

Âges de minéralisations pegmatitiques et filoniennes du Rwanda et du Burundi (1),

par G. MONTEYNE-POULAERT (2), R. DELWICHE (2)
et L. CAHEN (3).

SUMMARY. — *This paper presents part of a programme dealing with the ages of pegmatite and vein minerals from the Kibara-Urundi-Karagwe Ankolean belt. Ages of sixteen pegmatite and vein minerals from Rwanda and Burundi have been obtained by the strontium-rubidium ($\lambda = 1,47 \cdot 10^{-11} \cdot y^{-1}$), lead-uranium and common lead methods. These ages fall into two groups.*

Eleven muscovites, one microcline and one common lead, from tin and niobium-tantalum-bearing pegmatites and veins (8 localities in Rwanda and 3 in Burundi), yield apparent and conventional ages between 870 m.y. and 1000 m.y. Three Sr-Rb determinations on lepidolites from similar pegmatites from Northern Katanga, comprised in the expression 920 ± 25 m.y., which lies in the range obtained in Rwanda and Burundi, are included for comparison. As the range from 870 m.y. to 1000 m.y. is greater than the uncertainty of each measurement, it is probable that these pegmatites and veins do not represent one single event and that part of the scatter is real. The age range 870-1000 m.y. characterizes pegmatites and veins which are post-tectonic events of the Urundian or Karagwe-Ankolean cycle. The occurrences from Northern Katanga are post-tectonic events of the equivalent Kibara cycle.

One, or two, much younger events are indicated by minerals found or thought to occur in quartz veins which are emplaced in the above-mentioned pegmatites. A mineral of the microbrite-pyrochlore group from Buranga is circa 555 m.y. old and a galena from Kababara has a common lead conventional age of 620 ± 50 m.y. These figures occur in the range of Katangan and post-Katangan ages. The quartz veins therefore appear to be much younger than the host pegmatites. As this question is of interest to metallogeny it will be further investigated.

A galena from Rushubi (Burundi) has a lead of anomalous isotopic constitution.

INTRODUCTION.

Dans le cadre d'une étude géochronologique détaillée de roches et de minéraux kibariens et urundiens du Katanga, du Kivu, du Maniema, du Rwanda et du Burundi, des mesures d'âges ont été effectuées sur des minéraux de pegmatites et de filons des deux derniers pays cités. Ces pegmatites et ces

(1) Recherches entreprises dans le cadre du contrat n° 013-61-7 AGEC de l'Association EURATOM-U.L.B.-C.N.E.N. (Italie).

(2) Service de Géologie et de Géochimie nucléaires de l'U.L.B., chercheurs de l'Institut interuniversitaire des Sciences nucléaires.

(3) Musée Royal de l'Afrique Centrale, Tervuren.

filons étaient présumés avoir une relation avec l'orogénèse kibarienne (urundienne).

Le présent travail groupe 11 déterminations d'âges par la méthode Sr-Rb, sur des muscovites et une sur feldspath, 3 déterminations d'âges sur des galènes par la mesure des rapports isotopiques du plomb et 2 déterminations d'âges sur des colombo-tantalites combinant la méthode du Ra D (HOUTERMANS, 1951) et la mesure des rapports isotopiques du plomb pour permettre l'établissement des rapports Pb^{207}/Pb^{206} , Pb^{206}/U^{238} , Pb^{207}/U^{235} .

Les techniques employées pour la détermination du rubidium et du strontium sont presque identiques à celles décrites par ALDRICH *et al.* (1956). Les âges ont été calculés en utilisant la valeur : $\lambda = 1,47 \cdot 10^{-11} a^{-1}$, pour la constante de désintégration du Rb^{87} , et pour les rapports isotopiques du Rb et du Sr commun, les valeurs suivantes : Rb^{85} : 72,15 %; Rb^{87} : 27,85 %; Sr^{88} : 82,60 %; Sr^{87} : 7,02 %; Sr^{86} : 9,86 %; Sr^{84} : 0,52 %.

