

La chabournéite, un nouveau minéral thallifère

par ZDENEK JOHAN (*), JOSEPH MANTIENNE (**) et PAUL PICOT (**),

(*) Groupement d'Intérêt Scientifique B.R.G.M.-C.N.R.S., C.R.S.C.M.,
1 A, rue de la Férollerie, 45045 Orléans Cedex France.

(**) B.R.G.M., Service géologique national, B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex, France.

Résumé. — La chabournéite, $Tl_{21}(Sb, As)_9S_{147}$ est triclinique, $P1$, avec $a = 16,346$, $b = 42,602$, $c = 8,534$ Å, $\alpha = 95,86^\circ$, $\beta = 86,91^\circ$, $\gamma = 96,88^\circ$, $Z = 1$, $D_x = 5,121$ g.cm⁻³. Raies les plus intenses du diagramme de poudre : 4,196(5) (0.10.0; 2.8.0), 4,067(6) (0.4.2; 4.2.0), 3,928(7) (4.4.0), 3,573(10) (2.6.2; 2.10.0), 3,485(5) (0.6.2; 0.8.2), 3,358(7) (2.12.0), 2,853(7) (0.10.2; 4.2.2), 2,808(8) (4.12.0), 2,754(5) (4.10.0; 4.4.2), 2,709(7) (6.0.0), 2,345(7) (6.2.2), 2,135(9) (0.18.2) Å. Les analyses à la microsonde électronique mettent en évidence une substitution $Tl^+ + (Sb, As)^{3+} \rightleftharpoons 2 Pb^{2+}$. La chabournéite est un terme thallifère d'une solution solide de formule générale $Tl_{21-x}Pb_{2x}Sb_{49-x}As_{42-y}S_{147}$. Analyse du pôle thallifère de Jas Roux (microsonde électronique) : Tl 23,87; Pb 0,00; Sb 32,92; As 17,63; S 26,05; total 100,47 %, conduisant à la formule idéale $Tl_{21}Sb_{49}As_{42}S_{147}$. En lumière réfléchie, elle est de couleur blanche; faible biréfractance. Le pouvoir réflecteur de la chabournéite se situe entre R_{max} et R_{min} de la stibine : 31,3-41,6 (420); 30,7-40,2 (460); 30,3-39,3 (500); 29,8-38,0 (540); 29,2-36,7 (580); 27,8-35,3 (620); 26,4-33,6 (660); 25,3-32,4 (700 nm). Fortement anisotrope, avec des couleurs de polarisation bleu-vert; réflexions internes rouges. Microdureté Vickers 95 kg.mm⁻². Densité mesurée 5,10₄ g.cm⁻³. Macroscopiquement de couleur noire, cassure conchoïdale, éclat semi-métallique à gras. Trouvée à Jas Roux (Hautes-Alpes, France) dans des calcaires dolomitiques associée à pierrotite, parapierrrotite, stibine, pyrite, blende, twinnite, zinckénite, madocite, andorite, smithite, laffittite, routhièrite, aktashite, wakabayashilite, réalgar, orpiment, et à Abuta, île de Hokkaido (Japon), associée à getchellite, blende et barytine. Nommée d'après le glacier de Chabournéou à proximité de l'indice de Jas Roux (gisement-type de la chabournéite). Échantillon-type déposé à l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris.

Mots clés : chabournéite, nouveau minéral, thallium, France, Japon.

Charbourneite, a new thallium mineral.

