

## **GÉOLOGIE ET PÉTROLOGIE DES LAVES PRE-CALDÉRIQUES DES MONTS BAMBOUTO: LIGNE DU CAMEROUN**

J. Nni<sup>1</sup>, J. B. Nyobe<sup>2</sup>

1. Centre de Recherche Géologiques et Minières, Garoua-Cameroun

2. Ministère de la Recherche Scientifique et Technique, Yaounde-Cameroun

## ABSTRACT

New geological and petrological studies carried out on pre-calderic volcanism of the Bambouto Mountains (Cameroon Line) have shown an association of under saturated mafic rocks (basanites, alkali basalts, hawaiites and mugearites) and saturated acidic lavas (quartz-trachytes, comenditic trachytes and comendites). These two groups of lavas would result from simple fractional crystallization, without possibility of mixing. The under saturated rocks in silica are related to a mafic parental liquid, with mg, U/Th and Rb/U ratios of (69), (0.26) and (36) respectively, while the saturated lavas represent the end members of transitional basalts.

## RESUMO

Estudos geológicos e petrológicos, efetuados na borda sudoeste do Monte Bambouto, permitiram colocar em evidência a existência de uma associação vulcânica bimodal, nesta região da "linha dos Camarões". Esta associação, pertencente ao vulcanismo pré-caldérico da cadeia Bambouto-Bamenda, é constituída de lavas básicas sub-saturadas em sílica (basanitos, basaltos alcalinos, havaítos e mugearitos) e de lavas ácidas saturadas (quartzo-traquitos, riolitos, traquitos comendíticos e comenditos).

Os estudos mostraram a impossibilidade de passagem do líquido sub-saturado em sílica para o líquido saturado, permitindo concluir que o conjunto dessas rochas tenham evoluído por cristalização fracionada. O líquido básico primário, com relação mg(69), U/Th(0.26) e Rb/U(36), seria proveniente da fusão parcial do manto e teria evoluído até os fonolitos, com conservação da sub-saturação e as lavas ácidas saturadas em sílica representariam, ao contrário, termos finais da diferenciação de basaltos transicionais.

## INTRODUCTION

Du Miocène à l'Actuel, la Chaîne tectono-volcanique des Bambouto-Bamenda, a été le siège de trois cycles volcaniques successifs, différents entre eux par leur type de dynamisme: - le volcanisme pré-caldérique à dynamisme effusif, il inclut les séries noire inférieure et blanche moyenne de Gèze (1953). Pendant cette phase, d'importantes coulées laviques d'hawaiite et de trachyte et des coulées pyroclastiques d'ignimbrite ont été émises. La fin d'activité est caractérisée par la mise en place des dômes extrusifs de trachytes, d'une part, et des filons NE-SW de basanite et de basalte alcalin sur les flancs supérieurs de la chaîne, d'autre part; - le volcanisme syn- à tardi-caldérique à dynamisme vulcanien à péleén, son activité est marquée par la mise en place de dents de trachyte, de rhyolite, de phonolite et de rares coulées de basaltes à l'intérieur des caldéras sommitales; - le volcanisme post-caldérique à dynamisme hydromagmatique, il correspondrait à la série noire supérieure de Gèze (1953) et est caractérisé par des émissions de cendres, de scories et de lapillis formant, au nord-est de la chaîne, de petits cônes isolés de basalte, avec ou sans cratère, à structure de maar.

La zone d'étude (9°55' - 10°05' E; 5°25' - 5°35' N) est localisée sur le flanc sud-ouest des Monts Bambouto, où une association volcanique

basique sous-saturée (39%) - acide saturée en silice (61%), appartenant à la phase volcanique pré-caldérique, a été mise en évidence. Une telle association volcanique dans une même région est bien connue, ainsi que sa relation avec la tectonique distensive. A partir des données pétrographiques et géochimiques, l'objectif de ce travail est de discuter l'origine et l'évolution de l'ensemble de ces laves, afin de définir un modèle pétrogénétique suffisamment proche de la réalité.

## TECTONIQUE ET GÉOLOGIE

La chaîne des Bambouto-Bamenda forme l'une des unités volcaniques de la Ligne du Cameroun, où la tectonique distensive, en relation avec l'activité volcanique Miocène, a été la plus active. Le massif des Bambouto constitue la terminaison sud de cette chaîne (Fig. 1).

C'est un horst qui est limité, de part et d'autre, par des plaines alluviales des Mbo et de Ndop, au sud-ouest et au nord-est, respectivement. La tectonique régionale, induite par la mise en place des fractures et des failles NE-SW, qui ont dissequé, de part et d'autre, le substratum précambrien, s'est traduite dans le temps par quatre mouvements d'ampleur inégale:

