

SUR L'ÂGE DES URANINITES DE KAMBOVE OUEST ET DE KAMOTO PRINCIPAL ET RÉVISION DES CONNAISSANCES RELATIVES AUX MINÉRALISATIONS URANIFÈRES DU KATANGA ET DU COPPERBELT DE ZAMBIA (1)

par L. CAHEN (2), A. FRANÇOIS (3) et D. LEDENT (4)

(2 figures dans le texte)

ABSTRACT

Two specimens of uranium oxydes, one from Kambove West, the other from Kamoto « principal » yield ages of 555 ± 10 m. y. and of $\geq 582 \pm 15$ m. y. respectively. These new results lead to a better interpretation of the formerly published results (Cahen et al., 1961). In a northern zone, mineralisations dated ≥ 706 m. y., 670 ± 20 m. y., 620 ± 10 m. y., 555 ± 10 m. y. and 520 ± 20 m. y. coexist and derive from each other by remobilisation. There is no indication that the ≥ 706 m. y. is the parent mineralisation, its original location may have been very deep; the 620 m. y. mineralisation is the most important whereas the one at 520 m. y. is very accessory. In a southern zone, the following generations coexist : 520 ± 20 m. y., 468 ± 15 m. y., 365 ± 40 m. y. and 235 ± 30 m. y. The most important mineralisation in this zone is the one at 520 m. y. which is accompanied by numerous sulfides; its focus is in the vicinity of the Congo-Zambia border. In the nappes of the western mines of Katanga, the mineralisations dated ≥ 582 m. y. and 520 m. y. are to be considered as remobilisations of earlier pre-thrust mineralisations. Considered together, the uranium mineralisations correspond to discrete and occasionally local temperature-rises in an otherwise cooling environment.

RÉSUMÉ

Deux spécimens d'oxydes d'uranium, l'un de Kambove Ouest, l'autre de Kamoto principal ont livré respectivement des âges de 555 ± 10 m. a. et de $\geq 582 \pm 15$ m. a. Ces nouveaux résultats permettent une meilleure interprétation des données déjà publiées (Cahen et al., 1961). Dans une zone nord, coexistent plusieurs générations (≥ 706 m. a., 670 ± 20 m. a., 620 ± 10 m. a., 555 ± 10 m. a. et 520 ± 20 m. a.) dérivant l'une de l'autre par remobilisation. Celle de ≥ 706 m. a. n'est pas nécessairement originelle mais sa localisation première pourrait avoir été très profonde; celle de 620 m. a. est la principale tandis que celle de 520 m. a. est très accessoire. Dans une zone sud, les générations suivantes coexistent : 520 ± 20 m. a., 468 ± 15 m. a., 365 ± 40 m. a. et 235 ± 30 m. a. La principale est celle de 520 m. a. qui est accompagnée de nombreux sulfures et dont le foyer se trouve au voisinage de la frontière Congo-Zambia. Dans les nappes de la partie occidentale de la « zone du cuivre », les minéralisations de ≥ 582 m. a. et de 520 m. a. doivent être considérées comme remobilisées à partir des minéralisations antérieures aux charriages. Dans l'ensemble les minéralisations uranifères correspondent à des élévations momentanées et partiellement locales de température dans un contexte régional en cours de refroidissement.

- (1) Communication présentée le 27 avril 1971, manuscrit déposé à la même date.
- (2) Musée royal de l'Afrique centrale, Tervuren.
- (3) Gecomines, Département Géologique, Likasi.
- (4) Laboratoires de Minéralogie et de Petrologie, Université Libre de Bruxelles.

LES AGES DES URANINITES DE KAMBOVE OUEST ET DE KAMOTO PRINCIPAL

Des indices ou des minéralisations uranifères ont été trouvés dans pratiquement tous les gisements du faisceau de la série des mines (fig. 1). Toutes les occurrences d'oxydes noirs d'urane et plus de 70 % des occurrences sont localisées à la base de la minéralisation cuprifère. Les autres occurrences sont toujours constituées de minéraux secondaires, et sont d'autant moins fréquentes que l'on s'éloigne plus de la base de la minéralisation cuprifère ; elles sont souvent associées à des failles.