Abstract. — Chabourneite, $Tl_{21}(Sb, As)_9S_{147}$ is triclinic, $P1$, with $a = 16.346$, $b = 42.602$, $c = 8.534$ Å, $\alpha = 95.86^\circ$, $\beta = 86.91^\circ$, $\gamma = 96.88^\circ$, $Z = 1$, $D_x = 5.121$ g.cm⁻³. The strongest lines in the powder pattern are : 4.196 (5) (0.10.0; 2.8.0), 4.067(6) (0.4.2; 4.2.0), 3.928(7) (4.4.0), 3.573(10) (2.6.2; 2.10.0), 3.485(5) (0.6.2; 0.8.2), 3.358(7) (2.12.0), 2.853(7) (0.10.2; 4.2.2), 2.808(8) (4.12.0), 2.754(5) (4.10.0; 4.4.2), 2.709(7) (6.0.0), 2.345(7) (6.2.2), 2.135(9) (0.18.2) Å. Microprobe analyses show the substitution $Tl^+ + (Sb, As)^{3+} \rightleftharpoons 2 Pb^{2+}$. Chabourneite is a thallium-rich member of the solid solution series with the general formula $Tl_{21-x}Pb_{2x}Sb_{49-x}As_{42-y}S_{147}$. Microprobe analysis of the thallium end-member from the Jas Roux deposit gave : Tl 23.87; Pb 0.00; Sb 32.92; AS 17.63; S 26.05; total 100.47 % corresponding to the ideal formula $Tl_{21}Sb_{49}As_{42}S_{147}$. In reflected light, chabourneite is white with weak reflection pleochroism and reflectances between R_{max} and R_{min} of stibnite : 31.3-41.6 (420); 30.7-40.2 (460); 30.3-39.3 (500); 29.8-38.0 (540); 29.2-36.7 (580); 27.8-35.3 (620); 26.4-33.6 (660); 25.3-32.4 (700 nm). Strongly anisotropic with bluish and greenish polarization colours; internal reflections red. Microhardness (Vickers) 95 kg.mm⁻². Measured specific gravity 5.10₄ g.cm⁻³. Macroscopically black, conchoidal fracture, luster submetallic to greasy. Chabourneite occurs in dolomitic limestones at Jas Roux (Hautes-Alpes, France), associated with pierrotite, parapierrrotite, stibnite, pyrite, sphalerite, twinnite, zinckénite, madocite, andorite, smithite, laffittite, routhierite, aktashite, wakabayashilite, realgar, orpiment and at Abuta, Hokkaido island (Japan), associated with getchellite, sphalerite and barite. The name is for Chabournéou glacier near the Jas Roux deposit (type deposit for chabourneite). Type material is preserved at École Nationale Supérieure des Mines in Paris.

Key words : chabourneite, new mineral, thallium, France, Japan.

INTRODUCTION

Le gisement de Jas Roux, situé dans le massif du Pelvoux (Hautes-Alpes, France) et étudié depuis plusieurs années, renferme une paragenèse inhabituelle comprenant plusieurs espèces minérales nouvelles dont certaines thallifères. Guillemin *et al.* (1970) ont décrit la pierrotite, $Tl_2Sb_{10}S_{17}$, Johan *et al.* (1974), la routhièrite $TlHgAsS_3$ et la laffittite, $AgHgAsS_3$. Enfin, le composé $TlSb_5S_8$, nommé parapierrrotite, a été découvert simultanément à Allchar (Yougoslavie) et à Jas Roux (Johan *et al.*, 1975).

Parmi les phases faisant partie d'un épisode minéralisateur postérieur au dépôt de la stibine, un nouveau minéral de thallium a été reconnu, nommé chabournéite d'après le glacier de Chabournéou, situé à proximité de l'indice de Jas Roux. L'étude préliminaire de ce minéral a été effectuée par Mantiène (1974).

Lorsque la description de cette espèce a été présentée à l'I.M.A. (*), le Dr A. Kato a aimablement attiré

(*) La Commission des nouveaux minéraux de l'I.M.A. a approuvé la description de ce minéral par 16 voix contre 0 et une abstention.

notre attention sur la présence du même minéral dans la mine de Toya, à Abuta, île de Hokkaido au Japon et nous en a fait parvenir deux échantillons. Leur examen à la microsonde électronique a révélé que cette chabournéite est en fait une solution solide dans laquelle le thallium est partiellement remplacé par le plomb ce qui a permis d'étudier le mécanisme de substitution de ces deux éléments dans la structure de la chabournéite dont le pôle purement thallifère a été observé à Jas Roux.

Notons encore que Nagl (1979) a publié la structure d'un sulfosel de thallium de composition $Tl_8Pb_4Sb_{21}As_{19}S_{68}$, provenant également de Jas Roux. Il ne fait aucun doute que ce composé est identique avec la chabournéite, bien que nos résultats divergent souvent avec ceux de Nagl (1979), en particulier en ce qui concerne la formule chimique du nouveau minéral.

