

Les phosphates d'uranyle et d'aluminium de Kobokobo. VI. La triangulite, $Al_3(UO_2.PO_4)_4(OH)_5 \cdot 5H_2O$, nouveau minéral

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 triangulite provient du gisement de Kobokobo, Kivu, Zaïre. Le minéral se présente sous forme de tablettes jaunes à contour triangulaire, aplaties sur (100), avec les arêtes [001] et [010]. Système triclinique $P1$ ou $P\bar{1}$ avec $a = 10,39$, $b = 10,56$, $c = 10,60 \text{ \AA}$, $\alpha = 116,4$, $\beta = 107,8$ et $\gamma = 113,4^\circ$. $Z = 1$. Densité = 3,68 (calculée) et 3,7 (mesurée). Les raies les plus intenses du diagramme de poudre sont : 7,80 (10) 100, 3,87 (8) 200, 3,15 (7) $\bar{2}03$ et $\bar{2}30$, 2,99 (5) $0\bar{3}3$. Le minéral est biaxe positif, $2V = 80^\circ$. $n_g = 1,704$, $n_m = 1,665$ et n_p (calculé) = 1,639. Orientation optique : $Z \sim [0\bar{1}1]$, $Y \sim [011]$ et $X \perp (100)$. Non fluorescent aux UV. Formule chimique : $Al_3(UO_2.PO_4)_4(OH)_5 \cdot 5H_2O$. Groupe structural de la ranunculite.

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

Uranyl and aluminum phosphates from Kobokobo. VI. Triangulite, $Al_3(UO_2.PO_4)_4(OH)_5 \cdot 5H_2O$, a new mineral.

Abstract. — Triangulite occurs at Kobokobo, Kivu, Zaïre, as yellow triangular tablets flattened on (100). Edges [001] and [010]. Triclinic. Space group $P1$ or $P\bar{1}$ with $a = 10.39$, $b = 10.56$, $c = 10.60 \text{ \AA}$, $\alpha = 116.4$, $\beta = 107.8$ and $\gamma = 113.4^\circ$. $Z = 1$. Density : 3.68 (calculated) and 3.7 g/cm^3 (measured). The strongest lines of the X-ray powder pattern are 7.80 (10) 100, 3.87(8) 200, 3.15 (7) $\bar{2}03$ and $\bar{2}30$, 2.99 (5) $0\bar{3}3$. Optically biaxial positive with $2V = 80^\circ$. $n_z = 1.704$, $n_y = 1.665$ and $n_x = 1.639$ (calculated). Optical orientation : $Z \sim [0\bar{1}1]$, $Y \sim [011]$ and $X \sim (100)$. Not fluorescent under UV lights. Formula is $Al_3(UO_2.PO_4)_4(OH)_5 \cdot 5H_2O$. Structural group of ranunculite.

Key words : triangulite, new mineral, aluminum uranyl phosphate, Kobokobo, Zaïre.

INTRODUCTION

La triangulite est un phosphate hydraté d'uranium et d'aluminium découvert dans les produits secondaires d'oxydation de la pegmatite de Kobokobo au Kivu. Plusieurs nouvelles espèces provenant de ce gisement ont fait l'objet de descriptions récentes. Il s'agit de cinq phosphates d'uranium et d'aluminium : la phyalumite, l'upalite, la ranunculite, la threadgoldite et la mundite (Deliens et Piret, 1979a, b, c et 1981) et de deux phosphates d'uranium seul : la vanmeersscheite et la méta-vanmeersscheite (Piret et Deliens, 1982). Trois autres minéraux ont en outre été décrits succinctement dans une note préliminaire (Deliens et Piret, 1977) : les minéraux C et G, encore à l'étude actuellement, et le minéral F, vraisemblablement identique à la furongite (Hunan team, 1976).

La triangulite a été trouvée sur une douzaine d'échantillons, toujours en quantités très faibles. Elle y est associée préférentiellement à la méta-autunite et à la "furongite" et, dans quelques cas, à la ranunculite, la threadgoldite, la mundite et la phosphuranylite.

DESCRIPTION MACROSCOPIQUE

L'échantillon renfermant la triangulite type de Kobokobo est un bloc de pegmatite zonaire à lits alternés de quartz et de feldspath potassique rose d'une part et de niveaux noirs constitués de columbite massive d'autre part. Les principaux minéraux accessoires sont le béryl blanc et le zircon métamict brun pâle. Les fissures de l'échantillon sont colmatées et les plans de cassure sont recouverts d'enduits jaunes de présentations diverses, cristallisés ou cryptocristallins, fluorescents ou non à la lumière UV. Tous ces enduits

proviennent de l'altération de l'uraninite localisée dans certaines zones de la pegmatite mais non identifiable sur l'échantillon type.

