La diversité des basaltes en Polynésie française Approche minéralogique

Jean-Michel LIOTARD [1], René C. MAURY [2] et Hans G. BARSCZUS [1] [3]

Résumé : *L'étude comparative des compositions chimiques des clinopyroxènes, spinelles et plagioclases composant les basaltes provenant des Marquises, des Australes, et des Gambier permet de caractériser nettement les divers types pétrographiques (tholeiites à quartz, tholeiites à olivine, basaltes, basanites et néphélinites). Le passage basalte alcalin - tholeiite à olivine - tholeiite à quartz est particulièrement bien enregistré par l'évolution de la composition chimique du clinopyroxène depuis $Ca_{54}Mg_{28}Fe_{17}$ dans les laves alcalines à $Ca_{27}Mg_{48}Fe_{14}$ dans les tholeiites à quartz. Il apparaît en outre une relation étroite entre les compositions normatives CIPW des laves hôtes et celles des clinopyroxènes eux-mêmes. Ce passage basalte alcalin - tholeiite est également marqué à travers les compositions des spinelles qui s'appauvrissent en chrome et des plagioclases qui voient leur composant orthoclase diminuer. Les compositions chimiques de ces minéraux et leur évolution sont très comparables à celles décrites dans l'archipel des Hawaii.*

Mots-clés : Basaltes alcalins - Tholeiites - Minéralogie - Pétrologie - Volcanisme océanique intraplaque - Polynésie française.

Abstract : **Diversity of basalts from French Polynesia: a mineralogical survey.** *A systematic study of clinopyroxene, spinel and plagioclase chemistries of basaltic lavas from the Marquesas, Austral and Gambier islands allows a characterization of the main petrographic types (e. g. quartz and olivine tholeiites, alkali basalts, basanites and nephelinites). The transitions between alkali basalt, olivine tholeiite and quartz tholeiite are marked by the variation in clinopyroxene chemistry from $Ca_{54}Mg_{28}Fe_{17}$ in alkaline lavas to $Ca_{27}Mg_{48}Fe_{14}$ in quartz tholeiites. A close relationship is shown to exist between the normative compositions of both host lavas and pyroxenes. The transition from alkali basalt to tholeiite is also expressed by the depletion in chromium of spinel and of orthoclase in plagioclase compositions. The mineral chemistries and their variations are rather comparable to those observed in basaltic lavas from the Hawaiian islands.*

Key words : Alkali basalts - Tholeiites - Mineralogy - Petrology - Oceanic intraplate volcanism - French Polynesia.

Resumen : **Principales características petrográficas de los basaltos de Polinesia Francesa.** *El estudio comparativo de basaltos de las islas Marquises (Ua, Pou, Hiva, Oa, Eiao, Hatutu), Australes (Tubuai, Raivavae, Marotiri, Macdonald) y Gambier permite caracterizar cinco tipos petrológicos : toleitas con cuarzo, toleitas con olivina, basaltos alcalinos, basanitas y nefelinitas. Los basaltos alcalinos y las basanitas son mucho mas abundantes en Polinesia*

(1) *Centre Géologique et Géophysique, CNRS/Université de Montpellier-II, place Eugène-Bataillon, 34095 Montpellier Cedex 5.*
(2) *Laboratoire de Pétrologie et UA, Université de Bretagne occidentale, 6, avenue Le-Gorgeu, 29283 Brest Cedex.*
(3) *Centre ORSTOM de Tahiti, BP 529, Papeete, Tahiti, Polynésie française.*

que en Hawaii. La composición de las olivinas en comparacion con aquellas de sus lavas-huesped permite constatar procesos de acumulación. Las composiciones de las plagioclasas, espinelas y sobre todo de los piroxenos reflejan bien las de las lavas. Se observa una relación estrecha entre las composiciones normativas de las lavas-huesped y aquellas de sus piroxenos, esto permite cuestionar los fenomenos de acumulación o de herencia. Así, las lavas con porcentajes de MgO mayores de 10-12 % deben considerarse acumulativas; los porcentajes de acumulacion cristalina pueden estimarse entre 10 % y 5 % para la olivina y el clinopiroxeno respectivamente.

Palabras claves : Basaltos alcalinos - Toleitas - Mineralogía - Petrología - Volcanismo oceanico intraplaca - Polinesia francesa.

INTRODUCTION

La Polynésie française est composée de cinq archipels principaux (fig. 1) : ceux des Marquises, des Tuamotu, de la Société, des Australes et de Gambier-Mururoa. Ces archipels ont une orientation générale WNW-ESE, quoique celui des Marquises montre une direction légèrement différente NNW-SSE. Les divers îles et haut-fonds s'élèvent à partir d'un plancher océanique de 4000 à 5000 m de profondeur, et d'âge crétacé (environ 80 Ma, à l'ouest de la Société) à miocène (environ 20 Ma) vers l'ESE, d'autant plus récent lorsque l'on se rapproche de la dorsale Est-Pacifique (PITMAN *et al.*, 1974; CPCEMR/CPMP, 1981). Ces fonds sont affectés par un réseau de fractures de direction grossièrement N 70° E, au niveau desquelles la croûte océanique atteint parfois des profondeurs supérieures à 5000 m (zones de fractures des Marquises et Australes). Ces fractures sont considérées comme des paléofailles tranformantes en relation avec la ride, maintenant fossile, de Farallon (MAMMERICKX *et al.*, 1975, 1980).

Dans la plupart des îles (à l'exception notable des 80 îles formant l'archipel des Tuamotu, qui sont toutes de type atoll corallien), affleurent des roches basaltiques avec des quantités très subordonnées de laves différenciées trachytiques ou phonolitiques.

L'âge du volcanisme est variable selon les archipels. Les âges les plus anciens dans les archipels ont été établis à 19,5 Ma dans celui des Australes-Cook (TURNER et JARRARD, 1982), 4,5 Ma dans celui de la Société (DUNCAN et McDOUGALL, 1976), 12 Ma à Mururoa (BELLON, communication personnelle), et 6 Ma dans celui des Marquises (BROUSSE *et al.*, 1990). Dans toutes les chaînes les âges diminuent du NW vers le SE; trois d'entre elles présentent une activité volcanique sous-marine actuelle [Société : Mehetia et volcans sous-marins Teahitia, Moua Piha, Rocard, etc. (TALANDIER et OKAL, 1984); Australes-Cook : volcan sous-marin Macdonald (NORRIS et JOHNSON, 1968); volcans sous-marins dans le SE de Pitcairn (STOFFERS *et al.*, 1990)].

La grande diversité pétrologique des laves de Polynésie a été signalée dès 1928 par A. LACROIX, et confirmée par de nombreuses études ultérieures, volcanologiques (EISENSTEIN, 1982; GONZALES-MARABAL, 1984; BOUTAULT, 1985; GELUGNE, 1988); pétrologiques (McBIRNEY et AOKI, 1968; BROUSSE et GUILLE, 1974; NITECKY-NOVOTNY, 1975; MOTTAY, 1976; BLANCHARD, 1978; BROUSSE *et al.*, 1978; MAURY *et al.*, 1978; BROUSSE et MAURY, 1980; MACHEREY, 1984; LEOTOT, 1988) et géochimiques (BISHOP et WOOLEY, 1973; DUNCAN et COMPSTON, 1976; DOSTAL *et al.*, 1982; VIDAL *et al.*, 1984; BARDINTZEFF *et al.*, 1986, 1988; PALACZ et SAUNDERS, 1986; LIOTARD *et al.*, 1986; DUPUY *et al.*, 1987, 1988; NAKAMURA et TATSUMOTO, 1988).

Le but de cette note est de caractériser, à partir des compositions chimiques des principales phases minérales (clinopyroxènes, spinelles et plagioclases) le type pétrographique de la lave hôte et mettre ainsi en évidence les relations étroites entre chimie des minéraux et chimie des laves. Ce travail repose sur l'étude de 46 échantillons de basaltes tholeiitiques et alcalins, de basanites, de hawaiites et de néphénélinites provenant des archipels des Marquises (Ua Pou, Hiva Oa, Eiao, Hatutu), des Australes (Tubuai, Raivavae, Marotiri, Macdonald) et des îles Gambier. Les analyses chimiques (éléments majeurs et en traces) ont été effectuées par absorption atomique et par activation neutronique au CGG/CNRS de Montpellier. Les analyses de minéraux ont été effectuées à l'aide de microsondes Camebax (Montpellier et Brest); conditions d'utilisation : 1,5 kV, 10 nA).

COMPOSITION DES LAVES

Des analyses représentatives des différents types de laves basaltiques (DOSTAL *et al.*, 1982; LIOTARD *et al.*, 1986; DUPUY *et al.*, 1988, 1989) sont présentées dans le tableau I.

