

L'archipel des Saintes (Guadeloupe, Petites Antilles) : géologie et pétrologie

D. JACQUES, R.C. MAURY

Mots-clés : Andésite, Pliocène, Quaternaire, Composition calcoalcaline, Géothermie, Géobarométrie.
Guadeloupe (Iles Les Saintes).

Résumé

En dépit de leur petite taille, les îles des Saintes ont été le siège d'une longue activité volcanique plioquaternaire, de 4,7 à 0,6 Ma, qui a successivement édifié les îles de Terres-de-Haut (de 4,7 à 1,9 Ma) et de Terre-de-Bas (de 2 à 0,6 Ma), ainsi que les îlots adjacents.

Sur les deux îles s'observe une évolution depuis des phases précoces essentiellement effusives (phases I et II à Terre-de-Haut, phase IV à Terre-de-Bas) vers des épisodes terminaux pyroclastiques (activité phréatomagmatique et nuées ardentes de la phase III à Terre-de-Haut, nuées ardentes et émissions cendreuse finale de la phase V à Terre-de-Bas). Tout au long de l'histoire volcanique des Saintes, la composition des laves émises, à dominante d'andésites calco-alcalines modérément potassiques, demeure relativement constante ; par contre, on observe des variations minéralogiques importantes : apparition de phénocristaux de hornblende dans les laves des phases III, IV et V et de quartz dans celles des phases IV et V. Les conditions de cristallisation des phénocristaux des andésites à quartz et hornblende des phases IV et V ("andésites calco-alcalines secondaires" au sens de D. Westercamp, 1979) sont évaluées par géothermobarométrie. Les températures relativement faibles (800 à 880°C) et les pressions totales élevées (2,5 à 5 kbar), similaires à celles des autres andésites à quartz et hornblende - généralement plus potassiques - de l'arc des Petites Antilles, sont compatibles avec la cristallisation intracrustale profonde de magmas riches en eau.

Abstract

Despite their small size, Les Saintes volcanic islands (SW of Basse-Terre de Guadeloupe, Lesser Antilles) have been built up during a long Plioquaternary time span, from ca. 4,7 Ma to ca. 0,6 Ma. Terre-de-Haut island and its neighbouring islets are older (4,7 to 1,9 Ma.) than Terre-de-Bas island (2 to 0,6 Ma).

On the two main islands, the initial stages of volcanic activity were mostly effusive (Phases I and II at Terre-de-Haut, Phase IV at Terre-de-Bas), and the final ones mostly pyroclastic (phreatomagmatic events and nuée ardente eruptions during Phase III at Terre-de-Haut, nuée ardente and ash falls and flow of Phase V at Terre-de-Bas). During the whole volcanic history of Les Saintes, the chemical compositions of the lavas remained relatively constant, medium-K calc-alkaline andesites being the dominant magma type. However, noticeable mineralogical variations are observed: the main ones are the occurrence of hornblende phenocrysts in lavas from Phases III, IV, V, and of quartz phenocrysts in lavas from Phases IV and V. Geothermobarometric estimations lead to the conclusion that the quartz and hornblende phenocrysts, characteristic of Phases IV and V lavas ("secondary calc-alkaline andesites" according to Westercamp, 1979), crystallised at relatively low temperatures (800 to 880°C), and under fairly high total pressures (2,5 to 5 kbar). These conditions, similar to those estimated for more K-rich quartz- and hornblende-bearing andesites from the Lesser Antilles arc, are compatible with crystallisation of presumably water-rich magmas under deep crustal conditions.

Introduction

L'archipel des Saintes, d'une superficie totale de 14,67 kilomètres carrés, se situe à une douzaine de kilomètres au sud-est de Basse-Terre de Guadeloupe (voir cartouche en fig. 1). Il représente les parties émergées d'un plateau recouvert de calcaires récifaux ou para-récifaux (P. Andreieff *et al.*, 1979), en position centrale dans l'arc récent des Petites Antilles (Ph. Bouysse, 1979). L'archipel des

Saintes comprend deux îles principales, Terre-de-Haut (4,5 km²) à l'est et Terre-de-Bas (9,45 km²) à l'ouest, deux îlots inhabités (Ilet à Cabrit et Grand Ilet), ainsi que de nombreux rochers (La Coche, Les Augustins, La Redonde, Le Pâté) et écueils. L'altitude des deux îles principales atteint environ 300 mètres. Terre-de-Bas est une île massive, limitée par des falaises rectilignes (fig. 1), alors que Terre-de-Haut, très découpée, a une morphologie compliquée, marquée par l'alternance de promontoires et d'anses sableuses.

Les études antérieures à 1970 se limitent à quelques investigations ponctuelles des roches volcaniques des Saintes (Lacroix, 1904 ; Barrabé, 1934 ; Bruet, 1952). On doit à C. Javey *et al.* (1974) un schéma géologique détaillé et une proposition de chronologie basée sur plusieurs datations K-Ar. Ces auteurs distinguent à Terre-de-Haut quatre phases

* Laboratoire de pétrologie, G.I.S. Océanologie et géodynamique, Université de Bretagne occidentale, 6 avenue Le Gorgeu, 29287 Brest cedex.

