

OCCURRENCE DE CHALCOALUMITE, DE MINÉRAUX
DE TELLURE (TEINÉITE ET PARATELLURITE) ET DE BÉRYL
A SALMCHÂTEAU, ARDENNES BELGES (*)

par P. DU RY (**), M. FOUASSIN (***),
J. JEDWAB (****) et R. VAN TASSEL (*****)

(2 planches dans le texte)

RÉSUMÉ

Des cristaux de teinéite, jusqu'à 1 mm, sont observés dans un filon quartzeux traversant des quartzophyllades grenatifères et ottrélitifères salmiens de Salmchâteau. Les minéraux associés sont : hématite, covellite, malachite, apatite, béryl, libéthénite, pseudomalachite, chalcoalumite et paratellurite. Ce dernier se présente en inclusions jaunes dans la covellite. Des prismes de béryl, jusqu'à 1,2 mm de long avec $n_o = 1,580$ et $n_e = 1,574$, sont intimement associés à la malachite concrétionnée et au quartz. La chalcoalumite se présente en sphérules vertes radiées, micacées, jusqu'à 2 mm de diamètre. Les analyses qualitatives sont faites par microsonde électronique et les diagrammes de poudre sont donnés.

ABSTRACT

Teineite crystals, up to 1 mm across, occur in a quartz vein cutting Salmian garnet- and chloritoid-bearing phyllitic rocks at Salmchâteau, Belgium. Associated minerals are hematite, covellite, paratellurite, malachite, apatite, beryl, libethenite, pseudomalachite and chalcoalumite. Paratellurite is seen as minute yellow patches in covellite. Beryl prisms, up to 1,2 mm long with $\omega = 1,580$ and $\epsilon = 1,574$, are associated with quartz and concretionary malachite. Chalcoalumite occurs as green micaceous radiated spherules, up to 2 mm across. Determinations are based on qualitative microprobe analyses and X-ray powder data.

I. INTRODUCTION

L'occurrence de minéraux cuprifères à Salmchâteau est connue depuis longtemps.

Il y a plus de cent ans (1871), L. L. de KONINCK et P. DAVREUX ont signalé un minerai cuprifère qui a donné lieu à des travaux de recherches (« exécutés il y a quelques années et abandonnés actuellement »), par le creusement d'une tranchée sur le flanc et à mi-côte de la montagne qui domine Salmchâteau, sur la rive droite de la Salm. Ces auteurs ont décrit un phyllade grossier imprégné de chalcosite, de malachite, de phosphate de cuivre et de « soussulfate de cuivre ». La chalcosite s'y

(*) Communication présentée le 4 novembre 1975, manuscrit déposé le 15 décembre 1975.

(**) rue Rogier 33, B 5220 Andenne.

(***) avenue de l'Atlantique 113, B 1150 Bruxelles.

(****) Laboratoire de Géochimie, Université Libre de Bruxelles.

(*****) Institut royal des Sciences naturelles de Belgique.

présente, d'après la description, en petites lamelles noirâtres irrégulièrement disséminées dans la roche et en enduits assez étendus, mais très minces.

Une communication faite par L. L. de KONINCK, en 1872, à la « Niederrheinische Gesellschaft » de Bonn, fait état, à Salmchâteau, de chalcosite, de malachite, de libéthénite, de pseudomalachite et d'un sulfate basique de cuivre.

H. BUTTGEBACH (1911) a reconnu la chalcosite dans de petits grains lamellaires accompagnant la malachite sur du quartz filonien de Salmchâteau, et a admis que la malachite et le cuivre natif, sur du quartz, dits « provenant de Vielsalm », viennent en réalité de « Salmchâteau, où existent des veines quartzieuses avec différents minéraux cuprifères ».

Pour Salmchâteau, C. MALAISE a énuméré, en 1913, les minéraux suivants : chalcosite, libéthénite, pseudomalachite et langite, et H. BUTTGEBACH, en 1947 : cuivre, cuprite, chalcosite, malachite, pseudomalachite et langite.

F. CORIN, qui a consacré de nombreux travaux à la région métamorphique de Vielsalm, a écrit en 1931 : « Des veines minéralisées en sulfures de cuivre ou renfermant seulement des produits d'altération de tels sulfures (malachite, etc.) ont été rencontrées à Cahay, Salmchâteau et Lierneux. Le filon de malachite de Salmchâteau est accompagné de filonnets de quartz, damourite et feldspath ».

Les Archives du Service géologique de Belgique font état du gîte de cuivre, sous le numéro de gisement 163 de la planchette 180 W (planchette Bovigny), pour lequel E. DELVAUX a signalé en 1886 : « malachite, azurite, bornite, pyrophyllite et grenats » et R. LEGRAND en 1957 : « Le gîte de cuivre a été rafraîchi par une tentative d'exploitation effectuée par l'Allemand Voigt de Düren les années 1942-43. En plus des minéraux cités par Delvaux, le filon renferme localement là où il est croisé par des lentilles de quartz, de belles lamelles d'oligiste spéculaire » (*).

L'occurrence de minéraux cuprifères à Salmchâteau ne semble toutefois pas encore avoir été examinée par des méthodes modernes de laboratoire, ni avoir été explorée dans tous ses détails minéralogiques sur le terrain.