Les échantillons-types de la chabournéite de Jas Roux ainsi que les échantillons d'Abuta ayant servi à cette étude, ont été déposés dans la collection de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

La chabournéite est incontestablement la phase thallifère la plus fréquente de la minéralisation de Jas Roux. Elle se présente en agrégats de couleur noire, à cassure conchoïdale, remplissant avec d'autres minéraux (stibine, pierrotite, parapierrrotite), mais surtout avec du réalgar, des fractures dans les calcaires dolomitiques du Trias. Parfois, ces agrégats, constitués d'une association intime de chabournéite et de pierrotite, peuvent atteindre des dimensions centimétriques. Nous avons observé quelques cristaux millimétriques, très imparfaits à faces non mesurables, du nouveau minéral.

L'éclat est semi-métallique à gras sur une cassure

fraîche; la surface se ternit assez rapidement et se couvre ensuite d'une pellicule amorphe, gris jaunâtre. La couleur de la poussière est brun-rouge. Des mesures de densité de la chabournéite, effectuées par pesées du minéral dans le tétrachlorure de carbone ont donné une valeur moyenne de $5,10_4 \text{ g.cm}^{-3}$.

En section polie, la chabournéite de Jas Roux se présente en grandes plages monocristallines de couleur blanche, légèrement crème en comparaison directe avec la stibine. Le pouvoir réflecteur est nettement plus faible que celui de la stibine, très légèrement inférieur à celui de la pierrotite et de la parapierrrotite. Cette dernière différence n'apparaît que lorsque les deux espèces (chabournéite et pierrotite ou parapierrrotite) sont associées, et surtout à l'immersion. Des mesures de pouvoir réflecteur ont été effectuées sur une dizaine de plages sans orientation cristallographique connue. Les résultats sont donnés dans le tableau I, comparés au pouvoir réflecteur de la stibine. Il en ressort que la chabournéite se situe, par son pouvoir réflecteur, entre R_{max} et R_{min} de la stibine. La biréflexion est faible mais perceptible, en particulier dans l'huile.

Entre nicols croisés, la chabournéite se distingue de la pierrotite et de la parapierrrotite par une anisotropie nettement plus forte avec des couleurs franches allant du bleu au verdâtre. Avec la lampe à arc, les teintes de polarisation deviennent plus vives et encore plus bleues (Picot et Johan, 1977). De plus, la chabournéite présente davantage de réflexions internes rouges que la pierrotite et la parapierrrotite. En particulier, dans les microfissures qui affectent ces minéraux, la lumière diffuse disparaît (ou devient plus rare) dans la pierrotite et la parapierrrotite.

Nous n'avons pas observé de macles. La microdureté Vickers (chabournéite de Jas Roux) est de 95 kg.mm^{-2} ($P = 25 \text{ g}$). Cette valeur est la moyenne de 10 mesures variant de 78 à 124 kg.mm^{-2} . L'étude en sections polies ne met en évidence aucun clivage; cependant les empreintes de la pyramide de Vickers,

Plage	1		2		3		4		Stibine	
	R_{max} (%)	R_{min} (%)	R_{max} (%)	R_{min} (%)	R_{max} (%)	R_{min} (%)	R_{max} (%)	R_{min} (%)	R_{max} (%)	R_{min} (%)
420	40,1	32,2	36,1	31,3	40,5	37,9	41,6	34,4	44,9	31,3
440	39,5	32,0	37,4	31,3	40,2	37,1	40,6	33,7	44,5	31,3
460	39,0	31,5	36,6	30,7	39,4	36,2	40,2	33,6	43,7	30,9
480	38,6	31,2	36,5	30,8	38,8	35,6	39,7	33,3	43,7	31,2
500	38,0	31,3	35,3	30,3	38,2	35,1	39,3	32,8	42,8	31,3
520	37,3	31,0	34,8	30,2	37,3	34,1	38,5	32,7	42,4	31,5
540	36,6	30,8	33,9	28,8	36,4	33,5	38,0	32,5	41,7	31,2
560	36,0	30,7	33,3	28,6	35,8	32,9	37,4	32,3	40,9	30,7
580	35,1	30,2	32,7	28,2	35,1	32,1	36,7	31,7	40,4	30,2
600	34,3	28,7	31,8	28,5	34,1	31,5	36,1	31,1	39,8	29,7
620	33,6	28,0	31,2	27,8	33,4	30,6	35,3	30,4	39,7	29,4
640	32,8	28,3	30,3	27,1	32,5	30,1	34,5	29,7	39,9	29,7
660	32,0	27,4	29,6	26,4	31,8	29,4	33,6	29,0	40,0	30,0
680	31,3	26,9	29,1	25,7	31,1	28,9	32,9	28,3	39,3	29,7
700	31,2	26,7	28,8	25,3	30,8	28,4	32,4	27,9	38,0	28,8

TABLEAU I. — Pouvoirs réflecteurs de la chabournéite de Jas Roux (France).

