

Contribution à l'étude Géochimique des formations géologiques du volcan Nyiragongo : Cas du Cône du Lac Vert à Goma, Nord-Kivu, RD Congo

[Contribution to Geochemical study of geological formations of the Nyiragongo volcano: Case of the Lac Vert cone in Goma, North Kivu, DR Congo]

Gloire KWETU SAMBO¹, Katcho KARUME², Honore CIRABA Mateso¹, Toussaint MUGARUKA BIBENTYO⁴, Célestin KASEREKA MAHINDA¹, Albert KYAMBIKWA MILUNGU³, Ephrem KAMATE KALEGHETSO¹, and Flavien KITUMAINI MUKENGERE¹

¹Département de Géodésie et Déformations, Observatoire Volcanologique de Goma, Nord-Kivu, RD Congo

²Département de Géochimie et Environnement, Observatoire Volcanologique de Goma, Nord-Kivu, RD Congo

³Département de Sismologie, Observatoire Volcanologique de Goma, Nord-Kivu, RD Congo

⁴Département de Géologie, Université Officielle de Bukavu, Sud-Kivu, RD Congo

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This work deals with the geochemistry of lava and pyroclastic rocks of the Lac Vert cone. We present the results of geochemical analyzes of major and traces elements performed at the University of Naples. The results showed that these rocks are primarily nephelinite - ultrabasic very rich in iron and have calc-alkaline affinities. The geochemical compositions of lavas and pyroclastic rocks of cone of Lac Vert demonstrated a positive correlation with lavas from the 1977 and 2002 Nyiragongo eruption. The different graphs showed that these lavas and pyroclastic rocks are associated with divergent plate margins (basalt sea floor, OFB); they originated in the spreading seafloor zones specifically in alkaline basalts sclerosis on the island of the ocean. The petrogenetic model likely established through geochemical analysis shows that these rocks are from a calc-alkaline volcanism developed in an oceanic expansion and then they finally migrated to a framework of transitional continental rift before the eruption. Partial melting and fractional crystallization of mantle rich in Anorthite, olivine, clinopyroxene orthopyroxene, magnetite,... would have generated the magma. These geochemical and petrological characteristics of the lavas and pyroclastic rocks around the Lac Vert cone are the same as those of the Nyiragongo. This justifies the affiliation of the Lac Vert cone to Nyiragongo volcano.

KEYWORDS: Lavas, nephelinite, pyroclastic rocks, major elements, geochemistry, cone.

RESUME: Ce travail porte sur la géochimie des laves et roches pyroclastiques du cône du Lac Vert. Nous présentons les résultats des analyses géochimiques des éléments majeurs et en traces effectués à l'Université de Naples. Les résultats ont montré que ces roches sont principalement des Nephelinite - ultrabasique très riches en fer et présentent des affinités calco-alkaline. Les compositions géochimiques des laves et des produits pyroclastiques du cône du lac vert établissent une corrélation positive avec les laves du Nyiragongo issues de l'éruption 1977 et 2002. Les différents graphiques ont montré que ces laves et ces roches pyroclastiques sont associées aux marges de plaques divergentes (basaltes de plancher océanique, OFB) ; elles tirent leur origine dans les zones d'expansion océanique précisément dans les basaltes alcalins en plaques sur l'île océanique. Le modèle pétrogénétique probable établi grâce aux analyses géochimiques montre que ces roches sont issues d'un volcanisme calco-alkalin mis en place dans une expansion océanique et ensuite elles ont migrées finalement sur un cadre de rift continental transitoire avant l'éruption. La fusion partielle et la cristallisation fractionnée du manteau riche en Anorthite, olivine, clinopyroxène orthopyroxènes, magnétite,... auraient générés le magma. Ces caractéristiques

géochimiques et pétrographiques des laves et roches pyroclastiques du cône de lac Vert sont les mêmes que ceux du Nyiragongo. C'est qui justifie le rattachement du cône du lac vert au volcan Nyiragongo.

MOTS-CLEFS: Laves, néphéline, roches pyroclastiques, éléments majeurs, géochimie, cône.

1 INTRODUCTION

La zone d'étude est un cône volcanique du volcan Nyiragongo appelé cône du Lac Vert. Ce cône se situe dans la partie Sud de la ville de Goma, Commune de Goma, quartier Lac Vert à environ treize kilomètres du centre ville, au Nord-Kivu, en République Démocratique du Congo.

Le cratère principal du volcan Nyiragongo est le site d'un lac de lave plus ou moins permanent (Tazieff, 1984) et les activités anciennes de ce volcan avaient formé plus de cinquante six cônes volcaniques (K. Mahinda C. 2001). Le cône principal actif du Nyiragongo forme le centre d'une arête comprenant les cônes stratovolcans dormants de Shaheru dans le Sud et Baruta dans le Nord (T. Andersen et al. 2012). Ces trois cônes sont constitués par des laves et des roches pyroclastiques dont la composition varie de basalte alcalin à olivine et à néphéline, néphéline leucite, néphéline mélilitite, et mélilitite (Demant et al, 1994; 2004 ; Sahama, 1978 ; Toscani et al., 1990). Dans les néphélines hyperalcalines au Nyiragongo, le titane est hébergé dans des assemblages de minéraux avec Ti-riche en magnétite \pm perovskite \pm Ti-clinopyroxène \pm götzenite (T. Andersen et al., 2012).

Toutes les laves de Nyiragongo sont feldspathoidal, sans feldspath modale détecté (Denaeyer, 1975). Les analyses des roches du Nyiragongo faites par Denaeyer et al. (1965), Denaeyer (1972), Sahara et Meyer (1958), Demant et al. (1994), Sahara (1978), ont montré que les données chimiques aboutissent aux Néphélines, Leucites, Clinopyroxènes, Mélilitites, Olivines, Magnétites et Perovskites avec des détails d'autres minéraux dont Götzenite, Delheyelite, Combeite et Andremeyerite.

Selon Baker et al. 1971, Furman (2007), le volcanisme dans le système du Rift Est Africain comprend les roches acides, intermédiaires, mafiques alcalines et magmatiques ultrabasiques avec des compositions entre les volcanites contrastées au nord et au sud.

Etant donné que d'autres cônes du Nyiragongo n'ont été connus que trop peu d'études géologiques, nous allons attirer notre attention sur les formations géologiques du cône du Lac Vert. Ce travail est une contribution à l'étude géochimique des laves et roches pyroclastiques du cône du Lac Vert ; en essayant de déterminer leurs caractéristiques, leurs nomenclatures, leur origine et leur mise en place ; et établir ensuite un modèle génétique et géodynamique fiable.

Enfin, une comparaison de la géochimie des laves et roches pyroclastiques du cône du lac Vert et ceux du Nyiragongo est faite pour justifier le rattachement de ce cône au Nyiragongo. Ce travail est une poursuite de la recherche géochimique du magmatisme du volcan Nyiragongo à travers le cône du lac Vert.