A l'endroit connu comme gîte de cuivre (près du cimetière de Salmchâteau) deux d'entre nous (P.d.R. et M.F.) prélevèrent, en avril 1975, des échantillons de quartzophyllades traversés par des filons de quartz, dans lesquels furent observés, d'une part, des prismes incolores à verdâtres (béryl) et d'autre part des cristaux bleu vif (teinéite). L'examen des échantillons au laboratoire devait permettre l'identification de plusieurs minéraux nouveaux pour la localité et la Belgique.

Cette découverte a conduit à une étude plus poussée, dont les résultats sont décrits ci-après.

2. CADRE LITHOLOGIQUE

Une centaine de mètres au nord-nord-est du cimetière de Salmchâteau, en remontant le flanc du coteau, on observe sur une dizaine de mètres, un petit escarpement surplombant une excavation peu profonde. Les roches salmiennes qui y affleurent sont des phyllades quartzieux verts zonés et des roches vertes plus compactes également zonaires, et des passées phylladeuses vertes, au contact d'une roche quartzieuse, bourrées de grenats de couleur jaune miel, bien visibles à l'œil nu.

En général les quartzophyllades (poids spécifique 3,07), montrent au microscope une multitude de petits grains subcirculaires de grenats de 30 à 40 microns, à noyau

(*) Nous remercions M. A. DELMER, Chef du Service géologique de Belgique, de nous avoir permis de publier ces renseignements.

sombre, ainsi que de petits bâtonnets opaques, de 10 à 20 microns, le tout baignant dans une masse de fines phyllites (10 à 30 microns) et de quartz microcristallin.

Des analyses chimiques entreprises sur deux spécimens de ces phyllades ont donné respectivement : 47,6 et 47,9 % SiO_2 , 22,9 et 25,2 Al_2O_3 , 12,7 et 9,4 % Fe_2O_3 , 6,2 et 5,7 % MnO . D'autres montrent des ottrérites microscopiques, avec ou sans grenats.

Les roches vertes plus compactes sont composées d'ottrérites noyées dans une mosaïque microcristalline de quartz, grenat et séricite. L'abondance d'ottrérite est parfois telle que la roche devient une véritable « ottrérite ».

L'ensemble de ces roches est traversé par un système filonien métrique sub-vertical, dans lequel on peut distinguer des filonnets noirs imprégnant le phyllade conformément à la schistosité soulignée par un important dépôt de malachite pulvérulente et des filons quartzeux à hématite, de direction probablement différente, qui contiennent en fait les nouveaux minéraux décrits.

3. MINÉRALOGIE DES FILONS

Les filonnets de minerai noir sont constitués essentiellement de covellite et accessoirement de bornite et de chalcoppyrite. L'absence de tellure y a été établie par des observations à la microsonde électronique.

Les filons quartzeux montrent une minéralogie plus ou moins complexe. L'un d'entre eux d'une épaisseur de 1 à 10 cm, s'effilochant par endroits, révèle une composition minéralogique variable à l'échelle centrimétrique.

A part le quartz on y trouve les minéraux suivants :

Minéral	Habitus	Dimensions (ordre de grandeur)
Hématite	lamelles	mm à cm
Apatite	prismes	mm
	grains	mm
Covellite	grains	mm à cm
(djurléite et digénite d'après les rayons X)	grains	0,2 mm
Malachite	croûtes mamelonnées	cm
	sphérules fibroradiées	mm à cm
Azurite (rare)	mouchetures	0,2 mm
Libéthénite	cristaux	0,2 mm
Pseudomalachite	incrustations mamelonnées et fibroradiées	mm
Chalcoalumite	sphérules fibroradiées	mm
Béryl	prismes	0,2 mm
Teinéite	cristaux	0,2 mm à mm
	placage	0,2 mm
Paratellurite	grains informes (inclusions dans la covellite)	0,2 mm
Minéral jaune à Fe, Cu, Te	grains informes (inclusions dans la covellite)	0,2 mm

3.1. *Les sulfures de cuivre*

L'espèce dominante de sulfure de cuivre, aussi bien dans le filonnet noir que dans le filon quartzeux, est la covellite. Dans le premier cas, elle constitue, d'après l'examen microscopique des sections polies et la diffraction des rayons X, le minéral prédominant, traversé par des filaments de bornite de quelques dizaines de microns de large, et renfermant par endroits de fines inclusions de chalcoppyrite de quelques microns. Dans le filon quartzeux, la covellite, parfois à reflet bleuâtre, paraît souvent assez pulvérulente. Cette propriété est due à une corrosion comme le montre le microscope électronique (Fig. 1). Cette covellite renferme de multiples petites inclusions de paratellurite (Fig. 1 et 7) et des traces de tellure dispersé. En plus de la covellite, on observe un minéral noir plus brillant assimilé à la djurléite (d'après sa composition chimique : Cu et S majeurs, Fe absent, Te présent et son radiogramme donné au Tableau I) et de minuscules cristaux d'aspect métallique installés dans de petites cavités du filon et assimilés à la digénite (d'après sa composition chimique : Cu et S majeurs, Fe présent, Te absent, et son radiogramme donné au Tableau I).

