

Du transfert du potassium dans les laves de l'Afrique centrale (1),

par MARCEL-E. DENAEYER.

ABSTRACT. — *Two tentative explanations may account for the origin of potassium of the soda-potassic and ultrapotassic lavas of Birunga and Toro-Ankole fields, in the Western Rift Valley.*

The first one is HOLMES' hypothesis which requires a reaction between a highly energetised carbonatitic fluid and the sialic (granitic) rocks of the Basement, the latter being a feeder of SiO_2 , Al_2O_3 and alkalies and the former, of mafic oxides, plus huge quantities of CO_2 and other mineralizers.

The second hypothesis was inspired to J. B. DAWSON by the sodarich carbonatitic eruption of Oldoinyo-Lengai volcano in 1960. The multi-cations theory of DAWSON claims the probability of great variations of the $\text{CaO}/\text{MgO}/\text{FeO}$ and $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ ratios as well as the alkalies/mafics ratio in the various intrusive carbonatitic magmas. This would explain in a simple way the large variability of the features of the alkaline-carbonatite complexes and discard simultaneously the hypothesis of the differentiation of a primary ultra-alkaline and basic siliceous magma.

The two theories seem to be valid and complementary.

Indeed, the author's investigations in the Kirumba syenitic complex (Kivu) have revealed that, at the contact of an ankeritic carbonatite stockwerk, a drastic soda-metasomatism took place in the muscovitic schists of the Basement. These are transformed into an albitic syenite. The responsible carbonatitic magma has been certainly very rich in Na_2CO_3 and has removed from the mica the potash which escaped.

The author proposed formerly that a similar reaction could have taken place and may be still produced between a carbonatitic fluid and basement rocks of the Birunga, leading to a potashrich and desilicated volcanic magma.

The example of Kirumba justifies, in this way, HOLMES' as well as DAWSON'S hypothesis.

On sait que, dans l'ensemble, les laves des Virunga et du Toro-Ankole sont remarquables au point de vue chimique — outre leur sous-saturation en silice très générale — par une teneur relativement élevée en potassium. Ce caractère « méditerranéen » les distingue, tant des laves du Kivu méridional que de la majorité de celles de l'Afrique orientale, à prédominance de soude (caractère « atlantique »).

(1) Développement d'une Communication présentée au « IVth. Symposium on African Geology », à Sheffield, en avril 1967, sous le titre : *Solutions possibles du transfert du potassium dans les laves de l'Afrique centrale.*

De plus, les produits volcaniques du Toro-Ankole sont ultrapotassiques, alors que ceux des Virunga sont communément sodipotassiques. Parmi ces derniers se manifeste cependant de notables fluctuations à tendance « atlantique ».

Ces faits sont bien connus. Ils ont fait l'objet d'un travail statistique de E.-E. EL-HINNAWI (1964, 1965) et des données complètes pour l'Afrique centrale figurent dans le *Recueil d'analyses* de M.-E. DENAEYER et FL. SCHELLINCK (1965).

Le problème magmatologique qui se pose est de savoir pourquoi et comment les volcans des Virunga et du Toro-Ankole, associés aux fossés tectoniques de l'Afrique centrale, ont émis des laves basiques sodipotassiques et ultrapotassiques exceptionnelles. En valeurs pondérales ces caractères se traduisent *grosso modo* et d'une façon simple par : $K_2O \approx Na_2O$ pour les Virunga et $K_2O \gg Na_2O$ pour le Toro-Ankole, ou mieux, par les valeurs suivantes du paramètre s dans le système CIPW-Lacroix (en négligeant les valeurs extrêmes et plutôt rares) :

$$s = 3 \text{ à } (3) 4 \text{ pour les Virunga et} \\ s = 1 \text{ à } 3 \text{ pour le Toro-Ankole.}$$

*
* *

Depuis 1932 et jusqu'à ses derniers jours, ce problème a préoccupé l'illustre et regretté professeur A. HOLMES. Par approximations successives, il s'était arrêté, en 1950, et en ce qui regarde les laves du Toro-Ankole, à l'hypothèse de réactions entre les roches sialiques crustales granitoïdes considérées comme réservoirs de SiO_2 , Al_2O_3 et d'alcalis (de potassium principalement) et un magma ou des fluides carbonatitiques envisagés comme sources d'oxydes de Ca, Mg et Fe, associés à de grandes quantités de CO_2 sous haute pression agissant, avec H_2O et d'autres minéralisateurs, comme fluidisant (J. GITINS and O. F. TUTTLE, 1964).

