

La kamotoïte-(Y), un nouveau carbonate d'uranyle et de terres rares de Kamoto, Shaba, Zaïre

par MICHEL DELIENS* et PAUL PIRET**

* Département de Géologie et de Minéralogie, Musée royal de l'Afrique centrale, B 1980 Tervuren, Belgique.

** Laboratoire de Chimie physique et de Cristallographie de l'Université, B 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Résumé. — La kamotoïte-(Y) se présente en encroûtements de tablettes allongées jaune vif sur l'uraninite. Optiquement biaxe négative, $2V_{\text{calc.}} = 87^\circ$, $n_g = 1,731$, $n_m = 1,667$ et $n_p = 1,604$. Système monoclinique, groupe spatial $P2_1/a$, $a = 21,22(1)$, $b = 12,93(1)$, $c = 12,39(1)$ Å, $\beta = 115,3(1)^\circ$, $Z = 4$, $d_{\text{calc.}} = 3,94$, $d_{\text{mes.}} = 3,93$. Raies principales du diagramme de poudre $|d(\text{Å})|$, 1, hkl | 6,48 (10) 020, 8,49 (8) 011, 3,054 (6) 402, 404, 3,49 (4) 222, 223, 2,762 (4) 422, 424. Analyse chimique à la microsonde électronique UO_3 63,39, Y_2O_3 6,19, Nd_2O_3 2,36, Gd_2O_3 2,10, Sm_2O_3 1,91, Dy_2O_3 1,64, CO_2 (par chromatographie) 7,24, H_2O (différence entre P.F. 800° et % CO_2) 14,30, total 99,13 %. Formule : $4\text{UO}_3 \cdot (\text{Y}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Sm}, \text{Dy})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CO}_2 \cdot 14,5\text{H}_2\text{O}$. Le minéral provient du gisement cupro-cobaltifère de Kamoto au Shaba méridional. Le nom rappelle la provenance.

Mots-clés : nouveau minéral, carbonate, uranyle, terres rares, Kamoto, Zaïre.

Kamotoïte-(Y), a new uranyl and rare earth carbonate from Kamoto, Shaba, Zaïre.

Abstract. — Kamotoïte-(Y) occurs as crusts of elongated bright yellow blades on uraninite matrix. Optically biaxial negative, $2V_{\text{calc.}} = 87^\circ$, $\gamma = 1,731$, $\beta = 1,667$ and $\alpha = 1,604$. Monoclinic, space group $P2_1/a$, $a = 21,22(1)$, $b = 12,93(1)$, $c = 12,39(1)$ Å, $\beta = 115,3(1)^\circ$, $Z = 4$, $d_{\text{calc.}} = 3,94$, $d_{\text{mes.}} = 3,93$. Strongest lines in the X-ray powder pattern $|d(\text{Å})|$, 1, hkl | 6,48 (10) 020, 8,49 (8) 011, 3,054 (6) 402, 404, 3,49 (4) 222, 223, 2,762 (4) 422, 424. An analysis with the electron microprobe gave : UO_3 63,39, Y_2O_3 6,19, Nd_2O_3 2,36, Gd_2O_3 2,10, Sm_2O_3 1,91, Dy_2O_3 1,64, CO_2 (by chromatography) 7,24, H_2O (difference between loss at 800°C and % CO_2) 14,30, total 99,13 %. Formula : $4\text{UO}_3 \cdot (\text{Y}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Sm}, \text{Dy})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CO}_2 \cdot 14,5\text{H}_2\text{O}$. The mineral was found in the Cu-Co deposit of Kamoto, southern Shaba, Zaïre. The name is for the locality.

Key-words : new mineral, carbonate, uranyl, rare earths, Kamoto, Zaïre.

INTRODUCTION

La kamotoïte-(Y) est le troisième carbonate hydraté d'uranium et de terres rares décrit parmi les associations minérales secondaires des gisements de la série des Mines au Shaba méridional. La lepersonnite, $\text{CaO} \cdot (\text{Gd}, \text{Dy}, \text{Y}, \text{Tb})_2\text{O}_3 \cdot 24\text{UO}_3 \cdot 8\text{CO}_2 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 60\text{H}_2\text{O}$, en touffes et en nodules fibroradiés jaune vif, a été recueillie dans les gisements de Shinkolobwe et de Swambo (Deliens et Piret, 1982). La bijvoetite, $(\text{Y}, \text{Dy}, \text{Gd}, \text{Tb})_2\text{O}_3 \cdot 4\text{UO}_3 \cdot 4\text{CO}_2 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$, en cristaux tabulaires jaune vif transparents, n'a été signalée jusqu'à présent qu'à Shinkolobwe (Deliens et Piret, 1982). La kamotoïte-(Y) provient d'une poche uranifère du gisement cupro-cobaltifère de Kamoto, situé à proximité immédiate de la ville minière de Kolwezi. Ces trois minéraux appartiennent à la zone d'oxydation des gisements et se forment directement au contact de l'uraninite primaire, dans la zone des minerais jaune-orangé à oxydes hydratés (curite, schœpfitte, becquerelite), à carbonates (rutherfordite) et à sili-