Tous ces basaltes présentent les caractères géochimiques des basaltes intraplaques océaniques (OIB) : fortes teneurs en éléments incompatibles et profils

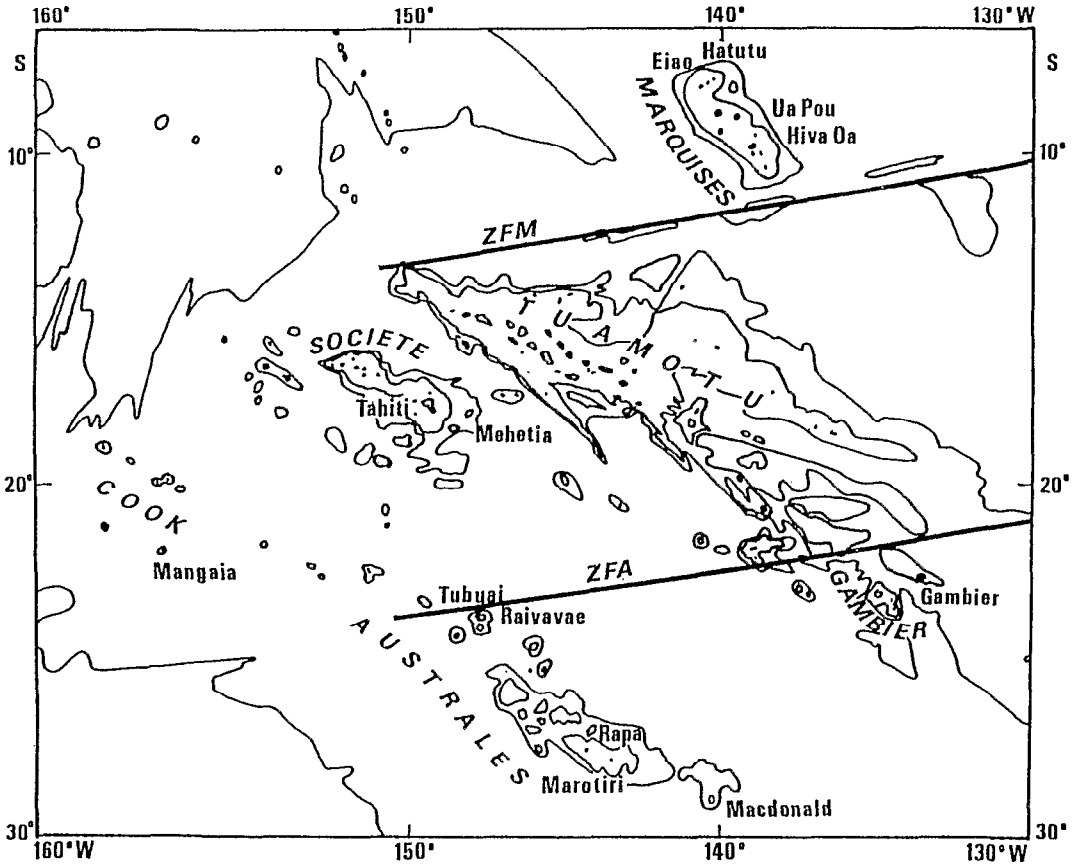

Fig. 1. — Carte simplifiée de la Polynésie française, montrant la localisation des îles étudiées.
Simplified map for French Polynesia showing position of the studied islands.

de terres rares marqués par un enrichissement en terres rares légères et un fractionnement des terres rares lourdes (La/Yb varie de 8,5 à 46,6). Les teneurs en éléments incompatibles augmentent avec la différenciation et le degré de sous-saturation des laves. Les rapports des éléments incompatibles (notamment Th/La, Ba/La, Nb/La et Sr/Ce) présentent une large gamme de variations qui traduit des hétérogénéités importantes du matériel source tant à l'échelle d'un archipel qu'à celle d'une île. Ces hétérogénéités de sources sont parfois indépendantes du type magmatique (LIOTARD, 1988).

Au sein de l'échantillonnage étudié, les compositions normatives (tabl. I) permettent de définir 5 types magmatiques : des tholeiites à quartz (quartz normatif 0-2 %), des tholeiites à olivine (hypersthène normatif 0-18 %), des basaltes alcalins (néphéline normative 0-5 %), des basanites (5 à 15 % de néphéline normative), et enfin des néphélinites (plus de 15 % de néphéline normative : voir échantillon 107 de Tubuai).

Les basaltes alcalins et basanites représentent la grande majorité des laves; les tholeiites sont plus rares. Cette distribution relative des laves alcalines et tholeiitiques distingue nettement les archipels sud-polynésiens de l'archipel de Hawaii où les laves basaltiques alcalines ne constituent que 1 à 2 % de l'ensemble des laves émises (CLAGUE, 1987).

Les proportions relatives de ces divers types varient d'un archipel à l'autre : les tholeiites à quartz se rencontrent essentiellement aux îles Gambier (50 % de l'échantillonnage : GUILLE, 1974; BROUSSE et GUILLE, 1974); absentes à la Société, elles sont très rares aux Marquises (2 échantillons à Ua Pou : LIOTARD *et al.*, 1986) et aux Australes [3 échantillons à Macdonald (BARSCZUS et LIOTARD, 1985a), Raivavae (BARSCZUS et LIOTARD, 1985b) et Rurutu (DUPUY *et al.*, 1988)]. Les tholeiites à olivine dominent aux Marquises (66 %), les basaltes alcalins et basanites aux Australes (78 %). Dans l'archipel de la Société, tholeiites à olivine et basaltes alcalins sont représentés en proportions équivalentes; il en va de même aux

Localisation	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	HivaOa	HivaOa	Hatutu	Eiao	Macdon	Maroti	Maroti	Maroti	Maroti	Raivav	Raivav	Raivav	Tubuai	Gambie	Gambie	Gambie	Gambie	Gambie
Réf. éch.	UAP-17	UAP-11	UAP-02	UAP-03	HVO-01	HVO-22	HTT-12	EAO-13	MCD119	MRT-03	MRT-05	MRT202	MRT203	RVV139	RVV124	RVV108	TBA107	RB5C	RB14T	RB7A	RB10E	RB29D
Type magm.	THO-QZ	THO-OL	BASNT	BASLT	BASLT	HAW	THO-OL	THO-OL	BSNT	HAW	HAW-TH	HAW-TH	BASNT	BASLT	THO-OL	THO-QZ	NEPH	BASLT	THO-OL	THO-OL	THO-PL	THO-OL
SiO2	47,84	45,12	41,61	44,03	43,45	47,78	45,68	44,75	42,59	45,47	45,09	44,43	41,45	44,86	47,36	50,86	41,34	44,94	48,80	49,57	48,51	48,40
Al2O3	12,91	10,76	13,00	15,07	10,73	15,07	9,35	10,70	12,00	16,65	18,70	18,32	10,10	10,27	11,30	14,72	12,53	13,22	14,83	13,23	14,60	15,00
Fe2O3*	12,82	13,93	14,17	12,28	13,91	12,48	11,62	13,54	13,98	11,34	10,31	10,39	12,63	13,43	12,64	12,25	15,69	12,52	11,60	11,50	13,05	11,16
MnO	0,15	0,17	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,18	0,17	0,16	0,14	0,14	0,18	0,15	0,13	0,14	0,27	0,15	0,15	0,16	0,17	0,14
MgO	7,20	12,78	8,06	5,47	12,10	4,17	15,38	14,63	11,13	3,61	2,90	3,27	12,92	15,72	14,03	5,21	7,65	9,55	6,22	10,48	6,14	7,45
CaO	11,40	8,72	10,10	9,22	10,92	8,75	10,13	7,85	11,39	8,73	9,75	9,50	12,39	9,97	8,10	9,38	9,43	10,30	11,18	10,35	10,48	9,54
Na2O	2,30	2,27	3,38	3,53	1,81	3,45	1,60	1,88	2,80	2,93	5,07	4,98	2,25	2,20	2,39	3,00	6,21	2,95	2,54	1,98	2,60	2,70
K2O	0,22	0,63	0,63	0,98	1,31	2,20	0,85	0,73	0,87	2,20	1,99	1,90	0,75	0,65	0,63	0,55	1,62	0,62	0,72	0,49	0,70	0,82
TiO2	3,66	4,10	3,92	3,56	3,35	3,71	2,46	2,65	3,72	3,16	2,81	2,92	3,05	2,13	1,96	2,26	2,88	3,51	2,82	1,97	3,14	2,50
P2O5	0,46	0,57	0,85	0,91	0,51	0,73	0,36	0,43	0,50	1,00	1,14	1,12	1,25	0,37	0,32	0,33	0,93	0,69	0,45	0,25	0,49	0,45
P.F	1,01	1,27	3,13	3,84	1,19	0,77	2,43	2,3	0,04	4,65	1,81	2,10	2,30	0,42	1,19	0,58	0,93	0,87	0,44	0,43	0,29	0,90
Total	99,97	100,32	99,05.	99,08	99,46	99,28	100,02	99,64	99,23	99,94	99,75	99,12	99,30	100,21	100,08	99,31	99,53	99,32	99,75	100,51	100,17	99,06
[Mg]	0,56	0,67	0,55	0,49	0,66	0,43	0,75	0,71	0,64	0,41	0,39	0,41	0,69	0,73	0,73	0,49	0,52	0,63	0,55	0,68	0,52	0,60
Qz	1,00															2,73						
Or	1,31	3,83	3,95	6,16	7,96	15,32	5,19	4,48	5,26	13,78	12,11	11,68	4,60	3,89	3,82	3,35	9,82	3,76	4,30	2,93	4,19	4,96
Ab	19,85	19,62	16,85	26,80	10,24	28,07	14,02	16,53	7,68	26,31	17,27	17,42	6,67	13,44	20,71	26,00	0,63	22,01	21,88	16,92	22,25	23,50
An	24,80	17,67	19,46	23,73	17,82	19,66	16,37	19,35	17,93	27,34	23,05	22,94	15,90	16,48	18,65	25,67	1,56	21,55	27,39	26,27	26,45	27,17
Ne			7,21	2,67	2,99	1,01	8,97				14,60	14,29	7,13	2,92			28,98	1,97				
D.I.	22,16	23,45	28,01	32,96	21,19	42,40	19,21	21,01	21,91	40,09	43,98	43,39	18,40	20,25	24,53	32,08	39,43	27,74	26,18	19,85	26,44	28,46
Li	5	5	6	9	7	7	5	6	6	10	10	10	9	5	5	5	21	8	6	4	5	5
Rb	3	15	76	40	38	59	21	18	20	72	41	42	5	18	10	9	59	8	13	10	8	17
Sr	434	548	904	972	595	693	307	353	618	1550	1280	1240	545	478	321	303	1529	863	437	308	424	424
Ba	35	131	660	802	393	501	170	163	250	520	624	669	242	249	145	92	905	320	170	112	215	205
Sc	32	22	22	14	27			19					30	24	21		16	21	29	26	29	22
V	335	293	318	272	330	322	274	248			72	75	251	234	206	266	165	236	275	217	308	213
Cr	455	740	202	76	760	9	1240	630			5	63	825	758	604	63	136	323	101	422	65	337
Co	40	65	47	31	61	32	63	69			64	25	99	75	45		47	54	38	53	41	39
Ni	151	530	115	42	380	30	485	460			21	365	356	437	367	54	98	209	84	272	74	195
Cu	71	78	43	22	51	28	56	44			107	107	76	81	74	68	75	51	98	85	90	67
Zn	106	116	120	115	118	137	94	119			113	113	117	121	114	134	178	125	100	93	108	117
Y	35	31		35	28	42		27			32	31	19	21	21	28	45	25				
Zr	289	330		310	253	372		213			240	245	191	156	137	156	515	294				
Nb	25	32		69	34	47		21			79	78	42	46	28	25	189	53				
La	21,2	27,2	65,5	65,1	35,5			19,5					27,2	30,4	18,7		144,6	40,2	22,3	13,7	30	22,5
Ce	60,7	67,3	138,7	132,8	72,6			40,8					61,3	65,5	39,6		275,1	89	49,1	29,7	53,1	44,2
Nd	40,3	43,3	61,8	61,5	40,4			24,9					30,5	29,9	19,7		103,9	44,4	31,1	18,3	37,8	29,8
Sm	10,03	10,31	11,84	11,32	8,64			6,77					6,22	5,85	4,65		16,09	8,7	6,6	4,2	7,7	6,2
Eu	3,45	3,26	3,53	3,39	2,51			1,95					1,97	1,85	1,56		5,04	2,84	2,15	1,46	2,55	2,02
Tb	1,44	1,22	1,26	1,16	0,98			0,82					0,83	0,86	0,73		1,96	0,92	0,84	0,59	1,07	0,85
Yb	2,48	1,88	2,26	2,40	1,87			1,88					1,28	1,26	1,13		3,11	1,43	1,88	1,41	2,32	1,78
Lu	0,34	0,27	0,33	0,35	0,26			0,28					0,19	0,18	0,19		0,47	0,18	0,25	0,19	0,3	0,23
Hf	7,42	7,39	7,58	6,82	5,75			4,32					4,38	3,5	3,17		9,66	6,1	4,4	2,8	4,7	4,1
Ta	1,72	2,14		4,64	2,23								2,6	2,7				3,31				
Th	2,04	2,37	8,72	8,90	4,8			2,22					3,23	3,68	2,31		23,34	4,4	2,2	1,4	2,5	2,3
U	0,4	0,8		1,4	0,95								1,97	0,74				0,95				
La/Yb	8,5	14,5	29,0	27,1	19			10,4					21,4	24,01	16,5		46,6	28,1	12	9,7	12,9	12,6
Th/La	0,096	0,087	0,135	0,136	0,135			0,114					0,118	0,121	0,123		0,161	0,109	0,097	0,102	0,083	0,102
Ba/La	1,6	4,8	10,1	12,3	11,1			8,3					8,9	8,2	7,8		6,2	8	7,5	8,2	7,3	9,1
Nb/La	1,18	1,18	0,95	1,06	0,96			1,08					5,4	1,51	1,5		1,31	1,32				
Sr/Ce	7,1	7,1	6,5	7,3	8,2			8,6					8,9	7,3	8,1		5,5	9,7	8,9	10,4	9,6	9,6

