

JÁN ILAVSKÝ\*

## SMOLNÍK, GISEMENT STRATIFORME POLYMÉTAMORPHISÉ DE MINÉRAIS SULFURÉS

(Text.-fig. 1, 2)

**Résumé.** Le gisement de minerais sulfurés de Smolník est situé dans les Karpates occidentales, dans la partie centrale des Gémérides. Il est contenu dans une bande de schistes noirs à inclinaison raide (70°) vers le Sud. Les sulfures forment de nombreux corps dans le niveau supérieur des phyllites chloriteux. Ces phyllites sont essentiellement des épituffites épimétamorphisées engendrées par les phénomènes volcaniques dont le début fut marqué par des coulées sous-aquatiques de lave gabbrodioritique. La ressemblance géochimique des coulées de lave et des épituffites est frappante, leur teneur en éléments métalliques entrant dans la composition des minerais (Cu, Pb, Zn et autres) est élevée.

Les textures, les structures, la composition minéralogique et la géochimie des minerais et de certains minéraux prouvent la caractère polymétallique de la minéralisation. Les constituants principaux sont la pyrite et la chalcoppyrite, les constituants accessoires — la galène, la blende, la tétraédrite, les constituants subordonnés — la marcassite et le glaucodote. Les relations paragenétiques des minéraux principaux et accessoires, leur succession, la géochimie des minéraux — de la pyrite et de la chalcoppyrite surtout — de même que les recherches isotopiques effectuées par la méthode du plomb ordinaire montrent que le gisement étudié est une minéralisation stratiforme et que les exhalaisons sous-marines y ont joué un rôle important. Au temps des mouvements varisques et alpins le gîte et les roches encaissantes ont été épimétamorphisées, ce qui provoqua certains changements de texture et de structure des minerais, un remaniement et une recristallisation de la substance, des sulfures en particulier.

### Introduction

Ces dernières années une ample discussion sur la genèse des gîtes de sulfures métalliques (Kieslagerstätte, koltchedanny) mestorojdenija, bedded sulphide ores) se poursuit dans la littérature géologique du monde entier.

En relation avec cette discussion on a soumis à une critique les schémas génétiques établis antérieurement pour toute une série de gîtes de sulfures en Allemagne (Meggen, Rammelberg, Lahn-Dill), en Norvège et en Suède (type Skrovass, type Leksdal, type Rörös), en Pologne (Montagnes Świętokrzyskie-de Sainte-Croix) en URSS (Oural, Carélie, Transbaïkalie, Altaï, Alataou, Caucase), au Portugal (San Domingo), en Espagne (Huelva-Rio Tinto), en France (Avoca), en Yougoslavie, en Grèce (Péloponèse), en Turquie (Ergani Maden, Keltas), aux USA (White Pine, Caroline du Nord, Knob), Nouveau-Brunswick, Afrique (Rhodésie, Katanga, Atlas), en Australie (Mount Isa), au Japon et aux Kouriles.

Les nouvelles méthodes de recherche, en particulier celles qui sont basées sur l'étude des lithofaciès, du paléovolcanisme, des textures et des structures, des

\* Ján Ilavský, docteur de sciences, Institut géologique Dionýz Štúr, Bratislava, Mlynská dolina 1.

isotopes ont permis de mettre en évidence l'étroite liaison génétique des minerais avec le volcanisme acide ou basique, ses produits de projection — tufs et tuffites — ou avec les eaux minéralisées synvolcaniques ou postvolcaniques (Ch. Oftedahl 1958, J. H. Rösler 1960, 1962, H. Harder 1963, 1964).

L'existence de telles minéralisations dans le géosynclinal des Karpates occidentales a été signalée ces dernières années par J. Kantor (1954, 1961), B. Cambel (1957, 1959), St. Polák (1956a, 1956b), J. Ilavský (1957, 1960) et d'autres.

Un exemple typique de minéralisation polymétallique stratiforme liée génétiquement au volcanisme basique ophiolitique qui s'est manifesté dans les Gémérides pendant le cycle calédonien est le gisement de Smolník (Schmölnitz, Szomolnok). Ces dernières années l'auteur l'a exploré de façon très approfondie pour mettre en évidence sa structure géologique, ainsi que ses caractères minéralogiques et géochimiques. De nombreux sondages de recherche ont été effectués dans les environs du gisement. La présente note est surtout un exposé des résultats de ces recherches.

### Géologie du gisement et de ses environs

Le gisement de Smolník a joué un rôle très important dans l'histoire de l'exploitation des mines d'argent, de fer, de cuivre et des pyrites de l'ancienne Hongrie et de la Tchécoslovaquie (J. Steinhauz 1896, A. Bergfest 1956).

Le nom de Smolník est mentionné pour la première fois dans la littérature en 1255. Depuis et jusqu'à la fin du Moyen âge, il est connu pour la production de cuivre, d'argent et le frappage de lamonnaie. Au 18<sup>e</sup> siècle le cuivre de Smolník dominait sur tous les marchés de l'Europe. Dans les 60<sup>e</sup> années du 19<sup>e</sup> siècle, à la suite de la concurrence des gîtes d'outre-mer, on dut arrêter l'extraction du cuivre à Smolník; depuis et jusqu'à nos jours c'est la pyrite qu'on exploite, le cuivre n'étant obtenu que comme produit secondaire. Les dimensions et l'importance du gîte sont mis en évidence par les chiffres globaux des métaux extraits: environ 140 000 tonnes de cuivre pur, plus de 3 millions de tonnes de pyrites et plusieurs dizaines de tonnes d'argent (A. Bergfest 1956).