Lumière rectilignement polarisée, incidence normale, monochromateur, photomultiplicateur à cathode S_{20} , témoin SiC, objectif 44/0,65 et illuminateur à prisme, compensation d'obliquité par $\frac{R_{\perp} + R_{//}}{2}$.

très irrégulières, sont accompagnées de cassures d'orientation constante, suggérant l'existence d'un clivage imparfait dont la direction cristallographique reste à préciser.

La chabournéite d'Abuta se présente en agrégats microcristallins associés à getchellite, blende et barytine. L'examen à la microsonde (voir ci-dessous) montre que d'une plage à l'autre, les teneurs en Tl et Tb varient considérablement. Plusieurs plages sont

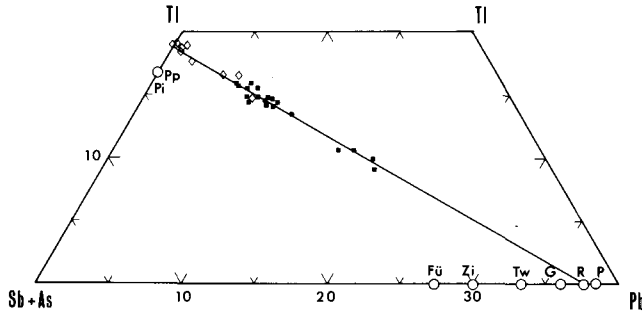


FIG. 1. — Variation de la composition chimique des chabournéites de Jas Roux (losanges) et d'Abuta (carrés), visualisée par la projection des analyses dans le plan Tl-(Sb + As)-Pb (% at.). Pour comparaison, on a reporté les points de projection des minéraux chimiquement proches : Pp, parapierrrotite ; Pi, pierrrotite ; Fü, fülöppite ; Zi, zinckénite ; Tw, twinnite ; G, guettardite ; R, robinsonite ; P, plagionite.

constituées d'une phase à Pb > Tl en nombre d'atomes. Il s'agit probablement d'un terme à Pb dominant de la solution solide (Tableau III, analyse 6 ; figure 1) dont la chabournéite représente le pôle thallifère. Cependant aucune étude aux rayons X n'a pu être réalisée sur ce minéral à cause de l'exiguïté de ses plages.

ÉTUDE CRISTALLOGRAPHIQUE

L'étude sur monocristal par la méthode de Weissenberg a montré que la chabournéite est triclinique, groupe spatial probable P1. Les paramètres de la chabournéite de Jas Roux, affinés par moindres carrés sont les suivants :

$$\begin{aligned} a &= 16,346(5) \text{ \AA} & \alpha &= 95,86^\circ(3) \\ b &= 42,602(10) \text{ \AA} & \beta &= 86,91^\circ(3) & V &= 5\,863,5 \text{ \AA}^3 \\ c &= 8,534(3) \text{ \AA} & \gamma &= 96,88^\circ(3) \end{aligned}$$

Ces valeurs peuvent être comparées à celles de Nagl (1979) en utilisant la matrice de transformation $[100|0\bar{1}0|001]$; on note un accord satisfaisant, à l'exception de β où la différence atteint $2,15^\circ$. Les clichés de Weissenberg révèlent l'existence d'une sous-structure, signalée également par Nagl (1979), avec $a' = a/2$, $b' = b/2$, $c' = c/2$, $\alpha' = \alpha$, $\beta' = \beta$, $\gamma' = \gamma$. En effet, les taches hkl avec h,k,l pairs sont très intenses, tandis que celles avec h,k,l impairs sont faibles ou inexistantes.

