

L'agardite, une nouvelle espèce minérale, et le problème du chlorotile

PAR JACQUES-É. DIETRICH,

Services d'études des gîtes minéraux, Division de la géologie, Maroc (1).

MARCEL ORLIAC ET FRANÇOIS PERMINGEAT,

Laboratoire de minéralogie et de cristallographie, associé au C. N. R. S., Faculté des sciences, Toulouse.

Résumé. — Hexagonal, isotype de la mixite $a = 13,55 \pm 0,05 \text{ \AA}$, $c = 5,87 \pm 0,02 \text{ \AA}$, $Z = 2$. Principales raies du diagramme de poudre (68 raies observées, 36 indicées) : 11,73 (10), 2,938 (8), 2,451 (8), 4,43 (7), 3,54 (7), 2,692 (6), 2,558 (6). Cristaux aciculaires très fins vert-bleu. $d_{mes.} = 3,72 \pm 0,05$, $d_x = 3,66 \pm 0,04$. Uniaxe positif. $n_o = 1,701 \pm 0,005$, $n_e = 1,782 \pm 0,005$. Les seuls constituants sont : As, Cu, Y, accompagnés d'autres terres rares en faible proportion, H_2O et Ca ; à noter l'absence complète de Bi. L'analyse chimique, sur 200 mg environ, conduit à la formule : $(Y, CaH)Cu_6 [(AsO_4)_3/(OH)_6] \cdot 3H_2O$. L'eau est en partie zéolotique et la structure n'est pas détruite par chauffage à $250^\circ C$; la courbe d'analyse thermique différentielle montre trois crochets endothermiques et deux crochets exothermiques.

A été trouvée dans la zone oxydée du filon cuprifère de Bou-Skour encaissé dans le Précambrien du Jbel Sarhro (Maroc), associée à : azurite, malachite, cuprite, cuivre natif, quartz et divers autres minéraux non encore déterminés.

Le nom d'agardite, proposé en hommage à J. Agard, ancien chef du Service d'Études des gîtes minéraux de la Division de la géologie du Maroc, est destiné à désigner tous les minéraux isotypes de la mixite dans lesquels Bi est remplacé en totalité ou en majeure partie par Y et, d'une façon plus générale, par un élément quelconque des terres rares.

Abstract. — Hexagonal, isotype of mixite $a = 13,55 \pm 0,05 \text{ \AA}$, $c = 5,87 \pm 0,02 \text{ \AA}$, $Z = 2$. The strongest X-ray lines (68 observed, 36 calculated) are : 11.73 (10), 2.938 (8), 2.451 (8), 4.43 (7), 3.54 (7), 2.692 (6), 2.558 (6). Very thin acicular crystals green-blue. $G_{mes.} = 3.72 \pm 0.05$, $G_{calc.} = 3.66 \pm 0.04$. Uniaxial positive. $n_o = 1.701 \pm 0.005$, $n_e = 1.782 \pm 0.005$. The only chemical constituents are : As, Cu, Y, together with small quantities of other rare earths, H_2O and Ca ; complete absence of Bi. A chemical analysis on a 200 mg sample gave the formula : $(Y, CaH)Cu_6 [(AsO_4)_3/(OH)_6] \cdot 3H_2O$. Part of the water is zeolitic and the structure is not affected by heating up to $250^\circ C$; the DTA curve shows three endothermic and two exothermic peaks. Type deposit : the oxidation zone of the Bou-Skour copper deposit, in Jbel Sarhro precambrian formations (Morocco), associated with : azurite, malachite, cuprite, native Cu, quartz, and some other minerals not yet determined. It is named for J. Agard, former chef du Service d'Études des gîtes minéraux of the Geological Survey of Morocco, and is intended to cover all isotypes of mixite in which all or most of the Bi is replaced by Y or other rare earths.

(1) Actuellement : Laboratoire de minéralogie et de cristallographie, Faculté des sciences, Toulouse.

1. — HISTORIQUE ET ÉTYMOLOGIE

Le minéral a été observé et recueilli pour la première fois en mars 1964, au cours d'une visite effectuée par l'un de nous (J. D.), à la mine de Bou-Skour (Jbel Sarhro, Maroc) (1).

Nous proposons de le désigner par le nouveau nom d'agardite, en hommage à J. Agard (2), qui dirigea le Service d'études des gîtes minéraux de la Division de la géologie du Maroc, de 1942 à 1966 (3).

2. — CARACTÈRES MACROSCOPIQUES

L'agardite se présente en très fins cristaux aciculaires, formant des gerbes ou des touffes cotonneuses, à éclat soyeux, de couleur vert-bleu (code Seguy, nos 437-438). En tapis plus ou moins serré ou en fines houppes, elle couvre ou parsème les parois ferrugineuses brun foncé, ou quartzeuses blanches, de box-works de quelques centimètres cubes formant les échantillons les plus spectaculaires recueillis dans la zone d'oxydation du filon de Bou-Skour.

En général très disséminée, l'agardite forme exceptionnellement des masses feutrées de quelques millimètres de diamètre ; par endroits, des baguettes de malachite y sont noyées. Enfin, sur de rares échantillons, nous avons observé la présence de cristaux de quartz bipyramidés (détermination vérifiée par un diagramme de poudre), ayant en moyenne vingt microns de long, embrochés par des aiguilles d'agardite.

3. — CARACTÈRES CRISTALLOGRAPHIQUES

a) FORMES CRISTALLINES.

L'extrême ténuité des cristaux d'agardite n'a pas permis de faire des mesures goniométriques.

(1) Le Dr G. Müller (Minéralog. Inst. Univ. Saarl.) avait eu, en juin 1966, communication d'échantillons d'agardite par un minéralogiste allemand à qui, lors d'un voyage au Maroc, l'un d'entre nous (J. D.) avait fait part de sa découverte. Le Dr Müller avait alors, de son côté, vérifié la présence d'yttrium et préparé une courte note. Averti de nos travaux, il a bien voulu surseoir à la publication de son travail, ce dont nous le remercions ici.

(2) Actuellement : Chef du Département de géologie du BRGM, Orléans.

(3) L'espèce minérale et le nom d'agardite ont été approuvés par le Comité français de nomenclature, puis par la Commission internationale des nouveaux noms et des noms de minéraux par 14 voix contre 0 (vote du 21 janvier 1969).

Bull. Soc. fr. Minéral. Cristallogr., 1969.

Cependant l'examen au microscope montre que le minéral est formé d'aiguilles d'une longueur moyenne de 0,2 mm pour un diamètre de 0,5 μm ; le diamètre maximal observé atteint 5 μm et, sur l'échantillon, la longueur peut atteindre quelques millimètres.

Nous n'avons pas observé de traces de pyramide sommitale, les aiguilles, très fragiles, se fragmentent beaucoup, et on n'est jamais sûr d'avoir affaire à une terminaison naturelle plutôt qu'à une cassure. Parfois, cependant, il semble y avoir une base p (00.1) perpendiculaire à l'allongement.

b) RADIOCRISTALLOGRAPHIE.

Le diagramme de poudre de l'agardite est donné dans le tableau I. On en a déduit les paramètres hexagonaux $a = 13,55 \pm 0,05$ et $c = 5,87 \pm 0,02$ Å, qui donnent pour les plans de réflexion ($hk.l$) des distances calculées en excellente concordance avec les valeurs mesurées. Ce diagramme correspond étroitement au diagramme de mixite (tableau I) publié par K. Walenta (1960), montrant ainsi que l'agardite appartient au même groupe isomorphe. Sa maille élémentaire est légèrement plus petite que celle de la mixite (tableau II). La valeur du paramètre c a été contrôlée par un diagramme de cristal tournant (*Laboratoire de minéralogie-cristallographie, Faculté des sciences, Nancy*). Les cristaux, trop fins, ne se prêtent guère à une étude de structure.

