

LA MÉTALLOGENÈSE DU PLOMB,
DU ZINC ET DU BARYUM EN SARDAIGNE :
UN EXEMPLE DE PERMANENCE,
DE POLYGÉNÉTISME ET DE TRANSFORMISME (*)

par P. ZUFFARDI (**)

(11 figures et 2 tableaux)

RÉSUMÉ

Par le terme « *Permanence* », on entend la répétition, dans une même province géologique, de la formation de gisements miniers d'une même matière (ou d'un groupe de matières) au cours des temps géologiques successifs.

Ces divers gisements peuvent avoir des genèses différant les unes des autres : c'est-à-dire qu'ils peuvent être « *Polygénétiques* ».

En outre, des événements géologiques successifs peuvent remanier les gisements miniers, transformant même profondément leurs caractères, de sorte que la forme et la constitution actuelle d'un gisement peuvent être le produit final d'une série de transformations successives d'un dépôt originel, même à basse teneur ; c'est ce que l'on appelle le « *Transformisme* ».

Dans le présent article, on décrit quelques exemples typiques de « *Permanence* », de « *Polygénétisme* » et de « *Transformisme* », tirés des gisements de Pb-Zn et des gisements de barytine de la Sardaigne.

SUMMARY

Recurrence of ore deposition of a same mineral (or group of minerals), into a same geological province, in subsequent geologic times is defined « *Permanence* ».

These different ore-bodies may have different geneses : i. e., they may be « *Polygenic* ».

Moreover, subsequent geologic events can re-work ore deposits and change, even deeply, their characters, so that the present shape and consistence of an ore-body may be the final result from successive transformations of a primeval, may be low grade, deposition. This concept is named « *Transformism* ». Some typical examples of « *Permanence* », of « *Polygenetism* », of « *Transformism* » are described in the following paper ; they are drawn from Lead-Zinc and from barite deposits of Sardinia.

I. AVANT PROPOS

Les gisements miniers sardes sont nombreux et variés par la forme, la composition, l'importance pratique et scientifique. En effet, la Sardaigne produit (ou a produit) des minéraux de Pb, Zn, Cu, Fe, Mn, Sb, As, Sn, Mo, Ni, Co, W, de BaSO₄,

(*) Résumé des trois conférences présentées à l'Institut de Géologie les 16, 17 et 18 janvier 1968 par le Professeur P. Zuffardi de l'Université de Cagliari qui a bien voulu nous faire parvenir ce texte. Manuscrit reçu le 13 décembre 1968.

(**) Facoltà di Ingegneria, Istituto giacimenti minerari, piazza d'Armi, 09 100, Cagliari, Italie.

de CaF_2 , de FeS_2 , du talc et de la stéatite, des argiles et des kaolins ainsi que du charbon.

Nous nous occuperons ici de la métallogénèse des sulfures, avec une attention particulière pour les gisements de sulfures de plomb et de zinc (parmi les plus importants d'Europe), leur formation présentant en effet des caractères d'un grand intérêt scientifique.

2. LA MÉTALLOGÉNÈSE DES SULFURES

2.1. Généralités

En ce qui concerne la métallogénèse des sulfures, on peut dire brièvement :

A. — La métallogénèse des sulfures en Sardaigne est variée quant à l'époque de formation des gisements et au processus même de leur formation.

Selon les hypothèses les plus récentes — contrastant nettement avec celles qui étaient en vogue il y a 6 ou 7 ans — on peut distinguer en Sardaigne les époques métallogéniques suivantes, en liaison avec des apports de sulfures :

A.1. — Deux (peut-être trois) époques métallogéniques épigénétiques hypogènes : La plus importante (de loin) est de type hydrothermal, d'âge hercynien et a favorisé la mise en place des fameux filons de l'Arburese.

C'est probablement à un hydrothermalisme post-hercynien que se rattache le petit gisement, depuis longtemps épuisé, de pyrite cuprifère de Calabona, près d'Alghero situé à la base du Mésozoïque et en apparente corrélation avec une manifestation volcanique locale de type effusif. Des dispersions de sulfures, essentiellement cuprifères, sont liées aux laves et aux tufs alpins de la région de Bosa.

A.2. — Quatre (et peut-être davantage) époques métallogéniques synsédimentaires : ces époques se situeraient au milieu du Cambrien moyen ; le début coïnciderait avec le dépôt des alternances qui marquent la transition entre la série (basale) des grès et la série du « calcaire métallifère », tandis que la fin correspondrait avec le dépôt des « calcschistes ».

Cette époque, longue et variée, a conduit à la mise en place de grands gisements tels que Campo Pisano, Funtana Perda, Seddas Moddizzis et ceux de type « calcaire blendeux » de San Giovanni.

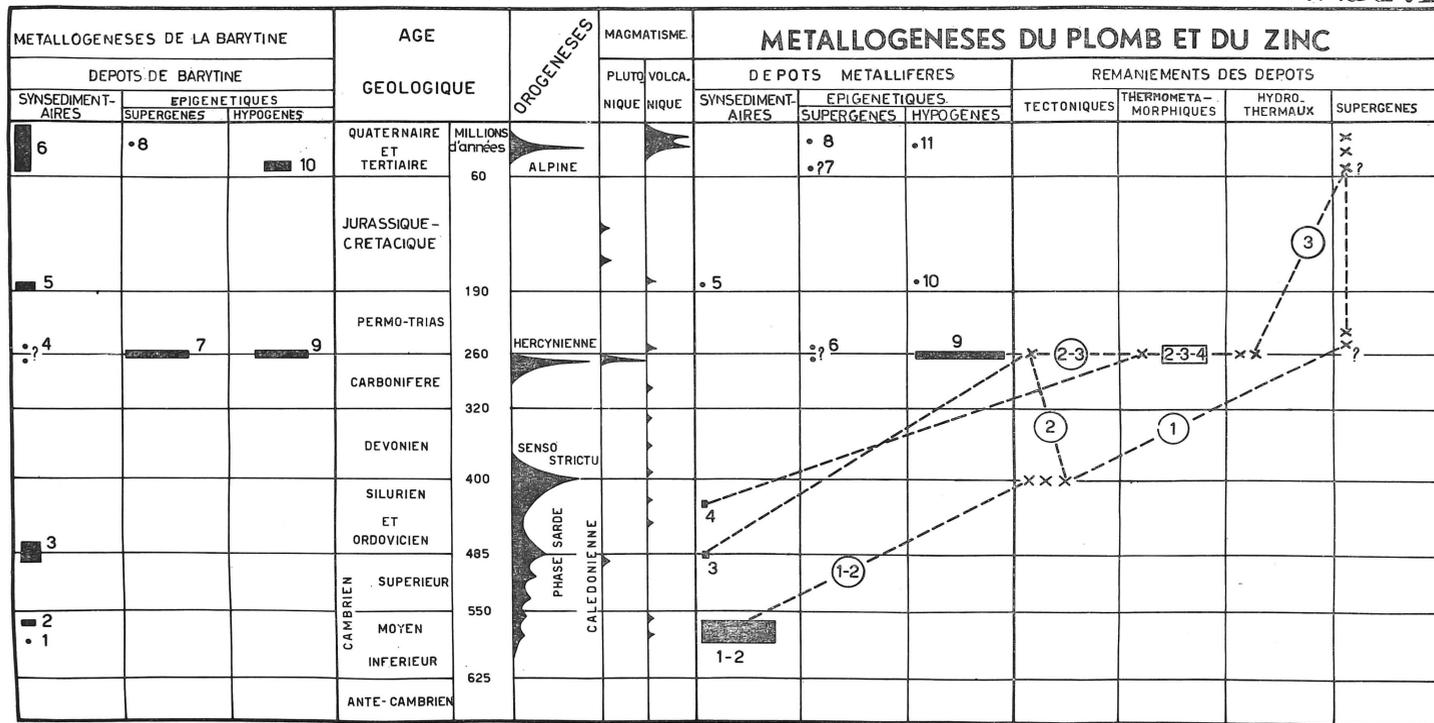
C'est à cette phase que nous attribuons la préconcentration des sulfures qui apparaissent dans le grand gisement de Monteponi dont nous parlerons plus loin.

A.3. — Durant l'émersion du Cambrien et le début du dépôt de l'Ordovicien : Cette époque a donné lieu à un dépôt de sulfures et de barytine quelquefois exploitable, lié aux « quartzites » qui existent le long du contact Cambrien-Ordovicien dans l'Oridda, dans la région de Flumini et d'Iglesias ; Arenas-Tiny en est l'exemple le plus classique.

A.4. — Pendant le Gothlandien, et plus précisément lors du dépôt de la série des schistes graphiteux noirs : Cette époque a favorisé des concentrations lenticulaires polymétalliques, généralement de tonnage limité. On en rencontre partout, là où apparaît cet horizon particulier. Citons les régions de Flumini, du Gerrei et de la Barbagia.

A.5. — Au début du Mésozoïque : L'unique exemple connu est celui de Nurai

TABL. I



sur les versants septentrionaux de Monte Albo de Siniscola. Cependant il faut dire que les recherches dans cet horizon en sont à leur début.

