



ELSEVIER

Available online at [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

SCIENCE @ DIRECT®

C. R. Geoscience 337 (2005) 315–325



<http://france.elsevier.com/direct/CRAS2A/>

Géomatériaux

## Les laves du mont Bangou : une première manifestation volcanique éocène, à affinité transitionnelle, de la Ligne du Cameroun

Jacob Fosso<sup>a</sup>, Jean-Jacques Ménéard<sup>b</sup>, Jacques-Marie Bardintzeff<sup>b,c,\*</sup>, Pierre Wandji<sup>d</sup>,  
Félix M. Tchoua<sup>a</sup>, Hervé Bellon<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Département des sciences de la Terre, université Yaoundé-1, BP 812, Yaoundé, Cameroun

<sup>b</sup> Laboratoire de pétrographie–volcanologie, bât. 504, université Paris-Sud, 91405 Orsay, France

<sup>c</sup> IUFM, RP 815, 78008 Versailles, France

<sup>d</sup> Laboratoire de géologie, ENS, université de Yaoundé-1, BP 47, Yaoundé, Cameroun

<sup>e</sup> UMR 6538, IUEM, Université de Bretagne occidentale, 6 av. Le Gorgeu, CS 93637, 29238 Brest cedex 3, France

Reçu le 15 mars 2004 ; accepté après révision le 27 octobre 2004

Disponible sur Internet le 21 janvier 2005

Présenté par Jean Dercourt

### Résumé

Le mont Bangou, édifié au cours de l'Éocène (âges  $^{40}\text{K}$ – $^{40}\text{Ar}$  de 44,7 à  $43,1 \pm 1$  Ma), est le volcan daté le plus ancien de la Ligne du Cameroun. Deux séries magmatiques, évoluant par cristallisation fractionnée, montrent une affinité transitionnelle, exceptionnellement décrite dans ce secteur. La minéralogie (rareté de l'olivine, présence d'hypersthène normatif) et la géochimie (faibles teneurs en Ba, La, Ta et rapport Y/Nb élevé) des roches basaltiques attestent cette affinité. Au cours du temps, la succession des magmas d'affinité transitionnelle, puis typiquement alcalins, est ainsi mise en évidence en contexte continental.

**Pour citer cet article :** J. Fosso et al., C. R. Geoscience 337 (2005).

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

### Abstract

**Lavas from the Mount Bangou area: a first Eocene volcanic episode with transitional affinities of Cameroon Line.** Mount Bangou, an Eocene volcano ( $^{40}\text{K}$ – $^{40}\text{Ar}$  ages between 44.7 and  $43.1 \pm 1$  Ma) is the oldest dated volcano of the Cameroon Line. In this region, two magmatic series, evolving by fractional crystallization, show transitional affinities that are exceptionally known in this sector. Mineral compositions of basaltic rocks (scarce modal olivine and occurrence of normative hypersthene) as well as geochemical characteristics (low Ba, La, Ta contents and high Y/Nb ratios) are in agreement with this trend. The succession of magmas evolving in time from transitional to more typical alkaline compositions is evidenced in a continental setting. **To cite this article:** J. Fosso et al., C. R. Geoscience 337 (2005).

© 2004 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [bardizef@geol.u-psud.fr](mailto:bardizef@geol.u-psud.fr) (J.-M. Bardintzeff).

*Mots-clés*: Ligne du Cameroun; Volcan du mont Bangou; Éocène; Datation  $^{40}\text{K}$ – $^{40}\text{Ar}$ ; Magmatisme transitionnel; Magmatisme alcalin

*Keywords*: Cameroon Line; Mount Bangou volcano; Eocene;  $^{40}\text{K}$ – $^{40}\text{Ar}$  dating; Transitional magmatism; Alkaline magmatism

## Abridged English version

The Cameroon Line, a 2000-km-long mega-shear zone in central Africa, shows a characteristic alignment of volcanoes and grabens.

### 1. Volcanological and geochronological setting

In the continental area of the Cameroon Line, the oldest Mount Bangou volcano ( $5^{\circ}15'\text{N}$ – $10^{\circ}25'\text{E}$ ), was built on a granitoid/gneiss basement (of probable Panafrican age).

The elliptical volcano, 1924-m high, covers an area of over 210 km<sup>2</sup>. It erupted mainly lava flows and dome-lava flows that are now cut by dykes (Fig. 1) [8,9].

Mount Bangou was built during two main episodes (E1 and E2) in Eocene times. Four new  $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  (Table 1) analyses yield ages ranging between 44.7 and  $43.1 \pm 1$  Ma (Eocene, Lutetian). These results confirm the existence of an early volcanic phase in this part of the Cameroon Line, as is also evidenced by the benmoreites of the Bana complex ( $42 \pm 1$  Ma) [21,22]. These were followed (38 Ma) in this same region [28] by the emission of alkaline basalts (Bandjoun Highlands). More recently, during the Pliocene ( $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$  of 4.4 Ma) (Table 1), alkali basalts (F1) were erupted at Mount Bangou.

### 2. Petrology and mineralogy of the two series (E1 and E2) with transitional affinities (Table 2)

- (i) Lavas of the earlier episode (E1) form a series extending from basalt to mugearite. They now crop out as peaks within a broader area of the massif that has been more deeply eroded.
- (ii) Lavas of the second episode (E2) crop out in the outer part of the massif. They form a complete differentiated series extending from basalt to rhyolite.

Most of the lavas have aphyric textures, but a few basalts are weakly porphyritic. Phenocrysts in

the basic and intermediate rocks consist mainly of plagioclase, and, less commonly, iron–titanium oxides (titanomagnetite and ilmenite), clinopyroxene, and olivine (Table 2). A few xenocrysts of orthopyroxene have been observed. Sanidine phenocrysts (Or34–43) occur only in the E2-trachytes (associated with clinopyroxenes) and in the E2-rhyolites. The same minerals are present in the slightly glassy groundmass (< 5 vol.% glass in most rocks but up to 10% in rhyolites).

- The E1 series, which shows moderate chemical evolution, contains scarce olivine phenocrysts. Olivine (Fo65–55), together with clinopyroxene (En42 Fs20 Wo38 to En38 Fs23 Wo39) and plagioclase (An58–48 to An36–6), occur in rocks ranging from basalt to hawaiite. It is accompanied by xenoliths and quartz xenocrysts derive from underlying Panafrican granites and gneisses. Olivine and pyroxene mantle xenocrysts are present in almost all the rock types (up to 1% of the modal composition). However, because of their very small number, contamination processes seem unlikely to explain the chemical characteristics.
- The E2 series contains very few olivine microphe-nocrysts. The chemical evolution of phenocrysts is continuous and more extensive than in E1. This is shown by the composition of olivine (Fo75–48 from basalts to hawaiites), clinopyroxene: diopside (En41 Fs17 Wo42) in basalts to hedenbergite (En5 Fs53 Wo42) in trachytes, and plagioclase: (An68–50) in basalts to (An20–7) in trachytes.