Le minéral secondaire d'uranium le plus abondant est la méta-autunite en tablettes micacées vert pâle, fortement fluorescente aux UV. Le reste de l'association se compose de poudres microcristallines de phosphuranylite jaune soufre, de nodules jaune orangé de ranunculite (localisés de préférence dans de petites géodes) et enfin de cristaux de triangulite. Celle-ci se présente en empilements de cristaux aplatis à contour triangulaire ou plus rarement rhombique (Figure 1). La couleur est jaune vif ; le minéral est transparent et a un éclat vitreux. La longueur maximale des cristaux est de 0,2 mm. La densité mesurée par immersion dans la liqueur de Clérici est de $3,7 \pm 0,2$; la dureté Mohs est comprise entre 2 et 3.

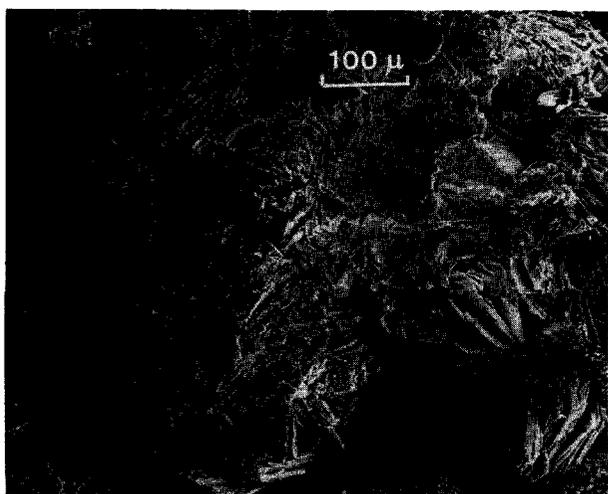


FIG. 1. — Empilements de tablettes de triangulite à contour caractéristique (Photographie au microscope à balayage).

Triangulite ; piles of tablets with characteristic outline (Scanning electron photograph).

CARACTÈRES OPTIQUES

Vue au microscope, la triangulite se présente en lamelles très fines à contour triangulaire ou parfois rhombique. Les macles sont fréquentes. La couleur est jaune avec un pléochroïsme jaune vif à jaune pâle verdâtre. Le plan des lamelles est (100) ; les arêtes visibles sont [001] et [010]. L'angle qu'elles forment vaut 64° (angle calculé : $63,6^\circ$) (Figure 2) et la direction d'extinction, correspondant à Z, fait en moyenne $2,5^\circ$ avec la bissectrice de cet angle. Le minéral est biaxe positif avec un 2V de 80° (mesure à la platine universelle). n_g (jaune vif) = 1,704 (2), n_m (jaune pâle verdâtre) = 1,665 (2) et n_p (calculé) = 1,639. L'orientation optique est la suivante : Z \sim [0 $\bar{1}$ 1], Y \sim [011] et X \perp (100). La triangulite n'est pas

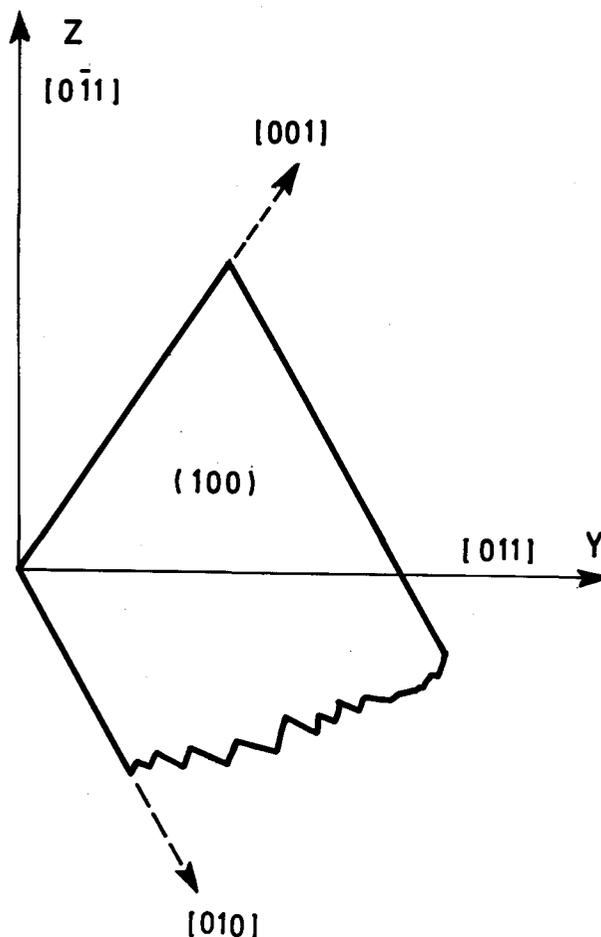


FIG. 2. — Orientation optique de la triangulite. Optical orientation of triangulite.

fluorescente aux UV de courtes et de grandes longueurs d'onde.