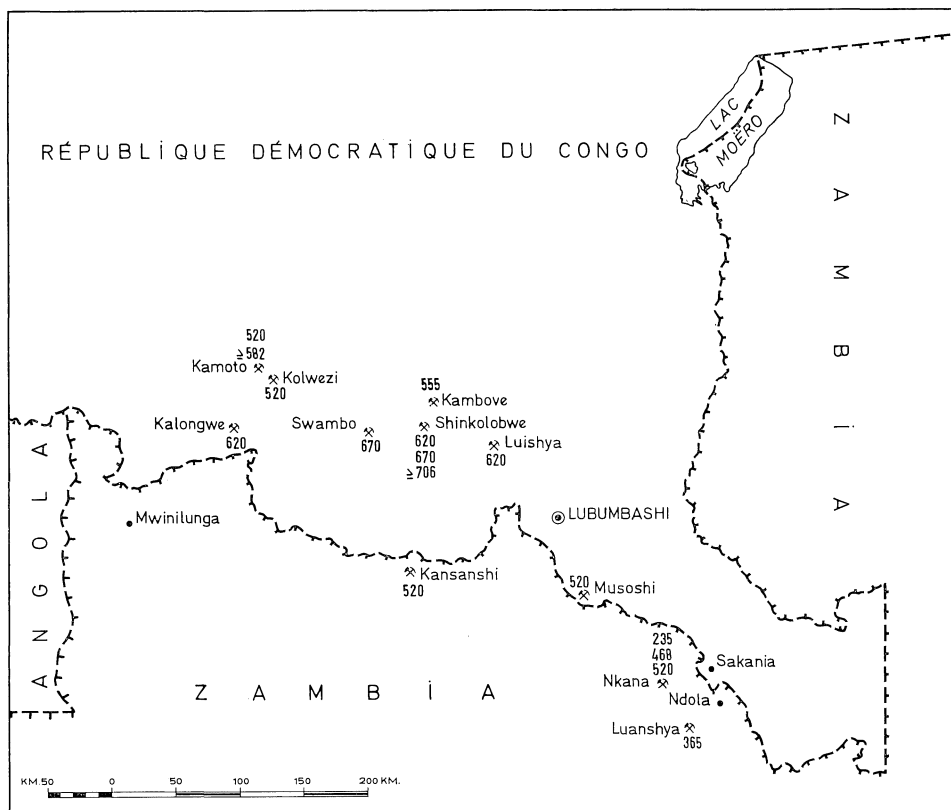


Fig. 1. — Minéralisations uranifères datées du Katanga et dans le Copperbelt de Zambia.

L'échantillon de Kamoto principal (n° R.G.M. 12353) (1) est d'aspect filonien, et est localisé, dans le sondage F. 259, au contact entre les roches « argilo-talqueuses » (R.A.T.) grises et les R.A.T. lilas. Il est donc localisé, comme la plupart des occurrences à la base de la minéralisation cuprifère. La minéralisation en oxydes noirs, friables et pulvérulents est disséminée en minces filonnets où elle est entremêlée d'une gangue de sulfures également pulvérulents.

(1) Numéro au registre général de Minéralogie du Musée royal de l'Afrique centrale.

TABLEAU I.

Résultats analytiques et âges des minéraux uranifères de Kambove et de Kamoto

Specimens	U %	Pb % tot.	Pb % rad.	Pb ²⁰⁴	Pb ²⁰⁶	Pb ²⁰⁷	Pb ²⁰⁸	t $\frac{207}{206}$	t $\frac{206}{238}$	t $\frac{207}{235}$
Kambove Ouest (R.G. 12352)	73.87	6.05	6.00	0.0109 ± .0030	100	5.9919	0.6421	554 ± 25	555 ± 10	556 ± 20
Kamoto principal (R. G. 12353)	62.17	4.079	4.077	0.0070 ± .0014	100	6.0043	0.2760	582 ± 15	450 ± 5	473 ± 10
Plomb de correction				1	18.6	15.7	38.9			

L'échantillon de Kambove (n° R.G.M. 12353) consiste en petits amas irréguliers d'uraninite massive truffée de petits grains de sulfures. Ces amas sont disposés sous forme de filons. L'uraninite y a été découverte non pas à la base des R.A.T. grises mais en leur sein, au contact entre la partie supérieure sans vacuoles et minéralisée et la partie inférieure, à vacuoles tapissées de chlorite et sans minéralisation.

Alors que la mine de Kamoto est située dans les nappes de charriage des 'mines de l'Ouest', celle de Kambove est une écaille qui se trouve dans l'axe anticlinal de Kambove.

Les résultats des mesures sont consignés au tableau 1. (1) (2).

Le specimen de Kambove Ouest livre des âges remarquablement concordants à 555 ± 10 m. a. La correction du plomb commun a été calculée à partir de la teneur en Pb^{204} . Si on admettait que tout le Pb^{208} , au lieu d'être réparti en plomb commun et en plomb radiogénique, était entièrement commun, l'âge deviendrait 534 ± 20 m. a. ce qui constituerait un minimum tout à fait improbable, puisqu'il impliquerait une teneur en Pb^{204} de 0.0165 (au lieu de 0.0109 ± 0.003) soit une différence qui dépasse les limites des erreurs. Il faut donc adopter le calcul à partir de la teneur en Pb^{204} . Dans ces conditions, 0.4240 atomes du Pb^{208} proviennent du plomb commun et 0.2181 sont attribuables à une faible teneur en thorium (0.2 % des atomes radiogéniques) ce qui est tout à fait normal pour les uraninites du Katanga (voir Cahen, *et al.*, 1961).

Le spécimen de Kamoto principal a perdu du plomb et présente de ce fait des âges apparents discordants. Si la perte de plomb est très récente, cas général au Katanga (voir p. 191), l'âge est 582 ± 15 m. a. On ne peut cependant retenir cet âge apparent comme étant celui d'un épisode bien défini de minéralisation du fait qu'il s'agit d'un specimen unique, aux âges apparents non concordants; de plus il faut tenir compte de la forme sous laquelle se présente la minéralisation. Malgré cette réserve, ce résultat prouve qu'outre la minéralisation de 520 ± 20 m. a. déjà connue à Kamoto, il y existe une plus ancienne, à 582 ± 15 m. a. ou peut-être antérieure.

RÉEXAMEN DE L'ENSEMBLE DES AGES OBTENUS SUR LES MINÉRAUX D'URANIUM DU KATANGA ET DU COPPERBELT DE ZAMBIA

Succession des générations d'uranium

La fig. 2. reproduit le diagramme « Concordia » (Wetherill, 1956) qui figurait dans Cahen *et al.*, (1961) complété par les deux nouveaux résultats. Pour plus de clarté, les points représentatifs des uraninites de Shinkolobwe qui tombent entre les cordes de 670 m. a. et de 620 m. a. ont été omis (voir p. 191). En outre, quelques reports imprécis du graphique original ont été améliorés.

(1) Après triage à la pince sous le microscope binoculaire, la quantité d'oxyde d'urane débarrassé d'impuretés a été insuffisante pour permettre l'application de la méthode gravimétrique qui est la plus précise pour le dosage de l'uranium; le plomb et l'uranium ont été dosés par la méthode de la dilution isotopique généralement utilisée pour l'analyse de minéraux accessoires des roches (zircon, monazite, sphène etc...) et rendue très aisée par la grande solubilité de l'uraninite dans HNO_3 . La précision sur le rapport plomb-uranium peut être estimée à 2 %.