The mineralogical and geochemical compositions of the Mount Bangou basaltic lavas are consistent with transitional affinities: (i) the Ti/Ca + Na ratios of clinopyroxenes of basalts of both series plot between the alkaline and tholeiitic fields (Fig. 2, following [11], Table 3); (ii) olivine is scarce while plagioclase is abundant; (iii) whole-rock analyses indicate normative hypersthene.

### 3. Geochemical characteristics

Comparisons with the recent alkali basalt F1 of the Mount Bangou, as well as other alkaline basalts of the Cameroon Line [6,23], some typical basalts with transitional affinities of Mbam [19,20], and tholeiitic rocks of Mayo Oulo-Léré [24] (Table 4), confirm the transitional affinities of E1 and E2 episodes of Mount Bangou (low Ba, La, Ta contents).

In the Th–Ta–Hf/3 diagram [33], basaltic rocks of the two series of Mount Bangou plot on the boundary between the tholeiitic and alkaline fields (Fig. 3). Considering the incompatible elements (Table 4) and the Y/Nb ratio (Fig. 4) (mainly between 0.9 and 1.5), they plot near the transitional field [26]. REE distributions (Fig. 5) show a typical enrichment in light REE (as those of OIB), but less than in alkaline volcanic lavas.

### 4. Discussion and conclusion

The main process of differentiation of the two series (E1 and E2) of Mount Bangou volcano is fractional crystallization, which involved Mg-olivine, iron-titanium oxides, clinopyroxene and Ca-plagioclase.

The two series resulted of rather high degrees of partial melting as shown by their low Zr/Y ratios (5.3 for F54 basalt of E1 and 6.6 for F51 basalt of E2) [15]. Several mantle sources could have been involved, as indicated by several geochemical ratios (i.e. La/Ta, Ta/Th). Ba/Nb ratios (11.2–13.5 for E1 series and 7.8–10.9 for E2 series), La/Nb (1.05–1.39 and 0.86–1.06, respectively), Ba/La values (8.4–12.1 and 9.1–10.2) result from a major EM2 end-member in the mantle source [32]. EM1 and HIMU end-members may have played a role too. Recent alkali basalt F1 (richer in Ba, La, Ta, with Ba/La = 9.3, Table 2) could have resulted from a smaller degree of melting (Zr/Y = 8.6).

Mount Bangou is thus an example of volcanism with transitional affinities, only the second so-described case for the whole Cameroon Line. Moreover, this is the oldest dated volcano in the sector. This volcanism with transitional affinities was followed by a more alkaline one. This transition in the continental 'hot line' [3,16] could be compared to the well-known examples on oceanic islands (i.e., Hawaii, French Polynesia) [1,12], resulting of hot-spot activities.

## 1. Introduction

La Ligne volcanique du Cameroun, qui correspond à une mégastructure tectonique de l'Afrique centrale, s'étend sur plus de 2000 km, depuis les îles du golfe de Guinée (Pagalu, São Tomé, Príncipe et Bioko) jusqu'au lac Tchad (Fig. 1). Cette ligne est tectoniquement active depuis le Précambrien [18]. Mais l'activité magmatique ne s'y est développée que depuis la fin du Crétacé et a débuté avec la mise en place de complexes annulaires. À partir du Cénozoïque se sont édifiés de grands massifs volcaniques (du sud-ouest au nord-est : le mont Cameroun, le mont Manengouba, le mont Bangou, objet de cette étude, le mont Bambouto et le massif du Mbam) séparés les uns des autres par des fossés d'effondrement (Tombel, Mbo, Noun).

## 2. Volcanologie et géochronologie du mont Bangou

Le mont Bangou se situe dans le secteur continental de la Ligne du Cameroun, sur les hauts plateaux de l'Ouest (5°15'N, 10°25'E). Il repose sur un socle de granitoïdes et de gneiss, d'âge probablement Panafricain.

Des basaltes anciens, très altérés, témoins d'un premier épisode fissural, affleurent sur le pourtour du massif (Fig. 1). Le volcan du mont Bangou s.s., de forme grossièrement elliptique, occupe une surface de 210 km<sup>2</sup> et culmine à 1924 m, sommet d'une butte de lave résiduelle.

Les laves se sont préférentiellement mises en place selon des fissures nord-sud, N40, est-ouest, N130 et N155 du substratum anté-volcanique. Les coulées et les dômes-coulées sont recoupés par des dykes. L'ensemble est largement entaillé par l'érosion, latéritisé à toutes les altitudes et recouvert par une végétation importante [8,9].

Le volcan du mont Bangou s.s. s'est édifié en deux étapes (E1 et E2) [8,9]. Quatre nouvelles datations <sup>40</sup>K/<sup>40</sup>Ar (Tableau 1) précisent l'âge Éocène, Lutétien (43,1 ± 1 Ma à 44,7 ± 1 Ma) de la phase majeure, d'activité volcanique. Le mont Bangou est le volcan daté le plus ancien de la Ligne du Cameroun. Ces résultats confirment l'ancienneté du volcanisme dans ce secteur : les âges des volcanites de Bangou sont proches de ceux (42 ± 1 Ma) des benmoréites du complexe al-

