Hydrothermalisme anté-Hercynien en Sud-Ibérie : apport de la géochimie isotopique du plomb

Eric Marcoux, Emilio Pascual, Jérôme Onézime

▶ **To cite this version:**

Eric Marcoux, Emilio Pascual, Jérôme Onézime. Hydrothermalisme anté-Hercynien en Sud-Ibérie : apport de la géochimie isotopique du plomb. Comptes Rendus Géoscience, 2002, 334, pp.259-265. 10.1016/S1631-0713(02)01734-0 . insu-00717727

HAL Id: insu-00717727

https://insu.hal.science/insu-00717727

Submitted on 13 Jul 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

C. R. Geoscience 334 (2002) 259–265
© 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS. Tous droits réservés
S1631-0713(02)01734-0/FLA

Géomatériaux / Geomaterials
(Métallogénie / Ore deposits)

Hydrothermalisme anté-Hercynien en Sud-Ibérie : apport de la géochimie isotopique du plomb

Éric Marcoux[a,*], Emilio Pascual[b], Jérôme Onézime[a]

[a] *Institut des sciences de la Terre d'Orléans, université d'Orléans, Geosciences 45067 Orléans cedex 2, France*
[b] *Université d'Huelva, Departamento de Geologia y Mineria, Campus universitario de la Rabida, 21819 Palos de la Frontera, Huelva, Espagne*

Reçu le 21 mai 2001 ; accepté le 4 décembre 2001

Présenté par Zdenek Johan

Abstract – Pre-Hercynian hydrothermalism in South Iberia: lead isotope geochemistry constraints. Lead isotope study has been performed on massive sulphide deposits of Ossa-Morena and Aracena Belt (South Iberia). Results suggest the existence of at least two ancient hydrothermal events. The first one, Upper Brioverian in age (∼600–570 Ma), gave birth to Maria-Luisa and Puebla de la Reina massive sulphide deposits; it thus confirms the existence of a Cadomian orogen in South Iberia. Isotopic compositions indicate a local contribution of mantle-derived material (Maria Luisa mine), confirming the presence of ancient oceanic crust in Aracena Belt. This mineralising event seems to extend till the Armorican Massif. The second episode, Eo-Hercynian in age (∼400–350 Ma) has allowed genesis of massive sulphide deposits of la Nava Paredon and Aguas Blancas, and could be coeval with the emplacement of South-Iberian massive sulphide ore deposits in the neighbouring South-Portuguese Zone. A more continental crustal source for later ore deposits could explain the much more important metal accumulation in this zone. ***To cite this article: É. Marcoux et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 259–265.*** © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

lead isotope / Brioverian / massive sulphide deposits / South Iberia / Ossa-Morena

Résumé – Une étude de la géochimie isotopique du plomb a été menée sur les minéralisations sulfurées de la zone d'Ossa Morena et de la ceinture d'Aracena (Sud-Ibérie). Les résultats suggèrent l'existence d'au moins deux événements minéralisés anciens. Le premier, d'âge Briovérien supérieur (∼600–570 Ma), est à l'origine des amas polymétalliques de Maria Luisa et de Puebla de la Reina ; il confirme l'existence d'un orogène cadomien en Sud-Ibérie. Les signatures isotopiques indiquent la contribution locale de matériel mantellique (mine Maria Luisa), confortant la présence de lambeaux de paléocroûte océanique dans la ceinture d'Aracena. Cet événement minéralisé briovérien semble se manifester également dans le Massif armoricain. Le second épisode, éo-hercynien (∼400–350 Ma), est à l'origine des amas sulfurés de la Nava Paredon et d'Aguas Blancas et pourrait être synchrone de la mise en place des amas de la ceinture pyriteuse dans la zone sud-portugaise voisine. La source des amas de la ceinture pyriteuse est à rechercher dans un environnement de croûte continentale beaucoup plus affirmée, ce qui pourrait expliquer l'accumulation beaucoup plus importante de métaux de base dans ce dernier secteur. ***Pour citer cet article : É. Marcoux et al., C. R. Geoscience 334 (2002) 259–265.*** © 2002 Académie des sciences / Éditions scientifiques et médicales Elsevier SAS

isotope Pb / Briovérien / amas sulfurés / Sud-Ibérie / Ossa-Morena

Abridged version

1. Introduction

The South-Iberian area is famous for its giant massive sulphides ore deposits, some of them being the largest in the world: Rio Tinto, Neves-Corvo, Tharsis… [8], and forming the well-known South-Iberian Pyrite Belt. Nevertheless, other sulphides deposits of less economical importance are also known in the northern part of South Iberia. The giant massive sulphides ore deposits have been recently investigated for lead isotopes composition [10], whereas a similar study has been performed on the most significant sulphides deposits of this northern area in

