

BEITRÄGE ZUR GEOLOGIE DER SCHWEIZ
KLEINERE MITTEILUNGEN

MATERIAUX POUR LA GEOLOGIE DE LA SUISSE
BULLETIN

Nr. 87

herausgegeben von der - publié par la
Schweizerischen Geotechnischen Kommission - Commission Géotechnique Suisse

**La freibergite du gisement de plomb-zinc de Praz-Jean
(Valais, Suisse)**

par

**E.A. Schmid
F.C. Jaffé
M. Burri**

1991

In Kommission bei Kümmerly & Frey AG, Geographischer Verlag, Bern

Vorwort der Schweizerischen Geotechnischen Kommission

Die Zeitschrift *Mineralium Deposita* publizierte in ihrem Heft 25, 1990, unter anderem einen Beitrag von E.A. Schmid, F.C. Jaffé und M. Burri mit dem Titel "La freibergite du gisement de plomb-zinc de Praz-Jean (Valais, Suisse)". Die Schweizerische Geotechnische Kommission freut sich, diese Arbeit auch in ihre "Kleineren Mitteilungen" aufnehmen zu dürfen.

Diese Arbeit stellt einen wertvollen Beitrag zur Kenntnis der Blei-Zink-Lagerstätte von Praz-Jean dar. Sie gibt einen Überblick über die regionale Geologie und diejenige der Vererzung und beschreibt in ausführlicher Art die Mineralogie der Lagerstätte. Die Autoren können zeigen, dass das Silber im Freibergit eingebaut ist und nicht, wie bisher angenommen, im Bleiglanz. Die in früheren Arbeiten als Jamesonit bezeichnete Phase konnte als Boulangerit identifiziert werden. Das Vorkommen, das mit einem Silbergehalt von 1800 g/t bei bekannten Reserven wirtschaftliche Bedeutung erlangen könnte, wird auch mit anderen ähnlichen Lagerstätten verglichen.

Die Schweizerische Geotechnische Kommission dankt den Autoren und der Zeitschrift *Mineralium Deposita* für die Möglichkeit, dass sie diese Arbeit in ihrer Reihe publizieren darf.

Für den Inhalt von Text und Figuren sind die Autoren allein verantwortlich.

Zürich, Juli 1992

Der Präsident der Schweizerischen
Geotechnischen Kommission

C. Schindler

unveränderter Nachdruck aus:
Mineralium Deposita, 25, 3, pp 198-204 (1990)
Schmid, E.A. et al.: La freibergite du gisement de plomb-zinc de Praz-Jean (Valais, Suisse)
© 1990 Springer-Verlag Berlin-Heidelberg

La freibergite du gisement de plomb-zinc de Praz-Jean (Valais, Suisse)

E. A. Schmid¹, F. C. Jaffé¹, M. Burri²

¹ Institut de Mineralogie, Université de Genève, 13 Rue des Maraîchers, 1211 Genève 4

² Institut de physique appliquée, Université de Lausanne, 1015 Dorigny

Abstract. The lead-zinc-silver bearing vein of Praz-Jean (Vallis, Switzerland) is hosted in a suite of metamorphic rocks, most likely of Palaeozoic age. Sphalerite, galena and sulfosalts (freibergite and boulangérite) are its main ore-forming minerals. The results of the microprobe investigation indicate that the silver is contained in a freibergite of the following composition (weight percent): Cu 23.0, Ag 23.0, Fe 4.9, Zn 1.9, As 1.0, Sb 26.9, S 23.0, and not in an argentian galena as it was believed. The mineral previously described as jamesonite ($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$) is in reality a boulangérite ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$). The mineralogical and metallogenetic characteristics of the freibergite of Praz-Jean are discussed in relation to those of other ore deposits in which this mineral is of interest.

Resumé. Le filon de plomb-zinc-argent de Praz-Jean (Valais, Suisse), se trouve dans un encaissant composé de roches métamorphiques vraisemblablement d'âge Paléozoïque. Ses minéraux constitutifs, qui ont été étudiés en détail à la microsonde, appartiennent à une suite classique de sulfures à blende et galène dominantes, et de sulfosels (freibergite, boulangérite). L'argent du gisement n'est pas contenu dans une galène argentifère comme on le croyait auparavant, mais dans une freibergite de composition pondérale: Cu 23,0, Ag 23,0, Fe 4,9, Zn 1,9, As 1,0, Sb 26,9, S 23,0. Le minéral décrit précédemment comme jamesonite ($\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$) est en réalité une boulangérite ($\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$). La freibergite de Praz-Jean est comparée du point de vue minéralogique et géologique à des freibergites d'autres gisements dans lesquels la freibergite joue un rôle important.

Le gisement filonien de plomb-zinc-argent de Praz-Jean est situé sur le versant gauche du val d'Hérens à environ 600 m au S-O du village de Praz-Jean et à 500 m au-dessus de celui-ci, à une altitude de 1500 m (Fig. 1). Les anciens travaux miniers, surtout concentrés dans la mine de Comtesse ne sont accessibles qu'à pied. La première mention d'une exploitation date du 19^e siècle (Gerlach

1883). Le gisement a été exploité d'une manière irrégulière surtout pendant les périodes des deux guerres mondiales (Fehlmann 1919; Dias 1920; Martenet 1943; Glauser 1946; Cheneval 1947). La production totale de minerai est de l'ordre de grandeur de 1000 t et les réserves peuvent être estimées également à 1000 t (Woodtli et al. 1987, p. 32). La teneur moyenne du minerai extrait est après scheïdage à la main, de 35,1% Pb, 24,3% Zn et 1,71 Kg/t Ag.