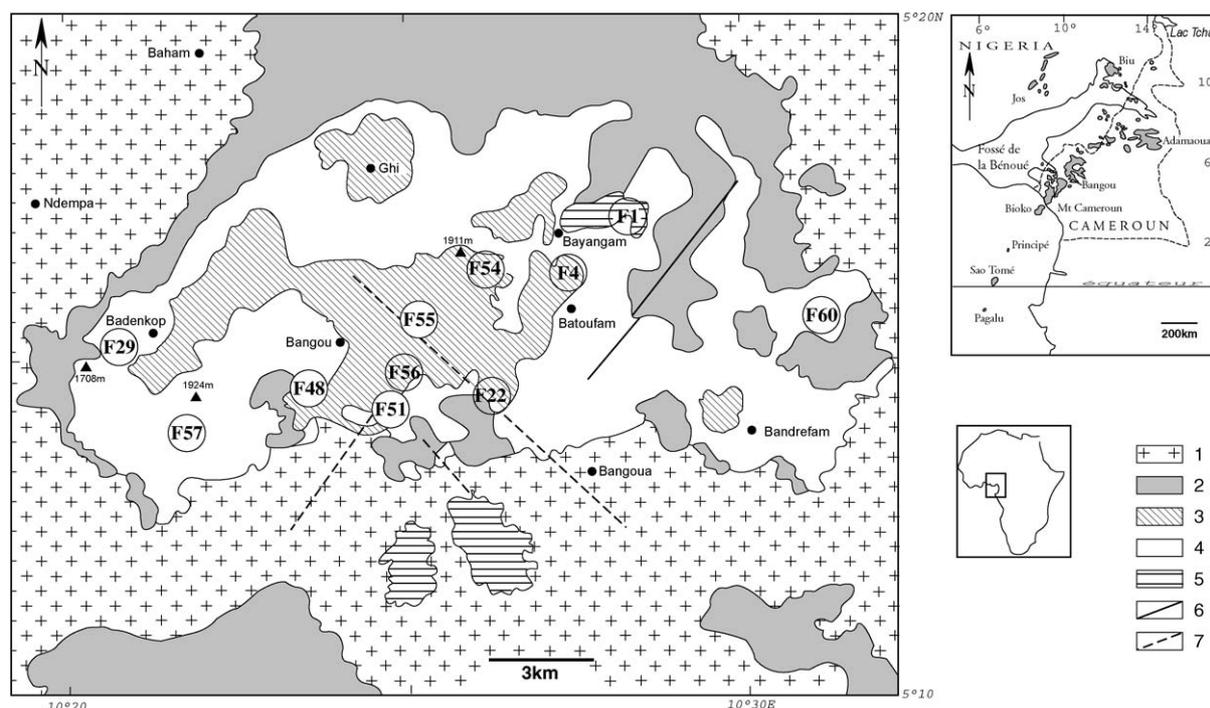


Fig. 1. Le mont Bangou situé dans la Ligne du Cameroun. (1) Socle granito-gneissique probablement panafricain, (2) basaltes anciens altérés, (3) laves de l'épisode E1 à affinité transitionnelle, (4) laves de l'épisode E2 à affinité transitionnelle, (5) basaltes alcalins récents, (6) failles, (7) failles supposées. Les échantillons sont localisés (les symboles des fonds des cercles entourant les numéros correspondent aux natures des roches).

Fig. 1. Mount Bangou, situated in the Cameroon Line. (1) Probably Panafrican granitic and gneissic basement, (2) old weathered basalts, (3) episode E1 with transitional affinities, (4) episode E2 with transitional affinities, (5) recent alkaline basalts, (6) faults, (7) supposed faults. Samples are located.

calin du mont Bana, situé 10 km au sud-ouest [21,22]. Des basaltes alcalins ont ensuite été émis (38 Ma) dans la région des hauts plateaux de Bandjoun, situés immédiatement au nord [28].

Bien plus tard, des basaltes alcalins récents pliocènes (F1) datés à  $4,39 \pm 0,11$  Ma (F1, Tableau 1) se sont épanchés au mont Bangou. Cet épisode fissural est venu clore l'activité volcanique dans ce secteur.

### 3. Péetrographie et minéralogie des deux séries à affinité transitionnelle (Tableau 2)

(i) Au cours d'un premier épisode (E1 – deux datations à 44,7 et  $44,4 \pm 1$  Ma), des coulées de lave se sont épanchées. Les roches affleurent aujourd'hui en buttes et en replats, étagés au centre du massif largement érodé. Ces laves constituent une

série peu évoluée, allant des basaltes à des mugéarites.

(ii) Lors d'un deuxième épisode (E2 – deux datations à 44,5 et  $43,1 \pm 1$  Ma), se sont écoulées d'autres laves. On les retrouve surtout en périphérie du massif. Elles forment une autre série, largement différenciée, depuis des basaltes jusqu'à des trachytes et des rhyolites.

Dans l'ensemble, les laves du mont Bangou sont plutôt aphyriques (Tableau 2). De rares textures porphyriques (plus de 50 % de phénocristaux, dont 45 % de plagioclases), parfois orientées, sont observées dans quelques basaltes. Dans les termes basaltiques et intermédiaires, les phénocristaux sont principalement du plagioclase avec, en moindre quantité, du clinopyroxène ( $Fe/(Fe + Mg) = 0,29-0,31$ ), des oxydes ferrotitanés (titanomagnétite, ilménite), de l'olivine.

Tableau 1

Âges isotopiques des laves du mont Bangou. Les datations ont été réalisées sur une fraction « roche totale » des échantillons : des lots de grains (diamètre 0,30 à 0,15 mm) ont été retenus pour la mesure par spectrométrie de masse de la composition isotopique de l'argon et de la concentration de l'argon radiogénique ( $^{40}\text{Ar}_R$ ). La concentration du potassium dans chaque « roche totale » a été déterminée par spectrométrie d'absorption atomique. Les âges ont été calculés selon les constantes préconisées dans [27] et les incertitudes, pour un écart type, ont été calculées suivant les équations données dans [13]

Table 1

Isotopic ages of Mount Bangou lavas. Whole rock K–Ar ages have been carried out on 0.30–0.15-mm grain-sized fraction. Argon isotopic compositions and radiogenic argon ( $^{40}\text{Ar}_R$ ) concentrations were measured by mass spectrometry, using isotopic dilution. Potassium contents have been determined using Atomic Absorption Spectrometry. Age calculations have been done using the constants recommended in [27], with an error at 1- $\sigma$  level [13]

Échantillon	K <sub>2</sub> O (%)	$^{40}\text{Ar}_R$ (%)	$^{40}\text{Ar}_R$ ( $10^{-7} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1}$ )	Âge (Ma)
F1 – basalte	1,53	42,6 63,4	2,09 2,24	4,39 ± 0,11
F57 – rhyolite / E2	4,50	96,5 95,9	62,04 64,52	43,1 ± 1
F51 – basalte / E2	0,76	81,8	11,03	44,5 ± 1
F4 – mugéarite / E1	2,83	94,4 92,3	40,95 41,09	44,4 ± 1
F56 – hawaiiite / E1	1,20	79,7	17,51	44,7 ± 1

De rares orthopyroxènes ( $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg}) = 0,26\text{--}0,27$ ) dans la série E1 (hawaiiite, mugéarite) sont interprétés comme des xénoctaux. La sanidine (Or34-43) n'est présente que dans les trachytes (où elle est associée à du clinopyroxène) et dans les rhyolites de l'épisode E2. En règle générale, les mêmes phases minérales se rencontrent dans la volumineuse mésostase, où le verre est toujours peu abondant (< 5 %, 10 % dans les rhyolites).

- La série E1, avec la présence de rares phénocristaux d'olivine, montre une faible évolution minéralogique, continue : (Fo65-55) pour les olivines des basaltes aux hawaiiites, (En42 Fs20 Wo38 à En38 Fs23 Wo39) pour les clinopyroxènes et (An58-48 à An36-6) pour les plagioclases.

Des xénolites et des xénoctastes (quartz) du socle granito-gneissique panafricain et des xénoctaux d'olivine et de pyroxène d'origine mantellique sont présents (jusqu'à 1 % de la composition modale) dans presque toutes les laves.

- La série E2, plus complète, où l'olivine n'est représentée qu'en de rares microphénocristaux, montre une évolution minéralogique continue et très significative de l'olivine (Fo75-48 des ba-

saltes aux hawaiiites), du clinopyroxène (diopside : En41 Fs17 Wo42 dans les basaltes à hedenbergite, En5 Fs53 Wo42 dans les trachytes) et du plagioclase (de An68-50 dans les basaltes à An20-7 dans les trachytes).