2 METHODES

Ce travail était réalisé sur le cône du Lac Vert, situé dans la ville de Goma en province du Nord-Kivu au point de coordonnées 1°36'49.43''S et 29°08'06.65''E, élévation de 1471m.



Fig. 1. LAC VERT, Photo prise le 3/12/2015, par Google Earth

Une revue de littérature précédée des travaux de terrain ainsi que plusieurs échantillonnages ont été effectués autour du cône du Lac Vert ; les échantillons ont été répartis en cinq groupes selon la proximité d'échantillonnage. L'analyse des éléments majeurs et en traces a été effectuée par fluorescence X (XRF) à l'aide d'un instrument Panalytical Axios à l'université de Naples.

Les Courbes d'étalonnage et les essais analytiques avancés ont été effectués en utilisant les normes internationales des roches (BHVO-1, W-2, BE-N et JB-3) décrit dans Flanagan (1976, 1984), l'abbaye de (1983), et Imai et al. (1995) sous une incertitude de l'ordre de 1 à 2% pour les éléments majeurs et de 5 à 10% pour les oligo-éléments. L'interprétation des données géochimiques était faite principalement en utilisant des graphiques, de relations élémentaires et l'abondance dans la croûte terrestre.

L'interprétation des résultats d'analyses était faite en utilisant les diagrammes de classification géochimique des roches développés dans l'ouvrage « *Using Geochemical Data : Evaluation, Presentation, Interpretation.* de HUGH R. Rollinson, 1992». Les méthodes d'analyse développées dans cet ouvrage, nous a permis de répondre aux objectifs de ce travail.

Le diagramme AFM ($A=Na_2O+K_2O$, $F=FeO_t$, $M=MgO$) (Irvine et Baragar, 1971) et le diagramme SiO_2-K_2O (Peccerillo and Taylor 1976), ont permis de classer les laves et produits pyroclastique du cône de lac Vert en fonction de la série calco-alcaline et tholéitique. La teneur en fer dans les roches a été déterminée en utilisant le diagramme $Fe+Ti-Al+Mg$ de Jensen, 1976.

Les diagrammes TAS ($Na_2O+K_2O-SiO_2$) de LeBas et al., 1986), Middlemost (1994) et le diagramme Cox et al. (1979) ont déterminé si les laves et les produits pyroclastiques sont ultrabasiques, basiques, intermédiaires ou acides.

Les diagrammes R_1-R_2 De la ROCHE et al (1980), $Nb/Y-Zr/TiO_2$ Winchester + Floyd (1977), ont aidé aussi à confirmer la classification des roches. La pétrographie des roches a été faite en utilisant le diagramme Feldspath-triangulaire Ab-An-Or (O'Connor, 1965).

Les diagrammes V (ppm) - Ti (ppm) 1000, $2xNb-Zr/4 - Y$, $Zr/Y - Zr$, $FeO^T - MgO - Al_2O_3$ ont permis de déterminer l'origine, de la genèse et de la géodynamique des laves et des roches pyroclastiques du cône de Lac Vert.

3 RESULTATS D'ANALYSES

- Les résultats de la géochimie des éléments majeurs sont présentés dans le tableau 1 suivant :

Tableau 1 : Résultats des analyses des éléments majeurs des échantillons du cône du Lac Vert

CODE DE L'ECHANTILLON	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
LV1	39,89	3,05	10,62	12,23	0,22	9,07	16,24	5,53	1,30	1,43	1,21
LV2	40,17	3,14	10,52	12,65	0,22	8,71	16,30	3,94	2,62	1,28	0,95
LV3	40,54	2,79	13,40	12,13	0,26	5,41	12,85	5,49	5,09	1,47	-0,34
LV4	41,68	2,80	12,83	13,44	0,29	6,02	13,25	4,49	3,56	1,00	0,36
MG002	40,38	3,27	12,28	14,39	0,30	5,96	13,30	3,36	4,96	1,19	3,09
W2 standard measured	52,09	1,06	15,33	10,88	0,16	6,61	10,76	2,22	0,66	0,14	
W2 standard certified	52,44	1,06	15,35	10,74	0,16	6,37	10,87	2,14	0,63	0,13	
BE-N standard measured	39,56	2,70	10,72	13,31	0,21	12,81	14,33	3,46	1,46	1,04	
BE-N standard certified	39,56	2,70	10,43	13,30	0,21	13,62	14,36	3,29	1,44	1,09	
BHVO-1 standard measured	48,29	2,70	14,16	12,86	0,17	7,00	11,46	2,51	0,50	0,18	
BHVO-1 standard certified	49,68	2,70	13,73	12,17	0,17	7,19	11,34	2,25	0,52	0,27	
JB-3 standard measured	50,96	1,29	17,13	11,28	0,18	5,24	9,84	2,90	0,78	0,26	
JB-3 standard certified	50,85	1,44	16,83	11,84	0,16	5,18	9,82	2,81	0,78	0,29	

➤ Les résultats de la géochimie des éléments en trace sont présentés dans le tableau 2 suivant :

Tableau 2 : Résultats des analyses des éléments en traces des échantillons prises sur le cône du lac Vert

CODE DE L'ECHANTILLON	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	Cr	Ni	Sc	V	La	Ce	Rb/Ba
LV1	20	1643	29	267	127	814	380	169	24	426	105	220	-0.52976
LV2	78	1544	30	268	126	1029	395	155	27	466	115	210	-0.51417
LV3	117	2145	37	285	176	2051	10	37	12	395	160	315	-0.57737
LV4	97	2722	43	275	231	1988	50	55	13	470	187	355	-0.57562
MG002	130	2306	42	363	185	1922	27	45	14	428	159	325	-0.49402
W2 standard measured	19	192	22	97	8	169	94	71	39	256	8	31	19
W2 standard certified	20	194	24	94	8	182	93	70	35	262	11	24	20
BE-N standard measured	51	1353	31	263	100	1086	348	267	27	302	81	157	51
BE-N standard certified	47	1370	30	265	100	1025	360	267	22	235	82	152	47
BHVO-1 standard measured	9	377	29	177	19	143	278	119	35	360	4	35	9
BHVO-1 standard certified	11	403	28	179	19	139	289	121	32	317	16	39	11
JB-3 standard measured	15	387	27	101	4	256	61	43	34	431	17	25	15
JB-3 standard certified	13	395	28	99	2	251	60	39	35	383	9		13

4 DISCUSSIONS

L'interprétation des résultats d'analyses a été faite en utilisant les diagrammes de classification suggérés par Hugh R. Rollinson, 1992.

DIAGRAMMES DE CLASSIFICATION

Les teneurs en éléments majeurs des échantillons ont été reportées dans différents diagrammes de classification, afin de mettre en évidence l'affinité des séries étudiées.