COMPOSITION CHIMIQUE

La triangulite a été analysée au Centre d'Analyse par Microsonde électronique pour les Sciences de la Terre (CAMST) de l'Université de Louvain (Appareil Camebax ; analyste, J. Wautier). Les étalons suivants ont été utilisés : l'uranium métallique, le corindon pour l'aluminium et une apatite pour le phosphore. Les corrections habituelles ont été effectuées au moyen d'un programme de type ZAF dans lequel le pourcentage d'oxygène est calculé par différence à 100% et réévalué à chaque itération. Les résultats de l'analyse figurent au tableau I. Aucun autre élément n'a été décelé, même sous forme de traces. Le pourcentage en H₂O a été calculé par différence étant donné la faible quantité de matière et l'association intime avec d'autres phosphates secondaires. Le nombre de molécules d'eau n'est donc pas connu avec certitude. La formule suivante est déduite de l'analyse : Al₃ (UO₂.PO₄)₄ (OH)₅. \sim 5 H₂O.

DIFFRACTION DES RAYONS X

Le spectre de poudre de la triangulite est mentionné au tableau II. Il présente des analogies avec ceux de la mundite $\text{Al}(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$ (Deliens et Piret, 1981) et de la ranunculite $\text{AlH}(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)(\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Deliens et Piret, 1979b). Les indices hkl ont été attribués en tenant compte des intensités estimées sur les spectres de monocristaux.

	1	2	3	4
UO_2	67,10	0,2346	8,09	66,67
Al_2O_3	8,90	0,0873	3,01	8,91
P_2O_5	16,24	0,1144	3,94	16,54
$ \text{H}_2\text{O} $	7,76	0,4307	14,84	7,87
	100,00			99,99

TABLEAU I. — *Composition chimique de la triangulite* (Analyste J. Wautier). 1 : pourcentages expérimentaux (moyenne sur sept cristaux). 2. proportions moléculaires. 3. Proportions moléculaires pour 53 oxygènes dans la partie anhydre. 4. Pourcentages théoriques pour la formule $\text{Al}_3(\text{UO}_2)_4(\text{OH})_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

Chemical composition of triangulite. 1. Measured weight percentages (mean values for 7 crystals). 2. Molecular proportions. 3. Molecular proportions for 53 oxygens in the anhydrous part. 4. Theoretical percentages for the formula $\text{Al}_3(\text{UO}_2)_4(\text{OH})_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

hkl	d_{obs}	d_{calc}	I_{vis}
$\bar{1}01$	8,50	8,47	10
100	7,80	7,73	100
$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$	6,13	6,08	10
$\bar{1}\bar{1}1$	5,51	5,49	10
$\bar{1}0\bar{2}$	4,70	4,72	30
$0\bar{2}\bar{2}$	4,47	4,48	10
200	3,87	3,87	80
$1\bar{2}\bar{2}$	3,74	3,76	20
$2\bar{1}\bar{2}$		3,72	
$\bar{2}\bar{2}1$	3,63	3,63	20
$\bar{2}1\bar{2}$		3,63	
$1\bar{3}\bar{2}$	3,39	3,40	20
$\bar{2}\bar{3}0$	3,15	3,15	70
$\bar{2}0\bar{3}$		3,15	
$0\bar{3}\bar{3}$	2,99	2,99	50
$\bar{3}\bar{3}0$	2,92	2,90	10
$1\bar{3}\bar{3}$	2,86	2,86	20
$1\bar{3}\bar{3}$	2,72	2,72	10
$\bar{2}\bar{1}\bar{3}$	2,62	2,64	10
$\bar{3}\bar{3}1$		2,63	
$\bar{2}\bar{3}1$		2,61	
$\bar{3}\bar{1}\bar{3}$		2,61	
300	2,574	2,577	20
$\bar{2}\bar{3}\bar{3}$	2,450	2,455	10
$\bar{1}\bar{3}1$	2,347	2,348	5
$2\bar{3}\bar{2}$	2,155	2,156	10
$\bar{2}\bar{2}\bar{3}$	2,113	2,118	10
$\bar{3}\bar{3}\bar{3}$	2,029	2,028	10
400	1,940	1,933	20
$\bar{4}\bar{3}\bar{3}$	1,858	1,855	8
$\bar{3}\bar{3}\bar{3}$	1,833	1,832	10

TABLEAU II. — *Spectre de poudre de la triangulite.* Méthode Debye-Scherrer, chambre de 114,6 mm, radiation $\text{CuK}\alpha$, filtre de nickel.
X-ray powder pattern of triangulite. Debye-Scherrer 114.6 camera, $\text{CuK}\alpha$ radiation, Ni filter.