Les rapports  $\text{Ti}/(\text{Ca} + \text{Na})$  des clinopyroxènes des basaltes (et hawaiiites faiblement différenciées de  $\text{DI} < 36$ ) des deux séries (Fig. 2, Tableau 3), situés à la limite des champs des basaltes alcalins et tholéiitiques [11], apparaissent bien différents de ceux des basaltes récents alcalins du Cameroun [6,31].

La rareté de l'olivine, la richesse en plagioclase des laves basaltiques (basaltes et hawaiiites de  $\text{DI} < 36$ ) du mont Bangou, contrairement aux roches volcaniques alcalines [5,6,23,28,31], témoignent d'une affinité transitionnelle [4] en accord avec les données géochimiques des roches : toutes les laves du mont Bangou sont à hypersthène normatif (jusqu'à 17 %), alors que les basaltes récents typiquement alcalins contiennent jusqu'à 8 % de néphéline normative.

#### 4. Caractères géochimiques

La comparaison géochimique des basaltes des épisodes E1 et E2 du mont Bangou avec le basalte alcalin

Tableau 2

Analyses modales et chimiques de roches volcaniques des deux épisodes (E1 et E2) du mont Bangou et d'un basalte alcalin récent (F1) à titre comparatif. Minéraux modaux en pourcentage (ph. = phénocrystal, m. = microlithe, Pl = plagioclase, Px = clinopyroxène, Ol = olivine, Ox = oxydes, FK = feldspath potassique). Eléments majeurs en pourcentage pondéral d'oxydes, éléments en traces en ppm; tr : traces; nd : non déterminé. Analyses réalisées au CRPG (Nancy) par ICP (éléments majeurs) et ICP-MS (éléments traces). Les normes CIPW sont calculées sur une base anhydre selon la méthode proposée par [17]. DI : indice de différenciation [29]. Les valeurs limites ont été adoptées pour, respectivement, les basaltes (DI < 35), les hawaiiites (DI < 50), les mugéarites (DI < 65), les benmoréites (DI < 80), les trachytes et rhyolites (DI > 80)

Table 2

Modal and chemical compositions of Mount Bangou volcanic episodes (E1 and E2) and recent alkaline basalt (F1) for comparison. Modal mineral phases (%), ph. = phenocryst, m. = microlith, Pl = plagioclase, Px = clinopyroxene, Ol = olivine, Ox = oxides, FK = potassic feldspar). Major elements (weight%), trace elements (ppm); tr: traces; nd: not determined. Analyses performed at the CRPG (Nancy) by ICP (major elements) and ICP-MS (trace elements). CIPW norms are calculated water-free according to [17]. DI: differentiation index after [29] with limits respectively for basalts (DI < 35), hawaiiites (DI < 50), mugearites (DI < 65), benmoreites (DI < 80), trachytes and rhyolites (DI > 80)

	E1			E2					Récent	
	basalte	hawaiiite	mugéarite	basalte	hawaiiite	mugéarite	b-moréite	trachyte	rhyolite	basalte
<i>mode (%)</i>										
ph. Pl	4–20	0–1	1–2	16–25	0–15	0–5	0–3			
ph. Px	0–12	0–1	0–1		0–5	0–5		0–1		0–6
ph. Ol	0–2	0–1	0–1		0–1		0–1			0–2
ph. Ox	0–3									0–1
ph. FK								0–4	10	
m. Pl	42–65	65	72–76	60	60–70	65	66–68			65
m. Px	10–15	0–10	5–7	0–12	8–15	17	10–16	10–18		0–13
m. Ol	5–8	0–10	9–10	0–1	4–5	2	2–4			5–15
m. Ox	8–14	10–13	7	8–10	10–13	12	12	3–12	10	8–10
m. FK								72–77	70	
verre	3–4	5	1	3–5	3–5	3–5	2–3	1–2	10	3–5
	F54	F56	F22	F51	F55	F29	F60	F59	F57	F1
<i>majeurs (%)</i>										
SiO <sub>2</sub>	46,39	47,86	57,68	46,69	48,95	56,38	63,80	67,68	74,71	43,87
TiO <sub>2</sub>	3,64	2,92	2,17	3,60	2,89	1,29	0,36	0,29	0,21	3,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,41	16,00	14,78	15,58	14,91	15,71	14,29	14,26	10,75	15,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,05	12,84	8,80	13,74	13,73	9,77	7,32	0,95	3,92	13,94
MnO	0,23	0,15	0,09	0,18	0,18	0,16	0,12	0,04	0,07	0,20
MgO	4,61	5,84	3,20	4,01	3,49	1,64	0,07	0,02	0,06	6,23
CaO	9,18	8,37	5,27	9,88	7,79	4,51	2,55	1,13	0,01	9,88
Na <sub>2</sub> O	3,29	3,42	3,49	3,24	3,16	4,73	3,73	3,27	3,88	3,54
K <sub>2</sub> O	1,01	1,19	2,67	0,75	1,88	2,86	5,22	6,09	4,63	1,49
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,79	0,76	0,43	0,77	0,85	0,55	0,08	0,04	0,02	0,73
H <sub>2</sub> O	1,10	0,36	1,19	1,32	1,86	2,01	2,08	3,84	1,49	0,75
Total	99,70	99,71	99,77	99,76	99,69	99,61	99,62	99,32	99,75	99,64
<i>norme (%)</i>										
Qz	–	–	11,05	–	1,48	4,70	15,16	21,78	33,25	–
Ne	–	–	–	–	–	–	–	–	–	8,01
Hyp	14,82	6,91	11,23	8,62	14,66	10,20	3,79	2,36	4,23	–
Or	5,98	7,03	15,78	4,43	11,11	16,90	30,83	35,97	27,34	8,80
Ab	27,88	28,95	29,54	27,42	26,76	40,04	31,55	27,66	29,52	15,15
An	18,89	24,82	16,80	25,78	20,98	13,21	6,85	5,34	–	22,81
Co	–	–	–	–	–	–	–	0,34	–	–
Ae	–	–	–	–	–	–	–	–	2,90	–
Dio	12,52	9,68	5,37	15,19	10,14	4,74	4,69	–	–	17,65

Tableau 2 (Suite)

Table 2 (Continued)

