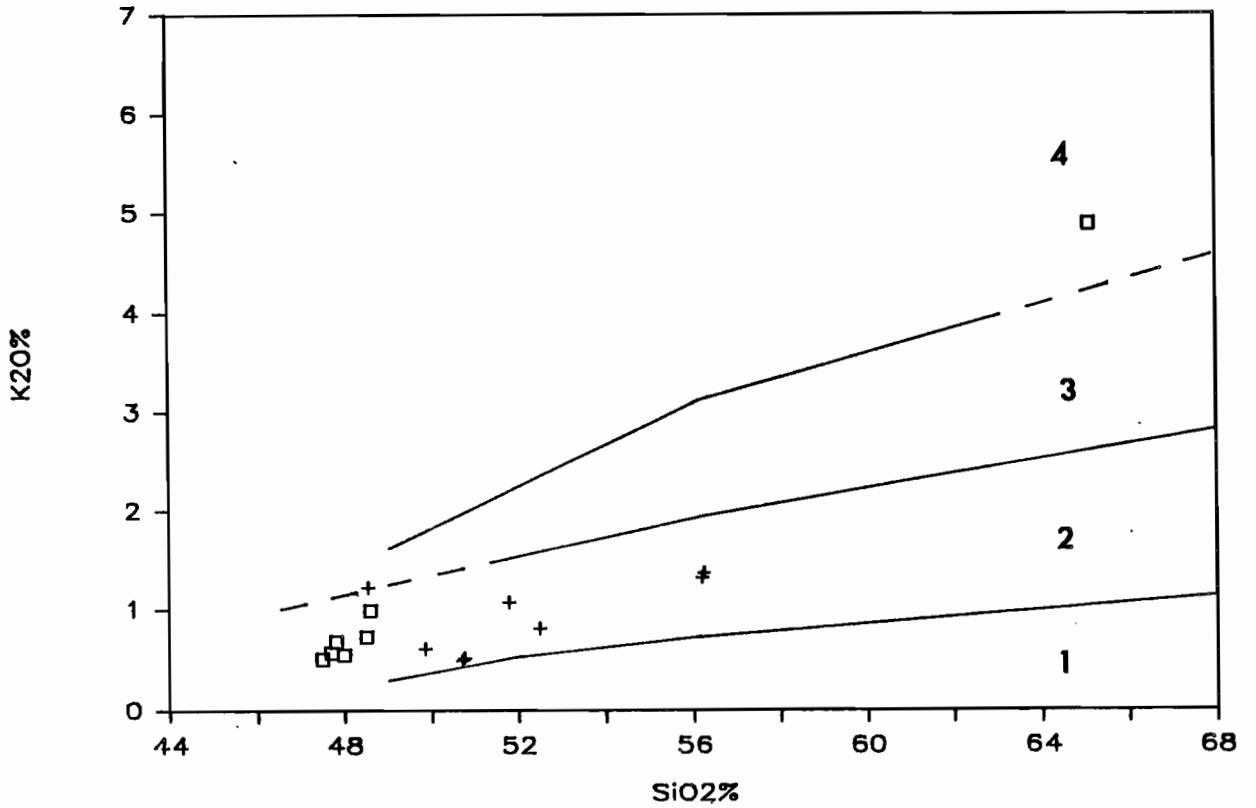
f/ Les concentrations en Na<sub>2</sub>O sont faibles, de 2 à 3 % dans les basaltes, jusqu'à 4,5 % dans les dacites. Ces valeurs sont plus faibles que celles des laves des îles Banks. (cf. Fig. IV-1-f).



g/  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*$  diminue quand  $\text{SiO}_2$  augmente. Un groupe de basaltes (cerclé), un peu plus riche en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (12 à 14 %), correspond aux basaltes de Vaté (sauf Ma6) et de Tanna.

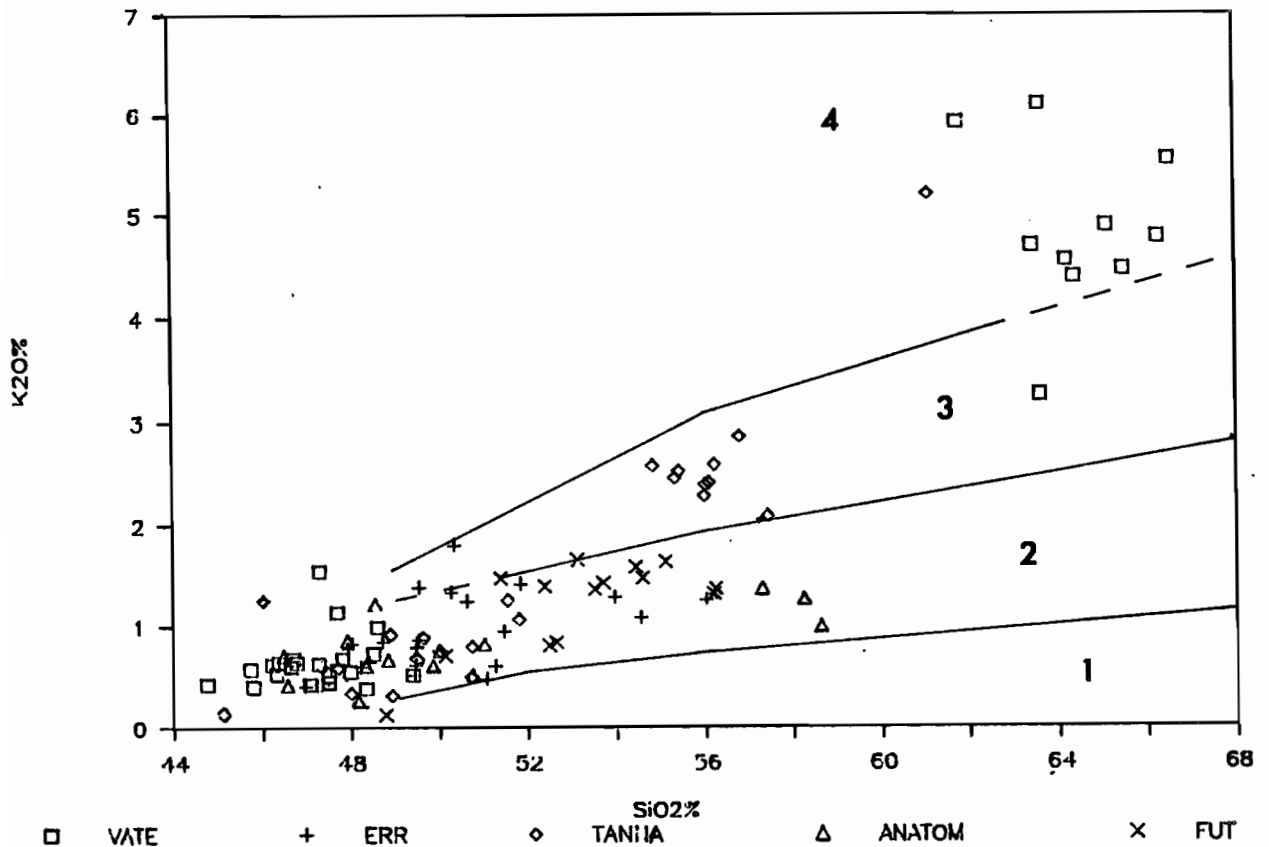


h/ Les valeurs de  $\text{P}_2\text{O}_5$  sont très dispersées, mais on peut distinguer un groupe de basaltes de Vaté plus riche (cercle 1) avec 0,45-0,50 % de  $\text{P}_2\text{O}_5$ . Les deux autres basaltes de l'île (cercle 2) sont également un peu enrichis par rapport à ceux des autres îles.



1 = Peu K (potassique) 2 = Médium K 3 = Très K 4 = Shoshonite

i/ Les laves basiques montrent assez peu de variation. Elles appartiennent en majorité au domaine "medium-K" du diagramme de Peccerillo et Taylor, à l'exception de deux basaltes [AYMAC40 et TAC35b : "low-K"]. La dacite de Vaté est dans le champ "high-K".



j -  $K_2O\%$  - Données complémentaires des analyses de la bibliographie présentées dans le tableau IV-4 (vol.2) - Diagramme de Peccerillo & Taylor (1976).

## LAVES DES ILES CENTRALES

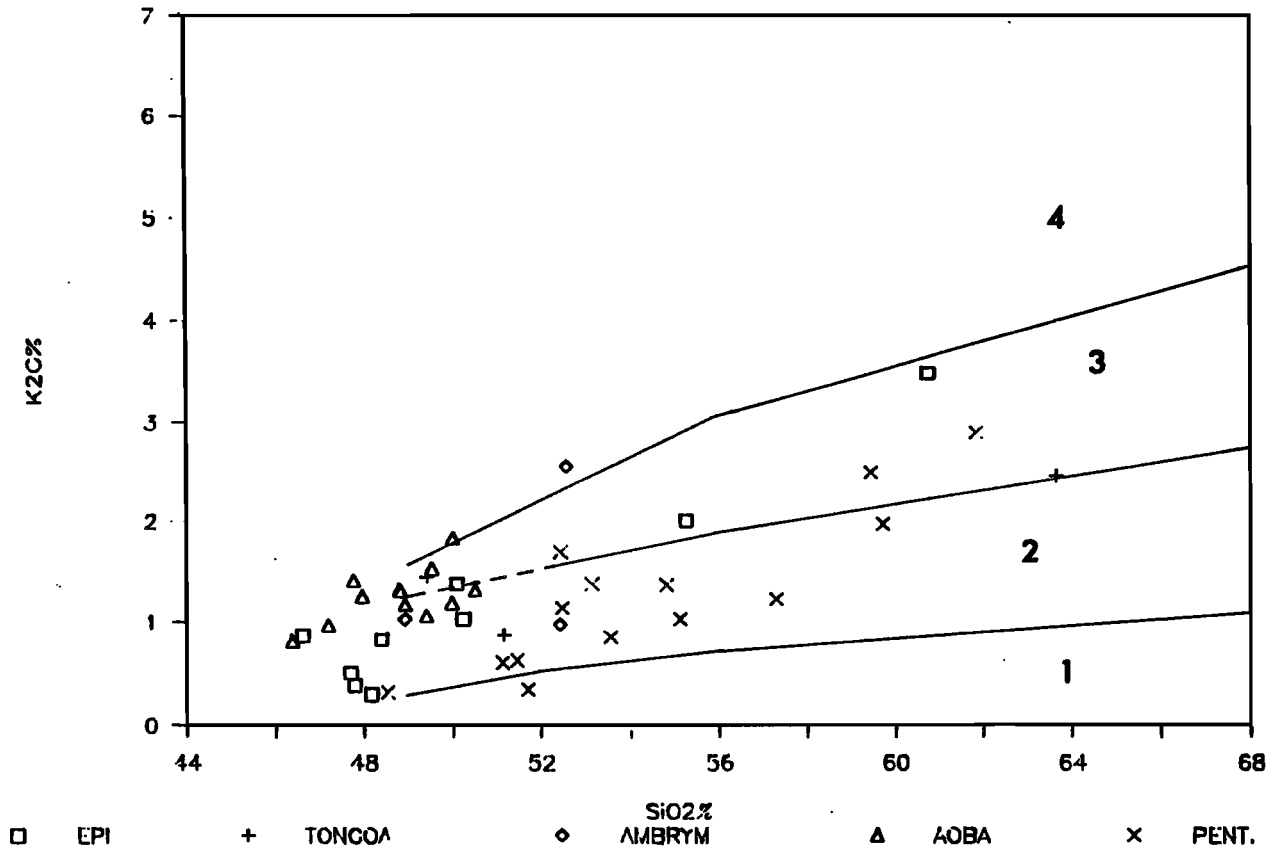


Figure IV-3 : Variation de  $K_2O\%$  en fonction de  $SiO_2\%$  dans les laves des îles centrales (données bibliographiques, tab.IV-5, vol.2).

*Variation of  $K_2O\%$  contents versus  $SiO_2\%$  in the lavas of the central islands.*



**Figure IV-4 : Variation des éléments en traces en fonction de  $\text{SiO}_2\%$  dans les laves des îles Banks.**

**a - Ni; b - Cr; c - Ni / MgO%; d - Co; e - V; f - Sr;**

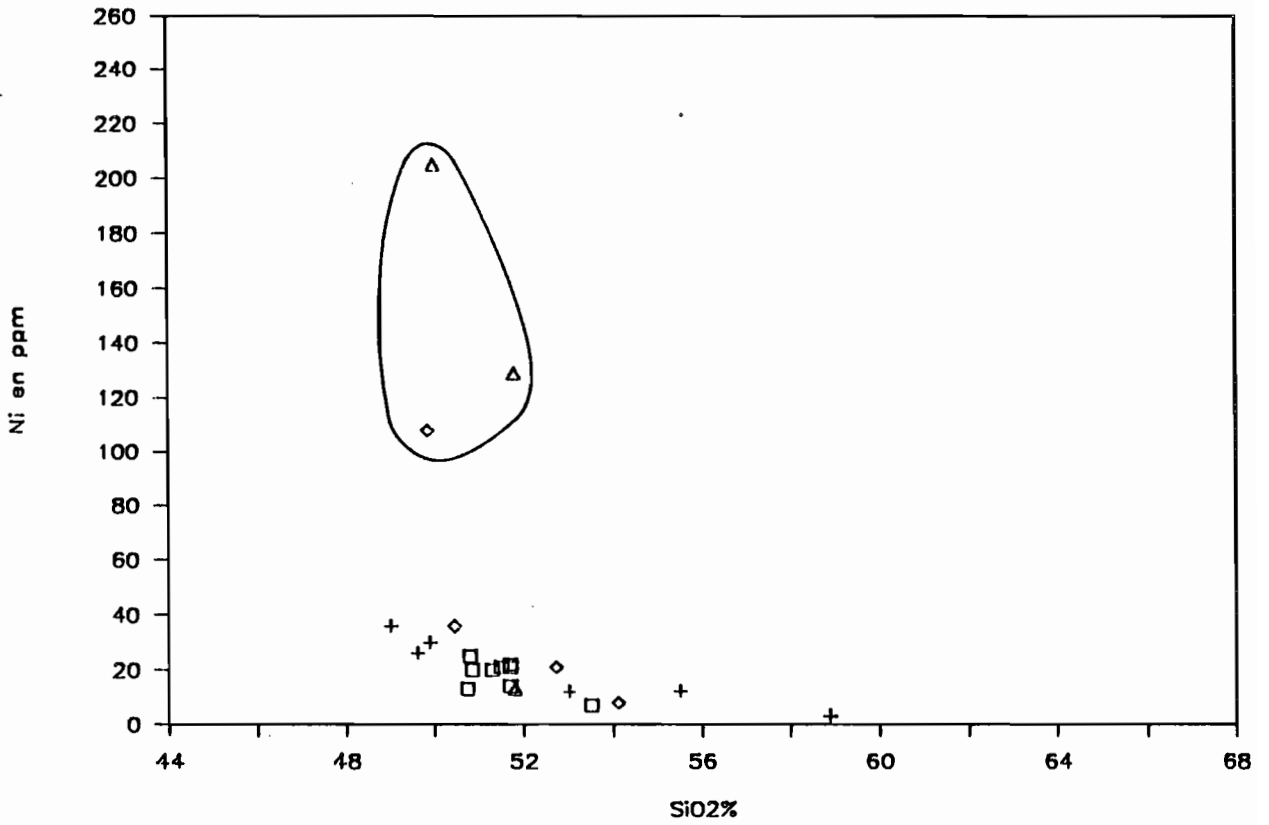
**g - Rb; h - Ba.**

*Variation of the trace elements versus  $\text{SiO}_2\%$  in the lavas of Banks islands.*