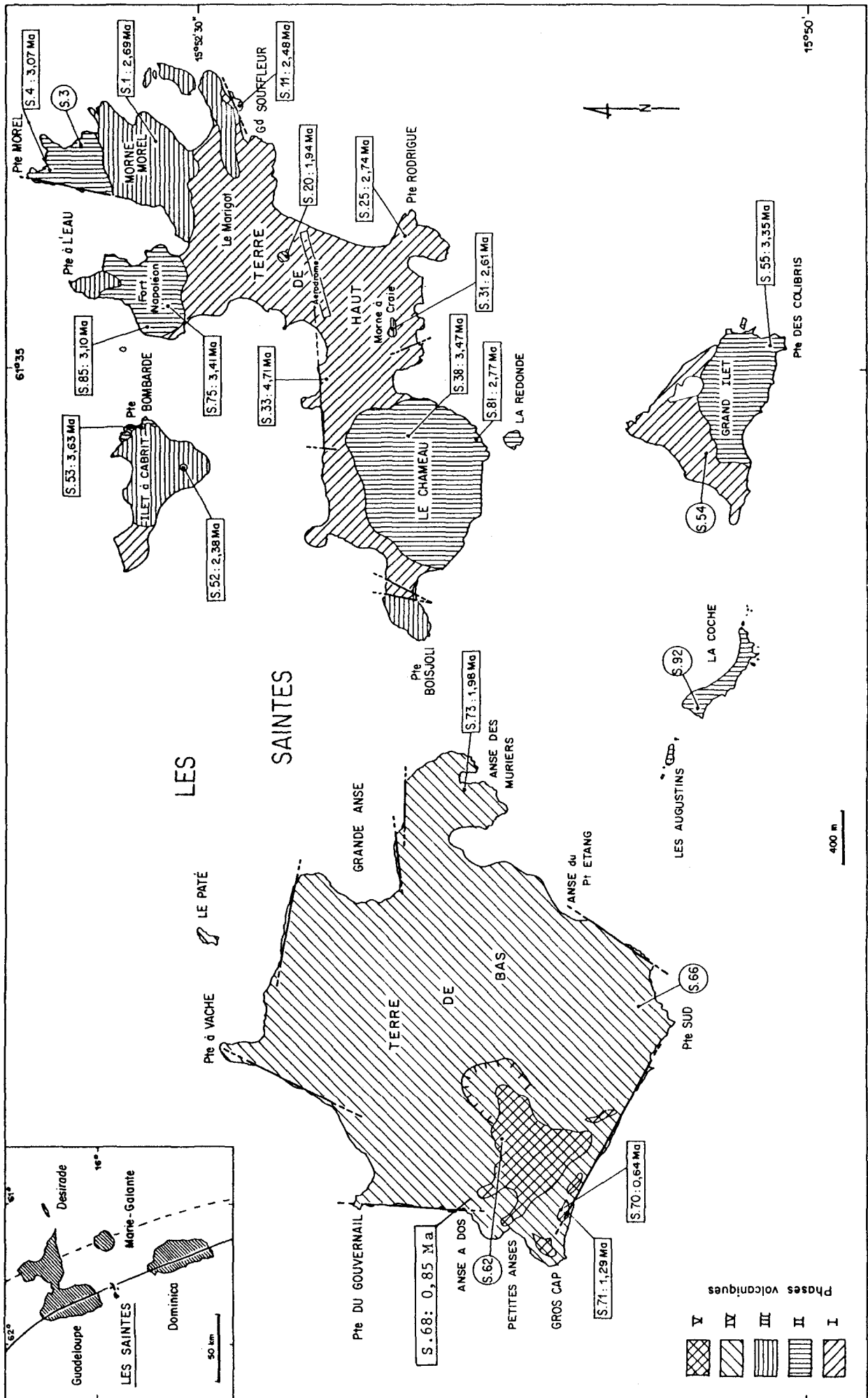


Fig. 1.- Schéma géochronologique des Saintes (d'après D. Jacques et al., 1984, légèrement modifié).
Pour les valeurs numériques, voir le texte.

d'activité de 5,3 à 2,8 Ma., Terre-de-Bas étant considérée comme plus ancienne (6,2 Ma.) D. Westercamp et B. Mervoyer (1976) publient quelques analyses chimiques des laves des Saintes et soulignent la prédominance des andésites calco-alcalines à hornblende.

Le présent article est basé sur les travaux effectués dans le cadre des levés de la carte géologique à 1/20 000 des Saintes (D. Jacques et R.C. Maury, 1988), et comportant notamment dix-neuf datations K-Ar nouvelles (D. Jacques *et al.*, 1984) et de nombreuses analyses chimiques et minéralogiques (D. Jacques, 1984).

Stratigraphie et chronologie

Les dépôts littoraux récents mis à part, les îles des Saintes sont de nature exclusivement volcanique. Les dix-neuf datations $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$ de roches totales (D. Jacques *et al.*, 1984) donnent des âges compris entre 5 et 0,6 Ma. (Tab. I) et font des Saintes un jalon caractéristique de l'activité de la branche nord de l'arc insulaire récent des Petites Antilles (P.H.A. Martin-Kaye, 1969 ; P. Andreieff *et al.*, 1987). La répartition des cinq phases successives d'activité reconnues aux Saintes (D. Jacques *et al.*, 1984) est présentée sur le schéma géochronologique de la figure 1. Les trois premières phases (5 à 2,4 Ma) correspondent assez bien aux épisodes identifiés par C. Javey *et al.* (1974) et sont responsables de l'édification de Terre-de-Haut et de certains îlots et rochers (Grand Ilet, Ilet à Cabrit, La Coche, Les Augustins et la Redonde). Par contre, la formation de l'île de Terre-de-Bas est bien plus récente que ne l'annonçaient ces auteurs, et résulte de l'activité des phases IV et V (2 à 0,6 Ma).

– **La phase I**, aux environs de 5 Ma ($4,7 \pm 0,36$ Ma : tab. I), à laquelle peut être rattaché l'âge de 5,3 Ma obtenu par C. Javey *et al.* (1974), est marquée par l'émission d'un ensemble de coulées andésitiques, de couleur sombre, constituant le substratum de Terre-de-Haut. Localement (Morne à Craie, Terre-de-Haut), elles sont surmontées par des brèches polygéniques. Les coulées d'andésites basiques de la partie occidentale du Grand Ilet appartiennent également à cet épisode. La chronologie des émissions de la phase I est cependant relativement mal connue, car dans la partie centrale de Terre-de-Haut, les andésites ont subi une altération hydrothermale ultérieure marquée par le développement de smectite, de kaolinite, de quartz (en filonnets), de pyrite et de gypse. Cette altération, très intense aux environs de l'aérodrome, perturbe les résultats des datations K-Ar des échantillons du substratum des Saintes. Un épisode de fracturation principalement E-W intervient probablement à la fin de la phase I et est responsable des nombreuses fractures observables à La Colline et à Grande Anse (aérodrome).

– **La phase II** (3,6 à 3 Ma) est la phase majeure d'édification des îles orientales des Saintes. Elle se traduit par le fonctionnement de façon simultanée de cinq centres éruptifs. A Terre-de-Haut, elle correspond à la mise en place : de l'important dôme d'andésite claire du Chameau (andésite riche en enclaves basiques congénères et en enclaves

microgrenues), point culminant de l'archipel (S.38 : $3,47 \pm 0,17$ Ma) ; de l'édifice dacitique du Fort Napoléon, consistant en une alternance de petites coulées et de brèches d'explosion riches en mégacristsaux de plagioclase et d'amphibole (S.75 : $3,41 \pm 0,17$ Ma ; S.85 : $3,10 \pm 0,15$ Ma). A l'Ilet à Cabrit, elle se marque par une alternance de coulées dacitiques sombres et de brèches d'explosion à mégacristsaux d'amphibole (S.53 : $3,63 \pm 0,55$ Ma) et enfin à Grand Ilet par le volcan andésitique de la Pointe des Colibris (S.55 : $3,35 \pm 0,17$ Ma).

– **La phase III** (2,8 à 2,4 Ma) débute par une éruption ponceuse dont quelques témoins affleurent à Terre-de-Haut (Saline Marigot) et à l'Ilet à Cabrit (Pointe Bombarde) et se poursuit par une violente activité de type phréatomagmatique ; cette dernière aboutit à l'apparition des dépôts bréchiques finement lités de la base du Morne Morel, de la Pointe à l'Eau (Terre-de-Haut) et de la partie centrale de l'Ilet à Cabrit. Dans tous les cas, ces brèches sont recouvertes par des dépôts de nuées ardentes (S.1 : $2,69 \pm 0,14$ Ma ; S.46 : $2,50 \pm 0,19$ Ma). La dépression de Grande Anse correspond vraisemblablement à la zone d'émission de ces pyroclastites compte tenu de leur répartition concentrique autour de cette zone et de leur faible pendage périphérique. L'altération hydrothermale du substratum (coulées andésitiques de la phase I) intervient probablement durant cette période, d'après les âges K-Ar des échantillons hydrothermalisés (Tab. I). Postérieurement à cette activité phréatomagmatique, se met en place une série d'intrusions (dyke dacitique du Morne à Craie ; S.31 : $2,61 \pm 0,13$ Ma ; andésite du Pénitencier, Ilet à Cabrit : S.52 : $2,38 \pm 0,12$ Ma) recoupant les produits antérieurs (brèches phréatomagmatiques, dépôts de nuées ardentes, produits des phases I et II).

– **La phase IV** (aux environs de 2 Ma) n'est représentée à Terre-de-Haut que par l'intrusion d'andésite claire à quartz du cimetière (S.20 : $1,94 \pm 0,10$ Ma) marquant le témoin le plus récent de l'activité volcanique de cette île. Par contre, durant cette période, on assiste à la mise en place de la plupart des produits volcaniques de Terre-de-Bas (S.73 : $1,98 \pm 0,30$ Ma), probablement dans un court laps de temps. Les produits émis sont essentiellement des coulées, fréquemment autobréchifiées, d'andésite gris-clair riche en phénocristsaux de quartz. Leurs points d'émission, qui n'ont pas été identifiés avec certitude, se situeraient dans la partie centrale de l'île (zone de l'Etang) compte tenu des pendages périphériques des coulées.

