

Pétrologie/Petrology

## Pétrographie et minéralogie des îles Futuna et Alofi, TOM de Wallis et Futuna (Pacifique Sud-Ouest)

Alain GRZESCZYK, Jean-Philippe EISSEN, Jacques DUPONT, Christian LEFÈVRE,  
Patrick MAILLET et Michel MONZIER

**Résumé** — Deux formations volcaniques sous-marines tholéitiques, la formation de Pouma (basaltes), et la formation de Vaifafine (andésites basiques) ont été reconnues sur Futuna et Alofi. Les teneurs en  $TiO_2$  et FeO total sont significativement plus élevées dans les basaltes de Pouma que dans les andésites basiques de Vaifafine. Ce hiatus géochimique pourrait souligner le passage d'un volcanisme proche de celui des bassins marginaux (formation de Pouma) à un volcanisme d'arc plus typique (formation de Vaifafine), lors de l'évolution précoce du magmatisme d'un arc insulaire intraocéanique immature. Ces deux formations seraient non cogénétiques, issues de magmas parentaux distincts, ayant évolué sous des conditions physicochimiques ( $P_{H_2O}$ ,  $f_{O_2}$ ) différentes.

### Petrologic and mineralogic studies of Futuna and Alofi islands, Wallis and Futuna archipelago (Southwest Pacific)

**Abstract** — Two submarine volcanic tholeiitic formations were identified on Futuna and Alofi islands: an older basaltic one, the Pouma formation, and the andesitic Vaifafine formation. Geochemistry and mineralogy of both formations correspond to an island arc environment. Yet, the Pouma volcanics are transitional between low-potassium tholeiites and back-arc basin basalts.  $TiO_2$  and FeO total contents are distinctly higher in basalts than in andesites. This may emphasize the evolution from a marginal basin volcanism (Pouma) to a more typical island arc volcanism (Vaifafine). The two formations are thought to originate from two distinct parental magmas, under different  $P_{H_2O}$  and  $f_{O_2}$  conditions.

**INTRODUCTION.** — Les îles Futuna et Alofi ( $14^{\circ} 20' S-178^{\circ} 07' W$ ) sont situées entre les terminaisons orientales de la fosse de Vitiav (zone de subduction fossile) et la zone de fracture nord-fidjienne (faille sénestre active) (fig. 1 a).

Deux séries volcaniques — une série de basaltes doléritiques et de dolérites, antérieure à une série de nature andésitique — ont été définies lors de la reconnaissance géologique de ces îles en 1934 ([1], [2]). L'existence de sédiments aquitaniens, remaniant des débris volcaniques, a conduit Aubert de la Rüe à considérer ce volcanisme comme anté-Miocène. Un dragage réalisé sur le flanc est d'Alofi a récemment permis de distinguer [3]: une série constituée de basaltes à olivine et d'andésites basiques (tholéites d'arc) et une série, datée à  $4,9 \pm 0,4$  M.a. par K-Ar sur roche totale [4], constituée de basaltes et de dolérites porphyriques; cette série, probablement plus ancienne que la précédente, se rapproche des basaltes de rides océaniques ou de bassins arrière-arc.

**DONNÉES NOUVELLES.** — Deux formations volcaniques sous-marines ont été reconnues sur le terrain ([5], [6]):

(a) La formation de Pouma est constituée de pillow-lavas basaltiques, recoupés par des dykes doléritiques, et surmontés de hyaloclastites basaltiques. Des gabbros ophitiques (site 12) et des gabbros à olivine (site 59) sont parfois associés aux laves en coussins (fig. 1 b). Cette formation affleure bien sur la côte nord-est de Futuna et à l'extrémité orientale d'Alofi; des basaltes porphyriques à tendance picritique pourraient s'y rattacher (site 52, fig. 1 b).

(b) La formation de Vaifafine est constituée d'andésites basiques en coussins et de hyaloclastites de même nature. Elle est fréquemment remaniée dans des brèches à ciment calcaire organogène (algues et foraminifères en cours d'étude). Cette formation, omniprésente sur Alofi, n'affleure que sur les côtes ouest et sud de Futuna. Elle semble, en l'état actuel des travaux, postérieure à celle de Pouma.

Note présentée par Jean AUBOUIN.