* Correspondance et tirés à part.
Adresse e-mail : eric.marcoux@univ-orleans.fr (É. Marcoux).

order (*i*) to test a relationship between these giant massive sulphide deposits and northern smaller deposits and (*ii*) to precise their source and thus to bring information on the highly controversial geodynamical context of this area.

2. Geological setting

The South-Iberian area is divided into four main geological units: Ossa-Morena Zone, Aracena–Acebuches Belt, Pulo de Lobo Complex and South-Portuguese Zone [3] (Fig. 1). Although the geodynamic context is still debated, a more recent geodynamic study indicates a subduction zone located northwards of the South-Portuguese Zone below the Ossa-Morena Zone, with a coeval southwards obduction of oceanic units of the Aracena Belt [12].

2.1. Ossa-Morena Zone (OMZ)

Defined by Lotze [9], this complex zone includes three main stratigraphic units: Cambrian (in a rift context), Upper Devonian and Lower Permian. Tectonic and metamorphic features have fairly well shown the presence of a Late Precambrian (Cadomian) orogenic event.

Hercynian magmatism of OMZ is different of that known in other Hercynian zones of Iberia, characterised by abundant rocks of intermediate and basic composition.

2.2. Pulo de Lobo complex and Aracena Belt

The Pulo de Lobo complex is mainly composed of detritic rocks with volcanic intercalations, exhibiting many features characteristic of an accretion prism [6, 12].

The Aracena Belt is a highly metamorphosed formation including the Acebuches amphibolite (also called Beja–Acebuches ophiolitic complex [14]), considered as a major Hercynian suture. This amphibolite was interpreted by numerous authors as belonging to an ophiolite complex, and corresponding thus to fragments of oceanic crust obducted southwards on The Pulo de Lobo complex [12, 13].

2.3. South Portuguese Zone

This zone is split into three stratigraphic units [11], with the famous economic massive sulphides ore deposits being located in the northernmost part. Although still debated, more recent studies favour a geodynamic model with the appearance of a second southern subduction plunging north [12, 13]. At the Upper Devonian (Famennian–Tournaisian), a major volcanism coeval with massive sulphides deposits has been emplaced on the continental crust, straight above the subduction zone. This area has been later involved in a complex deformation history with major overthrusts and south-oriented sliding [13–16].

3. Ore deposits setting

Ore deposits in the Ossa-Morena Zone and the Aracena Belt are related to the three major orogenic and sedimentary events known in this area.

Small (less than 1 Mt) volcanogenic massive sulphide deposits are linked to the calc-alkaline volcanism related to the Cadomian orogen (Puebla de la Reina, Maria-Luisa) and likely emplaced in an island-arc environment. The age of this 'Brioverian' hydrothermal event is badly constrained, but usually considered as Upper Riphean–Lower Vendian (750–650 Ma).

Exhalative-sedimentary ore-lenses are also known in Late-Cadomian sedimentary formations (Upper Vendian–Cambrian: 650–550 Ma). They are hosted by marbles and genetically related to alkaline bimodal volcanism of rift affinity. The Fuenteheridos deposit, studied here, is hosted in felsic volcanites and in underlying limestone [7].

Polymetallic (Zn–Cu–Pb) massive sulphides ore deposits of Eohercynian to Hercynian (Upper Devonian-Permian) are also known in this area [1]. The most important are associated with Upper Tournaisian–Lower Visean alkaline volcanism and are commonly admitted as being coeval of giant massive sulphides ore deposits of South Portuguese Zone [1]. Nava Paredon (0.6 Mt with 7% Zn and 3% Pb) and Aguas Blancas deposits (a sulphide lense of more than 10 Mt with Cu and Ni) have been studied.