3.2. *La chalcocalumite*

Ce minéral, $\text{CuAl}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{12} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, se présente dans de petites cavités au voisinage du phyllade, sous forme de sphérules (0,5 à 2 mm de diamètre) fibroradiées et concentriques, micacées, de couleur bleu vert à légèrement verdâtre (Fig. 3). Les indices de réfraction sont plus faibles que 1,54, en accord avec les tables minéralogiques qui donnent $n = 1,523$ à $1,532$ pour la chalcocalumite. La microsonde électronique indique la présence de Cu, Al et S comme constituants majeurs (Fig. 4) et le radiogramme de poudre, repris au Tableau II, confirme la détermination spécifique.

3.3. *Les minéraux de tellure*

Dans le filon quartzeux à apatite, au moins trois composés de tellure ont été observés. Il s'agit de deux minéraux identifiés (la teinéite et la paratellurite) et d'un composé à base de Fe, Cu et Te resté indéterminé. Les quantités récoltées ont été très minimes et l'extension de ces substances paraît très limitée.

3.3.1. *La teinéite*

La teinéite, $\text{CuTeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, se présente en monocristaux jusqu'à 1 mm, en petites masses polycristallines jusqu'à 2,5 mm, en lamelles et en placages, d'aspect vitreux et de couleur bleu azur. Le microscope électronique montre la présence de faces cristallines complexes (Fig. 5). La substance est souvent intimement associée au quartz, à la covellite, à l'hématite et à la malachite. Son poids spécifique est supérieur à 3,3. Elle est anisotrope avec une biréfringence peu élevée et des indices de réfraction supérieurs à 1,74. La dureté est faible et un clivage est facile. Ces caractéristiques sont compatibles avec les données signalées par T. YOSIMURA, 1939 (poids spécifique : 3,80, $n_p = 1,767$ et $n_g = 1,791$). D'autre part le radiogramme de poudre est identique à ceux renseignés pour la teinéite (Tableau III).

La microsonde électronique indique le cuivre et le tellure comme éléments majeurs, des traces de fer et de potassium, l'absence de soufre, sélénium et phosphore (Fig. 6). L'acide HCl 2N froid dissout le minéral, sans effervescence. Ces caractéristiques chimiques corroborent l'identification de la teinéite.

TABLEAU I

Radiogrammes de sulfures de cuivre

Covellite		Digénite				Djurléite					
Salmchâteau (1)		JCPDS Fiche 6-0464		Salmchâteau (1)		JCPDS Fiche 23-960		Salmchâteau (1)		JCPDS Fiche 23-969	
d	I	d	I	d	I	d	I	d	I	d	I
3,91 Å	tff (2)	—	—	—	—	3,35 Å	(4)	3,39 Å	f	3,39 Å	(35)
3,05	F	3,048 Å	(65)	3,21 Å	F	3,19	(35)	3,21	m	{ 3,28 3,19	{ (14) (16)
2,80	Fd	{ 2,813 2,724	{ (100) (55)	—	—	3,02	(14)	3,03	f	3,04	(18)
2,515	f (2)	—	—	2,77	F	2,77	(40)	2,84	tf	2,836	(16)
2,31	tf	2,317	(10)	—	—	2,52	(4)	2,565	tf	2,561	(14)
2,08	tff	—	—	1,96	TF	1,963	(100)	2,385	F	2,389	(85)
1,895	TF	{ 1,902 1,896	{ (25) (75)	1,684	m	1,674	(25)	1,953	TF	1,959	(95)
1,737	m	1,735	(35)	—	—	1,388	(10)	1,87	F	1,870	(100)
1,573	F	{ 1,572 1,556	{ (16) (35)	—	—	—	—	1,69	m	{ 1,695 1,691	{ (20) (20)
1,361	f	1,354	(8)	—	—	—	—	1,65	tf	1,646	(12)
1,283	tf	1,280	(10)	—	—	—	—	1,277	f	1,283	(12)
—	—	—	—	—	—	—	—	1,072	tf	—	—

(1) Radiation Cu, filtre Ni. Caméra diamètre 5,7 cm.

TF = très fort, F = fort, m = moyen, f = faible, tf = très faible, tff = très très faible, d = diffus.

(2) Réflexions dues à la brochantite (JCPDS fiche 13-398) : 3,90 Å (85) et 2,521 (100). Sur d'autres enregistrements les réflexions sont plus prononcées.

TABLEAU II
Radiogrammes de la chalcoalumite

Salmchâteau (1)				JCPDS Fiche 8-142 (2)			
d	I	d	I	d	I	d	I
8,60 Å	TF	2,53 Å	f	} 8,92 Å (100) 8,29 (100)		2,53 Å	(80)
		2,29	m				
4,80	tf	2,00	F	} 4,91 (60) 4,78 (50)		2,01	(90)
		1,722	fm				
4,29	TF	1,565	tf	} 4,36 (90) 4,24 (100)		1,593	(50)
		1,48	fd				
3,78	tff	1,36	tf	3,70	(40)	—	
3,13	tf	1,19	tf	3,08	(70)	—	

(1) Radiation Cu, filtre Ni. Diamètre de la caméra : 5,7 cm.

TF = très fort, F = fort, m = moyen, f = faible, tf = très faible, tff = très très faible, d = diffus.

(2) Les réflexions faibles sont omises.