AFM plot (Irvine and Baragar 1971)

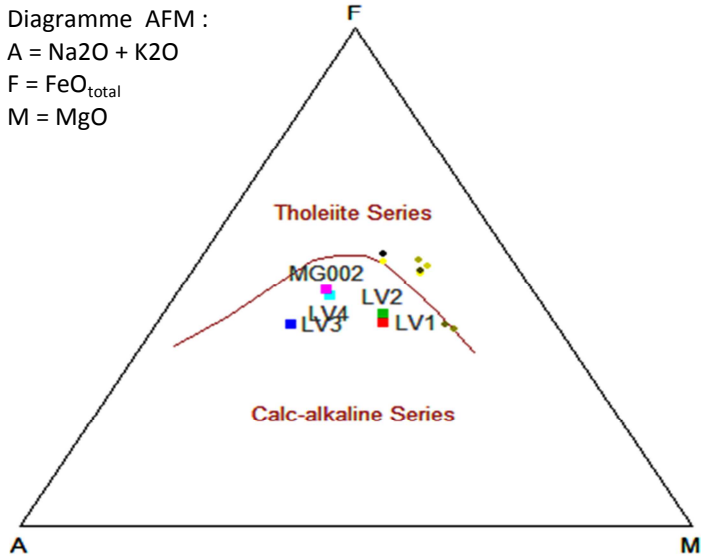


FIGURE 2 : Diagramme AFM

SiO₂-K₂O plot (Peccerillo and Taylor 1976)

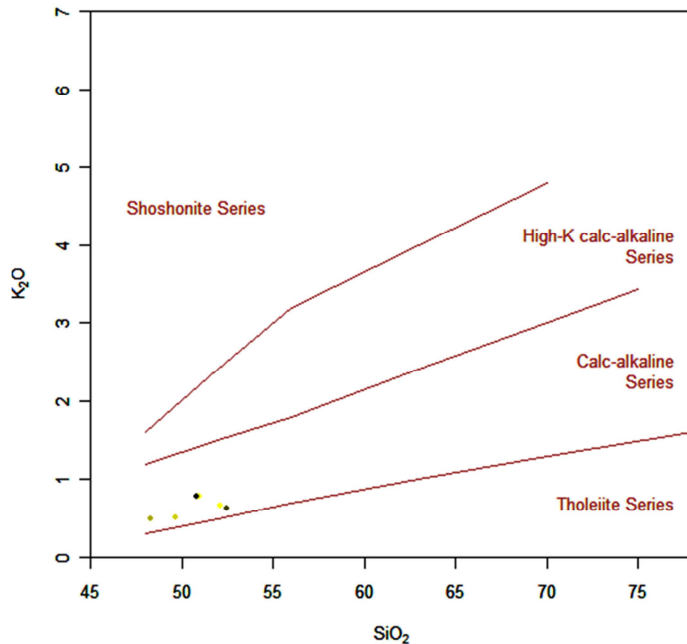


FIGURE 3 : Diagramme SiO₂-K₂O

Le diagramme ternaire AFM (Irvine et Baragar, 1971) et le diagramme binaire SiO₂ vs K₂O (Peccerillo and Taylor, 1976) montrent que les roches étudiées manifestent principalement une affinité à la série **calco-alkaline** (roches à feldspaths alcalins et plagioclases).

La série calco-alkaline est caractéristique des zones de subduction océan-continent. Les termes peu différenciés (basaltes) y sont rares en raison de l'épaisseur de la croûte continentale, qui s'accompagne d'une différenciation importante. Elle est caractéristique des domaines orogéniques et de convergence où la croûte océanique plonge dans la zone de subduction soit sous une croûte océanique : arc insulaire, soit sous une croûte continentale : marge active (ceinture circumpacifique; province méditerranéenne) (Jacques Delfou, 1984).

Cette série est riche en K₂O. Le rapport Na-K/SiO₂ est plus fort. Na est dominant par rapport à K (Tableau 1).

TAS (Middlemost 1994)

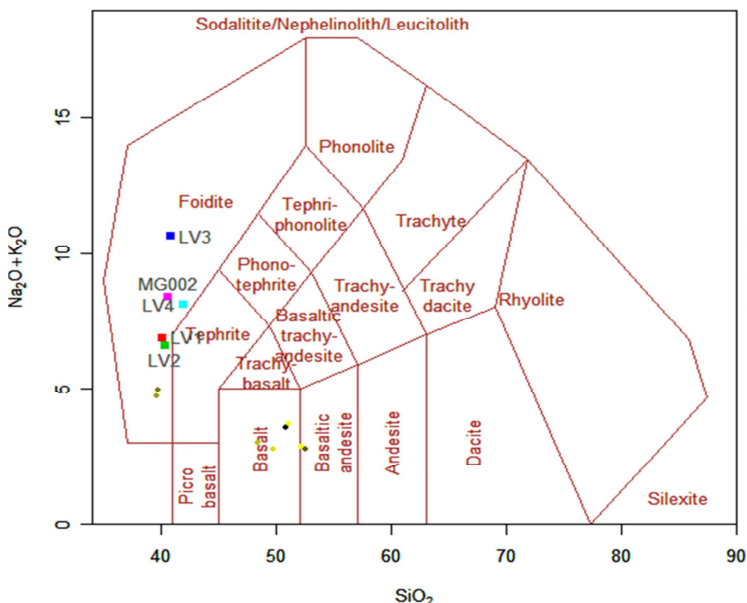


FIGURE 4 : Diagramme TAS (Middlemost 1994)

TAS (Cox et al. 1979)

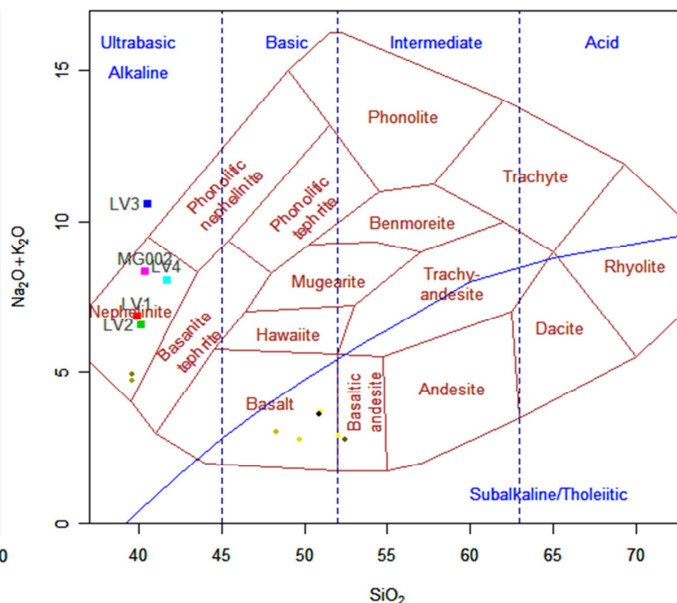


FIGURE 5 : diagramme binaire TAS (Cox et al. 1979)