(2) Constantes numériques employées pour le calcul des âges :
 $\lambda_{238U} = 1.5369 \cdot 10^{-10} \cdot a^{-1}$; $\lambda_{235U} = 9.7216 \cdot 10^{-10} \cdot a^{-1}$; $\lambda_{232Th} = 4.8813 \cdot 10^{-11} \cdot a^{-1}$
 $238U/235U = 137.7$. (Stieff *et al.*, 1959).

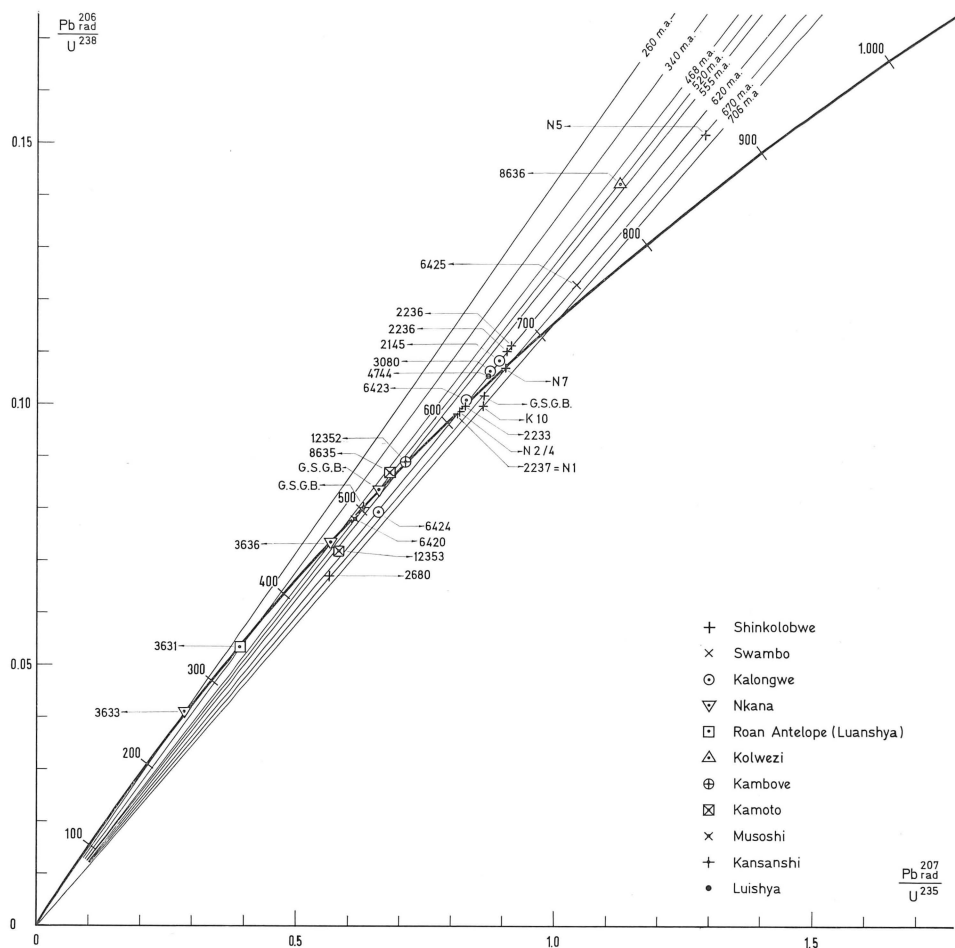


Fig. 2. — Diagramme « Concordia » des minéralisations uranifères du Katanga et du Copperbelt de Zambia.

Selon les interprétations antérieures (Cahen *et al.*, 1961; Cahen, 1964; Cahen et Snelling, 1966), la mine de Shinkolobwe a été le siège de minéralisations en uraninite d'âges différents : ≥ 706 m. a.; 670 ± 20 m. a.; 620 ± 20 m. a. A Nkana, la minéralisation en uraninite de 520 ± 20 m. a. était accompagnée d'une pechblende de 235 ± 30 m. a.

A l'heure actuelle, nous constatons qu'à Kamoto, il existe deux âges d'oxydes noirs d'urane : le premier âgé de $\geq 582 \pm 15$ m. a., le second de 520 ± 20 m. a. Comme d'autre part l'uraninite de Kambove a 555 ± 10 m. a., on est amené à conclure que le nombre de venues d'uranium est plus élevé qu'envisagé jusqu'ici et, en conséquence, nous considérons que la minéralisation disséminée de Nkana, qui avait été classée avec doute (Cahen *et al.*, 1961, 38/39), comme les autres spécimens, dans la minéralisation de 520 ± 20 m. a., appartient à une génération distincte de 468 ± 15 m. a.

Nous énumérons ci-après les différentes générations de minéraux d'uranium, de la plus ancienne à la plus récente, en indiquant les éléments géochronologiques qui permettent d'établir leur existence.

1) ≥ 706 m. a.

Cet âge est basé sur un seul résultat obtenu sur un spécimen de Shinkolobwe par Kulp *et al.* (1955). Les âges apparents sont : $t \frac{207}{206} : 706 \pm 34$ m. a. ; $t \frac{206}{238} : 619 \pm 3$ m. a. ; $t \frac{207}{235} : 639 \pm 10$ m. a. Le point représentatif de ce spécimen dans le diagramme Concordia tombe nettement sous la courbe (fig. 2), à droite de la corde de 670 m. a. Il paraît donc bien représenter la survivance d'une minéralisation de 706 m. a. ou plus ancienne.

2) 670 ± 20 m. a.