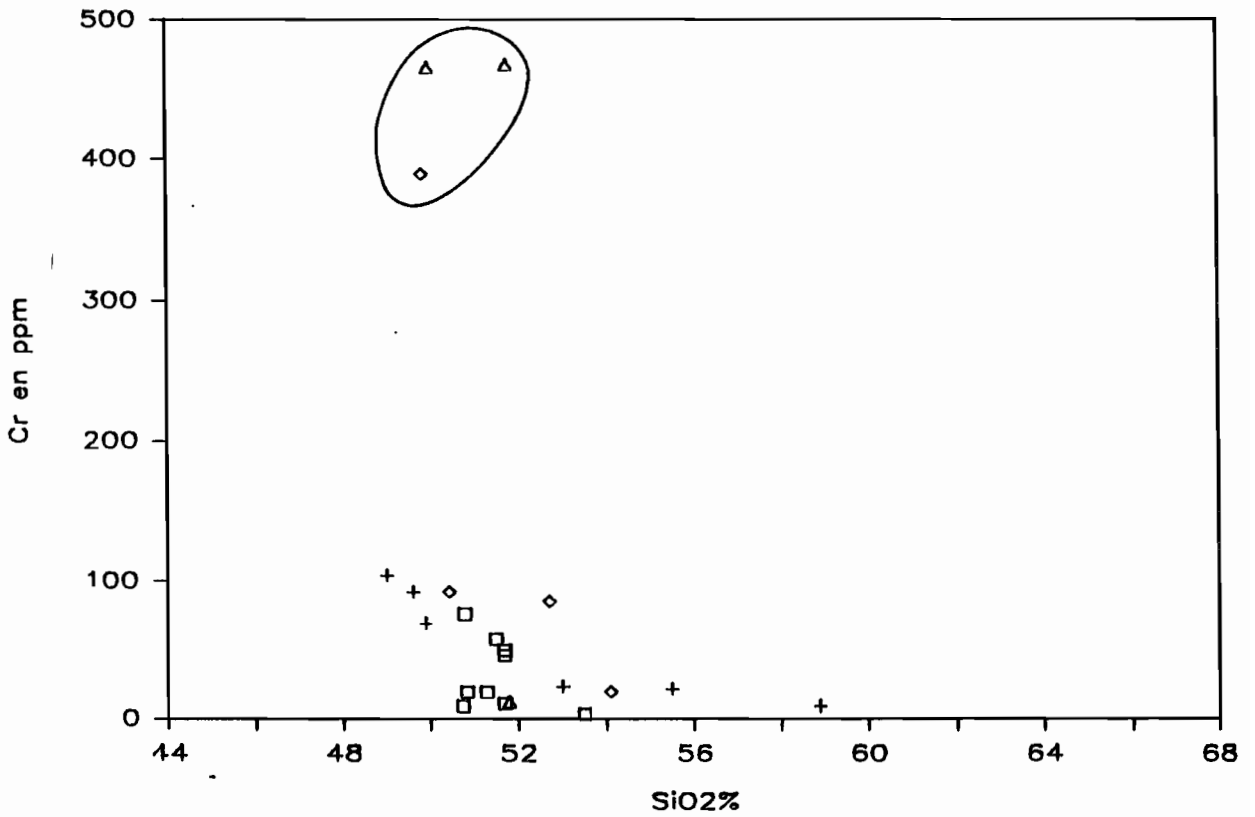
*a - Ni; b - Cr; c - Ni / MgO%; d - Co; e - V; f - Sr;*

*g - Rb; h - Ba.*

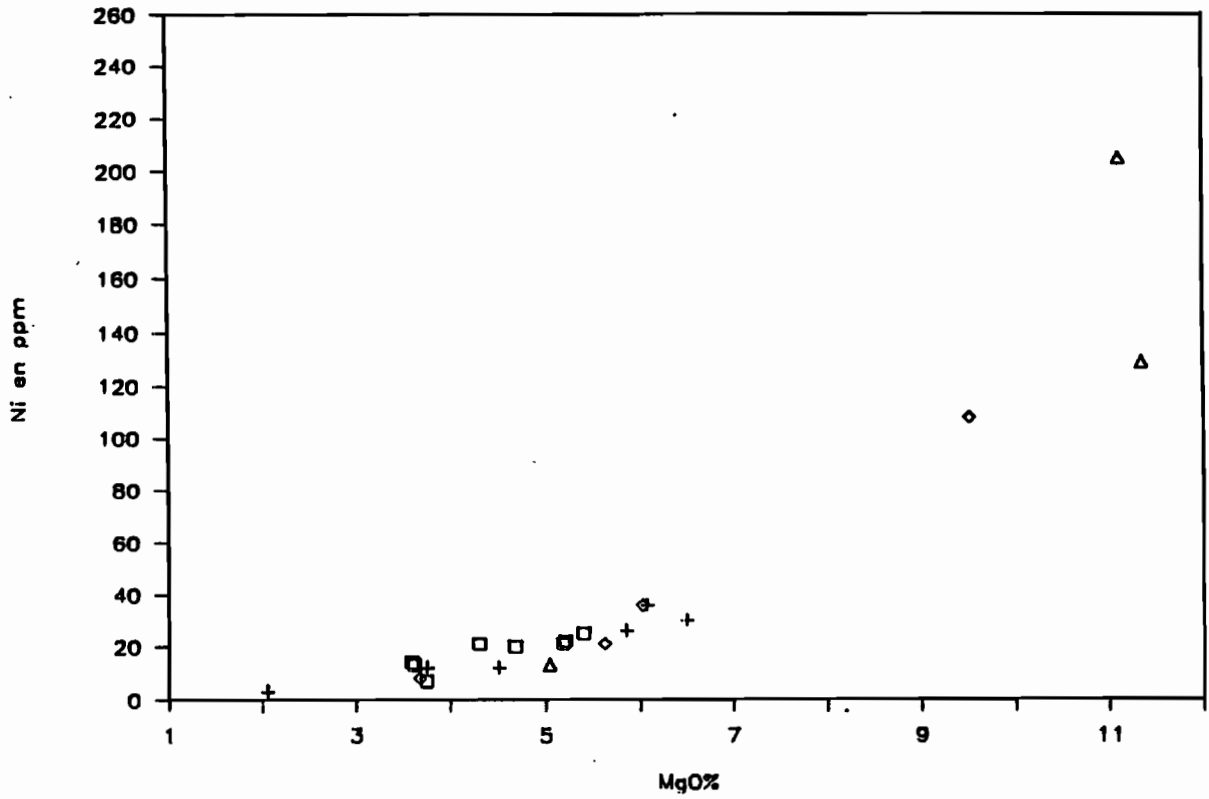
|   |                          |                 |
|---|--------------------------|-----------------|
| □ | Ureparapara              | Iles Banks nord |
| + | Mota et Vanua Lava       |                 |
| ◇ | Vot Tande et Mota Lava   |                 |
| △ | Merig, Mere Lava et Gaua | Iles Banks sud  |



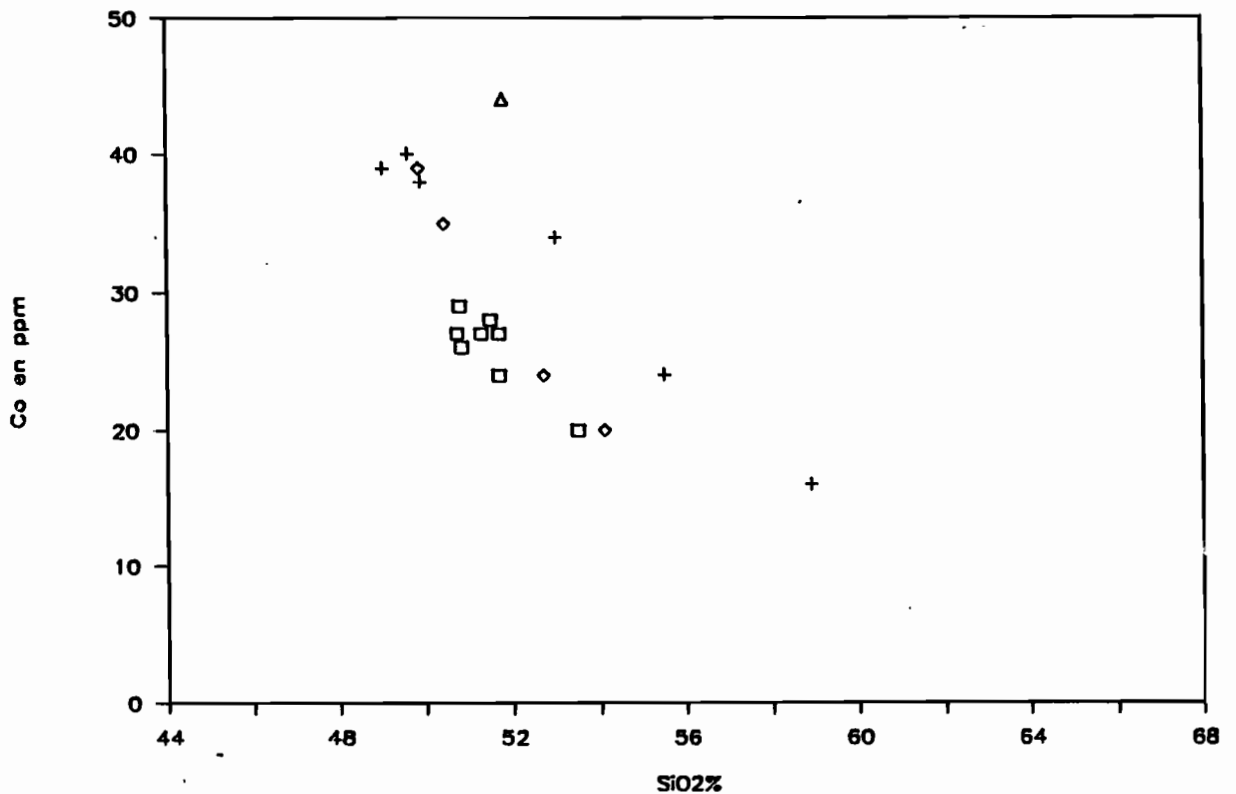
a/ Les teneurs en Ni sont généralement faibles, < 40 ppm, comme dans les laves orogéniques, sauf dans les basaltes ankaramitiques [MVA15, MERM10 et MLKK1] cerclés.



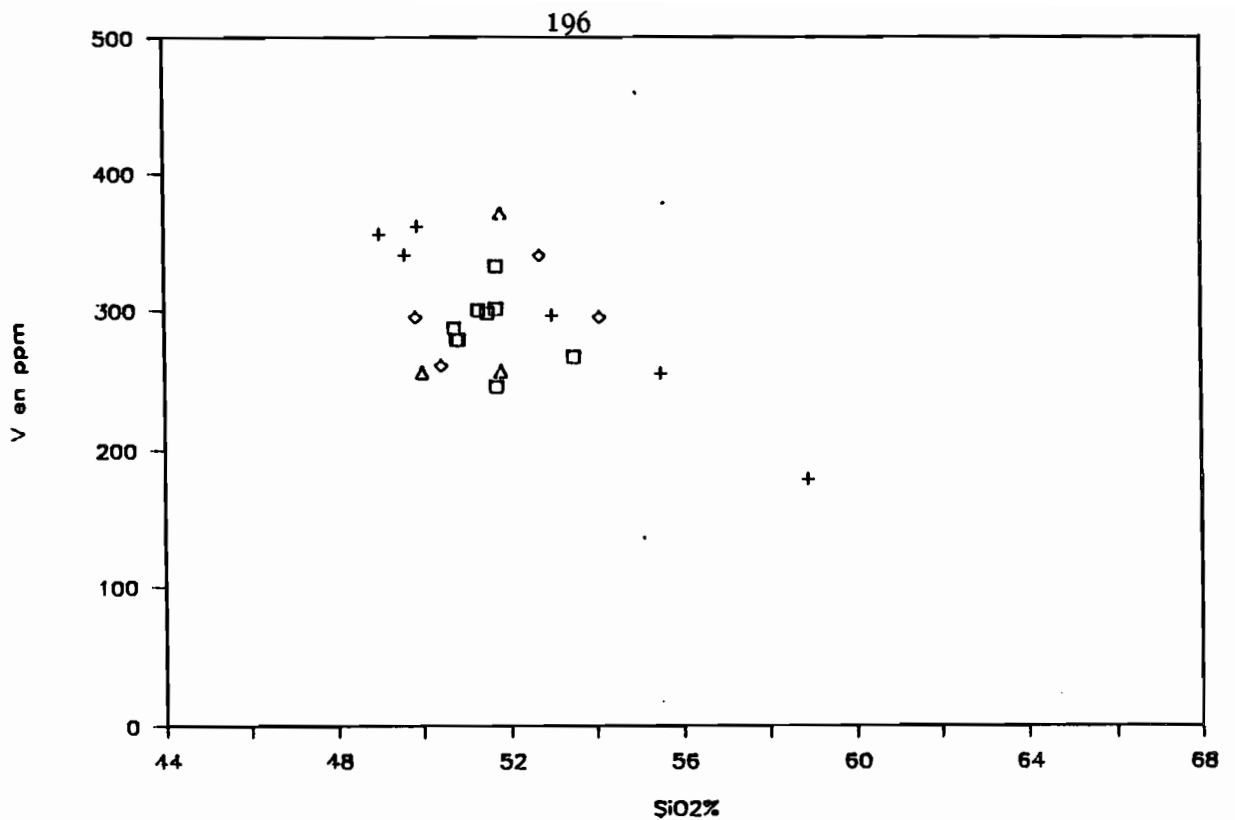
b/ Cr montre un comportement similaire à Ni.



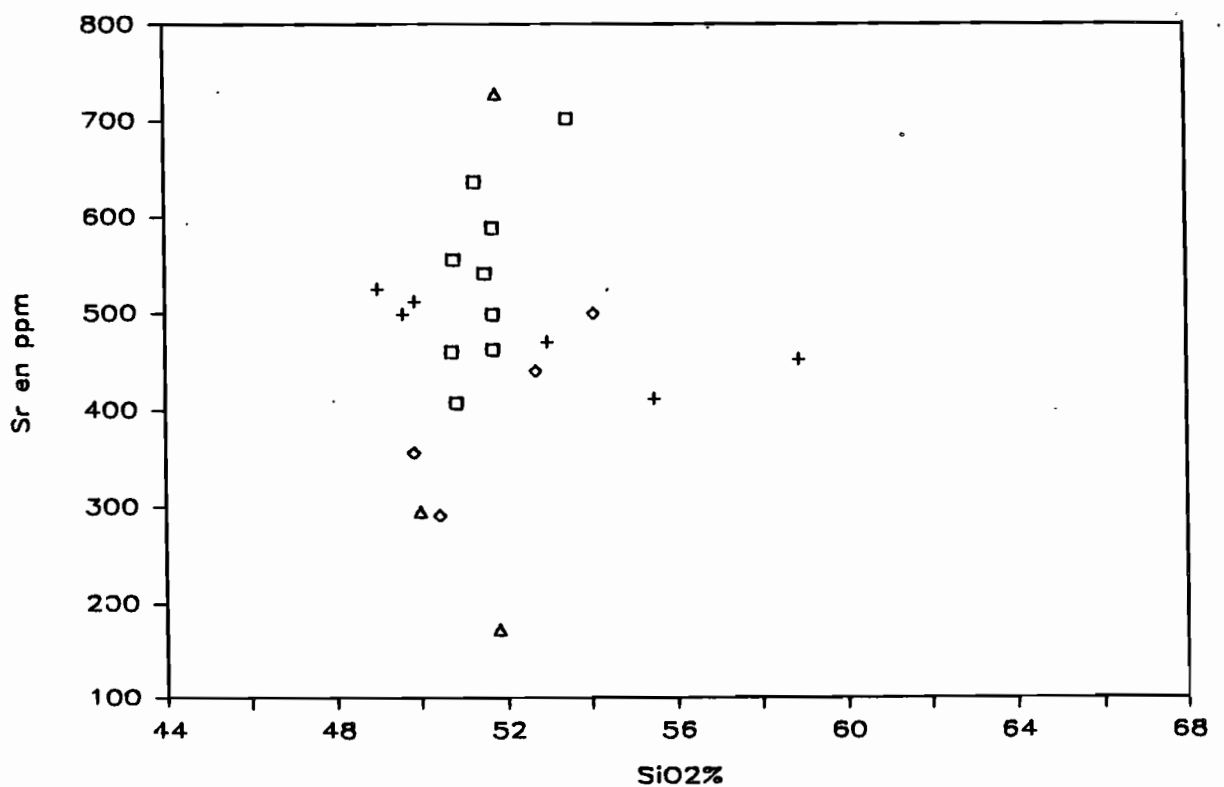
c/ Ni est nettement corrélé avec MgO, à l'exception toutefois du basalte [MERM10] de Merig très enrichi en Ni.