A.6. — Enfin, dans la métallogénèse sarde, nous reconnaissons 2 ou 3 époques métallogéniques de type épigénétique supergène, qui ont conduit à des concentrations soit de galène-barytine, soit de galène-argent, dans des cavités karstiques et, en général, dans des zones de fractures. La datation de ces phénomènes reste un problème non encore complètement résolu.

La métallogénèse plombo-zincifère sarde aurait donc commencé au Cambrien en se poursuivant à différentes époques par différents procédés et se serait terminée dans l'Actuel par certaines recirculations supergènes. Elle fournit ainsi un bel exemple de ce que l'on appelle la « permanence » et le « polygénéisme ».

B. — Dans de nombreux dépôts plombo-zincifères, on observe l'effet de deux ou plusieurs phases de mobilisation et de reconcentration ; celles-ci auraient eu lieu à diverses époques géologiques et sous l'effet de causes différentes.

La métallogénèse plombo-zincifère sarde offrirait alors plusieurs exemples de ce phénomène que P. Routhier a désigné sous le nom de « transformisme ». Ce dernier, qui est probablement plus fréquent qu'on ne le croit dans la nature, fera dans la suite, l'objet de certaines considérations.

Le tableau I résume schématiquement ce qui vient d'être exposé ci-dessus et afin de donner une idée quantitative, même très approximative, de l'importance relative des différentes métallogénèses, nous signalons que, d'après nos calculs, le tonnage total de Pb + Zn en Sardaigne (c'est-à-dire la quantité totale du métal extrait jusqu'à présent, plus celui que l'on estime en réserve), s'élève à environ 12.000.000 de tonnes. On peut retenir que la moitié est contenue dans les filons hydrothermaux hereyniens, tandis que l'autre moitié appartient aux gisements d'autres types, pour la plupart encaissés dans le Cambrien moyen.

2.2. *Le « transformisme »*

L'idée de base du « transformisme » est en peu de mots la suivante : la formation d'un dépôt minier est très rarement l'effet d'un seul événement géologique ; elle est généralement la conséquence d'une série de processus géologiques, souvent de types différents, qui se vérifient à des moments variés.

En d'autres mots, un gisement minier se forme souvent à partir d'un dépôt, peut-être pauvre, par des transformations en chaîne qui comprennent mobilisation, reconcentration, cristallisation.

Ces transformations sont produites par divers facteurs géologiques, tels que le métamorphisme de contact et régional, les processus supergènes d'oxydo-réduction, les fluides ascendants de types « hydrothermaux ».

En général, elles ont lieu à des époques géologiques différentes.

Les gisements de sulfures de la Sardaigne offrent d'excellents exemples de ce phénomène. Nous en choisisons trois :

A. — Les gisements en Pb-Zn-pyrite de la région d'Iglésias dans la formation desquels nous reconnaissons les phases suivantes :

1. dépôt synsédimentaire (probablement volcano-sédimentaire) cambrien ;
2. mobilisation et reconcentration dans des corps épigénétiques, durant l'orogénèse « calédonienne stricto sensu » ;

3. reconcentration par oxydo-réduction supergène, avec formation ou de riches concentrations de plomb dans les mêmes corps qu'au point 2, ou de quantités plus ou moins importantes de « produits riches en argent » dans des cavités karstiques.

B. — Les gisements à sulfures mixtes avec accessoirement magnétite du Sulcis, pour lesquels nous reconnaissons les phases de formation suivantes :

1. dépôt syngénétique cambrien (ou silurien?) ;
2. mobilisation et reconcentration dans des corps épigénétiques, durant l'orogénèse « calédonienne stricto sensu » ;
3. recristallisation et remobilisation par l'effet du thermométamorphisme hercynien.

C. — Le gisement en Pb-Ba de Arenas-Tiny, dans lequel, d'après les études de J. P. Benz (1964-1965), on peut reconnaître les phases suivantes :

1. dépôt sédimentaire dans des cavités karstiques du Cambrien durant l'émergence pré-ordovicienne ;
2. reconcentration et recristallisation avec mobilisation limitée par effet du thermométamorphisme et de l'orogénèse hercynienne ;
3. reconcentration par oxydo-réduction supergène, avec formation de concentrations de cérusite ou de galène.

Voici maintenant quelques détails sur les trois exemples mentionnés :

2.2.1. *Les gisements en Pb-Zn-Pyrite de la région d'Iglesias.*

Les données d'observation dont nous disposons et leur signification sont les suivantes :

a. *Preuves de cristallisation à basse température :*

La blende est colloforme et n'est pas ferrifère ; elle ne contient pas d'exsolution de chalcopyrite. La marcassite est fréquente.

b. *Preuves de dépôt biogénique :*

La composition isotopique du S des sulfures (d'après les études de M. L. Jensen et G. Dessau, 1966) est de type biogénique et non de type volcanique. A ceci s'ajoute — au moins comme critère accessoire — la présence fréquente de pyrite framboïdale, considérée par quelques auteurs comme la preuve d'un dépôt bactérien.

c. *Preuves de recirculations :*

Dans quatre échantillons de galène de Monteponi, la composition isotopique du plomb a donné comme âge modèle le Précambrien pour deux échantillons, le Cambrien pour le troisième et l'Hercynien pour le quatrième (Zuffardi, 1965).

Puisque la galène de Monteponi est localisée dans des fractures d'âge Calédonien principalement et hercynien accessoirement, il faut admettre que les trois premiers échantillons présentent l'anomalie de type B., c'est-à-dire qu'ils sont recirculés (*),

d. *Preuves de dépôt par effet d'oxydo-réduction :*

Souvent, la galène est microgranulaire sous forme parfaite (fig. 1) ou sous forme de cristaux en trémie ; elle est dispersée dans une matrice limonitique-smith-

(*) Pour ce qui concerne le quatrième échantillon, on ne peut exclure qu'il provient de Montevecchio, plutôt que de Monteponi.

sonitique. Quelquefois, elle sert de ciment à la brèche de remplissage karstique (fig. 2). Du reste, la preuve que la galène peut se déposer aussi par effet des eaux supergènes, nous est fournie par les stalactites galénifères de quelques gisements nord-africains et par les incrustations de galène sur les outils de travail abandonnés dans de vieux travaux miniers ; ces observations ont été signalées dans la littérature.

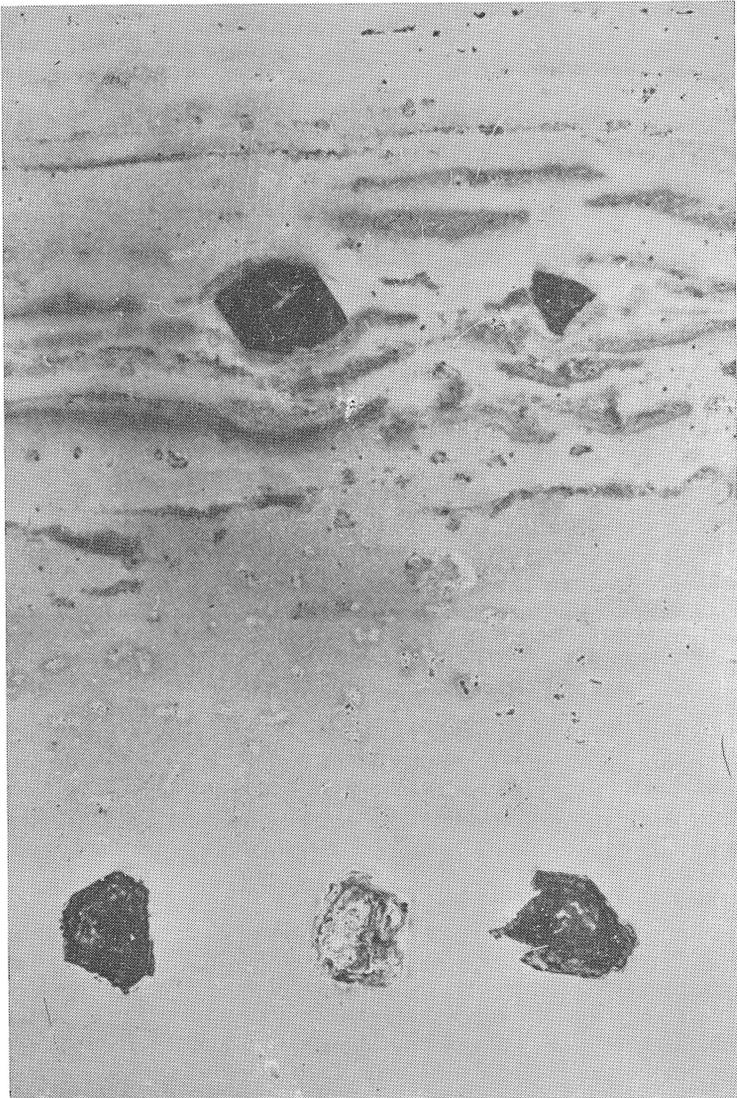


Fig. 1. — Exemple de dépôt supergène de galène : cristaux euhédraux de galène saine (noire) ou de galène presque complètement transformée en cérusite (petit noyau clair, à contour presque géométrique) emballés dans de la « terre rouge », qui remplit une crevasse karstique dans le calcaire cambrien. Les minces bandes obscures contiennent de petits cristaux de galène.

