

# La bénavidésite, $Pb_4(Mn, Fe)Sb_6S_{14}$ , un nouveau minéral de la série de la jamesonite

par ÉLISABETH OUDIN (\*), PAUL PICOT (\*), FRANÇOIS PILLARD (\*),  
YVES MOËLO (\*\*), ERNEST A. J. BURKE (\*\*\*) et MAREK A. ZAKRZEWSKI (\*\*\*)

(\*) Bureau de Recherches Géologiques et Minières, B.P. 6009, 45060 Orléans Cedex, France.

(\*\*) C.N.R.S.-C.S.C.M., 1 A, rue de la Férollerie, 45045 Orléans Cedex, France.

(\*\*\*) Instituut voor Aardwetenschappen,

Vrije Universiteit, de Boelelaan 1085, 1081 HV Amsterdam, Hollande.

**Résumé.** — La bénavidésite,  $Pb_4(Mn, Fe)Sb_6S_{14}$  ( $Mn > Fe$ ), est un nouveau minéral de la série de la jamesonite, découvert simultanément à Uchucchacua (Pérou) et Sätra (Suède). La bénavidésite est monoclinique, groupe spatial probable  $P2_1/a$ , avec  $a = 15,74$ ,  $b = 19,14$ ,  $c = 4,06 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 91,5^\circ$ ,  $Z = 2$ ,  $d_{(calc)} = 5,60$ . Raies principales : 4,10 (3), 3,85 (3), 3,45 (10), 3,17 (2), 3,10 (2), 2,964 (2), 2,829 (4), 2,737 (3), 2,247 (2), 2,058 (2).

La bénavidésite s'est formée dans des conditions fortement réductrices, à Uchucchacua au sein d'une minéralisation polymétallique de type télescopé, à Sätra, dans une minéralisation à pyrite-pyrrhotite métamorphisée, d'origine volcano-sédimentaire.

**Mots clés :** bénavidésite, sulfosel, manganèse, Pérou, Suède.

*Benavidesite,  $Pb_4(Mn, Fe)Sb_6S_{14}$ , a new mineral of the jamesonite serie.*

**Abstract.** — Benavidesite,  $Pb_4(Mn, Fe)Sb_6S_{14}$  with  $Mn > Fe$ , is a new mineral which belongs to the jamesonite serie. It has been simultaneously discovered in Uchucchacua (Peru) and in Sätra (Sweden). Benavidesite is monoclinic, probable space group is  $P2_1/a$  with  $a = 15.74$ ,  $b = 19.14$ ,  $c = 4.06 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 91.5^\circ$ ,  $Z = 2$ ,  $d_{(calc)} = 5.60$ . Main rays : 4.10 (3), 3.85 (3), 3.45 (10), 3.17 (2), 3.10 (2), 2.964 (2), 2.829 (4), 2.737 (3), 2.247 (2), 2.058 (2).

Benavidesite forms in very reducing conditions. In Uchucchacua it is found in a telescoped polymetallic mineralization. In Sätra the mineralization has a volcano-sedimentary origin and has been metamorphosed : it is associated with a pyrite-pyrrhotite assemblage.

**Key words :** benavidesite, sulfosalt, manganese, Peru, Sweden.

## INTRODUCTION

Les sulfures manganifères sont des minéraux relativement rares, du fait de la combinaison préférentielle du manganèse dans la nature avec l'oxygène, sous forme de silicates, carbonates, oxydes et hydroxydes...

Hormis l'alabandite,  $MnS$ , très abondante dans certains gisements, les espèces sulfurées où le manganèse est un composé intrinsèque sont des raretés : hauerite  $MnS_2$ , oldhamite  $(Ca, Mn)S$ , samsonite  $Ag_4MnSb_2S_6$ , niningerite  $(Mg, Fe, Mn)S$  et shadlunite  $(Cu, Fe)_9(Pb, Mn, Cd)S_8$  (Pierrot, 1979).

La bénavidésite  $Pb_4(Mn, Fe)Sb_6S_{14}$  constitue une nouvelle espèce sulfurée manganifère, découverte simultanément dans la mine de Uchucchacua (Pérou) et celle de Sätra (Suède) (\*). Son nom a été choisi en l'honneur de A. Benavides, pour sa contribution au développement minier du Pérou.

La description de cette nouvelle espèce ainsi que

son nom ont été agréés par la Commission des Nouveaux Minéraux de l'I.M.A. respectivement par seize voix contre zéro, et quatorze contre deux.