THO-QZ = tholeiite à quartz, THO-OL = tholeiite à olivine, BASLT = basalte alcalin, BASNT = basanite, NEPH = néphelinite, HAW = hawaiite, HAW-TE = hawaiite-téphrite

←

Tableau I

Compositions chimiques en éléments majeurs et traces (ppm) de laves sélectionnées de la Polynésie française. Paramètres normatifs calculés d'après Fears (1985). Analyses par absorption atomique et activation neutronique, CGG/CNRS Montpellier, avec $Fe^{3+}/Fe_{total} = 0,15$

Major and trance (ppm) element compositions for selected lavas from Frem Polynesia. Norms calculated according Fears (1985). Methods used: atomic absorption and intrumental neutron activation at CGG/CNRS Montpellier ($Fe^{3+}/Fe_{total} = 0,15$

Gambier pour les tholeiites à quartz et les tholeiites à olivine (GUILLE, 1974; BROUSSE et GUILLE, 1974). Divers types magmatiques peuvent également coexister sur une même île comme à Ua Pou ou au Macdonald. Des constatations similaires ont été faites par d'autres auteurs (voir tabl. I).

Depuis les tholeiites vers les basanites, l'on observe classiquement une augmentation des teneurs en alcalins et une diminution du rapport Na_2O/K_2O ($Na_2O/K_2O = 10$: tholeiites à quartz des Gambier, à $Na_2O/K_2O = 1$, basaltes alcalins de la Société).

LES OLIVINES

Les olivines sont abondantes dans la grande majorité des laves. On les rencontre soit sous forme de phénocristaux (associés à des xénocristaux) constituant en particulier les laves cumulatives (océanite), soit sous forme de microcristaux dans la mésostase.

Les compositions des phénocristaux (tabl. II) évoluent dans les termes basaltiques de Fo_{86} à Fo_{80} pour les cœurs des cristaux et de Fo_{80} à Fo_{74} pour leurs périphéries. Les microlites des hawaiites des Marquises ont des compositions allant de Fo_{50} à Fo_{56}, dans les hawaiites des Australes ainsi que dans les néphélinites de Tubuai, celles-ci varient de Fo_{70} à Fo_{62}.

Parmi les basaltes, les compositions des olivines ne permettent pas de distinguer les deux types pétrographiques majeurs (basaltes alcalins et tholeiites). Cependant, la fréquence relative des teneurs en fosterite semble différente dans chacune d'eux. Dans les tholeiites, la distribution des teneurs en Fo est à tendance unimodale avec un maximum de 20 % pour Fo_{79} dans les tholeiites des Marquises (exception faite des olivines de l'échantillon Ua Pou 17 pour lequel Fo = 83) et de 37 % pour Fo_{82} dans les tholeiites des Australes. Dans les laves basaltiques, la distribution est bi- ou multi-modale (aux Marquises 16 % pour Fo_{79}, 7 % pour Fo_{81}, 19 % pour Fo_{85} et Fo_{86}). Ce type de distribution est tout à fait comparable à celle des laves de l'archipel de Hawaii (Basaltic Volcanism Study Project, 1981) où la gamme des teneurs en Fo des olivines des laves alcalines est très large (Fo_{87} à Fo_{34}). La plus grande proportion d'olivine Fo_{85-86} dans les basaltes alcalins pourrait correspondre à un domaine de stabilité plus grand pour l'olivine lié à des conditions P, T et fo_2 différentes — ou bien s'agit-il de *xénocristaux* provenant d'une interaction avec des magmas de type océanite ?

Tableau II

Compositions chimiques des olivines. P = phénocristal; c = cœur; p = périphérie; m = microcristal

Chemical compositions for olivines. P = phenocrystals; c = cores; p = rims; m = microcrystal

Localisation	Eiao	Eiao	Hiva Oa	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Marotiri	Raivavae	Tubuai	Tubuai
No. éch./ analyse	13/8pc	13/25m	22/3m	2/26pc	2/16m	17/42pc	17/49m	202/5m	108/89mp	107/3pc	107/35pp
Type magmatique	TOH-OL	THO-OL	HAW	BASNT	BASNT	THO-OL	THO-OL	HAW-TE	THO-QZ	NEPH	NEPH
SiO2	40,12	39,10	36,57	41,16	39,11	40,66	41,27	37,37	39,06	40,37	37,19
Al2O3		0,02							0,09	0,02	0,03
FeO total	17,00	24,40	36,37	15,04	23,30	15,51	15,81	27,88	22,14	13,29	28,99
MnO	0,15	0,26	0,76					0,59	0,25	0,17	1,01
MgO	42,19	36,24	25,44	43,96	36,66	43,20	43,32	34,20	38,08	47,06	33,63
CaO	0,17	0,20	0,25	0,23	0,27	0,25	0,30	0,60	0,20	0,08	0,34
Total	99,63	100,22	99,39	100,39	99,34	99,62	100,70	100,64	99,82	100,99	101,19
Fo (m %)	81,42	72,36	54,97	83,89	73,71	83,23	83,00	68,15	75,19	86,17	66,63

LES PYROXÈNES ET LEURS VARIATIONS EN FONCTION DE LA COMPOSITION DES MAGMAS

Les clinopyroxènes constituent la phase minérale la plus abondante des basaltes étudiés. Ils sont présents dans les termes primitifs, sous forme de phénocristaux généralement automorphes, montrant des zonations optiques plus ou moins complexes, concentriques ou en secteur. Dans les laves plus différenciées (hawaiitiques), en général plus aphyriques, ils ne sont présents que sous forme de microcristaux.

Dans un diagramme Ca-Mg-Fe (Fe = $Fe^{2+}+Fe^{3+}+Mn^{2+}$), l'ensemble des pyroxènes étudiés se situe dans un domaine frontière entre les champs des diopside, salite, augite et endiopside (fig. 2).