4. Lead isotope results

Six main ore deposits of the studied area have been analysed for lead isotopes. Most analyses have been performed on pure galena or on lead-rich polymetallic sulphides or gossans. In galena-free samples, μ ratios are very low (maximum 0.76) and correction for in-situ enrichment is negligible.

Lead isotope compositions are highly scattered but remain less radiogenic than those of massive sulphides deposits of South Portuguese Zone. Two groups can be distinguished:

– a first one with low radiogenic ratios, $^{206}Pb/^{204}Pb$ between 17.49 and 17.82, close to the 575 Ma Pb/Pb isochron (include Maria-Luisa, Fuenteheridos, Granada de Rio Tinto and Puebla de la Reina);

– a second one showing more radiogenic ratios, $^{206}Pb/^{204}Pb$ between 17.92 and 18.05, and located near the 400 Ma Pb/Pb isochron (Aguas Blancas and Nava Paredon deposits), very close to the field occupied by ore deposits of the South-Iberian pyrite belt [10].

5. Discussion

The least radiogenic population reflects one or more Upper Proterozoic metallogenic events. This result reinforces the existence of Cadomian orogeny and associate hydrothermal processes in South Iberia. A Vendian metallogenic event, at least, seems to be clearly present (about 600–570 Ma), giving rise to the Maria-Luisa and Puebla de la Reina deposits, both of them located on 575 Ma Pb/Pb isochron. Although likely coeval, these two deposits are issued from different sources: (*i*) a strong mantle-derived component at Maria-Luisa deposit ($^{207}Pb/^{204}Pb$: 15.47), fitting well with the presence of obducted ophiolitic fragments in the Aracena belt, and (*ii*) a more crustal source at the Puebla de la Reina deposit.

Such unradiogenic compositions are very rare in Western Europe, being only known in Precambrian massive

sulphides deposits of the Armorican massif: Rouez (580–560 Ma), Upper Brioverian in age, and l'Hôtel-Piquet, related to Lower Brioverian acid volcanism [2, 4].

The more radiogenic population is fairly well clustered on the 400 Ma Pb/Pb isochron. It is likely related to a more recent, probably Eohercynian, hydrothermal event. The latter event could be coeval with the genesis of economic massive sulphide deposits within the Iberian Pyrite belt, as previously suggested [1]. In spite of different metal contents, the ore deposits of Aguas Blancas (Ni, Cu) and la Nava Paredon (Zn, Pb) have close isotopic compositions reflecting a single, mostly crustal, source. By comparison, the Iberian Pyrite Belt ore deposits appear as being derived exclusively from a continental crustal source. This difference in the sources of metals can be invoked in order to explain the exceptional metal accumulation that takes place in this belt.

6. Conclusion

Lead isotopic compositions of the studied ore deposits reflect at least two metallogenic events:
– the Brioverian event, which reinforces the presence of the Cadomian orogeny in South Iberia, with associated hydrothermalism, and of obducted oceanic terranes now transformed into amphibolites within the Aracena belt;
– the Eohercynian event, likely coeval with the formation of economic massive sulphide deposits in the South Portuguese zone (Iberian pyrite belt), showing differences in the metal accumulation, which results from highly different metallogenic sources.

---

1. Introduction

La région Sud-Ibérique est célèbre pour ses amas sulfurés, qui comptent parmi les plus grands gisements mondiaux de métaux de base (Rio Tinto, Neves-Corvo, Tharsis, etc.) [8] et constituent la ceinture pyriteuse sud-ibérique. Des minéralisations sulfurées comparables, bien que d'importance beaucoup plus limitée, sont également connues dans les entités géologiques plus septentrionales de la région Sud-Ibérique.

Les amas sulfurés de la ceinture pyriteuse sud-ibérique ont fait l'objet d'une étude exhaustive de la géochimie isotopique du plomb [10]. Une étude similaire a été entreprise sur les plus importantes minéralisations de ces zones septentrionales, afin de tester leur éventuelle parenté avec les amas sulfurés et de préciser leur environnement source, éléments susceptibles d'apporter des informations sur le contexte géodynamique très discuté de ce secteur.