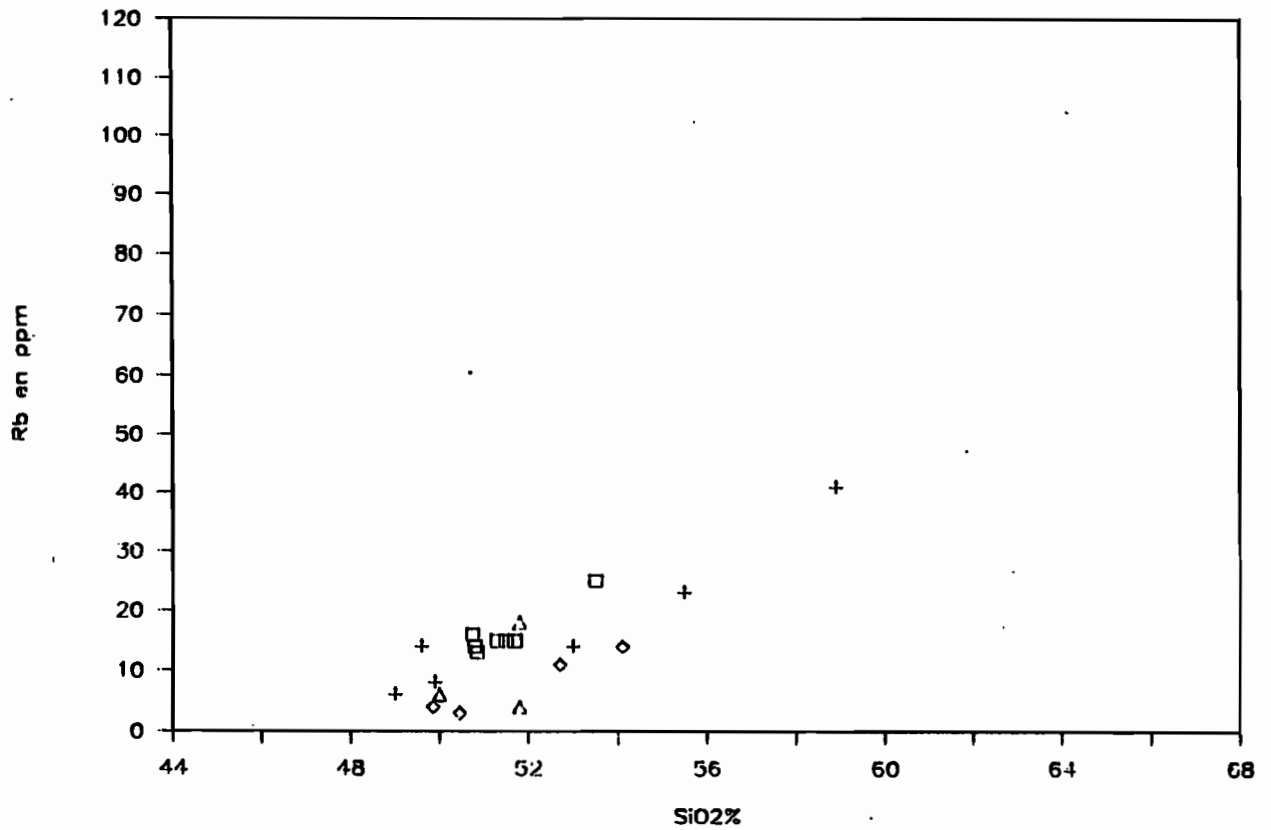
d/ Les teneurs en cobalt diminuent, lorsque l'on va vers les termes acides, selon une droite de pente prononcée. Les laves d'Ureparapara et de Vot Tande sont légèrement plus pauvres en Co.



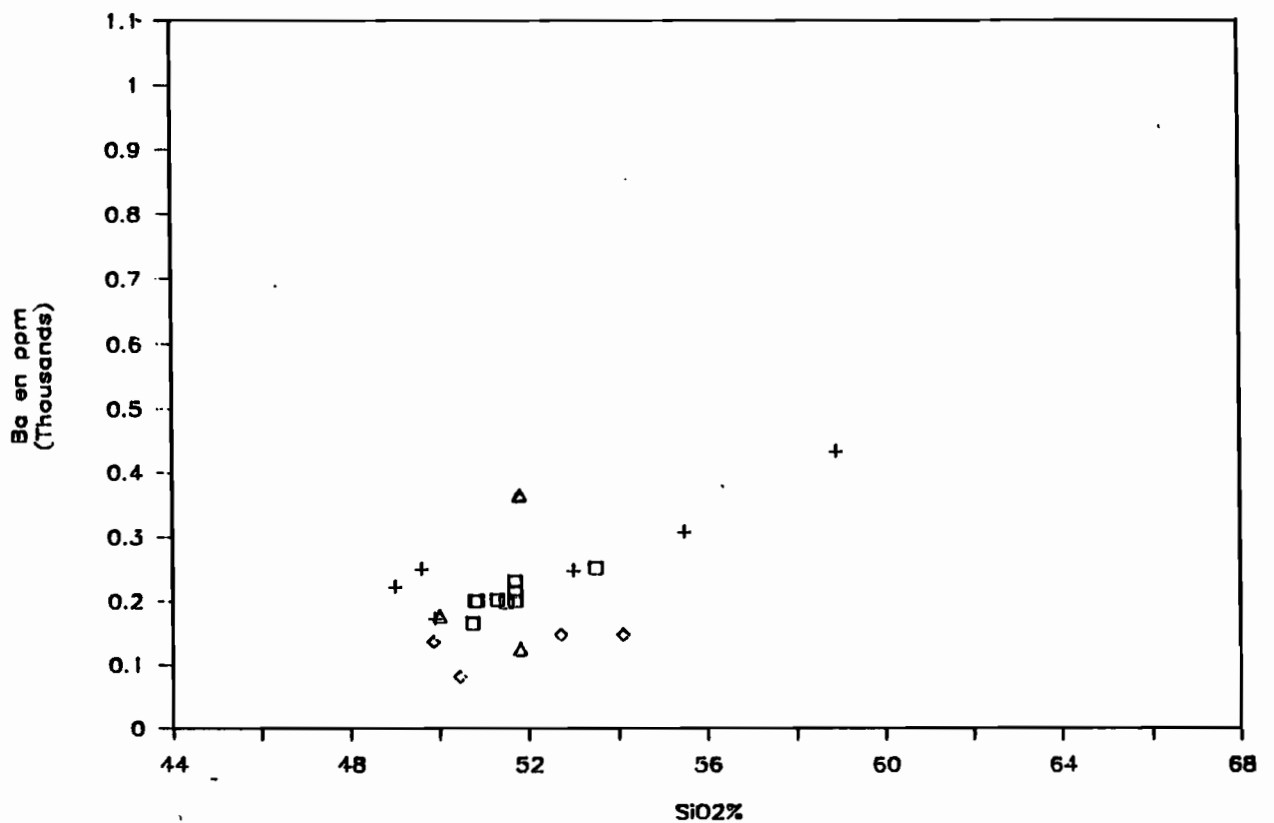
e/ Le vanadium décroît avec  $\text{SiO}_2$  (voir en particulier les laves de Vanua Lava). Ceci traduit le rôle important du fractionnement des oxydes ferro-titanés au cours de l'évolution des magmas.



f/ Les teneurs en Sr montrent une extrême dispersion (170-730 ppm), même pour les laves d'une même île comme Ureparapara où les teneurs varient entre 400 et 700 ppm pour un même type de volcanites. Le manque de corrélation nette est sans doute lié en partie à la cumulation de plagioclases. Des valeurs de 1000 ppm sont décrites pour certains basaltes de Gaua (Barsdell *et al.*, 1982).



g/ Rb reproduit exactement le diagramme  $K_2O/SiO_2$  (Fig. IV-1-i). Des teneurs atteignant 100 ppm sont connues dans les andésites acides et dacites potassiques de Gaua (Barsdell *et al.*, 1982).



h/ Ba montre un spectre identique à celui de  $K_2O$  et Rb.



**Figure IV-5 : Variation des éléments en traces en fonction de  $\text{SiO}_2\%$  dans les laves des îles sud de la chaîne centrale.**

**a - Ni; b - Cr; c - Ni / MgO%; d - Co; e - V; f - Sr;**

**g - Rb; h - Ba.**

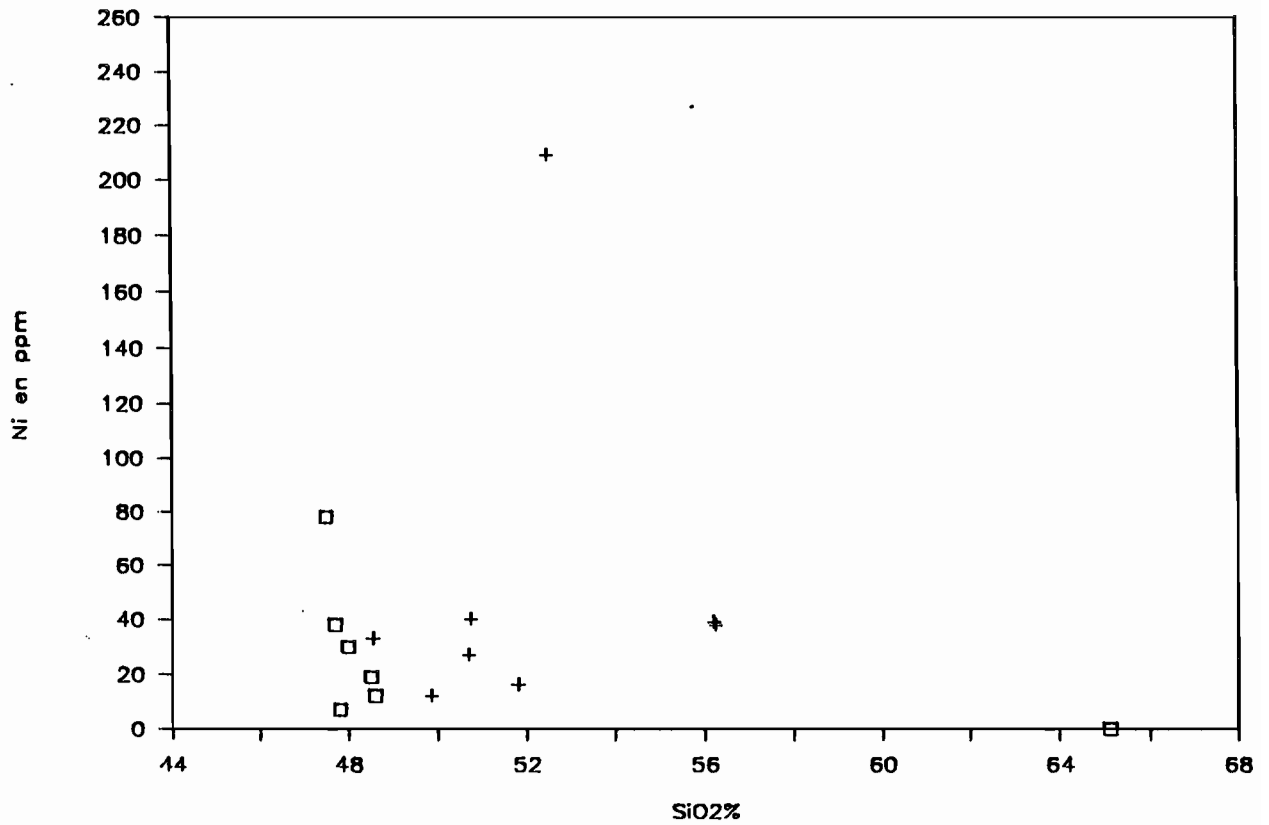
*Variation of the trace elements versus  $\text{SiO}_2\%$  in the lavas of the southern central chain islands.*

