

Géomatériaux (Pétrologie)

# Les camptonites du mont Cameroun, Cameroun, Afrique

Ismaïla Ngounouno<sup>a</sup>, Bernard Déruelle<sup>b,\*</sup>, Raymond Montigny<sup>c</sup>, Daniel Demaiffe<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Département des sciences de la Terre, faculté des sciences, université de Ngaoundéré, BP 454, Ngaoundéré, Cameroun

<sup>b</sup> Institut de physique du globe de Paris, UMR 7154, laboratoire de magmatologie et géochimie inorganique et expérimentale, université Pierre-et-Marie-Curie et IUFM, académie de Versailles, 4, place Jussieu, 75252 Paris cedex 05, France

<sup>c</sup> École et observatoire de physique du globe, UMR CNRS 7516, université Louis-Pasteur, 5, rue Descartes, 67100 Strasbourg, France

<sup>d</sup> Laboratoire de géochimie isotopique, université libre de Bruxelles, 50, avenue Franklin D. Roosevelt, CP 160/02, 1050 Bruxelles, Belgique

Reçu le 19 décembre 2005 ; accepté après révision le 20 mars 2006

Disponible sur Internet le 9 juin 2006

Présenté par Zdenek Johan

## Résumé

Des camptonites ( $1,4 \pm 0,4$  Ma) ont été découvertes au mont Cameroun. Elles contiennent les phénocristaux d'olivine + clinopyroxène + plagioclase  $\pm$  kaersutite  $\pm$  bi et des ocelles (néphéline ou analcime et carbonates). Les  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  sont semblables à ceux des basaltes du mont Cameroun ( $\approx 0,7033$ ). Les camptonites résulteraient de la cristallisation fractionnée d'un magma basaltique issu d'un faible degré de fusion d'une source lherzolitique sous-lithosphérique, métasomatisée en domaine de fracturation lithosphérique intense. **Pour citer cet article :** I. Ngounouno et al., C. R. Geoscience 338 (2006).

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

## Abstract

**The camptonites from Mount Cameroon, Cameroon, Africa.** Camptonites have been discovered at Mount Cameroon. They contain phenocrysts of olivine + clinopyroxene + plagioclase  $\pm$  kaersutite  $\pm$  bi and ocelli of nepheline or analcime and carbonates.  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  values are similar to those of the basalts of Mount Cameroon ( $\approx 0.7033$ ). The camptonites are interpreted as resulting from fractional crystallization of a basaltic magma generated by a low degree of melting of an infra-lithospheric metasomatized mantle tapped by huge lithospheric cracks. **To cite this article:** I. Ngounouno et al., C. R. Geoscience 338 (2006).

© 2006 Académie des sciences. Publié par Elsevier SAS. Tous droits réservés.

**Mots-clés :** Ligne du Cameroun ; Mont Cameroun ; Camptonite ; Pétrologie

**Keywords :** Cameroon Line; Mount Cameroon; Camptonite; Petrology

## Abridged English version

### 1. Introduction

Mt Cameroon belongs to the 'Cameroon Line' (CL) [7] (Fig. 1). It is a huge strato-volcano made of lava flows and pyroclastic deposits emitted by more than 140 cones; the volcano is built upon a crystalline base-

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : [deruelle@ccr.jussieu.fr](mailto:deruelle@ccr.jussieu.fr) (B. Déruelle).

ment of Paleozoic age. The camptonites have been sampled on the southern flank. Lamprophyres (monchiquites and camptonites) have already been described in the northern part of the CL (Benue valley of Garoua and Kokoumi volcano-plutonic complex [19]) and in the Babouri–Figuil graben [18] at Tchircotché [20,21]. The main petrographical and geochemical characteristics of the Mt Cameroon camptonites are discussed to determine their relationships with the Mt Cameroon alkali basalt lavas.

## 2. Field exposures and ages

The camptonites are exposed as loosed blocks in the bed of a stream near Bussumba. The rocks are fresh, grey, and slightly (C10K) or strongly (C10H) porphyritic. Their K–Ar age is  $1.46 \pm 0.15$  Ma. Surrounding basalts (C10J) are younger ( $0.40 \pm 0.40$  Ma).

## 3. Petrography

Mt Cameroon camptonites contain phenocrysts of clinopyroxene, plagioclase, and titanomagnetite scattered in a groundmass of the same minerals and accessory amphibole. Sample C10K also contains phenocrysts of olivine, amphibole and biotite. The camptonites also contain nepheline or analcime and carbonate ocelli which probably result from a late fluid-rich phase containing H<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> exsolved by immiscibility.