S. Giorgio (Iglesias), section polie, lumière naturelle, grossissement $4\times$ (d'après Marcello).

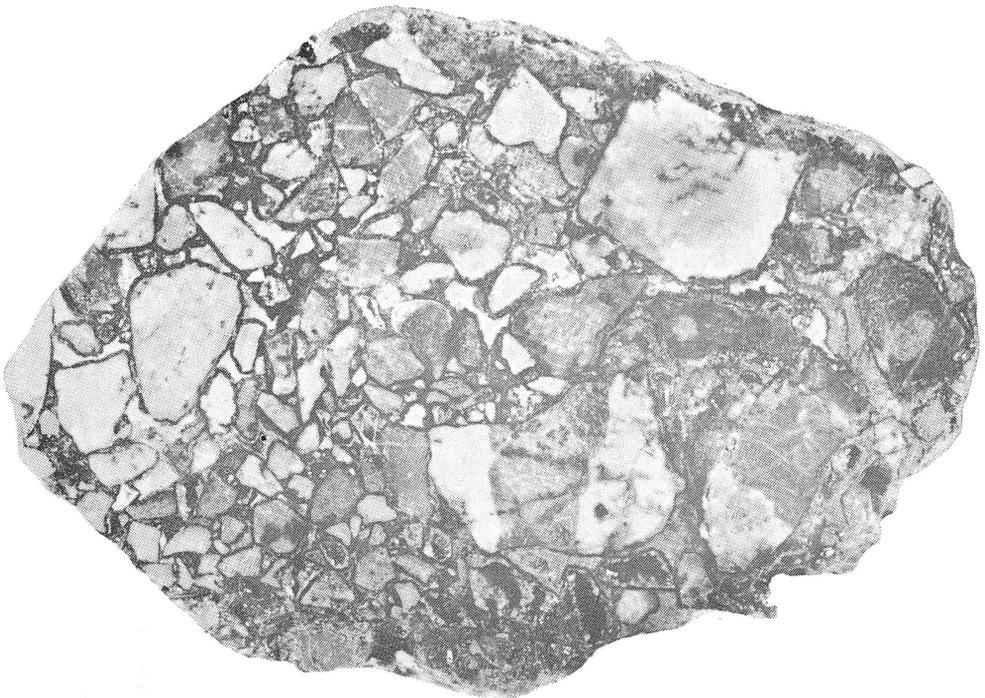


Fig. 2. — Exemple de dépôt supergène de galène : brèche polygénique (calcaire, calcite blanche, dolomite jaune ou grise en ordre de fréquente décroissante) remplissant une crevasse karstique et cimentée par de la calcite fraîche (couleur blanc neige, xénomorphe) et par de la galène (minces bandes noirâtres qui entourent les grains de la brèche). Le rapport Ag : Pb dans ces dépôts varie de 1,5 à 7 kg d'Ag par tonne de Pb ; c'est pourquoi ces minéralisations sont appelées « les riches en Ag ».

San Giorgio (Iglesias). Section polie, lumière naturelle, grossissement $2\times$ (d'après Marcello).

e. Indications contradictoires dans les rapports entre minéralisation et roche encaissante :

Les plus grands ensembles miniers ont une allure épigénétique puisqu'ils sont localisés le long de fractures (la plupart « calédoniennes sensu stricto ») ; cependant on rencontre autour d'eux des halos de minéralisation dispersée, d'allure stratoïde, avec de nets caractères syndiagénétiques.

Dans les régions moins tourmentées tectoniquement, on observe aussi des gisements entiers ou des parties de gisements présentant des caractères uniquement ou principalement syndiagénétiques.

f. Age relatif minéralisation — roche encaissante :

Des enquêtes statistiques portant sur l'orientation des plans de gémiation des blendes contenues dans les dispersions nébulitiques ainsi que sur les plans de clivage ou de fracture de la roche encaissante, ont démontré des correspondances remarquables entre les deux séries de données (Pretti-Violo, 1966). Ces résultats peuvent donc être considérés comme la preuve que les blendes des dispersions nébulitiques et les roches encaissantes ont subi les mêmes sollicitations géologiques. Dans le cas

considéré, les roches encaissantes ont subi les deux phases de l'orogénèse calédonienne (la phase sarde et la phase « stricto sensu »), l'orogénèse hercynienne et l'alpine. Le fait de retrouver dans les blendes les traces de toutes ces orogénèses (en particulier les deux premières) prouve que les blendes se sont installées avant la phase sarde de l'orogénèse calédonienne, et cette constatation est évidemment en faveur d'une syngénèse cambrienne et non d'une épigénèse tardive. D'autre part, comme contre-preuve, pour les blendes de Montevecchio qui appartiennent à un dépôt nettement épigénétique et hercynien, la distribution de la fréquence des plans de gémulations apparaît beaucoup plus simple que dans le cas précédent et l'on n'y reconnaît pas d'orientations se rapportant aux orogénèses pré-hercyniennes.

g. Corrélations avec le magmatisme :

L'unique corrélation possible (au moins géographique) apparaît avec les tufs et les tuffites intercalées dans le Cambrien ou avec les dykes qui le recourent.



Fig. 3. — Dépôt rythmique de marcassite-pyrite (claire) et de blende (obscur), avec remarquable structure en « slumping ».

Candiazus. Section polie, lumière naturelle, grossissement 1× (d'après Pretti-Salvadori, 1965).

Une éventuelle corrélation avec le granite hercynien apparaît aléatoire ; il en est de même avec le volcanisme alpin.

L'hypothèse génétique proposée pour expliquer les données d'observations reprises plus haut, reconnaît implicitement trois phases distinctes pour justifier la configuration et la nature actuelle des gisements de la région d'Iglesias.

La première phase consisterait en un dépôt synsédimentaire biogénique des sulfures durant le dépôt du calcaire métallifère cambrien. Ceci s'accorde bien avec les données d'observation citées au point b) et avec l'abondance de structures sédimentaires citées au point e).

On peut considérer comme possible, ou même probable, un type de dépôt

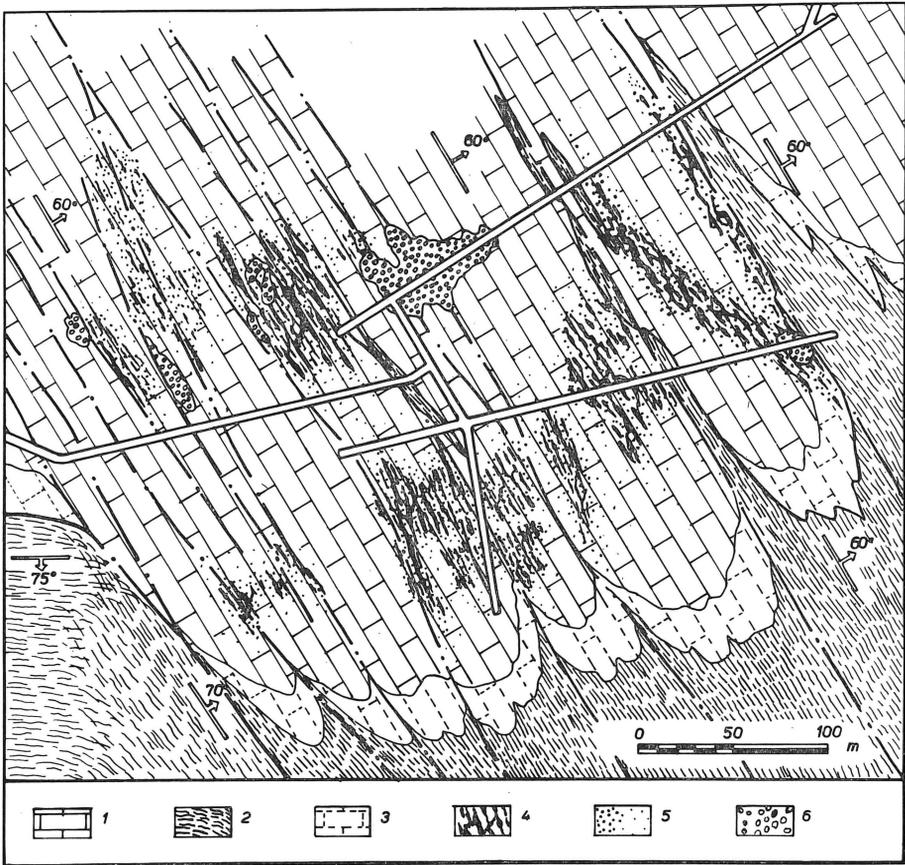


Fig. 4. — Plan du niveau — 100 de Monteponi.

