

Minéralisations Siluro-Ordoviciennes d'Espagne (Essai de Synthèse)

Par GEORGES MONSEUR, Madrid*)

Abstract

A first synthesis on the Silurian-Ordovician mineral deposits of Spain (uneconomic and economic deposits) is presented taking the most significant geological characteristics into account towards an understanding of the metallogenic processes.

The examination of features and genetic interpretations proposed by different authors lead to a synthetic table including: the stratigraphic, geographic and lithologic location of the minerals, the processes (plutonic, volcanic, metamorphic, tectonic, paleogeographic) which have controlled the formation of the deposits, the types of mineral deposits, and their paragenesis.

At the end of the study, tentative comparisons are made between a few Silurian-Ordovician ore deposits of Spain and France. This comparisons will serve as a starting point for a joint project.

Résumé

Une première synthèse sur les minéralisations siluro-ordoviciennes d'Espagne (indices ou gîtes) est présentée en tenant compte des caractéristiques géologiques les plus significatives à même d'éclairer les processus métallogéniques.

L'examen des faits et des interprétations génétiques proposées par divers auteurs conduit à un document synthétique où figurent: la localisation stratigraphique, géographique et lithologique des concentrations et indices; les processus (magmatisme, volcanisme, métamorphisme, tectonique, paléogéographie) qui ont contrôlé la formation des dépôts; les types de gisements et leurs paragenèses.

Au terme de l'étude, en guise d'introduction à un projet de travail en collaboration, de brefs rapprochements sont établis entre quelques minéralisations siluro-ordoviciennes d'Espagne et de France.

Zusammenfassung

Es wird eine erste Synthese der ordovizisch-silurischen Vererzung Spaniens gebracht, wobei die charakteristischen geologischen Merkmale zur Klärung der Metallogenese dargestellt werden.

Die Überprüfung der Beobachtungen und die genetischen Deutungsvorschläge verschiedener Autoren führen zu einer Zusammenfassung, die folgende Faktoren erfaßt: die stratigraphische, geographische und lithologische Stellung der Lagerstätten und der Vorkommen, die erzbildenden Vorgänge (Magmatismus, Vulkanismus, Tektonik, Paläogeographie); die Lagerstättentypen und die Paragenese.

Am Schluß wird als Einführung in ein Projekt gemeinsamer Arbeit eine Beziehung einiger silurisch-ordovizischer Lagerstätten Frankreichs und Spaniens angedeutet.

*) Prof. G. MONSEUR, Département de Géologie et de Géochimie, Faculté des Sciences, Université Autonome, Canto Blanco, Madrid 34, Espagne.

I. Introduction

La présente étude a pour objet l'examen des différentes minéralisations — d'importance économique très inégale (indices ou gisements) — distribuées dans les terrains siluro-ordoviciens appartenant principalement au Massif et à la Cordillère ibérique, étroitement unis, mais sans continuité d'affleurements.

Nous envisagerons aussi bien gîtes qu'indices minéralisés, ces derniers pouvant acquérir ailleurs, dans le même horizon stratigraphique, un intérêt minier.

Bien que les dépôts cambriens et ordoviciens participent à un même cycle du point de vue sédimentaire et orogénique, nous avons séparé volontairement les minéralisations cambriennes des minéralisations ordoviciennes de manière à pouvoir établir ultérieurement des comparaisons avec des minéralisations d'autres pays localisés respectivement dans les deux systèmes précités.

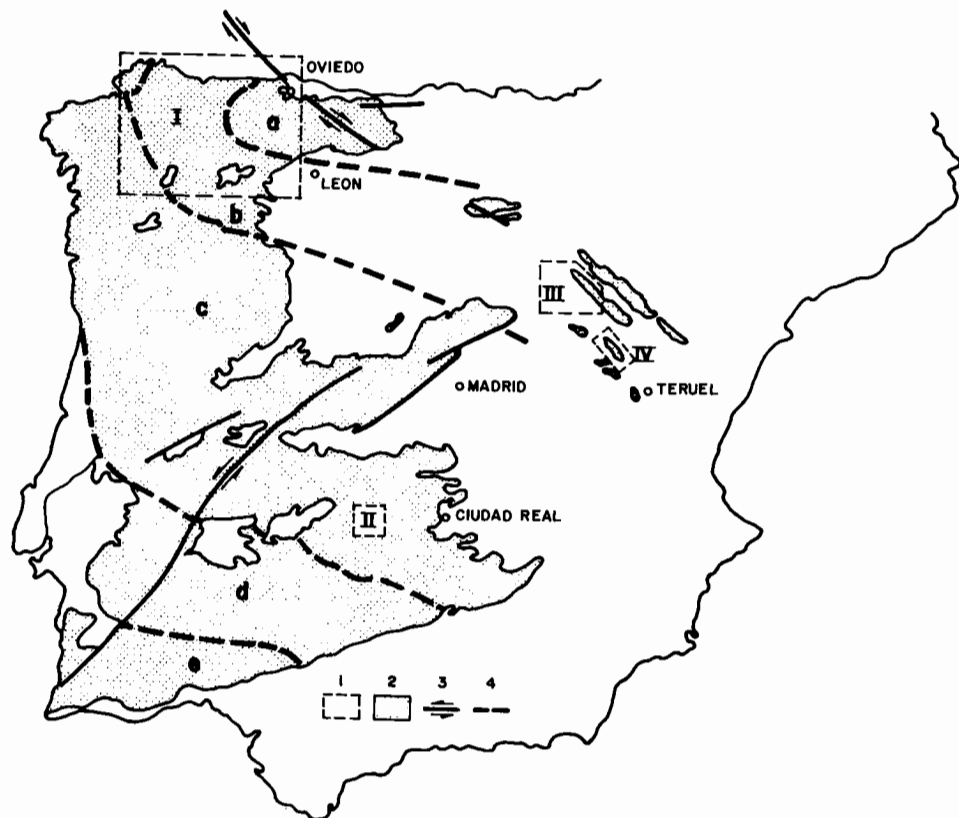


Fig. 1 — Carte de situation

1. Différentes régions examinées: I. Nord-Ouest; II. Almaden; III. Cordillère Ibérique — Branche occidentale; IV. Cordillère Ibérique — Sierra Menera; 2. Cristallin et Paléozoïque des Variscides ibériques; 3. Failles; 4. Limites entre zones allongées parallèlement à la direction des structures hercyniennes: a) zone Cantabrique; b) zone des Asturies occidentales et du Leon; c) zone centrale ibérique; d) zone de l'Ossa Morena; e) zone Sud Portugaise, selon la nomenclature adoptée par JULIVERT,

FONTBOTE, RIBEIRO et CONDE, 1974.

Les différentes régions examinées s'intègrent dans un certain nombre de zones (LOTZE, 1945; PARGA, 1970; JULIVERT, FONTBOTE, RIBEIRO et CONDE, 1974) correspondant à une série d'unités allongées parallèlement à la direction des structures hercyniennes et présentant un ensemble de caractéristiques géologiques; de ces dernières, seules les plus significatives, à même d'éclairer les processus métallogéniques, seront retenues.

Les études stratigraphiques apportant chaque jour de nouvelles précisions, les minéralisations s'intégrant dans des modèles génétiques toujours plus proches de la réalité, les nombreuses recherches minières actuellement en cours devant conduire à d'heureuses découvertes, il est évident que cette première synthèse doit être considérée comme un outil de travail susceptible de corrections et d'améliorations dans un proche avenir.

2. Mineralisations du massif iberique

2.1. REGION DU NORD-OUEST (fig. 1—I)

1. Gisements de fer

Ces gisements sédimentaires étudiés par de nombreux auteurs (DORPINGHAUS, 1914; ADARO et JUNQUERA, 1916; HERNANDEZ SAMPELAYO, 1922, 1935a, 1935b, 1948, MARIN, 1949; FEBREL, 1957; RECHENBERG, 1957; PASTOR MENDIVIL et SUAREZ FEITO, 1961; SUAREZ FEITO, 1963; MARTIN MOYANO, 1966; I. G. M. E., 1972b, 1975a; LUNAR HERNANDEZ, 1975), et localisés dans l'Ordovicien moyen, apparaissent au sein de deux arcs allongés, parallèles — interne et externe — qui suivent grossièrement les directions hercyniennes et qui appartiennent au géosynclinal hespérique (fig. 2). De fortes variations de faciès et de puissances affectent l'Ordovicien moyen qui correspond à un épisode euxinique (JULIVERT, MARCOS et TRUYOLS, 1972).

L'arc interne occidental constitue le flanc oriental de l'anticlinal «del Ollo de Sapo» tandis que l'arc externe forme le flanc occidental de l'anticlinal du Narcea; entre ces deux arcs s'observe le dôme précambrien de Lugo (MATTE, 1968; CAPDEVILA, 1965, 1969; PARGA, 1969, 1970; MARCOS, 1973).

Dans l'arc externe, le métamorphisme régional se traduit par un faciès à chlorite tandis que dans l'arc interne le métamorphisme est de type mésozonal à biotite, almandin et staurolite (CAPDEVILA, 1967).

En certains endroits, par suite d'intrusions granitiques, un métamorphisme de contact — avec comme faciès les cornéennes albito-épidotitiques — se superpose au métamorphisme régional.

Les gisements de fer se localisent dans des roches détritiques variées (poudingues, quartzites, schistes, . . .) mais généralement dans une série formée de schistes noirs («Schistes de Luarca») qui peuvent contenir localement quelques niveaux de quartzites et de couches psammitiques.