Cette hypothèse, élargie à d'autres catégories de laves alcalines, était généralisée par HOLMES en 1956 et exprimée par l'équation simple

$$xV + (100-x)OBP = yG + (100-y)C,$$

où :

C représente le magma carbonatitique, non compris CO_2 et H_2O dégagés;

G, les roches sialiques granitoïdes (ou partiellement basiques ou basaltiques, A. HOLMES, 1965);

OBP, les enclaves homogènes allomorphes (subvolcaniques et cristallines) formées, en proportions variables, d'olivine, de biotite et de pyroxènes et

V, le magma résiduel représenté par divers types de laves.

*
* *

En 1960, l'éruption de l'Oldoinyo Lengai fait rebondir spectaculairement le problème. Les analyses des laves carbonatitiques émises par ce volcan (J. B. DAWSON, 1962) montrent qu'elles sont relativement pauvres en carbonates alcalino-terreux (19,5 %) mais, par contre, extraordinairement riches en Na_2CO_3 (42 %) et contenant en outre une quantité importante de K_2CO_3 (11 %) et d'halogénures (12 %).

Et, en 1964, DAWSON suggère qu'en conséquence, la fénitisation et la néphélinisation des roches sialiques et des laves associées n'impliquent pas nécessairement l'intervention de magmas basiques ultra-alcalins (ijolitiques, etc.) à partir desquels se différencieraient les carbonatites (B.C. KING and D. S. SUTHERLAND, 1960, part III). Il confirme ainsi par l'observation d'un phénomène actuel l'hypothèse proposée par H. VON ECKERMAN pour Alnö (1948, 1961) et suivant laquelle des magmas carbonatitiques primaires alcalins (potassiques dans le cas d'Alnö) sont directement responsables de la métasomatose *in situ* (fénitisation) de leurs auréoles.

La plupart des carbonatites cafémiques connues ne seraient donc que des carbonatites « éventées » ou résiduelles et, de plus, appauvries en Mg_2CO_3 et Fe_2CO_3 , plus facilement dissociables que CaCO_3 et capables de réagir préférentiellement avec SiO_2 et les silicates.

Les expériences de A. F. KOSTER VAN GROOS and P. J. WYLLIE (1963) montrant l'existence d'une lacune de miscibilité entre les magmas silicatés fondus d'une part, et les magmas carbonatés d'autre part, plaident en faveur de l'existence de magmas carbonatitiques primaires.

D'après DAWSON (1964), la « réactivité » des cathions alcalins vis-à-vis des roches silicatées envahies (et éventuellement celle de l'ion Fe pour la formation d'ægyrine et d'amphiboles sodiques) est possiblement liée à certaines de leurs propriétés telle que le potentiel d'ionisation. Il invoque aussi la possibilité d'une certaine immiscibilité des magmas carbonatés alcalins, d'une part, et cafémiques, d'autre part.

Cette hypothèse d'un magma carbonatitique à cathions multiples permet à DAWSON de suggérer « that there may be considerable variations in the proportions of the individual cations within a

carbonatite magma » et de conclure que « in this way, several highly variable, and otherwise unexplainable features of carbonatite complexes can be elucidated ». La nature et les proportions volumétriques si variables, de centre à centre, des carbonatites, des roches fénitisées et des produits volcaniques et subvolcaniques alcalins ne dépendraient donc que des rapports K/Na, Ca/Mg/Fe et alcalis/cafémiques, ainsi que de la nature des roches influencées.

D. S. SUTHERLAND (1965) semble s'être rallié à la théorie de DAWSON dans son étude des roches ultrapotassiques de Toror Hill (Uganda).

*
* *

En résumé, deux théories semblent s'affronter en ce qui concerne la source des alcalis de la fénitisation, des roches éruptives et des laves alcalines associées.

Le but de cette Communication est de rapporter une observation qui tend à prouver que la théorie de HOLMES n'est pas rendue caduque par celle de DAWSON.

HOLMES lui-même (1950, pp. 784, 788 et 789) a montré que la biotite cède K_2O , Al_2O_3 , MgO et H_2O par réaction avec une carbonatite.

La preuve que je crois pouvoir produire est l'observation directe de l'albitisation des muscovitoschistes et quartzites du Burundien du massif de Kirumba (Kivu) au contact d'une carbonatite ankéritique (M.-E. DENAEYER, 1966).