L'âge des galènes est obtenu par la méthode HOLMES-HOUTERMANS à partir des tables établies par R. P. G. POCKLEY (1961).

Les âges des minéraux uranifères ont été calculés à partir des tables de L. T. STIEFF *et al.* (1959).

Les mesures isotopiques nécessitées tant pour la méthode Sr-Rb que pour la connaissance des rapports isotopiques du plomb ont été effectuées sur un spectromètre de masse dont les caractéristiques sont les suivantes : simple focalisation (1^{er} ordre), angle de champ : 60°, rayon de courbure du séparateur magnétique : 32,7 cm, source solide, résolution réglable.

RÉSULTATS ANALYTIQUES ET ÂGES APPARENTS.

1. Micas et feldspaths de pegmatites ou filons à Sn et/ou à Nb/Ta.

Les douze résultats consignés au tableau 1 appartiennent à des pegmatites réparties sur l'ensemble du Rwanda et du Burundi.

L'incertitude sur l'âge résultant de la précision des mesures est, au maximum, de 5 % environ. Les âges apparents sont arrondis aux 5 millions d'années les plus proches.

Les muscovites de Katumba, de Buranga et de Lemera sont légèrement verdâtres et lithiques.

la méthode Sr-Rb. La deuxième mesure et la troisième ont été effectuées sur deux portions différentes d'un même gros échantillon.

TABLEAU 2.

	Rb ⁸⁷ ppm	Sr ppm	Sr ⁸⁷ rad ppm	Sr ⁸⁷ rad Sr ⁸⁷ tot %	Age m.a.	
					Rb/Sr	K/A
Muika, lépidolite	3580	—	47,7	99	900	915
RG. 3117 Manono, lépidolite ...	3510	—	48,6	99	920	840
	Rb					
RG. 3117 Manono, lépidolite ...	15040	10,0	59,6	99	945	—

2. Plombs communs filoniens.

Trois plombs de galène ont été analysés; les résultats sont consignés au tableau 3.

TABLEAU 3.

	Pb ²⁰⁶ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁷ /Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁸ /Pb ²⁰⁴	Age conventionnel m.a.
RG. 6005 Rutongo	18,26 ± 0,05	16,10 ± 0,08	38,40 ± 0,19	916 ± 50
RG. 6006 Kababara	18,76 ± 0,06	16,15 ± 0,06	38,98 ± 0,14	621 ± 50
RG. 8763 Rushubi	20,16 ± 0,10	16,64 ± 0,10	39,15 ± 0,21	(245 ± 50)

3. Microlite de Buranga.

Deux mesures ont été faites sur ce minéral uranifère, les résultats figurent au tableau 4. La correction du plomb commun a été faite au moyen de la composition isotopique du plomb de Kababara.

TABLEAU 4.

	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸
RG. 5905	0,479 ± 0,001	68,07 ± 0,19	11,20 ± 0,02	20,24 ± 0,02
RG. 5904	0,608 ± 0,002	61,26 ± 0,18	12,77 ± 0,03	25,35 ± 0,06

	U/Pb	t ^{207/206} m.a	t ^{206/238} m.a	t ^{207/235} m.a
RG. 5905	0,849 · 10 ⁻² ± 0,025 · 10 ⁻² gr par 1.10 ⁻³ ± 0,02.10 ⁻³ gr Pb	557 ± 38	502 ± 26	511 ± 26
RG. 5904	0,980 · 10 ⁻² ± 0,045 · 10 ⁻² gr par 1.10 ⁻³ ± 0,02.10 ⁻³ gr Pb	587 ± 43	370 ± 28	402 ± 39

DONNÉES GÉOLOGIQUES SUR LES ÉCHANTILLONS.