– **La phase terminale du volcanisme des Saintes** (phase V, de 1,3 à 0,6 Ma) n'est observable qu'à Terre-de-Bas. Au niveau de Petites Anses s'individualise un cratère ouvert vers l'ouest qui émet plusieurs nuées ardentes andésitiques à phénocristsaux de quartz et de hornblende (S.71 : $1,29 \pm 0,10$; S.70 : $0,64 \pm 0,19$ Ma). Ces dépôts, qui sont visibles essentiellement sur les côtes ouest et sud de Terre-de-Bas (Gros Cap, Petites Anses) sont recouverts par des couches cendreuseuses dont les épaisseurs sont très variables (1 à 15 m). Certaines coulées andésitiques ont également été mises en place à proximité du cratère durant cette étape (S.68 : $0,85 \pm 0,06$ Ma). Le volcanisme de cette île se termine par des émissions de produits cendreuseux, incluant des dépôts de déferlantes, qui comblent la dépression de Petites Anses.

ECHANTILLON Localisation	AGE (M.A.) ± incertitude	40 Ar* (10 ⁻⁷ cm ³ /g)	% $\frac{40 \text{ Ar}^*}{40 \text{ ArT}}$	K ₂ O (%)	POIDS (g)	N° EXP.	PHASE VOLCANIQUE	
S.70 Gros Cap	0,64 ± 0,10	0,29	9,8	1,38	1,2954	B 475		
S.68 Petites Anses	0,85 ± 0,06	0,42	11,6	1,54	1,0053	B 495	V	
S.71 Gros Cap	1,29 ± 0,10	0,52	13,3	1,26	1,2384	B 477		
S.20 Terre-de-Haut	1,94 ± 0,10	0,88	24,8	1,39	1,2332	B 476	IV	
S.73 Anse des Muriers (Terre-de-Bas)	1,98 ± 0,30	0,75	6,6	1,16	1,0229	B 455		
S.52 Ilet à Cabrit	2,38 ± 0,12	[2,06 2,64	0,86 1,10	22,8 26,5	1,29 1,29	1,0936 1,0310	B 485 B 491	
S.11 ⁺ Grand Souffleur	2,48 ± 0,12	1,22	22,0	1,52	1,0332	B 468		
S.46 Pte Bois Joli	2,50 ± 0,19	0,66	11,8	0,81	1,0296	B 535		
S.31 Morne à craie	2,61 ± 0,13	1,10	26,1	1,30	1,0820	B 503	III	
S.1 Morne Morel	2,69 ± 0,14	0,94	15,2	1,07	1,0114	B 462		
S.25 ⁺ Pte Rodrigue	2,74 ± 0,14	0,10	17,7	1,12	1,0062	B 467		
S.81 ⁺⁺ Le Chameau	2,77 ± 0,14	1,29	29,3	1,43	1,1162	B 502		
S.4 Pte Morel	3,07 ± 0,15	1,56	27,8	1,56	1,0033	B 466		
S.85 Fort Napoléon	3,10 ± 0,16	0,85	19,0	0,84	1,0259	B 456		
S.55 Pte des Colibris	3,35 ± 0,17	1,15	26,1	1,06	1,0907	B 464	II	
S.75 Fort Napoléon	3,41 ± 0,17	[3,33 3,49	1,83 1,92	35,4 37,3	1,69 1,69	1,0386 1,0264	B 484 B 494	
S.38 Le Chameau	3,47 ± 0,17	1,63	18,4	1,45	1,0117	B 461		
S.53 Pte Bombarde	3,63 ± 0,55	2,06	6,4	1,75	1,0224	B 465		
S.33 Terre-de-Haut	4,71 ± 0,35	1,21	14,0	0,79	1,0315	B 463	I	

Tab. 1 - Ages K-Ar des laves des Saintes (d'après D. Jacques et al., 1984). Ages calculés selon la relation $t(\text{Ma}) = 4153,3 \log_{10} (1 + 142,22 \text{ Ar}^*/\text{K})$. Incertitudes I sur les âges t estimées en fonction du rapport $R = \frac{40 \text{ Ar}^*}{40 \text{ ArT}}$, à $\pm 5\%$ si $R > 15\%$, à $\pm 7,5\%$ si $15\% > R > 10\%$, à $\pm 15\%$ sur $10\% > R > 5\%$ et à $\pm 30\%$ si $R < 5\%$. S.25⁺, S.11⁺ : échantillons hydrothermalisés du substratum ; S.81⁺⁺ : échantillon du dôme du Chameau prélevé en bordure de mer.

Fracturation et hydrothermalisme

Les Saintes ont été affectées par des fracturations de type normal ; les zones faillées sont généralement soulignées par des filonnets de quartz et de jaspes (environs de l'aérodrome de Terre-de-Haut, ouest de Grand Ilet) ou par des produits argileux accompagnés de pyrite (côte SW de Terre-de-Bas). Deux épisodes majeurs de fracturation ont été distingués. Le premier, qui n'affecte que les andésites sombres du substratum de Terre-de-Haut, se place à la fin de la phase I ; il est notamment illustré par une faille majeure E-W aux environs de

l'aérodrome. Le second épisode de fracturation, très récent, s'observe à Terre-de-Bas où il affecte les produits des phases IV et V ; il est responsable de la rectilinéarité des côtes de cette île.

La formation de l'importante zone hydrothermalisée de l'aérodrome de Terre-de-Haut ne semble pas correspondre à un épisode de fracturation, mais paraît plutôt liée à une activité géothermique contemporaine de, ou immédiatement postérieure à, l'épisode phréatomagmatique (phase III) de Terre-de-Haut : les zones d'altération sont disposées de façon concentrique autour de la caldeira de Grande Anse (D. Jacques et R.C. Maury,

1988), et les âges K-Ar des échantillons hydrothermalisés du substratum (S.11, S.25, Tab. I) appartiennent à la phase III.

Pétrologie

Généralités

Quarante-quatre analyses de roches totales des Saintes ont été publiées par D. Jacques et R.C. Maury (1988); quelques analyses caractéristiques sont présentées en tableau II. L'histogramme de fréquence des teneurs en SiO_2 (fig. 2) montrent que les compositions trouvées varient depuis des basaltes, peu abondants, jusqu'à des dacites ($50 \leq \text{SiO}_2 \leq 66\%$), les termes andésitiques ($57 < \text{SiO}_2 < 63\%$) étant de loin les plus fréquents; les basaltes n'ont été rencontrés que sous forme d'enclaves basiques congénères incluses dans les roches plus évoluées. Toutes les laves des Saintes sont très porphyriques et contiennent des phénocristaux de plagioclase calcique, clinopyroxène, orthopyroxène et titanomagnétite.

Les andésites basiques ($53 < \text{SiO}_2 < 57\%$) correspondent aux coulées des zones occidentales du Grand Ilet (phase I), de la Coche (phase III) et de la Pointe Morel (phase III). Ce sont des laves sombres à clinopyroxène, orthopyroxène, plagioclase et titanomagnétite. L'olivine y est parfois présente sous forme de microlites iddingsitisés (Pointe Morel : S.4).

Les andésites ($57 < \text{SiO}_2 < 63\%$) représentent les 2/3 des échantillons étudiés, et leur pétrographie est très variable. On distingue des andésites à clinopyroxène et orthopyroxène (phases I et II), des andésites à clinopyroxène, orthopyroxène et

amphibole (phases II et III) et des andésites à clinopyroxène, orthopyroxène, amphibole et quartz (phases IV et V).