Les échantillons types de la bénavidésite de Uchucchacua ont été déposés à la Collection de l'École Nationale Supérieure des Mines de Paris, ceux relatifs à la bénavidésite de Sätra à la Collection de l'Université Libre d'Amsterdam.

## OCCURRENCE DE UCHUCCHACUA

La bénavidésite de Uchucchacua a été découverte lors d'observations métallographiques menées dans le cadre d'une étude minéralogique du minerai (Oudin, 1979 et 1980).

**Cadre géologique et métallogénique** (d'après Petersen, 1979).

La mine d'Uchucchacua, exploitée principalement pour l'argent, accessoirement pour le plomb et le zinc, est située dans le district d'Oyon, province de Cajatambo, au Nord-Est de Lima. Les coordonnées

(\*) Les données relatives à la bénavidésite de Uchucchacua ont été acquises par E. Oudin, Y. Moëlo, P. Picot et F. Pillard (Orléans) celles relatives à la bénavidésite de Sätra par E. A. J. Burke et M. A. Zakrewski (Amsterdam).

géographiques sont : 10° 37' 15" de latitude Sud, 76° 48' 00" de longitude Ouest ; altitude : 5 200 m.

Il s'agit d'une minéralisation filonienne complexe, liée à une intrusion de dacite qui recoupe des formations crétacées et tertiaires, sur le flanc Ouest de la Cordillère Occidentale des Andes Centrales.

### Minéralogie du minerai.

La minéralogie est complexe et hétérogène. La bėnavidėsite s'observe en cristaux aciculaires atteignant jusqu'à 200 × 20 μm, en association principalement avec la galène, la sphalėrite manganifėre, la pyrite, la pyrrhotite et l'alabandite, constituants majeurs du minerai (Reyx, 1975 ; Oudin, 1979 et 1980). On rencontre aussi la chalcopryrite, l'arsenopyrite, la marcasite, ainsi que des sulfosels argentifėres : pyrargyrite, miargyrite, freieleslebenite, cuivre gris et une nouvelle espėce minėrale de la sėrie de l'andorite (Moėlo *et al.*, en prėparation).

La gangue se compose principalement de quartz et de silicates de manganėse, telles la bustamite  $\text{CaMnSi}_2\text{O}_6$  et la rhodonite (Mn, Fe, Ca) $\text{SiO}_3$ , ainsi que de calcite tardive, qui moule les cristaux de bėnavidėsite.

### OCCURRENCE DE SATRA

La bėnavidėsite de Sătra a ętė dėcouverte lors d'une ętude consacrėe à l'alabandite et à la sphalėrite manganifėre d'un minerai riche en pyrrhotite de type dissėminė de la mine de Sătra, prės de Doverstorp, province de Sėdermanland (Zakrzewski, 1980).

### Cadre gėologique et mėtalogėnique.

La minėralisation de Sătra correspond à un dėpėt à pyrite-pyrrhotite à faciės rubanė, typique de la ceinture mėtallifėre de Āmmeberg-Tunaberg, dans la partie Sud du district de Bergslagen. Cette minėralisation est portėe par des roches mėtavolcaniques de composition rhyolitique à dacitique, et est d'origine volcanosėdimentaire. Elle a ętė mėtamorphisėe et remobilisėe dans les conditions du faciės à amphibole durant l'orogėnėse Fino-suėdoise (1 800 Ma). La gėologie des gisements du district de Bergslagen a fait rėcemment l'objet d'une ętude synthėtique (Grip, 1978).

### Minéralogie du minerai.

A Sătra, la bėnavidėsite se prėsente en grains arrondis de diamėtre atteignant 50 μm, en association avec galėne, freibergite, gudmundite, sphalėrite manganifėre, bismuth natif et spessartite. Parmi les autres minėraux opaques notės dans ce gisement, citons la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopryrite, la sphalėrite (Tegengren, 1924), l'alabandite, la pyrophanite, la gahnite, l'ullmannite, l'arsėnopyrite, la

stannite, la breuthauptite, le rutile vanadifėre, la schreyerite ( $\text{V}_2\text{Ti}_3\text{O}_9$ ) et la vuorelainenite, spinelle de formule  $\text{MnV}_2\text{O}_4$  (Zakrewski et Burke, en prėparation).

### ĘTUDE CHIMIQUE

Les analyses de la bėnavidėsite d'Uchucchacua ont ętė effectuėes sur deux plages distinctes à l'aide de la microsonde automatisėe CAMEBAX du laboratoire mixte BRGM-CNRS d'Orlėans (programmation et analyse : R. Giraud), avec comme ętalons : PbS,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{FeS}_2$ , Mn (mėtal) et alabandite. Les rėsultats sont indiquės dans le tableau Ia.