Les points représentatifs de cinq spécimens s'alignent (fig. 2) sur une corde qui coupe la courbe Concordia à 670 m. a. Quatre spécimens proviennent de Shinkolobwe et un de Swambo. Deux sont des uraninites ayant subi des pertes de plomb, une troisième uraninite ainsi qu'un spécimen de minéraux secondaires ont subi des pertes d'uranium. Un spécimen avec minéraux secondaires dominants livre des âges concordants : $t \frac{207}{206} : 666 \pm 24$ m. a. ; $t \frac{206}{238} : 663$ m. a. ; $t \frac{207}{235} : 663$ m. a. Compte tenu de l'état du spécimen (Katanga Yellow II, de A. O. Nier, 1939) il s'agit vraisemblablement d'un échantillon dans lequel pertes d'uranium et pertes de plomb se compensent. L'existence simultanée de spécimens ayant perdu du plomb et de spécimens ayant perdu de l'uranium établit de façon très satisfaisante la corde qui indique une minéralisation connue en deux gîtes : Shinkolobwe et Swambo.

3) 620 ± 10 m. a.

Dix spécimens définissent une corde coupant la courbe Concordia à 620 m. a. Ils proviennent de Shinkolobwe (5 spécimens), Kalongwe (4 spécimens) et Luishya (1 spécimen). Quatre spécimens de Shinkolobwe et un de Kalongwe sont concordants. Si l'on ne prend en considération que les meilleurs résultats, on peut assigner à cette minéralisation un âge plus précis de 620 ± 10 m. a. au lieu de 620 ± 20 m. a. adopté précédemment.

4) 555 ± 10 m. a.

Un seul spécimen, publié ci-avant permet de définir cette génération uranifère à Kambove Ouest. La minéralisation uranifère y est peu abondante et c'est la seule uraninite découverte jusqu'ici à Kambove Ouest. Les âges apparents de cette uraninite sont remarquablement concordants. Ce spécimen représente certainement un épisode de minéralisation distinct des autres, quoique sans doute très local.

5) 520 ± 20 m. a.

Cinq spécimens, dont une uraninite de Nkana, une brannerite de Kansanshi, une uraninite de Musoshi, un oxyde noir de Kamoto et des minéraux secondaires de Kolwezi permettent de définir la corde coupant Concordia à 520 m. a.

En outre, un résultat obtenu sur une autre uraninite de Nkana, dont seule l'analyse isotopique a été réalisée, appartient soit à cette génération, soit moins probablement à la précédente. Une uraninite de Nkana présente des âges apparents concordants.

6) 468 ± 15 m. a.

Cet âge est celui de deux spécimens d'uraninite disséminée de Nkana. L'un fournit des âges apparents concordants et avait été considéré en 1961, avec doute, comme appartenant à la génération précédente. L'autre n'a été l'objet que d'une analyse isotopique qui fournit l'âge apparent $t \frac{207}{206} : 452 \pm 24$ m. a.

7) 365 ± 40 m. a. (ou 340 ± 10 m. a.)

Il s'agit de l'âge de la génération de pechblende de la mine de Roan Antelope à Luanshya (voir pour une discussion de l'âge : Cahen *et al.*, 1961, p. 37 et 41).

8) 235 ± 30 m. a. (ou 260 ± 5 m. a.)

C'est l'âge d'une génération de pechblende botryoïde de Nkana (voir : id. pp. 37 et 41).

Outre ces huit générations distinctes dont sept basées sur des résultats concordants ou des cordes bien définies, il y a trois résultats discordants de Shinkolobwe, correspondant à des points éparpillés entre les cordes de 670 m. a. et de 620 m. a. (Cahen *et al.*, 1961 fig. 2). En outre le nouveau résultat de Kamoto principal également discordant et unique ne détermine, pas plus que les résultats discordants de Shinkolobwe, de corde dans le graphique Concordia (1).

On remarque à ce propos, que les points représentatifs des générations de 670 m. a., de 620 m. a. et de 520 m. a. s'alignent sur des cordes aboutissant à l'origine. C'est à dire que les pertes d'uranium ou de plomb sont très récentes, et selon toute vraisemblance en rapport avec l'altération profonde qui est de règle au Katanga où la zone d'oxydation des gisements peut avoir plusieurs centaines de mètres de profondeur.

Sauf le point représentatif de l'uraninite de la génération la plus ancienne, tous les autres âges sont déduits des résultats concordants (situés sur la courbe Concordia et donc, par définition, sur des cordes passant par l'origine et ces points).

RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE DES GÉNÉRATIONS DE MINÉRAUX URANIFÈRES

La carte (fig. 1) indique une répartition qui ne semble pas être l'effet du hasard. En effet, les 32 résultats provenant de 11 gisements se répartissent en une zone nord, où figurent les générations depuis ≥ 706 m. a. jusqu'à 520 m. a. et une zone sud comprenant les générations depuis 520 m. a. jusqu'à 235 m. a.

La zone nord est constituée de deux régions distinctes : la première, orientée à peu près Est-Ouest, va de Luishya à Kalongwe par Shinkolobwe et Swambo. Elle ne comprend que des minéralisations de ≥ 706 m. a., 670 m. a. et 620 m. a. (20 résultats pour 4 gisements). Elle coïncide avec une zone anticlinale disloquée, sauf à Luishya,

(1) Ces résultats discordants qui ne semblent pas appartenir à une des minéralisations bien établies sont susceptibles d'être expliqués de plusieurs façons. Pour ce qui concerne l'uraninite de Shinkolobwe, il peut s'agir de résultats analytiques imprécis, plusieurs déterminations étant assez anciennes; quand on dispose, pour un même spécimen, de résultats de plusieurs laboratoires, on constate que certaines déterminations se placent sur une corde caractéristique et d'autres pas. D'autre part on peut rencontrer des spécimens d'uraninite comprenant deux générations imbriquées l'une dans l'autre, dont l'une, au moins, a perdu du plomb : dans ces cas les résultats ne correspondent à aucun âge réel. Enfin, il peut s'agir d'une génération tout à fait locale d'uraninite, distincte de celles connues jusqu'ici; il n'est donc pas impossible que des travaux ultérieurs confirment l'un ou l'autre de ces âges « intermédiaires ».

par des failles « à extrusions ». Au nord de cette région, dans une zone externe du plissement katangien, comportant des anticlinaux faillés avec écaillés à Kambove et des nappes de charriage à Kolwezi et à Kamoto, se trouvent des minéralisations, dans l'ensemble plus jeunes : 620 m. a., 555 m. a. et 520 m. a. (4 résultats pour 3 gisements) (1).

