

L'astrocyanite-(Ce), $\text{Cu}_2(\text{TR})_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_5(\text{OH})_2 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}$, nouvelle espèce minérale de Kamoto, Shaba, Zaïre

MICHEL DELIENS * et PAUL PIRET **

* Section de Minéralogie et de Pétrographie, Institut royal des Sciences naturelles de Belgique,
29 rue Vautier, B1040 Bruxelles, Belgique

** Laboratoire de Chimie physique et de Cristallographie de l'Université, Bâtiment Lavoisier,
1 place Louis-Pasteur, B1348 Louvain-la-Neuve, Belgique

Astrocyanite-(Ce), $\text{Cu}_2(\text{REE})_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_5(\text{OH})_2 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}$, a new mineral from Kamoto, Shaba, Zaire.

Abstract : Astrocyanite-(Ce) occurs as bright blue millimetric rosettes on uraninite matrix in the Cu-Co deposit of East Kamoto, southern Shaba, Zaire. Associated minerals are other uranium and rare-earth secondary minerals such as kamotoite-(Y), shabaite-(Nd) and françoisite-(Nd). Optically uniaxial negative with $\omega = 1.688$ and $\epsilon = 1.638$. Strong pleochroism bright blue (ω) to nearly colourless (ϵ). Hexagonal, space group $P6/mmm$, $P6mm$, $P622$, $P62m$ or $P6m2$, $a = 14.96$, $c = 26.86 \text{ \AA}$, $V = 5206 \text{ \AA}^3$, $Z = 12$, $d_{\text{calc.}} = 3.95 \text{ g/cm}^3$, $d_{\text{meas.}} = 3.80 \text{ g/cm}^3$. Strongest lines in the X-ray powder pattern : $[d(\text{ \AA}), (hkl)]$: 6.73 (10) 004, 3.72 (9) 220, 4.16 (6) 205, 4.30 (5) 300 and 13.3 (4) 002. Electron microprobe analyses yield : CuO 15.55, UO_3 28.16, CaO 0.61, Ce_2O_3 11.83, Nd_2O_3 9.74, La_2O_3 3.38, Pr_2O_3 2.48, Sm_2O_3 2.00, Y_2O_3 0.15, CO_2 (by chromatography) 21.40 and H_2O (by difference) 4.70 %. Ideal formula : $\text{Cu}_2(\text{REE})_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_5(\text{OH})_2 \cdot 1,5 \text{H}_2\text{O}$. The name is for the morphology, the colour and the dominant lanthanide element.

Key-words : new mineral, astrocyanite-(Ce), uranyl carbonate, Kamoto, Zaire.

Introduction

La poursuite de l'examen de l'association minérale secondaire de la poche uranifère de Kamoto Est, au Shaba méridional, a permis de définir une quatrième espèce nouvelle, l'astrocyanite-(Ce), qui s'ajoute aux nouveaux minéraux de terres rares déjà découverts dans ce gîte : kamotoïte-(Y), $4\text{UO}_3(\text{Y}, \text{Nd}, \text{Gd}, \text{Sm}, \text{Dy})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CO}_2 \cdot 14,5\text{H}_2\text{O}$ (Deliens & Piret, 1986), françoisite-(Nd), $3\text{UO}_3 \cdot \frac{1}{2}(\text{Nd}, \text{Sm}, \text{Y}, \text{Ce}, \text{Pr}, \text{Dy}, \text{La})_2\text{O}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 6,5\text{H}_2\text{O}$ (Piret *et al.*, 1988) et shabaïte-(Nd), $\text{CaO} \cdot \text{UO}_3(\text{Nd}, \text{Sm}, \text{Y}, \text{Dy}, \text{Pr}, \text{La}, \text{Ce})_2\text{O}_3 \cdot 4\text{CO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Deliens & Piret, 1989).

Rappelons que la roche minéralisée en uranium appartient au faisceau R2 de la série du Roan (ancienne "série des Mines"), du Katangien inférieur, Précambrien A (François, 1973).

Les minéraux secondaires constituent des assemblages vivement colorés, soit en croûtes d'altération sur de l'uraninite noire et massive, soit sur les surfaces de stratification et dans les diaclases de la roche dolomitique du gisement. Outre les quatre espèces nouvelles, l'association secondaire comprend l'uranophane, $\text{Ca}[(\text{UO}_2)\text{SiO}_3\text{OH}]_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, en croûtes mame-lonnées jaune verdâtre, la schuilingite, $\text{PbCu}(\text{TR})(\text{CO}_3)_3(\text{OH}) \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$, en placages cristallins et en cristaux isolés vitreux bleus, ainsi que quelques mouchetures orange de masuyite, $\text{PbO} \cdot 3\text{UO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

L'étude complète de l'astrocyanite-(Ce), dont la présence à Kamoto Est avait déjà été signalée dans l'article sur la shabaïte-(Nd) (Deliens & Piret, 1989), a été possible grâce à un échantillonnage complémentaire de bonne

qualité aimablement fourni par MM. F. Colette et J.M. Pendeville.