I	d_{mes}	d_{calc}	hkl *
3	10.5	10.52	0.4.0
4	7.02	7.016	0.6.0
3	6.08	6.092	2.4.0
1	5.65	5.636	$\bar{2}$.6.0
1	5.05	5.027	2.6.0
1	4.67	4.666	$\bar{2}$.8.0
1	4.405	4.408	$\bar{2}$. $\bar{5}$.1
5	4.196	4.210	0.10.0
		4.199	2.8.0
6	4.067	4.072	0. $\bar{4}$.2
		4.068	$\bar{4}$.2.0
7	3.928	3.938	$\bar{4}$.4.0
		3.925	$\bar{2}$.10.0
3	3.620	3.644	4.4.0
		3.619	$\bar{2}$.2.2
10	3.573	3.577	2. $\bar{5}$.2
		3.572	2.10.0
5	3.485	3.483	0.6.2
		3.469	0. $\bar{8}$.2
7	3.358	3.364	$\bar{2}$.12.0
4	3.345	3.347	4.6.0
3	3.093	3.104	$\bar{4}$.10.0
		3.093	2.12.0
3	3.031	3.046	4.8.0
		3.029	4. $\bar{2}$.2
4	2.997	3.007	0.14.0
		3.003	4. $\bar{4}$.2
		2.994	4.0.2
4	2.926	2.931	$\bar{2}$.14.0
		2.920	4. $\bar{5}$.2
7	2.853	2.853	0.10.2
		2.850	$\bar{4}$.2.2
8	2.808	2.818	$\bar{4}$.12.0
5	2.754	2.765	4.10.0
		2.758	$\bar{4}$. $\bar{4}$.2
7	2.709	2.702	6.0.0
1	2.685	2.693	$\bar{5}$.4.0
3	2.419	2.422	2.16.0
		2.420	2.12.2
2	2.394	2.389	$\bar{4}$.10.2
7	2.345	2.349	6. $\bar{2}$.2
		2.348	0.14.2
		2.345	6. $\bar{4}$.2
		2.339	0.18.0
		2.339	0. $\bar{15}$.2
1	2.271	2.272	6.2.2
		2.271	$\bar{5}$.12.0
1	2.194	2.200	6.4.2
		2.181	2.18.0
9	2.135	2.137	0. $\bar{15}$.2
		2.136	$\bar{5}$.14.0
		2.135	$\bar{4}$.18.0
		2.130	0. $\bar{2}$.4
1	2.027		
1	1.984		
1	1.964		
2	1.884		
2	1.867		
2	1.834		
5	1.810		
2	1.783		
2	1.740		
2	1.651		
1	1.519		
2	1.597		
3	1.569		

TABLEAU II. — Diagramme de poudre de la chabournéite de Jas Roux (France).

Cu/Ni, chambre de 240 mm de circonférence. Intensités relatives de 1 à 10, estimées visuellement.

(*) Indexé à partir des clichés de Weissenberg.

Pour $Z = 1$ et la formule cristallographique du pôle thallifère de Jas Roux, $Tl_{21}(Sb_{48,36}As_{42,63})S_{147}$, la densité calculée (D_x) est de $5,121 \text{ g.cm}^{-3}$, en bon accord avec la valeur mesurée ($5,10 \text{ g.cm}^{-3}$). Notons à ce sujet que $D_x = 4,88 \text{ g.cm}^{-3}$ calculée à partir de la formule proposée par Nagl (1979) est en désaccord flagrant avec la densité mesurée ce qui met en doute la validité de cette formule et implicitement aussi de la structure déterminée par cet auteur.

Le diagramme de poudre de la chabournéite est donné dans le tableau II. Les clichés de Weissenberg ont servi de base à son indexation. On remarque qu'à l'exception de la raie faible ($d = 4,405 \text{ \AA}$) correspondant au plan $(\bar{2}.6.1)$, les autres raies ont des indices hkl avec $(h,k,l) = 2n$, traduisant l'existence de la sous-structure mentionnée plus haut.

Le diagramme de poudre permet de distinguer, sans ambiguïté, la chabournéite des espèces minérales chimiquement proches, telles que la pierrotite et la parapierrrotite.

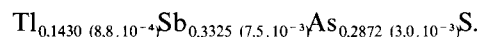
ÉTUDE CHIMIQUE

Une centaine d'analyses à la microsonde électronique ont été réalisées sur les échantillons provenant de Jas Roux et d'Abuta. Elles révèlent la présence systématique de Tl, Sb, As, S dans le nouveau minéral. Alors qu'à Jas Roux, un terme purement thallifère de la chabournéite a été mis en évidence, la totalité des plages analysées de la chabournéite d'Abuta et quelques rares plages de Jas Roux, renferment le plomb en quantité variable (Tableau III). Accessoirement, une faible teneur en Ag (0,2 à 0,4 %) a été décelée dans la chabournéite de Jas Roux.