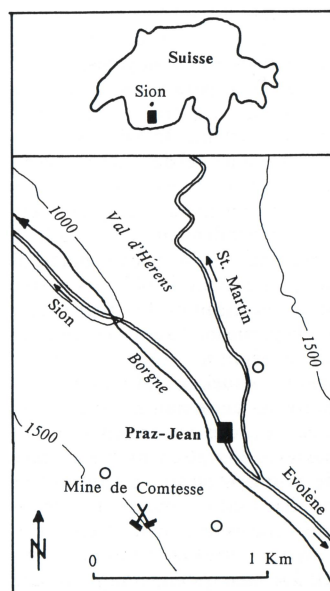


Fig. 1. Carte de localisation de la mine de Comtesse. L'ensemble de la zone représentée est formée de roches gneissiques du socle cristallin pré-westphalien de la nappe de Siviez-Mischabel. Trois autres indices minéralisés (cercles sur la carte) n'ont pas été examinés en détail lors de la présente étude

Cadre géologique régional et local

Le gisement se trouve dans le domaine des Alpes penniques et plus précisément dans la nappe du Grand-Saint-Bernard décrite dans les travaux classiques d'Argand (1916), Wegmann (1920), Bearth (1961). Cette importante nappe de charriage composée d'un ensemble de roches sédimentaires, cristallines et métamorphiques très diverses est considéré actuellement comme une super-nappe subdivisée en cinq nappes distinctes (Escher et al. 1987). Le gisement de Praz-Jean est situé dans le socle cristallin pré-westphalien de l'unité la plus importante, la nappe de Siviez-Mischabel, composée essentiellement de gneiss avec intercalations d'amphibolites. Ces roches qui correspondent en partie aux formations appelées schistes de Casanna dans les travaux plus anciens, ont une histoire métamorphique polyphasée et complexe.

Les gneiss ocellés avec leur aspect gaufré typique, sont la roche la plus importante dans la zone de la mine. Vers l'E du gisement, ils passent graduellement à des gneiss chloriteux à forte teneur d'ilménite qui s'altère en leuco-xène. Ces roches ont une direction générale entre 60 et 85° E et un plongement de 60 à 80° S. Elles sont affectées par un métamorphisme de degré schiste vert typique de la phase principale de l'orogénèse alpine.

Le minerai de Praz-Jean

Dans la région de Praz-Jean plusieurs filons ont été signalés, dont le principal a été exploité dans la mine de Comtesse. Dans la partie encore accessible de la mine abandonnée, la longueur totale de ce filon est de 150 m environ (Fig. 2). Son épaisseur inégale peut varier entre quelques centimètres et 1 m mais est en moyenne de 10 à 15 cm. L'on sait aussi qu'un filon parallèle situé en contrebas du premier à une altitude comprise entre 1380 et 1450 m a été exploité par un système de galeries qui ne sont plus accessibles. Dans l'état actuel des galeries accessibles, un levé géologique détaillé n'a pas pu être entrepris. Le filon est situé principalement dans les gneiss ocellés, au sein desquels il est généralement concordant. Il s'aligne sur la direction régionale E-W de cette partie de la zone pennique et a un plongement de 60° vers le sud, parallèle à celui des roches encaissantes. Les roches et le filon ont été affectés dans la partie médiane de la mine par une flexure, dont l'étude de détail n'a pas pu être entreprise à cause du mauvais état actuel des galeries. Le contact entre le filon et les roches encaissantes est net. Les roches encaissantes ont été affectées sur une épaisseur de 20 cm par des phénomènes d'altération hydrothermale avec développement de porphyroblastes d'albite et de quartz ainsi que par une séricitisation intense. Les gneiss polymétamorphiques de l'encaissant sont d'âge anté-westphalien (Thélin et Ayrton 1983) et le filon est vraisemblablement de même âge bien qu'une remobilisation pendant l'orogénèse alpine ne puisse jamais être exclue a priori (Jaffé 1987).

Le filon est composé d'une partie centrale riche en galène, blende, freibergite et boulangerite qui passe vers les épontes à une zone dans laquelle des grains de pyrite

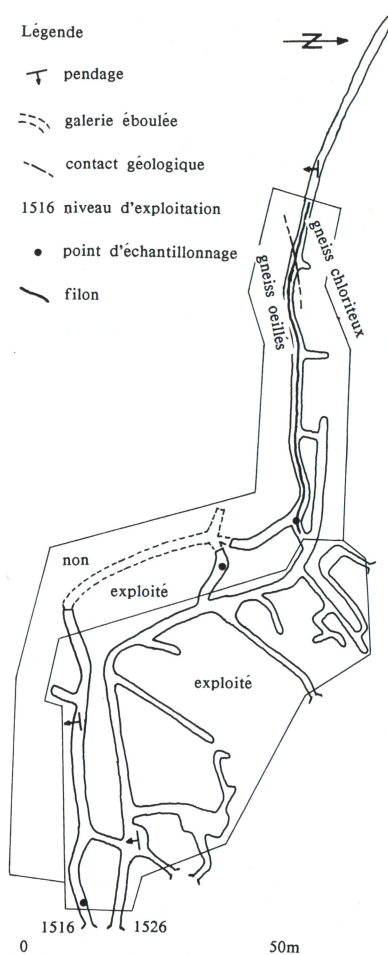


Fig. 2. Plan des anciens travaux dans la mine de Comtesse

et chalcopryrite sont disséminés au sein d'une gangue de quartz, chlorite, ankérite et tourmaline. Dans la partie centrale le minerai massif est composé à parts généralement égales de galène et blende. Les sulfosels ne représentent que 1 à 2% du minerai. Localement on observe un développement de «terres rouges», produit de l'altération superficielle du minerai, composé essentiellement de cérusite et limonite. Des traces de chalcopryrite sont visibles à l'entrée de la mine.

