

Les syénites feldspathoïdiques du Kivu et leur rôle dans la genèse des laves des Virunga (*),

par MARCEL-E. DENAEYER,

Membre de l'Académie royale des Sciences coloniales,
Professeur à l'Université de Bruxelles.

RÉSUMÉ. — *L'étude détaillée des syénites feldspathoïdiques du massif de Kirumba (Kivu, Congo belge) a conduit l'auteur à la conclusion que ces roches procèdent de la métasomatose sodique et de la désilication des schistes précambriens environnants. La théorie du « persédimentarisme » de NIEUWENKAMP est invoquée pour rendre compte de la présence de sodium dans les réactions métasomatiques.*

Le potassium libéré au cours de ces réactions peut être incorporé à des magmas basaltiques préalablement désilicatés par les roches carbonatées associées au sub-

(*) Communication faite à Bukavu à la séance du 27 avril 1958 de la Société géologique du Congo belge et du Ruanda-Urundi et à la séance du 18 novembre 1958 de la Société belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie.

stratum précambrien. Cette hypothèse fournit une explication simple et satisfaisante de l'origine si controversée des laves ultrabasiques potassiques et sodopotassiques des volcans des Virunga.

ABSTRACT. — *Having studied in great detail the feldspathoidal syenitic rocks of the Kirumba mountains (Kivu, Belgian Congo), the author concludes that these rocks may proceed from sodic metasomatism and desilication of surrounding precambrian schists. NIEUWENKAMP's « persedimentary » theory might referred to to account for the presence of sodium involved in the metasomatic process.*

The potassium liberated by the process may be incorporated in basaltic magma previously desilicated by carbonate rocks from the Basement. Such an hypothesis provides a simple and satisfactory explanation for the so much debated origin of the ultrabasic and sodicopotassic lavas of the Virunga volcanoes.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
I. — Préambule	461
II. — Les syénites micacées du massif de Kirumba sont des roches de passage des muscovitoschistes aux syénites feldspathoïdiques. Caractères de ces syénites	463
III. — Échanges métasomatiques et paragenèses des syénites feldspathoïdiques du Kivu	468
IV. — Reproductibilité, par voie hydrothermale, des réactions de transformation des minéraux des syénites	470
V. — Diagrammes de variation des syénites de Kirumba	471
VI. — Comportement des carbonates en présence de solutions sodiques	475
VII. — Problèmes géochimiques	477
VIII. — Esquisse d'une lithogenèse des laves virungiennes	479
IX. — Ouvrages cités	480
X. — Planches.	

Dans une Communication présentée à la séance du 28 juin 1957 de la Classe des Sciences techniques de l'Académie royale des Sciences coloniales (M.-E. DENAEYER, 1957) et dans un Mémoire sous presse (M.-E. DENAEYER, 1959), j'ai montré comment le jeu des réactions métasomatiques entre, *d'une part*, les schistes du socle précambrien du Kivu et, *d'autre part*, des solutions hydrothermales dérivées des roches carbonatées qu'il renferme, ainsi que de ses réserves en chlorure de sodium congénère, peut conduire à une théorie valable de la lithogenèse des roches alcalines à déficit de silice qui caractérisent la région des Virunga.

La présente Note a pour but de faire la synthèse des faits et des arguments venant à l'appui de cette théorie.

I. — PRÉAMBULE.

Je rappellerai d'abord que, dans sa dernière tentative d'explication de la composition des laves ultrabasiques et potassiques du Sud Ouest de l'Uganda (et des Virunga implicitement), A. HOLMES (1950) admettait que ces laves résultaient essentiellement de réactions entre des carbonatites magmatiques et les roches sialiques crustales. Cette théorie fut épaulée ultérieurement par R. A. HIGAZI (1954) dans une étude géochimique des laves de l'Uganda et des Virunga.

L'existence d'un chapelet de syénites feldspathoïdiques bordant la chaîne des Virunga, à l'Ouest du fossé tectonique du Kivu, semble avoir échappé à l'attention de ces auteurs en tant que facteur pouvant intervenir dans la genèse des laves potassiques. Il y avait cependant un rapprochement à faire avec une situation similaire, notamment dans la région de l'Elgon, en Uganda, où B. C. KING (1949) a montré les relations manifestes qui existent entre les produits de ce volcan, les ijolites et la carbonatite de Napak.

Remarquons en passant, avec A. C. WATERS (1956), que la théorie de HOLMES revient à inverser les termes de la théorie classique de DALY-SHAND de l'assimilation des roches carbonatées d'origine sédimentaire par des magmas granitiques.

L'action désilicatante des milieux carbonatés sur les roches sialiques et les magmas n'est pas en discussion, quelle que soit d'ailleurs l'opinion que l'on ait de l'état physique de ces milieux. Ceux-ci existent dans le socle précambrien du Kivu, à l'état de calcaires et dolomies métamorphiques, à proximité des Virunga et, très probablement aussi, sous les champs de laves eux-mêmes.

Mais la difficulté apparaît quand il s'agit d'expliquer les caractères opposés des roches associées dans cette région. Les unes, d'aspect « intrusif », comme les syénites feldspathoïdiques, sont caractérisées par la prépondérance de la soude sur la potasse, tandis que les autres, volcaniques et riches en alcalis, sont sodopotassiques ou à potasse fortement prépondérante.

Dans la croyance magmatiste, on est obligé de recourir aux diverses formes de la théorie de la différenciation ou de faire appel à des « émanations » venues des profondeurs pour expliquer la gamme généralement très étendue des variétés de roches alcalines dans une région donnée. Le jeu de cet échiquier est compliqué, laborieux, et fourmille d'hypothèses gratuites.

La dernière hypothèse de HOLMES indique cependant très clairement qu'il faut chercher la source de la potasse des laves du Centre africain dans les roches sialiques (granites, schistes cristallins, etc.). Mais le principe de la « transfusion » qu'il avait invoqué en 1945, notamment, n'était pas d'une portée générale.

Je pense avoir rassemblé des arguments d'ordre pétrographique et chimique suffisamment probants pour me permettre de soutenir maintenant que les syénites feldspathoïdiques et les roches consanguines ont joué et jouent sans doute encore un rôle important et indispensable d'*intermédiaires* dans le transfert de la potasse des roches sialiques aux laves virungiennes et ugandaises.

Mais d'où vient le sodium requis pour former l'albite, la néphéline, la sodalite, la cancrinite, l'aegyrine, etc. qui entrent pour une très grande part dans la composition des syénites feldspathoïdiques ?

Toutes celles du Kivu ont sensiblement la même composition minéralogique et montrent les mêmes paragenèses. Elles se sont formées très probablement d'une façon identique. Mais toutes ne fournissent pas la démonstration de leur origine. Ce sont celles du massif de Kirumba, situé dans les monts Kasale, à la bordure ouest du fossé tectonique, qui m'ont mis sur la voie d'une explication satisfaisante de l'ensemble de leurs caractères en même temps que d'une explication acceptable de la nature potassique exceptionnelle des laves virungiennes.

L'observation des faits oblige à considérer les syénites feldspathoïdiques de Kirumba, non plus comme des roches « intrusives » de nature magmatique, mais bien comme le produit de transformations et de réactions métasomatiques effectuées sur place, au sein des schistes métamorphiques précambriens, en présence de solutions salines congénères et de solutions hydrothermales carbonatées calciques dérivées des calcaires et dolomies qui sont associées aux schistes et quartzites du Kivu.

Le postulat de l'existence de solutions salines circulant dans le réseau des failles radiales du bouclier de l'Afrique centrale trouve un appui dans la composition des eaux résurgentes du Kivu aussi bien que dans la théorie du sodium « persédimentaire » de W. NIEUWENKAMP (1956). Cette théorie a pour elle le mérite de la simplicité et de la vraisemblance. Elle évite, en tous cas, de faire appel à des « émanations profondes » dont S. J. SHAND (1947, p. 337) disait plaisamment qu'elles « parais-

sent jouer le même rôle dans certaine lithologie moderne que les « humeurs » dans la médecine médiévale; on peut les utiliser pour expliquer n'importe quoi ».