Région de *Rutongo-Kigali*. La muscovite de la mine de Rutongo (à 25 km au Nord de Kigali, 30°02' E, 1°50' S) provient des éponges des « filons diaclases » de quartz stannifère et de petits filonnets de muscovite seule, situés dans les « pieds » des filons (A. LHOEST, 1957).

La galène de Rutongo (tabl. 3), accompagnée de mispickel, provient des mêmes filons de quartz que la muscovite n° RG. 8517 (voir A. LHOEST, 1957). Son âge conventionnel est concordant avec l'âge apparent de la muscovite.

La muscovite de Nyabugongo provient d'une pegmatite située sur la rive gauche de la rivière Nyabugongo, au Nord-Est de Kigali (30°04' E, 1°54' S) (A. LHOEST, 1957). Les échantillons nous ont été remis par A. LHOEST.

Région de *Katumba*. Les pegmatites de cette région ont fait l'objet des études de plusieurs géologues et de nombreux minéralogistes (voir : A. BERTOSSA, 1960; J. ALTMANN, 1961). A ce groupe, au sens étroit, appartiennent les pegmatites de Katumba et de Buranga. La première est située au Sud du poste de Katumba, c'est une pegmatite à quartz, feldspath, muscovite, tourmaline noire et apatite; la minéralisation comporte de la cassitérite et un peu de niobotantalates. La pegmatite de Buranga, célèbre pour sa minéralogie particulièrement riche (plus de 50 minéraux en sont connus), est située à environ 1 km au Nord du poste de Katumba. Il s'agit d'une pegmatite à muscovite avec niobotantalates prédominant sur cassitérite, béryl, spodumène, amblygonite, micas lithiques, phosphates ferro-manganésifères, etc. Les coordonnées du poste de Katumba sont 29°38' E, 1°55' S. Les échantillons proviennent de la Société MINÉTAÏN.

Assez nettement au Sud de Katumba, près du confluent Kinbiti-Nyawarongo, se trouve la pegmatite de Bijojo (29°37' E, 1°59' S) et plus au Sud encore, sur la route Gitarama-Mwaka, celle de Lemera (29°38' E, 2°05' S) à mica légèrement verdâtre, niobo-tantalates, béryl et phosphates. Les deux échantillons ont été recueillis par L. PEETERS.

La muscovite de la mine de *Mbuye* (dans le territoire de Kibungu, en 3°27' E, 2°29' S) provient d'une pegmatite avec noyaux de quartz, à columbite et un peu de cassitérite. Celle des environs de Rutana (Burundi) n'a pas été localisée avec précision; elle provient d'un filon probablement pegmatitique, situé en bordure de route, très probablement dans le voisinage de 29°58' E, 3°53' S. Ces deux échantillons ont été remis par A. LHOEST qui a personnellement recueilli le premier, tandis que le second lui a été remis par un agronome.

Les trois pegmatites suivantes proviennent de localités situées à distance plus ou moins grande de l'axe routier Usumbura-Astrida. La muscovite de *Gakara* provient d'une pegmatite du gîte à bastnaesite de la Karonge, de coordonnées 29°27' E, 3°32' S (J. THOREAU, B. ADERCA et L. VAN WAMBEKE, 1958). La muscovite du *Km 139* de la route Usumbura-Astrida (29°40' E, 2°46' S) provient d'une pegmatite située à 2 km au Nord de la rivière Akanyaru qui forme la limite entre le Rwanda et le Burundi. Ces deux échantillons nous ont été remis par A. LHOEST. Enfin la muscovite du « *Km 23 de l'axe A* » provient d'un massif pegmatitique constitué en grande partie par de l'albite avec,

en plus, des facies plus micacés. Le gisement est situé entre les km 23,160 et 23,600 de la nouvelle route Usumbura-Astrida, le 0 étant pris au pont de la Ndahangwa de la route Usumbura-Bubanga. Les coordonnées de ce gîte sont 29°31' E, 3°19' S (D. DE BOURNONVILLE, 1960). L'échantillon nous a été envoyé par le Service Géologique du Ruanda-Urundi (1961).