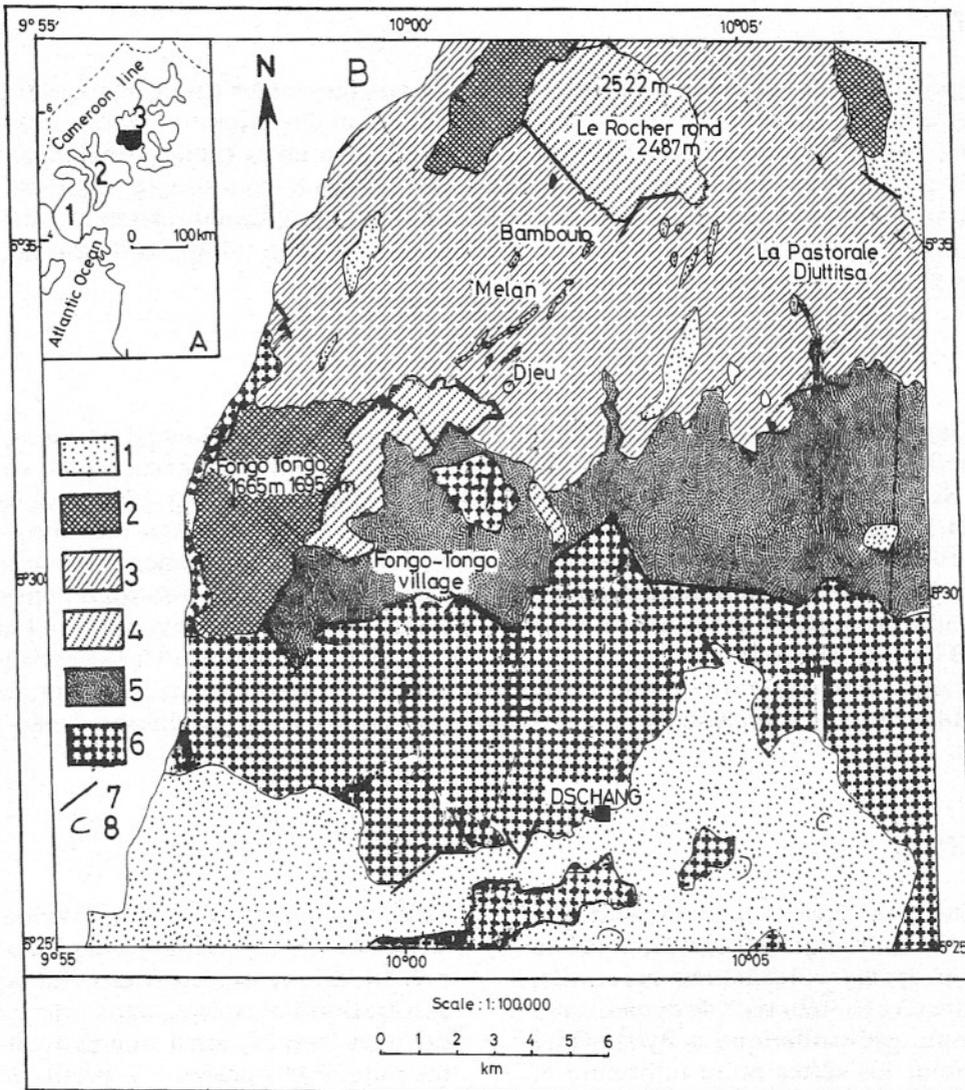


Figure 1 - Carte géologique du flanc sud-ouest des Monts Bambouto (Nyobe, 1987, modifiée). 1: laves basiques; 2: trachyte quartzifère type "Fongo-Tongo"; 3: trachyte quartzifère fluidal; 4: trachyte hyperalkalin; 5: ignimbrite rhyolitique; 6: socle panafricain; 7: failles; 8: cônes basaltiques

- le bombement lithosphérique. Il a porté à plus de 1000 mètres d'altitude le socle précambrien (Burke et Whiteman, 1973). Ce rehaussement matérialise la zone d'"uplift" et a, d'une manière générale, induit, sur toute la Ligne du Cameroun, la mise en place d'une succession de horsts et de grabens qui sont limités par des failles bordières (Gèze, 1953; Deruelle et al., 1982);

- la réactivation de ces anciennes failles lithosphériques (Nni et al., 1986) a eu pour conséquence, au niveau de la chaîne des Bambouto-Bamenda, le développement d'un important volcanisme pré-caldérique. Dans la zone d'étude, cette inter-relation est caractérisée par l'alignement de filons de basanites, de basaltes et de dômes extrusifs de trachytes suivant la direction principale (NE-SW) de la Ligne du

Cameroun;

- les effondrements successifs de la partie sommitale du massif conduisent à la formation de deux importantes caldéras (Tchoua, 1974) et le développement d'un volcanisme syn- à tardicaldérique constitué de dents trachyphonolitiques à rhyolitiques et de quelques rares coulées de basalte de faible puissance;

- le basculement de 30° NW, en direction des caldéras, des nappes de coulées de trachytes orientées par contre N 30° (Nyobe, 1987) constituerait le dernier mouvement tectonique de la chaîne des Bambouto-Bamenda.

L'activité volcanique pré-caldérique du flanc sud-ouest de la chaîne serait datée de 17,17 Ma à 12,70 Ma (Tchoua, 1974; Dunlop, 1983; Fitton & Dunlop, 1985). Les différentes

formations volcaniques qui y affleurent ont récemment fait l'objet pour la première fois d'une contribution cartographique (Fig. 1). Ces produits couvrent les pentes supérieures, ainsi que les Hauts Plateaux de la chaîne. Ils affleurent, ainsi, depuis les caldéras sommitales au nord (non représentées sur la carte), jusqu'aux environs de Dschang, au sud, où ils reposent sur le socle précambrien (Dumort, 1968; Nyobe, 1987). Ce sont d'importantes coulées pyroclastiques d'ignimbrites datées de 17,17 Ma à 12,70 Ma (Tchoua, 1974); de puissantes nappes de trachytes en coulées et en dômes extrusifs, dont les âges varieraient entre 15,89 Ma et 14,37 Ma, et, d'importantes coulées d'hawaïites, de plateaux datées de 14,37 Ma à 12,78 Ma (Tchoua, 1974; Dunlop, 1983). La zone la plus haute du massif (supérieure à 1500 mètres d'altitude) est constituée essentiellement de laves différenciées, qui sont traversées, par endroits, par des filons NE-SW de basanites et de basaltes. La mise en place de ces filons traduirait, selon Nyobe (1987), la manifestation ultime du volcanisme pré-caldérique.

## EVOLUTION PÉTROGRAPHIQUE

### *Classification des laves*

La classification utilisée dans ce travail tient compte de l'indice de différenciation de Thorton & Tuttle (1960) pour les laves basiques. Les teneurs en quartz et en minéraux fémiques CIPW normatifs, ainsi que l'indice d'agpaïcité (I.A.), ont été pris en compte pour la classification des laves acides (Parker, 1983; Macdonald, 1974; Maury, 1976):

Basalte: (Indice de différenciation D.I. <35)

Hawaïite: (D.I. = 35 à 50)

Mugéarite: (D.I. = 50 à 65)

Benmoréite: (D.I. = 65 à 75)

Trachyte quartzifère: (D.I. >75, quartz normatif < 10%)

Trachyte rhyolitique: (D.I. >75, quartz normatif compris entre 10-15%)

Rhyolite: (D.I. >75, quartz normatif >15%)

Trachyte comenditique: (I.A. >1, quartz normatif <10%)

Comendite: (I.A. >1, quartz normatif >10%).

De cette classification, les laves du flanc sud-ouest des Monts Bambouto se subdivisent en basanites, basaltes alcalins à olivine, hawaïites et mugéarites, pour les faciès basiques, et en trachytes quartzifères, rhyolites, trachytes comenditiques et comendites, pour les faciès acides (Tableaux 1 et 2).

### *Principaux types*

- Les basanites (N67, N3, N35) contiennent des phénocristaux d'olivine stable et de clinopyroxène. Leur mesostase comporte l'association olivine + clinopyroxène + subsidiairement plagioclase et verre. Accessoirement, on y trouve de la zéolite et de la calcite.

- Les basaltes alcalins à olivine (N63, N58) sont constitués de phénocristaux d'olivine, parfois serpentinisés, et de clinopyroxène, ainsi que du plagioclase, si leur D.I. est élevé. Dans la pâte, les oxydes de fer-titane s'adjoignent à l'assemblage olivine + clinopyroxène + plagioclase.

- Les hawaïites (CA27, CA31) sont caractérisées par la rareté de phénocristaux d'olivine et de clinopyroxène, si leur D.I. est faible. Dans les faciès à D.I. élevé, le plagioclase est abondant. Leur mesostase est feldspathique et est constituée d'une abondance de microlites de plagioclase associés aux grains d'olivine et de clinopyroxène interstitiels.