Les dernières recherches de l'auteur apportent plusieurs nouvelles données sur la structure géologique du gisement et de ses environs, données en désaccord avec des opinions exprimées antérieurement (O. Fusan 1956, 1961, J. Steinhauz 1896). L'auteur lui-même s'est vu obligé de modifier le point de vue qu'il avait sur la genèse du gîte — il le supposait être hydrothermal (J. Ilavský 1957).

Le complexe des roches apparaissant dans les environs de Smolník est envisagé par l'auteur comme une bande de schistes noirs de direction E-W à forte inclinaison (70°) vers le Sud (J. Ilavský 1957, 1960). Large de 1,5—2 km, cette bande est bordée de crêtes de porphyroïdes de la série de Gelnica. Il s'agit là d'une structure déversée monoclinalement vers le Nord.

Dans la séquence stratigraphique de la bande des schistes noirs le terme le plus ancien est représenté par un complexe flyschéen reposant, au Nord de Smolník, sur les porphyroïdes. Ce complexe flyschéen est constitué de roches pélitiques grises et verdâtres alternant rythmiquement avec des psammites (grès, quartzites). Les pélites sont finement laminées, et vers l'intérieur de la bande leur teinte passe au gris foncé. Plus près des crêtes de porphyroïdes les psammites contiennent du matériel porphyrique vulcanogène (épituftites). Vers l'intérieur

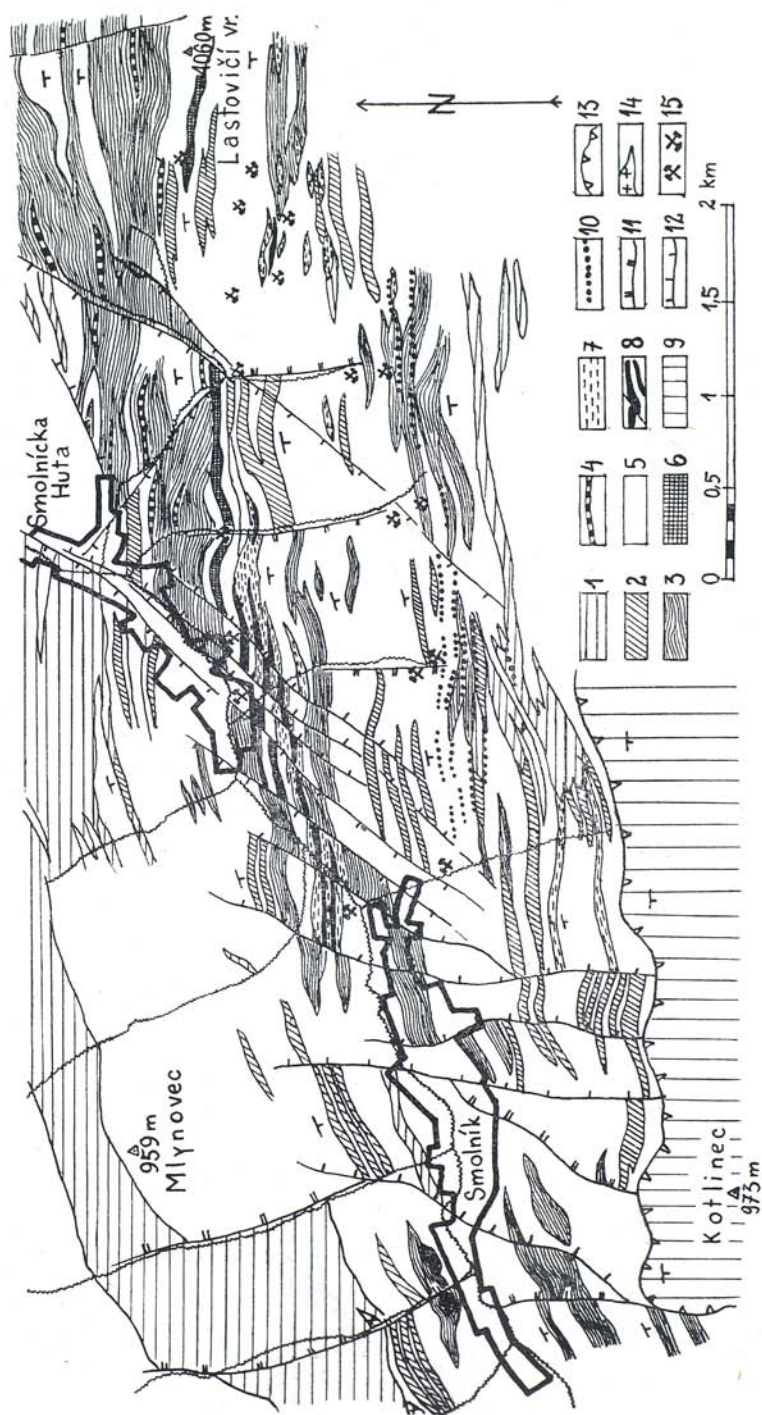


de la bande ils deviennent plus rares et sont gréseux. La puissance du complexe flyschéen est de 700—1000 m.