Les dacites ($63 < \text{SiO}_2 < 68\%$) affleurent à l'Ilet à Cabrit (Pointe Bombarde, phase II), au Fort Napoléon et au Morne à Craie (phase III). Ce sont des laves sombres à claires à dominante de plagioclase, les clino- et orthopyroxènes étant peu abondants.

En définitive, les laves des Saintes présentent les caractéristiques pétrographiques les plus courantes des magmas calco-alcalins des Petites Antilles (D. Westercamp et B. Mervoyer, 1976). Leurs variations les plus nettes, au cours du temps, consistent en l'apparition, dans les laves les plus récentes, de phénocristaux d'amphibole (phases III, IV, V) et de quartz (phases IV et V). Chimiquement (Tab. II), les laves des différentes phases sont voisines les unes des autres: elles présentent les caractères usuels des magmas calco-alcalins, et, dans la classification régionale proposée par R.C. Maury et D. Westercamp (1985), se rangent parmi les séries modérément potassiques. Les laves des phases I, II et III varient en composition des andésites basiques aux dacites, alors que les phases IV et V n'ont produit que des andésites à phénocristaux de quartz et de hornblende riches en enclaves basaltiques congénères ("série calco-alcaline secondaire" de D. Westercamp, 1979).

Minéralogie

Nous avons étudié la minéralogie de sept échantillons considérés comme représentatifs des cinq phases éruptives des Saintes: phase I: S.27 (andésite); phase II: S.4 (andésite basique, Pointe Morel) et S.38 (andésite du Chameau); phase III: S.1 (nuée ardente, Morne Morel); phase IV: S.66 (andésite à quartz, Terre-de-Bas) et S.20 (andésite à

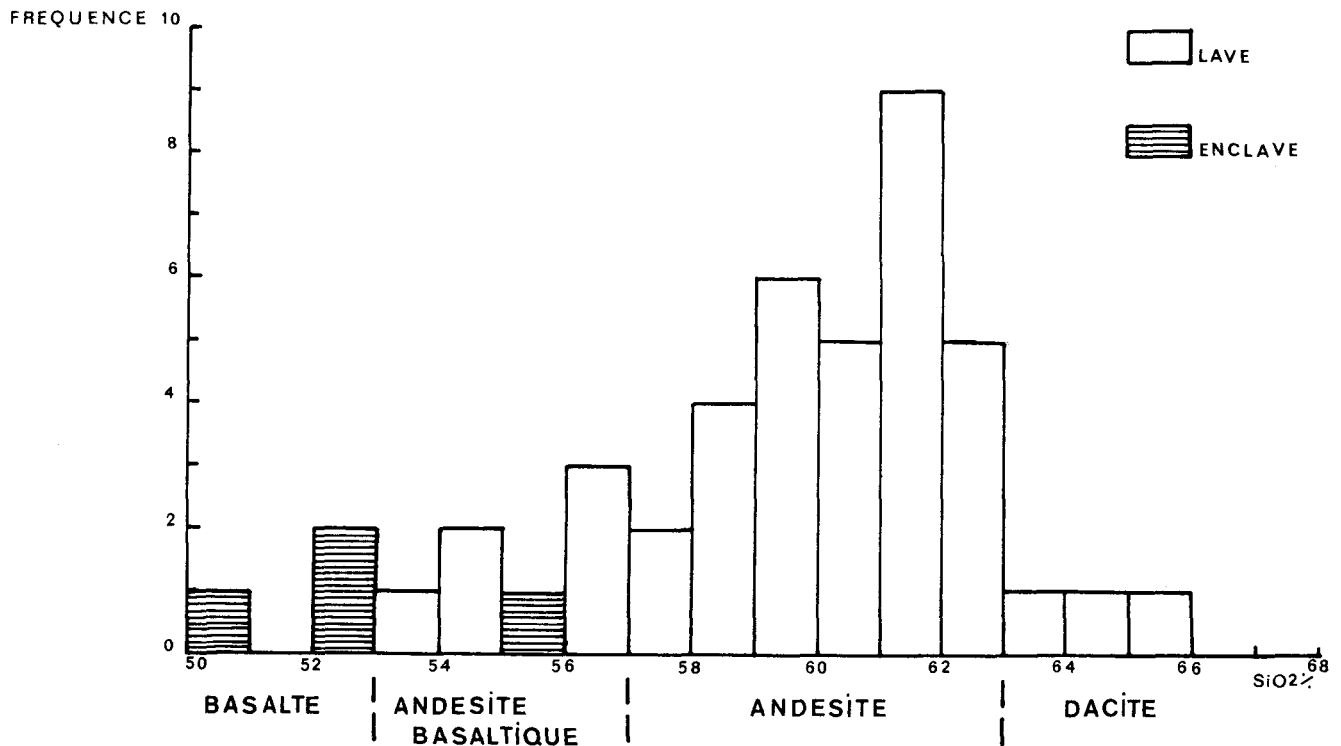


Fig. 2.- Histogramme de fréquence des teneurs en SiO_2 des laves des Saintes (analyses in D. Jacques et R.C. Maury, 1988).

PHASE	I		II		III		IV	V
	S54	S33	S4	S75	S1	S31	S20	S70
SiO ₂	54.15	60.60	56.80	65.40	60.20	63.70	60.00	61.50
TiO ₂	0.99	0.48	0.71	0.62	0.54	0.48	0.48	0.55
Al ₂ O ₃	17.76	16.32	17.04	17.13	16.41	16.69	16.03	16.90
Fe ₂ O ₃	1.49	1.10	1.31	0.42	1.08	0.70	0.95	0.93
FeO	7.60	5.62	6.69	2.16	5.51	3.55	4.85	4.76
MnO	0.23	0.21	0.15	0.07	0.16	0.14	0.16	0.14
MgO	3.64	2.14	2.96	0.50	2.22	1.65	2.61	2.02
CaO	8.12	6.62	7.11	4.55	6.74	5.38	6.54	6.57
Na ₂ O	3.25	3.31	3.21	4.72	3.18	3.41	3.17	3.57
K ₂ O	0.95	0.88	1.33	1.53	0.89	1.10	1.25	1.22
P ₂ O ₅	0.20	0.50	0.30	0.20	0.25	0.30	0.25	0.20
H ₂ O ⁺	0.06	0.70	0.75	0.79	1.43	1.51	2.14	0.88
H ₂ O ⁻	0.56	0.32	0.40	0.74	0.69	0.61	0.90	0.86
Total	99.00	98.81	98.76	98.83	99.30	99.22	99.33	100.10
Rb	16	20	27	23	21	22	27	17
Sr	344	232	247	275	221	216	220	291
Ba	121	77	128	238	86	111	93	157
V	209	144	244	39	183	135	182	164
Cr	<10	30	25	<10	24	25	36	15

Tab. II - Analyses représentatives des laves des Saintes (extraites de Jacques & Maury, 1988). Fer total arbitrairement réparti en Fe₂O₃ (15%) et FeO (85%).

quartz, Terre-de-Haut); phase V : S.70 (andésite à quartz la plus récente de Terre-de-Bas).

Les clinopyroxènes, présents en phénocristaux et microlites, correspondent essentiellement à des augites dans le diagramme Ca-Mg-Fe + Mn (fig. 3); cependant des compositions salitiques apparaissent dans les échantillons S.66 et S.70. On constate que l'évolution des compositions chimiques des clinopyroxènes (Tab. III, A et B) est comprise entre Wo₃₆₋₄₉En₃₆₋₄₅Fs₁₂₋₂₂; toutefois, les variations chimiques des clinopyroxènes des laves sans amphibole sont très restreintes dans le champ augitique (Wo₃₉₋₄₂En₃₈₋₄₁Fs₁₇₋₂₁) alors que celles des laves à amphiboles évoluent entre les champs salitique et augitique (Wo₃₆₋₄₉En₃₆₋₄₅Fs₁₂₋₂₂). Dans ce dernier cas, les clinopyroxènes montrent des zonations de type Ca \rightleftharpoons Mg du cœur vers la périphérie du minéral, le fer étant constant. Ce type de substitution dans les clinopyroxènes semble être courant dans les laves où l'amphibole et le clinopyroxène cristallisent simultanément (D. Jacques, 1987).