- Les mugéarites (CA43) possèdent une paragenèse de phénocristaux qui diffère, essentiellement, de celle des hawaïites, par la disparition de l'olivine et la présence d'oxydes de fer-titane. Les phénocristaux de clinopyroxène et de plagioclase, bien que rares, sont présents. Sa mesostase est, essentiellement, feldspathique.

- Les trachytes quartzifères en coulées laviques compactes (type "Fongo Tongo": N47, N49) possèdent des phénocristaux de plagioclase acide, feldspath alcalin, pyroxène, olivine, oxydes de fer-titane et apatite. Dans les faciès fluidaux (N10, N28, N40), la paragenèse minérale diffère du groupe précédent et est, essentiellement, caractérisée par l'abondance des feldspaths alcalins.

- Les rhyolites (N32, N44) sont des ignimbrites. Elles possèdent une paragenèse minérale de phénocristaux de feldspaths alcalins, ainsi que, subsidiairement, d'oxyde de fer-titane et d'amphibole. La pâte contient de fiammes de dévitrification. Contrairement aux autres roches, on y trouve des enclaves de socle granito-migmatitique, de trachyte et de bauxite.

- Les trachytes comenditiques (N66, N57) et les comendites (N2, N7) ont des phénocristaux de feldspaths alcalins identiques à ceux des trachytes quartzifères et des rhyolites, ainsi que, subsidiairement, de pyroxène, d'amphibole, et d'oxyde de fer titane.

Tableau 1 - Analyses chimiques des éléments majeurs en poids d'oxyde et en trace en ppm des laves basiques du flanc sud-ouest des Monts Bambouto. Normes calculées avec analyses sans eau et  $Fe^3/Fe^3 + Fe^2 = 0,20$ . N: Analyses effectuées au Laboratoire de Pétrologie de St. Jérôme (Marseille - France). CA: Analyses effectuées à l'Université de Trieste - Italie. na = non analysé. nd = non déterminé

	N67	N3	N35	N63	N58	CA27	CA31	CA43
SiO <sub>2</sub>	42.89	43.35	40.86	44.02	43.99	48.02	49.25	50.88
TiO <sub>2</sub>	3.06	2.95	3.58	3.03	3.47	3.01	3.11	1.88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.54	13.62	14.28	13.99	15.71	16.05	17.14	18.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.13	3.22	4.02	1.37	2.72	1.63	1.78	1.51
FeO	9.08	8.44	9.79	10.19	8.72	9.08	9.58	8.37
MnO	0.18	0.20	0.21	0.19	0.23	0.20	0.21	0.32
MgO	12.36	8.48	7.39	8.43	6.21	6.06	4.71	2.19
CaO	10.60	10.95	10.63	9.82	10.30	9.78	7.70	7.72
Na <sub>2</sub> O	2.92	2.76	3.23	3.18	3.41	3.66	4.51	5.57
K <sub>2</sub> O	1.12	1.40	1.59	1.23	1.34	1.69	1.28	1.79
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.03	0.83	1.58	1.11	1.38	0.98	0.96	1.17
CO <sub>2</sub>	0.06	0.13	0.08	0.09	0.10	na	na	na
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.16	1.49	0.82	1.03	0.97	nd	nd	nd
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.19	0.36	0.24	0.33	0.13	nd	nd	nd
SUM	99.32	98.18	98.30	98.01	98.60	100.16	100.17	100.15
DI	24.49	27.78	29.05	31.11	33.44	38.18	44.92	52.86
Ne	8.44	5.94	10.27	4.99	4.98	3.26	0.94	5.71
(mg)	68.91	61.40	54.03	59.14	54.10	54.30	46.70	31.80
Cr	535	382	93	266	93	203	8	2
Ni	376	150	106	165	80	85	13	9
Ba	605	684	812	765	1317	759	498	631
Rb	33	32	36	24	28	37	47	43
Sr	1020	1012	1390	1114	2180	1344	1160	1147
U	0.91	1.12	2.19	6.04	5.91	na	na	na
Th	3.44	4.49	3.67	3.79	3.49	na	na	na
U/Th	0.26	0.24	0.59	0.19	1.69	nd	nd	nd
Rb/U	36.26	28.57	16.43	3.97	4.73	nd	nd	nd

## ÉVOLUTION GEOCHIMIQUE

### Caractéristiques générales de la série

Les roches volcaniques du flanc sud-ouest des Monts Bambouto appartiennent à une série alcaline, comprenant des basanites et basaltes alcalins à olivine sous-saturés (néphéline normative = 10,27 à 4,97%), jusqu'aux trachytes comenditiques saturés en silice. Les termes intermédiaires sont également sous-saturés en silice (néphéline normative = 5,71 à 0,94%). Le rapport Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O est supérieur à 2 (sauf pour la roche N3 = 1,97), au niveau des laves basiques,

et inférieur à 1,15, dans les laves acides.

L'abondance relative des différents types de laves est estimée à 39%, pour les laves basiques (sensu lato), et à 61%, pour les laves acides (sensu lato). Les textures porphyriques et aphyriques sont caractéristiques des laves basiques et intermédiaires, respectivement.

Le magma parental aurait un chimisme de basanite avec un D.I. minimum de 24,49, pour une valeur du rapport  $mg = (100 \times Mg) / (Mg + Fe^2)$  supérieur à 68, un tel liquide serait en équilibre avec les olivines (F=87%) du manteau supérieur (Green, 1971; Ringwood, 1975; Bender et al., 1978).

Tableau 2 - Analyses chimiques des éléments majeurs en poids d'oxyde et en trace en ppm des laves acides du flanc sud-ouest des Monts Bambouto. Normes calculées avec analyses sans eau et  $Fe^3/Fe^3 + Fe^2 = 0,20$ . N: Analyses effectuées au Laboratoire de Pétrologie de St. Jérôme (Marseille - France). CA: Analyses effectuées à l'Université de Trieste - Italie. na = non analysé

