

Les phosphates d'uranyle et d'aluminium de Kobokobo IV. La threadgoldite, $\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, nouveau minéral

par MICHEL DELIENS,

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

et PAUL PIRET,

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

Résumé. — La threadgoldite se présente en tablettes micacées jaune verdâtre. Optiquement, elle est biaxe négative, $2V = 70^\circ$; $n_g = 1,588$, $n_m = 1,583$ et n_p (calculé) = 1,573. Système monoclinique avec $a = 20,25 \text{ \AA}$, $b = 9,85 \text{ \AA}$, $c = 19,75 \text{ \AA}$ et $\beta = 111,4^\circ$. Groupe spatial Cc ou $C2/c$. Densité calculée pour $Z = 8$: $3,32 \text{ g/cm}^3$. Densité mesurée : $3,4 \text{ g/cm}^3$. Les raies principales du diagramme de poudre sont [d (Å), hkl , (I)] : 9,43, 200 (100), 3,474, $22\bar{4}$ (80), 3,366, 024 (60), 2,197, 228 et $42\bar{8}$ (60), 5,35, $31\bar{2}$ (50). Analyse chimique à la microsonde électronique : Al_2O_3 5,4 %, UO_3 63,5 %, P_2O_5 13,7 %, H_2O par différence 17,4 % et par thermogravimétrie 17,0 %. Formule : $\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Le minéral provient de la pegmatite de Kobokobo (Kivu, Zaïre). Le nom est en l'honneur de Ian M. Threadgold, géologue australien et auteur de la description sommaire d'un minéral analogue.

Mots clés : threadgoldite, nouveau minéral, aluminium uranyle phosphate, Kobokobo, Zaïre.

Uranyl and aluminium phosphates from Kobokobo. IV. Threadgoldite, $\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, new mineral.

Abstract. — Threadgoldite occurs as micaceous tablets. Colour : greenish yellow. Optically $2V$ (—) 70° ; $n_g = 1,588$, $n_m = 1,583$ and n_p (calculated) = 1,573. Monoclinic Cc or $C2/c$ with $a = 20,25 \text{ \AA}$, $b = 9,85 \text{ \AA}$ and $c = 19,75 \text{ \AA}$; $\beta = 111,4^\circ$. Calculated density for $Z = 8$: $3,32 \text{ g/cm}^3$. Measured density : $3,4 \text{ g/cm}^3$. The strongest lines of the X-ray powder pattern are [d (Å), hkl , (I)] : 9,43, 200 (100), 3,474, $22\bar{4}$ (80), 3,366, 024 (60), 2,197, 228 and $42\bar{8}$ (60), 5,35, $31\bar{2}$ (50). Chemical analysis by electron microprobe : Al_2O_3 5.4 %; UO_3 63.5 %, P_2O_5 13.7 %, H_2O by difference 17.4 % and by thermogravimetry 17.0 %. Formula : $\text{Al}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH}) \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. Threadgoldite occurs at Kobokobo (Kivu, Zaïre) in pegmatitic rocks. The name after Ian M. Threadgold, Australian Geologist, author of a first abridged description of a similar mineral.

Key words : threadgoldite, new mineral, aluminium uranyl phosphate, Kobokobo, Zaïre.

INTRODUCTION.

La threadgoldite est le huitième phosphate d'uranyle et d'aluminium récemment découvert sur des échantillons provenant de la pegmatite à beryl et à colombite de Kobokobo, Kivu, Zaïre. Les sept premiers ont été décrits brièvement dans l'article I de la série (Deliens et Piret, 1977) sous les dénominations provisoires de minéraux A à G. Depuis lors, les minéraux A et B ont été décrits plus complètement sous les noms de phuralumite et d'upalite (Deliens et Piret, 1979 a), le minéral E sous le nom de ranunculite (Deliens et Piret, 1979 b). Le minéral F s'est avéré être une variété de furongite; les minéraux C, D et G sont encore à l'étude.

De la threadgoldite a également été repérée sur un échantillon de la collection minéralogique du Musée royal de l'Afrique centrale provenant d'Australie, mais ce dernier n'est malheureusement pas localisé avec précision. Ses propriétés et sa composition sont identiques à celles du minéral de Kobokobo.

Un minéral découvert dans le South Alligator district (Territoire du Nord, Australie) par Threadgold (minéral H de Threadgold, 1960) donne le même

spectre de poudre et a les mêmes caractères optiques que la threadgoldite. Cependant il contiendrait du calcium et probablement du fer à la place de l'aluminium.

DESCRIPTION MACROSCOPIQUE.