Ces schistes — très riches en matières organiques et en sulfures de fer et présentant un même faciès dans tout le Nord-Ouest de la Péninsule ibérique — sont constitués essentiellement de quartz et de micas blancs avec zircon, feldspath, chlorite (parfois abondante), sphène, graphite, tourmaline, etc. . . ., comme éléments accessoires. Toutefois, là où s'est développé un métamorphisme de contact par suite d'intrusions granitiques postérieures, apparaissent grenat, biotite et parfois épidote et amphibole.

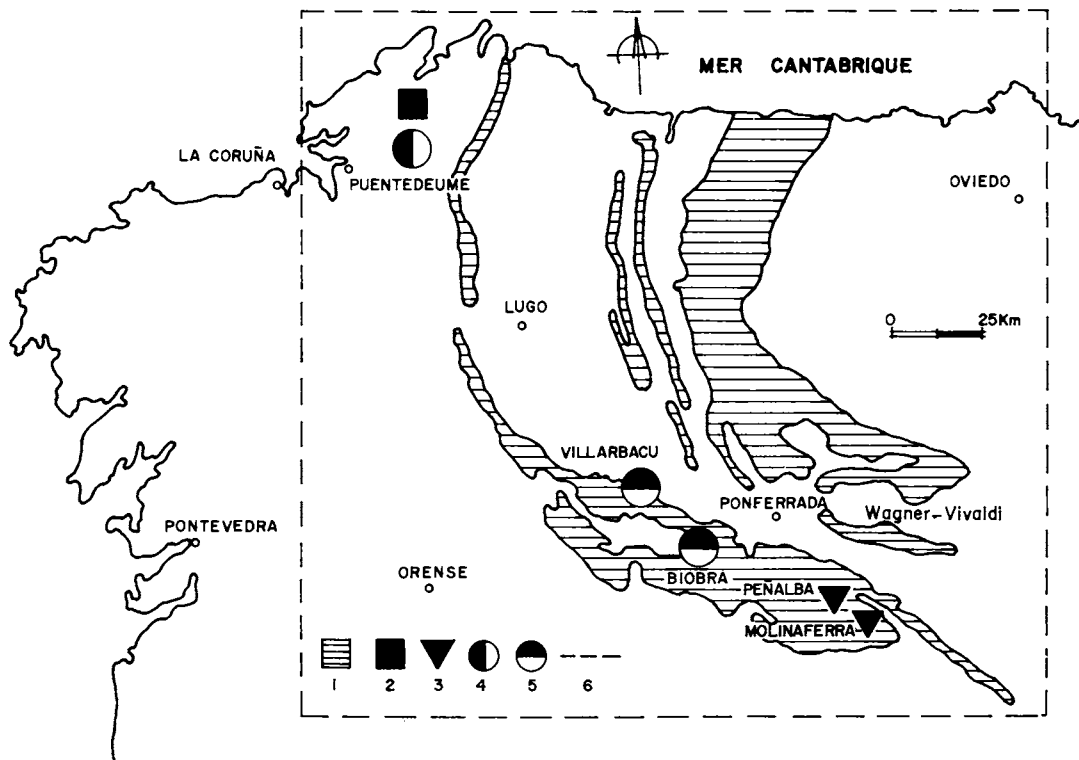


Fig. 2 — Localisation

- a) de la province métallogénique ferrifère, sédimentaire (Llandeilien) (D'après I. G. M. E., 1972b)
 b) des dépôts en antimoine et indices de plomb (Asghillien) (D'après GUILLOU, 1969, 1971 et I. G. M. E., 1972d)
 c) des minéralisations en pyrite-cuivre (Silurien supérieur) (D'après I. G. M. E., 1972a; FERNANDEZ POMPA et HUERGA RODRIGUEZ, 1975)
 dans les terrains siluro-ordoviciens du Nord-Ouest de l'Espagne.
 (1. fer sous forme d'oxydes, sidérite, chlorite, ...; 2. pyrite; 3. plomb; 4. cuivre; 5. antimoine; 6. limite de la région envisagée I).

Dans la partie méridionale de l'arc externe, la série schisteuse comporte les trois unités suivantes :

- une inférieure constituée de schistes noirs graphiteux avec chlorite
- une intermédiaire formée de schistes gréseux gris avec alternance de lits pélitiques et psammitiques et dans laquelle apparaissent les couches de fer localisées à environ 100 m de la base de la série
- une supérieure composée de schistes gris satinés.

En particulier, dans les concessions minières Wagner, Vivaldi et San José (Pontferrada) — qui dans le Nord-Ouest de l'Espagne sont les seules où se maintient une activité extractive importante — le quartzite armoricain (Arenigien), en couches puissantes, est suivi des dépôts ferrifères intercalés dans des schistes (avec faune du Llandeilien : HERNANDEZ SAMPELAYO, 1942; ALMELA et DEL VALLE DE

LERSUNI, 1963; VELANDO et MARTINEZ DIAZ, 1973; PEREZ ESTAUN, 1975) qui alternent avec des quartzites.

Au-dessus de cette série, on observe un second niveau de quartzites — moins puissants, de caractéristiques différentes à celles du quartzite armoricain et contenant des intercalations de schistes noirs (avec fossiles du Llandoverien: ALMELA et DEL VALLE DE LERSUNI, 1963; PEREZ ESTAUN, 1975) — que l'on rattache à la base du Silurien (Gothlandien).

D'une manière générale, dans tout le Nord-Ouest de l'Espagne, les gisements se présentent en couches plus ou moins continues ou en lentilles interstratifiées se répétant un grand nombre de fois.

La répétition des couches est due à ce qu'elles constituent des matériaux fortement tectonisés, replissés et faillés; généralement, par suite du grand développement de séries schisteuses, les plis tendent à être réguliers.

Parmi les minéraux constitutifs des dépôts (magnétite, hématite, sidérite, chlorite, ...) les carbonates et les silicates prennent un grand développement et la structure oolithique du minerai se manifeste nettement. Les oolithes — de dimension assez uniforme — sont constituées par des couches concentriques alternantes de sidérite, chlorite et magnétite qui ne présentent pas toujours la même séquence zonaire du fait vraisemblablement de faibles variations dans les conditions de dépôt.

La magnétite, minéral du plus grand intérêt économique, prédomine dans les zones affectées thermiquement par le granite et ne constitue que localement la presque totalité de la minéralisation. Généralement, elle participe partiellement aux couches des oolithes ou remplit des fissures postérieures; toutefois dans les zones plus riches en magnétite, de grand cristaux se développent dans la matrice carbonatée cimentant les oolithes.

La sidérite, constituant très important dans les zones dépourvues de métamorphisme de contact, se présente en partie dans les couches des oolithes et moins fréquemment comme noyau de ces dernières; elle apparaît aussi comme matrice entre oolithes.

Les chlorites (chamosite, thuringite) forment presque toujours le noyau des oolithes bien qu'elles fassent aussi partie de leurs couches concentriques et apparaissent parfois en grandes plages dans la matrice.

Les constituants accessoires de ces gisements ferrifères sont: graphite; pyrite; chalcoppyrite, marcassite, arsenopyrite, pyrrhotine; phosphore sous forme d'apatite ou en masses coloformes dans la matrice; minéraux de titane avec rutilite au centre et passant à ilménite vers les bords. Les minéraux de titane apparaissent avec une plus grande fréquence dans les minerais riches en sidérose.

La pyrrhotine est un constituant principal dans les zones proches du granite et accessoire dans les zones les plus éloignées; son abondance augmente avec celle de la magnétite bien qu'elle soit naturellement plus rare que cette dernière.

Le mispickel et la löllingite s'observent seulement à proximité des granites.

La puissance des couches (quelques centimètres à 8 mètres) et la teneur en fer (40 à 55%) sont généralement variables tandis que la silice (8—20%) et le phosphore (0.4—0.9%) constituent les principales impuretés.

Lorsque la concentration en fer augmente, celle de silice diminue et dans la plupart des cas quand la silice augmente, le phosphore augmente.

En comparant les gisements de fer appartenant aux deux arcs définis dès le principe, on observe en particulier que la concentration moyenne en fer est un peu

plus élevée dans l'arc interne (55%) que dans l'arc externe (49%), que l'hématite prédomine dans l'arc interne tandis que la sidérose est plus abondante dans l'arc externe (LUNAR HERNANDEZ, 1975) (fig. 2).

2. Minéralisations en antimoine; indices de plomb (fig. 2)

Dans le Sud-Est de la Galice, le sommet de la puissante série flyschoides qui sépare les calcaires de Vegadeo (Géorgien supérieur) de ceux de l'Ashgillien coïncide avec des épanchements volcaniques rhyolitiques et albitophyriques (MATTE, 1964). Un exhaussement général lui succède (phase taconique) marqué par des arrêts de sédimentation («hardground»), des phénomènes d'érosion (ravinelements, microconglomérats...) et l'émergence de vastes régions dont celle d'une dorsale Nord-Ouest—Sud-Est, légèrement sécante sur les structures actuelles (anticlinal couché de Caurel) qui conduit à l'individualisation de deux bassins sur ses flancs Sud et Nord.

En particulier dans le bassin septentrional, la succession stratigraphique formée par les termes de passage de l'Ordovicien au Silurien constitue un cycle sédimentaire: microconglomérats, arénites calcaires, schistes argileux (épisode positif); grès fins mêlés aux schistes, grès grossiers (épisode négatif) au sein duquel on relève l'établissement d'une phase biostasique (sédimentation carbonatée), puis sa dégradation progressive; l'extension des bassins carbonatés est ainsi réduite.