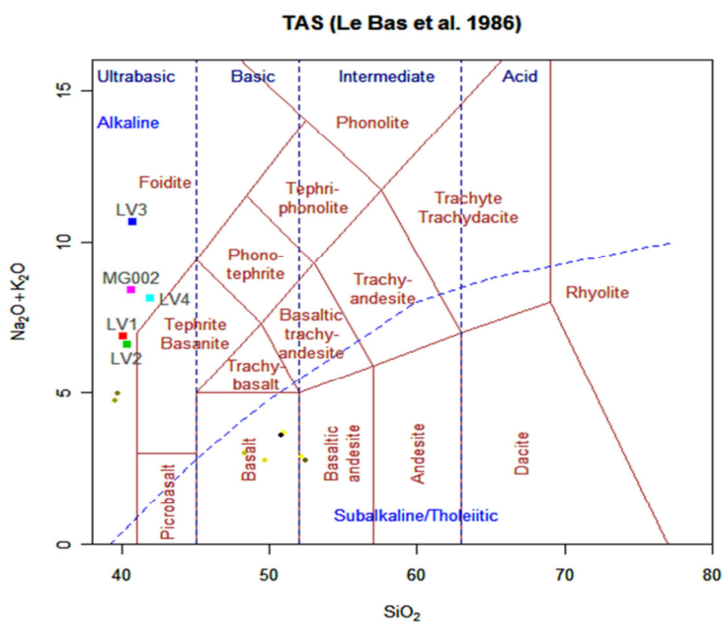


FIGURE 6: Diagramme TAS (LeBas et al. 1986)

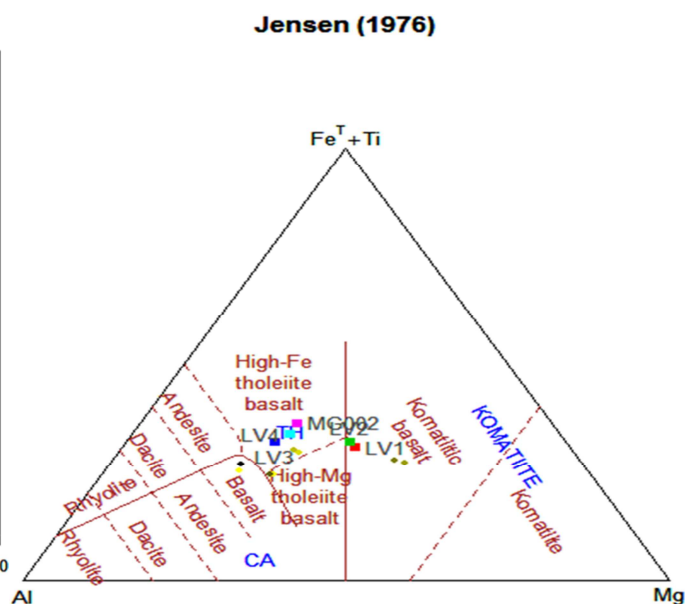


FIGURE 7 : Jensen (1976)

Les laves et les roches pyroclastiques du cône de Lac Vert sont caractérisées par des teneurs de SiO₂ faibles allant de 39,56 à 41,68 % en poids. Elles ont des teneurs modérées en Al₂O₃ de 10,52 à 13,40 %. Les niveaux d'abondance Na₂O et K₂O sont élevés respectivement (> 3,94%) et (>1,30 %), et une très forte teneur en CaO (>12,85%).

Comme le démontre le diagramme Middlemost (1994) nous trouvons que ces laves et roches pyroclastiques ont une composition chimique en K₂O et Na₂O (alcalin) élevée. Tous les échantillons ont TiO₂ et P₂O₅ élevés (tableau 1). Dans tous les échantillons LOI enregistré est faible (-0.34 à 3.09).

Sur le diagramme de Fe^T – Al – Mg selon Jensen 1976 (FIGURE 7) et les diagrammes binaires TAS selon Cox et al. (1979), Middlemost (1994), LeBas et al. (1986), démontrant l'expression de Na₂O + K₂O vs SiO₂ (FIGURE 5), (FIGURE 4), (FIGURE 6), les roches sont principalement des **Nephéline ultrabasique alcaline très riches en fer**. Le fer est signalé comme Fe₂O₃.

Par définition, les roches ultrabasiques ou ultramafiques sont des roches magmatiques et méta-magmatiques très pauvres en silice, moins de 45 % en masse, d'où leur caractère basique, et contenant plus de 90 % de minéraux riches en fer et magnésium (caractère mafique : Mg et Fe). Les roches ultramafiques sont classées selon leur teneur relative en olivine et ortho- ou clino-pyroxènes. Le manteau terrestre est considéré comme étant composé de roches ultramafiques (Sophie RAOUS, 2011).

La Néphéline est une roche ignée à grain fin ou aphanitique composée presque entièrement de néphéline et clinopyroxène. La présence de ces roches sur les îles et monts sous-marins océaniques démontre qu'au moins certains des magmas parentaux peuvent être générés dans le manteau et que ces magmas peuvent évoluer dans un environnement éloigné de toute contamination possible par des matériaux de la croûte continentale (Jean-Philippe Clément, 2002 ; <http://www.alexstrekeisen.it/english/vulc/tephriticleucitite.php>)

La genèse des roches mafiques moins communes telles que néphéline est généralement attribuée à plus d'une des trois causes suivantes: pression relativement élevée de la fusion, degré de fusion fractionnée relativement faible dans une source du manteau, du dioxyde de carbone dissous dans la masse fondue relativement élevée. La Néphéline se trouve sur les îles océaniques telles que Oahu, bien que le type de roche soit très rare dans les îles hawaïennes.

Le Nyiragongo est connue pour son activité de lac de lave permanente et pour ses laves en néphéline métilite.