Les pegmatites et filons de Rutongo, Nyabugongo, Mbuye et des environs de Rutana sont enchâssés dans l'Urundien typique. Ceux de la région de Katumba affectent, selon la carte de F. DELHAYE et A. SALÉE (1928), une région dont les roches appartiendraient au Ruzizien. Pour P. ANTUN (inédit) ces couches seraient effectivement anté-urundiennes alors que selon A. BERTOSSA (1960) il s'agirait de couches urundiennes. Les pegmatites de la région de la route Usumbura-Astrida sont intrusives dans le Ruzizien, certainement pour deux d'entre elles, probablement pour la troisième.

Le minéral uranifère du groupe microlite-pyrochlore a été trouvé dans des concentrés du voisinage immédiat de la pegmatite de Buranga. Il n'y a jamais été observé en place (A. BERTOSSA, 1960; J. ALTMANN, 1961), mais des géologues et mineurs de la Société MINÉTAÏN pensent que la microlite pourrait provenir des filons ou masses quartzeuses qui paraissent traverser la pegmatite (voir A. BERTOSSA, 1960). ALTMANN (1961) note qu'une grande partie des minéraux de cette zone au voisinage de la masse quartzeuse « semble avoir été modifiée et remplacée tardivement par des minéraux épigéniques ». L'échantillon nous a été remis par la Société MINÉTAÏN.

La galène de la mine de Kababara (29°48' E, 1°51' S), à 25 km au Nord-Ouest de Kigali, sur la Nyawarongo, a un âge conventionnel beaucoup plus jeune qui la classe parmi les minéraux d'âge katangien (L. CAHEN *et al.*, 1961). Selon W. KRENNING et B. M. ADERCA (renseignements verbaux), le gîte de Kababara est une pegmatite de 80 cm de puissance, riche en quartz, amblygonite et apatite. Ses parties feldspathiques altérées renferment de la cassitérite fine et les zones quartzeuses sont minéralisées en columbo-tantalite. Ce sont des amas filoniens de quartz à allure plus ou moins perpendiculaire au toit et au mur de la pegmatite qui renferment les sulfures. Ces filons pénètrent dans la roche environnante et sont nettement postérieurs à la pegmatite. Cette observation s'accorde avec l'âge conventionnel obtenu.

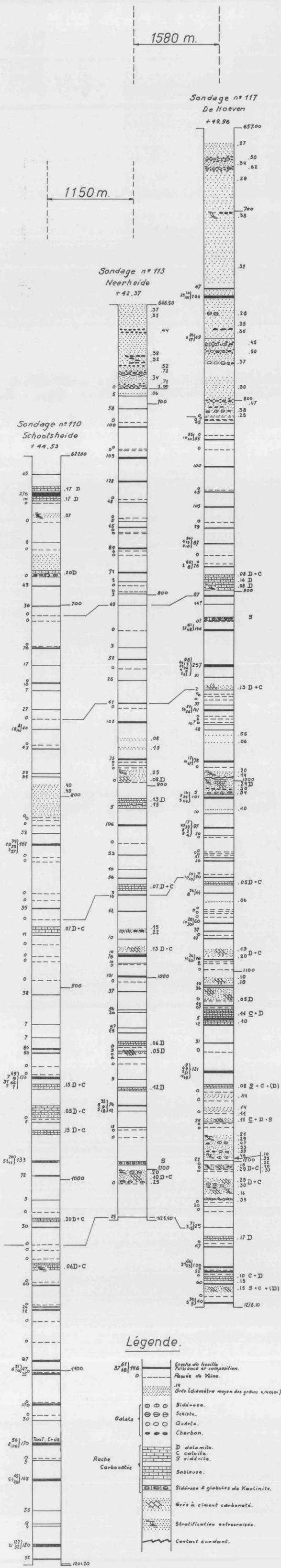


FIG. 2. — Les sondages n°s 110, 113 et 117 (Corrélation A. DELMER).