	N47	N49	N10	N28	N40	N32	N44	N66	N57	N2	N7
SiO <sub>2</sub>	59.62	61.64	61.47	62.11	62.70	67.84	68.11	60.63	63.73	66.45	65.29
TiO <sub>2</sub>	0.75	0.45	0.62	0.90	0.75	0.61	0.62	1.01	0.68	0.82	0.73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.04	15.98	17.67	17.49	17.33	14.81	15.25	14.79	16.27	12.38	11.99
FeO <sub>3</sub>	3.29	3.59	2.58	2.99	2.90	2.35	1.92	4.02	2.21	3.82	2.89
FeO	4.59	3.20	2.76	0.74	1.88	0.69	0.53	2.05	2.92	2.91	4.22
MnO	0.20	0.19	0.18	0.18	0.13	0.06	0.03	0.72	0.19	0.16	0.46
MgO	0.13	0.28	0.42	0.53	0.34	0.03	0.01	0.72	0.41	0.20	0.25
CaO	2.58	2.20	0.17	0.90	0.06	0.01	0.01	0.77	0.21	0.07	0.13
Na <sub>2</sub> O	4.74	4.75	6.04	5.87	6.16	5.39	5.59	5.86	6.27	5.24	5.08
K <sub>2</sub> O	5.15	5.40	5.04	5.76	5.38	4.99	4.81	5.36	5.54	4.86	4.81
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27	0.05	0.02	0.23	0.15	0.07	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01
CO <sub>2</sub>	0.12	na	0.18	0.14	0.16	0.18	0.11	0.03	1.84	1.84	na
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1.09	1.46	1.36	0.82	1.27	1.39	1.42	2.79	0.31	1.04	2.26
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.31	0.43	0.28	0.25	0.52	0.76	0.50	0.46	0.18	0.67	0.33
SUM	98.61	100.03	98.82	98.91	99.73	99.08	99.05	99.74	98.96	98.68	100.29
IA	0.74	0.77	0.81	0.85	0.88	0.94	0.91	1.07	1.00	1.21	1.23
DI	76.43	78.95	87.06	88.10	89.48	94.90	95.21	82.66	89.48	84.14	83.22
Qz	3.93	5.55	3.90	2.63	4.22	16.89	17.33	2.00	2.65	16.83	18.48
FEM	15.73	14.14	13.02	8.96	11.46	6.29	6.03	16.86	10.14	15.38	16.41
Alc	9.89	10.15	11.08	11.63	11.54	10.38	10.40	11.22	11.81	10.10	9.89
Ac	-	-	-	-	-	-	-	3.06	0.19	3.41	3.64
Ns	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.95	0.97
Cr	16	9.9	9.9	9.9	13	9.9	31	14	9.9	12	9.9
Ni	9.9	13	9.9	9.9	9.9	11	21	9.9	9.9	10	14
Rb	105	110	133	88	168	142	153	212	169	174	180
Sr	120	114	9.9	80	29	18	29	76	9.9	10	9.9
Ba	1565	1725	22	546	46	77	59	67	18	19	38
U	2.75	2.92	5.74	3.37	6.97	7.22	7.44	12.45	2.87	10.28	10.94
Th	10.30	10.87	26.51	8.32	34.72	21.70	21.92	33.36	10.23	41.92	37.61
U/Th	0.26	0.26	0.21	0.40	0.20	0.33	0.33	0.37	0.28	0.24	0.29
Rb/U	38.18	37.67	23.17	26.11	24.10	19.66	20.56	17.02	58.88	16.92	16.45

L'évolution des paragenèses minérales des laves du flanc sud-ouest des Bambouto est marquée par une rareté, voire une absence des oxydes de fer-titane dans les laves basiques, contrairement à la série du Mont Cameroun (Nni, 1984; Deruelle et al., 1987). Les basanites et les basaltes alcalins à olivine sont riches en phénocristaux d'olivine et de clinopyroxène. Le fractionnement des plagioclases reste très limité à partir des basaltes à fort D.I. Dans les laves acides, les minéraux hydroxylés (amphibole) sont rares, l'olivine persiste dans les trachytes quartzifères en dômes extrusifs (trachyte type "Fongo-Tongo"), les feldspaths alcalins sont par contre la phase minérale la plus abondante de ces roches.

## COMPORTEMENT DES ALCALINS

Le rapport Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O, compris entre 1,97 et 3,52 des basanites aux mugéarites, diminue dans les laves acides pour être voisin de 1. Une tendance à l'augmentation de ce rapport est, cependant, observée au passage des hawaïite-mugéarite, confirmant le faible et/ou l'absence de fractionnement du plagioclase et de l'amphibole, surtout minéraux, dont les rapports Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O sont, généralement, plus élevés que ceux des magmas où ils ont cristallisé. Au niveau des trachytes quartzifères, il est possible de distinguer deux sous-groupes, l'un potassique (Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O < 1: trachyte type "Fongo-Tongo") et l'autre sodique (Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O > 1). Cette

évolution reflète la différence petrographique déjà notée entre les trachytes en coulées compactes et les trachytes fluidaux. La cristallisation et la séparation du plagioclase entraîne la diminution du rapport  $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  dans les trachytes quartzières potassiques. Le développement de l'hyperalcalinité dans les trachytes comenditiques et comendites serait dû aux faibles teneurs de l'alumine dans ces roches par rapport aux trachytes quartzifères et rhyolites, et se traduit, à la norme, par la présence de l'acmite et des nesosilicates de sodium.

## VARIATIONS DES ÉLÉMENTS MAJEURS ET EN TRACE

Les comportements des éléments majeurs et en trace des laves pré-caldériques du flanc sud-ouest des Monts Bambouto sont illustrés dans les Figures 2 et 3. L'évolution géochimique de ces éléments rend compte des variations minéralogiques observées. La décroissance de

$\text{MgO}$ ,  $\text{FeO}$  total,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ni}$  et  $\text{Cr}$ , compensée par l'augmentation de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  et  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et  $\text{Rb}$ , correspond à un processus de différenciation par cristallisation fractionnée.

- Au niveau des basanites et basaltes alcalins, entre le D.I. (D.I. + ac + ns) = 24,49 à 33,44, le fractionnement de l'olivine et du clinopyroxène fait diminuer fortement  $\text{Ni}$ ,  $\text{Cr}$ ,  $\text{MgO}$  et  $\text{CaO}$ . Dans ces roches,  $\text{FeO}$  total et  $\text{TiO}_2$  restent constants, ce comportement s'explique par l'absence de séparation des oxydes de fer-titane. Le barium a tendance à augmenter, cette évolution s'observe également pour le strontium, ce qui peut être mis en rapport avec le faible taux de fractionnement du plagioclase.

- Au niveau de la transition basalte alcalin - hawaïite et mugéarite, la décroissance des teneurs de  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$  se poursuit, alors que le  $\text{FeO}$  total reste stationnaire. Ce comportement s'explique par la séparation, surtout, de l'olivine, clinopyroxène et, accessoirement, celui du plagioclase basique et des oxydes de fer-titane.