Les analyses de la bėnavidėsite de Sătra ont ętė effectuėes sur trois plages distinctes à l'aide d'une microsonde Microscan 9 (Cambridge Instrument), avec comme ętalons : PbS,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ ,  $\text{FeS}$ , rhodonite, ZnS, Cu et Bi (mėtaux). Les rėsultats sont donnės dans le tableau Ib.

	UCHUCHCACUA				SATRA		
	Teneurs (%)		Formule (Sb = 6)		Moyenne (5 analyses)	Valeurs extrėmes	Formule (Sb + Bi = 6)
Plage A	Plage B	A	B				
Pb	39,9	39,8	4,06	3,93	39,9	(39,5 - 40,2)	4,09
Cu					0,1	(0,1 - 0,2)	0,03
Mn	2,2	1,6	0,84	0,59	1,8	(1,7 - 1,85)	0,69
Fe	0,8	1,0	0,30	0,37	1,1	(0,9 - 1,2)	0,42
Zn					0,1	(0,1 - 0,15)	0,03
Sb	34,8	35,8	6	6	33,0	(32,2 - 33,9)	5,74
Bi					2,6	(2,0 - 3,6)	0,26
S	21,1	21,6	13,86	13,80	21,7	(21,5 - 21,9)	14,38
TOTAL	98,8	99,8			100,3		

TABLEAU I. — Analyses à la microsonde ęlectronique de la bėnavidėsite de Uchucchacua et de Sătra.

Ces analyses conduisent à la formule idėale  $\text{Pb}_4(\text{Mn}, \text{Fe}, \text{Zn})(\text{Sb}, \text{Bi})_6\text{S}_{14}$ , avec  $\text{Mn} > \text{Fe}$  et  $\text{Sb} > \text{Bi}$ . Il s'agit du correspondant manganifėre de la jamesonite  $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$  et le nom proposė correspond à tous les ęchantillons où l'on a  $\text{Mn} > \text{Fe}$ . Les ęchantillons dėcrits ici correspondent ainsi à de la bėnavidėsite ferriřere.

### ĘTUDE CRISTALLOGRAPHIQUE

La faible taille des cristaux n'a pas permis jusqu'ici d'ętude radiocristallographique sur monocristal. Seule la bėnavidėsite de Uchucchacua a permis un microprėlėvement suffisant pour l'obtention d'un diagramme de poudre (Tableau II). Ce diagramme est trės proche de celui de la jamesonite, qui a servi de base pour l'indexation des raies et le calcul des paramėtres cristallins de la bėnavidėsite. Les indices (hkl) calculės s'accordent avec le groupe spatial  $P2_1/a$  indiquė pour la jamesonite.

Les raies les plus intenses du diagramme de poudre sont : 4,10(3) (240) - 3,85(3) (410) - 3,45(10) (250) - 3,17(2) ( $\bar{2}$ 31) - 3,10(2) (350, 510) - 2,964(2) (260) - 2,829(4) (530,  $\bar{4}$ 11) - 2,737(3) ( $\bar{4}$ 21, 360) - 2,247(2) (470,  $\bar{1}$ 71) - 2,058(2) (631, 081).

I	d <sub>mes</sub>	d <sub>calc</sub>	hkl	I	d <sub>mes</sub>	d <sub>calc</sub>	hkl
1/2	9,66	9,57	20	1/2	2,284	2,289	280
1	8,13	8,17	120	2	2,247	2,245	470
1/2*	6,02	6,08	220			2,249	171
		5,91	130	1*	2,184	2,187	720
1/2	5,09	5,06	310			2,185	541
3	4,10	4,09	240	1/2	2,135	2,127	090
1/2	3,92	3,93	400			2,130	461
2	3,85	3,85	410	1	2,103	2,104	631
1	3,72	3,72	150			2,104	551
1/2	3,52	3,53	340	2	2,058	2,060	631
10	3,45	3,44	250			2,061	081
1	3,34	3,35	430	1/2	2,033	2,034	740
2	3,169	3,166	231			2,030	002
2	3,098	3,091	350	1/2	1,989		
		3,103	510	1/2	1,954		
2	2,964	2,956	260	2	1,835		
4	2,829	2,831	411	2	1,794		
		2,821	530	1/2	1,766		
3	2,737	2,742	421	1	1,720		
		2,725	360	1/2	1,652		
1/2	2,677	2,677	421	1/2	1,600		
1/2	2,359	2,365	180	1/2	1,582		

TABLEAU II. — Diagramme de poudre de la bénomidésite de Uchucchacua (Pérou).