De l'ensemble des analyses effectuées, nous n'avons retenu, pour les considérations cristallographiques qui suivent, que celles dont le total se situait entre 98,5 et 101,5 % et pour lesquelles l'équilibre des charges (en assumant Ag^{1+} , Tl^{1+} , Pb^{2+} , Sb^{3+} , As^{3+} , S^{2-}) était réalisé avec un écart inférieur à $\pm 2\%$.

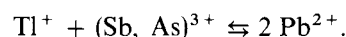
En prenant ces précautions, nous obtenons pour le terme extrême thallifère de Jas Roux les nombres

d'atomes suivants, calculés sur la base de 1 atome de S ($n = 10$, écarts-types indiqués entre parenthèses) :



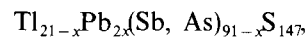
Ces nombres d'atomes conduisent à la formule $Tl_3Sb_7As_6S_{21}$, impliquant, compte tenu de la densité mesurée, sept unités formulaires par maille, ou respectivement, pour $Z = 1$, à la formule idéale $Tl_{21}Sb_{49}As_{42}S_{147}$ (Tableau III). En exprimant cette composition théorique sur la base d'un atome de soufre, on a $Tl_{0,1428}Sb_{0,3333}As_{0,2857}S$, composition en parfait accord avec les nombres d'atomes déduits des analyses à la microsonde électronique que nous venons d'indiquer ci-dessus.

L'introduction du plomb dans la structure de la chabournéite conduit à une diminution concomitante du nombre d'atomes de Tl et (Sb + As). Il apparaît que les totaux $Tl + \frac{1}{2}Pb$ et $Sb + As + \frac{1}{2}Pb$ demeurent constants. Ceci amène à envisager le schéma de substitution



Ainsi le thallium a un comportement analogue à celui de Ag dans les sulfosels de Pb et Bi (Makovicky et Karup-Møller, 1977) ou dans la solution solide $PbS-AgBiS_2$ (Hoda et Chang, 1975). La même substitution a été observée dans la madocite argento-thallifère de Jas Roux (Moëlo, 1979).

La chabournéite d'Abuta (et parfois aussi celle de Jas Roux) est en réalité une solution solide de formule générale



dont le terme extrême théorique à Pb aurait une composition $Pb_{42}(Sb, As)_{70}S_{147}$, ou en simplifiant $Pb_6(Sb, As)_{10}S_{21}$. Notons que la même formule a été attribuée par Craig *et al.* (1973) à la robinsonite. Cependant, Jambor et Plant (1975) ont démontré son incompatibilité avec les analyses et la densité de la robinsonite, tant naturelle que synthétique, et ont proposé une formule $Pb_4Sb_6S_{13}$.

La figure 1 illustre les variations de Tl, (Sb + As) et

	JAS		ROUX			ABUTA***				
	JR 9	JR 4	JR 5	JR I	NAGL**	9	11	32	15	6
Tl	23.87	23.65	23.58	22.01	18.08	19.18	19.79	18.13	17.88	12.81
Pb	0.00	0.30	0.30	2.42	9.36	7.21	8.47	10.59	10.94	18.72
Sb	32.92	32.85	32.07	32.87	31.28	32.49	31.84	29.91	31.61	25.88
As	17.63	16.99	17.72	16.98	15.95	14.98	15.64	15.60	14.83	17.03
S	26.05	25.56	25.78	25.75	25.77	24.74	25.62	24.73	24.82	24.71
total	100.47	99.35	99.45	100.03	100.44	98.60	101.36	98.96	100.08	99.15
Tl*	3.01	3.03	3.00	2.80	2.33	2.54	2.55	2.40	2.36	1.70
Pb	0.00	0.04	0.04	0.30	1.19	0.94	1.07	1.38	1.42	2.45
Sb	6.97	7.07	6.86	7.04	6.75	7.22	6.88	6.66	7.00	5.77
As	6.07	5.95	6.16	5.91	5.60	5.41	5.49	5.64	5.34	6.17
S	20.95	20.90	20.94	20.94	21.13	20.88	21.01	20.91	20.88	20.91

TABLEAU III. — Analyses à la microsonde électronique de la chabournéite de Jas Roux et d'Abuta.

Analyses effectuées au Laboratoire mixte B.R.G.M.-C.N.R.S. à Orléans; analystes J. Breton et C. Gilles; témoins : $TlAsS_2$, Sb_2S_3 , PbS .

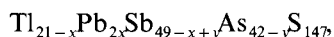
(*) Nombre d'atomes calculé sur la base d'un total de 37 atomes par unité formulaire.