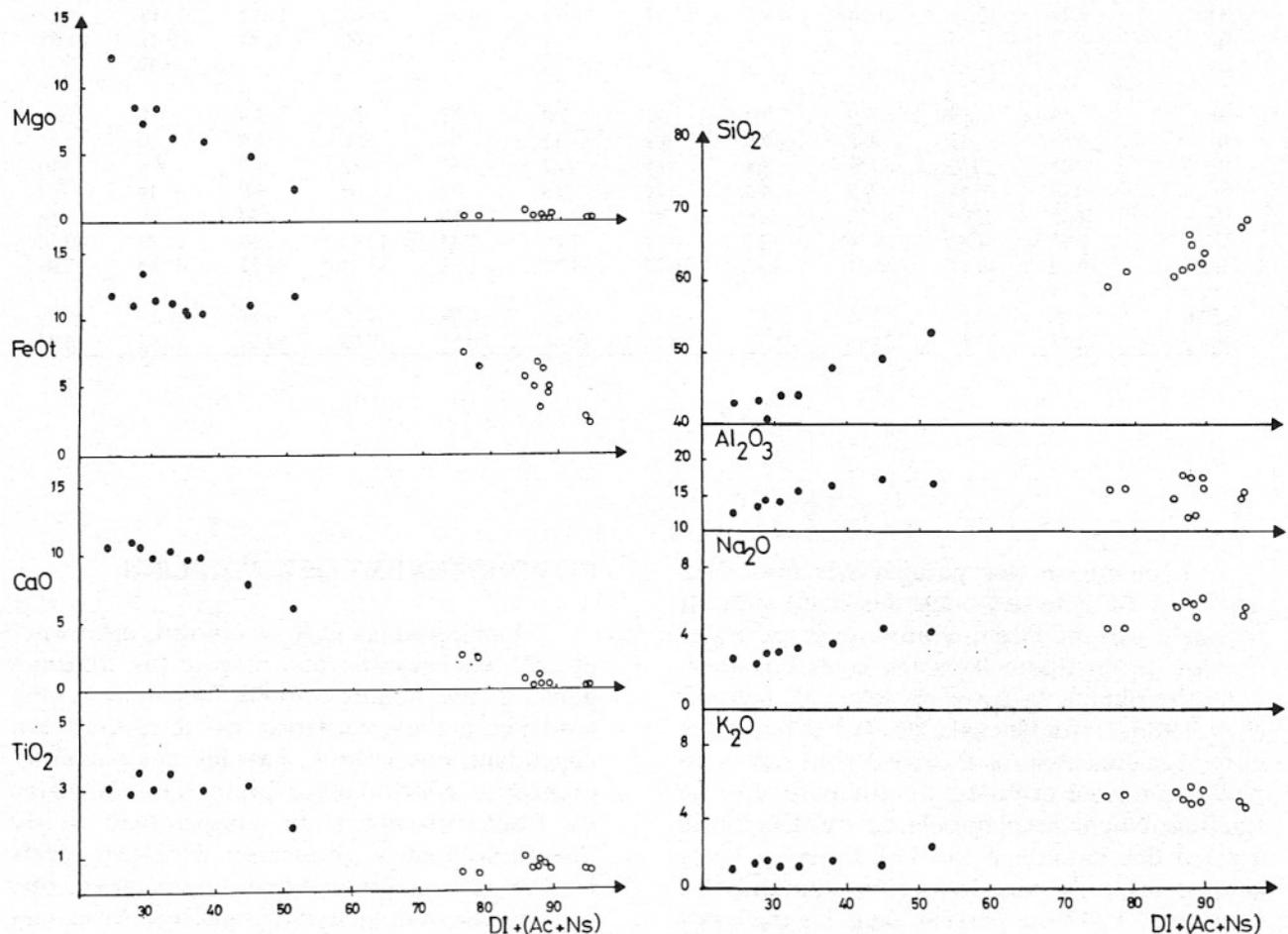


Figure 2 - Diagrammes des oxydes, en fonction du D.I. modifié. Cercle noir: laves basiques. Cercle vide: laves différenciées

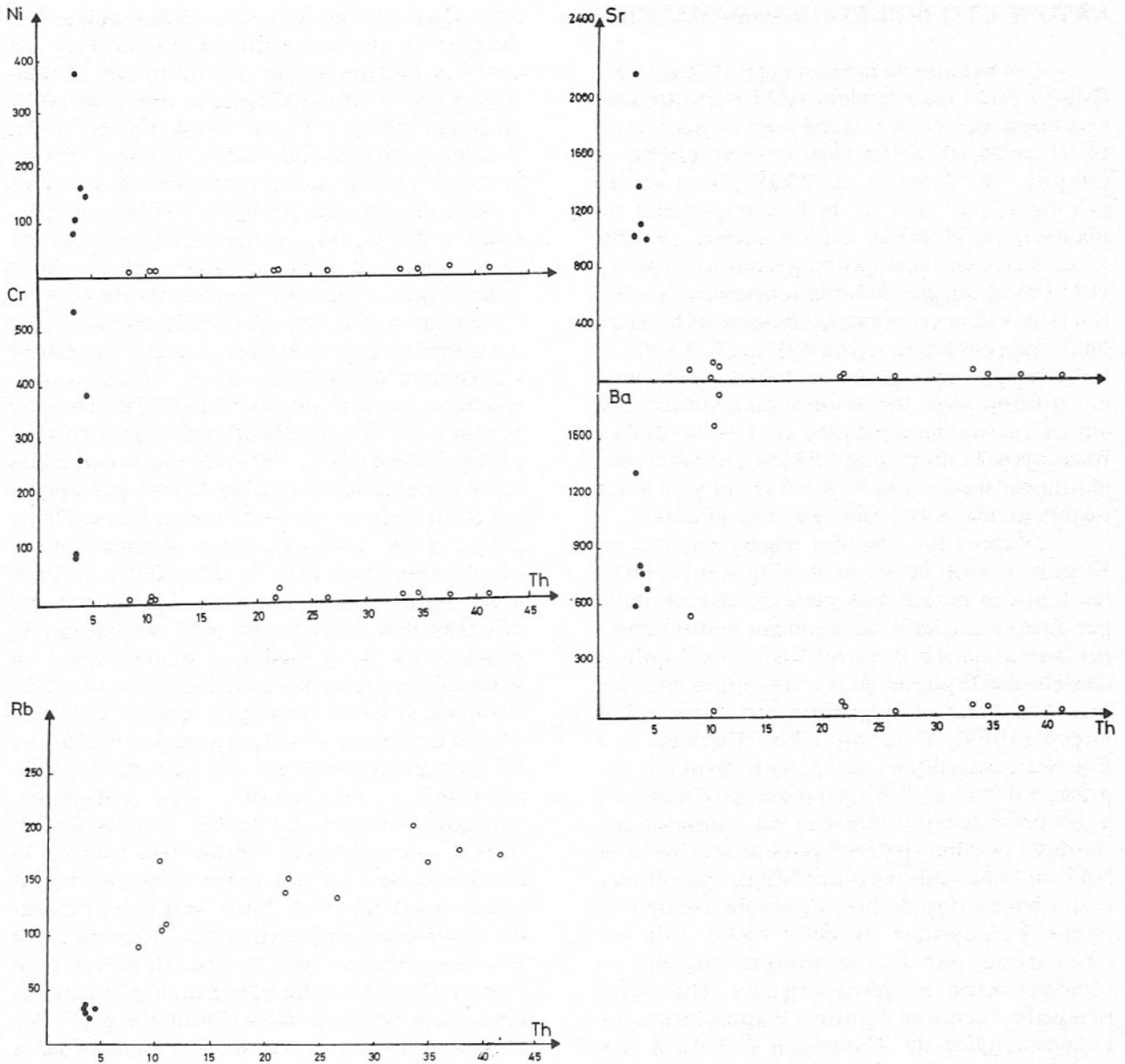


Figure 3 - Diagrammes Ni/Th, Cr/Th, Sr/Th, Ba/Th et Rb/Th. Cercle noir: laves basiques. Cercle vide: laves différenciées