On ne dispose que d'une seule analyse quantitative de ce minéral très rare, publiée en 1939 lors de sa découverte au Japon : CuO 28,0 %, TeO₃ 48,0, SO₃ 6,6, H₂O 12,2, insoluble 6,1 = 100,9 (YOSIMURA T., 1939). Des comparaisons radio-cristallographiques (MANDARINO 1965; ZEMANN et ZEMANN, 1960 et 1962) ont mis en évidence que la teinéite est isotype avec la chalcoménite CuSeO₃·2H₂O. Dès lors la teinéite, d'abord signalée assez arbitrairement comme tellurate, est considérée comme une tellurite de cuivre de composition CuTeO₃·2H₂O (ZEMANN et ZEMANN, 1960 et 1962). Il n'est donc aucunement aberrant que le soufre n'ait pas été détecté dans le minéral de Salmchâteau. D'autre part, des analyses complémentaires par fluorescence X sur la teinéite de Hokkaido ont montré que Cu et Te sont effectivement les seuls constituants majeurs (ZEMANN et ZEMANN, 1960) à côté de faibles quantités de Fe (0,05 — 0,1 % FeO), Zn (0,01 — 0,05 % ZnO) et Se (000 n % Se) (UETANI, K. *et al.*, 1965). La même technique a indiqué Cu et Te comme éléments majeurs pour la teinéite de Shizuoka (KATO A. et SAKURAI K., 1968).

Une analyse chimique quantitative du minéral de Salmchâteau s'avère hautement souhaitable, mais elle n'a pu être envisagée, en raison de la trop faible quantité de matériel récolté jusqu'à présent.

3.3.2. La paratellurite

La covellite du filon quartzeux renferme une substance jaunâtre, à éclat gras, qui se présente sous forme de nombreuses inclusions anguleuses ou arrondies de l'ordre de 0,5 mm (Fig. 1 et 7). Cette substance est dense (plus lourde que l'iodure de méthylène) et sans faces cristallines visibles au binoculaire et au microscope à

TABLEAU III
Radiogrammes de la teinéite

Salmchâteau (1)		Teine Mine, Hokkaido, Japon				Kawazo Mine Shizuoka, Japon, <i>in</i> KATO, A. et SAKURAI, K., 1968 (4)	
		<i>in</i> MANDARINO 1964 (2)		<i>in</i> UETANI <i>et al.</i> 1965 (3)			
d	I	d	I	d	I	d	I
5,90 Å	m	5,87 Å	6	5,90 Å	25	5,89 Å	30
5,44	F	5,45	9d	5,47	100	5,43	100
4,94	m	4,96	6d	4,96	45	4,95	30
4,37	f	4,39	5	4,41	15	4,40	20
3,86	f	3,89	4	3,89	10	3,89	10
—		3,70	3	3,72	5	3,70	10
3,45	TF	3,45	10	3,45	100	3,44	100
3,06	Fm	3,06	8	3,07	55	3,07	60
2,92	Fmd	{ 2,94 2,88	{ 7 7	{ 2,940 2,890	{ 25 50	{ 2,94 2,89	{ 60 60
2,69	fd	2,683	3	2,687	20	2,68	20
2,55	fm	2,560	4	2,564	30	2,56	20
2,47	tf	2,469	3	2,477	15	2,47	10
2,39	m	2,392	7	2,400	35	2,40	40
2,20	f	2,199	4	2,204	15	2,20	20
2,15	f	2,157	4	2,158	10	2,16	10
2,08	mf	2,084	6	2,091	20	2,09	30
2,01	mf	2,008	6	2,013	25	2,01	20
1,948	fd	1,957	4	1,960	10	1,959	10
1,859	fd	—	—	1,858	5	1,862	10
1,756	f	1,759	4d	1,758	5	1,760	10
1,722	fm	1,723	5	1,725	15	1,723	20
1,652	fm	1,651	4d	1,652	10	—	—
1,623	f	1,622	4d	—	—	1,622	10
—		1,599	3	1,601	2	1,600	5
1,563	f	1,560	4	1,561	2	1,561	10
1,523	f	1,521	4d	1,531	5	1,531	10
1,497	tf	—	—	1,499	2	1,492	5
1,470	tf	1,467	4	1,470	5	1,469	10
1,443	f	1,447	4	1,447	5	1,446	10
1,364	mf	1,365	4	1,367	10	1,365	10
1,341	mf	1,345	4	1,344	5	1,343	10

- (1) Radiation Cu, filtre Ni. Caméra diamètre 5,7 cm.
TF = très fort, F = fort, m = moyen, f = faible, tf = très faible, ttf = très très faible, d = diffus.
- (2) Radiation Cu K α , Caméra diamètre 114,5 mm. Les réflexions faibles sont omises.
- (3) Radiation Cu, filtre Ni. Diffractométrie. Les réflexions faibles sont omises.
- (4) Radiation Cu, filtre Ni. Caméra diamètre 114,59 mm. Les réflexions faibles sont omises.

balayage. Ce dernier instrument y montre une texture alvéolaire. Le radiogramme correspond très bien à celui de la paratellurite TeO_2 , comme il ressort du Tableau IV. L'examen à la microsonde électronique indique le tellure comme seul constituant majeur (Fig. 8).