Déjà, en 1908, H. I. JENSEN (p. 491) supposait que des lits de sulfates et de chlorures alcalins déposés dans « l'océan primitif » et montant le long des failles par le même chemin que les « roches ignées » étaient responsables de la formation des « magmas alcalins ». Sous sa forme désuète, cette hypothèse préfigurait le persédimentarisme.

Distribution des syénites feldspathoïdiques du Kivu (fig. 1).

Les centres actuellement connus, dont j'ai étudié au moins quelques spécimens de roches ⁽¹⁾, se situent, du Sud au Nord, dans les régions de Numbi (haute Lowa), de la Nyakisenyi (affluent de la haute Oso, entre Kilowe et Kitofu) ⁽²⁾, de la Bigogo-Nyalukungu (affluents de la haute Mueso, au Nord-Ouest de Bishusha) et de Kirumba (déjà cité). Il faut y ajouter, encore plus au Nord, le centre de la Lueshe (dans les monts Ruindi, entre Kilima et Kikuku), qui se distingue des précédents par la nature spéciale de sa syénite (à cancrinite et calcite), baptisée « busorite » par P. DE BÉTHUNE (1956), et par la présence d'une carbonatite typique.

L'existence d'autres centres analogues au Kivu est des plus probable et il convient, en outre, de signaler, ici, que la syénite feldspathoïdique de la haute Ruvubu, en Urundi [connue jusqu'ici (J. THOREAU, 1932) le long de la route d'Astrida par quelques affleurements] forme un massif important que j'ai délimité à la veille même de la présentation de cette Communication.

II. — LES SYÉNITES MICACÉES DU MASSIF DE KIRUMBA SONT DES ROCHES DE PASSAGE DES MUSCOVITOSCHISTES AUX SYÉNITES FELDSPATHOÏDIQUES. CARACTÈRES DE CES SYÉNITES.

Le massif de Kirumba, d'une vingtaine de kilomètres carrés d'étendue, est encadré de muscovitoschistes et de quartzites

(1) A l'époque de la présentation de cette Communication, l'auteur se consacrait à l'étude plus approfondie de ces centres.

(2) Dans mon Mémoire de l'Académie royale des Sciences coloniales (1959), je désigne cette région sous le nom de « massif de Rusongati ». Son étude, reprise tout récemment, m'a montré que les syénites feldspathoïdiques n'affleurent que dans le lit de la rivière Nyakisenyi et de ses affluents.

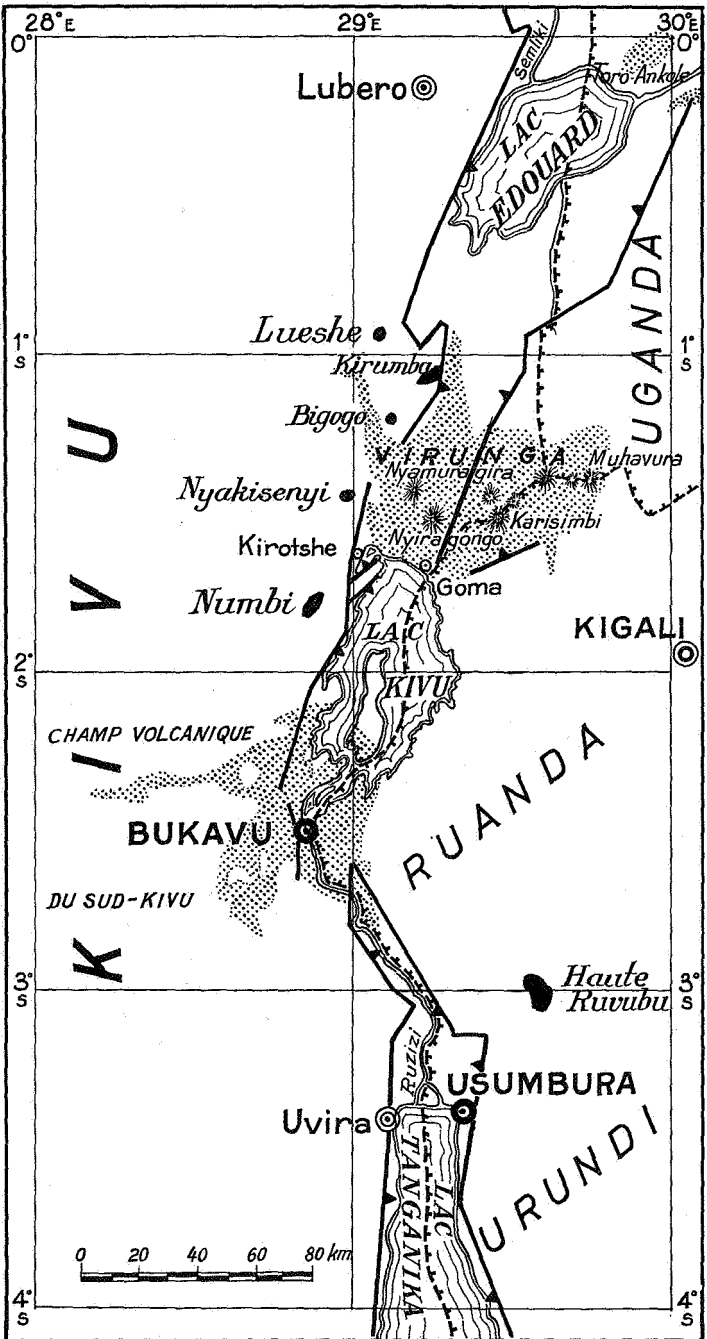


FIG. 1. — Distribution des syénites feldspathoïdiques (en noir).

métamorphiques. Des itabirites sont interstratifiées dans les muscovitoschistes et certains quartzites sont chargés, au contact des syénites, de pyroxènes et d'amphiboles sodiques et aussi d'albite, minéraux caractéristiques du processus de « féni-tisation ».

A la bordure nord du massif, entre les schistes et quartzites, d'une part, et les syénites feldspathoïdiques, de l'autre, se développe une large bande de *syénites micacées*. Ces syénites se divisent en :

- a) syénites à muscovite,
- b) syénites à deux micas,
- c) syénites à biotite.

Les *syénites feldspathoïdiques* comprennent essentiellement les groupes suivants, basés sur la nature de leurs feldspathoïdes :

- d) syénites à néphéline, sodalite et cancrinite,
- e) syénites à sodalite et cancrinite, sans néphéline,
- f) syénites à sodalite ou cancrinite, sans néphéline.

Il s'agit en réalité d'un même type lithologique dans lequel les divers feldspathoïdes sont dominants ou récessifs. La sodalite y est tantôt bleue, tantôt incolore. La cancrinite est représentée, sauf rares exceptions, par sa variété losite à biréfringence plus faible.

Les feldspaths des syénites, tant micacées que feldspathoïdiques, sont exclusivement holoalcalins (microcline et albite); les plagioclases calco-sodiques en sont rigoureusement absents.

Les syénites feldspathoïdiques sont généralement leucocrates. Elles contiennent des quantités variables de barylites, sans atteindre la mésocratise, sauf dans un cas d'exception (lujaurite à cancrinite = sarnaïte). Ces barylites comprennent essentiellement une biotite très ferrière : le lépidomélane (les variétés magnésiennes sont rares), de l'aegyrine (ou de l'acmite), du grenat mélanite, du sphène, de l'ilménite et de la magnétite.

Quelques variétés sont à aegyrine dominante. C'est également le cas des veines de pegmatite qui sillonnent les syénites feldspathoïdiques normales. Ces veines ont la composition de l'ordosite ou de la melteigite. Enfin, une syénite à barckévicitte et diopside a été observée exceptionnellement.

Une foule de minéraux accessoires ou rares, parmi lesquels dominent la calcite, le zircon et la fluorite, accompagnent les feldspaths et les barylites de toutes ces roches. Ce sont : l'apatite, l'idocrase, la tourmaline, la thorite, la c rite, l'allanite, la chevkinite, des minéraux du groupe de la lav nite, l'euxénite (?) et le pyrochlore.