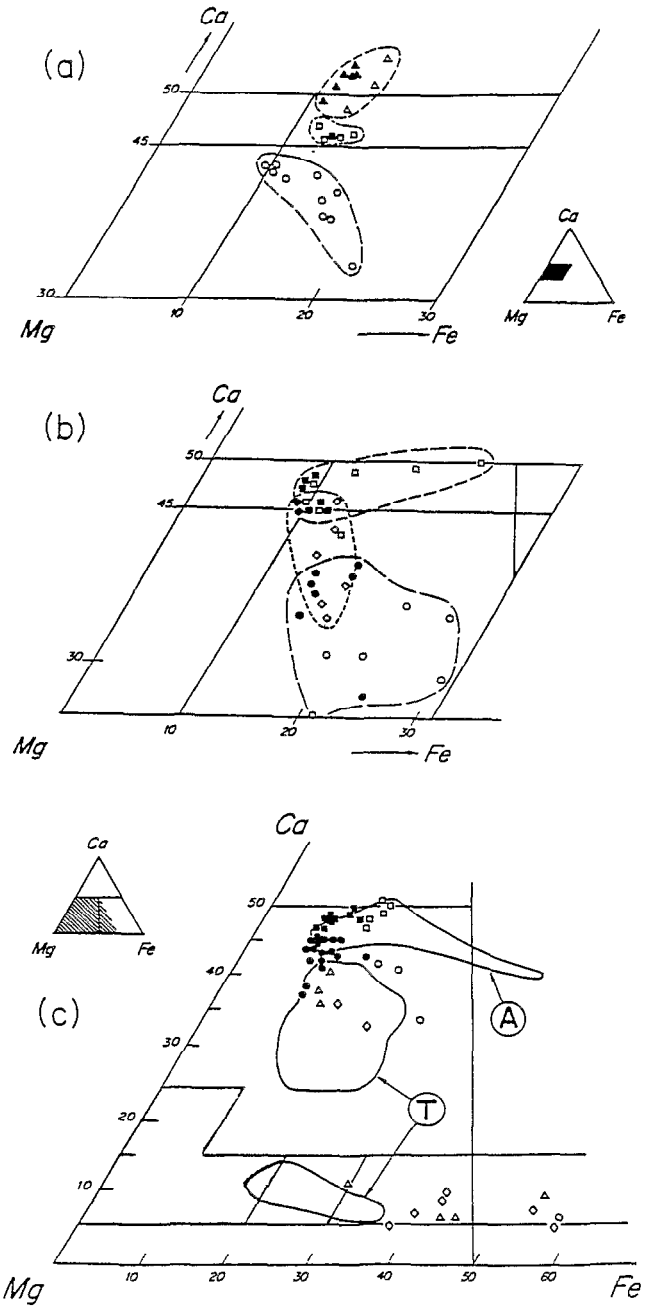

Fig. 2. — Composition des pyroxènes. Symboles pleins : phénocristaux; symboles vides : microcristaux.
(a) : Clinopyroxènes de Ua Pou - cercles : tholeiite à quartz UAP-17; carrés : tholeiite à olivine UAP-11; triangles : basalte alcalin UAP-3.
(b) Clinopyroxènes de Raivavae - cercles : tholeiite à quartz RVV-108; losanges : tholeiite à olivine RVV-124; carrés : basalte alcalin RVV-139.
(c) Clinopyroxènes des Gambier - cercles : tholeiite à olivine 14T; triangles : tholeiite à olivine 7A; losanges : tholeiite à olivine 10E; carrés : basalte alcalin 5C.
Champs des clinopyroxènes des tholeiites (T) et des basaltes alcalins (A) de Hawaii (Basaltic Volcanism Study Project, 1981).

Pyroxene compositions. Full symbols: phenocrystals, open symbols: microcrystals.
(a) Clinopyroxenes from Ua Pou: circles: quartz tholeiite UAP-17; squares: olivine tholeiite UAP-11; triangles: alkali basalt UAP-3.
(b) Clinopyroxenes from Raivavae: circles: quartz tholeiite RVV-108; diamonds: olivine tholeiite RVV-124; squares: alakali basalt RVV-139.
(c) Clinopyroxenes from Gambiers: circles: olivine tholeiite 14T; triangles: olivine tholeiite 7A; diamonds: olivine tholeiite 10E; squares: alakali basalt 5C.
Fields of clinopyroxenes for tholeiites (T) and alkali basalts (A) from Hawaii (Basaltic Volcanism Study Project, 1981).

Caractérisation du type magmatique

De manière tout à fait analogue aux observations de FODOR et KEIL (1975) à propos des laves de Hawaii ou de DALNEGRO *et al.* (1982) sur les laves d'Ethiopie, l'on peut reconnaître trois lignes évolutives en fonction du type magmatique des laves, apparaissant à la fois dans les compositions des phénocristaux et des microcristaux (fig. 2 et tabl. III).

Une première lignée *néphélinique*, rencontrée dans les laves les plus sous-saturées, se marque par une augmentation de Ca, à Fe constant. Cette lignée apparaît bien dans les laves de Ua Pou aux Marquises (échantillon 3), à Raivavae et à Marotiri aux Australes. A Ua Pou, ces pyroxènes acquièrent des compositions voisines de celles des fassaïtes ($Ca_{53}Mg_{32}Fe_{15}$).

Une deuxième lignée *alcaline* est marquée par une augmentation de Fe, à Ca sensiblement constant (échantillon 11 de Ua Pou).

Une troisième lignée tholeiitique apparaît dans les laves à hypersthène avec ou sans quartz normatif. Elle se caractérise par un net appauvrissement en Ca et un enrichissement en Fe. Cette dernière lignée est essentiellement marquée par la composition des microcristaux. Le terme de cette évolution est représenté à Ua Pou par des augites pauvres en Ca ($Ca_{30}Mg_{56}Fe_{14}$), à Raivave par des augites subcalciques ($Ca_{25}Mg_{53}Fe_{22}$), enfin aux îles Gambier par des pigeonites ($Ca_6Mg_{36}Fe_{57}$).

Sur les îles où coexistent laves alcalines et laves tholeiitiques, on observe une variation continue dans la composition des pyroxènes.

Ces variations des teneurs en Ca, Mg et Fe s'accompagnent corrélativement de variations importantes de SiO_2, Al_2O_3 et TiO_2 depuis SiO_2 = 53 %, Al_2O_3 = 1 % et TiO_2 = 0,6 % dans les tholeiites de Raivavae jusqu'à SiO_2 = 40 %, Al_2O_3 = 12 % et TiO_2 = 7 % dans les hawaiites téphritiques de Marotiri (îles Australes). Cette large gamme de variations, recouvrant à la fois le domaine des phénocristaux et celui des microcristaux, peut être comparée aux variations observées pour les augites titanifères de Tahiti (TRACY et ROBINSON, 1977).

L'affinité tholeiitique ou alcaline des pyroxènes peut être mise en évidence de manière très simple à partir d'un calcul de leur norme CIPW (tabl. IV). Les compositions extrêmes des pyroxènes évoluent depuis des compositions déficitaires en silice, avec 3,7 % de néphéline normative, à des compositions sursaturées, avec 1,5 % de quartz normatif. Replacées dans les triangles Hy-Ol-Di, Qz-Hy-Di, ou Ne-Ol-Di, ces compositions se situent exactement ou peu s'en faut dans le champ des compositions des laves hôtes (fig. 3). Ceci indique que ces pyroxènes reflètent très fidèlement la composition des magmas. Ainsi à Raivave (îles Australes), où coexistent des laves à quartz, hypersthène ou néphéline normatifs, les pyroxènes correspondants montrent le même état de sur - ou de sous-saturation en silice que leurs laves hôtes. Il en va de même à Ua Pou et aux îles Gambier. Le diagramme de la figure 6 est donc éventuellement susceptible d'être utilisé comme critère d'équilibre des clinopyroxènes avec leur lave hôte.

Conditions de cristallisation

LES PYROXÈNES ALCALINS

TRACY et ROBINSON (1977) ont envisagé divers facteurs susceptibles d'expliquer les variations de compositions chimiques observées entre cœur et bordure des phénocristaux augitiques de Tahiti : le

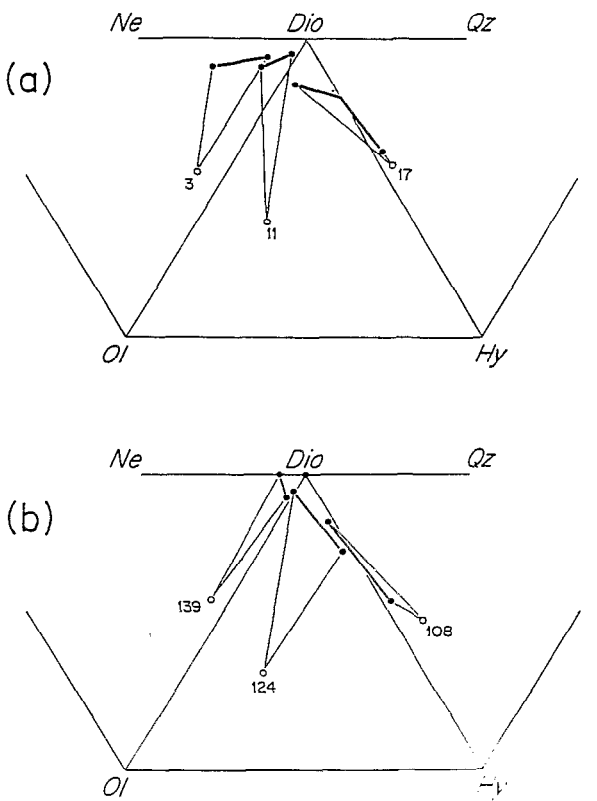

Fig. 3. — Relations entre les compositions normatives des pyroxènes et des laves hôtes.
(a) Ua Pou; (b) Raivavae; cercles vides : laves; cercles pleins : phénocristaux de clinopyroxène.

Relationship between the normative compositions of pyroxenes and host lavas.
(a) Ua Pou; (b) Raivavae; open circles: lavas; full circles: clinopyroxene phenocrystals.