	F54	F56	F22	F51	F55	F29	F60	F59	F57	F1
<b>OI</b>	3,02	10,81	–	4,24	–	–	–	–	–	14,45
<b>Mt</b>	3,34	2,85	3,06	3,05	4,24	3,40	3,30	1,38	0,31	3,09
<b>Ilm</b>	6,94	5,56	4,13	6,86	5,51	2,46	0,69	0,55	0,40	6,13
<b>Ap</b>	3,94	1,67	0,95	1,69	1,87	1,21	0,18	0,09	0,04	1,61
<b>DI</b>	33,86	35,98	56,37	31,86	39,35	61,64	77,55	85,41	90,11	31,97
<i>traces et terres rares (ppm)</i>										
<b>Be</b>	1,43	1,07	3,16	1,31	1,74	2,8	3,87	4,98	3,99	2,35
<b>V</b>	229	215	139	279	208	19,2	tr	0,42	0,01	271
<b>Cr</b>	15,4	78,6	24,7	24,5	17,6	0,42	1,16	tr	8,26	91,7
<b>Co</b>	29,8	39,2	29	32,5	33,9	8,77	0,83	0,19	0,21	40,2
<b>Ni</b>	16,1	71,7	46,8	19,1	25,9	1,93	1,09	1,91	11,5	64,7
<b>Cu</b>	14,6	27,2	23,8	23,6	38,2	6,7	4,8	2,64	4	51
<b>Zn</b>	152	130	151	129	156	160	195	131	144	139
<b>Ga</b>	24,6	24,9	30,3	24,5	28,2	30,9	34,8	32,4	3,33	25
<b>Ge</b>	nd	nd	1,42	nd	nd	1,35	1,45	nd	nd	nd
<b>As</b>	0,6	0,51	0,81	0,58	0,66	0,63	0,93	1,05	0,61	1,05
<b>Rb</b>	23	29,1	13,9	13,1	50,7	65,24	130,7	152	137	34,4
<b>Sr</b>	537	528	294	529	454	462	105	136	2,42	694
<b>Y</b>	42,8	28,5	56,7	27,9	42	51,2	72,4	67,2	71	32,3
<b>Zr</b>	225	237	209	184	348	493	840	686	824	277
<b>Nb</b>	28,4	27,8	54,5	23,1	37,6	56,68	70,27	74,9	99,1	61,2
<b>Mo</b>	2,21	2,12	3,23	2,27	2,72	2,42	3,93	4,44	1,27	3,36
<b>Cd</b>	0,13	0,17	0,35	0,17	0,14	0,22	0,25	0,27	0,3	0,25
<b>In</b>	nd	nd	0,1	nd	nd	0,08	0,17	nd	nd	nd
<b>Sb</b>	0,09	0,01	0,12	0,12	0,08	0,03	0,06	0,12	0,27	0,12
<b>Cs</b>	0,38	0,33	0,54	0,72	0,68	0,283	0,427	1,31	0,35	0,45
<b>Ba</b>	332	409	240	251	612	936	1068	1561	40,2	414
<b>La</b>	39,45	32,81	30,38	24,59	49,87	70,34	115,9	104,9	102,6	44,62
<b>Ce</b>	91,28	71,6	70,68	54,05	105,7	148,8	242,7	198	207,5	90,21
<b>Pr</b>	11,91	9,05	9,24	7,07	13,07	17,71	29,02	23,04	23,32	10,79
<b>Nd</b>	54,67	39,82	41,56	31,93	55,9	72,69	115,4	90,1	92,76	43,77
<b>Sm</b>	13,7	8,67	11,62	7,75	11,87	14,34	20,47	17,72	18,46	9,72
<b>Eu</b>	4,28	3,13	2,01	2,65	3,54	4,29	4,61	3,93	1,65	2,93
<b>Gd</b>	11,3	7,36	10,87	6,74	10,15	12,37	18,69	14,24	15,17	7,68
<b>Tb</b>	1,63	1,1	1,91	1,04	1,58	1,8	2,68	2,18	2,39	1,21
<b>Dy</b>	8,88	5,79	10,94	5,56	8,43	10,14	14,41	12,4	14,03	6,36
<b>Ho</b>	1,68	1,18	2,23	1,13	1,75	2,22	3,28	2,66	2,93	1,25
<b>Er</b>	3,71	2,46	5,25	2,5	3,82	4,69	7,33	6,15	6,8	3,06
<b>Tm</b>	0,49	0,34	0,74	0,35	0,54	67	1,01	0,93	1	0,42
<b>Yb</b>	3,03	2,16	4,72	2,11	3,48	4,37	6,27	5,92	6,42	2,61
<b>Lu</b>	0,42	0,3	0,69	0,3	0,46	0,56	1,12	0,9	0,99	0,38
<b>Hf</b>	5,34	5,35	6,32	4,4	8,24	12,3	23,3	17,5	22,2	6,07
<b>Ta</b>	2,24	2,11	4,01	1,79	2,71	3,95	4,82	4,78	7,86	4,37
<b>W</b>	0,36	0,42	1,09	0,37	0,47	0,67	1,16	1,04	0,68	0,5
<b>Pb</b>	3,62	2,97	13,9	2,42	5,77	8,47	16,9	20,6	15,8	3,33
<b>Bi</b>	0,01	0,01	0,08	0	0,03	tr	tr	0,03	0,06	0,02
<b>Th</b>	3,47	3,29	10,2	2,3	5,36	8,09	16,1	17,1	18,4	4,46
<b>U</b>	0,8	0,73	2,27	0,58	1,11	1,62	2,64	2,78	1,86	1,19

Tableau 3

Analyses chimiques (microsonde électronique, université Paris-6) de pyroxènes et formules structurales calculées sur six oxygènes

Table 3

Chemical analyses (microprobe, University Paris-6) of pyroxenes with the numbers of ions calculated on the basis of 6 oxygens

	E1 (F56)	E2 (F46)	F1	E1 (F56)
	hawaïite	basalte	basalte	hawaïite
	cpx	cpx	cpx	opx
<b>SiO<sub>2</sub></b>	50,30	50,37	43,41	52,30
<b>TiO<sub>2</sub></b>	1,32	1,40	4,31	0,48
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,95	2,08	9,46	3,21
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,03	0	0	0,06
<b>FeO</b>	11,40	10,10	8,73	16,68
<b>MnO</b>	0,30	0,22	0,19	0,22
<b>MgO</b>	14,31	14,13	11,06	25,28
<b>NiO</b>	0,07	0,05	0	0
<b>CaO</b>	18,44	20,24	22,92	1,69
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	0,57	0,30	0,57	0,04
<b>Total</b>	100,69	98,89	100,65	99,96
<b>Si</b>	1,863	1,903	1,617	1,899
<b>Al IV</b>	0,137	0,093	0,383	0,101
<b>Ti</b>	0,037	0,040	0,121	0,013
<b>Al VI</b>	0,035	0	0,032	0,036
<b>Cr</b>	0,001	0	0	0,002
<b>Fe</b>	0,353	0,319	0,272	0,506
<b>Mn</b>	0,009	0,007	0,006	0,007
<b>Mg</b>	0,790	0,796	0,614	1,368
<b>Ni</b>	0,002	0,002	0	0
<b>Ca</b>	0,732	0,819	0,915	0,066
<b>Na</b>	0,041	0,022	0,041	0,003
<b>En (Mg)</b>	41,92	40,99	33,98	70,26
<b>Fs (Fe + Mn)</b>	19,24	16,80	15,38	26,36
<b>Wo (Ca)</b>	38,84	42,21	50,63	3,38
<b>Fe/(Fe + Mg)</b>	0,31	0,29	0,31	0,27

récent F1 de ce même volcan, avec d'autres basaltes alcalins de la Ligne du Cameroun [6,23], avec des basaltes d'affinité transitionnelle du massif du Mbam [19,20] et des roches tholéïtiques de Mayo Oulo-Léré [24] au Cameroun (Tableau 4), permet d'en préciser la tendance transitionnelle (faibles teneurs en Ba, La, Ta).