*
**

L'oeil du p trographe le moins averti est immédiatement frappé par quelques caractères essentiels de toutes ces syénites, tant micacées que feldspathoïdiques. J'envisagerai successivement, à cet égard, les coupfolites et les barylites.

A. — CARACTÈRES ET ÉVOLUTION DES COUPHOLITES.

1. La trame muscovitique à grain extrêmement fin des syénites micacées (*a*) ou (*b*) est identique à celle des muscovitoschistes encaissants. Sa recristallisation en lamelles d'une certaine dimension est plutôt exceptionnelle.

2. Des cristaux allongés de microcline se développent aux dépens de cette trame de muscovite, avec toutes les relations intermédiaires d'interpénétration, d'inclusions réciproques, poly- ou monocristallines, et de limites indécises que ce phénomène comporte (Pl. I, fig. 1).

3. Simultanément, le microcline est substitué, partiellement et à des degrés divers, par de l'albite pure, riche en macles polysynthétiques (albite I), avec formation de microperthites et d'antiperthites. La substitution peut être totale.

4. A un niveau d'observation plus fine, on distingue dans les feldspaths de toutes les syénites et dans la trame de muscovite des syénites micacées, des myriades d'inclusions de calcite. Ces inclusions forment généralement des groupes à orientation optique uniforme, parfois en relation de continuité cristallographique avec des plages voisines de calcite, bien individualisées (Pl. I, fig. 2).

Il s'agit manifestement d'inclusions résiduelles d'une phase calcitique plus importante, comparable à celle qui a subsisté dans la busorite de la Lueshe. Les variétés pauvres en calcite de la busorite sont d'ailleurs très semblables à certaines syénites   cancrinite et calcite (avec ou sans sodalite) de Kirumba.

5. A l'épuisement de la muscovite corrélatif de sa microclivisation-albitisation, correspond l'apparition des feldspathoïdes : néphéline, cancrinite et sodalite, étroitement associés entre eux et aux feldspaths alcalins (structures graphiques, dactyloformes, inclusions, couronnes réactionnelles, etc.). A ce stade, du carbonate de calcium et du chlorure de sodium s'intègrent aux feldspathoïdes. Quelques témoins de muscovite résiduelle subsistent parmi ces minéraux (Pl. II, fig. 1 et 2.)

B. — CARACTÈRES ET ÉVOLUTION DES BARYLITES.

6. Certains détails des structures fines semblent indiquer que la muscovite des syénites micacées a réagi, soit avec le fer des itabirites associées aux muscovitoschistes, soit avec le fer de la pyrite de ces derniers, pour donner des biotites riches en fer, pas ou peu magnésiennes (lépidomélanes) (Pl. III, fig. 1). Ces biotites ont tendance à former des agglomérats plus ou moins étendus.

Dès son apparition dans les syénites à deux micas et, régulièrement, dans les syénites feldspathoïdiques, la biotite ou plutôt le lépidomélane subit des transformations complexes, mais faciles à démêler par l'étude des structures.

7. D'une part, le lépidomélane se transforme en une mosaïque de petits cristaux d'albite pure. Cette albite se distingue aisément de l'albite I de perthitisation par son aspect granoblastique et l'absence du caractère polysynthétique de ses macles. C'est l'albite II. Ce feldspath forme alors une trame ou toile de fond dans quoi tous les minéraux barylitiques vont se développer ultérieurement. La cancrinite lui est régulièrement associée. Des résidus non transformés du lépidomélane subsistent souvent en plages poecilites, lamelles déchiquetées ou dispersées, à orientation optique uniforme, dans ou aux environs des agrégats d'albite (Pl. III, fig. 2). Le fer éliminé par la transformation cristallise en formant de petites couronnes ou « fronts basiques » de magnétite et d'ilménite autour des agrégats (Pl. III, fig. 3).

8. D'autre part, les produits de la réaction précédente se recombinaient en partie sur place, au sein du mica et en présence de chaux, pour former de l'aegyrine, du grenat mélanite et du sphène qui sont, dans la plupart des cas, intimement mélangés (Pl. III, fig. 3) ou parfois disposés en couronnes réactionnelles successives.

9. A ces agrégats de barylites secondaires s'associent fréquemment la fluorite, le zircon, la thorite et des minéraux de terres rares.

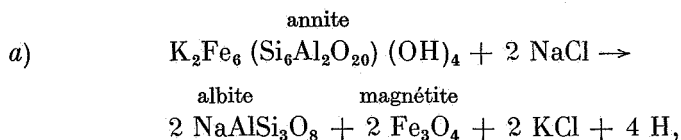
10. Les analyses chimiques montrent que les syénites à biotite (c) (sans muscovite) sont hétéromorphes des syénites néphéliniques. Elles en ont la composition virtuelle. On peut donc les considérer comme des formes de passage des syénites micacées et aux syénites feldspathoïdiques.

III. — ÉCHANGES MÉTASOMATIQUES ET PARAGENÈSES DES SYÉNITES FELDSPATHOÏDIQUES DU KIVU.

Comme il en est fait mention plus haut, toutes les syénites feldspathoïdiques connues au Kivu (sauf la busorite de la Lueshe) sont du même type que celles du massif de Kirumba. Elles montrent les mêmes phénomènes de transformation de leurs minéraux. On est donc fondé à conclure qu'elles procèdent, elles aussi, de la métasomatose syénitisante des schistes qui les encadrent.

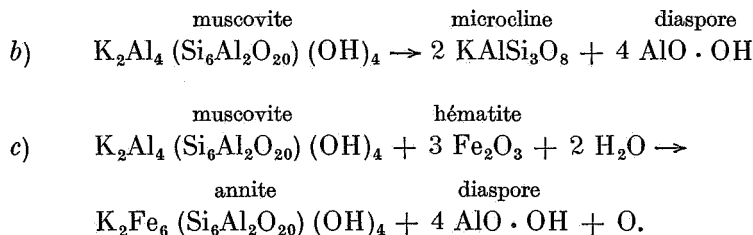
Il est bien évident que les transformations métasomatiques essentielles : albitisation du microcline de (3) et du lépidomélane de (7), impliquent un *apport de soude* important balancé par un *départ équivalent de potasse*.

La transformation du lépidomélane peut se représenter par une équation de ce genre :

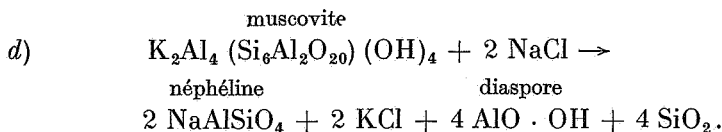


la magnétite représentant le « front basique » de (7).

D'autre part, la microclinisation de la muscovite de (2), de même que sa biotitisation en (6) impliquent un *départ d'alumine* suivant les réactions :



On peut, enfin, envisager une transformation directe de la muscovite en néphéline *avec perte de potasse, d'alumine et de silice*, suivant l'équation :

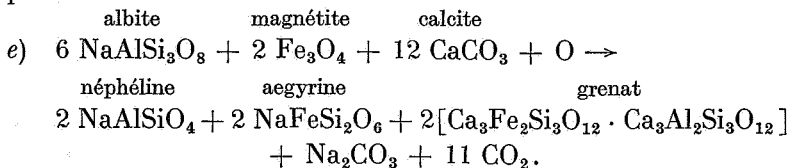


En ce qui concerne le départ d'alumine, on peut considérer comme symptomatique l'existence de disthène dans les mica-schistes de la Lueshe, au contact du complexe carbonatite-busorite, et celle des pegmatites à corindon associées à des syénites néphéliniques de l'Ontario et de l'Oural.

Ce qui est essentiel, *c'est la démonstration apportée ici de la substitution de la soude à la potasse* et du départ de cette potasse qu'on ne retrouve dans aucun des minéraux des syénites feldspathoïdiques, sauf dans leur microcline et leur lépidomélane non transformés.

La calcite, en tant que facteur désilicatant, n'a peut-être pas joué un très grand rôle, comme le montrera, plus loin, le diagramme de variation de la silice (chap. V). Mais la présence constante de la calcite en inclusions dans les feldspaths et comme élément constituant de la cancrinite, l'existence du calcium dans la mélanite et les minéraux accessoires (fluorite, sphène, idocrase, apatite, minéraux de terres rares, etc.) n'en est pas moins significative.