La zone sud, dont les minéralisations sont plus jeunes mais situées dans des horizons stratigraphiques à la base du Katangien, dans une région où l'on trouve des granites du soubassement plus ou moins réactivés durant l'orogénèse katangienne, comprend les générations de 520 m. a., 468 m. a., 365 m. a. et 235 m. a. (8 résultats pour 4 gisements).

LES VENUES URANIFÈRES SONT DES REMOBILISATIONS SUCCESSIVES D'UNE MINÉRALISATION ORIGINELLE

En 1961, Cahen *et al.* reconnaissaient le caractère secondaire (remobilisé) des deux venues les plus récentes) envisageaient deux minéralisations distinctes à 620 et 520 m. a. et n'excluaient pas une minéralisation à 670 m. a.

La signification de l'âge de ≥ 706 m. a. fut reconnue par Cahen (1964) et, en 1966, Cahen et Snelling (p. 101) admettaient l'existence d'une génération de 670 m. a.; ils admettent que la minéralisation de 620 m. a. en dérive par remobilisation. Ils ne distinguent pas complètement la génération de 670 m. a. de celle plus ancienne de ≥ 706 m. a. (à laquelle ils attribuent un âge de 720 m. a.).

L'existence de trois épisodes de minéralisation « ancienne » (≥ 706 m. a., 670 ± 20 m. a. et 620 ± 20 m. a.) et leurs relations mutuelles, ainsi qu'avec la tectonique katangienne sont reconnues par Cahen, 1970^a et 1970^b.

Par contre, la minéralisation de 520 m. a. paraissait, depuis 1961, bien isolée entre les manifestations très récentes et locales de 365 ± 40 m. a. et de 235 ± 30 m. a. et la grande minéralisation de 620 m. a.; de ce fait elle était considérée comme indépendante de cette dernière (Cahen *et al.*, 1961, p. 43).

Actuellement nous sommes en présence des groupements suivants : ≥ 706 m. a., 670 m. a. et 620 m. a. à Shinkolobwe, ≥ 582 m. a. et 520 m. a. à Kamoto, et 520 m. a., 468 m. a. et 235 m. a. à Nkana. En outre la reconnaissance d'une génération nouvelle (555 m. a.) à Kambove Ouest confirme la conclusion que les groupements précités paraissaient imposer : les générations uranifères du Katanga et du Copperbelt constituent des remises en mouvement les unes des autres.

A tout le moins peut-on reconnaître deux filiations : une filiation « nord » de ≥ 706 m. a. à 520 m. a. et une filiation « sud » de 520 m. a. à 235 m. a., la seule génération commune étant 520 m. a.

Il n'y a aucune indication permettant de penser que la minéralisation « sud » dérive d'une souche antérieure à 520 m. a. Quant à la minéralisation « nord » elle remonte à 706 m. a. ou plus sans qu'on puisse être certain si la génération de ≥ 706 m. a. n'est pas elle-même dûe au remaniement d'une génération antérieure (2).

(1) La génération ancienne de Kamoto principal ($\geq 582 \pm 15$ m. a.) se trouve dans cette zone nord.

(2) Des remobilisations successives de plusieurs minéralisations uranifères devraient modifier la composition isotopique du plomb commun de la région dans le sens d'un enrichissement en isotopes radiogéniques. Il semble pourtant qu'on ne trouve pas dans la littérature (Russell & Farquhar, 1960; Cahen & Snelling, 1966) d'exemple de plomb de composition isotopique anormale.

RELATIONS ENTRE LES PARAGÉNÈSES MINÉRALES ET LA GÉOCHRONOLOGIE

Le tableau 2 résume ce qui est connu des paragenèses de chaque venue. Le degré de connaissance n'est pas le même pour chaque génération.

La paragenèse de Swambo est attribuée à la minéralisation de 670 m. a. En effet, seul cet âge a été obtenu dans ce gisement par une seule détermination complète (Cahen *et al.*, 1961) mais trois 'âges chimiques' (Derriks et Oosterbosch, 1958) sont nettement différents de ceux obtenus pour Shinkolobwe (Cahen, 1951) et soutiennent cette détermination unique. Jusqu'ici aucune trace de la minéralisation de 620 m. a. n'y a été trouvée.

La paragenèse de Kalongwe est attribuée à la minéralisation de 620 m. a.; quatre déterminations complètes ont toutes livré cet âge.

A Shinkolobwe, bien que le gisement sous sa forme finale soit contemporain de celui de Kalongwe, l'uraninite de 620 m. a. y coexiste avec celle de 670 m. a. et la paragenèse est celle de Swambo (ou de 670 m. a.) mais mieux étudiée. Bien que représentée par un seul spécimen, l'existence d'une minéralisation uranifère plus ancienne à Shinkolobwe paraît assurée. Il en résulte que la paragenèse qui y est observée pourrait devoir être créditée en tout ou en partie à cet âge (≥ 706 m. a.). Quoi qu'il en soit, on peut opposer une paragenèse de Swambo et Shinkolobwe (670 m. a. ou ≥ 706 m. a.) à une paragenèse de Kalongwe (620 m. a.).