cates (uranophane, kasolite, soddyite). Les terres rares que renferme la kamotoïte-(Y) proviennent, comme pour la lepersonnite et la bijvoetite, d'éléments associés en faible teneur à l'uranium des uraninites primaires.

DESCRIPTION MACROSCOPIQUE ET MORPHOLOGIE DES CRISTAUX

La kamotoïte-(Y) se présente en longues lattes jaune citron, striées perpendiculairement à l'allongement et terminées en pointe (Figure 1). Les tablettes constituent des assemblages parallèles ou flabelliformes, plus rarement des touffes fibroradiées. Les cristaux atteignent 5 mm de longueur pour une section comprise entre 1/2 et 1 mm. La kamotoïte-(Y) forme des plages monominérales largement développées sur de l'uraninite massive où l'on devine des clivages orthogonaux et dont la zone superficielle est épigénisée en gummites jaunes et oranges. Sur un des

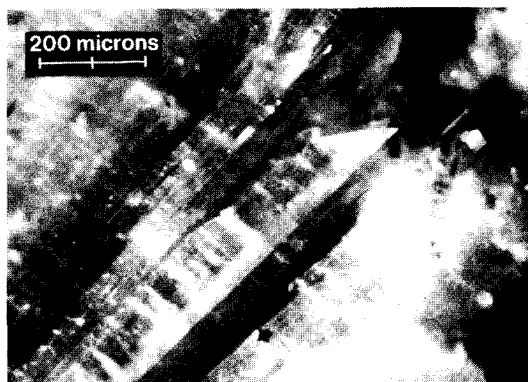


FIG. 1. — *Tablettes superposées terminées en pointe de kamotoïte-(Y).* (Photographie au binoculaire Wild).

Superposed and sharp-pointed blades of kamotoïte-(Y). (Wild binocular photograph).

échantillons types, le contact entre l'uraninite et la kamotoïte-(Y) se fait par l'intermédiaire d'une couche cryptocristalline millimétrique de couleur vert malachite dont la nature n'a pu être précisée par diffraction des rayons X. Sur l'autre échantillon, la croûte de kamotoïte-(Y) est relayée latéralement par des nodules jaune pâle d'uranophane de la taille d'une tête d'épingle.

Les cristaux tabulaires de kamotoïte-(Y) sont transparents à translucides, leur éclat est vitreux. L'altération se marque par une opacification et par une atténuation de l'intensité de la couleur jaune. La dureté n'a pu être mesurée car les tablettes sont très sectiles. La densité mesurée dans les liquides denses vaut 3,93 (densité calculée = 3,94). Le minéral n'est pas fluorescent aux UV de courtes ou de grandes longueurs d'onde.

Les cristaux sont aplatis sur (010) et allongés suivant [100]. Les faces latérales parallèles à l'allongement sont {001}. La pointe terminale est formée par les arêtes [100] et [101] (ou par les faces (001) et ($\bar{1}01$)). L'angle entre ces arêtes vaut 35,1°. Le clivage {010} est aisé et {001} assez net. Les cristaux sont généralement maclés par réflexion dans (001).

PROPRIÉTÉS OPTIQUES

Les tablettes jaunes sont fortement pléochroï-

ques (section $n_g - n_m$) avec $n_g = 1,731(3)$ (jaune vif), $n_m = 1,667(2)$ (jaune verdâtre pâle) et $n_p = 1,604(2)$ (incolore) ; ce dernier indice peut être mesuré sur quelques rares sections $n_g - n_p$ ayant une forme aciculaire. Le minéral est biaxe négatif avec un 2V calculé de 87°. L'extinction est droite et l'allongement positif. Orientation optique : $X = b$, $Y = c^*$ et $Z = a$ avec $Y\Delta c = 25^\circ$. Absorption : $Z > Y > X$. Dispersion non discernable.