Par exemple, sa combinaison avec les produits de transformation du lépidomélane (annite), c'est-à-dire l'albite et la magnétite du second membre de l'équation (a), peut s'exprimer par :



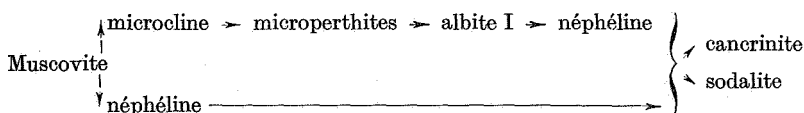
Na_2CO_3 réagit avec de nouvelles quantités d'annite comme dans l'équation (a) où il peut remplacer NaCl.

De ce qui précède, on peut conclure que les coupfolites, d'une part, et les barylites, de l'autre, ont subi deux évolutions parallèles et simultanées, mais distinctes.

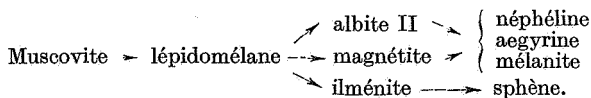
A chaque catégorie sont associés des minéraux accessoires ou rares, suivant leur composition, leur affinité pétrographique ou chimique.

On peut donc résumer le déroulement des paragenèses comme suit :

Paragenèse coupérolitique :



Paragenèse barylitique :



IV. — REPRODUCTIBILITÉ, PAR VOIE HYDROTHERMALE, DES RÉACTIONS DE TRANSFORMATION DES MINÉRAUX DES SYÉNITES.

Des expériences, anciennes et récentes, de reproduction des minéraux par voie hydrothermale en autoclave, ont apporté des résultats *directement applicables aux schémas ci-dessus*.

Les synthèses ou les transformations hydrothermales des minéraux des syénites, à des températures n'excédant pas 500° C et à des pressions souvent inférieures à 500 atm., en présence de sels alcalins ou d'alcalis, sont en grande partie l'œuvre de CH. et G. FRIEDEL, J. WYART, G. SABATIER et M^{me} M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY, dont les travaux ont presque tous paru dans le *Bulletin de la Société française de Minéralogie*.

Je me bornerai à énumérer ci-dessous quelques-uns des résultats obtenus par ces auteurs :

1. Transformation de la muscovite en feldspaths et en feldspathoïdes.

2. Perthitisation et albitisation complète de l'orthose. Passage du potassium en solution.

3. Synthèse de la biotite, à partir de 500° C, en présence de K₂CO₃, K₂SIF₆ et de borax. Au-dessous de cette température, c'est du mica blanc qui se forme, avec un peu de tourmaline.

Et M^{me} M. CHRISTOPHE-MICHEL-LÉVY de remarquer que « le fer et le magnésium (n')entrent dans le réseau de la biotite (qu'à) l'aide d'un minéralisateur tel que le bore ».

Or, les syénites micacées de Kirumba où j'ai constaté la naissance de la biotite à partir de la muscovite, contiennent effectivement de la tourmaline! (Pl. III, fig. 1).

4. Synthèse de l'aegyrine à partir de 250° C et de 70 kg/cm².
5. Synthèse du grenat mélanite en milieu alcalin.

V. — DIAGRAMMES DE VARIATION DES SYÉNITES DE KIRUMBA.

Les diagrammes de variation dressés à l'aide de 23 analyses chimiques des roches de Kirumba concordent avec les observations tirées de l'étude attentive des paragenèses et des échanges métasomatiques que celles-ci impliquent.

Dans cet article, je ne reproduirai pas ces analyses que l'on trouvera (ainsi que des analyses des autres syénites feldspathoïdiques du Kivu) dans mon Mémoire de l'Académie royale des Sciences coloniales (1959), avec tous les calculs pétrographiques qui s'y rapportent.

La variation des teneurs en éléments principaux est exprimée dans le diagramme I (fig. 2) du type Niggli. Cependant il est apparu que les variations des paramètres fondamentaux ne sont pas des fonctions continues du paramètre *si* pris comme variable indépendante. Par contre, en utilisant le paramètre *al*, calculé en fonction de $si + fm + c + alk = 100$, on obtient un diagramme cohérent. Pour une raison d'espace, la silice *y* est exprimée en $si/10$.

Le diagramme I, obtenu à l'aide des moyennes des quatre groupes de roches du massif de Kirumba, montre une diminution régulière, mais faible, de la silice ($si/10$) depuis les muscovitoschistes jusqu'aux roches à aegyrine et une augmentation sensible de la chaux (*c*) à partir des syénites feldspathoïdiques. Par contre, les alcalis (*alk*) et les éléments ferromagnésiens (*fm*) ont deux courbes d'allure opposée, les maxima de l'une correspondant aux minima de l'autre, avec une tendance à l'égalité dans les roches à aegyrine, les plus pauvres en alumine. L'apport d'alcalis (*alk*) est on ne peut plus manifeste dans toute la série, avec son maximum dans les syénites feldspathoïdiques, tandis que *fm* *y* est minimum.

L'utilisation d'un diagramme de variation plus détaillé, construit en subdivisant les quatre groupes du diagramme I en sous-groupes (1), conduit à concevoir une filiation polyphylétique des syénites feldspathoïdiques que l'on peut schématiser sommairement comme suit :

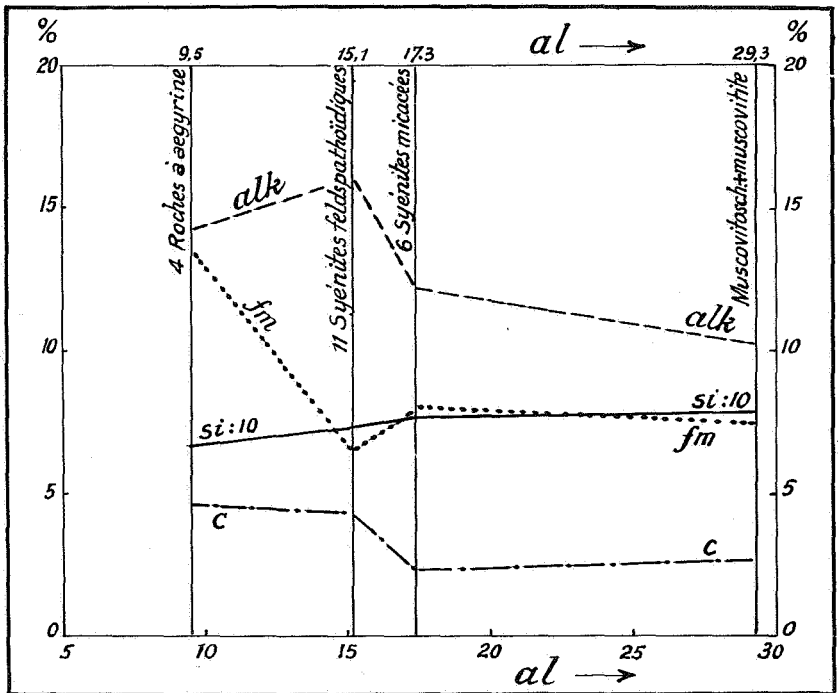
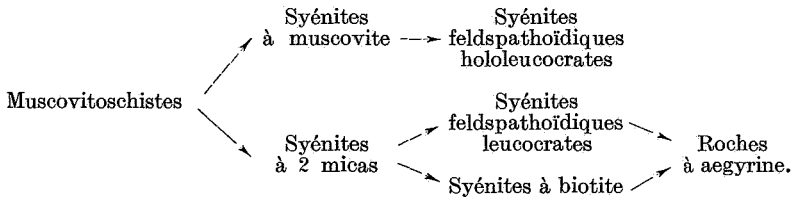


FIG. 2. — Diagramme I : variation des paramètres si , fm , c et alk en fonction de al .

(1) Ce diagramme figure également dans mon Mémoire de l'Académie royale des Sciences coloniales (1959).