L'évolution métasomatique de ces muscovitoschistes en syénites micacées puis en syénites feldspathoïdiques de ce massif a été longuement décrite et commentée avec de nombreuses analyses chimiques à l'appui, dans mon Mémoire de 1959. Ce Mémoire a paru peu avant la découverte, en 1960, d'un réseau filonien de ladite carbonatite au flanc de l'escarpement de la faille occidentale du fossé tectonique du Kivu (fig. 1) ⁽¹⁾.

L'évolution dont il est question ci-dessus consiste dans la microclinisation des muscovitoschistes, puis dans la perthitisation de leur microcline aboutissant à son albitisation plus ou moins complète et, finalement, dans la néphélinisation des syénites micacées avec accompagnement de sodalite, de cancrinite et des minéraux accessoires habituels (fluorite, mélanite, etc.) des syénites néphéliniques agpaïtiques.

⁽¹⁾ Ce réseau filonien ne représente vraisemblablement que les apophyses d'un corps carbonatitique plus important, actuellement enfoui sous le champ de lave qui tapisse le fond du fossé.

L'apport de Na, Cl, F, CO₂, etc., d'une part, et le départ du potassium de la muscovite, de l'autre, étaient donc manifestes.

Dans l'escarpement de faille qui tronque le massif des syénites (fig. 1) et, au contact même de la carbonatite, *l'albitisation des muscovitoschistes est directe et massive, sans phase intermédiaire microclinique appréciable, et se traduit immédiatement par la formation de syénites albitiques micacées d'aspect souvent foyaitique. Ici encore, l'apport de sodium et le départ de potassium sont évidents. Les muscovitoschistes ont joué en quelque sorte le rôle d'échangeurs d'ions.*

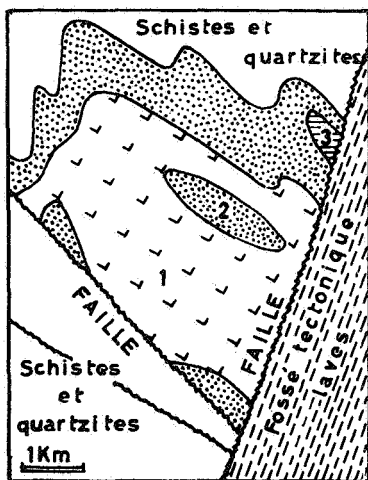


FIG. 1.

1. Syénites foïdiques.
2. Syénites micacées.
3. Rauhaugite.

Il est donc certain que lors de sa mise en place, *le magma carbonatitique (actuellement « éventé ») devait être extrêmement riche en Na₂CO₃*. La carbonatite a cédé également une partie de sa magnésie et de son fer pour la cristallisation de la biotite et de l'ægyrine des syénites feldspathoïdiques.

Le tableau ci-après montre bien les étapes principales des transformations au contact de la carbonatite (compositions minéralogiques calculées d'après les analyses chimiques, extraites de M.-E. DENAEYER, 1966).

Ces observations viennent à l'encontre de la thèse que j'avais

	(1)	(2)		(3)	(4)	(5)
Calcite	48,40	67,60	Muscovite	76,0	23,9	1,59
Giobertite ...	31,84	13,36	Albite	0,0	60,2	89,60
Sidérite	15,89	0,00	Quartz	13,9	10,9	3,72
Oxydes de fer ..	2,92	14,06	Carbonates ...	2,3	1,7	0,75
Albite	0,00	3,14	Divers	8,6	4,0	4,00
Divers	0,75	1,51		100,8	100,7	99,66
	99,80	99,67				

(1) Carbonatite ankéritique (rauhaugite).

(2) Carbonatite ankéritique rubéfiée (rödberg) ayant perdu une partie de sa magnésie.

(3) Muscovitoschiste.

(4) Syénite micacée albitique.

(5) Albitite pure.

soutenue précédemment (1959) et qui consistait à envisager la syénitisation des schistes burundiens comme le résultat de l'action hydrothermale de solutions sodiques (suivant la théorie du « persédimentarisme » de W. NIEUWENKAMP (1956) conjointement à la mobilisation ou à la « carbonatitisation » des calcaires métamorphiques dont l'existence est connue dans le socle précambrien du Kivu. NIEUWENKAMP ne manquera sans doute pas d'appuyer son point de vue « persédimentariste » sur l'existence des saumures chloro-calciques profondes connues depuis peu par sondages en Sibérie orientale et étudiées par V. V. KOLODIJ (1962). Le problème de l'origine première des carbonatites reste d'ailleurs ouvert.