## 4. Mineralogy

Minerals compositions have been measured with a CAMEBAX microprobe at Pierre and Marie Curie University, Paris (Table 1). Olivine (Fo<sub>77–57</sub>) is rather Mg-poor (Fo<sub>77–56</sub>) but Ca- and Mn-rich. Cores of pyroxene phenocrysts are diopside (Wo<sub>50</sub>En<sub>48</sub>Fs<sub>2</sub>) with Al<sup>VI</sup>/Al<sup>IV</sup> ratios <0.25, indicating low equilibrium pressure [29]. The amphibole is a kaersutite (according to classification by [13]) which equilibrated at 950–1000 °C and 0.5–0.6 GPa (estimates after [1,22]). The biotite is Ti-rich ( $6.5 < \text{TiO}_2 \text{ wt\%} < 7.2$ ) and equilibrated at  $\approx 1000$  °C [12]. The plagioclase phenocrysts are normally zoned and crystallized at 925–1025 °C and 0.1 GPa. X<sub>usp</sub> of titanomagnetite is <49.

## 5. Geochemistry

The camptonites and the surrounding basalt have been analyzed by ICP–MS at CRPG, Nancy, France (Table 1). According to classifications by [26,31] the

camptonites are of alkaline type (Fig. 2) with nepheline in the norm. They are evolved rocks (Mg# 57–58) with very low Cr (25–31 ppm) and Ni (23–43 ppm) contents. In primitive mantle normalized spidergrams, the camptonites and the less evolved basalts of Mt Cameroon have similar patterns. These are characterized by negative Rb, Ba, and K, and positive Zr anomalies, and have high (La/Yb)<sub>N</sub> (15–28) and (La/Sm)<sub>N</sub> (3–5) ratios. The camptonite spectra are similar to those of St Helena alkali basalts of HIMU type [3] (Fig. 3). Initial Sr isotope ratios (Table 2) are similar for camptonites (0.70329 and 0.70353) and C10J basalt (0.70333). These values are similar to those of the other alkaline lamprophyres in Cameroon and of historical basalts of Mt Cameroon (0.70330–0.70333) [5]; they typically fall in the CL field ([11,17,19], Demaiffe, unpublished).

## 6. Discussion and conclusions

Compositions of olivine, Ti–Al diopside and kaersutite phenocrysts indicate a crystallization at shallow depth (25–30 km) for the camptonites. C10J basalt has primitive characteristics (MgO = 15.0 wt%; Ni = 279 ppm and Cr = 1304 ppm): it probably derived from a low degree of partial melting of a peridotite mantle. Basalt C10J and camptonites are rich in alkalis and in large-ion lithophile elements (Table 2). The occurrence of volatile-rich minerals (amphibole, biotite, analcime, carbonates) in the camptonites, and the occurrences of pargasite in wehrlite xenoliths from Mt Cameroon basalts [6] and of Ti-rich amphibole in wehrlites and camptonites are strong arguments in favor of infra-lithospheric mantle source metasomatized by an alkali-rich magma. Mass balance modelling of major and trace elements is in favour of a single magmatic series for the basalt C10J and the camptonites. The camptonite C10K possibly derived from the basalt C10J by fractionation (wt%) of olivine (20.1), diopside (8.3) and kaersutite (0.4) ( $\sum r^2 < 2.0$ ); these minerals are indeed present as phenocrysts in the camptonite. Similarly, the camptonite C10H can be derived from camptonite C10K by fractionation of kaersutite (18.1), diopside (9.6) and magnetite (6.5) (wt%;  $\sum r^2 < 1.9$ ).

The steep trace element patterns are typical of alkaline rocks and suggest the probable occurrence of garnet in the residue during partial melting of the source at more than 80 km depth. Negative K and Rb anomalies are probably due to residual phlogopite and/or amphibole. Phlogopite partition coefficients are higher than 1 for Rb, Ba and K in basalts [10]. According to experiments [9,28] phlogopite stability is enhanced by fluorine till 6–7 GPa. Negative anomalies in Rb, Ba and

K in Mt Cameroon camptonites probably result from biotite fractionation. It has also been proposed that the K negative anomaly is a characteristic of the source of HIMU basalts [4,30], as are those of the CL [11]. Such a K deficit is therefore related to the dehydration at great depth ( $\approx 110$  km) of an oceanic crust during subduction.

The continental crust did not play any significant role in the genesis of the Mt Cameroon camptonites (no negative Nb anomaly and relatively high Zr contents: 270–500 ppm, low  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  values). As for the tectonic setting of other lamprophyres in Cameroon, the intense fracturation of the whole lithosphere at the ocean–continent boundary [15] favoured the fast ascent of magma of deep origin. The geochemical and isotopic similarities between the Mt Cameroon camptonites and the least differentiated basalts of the Cameroon Line are a strong argument suggesting similar magma source compositions for the lamprophyres and the basalts.