COMPOSITION CHIMIQUE

La kamotoïte-(Y) a été analysée au Centre d'analyse par microsonde pour les sciences de la terre (CAMST) de l'Université de Louvain (appareil Camebax, analyste J. Wautier). On a utilisé comme étalons l'uranium métallique et, pour les terres rares, des verres synthétiques fournis par le Center for Volcanology, University of Oregon. CO_2 a été dosé par chromatographie en phase gazeuse (prise d'essai de 5 mg). La perte au feu totale ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$) a été mesurée au four à 800 °C sur 10 mg.

Les résultats de l'analyse chimique figurent au tableau I. La formule empirique pour 21 oxygènes dans la partie anhydre est la suivante :

$4,07\text{UO}_3 \cdot 0,92(\text{Y}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Sm}, \text{Dy})_2\text{O}_3 \cdot 3,02\text{CO}_2 \cdot 14,5\text{H}_2\text{O}$, ou idéalement :

	1	2	3	4
UO_3	63,39	0,222	4,07	62,66
Y_2O_3	6,19	0,027	0,50	6,77
Nd_2O_3	2,36	0,007	0,13	2,90
Sm_2O_3	1,91	0,006	0,10	2,08
Gd_2O_3	2,10	0,006	0,11	2,27
Dy_2O_3	1,64	0,004	0,08	1,78
CO_2	7,24	0,165	3,02	7,23
H_2O	14,30	0,793	14,55	14,31
Total	99,13			100,00

TABLEAU I. — *Composition chimique de la kamotoïte-(Y).* 1 : pourcentages expérimentaux moyens. 2 : pourcentages moléculaires ; 3 : nombre de moles pour 21 oxygènes dans la partie anhydre. 4 : pourcentages théoriques pour la formule idéale.

Chemical composition of kamotoïte-(Y). 1 : mean experimental percentages. 2 : molecular ratio. 3 : mole number for 21 oxygens in the anhydrous part. 4 : theoretical percentages for the ideal formula.

$4\text{UO}_3 \cdot (\text{Y}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Sm}, \text{Dy})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CO}_2 \cdot 14,5\text{H}_2\text{O}$.

Les pourcentages d'oxydes résultent de la moyenne de 19 analyses effectuées sur plusieurs cristaux. Les valeurs extrêmes sont :

UO_3 60-70, Y_2O_3 5,9-6,6, Nd_2O_3 2,0-3,0, Gd_2O_3 1,9-2,7, Sm_2O_3 1,6-2,2 et Dy_2O_3 1,0-1,8.

On a illustré schématiquement à la figure 2 la répartition des terres rares (exprimée en % d'oxydes, total = 100) pour les quatre minéraux secondaires des gîtes du Shaba méridional qui en renferment : kamotoïte-(Y), bijvoetite, lepersonnite et schuilingite, $2\text{PbO} \cdot 2\text{CuO} \cdot (\text{TR})_2\text{O}_3 \cdot 6\text{CO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Piret et Deliens, 1982). Y, Gd et Dy sont présents dans les quatre minéraux. Parmi les carbonates d'uranyle, la lepersonnite et la bijvoetite renferment en outre Tb, tandis que la kamotoïte-(Y) est caractérisée par la présence de Nd et Sm. La schuilingite présente la plus riche association de terres rares. On remarquera l'absence systématique de Ce qui est pourtant l'élé-

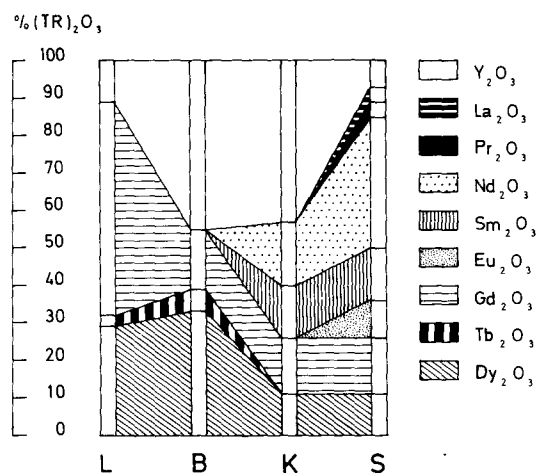


FIG. 2. — Répartition des terres rares dans quatre minéraux carbonatés de gisements du Shaba méridional. L = lepersonnite, B = bijvoetite, K = kamotoïte-(Y) et S = schuilingite.

Distribution of the rare earths in four carbonates from the deposits of southern Shaba. L = lepersonnite, B = bijvoetite, K = kamotoïte-(Y) and S = schuilingite.

ment principal des monazites primaires de ces gisements. Les terres rares des minéraux secondaires proviennent en effet de la concentration des éléments en trace associés à l'uranium de la pechblende et de l'uraninite primaires et non de

la monazite dont les cristaux demeurent inaltérés dans la zone d'oxydation superficielle des gisements.