Le diagramme II (fig. 3) est essentiel. Il exprime les variations du rapport potasse/soude en fonction du rapport alumine/alcalis pris comme variable indépendante (rapports moléculaires).

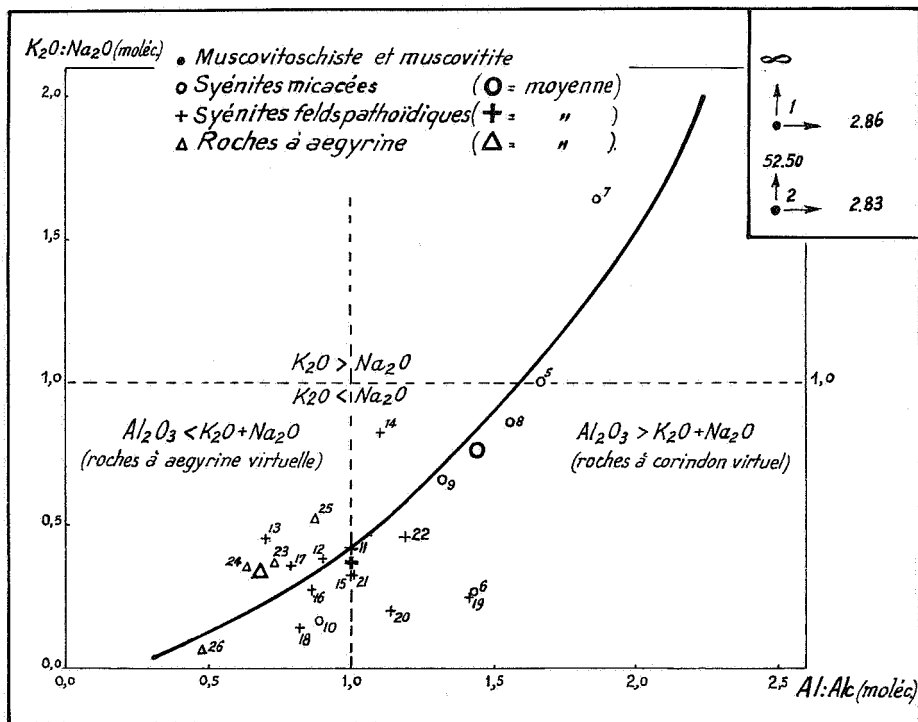


FIG. 3. — Diagramme II : variation des alcalis et de l'alumine.

Il montre que le remplacement de la potasse par la soude est très rapide, dès le début de la feldspathisation (syénitisation) des muscovitoschistes. Cependant, la sodification et la désaluminisation ne sont ni des processus nécessairement liés, ni nécessairement progressifs, comme le fait voir la dispersion des points figuratifs de part et d'autre de la courbe moyenne.

On voit, par exemple, que quatre des syénites feldspathoïdiques (nos 14, 19, 20 et 22) tombent dans le même champ que les syénites micacées à corindon virtuel. Ceci confirme la consanguinité des syénites micacées et des feldspathoïdiques.

D'autre part, la syénite à biotite n° 10 tombe dans le champ des syénites feldspathoïdiques et roches à aegyrine apparentées, ce qui confirme une fois de plus le caractère hétéromorphe de cette syénite.

Remarquons, enfin, que le point figuratif de la syénite feldspathoïdique moyenne tombe à la limite des champs à corindon et à aegyrine virtuels : ce serait une syénite dont les molécules d'alumine balanceraient exactement les molécules d'alcalis et qui ne contiendrait ni muscovite, ni aegyrine exprimées.

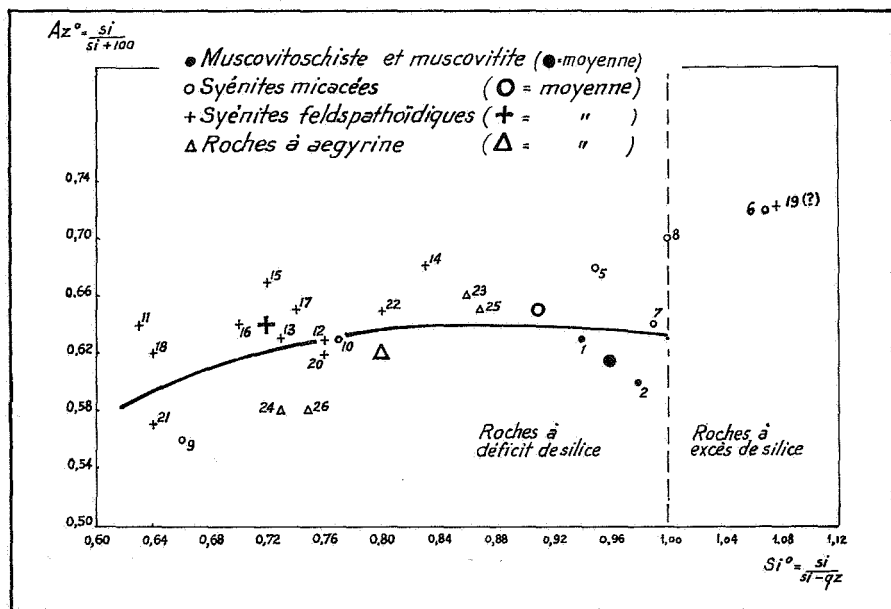


FIG. 4. — Diagramme III : variation de la silice.

Les rapports utilisés par A. RITTMAN dans son étude des laves du Vésuve (1933) semblent les plus appropriés pour rendre manifeste la variation de la silice des roches de Kirumba. Ces rapports sont : le « degré d'acidité » $Az^{\circ} = \frac{si}{si+100}$ et le « degré de silication » $Si^{\circ} = \frac{si}{si-qz}$, formules où si et qz sont deux paramètres de Niggli et $100 = (al + fm + c + alk)$.

Le diagramme III (fig. 4) construit sur cette base montre une assez forte dispersion du « degré d'acidité ». Le « degré de silicatation » suit d'abord une loi linéaire dans le domaine des muscovitoschistes et des syénites micacées et la courbe ne commence à s'infléchir qu'au niveau de la roche à aegyrine moyenne. Il est remarquable que ce soit au voisinage de celle-ci que se situe le point représentatif de la syénite à biotite hétéromorphe (n° 10). La syénite à biotite hétéromorphe n° 9 est aussi remarquable par les valeurs exceptionnellement basses de Az^o et de Si^o qui la font voisiner avec une syénite à sodalite et cancrinite (n° 21). Cependant, les syénites feldspathoïdiques sont très dispersées suivant les deux axes du diagramme, tandis que les roches à aegyrine forment deux groupes distincts.

VI. — COMPORTEMENT DES CARBONATES EN PRÉSENCE DE SOLUTIONS SODIQUES.

Si le rôle désilicifiant de la calcite n'est pas très marqué dans les syénites feldspathoïdiques, c'est parce que les roches-mères elles-mêmes (les muscovitoschistes) ne possèdent pas un « degré de silicatation » très élevé ($Si^o \sim 0,96$). Mais on a vu que la présence de la calcite n'est pas moins évidente et que le calcium s'intègre à de nombreux minéraux métasomatiques des syénites. Le plus probable est que les calcaires du socle précambrien, remis en mouvement par voie hydrothermale, se sont rassemblés quelque part en « carbonatites » associées aux syénites métasomatiques.

Mais l'érosion de la plupart des massifs de syénites feldspathoïdiques du Kivu est probablement trop peu avancée pour avoir découvert leurs noyaux carbonatisés et, d'autre part, la faille bordière qui a amputé le massif de Kirumba a peut être fait disparaître la « carbonatite » associée à ce massif sous le revêtement de lave du fossé tectonique (1). Néanmoins, la présence occulte de ces roches carbonatisées est peu douteuse. L'exemple du massif de la Lueshe — qui a sans doute atteint un stade d'érosion plus avancée — est là pour nous en convaincre.

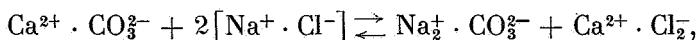
(1) Les couches épaisses de travertin qui tapissent le fossé au pied du massif de Kirumba pourraient être significatives à cet égard.