La threadgoldite a été découverte sur un échantillon de la collection minéralogique du Musée royal de l'Afrique centrale. L'échantillon consiste en une pegmatite quartzo-feldspathique finement cristallisée renfermant des cristaux centimétriques de muscovite verte. La roche est sillonnée par des filonnets de colombite noire et est vivement colorée par des minéraux secondaires d'uranium. Il s'agit d'enduits pulvérulents à microcristallins dans lesquels quatre espèces ont pu être identifiées : la méta-autunite, la phosphuranylite, l'upalite (Deliens et Piret, 1979 a) et la threadgoldite. Celle-ci se présente en tablettes micacées jaune verdâtre transparentes, à l'éclat vitreux. Elle est fluorescente en vert vif aux UV de grand λ et vert pâle aux UV de petit λ . Les cristaux sont généralement allongés suivant b (fig. 1); la longueur maximale suivant le grand diamètre est d'environ 1 mm. On

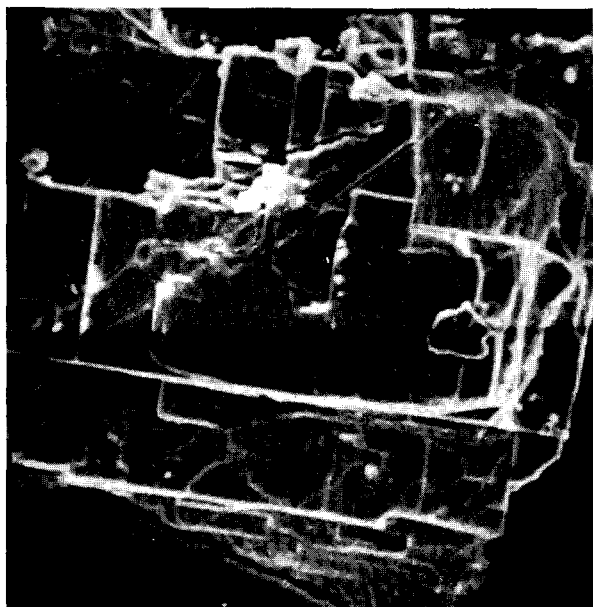


FIG. 1. — Threadgoldite de Kobokobo. Superposition de tablettes à clivages orthogonaux. Photo au microscope électronique à balayage ($\times 400$).

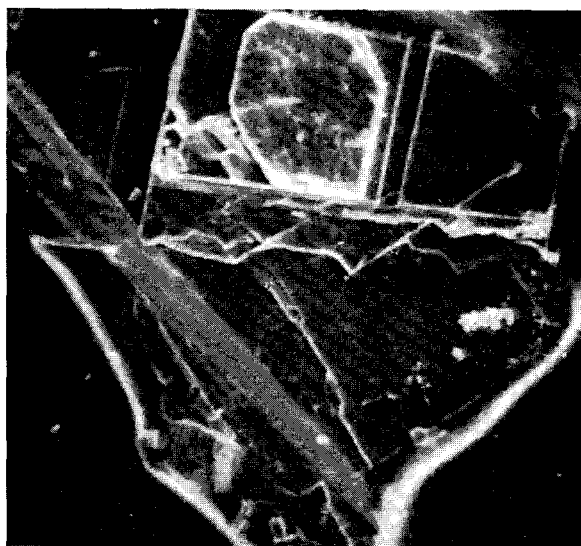


FIG. 2. — Threadgoldite de Kobokobo. Tablettes (gris foncé) recoupées par un cristal aciculaire (gris pâle) d'upalite. Photo au microscope électronique à balayage ($\times 320$).

peut repérer les formes $\{100\}$ (plan des plaquettes), $\{001\}$, $\{010\}$ et $\{012\}$ (fig. 2). Ces formes représentent également de bons plans de clivage. L'angle entre (010) et (012) vaut $47,0^\circ$ (1). Le minéral sert parfois de support aux prismes aciculaires jaune ambre d'upalite ; il peut également en renfermer sous forme d'inclusions (bâtonnets gris pâle de la fig. 2).

(1) Les angles interfaciaux ont été mesurés au microscope et comparés avec les angles calculés à partir des paramètres de la maille.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES.

Au microscope, la threadgoldite se présente en tablettes jaune très pâle ou incolores. Les caractères optiques sont rassemblés au tableau I. L'indice n_m coïncide avec l'axe cristallographique b et se trouve dans le plan de la tablette. L'indice n_g est à peu près compris dans ce plan ($n_g \wedge \text{plan} = 4^\circ$) ; l'indice n_p est à 4° de la normale au plan.