Les schistes noirs (graphiteux) sont plus jeunes que le complexe flyschéen duquel ils se développent progressivement. Au point de vue du lithofaciès, c'est le type euxin assez profond, inaéré, déposé dans un milieu réducteur (black shales). Ça et là on y observe des niveaux de grès et de quartzites foncés, parfois des tuffites à grains de porphyroïdes. Plus fréquemment encore apparaissent des niveaux de lydites noirs décrits comme radiolarites (J. Šuf 1936). L'auteur a pu constater qu'on est souvent en présence d'un passage continu de faciès: tufs et tuffites à grains de porphyroïdes — quartzites et grès — lydites — schistes graphiteux. Parfois ces lydites forment des niveaux indépendants dans les schistes noirs, ce qui permet d'expliquer leur formation par l'activité synsédimentaire des sources thermales apportant dans le bassin une grande quantité de silice (H. Harder 1964). Au point de vue géochimique, un intérêt spécial mérite la présence de molybdène dans les lydites. Les schistes noirs eux-mêmes contiennent des quantités notables d'éléments métalliques (Cu, Pb, Zn) — des millièmes, voire des centièmes de %, ce qui correspond aux données des autres auteurs (V. Marmö 1960, I. Janda et E. Schroll 1960). Ça et là dans le niveau des schistes graphiteux apparaissent des tourmalinites, c'est-à-dire des psammites graphiteux de couleur sombre dont la pâte, formée de séricite, chlorite et graphite, contient en abondance des aiguilles de tourmaline disposées suivant les plans de clivage  $S_1$  coïncidant avec ceux de la stratification. Acceptant le point de vue de H. Harder (1961, 1963), on peut admettre que l'origine de ces roches est probablement métamorphique. La puissance des schistes graphiteux est de 500—1000 m.

Le sommet de cette bande de Smolník est représenté par des phyllites chloriteux, c'est-à-dire par des produits d'effusions de laves basiques et des tuffites avec des assises de carbonates (dolomies), des lydites, des quartzites et des minerais sulfurés. A la base des roches volcaniques basiques, on observe une, quelques fois deux masses de roches gabbro-dioritiques ou gabbro-amphibolitiques considérées jusqu'à présent comme hypabyssales, filoniennes, plus jeunes que les roches encaissantes. O. Fusan et J. Kantor (1954) supposaient qu'on a affaire là à des canaux d'amenée des effusions de la série à phyllites et diabases d'âge dévonien qui affleure dans la partie sud de la région étudiée (fig. 1). Les récentes recherches sur la structure des lithofaciès et la pétrochimie de ces roches montrent qu'il s'agit de coulées sous-marines synsédimentaires de magma basique dans le niveau des schistes graphiteux. Par leur genèse et leur composition les roches en question sont donc analogues à toute une série de roches semblables qu'on connaît dans un grand nombre de gisements stratiformes de minerais sulfurés (H. Hentschel 1960, T. Gjelsvik 1960, A. R. Kinkel 1962, E. K. Carter in N. M. Fisher 1960 et autres).

Dans le toit stratigraphique des coulées de gabbro-diorites apparaît un complexe puissant de roches vertes (Grünschiefer) alternant avec des couches de schistes graphiteux sombres, de schistes sériciteux gris, de lydites et de dolomies. Les phyllites chloriteux verts sont des roches engendrées par l'activité volcanique sous-marine tardive qui donnait des magmas gabbroïdes, diabasiques et diabase-porphyrétiques. Leur caractère originel était celui des tufs et des tuffites mais, deux fois métamorphisés, ils ont acquis des textures et des structures qui les rangent parmi les épituffites.



Text-fig. 1. Carte géologique des environs de Smolník. J. I l a v s k ý 1959. — 1 — porphyroïdes et leurs tufs, 2 — tuffo-quartzites (tuffites porphyroïdes), 3 — phyllites graphito-séiciteux et graphiteux, 4 — lydites (radiolarites), 5 — phyllites séiciteux et quartzeux, 6 — coulées de laves gabbro-dioritiques, 7 — phyllites chloriteux (épituffites), 8 — couches et lentilles de minerais sulfurés, 9 — série de Rakovec (à phyllites et diabases) globalement, 10 — filons hydrothermaux de sidérite, 11 — dislocations transversales (fractures, failles inverses) plus anciennes, 12 — dislocations transversales plus jeunes, 13 — limites des formations transgressives, 14 — granites gémérides (Crétacé ?), 15 — principaux travaux miniers.



Le caractère lithofacial des roches volcaniques basiques du dit complexe change avec la direction et la profondeur. Dans le secteur ouest du gisement on observe beaucoup de sédiments siliceux contenant de la chlorite dispersée de bas en haut dans presque tous les types de roches.

Au point de vue géochimique, il est intéressant de noter la teneur élevée en éléments métalliques (Cu, Pb, Zn, Ni, Co, As) atteignant des centièmes et même des dixièmes de % dans les phyllites chloriteux verts (épituffites). Les résultats de ces études seront publiés plus tard.

La puissance totale du complexe des roches volcaniques basiques est de 250—500 m dans la partie E de la région, sous le Lastovičí vrch elle atteint 800 m (fig. 1).