La région étudiée est essentiellement affectée par un léger métamorphisme régional (isograde de la chlorite) tandis que plus localement on atteint la zone à biotite. Le développement des minéraux de métamorphisme est généralement faible (CAPDEVILLA, 1969).

Dans la zone des dépôts calcaires continus de l'Ashgillien (bassin de Caurel) on observe assez fréquemment de la galène, disséminée ou en essaims, dans des accidents dolomitiques dans les barres calcaires ou dans un contexte entièrement dolomitique (lentilles de dolomies rousses grossières) (fig. 3).

Dans la partie occidentale du bassin carbonaté ashgillien (zone des chenaux à matériel calcaire, puis gréseux) une minéralisation importante en antimoine se localise au toit des calcaires lenticulaires, associée aux niveaux les plus siliceux des schistes qui marquent le commencement de la phase négative du cycle sédimentaire, au début d'une rhexistasie (fig. 3).

La stibine, souvent liée au quartz d'exsudation, l'emporte sur la berthiélite laquelle — lorsqu'elle apparaît — se localise au cœur des cristaux de stibine; la pyrite reste disséminée dans la roche support évitant le plus souvent, à l'inverse de la stibine, les concentrations de quartz.

L'exploitation du minerai, active pendant la période 1914—1918 et la guerre civile, a été abandonnée depuis une trentaine d'années.

Les contrôles mis en évidence: stratigraphiques (niveaux de l'Ashgillien), lithologiques (localisation dans les schistes intermédiaires, entre les calcaires de l'Ashgillien et les grès valentiens), paléogéographiques (zone des calcaires lenticulaires, milieu intercotidal), indiquent sans ambiguïté l'origine primaire synsédimentaire de la concentration, remaniée au cours de l'orogénie hercynienne (contrôles structuraux); cette dernière affectant un milieu riche en antimoine aurait mobilisé le stock métal qui, conjointement à la silice et compte tenu des conditions locales, aurait été reconcentré et exprimé sous son aspect actuel.

L'absence de l'un de ces facteurs entraîne celle de la minéralisation: ainsi, alors que le plomb est présent en milieu dolomitique, l'antimoine y est absent et

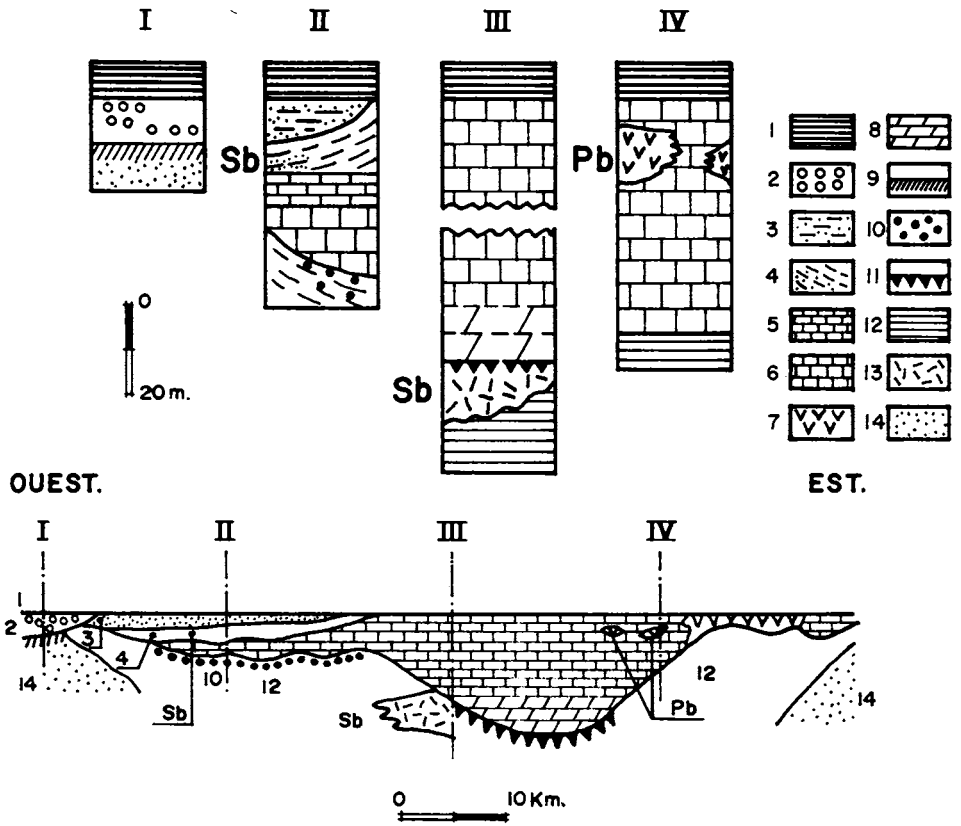


Fig. 3 — Coupes stratigraphiques de la limite Ordovicien-Silurien dans la Sierra de Caurel (Sud-Est de la Galice, d'après GUILLOU, 1969, 1971)

1. schistes siluriens; 2. conglomérats; 3. grès grossiers; 4. schistes et grès fins; 5. calcschistes; 6. calcarénites; 7. dolomies; 8. calcaires noduleux; 9. altération des «grès armoricains»; 10. microconglomérat argileux; 11. «hardground»; 12. schistes de l'Ordovicien supérieur; 13. roches volcaniques; 14: grès armoricains; I: Peña Redonda; II: Villarbacu; III: Biobra; IV: Peñalba.

récioproquement le plomb fait défaut dans les chenaux à matériel calcaire, puis gréseux et à minéralisation en antimoine.

Antérieurement à sa redistribution sédimentaire, le stock métal du socle paraît avoir subi une pédogenèse sous climat tropical humide: en amont des gîtes, en bordure du bassin, on connaît des conglomérats deltaïques à ciment ferrifère et kaolinique.

Toutefois cet antimoine peut être encore lié au volcanisme acide tardi-Llandeilien évoqué antérieurement qui a donné lieu à quelques indices de stibine; (fig. 3) ainsi, engagé dans les mouvements tectoniques qui le font émerger, cet apport exceptionnel a pu s'ajouter aux réserves en antimoine du socle attaqué par la pédogenèse (GUILLOU, 1969, 1971).

3. Minéralisations de fer-cuivre

Dans le Nord-Est de la province de La Coruña (fig. 2), il existe des dépôts minéraux, encaissés dans des schistes et chloritoschistes de la formation du Silurien supérieur (Groupe Moeche), et se présentant en masses disposées en chapelet suivant le plan de foliation ou en filons et dykes recoupant la roche encaissante.

La minéralisation principale en roche consiste en pyrite (minéral pré-métamorphique) avec en moindre proportion : chalcopyrite, ilménite, pyrrhotine et probablement blende.

L'origine de ces gisements serait mixte (syngénétique et remobilisation métamorphique) et résulterait d'une tectonique profonde de la croûte qui occasionnellement aurait pénétré dans des zones plus profondes et même affecté le manto aux époques précoces (pré-hercyennes) avec mobilisation de métaux plus profonds (Co, Ni, Cu, Fe, ...) qui ultérieurement auraient subi tous les processus de déformation et de métamorphisme hercyiens avec des mobilisations relatives surtout en ce que concerne le cuivre. Ainsi se seraient formés les principaux dépôts minéraux observés le long de surfaces de discontinuité (fractures, failles, noyaux structuraux, etc. ...) et susceptible d'exploitation économique (FERNANDEZ POMPA*) et HUERGA RODRIGUEZ, 1975).

Au terme de l'examen des minéralisations liées aux formations siluro-ordoviciennes du Nord-Ouest de l'Espagne, nous signalerons pour mémoire l'existence dans cette région de gisements stratiformes, sédimentaires de kaolin — pour la plupart abandonnés et pour lesquels on manque d'informations — et qui sont encaissés dans des grès ou des quartzites d'âge silurien (ou ordovicien); rares sont ceux qui constituent des dépôts d'une certaine importance et exploités (GOMEZ DE LLARENA, 1955; I. G. M. E. — 3, 1975).

2.2. RÉGION MÉRIDIONALE

1. Gisements de mercure (fig. 1, II)

Le célèbre gisement de mercure d'Almaden — de réputation mondiale et localisé géographiquement entre la Sierra Morena au Sud et les Monts de Tolède au Nord — se situe, comme ses satellites, dans le Quartzite du «Criadero» (Llandovérien inférieur et/ou moyen : ALMELA, ALVARO, COMA, FELGUERO et QUINTERO, 1962; SAUPE, 1973) qui est la seule formation porteuse de minéralisations économiques**); le contrôle stratigraphique est donc très net. Cette formation est constituée par deux niveaux de quartzites encadrés et séparés par des schistes. Des épisodes volcaniques se sont produits au Llandeilien, au Llandovérien-Wenlockien et au Dévonien moyen.

Toutefois si de rares coulées ont précédé le dépôt de la roche support et de la minéralisation, la grande masse du volcanisme basalto-doléritique (ALMELA et FEBREL, 1960) — matérialisée par une série d'alternances volcano-sédimentaires de 450 mètres au toit du gisement — s'est mise en place postérieurement.

Le mercure est donc légèrement antérieur au volcanisme, contrairement aux gîtes exhalatifs sédimentaires du type Lahn-Dill. La même observation a été faite

*) L'âge des terrains encaissants ainsi que la genèse des minéralisations m'ont été confirmés par M. FERNANDEZ POMPA; je le remercie vivement.