*a - Ni; b - Cr; c - Ni / MgO%; d - Co; e - V; f - Sr;*

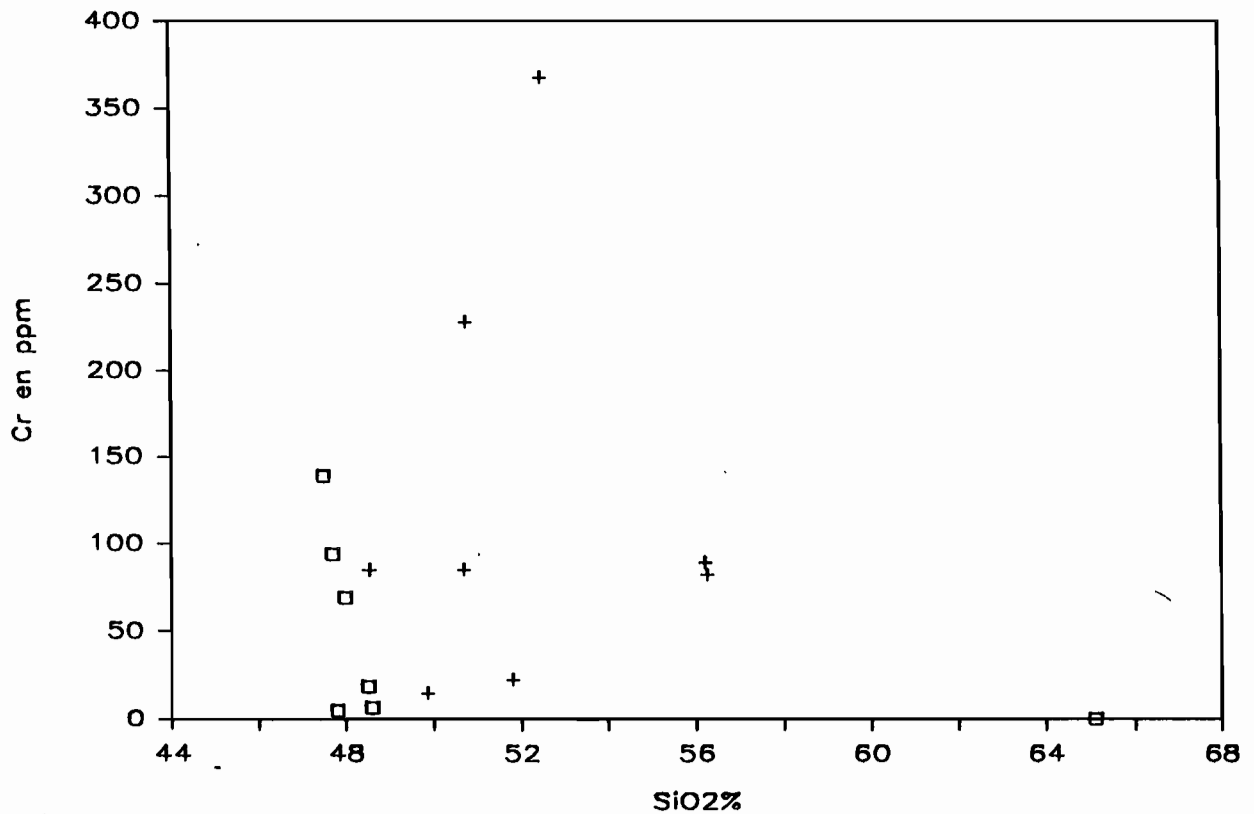
*g - Rb; h - Ba.*

□ **Vaté**

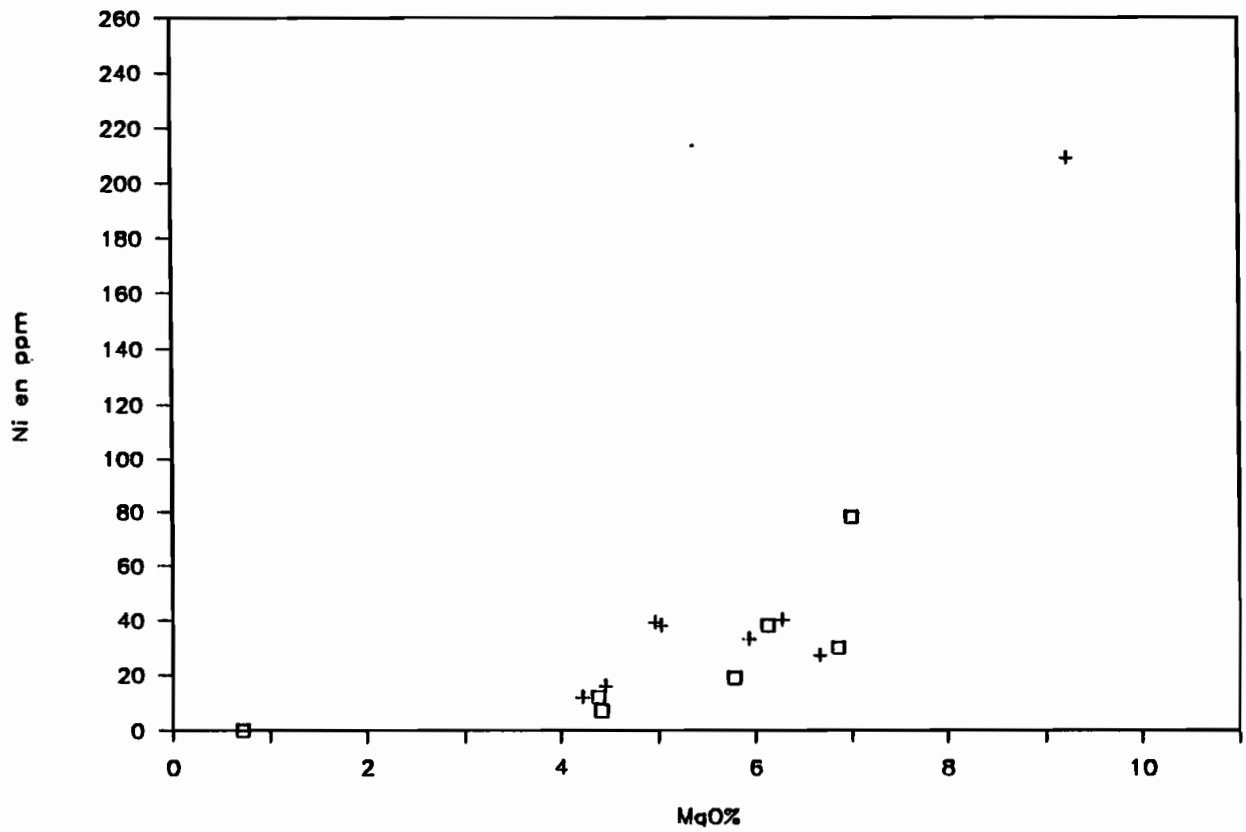
+ **Anatom, Tanna et Futuna**



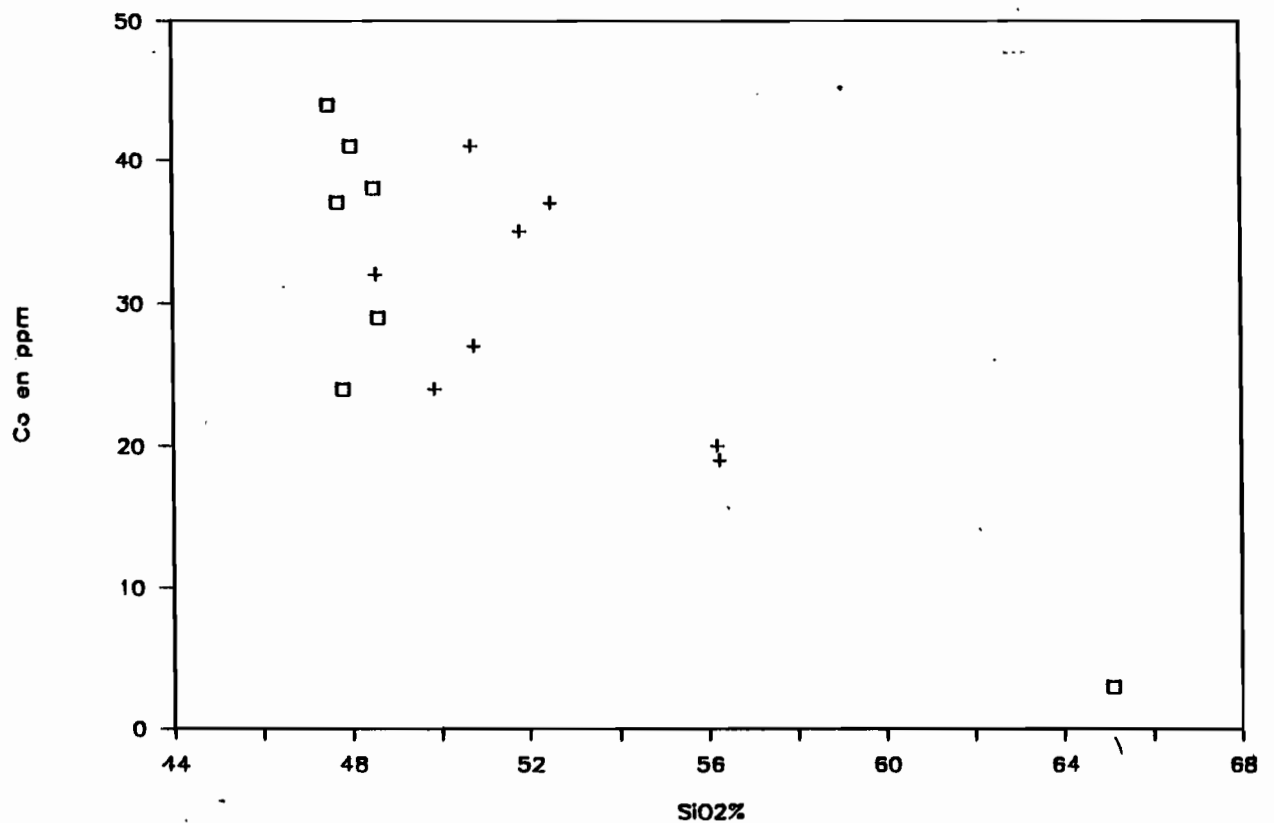
a/ Ni est peu abondant (< 40 ppm) à deux exceptions près : 80 ppm dans Q3 (Vaté) et surtout 210 ppm dans FMAC48 (Futuna).



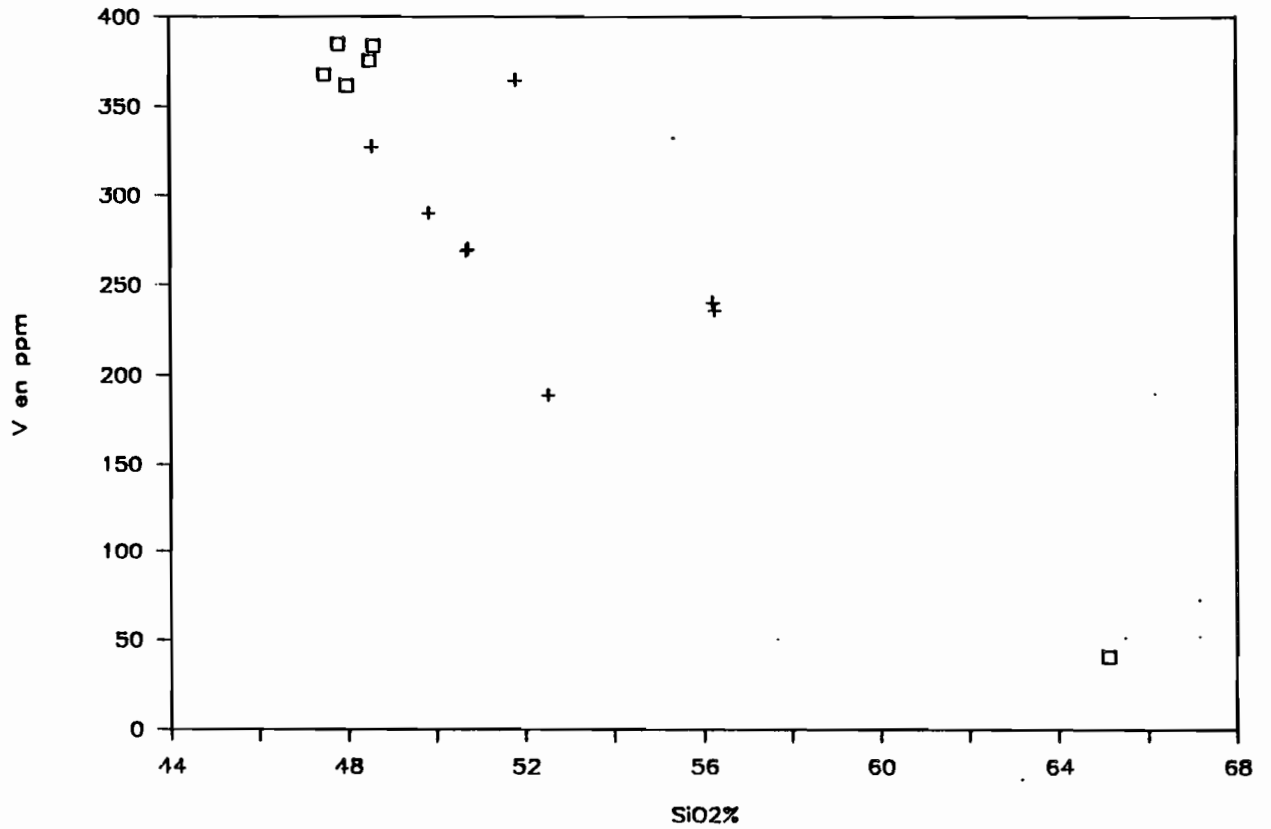
b/ Les teneurs en chrome sont généralement inférieures à 100 ppm. Cet élément est plus concentré dans les basaltes Q3 de Waté (140 ppm), AYM40 d'Anatom (230 ppm) et FMAC48 de Futuna (370 ppm).



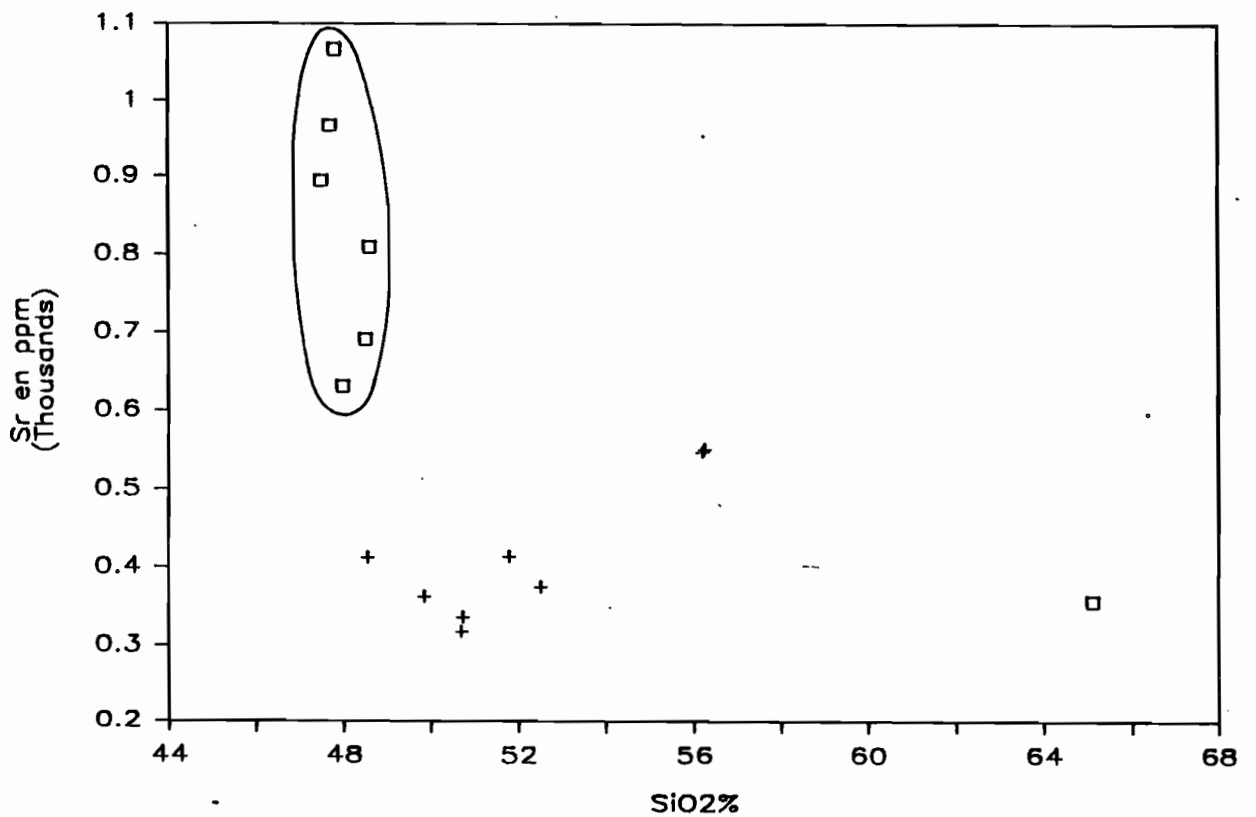
c/ La corrélation entre Ni et MgO est assez bonne dans les laves basiques.



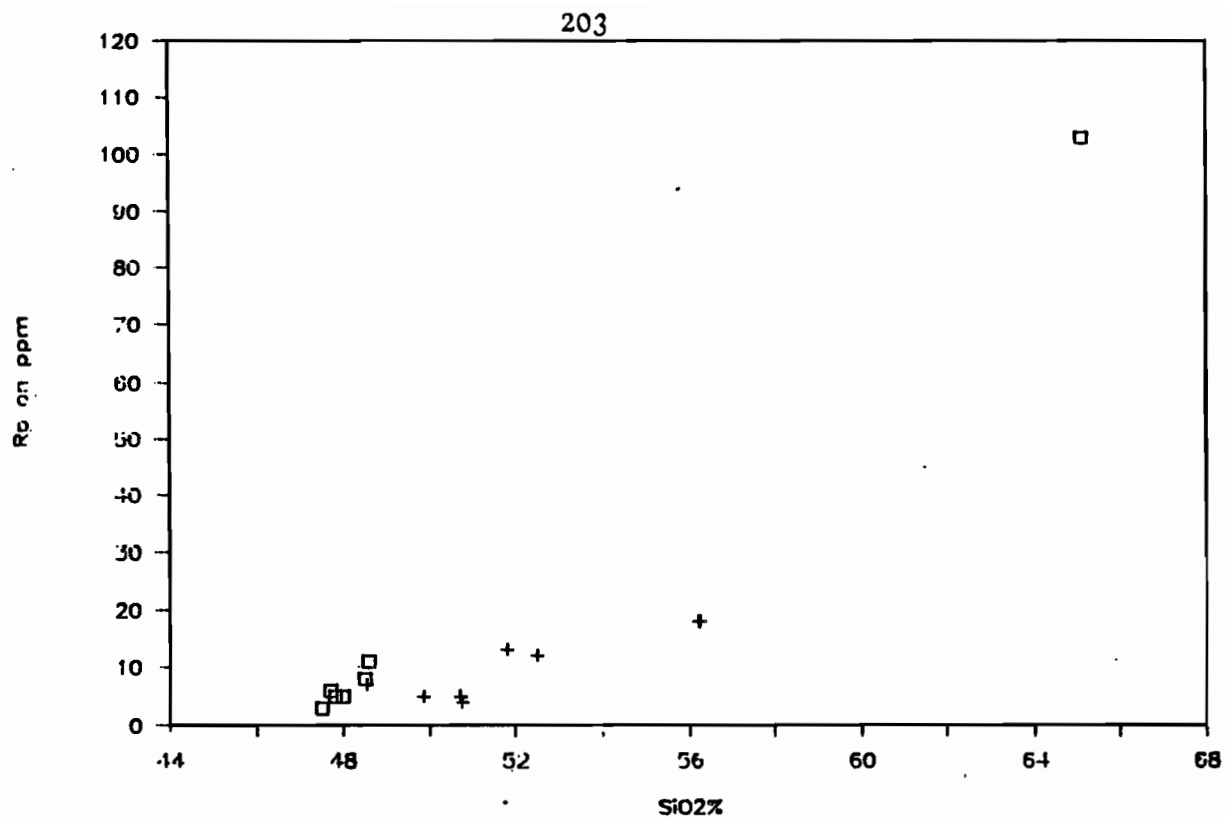
d/ Co décroît, en règle générale, au cours de la différenciation, mais varie (25 à 45 ppm) dans les basaltes.