(**) Composition moyenne de la chabournéite riche en plomb de Jas Roux étudiée par Nagl (1979).

(***) Échantillon n° 20166, National Science Museum, Tokyo.

Pb dans les chabournéites étudiées. On constate, qu'à l'erreur analytique près, les compositions obtenues se situent bien à proximité de la droite théorique reliant les deux pôles de la solution solide envisagée ci-dessus. Nous avons reporté sur la même figure, la composition moyenne de la chabournéite de Jas Roux publiée par Nagl (1979). Elle s'accorde bien avec la composition théorique de la solution solide et se situe dans le domaine de composition où se projettent la plupart des plages analysées de la chabournéite d'Abuta.

Nagl (1979) a proposé une structure avec des sites distincts de Sb et As. Notre étude ne permet ni de confirmer ni d'infirmer une telle conclusion. En effet, bien que la statistique de l'ensemble des analyses laisse entrevoir une corrélation négative entre Pb et Sb, ce qui suggère une substitution préférentielle selon le schéma $Tl^+ + Sb^{3+} \rightleftharpoons 2 Pb^{2+}$, il existe de nombreuses exceptions (Tableau III) qui pourraient cependant être dues à deux substitutions conjuguées, celle de Tl^+ et Sb^{3+} par Pb^{2+} et celle de As^{3+} par Sb^{3+} . Ainsi, on arrive au schéma



permettant d'expliquer par rapport au terme thallifère extrême :

- déficit conjoint de As et Sb lorsque $x > y$ (analyse 32, tableau III);
- déficit en As, excès en Sb lorsque $x < y$ (analyse 9, tableau III);
- déficit uniquement en As lorsque $x = y$ (analyse 15, tableau III). Rappelons que $Sb + As = 91 - x$.

La substitution $Sb^{3+} \rightleftharpoons As^{3+}$ a été observée dans le cas des composés chimiquement proches, tels que la parapierrrotite. Cette phase, de formule $TlSb_5S_8$, faisant partie du système ternaire Tl-Sb-S (Bohac *et al.*, 1974; Edenharter et Peters, 1979), présente dans la nature de fortes teneurs en arsenic, correspondant à l'occupation des sites de Sb (Engel, 1980) par l'arsenic

Tl	21,16	21,10	22,03	19,83	21,40
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Sb	39,02	37,81	39,02	39,59	39,01
As	14,07	13,94	14,06	13,65	13,97
S	26,44	25,53	25,08	26,08	25,75
total	100,69	98,38	101,19	99,15	100,13
Tl*	1,00	1,04	1,06	0,95	1,04
Sb	3,11	3,12	3,15	3,20	3,19
As	1,82	1,87	1,84	1,79	1,86
S	8	8	8	8	8

TABLEAU IV. — Analyses à la microsonde électronique de la parapierrrotite de Jas Roux associée à la chabournéite.

Analyses effectuées au Laboratoire mixte B.R.G.M.-C.N.R.S. à Orléans; analystes J. Breton et C. Gilles; témoins $TlAs_2S_2$, Sb_2S_3 , PbS .

(*) Nombre d'atomes calculé sur la base de 8 atomes de S par unité formulaire.

de 14 % (Allchar; Johan *et al.*, 1975) à 38 % (Jas Roux; Tableau IV). La composition de la parapierrrotite associée à la chabournéite traduit l'existence d'une solution solide étendue entre $TlSb_5S_8$ et un pôle hypothétique $TlAs_5S_8$. Vu ces résultats, il apparaît nettement que la structure de la chabournéite proposée par Nagl (1979) doit être reconsidérée en tenant compte des substitutions qu'elle peut engendrer.

CONDITIONS DE GISEMENT

Nous avons décrit, en détail, l'environnement géologique de l'indice de Jas Roux dans notre note sur la routhiérte et la laffittite (Johan *et al.*, 1974). Rappelons que la minéralisation est contenue dans plusieurs lambeaux de Trias jalonnant une zone tectonique importante, lambeaux constitués essentiellement de dolomies plus ou moins gréseuses et marneuses. L'altération hydrothermale qui précède le dépôt des sulfures est caractérisée par une silicification intense et géochimiquement par le développement d'une auréole à Li. Par endroits, la barytine devient abondante et quelques plages de fluorine peuvent apparaître dans les roches hydrothermalisées.