Tableau III

Compositions chimiques des clinopyroxènes. Abréviations comme tableau II
Chemical compositions for clinopyroxenes. P, c, p, m as in table II

Localisation	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Raivavae	Raivavae	Raivavae	Raivavae	Raivavae	Marotiri	Marotiri	Gambier	Gambier	Gambier	Gambier	Gambier
No. éch.	17/12m	17/14m	11/25m	11/54m	3/14pc	3/31m	108/99pc	108/94pc	124/11pc	139/27pc	139/28pp	5/131pc	5/122pp	7A/138m	7A/139m	14T/64pp	14T/93m	14T/95m
Type magm.	THO-QZ	THO-QZ	THO-OL	THO-OL	BASLT	BASLT	THO-QZ	THO-QZ	THO-OL	BASLT	BASLT	HAW-TH	HAW-TE	THOL-OL	THO-OL	THO-OL	THO-OL	THO-OL
SiO2	48,67	53,21	50,05	45,47	47,99	41,93	51,99	52,02	53,09	50,24	48,91	47,32	40,02	51,33	50,79	49,57	50,65	50,94
Al2O3	4,89	2,21	3,09	7,02	6,65	10,37	1,59	1,92	3,05	4,41	5,47	6,57	12,10	3,20	0,97	3,91	0,11	1,54
FeO total	9,85	8,73	8,11	8,74	6,35	7,90	14,89	10,08	6,81	5,10	5,19	6,97	8,68	6,40	26,01	7,47	34,09	15,72
MnO	0,22	0,24	0,12	0,13	0,21	0,03	0,26	0,38	0,15	0,12	0,16	0,15	0,21	0,26	0,42	0,09	0,63	0,57
MgO	14,82	19,77	14,29	12,73	13,41	10,29	16,67	15,16	17,76	14,88	14,40	12,43	8,28	16,91	17,65	15,76	12,30	13,14
CaO	19,36	14,84	22,09	21,02	23,07	23,51	13,18	19,34	18,02	22,85	22,91	22,45	21,97	19,74	2,93	20,62	2,88	16,37
Na2O	0,39	0,21	0,41	0,66	0,50	0,55	0,15	0,41	0,38	0,35	0,36	0,61	0,81	0,21	0,11	0,27		0,24
TiO2	2,44	1,01	1,81	4,01	2,51	5,64	1,01	0,73	0,58	1,20	1,57	3,15	7,66	0,82	0,54	1,76	0,12	0,74
Cr2O3									0,44	0,57	0,83			0,62	0,03	0,15	0,04	
Total	100,64	100,22	99,97	99,78	100,69	100,22	99,74	100,04	100,28	99,72	99,80	99,65	99,73	99,49	99,45	99,60	100,82	99,26
[Mg]	0,79	0,80	0,82	0,81	0,87	0,81	0,67	0,75	0,82	0,88	0,89	0,80	0,65	0,85	0,56	0,85	0,39	0,60
Ca	0,40	0,30	0,46	0,46	0,49	0,53	0,27	0,40	0,38	0,48	0,49	0,50	0,54	0,41	0,06	0,43	0,06	0,35
Mg	0,43	0,56	0,41	0,39	0,40	0,33	0,48	0,43	0,31	0,43	0,42	0,38	0,28	0,48	0,51	0,45	0,36	0,38
Fe	0,17	0,14	0,13	0,15	0,11	0,14	0,25	0,17	0,11	0,09	0,09	0,12	0,17	0,11	0,43	0,12	0,58	0,27

Tableau IV

Normes CIPW des clinopyroxènes. Méthode de calcul comme dans le tableau I
CIPW norms of clinopyroxenes as calculated after Fears (1985)

Réf. éch.	17/12	17/14	11/52	11/54	3/14	3/31	108/99	108/94	124/11	139/27	139/28	5/131	5/122	7A/138	7A/139	14T/64	14T/93	14T/95
Qz		0,19					1,87								2,79		5,80	1,23
Ab	3,30	1,78	0,63				1,27	3,47	3,22					1,78	0,93	2,28		2,03
An	11,59	5,09	6,59	16,19	15,90	25,83	3,67	3,40	6,62	10,46	13,31	15,19	29,38	7,79	2,15	9,46	0,30	3,12
Ne			1,54	3,03	2,29	2,52				1,60	1,65	2,80	3,71					
Di	53,65	45,20	66,98	52,05	58,24	39,28	34,78	55,85	55,49	70,34	65,05	59,53	38,34	61,26	5,80	62,39	4,79	39,57
Hed	13,85	9,34	15,11	9,34	8,55	3,22	15,19	18,55	10,25	8,73	7,35	9,00	0,91	10,20	4,40	11,31	6,99	24,30
Ens	1,35	28,30					25,40	9,34	16,76					9,05	41,28	0,66	28,42	14,39
Fes	0,40	6,71					12,73	3,56	3,55					1,73	35,94	0,14	47,58	10,14
Ca-ortho				3,33	4,38	11,37				0,85	2,34	2,98	9,08					
For	7,49		3,19	5,31	4,49	5,20		1,78	1,23	3,12	4,00	2,36	2,00	3,28		6,78		
Fa	2,45		0,91	1,21	0,83	0,54		0,75	0,29	0,49	0,57	0,45	0,06	0,69		1,55		
Mat	2,07	1,83	1,70	1,84	1,33	1,66	3,13	2,12	1,43	1,07	1,09	1,46	1,82	1,35	5,47	1,57	7,16	3,30
Ilm	4,63	1,92	3,44	7,62	4,77	10,71	1,92	1,39	1,10	2,28	2,98	5,98	14,55	1,56	1,03	3,34	0,23	1,41
Chr										0,84	1,22			0,91	0,04	0,22	0,06	

caractère titané et pauvre en Si de ces pyroxènes est favorisé par des faibles pressions, des faibles teneurs en silice et des fortes teneurs en tiane des magmas, des rapports Ca/Al et Mg/Fe élevés, des faibles fugacités d'oxygène (inférieures au tampon QFM).

Les mesures dont nous disposons sur les laves alcalines de Ua Pou nous ont, en effet, fourni des valeurs de fo_2 très faibles (voir ci-dessous). Cependant, ces variations peuvent aussi simplement s'expliquer par l'évolution du liquide résiduel en cours de cristallisation, c'est-à-dire par le fractionnement des autres phases minérales, olivine et spinelle (MARCELOT *et al.*, 1988). Il convient de remarquer à ce propos que la cristallisation des oxydes ferrotitanés intervient généralement après celle des pyroxènes.

LES PYROXÈNES THOLEIITIQUES

Dans les îles ou co-existent laves alcalines et laves tholeiitiques, on observe une variation continue des compositions chimiques des pyroxènes marquée par une augmentation de Si, Fe, Mg et une diminution de Al, Ti, Na et Ca. Ces variations indiquent donc en première approximation une évolution régulière entre les deux types magmatiques (LE BAS, 1962; LETERRIER *et al.*, 1982). GUPTA *et al.* (1973) ont montré expérimentalement que la diminution des teneurs en TiO_2 du pyroxène est liée à l'augmentation de l'activité en silice du liquide. En outre, des fo_2 plus élevées sont également susceptibles de jouer un rôle. A Ua Pou comme aux Gambier, les laves tholeiitiques ont cristallisé sous des fo_2 supérieures à celles des laves alcalines associées.

LES AUTRES PHASES MINÉRALES

Les spinelles chromifères

Ils se présentent, soit sous forme d'inclusions dans des phénocristaux d'olivine ou de clinopyroxène (diopside), soit sous forme de microphénocristaux dans la mésostase. Les microphénocristaux, surtout exprimés dans les laves d'affinité tholeiitique, montrent parfois au microscope à réflexion un cœur de forme polygonale et une périphérie beaucoup plus digitée, amiboïde, incluant dans certains cas des microcristaux de clinopyroxènes, ce qui traduit un stade très tardif de leur cristallisation. D'une manière générale, les spinelles montrent une grande diversité de composition chimique depuis des chromites titanées jusqu'à des titano-magnétites (tabl. V).

Leurs teneurs en Cr_2O_3 varient de manière considérable entre 6 et 41 %, il en va de même pour TiO_2 (6 à 13 %), Al_2O_3 (9 à 33 %) et MgO (6 à 12 %). Le rapport Cr/Cr+Al évolue de 0,20 à 0,63, le rapport Mg/Mg+Fe^{2+} de 0,23 à 0,28. Ces fortes variations s'observent dans les microphénocristaux de la mésostase entre le cœur chromifère magnésien et alumineux et la périphérie ferrotitanée et

Tableau V

Compositions chimiques des spinelles chromifères.
i = inclusions dans les phénocristaux d'olivine; pc = cœur de phénocristal
Chemical composition for chromiferous spinels.
i = inclusions contained in phenocrystals; pc = core of phenocrystal

Localisation	Marotiri	Macdonald	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Hatutu	Hatutu	Hiva Oa
Réf. éch.	5/113i	119/97i	3/24i	17/46i	17/47i	12/4pc	12/9i	1/52i
Type magm.	HAW-TE	BASNT	BASLT	THO-QZ	THO-QZ	THO-OL	THO-OL	BASLT
SiO2	0,24	0,23	0,27	0,12	0,17	0,27	0,15	0,43
Al2O3	33,33	25,71	28,39	13,51	13,19	16,35	16,30	21,24
FeO total	32,87	39,07	44,60	36,37	37,86	30,90	33,74	39,35
MnO	0,30	0,23	0,37	0,36	0,30	0,28	0,39	0,41
MgO	10,23	10,23	9,22	10,73	9,78	10,85	9,57	9,19
TiO2	2,17	4,57	3,70	4,72	5,05	3,25	3,24	4,27
Cr2O3	18,83	19,68	12,27	34,53	33,86	38,71	37,04	24,79
Total	97,97	99,72	98,82	100,34	100,21	100,61	100,43	99,68
[Mg]	0,44	0,42	0,39	0,46	0,42	0,47	0,42	0,39
Cr/Cr+Al+Fe^3	0,24	0,27	0,16	0,49	0,49	0,53	0,51	0,35

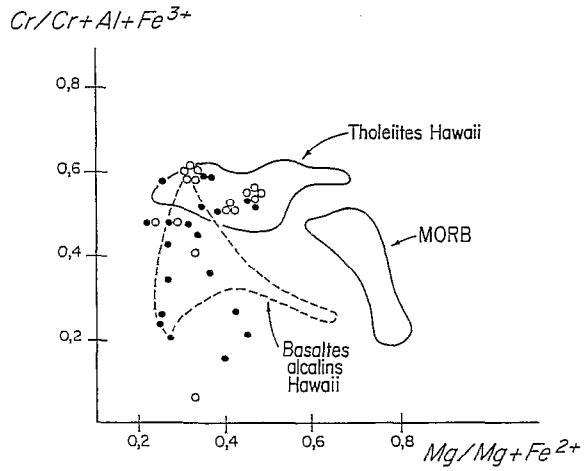

Fig. 4. — Variations chimiques des spinelles chromifères. Cercles vides : spinelles des tholeiites; cercles pleins : spinelles des basaltes alcalins et des basanites. Les champs des spinelles des MORB et de Hawaii sont d'après Basaltic Volcanism Study Project, 1981.