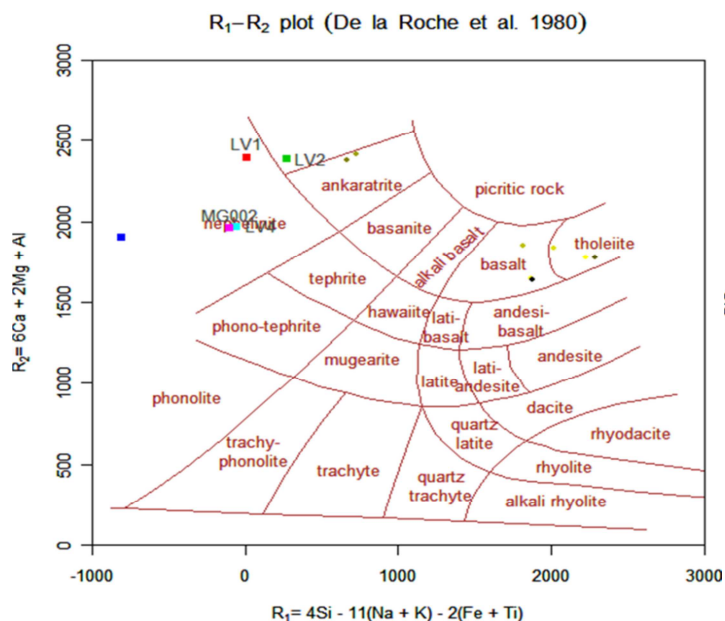


FIGURE 8 : Diagramme R_1, R_2

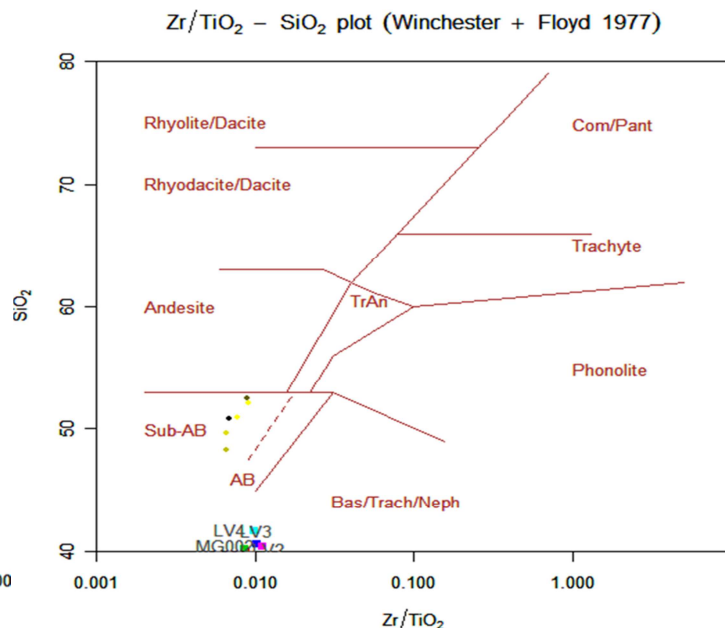


FIGURE 9 : Diagramme $Zr/TiO_2 - SiO_2$

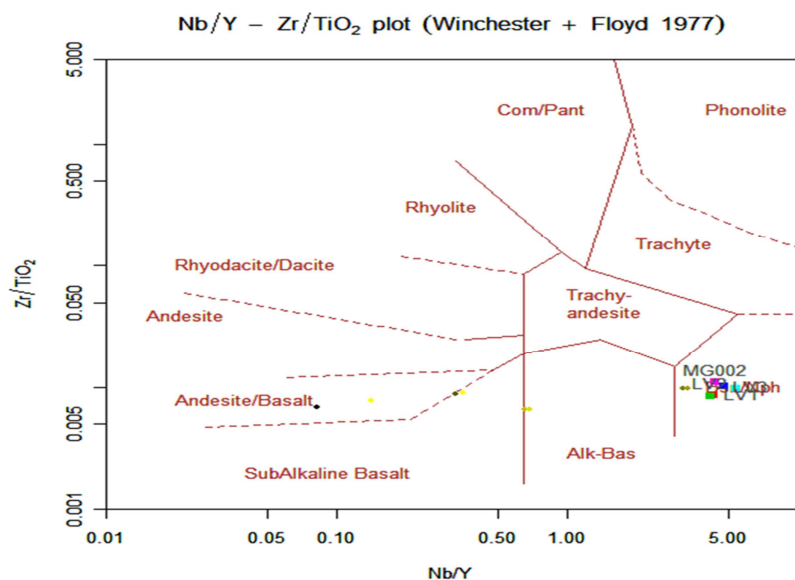


FIGURE 10 : Diagramme $Nb/Y - Zr/TiO_2$ (Winchester + Floyd 1977)

Les laves que nous avons analysées sont en grandes partie moins altérées. Elles avaient une texture fines. Suivant la classification dans le diagramme de la Roche et al (1980) et de Winchester et Floyd (1977), (Figure 8, 9 et 10) des roches, nous trouvons les mêmes résultats que sur les diagrammes binaires sur les figures 4,5 et 6.

En se basant sur les Figure 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 et 10 nous remarquons que les laves analysées ont les mêmes comportements géochimiques. Elles sont des Nephelinites ultrabasiques très riches en Fer et elles appartiennent à la série calco-alcaline.

Ces laves et roches pyroclastiques présentent donc une corrélation positive par rapport aux laves et produits pyroclastiques du Nyiragongo (Demant A. et al., 1994) ; cela revient à justifier l'hypothèse selon laquelle le cône Lac Vert est rattaché au Nyiragongo.

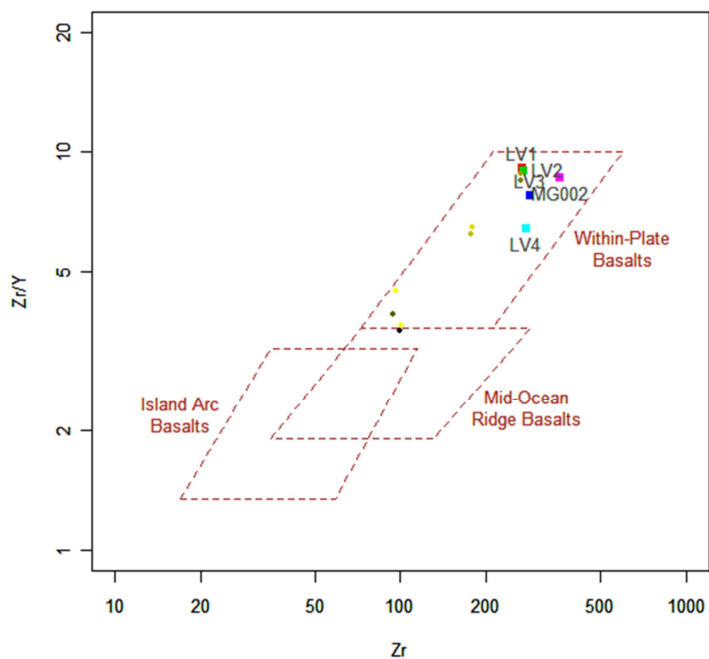


FIGURE 11: AI: Within Plate alcali Basalts;

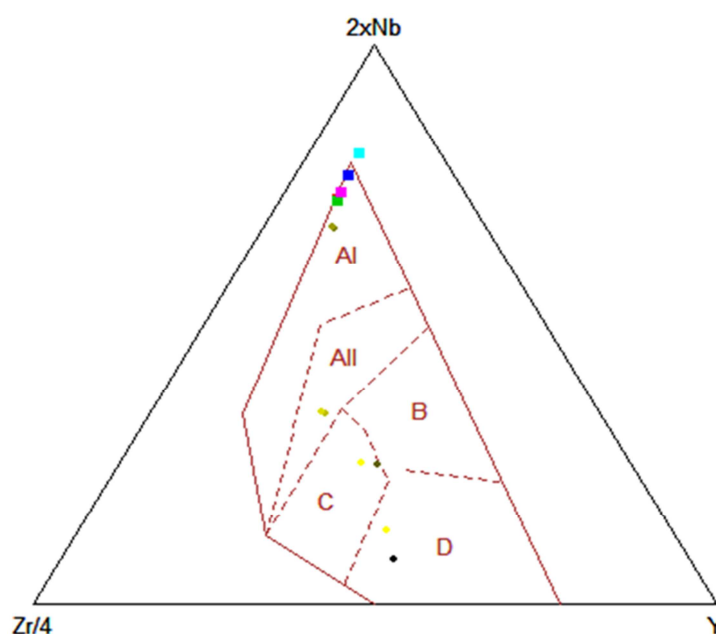


FIGURE 12: Diagramme Zr/Y-Zr

- B: E-Types MORB;
- C: within plate tholeiites and volcanic-arc basalts,
- D: N-types MORB and volcanic arc basalts
- All: Within Plate alcali Basalts and within plate tholeiites