Comment la mobilisation hydrothermale des roches carbonatées du socle s'est-elle opérée ? Pourquoi leur intervention a-t-elle favorisé la syénitisation des micaschistes ? Pourquoi les solutions hydrothermales ont-elles reprécipité en « carbonatites », ici et pas ailleurs, où l'on voit d'ordinaire les dolomies et les calcaires se transformer par absorption de silice en échange de leur anhydride carbonique, en roches silicatées calcomagnésiennes à trémolite, actinote, hornblende, diopside, grenats, etc.

Ne serait-ce pas à cause de la présence fortuite de solutions sodiques congénères ?

Les chimistes ont constaté, en effet, que les chlorures alcalins accroissent la solubilité ou la dissociation du carbonate de calcium. De plus, le pH et les phénomènes d'hydrolyse jouent un rôle très important dans la reprécipitation du carbonate.

Je ne puis qu'indiquer ici le résultat global des réactions qui règlent la solubilité, les échanges ioniques et la reprécipitation de la calcite en présence d'eau, d'acide carbonique et de chlorure de sodium. On peut exprimer ce résultat, sous forme anhydre, d'une façon sommaire et quelque peu symbolique, par la réaction suivante :



l'équilibre étant fonction du pH, de la température et de la pression de CO_2 .

Le carbonate de soude et les bases fortes produites dans les réactions intermédiaires sont sans doute les agents les plus actifs des transformations métasomatiques décrites plus haut. Ce sont aussi les adjuvants des synthèses hydrothermales des minéraux des syénites.

En conclusion, on peut admettre que les roches en réaction sont imprégnées de sodium et de calcium en solution, à l'état de chlorures, de carbonates, de bicarbonates ou d'hydrates. La diffusion centripète, à travers ces roches, de telles solutions drainant au cours de leur migration des éléments mineurs, semble avoir, pour une bonne part, contribué à la formation des syénites métasomatiques et des roches apparentées. Le calcaire reprécipité a constitué les noyaux de « carbonatite ». Ce processus expliquerait assez bien la structure annulaire grossièrement concentrique des complexes syénito-carbonatitiques. Quant aux carbonates restés en solution, leur reprécipitation ne se produira, sous forme de travertins, qu'aux griffons des sources thermales dont le Kivu est abondamment pourvu.

VII. — PROBLÈMES GÉOCHIMIQUES.

Si nous considérons successivement les éléments majeurs et les éléments mineurs des syénites du Kivu dosés dans les analyses chimiques et aussi les éléments rares non dosés ⁽¹⁾ mais dont la présence est impliquée par les minéraux communs ou accessoires observés, il n'y a aucune difficulté à admettre également, de ce point de vue, que ces syénites réputées intrusives, se sont constituées sur place et aux dépens des schistes précambriens, dans des conditions énergétiques convenables. La géochimie nous apprend, en effet, que la plupart des éléments sont accumulés dans les sédiments en quantités suffisantes et parfois supérieures à celles de la moyenne des roches dites éruptives.

Le problème du sodium. — Cependant, parmi les éléments majeurs, le sodium fait exception et représente un apport certain. Or, le bilan géochimique de cet élément n'impliquerait, d'après les calculs de F. W. CLARKE, qu'une couche mondiale de 600 m de roches éruptives altérées. Cette masse est beaucoup trop faible par rapport aux taux de dénudation observés ou calculés et par rapport au tonnage des roches d'origine sédimentaire entassé dans les géosynclinaux et les boucliers.

La quantité de sodium apportée à l'océan aux cours des âges géologiques doit donc être nettement supérieure à ce qu'on y trouve actuellement en solution. Aussi W. NIEUWENKAMP (1956, p. 414) pense-t-il « que les couches inférieures de la série sédimentaire, supposée épaisse, donnent lieu à un stockage de sodium de toute première importance géochimique ». « Si ceci est vrai », conclut cet auteur, « ne s'agirait-il pas là du sodium si discuté de la granitisation ? » (p. 418).

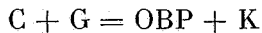
La probabilité d'un « sodium de migmatisation congénère et non juvénile », selon l'expression de NIEUWENKAMP, nous tranquillise au sujet de son afflux dans les syénites du Kivu et d'ailleurs et nous dispense de chercher ses sources dans d'improbables « magmas parents » laborieusement « différenciés ».

Les éléments mineurs. — R. A. HIGAZI (1954) a montré que les laves du Sud Ouest de l'Uganda et des Virunga sont relativement riches en traces d'éléments tels que le strontium, le baryum, le rubidium et le zirconium. L'yttrium et le lanthane sont également assez abondants.

(1) Une étude spectrochimique de ces éléments est en cours.

La comparaison des teneurs en oligo-éléments de quatre carbonatites et de deux calcaires sédimentaires conduit HIGAZI à la conclusion que seules les carbonatites peuvent être des sources de baryum, de strontium, d'yttrium et de lanthane, à l'exclusion des calcaires sédimentaires.

Il suggère donc, en accord avec A. HOLMES (1950), que les laves ultrabasiques du Sud Ouest de l'Uganda et des Virunga résultent de réactions entre des carbonatites *magmatiques* C et les roches sialiques crustales G, suivant l'équation de HOLMES :



où K représente la « katungite » de l'Uganda et OBP les enclaves homœogènes allomorphes à olivine, biotite et pyroxène qu'elle renferme.

La faiblesse de cette argumentation réside surtout dans le nombre dérisoire des carbonatites et des calcaires analysés. Et si même ces conclusions étaient fondées, on peut se demander pourquoi la concentration, par exemple, du strontium, du lanthane et de l'yttrium dans les carbonatites, oblige à conclure à l'origine magmatique de celles-ci.

Il semble moins extravagant de penser que ces éléments se sont concentrés au cours d'une remise en mouvement hydrothermale des calcaires et des dolomies, aboutissant à la formation de carbonatites.

Par ailleurs, ces mêmes éléments sont réunis en quantités notables dans les syénites néphéliniques et particulièrement dans les feldspaths des roches alcalines.

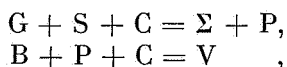
V. M. GOLDSCHMIDT (1954, p. 288) classe d'ailleurs le strontium parmi les éléments thalassophiles et il fait remarquer (p. 315) que les lanthanides figurent en quantités aisément déterminables, tant dans les calcaires sédimentaires et les squelettes des organismes marins que dans les dépôts hydrothermaux et dans les minéraux calciques des roches magmatiques.

Il est vrai que la quantité de strontium en solution dans l'eau de mer est moindre que la quantité totale déversée dans les océans au cours de la dénudation des continents. On retrouve dans le bilan du strontium un déficit analogue à celui du sodium.

VIII. — ESQUISSE D'UNE LITHOGÉNÈSE DES LAVES VIRUNGIENNES.

Compte tenu des faits et hypothèses sommairement exposés dans ce qui précède, je pense que *si l'on veut interpréter la nature spéciale des laves des Virunga, V, comme le produit de réactions entre un magma basaltique ou basanitique primaire, B, et les roches crustales sialiques, G, il faut admettre que ces réactions n'ont pu avoir lieu que par l'intermédiaire de processus métasomatiques qui ont permis la sodification, S, et le départ du potassium, P, des roches sialiques, à des températures relativement basses, et leur désilication, en même temps que celle du magma basaltique, par des carbonatites hydrothermales dérivées de calcaires ou de dolomies sédimentaires, C.*

Pour traduire ces phénomènes complexes, il faut substituer à l'équation simple de HOLMES rappelée plus haut, un système de deux équations :



où Σ représente les syénites néphéliniques, etc.

La suite des réactions pourrait être schématisée de la façon suivante :

1. Mobilisation hydrothermale de calcaires ou de dolomies sédimentaires, activée par la présence de solutions sodiques accumulées dans les schistes alumineux ou circulant dans le réseau des failles radiales.

2. Migration des solutions calciques et sodiques dans les roches sialiques ambiantes.

3. Métasomatose fénitissante, syénitissante et ijolitissante avec apports de soude et de calcium et départ de potassium, de CO_2 (et d'aluminium éventuellement).