2. Contexte géologique

La région Sud-Ibérique comprend quatre entités géologiques majeures qui sont, du nord au sud : la zone d'Ossa Morena, la ceinture d'Aracena–Acebuches, le complexe de Pulo de Lobo et la zone Sud-Portugaise [3] (Fig. 1). Les relations de ces quatre entités sont encore sujetes à discussion, de même que le cadre géodynamique d'ensemble de la zone Sud-Ibérique. Les études structurales récentes proposent une subduction vers le nord de la zone Sud-Portugaise sous la zone d'Ossa Morena, avec obduction antithétique (vers le sud) des unités océaniques jalonnant le flanc méridional de la ceinture d'Aracena [12].

2.1. La zone d'Ossa Morena

Depuis sa définition [9], la zone d'Ossa Morena (en abrégé ZOM) est celle qui a suscité les plus grands débats au sein des massifs hercyniens ibériques. De manière générale, l'existence d'un cycle orogénique fini-briovérien (Cadomien) est admise par la plupart des auteurs sur des arguments tectoniques et métamorphiques. La stratigraphie de la ZOM révèle trois grands ensembles (Cambrien, Ordovicien–Dévonien, Dévonien supérieur à Permien inférieur), chacun se mettant en place dans un contexte géodynamique différent : phase de rift pour le Cambrien, marge passive et orogène respectivement pour les deux autres.

Le magmatisme hercynien de la ZOM est notoirement différent de celui des autres aires hercyniennes ibériques, avec la présence de petits stocks plutoniques et subvolcaniques de roches intermédiaires et basiques, et une grande diversité des roches. Outre les roches magmatiques, dépendantes du cycle cadomien, les roches magmatiques paléozoïques possèdent des âges variés depuis le Cambrien jusqu'au Permien, probablement.

2.2. Le Pulo de Lobo et la ceinture d'Aracena : la limite méridionale de la zone d'Ossa Morena

La ZOM est séparée de la zone Sud-Portugaise (ZSP) par deux ensembles uniques dans les massifs ibériques : la ceinture d'Aracena, un ensemble de roches fortement métamorphiques, parfois rattaché pro parte à la ZOM, et le Pulo de Lobo, un ensemble de roches détritiques à intercalations volcaniques.

L'amphibolite d'Acebuches (également appelé complexe ophiolitique de Beja–Acebuches, [14]) compose le flanc sud de la ceinture d'Aracena ; elle est considérée comme une suture hercynienne majeure séparant la ZOM des unités plus méridionales du Pulo