TABLEAU I.

Propriétés optiques.

1. Threadgoldites de Kobokobo et d'Australie ; 2. Minéral H (Threadgold, 1960) ; 3. Sabugalite de Sabugal (Fron del, 1951) ; 4. Sabugalite de Margnac (Guillemin et Pierrot, 1956).

	1	2	3	4
n_p	1,573 (calc)	—	1,565	1,565 (calc)
n_m	1,583	1,583	1,582	1,582
n_g	1,583	1,582	1,585	1,585
2V (°)	70*	60 à 70*	posit	30 – 40*
Al:O ₂ ⁺	—	+	+	+

Le tableau I montre que les caractères optiques ne permettent pas de distinguer entre la threadgoldite et le minéral H de Threadgold (1960), l'allongement qui diffère dans les deux minéraux étant un critère peu sûr. La seule différence est la couleur observée sous la loupe : le minéral H est jaune, la threadgoldite est jaune verdâtre.

La threadgoldite peut être distinguée de la sabugalite $(AlH)_{0,5}(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10H_2O$ grâce à l'angle entre les axes optiques.

COMPOSITION CHIMIQUE.

Les analyses ont été effectuées par J. Wautier à la microsonde électronique du Laboratoire de Pétrographie de l'Université de Louvain. Les spectres qualitatifs montrent la présence exclusive d'uranium, de phosphore et d'aluminium dans la threadgoldite non localisée d'Australie ; il s'y ajoute parfois un peu de calcium dans certains cristaux de Kobokobo. Le minéral H calcifère de Threadgold (1960) n'a pas été étudié quantitativement par cet auteur.

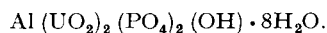
Les résultats de l'analyse quantitative d'un cristal de Kobokobo ne contenant pas de calcium sont donnés au tableau II, en même temps que les pourcentages calculés à partir de la formule $Al(UO_2)_2(PO_4)_2(OH) \cdot 8H_2O$. Cette formule est confirmée par la détermination complète de la structure (Piret *et al.*, 1979). Elle est analogue à celle de la méta-vanuralite $Al(UO_2)_2(VO_4)_2(OH) \cdot 8H_2O$ (Cesbron, 1970).

Les témoins suivants ont été utilisés : pour l'uranium, une méta-torbernite ; pour l'aluminium, un saphir, un disthène et un verre synthétique ; pour le phosphore, une apatite. Le pourcentage d'eau a été obtenu par différence. Il a en outre été vérifié par

TABLEAU II.

Analyse chimique de la threadgoldite de Kobokobo.

Pourcentages en poids observés et calculés à partir de la formule :



	Z obs.	Z PM	cations	anions	Nombre d'ions pour 21 Os.	Z calc.
Al_2O_3	5,4	0,0529	9,1056	0,1557	0,98	5,6
UO_3	61,5	0,2220	0,2220	0,6660	2,05	62,1
P_2O_5	11,7	0,0965	0,1930	0,4825	1,75	12,1
H_2O	17,4	0,9667		0,9667		16,7
100,0			11,2738	21,00		100,0

une analyse thermogravimétrique sur 4,32 mg ; la courbe montre une perte en poids de 17 % entre 20 et 700° C (fig. 2).

DIFFRACTION DES RAYONS X.

Le spectre de poudre (radiation $\text{CuK}\alpha$, filtre de Ni, caméra de 114,6 mm de diamètre, réflexions indicées en tenant compte des intensités observées sur les spectres de Weissenberg) est donné au tableau II, en même temps que les spectres du minéral H de Threadgold (ASTM 8-313) et de la sabugalite (ASTM 5-107). Les deux premiers spectres sont quasi identiques. Le spectre de la threadgoldite présente quelques analogies dans sa partie médiane avec ceux de la saléeite et de la sabugalite, ce qui est dû au fait que la threadgoldite appartient au même groupe structural malgré les différences de symétrie et de paramètres cristallins.

Les spectres de monocristaux (Weissenberg hol à $h3l$, précession okl et $rk l$) montrent que la threadgoldite appartient au système monoclinique avec $a = 20,25 \text{ \AA}$, $b = 9,85 \text{ \AA}$, $c = 19,75 \text{ \AA}$ et $\beta = 111,4^\circ$; le volume de la maille est de $3\,668 \text{ \AA}^3$. Les conditions de présence des réflexions sont pour hkl : $h + k = 2n$ et pour hol : $l = 2n$, ce qui correspond aux groupes spatiaux Cc et $C2/c$. La densité calculée pour $Z = 8$

vaut $3,32 \text{ g/cm}^3$. La densité mesurée par flottation dans des liquides denses est d'environ $3,4 \text{ g/cm}^3$.