Variations in chemistry of chromiferous spinels. Open circles: tholeiite spinels; full circles: alkali basalt and basanite spinels. Fields for spinels from MORB and Hawaii are after Basaltic Volcanism Study Poject, 1981.

également dans le cas des inclusions partielles entre partie incluse et partie en contact avec la mésostase.

Les spinelles les plus chromifères se rencontrent, comme à Hawaii (Basaltic Volcanism Study Project, 1981) préférentiellement dans les laves d'affinité tholeiitique (fig. 4), alors que les spinelles des laves alcalines sont plus riches en Al et pauvres en Cr. Cela signifierait que le magma primaire tholeiitique *est plus chromifère que le magma alcalin ce qui* ne contredit pas les taux de fusion partielle plus élevés envisagés pour les premiers.

Les variations observées sont également en bon accord avec les données publiées (THOMPSON, 1973; BERGER, 1981; MAALØE et HANSEN, 1982; THY, 1983). Elles ont été interprétées de diverses façons par les auteurs : BERGER (1981) y voit des cœurs de spinelles de dunites désagrégées, rééquilibrés dans un liquide basaltique. MAALØE et HANSEN (1982) et THY (1983) envisagent de simples variations de composition chimique d'un liquide au voisinage des olivines en cours de cristallisation, tandis que HILL et ROEDER (1974) accordent un rôle déterminant à la variation de fo_2. HAGGERTY (1976) interprète ces variations par un simple processus d'oxydation. Cependant la transition cœur - périphérie paraît brutale (BERGER, 1981) et va plutôt dans le sens d'un rééquilibrage de xénocristal ou de cristal précoce. Ce dernier se réaliserait soit par un processus de diffusion (BERGER, 1981), soit par un processus tardif de croissance cristalline avec rééquilibrage cristal-liquide à tout moment.

Les oxydes ferrotitanés

Titanomagnétite et hémoilménite sont exprimées dans toutes les laves, soit dans la mésostase, soit plus rarement en microphénocristaux. Les titanomagnétites ont des compositions comprises entre $Usp_{43}Mt_{57}$ et $Usp_{82}Mt_{18}$, alors que celles des hémoilménites varient de $Il_{83}He_{17}$ à $Il_{95}He_5$ (tabl. VI).

Tableau VI

Compositions chimiques des oxydes ferro-titanés
Chemical composition for iron-titanium oxides

Localisation	Gambier	Gambier	Ua Pou	Ua Pou	Gambier	Gambier	Ua Pou	Ua Pou
Réf. éch.	15/29D	126/5C	2/11	17/67	8/29D	130/5C	2/7	17/61
Type magm.	THO-OL	BASLT	BASLT	THO-QZ	THO-OL	BASLT	BASLT	THO-QZ
SiO2	0,13	0,11	0,19	0,44	0,05	0,08	0,00	0,00
TiO2	17,73	25,97	24,57	19,04	45,05	53,01	51,78	43,77
Al2O3	2,97	1,91	2,18	2,18	0,28	0,09	0,02	0,23
Cr2O3	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,08
Fe2O3	33,40	17,54	17,71	27,97	15,16	2,27	0,08	16,26
FeO	45,27	50,18	46,74	45,41	37,92	41,26	37,00	37,51
MnO	0,46	0,47	0,92	0,43	0,42	0,40	0,85	0,34
MgO	1,86	2,99	3,38	1,41	1,29	3,41	4,91	0,96
CaO	0,21	0,37	0,24	0,13	0,21	0,28	0,27	0,24
Total	102,04	99,65	95,94	97,10	100,49	100,82	99,80	99,42
Usp ou Hem	51,48	74,74	73,49	57,64	14,41	2,11	4,52	15,67

Les conditions d'équilibre des couples d'oxydes ferrotitanés de la mésostase des laves de Ua Pou et des Gambier sont présentées dans les diagrammes T-fo_2 de la figure 5. Les températures, très variables au sein d'un même échantillon, traduisent les réajustements de la composition des titanomagnétite et des hémoilménites lors du refroidissement dans le domaine du subsolidus; seules les valeurs les plus élevées (1000 - 1200 °C) pourraient présenter des températures primaires de cristallisation. On constate que l'évolution T-fo_2 lors du refroidissement s'effectue plus ou moins parallèlement aux tampons Ni-NiO et QFM. L'intérêt majeur des diagrammes de la figure 5 est qu'ils montrent, à températures équivalentes, que les basaltes alcalins et les basanites ont cristallisé sous des fugacités d'oxygène basses (< QFM) et inférieures à celles des tholeiites. Ces données sont en contradiction apparente avec l'existence de teneurs plus importantes en Fe^{3+} des clinopyroxènes des basaltes alcalins par rapport à ceux des tholeiites, si l'on applique aux analyses du tableau III le mode de calcul préconisé par PAPIKE et *al.* (1974). En effet, il est généralement admis que les teneurs en Fe^{3+} des clinopyroxènes augmentent avec la fo_2 (MARCELOT et *al.*, 1988). L'interprétation la plus vraisemblable est que la répartition de Fe^{3+} dans les clinopyroxènes étudiés n'est pas contrôlée principalement par la fo_2 mais par les substitutions couplées impliquant Al^{IV}.

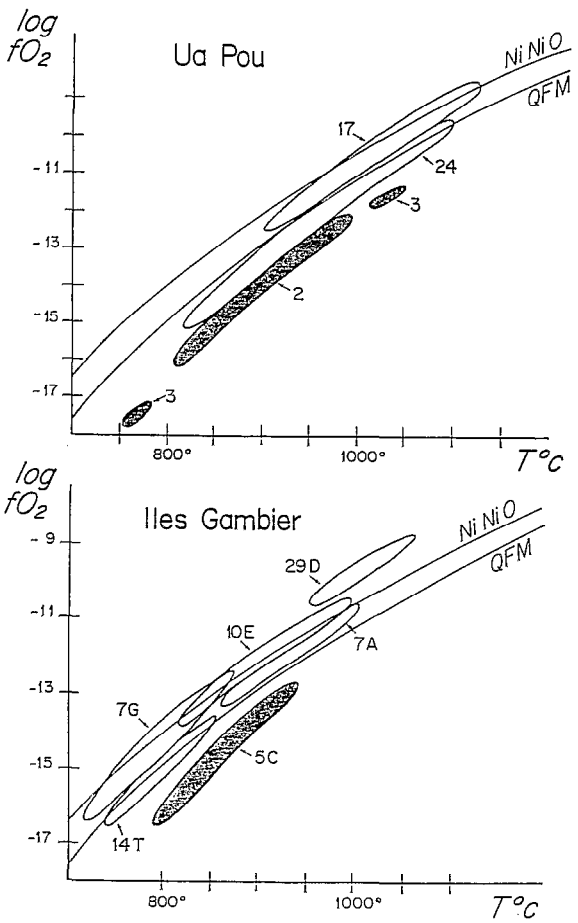

Fig. 5. — Conditions T-fo_2 d'équilibre des oxydes fer-titane de la mésostase des laves de Ua Pou et des Gambier.
Le champ obtenu pour une lave donnée résulte de la combinaison selon la méthode de *D'ARCO* et *al.* (1981), de l'ensemble des compositions de titanomagnétites et des hémolménites, d'après le géothermobaromètre de *SPENCER* et *LINDSLEY* (1981). En grisé : basaltes alcalins et basanites, en blanc : tholeiites.

Equilibrium conditions T-fo_2 for iron-titanium oxides from groundmass for lavas from Ua Pou and Gambier.
The field obtained for a given lava results from the addition of all compositions for titanomagnetites and hemoilmenites obtained with the geothermobarometer of SPENCER *and* LINDSLEY (1981), according to the method of D'ARCO *et* al. *(1981). Shaded area: alkali basalts and basanites, other area : tholeiites.*

Les plagioclases

Les phénocristaux sont rares : on les rencontre principalement dans les laves d'affinité tholeiitique (tholeiites à quartz ou à olivine) ainsi que dans les hawaiites où ils confèrent parfois aux laves une texture à tendance intersertale ou gloméroporphyrique.

Leur composition évolue entre labrador $An_{51}Ab_{47}Or_2$ (tholeiite à quartz, échantillon 17 de Ua Pou) et bytownite $an_{77}Ab_{22}Or_1$ (hawaiite téphritique, échantillon 203 de Marotiri) (tab. VII). Les teneurs en composant orthoclase varient corrélativement et plus précisément entre 2,5 et 0,65 %. Dans un diagramme An-Or, on observe pour une teneur équivalente en An (60 - 65) des teneurs en Or plus faibles dans les phénocristaux issus des laves d'affinité tholeiitique (Or 0,6 à 1,0) que dans ceux des laves d'affinité alcaline (Or 1,5 - 1,8) (fig. 6).

Les microlites de plagioclases sont présents dans la quasi-totalité des laves, à l'exception des laves cumulatives en clinopyroxène et/ou olivine (ankaramites, océanites) où ils peuvent être très rares, voire absents. Leur composition évolue entre $An_{48}Ab_{49}Or_3$ (tholeiite à olivine, échantillon 13 de Eiao) et $An_{83}Ab_1Or_1$ (hawaiite téphritique, échantillon 203 de Marotiri).