**GÉOCHIMIE DES ÉLÉMENTS MAJEURS.** — Les basaltes et les roches grenues associées ( $\text{SiO}_2$  : 47-52,9 %) sont des tholéites à olivine ou à quartz [7]. Les gabbros à grain grossier ( $\text{SiO}_2$  : 45,4-46 %) sont à olivine normative. Les andésites basiques ( $\text{SiO}_2$  : 52-55,9 %) sont exclusivement à quartz normatif. Les volcanites des deux formations ont des teneurs en éléments majeurs caractéristiques des séries tholéitiques (tableau I; *fig. 2*), et appartiennent pour l'essentiel au champ des « low potassium tholeiites » (tholéites d'arc insulaire) de Pearce [8] (*fig. 3*). Cependant, quelques analyses de basaltes de Pouma se situent dans le champ des basaltes de plancher océanique (*fig. 3*). Les teneurs moyennes en  $\text{TiO}_2$  des basaltes de Pouma, légèrement supérieures aux moyennes des tholéites d'arc ([8], [9]), sont en effet plutôt caractéristiques des basaltes de type MORB (mid ocean ridge basalts) ou de BABB (back-arc basin basalts). En outre, ces basaltes sont caractérisés par des teneurs en  $\text{TiO}_2$  (0,8-1,6 %) et FeO total (8,3-10,6 %) significativement plus élevées que celles des andésites basiques de Vaifafine (respectivement : 0,6-1 %; 7,7-10,6 %), pour un rapport FeO total/MgO sensiblement identique (1-2,25). Ce hiatus géochimique pourrait s'expliquer par l'existence de deux magmas parentaux distincts.

**MINÉRALOGIE.** — Les assemblages minéralogiques de ces laves sont typiques des séries tholéitiques d'arc insulaire ([10], tableau II). Les olivines les plus magnésiennes ( $\text{Fo}_{88-86}$ ) de la formation de Pouma semblent héritées de fractionnements précoces (faibles  $K_D^{\text{Fe}}/\text{Mg} \approx 0,25$ ; [11]). Les rares olivines des andésites basiques de Vaifafine correspondent à des xénocristaux en déséquilibre ( $K_D^{\text{Fe}}/\text{Mg} \approx 0,20$ ). Dans les deux formations, les plagioclases ont des compositions similaires; leurs teneurs en  $\text{K}_2\text{O}$  très faibles (0-0,5 %) reflètent le caractère tholéitique des laves-hôtes. L'évolution des clinopyroxènes des laves de Vaifafine vers l'augite subcalciq, leurs fortes teneurs en  $\text{SiO}_2$  et leurs faibles concentrations en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  et  $\text{Na}_2\text{O}$  [10] sont typiques des séries tholéitiques d'arc [9]. Les clinopyroxènes des laves de Pouma se rapprochent plutôt de ceux des séries tholéitiques de zones en distension (« MORB » ou « BABB »).

**DISCUSSION.** — Les variations de compositions chimiques des basaltes de Pouma et des andésites basiques de Vaifafine correspondent aux cristallisations successives de l'olivine, du plagioclase, puis du clinopyroxène, de l'orthopyroxène (suite à la déstabilisation de l'olivine dans les andésites basiques), et enfin des oxydes ferro-titanés. Ceci suggère une différenciation des magmas essentiellement par cristallisation fractionnée. L'abondance et la stabilité des plagioclases traduisent le caractère sous-saturé en eau des magmas et leur cristallisation au liquidus témoigne d'une faible pression d'eau ([9], [12], [13]). Cependant, les teneurs en anorthite des plagioclases (sensibles aux

#### EXPLICATIONS DES PLANCHES

##### Planche I

*Fig. 1.* — (a) Situation des îles Wallis et Futuna dans le Pacifique Sud-Ouest. SC, fosse de San Cristobal; NH, fosse des Nouvelles-Hébrides; VT, fosse de Vitiaz; TK, fosse des Tonga-Kermadec; BNF, bassin Nord-Fidjien; BL, bassin de Lau; SL, Salomon; NC : Nlle Calédonie; V, Vanuatu; F, Fidji; WF, Wallis et Futuna; SM, Samoa; T, Tonga. (b) Carte des prélèvements sur Futuna et Alofi. Astérisques : Blocs et galets non en place.

*Fig. 1.* — (a) Wallis and Futuna islands in the SW Pacific. (b) Sampling map on Futuna and Alofi islands. Asterisks : non in situ samples (blocks and pebbles).