La galène de *Rushubi* (29°29' E, 3°22' S) est sise dans un massif granitique et accompagnée d'une minéralisation cuprifère. Les rapports isotopiques de son plomb indiquent un apport anormal de plomb radiogénique, il s'agit d'une anomalie de type J. de HOUTERMANS (1953). Récolteur : A. LHOEST.

DISCUSSION DES RÉSULTATS.

Les âges apparents obtenus sur les muscovites et le microcline du tableau 1, ainsi que sur la galène de Rutongo (tabl. 3), sont compris entre 870 m.a. et 1000 m.a.; leur moyenne est 940 m.a.

La dispersion de ces âges apparents dépasse les limites d'incertitude résultant des mesures. On peut donc penser qu'ils correspondent à plusieurs phases pegmatitiques et filoniennes. Leur examen n'indique aucune différence d'ordre régional; on ne constate pas non plus de différences systématiques suivant la minéralisation dominante (cassitérite ou columbo-tantalite), ni suivant aucun critère minéralogique ⁽¹⁾. Sur une même pegmatite, l'âge apparent d'une muscovite fraîche, en sondage, est 871 m.a., celui d'une muscovite un peu moins fraîche, en affleurement, est 918 m.a. Enfin l'examen statistique ne révèle pas, peut-être parce que les résultats présentés ici sont trop peu nombreux, de concentration suffisamment nette autour de l'une ou l'autre valeur. Dans ces conditions, il est indispensable de disposer de vérifications par d'autres méthodes ou de pouvoir procéder à un examen statistique plus complet avant de tenter de dater ces différentes phases.

L'examen du tableau 2 permet aisément de se rendre compte en outre que les résultats obtenus par la méthode Rb/Sr sur des pegmatites du Katanga sont compris entre les limites de dispersion de ceux du Rwanda et du Burundi (les incertitudes des mesures faites à Washington sont analogues aux nôtres).

⁽¹⁾ Du moins d'aucun critère minéralogique certain. On constate toutefois que les muscovites verdâtres lithiques ont un âge apparent moyen (900 m.a.) nettement plus jeune que les muscovites franches (960 m.a.). Il y a cependant recouvrement entre les deux groupes dont le premier est compris entre 870 et 940 m.a. et le second entre 900 et 1000 m.a. D'autre part les échantillons analysés de ces deux types de mica ne proviennent pas des mêmes pegmatites de sorte que aucune comparaison directe n'est possible. Au surplus dans chacun des deux groupes minéralogiques, la dispersion des résultats reste élevée. Considérée isolément cette observation est donc peu probante.

Les résultats compris entre 870 et 1000 m.a. sont obtenus par trois méthodes différentes sur différents minéraux et l'on peut donc dire qu'un grand nombre de pegmatites et filons de greisen de la vaste province géologique kibaro-urundienne ont des âges compris entre ces limites.

A côté de ces 13 résultats compris entre 870 et 1000 m.a. on constate l'existence de deux minéraux sensiblement plus jeunes.

Les deux échantillons de microlite de Buranga proviennent des mêmes concentrés et ne diffèrent que par la granulométrie plus fine du second (RG. 5904) dont les mesures sont d'ailleurs moins précises.

Le premier échantillon (RG. 5905), envisagé seul, est concordant entre les valeurs de 519 et 527 m.a. et pourrait donc être âgé de 523 ± 4 m.a. On pourrait encore admettre que, les âges $t^{207/206}$ étant imprécis pour ce minéral relativement jeune, seuls les âges $t^{206/238}$ et $t^{207/235}$ doivent être pris en considération, ce qui permettrait d'attribuer au premier minéral un âge de 506 ± 5 m.a.