4. Reprécipitation de la calcite des calcaires, dolomies ou ankérites (éventuellement « dédolomitisées » ou « désankéritisées » avec formation de pyroxénites, etc.) dans les roches fénitisées et syénitisées. Sa concentration centripète en carbonatites.

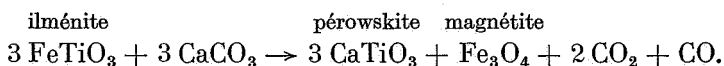
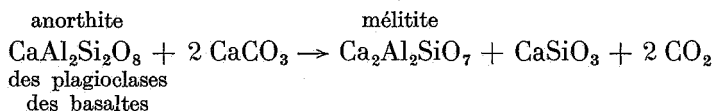
5. Capture du potassium (et de l'aluminium) avec ses éléments accompagnateurs (Rb, Ba, Ga) par le magma basaltique ou basanitique.

6. Désilication et « feldspathoïdisation » simultanées du basalte par assimilation de calcite « carbonatilisée », accompagnée de Sr, La, Y, etc.

7. Libération de nouvelles quantités de CO_2 nécessaires à l'activité explosive.

8. Formation des minéraux calciques spéciaux des laves ultrabasiques feldspathoïdiques.

Exemple : formation de méilitite et de pérowskite



9. Circulation des solutions thermales résiduelles (bicarbonatées calciques et chlorurées sodiques ⁽¹⁾) dans le réseau des failles radiales et dépôt des travertins.

Buheno (Kivu), 1958.

OUVRAGES CITÉS.

- BÉTHUNE, P. DE, 1956, La busorite, une roche feldspathoïdale nouvelle du Kivu. (*Bull. Soc. belge Géol.*, t. LXV, pp. 394-399.)
- DENAEYER, M.-E., 1957, Premiers résultats de l'étude des syénites feldspathoïdiques du massif de Kirumba (Kivu). Leur origine métasomatique et leur radioactivité. (*Bull. Acad. roy. Sci. col., Cl. Sc. tech.*, séance du 28 juin 1957, t. III, 4, pp. 920-922.)
- 1957, Les syénites métasomatiques de Kirumba (Kivu) et le caractère potassique des laves des Virunga. (*C. R. Acad. Sc.*, Paris, t. 245, pp. 1448-1451.)
- 1959, Les syénites métasomatiques du massif de Kirumba. Contribution à la lithogenèse des volcans du Kivu (Congo belge). (*Mém. Acad. roy. Sc. col., Cl. Sc. tech.*, in-8°, 235 p., 12 fig., 24 pl. photos et 2 annexes.)
- GOLDSCHMIDT, V. M., 1954, *Geochemistry*. Oxford.
- HIGAZY, R. A., 1954, Trace elements of volcanic ultrabasic potassic rocks of southwestern Uganda and adjoining part of the Belgian Congo. (*Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 65, pp. 39-70.)

(¹) Les analyses des eaux thermales de la région avoisinant les Virunga répondent bien à cette composition. Par contre, les eaux plus éloignées, du Sud-Kivu, renferment, en outre, beaucoup de Mg^{++} et de K^+ . S'agirait-il du K^+ déplacé des roches sialiques par la métasomatose sodique et qui n'a pas trouvé d'emploi dans la « potassification » des basaltes ?

- HOLMES, A., 1945, Leucitized granite xenoliths from the potash-rich lavas of Bunyaruguru. (*Amer. Journ. Sc.* [Daly Volume], vol. 243 A, pp. 313-322.)
- 1950, Petrogenesis of Katungite and its associates. (*Amer. Miner.*, vol. 35, pp. 772-792.)
- JENSEN, H. I., 1908, *Proc. Linn. Soc.*, New South Wales, vol. 33.
- KING, B. C., 1949, The Napak area of southern Karamoja, Uganda : A study of a dissected late tertiary volcano. (*Geol. Surv. Uganda*, Mem. 5.)
- NIEUWENKAMP, W., 1956, Géochimie classique et transformiste. (*Bull. Soc. Géol. Fr.*, 6^e sér., t. VI, pp. 407-429.)
- RITTMAN, A., 1933, Die geologisch bedingte Evolution und Differentiation des Somma-Vesuvmagmas. (*Zeit. der Vulkanologie*, t. 15, pp. 8 - 94.)
- SHAND, S. J., 1947, *Eruptive Rocks*. London, N. Y.
- THOREAU, J., 1932, Le massif alcalin de la Haute-Ruvubu (Urundi), (*Bull. Acad. roy. Belg., Cl. Sc.*, 5^e sér., t. XVIII, pp. 877-883.)
- WATERS, A. C., 1955, Volcanic Rocks and the tectonic cycle in Crust of the Earth. Éd. A. Poldervaart. (*Geol. Soc. Amer.*, Spec. Paper 62, pp. 717-720.)

PLANCHE I

EXPLICATION DE LA PLANCHE I.

FIG. 1. — *Syénite à muscovite*. Crête de Kirumba (Dn 56.166, UB.L. C5232).

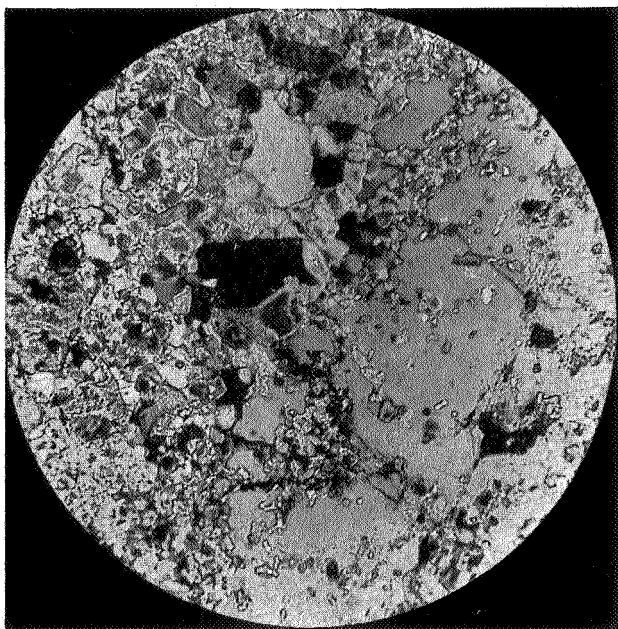
Gross. 120×, nicols croisés.

Développement d'un feldspath maclé (à l'éclaircement commun) aux dépens de la trame de muscovite microcristalline. Celle-ci forme des traînées et des essaims ou bien subsiste en monocristaux au sein du feldspath dont les contours sont irréguliers et déchiquetés.

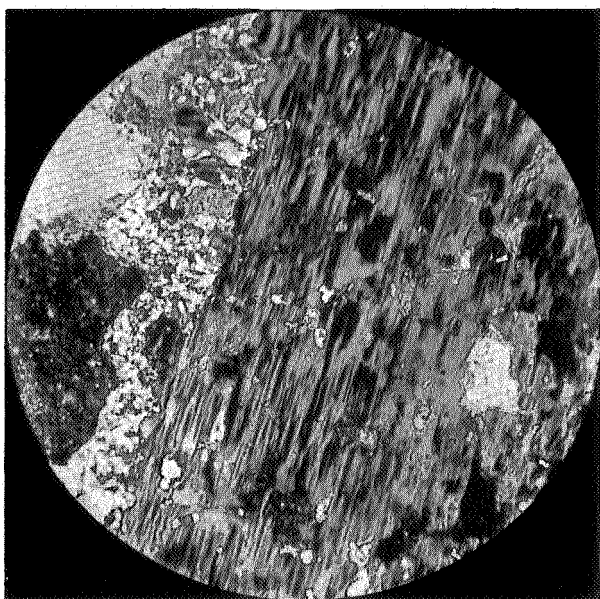
FIG. 2. — *Syénite à muscovite* (même localité et mêmes numéros).

Gross. 120×, nicols croisés.