Le groupe spatial et les paramètres de la maille ont été déterminés grâce à des films de rotation, de Weissenberg et de précession. Les cristaux utilisés avaient la forme de triangles de 0,1 mm de côté et de 0,01 mm d'épaisseur. La triangulite appartient au système triclinique, groupe spatial $P1$ ou $P\bar{1}$. Les paramètres de la maille valent

$$a = 10,39(3), b = 10,56(3), c = 10,60(3) \text{ \AA},$$

$$\alpha = 116,4(1), \beta = 107,8(1), \gamma = 113,4(1)^\circ$$

$$\text{et } V = 774,2 \text{ \AA}^3.$$

La densité calculée pour $Z = 1$ et avec $[\text{Al}_3(\text{UO}_2\text{PO}_4)_4(\text{OH})_5 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ est égale à 3,68 (densité mesurée = 3,7). Etant donné la forme la plus souvent triangulaire des cristaux et le nombre Z , le groupe spatial est probablement $P1$.

La plupart des cristaux sont maclés par rotation de 180° autour de $[0\bar{1}1]$ et $[011]$. Ils présentent donc une symétrie pseudo-orthorhombique, avec une fausse maille dont les paramètres sont :

$$|[0\bar{1}1]| = 17,98 \text{ \AA}, |[011]| = 11,15 \text{ \AA}$$

$$\text{et } 1/a^* = 7,73 \text{ \AA}^{-1}.$$

Ces derniers résultats sont à comparer avec ceux obtenus pour la ranunculite : système monoclinique, pseudo-orthorhombique, $a = 11,1 \text{ \AA}$, $b = 17,7 \text{ \AA}$, $c = 18,0 \text{ \AA}$ et $\beta \sim 90^\circ$. Deux de ces paramètres (a et c) sont donc pratiquement les mêmes que ceux de la triangulite, tandis que le troisième est différent. Les films de précession pris perpendiculairement à a^* pour la triangulite (pseudo-plan réciproque $Ok1$) et à b^* pour la ranunculite (plan réciproque hOl) se ressemblent beaucoup. La projection de la structure sur les plans perpendiculaires à a^* pour la triangulite et à b^* pour la ranunculite doit donc être très semblable. Ces plans sont les plans des feuilletts structuraux. On peut donc en déduire que la triangulite et la ranunculite contiennent le même type de feuilletts et appartiennent donc à un même type structural.

Les analogies entre les spectres de poudre de la mundite et de la triangulite sont dues principalement à la ressemblance entre a^* de la triangulite ($0,1294 \text{ \AA}^{-1}$) et b^* de la mundite ($0,0323 = 0,1294/4 \text{ \AA}^{-1}$). Du point de vue structural, cela peut signifier que la distance entre les feuilletts est la même dans les deux composés, sans que pour cela les feuilletts soient nécessairement identiques. On ne doit donc pas rattacher la triangulite au groupe structural de la phosphuranylite auquel appartient la mundite.

CONSERVATION ET NOMENCLATURE

L'échantillon type de triangulite est conservé dans la collection minéralogique du Musée Royal de l'Afrique centrale à Tervuren et enregistré sous le n°RGM 6 192. Il existe plusieurs cotypes

dans la même collection. Le nom rappelle la forme géométrique des cristaux.

Le nouveau minéral et le nom ont été approuvés par la Commission on New Minerals and Mineral Names de l'International Mineralogical

Association le 10 janvier 1982 (mineral 16/1 et nom 18/0).

Reçu le 24 février 1982
Accepté le 17 juin 1982

RÉFÉRENCES

- 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. (1979a). — Les phosphates d'uranyle et d'aluminium de Kobokobo. II. La phuralunite $\text{Al}_2(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ et l'upalite $\text{Al}(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_3$, nouveaux minéraux. *Bull. Minéral.*, 102, 333-337.
- DELIENS, M. et PIRET, P. (1979b). — Ranunculite, $\text{Al}_2\text{H}(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)(\text{OH})_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, a new mineral. *Mineral. Mag.*, 43, 321-323.
- DELIENS, M. et PIRET, P. (1979c). — 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. *Bull. Minéral.*, 102, 338-341.
- DELIENS, M. et PIRET, P. (1981). — Les phosphates d'uranyle et d'aluminium de Kobokobo. V. La mundite, nouveau minéral. *Bull. Minéral.*, 104, 669-671.
- HUNAN team (1976). — A new mineral discovered in China — Furongite $\text{Al}_2(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$. *Acta Geol. Sinica*, 2, 203-204.
- PIRET, P. et DELIENS, M. (1982). — La vanmeersscheite $\text{U}(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ et la métavanmeersscheite $\text{U}(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, nouveaux minéraux. *Bull. Minéral.*, 105, 125-128.