**) Cependant des occurrences sont connues dans l'Ordovicien supérieur à «El Entredicho» ainsi que dans une lentille quartzitique associée à un tuf pyroclastique d'âge silurien et reposant au-dessus du Quartzite du Criadero (sondage de «Las Cuevas») (SAUPE, 1974).

par MAUCHER et HÖLL (1968) pour des gisements analogues et d'âge voisin situés en Autriche (paragenèse à Hg-Sb-W).

La minéralisation forme trois lentilles concordantes, stratigraphiquement superposées: une lentille inférieure («San Pedro» et «San Diego») et deux lentilles supérieures («San Francisco» puis «San Nicolas»).

Des dykes de «lamprophyres» recoupent et grillent le minerai tandis que des failles le déplacent sans être jamais minéralisées. Certaines observations semblent même montrer que la minéralisation est antérieure aux plissements, donc à la mise en place des granitoides et des roches intrusives.

En dehors du quartz des quartzites, le cinabre est l'unique minéral abondant; le mercure métallique et la pyrite sont nettement subordonnés; à l'état de traces, on relève: chalcopyrite, pyrrhotine, blende et galène.

Les fissures sécantes, postérieures à la mise en place du cinabre, contiennent fréquemment de la dolomite, plus rarement de la barytine, et de façon subordonnée des monocristaux de cinabre, de la marcassite et du quartz; quelques nids de kaolinite s'observent dans le quartzite.

Si le cinabre se rencontre en masses presque pure, dans les fissures, en cristaux ou en sphérules dans les cavités, entre les grains du quartzite, en inclusions dans les fissures cicatrisées traversant les grains du quartz, il faut aussi signaler que des figures de sédimentation (figures de remaniement et de pression) ont été observées dans des cinabres massifs et que des inclusions de cinabre entre cœur et auréole d'accroissement diagénétique sont connues, tant pour le quartz détritique des quartzites que pour la pyrite (MAUCHER et SAUPE, 1967; SAUPE, 1967; ARNOLD, MAUCHER et SAUPE, 1973). L'arrivée du mercure s'est donc faite avant la lithification (SAUPE, 1967, 1973, 1974).

Les minuscules minéralisations de cinabre incluses dans les grains de quartz des quartzites seraient, d'après ZUCHETTI (1966), contemporaines du processus de recristallisation qui a provoqué la transformation des grès primitifs en quartzites; ainsi — rejoignant les idées de SAUPE — cet auteur considère l'existence de cinabre dans la roche support, antérieurement à sa consolidation.

Le gisement d'Almaden peut s'expliquer par la conjonction de facteurs suivants:

- préconcentration due à des sédiments particulièrement riches en matière organique et pyrite, plutôt qu'à une hétérogénéité magmatique avec un clark plus élevé pour les roches basiques;
- formation de dômes thermiques, précédant les éruptions sous-marines;
- établissement de circuits convectifs de fluides (d'origine connée, marine ou météorique), convergents vers ces dômes, transportant le mercure et le libérant sous forme d'exhalaisons. Le rôle du volcanisme est donc simplement de fournir l'énergie nécessaire pour amorcer un vaste mouvement de convection attirant les fluides vers les centres chauds, au voisinage desquels sera précipité le mercure transporté.
- permanence de ces conditions favorables, grâce à la stabilité de l'environnement cratonique.
- précipitation dans un milieu poreux ou à un interface géochimique, produisant un blocage du mercure — sous forme de sulfure insoluble.
- piégeage et scellement par la couverture argileuse et par la cimentation;

— métamorphisme régional très faible (anchizonal) qui n'a pas déplacé ou décomposé la cinabre (observation confirmée par analyse texturale des quartzites: SAN MIGUEL ARRIBAS et PAULITSCH, 1974).

Tel est le modèle génétique proposé par SAUPE (1967, 1973, 1974).

Toutefois d'autres concepts ont été avancés quant à l'origine du minerai d'Almaden.

Ainsi, grâce à une étude texturale réalisée sur les quartzites du «Criadero» et portant sur: les différentes dispositions de la minéralisation, les phénomènes de déformations post-génétiques développés dans ces quartzites, la relation entre ces dispositions et les effets mécaniques, SAN MIGUEL ARRIBAS et MONTOTO (1974) proposent le mode de formation suivant pour la minéralisation.

En accord avec les idées de SAUPE, ils admettent, que la première concentration sédimentaire du mercure se serait produite dans les schistes graphiteux; ensuite, durant l'orogénèse hercynienne, le mercure aurait été remobilisé vers les grès, l'enrichissement en cinabre se réalisant lors de la tectonisation et de la quartzification des grès.

Pour CALVO CALVO et GUILMANY (1974 a, 1974 b), silice et cinabre ne sont pas syngénétiques. Grâce à l'utilisation du microscope électronique, à des essais de synthèse du cinabre (en considérant le transport du sulfure sous forme vapeur, liquide et par dissolution hydrothermale), à l'étude de la nature des inclusions dans les cristaux de cinabre (température décrépito-métrique, analyses par spectrométrie de masse) et de la distribution isotopique dans le cinabre et la pyrite, ces auteurs ont proposé l'interprétation suivante: une masse de cinabre fondu — sous pression interne, contenant un excès de mercure métallique en solution et ségréguée dans le magna — aurait atteint la masse quartzitique, recristallisée et poreuse, en imprégnant complètement toutes les cavités. Par suite de la diminution de température et finalement de la solidification, la ségrégation du mercure en excès se serait produite, le métal restant incluí dans la masse de cinabre elle-même ou atteignant sous forme de vapeur, les fissures, les limites intergranulaires ou les imperfections cristallines de la roche support où il se serait condensé sous forme de gouttelettes microscopiques ou de masses plus volumineuses.

Quant à la minéralisation localisée aux extrémités du gisement, elle résulterait — selon les mêmes auteurs — soit d'un sublimé ou d'un distilat de la phase ignée qui a minéralisé le quartzite, soit de l'arrivée d'un fluide déjà très visqueux qui n'a pu occuper toutes les cavités.

2°. Placers fossiles de minéraux lourds

Si ces concentrations ne présentent pas d'intérêt du point de vue économique, elles méritent cependant une mention du fait de la présence de minéraux radioactifs.

C'est ainsi que dans certaines couches grés-quartzitiques de l'Ordovicien inférieur de la Sierra Morena Orientale (tant dans la province de Jaén que dans celle de Ciudad-Real), il existe des minéraux radioactifs du type de la brannérite auxquels sont associés zircon, ilménite... en grandes quantités; l'origine du gisement est à rechercher dans la destruction des filons précambriens à minéralisations radioactives (ALIA MEDINA, 1956).

En particulier à Santa Elena (Jaén), les quartzites titanozirconifères avec rutile et ilménite — formés lors du métamorphisme d'un sédiment sableux ordovicien et

plissés durant l'orogénèse hercynienne — correspondent à des placers littoraux fossiles. La teneur moyenne est de 0.069% en U_3O_8 mais les réserves sont très grandes. Cependant l'extraction de l'uranium contenu dans les zircons serait très coûteuse et le gisement résulte actuellement inexploitable (ARRIBAS, 1962, 1975).

D'autre part, au Sud d'Almaden, il a été également observé (BOUYX, 1969, 1970) un niveau de grès massifs à tendance quartzitique, puissant de 1,50 m, appartenant aussi à l'Ordovicien inférieur et dont l'importance est due à sa grande richesse en minéraux lourds: zircon, monazite, tourmaline et rutile.

3. Mineralisations de la Cordillere Iberique

Dans la Cordillère Ibérique — de type «intermédiaire», caractérisée par l'absence de métamorphisme et le manque presque total d'activité magmatique posthercynienne (JULIVERT, FONTBOTE, RIBEIRO et CONDE, 1974) —, nous examinerons successivement les minéralisations observées dans la «branche» occidentale ainsi que dans la Sierra Menera.

3.1. BRANCHE OCCIDENTALE

Gisements de plomb, zinc, cuivre (fig. 1—III).

Du Trémadocien de la Cordillère Ibérique Occidentale, seule l'unité D (SCHMITZ, 1971; JOSOPAIT, 1972) sera envisagée ici, étant donné que c'est surtout en certains endroits de cette unité que l'on observe des minéralisations ou indices minéralisés.

D'autre part, ces dépôts-étudiés en détail dans le cadre d'une thèse doctorale (GUTIERREZ MAROTO, 1976) — sont liés à une sécrétion latérale et appartiennent à deux types:

- sans phénomène d'exsudation de quartz: ancienne mine de Peñalcazar (fig. 4a)
- avec phénomène d'exsudation de quartz: ancienne mine de La Pedraza (fig. 4a) et indices minéralisés de Embid de Ariza (fig. 4a) et de Pardos (fig. 4a).

Nous analyserons successivement ces deux cas (MONSEUR, MORCILLO LOPEZ, GUTIERREZ MAROTO et GUIJARRO GALIANO, 1975):

a) La Alameda-Peñalcazar (Soria).

De nos observations macro et microscopiques réalisées en cette ancienne mine de plomb-argent avec cuivre et zinc (ROMERO, 1934), nous pouvons souligner ce qui suit:

- si un remplissage de galène s'observe «in situ» dans les fractures de certains quartzites brunâtres aux environs du passage d'une faille, veinules et nodules de galène, disposés parallèlement à la stratification se présentent aussi dans des schistes argilo-carbonatés provenant de certaines haldes (fig. 4b). Dans d'autres terrils apparaissent de grandes concentrations de blende et un peu de chalcopryrite. Les quartzites blancs qui constituent les crêtes supérieures de la colline sont toujours stériles.
- l'existence de traces d'animaux fousisseurs dans certains grès ainsi que d'une importante lacune de sédimentation (le Crétacé repose directement sur le Trémadocien) sont en faveur de processus sédimentaires en eaux peu profondes et aux environs d'un haut-fond.