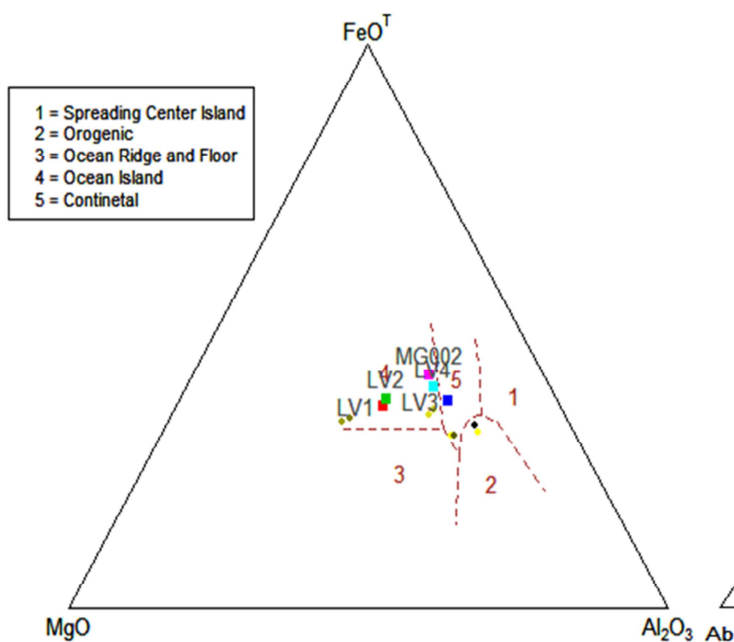


FIGURE 13: Diagramme FeO^T - MgO - Al_2O_3

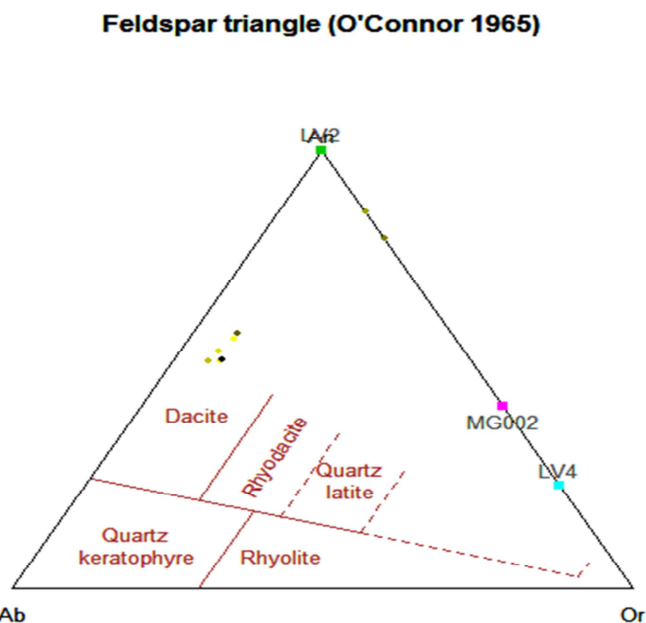


FIGURE 14 : Diagramme An - Ab - Or

1. Spreading Centres, Island Basalt;
2. Orogenic (Island Arc and Continental Margin) Basalt;
3. Mid-Ocean Ridge and Ocean Floor Basalt;
4. Ocean Island Basalt;
5. Continental basalt.

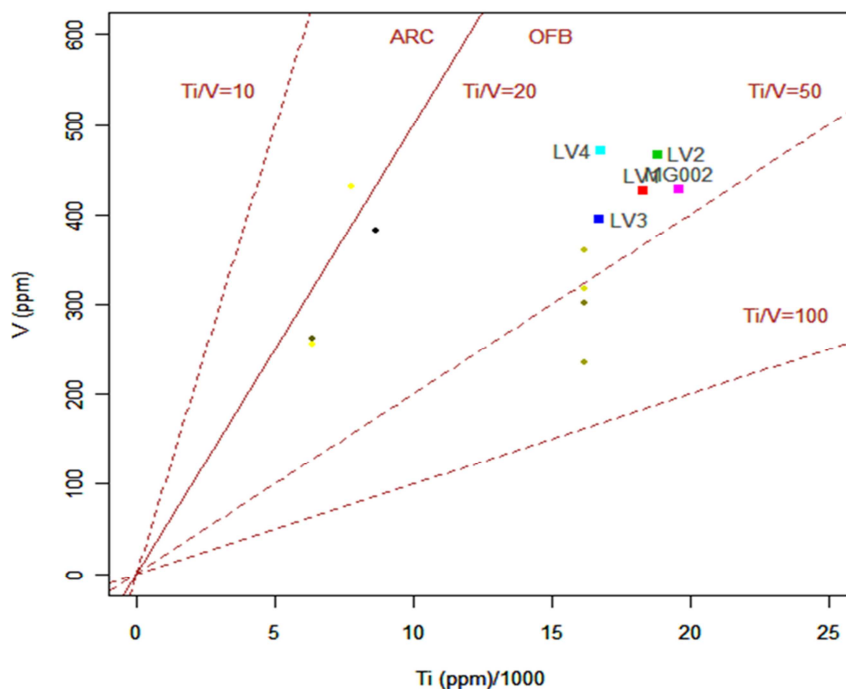


FIGURE 14 : Diagramme Ti/V

Les laves montrent de faibles teneurs en éléments relativement immobiles (Zr, Nb, Ni) et de teneurs moyens en gros cations (Ba, Sr et Rb). Les ratios élémentaires de Rb / Ba (tableau 2) sont très faibles. La moyenne élevée de valeurs de K_2O et alcalin indiquent une caractéristique secondaire tenant compte de la mise en place des roches magmatiques dans un milieu qui était probablement un milieu alcalin pendant l'intrusion.

La présence des Néphélines ultrabasiques démontrent que les magmas parentaux étaient générés probablement dans le manteau à des pressions relativement élevées et à des faibles degrés de fusion fractionnée.

La géochimie des éléments majeurs sur le diagramme An-Or-Ab (Figure 14) montre que c'est la fusion partielle et la cristallisation fractionnée du manteau riche en Anorthite, olivine, clinopyroxène orthopyroxènes, magnétite,... qui avaient généré le magma. La paragenèse minérale de Anorthite + pyroxène + olivine est typique des conditions de température élevée.

Les roches volcaniques présentent des caractéristiques chimiques spécifiques selon les environnements tectoniques (Pearce J.A. et al., 1973 ; Wood D.A. et al., 1979). Elles sont connues pour être associée à des marges de plaques divergentes (basaltes de plancher océanique, OFB), les marges de plaques convergentes (basaltes volcaniques d'arc, VAB), au sein de marge de plaque océanique (basaltes océaniques insulaires, OIB), et au sein de la plaque de la croûte continentale (continental basaltes) (Pearce J.A. et al., 1973).