Description macroscopique

L'astrocyanite-(Ce) se présente sous deux faciès différents : soit en délicates rosettes millimétriques bleu vif à bleu pâle, parfois d'un bleu vert rappelant la couleur de la diopside, soit en amas cristallins ou en cristaux isolés vitreux bleus qui peuvent être confondus avec la schuilingite. Dans ce cas, il faut recourir à des mesures optiques ou à la diffraction des rayons X pour faire la distinction entre les deux carbonates. Les paillettes constituant les rosettes sont translucides à opaques et leur éclat est nacré. L'aplatissement correspond à {001} qui est également un plan de clivage aisé et la seule forme observée. Les cristaux vitreux, en revanche, ne montrent aucune forme et leur cassure est quelconque. La dureté Mohs est comprise entre 2 et 3 et la densité, mesurée par immersion dans des liquides denses, est de 3,80.

L'astrocyanite-(Ce) est soit directement dispersée sur les dolomies, soit en dépôt sur d'autres produits secondaires, généralement microcristallins (enduits verdâtres de gummite) mais aussi individualisés sous forme de placages mamelonnés d'uranophane. L'association de tablettes fasciculées jaune vif de kamotoïte-(Y) supportant les rosettes bleues est particulièrement esthétique (Fig. 1). L'astrocyanite-(Ce) est parfois intimement associée à des

rosettes de shabaïte-(Nd), de même présentation mais de couleur jaune paille. La Fig. 2 montre un détail de l'empilement des paillettes en bordure des rosettes.

Propriétés optiques

Les paillettes d'astrocyanite-(Ce) sont fortement pléochroïques bleu vif (n_o) à bleu pâle presque incolore (n_e). Le minéral est uniaxe négatif avec $n_o = 1,688(2)$ et $n_e = 1,638(2)$ ($\lambda = 589 \text{ nm}$). Orientation optique : n_o est perpendiculaire à {001}.

Composition chimique

L'analyse chimique quantitative a été effectuée au Centre d'analyse par microsonde pour les sciences de la terre (CAMST) de l'Université de Louvain (appareil Camebax, analyste : J. Wautier). Les étalons suivants ont été utilisés : UO_2 (U), apatite (Ca), cuprite (Cu) et des verres synthétiques du "Center of Volcanology" de l'Université de l'Orégon (terres rares). Le CO_2 a été mesuré par chromatographie gazeuse (appareil CHN, analyste : P. Van Ransbeke). La mesure de l'eau, tentée par la même méthode, n'a pas donné de résultats satisfaisants, d'une part à cause de la très faible quantité de matière disponible et, d'autre part, à la suite de la nécessité d'extrapoler la quantité de H_2O à partir de la mesure du seul

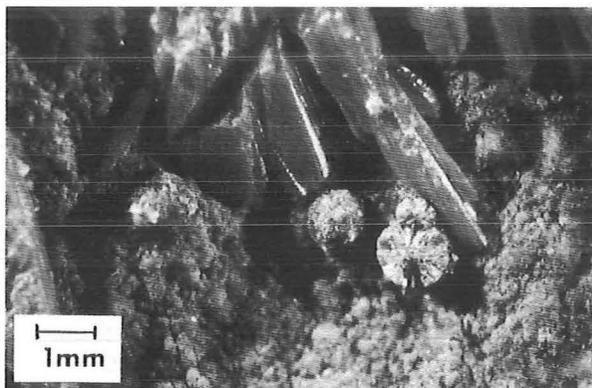


Fig. 1. Association de rosettes d'astrocyanite-(Ce) et de cristaux tabulaires de kamotoïte-(Y). Photographie de E. Van Der Meersche.

Rosettes of astrocyanite-(Ce) associated with tabular crystals of kamotoïte-(Y). Photograph by E. Van Der Meersche.

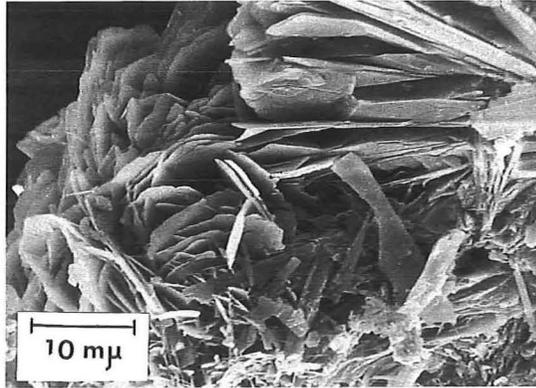
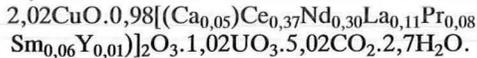


Fig. 2. Empilement de paillettes d'astrocyanite-(Ce) en bordure d'une rosette. Cliché au microscope électronique à balayage par K. Wouters.