En résumé, la minéralisation d'Alameda résulterait d'un dépôt syngénétique sédimentaire en certaines couches préférentielles du Trédamocien (contrôle stratigraphique), suivi d'une remobilisation dans une zone fracturée lors d'une phase ultérieure (contrôle tectonique).

b) Buberca, Embid de Ariza, Pardo (Saragosse).

Dans l'ancienne mine «La Pedraza» (Buberca) (fig. 4a), la minéralisation observée dans les haldes consiste en chalcopryrite, blende et galène localisées dans du quartz provenant de «filons» sub-parallèles à la stratification, encaissés dans des schistes noirs, de texture fine, pauvres en quartz et plus ou moins plissés.

Le remplissage «filonnien» stérile consiste en quartz d'exsudation, ce phénomène étant réduit et entriculaire en surface; toutefois, son abondance dans les terrils permet de supposer un processus plus important en profondeur. Ce quartz présente différentes textures et déformations en relation avec les phases tectoniques qui ont affecté la région.

Aux environs de la mine — et cette observation est valable entre «La Pedraza» et «Embid de Ariza» — les quartzites blanchâtres et stériles, intercalés entre schistes, sont lenticulaires mais n'apparaissent groupés en paquets qu'en certains endroits correspondant à certaines structures paléogéographiques; des variations latérales de faciès affectent donc cet horizon de l'unité D du Trémadocien. De l'examen microscopique réalisé à partir de roches recueillies dans les haldes, il ressort que si trois faciès pétrographiques (argileux; argilo-gréseux-gréseux) sont affectés d'exsudation, seul le faciès «argileux» conduit à une concentration plus ou moins importante de métaux.

D'autre part, à «La Pedraza», «Embid» et «Pardos» on relève des phénomènes similaires: quartz d'exsudation entre schistes noirs; association de chalcopryrite, blende et galène; exsolutions de chalcopryrite dans la blende. Ce sont là, trois manifestations d'un même phénomène génétique.

Ainsi, les processus d'exsudation et de minéralisation sont en relation avec:

- la nature du sédiment originel, et de ce fait sensibles aux variations verticales et latérales de faciès (paléogéographie)
- le fond géochimique, local et régional
- les actions tectoniques.

3.2. SIERRA MENERA

Gisements de fer

Les gisements (paragenèse: limonite terreuse, hématite jaune compacte, sidérose-psilomélane) de la Sierra Menera (fig. 1, IV), de grand intérêt économique*), se présentent sous forme de masses (Almohaja, Navaloscharcos, Navalazarza, Piedras Blancas, La Marajosa, Ojos Negros, Setiles, . . .) (I. G. M. E. 40, 1974; I. G. M. E., 1975b) plus ou moins stratiformes, localisées dans la formation Menera (épaisseur: 25—100 mètres) appartenant à l'Asghillien.

La formation Menera se compose d'argile, de limonite, de carbonates de différents types ainsi que de schistes clairs sans minéralisations.

*) Par ailleurs de grandes masses de sidérite ont été découvertes récemment par sondages (FERNANDEZ RUBIO, 1971). Réserves de plus de 100 millions de tonnes avec une teneur moyenne de 51,5% en fer (FERNANDEZ RUBIO, 1971).

Le carbonate — massif, originellement récifal (présence de tétracoralliaires) — a subi des phénomènes de karstification et de métasomatose avec enrichissement hétérogène en fer et magnésium (calcaire, dolomie ankéritique, sidérose et magnésite).

Quant à l'origine des dépôts, trois hypothèses ont été avancées :

- sédimentaire : avec précipitation de fer, facilitée par l'activité biologique d'un récif;
- métasomatique : grâce à l'action de fluides minéralisateurs ascendants. Les défenseurs de cette genèse justifieraient ainsi l'apparition de la série dolomie-ankérite-sidérite-magnésite et la présence de barytine.
- épigénétique suite à l'attaque des formations carbonatées chargées d'ions ferreux et ferriques, provenant de l'oxydation atmosphérique de masses de pyrite préexistantes; ce phénomène aurait eu lieu au Permo-Trias (CANADA GUERRERO, 1972).

Toutefois, on peut penser aussi à une origine primaire sédimentaire suivie d'enrichissement par dissolution (FERNANDEZ RUBIO, 1971, 1975b).

D'autre part au sein de la série carbonatée asghillienne dans l'anticlinal de Sierra Merena—Cerro de la Coronilla (Teruel et Guadalajara), on a découvert des intercalations stratiformes de magnésite*) dont l'origine n'est pas précisée (FERNANDEZ RUBIO et BARANDIARAN ALCORTA, 1975a; LIARTE HURTADO, 1975).

Conclusions

L'examen des faits et des interprétations génétiques ayant trait aux minéralisations siluro-ordoviciennes d'Espagne, nous a conduit à élaborer un document synthétique (Tableau I) où figurent :

- la localisation stratigraphique, géographique et lithologique des concentrations et indices;
- le ou les processus (magmatisme, volcanisme, métamorphisme, tectonique, paléogéographie) qui ont contrôlé la formation des dépôts;
- les types de gisements et leurs paragenèses.

A partir de ce document et de données économiques disponibles, il nous a été possible de dégager les principales conclusions suivantes :

1. Les minéralisations variées (Hg, Fe, Cu, Pb, Zn, Sb, Mg) d'importance inégale ainsi que les indices minéraux (Ti, Zr, U, Th, Ba) se localisent à différents niveaux stratigraphiques (Trémadocien, Llandeilien, Asghillien, Llandovérien et Silurien supérieur) en relation avec divers faciès lithologiques : quartzitiques (Hg), grés quartzitiques (Zr, Ti, U, Th), schisteux (Fe, Cu, Pb, Zn, Sb) et carbonatés (Fe, Pb, Ba, Mg).

2. Du point de vue importance économique, deux types de gisements retiennent l'attention : ceux d'Almaden, les plus grands dépôts de mercure du Monde (I. G. M. E., 1972c, SIERRA, 1974); ceux de fer, actuellement en pleine activité (I. G. M. E., 1972b), dans les concessions minières Wagner—Vivaldi (Nord-Ouest) et dans la Sierra Menera (Cordillère Ibérique).

D'autre part, les minéralisations cuprifères connues dans le Nord-Est de la Province de La Coruña seraient susceptibles d'exploitation économique.

*) On parle de puissances variables mais parfois considérables (122—140 mètres) (LIARTE HURTADO, 1975).

Quant aux gîtes de stibine-galène du Sud-Est de Galice ainsi que celles de plomb-zinc-cuivre de «Peñalcazar» (Soria) — «La Pedraza» (Bubierca) dans la branche occidentale de la Cordillère Ibérique, ils sont actuellement abandonnés tandis que les placers fossiles uranifères de Sierra Morena ne présentent pour l'instant aucun intérêt.

3. Du point de vue origine, on relève les types de dépôts suivants :

- a) strictement syn-sédimentaires, sans relation génétique avec des roches ignées. Ce sont les gisements ferrifères du Nord-Ouest (Wagner—Vivaldi) (Llandeilien) localement affectés par des intrusions granitiques postérieures.
- b) de concentration mécanique, avec les placers fossiles de minéraux radioactifs (Ordovicien).
- c) originellement syn-sédimentaires, sans liaison avec des roches ignées mais indiquant une nette sécrétion latérale.

Il s'agit des anciens gîtes de plomb-zinc-cuivre compris entre «La Alameda» et «Pardo» et localisés dans le Trémadocien de la branche occidentale de la Cordillère Ibérique.

- d) syn-sédimentaires mais dans un contexte géologique renfermant des roches ignées.

C'est le cas : des indices plombifères situés dans les formations carbonatées de l'Asghillien du Sud-Est de la Galice ; du gisement d'Almaden où le mercure aurait été préconcentré dans des schistes pyriteux (Llandoveryen) riches en matières organiques et où le volcanisme aurait simplement fourni l'énergie nécessaire pour amorcer des mouvements de convection.

- e) à la fois syn-sédimentaire, volcano-sédimentaire et avec sécrétion latérale. L'exemple correspond aux minéralisations d'antimoine relevées dans des schistes siliceux intermédiaires entre calcaires asghilliens et grès valentiens du Sud-Est de la Galice où la stibine provient à la fois de sédiments ordoviciens, de manifestations volcaniques et a subi une remobilisation partielle dans les fractures au cours de l'orogénie hercynienne.

Les types de dépôts a), c), d) et e) sont à rapprocher l'un de l'autre de par l'existence de contrôles identiques : stratigraphiques, lithologiques, paléogéographiques.

En outre, pour les types c) et e) les facteurs structuraux ont également joué un rôle et les études actuellement en cours sur les types de dépôts c) semblent indiquer qu'en plus du plomb, du zinc et du cuivre, la stibine et la barytine obéiraient à ces mêmes contrôles.

- f) syn-sédimentaires avec remobilisation métamorphique. C'est vraisemblablement le cas des dépôts de fer-cuivre du Nord-Est de la Province de La Coruña où la sédimentation hétérogène du Silurien a en outre été marquée par des apports volcaniques acides et basiques. En fait, l'étude des minéralisations originellement syn-sédimentaires de cette région est rendue très difficile de par la complexité du cadre géologique de la Galice (DENTEX, 1966; YPMA, 1966; VAN ZUUREN, 1969).

