

Pétrologie du volcanisme Eocène-Oligocène du massif de Tchabal Mbabo, Adamaoua-Cameroun, Afrique centrale

Aminatou Mefire FAGNY¹, Oumarou Faarouk NKOUCANDOU^{1*}, Jacques-Marie BARDINTZEFF², Robert TEMDJIM³ et Hervé GUILLOU⁴

¹ Université de Ngaoundéré, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, BP 454 Ngaoundéré, Cameroun

² Université Paris-Sud, Sciences de la Terre, Volcanologie, Planétologie, UMR CNRS 8148 GEOPS, bât. 504

³ Université de Yaoundé 1, Faculté des Sciences, Département des Sciences de la Terre, BP 812 Yaoundé, Cameroun

⁴ Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, 91198 Gif sur Yvette, France

* Correspondance, courriel : ofaarouk@yahoo.fr

Résumé

Des coulées de basanite d'âge Eocène ($28,60 \pm 0,60$ Ma et $28,88 \pm 0,61$ Ma), des dômes de trachyte et de rhyolite et, de benmoréite d'âge Oligocène ($38,88 \pm 0,61$ Ma), tous de nature alcaline, affleurent au massif de Tchabal Mbabo dans la ligne du Cameroun. Les laves constituent une série magmatique cogénétique (excepté la benmoréite) avec basanite, hawaïite, mugéarite, trachyte hyperalcalin et rhyolite. Les travaux de terrain (et pétrographiques), les variations progressives de composition minéralogique et géochimiques, désignent la cristallisation fractionnée comme mécanisme de différenciation majeur à l'origine de la série. Des mélanges magmatiques ont influencé la différenciation et une contamination crustale aurait modifié la composition des benmoréites. Les basanites du massif de Tchabal Mbabo proviendraient d'une faible fusion partielle ($\approx 2\%$) d'une source mantellique sub-lithosphérique située à plus de 80 km de profondeur, contenant du grenat et de la phlogopite, résiduels. Le volcanisme de la ligne du Cameroun ne peut résulter de l'action d'un point chaud et il n'a pas non plus fonctionné comme un rift au cours de son histoire.

Mots-clés : *pétrologie, volcanisme, Eocène-Oligocène, cristallisation fractionnée, plateau de l'Adamaoua, ligne du Cameroun, Cameroun, Afrique centrale.*

Abstract

Petrology of Eocene-Oligocene volcanism of Tchabal Mbabo massif, Adamawa-Cameroon, central Africa

Eocene (28.60 ± 0.60 Ma and 28.88 ± 0.61 Ma) basanite lava flows, trachyte and rhyolite domes with Oligocene benmoreite (38.88 ± 0.61 Ma) age all of alkaline composition are exposed in the Tchabal Mbabo volcano massif in central Africa (Adamawa, Cameroon). The complete series is composed of basanites, hawaiites, mugearites, benmoreites, trachytes and rhyolites of microlitic porphyritic and trachytic texture. ICP-MC and ICP-AES major and trace-element distributions are in favor of a co-magmatic origin for the basaltic and felsic lavas (excepted benmoreite). Field work and petrography studies, mineralogical and geochemical

compositional variations support an evolution through fractional crystallization process. Magma mixing has played a significant role in the lavas genesis, as attested by the occurrence xenocrysts phases. Tchabal Mbabo basanites may result from 2 % partial melting of sub-lithospheric mantle source at ≈ 80 km depth in the garnet stability field, containing residual phlogopite phase. There is no space-timemigration of the volcanism along the Cameroon Volcanic Line which can never be assimilated to the magmatism of rifting setting.

Keywords : *petrology, volcanism, Eocene-Oligocene, fractional crystallization, Tchabal Mbabo, Cameroun, central Africa.*

1. Introduction

Le massif volcanique de Tchabal Mbabo (55 x 30 km, 7°5' et 7°23'N et 11°56' et 12°25'E, altitude 2340 m) couvre une superficie de 1650 km² sur le plateau de l'Adamaoua, horst tectono-magmatique orienté N70, délimité au nord et sud par des failles pan africaines [1, 2]. Il est localisé à l'intersection de la Ligne du Cameroun et du plateau de l'Adamaoua [3]. Des données géophysiques et sismiques [4, 5] déterminent une large anomalie négative de Bouger due au remonté mantellique par suite d'un amincissement crustal. Au nord et sud du plateau de l'Adamaoua, le socle est constitué des roches métamorphiques et des granitoïdes d'âges pan africain (615 ± 27 Ma à 652 ± 10 et 880 ± 55 Ma à 1008 ± 65 ; [6 - 8]). Il est traversé au Nord et l'Est par des coulées et cônes basaltiques, dômes et dômes-coulées de trachyte et de phonolite d'âges Mio-Pliocène (8-11 Ma, [9 - 11]) et des massifs volcaniques de Nganha [12], de Djinga Tadorgal [13] et de Tchabal Mbabo (*objet de cette étude, Figure 1C*). Les données pétrologiques et géochronologiques sont produites sur le volcanisme du massif de Tchabal Mbabo et l'origine des laves est discutée par rapport au contexte géologique de la Ligne du Cameroun.

2. Méthodologie

2-1. Cadre géologique

Le contexte volcano-tectonique du plateau de l'Adamaoua est une conséquence de la mise en place des structures ou des rejeux d'anciennes structures géologiques qui portent l'empreinte des grands événements qui ont affecté l'Afrique centrale : l'orogénèse panafricaine à la fin du Précambrien, puis l'ouverture de l'Atlantique au Mésozoïque [14]. Le magmatisme du plateau de l'Adamaoua est constitué de laves basaltiques (basaltes, hawaiiites, mugéarites) ou différenciées (phonolites et trachytes), mises en place à la faveur des failles panafricaines [1]. Des séries basaltiques plus récentes (< 1 Ma, [9]) et des cônes de pyroclastites contenant des lherzolites à plagioclase [15] sont présents au sud de Ngaoundéré. Le manteau sous le plateau de l'Adamaoua comme sous la Ligne du Cameroun a une composition hétérogène [16] à dominance constitué des lherzolites à spinelle [17 - 19]. Le substratum est constitué des roches métamorphiques et des granitoïdes d'âge panafricain et appartient à la Chaîne Panafricaine d'Afrique Centrale (CPAC) du domaine Adamaoua-Yadé [20]. Cette chaîne mobile résulterait de la convergence et de la collision entre les cratons de Sao Francisco et du Congo et le craton Ouest-africain [21].