Stacked blades of astrocyanite-(Ce) on the rim of a spherical aggregate. Scanning electron micrograph by K. Wouters.

hydrogène. Nous avons par conséquent choisi de déduire l'eau par différence à 100 %.

Les résultats de l'analyse sont rassemblés dans le Tableau 1. Les pourcentages expérimentaux résultent de la moyenne de 6 mesures (microsonde) et de 2 mesures (respectivement sur 0,82 et 0,91 mg) pour le CO₂. La formule empirique pour 18 oxygènes dans la partie anhydre est la suivante :



Le calcium a été groupé du point de vue structural avec les terres rares. Cette formule peut s'écrire de manière simplifiée :



La répartition entre (OH) et H₂O est imposée par l'équilibre de charges.

L'astrocyanite-(Ce) se dissout à froid avec effervescence dans l'acide chlorhydrique dilué.

Diffraction des rayons X

Les paramètres de la maille de l'astrocyanite-(Ce) ont été déterminés à partir de clichés de précession et de Weissenberg et affinés par moindres carrés à partir de 16 raies du diagramme de poudre. La symétrie est hexagonale. Les groupes spatiaux possibles sont *P6/mmm*, *P6mm*, *P622*, *P6m2* et *P62m*. $a = 14,96(2) \text{ \AA}$, $c = 26,86(4) \text{ \AA}$, $V = 5206(13) \text{ \AA}^3$, $Z = 12$, $d_{\text{calc.}} = 3,95$. Cette dernière valeur est plus élevée que celle de la densité mesurée

Tableau 1. Composition chimique de l'astrocyanite-(Ce).

Chemical composition of astrocyanite-(Ce).

	1	2	3
CuO	15,55	2,02	15,32
UO ₃	28,16	1,02	27,54
CaO	0,61	0,11	
Ce ₂ O ₃	11,83	0,74	31,61
Nd ₂ O ₃	9,74	0,60	
La ₂ O ₃	3,38	0,22	
Pr ₂ O ₃	2,48	0,16	
Sm ₂ O ₃	2,00	0,12	
Y ₂ O ₃	0,15	0,01	
CO ₂	21,40	5,02	21,19
[H ₂ O]	4,70	2,70	4,34

1 : pourcentages expérimentaux moyens. 2 : nombre de moles pour 18 oxygènes dans la partie anhydre. 3 : pourcentages théoriques pour la formule idéale $\text{Cu}_2\text{Ce}_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_5(\text{OH})_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$.

1 : mean experimental weight percentages. 2 : mole number for 18 oxygens in the anhydrous part. 3 : theoretical percentages for the ideal formula $\text{Cu}_2\text{Ce}_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_5(\text{OH})_2 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$.

(3,8), ce qui peut être dû à la porosité des échantillons composés de paillettes agglomérées.

Le diagramme de poudre est donné au Tableau 2. La mauvaise qualité des cristaux n'a pas permis de tenter la détermination de la structure. Les clichés de monocristaux montrent des variations dans la valeur du paramètre c (valeur minimale : 25 Å), ce qui correspond

Tableau 2. Diagramme de poudre de l'astrocyanite-(Ce).
X-ray powder pattern for astrocyanite-(Ce).

hkl	d _{calc.}	d _{obs.}	I _{vis.}	hkl	d _{calc.}	d _{obs.}	I _{vis.}
002	13,4	13,3	40	600	2,160	2,154	40
110	7,48	7,48	10	520	2,075	2,071	40
004	6,72	6,73	100			2,036	10
211	4,82	4,82	10			1,998	10
300	4,32	4,30	50			1,914	5
205	4,14	4,16	60			1,863	20
214	3,96	3,98	20			1,834	8
220	3,74	3,72	90			1,791	5
310	3,56	3,54	30			1,701	5
008	3,36	3,35	25			1,670	5
224	3,27	3,26	15			1,626	20
009	2,984	2,993	20			1,588	5
330	2,494	2,488	40			1,437	10
505	2,334	2,335	35			1,406	5

Chambre Debye-Scherrer de 114,6 mm ; radiation CuK α ; intensités estimées visuellement ; d(hkl) Å.