Toutefois si on tient compte du spécimen RG. 5904, une autre interprétation paraît s'imposer : les deux fractions de concentré paraissent avoir perdu du plomb. Dans ce cas l'âge $t^{207/206}$ est le meilleur et un âge de 557 ± 38 m.a. serait plausible. L'âge ne paraît pas devoir être plus grand que 587 ± 43 m.a. puisque la perte de plomb paraît récente et probablement due au fait que le minéral est éluvionnaire (pour des discussions analogues plus détaillées voir L. CAHEN *et al.*, 1961).

Un graphique « Concordia » (G. W. WETHERILL, 1956), qui sera publié ultérieurement, confirme que l'âge véritable de la microlite serait voisin de 550 m.a. et que la perte de plomb serait tout à fait récente.

L'âge conventionnel du plomb de la galène de Kababara est 621 ± 50 m.a. Il n'est donc pas très éloigné de l'âge de la microlite. Bien que les trois âges se recouvrent entre les valeurs de 571 m.a. et 595 m.a. et qu'il puisse, par conséquent, s'agir d'un seul épisode, le fait que l'âge de la microlite paraît voisin de 550 m.a. est plutôt en faveur de l'existence de deux épisodes jeunes, l'un à 550 m.a. et l'autre vers 620 m.a., toutefois on ne doit pas accorder trop de poids à un âge conventionnel unique.

CONCLUSIONS.

Les recherches rapportées ici permettent d'aboutir aux conclusions suivantes :

1° Les pegmatites à cassitérite et/ou à columbo-tantalites du Rwanda et du Burundi sont d'âge compris entre 870 et 1000 m.a. et contemporaines des pegmatites à minéralisations analogues du Katanga.

Ceci est une confirmation d'un postulat admis par la plupart des géologues de l'Afrique centrale.

2° Ces âges de 870-1000 m.a. constituent une limite jeune pour l'âge de l'Urundien. Celui-ci pourrait être assez sensiblement antérieur puisque A. LHOEST (1957) a montré qu'à la Nyabugongo (975 m.a.) le plissement des couches urundiennes (et le microplissement des muscovitoschistes) est antérieur à la mise en place du granite auquel la pegmatite à muscovite datée est liée. Ces dates caractérisent donc des épisodes postérieurs à la tectonique urundienne.

3° Un ou deux épisodes plus tardifs encore sont constitués par les minéralisations jeunes (555 m.a. et peut-être 620 m.a.) d'âge post-katangien et katangien (L. CAHEN *et al.*, 1961), qui sont liés ou sont présumés être liés à des épisodes filoniens postérieurs à la mise en place des pegmatites. Ces épisodes seraient donc *largement* postérieurs aux pegmatites. Ce fait pouvant avoir de l'importance sur le plan métallogénique devra faire l'objet d'études plus détaillées.

REMERCIEMENTS.

Les mesures ont été effectuées au Laboratoire de Géologie et de Géochimie nucléaires de l'Université Libre de Bruxelles, sous la direction de E. PICCIOTTO que nous remercions pour ses nombreux encouragements.

Nous exprimons notre reconnaissance à l'Institut interuniversitaire des Sciences nucléaires qui nous a accordé son concours financier.

Nous avons bénéficié de l'aide de E. JÄGER (Mineralogisches Institut, Universität Bern) et de G. FERRARA (Laboratorio di

Geologia nucleare, Pisa) pour la préparation de standards calibrés de Rubidium et de Strontium. Nous tenons à leur témoigner notre gratitude.