## 1. Introduction

Le mont Cameroun appartient à la « ligne du Cameroun » (LdC, Fig. 1), un alignement N30°E de volcans et plutons, qui s'étend de l'île de Pagalu (golfe de Guinée) au lac Tchad [7]. C'est un stratovolcan sans cratère central. Il est constitué de coulées de laves émises par plus de 140 cônes pyroclastiques, et édifié sur des roches métamorphiques et plutoniques d'âge Paléozoïque. Les

camptonites ont été découvertes sur le flanc sud-ouest du volcan. Des lamprophyres (monchiquites et camptonites) ont déjà été signalés au Cameroun : dans le fossé de Babouri-Figuil [18] et dans la partie nord de la LdC, au complexe alcalin sous-saturé de Kokoumi [19] et à Tchircotché dans la vallée de la haute Bénoué [20,21]. Nous présentons les données pétrologiques et géochimiques des camptonites du mont Cameroun, dans le but de déterminer leur place dans le contexte du volcanisme de ce massif et d'examiner s'il existe ou non des relations génétiques avec ses laves basaltiques.

## 2. Conditions de gisement et âges

Les camptonites ont été échantillonnées en blocs épars dans le lit d'une rivière, à proximité de Bussumba. Elles sont saines, de couleur grise, faiblement (C10K) ou fortement (C10H) porphyriques. Leur âge K–Ar est de  $1,46 \pm 0,15$  Ma. Les basalts avoisinants (C10J) sont plus jeunes ( $0,40 \pm 0,40$  Ma).

## 3. Pétrographie

Les camptonites du mont Cameroun sont à phénocristaux de clinopyroxène ( $< 1,5$  mm) et plagioclase ( $2 \times 6$  mm), plus ou moins imbriqués en essaims, et de titanomagnétite, épars dans une mésostase surtout constituée de microlites de plagioclase et acces-

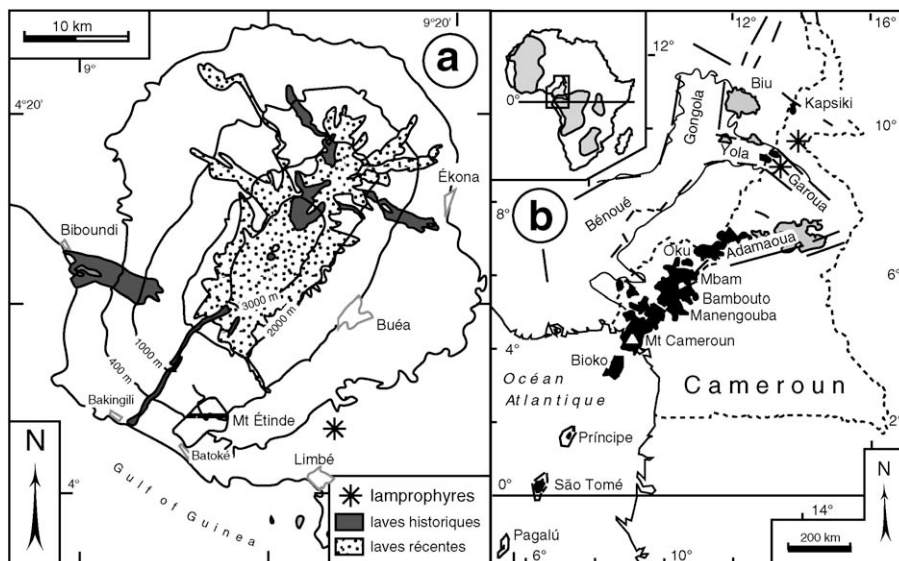


Fig. 1. (a) Localisation des camptonites du mont Cameroun sur son flanc sud. (b) La ligne du Cameroun (de l'île de Pagalu au plateau Kapsiki) et les autres lamprophyres (même symbole qu'en (a)) étudiés au Cameroun (en cartouche : cratons d'après [7]).

Fig. 1. (a) Location of the camptonite samples on the southern flank of Mt Cameroon. (b) The Cameroon Line (from Pagalu to Kapsiki) and the other studied lamprophyres (same symbol as in (a)) in Cameroon (Inset: cratons after [7]).

soirement d'amphibole, clinopyroxène et magnétite. L'échantillon C10K contient en plus des phénocristaux d'olivine (2–3 mm), d'amphibole (jusqu'à 3,7 mm) et des microphénocristaux de biotite (<0,5 mm). Les camptonites contiennent aussi des ocelles (<5 mm; 2–8% en volume) à cristaux de néphéline ou d'anal-

cime et de carbonates. Ces ocelles sont semblables à ceux observés dans les lamprophyres de Kokoumi. La présence simultanée de néphéline (ou d'analcime) et de carbonates dans les ocelles traduit probablement la présence tardive d'une phase riche en fluides, suite à une exsolution liée à une immiscibilité.