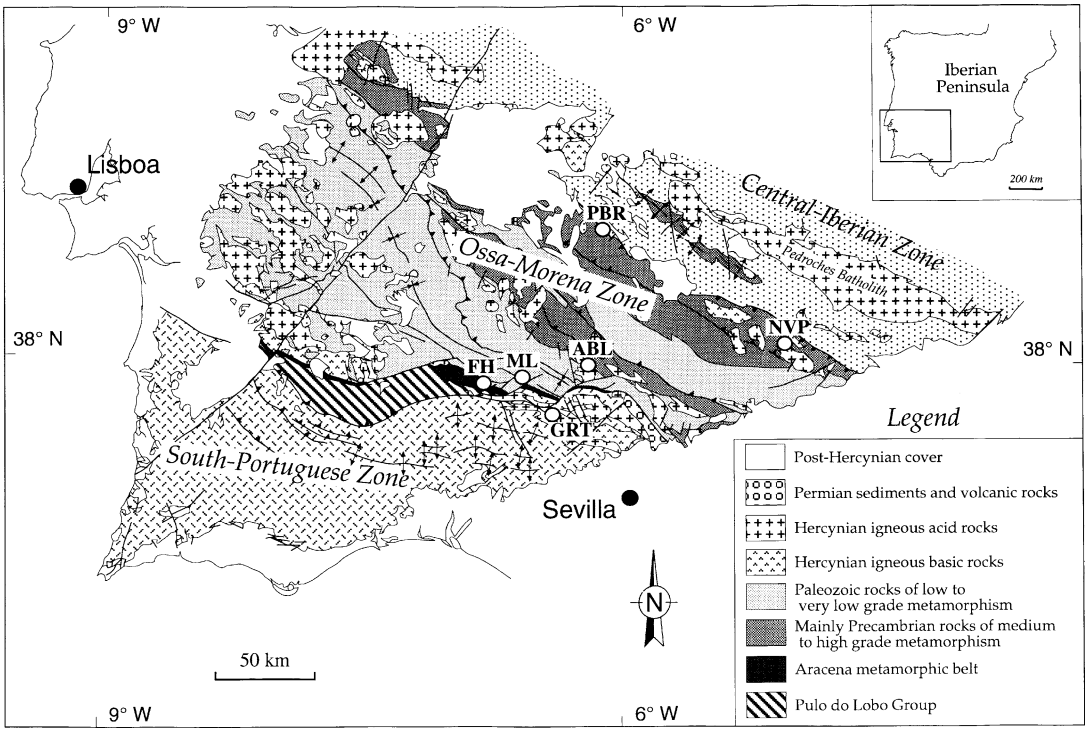

Figure 1. Carte géologique simplifiée de Sud-Ibérie. Minéralisations analysées : Aguas-Blancas (ABL), Fuenteheridos (FH), Granada de Rio Tinto (GRT), Maria-Luisa (ML), Nava Paredon (NVP), Puebla de la Reina (PBR).

Figure 1. Simplified geological map ot South-Iberia with location of analysed sulphides deposits: Aguas-Blancas (ABL), Fuenteheridos (FH), Granada de Rio Tinto (GRT), Maria-Luisa (ML), Nava Paredon (NVP), Puebla de la Reina (PBR).

de Lobo. Ces dernières ont été accrétées au cours de l'orogenèse hercynienne aux terrains de l'« autochtone ibérique », à la suite des phases de convergence et de collision continentale impliquant ZSP au sud et ZOM au nord [14, 16]. Les amphibolites de Beja–Acebuches, décrites par de nombreux auteurs comme des ophiolites, sont spatialement liées à la ceinture d'Aracena et pourraient correspondre à des fragments de croûte océanique obductés vers le sud (comme en témoignent les caractères structuraux) sur le Pulo do Lobo [12, 13], qui présente de nombreux caractères typiques d'un prisme d'accrétion (mélange ophiolitique de Peramora, nombreux mélanges tectono-sédimentaires, distribution en éventail des éléments structuraux [6, 12]).

2.3. Zone Sud-Portugaise

La ZSP est subdivisée en trois groupes lithostratigraphiques [11], dont seul le plus septentrional, la ceinture pyriteuse, contient des amas sulfurés d'importance économique. Cette ceinture pyriteuse a fait l'objet d'études récentes détaillées [8] ; on s'oriente actuellement vers un modèle de subduction océanique vers le nord, se développant à la suite et au sud de la zone d'obduction d'Acebuches. Le volcanisme de la ceinture pyriteuse et les amas sulfurés se mettent en place à l'aplomb de ce deuxième plan de subduction sur une croûte continentale au cours du Dévonien supérieur (Famenno-Tournaisien). Cet épisode est suivi par une déformation prograde en chevauchement et décollement à vergence sud, qui affecte l'ensemble de la ceinture pyriteuse et des unités méridionales de la ZSP [13–16].

3. Contexte métallogénique

L'histoire métallogénique de la zone d'Ossa-Morena–ceinture d'Aracena est complexe. En effet, les minéralisations sont attachées à chacun des trois grands cycles tectoniques et sédimentaires successifs reconnus dans cette zone.

Lors de l'évolution de la marge continentale au cours de l'orogène cadomien, un épisode de subduction avec formation d'un arc volcanique conduit à la formation de petits amas sulfurés volcano-sédimentaires (Puebla de la Reina, Maria-Luisa) associés à des roches volcaniques calco-alcalines. L'âge de l'épisode minéralisé, assez imprécis, est couramment attribué au Riphéen supérieur–Vendien inférieur (750–650 Ma).

L'ancienne mine de **Maria-Luisa** est associée à des tufs rhyolitiques encaissés dans des quartzites et amphibolites à grenat et épidote très déformées. Le minerai forme des lentilles sulfurées replissées, de

Tableau 1. Compositions isotopiques du plomb des minéralisations analysées. (*) : valeurs corrigées à $t = 350$ Ma (âge probable pour Aguas blancas, âge maximum pour Granada de Rio Tinto). na : non analysé. Analyses : département « Analyse et caractérisation minérale », BRGM, Orléans, France.