2-2. Conditions analytiques

Les laves ont été confectionnées au Laboratoire de Pétrographie de la Faculté des Sciences de l'Université Paris XI. Les analyses chimiques des minéraux représentatifs des laves ont été effectuées au microanalyseur

électronique Camebax SX100 de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris, et formules structurales : olivine et clinopyroxène : 15 kV et 40 nA, 20 s sauf Si olivine (10 s) et Ti clinopyroxène (30 s); plagioclase, K-feldspath : 15 kV, 10 nA, 10 s; titanomagnétite : 20 kV et 40 nA; Si, Ca, Ni : 10 s; Mn : 25 s; Cr; 15 s; Al : 30 s; Ti, Fe, Mg : 40 s; hornblende brune : 15 kV, 21 nA; Si, Al, Mg, Na, K, et Ba : 15 s; Ti, Ca : 20 s, Fe, Mn : 25 s, F, Cl : 30 s; biotite : 15 kV, 10 nA, 20 s, sauf Al : 30 s. Programme de correction "PAP" selon [22]. Les analyses des éléments majeurs et traces sur roches totales ont été effectuées par la méthode ICP-MS et ICP-AES au laboratoire CRPG de Nancy (France). Des analyses complémentaires ont été obtenues par les mêmes méthodes au laboratoire Acme de Vancouver (Canada). La procédure analytique est celle de [23].

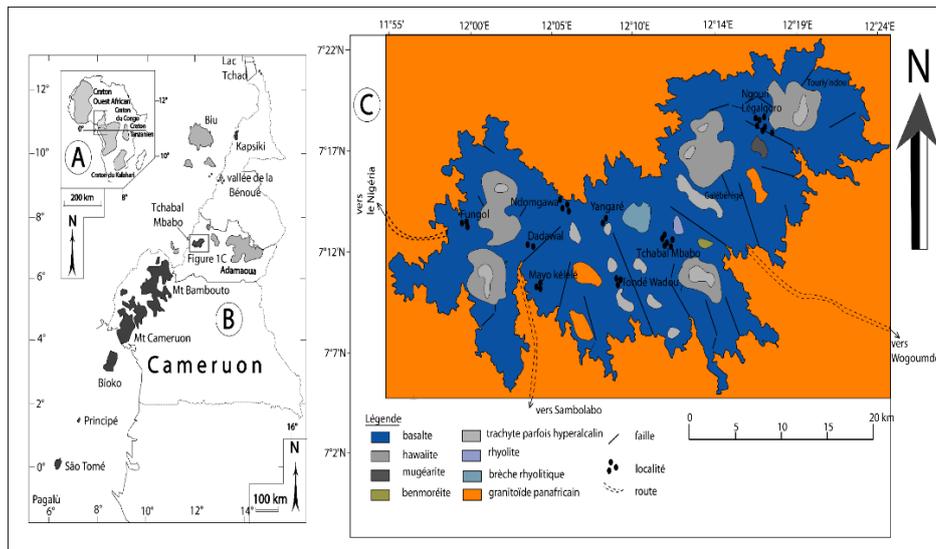


Figure 1 : (A) situation géographique du Cameroun par rapport aux cratons africain [24], (B) la ligue du Cameroun et (C) la carte géologique de massif de Tchabal Mbabo [25]

3. Résultats

3-1. Nomenclature et pétrographie

Les laves basaltiques et différenciées affleurent sous forme de coulées et de dômes sur le massif volcanique de Tchabal Mbabo (Figure 1C). Elles ont été dénommées (d'après leur ID, [26]) : basanite (olivine normative > 10 % et I.D. < 35), Hawaïite (35 < I.D. < 50), mugéarite (50 < I.D. < 65), benmoréite (65 < I.D. < 80) et trachyte hyper alcalin (I.D. > 80, absence de néphéline modale et I.P. ≥ 1) et rhyolite (I.D. > 80).

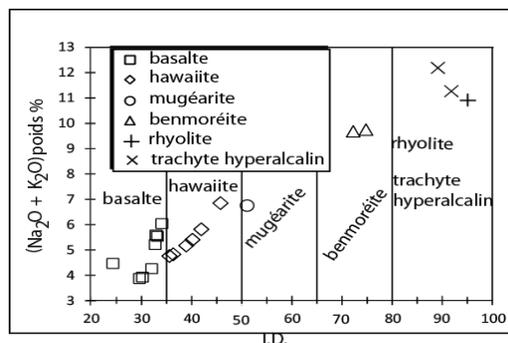


Figure 2 : Nomenclature des laves de Tchabal Mbabo dans le diagramme de Harker en fonction de leur indice de différenciation

Les laves ont des textures microlitiques porphyriques (**Figure 3**) avec parfois des variantes fluidales (basanite) ou glomérporphyriques (hawaïite, mugéarite). Les laves basaltiques contiennent des phénocristaux automorphes d'olivine parfois corrodés (**Figure 3A**), de clinopyroxène avec inclusions d'oxydes (**Figure 3D**) ou à cœur vert (*dans le basanite*, **Figure 3C**), d'amphibole, d'oxydes de fer-titane, de plagioclase (*dans les hawaïites*, **Figure 3B**), d'apatite (hawaïite et mugéarite) et de feldspath alcalin (mugéarite). Les laves felsiques ont des textures microlitiques porphyriques (benmoréite, rhyolite) ou trachytique (trachyte hyperalcalin). Elles sont constituées de phénocristaux de feldspath alcalin, de clinopyroxène, d'amphibole, d'oxydes de fer-titane et d'apatite. La mésostase des laves basaltiques est constituée des microlites et microcristaux de plagioclase, de clinopyroxène, d'oxydes de fer-titane et d'olivine. Celle des laves felsiques contient des microlites de feldspath alcalin et des microcristaux d'oxydes de fer-titane en abondance (sauf dans la rhyolite). Le trachyte hyperalcalin contient des microcristaux de trydimite. Des xénocristaux de spinelle, de clinopyroxène et d'olivine sont présents dans les basanites.

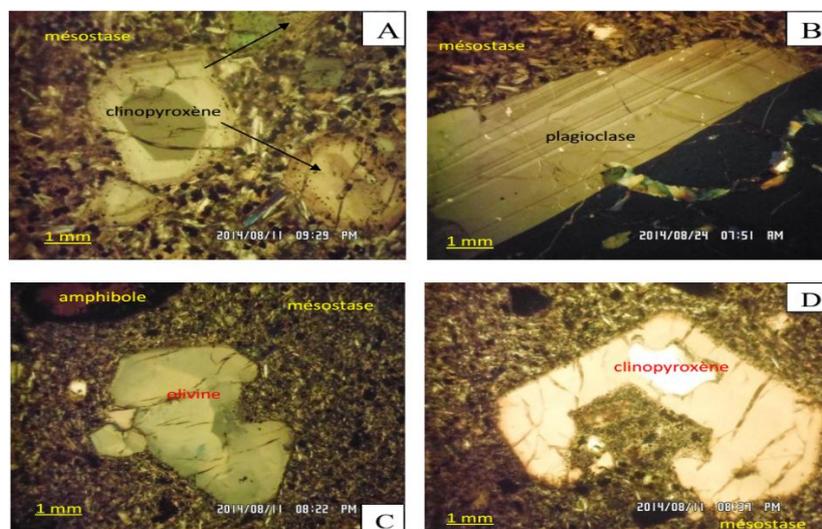


Figure 3 : *Texture de quelques laves basaltiques de Tchabal Mbabo. A : cristaux de clinopyroxène à cœur vert (basanite), B : gros cristal de plagioclase (hawaïite), C : cristal d'olivine corrodé et d'amphibole (basanite) et D : clinopyroxène automorphe corrodé au cœur dans le basanite.*