- Symboles :
- 1 — calcaires et dolomies cambriennes
 - 2 — argilo-schistes cambriens
 - 3 — Calcschistes cambriens
 - 4 — minéralisation ($Pb + ZnS + FeS_2$) épigénétique dans des veines et veinules
 - 5 — minéralisation (essentiellement $ZnS + FeS_2$) disséminée syndiagénétique
 - 6 — brèches karstiques récentes

volcano-sédimentaire, afin de tenir compte de ce qui a été dit au point g) ; mais dans l'état actuel de nos connaissances, on ne peut l'affirmer formellement.

Il y a des exemples de ces dépôts à Campo Pisano, à Funtana Perda, à Candiazzu (fig. 3), à Seddas Moddizzis, dans le « calcaire blendeux » de San Giovanni et dans les halos à dissémination nébulitique de Monteponi (fig. 4).

La deuxième phase fait appel, durant l'orogénèse calédonienne au sens strict, à un facteur de mobilisation et de reconcentration des sulfures, lesquels se seraient rassemblés dans des amas lenticulaires ou colonnaires selon les structures tectoniques (plis et failles) produites durant cette orogénèse.

Ceci s'accorde avec les données d'observation mentionnées aux points c) et e).

L'exemple le plus clair de la superposition de ces deux événements est fourni par le « calcaire blendeux » de San Giovanni, qui a fait l'objet d'études de la part de C. Brusca et de J. P. Benz (communication orale).

Les dépôts de ce type ont tous les caractères synsédimentaires, tels que : structures sédimentaires, corrélations avec les failles contemporaines de la sédimentation, corrélation avec la dolomitisation épigénétique en zone infracotidale.

La composition du « calcaire blendeux » est assez uniforme : il s'agit, en effet, de dispersions nébulitiques pyrito-blendeuses avec galène, dans lesquelles la teneur en Zn se maintient à 3,5-4 % tandis que la teneur en Pb n'atteint pas 1 %. Mais localement, dans des zones étroitement liées aux structures tectoniques « calédoniennes sensu stricto », on a une brusque augmentation de la teneur atteignant 15 à 20 % en Zn.

La troisième phase consiste en une concentration postérieure (particulièrement en Pb et en Ag) sous l'action de phénomènes d'oxydo-réduction (en accord avec les données d'observations citées au point d), avec formation de riches concentrations en Pb au sein des mêmes amas formés durant la phase précédente, ou de quantités plus ou moins importantes de galènes très argentifères dans des cavités karstiques.

Cette troisième phase comporte probablement différents épisodes, isolés ou se recouvrant dans le temps. Une partie au moins des remplissages karstiques semble en relation avec l'exondation permienne ; d'autres avec la phase continentale éocène. Il est sûr qu'à l'époque quaternaire et encore actuellement, des recirculations supergènes et des reprécipitations de sulfures se sont produites.

Avant de conclure, je désire rappeler que ce type de schéma génétique a été proposé initialement par W. Muench, pour la région de Nebida-Masua en 1961. Des études ultérieures, effectuées par de nombreux auteurs et en particulier par ceux de mon École (Marcello, Salvadori, Zuffardi, 1965 ; Uras, 1965 ; Marcello, Valera, 1965), l'on confirmé pour d'autres dépôts (Monteponi, Marganai, S. Giovanni) à quelques modifications près.

2.2.2. *Les gisements de sulfures mixtes avec, accessoirement, magnétite du Sulcis.*

Les données d'observation dans cette zone sont les suivantes :

a. *Preuves de cristallisation à haute température :*

Les structures colloformes dans les minerais sont absentes, les exsolutions blende-chalcopryrite et les transformations hématite-magnétite étant très nombreuses.

b. *Présence de textures synsédimentaires :*

Les lentilles minéralisées observées à grande échelle sont étroitement liées, sur

de vastes étendues, à des couches cambriennes (ou siluriennes?) particulières, constituées par des alternances de bancs de calcaire marneux et de phyllites et calcschistes. Une telle formation marque le passage d'une série détritico-colloïdale à une série purement carbonatée.

A l'échelle macroscopique, la minéralisation apparaît soit massive, soit finement stratifiée. Cette dernière texture domine dans les zones à plus faible teneur, accompagnée de diverses structures nettement sédimentaires.

c. Preuves de corrélation avec des structures tectoniques :

Les amas minéralisés sont souvent localisés dans des microplis en relation avec la tectonique calédonienne stricto sensu (Pruma, 1965).

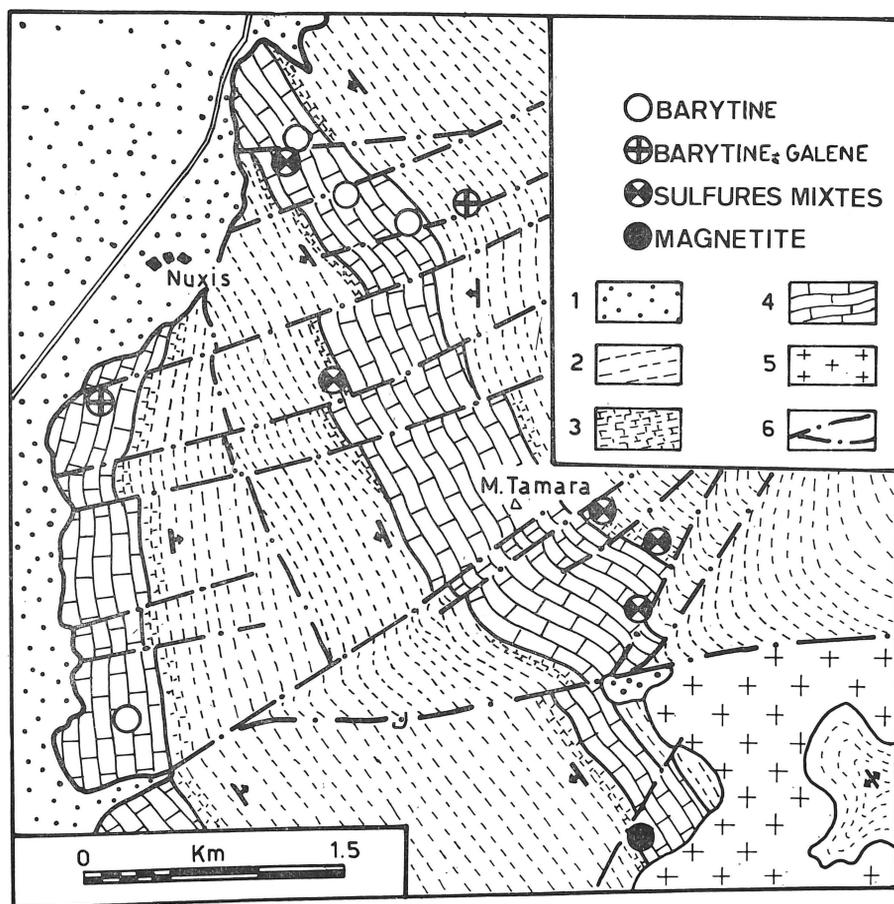


Fig. 5. — Carte géologique schématique de Monte Tamara (Sulis) (d'après Zuffardi, 1967).

- Symboles :
- 1 — couverture tertiaire et quaternaire non différenciée
 - 2 — schistes cambriens
 - 3 — formations de transition entre 2 et 4
 - 4 — calcaires et dolomies cambriennes
 - 5 — granites hercyniens
 - 6 — failles principales



Fig. 6. — Échantillon de skarn dans le Sulcis.

Les bandes minéralisées (PbS , ZnS , FeS_2) apparaissent en noir ; les silicates (essentiellement épidote avec accessoirement chlorite) apparaissent en clair.

Il faut noter la texture stratoïde, quelquefois interrompue des minéralisations et remarquer (dans la partie inférieure de la photo) que les lits sont recoupés soit par des veines à silicates néoformés, ce qui indique une contemporanéité de cristallisation des uns et des autres.

Section polie, lumière naturelle, grossissement $1\times$ (d'après Tamburrini-Zuffardi, 1967).

d. *Preuves de corrélations avec le magmatisme* (fig. 5) :

Dans cette zone, la corrélation avec les granites hercyniens apparaît très évidente : en effet des concentrations de magnétite, accompagnées de sulfures, sont présentes en bordure des batholites, où le thermométamorphisme est plus intense ; à une certaine distance, dans la zone à thermométamorphisme moyen, apparaissent exclusivement des sulfures mixtes à pyrite, pyrrhotine, chalcoppyrite, blende et galène avec accessoirement magnétite et hématite. Galène et barytine dominent à plus grande distance, là où le métamorphisme est pratiquement absent (Zuffardi, 1967).

e. *Age relatif entre minerais utiles et silicates de néoformation* :

L'étude à l'échelle micro- et macroscopique montre que les minerais métalliques



Fig. 7. — Minéralisation stratoïde de Genna Muxerru.

Les bandes obscures sont constituées de schistes graphiteux. Les lentilles interstratifiées de couleur grise, de tonalité différente, sont constituées de sulfures mixtes (FeS_2 , FeS , ZnS , CuFeS_2 , PbS en ordre de fréquence décroissante).