Tableau 1

Compositions chimiques des phénocristaux (**ph**), microphénocristaux (**mph**) (**c**, cœur; **b**, bordure) et microlites (**m**) des lamprophyres du mont Cameroun. Conditions analytiques : olivine : 15 kV, 40 nA, 20 s par élément, sauf Si : 10 s; clinopyroxène : 15 kV, 40 nA, 20 s par élément, sauf Ti : 30 s (Fe<sup>3+</sup> recalculé selon [8]); amphibole : 15 kV, 40 nA, 15 s par élément, sauf Ca et Ti : 20 s; Fe et Mn : 25 s, F : 30 s (Fe<sup>3+</sup> recalculé selon [13]); biotite : 15 kV, 10 nA, 20 s par élément, sauf Fe : 15 s, Mn, Na et F : 30 s; oxydes de Fe–Ti : 20 kV, 40 nA, 40 s par élément, sauf Al et Cr : 3 s (Fe<sup>3+</sup> recalculé selon [27]); plagioclase : 15 kV, 10 nA, 10 s. Programme de correction PAP [24]

Table 1

Chemical compositions of phenocrysts (**ph**), microphenocrysts (**mph**) (**c**, core; **b**, border), and of microlites (**m**) of lamprophyres from Mt Cameroon. Analytical conditions: olivine: 15 kV, 40 nA, 20 s by element; except Si: 10 s; clinopyroxene: 15 kV, 40 nA, 20 s by element; except Ti: 30 s (Fe<sup>3+</sup> calculated after [8]); amphibole: 15 kV, 40 nA, 15 s by element; except Ca and Ti: 20 s, Fe and Mn: 25 s, F: 30 s (Fe<sup>3+</sup> calculated after [13]); biotite: 15 kV, 10 nA, 20 s by element; except Fe: 15 s, Mn, Na et F: 30 s; Fe–Ti oxides: 20 kV, 40 nA, 40 s by element, except Al et Cr: 30 s (Fe<sup>3+</sup> calculated after [27]); plagioclase: 15 kV, 10 nA, 10 s. Corrections after PAP [24]

n°	Olivine C10K		Clinopyroxène				Amphibole		Biotite C10K		Plagioclase C10H			Magnétite C10K	
	ph, c	ph, c	C10H		C10K		C10H		mph	mph	ph, c	ph, b	m	ph	ph
			ph, c	ph, b	ph, c	m	ph, c	m							
SiO <sub>2</sub>	34,75	38,86	47,66	45,28	47,55	49,39	39,10	39,21	38,15	38,56	55,76	51,22	54,34		
TiO <sub>2</sub>			2,95	3,90	2,34	1,80	6,84	7,06	7,22	6,50				15,48	16,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			6,04	7,72	5,08	3,29	12,59	12,67	12,43	11,81	27,32	30,14	28,70	6,22	6,02
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>			0,09	0,03	0,06	0,03								0,40	0,04
FeO	37,41	20,89	6,97	8,23	8,96	8,56	10,40	10,27	11,37	11,16	0,64	0,72	0,68	66,21	67,54
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	1,28		3,77	4,98	3,28	2,66					0,65	0,78	0,76	34,58	33,59
FeO*	36,13	20,89	3,58	3,75	5,68	5,99					0,60			36,39	37,32
MnO	0,85	0,34	0,27	0,05	0,19	0,17	0,28	0,12	0,01	0,10				0,45	0,39
MgO	25,86	39,71	12,25	10,74	13,61	13,90	12,43	12,22	15,98	16,74				6,32	6,02
CaO	0,45	0,30	22,82	22,89	21,02	21,44	12,26	12,21	0,07	0,07	9,49	13,33	10,91		
Na <sub>2</sub> O			0,74	0,90	0,41	0,49	2,62	2,65	0,65	0,66	5,71	3,57	5,21		
K <sub>2</sub> O							1,07	1,06	9,44	9,48	0,49	0,17	0,28		
H <sub>2</sub> O*									4,06	4,05					
F							0,54	0,32							
Total*	99,3	100,1	100,2	100,2	99,2	99,2	98,1	97,8	99,4	99,1	100,7	99,3	100,9	99,8	99,5
Si	0,986	1,004	1,755	1,678	1,789	1,856	5,870	5,900	5,625	5,697	2,525	2,346	2,453		
Ti			0,083	0,111	0,066	0,051	0,770	0,800	0,801	0,722				3,268	3,429
Al			0,268	0,345	0,225	0,146	2,229	2,248	2,160	2,057	1,458	1,627	1,527	2,606	2,002
Cr			0,003	0,001	0,002	0,001								0,089	0,009
Fe <sup>3+</sup>	0,027		0,107	0,142	0,093	0,075	0,327							7,314	7,131
Fe <sup>2+</sup>	0,857	0,451	0,112	0,119	0,179	0,188	1,741	1,860	1,402	1,379	0,022	0,001	0,026	8,513	8,804
Mn	0,020	0,008	0,009	0,001	0,006	0,005	0,036	0,015	0,001	0,013	0,002			0,107	0,093
Mg	1,094	1,529	0,687	0,607	0,763	0,779	2,783	2,742	3,512	3,686				2,649	2,532
Ca	0,014	0,008	0,919	0,929	0,847	0,863	1,973	1,969	0,011	0,011	0,461	0,654	0,528		
Na			0,054	0,066	0,030	0,036	0,763	0,773	0,200	0,200	0,503	0,336	0,457		
K						0,204	0,203	0,201	1,776	1,787	0,208	0,010	0,016		
Fo	56,1	77,2													
Fa	43,9	22,8													
Wo			48,8	50,4	42,9	44,4									
En			44,7	42,6	47,0	45,2									
Fs			6,5	7,0	10,0	10,4									
Mg#			85,9	83,6	81,0	80,5	61,6	61,2	71,5	72,8					
An											46,4	65,4	52,7		
Ab											50,7	33,6	45,7		
Or											3,5	1,0	1,6		
X <sub>usp</sub>														46,7	48,7