Les orthopyroxènes, abondants, montrent des compositions chimiques peu variables (Tableau III, C); ce sont des hypersthènes dont les teneurs molaires en enstatite sont comprises entre 65 et 53%. On constate également en figure 3 que les orthopyroxènes des laves sans amphibole sont plus riches en calcium (Wo_{2-3,5}) que ceux des laves à amphiboles (Wo < 2%).

Les amphiboles abondent en phénocristaux dans les laves des phases III, IV et V. Ce sont des amphiboles calciques (Tab. IV) qui correspondent soit à des pargasites ferreuses (S.1 et S.66), soit à des édénites (S.70 et S.20) dans la classification proposée par Leake (1978). Dans le diagramme de la figure 3, elles sont généralement plus calciques dans S.1 et S.66 que dans S.20 et S.70.

Les plagioclases sont très calciques; leurs teneurs en anorthite varient entre 40 et 90% avec une fréquence maximale des analyses comprises

entre 40 et 60% (fig. 4). Les phénocristaux présentent souvent des zonations, soit inverses, soit normales, et ont des teneurs en orthoclase plus faible (< 1%) que celles des microlites (1 à 2%). Les phénomènes de résorption sont très fréquents et peuvent atteindre la totalité du minéral.

Les oxydes (tab. V, A et B) sont présents dans tous les échantillons étudiés sous forme de phénocristaux, de microlites et d'inclusions. Ils sont très souvent associés aux phases ferromagnésiennes précédemment décrites. Il s'agit essentiellement de titanomagnétites contenant 8 à 13% de TiO₂. De nombreux ilménites ont été également rencontrés dans les échantillons (S.66, S.20 et S.70) des phases IV et V, et sont souvent en inclusion dans les amphiboles.

Le quartz caractérise les laves des phases IV et V; il est en faible proportion et se présente sous forme de phénocristaux arrondis ou subautomorphes (S.20); on y note la présence d'inclusions fluides (S.20 et S.70) mais l'absence d'inclusions vitreuses.

L'olivine est rare: quelques microlites totalement iddingsitisés apparaissent dans l'échantillon S.4 (andésite basique) et un cristal fortement magnésien (Fo₈₀) auréolé d'ortho-pyroxènes a été analysé dans S.66 (andésite). La mésostase est très finement cristallisée et constituée de microlites de plagioclase accompagnés de quelques pyroxènes, d'oxydes et d'amphiboles, le verre étant peu abondant.

Géothermométrie

La présence constante de cristaux d'ilménite et de magnétite dans certains échantillons des phases volcaniques IV et V nous a permis d'évaluer des températures et des fugacités d'oxygène. Le géothermomètre utilisé est la version de K.J. Spencer et D.H. Lindsley (1981) du géothermomètre de A.F. Buddington et D.H. Lindsley (1964).

L'ARCHIPEL DES SAINTES (GUADELOUPE)

-----S.4-----						-----S.38-----						
	c	c	p	c	p	c	p	c	p	c	p	p
SiO2:	52.75	51.97	52.15	51.78	52.09	51.99	52.06	52.64	51.05	52.07	52.62	52.49
TiO2:	0.34	0.50	0.42	0.50	0.46	0.31	0.25	0.25	0.33	0.14	0.20	0.25
Al2O3:	1.48	2.21	1.78	1.82	1.83	1.70	1.46	1.42	1.63	1.04	1.11	1.17
Cr2O3:	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.13	0.03	0.00	0.03	0.00	0.06	0.14
FeO:	10.97	10.96	11.02	11.01	11.57	10.97	11.16	10.97	10.59	10.41	11.11	11.13
MnO:	0.71	0.48	0.31	0.30	0.37	0.50	0.65	0.33	0.49	0.66	0.49	0.47
MgO:	14.75	14.05	14.28	14.19	14.55	14.26	14.68	14.50	14.18	14.29	14.36	14.23
CaO:	19.31	19.16	19.03	19.13	18.74	19.57	19.08	19.52	19.39	21.06	20.56	21.27
Na2O:	0.33	0.45	0.37	0.28	0.31	0.26	0.33	0.31	0.38	0.25	0.17	0.26
K2O:	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:	100.68	99.78	99.47	99.01	99.94	99.69	99.76	99.94	98.07	99.92	100.68	101.41
Si4+:	1.961	1.948	1.959	1.955	1.951	1.954	1.956	1.968	1.950	1.958	1.962	1.950
Ti4+:	0.010	0.014	0.012	0.014	0.013	0.009	0.007	0.007	0.009	0.004	0.006	0.007
Al3+:	0.065	0.098	0.079	0.081	0.081	0.075	0.065	0.063	0.073	0.046	0.049	0.051
Cr3+:	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.001	0.000	0.002	0.004
Fe2+:	0.341	0.344	0.346	0.348	0.362	0.345	0.351	0.343	0.338	0.327	0.347	0.346
Mn2+:	0.022	0.015	0.010	0.010	0.012	0.016	0.021	0.010	0.016	0.021	0.015	0.015
Mg2+:	0.817	0.785	0.800	0.799	0.812	0.799	0.822	0.808	0.807	0.801	0.798	0.788
Ca2+:	0.769	0.769	0.766	0.774	0.752	0.788	0.768	0.782	0.794	0.848	0.822	0.846
Na+:	0.024	0.033	0.027	0.020	0.023	0.019	0.024	0.022	0.028	0.018	0.012	0.019
K+:	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total:	4.010	4.006	4.002	4.000	4.007	4.008	4.017	4.004	4.017	4.024	4.013	4.025
Wo:	39.45	40.22	39.86	40.10	38.79	40.46	39.16	40.23	40.59	42.47	41.45	42.43
En:	41.92	41.03	41.61	41.38	41.90	41.02	41.91	41.58	41.30	40.09	40.28	39.49
Fs:	18.64	18.75	18.53	18.51	19.30	18.52	18.93	18.19	18.11	17.44	18.27	18.07

-----S.20-----			-----S.70-----				
	c	c	p	c	p	p	c
SiO2:	48.14	47.37	52.62	49.23	52.53	50.66	48.40
TiO2:	0.93	0.97	0.29	0.75	0.36	0.45	1.08
Al2O3:	6.61	7.24	1.95	6.72	2.30	3.74	6.09
Cr2O3:	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.00
FeO:	10.18	10.21	9.88	7.81	11.37	8.06	9.29
MnO:	0.18	0.29	0.55	0.27	0.96	0.29	0.00
MgO:	12.69	12.71	15.38	14.70	13.49	14.36	12.78
CaO:	21.56	21.36	20.47	21.07	20.32	21.39	22.23
Na2O:	0.26	0.28	0.11	0.30	0.27	0.27	0.21
K2O:	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
Total:	100.55	100.44	101.25	100.98	101.60	99.22	100.10
Si4+:	1.802	1.778	1.939	1.810	1.944	1.898	1.815
Ti4+:	0.026	0.027	0.008	0.021	0.010	0.013	0.030
Al3+:	0.292	0.320	0.085	0.291	0.100	0.165	0.269
Cr3+:	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
Fe2+:	0.319	0.320	0.304	0.240	0.352	0.252	0.291
Mn2+:	0.006	0.009	0.017	0.008	0.030	0.009	0.000
Mg2+:	0.708	0.711	0.845	0.806	0.744	0.802	0.714
Ca2+:	0.865	0.859	0.808	0.830	0.806	0.858	0.893
Na+:	0.019	0.020	0.008	0.021	0.019	0.020	0.015
K+:	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Total:	4.036	4.045	4.014	4.032	4.006	4.017	4.029
Wo:	45.58	45.22	40.93	44.05	41.71	44.67	47.04
En:	37.32	37.43	42.78	42.76	38.52	41.72	37.62
Fs:	17.10	17.35	16.29	13.19	19.77	13.62	15.34