Il faut noter les différentes textures sédimentaires : empreintes de gravité (en haut) ; fractures néodiagénétiques (les plus grandes fractures, souvent avec allure en zig-zag) ; fractures tardodiagénétiques (les fractures plus petites, rectilignes) ; les distributions nébulitiques de sulfures dans la matrice.

Section polie, lumière naturelle, grossissement $1\times$ (d'après Zuffardi, 1965).

sont ou antérieurs ou contemporains (fig. 6) des silicates néoformés durant le thermo-métamorphisme hercynien.

Il est bien évident que les observations du point b) suggèrent un dépôt synsédimentaire, tandis que les données du point c) indiquent une corrélation entre l'actuelle distribution des minéralisations et l'orogénèse « calédonienne sensu strictu » ; d'ail-

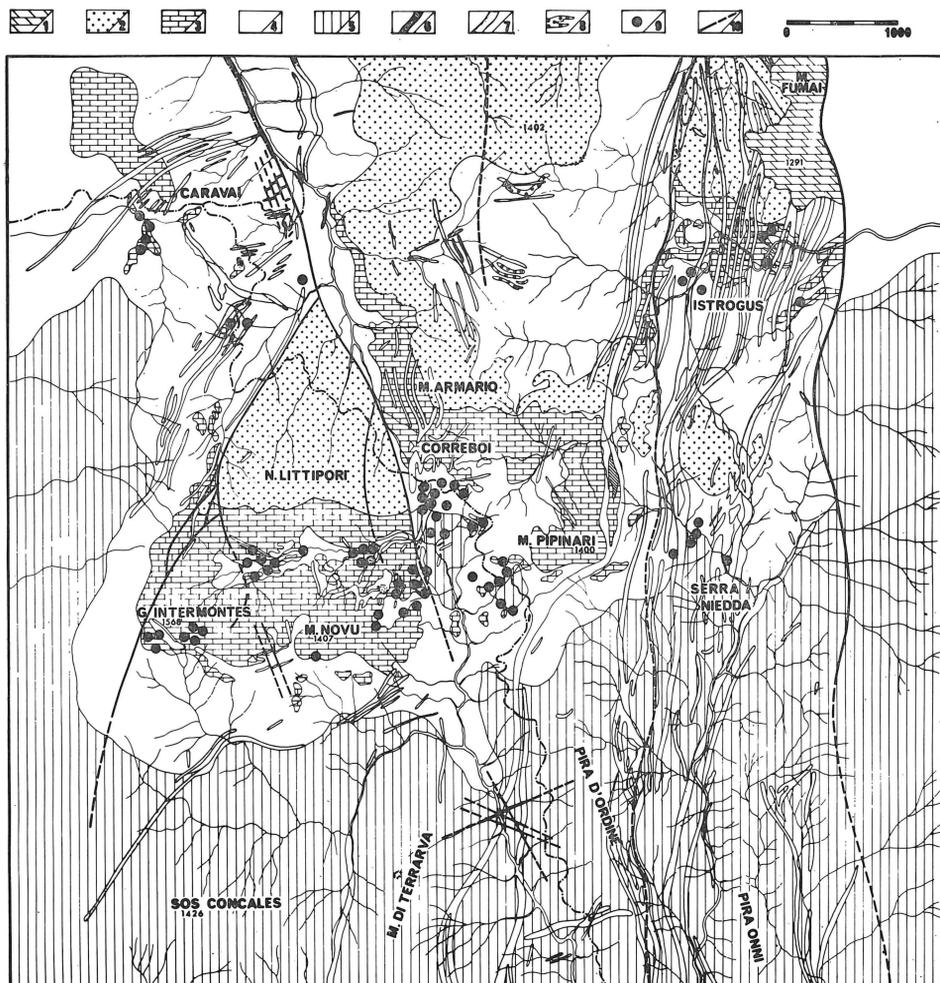


Fig. 8. — Carte géologique schématique de Correboi (d'après Baccos, dans : Zuffardi, 1967).

- Symboles :
- 1 — calcaires dolomitiques avec conglomérats à la base (Jurassique)
 - 2 — grès, quartzites phyllites gris (post-siluriens)
 - 3 — calcaires schisteux et phyllites graphiteuses (partie supérieure du Silurien moyen)
 - 4 — Phyllites grises et quartzites (partie inférieure du Silurien moyen)
 - 5 — veines de quartz (Hercynien)
 - 6 — porphyres et porphyrites (Hercynien)
 - 7 — tuffites (Calédonien stricto sensu)
 - 8 — dépôts polymétalliques stratiformes
 - 9 — failles d'âges différents (les mouvements plus récents sont alpins).

leurs, les faits mentionnés au point d) indiquent sans aucune discussion possible, leur corrélation avec le cycle magmatique hercynien.

Pour justifier l'ensemble des observations sus-mentionnées, nous proposons un cadre génétique qui comprend avant tout un dépôt originel synsédimentaire (cambrien ou silurien), généralement de basse teneur, dont l'existence serait démontrée par les structures et textures sédimentaires, illustrées au point b). Successivement on aurait eu une reconcentration des minerais utiles durant l'orogénèse calédonienne (en accord avec les données rapportées au point c), puis une recristallisation ultérieure avec transformation et recirculation par effet du thermométamorphisme hercynien, en accord avec ce qui a été dit au point d).

Il est évident que les données énoncées aux points a) et e) rentrent bien dans le cadre génétique exposé ci-dessus, pourvu que l'on retienne que les exsolutions et les autres structures et textures caractéristiques de cristallisation à haute température, doivent être interprétées non nécessairement et uniquement comme indices de température originelle dans la formation des minerais mais simplement comme indice de la plus haute température atteinte par les minerais depuis leur dépôt jusqu'à ce jour.

En d'autres mots, les exsolutions $ZnS - CuFeS_2$ peuvent se former aussi bien par l'effet de dépôts de type pneumatolytique-hydrothermal (dont ils indiquent la température initiale), que par l'effet du thermométamorphisme sur un dépôt de basse température atteint progressivement par l'onde de chaleur : dans ce cas, les structures citées représenteraient la plus haute température atteinte par la minéralisation dans une phase intermédiaire de son histoire géologique.

Avant de terminer ce chapitre, nous désirons attirer l'attention sur deux faits :

1° Il pourrait y avoir une confirmation de l'hypothèse que nous venons d'énoncer, si l'on faisait des recherches isotopiques sur les plombs et les sulfures de ces gisements ;

2° Nous rappellerons qu'un schéma génétique analogue a été proposé par S. Oksengorn (1958) pour quelques dépôts « pyrométasomatiques » français (La Loubatière, Arfons), et que ce schéma pourrait être aussi appliqué à beaucoup de dépôts lenticulaires à sulfures mixtes, encaissés dans des schistes graphiteux noirs gothlandiens, plus ou moins métamorphisés, tels que : Genna Muxerru (fig. 8) (P. Zuffardi, 1965), Correboi (fig. 7) (en partie) et Funtana Raminosa (P. Zuffardi, 1966), Sa Lilla (M. Violo, 1966b).

2.2.3. *Le gisement à Pb-barytine de Arenas-Tiny et les « minéralisations des quartzites ».*

Les données d'observation dans ces gisements sont les suivantes :

a. *Corrélation avec un horizon stratigraphique minéralisé précis :*

Les concentrations de Pb et barytine se présentent dans le calcaire cambrien karstifié, au mur d'un banc silicieux d'une épaisseur de 2 à 3 mètres, ayant les caractères d'un dépôt silicieux sédimentaire continental (« hard pan »).

Au toit de ce banc, s'observe l'Ordovicien dont les formations basales renferment des lentilles, petites et parsemées, de silice-barytine avec peu de sulfures. Cette séquence se répète presque identiquement sur toute l'extension de la discordance Cambro-Ordovicienne, où sont présents des calcaires cambriens. Ces minéralisations sont indiquées localement sous le nom de « minéralisation des quartzites » par le fait que leur caractère le plus significatif réside dans leur association constante avec le « hard pan ».

b. *Corrélation avec le magmatisme :*

A proximité du petit batholite granitique hercynien de l'Oridda, les calcaires de l'horizon minéralisé cité semblent recristallisés et contiennent localement des langues de grenatites avec accessoirement d'autres silicates néoformés. Il faut cependant observer que quelques filons quartzeux hercyniens, existant dans les mêmes zones, sont pratiquement stériles. Par contre, aucune corrélation avec le magmatisme hercynien ne semble (géographiquement) possible pour la plupart des « minéralisations des quartzites ».

c. *Indications contradictoires dans les rapports entre minéralisation et roche encaissante :*

La « minéralisation des quartzites » à la base de l'horizon mentionné se présente sous deux formes : en langues, parfois riches en minerais presque compacts, ou en mouchetures de galène dispersées, ces dernières témoignant de la contemporanéité du dépôt des « quartzites » et de la galène.

Au contraire, les minéralisations utiles de la cornéenne sont contenues dans de petites veines ou dans des espaces intergranulaires, parmi les silicates de néoformation, et se montrent ainsi postérieures à ces derniers.