- Le passage aux laves acides est caractérisée par une lacune géochimique entre le D.I. variant de 52 à 76. Dans ces laves, l'enrichissement en  $\text{SiO}_2$  en alcalins et Rb se poursuit. L'importance du fractionnement des feldspaths alcalins se traduit par une constance des teneurs en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et une diminution nette du barium à partir des trachytes quartzifères à structure fluidale. Pendant ce temps, un enrichissement anormal en barium s'observe dans les trachytes quartzifères potassiques (type "Fongo-Tongo"), enrichissement dû à l'abondance des plagioclases acides dans ces roches.

## ÉVOLUTION PÉTROGENETIQUE

A l'état actuel des études géologiques, pétrographiques et géochimiques, il ressort que le volcanisme pré-caldérique du flanc sud-ouest des Monts Bambouto est constitué de laves basiques, d'une part, et de laves acides, d'autre part. Ces deux groupes de roches sont séparées par une lacune géochimique. Le volume important de ces laves et la présence de deux caldéras sommitales suggèrent l'existence, à faible profondeur, d'une chambre magmatique de dimension importante.

## NATURE ET ORIGINE DU MAGMA BASIQUE

Les valeurs du rapport  $mg = (Mg \times 100) / (Mg + Fe)$  des laves basiques (D.I. < 35) du flanc sud-ouest des Monts Bambouto varient entre 68,91 et 54,10. Selon Bender et al. (1978) et Clague & Besson (1980), le liquide primogénique, issu de la fusion partielle du manteau peridotique, est caractérisé par des valeurs élevées du rapport mg (compris entre 66 et 75), ainsi que par de fortes teneurs en Cr et Ni. Sur la base de ces résultats analytiques, la basanite N67 à rapport mg (environ 69), Cr (535 ppm) et Ni (376 ppm) pourrait être assimilée à un liquide en équilibre avec les olivines du manteau. Les autres roches basanitiques (mg = 61 à 54), basaltiques à olivine (mg = 59 à 54), hawaïtiques et mugéaritiques (mg = 54 à 32) ont subi à des degrés divers la différenciation magmatique.

D'après les données expérimentales de Kushiro (1969) et Green & Ringwood (1967), les liquides basaltiques peuvent être produits par fusion partielle du manteau à différentes pressions (entre 0 et 60 kb). Ces liquides deviennent de plus en plus sous-saturés en silice quand la pression augmente. En outre, selon Green (1969), il est possible d'obtenir des liquides basanitiques, soit à des pressions comprises entre 15 et 20 kb, en présence d'eau, soit à des pressions plus élevées, en l'absence des fluides. L'examen pétrographique de la basanite N67 du flanc sud-ouest des Monts Bambouto, assimilée au liquide primogénique, indique la nature porphyrique de cette roche. Elle est constituée par l'assemblage: olivine + clinopyroxène en phénocristaux. Une telle paragenèse serait en équilibre d'après les études expérimentales de Thompson (1974), à des pressions voisines de 17 kb.

## ÉVOLUTION DE LA SÉRIE

Les variations des oxydes, en fonction de l'indice de différenciation (Fig. 2), montrent une évolution chimique régulière dans l'ensemble des laves basiques. Elle est caractérisée par une décroissance progressive de MgO, CaO, surtout moins nette pour FeO total et TiO<sub>2</sub>, et une augmentation de SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O et K<sub>2</sub>O. Un tel comportement ne peut s'expliquer que par un fractionnement successif de l'olivine et du clinopyroxène, d'une part, du plagioclase et des oxydes de fer-titane, d'autre part. Dans les laves acides, hormis les trachytes quartzifères à olivine (type "Fongo-Tongo") où on observe une augmentation du barium, qui ne s'explique que par un fractionnement des plagioclases

acides, dans les autres roches différenciées à la diminution du strontium et du barium - est corrélée l'augmentation du rubidium compatible avec le fractionnement des feldspaths alcalins (Ridley, 1970; Noble & Hedge, 1970; Rogers & Greenberg, 1981). D'après Bowen (1928), le processus de cristallisation fractionnée à partir des liquides basiques conduit à la production des liquides acides. Une telle genèse reste fréquente dans beaucoup de province volcaniques. Au niveau des Monts Bambouto, l'existence à la partie sommitale du massif, de deux importantes caldéras emboîtées, suggérerait l'existence à l'aplomb de la chaîne d'une chambre magmatique superficielle dans laquelle le processus de cristallisation fractionnée s'est produit. Cependant, l'abondance relative des laves acides saturées en silice (61%), par rapport aux laves basiques sous-saturées en silice (39%), d'une part, et l'existence d'une lacune géochimique entre le D.I. = 52 à 76, d'autre part, n'expliquent pas clairement l'évolution par cristallisation fractionnée, qui permettrait le passage des laves basiques sous-saturées en silice aux laves acides saturées. Dans les laves basiques, il est à remarquer que le caractère sous-saturé se conserve tout long de l'évolution. Ce comportement est en accord avec la séparation successive des olivines, clinopyroxènes, plagioclase et oxydes de fer-titane, des phases minérales dont le fractionnement fait conserver le taux normatif initial de la néphéline. Ainsi, le fractionnement de ces minéraux ne peut justifier l'obtention des liquides acides saturés à partir des liquides sous-saturés. Dans le système expérimental sous condition de pression modérée (Presnall et al., 1978), les magmas basique et acide sont séparés par la barrière thermique anorthite-forsterite-diopside, qui ne peut être franchie qu'au-dessus de 1200°C. Selon Cawthorn & O'Hara (1976), par fractionnement de l'amphibole, il serait possible de franchir cette barrière thermique au-dessous de cette température. En effet, la cristallisation des amphiboles est susceptible d'augmenter l'activité de la silice du fait de leur chimisme sous-saturé par rapport aux liquides dans lesquels elles cristallisent, d'une part, et de l'inexistence des barrières thermiques forsterite-diopside-anorthite et enstatite-diopside-anorthite, d'autre part. Malheureusement, les observations pétrographiques des laves du flanc sud-ouest des Monts Bambouto n'accordent, cependant, aucun rôle aux amphiboles, lors du passage des laves basiques aux laves acides. Ces minéraux ont, par contre, fractionnée dans les termes ultimes de la différenciation (rhyolites et