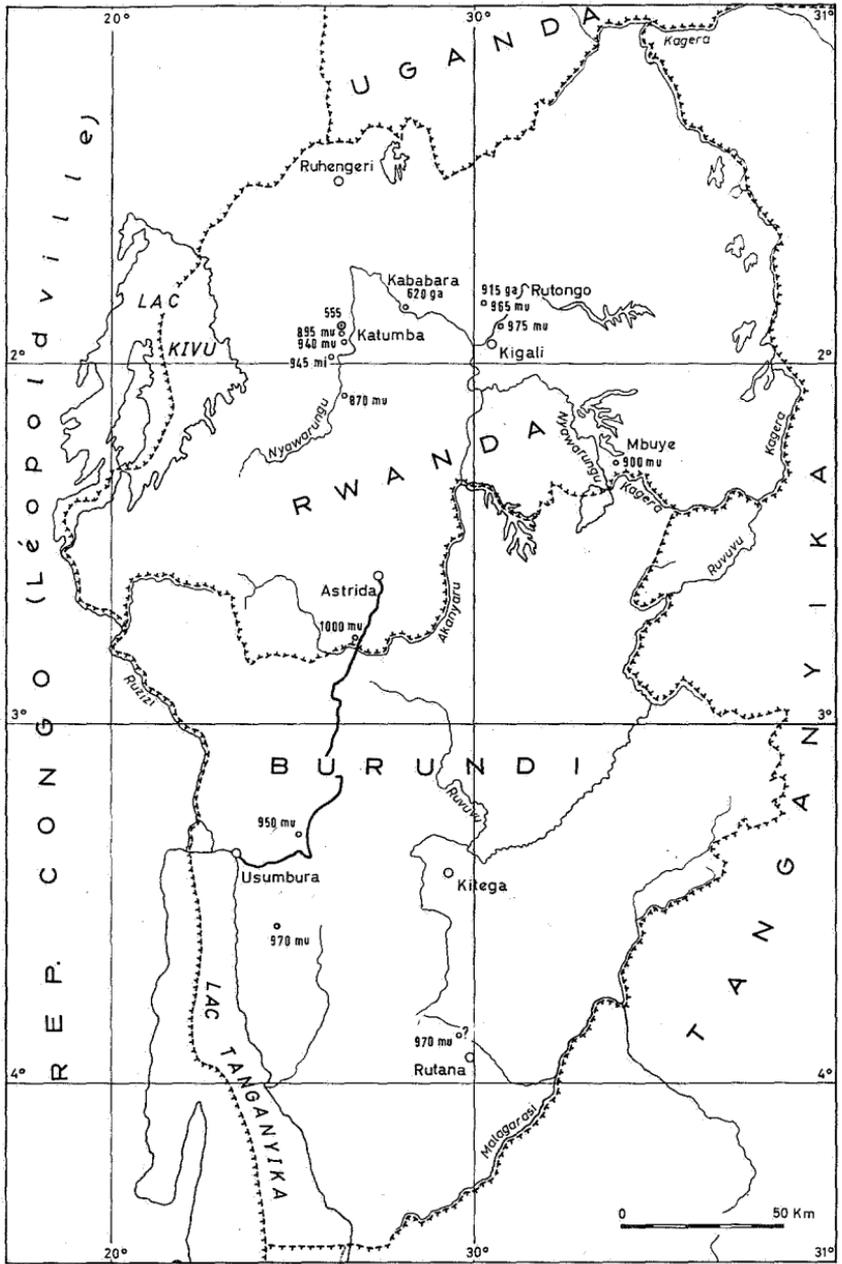
Les mesures sur les trois derniers spécimens du tableau 1 ont été réalisées par M^{me} D. LEDENT que nous remercions tout particulièrement d'avoir bien voulu nous autoriser à les inclure dans notre étude.

Nous remercions les géologues et les sociétés qui ont bien voulu nous confier des échantillons : MM. B. M. ADERCA, A. LHOEST, L. PEETERS, les Sociétés SOMUKI et MINÉTAÏN et le Service géologique du Ruanda-Urundi. Notre gratitude va également à M. W. KRENNING pour d'utiles renseignements.

Nous remercions enfin, pour sa collaboration technique, C. LAY, détaché par le Bureau de Recherches géologiques et Minières de Paris au Laboratoire de Géologie et de Géochimie nucléaires.