#### 4. Minéralogie

Les minéraux ont été analysés au microanalyseur électronique CAMEBAX de l'université Pierre-et-Marie-Curie (Tableau 1).

L'olivine de la camptonite C10K est moins riche en MgO (Fo<sub>77–56</sub>) que celle (Fo<sub>84–75</sub>) du basalte encaissant. Les teneurs en CaO (jusqu'à 0,45%) et MnO (jusqu'à 0,85%), élevées pour une olivine magnésienne, sont caractéristiques des lamprophyres alcalins. Le cœur des phénocristaux de clinopyroxène est un diopside Wo<sub>50</sub>En<sub>48</sub>Fs<sub>2</sub> et la bordure de l'augite Wo<sub>45</sub>En<sub>30</sub>Fs<sub>25</sub> (nomenclature selon [16]) est riche en Ti (1,9 < TiO<sub>2</sub> < 4,4%) et Al (5,5 < Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> < 7,5%). Les valeurs des rapports Al<sup>VI</sup>/Al<sup>IV</sup> sont inférieures à 0,25, traduisant des pressions d'équilibre relativement faibles [29]. L'amphibole est une kaersutite avec Ti = 0,8 et 58 < Mg# < 62 (nomenclature selon [13]). Les températures et pressions d'équilibre (estimées d'après [1,22]) sont respectivement comprises entre 950 et 1000 °C (±40 °C) et de l'ordre de 0,5 à 0,6 GPa (avec P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> < P<sub>totale</sub>). La biotite (Mg# 73) est riche en titane (6,5 < TiO<sub>2</sub> < 7,2%), indiquant une cristallisation à environ 1000 °C [12]. Les phénocristaux de plagioclase sont normalement zonés (An<sub>74–58</sub>) et ont cristallisé entre 925 et 1025 °C, à une pression de 0,1 GPa [23]. Les microlites et cristaux interstitiels de plagioclase ont des compositions semblables au plagioclase des camptonites de Kokoumi. La titanomagnétite (X<sub>usp</sub> < 49) a des caractéristiques semblables à celle des basaltes alcalins de la LdC.

#### 5. Géochimie

Deux échantillons de camptonites et le basalte C10J, qui a un caractère primitif, ont été analysés (Tableau 2). Les camptonites du mont Cameroun sont de type alcalin (Fig. 2) [26,31], à néphéline normative (Ne<sub>4–17</sub>), évoluées (Mg# ≈ 58), C10H ayant des teneurs plus élevées en SiO<sub>2</sub> (>47%) et Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (>17%) et plus faibles en MgO (<4%). Les teneurs en Cr (25–31 ppm) et Ni (23–43 ppm) sont très basses.

Les spectres des camptonites et des basaltes primitifs de la LdC sont semblables, les teneurs étant plus élevées dans les camptonites par rapport au basalte. Ils ont des anomalies négatives en Rb, Ba et K, et positives en Zr et ils sont fortement enrichis en terres rares légères par rapport aux terres rares lourdes (15 < (La/Yb)<sub>N</sub> < 28; 3 < (La/Sm)<sub>N</sub> < 5). Ils ont les mêmes caractéristiques que ceux des basaltes alcalins de Sainte-Hélène, de signature HIMU [3], pour lesquels l'enrichissement est maximum en Nb, et moindre en Rb, Ba et Th (Fig. 3).

Tableau 2

Analyses chimiques représentatives des camptonites et du basalte alcalin encaissant du mont Cameroun (ICP et ICP-MS, CRPG-CNRS, Nancy; précision analytique: [2])

Table 2

Chemical analyses of camptonites and alkali basalt from the Mount Cameroon area (ICP et ICP-MS, CRPG-CNRS, Nancy, France; analytical precision: see [2])