Le diagramme Th–Ta–Hf/3 selon [33] situe les deux séries du mont Bangou juste à la limite du champ tholéïtique (E-MORB et basaltes tholéïtiques intra-plaques) et du champ alcalin (Fig. 3). En prenant en compte les éléments en traces peu sensibles aux transformations post-magmatiques, tels Y et Nb (Fig. 4), les points représentatifs des laves basaltiques du mont

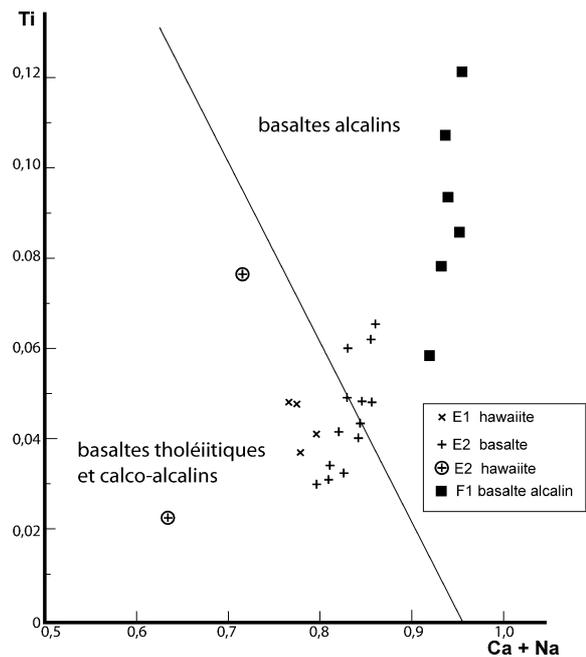


Fig. 2. Répartition des clinopyroxènes des basaltes (et hawaïites de  $DI < 36$ ) à affinité transitionnelle du mont Bangou dans le diagramme  $Ti/(Ca + Na)$  (nombres de cations calculés sur six oxygènes) [11].

Fig. 2. Distribution of clinopyroxenes of basalts with transitional affinities and weakly differentiated hawaïites ( $DI < 36$ ) of Mount Bangou in the  $Ti/(Ca + Na)$  diagram [11]. Numbers of ions calculated on the basis of six oxygens.

Bangou (principalement compris entre 0,9 et 1,5) se situent près des séries transitionnelles [26].

Les spectres de terres rares de E1 et E2 présentent un enrichissement classique en terres rares légères (Fig. 5), nettement moins marqué que pour les basaltes alcalins, tels ceux du volcanisme alcalin récent de la Ligne du Cameroun. Ils se rapprochent de ceux de Mbam et de Mayo Oulo-Léré, confirmant une affinité transitionnelle.

## 5. Discussion et conclusion

Les laves des deux séries volcaniques éocènes du mont Bangou (Ouest-Cameroun) montrent un caractère faiblement alcalin à affinité transitionnelle. Elles contiennent de l'hypersthène normatif. Elles se démarquent de celles des séries typiquement alcalines du mont Cameroun et des épanchements peu différenciés des fossés d'effondrement du secteur continental [23].

Tableau 4

Teneurs comparées en éléments incompatibles des basaltes des deux épisodes (E1 et E2) du mont Bangou, avec celles des roches tholéiitiques (Th) de Mayo Oulo-Léré [24], des basaltes à affinité transitionnelle (Tr) du Mbam [19,20], du basalte alcalin (A) récent F1 du mont Bangou et du basalte alcalin de l'éruption de 1999 du mont Cameroun [6]

Table 4

A comparison of incompatible trace-element ratios in Mount Bangou basalts (episodes E1 and E2), with those of the tholeiitic rocks (Th) of Mayo Oulo-Léré [24], basalts with transitional affinities (Tr) of Mbam [19,20], recent alkaline (A) basalt F1 of the Mount Bangou and alkaline basalt of the 1999 Mount Cameroon eruption [6]

	Bangou (E1–E2)	Mayo Oulo-Léré (Th)	Mbam (Tr)	Bangou F1 (A)	Mount Cameroon (A)
Y/Nb	0,9–1,5	2,6–2,7	1,5–2,2	0,5	0,4
Zr/Nb	7,7–8,2	13,7–14,7	9,9–14,6	4,5	4,1
Ba/Nb	7,8–13,5	18,8–35,1	22–41	6,7	5,4
Zr/Y	5,3–8,3	5,3–5,7	5,5–8,4	8,6	11,4

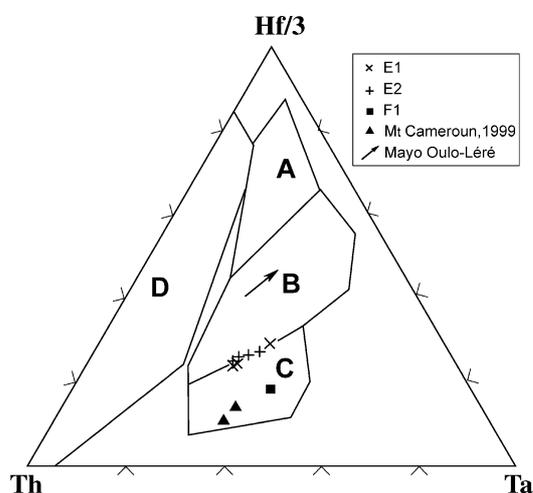


Fig. 3. Diagramme Th–Ta–Hf/3 selon [33]. Les points représentatifs des basaltes des séries E1 et E2 du mont Bangou sont situés, en comparaison avec les basaltes alcalins F1 de Bangou et du mont Cameroun 1999 [6] et avec les roches tholéiitiques de Mayo Oulo-Léré [24]. Champ A : N-MORB, B : E-MORB et basaltes tholéiitiques intraplaques, C : basaltes alcalins, D : basaltes calco-alcalins.

Fig. 3. Th–Ta–Hf/3 diagram according to [33]. E1 and E2 basalts of Mount Bangou are plotted for comparison with alkaline basalts F1 from Bangou and from Mount Cameroon 1999 eruption [6] and with tholeiitic rocks from Mayo Oulo-Léré [24]. Field A: N-MORB, B: E-MORB and tholeiitic within-plate basalts, C: alkaline within-plate basalts, D: calc-alkaline basalts.

L'acquisition du caractère transitionnel par contamination d'un magma alcalin avec des xénolites du socle panafricain et/ou mantellique [5,7], déjà discutée par ailleurs [19], paraît peu probable ici : les laves de la série E2 en sont presque totalement dépourvues, alors que les enclaves énallogènes des laves de la série E1 ne montrent pas de trace de déstabilisation.