Grand cristal maclé d'albite I englobant des inclusions de calcite. Deux plages de calcite, au bord gauche de la photo, sont séparées de l'albite par une bande de muscovite. La plage inférieure est presque à l'extention en même temps que trois ou quatre petites inclusions dans la partie inférieure du cristal d'albite. La plage du haut est à l'éclaircement maximum en même temps que toutes les autres inclusions de calcite dans l'albite. A la loupe, on les distingue des inclusions de muscovite, grâce aux franges d'interférence. Une inclusion assez grosse se trouve près du bord droit de la photo.



1.



2.

PLANCHE II

EXPLICATION DE LA PLANCHE II.

FIG. 1. — *Syénite néphélinique à sodalite incolore et cancrinite (losite)*.
Rive droite de la rivière Tulabishia, Kirumba (Dn 56.178,
UB.L. C5244).

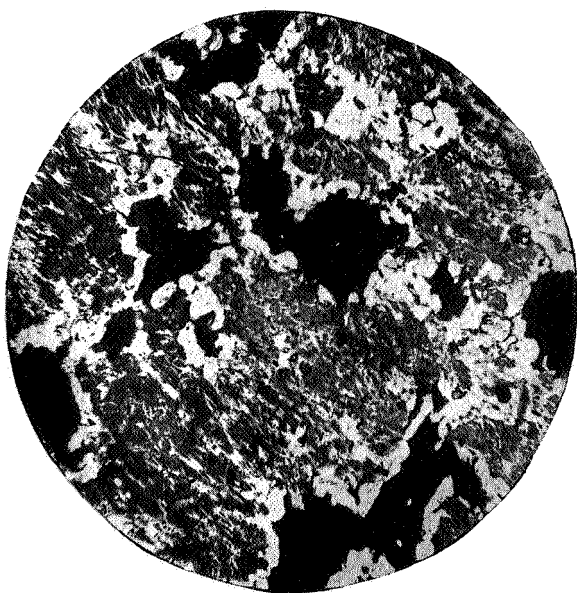
Gross. 52×, nicols croisés.

Association graphique de microp Perthite et de néphéline. La néphéline se développe au sein de la microp Perthite en plages irrégulières (à l'extinction sur la photo : plages noires). Ces plages sont auréolées d'albite (en blanc). Celle-ci se prolonge en un chevelu de veinules d'orientation optique uniforme dans un cristal unique de microcline (en gris : les macles sont à l'éclairement commun).

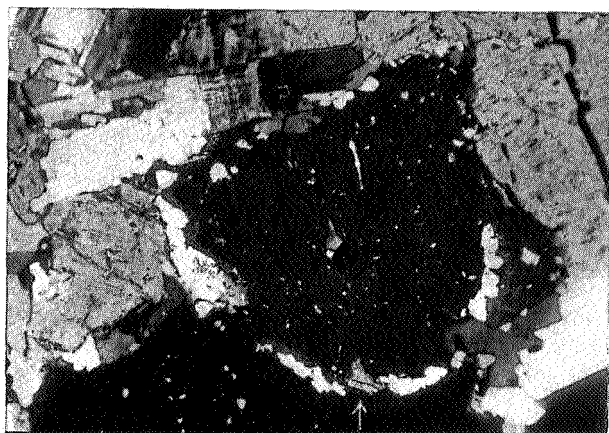
FIG. 2. — *Syénite néphélinique à sodalite incolore et cancrinite (losite)*.
Escarpement de Kirumba (Muséum, Paris, Σ^{322}).

Gross. 105×, nicols croisés.

Un cristal de néphéline en position d'extinction est entouré d'une couronne de petits cristaux granoblastiques de losite. La losite y dessine aussi des files d'inclusions. Quelques paillettes de muscovite résiduelle sont logées entre les cristaux de losite. L'une d'elle est visible au bord inférieur de la couronne de losite, au-dessus de la flèche.



1.



2.

PLANCHE III

EXPLICATION DE LA PLANCHE III.

FIG. 1. — *Syénite à deux micas*. Village Bushashire III, Kirumba (Dn 56.163⁵, UB.L. C5256).

Gross. 150×, lumière naturelle.

En noir, biotite naissante (lépidomélane) en traînées diffuses et taches dans la muscovite. Au bord inférieur de la photo (en noir) extrémité d'un cristal de tourmaline.

FIG. 2. — *Syénite à biotite*. Crête de Kirumba (Dn 56.164, UB.L. C5230).

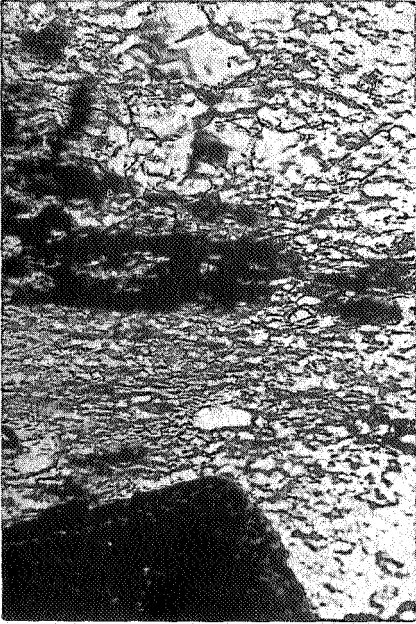
Gross. 105×, lumière naturelle.

En blanc, albite II granoblastique renfermant des files d'inclusions de biotite résiduelle. Ces inclusions ont rigoureusement la même orientation que la grande lame déchiquetée de biotite englobant l'albite. En noir, magnétite.

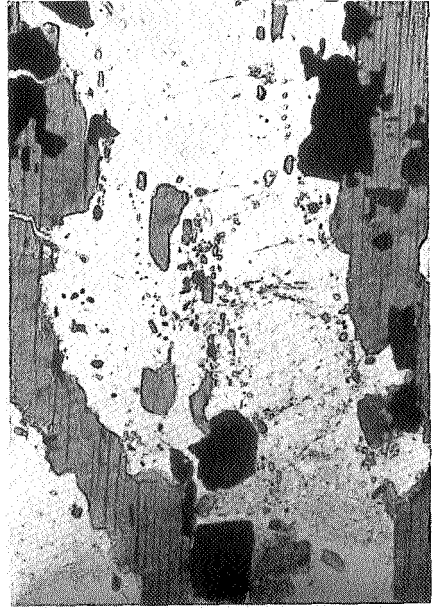
FIG. 3. — *Syénite néphélinique à sodalite incolore et cancrinite*. Tulabishia supérieure, Kirumba (Dn 56.160¹, UB.L. C5219).

Gross. 60×, lumière naturelle.

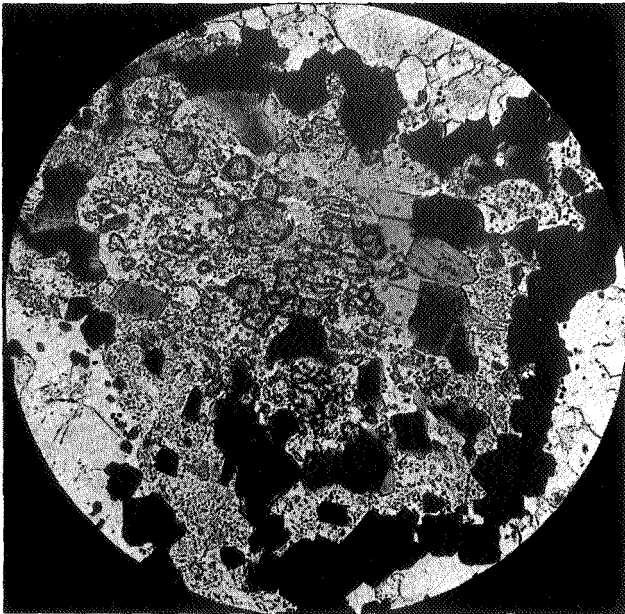
Sur un fond d'albite II granoblastique dont les cristaux sont chargés d'une poussière d'inclusions d'acmite (fines granulations) se détachent des cristaux de mélanite à relief fort et des lamelles de biotite résiduelle. Un front de magnétite entoure cet assemblage. A la périphérie de la photo, cristaux de losite (en blanc) et de sodalite (grisâtres) à relief légèrement chagriné.



1.



2.



3.