TABLEAU IV
Radiogrammes de la paratellurite

Salmchâteau (1)				Sonora, Mexique (2) JCPDS Fiche 11-693			
d	I	d	I	d	I	d	I
4,09 Å	tf	1,264 Å	f	4,068 Å	(14)	1,268 Å	(6)
3,40	F	1,228	f	3,404	(85)	1,227	(6)
2,98	TF	1,19	f	2,988	(100)	1,188	(8)
2,40	m	1,117	tf	2,407	(20)	1,116	(4)
2,071	tf	1,094	f	2,071	(6)	1,093	(4)
1,877	F	0,935	f	1,873	(55)	—	
1,707	f	0,919	f	1,701	(14)	—	
1,664	m	0,887	f	1,661	(20)	—	
1,525	f	0,859	tf	1,521	(10)	—	
1,486	fd	0,845	fd			—	
1,312	tf	0,807	f	{ 1,493	(14)	—	
				{ 1,478	(10)		
				1,314	(4)		

(1) Radiation Cu, filtre Ni. Diamètre de la caméra : 5,7 cm.

TF = très fort, F = fort, m = moyen, f = faible, tf = très faible, ttf = très très faible, d = diffus.

(2) Les réflexions faibles sont omises.

PLANCHE I

Fig. 1. — Covellite corrodée (a) avec paratellurite alvéolaire (b) ($\times 420$). Microscope électronique à balayage, mode secondaire.

Fig. 2. — Spectre de discrimination d'énergie X de la covellite. De gauche à droite : S $K_{\alpha+\beta}$, Cu K_{α} , Cu K_{β} .

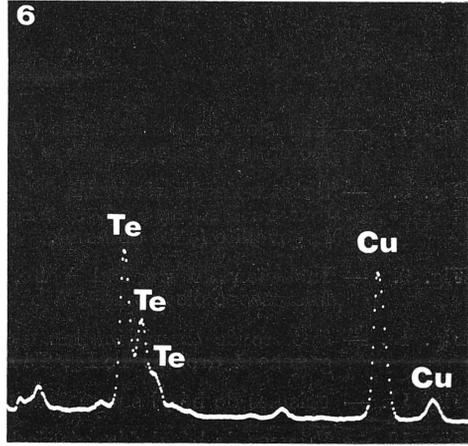
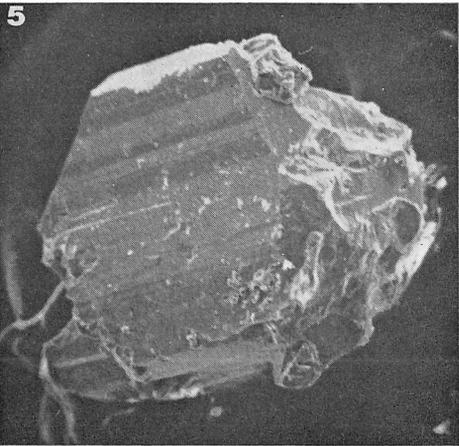
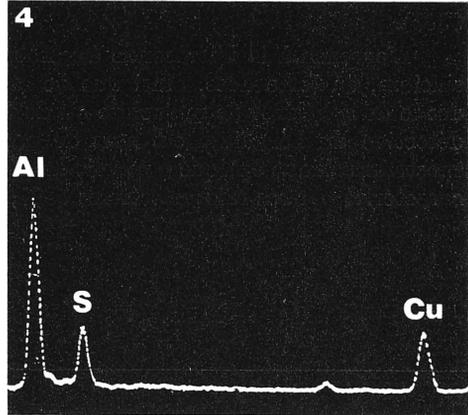
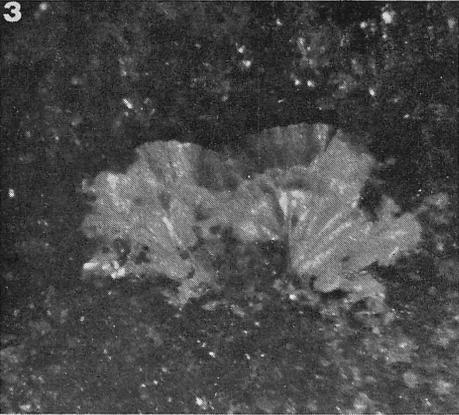
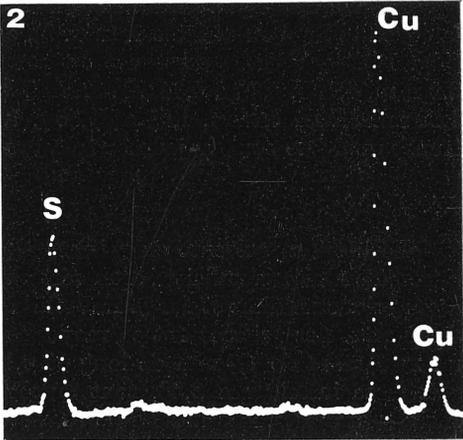
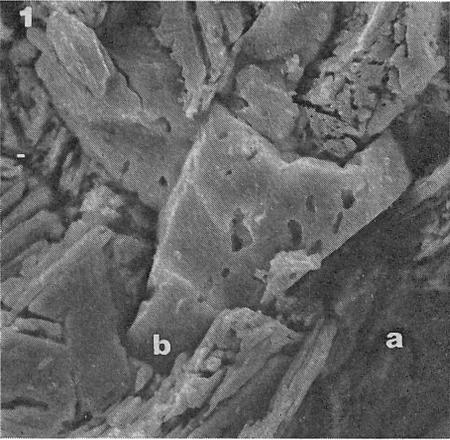
Fig. 3. — Sphérules de chalcoalumite ($\times 18$).