DIFFRACTION DES RAYONS X

Le diagramme de poudre est donné au tableau II. Par suite de la relation approximative $a = -4c \cos \beta$, donc $c^* = 4a^* \cos \beta^*$, les réflexions hkl et hk ($-h/2-\ell$) (lorsque h est pair) correspondent à des d_{hkl} pratiquement égaux. La réflexion correspondant à $d = 7,12 \text{ \AA}$ est indiquée dans le tableau comme raie $K\beta$ de 020 ; en réalité, elle n'apparaît pas sur tous les clichés et pourrait être due à une impureté. Le diagramme de poudre de la bijvoetite est donné à titre de comparaison ; on remarquera que les deux diagrammes, quoique bien distincts, présentent de nettes analogies.

Les paramètres de la maille et le groupe spatial ont été déterminés à partir de clichés de rotation autour de a , de Weissenberg $0kl$ à $4kl$ et de précession $h0\ell$ à $h2\ell$. La symétrie est monoclinique avec les conditions de présence pour $h0\ell$: $h = 2n$ et pour $0k0$: $k = 2n$. Le groupe spatial est donc $P2_1/a$. Les paramètres de la maille, affinés par moindres carrés à partir du diagramme de poudre, valent $a = 21,22(1)$, $b = 12,93(1)$, $c = 12,39(1) \text{ \AA}$, $\beta = 115,3(1)^\circ$. La densité calculée pour $Z = 4$ vaut 3,94.

La symétrie apparente de la plupart des cristaux est cependant orthorhombique, par suite de la présence d'un plan de macle (001). Les clichés des macles présentent une symétrie orthorhombique avec des paramètres apparents $A = a = 21,22$, $B = b = 12,93$, $C = 4c \sin \beta = 44,81 \text{ \AA}$. Un maillage similaire a été décrit par Piret et Declercq (1983) dans un article sur la structure de l'upalite ; la description qui en est faite (et notamment la figure 1 de cet article) est valable pour la kamotoïte, à condition de permuter A et C.

D'autre part, ces paramètres apparents sont proches, après intervention de B et C, de ceux de la bijvoetite pour laquelle on a : $a = 21,22$, $b = 45,30$ et $c = 13,38 \text{ \AA}$. De plus les diagrammes de rayons X font apparaître des similitudes frappantes, particulièrement pour le plan $h0\ell$ parallèle au clivage principal. Les structures des deux minéraux doivent donc être voisines.

Kamotoïte-(Y)				Bijvoetite		Kamotoïte-(Y)				Bijvoetite			
hkl	d _{calc}	d _{obs}	I _{vis}	d _{obs}	I _{vis}	hkl	d _{calc}	d _{obs}	I _{vis}	d _{obs}	I _{vis}		
200	9.59	9.52	10	9.54	5	412	2.972	2.972	30	2.996	60		
20 $\bar{1}$	9.59					41 $\bar{4}$	2.972						
011	8.47	8.49	80	8.61	80	620	2.866	2.860	8				
$\bar{2}$ 10	7.70					62 $\bar{3}$	2.866						
21 $\bar{1}$	7.70	7.67	15			422	2.761	2.762	40	2.772	20b		
020 $\frac{1}{2}$ 0 $\frac{1}{2}$	7.17					42 $\bar{4}$	2.761						
020	6.47	6.48	100	6.70	100	63 $\bar{1}$	2.715	2.710	5				
120	6.13					63 $\bar{2}$	2.715						
201	6.11	6.14	20			80 $\bar{2}$	2.654	2.649	8				
20 $\bar{2}$	6.11					630	2.568	2.569	10			2.597	20
002	5.60	5.62	30b	5.65	10	63 $\bar{3}$	2.568						
220	5.36					54 $\bar{2}$	2.535	2.532	10	2.537	30		
22 $\bar{1}$	5.36	5.34	5			34 $\bar{3}$	2.532						
40 $\bar{1}$	5.31					214	2.382	2.384	15				
31 $\bar{2}$	5.10	5.10	5			21 $\bar{5}$	2.382						
121	5.09					423	2.313	2.315	5				
41 $\bar{1}$	4.91	4.90	15	4.53	10	42 $\bar{5}$	2.313						
022	4.23					640	2.273	2.279	5				
202	4.13	4.12	15	4.16	60	64 $\bar{3}$	2.273						
20 $\bar{3}$	4.13					442	2.220	2.218	15	2.229	5		
031	4.02	4.03	15			44 $\bar{4}$	2.220						
212	3.93		3.98	3b	811	2.133	2.132	40b	2.141	40			
21 $\bar{3}$	3.93	3.93			35						81 $\bar{5}$	2.134	
420	3.85							65 $\bar{1}$			2.079	2.083	5
42 $\bar{2}$	3.85	3.84			5			65 $\bar{2}$			2.079		
411	3.69							10.1.0	1.898	1.899	25	1.958	5
41 $\bar{3}$	3.69	3.67			10			10.1. $\bar{5}$	1.898				
222	3.48	3.49	40	3.52	50	633	1.841	1.843	30	1.855	10b		
22 $\bar{3}$	3.48					63 $\bar{6}$	1.841						
61 $\bar{1}$	3.374	3.371	30	3.36	50	10.0.1	1.769	1.769	10	1.763	40		
61 $\bar{2}$	3.374					10.0. $\bar{6}$	1.769						
040	3.233	3.235	25			10.4. $\bar{2}$	1.769						
140	3.188					10.4. $\bar{3}$	1.769						
14 $\bar{1}$	3.125	3.119	20	3.111	40	12.1. $\bar{3}$	1.751	1.749	40				
402	3.054					614	1.749						
40 $\bar{4}$	3.054	3.054	60			61 $\bar{7}$	1.749						