Il faut dire cependant que la minéralisation utile ne s'étend pas au dehors de l'horizon stratigraphique sus-mentionné, bien qu'il ne manque pas de fractures hercyniennes ou pré-hercyniennes qui auraient pu la recevoir.

d. *Preuves de dépôt par effet d'oxydo-réduction :*

On rencontre des cavités karstiques remplies d'argile noire bitumineuse, englobant des « quartzites », des grenatites et du calcaire recristallisé ; la minéralisation consiste en cérusite emballée dans l'argile. Parmi les fractures du fond des cavités karstiques, on observe quelquefois des langues de galène de type alchifou, d'aspect frais et qui ne se prolongent en profondeur que sur quelques mètres. Elles paraissent donc reliées à la surface morphologique actuelle du calcaire cambrien et elles ne semblent pas en relation avec des surfaces isogéothermiques ou isogébaires du magmatisme hercynien.

L'hypothèse génétique qui paraît être la plus probable est celle proposée par J. P. Benz (1964-1965), selon laquelle le gisement de Arenas-Tiny se serait formé à la faveur de 3 événements successifs ; le premier aurait eu lieu durant l'émergence préordovicienne du Cambrien et aurait conduit à la formation des cavités karstiques dans le calcaire cambrien et des croûtes siliceuses ainsi qu'au dépôt sédimentaire de la barytine et de la galène.

Cet événement se serait terminé durant la formation des couches de base de l'Ordovicien. Les « minéralisations des quartzites » représenteraient sans déformation ni transformation ce premier stade.

Là où ce dépôt a subi le thermométamorphisme hercynien, il s'est « transformé » en donnant naissance aux minéralisations dans le calcaire recristallisé et dans les cornéennes, avec des remobilisations limitées de la galène.

Enfin, l'oxydation superficielle a agi sur le dépôt probablement à des époques récentes ou mêmes actuelles, reconcentrant la minéralisation avec néoformation de galène spatique.

Certains auteurs soutiennent l'idée d'une genèse hercynienne pneumatolytique hydrothermale pour ces gisements (Di Colbertado, 1958 ; Uras, 1957) : mais le caractère évident de dépôt sédimentaire des « quartzites » (et donc des sulfures et de la barytine qui y sont contenus) et l'absence de toute corrélation avec le magmatisme

hercynien d'une grande partie de ces minéralisations sont en contradiction avec cette hypothèse.

3. LES GISEMENTS POLYMÉTALLIQUES DU GOTHLANDIEN MOYEN

La genèse de ces gisements qui, d'après nous est purement sédimentaire selon des schémas de la théorie d'Erhart, mérite une attention particulière.

Les données d'observation dont nous disposons sont les suivantes :

a. Preuves de « congruence » dans les corrélations géométriques entre minéralisation et roches encaissantes :

Les relations géométriques entre les amas minéralisés et les roches encaissantes sont généralement « congruentes » (dans le sens de G. G. Amstutz) à toute échelle. Les gisements miniers, considérés dans leur ensemble, sont presque parfaitement stratiformes. Les relations « incongruentes » ne sont observées que très rarement : elles existent localement et surtout dans les zones plus fortement tectonisées.

La distribution des minerais dans chaque dépôt est étroitement « congruente » ou à la stratification ou aux structures diagénétiques. Dans les dépôts des zones non tectonisées on relève un caractère très général : sulfures stratifiés en minces lits de composition différente. Cette structure difficile à expliquer sur la base d'une épigénèse, semble être plus probablement sédimentaire.

Dans les zones fortement tectonisées ou dans les zones où le thermométamorphisme est plus poussé, ce dispositif tend à disparaître et est remplacé par des structures épigénétiques à petite ou moyenne échelle ou même par des structures porphyroblastiques.

b. Corrélation des minéralisations avec des horizons stratigraphiques précis :

Dans leur ensemble, les minéralisations sont uniquement localisées dans le complexe à schistes graphiteux du Gothlandien moyen, c'est-à-dire dans une formation ayant une épaisseur de l'ordre de 200 mètres et couvrant une superficie de plusieurs centaines de Km².

Mais la corrélation avec la stratigraphie apparaît plus étroite encore si l'on examine ses relations avec la composition minéralogique des lentilles minéralisées. Celle-ci est en effet différente dans les différents groupes de lentilles, ce qui est particulièrement évident si on compare la composition des lentilles qui apparaissent à différents niveaux dans une même série. Les lentilles du même horizon sont plutôt homogènes, soit en ce qui concerne l'association des minerais, soit la paragenèse sur de très longues distances horizontales.

Cette donnée d'observation est évidemment en faveur d'un dépôt synsédimentaire et elle est en opposition avec une hypothèse épigénétique.

c. Corrélations avec le magmatisme :

Ces corrélations sont très ambiguës. Souvent on relève une intensification du thermométamorphisme hercynien en liaison étroite avec les lentilles minéralisées ; cette observation a suggéré à plusieurs auteurs une hypothèse pneumatolytique hydrothermale. Cependant, on n'observe pas de traces de voies d'alimentation qui pourraient confirmer cette hypothèse.

Parfois il existe des roches effusives de natures variées à proximité des lentilles, mais souvent celles-ci existent dans des zones où il n'y a aucune trace d'activité volcanique.

d. *Corrélation avec des faciès lithologiques particuliers :*

En plus de l'étroite corrélation avec des schistes graphiteux noirs, c'est-à-dire avec un milieu réducteur de sédimentation, on note que les lentilles minéralisées existent aussi dans des bancs carbonatés intercalés dans la série graphiteuse ou en association avec des lentilles de lydienne noire.

Cela signifie donc que la minéralisation est liée aux faciès carbonatés et métagénétiques de la série des dépôts de V. M. Goldsmith et A. Lombard.

e. *Corrélation avec la paléogéographie :*

Là où il a été possible de reconstituer, avec une approximation suffisante, la paléogéographie de l'Ordovicien-Gothlandien (Sa Lilla et surtout Correboi), on a constaté que les lentilles minéralisées apparaissent surtout le long des lignes de rivage, de préférence dans les zones de golfe et de paléo-hauts-fonds.

f. *Preuves de cristallisation des minerais à haute température :*

Les structures colloformes sont absentes dans les minerais qui se présentent très souvent bien cristallisés avec minéraux de grande taille (jusqu'à quelques cm. de côté).

Nombreuses sont aussi les exsolutions blende-chalcopyrite.

g. *Preuves d'âge relatif entre cristallisation des minerais et silicates de néoformation :*

Si parfois les minerais remplissent les espaces intergranulaires des silicates néo-

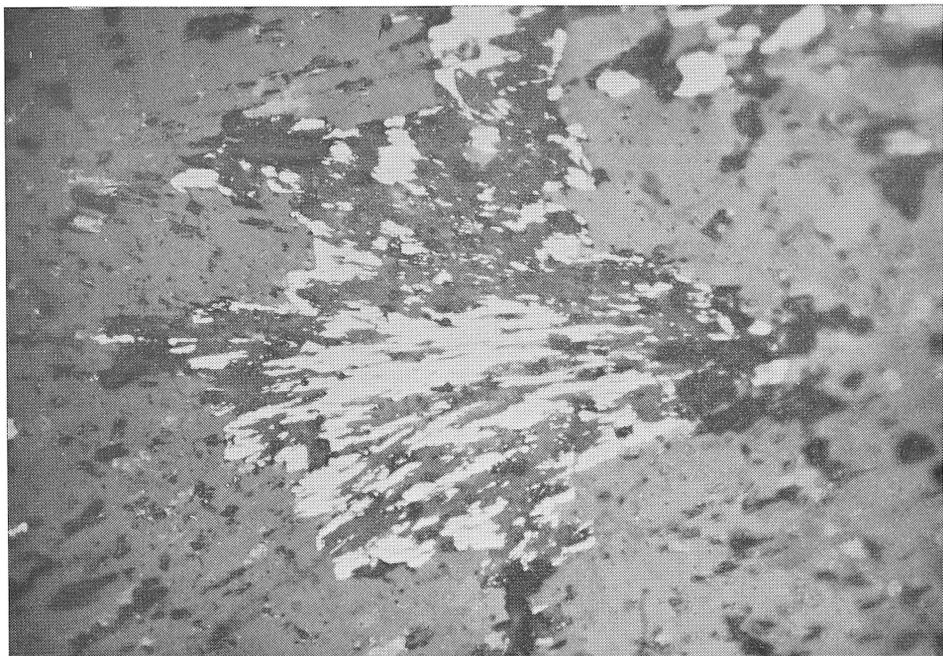


Fig. 9. — Exemple de cristallisation péné-contemporaine des sulfures et des silicates néoformés dans le Gothlandien.

Amphibole (gris foncé) et galène (blanche) compénétrés et emballés dans une matrice silicatée homogène. Échantillon provenant d'un skarn silurien de Sa Lilla.