4. — CARACTÈRES PHYSIQUES

Deux mesures de densité ont été effectuées par pesées avec immersion dans du xylène, sur environ 350 mg de matière ; elles ont donné comme moyenne $d_{mes.} = 3,72 \pm 0,05$.

La précision est médiocre du fait surtout de la texture feutrée du minéral. L'accord peut être considéré comme acceptable avec la densité calculée $d_x = 3,66 \pm 0,04$, d'autant plus que, dans la marge d'erreur donnée ici, il n'est pas tenu compte de l'incertitude, impossible à évaluer, sur la masse formulaire.

5. — CARACTÈRES OPTIQUES

Les aiguilles d'agardite ont une extinction droite et un allongement positif. Placées dans une liqueur d'indice de réfraction $n = 1,700$,

TABLEAU I.

Diagrammes de poudre de l'agardite et de la mixite.

1. AGARDITE				2. MIXITE	
$d_{mes.}$	I	$d_{calc.}$	$hk.l$	d	I
11,73	10	11,726	10.0	12,03	10
5,25	1	5,253	10.1	6,91	3
4,43	7	4,437	11.1	5,26	1/2
		4,432	21.0	4,47	5
4,15	3	4,153	20.1	4,18	5
3,91	2	3,910	30.0	3,93	4
3,54	7	3,538	21.1	3,57	8
3,386	3	3,386	22.0	3,41	2
3,252	5	3,261	31.0	3,27	5
		3,254	30.1		
2,938	8	2,938	00.2	2,95	7
		2,933	22.1		
		2,850	10.2		
2,847	4	2,845	31.1	2,86	6
		2,696	11.2		
2,692	6	2,690	32.0	2,70	6
		2,627	20.2		
2,622	1	2,623	40.1	2,64	2
2,558	6	2,559	41.0	2,57	6
		2,449	21.2		
2,451	8	2,446	32.1	2,46	9
		2,219	22.2		
2,219	2	2,217	42.0	2,23	3
2,183	2	2,179	50.1	2,19	3
2,107	3	2,106	51.0-33.1	2,11	4
2,074	2	2,076	40.2	2,08	4
		2,074	42.1		
1,986	3	1,984	32.2	1,992	3
		1,983	51.1		
1,953	1	1,954	60.0	1,961	1
		1,930	41.2		
1,925	2	1,928	43.0	1,934	3
		1,880	11.3		
1,884	1	1,878	52.0	1,887	1/2
		1,858	20.3		
1,857	1	1,854	60.1	1,866	1/2
		1,833	50.2		
1,831	2	1,833	50.2	1,840	3
1,793	4	1,792	21.3	1,797	5
1,770	5	1,769	42.2	1,777	5
		1,712	51.2		
1,713	4	1,711	61.1	1,719	4
		1,695	22.3		
1,694	21	1,692	44.0	1,702	3
		1,678	31.3		
1,675	21	1,675	70.0-53.0	1,683	3
		1,629	40.3		
1,629	5	1,627	60.2	1,634	5
		1,612	43.2		
1,611	4	1,611	70.1-53.1	1,619	5
		1,584	32.3		
1,584	2	1,582	52.2	1,590	4
		1,555	41.3		
1,555	2	1,553	71.0	1,561	2

1. AGARDITE				2. MIXITE	
$d_{mes.}$	I	$d_{calc.}$	hkl	d	I
1,528	3	1,528	61.2	1,536	3
1,499	1/2 1	1,502	71.1		
		1,501	54.0		
1,470	4 1	1,469	00.4	1,477	4
		1,468	42.3		
		1,467	44.2		
1,456	2			1,465	2
1,431	3			1,440	3
1,393	1			1,400	3
1,374	2			1,382	3
1,352	1 1			1,356	1/2
1,336	2 1			1,346	3
1,315	2 1			1,328	2
				1,320	2
1,290	1			1,297	3
1,275	2			1,285	4
1,251	1 1			1,262	1
				1,254	1/2
1,229	2			1,239	3
				1,226	1/2
1,206	2			1,214	3
				1,200	1/2
1,171	1			1,182	2
				1,176	2
1,157	1			1,164	3
1,135	2			1,143	5
1,125	1			1,131	3
1,111	1 1			1,118	3
1,107	1 1			1,112	3
				1,102	1/2
1,085	1			1,096	3
				1,083	1
1,068	1/2			1,074	3
1,052	1/2			1,060	3
				1,048	5
1,042	2 1			1,046	2
				1,045	1/5
1,027	2 1			1,033	4
				1,030	2
1,017	2 1			1,024	5
				1,022	2
1,000	1			1,009	4 1
0,993	1 1			1,001	2 1
0,983	1			0,997	4 1
0,975	1/2			0,987	4 1
0,964	1			0,984	2
0,958	1			0,981	3 1
0,950	1				
0,944	1 1				

1. Agardite de Bou-Skour (Maroc). Méthode Debye-Scherrer. Radiation $\text{CuK}\alpha$ filtrée. Chambre de 360 mm; d en Å. d calculé avec $a = 13,55$, $c = 5,87$ Å. Intensités relatives I de 0 à 10; 1 = large. Films P 35, P 36 et P 56 du Labor. Minér. Crist. Fac. Sci., Toulouse. Au-dessous de $d = 0,944$, les raies sont très faibles et floues et ne sont pas données ici.

2. Mixite de la mine Anton (Heubachtal, Forêt Noire). Radiation $\text{FeK}\alpha$ filtrée, chambre de 180 mm. [Walenta, 1960].

elles disparaissent toutes lorsque, par rotation de la platine du microscope, on les oriente perpendiculairement au plan de vibration du polariseur. Optiquement l'agardite paraît donc uniaxe, en accord avec la symétrie hexagonale déduite du diagramme de poudre. Son signe optique est positif.

verdâtre ou vert jaunâtre et presque incolore suivant n_o .

Des mesures par immersion dans des liqueurs d'indice connu ont donné : $n_o = 1,701 \pm 0,005$
 $n_e = 1,782 \pm 0,005$.

Ces indices sont sensiblement plus faibles que ceux de la mixite (tableau II), traduisant ainsi

TABLEAU II.

Comparaisons entre la mixite et l'agardite.

Mixite (1)	(Bi _{1,17} , FeO _{0,47} , CaH _{0,29} , CuH _{0,07}) Cu ₁₂ [(AsO ₄) _{5,70} /(PO ₄) _{0,30} /(OH) ₁₂].6H ₂ O	
Agardite	(Y _{1,36} , TR _{0,14} , CaH _{0,50}) (Cu _{11,71} , Ca _{0,29}) [(AsO ₄) ₆ /(OH) ₁₂].6H ₂ O	
	MIXITE	AGARDITE
a en Å	13,63 (2)	13,55 ± 0,05
c	5,90	5,87 ± 0,02
c/a	0,433	0,433
V en Å ³	049	933 ± 10
Masse formulaire	2 181	2 065
d_x	3,82 (3)	3,67
$d_{mes.}$	3,83 (4)	3,72 ± 0,05
n_o	1,748-50 ± 0,003 (5)	1,701 ± 0,005
n_e	~ 1,83	1,782 ± 0,005
$(2n_o + n_e)/3$	1,77	1,728
$n_{calc.}$	1,75	1,717

(1) Formule de H. Strunz (1966) avec coefficients calculés d'après l'analyse de la mixite de Joachimsthal par A. Schrauf (1880).

(2) Valeurs de K. Walenta (1960) obtenues sur la mixite de la mine Anton, près Wittichen. P. Kokkoros (1952) donne des valeurs très voisines $a = 13,62$, $c = 5,92$ Å pour la mixite du Laurium (Grèce). Tandis que A. Pabst (*in* : Dana, 1951) a obtenu des valeurs un peu plus élevées $a = 13,84$, $c = 5,96$ Å $V = 989$ Å³ sur la mixite de Tintic (Utah).