Minéralogie

Le minerai étudié provient de plusieurs échantillons prélevés dans la mine de Comtesse (Fig. 2) et, dans une moindre mesure, d'une halde devant l'entrée de la galerie 1516. Le minerai a été étudié au microscope en surface polie et des échantillons sélectionnés ont été analysés quantitativement à la microsonde de l'institut de physi-

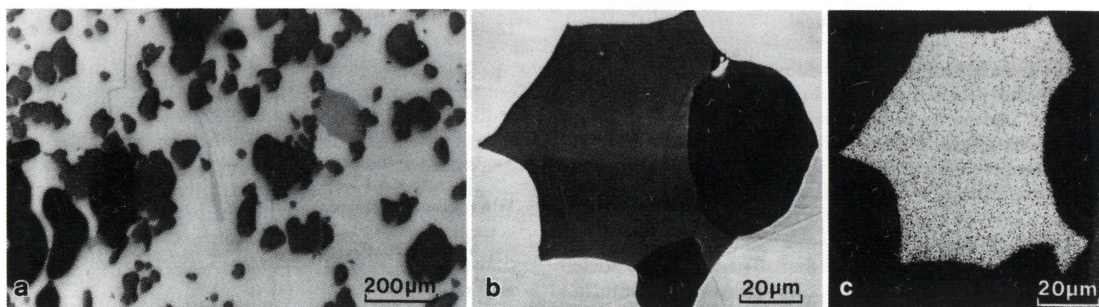


Fig. 3 a-c. Photomicrographies du minéral de Praz-Jean. a Lumière réfléchie. Minéral typique formé de: galène (fond blanc avec fracture de clivage en escalier), blende (foncée), freibergite (gris clair, d'habitus isométrique), boulangerite (gris clair, d'habitus rec-

tangulaire), gangue de quartz (noire); b Image S. E. Grain de freibergite (au centre) entouré de grains de blende (sombres) et de galène (claire). c Image X de l'argent sur le même champ que la photo b. Il apparaît que l'argent est confiné exclusivement à la freibergite

que expérimentale de l'Université des Lausanne, dont voici les données techniques: A.R.L. scanning electron microprobe quantomètre; tension d'accélération: 15 kV; courant d'échantillon: 25 nA; programme de correction: MAGIC 4; standards: PbS pour Pb; ZnS pour Zn; PbS pour S; Sb₂S₃ pour Sb; AsS pour As; FeS₂ pour Fe; AgS pour Ag et CdS pour Cd.

Sulfures

Galène. La galène forme la matrice du minéral (Fig. 3 a). Ce minéral est d'une grande pureté (87,03% Pb, 13,03% S), contrairement à la précédente description dans laquelle il était considéré comme le porteur d'argent (Cheneval 1942, 1947).

Blende. Des plages arrondies de blende se situent dans la matrice de galène. Leur taille est variable mais généralement comprise entre 100 et 300 µ (Fig. 3 a). Il est parfois possible d'observer que la blende a été corrodée par la galène, elle s'est par conséquent formée avant celle-ci. La blende de Praz-Jean est une variété pauvre en fer (4% Fe) avec des traces de Cd (0,38%).

Pyrite et chalcopryrite. Ces deux minéraux, d'importance mineure, se trouvent associés à la galène et à la blende dans la partie centrale du filon, sous forme de petits grains isolés et en inclusions dans la blende. Dans la partie externe du filon, des cristaux idiomorphes de pyrite peuvent atteindre un diamètre de 1 mm.

Sulfosels

Freibergite. L'examen précis du minéral de Praz-Jean à la microsonde a montré que le minéral décrit auparavant comme tétraédrite est en réalité de la freibergite, variété argentifère de tétraédrite de formule (Cu, Ag)₁₀(Fe, Zn)₂(As, Sb)₄S₁₃ et seul porteur d'argent du gisement (Fig. 3 b, c). Elle existe sous forme de grains arrondis d'un diamètre de 100 à 200 µ, pouvant atteindre exceptionnellement 500 µ. Ces grains sont toujours enro-

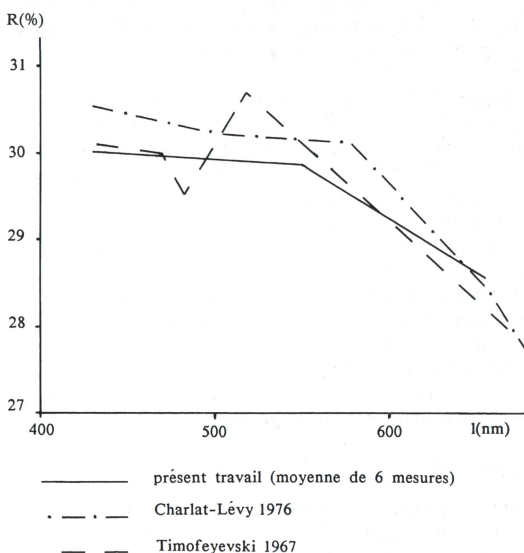


Fig. 4. Réflectivité de la freibergite de Praz-Jean, comparée aux données de Charlat et Levy et de Timofeyevski

bés dans le fond de galène (Fig. 3 a, b). On peut estimer la teneur du minéral en freibergite à 1%. Ceci correspond d'ailleurs à la teneur maximale en argent de 2.3 Kg/tonne du minéral. La freibergite est plus fréquente dans le minéral mixte blende-galène et plus rare dans les parties du filon à blende ou galène pure. Souvent une accumulation des petits grains de blende se forme autour des grains de freibergite.

Le pouvoir réflecteur sur une moyenne de plusieurs grains est compris entre 29% pour 700 nm et 30,5% pour 430 nm, qui correspond à celui mesuré par Timofeyevski (1967) pour Ust'Teremki (URSS) et à ceux des échantillons provenant de nombreux gisements mesurés par Charlat et Levy en 1976 (Fig. 4).

Des échantillons représentatifs de freibergite ont pu être prélevés à 3 endroits de la mine de Comtesse (Fig. 2).

De nombreux grains de freibergite ont été étudiés à la microsonde. Il apparaît que la composition chimique de ce minéral est constante d'un grain à l'autre et sur la longueur connue du filon.

Composition pondérale:

Cu 23,0, Ag 23,0, Fe 4,9, Zn 1,9, As 1,0, Sb 26,9, S 23,0.