Section polie, lumière naturelle, grossissement 75 × (d'après Violo, 1966b).

formés, dans d'autres cas au contraire, les silicates néoformés s'introduisent dans les minerais. Enfin, quelquefois, les minerais sont étroitement associés à des individus silicatés (par ex. à une amphibole, fig. 9) ; ils en occupent les surfaces cristallographiques comme si les deux avaient cristallisé ensemble, le silicate ayant orienté, selon sa structure, le dépôt de minerais.

Nous pensons que la genèse de ces gisements doit être cherchée dans une pré-concentration pédologique des métaux (et ceci serait en accord avec la donnée d'observation d), ou dans une liaison étroite avec des émanations volcaniques sous-marines (ce qui serait en accord avec plusieurs cas cités au point c). A cette première phase, aurait succédé un dépôt sédimentaire (condition a) en milieu favorable, tant du point de vue chimico-physique (condition b) que paléogéographique structurale (condition e).

Le métamorphisme et le magmatisme hercynien auraient donc succédé à la mise en place des lentilles minéralisées et en auraient fait recristalliser les minerais (conditions f et g), en provoquant de petits réarrangements et des migrations locales, toutefois très limitées. Même dans ce cas, comme pour les gisements polymétalliques du Sulcis, nous retenons que les preuves de cristallisation à haute température indiquent non pas les températures de dépôt mais la plus haute température atteinte durant le thermométamorphisme qui a influencé la minéralisation bien après son dépôt.

Du fait que le thermométamorphisme a eu des effets plus intenses dans les bancs minéralisés que dans les bancs stériles, il faudrait déduire que — dans les mêmes conditions — la présence de minerais métalliques dans les roches favorise leur métamorphisme.

Avant de conclure, signalons que le tonnage de ces lentilles est généralement faible (de l'ordre de 10.000 tonnes) ; dans le cas de Funtana Raminosa seulement, les lentilles atteignent quelques centaines de milliers de tonnes.

4. LA MÉTALLOGENÈSE SARDE A BARYTINE

Dans cette métallogenèse on reconnaît des exemples évidents de permanence et de polygénétisme, mais pas d'exemples de transformisme. Peut-être cela est-il dû au fait que le baryum a une mobilité plus élevée que le plomb, le zinc, le cuivre et le fer et que, plutôt que de se reconcentrer à faible distance du lieu de préconcentration originel, il tend à migrer plus loin, rendant ainsi problématique la recherche des liaisons.

Mais laissons, du moins pour le moment, ces considérations de caractère théorique, et venons-en à la description des faits relatifs à la métallogenèse sarde à barytine.

Jusqu'à présent, on admettait que les minéralisations en barytine de la Sardaigne étaient toutes épigénétiques hypogènes, les unes liées à l'orogénèse hercynienne et les autres, à l'orogénèse alpine. Nous pensons au contraire qu'il existe 11 types de dépôt s'échelonnant du Cambrien au Quaternaire, 4 d'entre eux étant épigénétiques et 7 synsédimentaires. Parmi les épigénétiques, 3 sont en toute probabilité hypogènes (types d, g, h, — Tabl. II), et un est certainement supergène (type c — Tabl. II et fig. 10 et 11). Pour deux des 7 synsédimentaires, nous ne pouvons affirmer avec suffisamment de certitude s'il s'agit de dépôts effusifs-sédimentaires ou sédimentaires purs (type a, b, — Tabl. II) ; pour les cinq autres, nous sommes pratiquement sûrs de leur classification parmi les supergènes (types e, f, i, l, m — Tabl. II).

Le tableau II résume les caractéristiques générales les plus significatives des différents types de minéralisation.

En commentaire de ce tableau, nous désirons faire ressortir que dans l'état actuel de nos connaissances, la plupart des réserves vérifiées appartiennent aux gisements en colonnes ou filoniens (1.600.000 tonnes sur un total de 2.850.000), lesquels ont aussi fourni, jusqu'à présent, la plus grande partie de la production (600.000 tonnes sur un total de 850.000).

TABL. II

CLASSIFICATION NON GÉNÉTIQUE DES GÎTES SARDES DE BARYTINE ET LEURS CARACTÈRES GÉNÉRAUX							
TYPE	ROCHE ENCAISSANTE		FORME DES GISEMENTS	GÈNESE (VOIR TABL I)	LIAISON AUX STRAT.	TONNAGE DES CONCENTRÉS	
	ÂGE	LITHOLOGIE				PRODUITS	RESERVES PROUVÉES
m	QUATERNAIRE	TERRAINS ELUVIAUX OU ALLUVIAUX	BANCS	6	OUI	100.000	200.000
l	MÉSO- CÉNOZOÏQUE	CONGLO- MÉRATS	BANCS	5	OUI	50.000	50.000
i	PERMIEN? CARBONIF.?	POUDINGUES GRÈS	BANCS	4	OUI	0	?
h	PERMIEN- "POST- SILURIEN"	PORPHYRES SCHISTES	FILONS	10?	NON	?	500.000
g	"POST- SILURIEN"	SCHISTES	FILONS	9	NON	100.000	100.000
f	ORDOVICIEN BASAL	POUDINGUES GRÈS	LENTILLES BANCS	3	OUI	20.000	100.000
e	CAMBRO- ORDOVICIEN	"QUARTZITES"	LENTILLES	3	OUI	20.000	500.000
d	CAMBRIEN	CALCAIRES DOLOMIES CALCSCHISTES SCHISTES	FILONS COLONNES	9?	NON	500.000	1000.000
c	CAMBRIEN	CALCAIRES SILICIFIÉS	CAVITÉS KARSTIQUES	7 8?	OUI	50.000	300.000
b	CAMBRIEN	QUARTZITES..	LENTILLES	2	OUI	10.000	100.000
a	CAMBRIEN	CALCAIRES	PETITES LENTILLES	1	OUI	100	?

Ceci est dû au fait que jusqu'à présent — dans la certitude que l'on avait que l'unique possibilité génétique pour la barytine sarde était l'hydrothermalisme — on a uniquement dirigé les recherches vers les gisements qui — par leur forme —

pouvaient être encadrés dans un tel schéma génétique. De ceci dérivait l'intense intérêt vers les explorations des filons et des colonnes. Les gisements d'autres types (ex. : remplissages karstiques, minéralisation des quartzites, dépôts éluvial — alluvial) étaient partiellement connus, mais considérés comme des singularités ; c'est pourquoi les explorations dirigées vers ces gisements ont été conduites avec parcimonie.



Fig. 10. — Remplissage de barytine (matériaux rubannés clairs et gris sur lesquels est appuyé le marteau) d'une cavité karstique. Zone de Monte Sa Bagattu (d'après Brusca-Tamburrini, 1967).

Actuellement, en se basant sur les études les plus récentes, on a tendance à attribuer une grande importance aux possibilités génétiques synsédimentaires et supergènes et on conduit activement des explorations pour la recherche de gisements stratoïdes et de gisements liés au karst. Les résultats obtenus jusqu'à présent sont très encourageants : de nouvelles réserves essentiellement constituées de remplissages karstiques et de gisements liés à des zones d'exsoudation (types b, c, e, f, i), viennent d'être mises en évidence.

Il faut donc retenir que les tonnages rapportés dans le tableau II ne reflètent

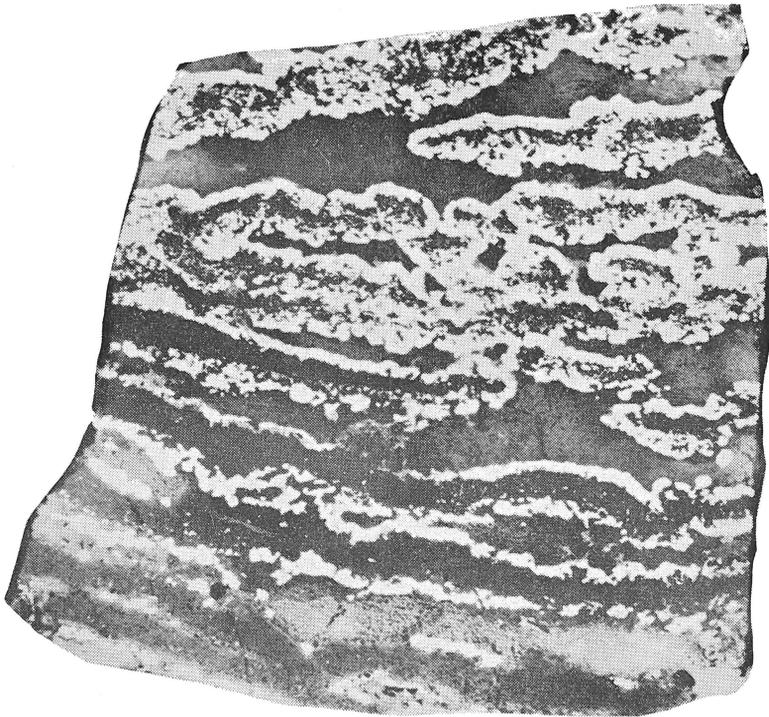


Fig. 11. — Échantillon poli à la main d'un remplissage de barytine et de galène d'une cavité karstique (blanc : galène ; gris : barytine ; noir : silice).
Section polie, lumière naturelle, grossissement 2× (d'après Brusca-Tamburrini, 1967).

pas la situation réelle des possibilités minières des différents types de dépôts de barytine. Il semble, en effet, probable que les chiffres relatifs aux gisements stratiformes (en particulier ceux de type b, c, e, f, i) soient sous-estimés.