- e) d'origine non précisée. Ce sont les gisements de fer et de magnésite dans l'Asghillien de la Sierra Menara. A cette liste de dépôts, il convient d'ajouter que :

— certains sables aurifères de Galice (rió Sil, Montefurado) résulteraient vraisemblablement de l'érosion d'ampélites pyrito-aurifères du Silurien (GARCIA VILADO-

MAT Y MARQUINA, 1934 ; HERNANDEZ SAMPELAYO, 1934, 1951 ; ARMENGOT DE PEDRO et CAMPOS JULIA, 1975.

- la pyrite ou la marcassite, disséminée ou en nodules, apparaît dans les schistes et calcaires gothlandiens situés entre Rocabrúna et Riutort (Gerona) en bordure de la zone axiale pyrénéenne (ABRIL HURTADO, 1972) ainsi que dans les schistes noirs du «Cerro de Santa Creu de Olorde» (W—N. W. Barcelone) appartenant au Gothlandien moyen (FONTBOTE, MARTIN VIVALDI, RIOS et FENOLL, 1962).
- les minéralisations de manganèse-barytine de la Sierra de la Culebra seraient en relation avec le volcanisme ordovicien (SIERRA et ORTIZ, 1971).
- les minéralisations plombo-zincifères de Bonabe se situent dans les couches de l'Ordovicien supérieur des Pyrénées centrales (BOIS, BERTRANEU, BOULADON, GUIRAUDIE et PROUHET, 1972) (fig. 5).

Bien qu'il n'entre pas dans nos intentions d'établir ici d'une manière détaillée des rapprochements entre les minéralisations siluro-ordoviciennes d'Espagne et celles du même âge d'autres pays, nous présenterons seulement — au terme de cette étude et en guise d'introduction à un projet de travail en collaboration — les quelques réflexions suivantes :

- Les anciens gîtes de «Peñalcazar (Soria)-La Pedraza (Bubierca)» dans la branche occidentale de la Cordillère Ibérique et les concentrations des Monts du Minervois (Villeneuve, Montagne Noire) ont en commun une minéralisation plombo-zincifère localisée dans le Trémadocien (BOYER et ROUTHIER, 1958) (fig. 5).
- Les gisements de fer oolithique du Llandelien du Nord-Ouest de l'Espagne*) sont évidemment à paralléliser avec ceux du bassin de Normandie (Llandellien) et du bassin d'Anjou-Bretagne (Arénigien) en France (fig. 5). D'autres gisements de fer sédimentaires ordoviciens existent également en Thuringe, en Bohême, au Maroc et au Canada (RAGUIN, 1955, 1961 ; ROUTHIER, 1963).
- Les minéralisations plombo-zincifères de Bonabe se rattachent aux importants gisements de Pierrefitte (BESSON, 1972) et de Carboire (BOIS, BERTRANEU, BOULADON, GUIRAUDIE et PROUHET, 1972) localisés à la limite Ordovicien-Silurien et appartenant à la province métallogénique des Pyrénées Centrales (fig. 5). Quant aux dépôts de plomb-antimoine du Sud-Est de la Galice (fig. 5) ils occupent la même position stratigraphique que ceux de plomb-zinc des Pyrénées ; d'autre part à Pierrefitte, comme dans le Sud-Est de la Galice, les minéralisations sont associées à un volcanisme.
- Le gisement d'Almaden est à rapprocher de différents gisements européens de mercure et d'antimoine. Parmi ces derniers, figurent les indices de Bretagne (Belligne—La Rouxière) (fig. 5) localisés dans des formations situées stratigraphiquement à la limite Ordovicien-Silurien et composées de schistes pyritico-siliceux encadrés par des grès ainsi que de spilites et de kératophyres. La minéralisation consiste en cinabre, pyrite, blende, stibine, chalcoppyrite, cuivre gris et apparaît uniquement dans les zones fracturées (SAUPE, 1973).

Pour ce qui est des dépôts de scheelite liés aux strates et connus en particulier en Sardaigne (ANGERMEIER, 1964), dans les Alpes (HÖLL, MAUCHER et WESTENBERGER, 1972 ; MAUCHER, 1974), en Montagne Noire (BOYER et ROUTHIER, 1974) et localisés respectivement dans les formations de l'Ordovicien supérieur — Dévonien inférieur,

*) Dans l'Ordovicien du Nord-Ouest de l'Espagne et du Portugal, plus de 400×10^6 tonnes de fer correspondent à des dépôts d'origine sédimentaire (WALTHER et ZITZMANN, 1972).

de l'Ordovicien-Silurien, et du Briovérien-Cambo-Ordovicien, ils font actuellement l'objet d'études détaillées en Espagne*). Toutefois, si dans les trois premières régions ces dépôts sont indépendants de toute granitisation, par contre pour les gisements espagnols l'absence de toute influence magmatique serait moins certaine (LUACES et BURJHALTER, 1971; I. G. M. E., 1972f.).

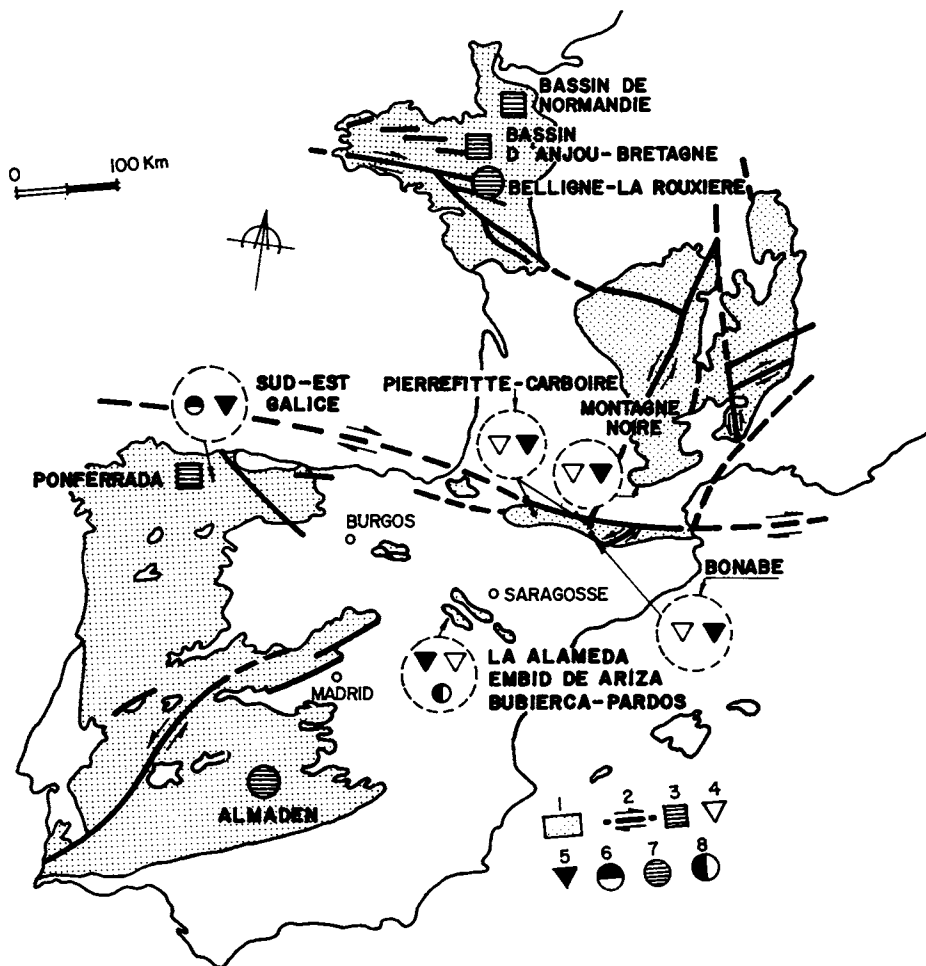


Fig. 5: Comparaison entre quelques minéralisations siluro-ordoviciennes (D'après: LUNAR HERNANDEZ, 1975; GUILLOU, 1969, 1971; SAUPE, 1973; MONSEUR, MORCILLO LOPEZ, GUTIERREZ MAROTO et GUIJARRO GALIANO, 1975; BOIS, BERTRANEU, BOULADON, GUIRAUDIE et PROUHET, 1972; BESSON, 1972; BOYER et ROUTHIER, 1958; RAGUIN, 1961; ROUTHIER, 1963 pour les minéralisations — JULIVER, FONTBOTE, RIBEIRO et CONDE, 1974; MATTAUER, 1973 pour les principaux décrochements tardi-hercyniens). (1. Cristallin et Paléozoïque; 2. décrochements tardi-hercyniens; 3. fer sous forme d'oxydes, sidérite, chlorite, ...; 4. zinc; 5. plomb; 6. antimoine; 7. mercure; 8. cuivre).

*) Etudes entreprises par les laboratorios de l'Université de Salamanque sous la direction du Prof. A. ARRIBAS, que je remercie vivement pour l'entretien accordé.