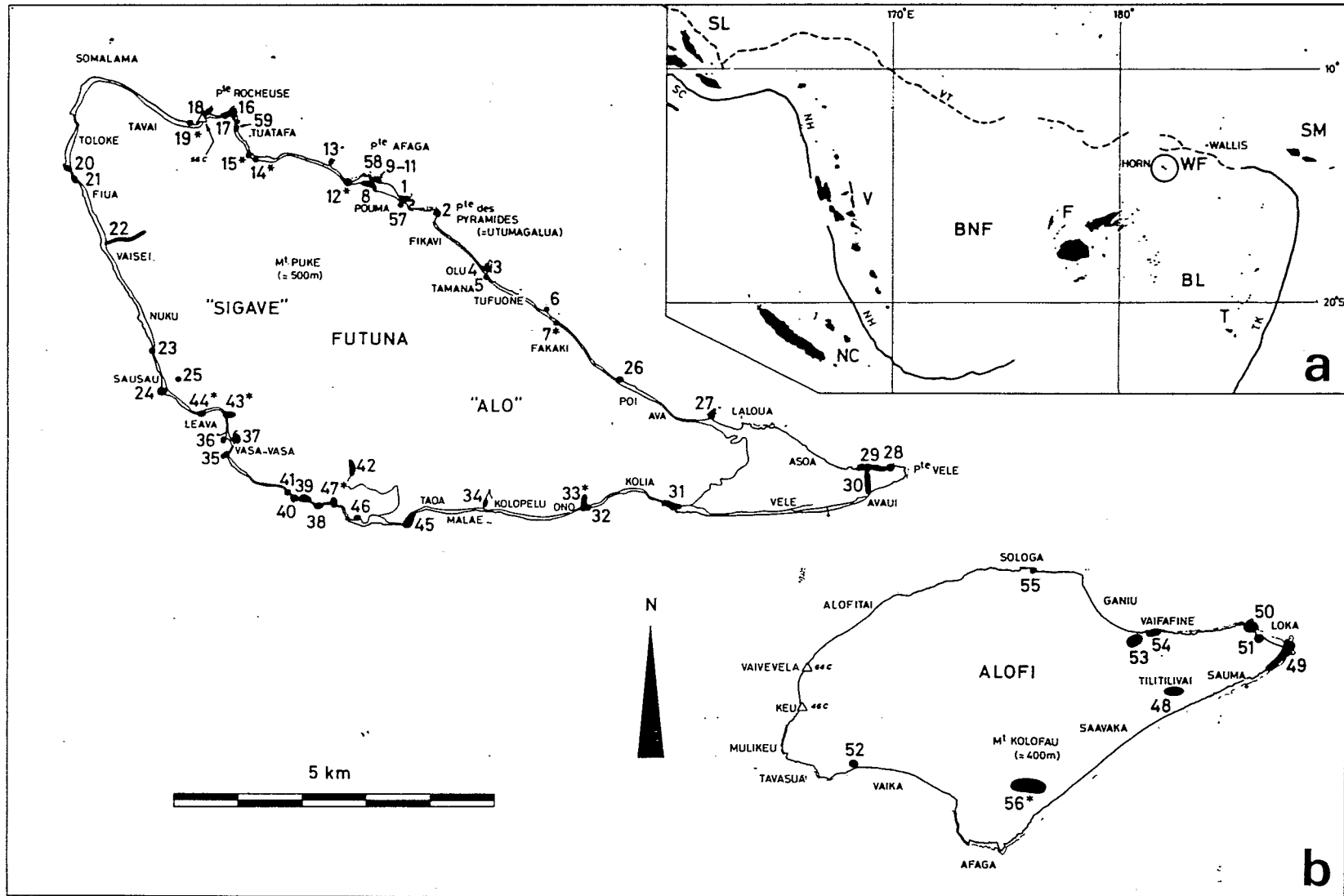


Fig. 1

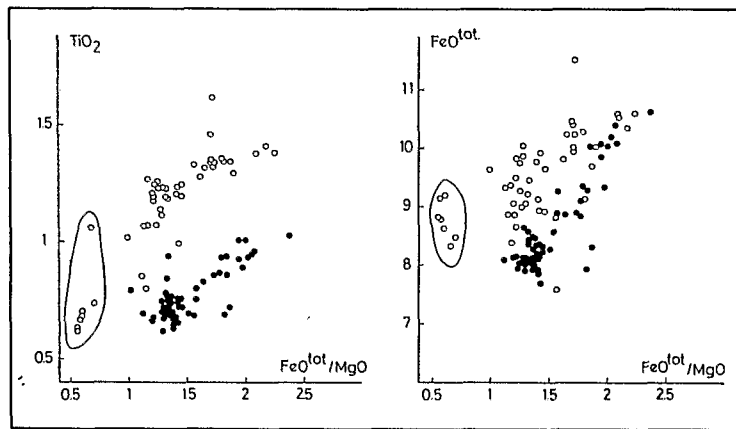


Fig. 2

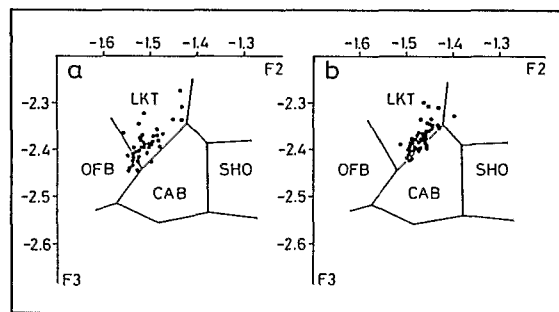


Fig. 3

TABLEAU I  
Formation de Pouma Formation de Vaifafine

	Formation de Pouma								Formation de Vaifafine				
	I		II		III	IV		V	VI				
	F 9C	F 25	F 44C	A 50A	A 52D	F 11	F 12G	F 59C	F 20C	F 24A	A 48B	A 54E	A 55C
SiO2	49,04	52,39	51,53	51,50	43,90	48,88	49,18	45,79	54,45	55,53	52,73	53,51	54,06
TiO2	0,80	1,29	1,34	1,38	1,07	1,36	1,07	0,68	0,93	0,61	0,86	0,72	0,65
Al2O3	16,58	15,22	14,94	14,70	13,41	16,65	15,51	14,79	15,52	15,68	15,72	16,72	15,54
Fe2O3*	9,88	11,19	11,41	11,75	9,27	11,48	10,37	9,81	10,73	8,91	9,98	9,25	9,33
MnO	0,15	0,16	0,19	0,15	0,12	0,17	0,16	0,14	0,15	0,13	0,13	0,12	0,11
MgO	7,59	5,24	5,89	5,00	12,44	5,72	8,17	14,59	4,93	6,16	5,11	5,67	5,82
CaO	11,37	9,43	11,16	9,75	11,71	11,83	10,23	10,82	9,33	10,07	9,98	10,36	10,42
Na2O	2,76	2,54	2,72	2,98	1,44	2,83	3,10	1,53	2,59	2,09	2,92	2,52	2,18
K2O	0,08	0,31	0,30	0,38	0,80	0,05	0,26	0,13	0,23	0,31	0,36	0,37	0,51
P.F	1,16	1,63	0,69	1,90	4,80	0,83	1,40	2,10	0,84	1,54	1,50	1,20	1,50