(\*) Raie floue ; dédoublement probable. Cu/Ni, chambre de 360 mm de circonférence. Intensités relatives de 1/2 à 10, estimées visuellement. Étalon interne LiF.

Les paramètres, affinés par moindres carrés, sont les suivants :

$$\begin{aligned}
 a &= 15,74 \text{ \AA} & \beta &= 91,50^\circ \\
 b &= 19,14 \text{ \AA} & Z &= 2 & \text{pour Mn/(Mn + Fe)} \\
 c &= 4,06 \text{ \AA} & V &= 1\,223 \text{ \AA}^3 & \text{at. } \approx 0,60
 \end{aligned}$$

On note ainsi une légère augmentation de la maille relativement à celle de la jamesonite (Niizeki et Buerger, 1957), surtout sensible sur le paramètre  $c$ , qui s'explique par la différence des rayons ioniques de  $\text{Mn}^{2+}$  (0,80 Å) et  $\text{Fe}^{2+}$  (0,76 Å).

### PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

La densité, calculée à l'aide des paramètres précédents pour  $\text{Mn}/(\text{Mn} + \text{Fe}) \text{ at. } \approx 0,60$ , est égale à 5,60, contre 5,76 pour la jamesonite.

La microdureté Vickers (bénomidésite de Uchucchacua) est de  $97 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-2}$  ( $P = 15 \text{ g}$ ) (valeurs extrêmes, sur une dizaine de mesures : 77 et  $116 \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-2}$ ). Le clivage (001), très net dans la jamesonite, est très probablement présent également dans la bénomidésite, mais n'a pu être observé.

Les propriétés optiques de la bénomidésite sont en tous points similaires à celles de la jamesonite. Sous la loupe binoculaire, la bénomidésite présente un éclat métallique gris de plomb ; la poudre est gris sombre avec une teinte brunâtre. Sous le microscope, en lumière polarisée non analysée, elle apparaît incolore, avec une nuance verdâtre au contact de la galène ; le pléochroïsme est faible mais net. En polariseurs croisés, l'anisotropie est forte avec des teintes passant du brun au bleuâtre au voisinage de l'extinction. Le

maillage polysynthétique caractéristique de la jamesonite (Picot et Johan, 1977) est très fréquemment observable. Les réflexions internes rouge sombre sont rares, plus particulièrement visibles sous huile.

Le tableau III donne les réflectances mesurées dans l'air (mesures : R. Caye, B.R.G.M.).

$\lambda$ (nm)	R <sub>max</sub>	R <sub>min</sub>	$\lambda$ (nm)	R <sub>max</sub>	R <sub>min</sub>	$\lambda$ (nm)	R <sub>max</sub>	R <sub>min</sub>
400	42,0	40,7	540	42,4	39,0	680	38,7	36,1
420	42,0	39,6	560	42,2	38,9	700	37,8	35,6
440	42,0	39,3	580	41,8	38,7	720	37,7	35,3
460	42,4	39,5	600	41,3	38,3	740	36,9	34,6
480	43,0	39,9	620	40,8	37,9	760	36,4	34,2
500	42,9	39,7	640	40,9	37,5	780	35,8	33,4
520	42,7	39,5	660	39,5	36,8	800	35,5	34,2

TABLEAU III. — Pouvoirs réflecteurs de la bénomidésite de Uchucchacua dans l'air. Lumière polarisée rectiligne, incidence normale, monochromateur, photomultiplicateur à cathode  $\text{S}_{20}$ , témoin SiC, objectif 44/0,65 et illuminateur à prisme, compensation d'obliquité par  $\frac{R_{\perp} + R_{//}}{2}$ .

### CONDITIONS DE GENÈSE

Les deux gisements types de la bénomidésite sont très différents du point de vue génétique.

A Uchucchacua, la bénomidésite s'est formée conjointement à d'autres sulfures de manganèse lors du dépôt d'une minéralisation polymétallifère à partir d'une solution hydrothermale riche en manganèse. La précipitation abondante de cet élément sous forme sulfurée est due probablement à une valeur anormalement basse de la fugacité d'oxygène, pour une fugacité de soufre relativement ordinaire (équilibre pyrite – pyrrhotite), ce qui est assez caractéristique des minéralisations télescopées liées à des intrusions volcaniques à sub-volcaniques.