Derriks et Oosterbosch (1958) avaient souligné que les différences observées entre ces paragenèses pouvaient être expliquées par une différence d'âge et cherchaient à mettre celle-ci en évidence par la comparaison d'âges tous compris dans l'expression 620 ± 20 m. a. Cahen *et al.* (1961) montrèrent que, dans ces conditions, il n'y avait pas de soutien géochronologique pour les vues de ces auteurs. Les considérations que nous venons d'émettre permettent, au contraire, de confirmer leur opinion.

A Shinkolobwe, la paragenèse reste essentiellement celle de 670 m. a. avec cependant plus de sulfures de cuivre qu'à Swambo. Ceci pourrait être la trace de l'apport de 620 m. a. puisqu'à Kalongwe (620 m. a.) ces sulfures sont plus abondants encore, ce qui est aussi le cas à Luishya (620 m. a.).

Il faut souligner que le seul échantillon de Shinkolobwe âgé de 670 m. a. qui ait été examiné en détail, est le n° R. G. M. 2680. En section polie il a été observé qu'il est constitué de deux uraninites imbriquées l'une dans l'autre (Cahen *et al.*, 1961, p. 22) de telle sorte qu'il n'a pas été possible d'analyser séparément les deux constituants. L'échantillon livre des âges apparents nettement discordants par suite d'une perte de plomb.

Ce fait pourrait être dû aux causes suivantes :

1) la quantité d'uranium remobilisé est en général insuffisante pour conduire à des variations détectables de la composition isotopique du plomb.

2) le temps écoulé entre la première et la dernière remobilisation est en général trop court, compte-tenu des quantités d'uranium disponibles, pour que l'addition des isotopes radiogéniques soit sensible.

Le seul gisement où le phénomène aurait pu être reconnu est celui de Shinkolobwe dont la richesse en uranium est telle qu'elle a certainement influencé la composition isotopique du plomb d'un filon de galène rencontré dans la mine qui malheureusement n'est plus accessible à l'échantillonnage.

Il est probable que tous les plombs avoisinant les minéralisations uranifères sont constitués par des mélanges en proportions diverses de plomb normal et de plomb radiogénique mais dont la composition isotopique globale ne permet de tirer actuellement aucune conclusion.

TABLEAU II.

Gisements et âges	Paragenèses	Références
670 m. a. Swambo	1. —; 2. uraninite; 3. pyrite, monazite, chlorite; 4. vaesite, siegenite; 5. chalcopyrite	Derriks et Oosterbosch, 1958 Oosterbosch, <i>in litt.</i>
670 m. a. et 620 m. a. Shinkolobwe	1. magnésite; 2. uraninite; 3. pyrite, sulfure sélénifère (?), molybdénite, monazite; 4. vaesite; cattiérite, siegenite; 5. chalcopyrite; (mélonite présente)	id. id.
620 m. a. Kalongwe	1. —; 2. uraninite; 3. pyrite, chlorite; 4. carrolite; 5. bornite, chalcopyrite	id. id.
620 m. a. Luishya		
≥ 582 m. a. Kamoto principal	1. —; 2. uraninite; 3. chlorite; 4. carrolite; 5. bornite, chalcopyrite	Oosterbosch <i>in litt.</i>
555 m. a. Kambove Ouest	1. —; 2. uraninite; 3. chlorite; 4. carrolite; 5. bornite, chalcopyrite, en outre sulfures d'argent	Oosterbosch <i>in litt.</i>
520 m. a. Kansanshi	brannerite, chalcopyrite, calcite, pyrite, galène, rutile, bornite.	Darnley <i>et al.</i> , 1971;
520 m. a. Nkana	uraninite, mélonite, bornite, chalcopyrite, digénite, chalcosine, calcite, quartz, biotite, chlorite, albite	id.
520 m. a. Musoshi	albite, uraninite, pyrite; et uraninite, carbonate, pyrite, quartz	Vaes, 1962
520 m. a. Kamoto principal	uraninite, chalcosine plombifère	Cahen <i>et al.</i> 1961
468 m. a. Nkana	uraninite, carbonate, pyrite	id.
365 m. a. Luanshya	pechblende avec calcite et dolomite	id.
235 m. a. Nkana	pechblende botryoïde	id.

Remarque : Les paragenèses indiquées avec des chiffres fournissent l'ordre de formation des constituants minéraux ; les autres sont les listes, peut-être encore incomplètes, de ces constituants minéraux sans mention de leur ordre d'apparition.

Si l'on se limite aux cinq éléments principaux ou caractéristiques : U, Fe, Ni, Co, Cu, on peut constater que les minéralisations de 670 m. a. les contiennent tous les cinq; celles de 620 m. a. ne contiennent plus le nickel mais sont en revanche plus riches en cuivre. Le cobalt est encore décelé avec la minéralisation de 555 m. a., le cuivre persiste jusqu'à 520 m. a., le fer jusqu'à 468 m. a. Les deux plus jeunes venues ne contiennent plus que l'uranium allié à des minéraux de gangue.

On constate donc que, de la plus ancienne à la plus récente, les minéralisations sont de moins en moins riches et témoignent de températures de plus en plus basses.

Cette constatation soutient les conclusions que nous avons tirées de l'examen de la répartition géographique des générations uranifères.

ORIGINE DES MINÉRALISATIONS DANS LES NAPPES DE CHARRIAGE

Lorsqu'en 1961 (Cahen *et al.*, p. 45), les premières minéralisations uranifères trouvées dans les nappes de charriage des mines de l'Ouest furent datées de 520 ± 20 m. a. à Kamoto et à Kolwezi, cet âge « jeune » impliquant que l'uranium, sous sa forme présente, était épigénétique, les géologues de l'Union Minière du Haut Katanga (actuellement devenue GECOMINES) envisagèrent que « les solutions ont suivi la faille de charriage pour venir se loger dans la nappe déjà en place avant que celle-ci ne soit coupée de sa racine par l'érosion ». La seule alternative était qu'une minéralisation antérieure au charriage ait été remaniée postérieurement pour donner la minéralisation actuelle ». Ce remaniement paraissait impossible puisqu'il aurait dû se réaliser lors des mouvements les plus violents : le charriage ou les mouvements qui l'ont suivi, alors que la minéralisation de 520 m. a. s'est produite 100 m. a. après la fin de ces mouvements.