Composition normée pour 13 atomes de soufre:

$(\text{Cu}_{6,5}, \text{Ag}_{3,9}) (\text{Fe}_{1,6}, \text{Zn}_{0,5}) (\text{Sb}_{4,0}, \text{As}_{0,2}) \text{S}_{13}$

Le minéral de Praz-Jean est donc à classer dans les freibergites selon la nomenclature proposée par Riley (1974) et confirmée par Charnock et al. (1988), dans laquelle une tétraédrite argentifère est appelée freibergite si la teneur d'argent dépasse 20% en poids. Il est intéressant de mentionner que des compositions hétérogènes de freibergites ont été signalées pour des gisements au Pérou, aux Etats-Unis (Hackbarth et Petersen 1984), et en Suède (Sandecki et Amkoff 1981, Zakrewski et Nutgeren 1984).

Boulangérite. La boulangérite $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ et la jamesonite $\text{Pb}_4\text{FeSb}_6\text{S}_{14}$ sont deux minéraux très semblables, dont même la détermination au microscope a donné lieu fréquemment à des confusions (Rahmdor 1975; Baric 1981; Triscari et Sacca 1984), et cela aussi dans le cas du gisement de Praz-Jean. En effet, l'étude à la microsonde a permis d'établir l'absence de fer et donc de prouver la présence de boulangérite. Ce minéral se trouve toujours sous forme d'aiguilles et de baguettes d'une longueur de 100 à 200 μ dans la galène. La teneur du minerai en boulangérite, très semblable à celui en freibergite, est de l'ordre de grandeur de 1%. La variabilité prononcée de la composition est indiquée ci-après par l'analyse de trois grains provenant de différents endroits de la mine.

Composition pondérale:

Pb 56,1, Zn 0,5, Cu 0,0; Sb 24,6, As 0,4, S 18

Pb 61,3, Zn 0,3, Cu 0,9, Sb 19,4, As 0,3, S 17

Pb 61,8, Zn 0,0, Cu 1,1, Sb 19,4, As 0,3, S 17

Composition normée pour 11 atomes de soufre:

$\text{Pb}_{5,3} \text{Zn}_{0,1} (\text{Sb}_{3,9}, \text{As}_{0,1}) \text{S}_{11}$

$\text{Pb}_{6,1} \text{Zn}_{0,1} \text{Cu}_{0,3} (\text{Sb}_{3,3}, \text{As}_{0,1}) \text{S}_{11}$

$\text{Pb}_{6,2} \text{Cu}_{0,4} (\text{Sb}_{3,3}, \text{As}_{0,1}) \text{S}_{11}$

Paragenèse

Les minéraux constitutifs du minerai de Praz-Jean ont probablement cristallisé sensiblement en même temps pendant la mise en place du filon. Comme dans beaucoup d'autres gisements filoniens à freibergite, la blende s'est formée avant la galène tandis que les sulfosels cristallisent peu avant ou après la galène (Wolf 1981, p. 90; Cardelach 1977).

Aspects économiques

Le problème de la récupération de l'argent est important car avec une teneur de 1800 gr/t environ dans le minerai brut de Praz-Jean, il représente 45% de sa valeur. Tout l'argent étant contenu dans la freibergite, il est donc nécessaire de séparer ce minéral des autres constituants du minerai. Cette séparation ne devrait pas présenter de difficultés majeures puisqu'elle a déjà été réalisée par flottation pour une granulométrie nettement moins favorable (5 à 20 μ) à Mt. Isa, Queensland (Riley 1976) et à Trout Lake, Manitoba (Healy et al. 1986).

Cependant l'exploitation de Praz-Jean aux conditions économiques actuelles ne pourra pas être entreprise sans une évaluation détaillée du tonnage de minerai, dans laquelle il faudra tenir compte du fait qu'à l'échelle régionale trois autres indices minéralisés ont été signalés et exploités sporadiquement dans le passé.

Discussion: la freibergite de Praz-Jean et celle d'autres gisements

Les variétés argentifères de la tétraédrite sont déjà mentionnées par Agricola (en 1556) sous le nom d'Argentum rude album mais le nom de freibergite n'a été introduit par Kenngott qu'en 1853 d'après la ville de Freiberg (Saxe, R.D.A.), connue pour ses fameux gisements filoniens et une très ancienne académie des mines (Balbi 1840; Hintze 1909). Les renseignements sur la géologie, la composition, les paragenèses et l'origine génétique de nombreux gisements de tétraédrite argentifère sont très dispersés dans la littérature. Il a donc semblé utile de grouper des renseignements disponibles sur la tétraédrite et la freibergite dans cet article afin d'en dégager les points communs et les différences avec ceux disponibles pour le gisement de Praz-Jean (Fig. 5).

La formule théorique de la freibergite est: $(\text{Cu}, \text{Ag})_{10}(\text{Fe}, \text{Zn})_2(\text{Sb}, \text{As})_4 \text{S}_{13}$ (Klockmann 1978; Charnock et al. 1988). Cependant les compositions des freibergites indiquées par de nombreux auteurs ne correspondent pas strictement à cette formule théorique. On constate d'une manière constante, la forte affinité de la freibergite pour l'antimoine (3,1 à 4,4%) ainsi que la faible teneur de toutes les freibergites en arsenic (0,1 à 0,4%), sauf pour le gisement de Casapalca et de Coeur d'Alène, contenant respectivement 1,0 et 1,9% d'arsenic. L'argentotennantite, terme à arsenic prépondérant, est extrêmement rare dans la nature (Spiridonov et al. 1986).

Une forte prépondérance du fer sur le zinc est très fréquente (Fe 1,0 à 2,2% et Zn 0,02 à 0,8%). Dans des cas exceptionnels, des freibergites contiennent du fer et du zinc en quantités égales et parfois plus de zinc que de fer.