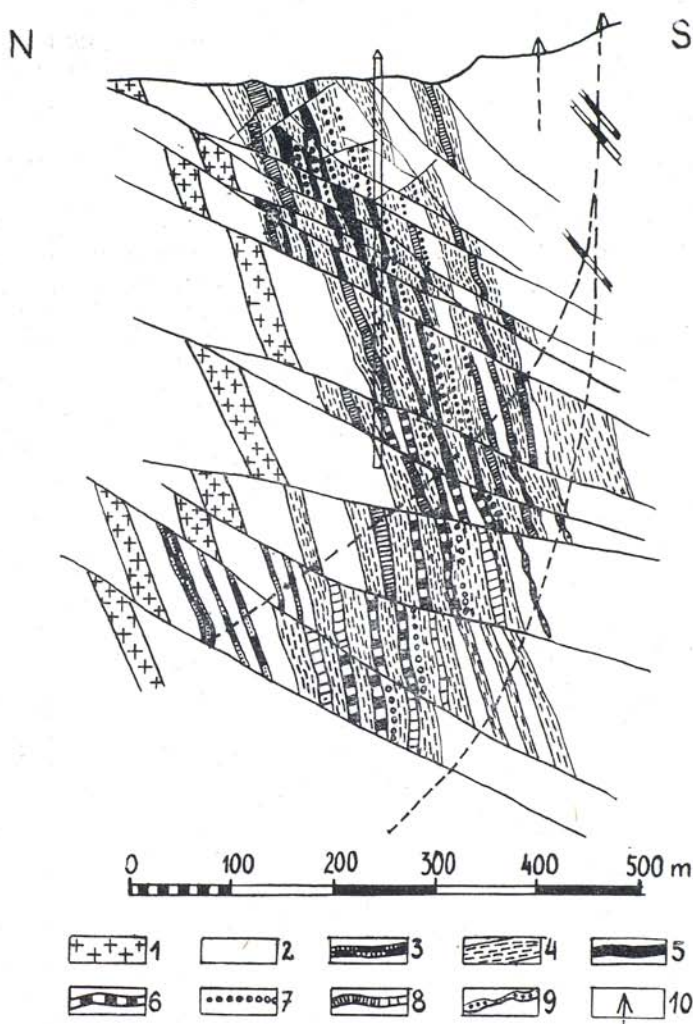
### Les minéralisations sulfurées, leur stéréométrie et leurs structures

Les minéralisations sulfurées de Smolník sont généralement contenues dans les phyllites chloriteux (fig. 2), une petite partie seulement dans les phyllites graphiteux sombres au voisinage immédiat des amas de minerais et des épituffites basiques. Les minéralisations en sulfures sont nettement stratifiées, forment des bancs, parfois légèrement lenticulaires. Les études lithologiques ont montré qu'elles sont concordantes avec les roches qui les contiennent et sont plissées ensemble. Les explorateurs du 18<sup>e</sup> siècle nommaient le gisement de Smolník filons „stratifiés“. Dans la coupe du gisement, le nombre des niveaux de minerais sulfurés varie de 3 à 8. La puissance des sulfures massifs atteint 40 m au maximum. Entre ces niveaux de minerais, on observe des zones plus larges d'imprégnations pyriteuses qui s'étendent généralement au-delà des corps et des lentilles de minerais massifs, surtout dans leur toit et leur mur. On peut voir assez fréquemment des filonnets et des filons de pyrites massives se détacher des amas stratiformes sous différents angles et pénétrer dans le milieu environnant suivant les plans de foliation  $S_1$  qui correspondent à ceux de la stratification ou de la substratification. Ce fait est à attribuer au métamorphisme régional qui semble avoir provoqué la recristallisation et le remaniement de la substance dans tout le gisement.

Les structures des minerais massifs, qu'ils apparaissent en puissantes lentilles ou en faibles couches, sont nettement rubannées, stratifiées et même schisteuses à la suite du métamorphisme. La stratification est mise en évidence par la disposition parallèle des grains de minerais plus ou moins grands et la répartition plus ou moins dense sur les plans de stratification des phyllites laminés ou des intercalations de carbonates qui y sont contenues (Ilavský—Mrožek 1960). C'est aussi suivant ces plans de stratification qu'est disposée la presque totalité des filons et des filonnets de chalcoppyrite et d'autres sulfures, ainsi que les niveaux de quartz et de carbonates dans les minerais. On remarque aussi que dans ces bandes les cristaux ont la même orientation optique. Les rares imprégnations qu'on nomme „glimy“ offrent des structures parallèles, rubannées. Des structures orientées, schisteuses ont aussi certains filonnets et filons de sulfures massifs et de minéraux non métalliques qui ont pris naissance à la suite de la régénération et du remaniement de la matière au cours des plissements varisques — on pourrait l'interpréter comme cristallisation sous pression. Il se pourrait aussi que ce soient les effets du métamorphisme au cours des mouvements alpins. Il

faut considérer aussi comme formations dues à la régénération les filonnets de carbonates et de quartz-chlorite avec des quantités plus ou moins grandes de sulfures.

Les faits observés permettent de tirer la conclusion suivante: les phénomènes de métamorphisme tardif n'ont pas donné lieu à un remaniement des minerais pyriteux, mais seulement à une modification de leur structure. Par contre, les



Text-fig. 2. Coupe géologique de la partie centrale du gisement de minerais sulfurés de Smolník. J. Ilavský 1954. 1 — coulée de lave gabbro-dioritique, 2 — phyllites sériciteux et graphiteux globalement, 3 — lydites (radiolarites ?), 4 — phyllites chloriteux (épituffites), 5 — couches et lentilles de pyrites massives, 6 — amas de pyrite supposés en profondeur, 7 — „filons-couches“ de chalcopirite connus et supposés, 8 — zones d'imprégnation pyriteuse connues et supposées, 9 — filons de quartz-carbonate-sulfures métamorphisés, 10 — sondages profonds.



autres sulfures (chalcopyrite, galène, blende et autres) ont subi sous l'action du métamorphisme épizonal d'intenses changements quant à la texture et à la structure, ont été mobilisés et remaniés à une distance allant de quelques cm à un mètre.

Les échantillons qui ont servi à l'étude des textures et des structures ont été prélevés dans 200 coupes environ.