Table 1. Lead isotope compositions of analysed sulphide deposits. (*): corrected values at $t = 350$ Ma (probable age for Aguas Blancas, maximum possible age for Granada de Rio Tinto). na: not analysed. Analyses: Department 'Analyse et caractérisation minérale', BRGM, Orléans, France.

Gîtes analysés	Type de minéralisation	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$	Pb (ppm)	U (ppm)	μ	W
Nava Paredon	sulfures massifs à galène	17,921	15,555	38,018	na (> 10%)	na		
Fuenteheridos	sulfures disséminés à galène	17,539	15,531	37,637	na (> 10%)	na		
Maria-Luisa (échantillon 1)	sulfures polymétalliques	17,491	15,470	37,406	3485	6,77	0,121	0,457
Maria-Luisa (échantillon 2)	sulfures polymétalliques	17,503	15,485	37,449	5835	7,11	0,076	0,287
Puebla de la Reina	gossan sur sulfures massifs	17,814	15,577	37,372	40 228	2,24		
– id. – (duplicata)		17,819	15,587	37,404	40 228	2,24		
Granada de Rio Tinto	filon quartzeux	17,698 (*)	15,522 (*)	37,679 (*)	216	2,62	0,763	2,873
	à pyrite–chalcopyrite	17,741	15,524	37,729				
Aguas Blancas	sulfures massifs Ni–Cu	18,055 (*)	15,566 (*)	38,159 (*)	8,7	0,032	0,233	0,881
		18,068	15,567	38,174				

puissance métrique, orientées N140°E. Les réserves connues sont de 0,25 Mt de minerai à 0,8% Cu, 0,5% Pb, 3% Zn et 50 $g\,t^{-1}$ Ag. L'amas sulfuré abandonné de **Puebla de la Reina** ne montre à l'affleurement que des lentilles parallèles de gossan, de puissance décimétrique à métrique, interstratifiées dans des laves dacitiques et basiques.

Des minéralisations, interprétées comme exhalatives-sédimentaires sont également communes dans les formations mal datées, considérées comme tardicadomiennes (Vendien supérieur à Cambrien : 650–550 Ma). Elles apparaissent en lentilles à proximité du sommet d'une unité de marbre dolomitique, associées à une formation métavolcanique alcaline bimodale de type rift, à laquelle elles sont liées. Le gîte de **Fuenteheridos** appartient à cet ensemble [7]. Il est encaissé dans les métavolcanites acides et dans les carbonates sous-jacents voisins, et montre une minéralisation nettement rubanée à barytine, quartz et sulfures (galène, sphalérite) disséminés.

Des minéralisations d'âge Éohercynien à Hercynien (Dévonien supérieur–Permien) sont également connues dans cette zone [1]. Elles appartiennent au type sulfures massifs polymétalliques (Zn–Cu–Pb) et sont associées au volcanisme alcalin d'âge Tournaisien supérieur–Viséen inférieur développé dans des bassins d'extension en *pull-apart*, en bordure de la marge active. Ces minéralisations sont assez semblables et fréquemment admises comme synchrones de celles de la ceinture pyriteuse [1]. Le filon de Granada de Rio Tinto, qui recoupe des formations volcano-sédimentaires d'âge Dévono-Dinantien, pourrait appartenir également à cet épisode.

À la **Nava Paredon**, des travaux miniers récents ont mis en évidence une lentille de sulfures polymétalliques de 0,6 Mt de minerai à 7% Zn, 3% Pb, < 1% Cu, 60 ppm Ag et 0,5 ppm Au. L'amas sulfuré d'**Aguas Blancas**, reconnu par des travaux miniers, est une lentille de plus de 10 Mt minéralisée en Cu et Ni.

4. Résultats isotopiques

Les analyses isotopiques ont porté sur les six gisements et indices minéralisés principaux de la zone d'Ossa-Morena et de la ceinture métamorphique d'Aracena.

Les analyses ont été réalisées sur des galènes (La Nava Paredon, Fuenteheridos, Maria-Luisa), des sulfures massifs sans galène observée (Granada de Rio Tinto, Aguas Blancas) et un chapeau de fer à gœthite–hématite et minéraux secondaires de plomb, zinc et cuivre. Dans tous les échantillons sans galène apparente, les rapports μ ($^{238}U/^{204}Pb$) sont très faibles (maximum : 0,76) et les corrections d'enrichissement radiogénique minimes. L'imprécision sur l'âge de certains gîtes n'a donc pas de conséquence notable sur le calcul de la composition isotopique initiale.