Du point de vue chimique, la freibergite se forme par remplacement partiel du cuivre de la tétraédrite par l'argent. Le pourcentage d'argent qui peut remplacer le cuivre a souvent été sous-évalué. En effet, Springer (1969) estimait la proportion maximale d'argent possible dans une tétraédrite à 11% seulement, alors que Riley décrit des freibergites de Mount Isa (Australie) à 42,5% d'argent et prédit une teneur théorique maximale d'argent de

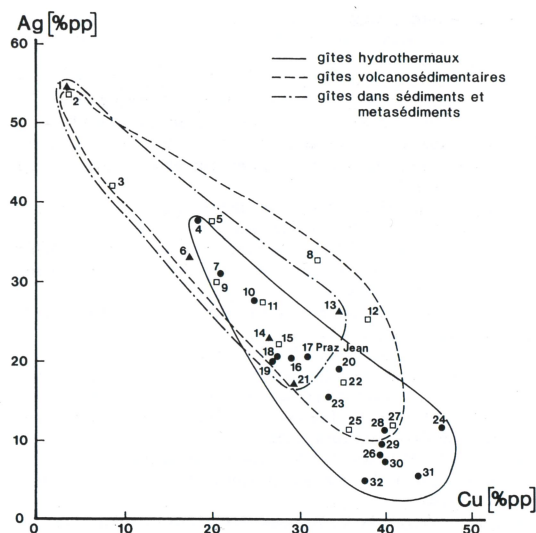


Fig. 5. Relation entre les teneurs d'argent et de cuivre dans des freibergites de gisements choisis. Cercles: gîtes hydrothermaux; carrés: gîtes volcanosédimentaires; triangles: gîtes dans sédiments et métasédiments. 1. Knappenstube, Autriche (Paar et al. 1978); 2. Hällefors, Suède (Zakrzewski 1984); 3. Agassiz, Canada (Augsten et al. 1986); 4. Espeland, Norvège (Naik 1976); 5. Garpenberg, Suède (Sandecki 1981); 6. Mount Isa, Australie (Riley 1974); 7. Bournac, France (Munoz 1982); 8. Silver Hill, Etats-Unis (Indorf 1981); 9. Windfall, Suède (Kieft 1984); 10. Kutna Hora, Tchécoslovaquie (Bernard 1963); 11. Pinnacles, Australie (McQueen 1984); 12. Koronuda, Grèce (Mposkos 1983); 13. Edwards, Etats-Unis (Serviss et al. 1986); 14. Pierrefitte, France (Besson 1971, 1972); 15. Keno Hill, Canada (Peterson 1986); 16. Freiberg, Allemagne (Bernard 1963); 17. Praz-Jean, Suisse; 18. Ust Teremki, URSS (Timofeyevski 1967); 19. Donbas, URSS (Artemenko 1987); 20. Le Pulec, Grande Bretagne (Iser 1980); 21. Bo-Yai, Thaïlande (Hermes et al. 1982); 22. Macalder, Kenya (Ogola 1987); 23. Wolfach, Allemagne (Dana 1944, Geier 1968); 24. Huanchaca, Bolivie (Kalbskopf 1972); 25. Caribu, Canada (Jambor 1978); 26. Toyohä, Japon (Ohta 1980); 27. Broken Hill, Australie (Plimer 1980); 28. Minéral synthétique (Johnson 1985); 29. Saint-Sylvestre, France (Bari 1984); 30. Stare Hory, Tchécoslovaquie (Čech et al. 1979); 31. Casapalca, Pérou (Wu et al. 1977); 32. Coeur d'Alène, Etats-Unis (Fryklund 1964)

51%. Les tetraédrites de Knappenstube (Autriche) contiennent 55% d'argent et une substitution totale du cuivre par l'argent avec une teneur théorique maximale de 58,9% d'argent a été postulée (Paar 1978).

La freibergite de Praz-Jean, d'une composition classique ($Fe > Zn, Sb \gg As$), est une variété moins riche en argent que celle de nombreux autres gisements (Fig. 5).

La freibergite est toujours associée à la galène, à la blende et presque toujours à la pyrite et la chalcopryrite. En général elle est aussi accompagnée par d'autres sulfures. Il est certain que des études détaillées à la microsonde sur des minerais de nombreux autres gisements permettront de mettre en évidence d'autres minéraux plus rares. Enfin, l'on constate aussi que l'examen à la microsonde tend à indiquer que la galène argentifère, dans

laquelle l'argent se trouve sous forme de solution solide, est relativement rare. A Praz-Jean aussi, la détermination à la microsonde a permis de démontrer l'absence de galène argentifère et la présence très classique de freibergite.

Du point de vue géologique, la freibergite existe dans trois contextes caractéristiques différents (Fig. 5).

Le type de gîte le plus fréquent est de nature hydrothermale avec une minéralisation de forme filonienne typique. Il est intéressant de remarquer que de nombreux filons sont d'âge paléozoïque. Dans le cas de la mine de Sunshine au district de Coeur d'Alène, qui a été l'un des plus grands producteurs d'argent du monde, les filons minéralisés sont d'âge crétacé dans un encaissant précambrien (Fryklund 1964; Hobbs et Fryklund 1968; Knowles 1983; Guilbert et Park 1986). Cette différence marquée entre l'âge de l'encaissant et de celui de la minéralisation est une caractéristique de nombreux gisements de l'ouest des Etats-Unis.

Dans les gîtes à freibergite de type volcanosédimentaire, assez fréquents, le minerai se présente sous forme primaire et disséminée (Large 1981, p. 473). Ces gisements se trouvent essentiellement dans les formations précambriennes de l'Australie (Amade 1986), du Canada (Jambor 1978) et de la Suède (Kieft et Eriksson 1984).

Enfin les gîtes à freibergite dans sédiments et métasédiments sont intéressants du point de vue génétique. Dans le gisement de Bo-Yai (Thaïlande) par exemple, la freibergite se trouve associée à des calcaires organogènes ordoviciens.

Le gisement de Praz-Jean, de nature typiquement filonienne, se trouve dans une partie des Alpes qui a subi une histoire métamorphique polyphasée complexe, de façon qu'il est difficile d'établir l'âge et la nature exacte d'un éventuel gîte primaire.