(3) La mixite de Tintic (Utah), analysée par W. F. Hillebrand et H. S. Washington (1888) donne $d_x = 3,85$ et,

avec les paramètres de A. Pabst (*in* Dana, 1951), $d'_x = 3,79$.

(4) Valeur de K. Walenta (1960) obtenue sur de la mixite de la mine Anton. W. F. Hillebrand et H. S. Washington (1888) donnent $d_{mes.} = 3,79$ pour la mixite de Tintic.

(5) Valeurs de K. Walenta (1960) obtenues sur trois mixites de la mine Anton, de Schmiedestollen-Halde et de Neubulach (Forêt Noire). E. S. Larsen et H. Berman (1921, *in* : Dana, 1951) donnent $n_o = 1,743$, $n_e = 1,830$ pour une « mixite » du district de Tintic et $n_o = 1,730$, $n_e = 1,810$ pour une « mixite » de la mine Mammoth (Tintic, Utah).

En raison de leur diamètre extrêmement faible (de l'ordre du demi-micron), les aiguilles d'agardite ne donnent que des teintes de polarisation du premier ordre, généralement dans les gris-blanc. La pléochroïsme reste cependant perceptible, de vert bleuâtre suivant n_e , à bleu

les différences de composition chimique. L'indice moyen, calculé par la formule de Gladstone et Dale, à partir de la composition, de la densité, et des énergies de réfraction, est $n_{calc.} = 1,717$, en bon accord avec la moyenne des indices mesurés :

$$n_{mes.} = (2n_o + n_e)/3 = 1,728.$$

6. — CARACTÈRES CHIMIQUES

a) Essais qualitatifs.

Des analyses qualitatives complètes en fluorescence-X et à la microsonde électronique ont montré que les seuls constituants de l'agardite de nombre atomique au moins égal à celui du sodium sont : As, Cu, Y accompagné d'autres terres rares en faible proportion, Ca et des traces de Si et de Fe. On note tout particulièrement l'absence du bismuth.

Une analyse en spectrographie d'arc a confirmé ces résultats et l'absence de teneurs importantes en lithium, béryllium et bore. Enfin, l'absence de CO_2 est indiquée par l'attaque à HCl qui se fait sans effervescence, tandis que la présence d'eau en abondance est facile à démontrer par un essai au tube fermé.

b) Essais quantitatifs.

Spectrographie d'arc :

Un essai quantitatif a donné, en dehors des constituants essentiels et des terres rares, des teneurs entre 1 000 et $100 \cdot 10^{-6}$, par ordre décroissant, en : Pb, Mn, Si, Al, Zr et Ti, et environ $5 \cdot 10^{-6}$ en Be. Le tableau III indique les

impuretés repérées par des contrôles au microscope sur frottis, sont : quelques rares grains de malachite, des cristaux de quartz de $2/100$ mm implantés sporadiquement sur les aiguilles d'agardite, et de microscopiques esquilles de la matrice ferrugineuse. Le tableau IV donne les résultats de l'analyse chimique de cette substance pure.

TABLEAU IV.

Analyse chimique de l'agardite de Bou-Skour.

	1	2	3	4
CuO.....	45,35	570	11,58	11,71
CaO.....	2,60	46	0,94	0,95
Y_2O_3	7,5	66	0,67	0,68
TR_2O_3 ...	1,2	7	0,07	0,07
As_2O_5 ...	31,50	275	2,80	2,83
H_2O	11,35	631	12,82	12,97
Total..	99,50			

1. — Analyse de l'agardite de Bou-Skour par M. Orliac (Labor. Minér. Crist., Toulouse).
2. — Millimoles correspondant à l'analyse.
3. — Contenu de la maille élémentaire, calculé sur la base de : $\text{Cu} + \text{Ca} + \text{Y} + \text{TR} = 14$ cations.
4. — Contenu de la maille élémentaire calculé sur la base de 42 atomes d'oxygène.

TABLEAU III.

Teneurs en terres rares de l'agardite.

ÉLÉMENT	Y	Nd	Dy, Gd Sm	Yb, La	Ho, Pr Tb	Lu	Tm, Er
Teneur en millièmes (g/t).....	$n \cdot 10^4$	3 000	1 500	1 000	400	250	100

Analyse en spectrographie d'arc par L. Ortelli (Labor. Serv. Études gîtes minérales, Div. Géol. Maroc, Rabat).

teneurs en les divers éléments des terres rares. L'yttrium domine très largement, et on note l'absence de cérium.

c) Analyse chimique.

Il a été possible, par un tri minutieux à la pince, sous loupe binoculaire, d'isoler environ 350 mg d'agardite pratiquement pure ; les seules

Méthode d'analyse :

La solution chlorhydrique de 200 mg du minéral a été soumise à un fort courant de H_2S pour précipiter les sulfures d'arsenic et de cuivre. Ceux-ci ont ensuite été filtrés et traités par Na_2S . Cette solution a été décomposée par HCl et le sulfure d'arsenic obtenu, filtré et redissous par NH_4OH . Après oxydation par HNO_3 et

reprise par l'eau, l'arsenic a été précipité à l'état d'arséniat d'argent que l'on titre par la méthode de Volhard.

Le sulfure de cuivre resté sur filtre a été repris par HNO_3 et le cuivre séparé par électrolyse.

Le filtrat des sulfures a été oxydé et traité par NH_4OH , les hydroxydes ainsi formés dissous par HNO_3 et les terres rares précipitées par l'acide oxalique. Après filtration, lavage et calcination, on a pesé $\text{Y}_2\text{O}_3 + \text{TR}_2\text{O}_3$.

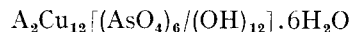
Le calcium a été séparé à l'état d'oxalate dans le filtrat des hydroxydes, dissous par HCl et dosé volumétriquement par le complexon.

L'eau a été dosée au tube de Penfield.

La méthode a été vérifiée sur un mélange témoin de composition semblable à celle de la liqueur d'attaque.

d) Établissement de la formule.

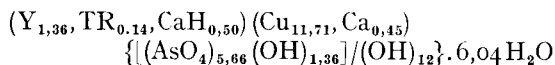
Le calcul du contenu de la maille élémentaire a été fait à partir de la formule schématique :



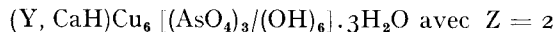
sur deux bases différentes (tableau IV) : somme des cations égale à 14 (col. 3) et nombre total d'atomes d'oxygène égal à 42 (col. 4). Les deux résultats sont très voisins.

Les positions A sont occupées par l'yttrium et les autres terres rares et une partie du calcium ; le reste du calcium occupe alors des positions du cuivre. Il est possible que les impuretés aient apporté dans l'analyse un très léger excès de calcium et de cuivre. Par contre, le léger déficit en arsenic peut correspondre à une perte vraisemblable en cours d'analyse, mais peut aussi exister réellement et être compensé par des OH.

La formule s'écrit alors :



que l'on peut simplifier en :



7. — CARACTÈRES PHYSICO-CHIMIQUES

L'agardite chauffée à l'étuve à 105°C perd environ 2 % d'eau, qu'elle reprend entièrement après refroidissement dans l'air. Un échantillon ainsi chauffé à 105° puis refroidi dans l'air, plusieurs fois, donne exactement le même diagramme de poudre que l'agardite non chauffée.

Il s'agit donc d'une eau structuralement peu liée, à caractère zéolitique.