Total	99,41	99,40	100,17	99,49	98,96	99,80	99,45	100,38	99,70	101,03	99,29	100,44	100,12
FeO	7,15	6,17	6,90	8,73	4,14	6,16	6,52	6,84	6,98	6,65	6,34	6,48	6,30
Q	-	9,50	4,33	3,68	-	1,99	-	-	10,53	11,31	7,31	6,50	8,87
Or	0,47	1,36	1,77	2,25	4,73	0,29	1,54	0,77	1,36	1,83	2,07	2,19	3,02
Ab	23,32	14,20	22,99	25,18	12,17	23,92	26,20	12,93	21,89	17,66	20,54	21,30	18,42
An	32,57	31,25	27,63	25,56	27,73	32,54	27,60	33,06	30,00	32,44	31,86	33,17	31,07
Wo	9,96	3,74	11,58	9,52	12,68	10,93	9,67	8,61	6,80	7,32	9,28	7,62	8,62
Di	6,05	2,43	7,15	4,70	10,38	7,31	6,45	6,16	3,76	4,45	5,81	4,40	5,14
En	3,34	1,04	3,74	4,63	0,73	2,78	2,49	1,66	2,77	2,46	2,89	2,86	3,07
Fs	6,70	17,47	7,57	7,80	2,64	6,99	7,32	6,28	8,56	10,95	9,26	9,77	9,44
Fs	3,69	7,52	3,96	7,68	0,18	2,66	2,83	1,69	6,31	6,04	4,60	6,36	5,68
Fo	4,35	-	-	-	12,65	-	4,65	16,82	-	-	-	-	-
Fa	2,65	-	-	-	0,98	-	1,98	5,01	-	-	-	-	-
Mt	2,81	4,17	5,42	2,97	6,77	6,71	4,54	3,20	4,30	5,13	3,75	2,97	3,38
Il	1,52	2,45	2,54	2,62	2,03	2,58	2,03	1,29	1,77	1,16	1,41	1,37	1,23
DI	23,79	25,06	29,09	31,11	16,90	26,20	27,74	13,70	33,78	30,80	29,92	29,99	30,31