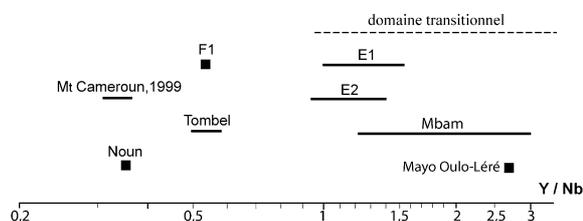


Fig. 4. Variation du rapport Y/Nb dans différents basaltes. E1 et E2 : les deux séries du mont Bangou (y compris hawaïites de DI < 36), F1 : basalte alcalin récent du mont Bangou. Roches tholéiitiques de Mayo Oulo-Léré [24], série à affinité transitionnelle de Mbam [19, 20], domaine transitionnel général [26]. Séries alcalines : Tombel [23], Noun [31], mont Cameroun, éruption de 1999 [6].

Fig. 4. Distribution of Y/Nb ratios in some basaltic lavas. E1 and E2: the two séries of Mount Bangou, F1: recent alkaline basalt of Mount Bangou. Tholeiitic rocks from Mayo Oulo-Léré [24], series with transitional affinities of Mbam [19,20], transitional field [26]. Alkaline series: Tombel [23], Noun [31], Mount Cameroon, 1999 eruption [6].

Les variations d'abondance des éléments majeurs et en traces ainsi que les spectres de terres rares montrent que le processus majeur de différenciation, à l'intérieur de chaque série, est la cristallisation fractionnée impliquant l'olivine, les oxydes ferrotitanés, le clinopyroxène et le plagioclase. Les deux séries seraient issues de fusions partielles, à des taux relativement élevés, d'après leurs faibles rapports Zr/Y (5,3 pour le basalte F54 de E1 et 6,6 pour le basalte F51 de E2) [15]. Plusieurs sources mantelliques ont pu intervenir, comme en témoignent les variations de certains rapports d'éléments (La/Ta, Ta/Th par exemple). Les rapports Ba/Nb (11,2–13,5 pour la série E1 et 7,8–10,9 pour la série E2), La/Nb (1,05–1,39 et 0,86–1,06 respectivement), Ba/La (8,4–12,1 et 9,1–10,2) mon-

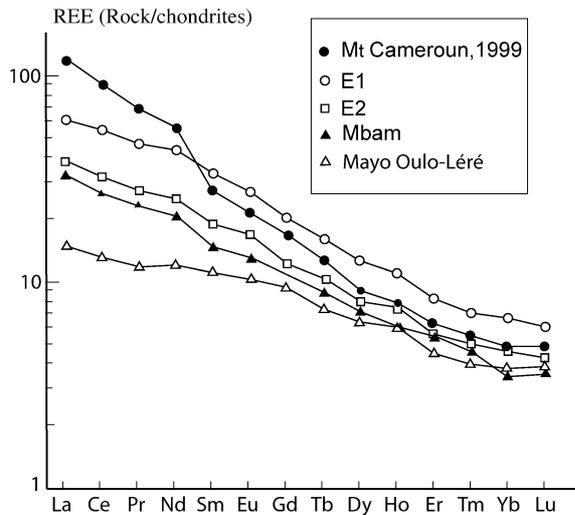


Fig. 5. Spectres des terres rares dans les basaltes des séries E1 et E2 du mont Bangou (valeurs normalisées selon [14]), comparés à ceux d'un basalte à affinité transitionnelle du Mbam [20], d'un basalte tholéiitique de Mayo Oulo-Léré [24], et du basalte alcalin de l'éruption de 1999 du mont Cameroun [6].

Fig. 5. REE distribution in E1 and E2 basalts of Mount Bangou using normalizing values of [14] compared with a basalt with transitional affinities of Mbam [20], a tholeiitic basalt from Mayo Oulo-Léré [24] together with a 1999 alkaline basalt of Mount Cameroon [6].

trent l'importance du pôle EM2 [32]. Les pôles EM1 et HIMU jouent aussi un rôle. Pour le basalte alcalin récent F1 (plus riche en Ba, La, Ta ; Ba/La = 9,3, **Tableau 2**), un taux de fusion partielle plus faible peut être retenu ( $Zr/Y = 8,6$ ).

Le volcan du mont Bangou est le témoin de l'existence, à l'Éocène, d'un magmatisme précoce faiblement alcalin, à affinité transitionnelle ; c'est la seconde occurrence décrite, après les basaltes fissuraux du massif du Mbam [19,20], dans le secteur continental de la Ligne du Cameroun [8]. Signalons que quelques occurrences de tholéiites continentales, nettement plus anciennes, ont été signalées au Cameroun, datées de l'Ordovicien au Dévonien [2] et du Crétacé [24,30].

Ainsi, le volcanisme initial du mont Bangou, le plus ancien daté dans le secteur continental de la Ligne du Cameroun, serait un témoin d'une remontée crustale (à la suite d'une remontée asthénosphérique) [10, 16] qui a affecté l'Afrique centrale à partir du Crétacé supérieur. Ce contexte géodynamique aurait fa-

vorisé les manifestations magmatiques résultant de l'activité de plusieurs points chauds ou d'une ligne chaude (*hot line*) [3,16,25]. Un volcanisme à tendance transitionnelle, précédant un volcanisme alcalin, toujours très actif actuellement, est ainsi mis en évidence en contexte continental. Ceci rappelle les transitions entre volcanismes tholéiitique et alcalin, bien connues dans les îles océaniques (Hawaii, Polynésie française) à l'aplomb de points chauds [1,12]. Ces variations de processus de genèse magmatique correspondent à une baisse du taux de fusion partielle et/ou à des sources mantelliques distinctes.

## Remerciements

Ce travail a bénéficié du soutien d'un programme Campus-Corus. J.-C. Philippet, à Brest, a réalisé les datations isotopiques et G. Roche, à Orsay, les illustrations : nous les remercions très particulièrement. B. Déruelle, J. Touret et A.R. McBirney sont remerciés pour les discussions fructueuses qui ont permis l'amélioration du manuscrit.

## Références

- [1] J.M. Bardintzeff, H. Leyrit, H. Guillou, G. Guille, B. Bonin, A. Giret, R. Brousse, Transition between tholeiitic and alkali basalts: petrographical and geochemical evidences from Fangataufa, Pacific Ocean, and Kerguelen, Indian Ocean, *Geochim. J.* 28 (6) (1994) 489–515.
- [2] A. Béa, J.-J. Cochemé, R. Trompette, P. Affaton, D. Soba, J. Sougy, Grabens d'âge Paléozoïque inférieur et volcanisme tholéiitique associé dans la région de Garoua au Nord-Cameroun, *J. Afr. Earth Sci.* 10 (4) (1990) 657–667.
- [3] E. Bonatti, C.G.A. Harrison, Hot line in the Earth's mantle, *Nature* 26 (1976) 402–404.
- [4] K.G. Cox, A model for flood basalt volcanism, *J. Petrol.* 21 (1980) 29–50.
- [5] B. Déruelle, C. Moreau, C. Nkoumbou, R. Kambou, J. Lissom, E. Njonfang, R.T. Ghogomu, A. Nono, The Cameroon Line: A review, in: A.B. Kampunzu, R.T. Lubala (Eds.), *Magma-tism in Extensional Structural Settings*, Springer-Verlag, 1991, pp. 274–327.
- [6] B. Déruelle, J.-M. Bardintzeff, J.-L. Cheminée, I. Ngounouno, J. Lissom, C. Nkoumbou, J. Etamé, J.V. Hell, G. Tanyileke, J. N'ni, B. Ateba, N. Ntepe, A. Nono, P. Wandji, J. Fosso, D.G. Nkouathio, Eruptions simultanées de basalte alcalin et de hawaïite au mont Cameroun (28 mars–17 avril 1999), *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIa* 331 (2000) 525–531.
- [7] J.G. Fitton, The Cameroon Line, West Africa: a comparison between oceanic and continental alkaline volcanism, in: J.G.