3-2. Minéralogie

Les cristaux d'olivine sont caractérisés par une composition fortement magnésienne avec des teneurs en Fo qui varient des cœurs (Fo 85) vers les bordures (Fo 70) et dans les microphénocristaux (Fo 66) et les microcristaux (Fo 64). Dans les hawaïites, les cristaux d'olivine ont des Fo qui diminuent des cœurs (Fo 83-80) vers la bordure (Fo 67) et les microcristaux (Fo 54). Les cristaux de clinopyroxène des laves basaltiques ont une composition de diopside (Wo 45 - 50 En 40 - 46 Fs 2 - 5) [27]. Dans certains basanites et certaines hawaïites, le clinopyroxène a une composition d'augite (Wo 41 - 44 En 47 - 52 Fs 5 - 12). Dans les laves felsiques, les cristaux de clinopyroxène ont une composition de ferroaugite (Wo 43,54 - 44,66 En 14,62 - 11,91 Fs 45,71 - 43,44). Les cristaux de clinopyroxène des benmoréites sont caractérisés par les faibles teneurs en TiO_2 ($< 0,5\%$) et Al_2O_3 ($< 2\%$). Les trachytes hyperalcalins sont caractérisés par la présence de cristaux de clinopyroxène de composition d'augite aegyrienne (Wo 33,73 - 49,45 En 0,00 - 48,08 Fs 66,27 - 2,47) avec les teneurs élevées en fer total (jusqu'à 27 %) et Na_2O (pouvant atteindre 10 %). Un phénocristal de clinopyroxène à cœur vert contient 6,0 % d' Al_2O_3 et 7 % de fer total. Les microlites de pigeonite des trachytes hyperalcalins sont caractérisés par des faibles teneurs en TiO_2 et Al_2O_3 (< 1 pour les deux oxydes). Les teneurs en FeO et en MgO sont élevées et comprises entre 17 et 19 % et, 19 et 22 %, respectivement. Les phénocristaux de

plagioclase des laves basaltiques présentent une zonation normale avec des compositions qui varient des cœurs de labrador (Or₂, 64 - 1,72 Ab 42,28 - 33,04 An 55,05 - 65,24) vers des bordures et des microlites de composition d'andésine (Or 3,81-2,80 Ab 62,45 - 47,29 An 33,74 - 49,91) ou d'oligoclase (Or 20,68 - 32,94 Ab 61,51 - 52,95 An 10,81 - 14,11), dans les hawaiïtes et mugéarites. Les microphénocristaux de plagioclase des laves felsiques ont une composition d'andésine (Or 7,38 - 9,69 Ab 62,07 - 59,46 An 30,55 - 30,84) et les microlites ont une composition d'oligoclase (Or 23,07 - 11,46 Ab 64,26 - 58,55 An 12,67 - 29,99). Des xénocristaux de plagioclase des trachytes hyperalcalins ont une composition de labrador. Le feldspath alcalin des laves différenciées a une composition de sanidine et d'anorthose. Les cristaux d'amphibole ont une composition de pargasite d'après la nomenclature de [28]. Des cristaux de ferrokaersutite sont trouvés dans les hawaiïtes. Les fortes teneurs en fer ($\approx 30\%$ en poids), indiquent une température de cristallisation de 950°C dans les conditions de basse pression [29]. Les cristaux de biotite des laves felsiques de Tchabal Mbabo sont caractérisés par de teneurs élevées en TiO₂ et Al₂O₃, comprises entre 3 et 4,4 % et, 12 et 13,4 %, respectivement. Une température élevée ($\approx 1000^\circ\text{C}$) est supposée en liaison avec une teneur élevée en Ti [30] ainsi qu'une fugacité d'oxygène élevée dans un environnement de cristallisation à basse pression [31]. Les cristaux d'oxydes de toutes laves du massif de Tchabal Mbabo ont une composition de titanomagnétite et d'ilménite. Les oxydes de fer titane ont cristallisé à des températures comprises entre 655°C et 952°C sous des faibles fugacités d'oxygène [32]. L'apatite des laves basaltiques et felsiques ont des teneurs en CaO et P₂O₅ comprises respectivement entre 53 et 55 % et 40 et 43 %. Des xénocristaux de spinelle des basanites ont une composition de picotite [33].

3-3. Géochronologie

Les âges K / Ar effectués par [35] sur roches totales sur deux basanites et une benmoréite du massif de Tchabal Mbabo montrent que deux échantillons de basanite ont des âges plus jeunes ($28,60 \pm 0,60$ Ma et $28,88 \pm 0,61$ Ma) par rapport à l'échantillon de la benmoréite ($38,22 \pm 80$ Ma) (*Tableau 1*). Ils déterminent une mise en place au cours des périodes tardi Eocène à Oligocène, respectivement. Les âges jeunes des basanites ne peuvent être reliés à des pertes d'argon au cours des phénomènes d'altération. Des âges semblables ont été obtenus au Mt Oku voisin [36].

Tableau 1 : Age K-Ar du volcanisme du massif de Tchabal Mbabo [35]

Sample id Experiment #	Split K (wt%) $\pm 2\sigma$	Mass molten (g)	⁴⁰ Ar*% 	40Ar* 10 ⁻¹¹ (mol./g) $\pm 1\sigma$	Weighted mean 40Ar* 10 ⁻¹¹ (mol./g) $\pm 1\sigma$	Age (Ma) $\pm 2\sigma$
M-12						
8711	1.544 \pm 0.015	0.31658	83.216	7.681 \pm 0.039	7.718 \pm 0.027	28.60 \pm 0.60
8726	« »	0.31879	84.052	7.755 \pm 0.039		
M-4						
8724	1.004 \pm 0.014	0.30405	22.190	5.073 \pm 0.025	5.069 \pm 0.018	28.88 \pm 0.61
8725	« »	0.34671	23.361	5.065 \pm 0.025		
MB-17						
8712	4.317 \pm 0.043	0.30645	89.421	28.710 \pm 0.144	28.918 \pm 0.102	38.22 \pm 0.80
8727	« »	0.31432	70.408	29.132 \pm 0.146		

Les âges de 38, 88 Ma s'inscrivent dans la fourchette des âges obtenus sur le volcanisme de la vallée de la Bénoué ($\approx 37 - 40$ Ma, [37]). Les âges obtenus déterminent deux phases d'activité volcanique au massif de Tchabal Mbabo. Dans l'ensemble, les âges du volcanisme de Tchabal Mbabo sont vieux en comparaison des âges obtenus sur les coulées basaltiques et des dômes de trachyte et de phonolite de Ngaoundéré

(8 - 11 Ma, [10]) et des projections stromboliennes de Dibi (< 1 Ma, [9]). Les âges du volcanisme du massif de Tchabal Mbabo confirment ainsi son appartenance à la Ligne du Cameroun quoique qu'il nécessite encore des datations nouvelles pour étayer cette considération. Le volcanisme du plateau de l'Adamaoua, directement lié à des failles panafricaines qui découpent le socle jusqu'au manteau [5], s'intègre ainsi difficilement dans celui de la Ligne du Cameroun pour lequel le mécanisme de fonctionnement reste à établir. Il ressort qu'une progression d'âge est absente le long de la ligne du Cameroun. Un fonctionnement de type point chaud à la façon des îles Empereurs-Hawaii ne peut donc être suggéré à l'origine du volcanisme de la Ligne du Cameroun (**Figure 1B**).