Echantillon	Camptonite		Basalte C10J
	C10K	C10H	
(% massique)			
SiO <sub>2</sub>	45,86	47,19	45,00
TiO <sub>2</sub>	3,41	2,93	2,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,64	17,39	8,43
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	13,31	9,97	11,07
MnO	0,19	0,18	0,18
MgO	5,16	3,84	14,46
CaO	10,72	8,41	14,57
Na <sub>2</sub> O	3,42	5,78	1,26
K <sub>2</sub> O	1,12	2,55	0,59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,54	0,77	0,32
PF	0,43	0,58	1,87
total	99,80	99,59	100,02
norme CIPW (%)			
Ne	4,44	17,14	2,88
Mg#	57	58	80
(ppm)			
Rb	26,8	54,7	14,3
Sr	745	1387	473
Cs	0,24	0,99	0,27
Ba	322	736	205
V	294	215	235
Cr	25	31	1304
Co	35	21	57
Ni	43	23	279
Cu	60	25	55
Zn	113	100	88
Y	27,4	36,4	18,3
Zr	269	504	183
Nb	59,0	135,5	39,0
Hf	6,51	10,70	4,45
Ta	4,37	9,63	2,88
Th	4,56	12,75	3,26
U	1,21	3,36	0,88
La	47,9	105,7	32,7
Ce	98	212	70
Pr	11,6	22,5	8,7
Nd	45,1	86,3	35,1
Sm	9,1	14,6	6,8
Eu	2,88	4,06	2,10
Gd	7,68	11,36	5,51
Tb	1,09	1,60	0,76
Dy	5,55	7,56	3,97
Ho	1,11	1,37	0,66
Er	2,44	3,30	1,66
Tm	0,33	0,46	0,23
Yb	2,18	2,55	1,37
Lu	0,29	0,36	0,19
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0,703293	0,703533	0,703328

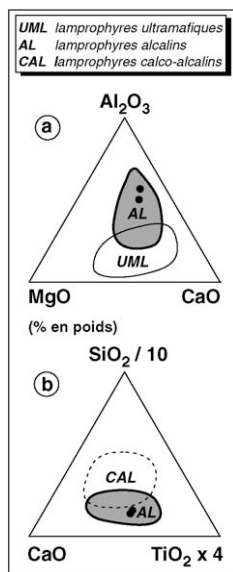


Fig. 2. Les camptonites du mont Cameroun dans les diagrammes discriminants de [25].

Fig. 2. The Mount Cameroon camptonites in the discriminating diagrams of [25].

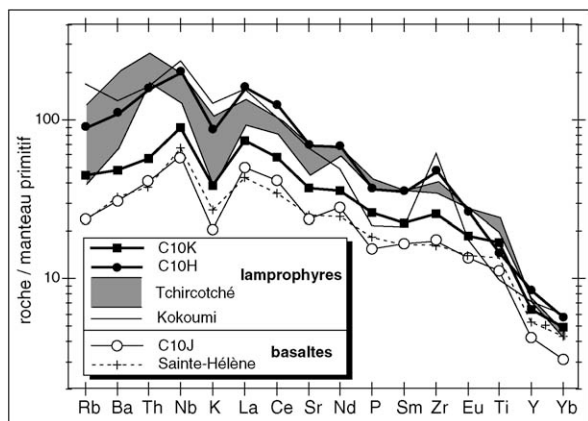


Fig. 3. Diagramme multiélément normalisé au manteau primitif [14] pour les camptonites du mont Cameroun. Source des données : [3,19,21].

Fig. 3. Primitive mantle [14] normalized spidergram for the camptonites of Mount Cameroon. Data source: [3,19,21].

Les valeurs des rapports isotopiques  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$  des camptonites sont de 0,70329 et 0,70353 (Tableau 2), voisines de celle du basalte C10J. Toutes ces valeurs sont elles-mêmes semblables à celles des lamprophyres de Kokoumi [19] et de Tchircotché [21], des laves basaltiques historiques du mont Cameroun (0,70330–0,70333, [5]) et sont comprises dans le domaine des laves basaltiques la LdC ([10,17,20], Demaiffe, données non publiées).

## 6. Discussion et conclusions

Les compositions des phénocristaux d'olivine, de Ti–Al diopside et de kaersutite des camptonites situent leur cristallisation dans un réservoir à faible profondeur (25–30 km). À la différence des camptonites, le basalte alcalin C10J a des caractères primitifs : teneurs élevées en Mg ( $\text{MgO} = 15,0\%$ ;  $\text{Mg}\# = 75$ ), Ni (279 ppm) et Cr (1304 ppm). Ce basalte et les camptonites seraient cependant issus d'un même magma primitif, comme le suggèrent les données géochimiques et isotopiques. Par ailleurs, les teneurs élevées en éléments incompatibles (Tableau 2) et la présence des minéraux riches en éléments volatils et en halogènes (amphibole, biotite, carbonates) dans les camptonites du mont Cameroun, aussi bien que la présence de pargasite dans les nodules de wehrlites du même massif [6] indiquent que la région source (manteau sous-lithosphérique) était métasomatisée. L'amphibole des wehrlites et des camptonites a des teneurs élevées en Ti ( $>0,5$  a.p.f.u.), indiquant que cet élément aurait été transporté par un magma alcalin métasomatisant la source.