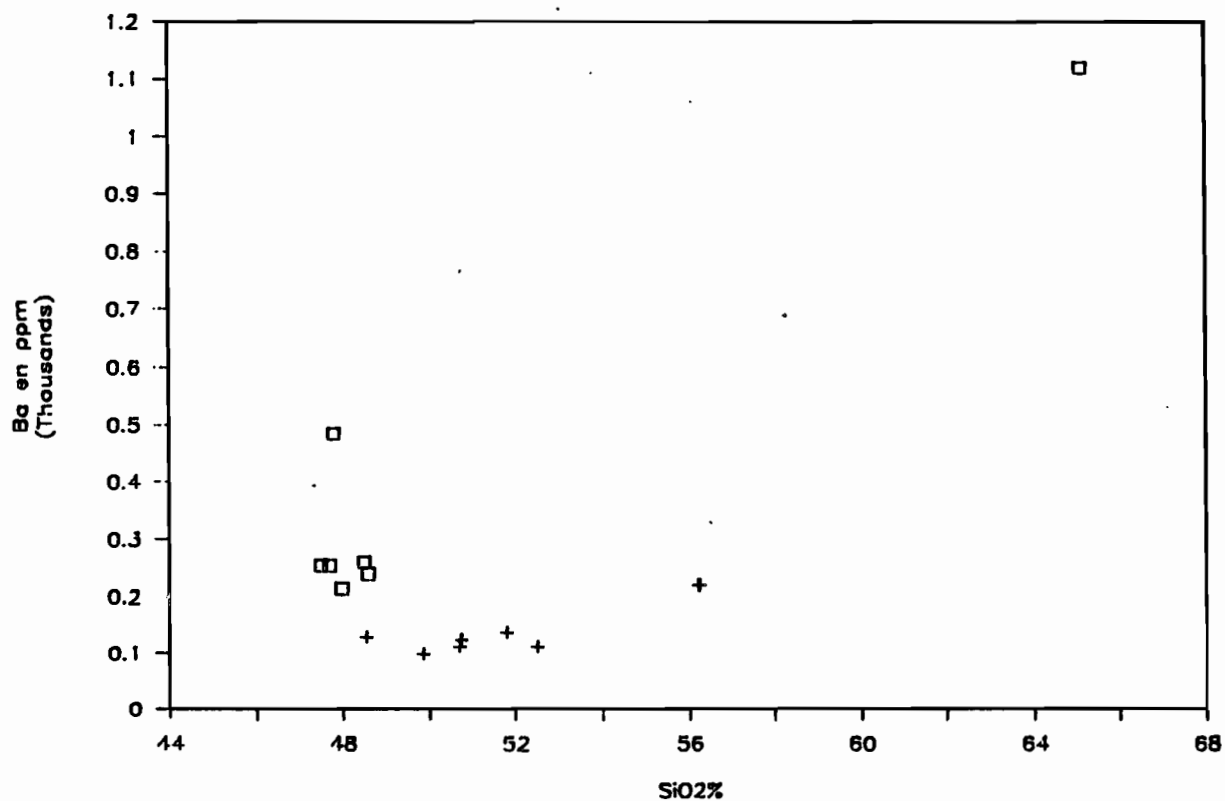
e/ V est également légèrement plus concentré dans les basaltes de Vaté (350 à 400 ppm) et décroît avec  $\text{SiO}_2$ .



f/ Sr est plus abondant (600 à 1100 ppm) dans les basaltes de Vaté, en comparaison des basaltes des autres îles (300 à 600 ppm). Ces valeurs élevées sont également supérieures à celles des laves des îles Banks.



g/ Rb/SiO<sub>2</sub> reproduit de diagramme K<sub>2</sub>O/SiO<sub>2</sub>.



h/ La tendance générale de Ba est d'augmenter au cours de la différenciation, mais le groupe des basaltes de l'île de Vaté est nettement plus riche (200 à 500 ppm). Quelques valeurs de 60 à 90 ppm se rencontrent dans des basaltes des îles de Futuna, Tanna et Anatom (Carney et Macfarlane, 1979).



Figure IV-12 : Variation des oxydes en fonction de  $\text{SiO}_2\%$  dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

a -  $\text{TiO}_2\%$ ; b -  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ ; c -  $\text{MgO}\%$ ; d -  $\text{MnO}\%$ ; e -  $\text{CaO}\%$ ;

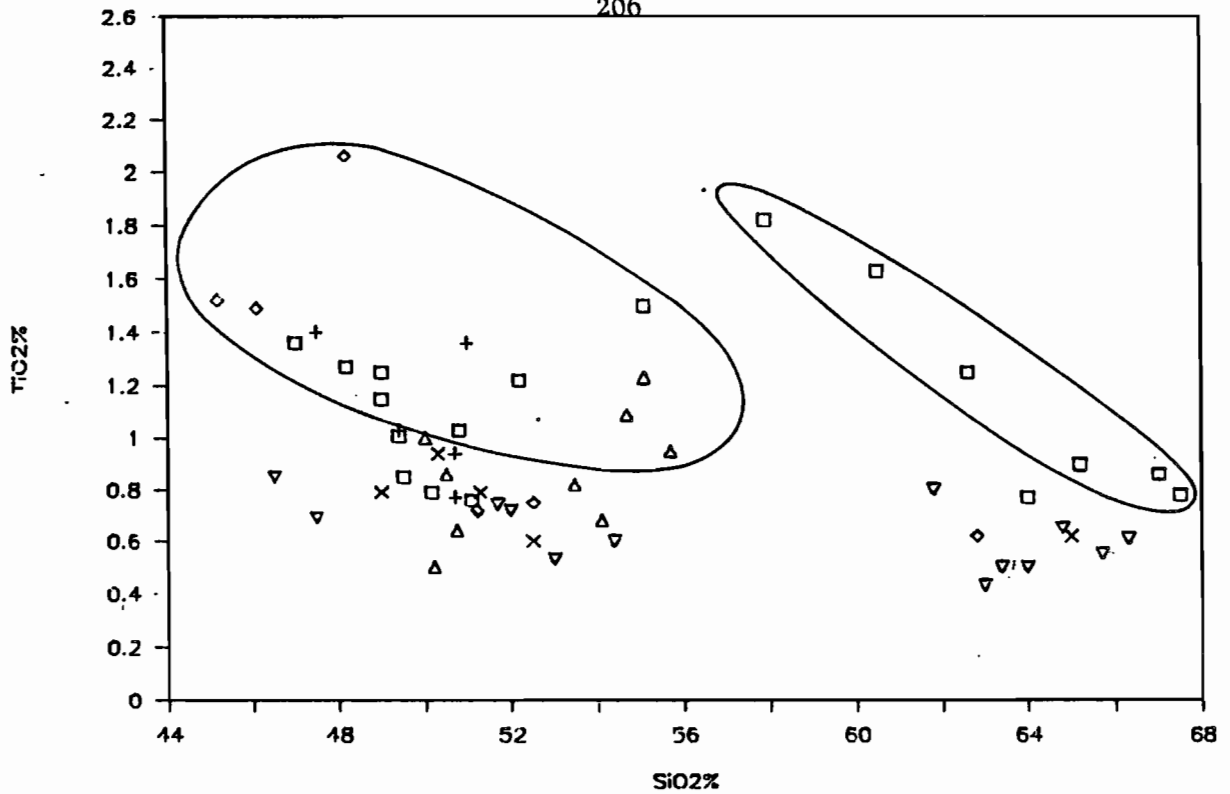
f -  $\text{Na}_2\text{O}\%$ ; g -  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*\%$ ; h -  $\text{P}_2\text{O}_5\%$ ; i -  $\text{K}_2\text{O}\%$ ;

*Variation of the oxydes contents versus  $\text{SiO}_2\%$  for the lavas of New Hebrides troughs.*

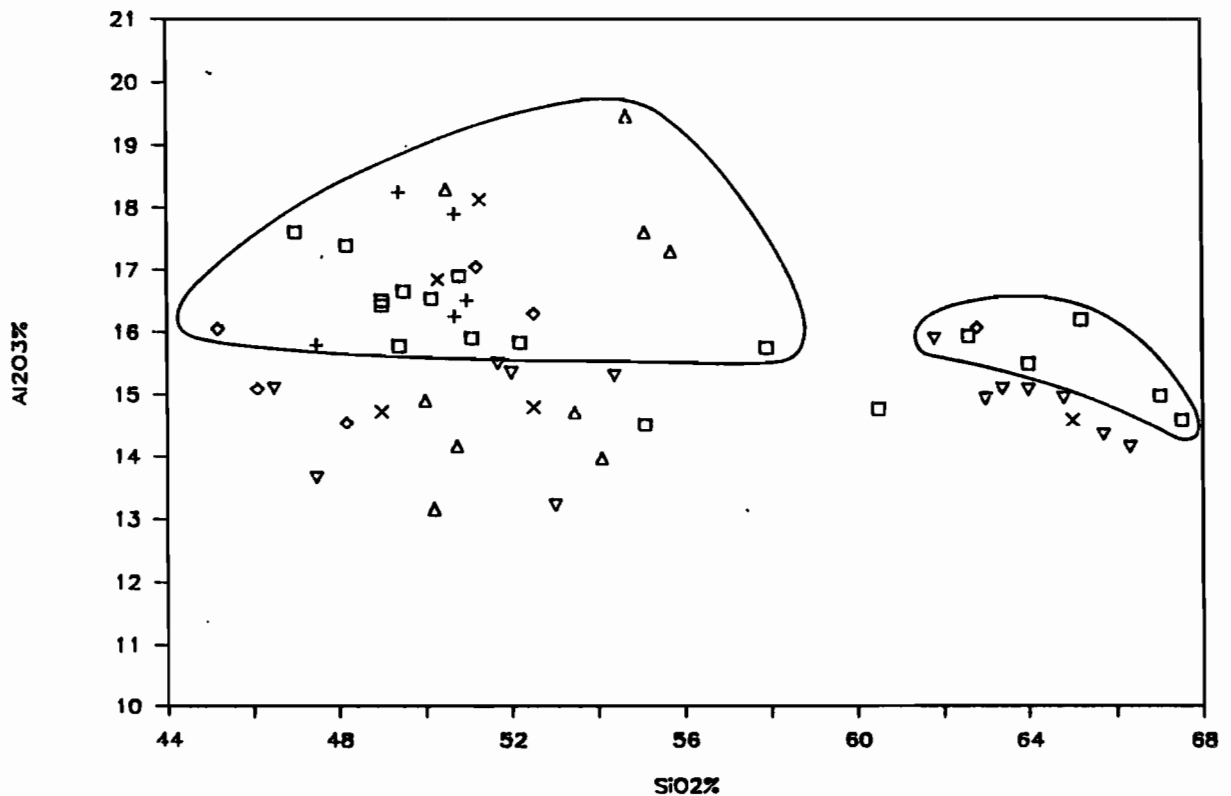
a -  $\text{TiO}_2\%$ ; b -  $\text{Al}_2\text{O}_3\%$ ; c -  $\text{MgO}\%$ ; d -  $\text{MnO}\%$ ; e -  $\text{CaO}\%$ ;

f -  $\text{Na}_2\text{O}\%$ ; g -  $\text{Fe}_2\text{O}_3^*\%$ ; h -  $\text{P}_2\text{O}_5\%$ ; i -  $\text{K}_2\text{O}\%$ ;

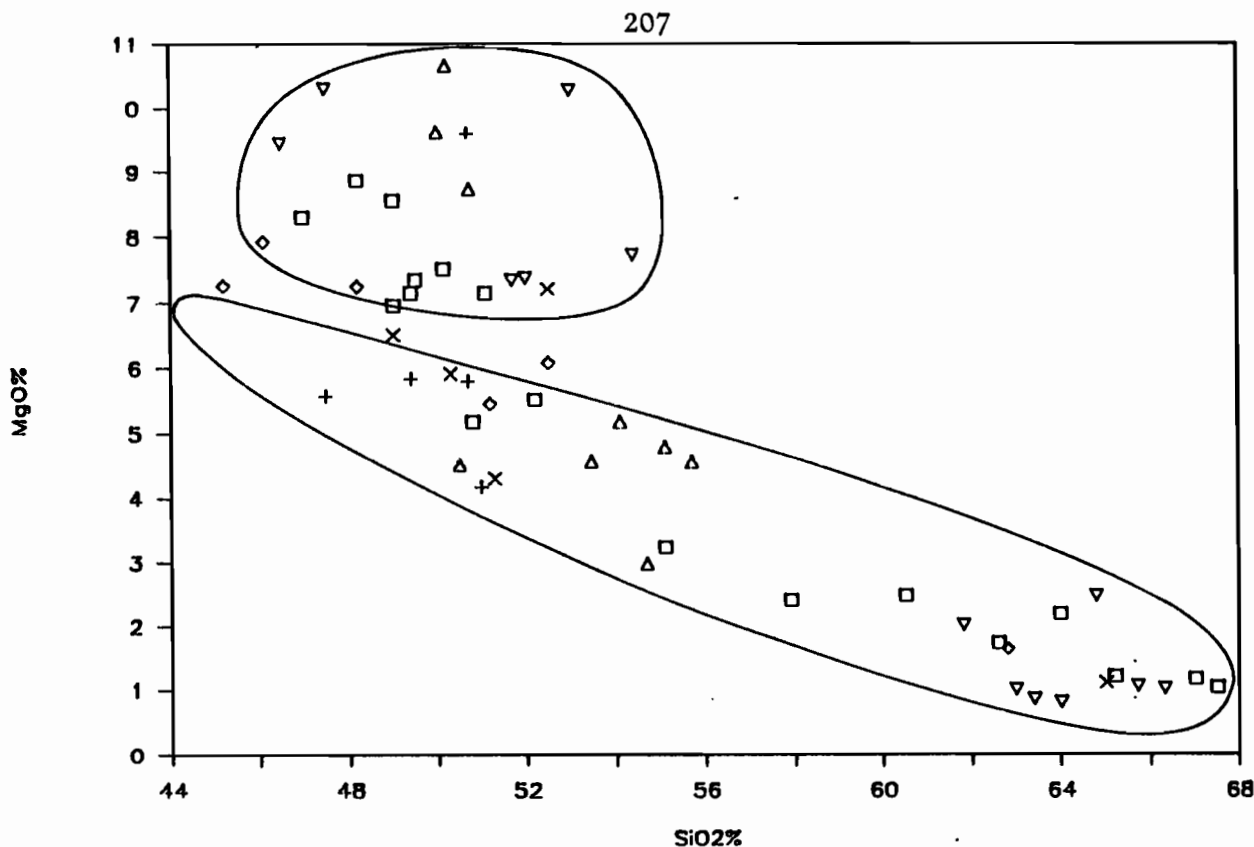
|   |                  |                  |
|---|------------------|------------------|
| □ | Zone Vanikoro    | ] Fossés du Nord |
| + | Zone Vot Tande   |                  |
| ◇ | Zone Hazel Holme |                  |
| ▽ | Zone Vaté        | ] Fossés du Sud  |
| × | Zone Erromango   |                  |
| △ | Zone Futuna      |                  |



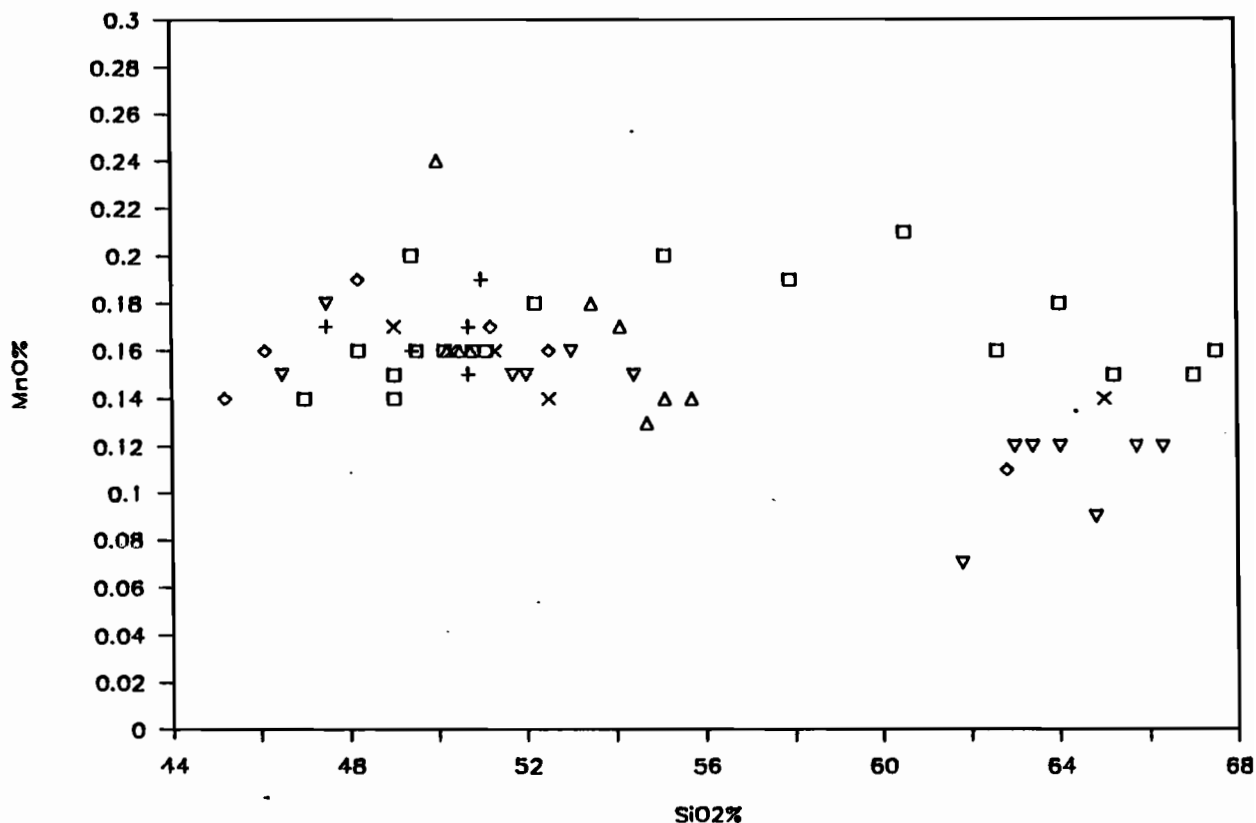
a/  $\text{TiO}_2$  met en évidence deux groupes de valeurs au niveau des laves basiques : un groupe entre 1,15 et 2,1 % [D7M2, D7M3, D2M1, D2M5, D3M3, D7M4 (zone VANIKORO), D11M1, D11M2 (zone Vot Tande), D14M1, D14M2, D14M14 (zone Hazel Holme)] et un groupe de moins de 1 % de  $\text{TiO}_2$ . Les laves acides de la zone VANIKORO sont également plus riches en  $\text{TiO}_2$  (0,75 à 1,8 %) que celles des autres zones (0,4 à 0,8 %).