trachytes comenditiques) et n'ont, en aucun cas, influencé l'augmentation de l'activité de la silice. De ce qui précède, il ne serait pas erroné de supposer, pétrographiquement et géochimiquement, au niveau des laves pré-caldériques du flanc sud-ouest des Monts-Bambouto, une impossibilité de passage des roches basiques sous-saturées en silice aux roches acides saturées. Il serait ainsi probable de faire envisager la présence de processus autres que la cristallisation fractionnée, par exemple, la contamination crustale, pour expliquer l'association volcanique basique-acide des laves du flanc sud-ouest des Monts Bambouto, soit nier la parenté entre les deux types de laves.

## CONTAMINATION CRUSTALE

Si l'origine mantellique du liquide basanitique a été prouvée par la valeur du rapport (mg) élevée, ainsi que par de fortes teneurs en Ni et Cr, il apparaît, cependant, que ceci n'est pas le cas de certaines laves basanitiques et basaltiques du flanc sud-ouest des Monts Bambouto. Des teneurs anormalement élevées en uranium (2,19 à 6,04 ppm) et thorium (30,79 ppm), corrélées par une diminution de celles en nickel (106 à 80 ppm) et chrome (93 ppm), sont observées dans certaines de ces laves basiques et pourraient être interprétées comme indicatrices d'une contamination crustale. En outre, les études isotopiques, effectuées dans cette région par Dunlop (1983), signalent l'existence des basaltes à rapport du Sr élevé, résultat d'une contamination crustale d'environ 11,5% du liquide basique. Ainsi, il serait probable qu'une partie du liquide basique ait préalablement subi une contamination par la croûte sialique qui constitue le substratum avant l'évolution par cristallisation fractionnée. Si la contamination crustale constitue l'un des processus d'évolution susceptible de conduire à l'obtention des liquides saturés, il est à remarquer, selon Calas (1979), que des valeurs élevées d'uranium et du thorium ne sont pas uniquement observées dans le cas de ce processus. Des conditions d'oxydations variables, ainsi que l'altération post-magmatique, peuvent entraîner l'enrichissement des roches et minéraux ferro-magnésiens en ces éléments. En effet, les roches basiques du flanc sud-ouest des Monts Bambouto ne représentent aucun indice pétrographique de contamination par le substratum, à l'exception des enclaves de roches du socle, de trachytes et de bauxites, rencontrées uniquement que dans les ignimbrites. En outre, nous pensons que le taux de contamination

(11,5%) reste insuffisant pour justifier la prédominance des liquides résiduels saturés en silice (61%). Ainsi, sans écarter l'hypothèse d'une contamination sialique d'une partie du liquide basique, elle ne peut être retenue comme principal facteur responsable de l'augmentation de l'activité de la silice, permettant le passage du liquide basique sous-saturé au liquide acide saturé des Monts Bambouto.

## PRESENCE DE DEUX TYPES DE MAGMAS PRIMAIRES

Si la cristallisation fractionnée reste le processus principal d'évolution des laves du flanc sud-ouest des Monts Bambouto, il est cependant à remarquer l'impossibilité de passage de laves basiques sous-saturées en silice aux laves acides saturées. L'absence des minéraux susceptibles de faire franchir les barrières thermiques anorthite-forsterite-diopside et enstatite-diopside-anorthite, dans le système basaltique, où les deux types de magmas sont séparés, rend bien compte de cette situation. Ainsi, il est possible de remettre en cause la parenté magmatique entre les laves acides saturées et les laves basiques sous-saturées. Au niveau de la chaîne volcanique des Bambouto-Bamenda, les phonolites appartenant au volcanisme syn à tardi-caldérique, non étudiées dans ce travail, existent et peuvent être considérées comme des termes ultimes de la différenciation des liquides basiques sous-saturés. De même, les études menées actuellement dans l'ensemble de cette chaîne, nous font penser à l'existence d'une série transitionnelle (Fig. 4), comprenant des basaltes transitionnels, des basaltes à andésine et des ferrobasaltes. Tous ces arguments nous emmènent à remettre en question la parenté magmatique entre les laves basiques et les laves acides du flanc sud-ouest des Monts Bambouto. Il s'agirait-il, en fait, des termes appartenant à deux séries qui ont évolué ensemble sans possibilité de mélange magmatique?

- une série sous-saturée en silice, qui évoluerait par cristallisation fractionnée des basanites aux phonolites, en passant par des basaltes alcalins à olivine, des hawaiiites et des mugéarites, et;
- une série acide saturée, qui serait issue des basaltes transitionnels et évoluerait aux trachytes, rhyolites et à leurs équivalents hyperalcalins.

Les études géologiques en cours, sur l'ensemble du volcanisme camerounais, pourront, peut-être, nous permettre, dans l'avenir, de répondre à cette

importante question.

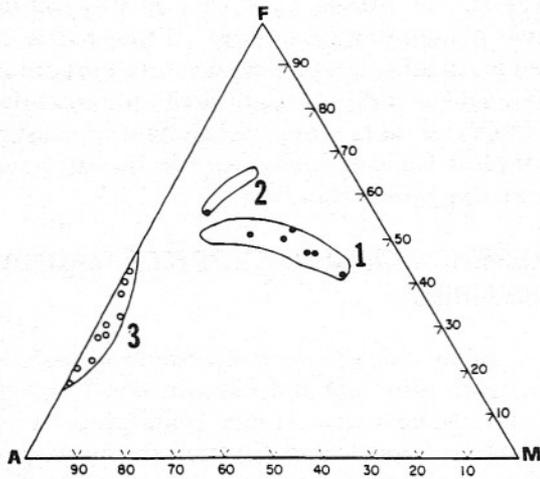


Figure 4 - Diagramme A - F - M des laves de la chaîne volcanique des Bambouto-Bamenda. Cercle noir: laves basiques. Cercle vide: laves différenciées du flanc sud-ouest des Monts Bambouto. 1: domaine des laves de la série alcaline; 2: domaine des laves de la série transitionnelle; 3: domaine des laves différenciées. Cercle noir: laves basiques. Cercle vide: laves différenciées

## CONCLUSION

L'étude des roches volcaniques précaldériques du flanc sud-ouest de la chaîne volcanique des Bambouto-Bamenda a permis de mettre en évidence une interrelation temporelle entre les phases tectoniques et l'activité volcanique dans cette partie de la ligne du Cameroun.