### La minéralisation et la géochimie du gisement

La minéralogie du gisement de minerais sulfurés de Smolník a été assez bien étudiée dans le passé, mais sans interprétation de la genèse (Zepharovich 1857, Steinhausz 1896). Les sulfures primaires sont les suivants: pyrite, chalcopyrite, galène, blende, marcassite, pyrrothine, arsénopyrite, tétraédrite, glaucodote. Minéraux accessoires: sidérite, ankérite, antimonite, tourmaline, rutile, hématite. La chlorite, la calcite et le quartz sont fréquents dans la pâte et représentent les minéraux issus du remaniement de la matière. La séricite est parfois présente comme minéral subordonné.

On admettait encore récemment que le gisement de Smolník est d'origine hydrothermale, que la minéralisation est liée aux granites gémérides d'âge alpin ou aux granitoïdes varisques. Les sulfures de Cu, Pb, Zn et autres métaux étaient considérés d'après leurs rapports dans la succession des constituants comme plus jeunes, dus à la „réjuvenation“. C'est pourquoi lors de l'étude au microscope chalcographique on a attaché une attention particulière aux relations mutuelles entre la pyrite, la galène, la chalcopyrite, la blende et la tétraédrite dans les trois types technologiques de minerais de ce gisement (minerais massifs, „grocyny“, „glimy“).

Tous les trois types technologiques contiennent de la pyrite, et c'est d'après sa quantité que les minerais reçurent leur nom (massifs 30—45 % de S, „grocyny“ 20—30 % de S, „glimy“ 20 % de S). Au point de vue paragenétique on distingue trois générations.

On nomme pyrite 1a la génération la plus ancienne représentée par de très petits grains (inférieurs à 0,1 mm) de forme irrégulière, parfois des agrégats cristallins formés de petits globules qu'on observe communément dans les phyllites graphito-sériciteux du niveau flyschéux et du niveau de phyllites chloriteux renfermant les amas minéralisés. Selon H. Schneiderhön, Baas-Becking (1961), Love et Zimmermann (1961) ce sont là des bactéries métallisées. Il s'agit donc de pyrites purement sédimentaires formées dans les dépôts du faciès euxin, dans un milieu réducteur où le soufre était d'origine biogénétique et le fer se trouvait dans l'eau de mer. Plus tard, à la suite de la recristallisation, se développèrent des cubes et des agrégats squelettiques dont la structure zonaire est visible même sans corrosion.

La pyrite 1b a été engendrée par les exhalaisons au sein des phyllites chloriteux; on l'observe aussi bien dans les minerais massifs que dans les „grocyny“ et les „glimy“. Le minerai, en grains de quelques microns ou compact, sans structure, se présente en couches de quelques cm d'épaisseur. La pyrite des grandes masses de minerais massifs est souvent appelée „mučníak“ (ce qui veut dire farineux) car elle se désagrège en poudre. Nous avons là une forme microcristalline de la pyrite. Les „bactéries métallisées“ sont également fréquentes. Ce type de pyrite est prédominant dans les minerais massifs.

La pyrite 2 est représentée surtout dans les „grocyny“ et les „glimy“. Ce sont des métacristaux ou porphyroblastes de pyrite cristalline à contours presque toujours idiomorphes, en cubes ou en dodécaèdres pentagonaux. Propriétés optiques habituelles. Les faces et les arêtes des cristaux sont parfois courbées et irrégulières par suite de l'action des pressions ou la présence de particules étrangères (quartz) qui empêchaient les faces de se développer régulièrement. Les cristaux cubiques montrent plus fréquemment un développement squelettique et une structure zonale rythmique. Des grains de quartz, de chlorite et de chalcoppyrite 1 y sont parfois noyés. Rarement on voit la pyrite 2 former des accroissements sur les grains de pyrrhotine ou de marcassite. Cette génération de pyrite s'est certainement formée aux dépens de la pyrite 1b qui fut recristallisée sous l'influence du métamorphisme lors des mouvements orogéniques varisques et alpins.

L'étude géochimique des pyrites du type 1b et du type 2 faite par J. Jarkovský (1964) a mis en évidence la présence de certains éléments métalliques (Ni, Co, Mn, Ti, Mo) en proportions et quantités qui d'après Hegemann (1943, 1948, 1950) sont typiques pour les gisements stratiformes liés au volcanisme basique (tableau 1) et faiblement métamorphisés ultérieurement (prédominance de Co sur Ni, quantités à peu près constantes de ces éléments).

Tableau 1

Elément	Teneur en % variant		Rapports Ni : CO
	de	à	
Co	0,007	0,03	1 : 2,3—1 : 78 (moyenne de 28 analyses)
Ni	0,002	0,006	
Mn	traces	0,01	
V	traces	0,002	
Ti	0,003	0,1	
Mo	traces sporadiques		

Une autre particularité des pyrites de Smolník est leur teneur en sélénium. J. Babčan—J. Forberger—J. Ilavský (1962 s'en ont occupé en détail. La quantité de sélénium dans les pyrites 1b et 2 varie de 5 à 60 gr (la moyenne est 20 gr) par tonne de pyrite séparée. En comparant les données de la littérature on constate que ces teneurs sont caractéristiques pour les pyrites engendrées par les exhalations dans un milieu sédimentaire c'est-à-dire formées à des températures moyennes et basses et liées au volcanisme basique (Rockenbauer 1960, W. Schreiter 1961).