On peut rapprocher la formation de bénomidésite dans un tel contexte à la formation de berthièrite manganifère dans certaines minéralisations télescopées d'Europe Centrale (Godovikov, 1972). On devrait de ce fait retrouver la bénomidésite dans d'autres gisements télescopés du Pérou, car Raimondi (1878) note la présence de sulfures de manganèse dans différents gisements. Il est possible notamment que la « dürfeldtite » définie par cet auteur soit un mélange contenant en particulier de la bénomidésite.

Dans la mine de Sättra, la teneur moyenne en manganèse est faible, de l'ordre de 0,1 %, mais localement le minerai montre un enrichissement en cet élément. Les minéraux se sont formés dans des conditions chimiques analogues à celles de Uchucchacua (présence conjointe de pyrite et pyrrhotite ; milieu réducteur marqué par la présence de graphite), durant une phase de métamorphisme du faciès amphibolite. Ces conditions ont ainsi permis l'incorporation du manganèse dans une structure du type jamesonite et cela malgré l'abondance de l'ion ferreux dans le milieu.

De ce fait, on ne doit pas exclure que la jamesonite de certains dépôts volcano-sédimentaires métamorphisés riches en manganèse soit en fait de la bénavidésite. On peut citer comme exemple de gisement remplissant ces conditions le gisement de Broken Hill (Australie).

### REMERCIEMENTS

L'étude de la bénavidésite de Uchucchacua a pu être faite grâce à Messieurs P. Boulanger et G. Morizot, qui nous ont fourni les échantillons, ainsi

qu'à Messieurs R. Caye (mesures optiques) et R. Giraud (analyses microsonde). Nous les remercions vivement.

Les analyses microsonde de la bénavidésite de Sättra ont pu être opérées grâce à l'aide de Monsieur W. J. Lustenhouver; une aide précieuse nous a été fournie par le WACOM, groupe de travail en géochimie analytique financé par l'Organisation Néerlandaise pour l'Avancement de la Recherche Fondamentale (ZWO).

Reçu le 23 juillet 1981  
 Accepté le 25 janvier 1982

### RÉFÉRENCES

- GODOVIKOV, A. A. (1972). — Sulfosels de bismuth. Éditions « Nauka », Moscou, 303 p. (en russe).
- GRIP, E. (1978). — Central Sweden (Bergslagen). In *Mineral Deposits of Europe. 1. Northwest Europe* (S.H.U. Bowie, A. Kvalheim and H. W. Haslam, editors). Inst. Mining Metall., London.
- MOËLO, Y., OUDIN, E., PICOT, P. et PILLARD F. (1982). — Systématique des sulfosels de plomb. Nouvelles données. In « Résumé Princ. Rés. Scient. et Tech. du S.G.N. pour 1981 »; Ed. B.R.G.M., Orléans. (en préparation).
- NIIZEKI, N. et BUERGER, M. J. (1957). — The crystal structure of jamesonite,  $\text{FePb}_4\text{Sb}_6\text{S}_{14}$ . *Z. Kristallogr.* 109, 161-183.
- OUDIN, E. (1979-1980). — Étude M. 5639, Département SGN/MGA-B.R.G.M. — Orléans (inédit).
- PETERSEN, U. (1979). — Exploration y de sardlo do Uchucchacua. Memorandum to A. Benavides Q., Cia Buenaventura S.A., 12 p. (inédit).
- PICOT, P. et JOHAN, Z. (1977). — Atlas des minéraux métalliques. *Mémoire du B.R.G.M. n° 90*, Éditions du B.R.G.M., Paris, 406 p.
- PIERROT, R. (1979). — Chemical and determinative tables of mineralogy, Masson Publishing USA, Inc., New-York, 591 p.
- RAIMONDI, A. (1878). — Minéraux du Pérou. Catalogue raisonné d'une collection des principaux types minéraux de la république. Ed. A. Chaix et Cie, Paris.
- REYX, J. (1975). — Étude M 7880/2822, Département SGN/MGA — B.R.G.M. Orléans (inédit).
- TEGENGREN, F. R. (1924). — Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sver. Geol. Unders. Ser. Ca 17*.
- ZAKRZEWSKI, M. A. (1980). — Two occurrences of alabandite in Bergslagen, central Sweden — Garpenberg Norra mine and Sättra mine, Döversörp. *Neues Jahrb. Mineral., Monasth.*, 555-560.
- ZAKRZEWSKI, M. A. and BURKE, E. A. J. (*in prep.*). — Vuorelainenite,  $\text{MnV}_2\text{O}_4$ , a new member of the spinel group, and schreyerite from the Sättra mine, Döversörp, Bergslagen, Sweden.