La courbe d'analyse thermique différentielle (fig. 1) montre :

— un large crochet endothermique débutant vers 75°C et atteignant son maximum à 120°C . Il correspond à une déshydratation. Un échantillon chauffé à 250°C , au-delà du crochet, puis refroidi, donne un diagramme de poudre identique à celui du minéral non chauffé ;

— un fort crochet exothermique débutant vers 280°C et culminant à 370°C ;

— un crochet endothermique très fort, succédant immédiatement au précédent, avec seulement deux faibles ruptures de pente vers 530°C et 570°C , et atteignant son maximum à 625°C ;

— un crochet exothermique extrêmement aigu, avec maximum à 660°C , suivi par un palier présentant quelques faibles ondulations ;

— un fort crochet endothermique complexe s'amorçant vers 890°C et montrant trois minimums successifs à 945° , 970° et 995°C . L'un d'eux correspond peut-être à une réduction de CuO en Cu_2O , et un autre à une fusion, car le produit final était fondu et a cristallisé en une masse brun verdâtre dans laquelle on distingue plusieurs phases.

8. — CONDITIONS DE GISEMENT

a) GISEMENT TYPE.

Le gisement type de l'agardite est le gîte de cuivre de Bou-Skour, situé dans la partie occidentale du massif du Jbel Sarhro, à environ 60 km à l'ESE de Ouarzazate ($x = 415$, $y = 435$, feuille Jbel Sarhro au 1/100 000). Il est constitué par un filon orienté NW-SE, visible sur une dizaine de kilomètres, qui recoupe sur près des deux tiers de sa longueur des granites traversés de nombreux dykes rhyolitiques et, à son extrémité SE, des andésites. Hormis les dykes rhyolitiques attribués au Précambien III, ces terrains appartiennent aux formations du Précambien II.

Dans la zone des andésites, au quartier dit de la *Patte d'Oie*, le filon principal s'épanouit et donne naissance à deux satellites, les filons I et II. La puissance de la caisse filonienne atteint dix mètres par endroits. La gangue est carbonatée, à filonnets de quartz diffus ; la minéralisation est constituée essentiellement de chalcopryrite avec : bornite, cuivre gris et galène, associés à chalcosine, covelline, blende, mispickel, argent

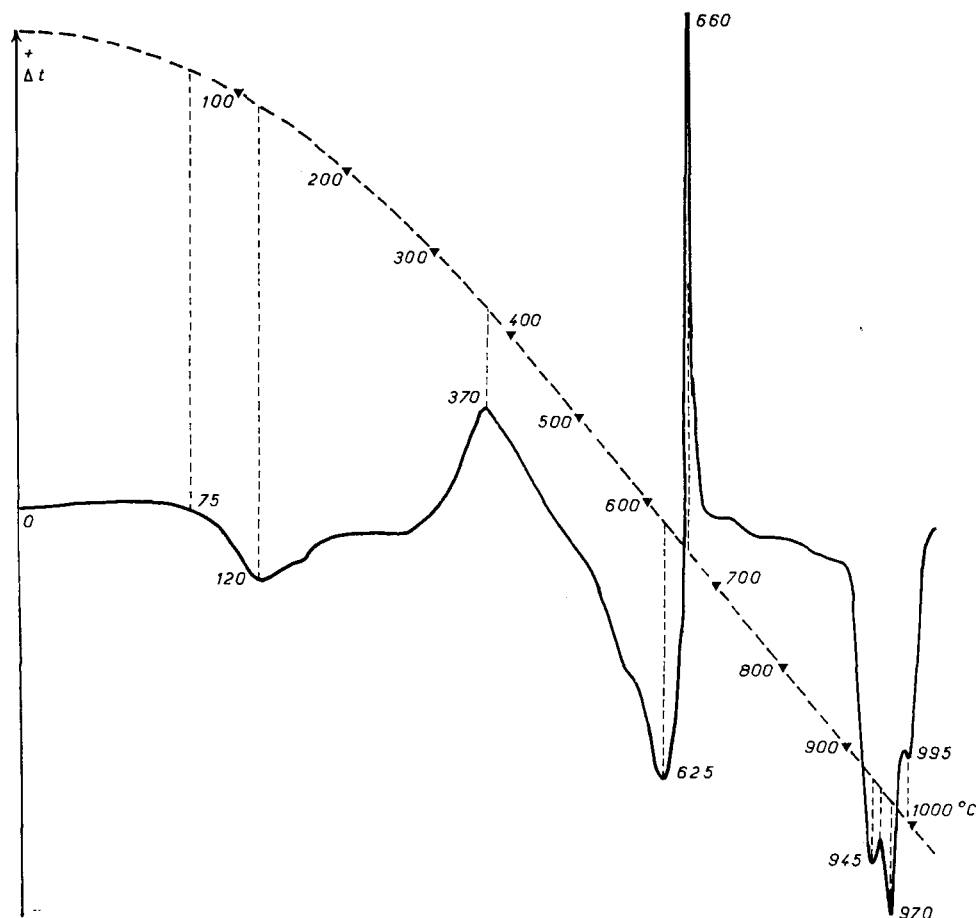


FIG. 1. — Courbe d'analyse thermique différentielle de l'agardite. Montée en température jusqu'à 1 000° C en 45 mn. Masse de l'échantillon : 25 mg. Appareil construit au Laboratoire de minéralogie et cristallographie, Faculté des sciences de Toulouse, avec creuset spécial conçu et réalisé par M. Auriac.

natif, etc. La zone d'oxydation est très développée, et ses effets sont encore très sensibles au niveau — 70 m.

Les premiers et plus beaux échantillons d'agardite ont été découverts sur le carreau de l'exploitation de la *Patte d'Oie*, dans le tout venant de la taille dite « des oxydés », zone nord du filon 1. Depuis, divers autres échantillons ont été collectés en place, notamment au niveau — 50 m, dans la taille nord des oxydés.

L'agardite est associée aux minéraux suivants : azurite, malachite, cuprite, cuivre natif, quartz, et divers autres non encore déterminés.

b) AUTRES GISEMENTS.

L'étude d'une quarantaine d'échantillons de nombreuses provenances, que nous avons été

amenés à faire pour examiner les rapports avec la mixite et essayer de clarifier le problème du chlorotile (cf. parag. 10), nous a permis de mettre en évidence l'agardite dans plusieurs gisements de divers pays (tableau V). La détermination comme agardite a été basée chaque fois sur le diagramme de poudre, les propriétés optiques et un essai qualitatif à la microsonde électronique montrant la présence de terres rares et l'absence de bismuth. Cependant l'abondance relative des divers éléments des terres rares n'a pas été exactement déterminée et il est possible que, parfois, l'yttrium soit moins abondant que, par exemple, le néodyme ou le cérium ; mais alors le nom d'agardite resterait applicable (cf. parag. 9). On notera encore que toutes les agardites examinées contiennent un peu de calcium, mais en proportion sans doute très variable.

TABLEAU V.

Échantillons étudiés.

Abréviations. BF : Bergakademie, Freiberg ; BM : British Museum ; ENSMP : École nationale supérieure des Mines de Paris ; K. W. : K. Walenta ; MML : Musée des Mines, Leningrad ; MNHN : Muséum national d'histoire naturelle, Paris ; MT : Muséum de Toulouse ; USNM : U. S. National Museum, Washington. Analyse microsonde : + présent, — absent. T. R. = terres rares ; tous les échantillons contiennent un peu de calcium. Les indices de réfraction sont donnés à $\pm 0,003$; ceux au-dessus de 1,800 n'ont pu être mesurés car les liqueurs « Cargille » dissolvent la mixite et l'agardite.