- Fitton, B.G. Upton (Eds.), *Alkaline Igneous Rocks*, J. Geol. Soc. Spec. Publ. 30 (1987) 233–291.
- [8] J. Fosso, *Volcanologie, pétrographie et géochimie d'un stratovolcan des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun : le mont Bangou*, thèse de 3<sup>e</sup> cycle, université Yaoundé-1, 1999, 220 p.
- [9] J. Fosso, J.-J. Ménard, J.-M. Bardintzeff, P. Wandji, H. Bellon, *Le stratovolcan de Bangou (Ouest-Cameroun) : une série transitionnelle dans la Ligne du Cameroun, in : 18<sup>e</sup> Réunion des sciences de la Terre, Paris, 2000, p. 133.*
- [10] R. Guiraud, W. Bosworth, *Senonian basin inversion and rejuvenation of rifting in Africa and Arabia: synthesis and implications to plate-scale tectonics*, *Tectonophysics* 282 (1997) 39–82.
- [11] J. Leterrier, R.C. Maury, P. Thonon, D. Girard, M. Marchal, *Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series*, *Earth Planet. Sci. Lett.* 59 (1982) 139–154.
- [12] G.A. Macdonald, T. Katsura, *Chemical composition of Hawaiian lavas*, *J. Petrol.* 5 (1964) 82–133.
- [13] G.A. Mahood, R.E. Drake, *K–Ar dating young rhyolitic rocks: a case study of the Sierra la Primavera, Mexico*, *Geol. Soc. Am. Bull.* 93 (1982) 1232–1241.
- [14] W.F. McDonough, S.S. Sun, *The composition of the Earth*, *Chem. Geol.* 120 (1995) 223–253.
- [15] M.A. Menzies, P.R. Kyle, *Continental volcanism: a crust–mantle probe*, in: M.A. Menzies (Ed.), *Continental mantle, Oxford Monographs on Geology and Geophysics*, Oxford Science Publ., Clarendon Press, Oxford, UK, 1990, pp. 157–177.
- [16] J.B. Meyers, B.R. Rosendahl, C.G.A. Harrison, Z.-D. Ding, *Deep-imaging seismic and gravity results from the offshore Cameroon volcanic Line, and speculation of African hotlines*, *Tectonophysics* 284 (1998) 31–63.
- [17] E.A.K. Middlemost, *Iron oxidation ratios, norms and the classification of volcanic rocks*, *Chem. Geol.* 77 (1989) 19–26.
- [18] C. Moreau, J.-M. Regnault, B. Déruelle, B. Robineau, *A new tectonic model for the Cameroon Line, Central Africa*, *Tectonophysics* 139 (1987) 317–334.
- [19] A. Moundi, J.-J. Ménard, E. Reusser, F.M. Tchoua, V.J. Dietrich, *Découverte de basaltes transitionnels dans le secteur continental de la Ligne du Cameroun (Massif du Mbam, Ouest-Cameroun)*, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 322 (1996) 831–837.
- [20] A. Moundi, *Les basaltes des plateaux du plateau Bamoun : pétrologie-géochimie et géochronologie, implications sur les sources des magmas, leurs contexte et évolution géodynamiques*, thèse d'état, université Yaoundé-1, 2004, 256 p. + 2 cartes.
- [21] J.-M. Nana, *Le complexe volcano-plutonique de Bana (Ouest-Cameroun) : géologie et pétrologie*, thèse, université Paris-Sud, Orsay, 1988, 131 p.
- [22] J.-M. Nana, J.-M. Bardintzeff, B. Bonin, *The Bana ring complex (W. Cameroon): some petrological aspects*, in: 4th European Union of Geosciences Meeting, Strasbourg, France, *Terra Cognita* 7 (2–3) (1987) 364–365.
- [23] D.G. Nkouathio, J.-J. Ménard, P. Wandji, J.M. Bardintzeff, *The Tombel graben (West-Cameroun): A recent monogenetic volcanic field of the Cameroon Line*, *J. Afr. Earth Sci.* 35 (2) (2002) 285–300.
- [24] I. Ngounouno, B. Déruelle, R. Guiraud, J.-P. Vicat, *Magmatismes tholéiitique et alcalin des demi-grabens créacés de Mayo Oulo-Léré et de Babouri-Figuil (Nord du Cameroun–Sud du Tchad) en domaine d'extension continentale*, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 333 (2001) 201–207.
- [25] I. Ngounouno, B. Déruelle, D. Demaiffe, R. Montigny, *Petrology of the Cenozoic volcanism in the Upper Benue valley, northern Cameroon (Central Africa)*, *Contrib. Mineral. Petrol.* 145 (2003) 87–106.
- [26] J.A. Pearce, J.R. Cann, *Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses*, *Earth Planet. Sci. Lett.* 19 (1973) 290–300.
- [27] R.H. Steiger, E. Jäger, *Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology*, *Earth Planet. Sci. Lett.* 36 (1977) 359–362.
- [28] F.M. Tchoua, *Contribution à l'étude géologique et pétrologique de quelques volcans de la «Ligne du Cameroun» (monts Manengouba et Bambouto)*, thèse d'État, université de Clermont-Ferrand, 1974, 337 p. + biblio + 75 figures.
- [29] C.P. Thornton, O.F. Tuttle, *Chemistry of igneous rocks. I. Differentiation index*, *Am. J. Sci.* 258 (1960) 664–684.
- [30] J.-P. Vicat, I. Ngounouno, A. Pouclet, *Existence de dykes doléritiques anciens à composition de tholéiites continentales au sein de la province alcaline de la ligne du Cameroun. Implication sur le contexte géodynamique*, *C. R. Acad. Sci. Paris, Ser. IIA* 332 (2001) 243–249.
- [31] P. Wandji, J.-M. Bardintzeff, J.-J. Ménard, F.M. Tchoua, *The alkaline fassait-bearing volcanic province of the Noun Plain (West-Cameroun)*, *N. Jahrb. Miner. Mh.* 1 (2000) 1–14.
- [32] B.L. Weaver, *The origin of ocean island basalt end-member compositions: trace element and isotopic constraints*, *Earth Planet. Sci. Lett.* 104 (1991) 381–397.
- [33] D.A. Wood, *The application of a Th–Hf–Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province*, *Earth Planet. Sci. Lett.* 50 (1980) 11–30.