Fig. 4. — Spectre de discrimination d'énergie X de la chalcoalumite. De gauche à droite : Al $K_{\alpha+\beta}$, S $K_{\alpha+\beta}$, Cu K_{α} .

Fig. 5. — Monocristal de teinéite ($\times 90$). Microscope électronique à balayage, mode secondaire.

Fig. 6. — Spectre de discrimination d'énergie X de la teinéite. De gauche à droite : Te L_{α} , Te $L_{\beta 1}$, Te $L_{\beta 2}$, Cu K_{α} , Cu K_{β} .

PLANCHE I



3.3.3. *Composé indéterminé de Fe, Cu et Te*

La microsonde électronique a dépisté des inclusions, de l'ordre de 0,2 mm, dans la covellite du filon quartzeux (Fig. 9), caractérisées par la présence de Fe, Cu et Te (Fig. 10), mais cette substance est restée indéterminée malgré son radiogramme : 6,9 Å m, 4,63 f, 4,22 f, 3,34 TF, 3,07 tf, 2,80 mF, 2,70 tf, 2,58 m, 2,44 f, 2,26 f, 2,13 f, 1,99 mf, 1,90 f, 1,81 m, 1,54 m, 1,50 f, 1,37 m. Elle se présente en grains irréguliers transparents de couleur jaune sâle à brun.

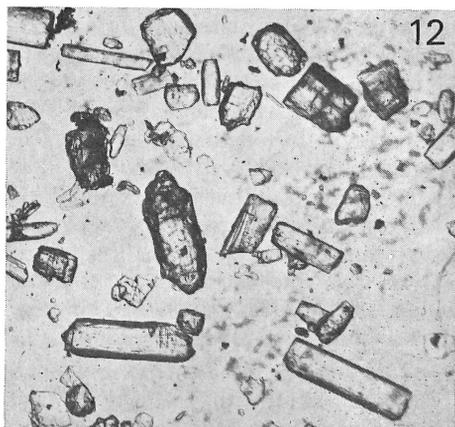
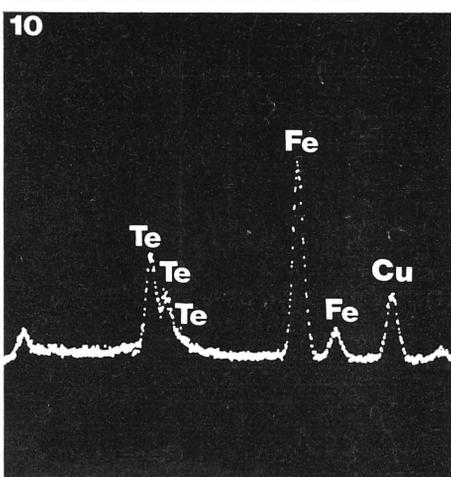
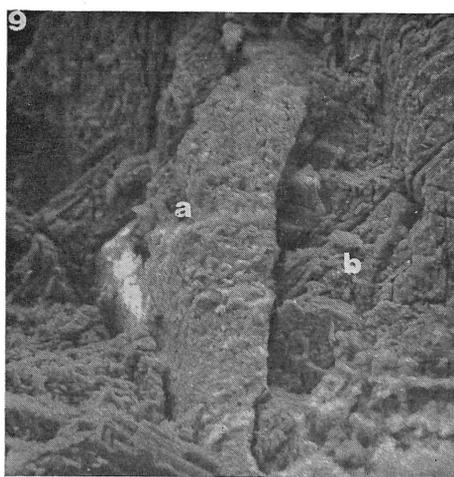
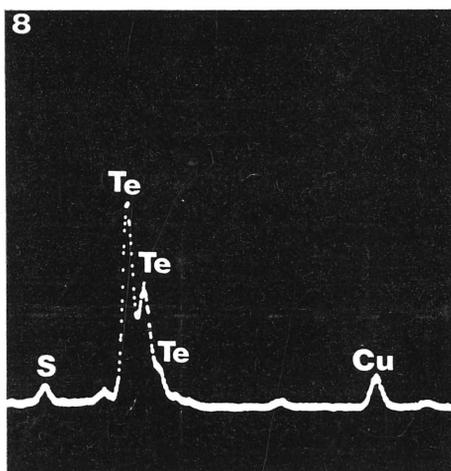
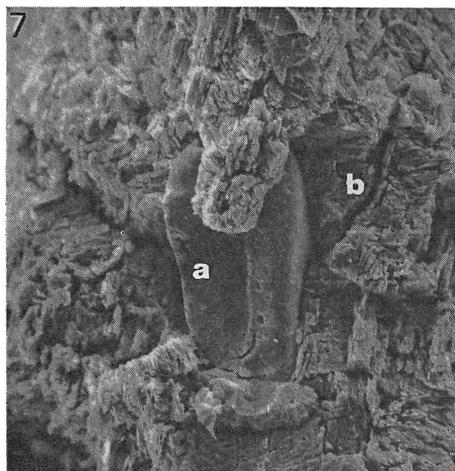
3.4. *Le béryl*

Le béryl se présente en prismes allongés incolores ou vert clair, et parfois, en raison d'enduits superficiels, d'un vert plus appuyé ou rougeâtres. Ils sont localement assez fréquents dans et sur la malachite concrétionnée (Fig. 11) et aussi dans et sur du quartz. Les prismes ont en moyenne 0,4 mm de long et 0,04 mm de large, avec un maximum de 1,2 mm de long et 0,12 mm de large (Fig. 12). Ils ont un poids spécifique inférieur à 2,88, sont anisotropes, ont un allongement négatif et une extinction droite. Les indices de réfraction sont $n_o = 1,580$ et $n_e = 1,574 \pm 0,001$. Un clivage perpendiculaire au prisme est observé. De telles caractéristiques conviennent pour le béryl (d'après les tables $n = 1,564$ à $1,598$, poids spéc. 2,66, clivage 0001).