114.6 mm Debye-Scherrer camera ; radiation CuK α ; visually estimated intensities ; d(hkl) Å.

probablement à une déshydratation partielle qui débute à température ordinaire. Cela peut expliquer d'une part les difficultés rencontrées dans la mesure exacte de la quantité d'eau et, d'autre part, certaines variations observées dans les diagrammes de poudre d'échantillons différents (jusqu'à 6 % sur les *d* et sur les *I*).

Indice de compatibilité

L'indice de compatibilité $I-(K_p/K_c)$ vaut 0,009 ("supérieur" d'après Mandarino (1981)), calculé à partir des pourcentages expérimentaux et de la densité calculée (3,95) et 0,049 ("bon" d'après Mandarino (1981)), à partir des mêmes pourcentages et de la densité mesurée (3,80). Les coefficients *k* intervenant dans le calcul sont ceux de Mandarino (1981), sauf pour l'uranium où la valeur de Piret & Deliens (1989), mieux adaptée pour les sels d'uranyle, a été utilisée.

Les terres rares dans les minéraux secondaires du Shaba

Neuf minéraux secondaires contenant des terres rares ont été jusqu'à présent identifiés dans les roches minéralisées du faisceau R2 de la série du Roan au Shaba méridional : bijvoetite-(Y) et lepersonnite-(Gd) à Shinkolobwe,

schuilingite-(Nd) et gysinite-(Nd) à Menda et à Kasompi, françoisite-(Nd), kamotoïte-(Y), shabaïte-(Nd) et astrocyanite-(Ce) à Kamoto Est et, enfin, agardite-(Y) à Mutoshi. Lorsqu'on examine la répartition des terres rares dans ces minéraux, on constate une modification de l'est (Shinkolobwe) vers l'ouest (Kamoto et Mutoshi). Le matériel de Shinkolobwe est caractérisé par la présence de terres rares lourdes (Gd et Dy), le centre (Menda et Kasompi) recèle des minéraux riches en néodyme mais dépourvus de cérium, tandis que la partie la plus occidentale de la région, représentée par le lambeau charrié de Kolwézi avec les gîtes de Kamoto et de Mutoshi, renferme des minéraux également riches en néodyme mais aussi en cérium. L'astrocyanite-(Ce) est le minéral le plus cérique de la région. L'étude de l'origine des terres rares et de leur fractionnement dans les minéraux secondaires des gîtes cupro-cobaltifères du Shaba a été entreprise.

Nomenclature et conservation

Le nom dérivant du grec rappelle la morphologie (αστρον = étoile) et la couleur (κυανος = bleu) ; la présence de cérium est soulignée suivant la nomenclature de Levinson (1966). Le minéral et le nom ont été acceptés par la commission CNMNM de l'IMA. Lors du vote, plusieurs remarques ont été émises à propos

du choix de la lettre "c" dans cyanite. Il est de tradition que les auteurs francophones, et latins en général, utilisent la lettre "c" pour la transcription du "k" grec, contrairement aux Anglo-saxons qui préfèrent conserver le "k". De nombreux précédents existent dans la nomenclature minéralogique : cyanotrichite, cyanophillite et cyanochroïte, entre autres.

L'échantillon holotype d'astrocyanite-(Ce) est conservé dans la collection minéralogique de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique où il est enregistré sous le numéro RC 3513.

Références

- Deliens, M. & Piret, P. (1986) : La kamotoïte-(Y), un nouveau carbonate d'uranyle et de terres rares de Kamoto, Shaba, Zaïre. *Bull. Minéral.*, **109**, 643-647.
- , — (1989) : La shabaïte-(Nd), $\text{Ca}(\text{TR})_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, nouvelle espèce minérale de Kamoto, Shaba, Zaïre. *Eur. J. Mineral.*, **1**, 85-88.
- François, A. (1973) : L'extrémité occidentale de l'Arc cuprifère shabien. Etude géologique. Département Géologique de la Gécamines, Likasi, Rép. du Zaïre, 120 pp.
- Levinson, A.A. (1966) : A system of nomenclature for rare earth-minerals. *Am. Mineral.*, **51**, 152-158.
- Mandarino, J.A. (1981) : The Gladstone-Dale relationship : Part IV. The compatibility concept and its application. *Can. Mineral.*, **19**, 441-450.
- Piret, P., Deliens, M. & Piret-Meunier, J. (1988) : La françoisite-(Nd), nouveau phosphate d'uranyle et de terres rares ; propriétés et structure cristalline. *Bull. Minéral.*, **111**, 443-449.
- Piret, P. & Deliens, M. (1989) : The Gladstone-Dale constant k_{UO_3} for uranyl phosphates and arsenates. *Can. Mineral.*, **27**, 533-534.

Received 13 October 1989

Accepted 16 January 1990