3-4. Géochimie

Les variations des teneurs des éléments majeurs et des éléments traces sont représentées en fonction de celles croissantes de SiO_2 (**Figure 4**) et de Th (**Figure 5**), respectivement. Les teneurs en TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO et de P_2O_5 décroissent régulièrement alors celles en Al_2O_3 , Na_2O et K_2O croissent des laves basaltiques aux laves felsiques.

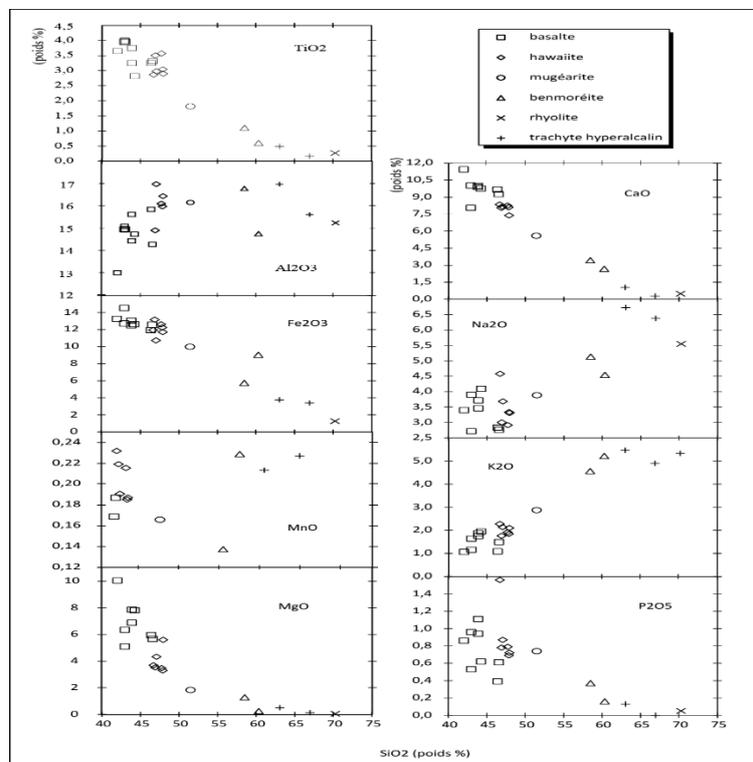


Figure 4 : Variation des teneurs en poids d'oxydes des éléments majeurs de la série magmatique de Tchabal Mbabo en fonction des teneurs de SiO_2 (poids pourcent)

Les éléments de transition de la première série Co, Cr, V, Zn, Cu, et Ni, présentent une distribution régulière en fonction de Th (**Figure 5**). Les teneurs en Co, Cr, V, Cu et surtout Ni décroissent systématiquement des basanites vers les trachytes hyperalcalins. Les teneurs les plus élevées sont trouvées dans les basanites. Elles sont faibles et parfois en dessous de la limite de détection dans les laves différenciées. Les laves alcalines du massif volcanique de Tchabal Mbabo ont des teneurs élevées en éléments les plus incompatibles. En général, les variations sont progressives et continues des basanites vers les laves différenciées. Toutes les droites de corrélations passent presque par l'origine des axes. Les teneurs en Zr et Hf présentent des corrélations positives avec le Th et s'écartent très peu de l'origine des axes. Elles semblent déterminer deux lignées d'évolution qui aboutissent respectivement aux rhyolites et au trachyte hyperalcalin. La plus forte

teneur en Zr (1110 ppm) est trouvée dans la rhyolite. Tandis que la plus forte teneur en Hf (25 ppm) est trouvée dans le trachyte hyperalcalin. La droite des teneurs en Be passent presque par l'origine des axes. La mugéarite et le trachyte hyperalcalin s'écartent relativement de la droite de corrélation. Les teneurs en Nb et Ta présentent des variations similaires. Les plus fortes teneurs en ces éléments sont trouvées dans les laves hyperalcalines représentées ici par les trachytes hyperalcalins. Les valeurs des rapports Nb / Ta et Zr / Hf sont relativement constantes et comprises entre 13 et 15 et 39 et 48, respectivement. Seul le trachyte hyperalcalin MB 23 présente la plus faible valeur du rapport Zr / Hf (≈ 29). Les diagrammes Nb en fonction de Ta et Zr en fonction de Hf (*Figure 6*) présentent des droites de corrélations qui passent par l'origine des axes, malgré le vide compositionnel qui existe entre les laves basaltiques et les laves différenciées. Les teneurs en Pb sont très élevées dans les trachytes hyperalcalins MB 23 (376 ppm) tandis que la rhyolite MB 11 et le trachyte hyperalcalin MB 15 s'écartent de la droite de corrélation. Les teneurs en U sont très élevées dans les produits volcaniques de Tchabal Mbabo. Les variations des teneurs en Y augmentent relativement des laves basaltiques et intermédiaires et certaines laves différenciées vers les rhyolites et trachyte hyperalcalin MB 23.

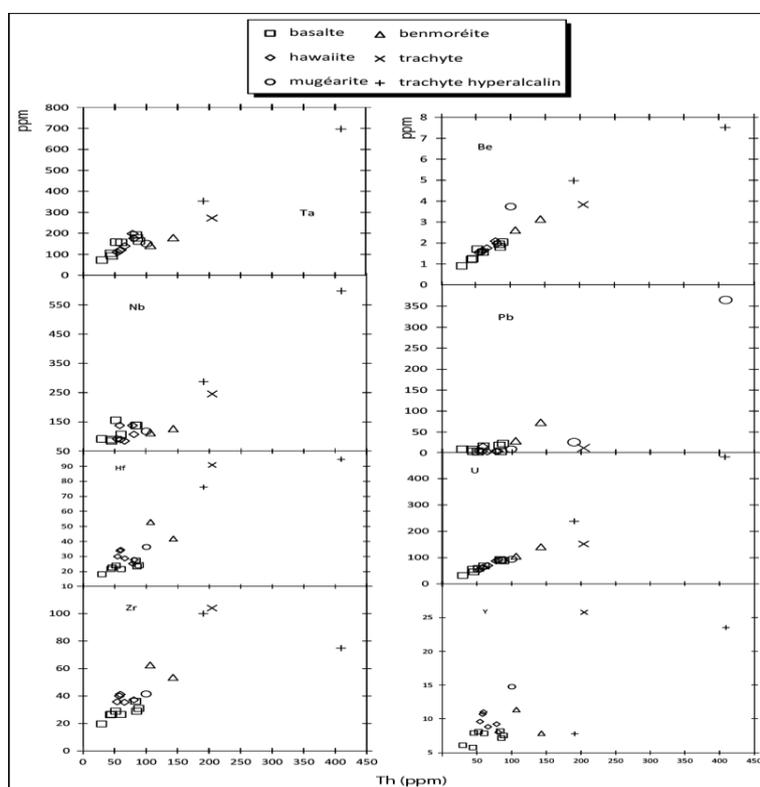


Figure 5 : Variations des teneurs en ppm des éléments incompatibles du volcanisme de Tchabal Mbabo en fonction de Th (ppm)