Les feldspaths alcalins

Ils ont été identifiés comme phase interstitielle dans quelques rares laves commune hawaiite tholeiitique de Eiao aux îles Marquises (échantillon 17) ou une

Tableau VII

Compositions chimiques des feldspaths alcalins et des plagioclases
Chemical composition for alkali feldspaths and plagioclases

Localisation	Marotiri	Marotiri	Raivavae	Ua Pou	Ua Pou	Ua Pou	Marotiri	Marotiri	Ua Pou	Tubuai	Tubuai
Réf. éch.	5/115p	5/116p	108/48p	17/83p	3/11p	3/27p	3/68	3/68p	17/53m	17/22m	107/43m
Type magm.	HAW-TE	HAW-TE	THO-QZ	THO-QZ	BASLT	BASLT	BASLT	BASLT	THO-QZ	TEPHR	NEPH
SiO2	54,29	50,19	53,40	52,42	51,43	50,66	52,94	53,68	52,22	61,97	65,42
Al2O3	29,07	31,95	29,76	30,68	30,68	30,56	29,63	29,65	30,88	23,72	19,30
FeO total	0,34	0,27	0,56	0,00	0,00	0,00	0,34	0,44	0,00	0,52	0,52
CaO	11,28	15,08	12,69	13,46	13,11	13,60	12,42	12,24	13,87	2,58	0,19
Na2O	4,56	2,79	4,21	3,89	4,03	3,78	4,42	4,50	3,66	6,23	6,85
K2O	0,42	0,17	0,12	0,15	0,29	0,45	0,33	0,30	0,17	4,20	6,71
Total	99,96	100,45	100,74	99,43	99,54	99,05	100,08	100,81	100,80	99,22	98,99
Ab	41,19	24,86	37,25	34,04	35,14	32,60	38,43	39,26	32,00	59,79	60,24
An	56,31	74,17	62,05	65,10	63,19	64,84	59,68	59,02	67,02	13,68	0,92
Or	2,50	0,99	0,70	0,86	1,67	2,56	1,89	1,72	0,98	26,53	38,84

foïdite de Tubuai aux îles Australes. Il s'agit d'anorthose et de sanidine sodique (tab. VII). Dans le premier cas, on note une lignée d'évolution classique entre plagioclase andésine ($An_{37}Ab_{59}Or_4$), anorthose ($An_{14}Ab_{66}Or_{20}$) et sanidine ($An_4Ab_{52}Or_{44}$).

Sur cette même île de Eiao, la même lignée évolutive, mais plus limitée dans ses variations, apparaît dans un basalte cumulatif (échantillon 13 de Eiao) où les plagioclases s'enrichissent en potassium depuis une andésine ($An_{48}Ab_{50}Or_2$) jusqu'à un oligoclase potassique ($An_{23}Ab_{66}Or_{11}$).

La présence de ces feldspaths alcalins ou de ces plagioclases riches en potassium traduit un caractère plutôt transitionnel au alcalin de ces échantillons, les tholeiites banales se caractérisant par la quasi-absence de composant orthoclase dans leur feldspath.

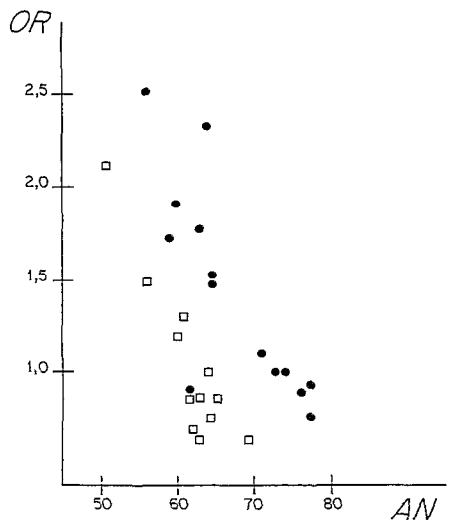

Fig. 6. — Composition des phénocristaux de plagioclases. Cercles : basaltes alcalins et basanites; carrés : tholeiites.

Compositions for plagioclase phenocrystals. Circles: alkali basalts and basanites; squares: tholeiites.

CONCLUSION

Les compositions chimiques de certaines phases minérales telles que spinelle, plagioclase mais surtout clinopyroxène caractérisent bien le type magmatique de la lave hôte. De manière classique, les teneurs en calcium des pyroxènes augmentent avec le déficit en silice des laves, mais l'on note en outre une bonne corrélation entre les compositions normatives des laves et celles des pyroxènes eux-mêmes. Cette relation apporte un élément supplémentaire dans l'estimation des conditions d'équilibre pyroxène - liquide dans la mesure où elle peut permettre de détecter l'existence d'anomalie correspondant à des processus d'accumulation, de mélange, ou d'héritage de ces pyroxènes vis-à-vis des laves hôtes. Enfin, la composition des pyroxènes paraît plus étroitement contrôlée par la teneur en silice des liquides hôtes que par les conditions de fugacité d'oxygène des deux types magmatiques.

Manuscrit accepté par le Comité de rédaction le 25 février 1991.

BIBLIOGRAPHIE

BARDINTZEFF (J.M.), DEMANGE (J.) et GACHON (A.), 1986. — Petrology of the Volcanic Bedrock of Mururoa Atoll (Tuamotu Archipelago, French Polynesia). *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* vol. 28 : 55-83.

BARDINTZEFF (J.M.), BELLON (H.), BONIN (B.), BROUSSE (R.) et McBIRNEY (A.R.), 1988. — Plutonic rocks from Tahiti-Nui Caldera (Society Archipelago, French Polynesia). A petrological, geochemical and mineralogical study. *Journal of Volcanology and Geothermal Research, vol. 35 : 31-53.*

BARSCZUS (H.G.), LIOTARD (J.-M.), 1985a. — Géochimie des laves du volcan sous-marin Macdonald, Polynésie française (Océan Pacifique Sud) : coexistence de tholeiites à olivine, de basaltes alcalins et de basanites. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences,* Paris, t. 300, sér. II, n° 18 : 915-918.

BARSCZUS (H.G.), LIOTARD (J.-M.), 1985b. — Contribution à la connaissance pétrographique et géochimique de l'île de Raivavae (Polynésie française, Océan Pacifique Centre Sud). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences,* Paris, t. 301, sér. II, n° 20 : 1409-1412.

Basaltic Volcanism Study Project, 1981. — Basaltic volcanism on the terrestrial planets. Pergamon Press, Inc., 1286 p.

BROUSSE (R.), BARSCZUS (H.G.), BELLON (H.), CANTAGREL (J.-M.), DIRAISON (C.), GUILLOU (H.), et LEOTOT (C.), 1980. — Les Marquises (Polynésie française) : volcanologie, géochronologie, discussion d'un modèle de point chaud. *Bulletin de la Société Géologique de France,* sér. 8, vol. 6, n° 6 : 933-949.

BERGER (E.T.), 1981. — Enclaves ultramafiques, mégacristaux et leurs basaltes-hôtes en contexte océanique (Pacifique Sud) et continental (Massif Central Français). *Thèse de Doctorat d'Etat,* Université de Paris-Sud (Orsay), 470 p.

BISHOP (A.C.) et WOOLEY (A.R.), 1973. — A basalt - trachyte phonolite series from Ua Pou, Marquesas Islands, Pacific Ocean. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* vol. 39 : 309-326.

BLANCHARD (F.), 1978. — Pétrographie et géochimie de l'île de Mooréa, Archipel de la Société, Pacifique central. *Thèse de Doctorat de 3e cycle : Géologie,* Université de Paris-Sud (Orsay), 156 et 50 p.

BOUTAULT (G.), 1985. — Tahiti (Archipel de la Société, Polynésie française), volcanologie, pétrologie et géotechnie du secteur côtier Nord-Est. Paris, *Thèse de Doctorat de 3e cycle : Géologie,* Université de Paris-Sud, 262 p.

BROUSSE (R.) et GUILLE (G.), 1974. — Géologie et pétrologie des Iles Gambier. *Cahiers du Pacifique,* vol. 18, n° 1 : 159-244.

BROUSSE (R.), GUILLE (C.), GIBERT (J.-P.), 1978. — Volcanisme et pétrologie de l'île de Hiva Oa dans les îles Marquises (Pacifique Central). *Cahiers du Pacifique,* n° 21 : 189-202.

BROUSSE (R.), MAURY (R.C.), 1980. — Volcanisme et pétrologie de l'île de Tubuai dans les îles Australes (Pacifique Sud). I. Géologie (BROUSSE R.) - II. Pétrologie (BROUSSE R. MAURY R.C.), *Cahiers de l'Indo-Pacifique,* Paris, vol. 2, n° 4 : 131-193.

CLAGUE (D.A.), 1987. — Hawaiian alkaline volcanism. *In :* Fitton et Upton (édit.), *Alkaline Igneous Rocks.* Geological Society Publications, London and Blackwell Scientific Publication, vol. 30 : 227-252.

CPCEMR-Circum Pacific Council For Energy and Mineral Resources, 1981. — Plate tectonic map of the Circum-Pacific Region, South-East Quadrant.

DALNEGRO (A.), CARBONIN (S.), MOLIN (G.M.), CUNDARI (A.), PICCIRILLO (E.M.), 1982. — Intracrystalline cation distribution in natural clinopyroxenes of tholeiitic, transitional and alkaline basaltic rocks. *In :* S. K. Saxena (édit.), *Advances in Physical Geochemistry.* Springer, New York, vol. 2 : 117-150.

D'ARCO (P.), MAURY (R.C.), WESTERCAMP (D.), 1981. — Geothermometry and geobarometry of a cummingtonite-bearing dacite from Martinique, Lesser Antillas. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* vol. 77 : 177-184.

DOSTAL (J.), DUPUY (C.), LIOTARD (J.M.), 1982. — Geochemistry and origin of basaltic lavas from Society Islands, French Polynesia (South Central Pacific Ocean). *Bulletin Volcanologique,* vol. 45, n° 1 : 51-62.