SERVICE DE GÉOLOGIE ET DE GÉOCHIMIE NUCLÉAIRES
DE L'UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES.
SECTION DE GÉOLOGIE DU MUSÉE ROYAL
DE L'AFRIQUE CENTRALE, TERVUREN.

Mai 1962.



○ = minéral uranifère □ = muscovite △ = microcline ◇ = plomb de galène

Âges en millions d'années.

RÉFÉRENCES.

- ADERCA, B., 1957, Un cas de boudinage à grande échelle : la mine Rutongo au Ruanda. (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. LXXX, 1956-1957, pp. B. 279-285.)
- ALDRICH, L. T., WETHERILL, G. W., DAVIS, G. L. and TILTON, G. R., 1958, Radioactive Ages of Micas from Granitic Rocks by Rb-Sr and K-A Methods. (*Trans. Am. Geophys. Union*, vol. 39, p. 1124.)
- ALTMANN, J., 1961, L'occurrence de brazilianite, augelite, frondéliste et lithiophilite dans la pegmatite de Buranga. (*Bull. suisse de Minér. et Pétrogr.*, Bd. 41, Ht. 2, pp. 207-431.)
- BERTOSSA, A., 1961, Le gîte minéralogique de Buranga. (*Serv. géol. Ruanda-Urundi, Rapport annuel*, vol. I, 1960, pp. 23-27.)
- CAHEN, L., PASTEELS, P., LEDENT, D., BOURGUILLOT, R., VAN WAMBEKE, L. et EBERHARDT, P., 1961, Recherches sur l'âge absolu des minéralisations uranifères du Katanga et de Rhodésie du Nord. (*Ann. Mus. Roy. Afr. Centr.*, Sc. géol., in-8°, n° 41, pp. 3-53.)
- DE BOURNONVILLE, D., 1960, Gisement d'albitite au Km 23 de l'axe A. (*Serv. géol. Ruanda-Urundi, Rapport annuel*, vol. I, 1960, pp. 14-16.)
- DELHAYE, F. et SALÉE, A., 1928, Carte géologique de l'Urundi et du Ruanda. Mission géologique et minière de la Banque de Bruxelles. (Campagne de 1921-1922). Bruxelles, 1928.
- GEISS, J., 1954, Isotopenanalysen an « gewöhnlichem » Blei. (*Zeitschr. für Naturforschung*, vol. 9 a, 3, p. 218.)
- HOUTERMANS, F. G., 1951, Über ein neues Verfahren zur Durchführung Chemischer Alter bestimmungen nach der Blei-Methode. (*Sitz. Ber. Heidelb. Ak. der Wiss., Math.-Naturw. Kl.*, Jhg 1951.)
- 1953, Determination of the age of the Earth from the isotopic composition of meteoric lead. (*II Nuovo Cimento*, vol. 10, p. 1623.)
- LHOEST, A., 1957, Les différents types de filons de la Concession Somuki à Rutongo (Ruanda). (*Ann. Soc. géol. de Belgique*, t. LXXX, 1956-1957, pp. B. 503-530.)
- POCKLEY, R. P. C., 1961, Longer Lead Model Age Table V. (Ronéoté.) (*Dept. Geology and Miner. Univ. of Oxford.*)
- STIEFF, L. R., STERN, T. W., SEIKI OSHIRO and SENFTLE, E., 1959, Tables for the Calculation of Lead Isotope Ages. (*Geol. Surv. Profess. Paper*, 334-A.)
- THOREAU, J., ADERCA, B. et VAN WAMBEKE, L., 1958, Le gisement de terres rares de la Karonge. (*Bull. Acad. roy. Sc. Outre-Mer*, IV-1958-3, pp. 684-715.)
- WETHERILL, G. W., 1956, Discordant Uranium Lead Ages I. (*Trans. Amer. Geoph. Union*, vol. 37, n° 3, pp. 320-325.)