(A)

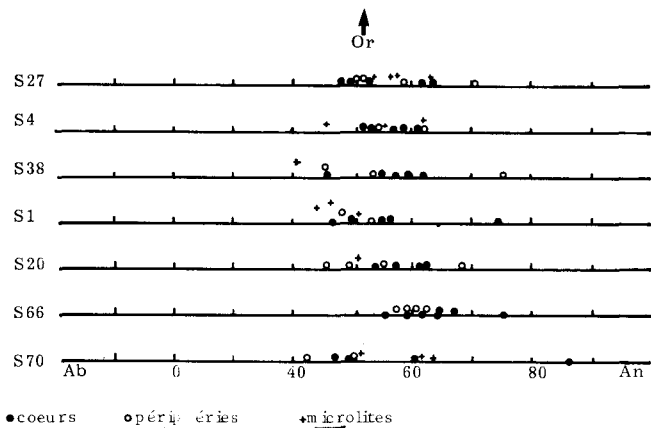
(B)

Tableau III

(C)

	c	p	c	p	c	c	p	c	c	p	c
SiO2:	53.48	53.10	52.53	52.72	53.21	52.97	51.37	52.19	52.47	51.67	51.65
TiO2:	0.12	0.09	0.12	0.09	0.02	0.11	0.11	0.02	0.08	0.01	0.03
Al2O3:	0.55	0.26	1.04	0.60	0.62	0.44	1.09	0.64	0.45	0.56	0.67
Cr2O3:	0.08	0.00	0.13	0.00	0.13	0.11	0.02	0.05	0.11	0.00	0.00
FeO:	24.68	23.92	25.16	26.54	24.92	26.48	26.65	26.83	26.70	26.44	26.86
MnO:	1.07	0.99	1.01	1.03	1.26	1.48	1.68	1.75	1.71	1.78	1.32
MgO:	21.03	21.48	20.56	19.95	21.20	18.95	18.30	18.36	18.41	18.90	18.94
CaO:	1.13	1.08	1.26	1.05	1.04	0.88	0.86	0.82	0.72	0.86	0.93
Na2O:	0.01	0.00	0.00	0.02	0.04	0.01	0.13	0.00	0.07	0.01	0.02
K2O:	0.01	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03
Total:	102.16	100.84	101.81	102.02	102.44	101.43	100.21	100.68	100.72	100.23	100.45
Si4+:	1.977	1.982	1.956	1.970	1.966	1.991	1.965	1.985	1.992	1.974	1.969
Ti4+:	0.003	0.003	0.003	0.003	0.001	0.003	0.003	0.001	0.002	0.000	0.001
Al3+:	0.024	0.011	0.046	0.026	0.027	0.019	0.049	0.029	0.020	0.025	0.030
Cr3+:	0.002	0.000	0.004	0.000	0.004	0.003	0.001	0.002	0.003	0.000	0.000
Fe2+:	0.763	0.744	0.783	0.829	0.770	0.832	0.852	0.853	0.848	0.845	0.856
Mn2+:	0.033	0.031	0.032	0.033	0.039	0.047	0.054	0.056	0.055	0.058	0.043
Mg2+:	1.159	1.195	1.141	1.111	1.168	1.062	1.043	1.041	1.042	1.076	1.076
Ca2+:	0.045	0.043	0.050	0.042	0.041	0.035	0.035	0.033	0.029	0.035	0.038
Na+:	0.001	0.000	0.000	0.001	0.003	0.001	0.010	0.000	0.005	0.001	0.001
K+:	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
Total:	4.007	4.010	4.016	4.016	4.019	3.995	4.012	4.000	3.997	4.014	4.016
Wo:	2.24	2.15	2.50	2.09	2.04	1.79	1.72	1.68	1.48	1.75	1.89
En:	57.94	59.37	56.87	55.14	57.85	53.71	52.55	52.46	52.78	53.45	53.46
Fs:	39.82	38.49	40.63	42.77	40.11	44.49	45.68	45.85	45.73	44.21	44.65
-----S.4-----			-----S.38-----			-----S.20-----			-----S.70-----		

Tab. III - Analyses représentatives de phénocristaux de pyroxènes des laves des Saintes. A : clinopyroxènes de laves sans amphibole ; B : clinopyroxènes de laves à amphibole ; C : orthopyroxènes ; c : coeurs de phénocristaux ; p : périphéries de phénocristaux. Analyses Microsonde Ouest, Brest (microsonde automatisée Camebax, conditions de travail 15 kv ; 15 nA, temps de comptage 6s). Formules structurales sur la base de 6 oxygènes.



Les résultats obtenus, par la méthode de combinaison systématique des analyses proposée par P. D'Arco *et al.* (1981) pour les échantillons S.20 et S.70 sont reportés dans les diagrammes de la figure 5. Les températures varient de 804° à 887°C pour S.20 (T° moyenne = 853°C) et de 794 à 867°C pour S.70 (T° moyenne des inclusions dans les amphiboles = 844°; T° moyenne pour les phénocristaux = 824°C). Les fugacités d'oxygène pour ces échantillons sont toujours supérieures au tampon Ni-NiO (fig. 5).

Géobarométrie

Afin d'estimer quantitativement la pression totale dans les échantillons S.20 et S.70, nous avons utilisé deux géobaromètres indépendants.

Fig. 4.- Composition des plagioclases des laves des Saintes.

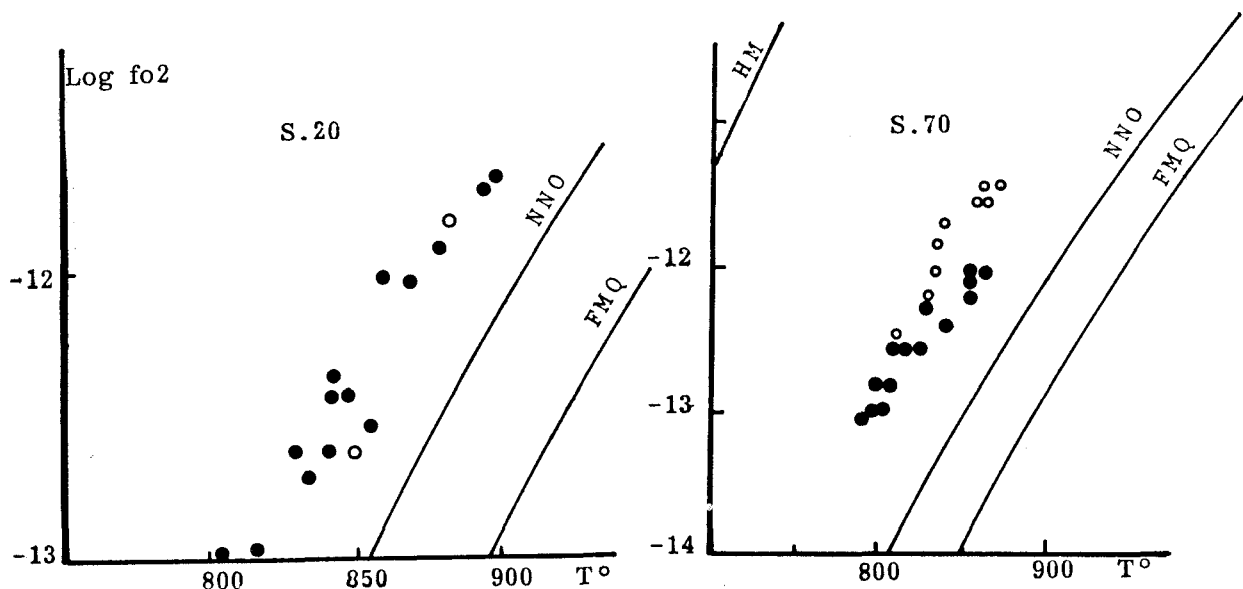


Fig. 5.- Diagramme T-fO2 (équilibre magnétite-ilménite d'après Spencer & Lindsley, 1981).