La certitude que cette minéralisation de 520 m. a. est, à Kamoto, accompagnée d'une minéralisation antérieure (≥ 582 m. a.) et qu'à Shinkolobwe, la minéralisation de 620 m. a. provient du remaniement de celle de 670 m. a. et de minéralisations antérieures permet de trancher le débat, de rectifier l'opinion émise antérieurement et d'écartier une hypothèse assez difficile à soutenir.

ORIGINE ÉPIGÉNÉTIQUE DE TOUTES LES GÉNÉRATIONS DATÉES

On sait actuellement que les couches de Roan sont antérieures à 840 ± 40 m. a. et presque sûrement antérieures à 950 m. a. L'âge de 840 ± 40 m. a. (ou 888 ± 43 m. a. pour $\lambda_{87} \text{Rb} = 1.39.10^{-11} \cdot a^{-1}$) est probablement celui de la fin du Kundelungu inférieur (Cahen *et al.*, 1970, Cahen, 1970^a et ^b). On doit donc admettre que, dans la mesure où la minéralisation la plus ancienne (≥ 706 m. a.), située au niveau de couches appartenant au Roan, a un âge réel pas trop éloigné de cette limite jeune, elle est épigénétique et peut représenter le remaniement, survenu durant ou après la phase tectonique post-Kundelungu inférieur et ante-Kundelungu moyen, d'une minéralisation antérieure dont on ne sait rien (Cahen, 1970^a).

Toutes les autres minéralisations plus jeunes, sises dans les mêmes couches ou dans des couches anciennes sont également épigénétiques.

RÉFLEXIONS SUR LA RÉPARTITION DES GÉNÉRATIONS D'URANIUM

La succession de cinq générations de minéralisations uranifères dans la zone « nord » et de quatre dans la zone « sud » implique qu'au cours du refroidissement général indiqué par la succession des paragenèses et l'histoire post-tectonique de la

chaîne respectivement cinq et quatre élévations de température se sont produites. Toutefois certaines de ces élévations de température, notamment celles accompagnant les deux dernières générations, peuvent n'être que très localisées et/ou superficielles.

Il est remarquable que les minéralisations les plus anciennes soient situées dans une région comportant les failles à « extrusions », ces dernières étant des paquets minéralisés provenant de la profondeur (3 à 5 km environ, GECOMINES, coupes inédites).

L'on ne peut donc connaître grand chose des causes des élévations de température qui ont occasionné les minéralisations de 670 m. a. et de ≥ 706 m. a. Dans la zone nord, l'événement thermique post-tectonique principal dans les couches telles qu'elles sont disposées actuellement s'est produit à 620 m. a.

La seule génération commune aux deux zones, nord et sud, est celle de 520 m. a. qui dans le sud est le principal événement thermique décelé par les minéralisations uranifères. Dans le nord, cet événement a eu une importance moindre à en juger par le fait qu'en plusieurs gisements, dont le plus abondamment étudié, Shinkolobwe, il ne semble pas s'être manifesté et que là où il est reconnu, il s'agit surtout d'une remobilisation de l'uranium, avec peu d'accompagnateurs alors que dans le sud, l'uraninite ou la brannerite de 520 m. a. ne paraissent précédées d'aucune autre minéralisation uranifère et sont accompagnées d'une riche minéralisation de sulfures.

A Kansanshi, la minéralisation étudiée (520 m. a.) se trouve au croisement de deux filons (Darnley *et al.*, 1961) à proximité du dôme granitique de Solwezi.

L'événement thermique principal de la zone sud est donc daté à 520 m. a. et n'a que des répercussions faibles dans la zone nord, alors que l'événement de 620 m. a. paraît limité au nord, au moins en ce qui concerne la minéralisation uranifère.

Cette question est examinée plus avant dans un autre travail (Cahen et Snelling, 1971).

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Deux nouveaux spécimens d'oxydes d'uranium ont été étudiés; l'un provenant de Kambove Ouest a livré des âges apparents concordants à 555 ± 10 m. a., l'autre provenant de Kamoto principal, d'âges apparents nettement discordants, est âgé de $\geq 582 \pm 15$ m. a.

Ces deux résultats confrontés à ceux déjà connus et réunis dans Cahen *et al.* (1961) permettent d'apporter une meilleure interprétation de la minéralisation uranifère du Katanga et de Zambia que celle qui découlait de travail précité.

L'examen de la répartition géographique et des paragenèses de chaque génération d'uranium montre que dans une zone nord, les minéralisations de ≥ 706 m. a., 670 ± 20 m. a., 620 ± 10 m. a., 555 ± 10 m. a. et 520 ± 20 m. a., coexistent et dérivent les unes des autres, rien n'indiquant que la plus ancienne de ces générations soit la minéralisation originelle.

Dans une zone sud, coexistent les générations de 520 ± 20 m. a., 468 ± 15 m. a., 365 ± 40 m. a. et 235 ± 30 m. a.

Le site originel des minéralisations de 670 m. a. et de ≥ 706 m. a. n'est pas connu et pourrait être très profond. Ces minéralisations coexistent avec la minéralisation dominante de la région nord, âgée de 620 m. a., qui résulte de leur remaniement.

Dans les nappes de charriage de l'Ouest du Katanga minier, la minéralisation de 520 m. a. comme celle de ≥ 582 m. a. doit constituer un remaniement de minéralisations antérieures au charriage.