N° ÉTUDE	PROVENANCE		MUSÉE OU COLLECTION	N° COLLECTION	NOM ÉTIQUETTE	INDICES DE RÉFRACTION		ANALYSE MICROSONDE		DÉTERMINATION	
						n_o	n_e	Bi	T. R.		
1	Schneeberg (Saxe)		BF	20.808	Chlorotile	1,735	> 1,800	+	—	Mixite	
2			USNM	R 5.466	Chlorotile	1,745		+	—	Mixite	
3			MNHN	108.1274	Chlorotile	1,746		+	—	Mixite	
4			MNHN	7.534	Chlorotile	1,736		+	—	Mixite	
5			ENSMP	3.258	Mixite	1,746		+	—	Mixite	
6			BM	77.547	Chlorotile	1,758		+	—	Mixite	
7			BM	77.545	Chlorotile	1,757		+	—	Mixite	
8			BM	66.923	Chlorotile	1,755		+	—	Mixite	
9	Forêt Noire	Mine Clara	KW 2	S 68-2	Chlorotile	1,723	> 1,800	—	+	Agardite	
10			KW 3		Chlorotile	1,720		—	+	Agardite	
11			ENSMP		Chlorotile	1,707		1,782	—	+	Agardite
12	Forêt Noire	M. Anton	ENSMP	S 68-4	Mixite	1,747	> 1,800			Mixite	
13	Utah	Tintic	USNM	48.284	Mixite	1,735	> 1,800	+	—	Mixite	
14				R 5.701	Mixite	1,740		+	—	Mixite	
15				48.246 a	Mixite	1,743		+	—	Mixite	
16				48.246 b	Mixite	1,740		+	—	Mixite	
17				48.246 c	Mixite	1,740		+	—	Mixite	
18				C 4.407	Mixite	1,715		1,788	—	+	Agardite
19			ENSMP	S 68-5	Mixite	1,742	> 1,800				Mixite
20			MNHN	135.257	Mixite	1,740					Mixite
21	Eureka	MML	Odp 554/3	Mixite	1,745	> 1,800				Mixite	
22	Arizona-Clip	Yuma	MNHN	9.481	Mixite	1,752				Mixite	
23	Jachymov	(Tchécoslovaquie)	ENSMP	S 68-3	Mixite	1,758	> 1,800	+	—	Mixite	
24	MML		Odp 554/2	Mixite	1,750	—		—	Mixite		
25	Allemagne	Schwarzenberg Neustadt	MML	Odp 554/1	Mixite	1,750	> 1,800				Mixite
26			USNM	C 4.254	Chlorotile	1,750					Mixite
27	Chessy (Rhône)	MT	2464/A	Azurite	1,705	1,777	—	+	Agardite		
28		ENSMP		1,708	1,778	—	+	Agardite			
29		MNHN		96.886	Aurichalcite	1,708	1,780	—	+	Agardite	
30	Espagne	USNM	117.319	Mixite	1,713	1,788	—	—	Agardite		
31	Angleterre	BM	81.970	Mixite	1,722	1,815	—	—	Agardite		

1° **Allemagne.**

La mine Clara près d'Oberwolfach (Schwarzwald) a fourni plusieurs échantillons d'agardite (tableau V, 9, 10 et 11) peut-être relativement riches en cérium (ce qui expliquerait leurs indices de réfraction sensiblement plus élevés que ceux de l'agardite de Bou Skour). Il est probable que d'autres gisements de la Forêt Noire contiennent de l'agardite, parfois peut-être en même temps que de la mixite. Leur étude détaillée est poursuivie par K. Walenta (cf. parag. 9) qui nous a aimablement communiqué de nombreux échantillons.

2° **Angleterre.**

P. Embrey (British Museum) a soigneusement examiné tous les échantillons provenant de Wheal Alfred (Cornwall) qu'il a pu se procurer (plusieurs douzaines). Un seul d'entre eux (tableau V, 31) contient un minéral qui s'est révélé être de l'agardite paraissant riche en néodyme (ce qui expliquerait les indices de réfraction relativement élevés).

3° **Espagne.**

Un petit bloc (6 × 5 × 4 cm) quartzo-ferrugineux, vacuolaire, provenant d'Anora (Province

Références détaillées des échantillons :

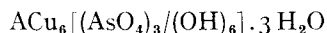
1. — « Chlorotil, Friedrich August Spat, Grube Wolfgang Maassen, Neustädtel bei Schneeberg, Erzgebirge » ; Musée de la *Bergakademie, Freiberg* ; échantillon n° 20.808, 1894 W. Diagramme de poudre P. 89 (Toulouse) identique à celui de la mixite.
2. — « Chlorotile, Schneeberg, Saxony, Germany. » Smithsonian Institution (USNM), n° R 5466.
3. — « Chlorotile dans quartz, Schneeberg, Saxe (Don Frossard) », MNHN, Paris, n° 108 1274.
4. — « Chlorotile, Saint-Georges, Schneeberg », MNHN, Paris, n° 7534.
4. — « Chlorotile, Saint-Georges, Schneeberg », MNHN, Paris, n° 7534.
5. — « Mixite, Schneeberg, Saxe », ENSMP, Paris, n° 3258.
6. — « Chlorotile, Schneeberg, Saxony (Purchased from Zinkeisen, June 1895) », British Museum, n° 77.547.
7. — « Chlorotile, Schneeberg, Saxony (Purchased from Zinkeisen, June 1895) », British Museum, n° 77.545.
8. — « Chlorotile, Schneeberg, Saxony (Purchased from Gregory, April 1891) », British Museum, n° 66.923.
9. — « Chlorotile, Mine Clara près Oberwolfach », échantillon K. Walenta, K. W. 2.
10. — « Chlorotil in radialstrahligen Aggregaten auf Brauneisen, Grube Clara b. Oberwolfach, Mitt. Schwarzwald, Halde Mahlwerke Wolfach », échantillon K. Walenta, 17-6-1958, K. W. 3.
11. — « Chlorotile, Mine Clara, Oberwolfach, Schwarzwald », ENSMP, Paris, n° 568-2. Diagramme de poudre P 57 (Toulouse) identique à celui de l'agardite.
12. — « Mixite, mine Anton, Heubachthal, Forêt Noire », ENSMP, Paris, n° S 68-4.
- 13 et 14. — « Mixite, Carissa Mine, Tintic district, Utah », Smithsonian Inst. (USNM), n° 48284 et R 5701.
- 15, 16 et 17. — « Mixite, Mammoth Mine, Tintic, Utah », Smithsonian Inst. (USNM), n° 48246 a, 48246 b et 48246 c.
18. — « Mixite, Tintic district, Utah », Smithsonian Inst. (USNM), n° C 4407. Diagramme de poudre P 102 (Toulouse), identique à celui de l'agardite.
19. — « Mixite, American Eagle Mine, Tintic, Utah », ENSMP, Paris, n° 568-5.
20. — « Mixite, Mammoth Mine, Tintic, Utah, U. S. A. », MNHN, Paris, n° 135.257.
21. — « Mixit von Eureka in Utah (KS Mineralien Niederlage zu Freiberg) », Musée des Mines, Leningrad, n° Odp 554/3.
22. — « Mixite, Clip. Yuma Co, Arizona » (échantillon A. Lacroix), MNHN, Paris, n° 9841.
23. — « Mixite, Jachymov (Bohême) », ENSMP, Paris, n° 568-3.
24. — « Mixit mit Wismuthocker von Joachimsthal in Böhmen (KS Mineralien Niederlage zu Freiberg), 26 oct. 1898, N 13189 », Musée des Mines, Leningrad, n° Odp 554/2.
25. — « Mixit von Graub Schwarzenberg (KS Mineralien Niederlage zu Freiberg), 15 Enb. 1909, N 2/107 », Musée des Mines Leningrad, n° Odp 554/1.
26. — « Chlorotile, Weisser Hirsch, Neustadt, Germany », USNM, n° C 4254.
27. — « Azurite (Chessylite), Chessy », Muséum de Toulouse. Diagramme de poudre P 68 (Toulouse), identique à celui de l'agardite.
28. — « Malachite, Chessy, Rhône (d. p. M. Hennezel, n° 13) », ENSMP, Paris, n° 2464/A.
29. — « Aurichalcite, Chessy », MNHN, Paris, n° 96.886. Diagramme de poudre P 112 (Toulouse), identique à celui de l'agardite.
30. — « Mixite, Luisito Mine, Anora, Cordoba, Spain », Smithsonian Inst. (USNM), n° 117.319. Diagramme de poudre 153 bis (Toulouse), identique à celui de l'agardite.
31. — « Mixite, Wheal Alfred, Cornwall », British Museum, n° 81970. Diagramme de poudre pratiquement identique à celui de la mixite (P. Embrey, comm. personnelle, ainsi que pour les indices de réfraction).