Il me paraît d'autre part intéressant de signaler que l'étude comparative de « métasomatites » de plusieurs massifs alcalins de l'U.R.S.S. (Kola, Sajon oriental, Alatau, Kuzneck, etc.) a conduit I. P. TIKHONENKO (1961) à définir une succession de zones très analogues à celles de Kirumba : « quartzitites », albitites, microclinites, veines de carbonates et fluorine.

Le problème qu'il reste maintenant à examiner est celui du destin du potassium éliminé par l'albitisation des muscovitoschistes et des syénites à microcline. Dans mon Mémoire de 1959 (p. 165) j'ai proposé l'hypothèse d'un *transfert du potassium dans les laves des Virunga, en rapport avec l'existence possible de complexes alcalins sous-jacents analogues à ceux de Kirumba ou de la Lueshe.*

L'étude des enclaves énallogènes fondues recueillies dans les cratères et les cônes adventifs du Nyamuragira et du Nyiragongo (M.-E. DENAEYER et M. VAN WALLENDael, 1961; M.-E. DENAEYER et FL. SCHELLINCK, 1965, pp. 68, 69, 126 et 127) a démontré que le substrat de ces volcans est formé, soit de roches fortement hyperalumineuses, probablement des micaschistes (Nyamuragira : $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO}$ en mol. compris entre 1,47 et 5,48), soit de roches granitiques (Nyiragongo : $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{CaO} = 0,76$ à 1,16 et, pour un seul échantillon, 3,47).

Ces enclaves sont donc des témoins intéressants au point de vue de la nature des roches traversées, mais elles ne nous renseignent malheureusement pas directement sur la magmatogenèse des volcans en question. Toutefois, cela n'exclut évidemment pas la possibilité des réactions invoquées précédemment, dans cette magmatogenèse.

Dans une analyse très nuancée des produits du Nyiragongo, TH. G. SAHAMA (1962) se prononce pour une différenciation par transfert gazeux principalement : « An emission of carbon dioxide would carry alkalies and calcium to the top part of the magma chamber where these cations would be selectively redissolved in the melt. The differentiation, of course, would not necessarily result in a true carbonatite magma fraction, but may just reach the stage of a highly carbonated melt which, on extrusion, produces the bergalitic [melilitic] strata. The process of desilication, evidenced by the escape of silica, would be another result of carbonation ».

Tous les éléments du problème de l'association aux fossés tectoniques des roches alcalines et des carbonatites sont magistralement ramassés et commentés par A. HOLMES dans la dernière édition de ses « *Principles of Physical Geology* » (1965, pp. 1059 à 1078). Il se dégage de ses commentaires que la théorie des cations multiples et celle des réactions entre roches sialiques, voire basiques ou basaltiques, et carbonatites sont complémentaires et non opposées. En ce qui concerne les deux volcans actifs des Virunga, HOLMES propose les solutions suivantes : *Nyamuragira* et ses satellites, caractérisés par leurs laves plagioclasiques à leucite (kivites, absarokites shoshonitiques) : « it is probably a reaction product of carbonatite magma

with both sialic rocks and basaltic material » [c'est, à peu de chose près, l'hypothèse que j'avais proposée dans mon Mémoire de 1959 en insistant sur le rôle d'intermédiaire des roches fénitisées (syénitisées) comme source de potassium]; *Nyiragongo* et ses stellites caractérisés par leurs laves presque uniquement feldspathoïdiques à leucite, kalsilite, néphéline et mélilite : « This suggests that the carbonatite magma is, and was, likely to be a variety rich in alkalis, and that the crustal rocks contributing are, and were, confined to granitic rocks of the kind known (from ejected blocks) to form the foundation of the volcanic edifice ».

5 février 1967.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET MÉDICAL DE L'UNIVERSITÉ DE BRUXELLES
EN AFRIQUE CENTRALE (CEMUBAC),
INSTITUT DES SCIENCES GÉOLOGIQUES,
LABORATOIRE DE MINÉRALOGIE ET DE PÉTROGRAPHIE,
UNIVERSITÉ DE BRUXELLES,
50, avenue Fr. D. Roosevelt,
Bruxelles 5.

OUVRAGES CITÉS.