TABLEAU II. — *Diagramme de poudre de la kamotoïte-(Y)*. Chambre Debye-Scherrer de 114,6 mm ; radiation Cu K α , filtre de nickel. Intensités estimées visuellement. d(hkl) en Å. Indexations basées sur les intensités des réflexions de monocristaux. b = raies larges.

X-ray powder pattern of kamotoïte-(Y). 114.6 mm Debye-Scherrer camera, radiation Cu K α , filter Ni. Visually estimated intensities. d(hkl) Å. Indexing based on single-crystal intensities. b = broad lines.

INDICE DE COMPATIBILITÉ

Les résultats des études optique, chimique et radiocristallographique permettent de calculer un indice de compatibilité (Mandarino, 1981) de 0,006 qui fait partie de la catégorie "supérieure". Les constantes *k* introduites dans le calcul sont celles de Mandarino (1981) sauf pour l'uranium où nous avons utilisé celle de Larsen (1921), qui donne un meilleur accord pour tous les phosphates et arsénates d'uranyle dont on peut trouver une description suffisamment précise dans la littérature.

NOMENCLATURE ET CONSERVATION

Le nom kamotoïte rappelle le gisement cupro-cobaltifère de Kamoto, près de Kolwezi au Shaba méridional. L'emploi du suffixe (Y) est

conforme au système préconisé par Levinson (1966) pour la nomenclature des minéraux renfermant des terres rares.

Deux échantillons holotypes (R.G.M. 14.025 et 14.350) et deux cotypes sont conservés dans la collection minéralogique du Musée royal de l'Afrique centrale à Tervuren.

La description et le nom ont été approuvés par la Commission des nouveaux minéraux de l'I.M.A. en janvier 1986.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude à MM. Pendeville et Van Dooren qui leur ont fourni deux des échantillons originaux.

Reçu le 13 mars 1986

Accepté le 8 juillet 1986

RÉFÉRENCES

- DELIENS, M. et PIRET, P. (1982). — Bijvoetite et lepersonnite, carbonates hydratés d'uranyle et de terres rares de Shinkolobwe, Zaïre. *Canadian Mineral.*, 20, 231-238.
- LARSEN, E.S. (1921). — The microscopic determination of the nonopaque minerals. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 679.
- LEVINSON, A.A. (1966). — A system of nomenclature for rare-earth minerals. *Amer. Mineral.*, 51, 152-158.
- MANDARINO, J.A. (1981). — The Gladstone-Dale relationship. Part IV. The compatibility concept and its application. *Canadian Mineral.*, 19, 441-450.
- PIRET, P. et DELIENS, M. (1982). — Nouvelles données sur la schuilingite, carbonate hydraté de terres rares, de plomb et de cuivre. *Bull. Minéral.*, 105, 225-228.
- PIRET, P. et DECLERCQ, J.P. (1983). — Structure cristalline de l'upalite $\text{Al} \left[(\text{UO}_2)_3\text{O}(\text{OH})(\text{PO}_4)_2 \right] \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Un exemple de macles mimétiques. *Bull. Minéral.*, 106, 383-389.