D'une façon générale, la teneur en argent des freibergites tend à être plus élevée dans les gisements volcanosédimentaires et contenus en sédiments et métasédiments que dans les gisements hydrothermaux. En revanche l'exploitation de l'argent comme métal principal a eu lieu, surtout en Europe, dans des gisements de type hydrothermal filonien, dont la plupart sont maintenant abandonnés.

Le district de Coeur d'Alène (Etats Unis) constitue un cas à part. Dans ce district, une production d'argent importante à l'échelle mondiale a eu lieu en partant d'un minerai dans lequel la tetraédrite argentifère à faible teneur d'argent (10%) était un constituant principal.

Des études cristallographiques intéressantes clarifient la position de l'argent dans la maille de la tetraédrite argentifère. Celui-ci remplace le cuivre I dans les sites rhomboédriques plutôt que dans les sites tétraédriques (Charnock et al. 1988). L'enrichissement en argent de la tetraédrite est à mettre au moins partiellement en liaison avec des remobilisations hydrothermales d'éléments préexistants pendant des phases de métamorphisme ou de déformation. Cependant les conditions limites physico-chimiques et géologiques de l'incorporation de quantités parfois importantes d'argent dans la molécule de la tetraédrite ne sont pas encore bien comprises et constituent un sujet d'étude fort intéressant.

Remerciements. Nous tenons à remercier le Dr. L. Schmutz de Bâle et M. D. Cavalli, d'Euseigne (Valais), géologues, pour les informations dont ils nous ont fait part sur la mine de Comtesse, le Dr. J. Bertrand, de l'Institut de Minéralogie de l'Université de Genève, pour les analyses qualitatives effectuées à la microsonde, le Dr. H. Sarp, du Muséum d'Histoire Naturelle de Genève, pour les déterminations de minéraux qu'il a effectuées, Madame le docteur C. Wiaux, du Département de Chimie Organique de l'Université de Genève, pour sa connaissance fort utile des bases de données et, enfin, les étudiants de l'Institut de Minéralogie de l'Université de Genève, qui ont eu le courage d'accompagner l'un de nous (E.A.S.) dans les anciennes galeries.