Les compositions isotopiques sont fortement étalées, mais toujours moins radiogéniques que celles des amas sulfurés de la zone Sud-Portugaise. Elles se regroupent en deux populations (Tableau 1 et Fig. 2).

Une première population de compositions peu radiogéniques ($^{206}Pb/^{204}Pb$ entre 17,49 et 17,82), qui se dispersent aux alentours de l'isochrone 575 Ma, comprend les gîtes de Maria-Luisa, Fuenteheridos, Granada de Rio Tinto et Puebla de la Reina.

Une seconde population plus radiogénique ($^{206}Pb/^{204}Pb$ entre 17,92 et 18,05) est présente aux abords de l'isochrone Pb/Pb 400 Ma. Elle comprend les gîtes

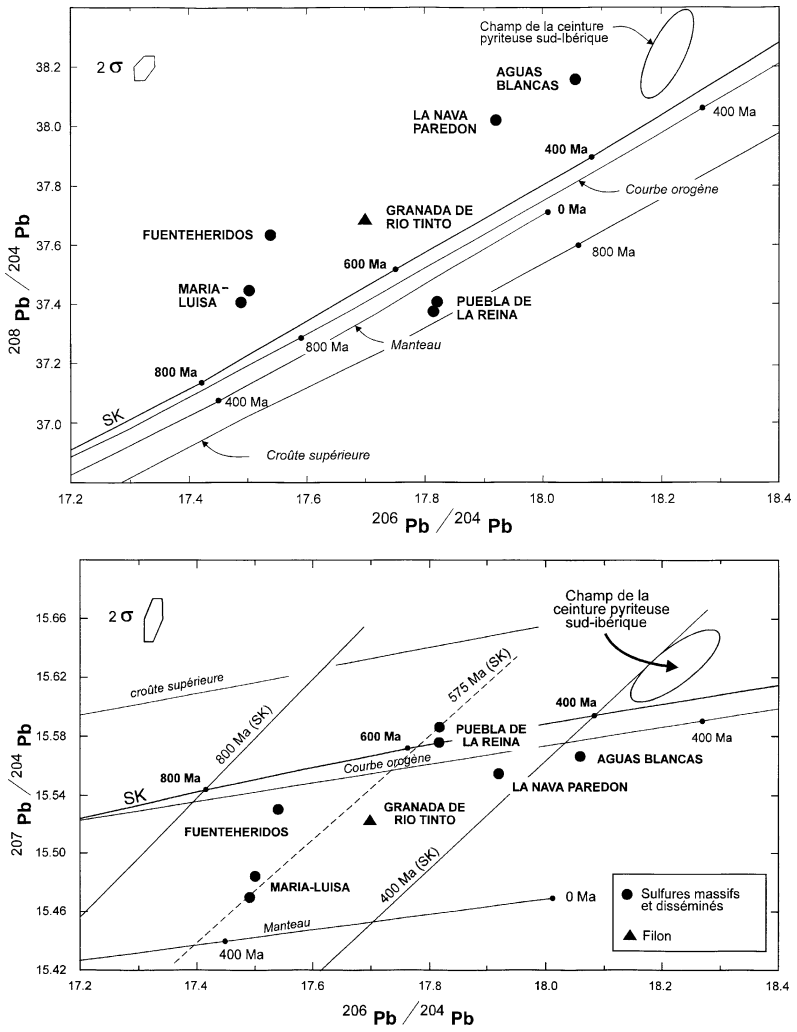

Figure 2. Compositions isotopiques du plomb des minéralisations analysées dans les diagrammes Pb/Pb. SK : courbe de croissance normale de Stacey–Kramers [17] ; les autres courbes de croissance du plomb sont extraites de Doe et Zartman [5].

Figure 2. Lead isotope compositions of studied ore deposits in Pb/Pb diagrams. SK: Stacey and Kramers growth curve [17], other growth curves are from Doe and Zartman [5].

d'Aguas Blancas et de Nava Paredon. Cette seconde population se rapproche fortement du champ de composition isotopique des amas sulfurés de la ceinture pyriteuse [10].