4. Discussion

4-1. Une différenciation par cristallisation fractionnée

L'appartenance des laves de nature différente (basalte, hawaïite, mugéarite, benmoréite, trachyte et rhyolite) dans une aire géographique limitée, les observations pétrographiques et les évolutions des compositions minéralogiques et géochimiques (*Figure 4 et Figure 5*), soutiennent l'hypothèse d'une

différenciation des laves du massif de Tchabal Mbabo par le processus de cristallisation fractionnée. L'appartenance de toutes les laves à une même série magmatique et leur caractère cogénétique est probable comme le suggèrent les diagrammes de la **Figure 6**, malgré la présence du hiatus (rareté des laves intermédiaires) entre les termes basaltiques et felsiques de la série. Seule la benmoréite qui accuse 10 Ma d'écart d'âge semble s'exclure de cette série. Des mélanges magmatiques ont influencé la pétrogenèse du volcanisme de Tchabal Mbabo comme en témoigne la présence des xénocristaux dans certaines laves. Un test de fractionnement est proposé où les calculs sont effectués sur la base d'un bilan de masse en minimisant la somme des carrés de résidus. Pour ce modèle sont déterminés les différentes proportions des minéraux et la composition des laves résiduelles selon [37]. Le basanite est choisi comme lave primitive. D'après ce modèle, les différenciations sont vraisemblables : basanite-hawaïite (taux de fractionnement de 59 - 65 %, olivine : 3,6 à 4 %, clinopyroxène 16,4 à 29,4 %, plagioclase : 4,2 à 11 % et Ti-magnétite : 3,2 à 3,5 %, $\sum r^2 = 0,61 - 0,87$), hawaïite-mugéarite (F : 58,8 - 62 %, olivine : 6,9 - 9,2 %, clinopyroxène : 7,5 - 12,5 %, plagioclase : 13 - 21,5 %, Ti-magnétite : 2 - 4,6 %, amphibole : 1 % et apatite : 1,4 %, $\sum r^2 = 0,47 - 0,58$). La différenciation mugéarite-benmoréite est improbable (F < 2 %, $\sum r^2 = 18,24 - 20,01$). Cette lave provient de la cristallisation de l'apatite, du feldspath alcalin et des oxydes de fer-titane. Des arguments en faveur d'une contribution du matériel crustal et des mélanges (présence des xénocristaux divers) dans la genèse des benmoréites sont avancés. Les trachytes hyperalcalins sont caractérisés par des faibles teneurs des éléments de transition (Ni < 30 ppm, Co < 2 ppm et Cr < 50 ppm;) qui sont parfois inférieures à la limite de détection. Dans les diagrammes SiO₂ - majeurs (**Figure 4**) et Th - éléments en Traces (**Figure 5**), les trachytes hyperalcalins se présentent comme les laves de fins de différenciation dont la formation est gouvernée principalement par le processus de cristallisation fractionnée. La cristallisation de feldspath alcalin, de l'apatite et des oxydes de fer - titane est à l'origine de cette lave.

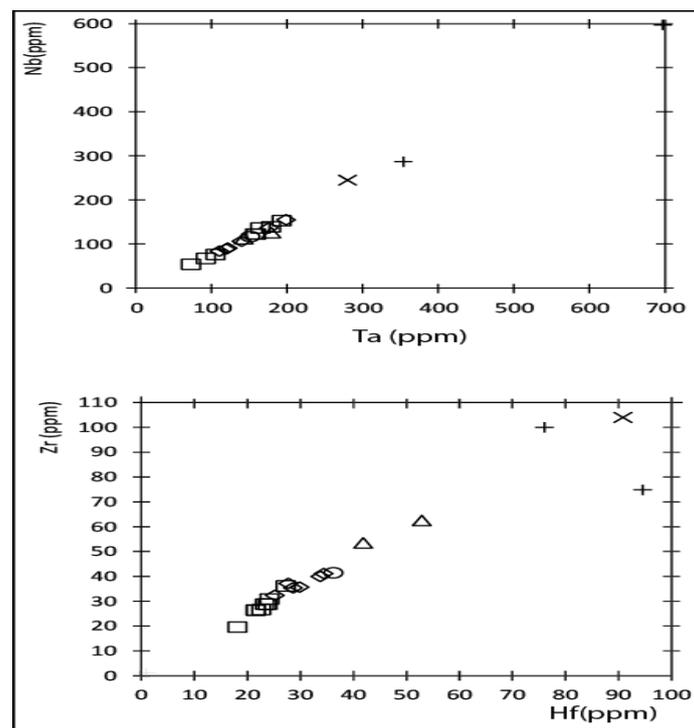


Figure 6 : Diagrammes des teneurs (ppm) en Nb par rapport à Ta et de Zr en fonction de Hf des laves de Tchabal Mbabo (mêmes symboles qu'à la figure 5)

La rhyolite provient des trachytes hyperalcalins pour une différenciation de 76,9 %. Les sommes des carrés des résidus sont très inférieures à 1 ($\sum r^2 = 0,66$). Les fractionnements de clinopyroxène (2,2 %), de feldspath alcalin (18,7 %), de magnétite (2,1 %) et d'ilménite (0,1 %) ont gouverné cette différenciation.

4-2. Fusion partielle et origine des basanites

Les basanites du massif volcanique du Tchabal Mbabo, mise en place à l'Oligocène ($28,8 \pm 0,6$ Ma), présentent les caractères des basaltes alcalins évolués ou provenant d'une lave évoluée. Ils ne peuvent être considérés comme des laves directement obtenues par fusion partielle d'un manteau lherzolitique avec environ 8 % MgO [38] pour laquelle les teneurs en Ni (Ni > 250 ppm), Co (Co : 27 - 80 ppm) et Cr (Cr > 500 ppm), sont élevées [39 - 42]. Les valeurs élevées des rapports (La / Yb) n comprises entre 9,6 et 19,5, s'inscrivent dans la fourchette des valeurs des mêmes rapports pour les basaltes du plateau de l'Adamaoua [10, 12, 43] et de certaines régions volcaniques de la ligne du Cameroun [44 - 46]. Elles témoignent d'un faible taux de fusion partiel du manteau source. Les basanites de Tchabal Mbabo résulteraient d'un taux de fusion de 2 % environ d'une source magmatique contenant du grenat et de la phlogopite résiduels tel qu'il résulte du modèle de la fusion partielle proposé dans cette étude. Cette source à composition de 80 % manteau appauvri et 20 % d'une croûte océanique altérée, serait située à plus de 80 km de profondeur tel que le suggère les faibles valeurs des Terres rares lourdes. Les basanites du massif de Tchabal Mbabo ont probablement connu un phénomène de mélange magmatique au cours duquel un magma basaltique plus primitif serait venu en contact d'un autre magma relativement évolué, tel que le suggère la présence des cristaux de clinopyroxène à cœur vert, qui témoigne d'une différenciation dans les conditions de haute pression [47].