Le basalte C10J et les camptonites appartiennent vraisemblablement à la même suite évolutive, comme le confirme la modélisation du fractionnement des éléments majeurs (bilan de masse). En effet, la camptonite peut dériver d'un magma de la composition du basalte C10J par fractionnement d'olivine (20,1%), de diopside (8,3%) et de kaersutite (0,4%) (% en poids,  $\sum r^2 < 2,0$ ), minéraux présents en phénocristaux dans la camptonite, et, de même l'autre camptonite (C10H) peut dériver de la camptonite C10K par fractionnement de kaersutite (18,1%), de diopside (9,6%) et de magnétite (6,5%) ( $\sum r^2 < 1,9$ ).

L'allure pentue des spectres multiélément au niveau des terres rares lourdes est typique des roches alcalines et indique la présence de grenat dans le résidu solide lors de la fusion partielle de la source. Le spectre du basalte C10J a aussi une forte pente, mais les teneurs en traces sont deux fois plus faibles. La présence de grenat résiduel lors de la fusion partielle implique une genèse à une profondeur supérieure à 80 km. Les anomalies négatives en K et Rb dans le basalte primitif suggèrent aussi la présence de phlogopite et/ou d'amphibole résiduelle(s). Les coefficients de distribution de Rb, Ba et K sont supérieurs à 1 pour la biotite et inférieurs à 1 pour l'amphibole dans les systèmes basaltiques [10]. Les études expérimentales [9,28] ont montré qu'en présence de fluor, le phlogopite est stable jusqu'à des pressions élevées (6–7 GPa), où il se transforme en de nombreuses phases, dont l'amphibole potassique. Les anomalies négatives en Rb, Ba, K impliquent da-

vantage la biotite résiduelle que l'amphibole dans la genèse du magma primitif à l'origine des camptonites. Comme hypothèse alternative, il a été suggéré [4,30] que l'anomalie négative en K serait une caractéristique de la source des basaltes alcalins de signature isotopique HIMU, tels ceux de la LdC [11]. Ce déficit en K peut alors être mis en relation avec l'altération et/ou la déshydratation d'une croûte océanique à grande profondeur (> 110 km) lors d'une subduction.

Enfin, la croûte continentale ne semble pas avoir joué de rôle significatif dans la genèse des camptonites du mont Cameroun, comme l'attestent l'absence d'anomalie négative en Nb, les concentrations relativement élevées en Zr (270–500 ppm) et les valeurs des rapports isotopiques initiaux du Sr, parmi les plus bas des laves basaltiques de la LdC. Les similitudes géochimiques entre les camptonites du mont Cameroun et les basaltes les moins différenciés de la LdC sont un argument fort, suggérant des sources magmatiques de compositions similaires pour les lamprophyres et les basaltes. Comme pour les autres lamprophyres du Cameroun, l'intense fracturation de la lithosphère dans son ensemble [15], ici à la limite océan–continent, a favorisé l'ascension rapide de magmas d'origine profonde.

## Remerciements

Le présent travail a bénéficié du financement du ministère français de la Coopération et du Développement pour les séjours d'I. Ngounouno à l'université Pierre-et-Marie-Curie, Paris, et des programmes PEGI et PROSE (Insu/CNRS et IRD) pour le terrain (B. Déruelle et I. Ngounouno).