patibles avec l'agardite ; de plus, sa teneur en yttrium (et en terres rares), estimée entre 1 et 3 % par analyse spectrographique, est relativement faible. Pour trois autres échantillons, les analyses spectrographiques suggéraient qu'ils sont constitués essentiellement d'agardite, mais leurs propriétés optiques s'opposent catégoriquement à une telle hypothèse. Si les propriétés optiques des deux autres échantillons (fines aiguilles à extinction droite ou à peine oblique, allongement positif, $n_o = 1,700$, $n_p \geq 1,76$) correspondent à peu près à celles de l'agardite, les analyses spectrographiques (avec seulement 0,01-0,03 % Y et pas d'autre terre rare) et chimique (pas de terres rares malgré un total de 102,00 et un rapport Cu : As $\simeq 0,75\lambda$, ne permettent pas l'identification avec cette espèce minérale. Enfin, une analyse chimique complète, donnant 1,42 % TR_2O_3 , d'un « échantillon moyen de l'arséniate de cuivre yttrifère », non séparé de sa gangue, a été faite sur une substance beaucoup trop hétérogène (40,70 % SiO_2 , rapport Cu : As $\simeq 2,5$) pour permettre une interprétation minéralogique valable.

En définitive, il est possible que l'agardite soit représentée parmi les « arséniate de cuivre yttrifères » de Transbaïkalie, mais on ne saurait l'affirmer, les données étant beaucoup trop fragmentaires et disparates.

9. — COMPARAISONS AVEC LA MIXITE

L'agardite est isotype de la mixite comme le prouve l'étroite similitude des diagrammes de poudre (tableau I). Leurs mailles élémentaires hexagonales sont très voisines, celle de l'agardite étant légèrement plus petite (tableau II) ; elles contiennent $Z = 2$ unités formulaires correspondant à la formule générale :



Dans la mixite, A est essentiellement du bismuth avec éventuellement un peu de calcium, de fer et peut-être de cuivre. Dans l'agardite, A est essentiellement des terres rares avec un peu de calcium. Sur les 19 échantillons dont nous avons fait l'analyse qualitative à la microsonde électronique nous n'avons jamais observé la présence simultanée de bismuth et de terres rares : il est donc probable qu'il n'existe pas de termes intermédiaires entre la mixite et l'agardite, et les mesures d'indices de réfraction sur une vingtaine d'autres échantillons semblent confirmer cette conclusion.

Macroscopiquement les deux minéraux se ressemblent beaucoup : couleur vert-bleu avec des nuances plus ou moins bleues, vertes ou jaunes, cristaux aciculaires extrêmement fins formant des touffes et des feutrages. Cette texture, et la rareté des échantillons, expliquent le manque d'analyses chimiques et la faible précision des mesures de densité. Il n'est donc pratiquement pas possible de se baser sur la densité pour différencier les deux espèces et étayer les formules chimiques.

En dehors de la recherche qualitative du bismuth ou des terres rares, seuls les indices de réfraction permettent d'établir une distinction facile et rapide entre la mixite et l'agardite ; de plus le faciès aciculaire fin, sans aplatissement, l'extinction droite et le signe positif de l'allongement, constituent de bonnes caractéristiques des deux espèces. Les valeurs observées de n_o vont de 1,700 à 1,725 pour l'agardite et de 1,735 à 1,760 pour la mixite. On doit s'attendre à de larges variations d'indices pour l'agardite suivant les proportions relatives d'yttrium et des autres terres rares ; en outre la présence de calcium dans les positions A peut abaisser considérablement n_o et probablement l'amener au-dessous de 1,735 dans certaines mixites. Cependant, sur les 33 échantillons dont nous avons examiné les indices de réfraction, on peut dire que tous ceux pour lesquels $n_o < 1,730$ se sont révélés être de l'agardite, et parmi ceux pour lesquels $n_o > 1,730$, tous ceux qui ont été vérifiés étaient effectivement de la mixite.

A notre connaissance il n'a été réalisé aucune synthèse d'arséniate double de cuivre et de bismuth ou terres rares (1).

10. — LE PROBLÈME DU CHLOROTILE

Le nom de « chlorotile » a été donné par A. Frenzel (1875 a) à un minéral de Schneeberg (Saxe) se présentant en petits cristaux capillaires, vert pâle à vert émeraude, qu'il considéra après analyse comme un arséniate de cuivre hydraté de formule : $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, auquel il attribua (1875 b) une symétrie orthorhombique.

Mais en 1925, S. G. Gordon, examinant deux échantillons de « chlorotile de Schneeberg » figurant dans la collection de W. S. Vaux, mon-

(1) Nous remercions le Gmelin-Institut (Francfort) qui nous a aimablement indiqué qu'il n'existait aucune donnée à ce sujet dans leurs archives, jusqu'en 1964. (Lettre du 22/3/68.)

b) Analyse qualitative à la microsonde électronique des huit échantillons provenant de Schneeberg, de tous les échantillons ayant $n_o < 1,730$ et, pour vérification, de quelques échantillons ayant $n_o > 1,730$.

c) Diagramme de poudre de contrôle sur des échantillons représentatifs des divers gisements, notamment pour l'agardite.

Conclusions.

1° En dehors du Maroc, nous avons trouvé de l'agardite : en Allemagne, en Angleterre, en Espagne, en France et aux U. S. A. (cf. parag. 8 b.)

2° Nous n'avons observé aucun échantillon contenant à la fois du bismuth et des terres rares, ce qui rend improbable l'existence d'une série continue mixite-agardite (cf. ci-dessus).

3° Aucun des huit échantillons de Schneeberg, gisement type du « chlorotile », que nous avons examinés, ne contient des terres rares. On peut donc conclure, avec une vraisemblance suffisante, même en l'absence de l'échantillon type de A. Frenzel, que le « chlorotile » ne contient pas de terres rares, et que, par conséquent, la création d'une nouvelle espèce minérale, l'agardite, pour désigner les minéraux à terres rares, isotypes de la mixite (cf. parag. 10), est pleinement justifiée.

4° Nous n'avons observé aucun minéral ne contenant que du cuivre, sans bismuth ni terres rares, et possédant des propriétés optiques et un diagramme de poudre semblables à ceux de la mixite et de l'agardite. En particulier les huit échantillons de Schneeberg, dont sept étaient étiquetés « chlorotile », que nous avons eus en mains, contiennent tous du bismuth et sont, par conséquent, à rapporter à la mixite. De plus, comme nous l'avons signalé ci-dessus, le rattachement du « chlorotile » au groupe de la mixite est abusif, car il n'est pas du tout démontré.

Dans ces conditions, on doit considérer le « chlorotile » comme une espèce minérale ayant la composition que lui attribuait A. Frenzel, d'un orthoarséniate tricuprique hydraté $\text{Cu}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$ (par conséquent non isotype de la mixite et de l'agardite), dont l'existence reste cependant douteuse.

II. — EMPLOI DU NOM : AGARDITE

Le nom d'agardite est destiné à désigner tous les minéraux isotypes de la mixite dans lesquels le bismuth est remplacé en totalité ou en majeure

partie par de l'yttrium et, d'une façon plus générale, par un élément quelconque des terres rares, dont le symbole devra alors être ajouté au nom d'espèce « agardite ». Cette généralisation est une simple application des règles énoncées par A. A. Levinson (1966, 1967) et adoptées par la *Commission des nouveaux minéraux et des noms de minéraux de l'Association internationale de Minéralogie*.

12. — CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS TYPES

Les échantillons types sont déposés en partie à la collection du Service d'études des gîtes minéraux, Division de la géologie à Rabat (Maroc) et à la collection de minéralogie de l'École nationale supérieure des mines de Paris.

Des paratypes seront conservés : au Laboratoire de minéralogie et de cristallographie de la Faculté des sciences de Toulouse, au Muséum national d'histoire naturelle de Paris et au British Museum de Londres.

Le gisement de Bou Skour a fourni jusqu'ici une dizaine de beaux échantillons et on peut estimer à 5 g au maximum le poids total de l'agardite qu'ils contiennent. Cependant, sur de très nombreux échantillons à azurite, provenant de la zone d'oxydation de la mine, un examen attentif permet de découvrir, ici et là, de fines houppes d'agardite.

REMERCIEMENTS

L'étude de l'agardite n'a pu être réalisée que grâce à la collaboration étroite qui s'est instaurée entre le Service d'Études des gîtes minéraux de la Division de la géologie du royaume du Maroc, sous la Direction de MM. M. Diouri et M. Saadi, et le Laboratoire de minéralogie et de cristallographie de la Faculté des sciences de Toulouse, dirigé par M. Capdecombe.

Nous tenons à remercier tout particulièrement MM. Marquelet et Meune de l'Omnium Nord Africain, ainsi que les directeurs successifs de la mine de Bou-Skour, MM. Olivera et Martorell, pour l'accueil chaleureux qu'ils nous ont toujours réservé lors de nos visites de leurs exploitations ; les chefs mineurs MM. Périgny, Cottura, Martinez, et tout spécialement M. Gallo, dont l'aide nous a été très précieuse ; M. Bendaïmi, chauffeur au Service d'Études des gîtes minéraux pour son dévouement constant au cours

de nos collectes dans la mine. Nous adressons nos très vifs remerciements à tous ceux qui nous ont aidés à définir les propriétés du minéral : L. Ortelli, M^{me} Lévy, M. Aïssaoui, du Service d'Études des gîtes minéraux, M. Rieu (Universidad del Norte, Chili), M. Soulié (Laboratoire de minéralogie et cristallographie, Toulouse) et H. Grillot et R. Giraud du B. R. G. M. Orléans.

L'examen du problème du chlorotile et les comparaisons avec la mixite nous ont amenés à demander l'aide de nombreuses personnalités de la minéralogie dans le monde. Nous avons été très sensibles à l'amabilité avec laquelle toutes ont accueilli nos demandes et y ont répondu par l'envoi d'échantillons et de renseignements ; nous les en remercions chaleureusement, en particulier : le prof. D^r K. Walenta (Stuttgart),

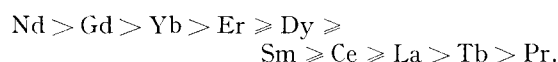
les D^{rs} M. H. Hey et P. Embrey (British Museum), le D^r P. E. Desautels (Washington), le D^r P. Sainfeld (B. R. G. M., Paris), les D^{rs} F. Kraut et D. Fauquier (Museum, Paris), le prof. D. P. Gregoriev et le D^r B. D. Kolomensky (Léningrad), le prof. C. L. Ravasz (Budapest), le D^r A. Sandrea (Paris), le prof. F. Leutwein (Nancy), le prof. D^r Prescher (Dresde), le prof. D^r H. J. Rösler (Freiberg), le prof. D^r G. Frenzel (Heidelberg), le D^r R. Weil (Strasbourg), le président (D^r M. Fleischer, Washington) et le délégué de l'U. R. S. S. (M^{me} E. Bohnstedt-Kupletskaya) pour la Commission des nouveaux minéraux et des noms de minéraux de l'Association internationale de Minéralogie.

Manuscrit reçu le 13 mai 1968.

BIBLIOGRAPHIE

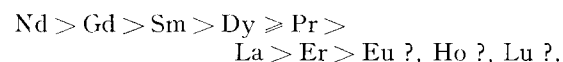
- BECK, 1902. — *Centralblatt Mineralogie*, p. 641.
 DANA, 1951. — *The system of Mineralogy*, t. 2, par G. PALACHE, H. BERMAN et C. FRONDEL.
 DIETRICH, J.-É. 1966. — *Notes Serv. Géol. Maroc*, t. 26, n^o 188.
 DUBININA, V. N., KORNILOVITCH, I. A. et SOKOLOVA E. P. (1968). — *Trudy vsesojuz nauch.-issledov géol. Inst.*, 131, 3-21.
 FRENZEL, A. (1875 a). — *Miner. Mitt.*, 42-43.
 FRENZEL, A. (1875 b). — *Neues Jb. Mineral, Dtsch.*, 517-518.
 HEY, M. H. (1963). — Appendix 2nd ed. of an index of mineral species and varieties arranged chemically. — *London, Trustees of the British Museum (Natural History)*.
 HILLEBRAND, W. F. et WASHINGTON, H. S. (1888). — *Amer. J. Sci.*, 3rd ser., 35, 298-307.
 JAFFE, H. W. (1956). — *Amer. Mineralogist*, 41, 757-77.
 KOKKOROS, P. (1952). — *Tschermaks miner. petrog. Mitt., Österr.*, 3, 56-60.
 LARSEN, E. S. et BERMAN H. (1921, 1934). — 1st. et 2nd. éd., *Geol. Surv., Bull., U. S. A.*, 848.
 LEVINSON, A. A. (1966). — *Amer. Mineralogist.*, 51, 152-158, et trad. in : *Bull. Soc. franç. Minéral. Cristallogr.*, 90, 419-23, 1967.
 SAADI, M. (1968). — *Mines et Geol., Rabat*, n^o 26.
 SCCHRAUF, A. (1880). — *Z. Kristallogr., Dtsch.*, 277-85.
 STRUNZ, H. (1966). — *Mineralogische Tabellen* — 4^e éd., Leipzig.
 TIXERONT, M. (1962). — *Dipl. d'Ét. Sup., Fac. des sciences, Paris*.
 WALENTA, K. (1960). — *Neues Jb. Mineral., Monatsh. Dtsch.*, 10, 223-36.

de Cordoue) (tableau V, 30) contient, dans ses anfractuosités, une dizaine de minuscules houppes d'aiguilles d'agardite de 2,5 mm de longueur maximale, à éclat soyeux, d'une couleur verte un peu jaunâtre. Cette agardite est à yttrium dominant et contient du calcium et peut-être des traces de silicium, d'aluminium et de manganèse. En première approximation on peut ranger les autres terres rares dans l'ordre d'abondance suivant :



4° France.

Sur un échantillon d'azurite massive, en gros cristaux, avec une halloysite blanche interstitielle de Chessy (Rhône), se trouvant dans la collection du Muséum d'histoire naturelle de Toulouse (tableau V, 27), l'un de nous (J. D.) a observé de l'agardite vert bleuâtre pâle, en petites touffes cotonneuses formées de très fines aiguilles. Cette agardite est riche en yttrium et peut-être aussi en néodyme, et contient un peu de calcium et peut-être des traces de silicium. Les terres rares, en dehors de l'yttrium, peuvent se classer, en première approximation, dans l'ordre d'abondance suivant :



Un échantillon de la collection du Muséum national d'histoire naturelle de Paris, étiqueté « aurichalcite, Chessy », (tableau V, 29) s'est révélé être en réalité de l'agardite, se présentant en abondantes houppes de très fines aiguilles vert-bleu, à éclat soyeux, sur un fond d'oxydes de fer avec de gros cristaux flabelliformes d'azurite. Cette agardite, riche en yttrium, contient un peu de calcium et peut-être des traces de silicium, d'aluminium, de plomb et de zinc. Les autres terres rares décelées sont, par ordre d'abondance :



De l'agardite a aussi été observée :

— en léger feutrage cotonneux vert pâle sur un échantillon de gros cristaux d'azurite pseudomorphosés en malachite, provenant de Chessy et se trouvant dans la collection de l'École nationale supérieure des Mines de Paris (tableau V, 28).