La détermination des pressions de différenciation des basanites (et des profondeurs) (effectuée selon la formulation de [48]) a donné les valeurs de pression comprises entre 24,9 et 43,4 kbars (2,49 et 4,3 GPa). Les profondeurs correspondantes sont comprises entre 82,2 et 143,15 km en utilisant la conversion de 33 km par GPa. Ces profondeurs situent la zone source des basanites de Tchabal Mbabo à la base du manteau lithosphérique. La zonation observée dans les phénocristaux d'olivine des basanites de Tchabal Mbabo est à relier à une cristallisation à température décroissante ou un échange par diffusion des ions Fe^{2+} et Mg^{2+} entre les phénocristaux des laves et le liquide magmatique [49]. La présence des xénocristaux de clinopyroxène et de spinelle, tous de nature mantellique, témoigne par ailleurs qu'ils ont été échantillonnés dans le manteau subcontinental à des profondeurs ne pouvant excéder 50 km [50]. L'anomalie en K du spectre multi-élémentaire peut être mise en relation avec l'altération d'une croûte océanique à grande profondeur (> 110 km) lors d'une subduction antérieure [51]. L'anomalie positive en Sr témoigne de l'absence de cristallisation du plagioclase qui est instable dans les conditions de hautes pressions [52]. Il serait difficile en l'absence des données isotopiques d'évoquer une contamination par la croûte des basanites du massif de Tchabal Mbabo comme le témoignent les fortes anomalies positives en Nb et Ta des spectres multi-élémentaires des basanites.

4-3. Le volcanisme de Tchabal Mbabo et la ligne du Cameroun

Les microlites de clinopyroxène pauvres en calcium à composition de pigeonite ont été trouvés dans le trachyte hyperalcalin de Tchabal Mbabo. La présence de ce minéral est généralement liée à la nature tholéïtite de son magmatisme. Le volcanisme de la Ligne du Cameroun et celui du plateau de l'Adamaoua sont de nature franchement alcaline [53, 54]. Les thermes basaltiques des laves sont sous-saturés en silice avec parfois la présence des feldspathoïdes normaux ou modaux [54]. Les basanites du massif de Tchabal Mbabo ont une composition de basanite (olivine normative > à 10 %, [55]). La présence des cristaux de pigeonite dans le trachyte hyper alcalin est une particularité du volcanisme de Tchabal Mbabo par rapport au reste du volcanisme de la Ligne du Cameroun et du Plateau de l'Adamaoua où leur présence n'a jamais été signalée auparavant. Les cristaux de pigeonite de même composition ont été signalés dans la chaîne de puy du massif central français [56, 57]. Leur présence a été interprétée comme témoin d'une augmentation de l'activité de la silice dans les liquides résiduels, au cours de la différenciation, en remplacement de

la fayalite [56, 57]. En accord avec le caractère strictement alcalin du volcanisme de Tchabal Mbabo, Il n'est donc pas question de relier la présence des microlites de pigeonite du massif de Tchabal Mbabo à une quelconque nature tholéiitique du volcanisme de la Ligne du Cameroun qui, de ce fait, aurait fonctionné à un moment de son histoire comme un rift. Les âges obtenus sur le volcanisme de Tchabal Mbabo ne permettent non plus de proposer le mécanisme de fonctionnement de point chaud à l'origine de sa mise en place.

5. Conclusion

Les produits volcaniques du massif de Tchabal Mbabo sont constitués des basanites, hawaiites, mugéarites, benmoréites, trachytes hyperalcalins et rhyolites. Ils se sont mis en place l'Eocène et à l'Oligocène. La variété des types pétrographiques, l'évolution des compositions minéralogiques et géochimiques soutiennent l'hypothèse d'une différenciation des laves par le processus de cristallisation fractionnée. Le test de différenciation par les éléments majeurs conforte cette hypothèse. Des mélanges magmatiques ont certainement contribué à leur pétrogenèse. Toutes les laves proviennent d'une même source et appartiennent à une même série magmatique excepté la benmoréite. Les basanites du massif de Tchabal Mbabo proviennent d'une faible fusion partielle ($\approx 2\%$) d'un manteau sub-lithosphérique constitué de 80 % manteau appauvri et 19 % MORB altérés, contenant du grenat résiduel et de la phlogopite ($< 1\%$). L'absence d'une progression d'âge le long de la ligne du Cameroun exclu l'hypothèse d'un mécanisme de point chaud à l'origine de son volcanisme et, la présence des microlites de pigeonite ne permet non plus de considérer qu'il a fonctionné comme un rift au cours de son histoire.

Remerciements

Les auteurs remercient exceptionnellement l'Agence Universitaire de la Francophonie (AUF) qui a financé les travaux de thèse de Aminatou Mefire Fagny, depuis les travaux de terrain jusqu'aux analyses de laboratoire à travers le projet de Soutien aux Equipes de Recherches n° 51110SU201. Les Auteurs remercient l'Association des Universités Africaines (AUA) pour l'acquisition du petit matériel et les analyses complémentaires.

Références

- [1] - C. MOREAU, J. M. REGNOULT, B. DÉRUELLE, B. ROBINEAU, «A new tectonic model for the Cameroon Line, Central Africa», *Tectonophysics*, Vol. 141, (1987) 317 - 334.
- [2] - J. F. DUMONT, «Étude structurale des bordures nord et sud du plateau de l'Adamaoua : influence du contexte atlantique», *Géodynamique*, Vol. 2, (1987) 55 - 68.
- [3] - B. DERUELLE, «Le magmatisme (de la ligne du Cameroun) : le bilan positif des deux dernières décennies de coopération Franco-Camerounaise», *Pangea*, (1994) 30 - 36.
- [4] - Y. H. POUDJOM DJOMANI, M. DIAMENT, M. WILSON, «Lithospheric structure across the Adamawa plateau (Cameroon) from gravity studies», *Tectonophysics*, Vol. 273, (1997) 317 - 327.
- [5] - L. DORBATH, C. DORBATH, G. STUART, D. FAIRHEAD, «Structure de la croûte sous le plateau de l'Adamaoua (Cameroun)», *Comptes Rendus Académie des Sciences Paris*, Vol. 298 (1984) 539 - 542.
- [6] - R. TCHAMENI, A. POUCKET, J. PENAYE, A. A. GANWA, S. F. TOTEU, «Petrography and geochemistry of the Ngaoundéré Pan-African granitoids in Central North Cameroon : implications for their sources and geological setting», *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 44 (2006) 511-529.