## Planche II

Fig. 2. —  $TiO_2$  et FeO total en fonction de FeO total/MgO. Cercles : laves et roches associées de la formation de Pouma (le champ entouré correspond aux gabbros à olivine et aux basaltes picritiques); points : laves de la formation de Vaifafine.

Fig. 2. —  $TiO_2$  and FeO total vs. FeO total/MgO. Circles : lavas and related rocks of Pouma's formation (enclosed field : olivine gabbros and picritic basalts); dots : lavas of Vaifafine's formation.

Fig. 3. — Diagramme de Pearce [8]. F2 et F3 sont des fonctions discriminantes utilisant les éléments majeurs. (a) Formation de Pouma. (b) Formation de Vaifafine.

Fig. 3. — Pearce's diagram [8]. (a) Pouma's formation. (b) Vaifafine's formation. LKT, Low K Tholeiites; CAB, Calc-Alkaline Basalts; OFB, Ocean Floor Basalts; SHO, Shoshonites.

## TABLEAU I

Compositions en éléments majeurs et normes CIPW d'une sélection de laves et roches associées de Futuna et Alofi (Laboratoire d'analyses du Centre ORSTOM de Nouméa; analyste M. Marly. Formation de Pouma : I, basaltes; II, basalte picritique; III, dolérite; IV, gabbro; V, gabbro à olivine. Formation de Vaifafine : VI, andésites basiques.

Major elements analyses and CIPW norms from selected lavas and related rocks from Futuna and Alofi islands. Pouma's formation : I, basalts; II, picritic basalt; III, dolerite; IV, gabbro; V, olivine gabbro. Vaifafine's formation : VI, basic andesites.

variations de  $P_{H_2O}$  dans les liquides) ne décroissent pas des basaltes (Pouma) aux andésites (Vaifafine). Ces dernières ne sont donc pas les produits directs de cristallisation fractionnée des liquides basaltiques. Les teneurs en CaO relativement faibles des olivines ( $< 0,4\%$ ) suggèrent une cristallisation sous faible pression [14]. La cristallisation tardive des oxydes ferro-titanés témoignerait de  $f_{O_2}$  faibles [15].

CONCLUSIONS. — Les îles de Futuna et Alofi sont constituées de deux formations volcaniques sous-marines tholéitiques : l'une basaltique, la formation de Pouma, est intermédiaire entre les tholéites d'arc et les basaltes de zones d'extension (« MORB » ou « BABB »), et l'autre, andésitique basique, la formation de Vaifafine, est typique d'un volcanisme d'arc. Leur caractère peu évolué (absence de termes différenciés, faibles teneurs en  $K_2O$ ) suggère un environnement d'arc insulaire immature. Les caractéristiques chimiques et minéralogiques observées dans les deux formations incitent à envisager une évolution à partir de deux magmas parentaux distincts. La formation de Pouma, dérivée d'un magma basaltique, a évolué sous pression partielle d'eau et fugacité d'oxygène

## TABLEAU II

Minéralogie des laves de Futuna et Alofi (Analyses faites à la microsonde « Camebax » de l'École nationale Supérieure de Chimie de Lille; Analyste A. Grzeszyk). Tiretés : phénocristaux. Pointillés : minéraux de la mésostase.

Mineralogy of lavas from Futuna and Alofi. Dashed lines : phenocrysts. Dotted lines : groundmass minerals.