La chalcoppyrite et la tétraédrite se présentent dans le gisement sous des formes différentes. Après la pyrite, la chalcoppyrite est le minéral le plus répandu, tandis que la tétraédrite occupe une place subordonnée. Les types chalcoppyrite représentés dans le gisement sont semblables à ceux de la pyrite: depuis les imprégnations finement dispersées jusqu'aux masses monominérales massives intercalées dans les couches de pyrites massives. Ce deuxième type de chalcoppyrite et appelé „ko-



valliny". Il se présentait en bancs dont la puissance variait de quelques décimètres à un mètre et sa teneur en cuivre dépassait 10 %! La galène et la blende à textures et structures émulsionnées (désintégration des solutions solides) s'y associent fréquemment. La chalcopryrite, très instable vis-à-vis du métamorphisme, était facilement mise en mouvement, et les structures initiales stratifiées furent complètement transformées en structures allotriomorphes grenues, tachetées, veinées et ramifiées. La chalcopryrite s'observe souvent en filonnets traversant des bandes de pyrite; dans les pyrites massives elle forme des amas irréguliers et des nids disposés sur les plans de stratification initiale. Parfois elle est abondante dans les phyllites chloriteux encaissants sous forme d'amas et de petits filonnets qui suivent les plans de schistosité originelle bien prononcée ( $S_1$ ) et les plans de schistosité transversale ( $S_2$ ) apparue ultérieurement. On la désigne chalcopryrite 3 pour la distinguer de la masse principale de chalcopryrite dans le gisement qui appartient à la génération 2. La chalcopryrite 1 est représentée dans le gisement en quantités insignifiantes sous forme de grains de quelques microns inclus dans la pyrite recristallisée 2. Il semble qu'au cours du métamorphisme la pyrite se soit emparée, grâce à sa force de cristallisation, de la chalcopryrite 2.

Les recherches géochimiques de J. Babčan — J. Forberger — J. Ilavský (1962) sur les chalcopryrites, en particulier sur celles de la génération 2, et le sélénium qui y est contenu ont montré que la quantité de cet élément varie de 8 à 360 gr par tonne de chalcopryrite séparée, ce qui donne une moyenne d'environ 40 gr. D'après les données de la littérature (in Babčan 1962), dans le monde entier ces teneurs sont caractéristiques pour les gisements dus aux exhalaisons dans un milieu sédimentaire. Elles sont bien différentes des teneurs qu'ont habituellement les chalcopryrites des filons hydrothermaux de sidérite ou de sidérite-sulfures des Monts métallifères du Spiš et du Gemer qui sont de 1—10 gr/t (Trdlička 1963).

La galène et la blende étaient considérées autrefois comme des minéraux engendrés tardivement dans le gisement de Smolník par les phénomènes hydrothermaux de „réjuvenation" liés aux granites gémérides d'âge crétacé (Bernard, Máška et d'autres). Leur accumulation dans les parties effilées des lentilles de pyrites massives semblait également parler en faveur de leur origine plus récente (J. Steinhausz 1896, Zepharovich 1857, 1893).

L'étude au microscope chalcographique montre toutefois que ces deux minéraux sont très répandus (on les voit dans environ 80 % des 200 sections polies) et forment généralement des interpénétrations émulsionnées avec la chalcopryrite 2, ce qui prouve leur appartenance au type engendré par les exhalaisons dans un milieu sédimentaire. Nous appelons les minéraux de cette génération galène 1 et blende 1. Sous l'action du métamorphisme elles ont souvent été remaniées et repoussées dans les parties terminales effilées des filonnets au voisinage immédiat des minéralisations pyriteuses. On a alors affaire à la galène 2 et à la blende 2.

Utilisant la méthode du plomb ordinaire J. Kantor (1962) a déterminé l'âge absolu des galènes prélevées à la taille 9 de la galerie Mier. L'analyse (une seule) lui a donné comme résultat 405—510 millions d'années. En moyenne l'âge absolu serait donc de 490 millions d'années. Le contrôle isotopique de cette analyse a été fait par I. E. Starik (URSS) qui a obtenu pour les rapports des différents isotopes les chiffres suivants: Pb 208:204—18,1; 206:204—15,80; 207:204—38,35. D'après les échelles stratigraphiques adoptées pour les âges ab-

solus cela correspondrait au Silurien. Ces résultats confirment non seulement l'appartenance des galènes et des blendes au type de minéralisation sulfurée engendrée par des exhalaisons, mais permet aussi d'envisager le Silurien de Smolník comme une bande indépendante, ce qui est en bon accord avec les données des recherches sur la structure géologique, les textures, les structures, la minéralogie et la géochimie effectuées par l'auteur à Smolník.

### Genèse du gisement

D'après la classification de Schneiderhöhn (1962) le gisement de Smolník serait un gîte stratiforme à minéralisation polymétallique due aux exhalaisons et affectée dans la suite par le métamorphisme. Dans la conception d'Amstutz (1958) il s'agirait d'un type de gisement syngénétique-endogène. Les éléments entrant dans la constitution des minerais, surtout le soufre, le cuivre, le plomb, le zinc, ont été fournis par le volcanisme basique dont les manifestations débutterent par des coulées sous-aquatiques de laves gabbro-dioritiques. Les tufs et les cendres projetés plus tard se déposaient simultanément avec les schistes noirs du faciès euxin. Les épanchements de laves dans les conditions sous-aquatiques produisaient une chloritisation des roches basiques, ce qui pouvait enrichir les solutions minéralisantes en fer, calcium et magnésium et donner ainsi lieu au dépôt de couches dolomitiques (Ilavský—Mrožek 1960). Dans le milieu réducteur du bassin les vapeurs synvolcaniques et les eaux thermales contenant  $H_2S$  et des éléments métalliques pouvaient, selon H. Harder (1964), créer des conditions favorables à la formation de sulfures sans qu'ils s'oxydent en sulfates. Les précipités de ces composés sous forme dispersée avaient dans ce milieu réducteur le caractère de gel-pyrite, à quoi contribuaient aussi les bactéries — on en trouve de nombreuses preuves microscopiques. La pyrite ne cristallisa que pendant la diagenèse et fossilisa les bactéries.