Bibliographie

- ABRIL HURTADO, J. : Estudio geológico del borde axial pirenaico entre Rocabruna y el Riutort (Gerona) — Bol. Geol. y Min. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, LXXXIII—V, 457—496, 1972.
- ADARO, L., et JUNQUERA, G. : Criaderos de hierro de España: Criaderos de Asturias — Mém. del Inst. Géol. y Min. de España, Madrid, II, 676p, 1916.
- ALIA MEDINA : Les gîtes des minéraux radioactifs en Espagne — et leurs possibilités — Actes Conf. Intern. Utilis. Energ. Atom. Fins. Pacif., Nations Unies, Genève, VI, 222—224, 1956.
- ALMELA, A., et FEBREL, T. : La roca fraileasca de Almadén : un episodio tobáceo en una formación basáltica del Siluriano superior — Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 59, 41—72, 1960.
- ALMELA, A., ALVARO, M., COMA, M., FELGUEROS, C., et QUINTERO, I. Estudio geológico dela región de Almadén — Bol. del Inst. — Geol. y Min. de España, Madrid, LXXIII, 193—327, 1962.
- ALMELA, A., et DEL VALLE DE LERSUNI, J. : Estudio geológico de la zona Ponferrada — Tremor de Abajo — Breviora Geológica Asturica, Univ. Oviedo, Año VII, Núms. 1—4, 3—26, 1963.
- AMSTUTZ, G. C., et BERNARD, A. J. : Ores in sediments — International Union of Geological Sciences, Series A, Number 3. — VIII International Sedimentological Congress Heidelberg, August 31—September 3, 1971, — 350p., Berlin—Heidelberg (Springer-Verlag) 1973.
- ANGERMEIER, H. O. : Die Antimonit-Scheelit-Lagerstätten des Gerrei (Südostsardinien, Italien) und ihr geologischer Rahmen. Diss. München, 62p., 1964.
- ARMENGOT DE PEDRO, J., et CAMPOS JULIA, C. : Resumen de los conocimientos existentes sobre algunas mineralizaciones gallegas — I Congreso Hispano-Luso-Americano, Madrid—Lisboa, Tomo I, Sección 4, 409—428, 1971.
- ARNOLD, M., MAUCHER, A., et SAUPE, F. : Diagenetic pyrite and associated sulphides at the Almaden mercury mine, Spain. — In : G. C. AMSTUTZ et A. J. BERNARD (op. cit.), 7—19, 1973.
- ARRIBAS, A. : Mineralogía y metalogenia de los yacimientos españoles de uranio: Santa Elena (Jaén) — Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Geología), Madrid, 60, núm 2, 243—251, 1962.
- ARRIBAS, A. : Caracteres geológicos de los yacimientos españoles de uranio. Su importancia económica e interés en el desarrollo energético del país. Studia Geológica, Univ. de Salamanca, IX, 7—63, 1975.
- BESSON, M. : Le gisement de plomb et de zinc de Pierrefitte — 24 Congrès Géologique International, Montreal, 4, 335—337, 1972.
- BOIS, J. P., BERTRANEAU, J., BOULADON, J., GUIRAUDIE, CH. et PROUHET, J. P. : Carboire — un nouveau type de minéralisation stratiforme en zinc-plomb dans les Pyrénées françaises — 24 Congrès Géologique International, Montreal, 4, 363—372, 1972.
- BOUYX, E. : Les formations ante-ordoviciennes de la province de Ciudad Real (Espagne méridionale). Thèse, Paris, 410p, 1969.
- BOUYX, E. : Contribution à l'étude des formations anté-ordoviciennes de la Meseta méridionale (Ciudad Real et Badajoz) — Mem. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 73, 263p, 1970.

- BOYER, F., et ROUTHIER, P. : Observations sur deux niveaux minéralisés dans le Paléozoïque inférieur des Monts du Minervois (Montagne Noire, Aude). Minéralisations, lithologie et stratigraphie. Contribution au débat syngenèse-épigenèse — Bull. Soc. Geol. de France, Paris, 6^e ser, 8, 257—266, 1958.
- CALVO CALVO, F. A., et GUILMANY, J. N. : Estructura del mineral de mercurio de Almadén — I Congreso Internacional del Mercurio, Barcelona, I, 177—188, 1974 a.
- CALVO CALVO, F. A., et GUILMANY, J. M. : Mineralogénesis del mineral de mercurio de Almadén — I Congreso Internacional del Mercurio, Barcelona, I, 189—199, 1974 b.
- CANADA GUERRERO, F. : Yacimientos de mineral de hierro de — Sierra Menera, edad de su formación y experiencias de laboratorio que reproducen su génesis — Bol. Geol. y Min. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, LXXXIII—II, 181—186, 1972.
- CAPDEVILA, R. : Sur la géologie du Précambrien et du Paléozoïque dans la région de Lugo et la question des plissements assyntiques et sardes en Espagne — Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, no. 80, 157—174, 1965.
- CAPDEVILA, R. : Extension du métamorphisme régional hercynien dans le Nord-Ouest de l'Espagne (Galice Orientale, Asturias, Leon) — C. R. Somm. Soc. Geol. de France, Paris, 7, 277—279, 1967.
- CAPDEVILA, R. : Le métamorphisme régional progressif et les granites dans le segment hercynien de Galice nord-orientale (NW de l'Espagne). Thèse Montpellier, 450p, 1969.
- DEN TEX, E. : Aperçu pétrologique et structural de la Galice cristalline — Leidse Geol. Meded, Leiden, 36, 211—222, 1966.
- DÖRPINGHAUS, W. T. : Eisenerzlagertstätten vom Chamosittypus bei San Miguel de las Dueñas in der nordspanischen Provinz Leon — Arch. f. Lagerst., vol. 16, 1914.
- FEBREL, T. : Estudio petrográfico de muestras de mineral de hierro de Sotelo (León) — E. N. ADARO, A. S. (Inedito), 1957.
- FERNANDEZ POMPA, F., et HUERGA RODRIGUEZ, A. : Estudios geológicos en el N. E. de la Provincia de La Coruña. Su utilidad para futuras investigaciones mineras — Jornadas Minero-Metalúrgicas, V Nacionales — III Internacionales, Bilbao, I, 207—224, 1975.
- FERNANDEZ RUBIO, R. : Los yacimientos de hierro de la Sierra, Menera (Teruel y Guadalajara) — Industria Minera, Bol. de Inform. del Consejo Sup. de Colegios de Ingenieros de Minas de España, Madrid, Año XIV, no. 125, 39—42, 1971.
- FERNANDEZ, RUBIO, R., et BARANDIARAN ALCORTA, J. : Descubrimiento de un yacimiento de magnesita en Guadalajara y Teruel — Jornadas Minero-Metalúrgicas, V Nacionales — III Internacionales, Bilbao, Resúmenes de las Comunicaciones, p. 99, 1975 a.
- FERNANDEZ RUBIO, R. : Características geológicas de las Minas de Ojos Negros (Teruel, Guadalajara) — In : IX Curso de Geología Práctica, Teruel, 133—141, 1975 b.
- FONTBOTE, J. M., MARTIN VIVALDI, J. L., RIOS, J., et FENOLL, P. : Las pizarras negras de Santa Creu de Olorde y sus productos de alteración — Mem. y Com. de la I Reunion Nacional de Geología, Breviora Geologica Asturica, Inst. Geol. Aplicada, Oviedo, Año VI, Núms. 1—4, 52—53, 1962.

- GARCIA VILADOMAT, Y MARQUINA: Estudio de los yacimientos auríferos de la provincia de Leon — In: Carálogo descriptivo de los criaderos minerales de España, Consejo de Minería, Madrid, Tomo II, 241—248, 1934.
- GOMEZ DE LLARENA, J.: Un yacimiento de caolin sedimentario en la cuarcita armoricana de la Sierra del Pedroso (La Riegada, Aviles, Asturias) — Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 37, 75—91, 1955.
- GUILLOU, J. J.: Contrubuti6n à l'étude des minéralisations ordoviciennes en antimoine de la Sierra de Caurel — (Prov. de Lugo et d'Orense, Espagne) — Sciences de la Terre, Nancy, XIV, no. 1, 5—26, 1969.
- GUILLOU, J. J.: Quelques régularités dans la distribution de minéralisations sulfurées (en particulier en antimoine) dans les niveaux carbonatés du Paléozoïque inférieur du Géosynclinal Asturien — Ann. Soc. Geol. de Belgique, Liège, 94, 21—37, 1971.
- GUTIERREZ MAROTO, A.: Estudio metalogénico sobre cobre, plomo y zinc de la rama Sur del Zócalo del Sistema Ibérico (Prov. Soria y Zaragoza) — Thèse (en préparation), Univ. Autónoma, Fac. Sc. Dep. Geología y Geoquímica, Madrid, 1976.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P.: Criaderos de Hierro de España IV. Hierros de Galicia I, III — Mem. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, Vol. I, 1922.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P., et A.: Memoria explicativa de la hoja núm. 193 (Astorga), Mapa geológico de España. — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 27 et 35—36, 1934.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P.: Criaderos de hierro de España. Hierros de Galicia (Tomo II, fasc. 1°) — Mem. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, T. IV, 1 vol. 373 pages, 1935a.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P.: Criaderos de hierro de España. Hierros de Galicia (Tomo III, fasc. 2°) — Mem. Inst. Geol. Min. España, Madrid, T IV, 1 vol., 396 pages, 1935b.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P.: El sistema Siluriano — Mem. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, t. 2 (I, II), 1 vol., 848p, 1942.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P. et A.: Yacimientos de mineral de hierro Criadero de las minas «Wagner» — Número especial de Minería y Metallurgía, Madrid, 1—24, 1948.
- HERNANDEZ SAMPELAYO, P et A.: Memoria explicativa de la hoja núm. 192, Lucillo (León). Mapa geológico de España — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 1951.
- HÖLL, R., MAUCHER, A., et WESTENBERGER, H.: Syn-sedimentary-diagenetic ore fabrics in the strata- and time-bound scheelite deposits of Kleinaretal and Felbertal in the Eastern Alps — Mineral. Deposita, Berlin, 7, 219—226, 1972.
- I. G. M. E.: Mapa previsor de mineralizaciones de cobre. Mapa metalogénico de España (E. 1 : 1.500.000) — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 31p., 1972a.
- I. G. M. E.: Mapa previsor de mineralizaciones de hierro. Mapa metalogénico de España (E. 1.500.000) — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 31p., 1972b.
- I. G. M. E.: Mapa previsor de mineralizaciones de mercurio. Mapa metalogénico de España (E. 1 : 1.500.000) — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 32p., 1972c.
- I. G. M. E.: Mapa previsor de mineralizaciones de plomozinc. Mapa metalogénico de España (E. 1 : 1.500.000) — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 36p., 1972d.
- I. G. M. E.: Mapa previsor de mineralización de wolframio. Mapa metalogénico de España (E. 1 : 1.500.000) — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 30p., 1972e.