Bibliographie

- Agricola, G.: De re metallica, translated by H. C. Hoover, Dover publications inc. New York (1950)
- Amade, E.: Le gisement exhalatif-sédimentaire de Pb-Zn-Ag de Lady Loretta (Queensland, Australie). Chron. rech. min. 143:41-63 (1986)
- Argand, S.: Sur l'arc des Alpes occidentales. Eclogae geol. helv. 14:145-191 (1916)
- Artemenko, O.V., Artemenko, V.M.: Sulfosalts of the polymetallic ore manifestations of the southern Donets basin. Dopovidi akad. Nauk Ukrainskoi r.s.r. Serija B, 1987/4, 3-6 (1987)
- Augsten, B.E.K., Thorpe, R., Harris, D.C., Fedikow, M.A.F.: Ore mineralogy of Agassiz-Mac-Lellan deposit in the Lynn Lake region, Manitoba. Canad. Mineralogist 24:2, 369-377 (1986)
- Balbi, A.: Abrégé de géographie, 3e édition. Jules Renouard et Cie, Paris (1840)
- Bari, H.: Le filon Sylvestre à Urbeis, Vallée de Villé (Alsace) et son directeur d'exploitation: H. Ungemach. Minéraux et fossiles, 1:38-43 (1984)
- Baric, L.: Boulangerite rather than Jamesonite, from the Stari Trg mine, Trepcja, Yugoslavia. Geol. Vjesn., 33:125-131 (1981)
- Beaure, P.: Contribution à la subdivision tectonique et stratigraphique du cristallin de la nappe du Grand-Saint-Bernard dans le Valais (Suisse). Livre à la mémoire du professeur Paul Fallot. Tome 2. Soc. Géol. de France (1961)
- Bernard, J.H.: Parallelisation der Evolution von Mineralassoziationen an den Erzgängen von Kutna Hora (Böhmen) und Freiberg (Sachsen). Tscherm. mineral. petrogr. Mitt. 8-3, 403-415 (1963)
- Besson, M., Permingeat, F., Picot, P.: Etude micrographique des minéralisations de Pierrefitte (Hautes Pyrénées). Bull. soc. Franç. min. cristallogr. 94:55-63 (1971)
- Besson, M.: Minéraux argentifères du gisement de Pb-Zn de Pierrefitte (Haute Pyrénées). Bull. soc. franç. min. cristallogr. 95:3, 342-347 (1972)
- Cardellach, E.: Estudio microscopico de las mineralizaciones de Pb Zn de Lliat, Bagergue y Montoliu (Val d'Aran, Lerida). Acta geol. hisp. 12:4-6, 120-122 (1977)
- Čech, F., Hak, J.: Tetrahédrite high in silver, zinc and cadmium from Jihlava, Czechoslovakia. Cas. mineral. 24:1, 83-87 (1979)
- Charlat, M., Lévy, C.: Influence des principales substitutions sur les propriétés optiques de la série tétrahédrite-tennantite. Bull. soc. franç. min. cristallogr. 99:1, 29-37 (1976)
- Charnock, M.J., Garner, D.C., Patrick, R.A.D., Vaughan, D.J.: Investigation into the nature of copper and silver sites in argentic tetrahédrite using EXAFS spectrometry. Phys. Chem. Minerals, 15:3, 296-299 (1988)
- Cheneval, R.: Détermination du tonnage de minerai de blende et galène de la mine de Comtesse, Praz-Jean. Office de guerre pour l'industrie et le travail. Bureau des mines, rapport 2020.8 (1942)
- Cheneval, R.: Le gisement de galène argentifère de Praz-Jean (Val d'Hérens), Genève (1947)
- Dana, J.D., Dana, E.S.: The system of mineralogy. 374 p. New York (1944)
- Dias, A.: Etude pétrographique des schistes de Casanna du Val d'Hérens (Valais-Suisse) et de quelques gîtes qui s'y rattachent. Thèse. Lausanne (1920)
- Escher, A., Masson, H., Steck, A.: Coupes géologiques des Alpes occidentales suisses. Office fédéral de la protection de l'environnement, Service hydrologique et géologique national. Rapport géologique, 1, 12 p. Berne (1987)
- Fehlmann, H.: Der schweizerische Bergbau während des Weltkrieges. Bern (1919)
- Fryklund, V.C.: Ore deposits of the Coeur d'Alène district, Shoshone county, Idaho. U.S.G.S. P.P. 445 (1964)
- Geier, O.F., Gwinner, M.P.: Einführung in die Geologie von Baden-Württemberg. E. Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, 228 p. Stuttgart (1968)
- Gerlach, H.: Die penninischen Alpen. Beitr. Geol. Karte Schweiz. 27e livraison. Berne (1883)
- Glauser, A.: Abschließender Bericht über die Blei-Zinkerzgrube „Comtesse“ bei Praz-Jean (Val d'Hérens). Kriegs-Industrie und Arbeitsamt. Büro für Bergbau, Bericht 2020.23 (1946)
- Guilbert, C., Park, C.F.: The geology of ore deposits. W. H. Freeman and Co, New York (1986)
- Hackbarth, C., Peterson, U.: A fractional crystallisation model for the deposition of argentic tetrahédrite. Econ. geol. 79:3, 448-460 (1984)
- Healy, R.E., Petruk, W.A., Turnock, A.C.: Mineralogical investigation of the Trout Lake ores with a view to predicting mineral liberation and metal recovery. C.I.M. bulletin, 79:890, 80 (1986)
- Herms, P., Kern, H.: Mikroskopie und Microchemie der Sulfosalze in Bleiglanz-Zinkblende-Pyrit Erzen schichtgebundener Lagerstätten der Provinz Kanchanaburi (West Thailand). Erzmetall 35:9, 436-441 (1982)
- Hintze, K.: Handbuch der Mineralogie. Erste Abteilung. Leipzig (1909)
- Hobbs, S.W., Fryklund, V.C.: The Coeur d'Alène district, Idaho. In: Ore deposits in the United States 1933-1967, 2. John D. Ridge. New York (1968)
- Indorf, C.P.: The Silver Hill deposit and associated deposits, central-North Carolina. Econ. geol. 76:1170-1185 (1981)
- Ixer, R.A., Stanley, C.J.: Mineralization at Le Pulec, Jersey, Channel islands. Mineral. mag. 43:1025-1029 (1980)
- Jaffé, F.C.: Switzerland in: Mineral deposits of Europe. 3 Central Europe. The Institution of Mining and Metallurgy. 41-54, London (1986)
- Jambor, J.L., Laflamme, J.H.G.: The mineral sources of silver and their distribution in the Caribou massive sulphide deposit, Bathurst area, New Brunswick. Canmet report, 78:14, 26 (1978)
- Johnson, M.L., Burnham, C.W.: Crystal structure refinement of an As bearing argentic tetrahédrite. Amer. Mineralogist, 70:1-2, 165-170 (1985)
- Kalbskopf, R.: Strukturverfeinerung des Freibergits. Tscherm. mineral. petrogr. Mitt. 18:2, 147-155 (1972)
- Klockmann, F., Rahmdor, P., Strunz, H.: Lehrbuch der Mineralogie, 16. Auflage. Enke, Stuttgart (1978)
- Kieft, K., Eriksson, G.: Regional zoning and metamorphic evolution of the Vindfall Pb-Zn ore, eastern-central Sweden. Geol. Fören. 106:4, 305-317 (1984)
- Knowles, C.R.: A microprobe study of silver ore in northern Idaho. Microbeam analysis, 18:61-64 (1983)
- Large, D.E.: Sediment hosted submarine exhalative lead-zinc deposits. A review of their geological characteristics and genesis. In: Wolf, K.H. (ed) Handbook of strata bound and stratiform ore deposits. 9. Elsevier, Amsterdam (1981)
- Martenet, M.: L'exploitation de nos gisements de plomb et de zinc. Office de guerre pour l'industrie et le travail. Section des métaux. Rapport 360 (1943)
- McQueen, K.G.: Meneghinite, boulangerite and associated minerals from the Pinnacles mine, broken Hill, New South Wales. N. Jb. Mineral. Mh. 7:323-336 (1984)