- [7] - A. A. GANWA, F. WOLFGANG, S. WOLFGANG, G. E. EKODECK, C. K. SHANG, V. NGAKO, «Archean inheritances in the pyroxene-amphibole-bearing gneiss of the Méiganga area (Central North Cameroon) : Geochemical and $^{207}\text{Pb} / ^{206}\text{Pb}$ age imprints», *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 340, (2008) 211 - 222.
- [8] - A. A. GANWA, S. WOLFGANG, F. WOLFGANG, C. K. SHANG, «Geochemistry of magmatic rocks and time constraint on deformational phases and shear zone slip in the Méiganga area, central Cameroon», *International Geology Review*, Vol. 53, (2011) 759 - 784.
- [9] - R. TEMDJIM, I. K. NJILAH, P. KAMGANG, C. NKOUMBOU, «Données nouvelles sur les laves felsiques de Ngaoundéré (Adamaoua, Ligne du Cameroun) : Chronologie K-Ar et Pétrologie», *African Journal of Science and Technology*, Vol. 5, (2004) 113 - 123.
- [10] - O. F. NKOUANDOU, I. NGOUNOUNO, B. DERUELLE, D. ONHENSTETTER, R. MONTIGNY, D. DEMAIFFE, «Petrology of the Mio-Pliocene Volcanism to the North and East of Ngaoundéré (Adamawa-Cameroon)», *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 340, (2008) 28 - 37.
- [11] - A. M. FAGNY, O. F. NKOUANDOU, B. DÉRUELLE, I. NGOUNOUNO, «Revised petrology and new chronological data on the peralkaline felsic lavas of Ngaoundéré volcanism (Adamawa Plateau, Cameroon, Central Africa) : evidence of open-system magmatic processes», *Analele Stiintifice ale Universitatii "Al. I. Cuza" din Iasi Seria Geologie*, Vol. 58, (2012) 5 - 22.
- [12] - A. NONO, B. DÉRUELLE, D. DEMAIFFE, R. KAMBOU, «Tchabal Nganha volcano in Adamawa (Cameroon) : petrology of a continental alkaline lava series», *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, Vol. 60, (1994) 147 - 178.
- [13] - G. I. B. MBOWOU, «Pétrologie du Massif de Djinga Tadorgal (Adamaoua, Cameroun) : comparaison avec le volcanisme des îles de São Tomé et Príncipe et du Lac Tchad ("Ligne Chaude du Cameroun")», Thèse de Doctorat, Université Pierre-et-Marie Curie Paris 6, France, (2009).
- [14] - J. D. Fairhead, «Mesozoic plate tectonic reconstructions of the Central South Atlantic Ocean the role of the West and Central African Rift system, *Tectonophysics*», Vol. 155, (1988) 181 - 191.
- [15] - J. M. DAUTRIA, M. GIROD, «Les enclaves de lherzolite à spinelle et plagioclase du volcan de Dibi (Adamaoua, Cameroun) : des témoins du manteau anormal», *Bull. Minéral.*, Vol. 109, (1986) 275 - 286.
- [16] - O. F. NKOUANDOU, R. TEMDJIM, «Petrology of spinel lherzolite xenoliths and host basaltic lava from Ngao Voglar volcano, Adamawa Massif (Cameroon Volcanic Line, West Africa) : equilibrium conditions and mantle characteristics», *Journal of Geosciences*, Vol. 56, (2011) 375 - 387.
- [17] - O. F. NKOUANDOU, J.-M. BARDINTZEFF, A. M. FAGNY, «Sub-continental lithospheric mantle structure beneath the Adamawa plateau inferred the petrology of ultramafic xenoliths from Ngaoundéré (Adamawa Plateau, Cameroon, Central Africa)», *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 111, (2015) 26 - 40.
- [18] - J. TAMEN, C. NKOUMBOU, E. REUSSER, F. TCHOUA, «Petrology and geochemistry of mantle xenoliths from the Kapsiki Plateau (Cameroon Volcanic Line) : Implications for lithospheric upwelling», *J. Afr. Earth Sci.*, Vol. 101, (2015) 119 - 134.
- [19] - R. TEMDJIM, «Ultramafic xenoliths from Lake Nyos area, Cameroon volcanic line, West-central Africa : petrography, mineral chemistry, equilibration conditions and metasomatic features», *Chem. Erde.*, Vol. 72, (2012) 39 - 60.
- [20] - S. F. TOTEU, J. PENAYE, Y. H. POUDJOM DJOMANI, «Geodynamic evolution of the Pan-African belt in Central Africa with special reference to Cameroon», *Can. J. Earth Sci.*, Vol. 41, (2004) 73 - 85.
- [21] - C. CASTAING, J. L. FEYBESSE, D. THIEBLEMONT, C. TRIBOULET, P. CHEVREMONT, «Paleogeographical reconstructions of the Pan-African / Brasiliano orogeny : closure of an oceanic domain or intracontinental convergence between major blocs?», *Precambrian research*, Vol. 67, (1994) 327 - 344.
- [22] - J. L. POUCHOU, F. PICHOR, «Quantitative analysis of homogeneous or stratified microvolumes applying the model "PAP"». In: Heinriche, D. E. (ed) *Electron Probe Quantification*. Plenum Press, New York, (1991) 31 - 75.