## Références

- [1] J.T. Blundy, J.B. Holland, Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer: reply to the comments of Hammarstrom and Zen, and Rutherford and Johnson, *Contrib. Mineral. Petrol.* 111 (1990) 269–272.
- [2] J. Carignan, P. Hild, G. Mével, J. Morel, D. Yeghicheyan, Routine analyses of trace elements in geological samples using flow injection and low pressure on-line liquid chromatography coupled to ICP–MS: A study of geochemical reference materials BR, DR-N, UB-N, AN-G and GH, *Geostandards Newslett.* 25 (2001) 187–198.
- [3] D.J. Chaffey, R.A. Cliff, B.M. Wilson, Characterization of the St Helena magma source magmatism in the ocean basins, in: A.D. Saunders, M.J. Norry (Eds.), *Geol. Soc. London*, 1987, pp. 257–276.
- [4] C. Chauvel, A.W. Hofmann, P. Vidal, HIMU–EM: the French Polynesian connection, *Earth Planet. Sci. Lett.* 110 (1992) 99–119.
- [5] C. Chauvel, A.N. Dia, M. Bulourde, F. Chabaux, S. Durand, P. Ildefonse, M. Gérard, B. Déruelle, I. Ngounouno, Do decades of tropical rainfall affect the chemical compositions of basaltic lava flows in Mount Cameroon?, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 141 (2005) 195–223.
- [6] B. Déruelle, I. Ngounouno, J.-M. Bardintzeff, Wehrlites et pyroxénites en nodules dans les basaltes du Mt Cameroun : évidence d'un métasomatisme mantellique, *J. Soc. Geosci. Afr.* 1 (2001) 90–91.
- [7] B. Déruelle, C. Moreau, C. Nkoumbou, R. Kambou, J. Lissom, E. Njongfang, R.T. Ghogomu, A. Nono, The Cameroon Line: a review, in: A.B. Kampunzu, R.T. Lubala (Eds.), *Magmatism in Extensional Structural Settings. The Phanerozoic African Plate*, Springer-Verlag, Berlin, 1991, pp. 274–327.
- [8] G.T.R. Droop, A general equation for estimating Fe<sup>3+</sup> concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria, *Mineral. Mag.* 51 (1987) 431–435.
- [9] S.F. Foley, The genesis of lamproitic magmas in a reduced, fluorine-rich mantle, in: A.L. Jaques, J. Ferguson, D.H. Green (Eds.), *Kimberlites and Related Rocks 1*, Blackwells, Melbourne, 1989, pp. 616–632.
- [10] S.F. Foley, S.E. Jackson, B.J. Fryer, J.D. Greenough, G.A. Jenner, Trace element partition coefficients for clinopyroxene and phlogopite in an alkaline lamprophyre from Newfoundland by LAM–ICP–MS, *Geochim. Cosmochim. Acta* 60 (1996) 629–638.
- [11] A.N. Halliday, J.P. Davidson, P. Holden, C.P. DeWolf, D.C. Lee, J.G. Fitton, Trace-element fractionation in plume and origin of HIMU mantle beneath the Cameroon line, *Nature* 347 (1990) 523–528.
- [12] K. Hansen, Lamprophyres and carbonatitic lamprophyres related to rifting in the Labrador Sea, *Lithos* 13 (1980) 145–153.
- [13] B.E. Leake (chairman) and 20 co-authors, Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names, *Mineral. Mag.* 61 (1997) 295–321.
- [14] W.F. McDonough, S.-S. Sun, The composition of the Earth, *Chem. Geol.* 120 (1995) 223–253.
- [15] C. Moreau, J.-M. Regnault, B. Déruelle, B. Robineau, A new tectonic model for the Cameroon Line, Central Africa, *Tectonophysics* 139 (1987) 317–334.
- [16] N. Morimoto, Nomenclature of pyroxenes, *Can. Mineral.* 27 (1989) 143–156.
- [17] I. Ngounouno, B. Déruelle, D. Demaiffe, Petrology of the bimodal Cenozoic volcanism of the Kapsiki plateau (northern Cameroon, Central Africa), *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 102 (2000) 21–44.
- [18] I. Ngounouno, B. Déruelle, R. Guiraud, J.-P. Vicat, Magmatismes tholéiitique et alcalin des demi-grabens crétaqués 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.
- [19] I. Ngounouno, B. Déruelle, D. Demaiffe, R. Montigny, Pétrologie du complexe alcalin sous-saturé de Kokoumi (Cameroun), *Bull. Soc. géol. France* 172 (2001) 675–686.
- [20] 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.
- [21] I. Ngounouno, B. Déruelle, D. Demaiffe, R. Montigny, Les monchiquites de Tchircotché, vallée de la haute Bénoué (Nord du Cameroun), *C. R. Geoscience* 335 (2003) 289–296.
- [22] M.T. Otten, The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites, *Contrib. Mineral. Petrol.* 86 (1984) 189–199.

- [23] I. Parsons, W.L. Brown, Sidewall crystallization in the Klokken intrusion: zoned ternary feldspars and coexisting minerals, *Contrib. Mineral. Petrol.* 98 (1988) 431–443.
- [24] J.-L. Pouchou, F. Pichoir, Quantitative analysis of homogeneous or stratified microvolumes applying the model 'PAP', in: K.F.J. Heinrich, D.E. Newbury (Eds.), *Electron Probe Quantification*, Plenum Press, New York, 1991, pp. 31–75.
- [25] N.M.S. Rock, The nature and origin of lamprophyres: an overview, in: J.G. Fitton, B.C.G. Upton (Eds.), *Alkaline Igneous Rocks*, Blackwell, Edinburgh, 1987, pp. 191–226.
- [26] N.M.S. Rock, *Lamprophyres*, Blackie and Sons Ltd., Glasgow, 1991.
- [27] C. Stormer Jr., The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron–titanium oxides, *Am. Mineral.* 68 (1983) 586–594.
- [28] A. Sudo, Y. Tatsumi, Phlogopite and K-amphibole in the upper mantle: implication for magma genesis in subduction zones, *Geophys. Res. Lett.* 17 (1990) 29–32.
- [29] S.Y. Wass, Multiple origins of clinopyroxenes in alkali basaltic rocks, *Lithos* 12 (1979) 115–132.
- [30] J.D. Woodhead, Extreme HIMU in an oceanic setting: the geochemistry of Mangaia Island (Polynesia), and temporal evolution of the Cook-Austral hotspot, *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 72 (1996) 1–19.
- [31] A.R. Woolley, S.C. Bergman, A.D. Edgar, M.J. Le Bas, R.H. Mitchell, N.M.S. Rock, B.H. Scott Smith, Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilitic, melilitic and leucitic rocks, *Can. Mineral.* 34 (1996) 175–186.