- Mposkos, E.: A mineralogical study of the Au-Ag-Bi-Te-Cu-Co-Ni-As-S ore mineralization in Macedonia, Greece. *Chemie Erde* 42:281-296 (1983)
- Munoz, M., Moëlo, Y.: Etude paragenétique de la minéralisation sulfurée complexe (Sb-Pb-Zn) de Bournac (Hérault, France). *Bull. Minéral.* 105:625-632 (1982)
- Naik, M.S.: (Co, Ni)Sb S phases and argentican boulangerite in galena from Espeland, Norway. *Norsk geol. tidsskr.* 56:4, 449-454 (1976)
- Ogola, J.S.: Mineralization in the Migori greenstone belt, Macalder, western Kenya. *Geol. J. (Liverpool)* 22:25-44 (1987)
- Ohta, E.: Mineralization of Izumo and Sorachi veins of the Toyoha mine, Hokkaido, Japan. *Japan. géol. survey bull.* 31:585-594 (1980)
- Paar, W.H., Chen, T.T., Günther, W.: Extremely silver rich freibergite in the lead-zink-copper ores of the Knappenstube mine, Hochtort, Salzburg. *Carinthia* 2, 58:35-42 (1978)
- Peterson, R.C., Miller, I.: Crystal structure and cation distribution in freibergite and tetraédrite. *Mineral. mag.* 50:717-721 (1986)
- Plimer, I.R.: Hydrothermal mobilization of silver during retrograde metamorphism at Broken hill, Australia. *N. Jb. Mineral. Mh.* 10:433-439 (1980)
- Ramdohr, P.: Die Erzminerale und ihre Verwachsungen, 4. Auflage. Berlin (1975)
- Riley, J.F.: The tetraédrite-freibergite series with reference to the Mount Isa Pb-Zn-Ag orebody. *Mineral. Deposita* 9:117-124 (1974)
- Riley, J.F.: Silver mineralogy and its metallurgical significance at Mount Isa, Queensland, Australia. *Trans. instn. min. and metall. sect. C* C102-C104 (1976)
- Sandecki, J., Amcoff, O.: On the occurrence of silver rich tetraédrite at Garpenberg Norra, central Sweden. *N. Jb. Min. Abh.* 141:3, 324-340 (1981)
- Serviss, C.R., Grout, C.M., Hagni, R.D.: The mineralogy of a silver rich area in the Edwards zinc lead mine, New York. *Canad. mineralogist* 24:6, 239-245 (1986)
- Spiridonov, E.M., Sokolova, N.F., Gapeev, A.K., Dashevskaya, D.M.: New mineral-Argentotennantite. *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 290, 1:206-210 Moscow (1986)
- Springer, G.: Electron microprobe analyses of tetraédrite. *N. Jb. Mineral. Mh.* 24-32 (1969)
- Thelin, P., Ayrton, S.: Cadre évolutif des événements magmatico-métamorphiques du socle anté-triasique dans le domaine pennin (Valais). *Bull. suisse minéral. petrogr.* 63 (1983)
- Timofeyevski, D.A.: First U.S.S.R. find of freibergite with a high silver content. *Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R.* 76:1388-1391 (1967)
- Triscari, M., Sacca, C.: Contribution to the knowledge of metalliferous minerals from the Monti Peloritani, 4. Boulangerite. *Rend. soc. Ital. mineral. petrol.* 39:1, 145-153 (1984)
- Wegmann, E.: Ueber die Geologie der Sankt Bernhard Decke, These, Neuchâtel (1920)
- Wolf, K.H.: Terminologies, structuring and classifications in ore and host rock petrology. In: Wolf, K.H. (ed.) *Handbook of strata-bound and stratiform ore deposits*, 8. Elsevier, Amsterdam (1981)
- Woodtli, R., Jaffé, F.C., Von Raumer, J.: Prospection minière en Valais: le projet Uromine. *Matér. géol. Suisse, sér. géotechn.* 27e livraison. Berne (1987)
- Wu, I., Petersen, U.: Geochemistry of tetraédrite and mineral zoning at Casapalca, Peru. *Econ. geol.* 72:993-1016 (1977)
- Zakrzewski, M.A., Nutgeren, H.W.: Mineralogy and origin of the distal volcano-sedimentary deposit at the Hållerfors silver mine. Bergslagen, central Sweden. *Canad. mineralogist* 22:4, 583-593 (1984)

Received: August 1, 1989

Accepted: February 27, 1990

Beiträge zur Geologie der Schweiz Matériaux pour la Géologie de la Suisse

Geotechnische Serie - Série géotechnique

- Nr. 77: F. Gilliéron: Zur Geologie der Uranmineralisation in den Schweizer Alpen. Mit Karte 1:500'000 der Radioaktivitätsmessungen, radiometrischen Anomalien und Uranvorkommen der Schweizer Alpen. (F. Gilliéron, T.P.Labhart), 1988. Fr. 25.-
- Nr. 78: M. Ammann: Herkunft und Zusammensetzung von Silt in fliessenden Gewässern und Stauseen. - Geotechnische Abtragsanalysen im Alpenraum. Mit Karte, 118 S., 58 Textfig., 1988. Fr. 25.-
- Nr. 79: Th. Widmer: Zur Stratigraphie und Sedimentologie der Anhydritgruppe (Mittlere Trias) in der Region Liestal-Arisdorf (Baselland, Nordwestschweiz). 108 S., 70 Fig., 1991. Fr. 35.-
- Nr. 80: B. Rick: Geotechnische und hydrochemische Folgen der Verwitterung sulfathaltiger Gesteine (Gipskeuper des Schweizer Jura). 120 S., 56 Textfig., 15 Tab., 1991. Fr. 35.-
- Nr. 81: G. Della Valle: Les Fahlbänder et les veines polymétalliques du Val d'Anniviers et du Val de Tourtemagne (Zone pennique, Valais). 60 p., 24 fig., 8 pl., 1991. Fr. 25.-

Kleinere Mitteilungen - Bulletin

- Nr. 86: B. Hofmann: Erzminerale in paläozoischen, mesozoischen und tertiären Sedimenten der Nordschweiz und Südwestdeutschlands. 14 S., 5 Abb., 3 Tab., 1990. Fr. 4.-
- Nr. 88: H. Badoux: Géologie des Mines de Bex.-Données 1981-1990. 14p., 4 figs., 1 pl., 1991. Fr. 4.-
- Nr. 89: F. C. Jaffé: Gold in Switzerland. 8 p., 9 figs., 1991. Fr. 4.-
- Nr. 91: E. Wenk: Chemismus von Gesteinen und Mineralien der Val Verzasca. 10 S., 5 Fig., 1 Tab., 1992 Fr. 4.-
- Nr. 92: M. Mazurek und Tj. Peters: Petrographie des kristallinen Grundgebirges der Nordschweiz und Systematik der herzynischen Granite. 24 S., 6 Abb., 5 Tab., 1992 Fr. 5.-

Karte der mineralischen Rohstoffe der Schweiz 1:200'000

1. Blatt: Tessin-Uri/Ticino-Uri mit Erläuterungen, 1990. Fr. 35.-

Hydrogeologische Karte der Schweiz - Carte hydrogéologique de la Suisse 1:100'000

- Nr. 3, Blatt 38 Panixerpass. Von H. Jäckli, A. Bögli, Th. Locher, W. Nabholz, C. Schindler, E. Weber und L. Wyssling, mit Erläuterungen, 1985. Fr. 40.-
- Nr. 4, Blatt 31 Biel/Bienne. Von L. Hauber und U. Pfirter, 1991. Fr. 40.-