Si on néglige certaines réflexions peu intenses, on obtient une maille monoclinique à faces centrées F, deux fois plus petite que la maille C (avec $c' = c/2$). On a donc des conditions de présences supplémentaires qui se retrouvent dans le spectre de poudre (tableau III) ; une réflexion hkl n'est plus présente que si $l = 2n$, $h + l/2 = 2n$ et $k + l/2 = 2n$. On peut également choisir une maille centrée A avec $a' = a/2 + c/4$,

TABLEAU III.

Spectre de poudre de la threadgoldite de Kobokobo comparé à ceux du Minéral H de Threadgold (1960), de la saléeite (Fron del *et al.*, 1956) et de la sabugalite (Guillemin et Pierrot, 1956).

(*) Les indices hkl se rapportent à la maille réelle C.
(**) Les indices $h'k'l'$ se rapportent à la « maille » approchée A (voir texte).
B = bande.

THREADGOLDITE de Kobokobo				MINÉRAL H d'Australie ASTM 15-443				SALÉITE ASTM 8-313				SABUGALITE ASTM 5-107			
d (Å) mes.	I _{vis.}	d (Å) calc.	hkl (n)	h'k'l' (n')	d (Å) calc.	I		d (Å) calc.	I			d (Å) calc.	I		
9,44	100	9,44	200	100	9,47	100		9,85	100			9,69	100		
5,89	20	5,86	112	111	5,92	10		8,60	30			6,56	10		
5,15	50	5,16	312	111	5,10	30		6,50	20			5,59	10		
4,93	40	4,90	204	002	4,95	40		5,46	30			4,86	90		
4,70	35	4,71	400	200	4,72	40									
4,61	25	4,60	004	102											
4,36	30	4,37	220	120	4,41	30		4,95	80			4,39	40		
4,10	30	4,08	312	211	4,10	40		4,51	40			3,47	80		
3,729	50	3,742	112	211	3,75	20		4,19	20			3,36	10		
3,474	80	3,472	224	022	3,49	60									
3,366	60	3,361	022	122	3,38	60		3,64	10			3,22	5		
3,158	70	3,165	424	122	3,17	20		3,59	90			3,06	5		
2,961	25	2,968	512	311	3,00	30		3,37	30			2,818	10		
2,924	20	2,928	222	222	2,95	20									
2,827	5	2,819	516	113	2,84	10		3,23	50			2,452	20		
2,763	20	(2,768)	212	311	2,77	20		3,09	20			2,389	20		
		(2,751)	116	213											
2,655	5	2,649	332	231	2,67	5		2,95	50			2,158	60		
		(2,563)	060	060	2,55	5		2,85	10			1,792	10		
2,443	10 B	(2,449)	208	107	2,47	20 B		2,65	10 B			1,736	10		
		(2,448)	408	004				2,45	60						
		(2,453)	716	213											
2,381	10 B	2,383	250	140	2,40	10		2,39	50						
2,337	20	2,298	712	411	2,37	10		2,30	20						
					2,27	5									
2,197	60	(2,193)	258	125	2,21	40		2,25	10						
		(2,192)	428	022											
2,109	40	2,171	054	167	2,18	10 B		2,19	70						
					2,00	10		2,15	10						
1,966	15				1,975	5		2,04	10						
					1,896	10									
1,758	20				1,874	10 B		1,919	20 B						
					1,756	30		1,860	10						
					* 4 réflexions jusqu'à 1,566				1,793	30					
									* 6 réf.						
									1,371					* 4 réf.	
														1,364	

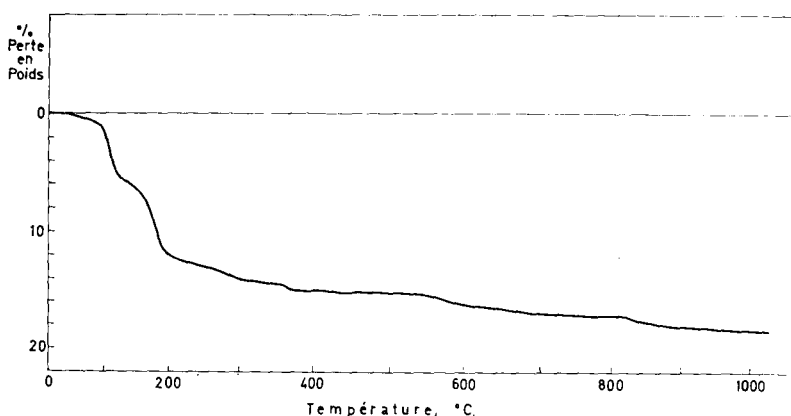


Fig. 3. — Courbe d'analyse thermogravimétrique de la threadgoldite de Kobokobo.