Le volcanisme, qui s'est mis en place, est caractérisé par une association bimodale de laves basique sous-saturée en silice et acide saturée, issues de deux types de magmas différents.

- La cristallisation fractionnée est le processus d'évolution principal, bien que des indices de contamination crustale existent.

- Les laves basiques évolueraient des basanites sous-saturées en silice aux phonolites, tandis que les laves acides saturées seraient issues des liquides basiques transitionnels.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions sincèrement le Professeur Enzo Piccirillo, de l'Université de Trieste (Italie), de sa lecture critique du manuscrit et de ses suggestions.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BENDER, J. F.; HODGES, F. N.; BENCE, A. E. (1978) Petrogenesis of basalts from the project FAMOUS area: experimental study from 0 to 15 kbars. *Earth Planet. Sci. Lett.* **41**: 227-302.
- BOWEN, N.L. (1928) The evolution of the igneous rocks. Princeton University Press, Princeton. N.J. 334p.
- BURKE, K. & WHITEMAN, A.J. (1973) Uplift, rifting and break-up of Africa. In Tarling and Runcorn. Implications of continental drift to the Earth Sciences. **2**: 735-755.
- CALAS, G. (1979) Étude expérimentale du comportement de l'uranium dans les magmas: états d'oxydation et coordinence. *Geochim Cosmochim. Acta.* **43**: 1521-1531.
- CAWTHORN, R. G. & O'HARA, M. J. (1976) Amphibole fractionation in calc-alkaline magma genesis. *Amer. Journ. Sci.* **276**: 309-329.
- CLAGUE, D.A. & BESSON, M.H. (1980) Trace element geochemistry of the East Molokai volcanic series, Hawaii. *Amer. Journ. Sci.* **280A**: 820-844.
- DERUELLE, B; MOREAU, C; NKONGUIN, N.E. (1982) La dernière éruption du Mont Cameroun 1982, dans son contexte structural. *Rev. Geog. Cameroun. Univ. Yaounde.* **4**: 39-46.
- DERUELLE, B; NNI, J.; KAMBOU, R. (1987) Mount Cameroon, an active volcano of the Cameroon Line. *Journ. Afr. Earth Sci.* **6**: 197-214.
- DUMORT, J.C. (1968) Notice explicative de la feuille Douala Ouest avec carte géologique au 1/500.000. Dir. Mines Géol. Cameroun.
- DUNLOP, M.H. (1983) Strontium isotope geochemistry and Potassium-Argon studies on volcanic rocks from the Cameroon Line, West Africa. Thèse Ph.D. Univ. Edinburg.
- FITTON, J. G. & DUNLOP, M. H. (1985) The Cameroon Line, West Africa: a comparison between oceanic and continental alkaline volcanism. *Earth Planet. Sci. Lett.* **72**: 23-38.
- GÈZE, B. (1953) Les volcans du Cameroun. *Bull. Volc.* **2**: 63-92.
- GREEN, D. H. (1969) The origin of basaltic and nephelinitic magmas in the Earth's mantle. *Tectonophysics.* **7**: 409-422.
- GREEN, D. H. (1971) Composition of basaltic magmas as indicators of conditions of origin: Application to oceanic volcanism. *Phil. Trans. R. Soc. London.* **A-268**: 707-725.
- GREEN, D.H. & RINGWOOD, A.E. (1967) Crystallization of basalt and andesite under high pressure hydrous conditions. *Earth Planet. Sci. Lett.* **3**: 481-489.

- KUSHIRO, I. (1969) Discussion of paper: the origin of basaltic and nephelinitic magmas in the Earth's mantle. *Tectonophysics* 7: 427-436
- MACDONALD, R. (1974) Nomenclature and petrochemistry of the peralkaline oversaturated extrusive rocks. *Bull. Volc.* 38: 498-516.
- MAURY, R. C. (1976) Contamination (par l'encaissant et les enclaves) et cristallisation fractionnée de séries volcaniques alcalines, continentales (Massif Central Français) et océaniques (Pacifique Central): l'origine des laves acides. Thèse Univ. Paris-Sud, Orsay.
- NNI, J. (1984) Le volcan actif du Mont Cameroun (Ligne du Cameroun): Géologie et pétrologie du volcan. Thèse 3ème cy. Univ. Paris-Sud, Orsay.
- NNI, J.; BROUSSE, R.; BONIN, B. (1986) Migration de l'activité magmatique de la Ligne de Cameroun: réactivation de segments de failles anciennes du socle panafricain. *C.R. Acad. Sci. Paris.* 302: 453-456.
- NOBLE, D.C. & HEDGE, C.E. (1970) Distribution of rubidium between sodic sanidine and natural silicic liquid. *Contrib. Mineral. Petrol.* 29: 234-241.
- NYOBE, J. B. (1987) A geological and geochemical study of the Fongo-Tongo related bauxite deposits - Western Highlands. Republic of Cameroon. Thèse Ph.D. Univ. Lehigh.
- PARKER, D.F. (1983) Origin of the trachyte-quartz-trachyte-peralkalic rhyolite suite of the oligocene Parasano volcano. *Trans-Pecos, Texas. Geol. Soc. Amer. Bull.* 94: 614-629.
- PRESNALL, D.C.; DIXON, J.R.; O'DONNELL, T.H.; BRENNER, N.L.; SCHROCK, R.L.; DYCUS, D.W. (1978) Liquidus phase relations on the join Diopside-Forsterite-Anorthite from 1 atm to 20 kbar: their bearing on the generation and crystallization of basaltic magma. *Contrib. Mineral. Petrol.* 66: 203-220.
- RIDLEY, W. I. (1970) The petrology of the Las Canadas Volcanoes, Tenerife, Canary Islands. *Contrib. Mineral. Petrol.* 26, 124-160.
- RINGWOOD, A.E. (1975) Composition and petrology of the Earth's Mantle. McGraw-Hill, New York. N.Y. 618p.
- ROGERS, J.J.W. & GREENBERG, J.K. (1981) Trace elements in continental margin magmatism. III - Alkali granites and their relationship to cratonization. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 92: Part I: 6-9, Part II: 57-93.
- TCHOUA, F. (1974) Contribution à l'étude géologique et pétrologique de quelques volcans de la Ligne du Cameroun (Monts Manengouba et Bambouto). Thèse d'État. Clermont-Ferrand.
- THOMPSON, R.N. (1974) Primary basalts and magma genesis. I. Skye, North-West Scotland. *Contrib. Mineral. Petrol.* 45: 317-341.
- THORNTON, C.P. & TUTTLE, O.F. (1960) Chemistry of igneous rocks. I. Differentiation index. *Am. Joun. Sci.* 258: 664-684.