DUNCAN (R.A.), COMPSTON (W.), 1976. — Sr-isotope evidence for an old mantle source region for French Polynesian volcanism. *Geology,* vol. 4 : 728-732.

DUNCAN (R.A.), McDOUGALL (I.), 1976. — Linear volcanism in French Polynesia. *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* vol. 1 : 197-227.

DUPUY (C.), VIDAL (P.), BARSCZUS (H.G.), CHAUVEL (C.), 1987. — Origin of basalts from the Marquesas Archipelago (South Central Pacific Ocean: Isotope and trace element constraints. *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 82, nos 1-2 : 145-152.

DUPUY (C.), BARSCZUS (H.G.), LIOTARD (J.-M.), DOSTAL (J.), 1988. — Trace element evidence for the origin of ocean island basalts: example from the Austral Islands (French Polynesia). *Contributions to Mineralogy and Petrology,* vol. 98 : 293-302.

DUPUY (C.), BARSCZUS (H.G.), DOSTAL (J.), VIDAL (P.), LIOTARD (J.-M.), 1989. — Subducted and recycled lithosphere as the mantle source of ocean island basalts from Southern Polynesia (South Central Pacific Ocean). *Chemical Geology,* vol. 77 : 1-18.

EISENSTEIN (A.), 1982. — Géologie, volcanologie et géotechnie du secteur côtier de Papeete (Tahiti, Polynésie Française, Pacifique Central). Thèse de Doctorat de 3e cycle : Géologie, Université de Paris-Sud (Orsay), 221 p.

FEARS (D.), 1985. — A corrected CIPW program for interactive uses. *Computers and Geosciences,* vol. 11, no. 6 : 787-797.

FODOR (R.V.), KEIL (K.), 1975. — Contributions to the mineral chemistry of Hawaiian rocks. IV. Pyroxenes. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* vol. 50 : 173-195.

GELUGNE (P.), 1988. — Evolution spatio-temporelle du magmatisme alcalin de Tahiti-Nui (volcanisme aérien émergé), altération subactuelle, conséquences sur l'environnement. Thèse de Doctorat Sciences, Université de Paris-Sud (Orsay), 415 p.

GONZALES-MARABAL (A.-M.), 1984. — L'île de Hiva Oa dans les Marquises (Pacifique Central) : pétrologie et volcanologie. Thèse de Doctorat de 3e cycle : Géologie, Université de Paris-Sud (Orsay), 260 p.

GUILLE (G.C.), 1974. — Contribution à l'étude géologique des Iles Gambier. Thèse de Doctorat de 3e cycle : Géologie, Université de Paris-Sud (Orsay), 215 p.

GUPTA (A.K.), ONUMA (K.), YAGI (K.), LIDIAK (E.G.), 1973. — Effect of silica concentration on the diopsidic pyroxenes in the system Diopside-$CaTiAl_2O_6SiO_2$. *Contributions to Mineralogy and Petrology,* vol. 44 : 333-344.

HAGGERTY (S.E.), 1976. — Oxidation of opaque mineral oxides in basalts. *In :* D. Rumble (édit.), *Oxyde Minerals.* Mineralogical Society of America, Washington, D.C. : Hg 1-Hg100.

HILL (R.), ROEDER (P.), 1974. — The crystallization of spinel from basaltic liquid as a function of oxygen fugacity. *Journal of Geology,* vol. 82 : 709-729.

LACROIX (A.), 1928. — La constitution lithologique des îles volcaniques de la Polynésie Australe. *Mémoires de l'Académie des Sciences,* Paris, vol. 59 : 80.

LE BAS (M.J.), 1962. — The role of aluminium in igneous clinopyroxenes with relation to their parentage. *American Journal of Science,* vol. 260 : 267-288.

LEOTOT (C.), 1988. — Cycles éruptifs, géochimiques et géochronologiques du volcan de Taravao (Archipel de la Société). Modèle de hotspot tahitien et de l'alignement de la Société (Polynésie française). Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud (Orsay), 378 p., 1 carte h.t.

LETERRIER (J.), MAURY (R.C.), THOWON (P.), GIRARD (D.), MARCHAL (M.), 1982. — Clinopyroxne composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleovolcanic series. *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 59 : 139-154.

LIOTARD (J.-M.), BARSCZUS (H.G.), DUPUY (C.), DOSTAL (J.), 1986. — Geochemistry and origin of basaltic lavas from Marquesas Archipelago, French Polynesia. *Contribution to Mineralogy and Petrology,* vol. 92 : 260-268.

LIOTARD (J.-M.), 1988. — Contribution au problème de l'origine des basaltes alcalins : fractionnement haute pression, caractérisation des zones sources, comparaison entre domaine océanique (Polynésie Française) et domaine continental (Hoggar algérien, Massif Central Français). Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Montpellier II : 273.

MAALOE (S), HANSEN (B.), 1982. — Olivine phénocrysts of hawaiian tholeiite and oceanite. *Contribution to Mineralogy and Petrology,* vol. 81 : 203-211.

McBIRNEY (A.R.), AOKI (K.I.), 1968. — Petrology of the island of Tahiti. *Memoirs,* Geological Society of America, vol. 116 : 524-556.

MACHEREY (C.), 1984. — Huahine : géologie et pétrologie de ses volcans. Thèse de Doctorat de 3e cycle : Géologie, Université de Paris-Sud (Orsay), 234 p.

MAMMERICKX (J.), ANDERSON (R.N.), MENARD (H.W.), SMITH (S.M.), 1975. — Morphology and tectonic evolution of the east-central Pacific. *Bulletin,* Geological Society of America, vol. 86 : 111-118.

MAMMERICKX (J.), HERRON (E.), DORMAN (L.), 1980. — Evidence for two fossile spreading ridges in the Southeast Pacific. *Bulletin,* Geological Society of America, vol. 91 : 263-271.

MARCELOT (G.), BARDINTZEFF (J.-M.), MAURY (R.C.), RANCON (J.-P.), 1988. — Chemical trends of early-formed clinopyroxene phenocrysts from some alkaline and orogenic basic lavas. *Bulletin de la Société Géologique de France,* sér. 8, vol. 4 : 851-859.

MAURY (R.C.), ANDRIAMBOLOLONA (R.), DUPUY (C.), 1978. — Évolution comparée de deux séries alcalines du Pacifique Central : rôle de la fugacité d'oxygène et de la pression d'eau. *Bulletin Volcanologique,* vol. 41 : 1-22.

MOTTAY (G.), 1976. — Contribution à l'étude géologique de la Polynésie française : Archipel des Australes et Mehetia (Société). Thèse de Doctorat de 3e cycle : Géologie, Université de Paris XI (Orsay) : 217.

NAKAMURA (Y.) and TATSUMOTO (M.), 1988. — Pb, Nd and Sr isotopic evidence for a multicomponent source for rocks of Austral-Cook Islands and heterogeneities of mantle plumes. *Geochimica Cosmochimica Acta,* vol. 52 : 2909-2924.

NITECKI-NOVOTNY (S.), 1975. — Pétrographie et géochimie des roches plutoniques basiques de la caldeira de Tahiti-Nui, Pacifique. Thèse de Doctorat de 3e cycle, Université de Paris-Sud (Orsay), 253 p.

NORRIS (R.A.), JOHNSON (R.H.), 1968. — Submarine volcanic eruptions recently located ion the Pacific by SOFAR hydrophones. *Journal of Geophysical Research,* vol. 64 : 650-654.

PALACZ (Z.A.), SAUNDERS (A.D.), 1986. — Coupled trace element and isotope enrichment in the Cook-Austral-Samoa islands, southwest Pacific. *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 79 : 270-280.

PAPIKE (J.J.), CAMERON (K.L.), BALDWIN (K.), 1974. — Amphiboles and pyroxenes characterization of « other » than quadrilateral components and estimates of ferric iron from microprobe data. *Abstracts and Program,* Geological Society of America, vol. 67 : 1053-1054.

PITMAN (W.C.), LARSON (R.L.), HERRON (E.M.), 1974. — Age of the Ocean basins determined from magnetic anomaly lineations. *Special Publications,* Geological Society of America, no. 2, 2 p., 2 cartes.

SPENCER (K.H.), LINDSLEY (D.H.), 1981. — A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *American Mineralogist,* vol. 66 : 1189-1201.

STOFFERS (P.), HEKINIAN (R.), DEVEY (C.), 1990. — 3. Geology. *In :* Stoffers (P.), Hekinian (R.) *et al.,* eds., *Cruise report SONNE 65 - Midplate II. Hot Spot Volcanism in the Central Southpacific. Valparaiso - Easter Island - Pitcairn - Tahiti, 23.10.-6.12.1989.* Geologisch-Paläontologisches Institut und Museum der Universität Kiel, *Berichte,* n° 40 : 7-29.

TALANDIER (J.), OKAL (E.A.), 1984. — The volcanoseismic swarms of 1981-1983 in the Tahiti-Mehetia area, French Polynesia. *Journal of Geophysical Research,* vol. 89B : 11216-11234.

THOMPSON (R.N.), 1973. — Titanium chromite and chromian titano-magnetite from a Snake River Plain basalt, a terrestrial analogue to lunar spinels. *American Mineralogist,* vol. 58 : 826-830.

THY (P.), 1983. — Phase relations in transitional and alkali basaltic glasses from Iceland. *Contribution to Mineralogy and Petrology,* vol. 82 : 232-251.

TRACY (R.J.), ROBINSON (P.), 1977. — Zoned titanium augite in alkali olivine basalt from Tahiti and the nature of titanium substitution in augite. *American Mineralogist,* vol. 62 : 634-645.

TURNER (D.L.), JARRARD (R.D.), 1982. — K-Ar dating of the Cook-Austral island chain: a test of the hot spot hypothesis. *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* vol. 12 : 187-220.

VIDAL (P.), CHAUVEL (C.), BROUSSE (R.), 1984. — Large mantle heterogeneity beneath French Polynesia. *Nature,* n° 307 : 536-538.