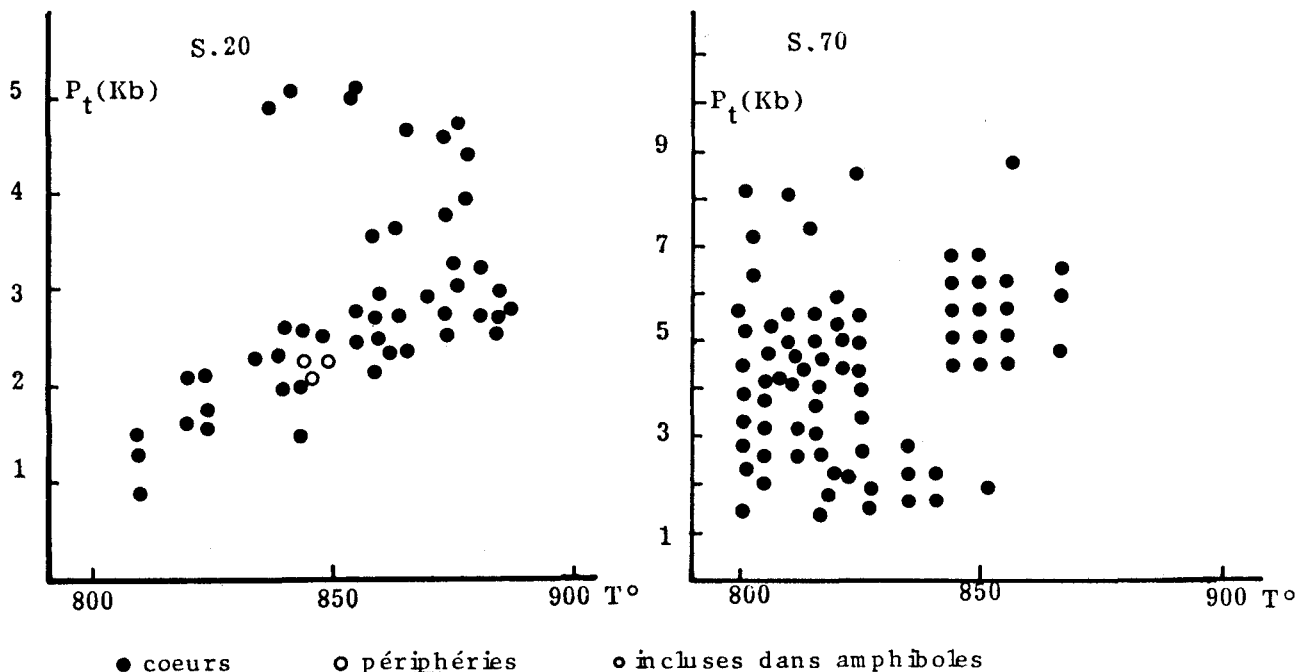


Fig. 6.- Evaluations des pressions totales d'après l'équilibre magnétite-ilménite-orthopyroxène-quartz.

La présence de l'association magnétite + ilménite + orthopyroxène + quartz dans les laves considérées permet une estimation de la pression totale. La pression totale peut être calculée, utilisant les températures et les fugacités d'oxygène déduites de l'équilibre des oxydes de fer-titane, à l'aide de la réaction magnétite + quartz = orthopyroxène + oxygène (J. Nicholls *et al.*, 1971). Les résultats reportés dans les diagrammes de la figure 6 ont été obtenus par la méthode de combinaison systématique des analyses proposée par P. D'Arco *et al.* (1981). On constate que la pression totale montre une large gamme de variation entre 1 et 5 kb pour S.20 et entre 1 et 9 kb pour S.70. Cependant, la fréquence maximale des valeurs est comprise entre 2,5 et 3 kb pour S.20 et entre 3 et 5,5 kb pour S.70.

J.M. Hammarstrom et E. Zen (1983, 1986) ont utilisé pour le calcul de la pression totale (P_t) les teneurs en Al total (Al_t) des amphiboles ; ces auteurs proposent à partir d'études menées sur des granodiorites et tonalites calco-alcalines, l'équation suivante : $P_t(\text{kbar}) : -3,89 + 5,04 Al_t$ (incertitude ± 2 kbars). L.S. Hollister *et al.* (1987) aboutissent à une équation légèrement différente où $P_t(\text{kb}) = 4,76 + 5,64 Al_t$ avec cependant une incertitude moins élevée (± 1 kbar). Les pressions totales de cristallisation des édénites de S.20 et de S.70, calculées à partir des deux équations ci-dessus, sont équivalentes et comprises entre 2,6 et 3,7 kbar (moyenne = 3 kbar) pour S.20 et entre 3,4 et 4,6 kbar (moyenne = 4 kbar) pour S.70. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par la méthode précédente.

Conclusions

Le volcanisme des Saintes s'est mis en place de façon presque continue et sans changement important de type magmatique depuis environ 5 Ma (limite Miocène-Pliocène) jusqu'à 0,6 Ma (Pléistocène supérieur). On constate l'existence d'un certain parallélisme chronologique entre les différents épisodes volcaniques des Saintes et ceux de Basse-Terre (Guadeloupe). La phase I de Terre-de-Haut (≈ 5 Ma), donnant essentiellement des coulées d'andésites sombres à deux pyroxènes, correspond vraisemblablement à l'édification du complexe basal septentrional (Pitons de Sainte Rose) de la Guadeloupe qui est assez mal connu du point de vue chronologique (Ph. Bouysse *et al.*, 1985) et doit être probablement plus ancien que 4 Ma. Les phases II et III de Terre-de-Haut et les phases IV et V de Terre-de-Bas (marquées par le volcanisme andésitique à quartz) correspondraient en Guadeloupe à la mise en place de la chaîne septentrionale entre 3,5 et 1,2 Ma (Ph. Bouysse *et al.*, 1985). Les produits volcaniques constituant

cette chaîne sont voisins de ceux observés aux Saintes. Cependant, bien que les Saintes se situent dans le prolongement de la direction structurale du volcanisme actif de la Guadeloupe (Madeleine-Soufrière), aucune trace d'éruption récente (moins de 0,6 Ma) n'a été décelée aux Saintes alors que l'activité volcanique était particulièrement intense dans la Basse-Terre (chaîne de Bouillante, Monts Caraïbes, volcan de la Grande Découverte : cf. Gadalia *et al.*, ce volume).

En raison du grand étalement chronologique (plus de 4 Ma) de leur activité - exceptionnel pour des îles aussi petites - Les Saintes représentent un jalon privilégié pour l'étude du volcanisme de la partie nord de l'arc récent des Petites Antilles. Il est remarquable qu'aucun changement notable dans la composition des magmas n'y ait été décelé, alors que dans des zones comparables mais en position plus méridionale dans l'arc des Petites Antilles, on observe souvent une augmentation des teneurs en potassium et autres éléments incompatibles au cours du temps (R.C. Maury et D. Westercamp, 1985 ; P. Andreieff *et al.*, 1987).