	+ Formation de POUMA	+ Formation de VAIFAFINE +
OLIVINE	--FO 88-----FO 83--	+ --FO 89,5-----FO 81--
	.....	+ ..FS 18-----FS 31--
ORTHOPYROXENE		+ ..FS 18.....FS 38..
		+ ..AN 92-----AN 60--
PLAGIOCLASE	--AN 93-----AN 58--	+ ..AN 85.....AN 52..
	..AN 80.....AN 40..	+ ..AN 85.....AN 52..
CLINOPYROXENE	--Fs 8 Wo 43--Fs 14 Wo 36--	+ --Fs 6 Wo 42--Fs 26 Wo 34--
	..Fs11 Wo 49--Fs 27 Wo 36..	+ ..Fs11 Wo 40..Fs 28 Wo 31..
OXYDE FE - TI	..Usp 60.....Usp 65..	+ ..Usp 26.....Usp 50..

faibles, et correspondrait à l'émission précoce de basaltes tholéitiques de type bassin marginal. La formation andésitique basique de Vaifafine est issue d'un magma différent, ayant évolué sous pression partielle d'eau et fugacité d'oxygène plus fortes (fractionnement plus important des oxydes ferro-titanés). Elle est typique d'un volcanisme tholéitique d'arc, dont la mise en place aurait été postérieure à celle de la formation de Pouma. Les datations en cours (K-Ar; traces de fission de l'uranium; microfaune) devraient permettre de mieux cerner la chronologie de ce volcanisme. Il est clair, cependant, que la série volcanique basaltique draguée au large d'Alofi [3] présente de grandes analogies avec la formation de Pouma. Son âge K-Ar ( $4,9 \pm 0,4$  M.a. [4]) daterait de la limite mio-pliocène le début de l'activité volcanique à Futuna et Alofi.

Reçue le 23 mars 1987, acceptée le 6 avril 1987.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] E. AUBERT DE LA RUE, *Comptes rendus*, 200, 1935, p. 328-330.
- [2] A. LACROIX, *Comptes rendus*, 211, 1940, p. 37-40.
- [3] J. SINTON et coll., in *Investigations of the Northern Melanesian Borderland*, T. M. BROCHER éd., 3, 1985, p. 35-65.
- [4] R. A. DUNCAN, in *Investigations of the Northern Melanesian Borderland*, T. M. BROCHER éd., 3, 1985, p. 67-76.
- [5] J. DUPONT et M. MONZIER, Rapport ORSTOM Nouméa, 1982, 6 p.
- [6] P. MAILLET, J.-P. EISSEN et M. MONZIER, Rapport ORSTOM Nouméa, 1984, 5 p.
- [7] H. S. YODER et C. E. TILLEY, *J. Petrol.*, 3, 1962, p. 342-532.
- [8] J. A. PEARCE, *J. Petrol.*, 17, 1976, p. 15-43.
- [9] A. EWART, *Earth Planet. Sc. Lett.*, 31, 1976, p. 417-432.
- [10] A. GRZESCZYK, *Pétrologie des laves et des roches grenues associées de Futuna et Alofi*, D.E.A., Université de Lille, 1985, 50 p.
- [11] P. L. ROEDER et R. F. EMSLIE, *Contrib. Mineral. Petrol.*, 29, 1970, p. 275-289.
- [12] H. S. YODER, in *Proc. Andesite. Conf.*, A. R. MACBIRNEY éd., 1969, p. 77-89.
- [13] D. H. EGGLEER et C. W. BURNHAM, *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84, 1973, p. 2532-2577.
- [14] T. SIMKIN et J. V. SMITH, *J. Geol.*, 78, 1970, p. 207-219.
- [15] E. F. OSBORN, *Amer. Mineralogist*, 47, 1962, p. 211-226.

A. G. et M. M. : G.I.S., « Océanologie et Géodynamique »,  
Centre ORSTOM de Nouméa, B.P. n° A 5, Nouméa Cedex, Nouvelle-Calédonie;

J. P. E. et P. M. : G.I.S., « Océanologie et Géodynamique »,  
Antenne ORSTOM c/o Centre IFREMER de Brest, B.P. n° 337, 29273 Brest Cedex;

J. D. : G.I.S., « Océanologie et Géodynamique », ORSTOM, 213, rue La Fayette, 75480 Paris Cedex 10;

C. L. : Université des Sciences et Techniques de Lille-1, 59655 Villeneuve-d'Ascq Cedex.