La seule génération uranifère couvrant toute la région étudiée est celle de 520 m. a. Toutefois dans le nord elle a une importance très secondaire, étant limitée au remaniement d'oxydes d'uranium antérieurs avec très peu d'accompagnateurs. Dans le sud, au contraire, cette génération est accompagnée de nombreux sulfures divers.

Prises dans leur ensemble, les générations successives de minéralisations uranifères témoignent de températures décroissantes, chaque génération étant cependant l'indice d'une élévation momentanée de la température; toutefois certaines générations peuvent n'être que locales et/ou superficielles.

La seule de ces élévations de température qui ait fait ressentir ses effets sur toute la région étudiée est celle de 520 ± 20 m. a. dont le foyer est situé au sud de la zone cuprifère du Katanga méridional, dans la région de la frontière Congo-Zambia.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du « Centre Belge de Géochronologie » subventionné par le Fonds de la Recherche fondamentale Collective d'initiative ministérielle.

Nous remercions MM. Dessart et Mortilla, géologues de la GECOMINES qui ont découvert les minéralisations à Kambove et à Kamoto et ont récolté les échantillons. Nous exprimons notre gratitude à la Direction Générale de la GECOMINES pour avoir permis l'expédition de spécimens au Musée royal de l'Afrique centrale en vue de leur étude.

MM. J. Michot et J. Lepersonne ont lu ce travail et nous ont fait bénéficier de leurs remarques, nous les en remercions.

Nous exprimons notre reconnaissance à M. P. Pasteels pour de fructueuses discussions relatives à la partie géochronologique de ce travail ainsi qu'à M. R. Oosterbosch qui a bien voulu vérifier les paragenèses minérales des gisements katangais.

L'un de nous (L. C.) tient à préciser qu'au cours d'une communication inédite présentée à Leeds en 1964, A. G. Darnley avait montré l'existence de plusieurs générations uranifères successives dans la région que nous avons étudiée, l'uranium se trouvant successivement sous une forme et dans un contexte minéralogique différent. Malheureusement ce travail n'a été ni achevé ni publié. Nos résultats sont indépendants de ceux présentés par Darnley.

RÉFÉRENCES

- CAHEN, L., 1951. — Les déterminations d'âge absolu de la pechblende de Shinkolobwe (Katanga). *Bull. Soc. belge Géol.*, **60**, 80-87.
- CAHEN, L., 1964. — Éléments géochronologiques relatifs à la corrélation des terrains précambriens terminaux du Bas-Congo et du Katanga (Congo). *Rapport Annuel Sect. Géol. Min. Pal. du Mus. roy. Afr. centr.* (pour 1963), 96.
- CAHEN, L., 1970a. — Igneous activity and mineralisation episodes in the evolution of the Kibaride and Katangide orogenic belts of Central Africa. In *African Magmatism and Tectonics*, Clifford and Gass. Ed., Edinburgh, Oliver and Boyd, 97-117.
- CAHEN, L., 1970b. — État actuel de la géochronologie du Katangien. *Mus. roy. Afrique centrale, Annales*, ser. in-8°, Sci. géol., **65**, 7-14.

- CAHEN, L., DELHAL, J., LEDENT, D., 1970. — On the age and petrogenesis of the microcline-bearing pegmatite veins at Roan Antelope and at Musoshi (Copperbelt of Zambia and S-E. Katanga). *Mus. roy. Afrique centrale, Annales*, sér. in 8° Sci. géol., **65**, 43-68.
- CAHEN, L., PASTEELS, P., LEDENT, D., BOURGUILLLOT, R., VAN WAMBEKE, L., EBERHARDT, P., 1961. — Recherches sur l'âge absolu des minéralisations uranifères du Katanga et de Rhodésie du Nord. *Mus. roy. Afrique centrale, Annales*. sér. in 8°, Sci. géol., **41**, 1-54.
- CAHEN, L., SNELLING, N. J., 1966. — The geochronology of Equatorial Africa, Amsterdam, North Holland Publ. Co.
- CAHEN, L., SNELLING, N. J., 1971. — Données radiométriques nouvelles par la méthode potassium-argon. Existence d'une importante élévation post-tectonique de la température dans les couches katangiennes du sud du Katanga et du Copperbelt de la Zambia. *Ann. Soc. Géol. Belgique* **94**, 199-209.
- DARNLEY, A. G., HORNE, J. E. T., SMITH, G. H., CHANDLER, T. R. D., DANCE, D. F., PREECE, E. R., 1961. — Ages of some uranium and thorium minerals from East and Central Africa. *Miner. Mag.*, **32**, 716-724.
- DERRIKS, J. J., OOSTERBOSCH, R., 1958. — The Swambo and Kalongwe deposits compared to Shinkolobwe. Contribution to the Study of Katanga uranium *Proc. 2nd U. N. international conference on the peaceful uses of atomic energy*, Geneva, vol. 2, 663-695.
- NIER, A. O., 1939. — The isotopic constitution of radiogenic leads and the measurement of geological time, II. *Phys. Rev.*, **55**, 153-163.
- RUSSELL, R. D., FARQUHAR, R. M., 1960. — Lead isotopes in geology. Interscience Publ. New York.
- STREFF, L. R., STERN, T. W., SEIKI OSHIRO, Sentle, F. E., 1959. — Tables for the calculation of lead isotope ages. *Geol. Surv. Prof. Paper*, 334.A.
- VAES, J. F., 1962. — A study of the metamorphism of the Roan sediments at the Musoshi Copper deposit and its consequences. *Mus. roy. Afrique centrale, Annales*, sér. in 8°, Sci. géol., **43**.
- WETHERILL, G. 1956. — Discordant uranium ages. I. *Trans. Amer. Geoph. Union*, **37**, 320-325.