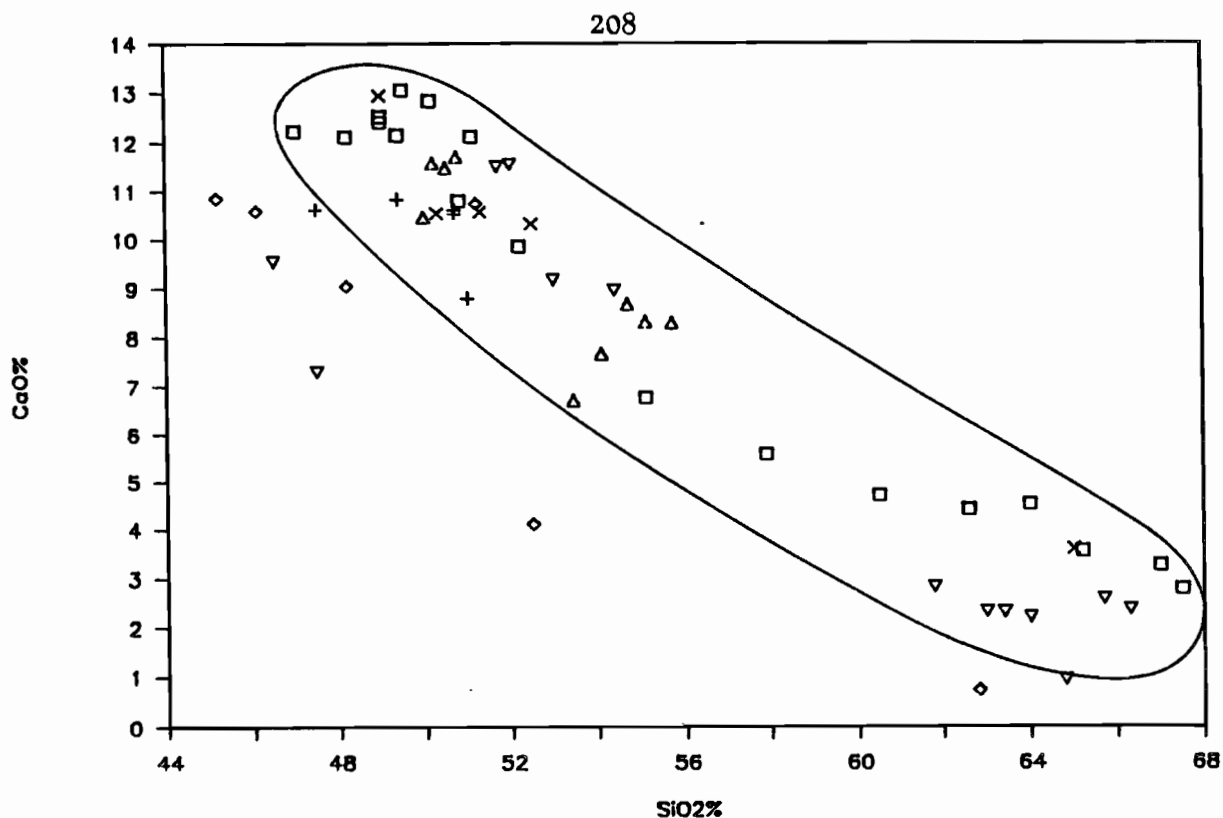
b/  $\text{Al}_2\text{O}_3$  varie entre 13 et 19,5 % dans les basaltes. On remarque une distinction entre les laves des fossés du Jean-Charcot (plus riches en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) et celles des fossés du Coriolis (avec moins de 16 % d' $\text{Al}_2\text{O}_3$  en général). Les teneurs des laves acides de la zone VATE ne montrent pas d'évolution nette par rapport aux laves basiques de cette zone, tandis que les laves de la zone VANIKORO montrent une baisse de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en fonction de  $\text{SiO}_2$ .



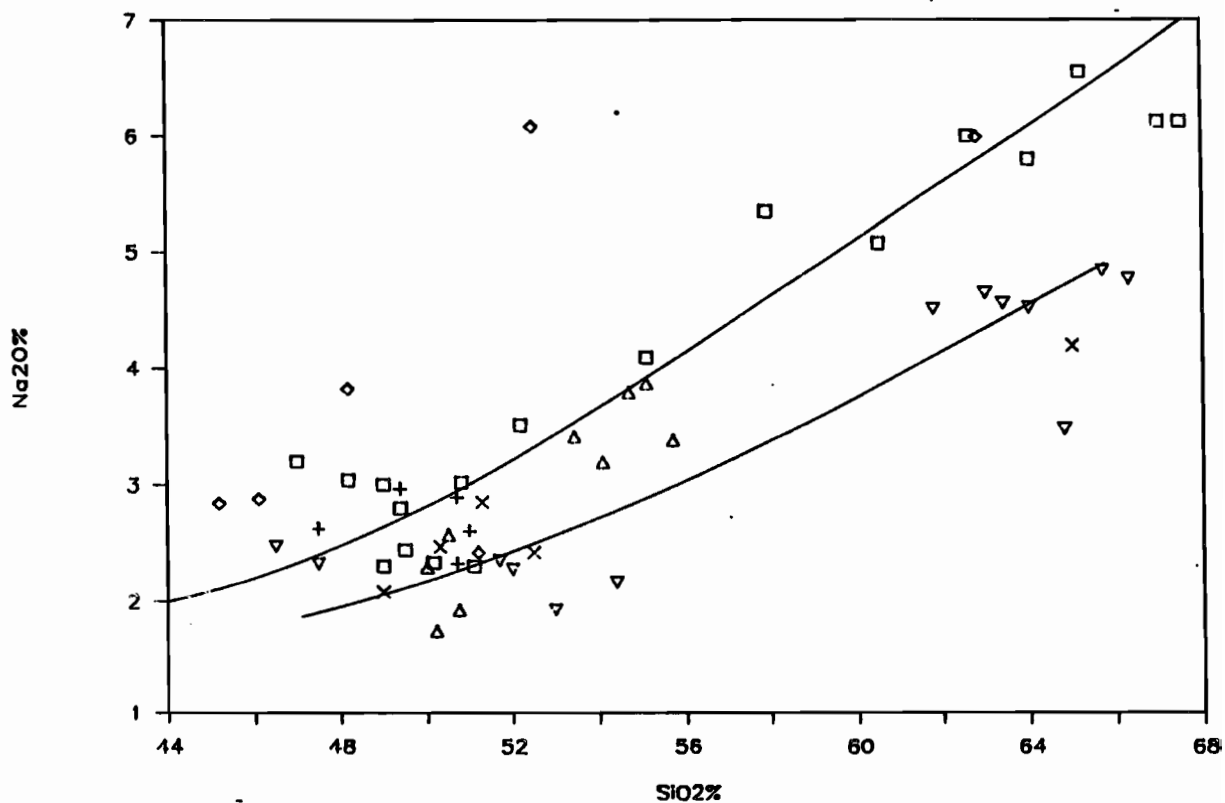
c/ MgO présente une importante dispersion des teneurs dans les basaltes (4 à 11 %) et montre une diminution des teneurs dans les termes acides (1 à 3 %). Dans les basaltes on peut établir une coupure entre 7 et 8 %. Le groupe des valeurs les plus élevées se démarque de l'évolution générale, baisse régulière de la teneur en MgO en fonction de la différenciation. On y trouve la majorité des basaltes des zones VANIKORO et HAZEL HOLME. Les valeurs > 9 % correspondent aux laves à tendance ankaramitique qui proviennent surtout des fossés du Coriolis.



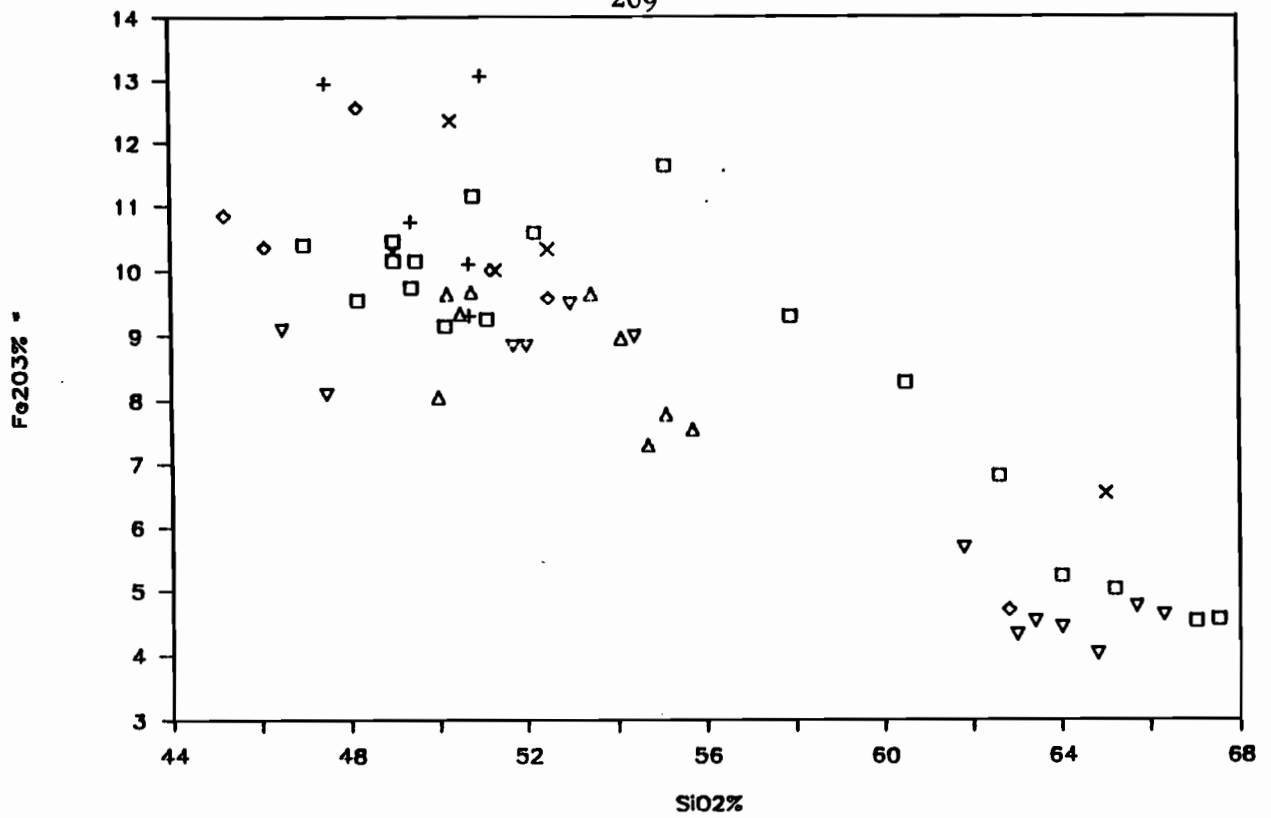
d/ MnO ne montre pas de variation significative quelle que soit la teneur en silice. Les valeurs sont très groupées (0,14 à 0,25 % dans les laves basiques).



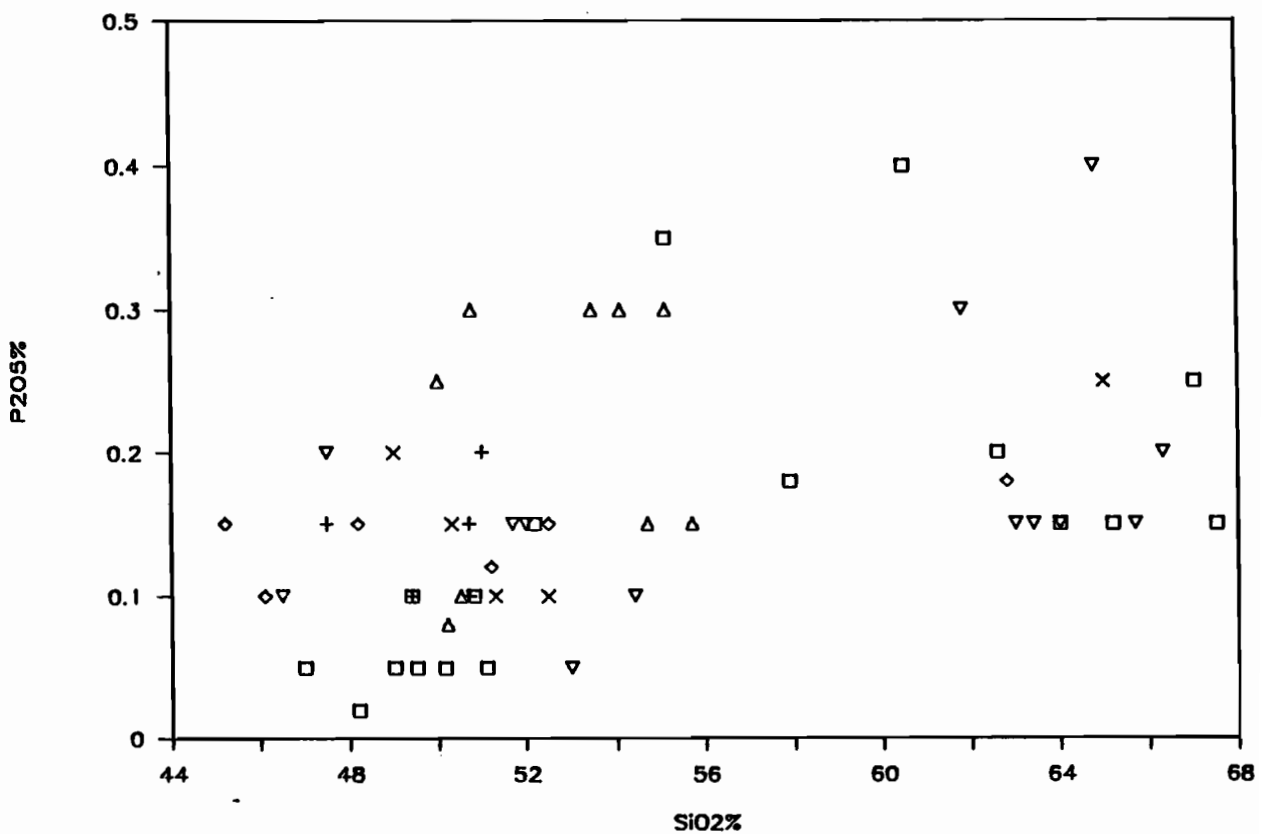
e/ CaO chute lors de la différenciation. On remarque toutefois un groupe de laves basiques légèrement plus pauvre qui comporte la majorité des basaltes de la zone HAZEL HOLME et D27M12 - D29M6 de la zone VATE.