*Université de Cagliari
Institut des Gîtes minéraux.*

BIBLIOGRAPHIE

- [1] AMSTUTZ, G. G., 1962. — L'origine des gîtes minéraux concordants dans les roches sédimentaires. *Chronique des Mines*, Paris.
- [2] BELEVCEV, I. M., 1959. — The role of metamorphic processes in ore formation. *Geol. Zh. Ukrain.*, 19, N. 4.
- [3] BENZ, J. P., 1963-1964. — Le gisement plombo-zincifère de Arenas (Sardaigne). Conférence tenue à l'Associazione Mineraria Sarda, avril 1963. Et : Travaux du Laboratoire des Sciences de la Terre à l'École des Mines de Nancy, avril 1964.
- [4] BENZ, J. P., 1965. — Nouvelles observations sur le gisement d'Arenas. Symposium A.M.S., Cagliari-Iglesias.
- [5] BERNARD, A., 1958. — Contribution à l'étude de la Province métallifère Sous-Cénevole. Thèse Fac. Sciences, Nancy.
- [6] BERNARD, A., 1966. — Notions de métallogénie sédimentaire. Colloque sur les gisements stratiformes de plomb, zinc et manganèse du Maroc (2-14 mai, 1962). Service Géologique du Maroc.

- [7] BRUSCA, C., TAMBURRINI, D., 1967. — I karst del penepiano ercinico e le loro mineralizzazioni a galena e barite (Iglesiente Sardegna). *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [8] BRUSCA, C., PRETTI, S., TAMBURRINI, D., 1967. — Le mineralizzazioni delle coperture di M.te Sa Bagattu (Iglesiente-Sardegna). *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [9] CALVINO, F., 1961. — Mineralizzazioni filoniane di età alpina in Sardegna. Barite di Santoru e fluorite di M.te Cardiga. *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [10] DESSAU, G., 1937. — Studi sulla miniera di Funtana Raminosa (Sardegna). *Periodico di Mineralogia*, volume VIII, n° 2, Roma.
- [11] DI COLBERTALDO, D., 1958. — Il giacimento piombo-zincifero di Arenas nell'Iglesiente. *Rendiconti della S.M.I.*, anno XIV, Pavia.
- [12] DI COLBERTALDO, D., 1965. — Osservazioni geologico-minerarie e genetiche sul giacimento a Pb-Zn di Pira Roma (Buggerru-Sardegna). *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [13] GOLDSCHMIDT, V. M., 1958. — Geochemistry. Oxford University Press.
- [14] GRAY, A., 1958. — The future of mineral exploration. *Bull. Inst. Miner. Metal.*, 68.
- [15] JENSEN, M. L., DESSAU, G., 1966. — Ore deposits of south-western Sardinia and their sulfur isotopes. *Econ. Geol.*, 61, n° 5.
- [16] LOMBARD, A., 1956. — Géologie Sédimentaire : les séries marines. Masson & C.
- [17] MARCELLO, A., SALVADORI, I., ZUFFARDI, P., 1965. — Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni nel Cambrico Sardo. Nota II — I giacimenti di Campo Pisano e Funtana Perda. *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [18] MARCELLO, A., VALERA, R., 1965. — Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni nel Cambrico Sardo — Nota V. La zona del Marganai. *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [19] MARMO, V., 1960. — On the origin of ores. *Neues Jahrbuch Miner.*, 94.
- [20] MUENCH, W., SIEDBRAT, 1961. — Geologische Untersuchungen in Raum von Iglesias (Sud West Sardinien). *Zeitschr. Erzbergbau Metallh.*
- [21] NICOLINI, P., 1962. — L'utilisation des données sédimentologiques dans l'étude et la recherche des gisements stratiformes. Établissement des courbes prévisionnelles. *Chronique des Mines*.
- [22] OGNIBEN, G., 1959. — Le mineralizzazioni metallifere di Correboi (Nuoro-Sardegna). Vol. XXI, Memoria Istituto di Geologia e Mineralogia dell'Università di Padova.
- [23] OKSENGORN, S., 1958. — Étude géologique et métallogénique de la région de la Loubatière (Aude) et d'Arfons (Tarn). Thèse Fac. Sciences, Paris.
- [24] PRETTI, S., SALVADORI, I., 1965. — Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni del Cambrico Sardo — Nota IV : La zona di Candiazzus. *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [25] PRETTI, S., VIOLO, M., 1966. — Tentativi di correlazione fra strutture cristalline e tettoniche. *Symposium internazionale giacimenti Alpi*.
- [26] PRETTI, S., 1967. — Contributo alla conoscenza dei giacimenti stratoidi polimetallici in area metamorfica. Il giacimento di Parredis (Cagliari-Sardegna). *Rend. A.M.S.*, Iglesias.
- [27] PRETTI, S., TAMBURRINI, D., 1967. — Le mineralizzazioni di Monte Arcu Sa Gruxi. *Rend. A.M.S.*, Iglesias.
- [28] PRUNA, V., 1965. — Sulla tettonica degli adunamenti a solfuri nella zona delle alternanze e nei calcari scistosi del Cambrico (Sulcis, Sardegna Sud-Occidentale). *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [29] ROUTHIER, P., 1963. — Les gisements métallifères. Masson & C., Paris, pp. 375-785 et 1787-1220.
- [30] SALVADORI, I., 1962. — Su alcune particolari mineralizzazioni del Sulcis (Sardegna Sud Occidentale). *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [31] SCHNEIDER, H. J., 1963. — Neue Ergebnisse zur Stoffkonzentration und Stoffwanderung in Blei-Zink Lagerstätten der nördlichen Kalkalpen. *Forsch. Mineral.*, 32.
- [32] SOLA, L., 1968. — Contributo alla conoscenza dei giacimenti stratoidi polimetallici in area metamorfica. Il giacimento di Perda S'Oliu (Cagliari-Sardegna). *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [33] SULLIVAN, C. J., 1948. — Ore and granitisation. *Econ. Geol.*, 43.

- [³⁴] SULLIVAN, C. J., 1967. — Heat and temperature in ore deposition. *Econ. Geol.*, 52.
- [³⁵] TAMBURRINI, D., URAS, I., 1965. — Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni del Cambrico Sardo : la zona di M.te Flacca. *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [³⁶] TAMBURRINI, D., VIOLO, M., 1965. — Il giacimento a baritina di M.te Barega-M.te Arcau (Iglesiente-Sardegna). *La ricerca scientifica. Rend. A.*, Vol. 8, n. 4, Roma.
- [³⁷] TAMBURRINI, D., URAS, I., 1967. — « Le mineralizzazioni a baritina della zona di M.te Ega (Sulcis-Sardegna). *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [³⁸] TAMBURRINI, D., ZUFFARDI, P., 1967. — Ulteriori sviluppi delle ipotesi sulla metallogenese sarda. *Giornata di studi geominerari*. Agordo.
- [³⁹] TAUPITZ, K. C., 1954. — Über Sedimentation, Diagenese, Metamorphose, Magnetismus und die Entstehung der Erzlagestätten. *Chemie der Erde*, 17.
- [⁴⁰] URAS, I., 1957. — Il giacimento Piombifero di Tiny-Arenas. *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [⁴¹] URAS, I., 1965. — Contributo alla conoscenza del calcare blendoso. *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [⁴²] VIOLO, M., 1965. — Contributo alla conoscenza delle mineralizzazioni nel Cambrico Sardo : la zona di M.te Onixeddu-M.te Uda. *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [⁴³] VIOLO, M., 1966. — Contributo alla conoscenza dei giacimenti stratoidi polimetallici in area metamorfica. Il giacimento di Sa Lilla (Cagliari-Sardegna). *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [⁴⁴] VIOLO, M., 1966a. — Studi sperimentali sulla deposizione della blenda e della galena. Nota III. *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [⁴⁵] VIOLO, M., 1966b. — Contributo alla conoscenza dei giacimenti stratoidi polimetallici in area metamorfica : Il giacimento di Sa Lilla (S. Vito, Cagliari, Sardegna). *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [⁴⁶] ZUFFARDI, P., 1962. — Fenomeni di ricircolazione nel giacimento di Montevecchio e l'evoluzione in profondità della sua mineralizzazione. *Rendiconti A.M.S.*, Iglesias.
- [⁴⁷] ZUFFARDI, P., 1965. — Sulla composizione isotopica del piombo di alcune galene sarde, e il suo significato geogiacimentologico. *Symposium A.M.S.*, Cagliari-Iglesias.
- [⁴⁸] ZUFFARDI, P., 1966. — The genesis of stratiform deposits of Lead-Zinc and of Barite in Sardinia. *Symposium Problem of the genesis of stratiform deposits of Lead-Zinc, Barite, Fluorite*, New-York.