Comme nous l'avons déjà signalé, la chabournéite fait partie d'un épisode minéralisateur riche en thallium qui succède à la cristallisation de la stibine. Cet épisode débute par un brusque accroissement de l'activité de As dans le fluide hydrothermal qui se traduit par l'apparition de la wakabayashilite. La chabournéite qui est non seulement la phase thallifère la plus fréquente mais également la plus riche en Tl de toute la paragenèse de Jas Roux, cristallise aussitôt après, étant suivie par la pierrotite et la parapierrrotite qui la remplacent métasomatiquement. On observe fréquemment un remplacement de stibine par les minéraux de cet épisode thallifère.

Toutes ces phases minérales, accompagnées surtout de réalgar, se trouvent dans des diaclases de direction NE-SW à pendage quasi vertical.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier vivement le Dr A. Kato de National Science Museum à Tokyo qui nous a aimablement communiqué les échantillons de la chabournéite d'Abuta, Y. Moëlo du Centre de recherches sur la Synthèse et la Chimie des minéraux à Orléans, dont les suggestions nous ont aidés à comprendre la cristallographie du nouveau minéral et F. Pillard du Service de minéralogie du B.R.G.M. à Orléans qui a déterminé la densité de la chabournéite.

Reçu le 8 juillet 1980.
Accepté le 14 novembre 1980.

RÉFÉRENCES

- BOHAC, P., BRÖNNIMANN, E. et GÄUMANN, A. (1974). — On the ternary compound $TlSb_5S_8$ and its photoelectric properties. *Mat. Res. Bull.*, 9, 1033-1040.
- CRAIG, J. R., CHANG, L. L. Y. et LEES, W. R. (1973). — Investigations in the Pb-Sb-S system. *Canad. Miner.*, 12, 199-206.

- EDENHARTER, A. et PETERS, T. (1979). — Hydrothermalsynthese von Tl-haltigen Sulfosalzen. *Zeit. Krist.*, 150, 169-180.
- ENGEL, P. (1980). — Die Kristallstruktur von synthetischem Parapierrotit, $TlSb_5S_8$. *Zeit. Krist.*, 151, 203-216.
- GUILLEMIN, C., JOHAN, Z., LAFORET, C. et PICOT, P. (1970). — La pierrotite, $Tl_2(Sb, As)_{10}S_{17}$, une nouvelle espèce minérale. *Bull. Soc. franç. Minéral. Cristallogr.*, 93, 66-71.
- HODA, S. N. et CHANG, L. L. Y. (1975). — Phase relations in the systems $PbS-Ag_2S-Sb_2S_3$ and $PbS-Ag_2S-Bi_2S_3$. *Amer. Mineral.*, 60, 621-623.
- JAMBOR, J. L. et PLANT, A. G. (1975). — The composition of the lead sulphantimonide, robinsonite. *Canad. Miner.*, 13, 415-417.
- JOHAN, Z., MANTIENNE, J. et PICOT, P. (1974). — La routhiërite $TlHgAsS_3$ et la laffittite, $AgHgAsS_3$, deux nouvelles espèces minérales. *Bull. Soc. franç. Minéral. Cristallogr.*, 97, 48-53.
- JOHAN, Z., PICOT, P., HAK, J. et KVACEK, M. (1975). — La parapierrotite, un nouveau minéral thallifère d'Allchar (Yougoslavie). *Tschermaks Miner. Petrog. Mitt.*, 22, 200-210.
- MAKOVICKY, E. et KARUP-MØLLER, S. (1977). — Chemistry and crystallography of the lillianite homologous series. Part. I : General properties and definitions. *Neues Jhrb. Mineral. Abh.*, 130, 264-287.
- MANTIENNE, J. (1974). — La minéralisation thallifère de Jas Roux (Hautes-Alpes). *Thèse inédite, Univ. de Paris*, 146 p.
- MOËLO, Y. (1979). — Conditions naturelles de formation des sulfosels d'antimoine et plomb. *Rapport annuel C.R.S.C.M.*, 1978-1979, 87-93 (inédit).
- NAGL, A. (1979). — The crystal structure of a thallium sulfosalt, $Tl_8Pb_4Sb_{21}As_{19}S_{68}$. *Zeit. Krist.*, 150, 85-106.
- PICOT, P. et JOHAN, Z. (1977). — Atlas des minéraux métalliques. *Mémoires du B.R.G.M.*, 90, 403 p.