- [23] - J. CARRIGNAN, P. HILD, G. MÉVELLE, 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 Newsletter*, Vol. 25, (2001) 187 - 198.
- [24] - A. B. KAMPUNZU, M. POPOFF, «Distribution of the main Phanerozoic African rifts and associated magmatism : introductory notes», In : KAMPUNZU AB, LUBALA RT (eds) *Magmatism in Extensional Structural Settings, the Phanerozoic African Plate*. Springer-Verlag, Berlin, (1991) 2 - 10.
- [25] - A. M. FAGNY, *Pétrologie, «géo chimie et géochronologie du volcanisme cénozoïque du massif de Tchabal Mbabo, Ligne du Cameroun-plateau de l'Adamaoua (Cameroun, Afrique centrale) »*, Thèse de Doctorat, Université de Ngaoundéré, Cameroun, (2016).
- [26] - C. P. THORNTON, O. F. TUTTLE, «Chemistry of igneous rocks, D.I.: differentiation index», *American Journal of Science*, Vol. 258, (1960) 664 - 684.
- [27] - N. MORIMOTO, J. FABRIÈS, A. K. FERGUSON, I. V. GINZBURG, M. ROSS, F. A. SEIFERT, J. ZUSSMAN, K. AOKI, G. GOTTARDI, «Nomenclature of pyroxenes», *Mineral. Mag.*, Vol. 52, (1988) 535 - 550.
- [28] - B. E. LEAKE 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.*, Vol. 61, (1997) 295 - 321.
- [29] - R. W. CHARLES, «The phase equilibrium ofrichterite and ferrorichterite», *Am. Mineral.*, Vol. 60, (1975) 367 - 374.
- [30] - K. HANSEN, «Lamprophyres and carbonatitic lamprophyres related to rifting in the Labrador Sea», *Lithos*, Vol. 13, (1980) 145 - 152.
- [31] - S. ESPERANÇA, J. R. HOLLOWAY, «On the origin of some mica-lamprophyres : experimental evidence from a mafic minette», *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 95, (1987) 207 - 216.
- [32] - J. R. J. C. STORMER, «The effects of recalculation on estimates of temperature and oxygen fugacity from analyses of multicomponent iron-titanium oxides», *Am. Mineral.*, Vol. 68, (1983) 586 - 594.
- [33] - W. A. DEER, R. A. Howie, ZUSSMAN, «An introduction to the rock forming minerals», Prentice Hall second edition, (1992).
- [34] - A. M. FAGNY, O. F. NKOUANDOU, R. TEMDJIM, J.-M. BARDINTZEFF, H. GUILLOU, D. STUMBEA, A. BOUTALEB, «New K–Ar ages of Tchabal Mbabo alkaline volcano massif, Cameroon volcanic line and Adamawa plateau (central Africa)», *International Journal of Advanced Geosciences*, Vol. 4, (2016) 62 - 71.
- [35] - A. MARZOLI, P. R. RENNE, E. M. PICCIRILLO, C. FRANCESCA, G. BELLINI, A. J. MELFI, J. B. NYOBE, J. N'NI, «magmas from the continental Cameroon Volcanic Line (Oku, Bambouto and Ngaoundéré) :40Ar-39Ar dates, petrology, Sr-Nd-O isotopes and their petrogenetic significance», *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 135, (1999) 133 - 150.
- [36] - I. NGOUNOUNO, B. DÉRUELLE, D. DEMAÏFFE, R. MONTIGNY, «Petrology of the Cenozoic volcanism in the Upper Benue valley, northern Cameroon (Central Africa)», *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 145, (2003) 87 - 106.
- [37] - W. B. BRYAN, L. W. FINGER, F. CHAYES, «Estimating Proportions in Petrographic Mixing Equations by Least-Squares Approximation», *Science*, Vol. 163, (1969) 926 - 927.
- [38] - M. G. BEST, «*Igneous and Metamorphic Petrology*», 2nd Edn, Blackwell, USA, (2006).
- [39] - D. H. GREEN, A. D. EDGAR, P. BEASLEY, E. KISS, N. G. WARE, «Upper mantle source for some hawaiites, mugearites and benmoreites», *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 48, (1974) 33 - 43.
- [40] - M. R. PERFITT, D. A. GUST, A. E. BENCE, R. J. ARCULUS, S. R. TAYLOR, «Chemical characteristics of island-arc basalts : Implications for mantle sources», *Chem. Geol.*, Vol. 30, (1980) 227 - 256.
- [41] - J. F. G. WILKINSON, R. W. et LE MAITRE, «Upper Mantle Amphiboles and Micas and TiO₂, K₂O, and P₂O₅ Abundances and 100 Mg/(Mg + Fe²⁺) Ratios of Common Basalts and Andesites : Implications for Modal Mantle Metasomatism and undepleted Mantle Compositions», *Journal of Petrology*, Vol. 28, (1987) 37 - 73.

- [42] - C. J. ALLIEGRE, J. F. MINSTER, «Quantitative models of trace element behavior in magmatic processes», *Earth and Planetary Science Letters*, Vol. 38, (1978) 1 - 25.
- [43] - O. F. NKOUANDOU, I. NGOUNOUNO, B. DÉRUELLE, «Géochimie des laves basaltiques récentes des zones Nord et Est de Ngaoundéré (Cameroun, Plateau de l'Adamaoua, Afrique centrale) : pétrogenèse et nature de la source», *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, Vol. 4, (2010) 984 - 1003.
- [44] - J. TAMEN, C. NKOUMBOU, L. MOUAFO, E. REUSSER, F. M. TCHOUA, «Petrology and geochemistry of monogenic volcanoes of the Barombi Koto volcanic field (Kumbagraben, Cameroon volcanic line) : implications for mantle source characteristics», *C.R. Geoscience*, Vol. 339, (2007) 799 - 809.
- [45] - P. KAMGANG, G. CHAZOT, E. NJONFANG, F. M. TCHOUA, «Geochemistry and geochronology of mafic rocks from Bamenda Mountains (Cameroon) : Source composition and crustal contamination along the Cameroon Volcanic Line», *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 340, (2008) 850 - 857.
- [46] - D.A. KAGOU, D. NKOUATHIO, A. POUCKET, J.-M. BARDINTZEFF, P. WANDJI, A. NONO, H. GUILLOU, «The discovery of late Quaternary basalt on Mount Bambouto : Implications for recent widespread volcanic activity in the southern Cameroon Line», *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 57 (2010) 96 - 108.
- [47] - A. DUDA, H.-U. SCHMINCKE, «Polybaric differentiation of alkali basaltic magmas : evidence from green-core clinopyroxenes (Eifel, FRG)», *Contrib. Mineral. Petrol.*, Vol. 91, (1985) 340 - 353.
- [48] - J. H. SCARROW, K. G. COX, «Basalts generated by decompressive adiabatic melting of a mantle plume : a case study from the Isle of Skye, NW Scotland», *Journal of Petrology*, Vol. 36 (1995) 3 - 22.
- [49] - S. MAALØE, B. HANSEN, «Olivine phenocryst of Hawaiian, Olivine tholeiite and oceanite», *Contrib. Min. petrol*, Vol. 81, (1982) 203 - 211.
- [50] - H. A. SECK, K. H. WEDEPOHL, Mantle xenoliths in the Rhenish Massif and the Northern Hessian depression. In «FUCHS K, GEHLEN VK, M/ILZER H, MURAWSKI H, SEMMEL A., (eds.) «Plateau uplift - The Rhenish Shield - A case history», Springer, Berlin Heidelberg New York, (1983) 343 - 351.
- [51] - B. L. WEAVER, «Trace element evidence for the origin of ocean island basalts», *Geology*, Vol. 19, (1991) 123 - 126.
- [52] - M. WILSON, «*Igneous petrogenesis*», London, (1989).
- [53] - B. DÉRUELLE, C. MOREAU, C. NKOUMBOU, R. KAMBOU, J. LISSOM, E. NJONFANG, R. T. GHOGOMU, A. NONO, «The Cameroon Line : a review : In : Kampunzu AB, Lubala R, (eds) In. «Magmatism in Extensional Structural Settings», Springer-Verlag, Berlin, (1991) 274 - 327.
- [54] - B. DÉRUELLE, I. NGOUNOUNO, D. DEMAIFFE, «The 'Cameroon Hot Line' (CHL) : a unique example of active alkaline intraplate structure in both oceanic and continental lithospheres», *Comptes Rendus Geoscience*, Vol. 339, (2007) 589 - 600.
- [55] - R. W. LE MAITRE, «Igneous Rocks - A Classification and Glossary of Terms. Recommendations of the IUGS Sub-Commission on the Systematics of Igneous Rocks», 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, (2002).
- [56] - R. C. MAURY, R. BROUSSE, «Présence de pigeonite et d'orthopyroxène dans certaines laves du Massif Central français : leur répartition et leur origine», *Bull. Minér.*, Vol. 101, (1978) 10 - 21.
- [57] - E. BERGER, R. C. MAURY, R. BROUSSE, «Présence de ferropigeonite dans le trachyte quartzifère des Dents du Mézenc (Velay) », *C. R. Acad. Sci. Paris, Série D*, Vol. 286, (1978) 811 - 814.