- DAWSON, J. B., 1962, Sodium Carbonate Lavas from Oldoinyo Lengai, Tanganyika. (*Nature*, London, 195, pp. 1075 et 1076.)
- 1964, Reactivity of the Cations in Carbonate Magmas. (*Proc. Geol. Assoc. Canada*, 15, n° 2, pp. 103-113.)
- DENAEYER, M.-E., 1959, Les syénites métasomatiques du massif de Kirumba. Contribution à la lithogénèse des volcans du Kivu (Congo belge). (*Mém. Acad. roy. Sc. Col., Cl. Sc. techn.*, in-8°, nouv. sér., IX, 1, 234 p.)
- 1966, Sur la présence d'une carbonatite ankéritique (rauhaugite) en bordure du complexe alcalin de Kirumba (Kivu), (*C. R. Acad. Sc.*, Paris, 263, sér. D, pp. 9-12.)
- DENAEYER, M.-E. et SCHELLINCK, FL., 1965, Recueil d'analyses des laves du fossé tectonique de l'Afrique centrale (Kivu, Rwanda, Toro-Ankole). (*Ann. Mus. Roy. Afr. Centr.*, Tervuren, sér. in-8°, Sc. géol., 49, 234 p., 14 croquis cartogr. h.-t.)
- DENAEYER, M.-E. et VAN WALLENDIAEL, M., 1961, Les enclaves énallogènes du Nyiragongo et du Nyamuragira (Kivu). Note préliminaire. (*Bull. Acad. roy. Sc. Outre-Mer*, VII, 3, pp. 460-467 [Centre nat. Volcanol., publ. n° 15].)
- ECKERMANN, H. VON, 1948, The Alkaline District of Alnö Island. (*Sver. Geol. Undersök*, 36, 176 p.)
- 1961, The Petrogenesis of the Alnö Alkaline Rocks. (*Bull. Geol. Inst.*, Uppsala, XL, pp. 26-36.)

- EL-HINNAWI, ESSAM, E., 1964, Petrochemical Characters of African Volcanic Rocks. Part. II : East Africa. (*N. Jb. Miner. Mh.*, 102, 6, pp. 166-187.)
- 1965, Petrochemical Characters of African Volcanic Rocks. Part. III : Central Africa. (*Ibid.*, 103, 2, pp. 126-146.)
- GITTINS, J. and TUTTLE, O. F., 1964, The System $\text{Ca F}_2\text{-Ca (OH)}_2\text{-Ca CO}_3$. (*Amer. Jour. Sci.*, 262, pp. 66-75.)
- HOLMES, A., 1950, Petrogenesis of Katungite and its Associates. (*Amer. Miner.*, 35, pp. 772-792.)
- 1956, The Ejectamenta of Katwe Crater, S.W. Uganda. (*Verh. Kon. Nederl. Geol. Mijnb. Genoot.*, Geol. ser., XVI, pp. 140-168.)
- 1965, Principles of Physical Geology, 2d Ed., pp. 1067-1078.
- KING, B. C. and SUTHERLAND, D. S., 1960, Alkaline Rocks of Eastern and Southern Africa. Part. III : Petrogenesis. (*Science Progress*, XLVIII, 192, pp. 709-720.)
- KOLODIJ, V. V., 1962, Conditions de la formation des saumures profondes chloro-calciques du Turkménistan S.E. (en russe). (*Geol. Nefti Gaza*, Moscou, 6, n° 7, pp. 43-46.)
- KOSTER VAN GROOS, A. F. and WYLLIE, P. J., 1963, Experimental Data bearing on the Role of Liquid immiscibility in the Genesis of Carbonatites. (*Nature*, London, 119, pp. 801 et 802.)
- NIEUWENKAMP, W., 1956, Géochimie classique et transformiste. (*Bull. Soc. Géol. de France*, 6^e sér., 6, pp. 407-430.)
- SAHAMA, Th. G., 1962, Petrology of Mt. Nyiragongo : A Review. (*Trans. Edimb. Geol. Soc.*, 19, part. 1, 28 p. [Centre nat. Volcanol., publ. n° 20].)
- SUTHERLAND, D. S., 1965, Potash-trachytes and ultra-potassic Rocks associated with the Carbonatite Complex of Toror Hills, Uganda. (*Miner. Mag.*, 35, n° 270, pp. 363-385.)
- TIKHONENKO, I. F., 1961, Sur un type de processus métasomatique post-magmatique dans les massifs alcalins (en russe). (*Dok. Akad. Nauk. S.S.S.R.*, Moscou, 136, n° 4, pp. 917-920.)
-