- I. G. M. E.: Daroca, 40, Mapa Metalogenético de España (E. 1 : 1.200.000) — Inst. Geol. y Mins. de España, Madrid, 25p., 1974.
- I. G. M. E.: Aviles, 3, Mapa Metalogenético de España (E. 1 : 200.000) — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 22p., 1975a.
- I. G. M. E.: Teruel, 47, Mapa Metalogenético de España (E. 1 : 200.000) — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 23p., 1975b.
- JONOPAIT, V.: Das Kambrium und das Tremadoc von Ateca (Westliche Iberische Ketten, NE-Spanien — Münster. Forsch. Geol. Paleönto, Münster, H 23, 121p., 1972.
- JULIVERT, M., MARCOS, A., et TRUYOLS, J.: L'évolution paléogéographique du Nord-Ouest de l'Espagne pendant l'Ordovicien-Silurien — Bull. Soc. Geol. et Minéralogique de Bretagne, (C), IV, 1, 1—7, 1972.
- JULIVERT, M., FONTBOTE, J. M., RIBEIRO, A., et CONDE, L.: Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares — Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 113p., 1974.
- LIARTE HURTADO, J.: Nota preliminar sobre le hallazgo de un yacimiento de magnesita en Guadalajara — Bol. Geol. y Min. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, LXXXVI—III, 325—326, 1975.
- LOTZE, F.: Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta — Geotekt. Forsch., Berlin, 6, 78—92, 1945.
- LUACES, C., et BURKHALTER, J.: Mapas españoles previsores de mineralizaciones 1 : 500.000 — Contribución al conocimiento de las áreas metalíferas de estaño y wolframio — I Congreso Hispano-Luso-Americano, Madrid—Lisboa, I, Sección 4, 205—217, 1971.
- LUNAR HERNANDEZ, R.: Estudio de los yacimientos de hierro del Noroeste de la Península. Avance de las características geológicas y mineralógicas — Tecniter-rae. Rev. española de Geología y Minería, Madrid, 7, 14—23, 1975.
- MARCOS, A.: Las series del Paleozoico inferior y la estructura hercyniana del Occidente de Asturias — Trabajos de Geología. Univ. Oviedo, no. 6, 1—113, 1973.
- MARIN, A.: Investigación de los distritos mineros más importantes de España — Real. Acad. Ciencias, Madrid, I, 120p., 1949.
- MARTIN MOYANO, R.: Estudio môcrográfico de cuastro muestras de mineral de hierro de la zone Galaico-Leonesa — Rev. Metal. Cenim, 2, núm 5, 1966.
- MATTAUER, M.: Les déformations des matériaux de l'écorce terrestre — Hermann, Paris, 493p., 1973.
- MATTE, PH.: Sur le volcanisme silurien du synclinal de Truchas (NW de l'Espagne) — C. R. Som. Soc. Géol. de France, 2, 57—58, 1964.
- MATTE, PH.: La structure de la virgation hercynienne de Galice (Espagne) — Trav. Lab. Geol. Fac. Sc. Grenoble, 44, 1—128, 1968.
- MAUCHER, A., et SAUPE, P.: Sedimentärer Pyrit aus der Zinnerlagerstätte Almadén (Provinz Ciudad Real, Spanien) — Mineral. Deposita, Berlin, 2, 312—317, 1967.
- MAUCHER, A., et HÖLL, R.: Die Bedeutung geochemisch-stratigraphische Bezugshorizonte für die Alterstellung der Antimonitlagerstätte von Schlaining im Burgenland, Österreich — Mineral. Deposita, Berlin, 3, 272—285, 1968.
- MAUCHER, A.: Zeitgebundene Erzlagerstätten — Geol. Rundschau, Stuttgart, 63, 1, 263—275, 1974.
- MONSEUR, G., MORCILLO LOPEZ, E., GUTIERREZ MAROTO, A., et GUIJARRO GALIANO, J.: Interes de las guías litoestratigráficas en prospección — II Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Buenos Aires, II, 497—518, 1975.

- PARGA, J. R.: Consideraciones sobre la paleogeografía durante el Cámbrico y Ordovícico en Asturias y Norte de León Bol. Geol. y Min. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, LXXX—II, 124—128, 1969.
- PARGA, J. R.: Evolución del Macizo Hespérico en los tiempos ante-mesozoicos y sus relaciones con otras áreas europeas — Bol. Geol. Min. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, LXXXI—II, III, 115—143, 1970.
- PASTOR MENDIVIL, M., et SUAREZ FEITO, J.: Mapa de los minerales de hierro de España — Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 63, 137—140, 1961.
- PEREZ ESTAUN, A.: La estratigrafía y la estructura de la Rama Sur de la zona Asturoccidental-Leonesa (W de León, N. W. de España) — Memoria, Facultad de Ciencias, Sección Geol. Universidad de Oviedo, 191p., 1975.
- RAGUÏN, E.: Les gisements métallifères sédimentaires (discussions de leurs caractères à la lumière de quelques exemples) — Conf. Inst. de Géol à l'Université de Liège, mai, 1955.
- RAGUÏN, E.: Géologie des gîtes minéraux — Masson, Paris, 686p., 1961.
- RECHENBERG, H. P.: El criadero de hierro «Vivaldi» en Ponferrada (León) — Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, Madrid, 48, 107—144, 1957.
- ROMERO, J.: El criadero de plomo de Peñalcazar — In: Catálogo de los criaderos minerales de España, Consejo de Minería, Madrid, Tomo II, p. 300, 1934.
- ROUTHIER, P.: Les gisements métallifères. Géologie et principes de recherche — Masson, Paris, 1282p., 1963.
- SAN MIGUEL ARRIBAS, et MONTOTO, M.: Observaciones texturales sobre las cuarcitas del Criadero (Almadén) en relación con las mineralizaciones de Cinabrio — I Congreso Internacional del Mercurio, Barcelona, I, 171—175, 1974.
- SAN MIGUEL ARRIBAS, A., et PAULITSCH, P.: Petrofabrics of Almaden quartzites — I Congreso Internacional del Mercurio, Barcelona, I, 201—205, 1974.
- SAUPE, F.: Note préliminaire concernant la genèse du gisement de mercure d'Almaden-Mineral. Deposita, Berlin, 2, 26—33, 1967.
- SAUPE, F.: La géologie du gisement de mercure d'Almaden (Province de Ciudad Real, Espagne) — Sciences de la Terre, Nancy, Mém. no. 29, 342p., 1973.
- SAUPE, F.: Elements for a reappraisal of the geology of the Almadén mercury deposit (Province of Ciudad Real, Spain) I Congreso Internacional del Mercurio, Barcelona, II, 483—489, 1974.
- SCHMITZ, V.: Stratigraphie und Sedimentologie im Kambrium und Tremadoc der Westlichen Iberischen Ketten nördlich Ateca (Zaragoza, NE-Spanien) — Münster. Forsch. Geol. Paleönt, Münster, H 22, 123p., 1971.
- SIERRA, J., et ORTIZ, A.: Introducción a la Metalogenia de España — I Congreso Hispano-Luso-Americano, Madrid—Lisboa, Tomo I, Sección 4, 379—406, 1971.
- SIERRA, J.: Perspectivas de reservas y recursos del mercurio en el mundo — I Congreso Internacional del Mercurio, Barcelona, I, 407—436, 1974.
- SUAREZ FEITO, J. J.: Bosquejo metalogénico de España, excluido carbón e hidrocarburos — Not. y Com. del Inst. Geol. y Min. de España, 72, 305—312, 1963.
- VAN ZUUREN, A.: Structural petrology of an area near Santiago de Compostela (NW Spain) — Leidse. Geol. Med., Leiden, 45, 1—71, 1969.
- VELANDO, F., et MARTINEZ DIAZ, M.: Memoria explicativa de la hoja no. 159 de Bembibre. Mapa Geológico de España (Escala 1 : 500.000) — Madrid, 1973.

- WALTHER, H. W. et ZITZMANN, A.: On the metallogeny of iron in Europe.
Presentation of the international map of iron ore deposits in Europe, 1 : 250.000
— 24 Congrès Géologique International, Montreal, 121—130, 1972.
- YPMA, P. J. M.: Sumario de la mineralización metalífera y su génesis en Galicia
occidental (España) — Leidse. Geol. Med., Leiden, 36, 279—291, 1966.
- ZUCHETTI, S.: Osservazioni sul giacimento mercurifero di Almadén in Spagne —
Industria Mineraria, Madrid, serie II, v. 17, no. 12, 529—537, 1966.