L'examen à la microsonde électronique indique la présence d'aluminium et de silicium, en forte dose, ainsi que de cuivre, mais ce dernier provient sans aucun doute de sphérules de malachite ou de teinite qui peuvent couvrir les prismes. La détection du béryllium est hors de portée de cette technique d'analyse, mais la spectrographique optique a permis de déceler, en quantité notable, le béryllium bien caractérisé par ses raies spectrales 3321,34, 3131,07 et 3130,42 Å.

PLANCHE II

- Fig. 7. — Inclusion de paratellurite (a) dans covellite (b) ($\times 170$). Microscope électronique à balayage, mode secondaire.
- Fig. 8. — Spectre de discrimination d'énergie X de la paratellurite. De gauche à droite : S $K_{\alpha+\beta}$, Te L_{α} , Te L_{β_1} , Te L_{β_2} , Cu K_{α} . Cu et S proviennent de la covellite (effet de halo).
- Fig. 9. — Inclusion du minéral à Fe, Cu et Te (a) dans covellite (b). ($\times 155$). Microscope électronique à balayage, mode secondaire.
- Fig. 10. — Spectre de discrimination d'énergie X du minéral à Fe, Cu et Te. De gauche à droite : Te L_{α} , Te L_{β_1} , Te L_{β_2} , Fe K_{α} , Fe K_{β} , Cu K_{α} .
- Fig. 11. — Prismes de béryl sur malachite ($\times 15$).
- Fig. 12. — Prismes de béryl dégagés de la malachite ($\times 33$).



Les radiogrammes de poudre, donnés au Tableau V, confirment l'identification du béryl pour le minéral de Salmchâteau.

TABLEAU V
Radiogrammes de béryl

Salmchâteau (1)				JCPDS Fiche 9-430			
d	I	d	I	d	I	d	I
7,90 Å	F	1,63 Å	mf	7,98 Å	(90)	1,626 Å	(18)
4,60	m	1,597	tf	4,60	(50)	1,595	(8)
3,98	m	1,572	tf	3,99	(45)	1,571	(10)
3,25	TF	1,513	mf	3,294	(95)	1,514	(16)
3,00	m	1,455	f	3,015	(35)	1,457	(10)
2,86	TF	1,433	f	2,867	(100)	1,432	(14)
2,52	m	1,366	tf	2,523	(30)	1,368	(8)
2,29	f	1,278	mf	2,293	(12)	1,277	(12)
2,21	tf	1,262	mf	2,213	(8)	1,266	(14)
2,15	f	1,203	mf	2,152	(16)	—	
1,99	mf	1,049	tf	1,993	(20)	—	
1,79	f	0,006	tf	1,795	(18)	—	
1,74	m	0,808	f	1,740	(20)	—	
1,71	tf			1,711	(14)		

(1) Radiation Cu, filtre Ni. Diamètre de la caméra : 5,7 cm.

TF = très fort, F = fort, m = moyen, f = faible, tf = très faible.

4. COMPARAISON ET CONCLUSION

La teinéite paraît encore excessivement rare dans le monde. Jusqu'à présent elle n'a été observée avec certitude (YOSIMURA, 1939, et KATO A., 1968) qu'en deux endroits, tous deux situés au Japon. A la mine Teine, dans la préfecture de Hokkaido, la teinéite est associée à la barytine, la pyrite, la tétraédrite, des minéraux de tellure (le tellure natif et la tellurite) et la sphalérite. A la mine Kawazu, dans la préfecture de Shizuoka (KATO, 1968), elle est associée à la chalcopirite, la sphalérite, la tétraédrite, un sulfure de cuivre et tellure non identifié, la pyrite, l'électrum, l'argentite, la galène, la brochantite, et des silicates de Ca et Mn (l'inésite et la johannsite). Dans l'important gisement de tellure de Moctezuma (Sonora, Mexique) ont été observés du tellure natif, un tellurure de cuivre, des oxydes de tellure (tellurite et paratellurite), des tellurates (ou tellurites) de fer, etc., ainsi que des minéraux de cuivre, tels que tétradyomite, chalcoménite, azurite, malachite, mais pas de la teinéite (R. V. GAINES, 1970). Toutefois S. A. WILLIAMS (1975) fait état de la teinéite dans l'énumération des minéraux de la mine Bambollita, Moctezuma.

Dans aucun de ces trois gisements il n'est fait état ni de béryl, ni d'apatite. L'association teinéite, malachite, béryl, apatite, covellite de Salmchâteau apparaît ainsi très remarquable.

Dans le cadre des minéralisations et de l'occurrence de minéraux de tellure en Belgique, il y a lieu de rappeler que la tétradymite (sulfotellurure de bismuth) a été signalée comme inclusion dans la chalcopryrite des filons quartzeux cuprifères de la tonalite de la Helle, ce qui pourrait apporter un argument pour une parenté entre les minéralisations de Salmchâteau et de la Helle (L. VAN WAMBEKE, 1954 et 1955).