L'alternance rythmée répétée des couches pyriteuses et chalcopyriteuses mélangées de Pb et Zn au sein des roches éruptives basiques n'est pas régulière; on peut en conclure que les rapports entre le régime du soufre et celui des métaux Cu, Pb, Zn variaient (Betehtin 1950) ou bien que la température des solutions minéralisantes subissait des changements (H. Harder 1964), ou encore que c'est la constitution chimique des produits volcaniques qui se modifiait. La chloritisation de ces derniers et l'incidence tardive du métamorphisme effacèrent leur caractère originel. Il n'est guère possible d'établir la forme sous laquelle le soufre et les métaux ont été apportés, mais il est certain que leur dépôt avait lieu dans un milieu aqueux. Le caractère géochimique général des solutions minéralisantes était la surabondance du soufre. La quantité de fer diminuait en oscillant rythmiquement dans de courts intervalles de temps ( $FeS_2$  — maximum,  $CuFeS_2$  — moins,  $ZnS$  — très peu,  $PbS$  — néant), tandis que les teneurs en Cu, Pb, Zn étaient, peut-être, stables, leur précipitation ne dépendait que du régime du soufre et du fer. Il est très probable que l'apport des éléments métalliques se faisait non seulement par voie volcanique, mais aussi par les eaux à température très élevée qui contenaient de la silice. Cette dernière détermina la formation des lydites (Kieselschiefer) et des roches silico-chloriteuses (secteur ouest de la mine). Les sources contenant la silice ont dû fonctionner même lorsque les manifestations volcaniques cessèrent puisque dans le toit du gisement on retrouve des lydites (H. Harder l. c.).



Les sulfures cristallisèrent au cours de la diagénèse donnant lieu à des structures de sédimentation typiques. L'épimétamorphisme régional lié aux mouvements varisques détermina le clivage S<sub>1</sub> et une recrystallisation partielle de la pyrite qui forma des métacristaux (porphyroblastes) qui entraînèrent aussi dans leur sein la chalcoppyrite, la chlorite, la calcite et le quartz. Les sulfures de Cu, Pb, Zn, plus solubles et plus mobiles, restèrent plus longtemps en solution, se déplaçant plus facilement et formant des filonnets et des amas inclus dans les couches de pyrites et les roches encaissantes, phénomène qui a été décrit par T. N. Chadloun (1960) et d'autres auteurs. C'est aussi à cette phase de métamorphisme que se rattache la formation de filons et filonnets de sidérite, ankérite, quartz et chlorite avec des sulfures de Fe, Cu, Pb, Zn et autres. Les solutions que Schneiderhöhn (1953) appelle pseudohydrothermales ou métamorphisantes et Lovering (1962) lithogénétiques y ont joué un rôle important. Au sein des couches de pyrites massives avait probablement lieu une recrystallisation sous pression qui détermina l'orientation optique commune des amas de quartz, de calcite, de chlorite, de sidérite et d'ankérite; „l'ankérite filonienne“ grossièrement grenue est due à la recrystallisation des dolomies qui formaient originellement des banc (Ilavský — Mrožek 1960).

De semblables phénomènes d'épimétamorphisme se renouvelèrent au temps des mouvements orogéniques alpins donnant lieu à des minéralisations insignifiantes, quant à leur dimensions et leur qualité, avec du quartz, de la chalcoppyrite, de l'antimonite et autres minéraux distribués sur les plans et les fissures de clivage S<sub>2</sub>. Il y a eu de nouveau: régénération, processus pseudohydrothermaux, destruction des remplissages minéraux antérieurs et formations, à leurs dépens, de minéraux plus simples (p. ex. l'antimonite dérive de la tétraédrite).

Par son caractère général le gisement stratiforme de sulfures métalliques de Smolník est donc polygénique — sa formation est due aux exhalaisons dans un milieu de sédimentation et à l'action du métamorphisme qu'il subit deux fois.

Traduit du slovaque par Valentína Andrusova.

## BIBLIOGRAPHIE

- Amstutz G. C., 1958: The Genesis of the Mississippi Valley Type Deposit. *Experientia* 45, 7, Basel. — Babčan J., Forberger J., Ilavský J., 1962: Jahresbericht für das Jahr 1962. Berechnung der Erzvorräte von Pyrit, Kupfer und Selen in Schmöllnitz auf Grund der Tiefbohrung G. 35. Handschrift. Geol. Institut. des D. Stúr, Bratislava. — Baas Becking L. G. M., Moore D., 1961: Biogenic Sulphides. *Econom. Geology* 56, 2. — Bergfest A., 1958: Geschichte des Bergbaues von Schmöllnitz. Handschr. des Inst. der Erzforsch. in Banská Štiavnica. — Betehtin A. G., 1950: Paragenезis rudnich mineralov v systemach Fe—S—O i Cu—Fe—S—O. *Izvest. Ak. Nauk SSSR, Ser. geol.* 5, Moskva. — Cambel B., 1956: Genetische Probleme der Vererzung in den Kleinen Karpathen. *Geol. práce, Zprávy* 9, Bratislava. — Fährndrich A., 1898: Der Schwefelkiesbergbau der Oberungarischen Berg- und Hüttenwerks Aktiengesellschaft bei Schmöllnitz im Zipser Komitate. *Zeitschr. f. d. Berg-Hütt. u. Salinenwes.* in Preuss. — Fisher N. H.: 1960: Review of evidence of genesis of Mt. Isa orebodies. Rep. from 21. Int. Geol. Congr. 16, Copenhagen. — Fusan O., Kantor J., 1954: Bericht über die geologische Aufnahme am Blatt Švedlár (4465/4). *Geol. práce, Zprávy* 1, Bratislava (nur slowakisch). — Fusan O., 1956: Das Paleozoikum der Gemeriden. *Geol. práce* 46, Bratislava. — Fusan O., 1961: Entwicklung des Baues des Gebirges Spišsko-gemerské rudohorie. *Geol. práce* 60, Bratislava. — Gjelsvik T., 1960: The Skorovass pyrit de-