Suivant la Figure 15 (Ti/V) nous trouvons donc que les laves et les roches pyroclastiques du cône du Lac Vert sont associées aux marges de **plaques divergentes (basaltes de plancher océanique, OFB)**. Ces laves tirent leur origine dans les zones d'expansion océanique. Le diagramme $2xNb-Zr/4-Y$ (Figure 11) et le diagramme $Zr / Y - Zr$ (Figure 12) montrent aussi que les roches tirent leur origine dans les basaltes alcalins de la plaque.

Le diagramme $Al_2O_3-FeOt-MgO$ montre que les roches définissent le contexte plus large centré sur l'île océanique et que ces dernières sont des types des roches au sein de la plaque. Certaines roches montrent une affinité à la croûte continentale. Il est donc évident que l'affinité de ces roches aux basaltes de l'île océanique est liée aux magmas initiaux avec des compositions proches de la source primaire. La tendance évolutive implique donc les magmas alcalins de l'île océanique suivie d'une mise en place finale dans le rift continental au moment de la fin du rifting.

L'association à la fois du manteau avec la croûte suggère que la source est profonde. Probablement la source est du manteau et la différenciation du magma interagi pendant qu'il montait dans la croûte. Les roches analysées semblent provenir des îles océaniques dominées par un magmatisme alcalin au cours du développement. Il ressort alors que l'affinité du fond océanique est liée à la source de magma initial, tandis que l'affinité continentale caractérise une mise en place plus

tard. En d'autres termes, leur intrusion a été lancée sous le fond marin d'expansion et plus tard migré vers un milieu continental (Onwualu, J. N., et al., 2012).

D'après les discussions ci-dessus, le modèle pétrogénétique probable serait que ces roches sont issues d'un volcanisme alcalin mis en place dans une zone d'expansion océanique et ensuite elles ont migrées dans un cadre de rift continental transitoire avant l'éruption. Les caractéristiques géochimiques et pétrographiques des laves et roches pyroclastiques du cône du Lac Vert démontrées ci-dessus sont les mêmes que ceux du Nyiragongo (Tom Andersen 2012 ; D. Giordano, 2007, Sahama 1953, 1957, 1978 ; T. Andersen et al. 2012). Cela revient à montrer que les magmas primaires pour ces deux cônes étaient identiques ou avaient une même origine et que les petites différences sont intervenues pendant la montée du magma en fonction des terrains traversés.

C'est qui justifie le rattachement du cône du Lac Vert au volcan Nyiragongo.

5 CONCLUSION

La géochimie des éléments majeurs et en traces des laves et des roches du cône du Lac Vert à Goma en R.D. Congo suggère que ces roches sont des Nephéline - ultrabasique très riches en fer et présentent des affinités à la série calco-alcaline. Le Fer est signalé comme Fe_2O_3 . La composition géochimique des laves et des roches pyroclastiques du cône du Lac Vert témoigne une corrélation positive avec les laves du Nyiragongo issues de l'éruption 1977 et 2002.

La présence des Néphélines ultrabasiques justifie la source profonde dans le manteau des magmas parentaux. Les analyses géochimiques indiquent que la fusion partielle et la cristallisation fractionnée du manteau riche en Anorthite, olivine, clinopyroxène orthopyroxènes, magnétite,... avaient généré le magma. La paragenèse minérale d'Anorthite + pyroxène + olivine est typiquement des conditions de température élevée.

Les analyses ont montré que ces roches sont associées aux marges de plaques divergentes (basaltes de plancher océanique, OFB). Ces laves tirent leur origine dans les zones d'expansion océanique précisément dans les basaltes alcalins en plaques sur l'île océanique ; mais certaines roches montrent une affinité à la croûte continentale. La source de ces roches serait donc profonde, probablement dans le manteau et la différenciation du magma serait intervenue lors de la montée dans la croûte. Les roches du cône de Lac Vert proviennent des îles océaniques dominées par un magmatisme alcalin au cours du développement.

Le modèle pétrogénétique probable est que ces roches sont issues d'un volcanisme alcalin mis en place dans une zone d'expansion océanique et ensuite elles ont migrées dans un cadre de rift continental transitoire avant l'éruption. L'affinité aux basaltes de l'île océanique est liée aux magmas initiaux.

Les roches de ce secteur montrent de faibles teneurs en éléments immobiles (Zr, Nb, Ni). Les teneurs en gros cations (Ba, Sr et Rb) sont moyens. Les ratios élémentaires de Rb / Ba sont très faibles. Ces roches manifestent une caractéristique tenant compte de la mise en place des roches magmatiques dans un milieu alcalin pendant l'intrusion suite aux moyennes élevées de valeurs de K_2O et alcalin.

Les caractéristiques géochimiques et pétrographiques des laves du cône du Lac Vert sont les mêmes que ceux du Nyiragongo issus de l'éruption 1977 et 2002. Cela montre que les magmas primaires de ces deux cônes étaient identiques ou avaient une même origine. Ce qui justifie le rattachement du cône du Lac Vert au volcan Nyiragongo.

REFERENCES

- [1] Baker B.H.; Williams L.A.J.; Miller J.A. and Fitch F.J., « *Sequence and geochronology of the Kenya rift volcanic* ». Tectonophysics 11,191,215p. 1971.
- [2] Carlo Aurisicchio and Marcella Federico, « *Nepheline-kalsilite micropertthites inyecta from the Alban Hills (Italy)* ». Bull. Geol. Soc. Fin-land 57, Part 1—2, 129,137p., 1985
- [3] Chabou Moulley Charaf, « *Cours de Pétrographie Endogène. 2è année – LMD Géosciences – Semestre 4.* », Université Ferhat Abbas, Sétif ; Institut d'Architecture et des Sciences de la Terre, Département des Sciences de la Terre.
- [4] Cox K. G.; Bell J. D. and Pankhurst, R. J. « *The Interpretation of Igneous Rocks* ». George Allen and Unwin, London (1979).
- [5] Demant Alain; Lestrade Patrick; Lubala Ruananza T.; Kampunzu Ali B.; and Durieux Jacques, « *Volcanological and petrological evolution of Nyiragongo volcano, Virunga volcanic field, Zaire* », Bulletin of Volcanology, Volume 56, Issue 1, pp. 47,60 (1994).
- [6] Danaeyer M.E., « *les syénites métasomatiques du massifs de Kirumba* », Mémoire Académie Royale des Sciences Coloniales, Classe des sciences Techniques. NS. 9 (2). 1959.