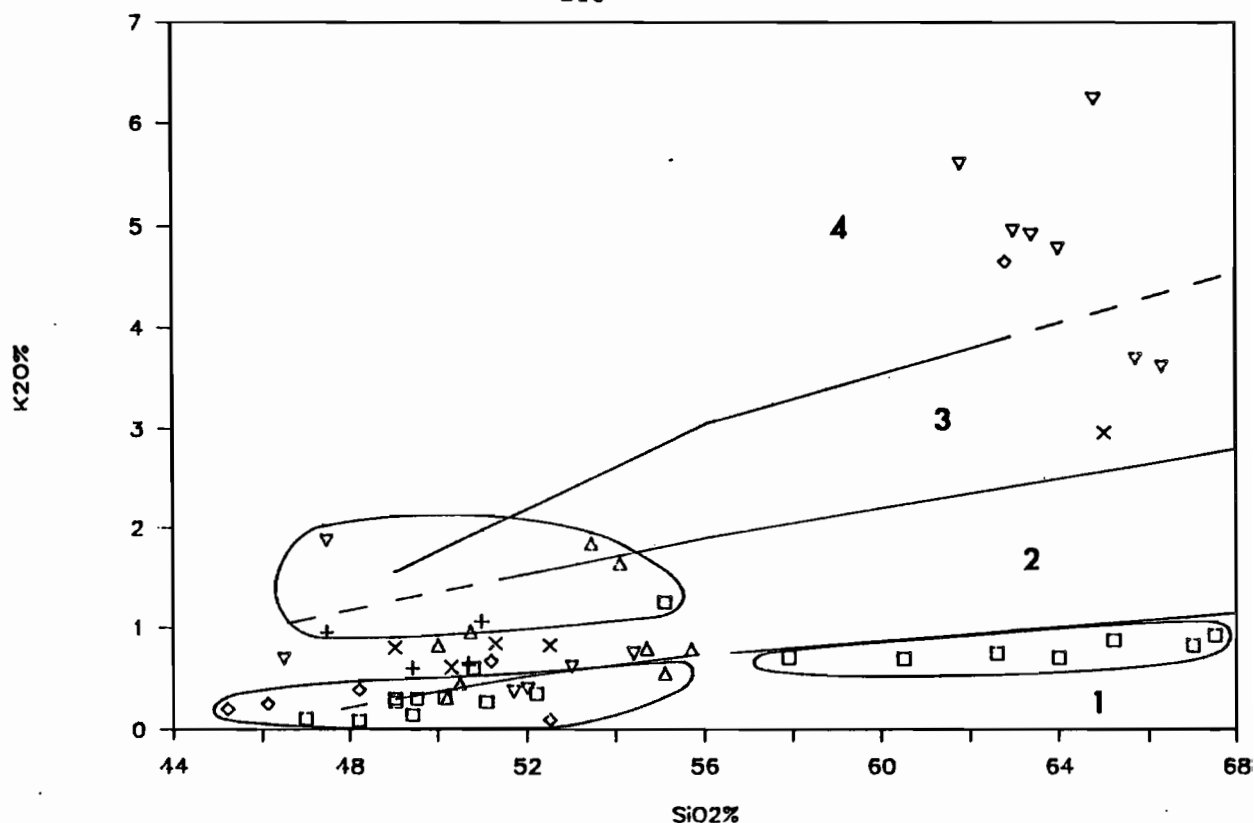
f/ La teneur en Na<sub>2</sub>O montre une augmentation relativement régulière lorsque l'on va vers les termes les plus différenciés. Toutefois, les laves des fossés du Jean-Charcot ont une tendance sensiblement plus sodique que celles des fossés du Coriolis ; cette tendance s'accroît au niveau des laves acides.



g/  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  diminue des basaltes aux dacites.



h/ Les valeurs de  $\text{P}_2\text{O}_5$  sont très faibles (0,05 à 0,4 %) et ne montrent pas de corrélation simple avec celles de  $\text{SiO}_2$ .



1 = Peu K (potassique) 2 = Médium K 3 = Très K 4 = Shoshonite

i/  $K_2O$  montre une importante variabilité.

Au niveau des basaltes et des andésites basiques ( $SiO_2 < 57\%$ ), on distingue :

\* un groupe peu potassique,  $K_2O = 0,09$  à  $0,4\%$  [D7M2, D7M3, D2M1, D2M5, D3M4, D3M3, D5M1, D5M4, D5M5 (zone VANIKORO) ; D14M1, D14M2, D14M5, D14M14 (zone HAZEL-HOLME) ; D21M7, D20M4 (zone FUTUNA) ; D31M1, D31M2 (zone VATE)] ;

\* un groupe de basaltes et andésites basiques moyennement potassiques,  $K_2O = 0,5$  à  $1,25\%$  [basaltes des zones VOT TANDE et ERROMANGO ; D6M1, D7M4 (zone VANIKORO) ; D15M6 (zone HAZEL HOLME) ; D19M1, D21M1, D20M3, D20M6 (zone FUTUNA) ; D27M12, D30M1, D30M2 (zone VATE)] ;

\* un groupe de basaltes et andésites basiques potassiques,  $K_2O = 1,6$  à  $1,9\%$  [D29M6 (zone VATE) ; D16M1, D17M3 (zone FUTUNA)].

Les laves acides se divisent aussi en plusieurs groupes :

\* un groupe peu potassique,  $K_2O = 0,7$  à  $0,95\%$  [laves de la zone VANIKORO] ;

\* un groupe potassique,  $K_2O = 2,95$  à  $3,7\%$  [D24M3 (zone ERROMANGO) ; D26M6, D26M7 (zone VATE)] ;

\* un groupe très potassique,  $K_2O = 4,6$  à  $6,25\%$  [D15M12 (zone HAZEL HOLME) ; D27M17, D27M1, D27M4, D28M1, D29M3 (zone VATE)].

Figure IV-13 : Variation des éléments en traces en fonction de  $\text{SiO}_2\%$  dans les laves des fossés des Nouvelles Hébrides.

a - Ni; b - Cr; c - Ni /  $\text{MgO}\%$ ; d - Co; e - V; f - Sr;

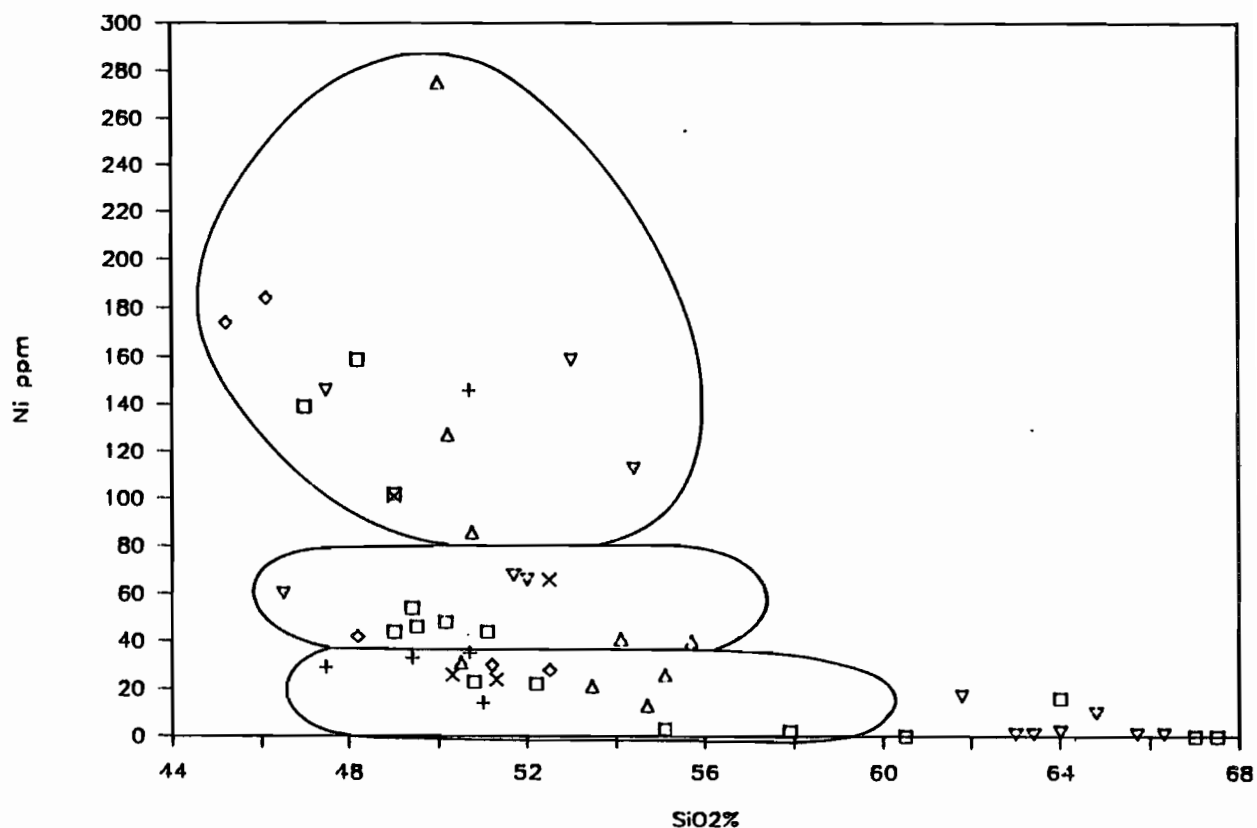
g - Rb; h - Ba.

*Variation of the trace elements versus  $\text{SiO}_2\%$  in the lavas of New Hebrides troughs.*

*a - Ni; b - Cr; c - Ni /  $\text{MgO}\%$ ; d - Co; e - V; f - Sr;*

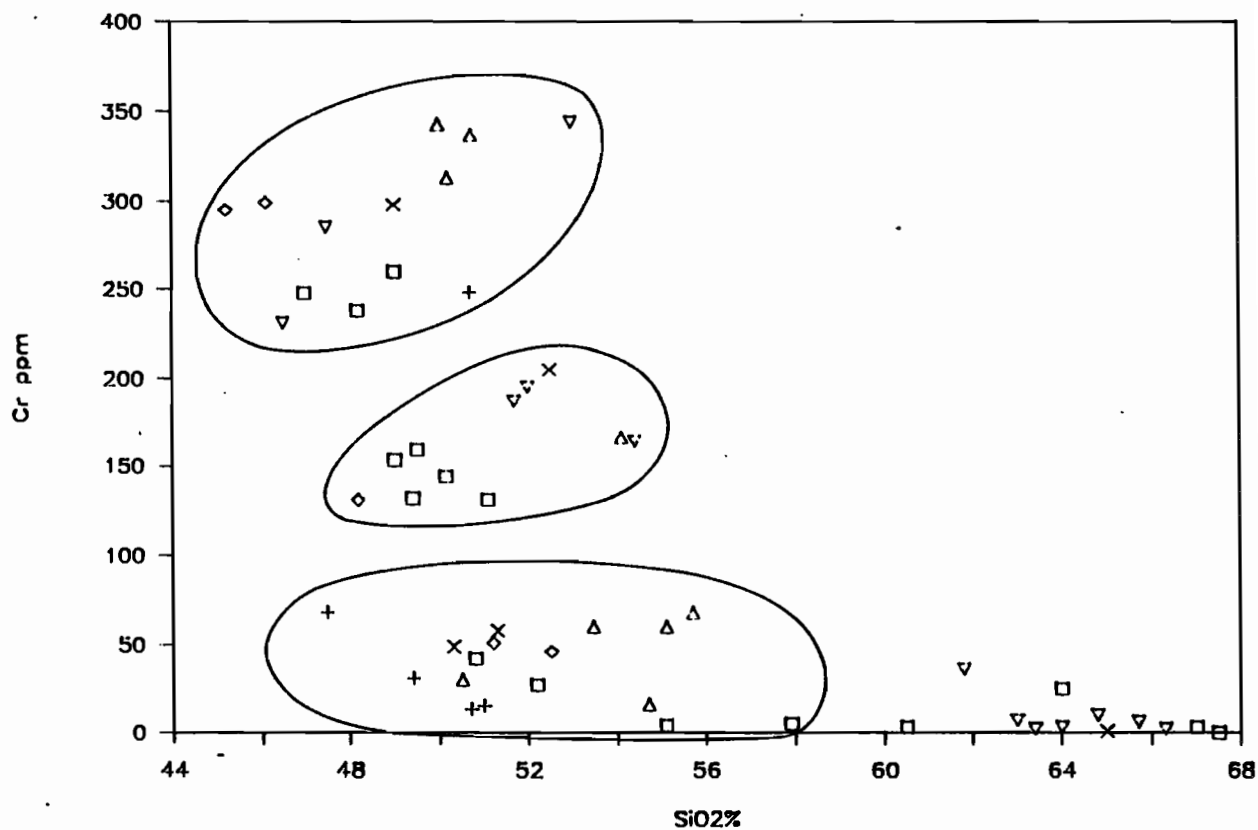
*g - Rb; h - Ba.*

|   |                  |                  |
|---|------------------|------------------|
| □ | Zone Vanikoro    | ] Fossés du Nord |
| + | Zone Vot Tande   |                  |
| ◇ | Zone Hazel Holme |                  |
| ▽ | Zone Vaté        | ] Fossés du Sud  |
| × | Zone Erromango   |                  |
| △ | Zone Futuna      |                  |

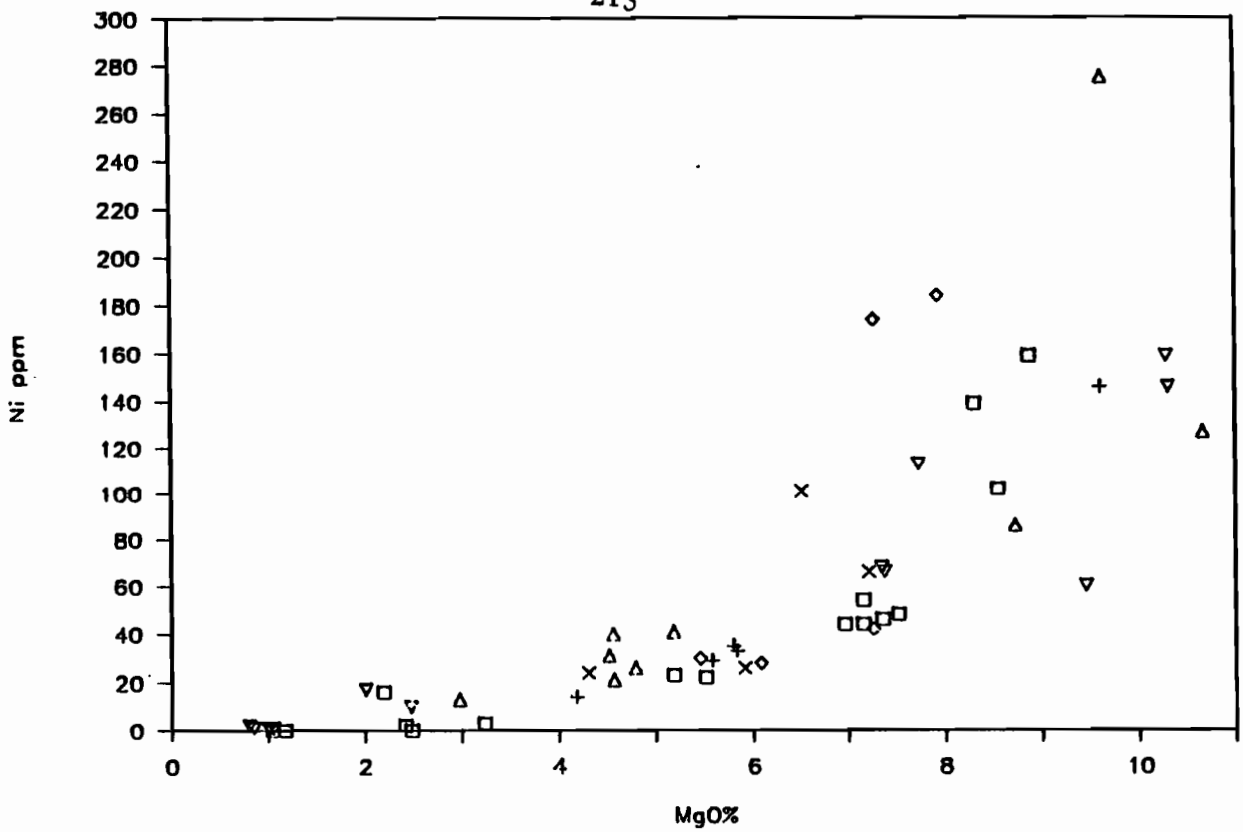


a/ Il est possible de définir trois ensembles de teneurs en nickel dans les laves basiques : < 35 ppm, de 40 à 80 ppm et de plus de 80 ppm. Une valeur à 275 ppm d'un basalte de FUTUNA se détache nettement de l'ensemble [D19M1].