BIBLIOGRAPHIE

- BONARDI, M. et TRAILL, R. J., 1975. — Catalogue of X-ray diffraction patterns and specimen mounts on file at the Geol. Survey of Canada. *Geol. Surv. Canada, Dept. Energy, Mines & Res.*, Paper 75-8, 51 pp.
- BUTTGENBACH, H., 1947. — Les Minéraux de Belgique et du Congo belge, 573 pp., Liège.
- CESÀRO, G. et DESTINEZ, P., 1897. — Grenat en roches à Salm-Château. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, **24**, p. 68.
- CORIN, F., 1931. — Le Métamorphisme de Vielsalm. *Ann. Soc. Sci. Brux.*, Série B., **51**, pp. 57-71.
- DE KONINCK, L. L. et DAVREUX, P., 1871. — Recherches sur des Minéraux belges (3^e notice). Sur une roche grenatifère et quelques minéraux cuprifères de Salm-Château. *Bull. Acad. Roy. Belgique*, 2^e Sér., **33**, pp. 324-330.
- DE KONINCK, L. L., 1872. — Über die Analysen einiger belgischen Mineralien. *Sitz.-Ber. niederrhein. Ges. Bonn*, **29**, Dritte Folge, 9, pp. 42-43.
- DE KONINCK, L. L., 1877. — Recherches sur les Minéraux belges (5^e notice). Sur la présence de l'apatite cristallisée dans l'étage salmien. *Bull. Roy. Belgique Acad.*, 2^e Sér., **44**, pp. 740-741.
- GAINES, R. V., 1965. — Mineralization de telurio en la Mina La Moctezuma, Cerca de Moctezuma, Sonora. *Bol. Univ. Nac. Aut. Mexico, Inst. Geol.*, n° **75**, parte 1, 1-15 pp.
- GAINES, R. V., 1970. — The Moctezuma tellurium deposit. *Miner. Rec.*, **1**, pp. 40-43.
- GATTOW, G., 1958. — Die Kristallstruktur von $\text{CuSeO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Chalkomenit). *Acta Cryst.*, **11**, pp. 371-383.
- JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards), 1974. — Selected Powder Diffraction Data for Minerals. Swarthmore, Pennsylvania, 833 pp.
- KATO, A., 1968. — The occurrence of teineite from the Kawazu (Rendayi) mine, Shizuoka Prefecture, Japan. *Miner. Journ.*, **5**, 285-290.
- LEGRAYE, M., 1925. — Relations de chalcopryrite, de la bornite et de la covelline dans un minerai de cuivre de Lierneux. *Ann. Soc. Géol. Belgique*, **49**, pp. B70-B72.
- LEICHT, W. C., 1971. — Minerals of the Grandview mine. *Miner. Rec.*, **2**, pp. 215-221.
- MALAISE, C., 1913. — Manuel de Minéralogie pratique. 4^e édition, 603 pp., Bruxelles.
- MANDARINO, J. A., 1964. — X-ray powder data for teineite and chalcomenite. *Amer. Miner.*, **49**, pp. 1481-1489.
- SATO, K. et al., 1970. — Introduction to Japanese minerals. *Geol. Surv. Japan*, 208 pp.
- UETANI, K., KATO, A. et IMA Yoshi, T., 1965. — X-ray Powder Data for Teineite, Teine Mine, Hokkaido, Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo*, **8**, pp. 95-97.
- VAN WAMBEKE, L., 1954. — Sur la présence de tétradymite ($\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$) dans les filons hydrothermaux de la tonalite de la Helle et sur une nouvelle texture de ce minéral. *Bull. Soc. Belge Géol.*, **63**, 260-276.
- VAN WAMBEKE, L., 1955. — La minéralisation des tonalites de la Helle et de Lammersdorf et leurs relations avec les autres minéralisations. *Bull. Soc. Belge Géol.*, **64**, 534-581.
- WILLIAMS, S. A. & KHIN, BaSaw, 1971. — Chalcoalumite from Bisbee, Arizona. *Miner. Rec.*, **2**, 126-127.

- WILLIAMS, S. A., 1975. — Xocomecatlite, $\text{Cu}_3\text{TeO}_4(\text{OH})_4$, and tlalocite, $\text{Cu}_{10}\text{Zn}_6(\text{TeO}_3)(\text{TeO}_4)_2\cdot\text{Cl}(\text{OH})_{25}\cdot 27\text{H}_2\text{O}$, two new minerals from Moctezuma, Sonora, Mexico. *Miner. Mag.*, **40**, pp. 221-226.
- YOSIMURA, T., 1939. — Teineite, a new tellurate from the Teine mine, Hokkaido, Japan. *Journ. Fac. Sci. Hokkaido Univ.*, Ser. 4, **4**, pp. 465-470.
- ZEMANN, A. et ZEMANN, J., 1960. — Zur Kenntnis des Teineits. *Beitr. Min. Petr.*, **7**, pp. 436-438.
- ZEMANN, A. et ZEMANN, J., 1962. — Die Kristallstruktur von Teineit. Ein Beispiel für die Korrektur einer chemischen Formel auf Grund der Strukturbestimmung. *Acta Cryst.*, **15**, pp. 698-702.