posit, Grong area, Norway. Report of the 21. Sess. Intern. Geol. Congr. 16, Copenhagen. — Harder H., 1961: Beitrag zur Geochemie des Bors. Teil 3. Bor in metamorphen Gesteinen und im geochemischen Kreislauf. Nachricht. d. Akad. d. Wiss. in Göttingen. 2. Math.-Phys. Kl. 1, Göttingen. — Harder H., 1963: Inwieweit ist das Bor ein marines Leitelement. Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 10, Krefeld. — Harder H., 1964: Können Einsäuerlinge die Genese des Lahn-Dill-Erzes erklären? Beitr. z. Min. u. Petr. 9. — Hegemann F., 1943: Die geochemische Bedeutung von Kobalt und Nickel im Pyrit. Zeitschr. f. angew. Minerl. 4. — Hegemann F., 1948: Über sedimentäre Lagerstätten mit submariner vulkanischer Stoffzufuhr. Fortschr. d. Miner. 27. — Hegemann F., 1950: Geochemische Untersuchungen über die Herkunft des Stoffbestandes sedimentärer Kieslager. Stuttgart. — Hentschel H., 1960: Zur Frage der Bildung der Eisenerze von Lahn-Dill-Typ. Freiber. Forschsh., C 79. — Ilavský J., 1957: Geologie und Genese der Pyritlagerstätte Smolník. Geol. práce, Zprávy 8, Bratislava. — Ilavský J., 1958: Geologie der Erzlagerstätten des Zips-Gömörer Erzgebirges (Tschechoslowakei). Geologie 1, Berlin. — Ilavský J., Mrožek J., 1960: Dolomiten des Gotlands (?) und ihre Beziehungen zur Pyritvererzung in Schmöllnitz. Geol. práce, Zprávy 20, Bratislava. — Janda I., Schroll E., 1960: Geochemische Untersuchungen an Graphit-gesteinen. Report of the 21. sess. Intern. Geol. Congr. 1, Copenhagen. — Jarkovský J., 1964: Die Verteilung der Spurenelemente in den Pyriten und ihre geochemische Bedeutung (beim Studium der Bildungsweise der Lagerstätten der Westkarpathen). Geol. sbor. Slov. akad. vied 15, 1, Bratislava. — Kantor J., 1954: Über die Genese der Manganerze im Zips-Gömörer Erzgebirge. Geol. práce, Zprávy 1, Bratislava (nur slowakisch). — Kantor J., 1962: Isotopen des „gewöhnlichen“ Bleies auf einigen Erzlagerstätten der Westkarpathen. Geol. práce 61, Bratislava. — Love L. G., Zimmermann D. O., 1961: Bedded Pyrite and Micro-Organisms from the Mount Isa Shales. Econom. Geol. 56, 5. — Lovering T. S., 1962: First and second generation epigenetic, syngenetic and diagenetic deposits. Min. Eng. 14, 1, New York. — Marmo V., 1960: On the possible genetical relationship between sulphide schistes and ores. Report of the 21. sess. Cong. Geol. Intern. 16, Copenhagen. — Oftedahl Ch., 1958: A Theory of exhalative-sedimentary ores. Geol. Foren. Stockholm Forh. 80, 492. — Polák St., 1956: Einige Bemerkungen zum Problem der Wechselbeziehung zwischen Pyrit und Pyrrhotin in den Kleinkarpatischen Kiesvererzungen. Geol. práce, Zprávy 6, Bratislava. — Polák St., 1956: Relikte intrastratifikationaler Korrugationen in den metamorphen Pyritvererzung bei Pezinok. Geol. práce, Zprávy 8, Bratislava. — Rockenbauer W., 1960: Zur Geochemie des Selen in Ostalpinen Erzen. Tscherma's Min. Petr. Mitteil., 3. Folge, 7. — Rösler H. J., 1960: Zum Chemismus der oberdevonischen und unterkarbonischen Karbonatgesteinen in Ostthüringen. Geologie 9, 8, Berlin. — Rösler H. J., 1962: Zur Entstehung der oberdevonischen Eisenerze vom Typ Lahn-Dill in Ostthüringen. Freiber. Forschungsh., C. 138. — Schreiter W., 1961: Seltene Metalle. Bd. 2. Selen. Deutsch. Verlag f. Grundstoffindustrie, Leipzig. — Steinhausz J., 1896: Der Kupfer und Schwefelkiesbergbau von Schmöllnitz. Berg. u. Hüttenm. Jahrb. d. kk. Bergakad. 49. — Šadlun T. N., 1960: Einige metamorphe Bildungen vom Typus der alpinen Gänge in den Sulfidlagerstätten. Cours. y Confer. 7, Inst. Lucas Mallada, Espana. — Zepharovich V., 1857, 1893: Mineralogisches Lexikon f. d. Kaisertum Österreich. Bd. 1 (1857), Bd. 2 (1873), Bd. 3 (1893), Wien.

Revu par B. Cambel.