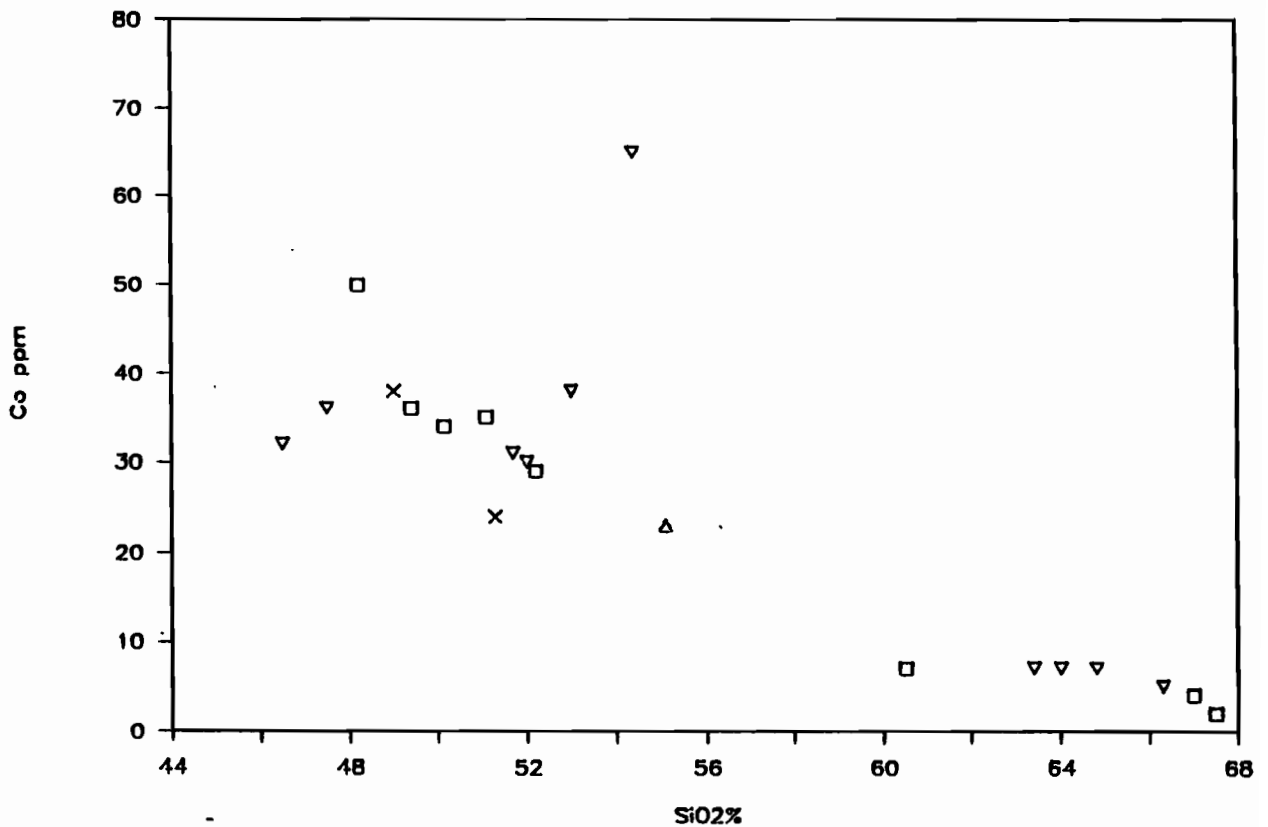
Les valeurs les plus élevées sont généralement celles des laves ankaramitiques, mais on trouve aussi les basaltes D7M2, D7M3, D2M5 (zone VANIKORO) et D14M1, D14M2 (zone HAZEL HOLME).



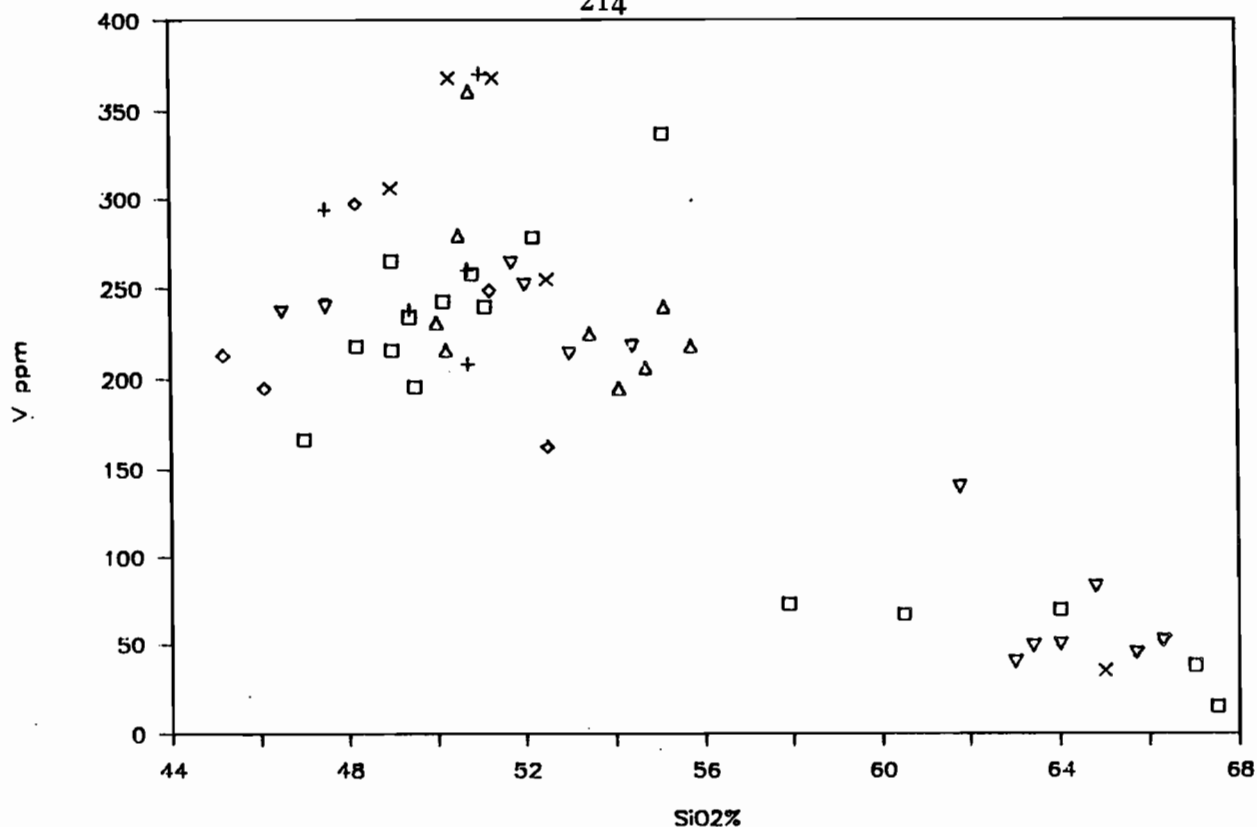
b/ La distribution du chrome montre une répartition comparable à celle du nickel pour les laves basiques, en trois groupes : < 70 ppm, de 120 à 200 ppm et de plus de 230 ppm (jusqu'à 350 ppm).



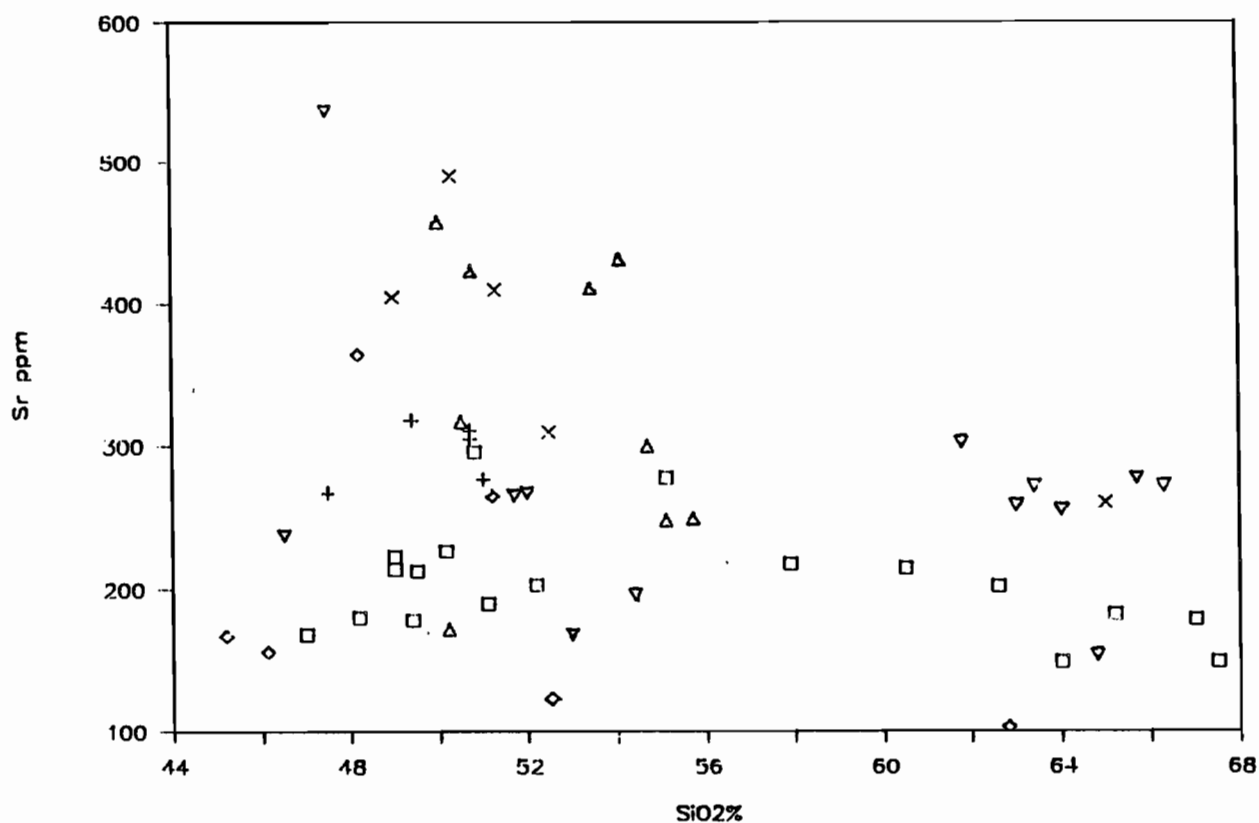
c/ La corrélation de Ni avec MgO ne correspond pas à une droite parfaite de corrélation ; une dispersion importante se produit au niveau des valeurs les plus élevées de MgO et Ni.



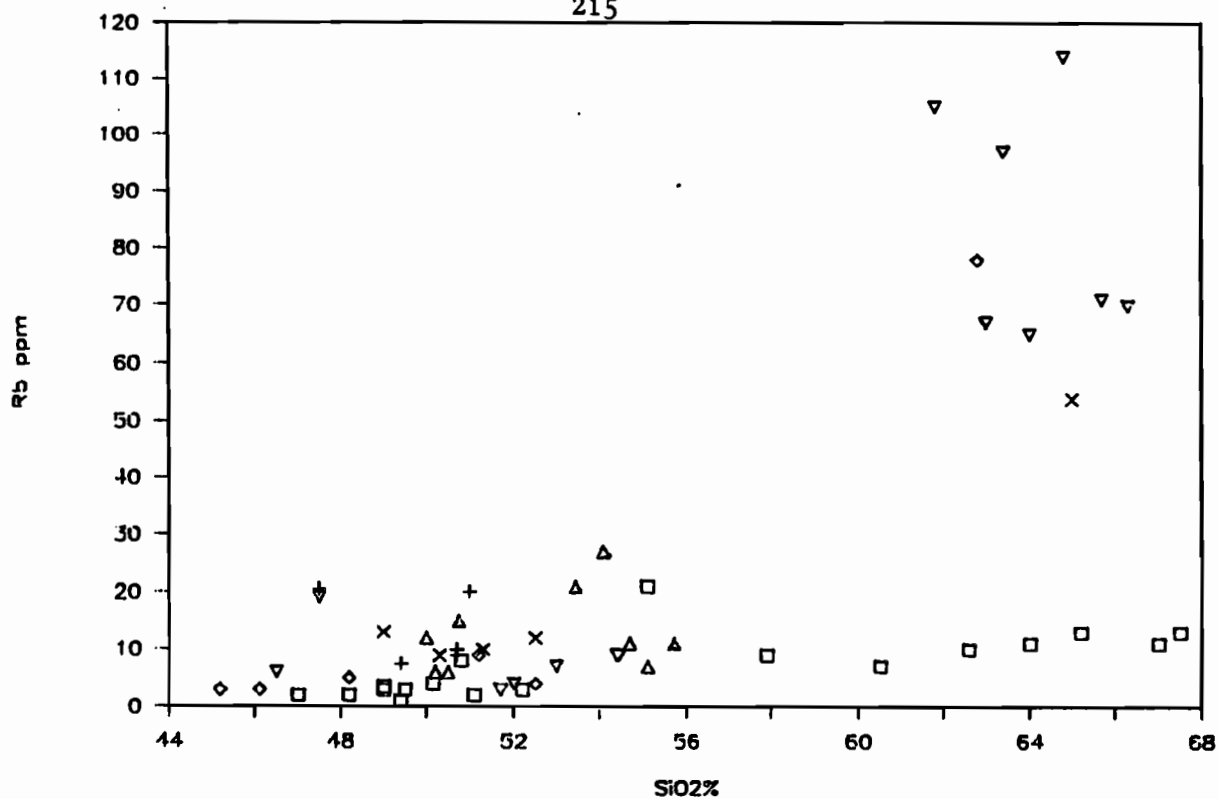
d/ Les teneurs en Co sont comprises entre 50 et 25 ppm dans les laves basiques, sauf dans l'andésite basique D30M1 (zone VATE) qui contient 65 ppm. Elles décroissent jusqu'à moins de 10 ppm dans les laves acides.



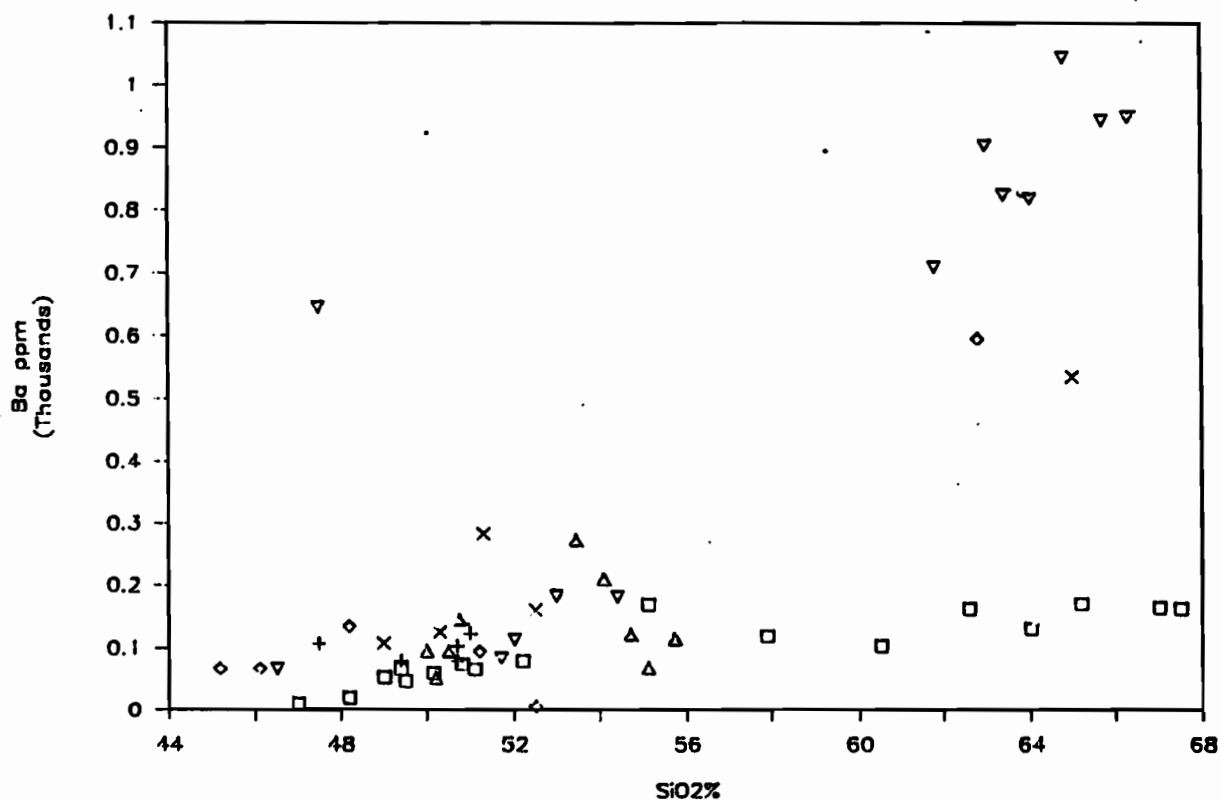
e/ Les teneurs en V varient généralement entre 300 et 150 ppm dans les laves basiques ; on notera toutefois quelques valeurs supérieures entre 330 et 400 ppm. Le vanadium est beaucoup moins abondant dans les laves acides (< 100 ppm, ou rarement 140 ppm [dacite D17M17]).



f/ Sr montre une forte dispersion. La majorité des laves basiques et les laves acides contiennent entre 100 et 350 ppm de Sr. Un groupe de laves basiques est un peu plus riche (350 à 550 ppm) : D14M14 (zone HAZEL HOLME), D29M6 (zone VATE), D22M1, D25M2, D24M6 (zone ERROMANGO), D19M1, D21M1, D16M1, D17M3 (zone FUTUNA). Ces valeurs correspondent aux teneurs les plus faibles observées dans les laves des îles qui sont comprises entre 300 et 600 ppm, ou même jusqu'à 1100 ppm à VATE.



g/ Rb reproduit les groupes définis pour  $K_2O$  (Fig. IV-13-i). On remarque nettement la lignée constituée par les laves de la zone VANIKORO, pauvres en rubidium et en potassium.



h/ Ba donne une image comparable à  $K_2O$  et à Rb. Les teneurs sont de façon générale plus faibles dans les laves des fossés que dans celles des îles dont la teneur en Ba est le plus souvent  $> 100$  ppm (Fig. IV-4-h et IV-5-h).