— sur trois échantillons provenant de Chessy

et se trouvant dans la collection du British Museum (P. Embrey, comm. personnelle).

Il est probable que l'on trouvera encore de l'agardite sur quelques-uns des très nombreux échantillons d'azurite de Chessy répandus dans les musées du monde entier.

5° U. S. A.

Parmi les dix échantillons de « mixite » de l'Utah et de l'Arizona que nous avons examinés, l'un d'eux, provenant du district de Tintic (Utah) (tableau V, 18), s'est révélé être de l'agardite. Il s'agit d'un bloc siliceux, imprégné d'oxydes de fer, de forme générale triangulaire, de $9 \times 10 \times 10$ cm. D'un côté la silice prend une texture stalactitique et porte une croûte mamelonnée, de 1 mm environ d'épaisseur, à peu près continue sur une surface grossièrement triangulaire de $4 \times 5 \times 5$ cm, d'agardite aciculaire, vert-bleu clair à vert très pâle ; ailleurs, le bloc est parsemé de petites taches d'agardite plus ou moins denses. Cette agardite est riche en yttrium, elle contient un peu de calcium et peut-être des traces de fer, de silicium, de plomb et de soufre. Les autres terres rares, peu abondantes et semble-t-il peu nombreuses, peuvent se ranger, en première approximation dans l'ordre d'abondance suivant :



c) « ARSÉNIATES DE CUIVRE YTTRIFÈRES » DE TRANSBAÏKALIE.

En 1968, V. N. Dubinina, I. A. Kornilovitch et E. P. Sokolova ont signalé la découverte en Transbaïkalie de « toute une série d'arséniates de cuivre », se présentant « en agrégats vert bleuâtre, fibroradiés ou microgrenus, parfois en nodules sphériques vert turquoise », formant des croûtes et des filonnets dans un porphyre quartzifère. Ces arséniates sont si « intimement associés qu'ils n'ont pas pu être séparés pour l'analyse chimique ».

Sept échantillons ont fait l'objet d'analyses et de descriptions sommaires. L'un d'eux donne un diagramme de poudre qui peut être assimilé à celui de la mixite, malgré quelques différences soulignées par les auteurs, et en considérant que la raie à 1,546 ($i = 2$), non indexable dans le système hexagonal, est due à une impureté. Par contre, ses propriétés optiques (extinction oblique à 16° des prismes, biaxie, $n_p \simeq 1,706$, $n_e \simeq 1,770$ et couleur vert turquoise) sont incom-

tra qu'ils présentaient un indice de réfraction $n_o = 1,735 \pm 0,005$ et qu'ils contenaient du bismuth ; il s'agissait donc de mixite. S. G. Gordon en conclut à l'identité probable du chlorotile et de la mixite.

Complétant ces observations par un diagramme de poudre, C. Frondel [*in Dana's System*, 1957] transforma la probabilité en certitude d'identité. *Il oublait que les observations n'avaient pas été faites sur l'échantillon-type de A. Frenzel*, et sa conclusion ne peut être acceptée.

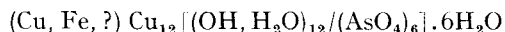
En 1960, K. Walenta étudia des arséniate hydrates de cuivre provenant de trois gisements de la Forêt Noire : la mine Silberbrünnle près de Haigerach, la mine Clara près d'Oberwolfach, et Neubulach. Il montra que leur coloration et leur diagramme de poudre étaient presque identiques à ceux de la mixite ; tandis que leurs indices de réfraction ($n_o \approx 1,725 \pm 0,003$, $n_e \approx 1,812 \pm 0,005$) et leur densité ($d_{mes.} = 3,73$) étaient nettement inférieurs à ceux de la mixite ($n_o \approx 1,750 \pm 0,003$, $d_{mes.} = 3,83$). Des essais chimiques lui montrèrent la présence d'arsenic, de cuivre et d'un peu de fer, et l'absence de bismuth. Il conclut qu'il s'agissait d'un arséniate hydraté de cuivre seul, et, faisant le rapprochement avec le « chlorotile » de A. Frenzel, il crut pouvoir rétablir la validité de l'espèce minérale « chlorotile », considérée comme le pôle d'une série partant de la mixite avec remplacement complet du bismuth par le cuivre.

Malgré les difficultés, signalées par K. Walenta lui-même, pour faire cadrer la composition chimique attribuée par A. Frenzel au chlorotile avec celle de la mixite, cette conclusion fut adoptée par :

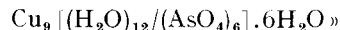
— M. H. Hey (1963) qui précise : « formule incertaine, peut-être :



— H. Strunz (1966) qui donne une formule calquée sur celle de la mixite :



tout en faisant remarquer que « le calcul de la seule analyse existante (celle de A. Frenzel) conduit à la formule :



Malheureusement, faute d'une quantité suffisante de substance, K. Walenta n'avait pas pu réaliser d'analyse complète de ses minéraux exempts de bismuth. Grâce à son obligeance, nous avons pu faire des essais à la microsonde électronique sur quelques-uns de ses échantil-

lons ; ces analyses qualitatives complètes ont confirmé l'absence de bismuth, mais montré la présence de terres rares. Il s'agissait donc d'argardite et non de « chlorotile ».

Le problème du « chlorotile » restait entier, d'autant plus que K. Walenta n'avait pas examiné l'échantillon type de A. Frenzel.

En vue de retrouver cet échantillon-type, nous avons pris contact directement ou indirectement avec de nombreuses personnalités de la minéralogie et des musées minéralogiques en Allemagne et dans divers pays d'Europe centrale. Grâce à leur obligeance et à leur amabilité nous avons récolté une ample moisson de renseignements. En particulier, la très intéressante biographie tracée par Beck (1902), nous apprend que August Frenzel (1842-1902), qui travailla à Freiberg comme ouvrier mineur, puis porion, puis chimiste et enfin chef de laboratoire des usines métallurgiques, professeur de minéralogie à la *Bergschule*, avait créé une collection privée de grande renommée qu'il céda en 1896. Elle fut incorporée aux collections de minéralogie de Budapest. Les échantillons de chlorotile qu'elle comportait figurent malheureusement parmi les échantillons portés « disparus » au cours de l'incendie du Muséum national hongrois en 1956 (C. L. Ravasz, commun. personnelle).

Par ailleurs, le seul échantillon de « chlorotile » de Schneeberg existant au musée de la Bergakademie de Freiberg (Saxe) s'est révélé être en réalité de la mixite (tableau V, 1) ; mais il n'appartenait pas à la collection de A. Frenzel.

Devant l'impossibilité de retrouver l'échantillon type du chlorotile de Frenzel, il nous restait une voie, longue et difficile pour, sinon résoudre, tout au moins cerner le problème : examiner le plus grand nombre possible d'échantillons étiquetés « chlorotile », et en particulier ceux provenant de Schneeberg, se trouvant dans les diverses collections de minéralogie du monde.

Dans ce but, nous avons fait appel à de nombreux musées dans le monde et nous avons aimablement reçu une quarantaine d'échantillons étiquetés « chlorotile » ou « mixite » de diverses provenances. Après élimination de quelques confusions évidentes, notamment avec la malachite, nous avons pu revoir les 31 échantillons qui sont répertoriés, avec les résultats obtenus, dans le tableau V.

Pour les essais nous avons opéré de la façon suivante :

a) Vérification systématique, sur tous les échantillons, des propriétés optiques et mesure des indices de réfraction ;