$b' = -b$ et $c' = -c/2$. Dans ce cas, les paramètres valent : $a' = 9,51$ Å, $b' = 9,85$ Å, $c' = 9,875$ Å, $\beta' = 97,5^\circ$ et $Z = 2$. Les absences systématiques ($h'k'l'$ pour $k' + l' = 2n + 1$) correspondent aux groupes spatiaux $A2$, Am et $A2/m$. Les indices sont donnés dans le tableau III. Le rapport avec les paramètres de la sabugalite est le suivant :

Sabugalite (Fronde, 1951) : $a = 6,96$ Å, $b = 6,96$ Å, $c = 19,3$ Å, $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$.

Threadgoldite : $b'/\sqrt{2} = 6,965$ Å, $c'/\sqrt{2} = 6,983$ Å, $a' = 19,02$ Å, $\beta' = 97,5^\circ$.

CONCLUSION.

La threadgoldite est un nouveau minéral apparenté aux minéraux du groupe de l'autunite. Elle contient deux fois plus d'aluminium que la sabugalite $(AlH)_{0,5}(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 10H_2O$ et deux fois moins que la ranunculite $AlH(UO_2)(PO_4)(OH)_3 \cdot 4H_2O$ (Deliens et Piret, 1979 b). Elle donne des spectres de diffraction de très bonne qualité, meilleurs que ceux de la sa-

bugalite. Il s'agit donc d'un composé de stœchiométrie nette et bien définie, ce que la détermination de la structure confirme (Piret *et al.*, 1979).

Le nouveau phosphate d'uranyle et d'aluminium de Kobokobo a été nommé threadgoldite afin de faire référence à l'auteur qui a fourni la description sommaire d'un composé semblable ; Ian M. Threadgold travaille au Département de Géologie et de Géophysique de l'Université de Sydney, en Australie.

Le nom et la description de la threadgoldite ont été approuvés par 19 voix contre 0 par la Commission des nouveaux minéraux de l'I. M. A. (vote du 21 novembre 1978).

L'échantillon type de threadgoldite de Kobokobo est enregistré sous le n° 5951 dans la collection minéralogique du Musée royal de l'Afrique centrale à 1980 Tervuren, Belgique. Un deuxième échantillon australien non localisé est enregistré dans la même collection sous le n° 13.511.

Reçu le 31 janvier 1979.

Accepté le 21 février 1979.

RÉFÉRENCES

- CESBRON, F. (1970). — Nouvelles données sur la vanuralite. Existence de la méta-vanuralite. *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 93, 242-248.
- DELIENS, M. et PIRET, P. (1977). — Les phosphates d'uranyle et d'aluminium de Kobokobo. I. Données préliminaires. *Bull. Soc. belge Géol.*, 86, 183-190.
- DELIENS, M. et PIRET, P. (1979 a). — Les phosphates d'uranyle et d'aluminium de Kobokobo. II. La phuralumite $Al_2(UO_2)_3(PO_4)_2(OH)_6 \cdot 10H_2O$ et l'upalite $Al(UO_2)_3(PO_4)_2(OH)_3$, nouveaux minéraux. *Bull. Minéral.*, 102, 333-337.
- DELIENS, M. et PIRET, P. (1979 b). — Ranunculite, $AlH(UO_2)(PO_4)(OH)_3 \cdot 4H_2O$, a new mineral. *Min. Mag.*, sous presse.
- FRONDEL, C. (1951). — Studies of uranium minerals (VIII) ; sabugalite, an aluminium-autunite. *Amer. Min.*, 36, 671-680.
- FRONDEL, C., RISK, D. D. et FRONDEL, J. W. (1956). — X-ray powder data for uranium and thorium minerals. *Bull. Serv. Géol. U. S. A.*, 1036 G, 91-153.
- GUILLEMEN, C. et PIERROT, R. (1956). — La sabugalite du gîte de Marnac II, Haute-Vienne. *Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr.*, 79, 179-182.
- PIRET, P., DECLERCQ, J. P. et WAUTERS-STOOP, D. (1979). — Structure de la threadgoldite. *Acta Cryst.*, sous presse.
- THREADGOLD, I. M. (1960). — Mineral composition of some uranium ores from South Alligator river area, Northern Territory. CSIRO, Austral. *Mineragraphic. Invest., Tech. paper*, 2, 53 pp.