L'intérêt pétrologique essentiel des laves des Saintes réside dans l'existence de variations minéralogiques considérables (apparition de phénocristaux de hornblende lors des phases III, IV et V puis de quartz lors des phases IV et V) sans changement notable de la composition chimique (modérément potassique) des roches totales, alors que la plupart des "séries calco-alcalines secondaires" à phénocristaux de quartz et hornblende définies par D. Westercamp (1979) sont fortement potassiques (selon les critères de R.C. Maury et D. Westercamp, 1985). La plupart des caractères minéralogiques discutés précédemment semblent dépendants de la cristallisation de l'amphibole : ainsi, les clinopyroxènes syncristallisant avec les amphiboles sont généralement caractérisés par une zonation, du coeur vers la périphérie du cristal, de type $Ca \rightleftharpoons Mg$; les orthopyroxènes dans les andésites à amphibole montrent des teneurs en Wo plus faibles que ceux qui ont cristallisé dans des andésites dépourvues d'amphibole.

Les conditions de cristallisation de la paragenèse phénocrystalline à quartz et amphibole des Saintes paraissent voisines de celles des autres andésites à quartz et amphibole des Petites Antilles (P. D'Arco *et al.*, 1981 ; N. Gstalter, 1986) : températures comprises entre 800 et 880°, pressions totales élevées (2,5 à 5 kbar) et vraisemblablement rapports P fluide / P totale élevés, bien que ces derniers ne puissent être évalués quantitativement en raison de l'absence de cummingtonite (P. D'Arco *et al.*, 1981). Il semble que l'origine des spécificités pétrologiques des "séries calco-alcalines secondaires" doit être recherchée au niveau des conditions physiques de leur évolution intracrustale plutôt qu'à celui des modalités de la genèse de leurs magmas initiaux.

Références bibliographiques

ANDREIEFF P., BOUYASSE P., WESTERCAMP D. (1979).- Reconnaissance géologique de l'arc insulaire des Petites Antilles. Résultats d'une campagne à la mer de prélèvements des roches entre Sainte-Lucie et Anguilla (ARCANTE 1). *Bull. B.R.G.M. Fr.* (2), section IV, 3/4, pp. 227-270.

ANDREIEFF P., BOUYASSE P., WESTERCAMP D. (1987).- Géologie de l'arc insulaire des Petites Antilles, et évolution géodynamique de l'est-Caraïbe. Thèse d'Etat, Université de Bordeaux I, 359 p.

BARRABE L. (1934).- Rapport sur les résultats d'une mission pour la recherche du pétrole à la Guadeloupe (juillet-octobre 1933). *Ann. Off. nat. Com. liq.*, 4, 658.

- BOUYSSSE P. (1979).- Caractères morphostructuraux et évolution géodynamique de l'arc insulaire des Petites Antilles (campagne ARCANTE 1). *Bull. B.R.G.M. Fr. (2). IV, 3/4*, pp. 185-210.
- BOUYSSSE P., WESTERCAMP D., ANDREIEFF P., BAUBRON J.C., SCOLARI G. (1985).- Le volcanisme sous-marin néogène récent au large des côtes Caraïbes des Antilles françaises. Relations avec le volcanisme à terre et évolution du front volcanique. *Géologie de la France, 1*, pp. 101-114.
- BRUET E. (1952).- Etudes volcanologiques dans l'archipel des Saintes (Antilles Françaises). *Bull. Soc. Géol. Fr. VI, tome II, n° 7-9*, pp. 485-490.
- BUDDINGTON A.F., LINDSLEY D.H. (1964).- Iron-Titanium oxide minerals and synthetic equivalents. *J. Petrol.*, 5, pp. 310-357.
- D'ARCO P., MAURY R.C., WESTERCAMP D. (1981).- Geothermometry and geobarometry of a cummingtonite-bearing dacite from Martinique, Lesser Antilles. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 77, pp. 177-184.
- GADALIA A., GSALTER N., WESTERCAMP D. (1988).- La chaîne volcanique de Bouillante, (Basse-Terre du Guadeloupe, Petites Antilles) : identité pétrographique, volcanologique et contexte géodynamique. *Géologie de la France*, n° 2.
- GSTALTER N. (1986).- Les formations poncées à quartz de la région sud de Basse-Terre (Guadeloupe). Pétrologie, géochimie, thermobarométrie et chimie. *Bull. PIRPSEV, 119*, 296 p.
- HAMMARSTROM J.M., ZEN E. an (1985).- An empirical equation for igneous calcil amphibole geobarometry. *Geol. Soc. Am. abstracts with program*, 15(6), 590
- HAMMARSTROM J.M., ZEN E.an (1986).- Aluminium in hornblende : an empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, 71, pp.1297-1313.
- HOLLISTER L.S., GRISSON G.C., PETERS E.K., STOWELL H.H., SISSON V.B. (1987).- Confirmation of the empirical correlation of Al in hornblende with pressure of solidification of calc-alkaline plutons. *Am. Mineral.*, 72, pp. 231-239.
- JACQUES D. (1984).- Géologie et pétrologie des îles des Saintes (Antilles françaises). Mémoire de D.E.A., Brest, 65 p.
- JACQUES D. (1987).- Géologie et pétrologie de l'archipel Babuyan et du Mont Cagua (nord Luzon, Philippines) : implications géodynamiques et magmatologiques. Thèse Doctorat de l'Université de Bretagne Occidentale, Brest, 245 p.
- JACQUES D., MAURY R.C., BELLON H. (1984).- Géologie et géochronologie ^{40}K - ^{40}Ar des îles des Saintes (Guadeloupe). *C.R. Acad. Sci. Fr.*, 299, sér. II, 11, pp. 721-726.
- JACQUES D., MAURY R.C. (1988).- Carte géologique des Saintes à 1/20.000 et notice explicative détaillée. Serv. Géol. nat. France, (sous-presses).
- JAVEY C., ALSAC C., collaboration B. MERVOYER (1974).- Excursion A6, livret-guide des excursions dans les F.W.I. VIIIe Conf. Géol. des Caraïbes, 65-72.
- LACROIX A. (1904).- La montagne Pelée et ses éruptions. *Masson et Cie, Paris, XXII*, 662 p.
- LEAKE E. (1978).- Nomenclature of amphiboles. *Bull. Mineral.*, 101, 453-467.
- MARTIN-KAYE P.H.A. (1969).- A summary of the geology of Lesser Antilles. *Overseas Geol. Mineral. Resour.*, 10, 2, pp. 172-206.
- MAURY R.C., WESTERCAMP D. (1985).- Variations chronologiques et spatiales des basaltes néogènes des Petites Antilles. Implications sur l'évolution de l'arc : *In Géodynamique des Caraïbes*, I, A. Mascle (Ed.), Editions Technip.
- NICHOLLS J., CARMICHAEL I.S.E., STORMER J.C. (1971).- Silica activity and P_{total} in igneous rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 33(1), pp. 1-20.
- SPENCER K.J., LINDSLEY D.H. (1981).- A solution model for coexisting iron-titanium oxides. *Am. Mineral.* 66, pp. 1189-1201.
- WESTERCAMP D. (1979).- Diversité, contrôle structural et origine du volcanisme récent dans l'arc insulaire des Petites Antilles. *Bull. B.R.G.M. Fr.*, 2, IV, 3/4, pp. 211-226.
- WESTERCAMP D., MERVOYER B. (1976).- Les séries volcaniques de la Martinique et de la Guadeloupe (F.W.I.). *Bull. B.R.G.M. Fr.*, 2, IV, 4, pp. 229-242.