- [7] Danaeyer M.E., « *Les syénites feldspathoïdiques du Kivu et leur rôle dans la genèse des laves des Virunga* », Bulletin de la Société Belge de Géologie de Paléontologie et d'Hydrologie (Bruxelles). 67, 459,487p. 1958.
- [8] Furman T, « *Geochemistry of East African Rift basalts: an overview* ». J. Afr. Earth Sci. 48 (2–3), 147,160p, 2007.
- [9] Giordano D.; M. Polacci; A. Longo; P. Papale, D. B. Dingwell; E. Boschi and M. Kasereka, « *Thermo-rheological magma control on the impact of highly fluid lava flows at Mt. Nyiragongo* », GEOPHYSICAL RESEARCH LETTERS, VOL. 34, L06301, doi:10.1029/2006GL028459, 2007
- [10] Gönül Büyükonak, *Distribution of the major and trace elements in the volcanic rocks of Yozgat area, Turkey*, Manuscript received January 29, 1985, 68,82p.
- [11] Hugh R. Rollinson, « *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation* », 1992.
- [12] Irvine T.N.; and Baragar W.R.A, « *A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks* ». Canadian Journal of Earth Sciences, v. 8, p. 523, 548p , 1971
- [13] J. F. Chen et al., « *U-Pb zircon ages for a collision-related K-rich complex at Shidao in the Sulu ultrahigh pressure terrane, China* ». Geochemical Journal, Vol. 37, pp. 35 to 46, 2003.
- [14] J. N. John-Onwualu and V.U. Ukaegbu, « *Petrogenetic and Geotectonic Implications of Lokpa-Ukwu Pyroclastics in Southern Benue Trough, Nigeria* ». Department of Geology, University of Port Harcourt, Port Harcourt, Nigeria. Volume 10. Number 1. May 2009.487, 500pages.
- [15] J. Delfour ; P. Isnard ; E. Lecuyer et al., « *Étude du gîte de pyrite de Chizeuil (Saône-et-Loire) et de son environnement volcano- sédimentaire Dévonien et Dinantien* ». Orléans : Éd. du Bureau de recherches géologiques et minières, Service géologique national, 1984.
- [16] Jean-Philippe Clement, « *Mise en place et cristallisation des massifs grenus et pegmatitoïdiques des volcans de l'Archipel de la Société, Polynésie française: étude texturale, minéralogique et géochimique des roches à texture grossière des îles de Tahiti Nui, Raiatea, Bora Bora et Maupiti* », Géologie appliquée. Université de Bretagne occidentale - Brest, 2002. Français.
- [17] Kasereka Mahinda C., « *Le Nyiragongo, un volcan a très haut risque au Nord-Kivu et ses environs* », CRSN-Lwiro/Bukavu, 2001.
- [18] LeBas M.J.; LeMaitre R.W.; Streckeisen A. and Zanettin B., « *A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram* ». Journal of Petrology, v. 27, p. 745,750p, 1986
- [19] Middlemost E.A.K., « *Naming Materials in the Magma/Igneous Rock System* ». Earth Sci. Rev. 37: 215,224pp, 1985
- [20] Onwualu J. N.; Ukaegbu V. U. and Okengwu K.O., « *Source region inhomogeneity in igneous suite of Ishiagu, Southern Benue Trough, Nigeria* », Department of Geology, University of Port Harcourt,Port Harcourt, Nigeria. Scholars Research Library Archives of Applied Science Research, 2012, 4 (2):923,934p.
- [21] Peccerillo A. and Taylor S.R., « *Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. Contributions to Mineralogy and Petrology* ». v. 58, p. 63,81p, 1976.
- [22] Pearce J.A. and Cann J.R., « *Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses: Earth and Planetary* ». Science Letters, v. 19, p. 290,300, 1973
- [23] Pieter Vermeesch, « *Tectonic discrimination of basalts with classification trees, Department of Geological and Environmental Sciences* », Stanford University, USA, (2006) 1839–1848.
- [24] Ramananda Chakrabarti; enneth W.W. Sims, Asish R. Basu, Mark Reagan; Jacques Durieux, « *Timescales of magmatic processes and eruption ages of the Nyiragongo volcanic from 238 U-230 Th-226 Ra-210 Pb disequilibria* », Earth and Planetary Science Letters 288 (2009) 149–157
- [25] Sahama T.G., « *Complex Nepheline-Kalsilite phenocrysts in Kabfumu lava, Nyiragongo area, North Kivu in Belgian Congo* ». Journal of Geology 68, 515,526p, 1957
- [26] Sahama Th.G. « *Kalsilite in the lavas of Mt. Nyiragongo (Belgian Congo). Journal of Petrology* », I, 146-171 , 1960.
- [27] Sahama T.G., « *Compositions of clinopyroxene and melilite in the Nyiragongo rocks. Carnegie Institution in Washington* », Year Book, 75, pp. 585,591p, 1976
- [28] Sahara T.G., « *The Nyiragongo main cône* », Annales. Musée Royal de l'Afrique Centrale. Tervuren, Belgique. SérieIn 8°, Sciences Géologiques 81. 1978.
- [29] Sophie Raous, « *Dynamique du Nickel et d'autres éléments en traces métalliques (Co, Cr, Cu et Mn) dans des matériaux miniers ultramafiques* », Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy-Université (INPL), 2011, 290 pages.
- [30] Tedesco D.; F. Tassi; O. Vaselli; R. J. Poreda; T. Darrah; E. Cuoco, and M. M. Yalire, « *Gas isotopic signatures (He, C, and Ar) in the Lake Kivu region (western branch of the East African rift system): Geodynamic and volcanological implications* ». Journal of geophysical research, VOL. 115, B01205, 2010
- [31] Tazieff H., « *Mt. Nyiragongo: renewed activity of the lava lake. Journal of Volcanology and Geothermal Research 20* », 1984, 267–280.

- [32] Tom Andersen; Marlina Elburg and Muriel Erambert, « *Petrology of combeite- and götzenite-bearing nephelinite at Nyiragongo, Virunga Volcanic Province in the East African Rift* », journal Elsevier, locate, lithos, Lithos 152 (2012) 105,121p.
- [33] Toscani, L.; Capedri S. and Oddone M. « *New chemical and petrographic data of some undersaturated lavas from Nyiragongo and Mikeno (Virunga-Western African Rift–Zaire)* ». Neues Jahrbuch für Mineralogie, Abhandlungen 161, 287–302, 1990.
- [34] Tuttle M.L.; Lockwood J.P. and Evans W.C., « *Natural hazards associated with Lake Kivu and adjoining areas of the Birunga volcanic field, Rwanda and Zaire* », Central Africa. Open File Report 90-691, 47pp, USGS. 1990.
- [35] Winchester J. A. and Floyd, P. A. « *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements* ». Chemical Geology, volume 20, pages 325,343, 1977
- [36] Wood D.A.; Joron J.L. and Treuil M. « *A Re-appraisal of the use of Trace Elements to Classify and Discriminate between Magma Series Erupted in Different Tectonic Settings* ». Earth Planet. Sci. 1979, Lett.45:326-336.
- [37] Yaoling Niu; Marjorie Wilson; Emma R. Humphreys and Michael J. O'Hara ; « *The Origin of Intra-plate Ocean Island Basalts (OIB): the Lid Effect and its Geodynamic Implications* », Department of Earth Sciences, Durham University, Durham DH1 3LE, 2011.