5. Discussion

La population la moins radiogénique témoigne d'un ou plusieurs épisodes minéralisateurs d'âge Protérozoïque supérieur, ce qui conforte la présence d'une orogenèse cadomienne, avec manifestations hydrothermales associées, dans la zone Sud-Ibérique. Un épisode Vendien supérieur semble assez bien calé. En effet, bien que les âges modèles soient légèrement différents des âges géologiques, il est envisageable que les deux gisements (Maria-Luisa et Puebla de la Reina), alignés sur l'isochrone 575 Ma, soient pénécontemporains et formés aux environs de 600–570 Ma, à partir de sources différentes. L'existence d'un second épisode minéralisé, toujours Protérozoïque supérieur mais plus ancien, n'est pas clairement établi.

On note, par ailleurs, une contribution mantellique forte à Maria-Luisa ($^{207}Pb/^{204}Pb = 15{,}47$), caractérisée par un rapport μ de 9,30 (pour un âge t de 575 Ma). Cette participation mantellique est cohérente avec l'environnement basique de la ceinture d'Aracena et renforce l'hypothèse, admise par de nombreux auteurs, de la présence de fragments d'une croûte océanique, sous forme de lambeaux de complexes ophiolitiques amphibolitisés, dans la ceinture d'Aracena–Acebuches [13]. Les rapports $^{207}Pb/^{204}Pb$ plus élevés de Puebla de la Reina ($^{207}Pb/^{204}Pb = 15{,}57$) indiquent clairement une source plus crustale (μ proche de 9,77).

Le filon de Granada de Rio Tinto est plus difficile à interpréter ; sa signature peu radiogénique pourrait résulter de la mobilisation de métaux issus de terrains subductés précambriens.

Des compositions aussi peu radiogéniques sont rarissimes dans les terrains d'Europe de l'Ouest. Des signatures comparables n'y sont connues que dans les

amas sulfurés massifs du Massif armoricain oriental. Ces amas sont Briovérien supérieur à Rouez (580–560 Ma), un amas de plus de 100 Mt de sulfures, et Briovérien inférieur (vers 600 Ma) à l'Hôtel-Piquet [2, 4]. Une époque métallogénique briovérienne, à l'origine d'amas sulfurés parfois importants, semble ainsi s'esquisser dans les terrains d'Europe de l'Ouest.

La seconde population, plus radiogénique, et groupée aux alentours de l'isochrone Pb/Pb 400 Ma, relève d'événements minéralisateurs plus récents, probablement éo-hercyniens. Cet événement pourrait être synchrone de la formation des amas sulfurés de la ceinture pyriteuse, comme cela est proposé pour le gisement de Nava Paredon [1]. Les deux gisements de Nava Paredon (Zn, Pb) et d'Aguas Blancas (Ni–Cu), malgré des contenus métalliques différents, ont des compositions isotopiques proches, qui suggèrent une source commune essentiellement crustale. Malgré l'abondance de nickel à Aguas Blancas, la contribution mantellique apparaît très faible ($\mu = 9{,}70$), plus limitée qu'à Nava Paredon ($\mu = 9{,}52$), sans doute à cause d'une forte contamination crustale.

Comparativement à ces deux gisements, la signature isotopique des amas sulfurés de la ceinture pyriteuse traduit une origine crustale beaucoup plus marquée [10]. Cette différence fondamentale de source pourrait être la cause essentielle qui conditionne l'exceptionnelle quantité de métaux contenue dans la ceinture et, par là même, son importance économique.

6. Conclusions

Les signatures isotopiques du plomb des minéralisations de la zone Sud-Ibérique reflètent la présence d'au moins deux époques métallogéniques, briovérienne et éo-hercynienne. Bien que seule cette seconde époque donne lieu à des minéralisations économiques dans la zone Sud-Portugaise, là où la contribution crustale est maximale, la présence de signatures briovériennes est en faveur de l'existence d'au moins un événement orogénique précambrien. Les signatures isotopiques traduisent également la présence, dans la ceinture d'Aracena, de terrains à affinités mantelliques, vraisemblablement des lambeaux de croûte océanique, qui participent localement à l'accumulation métallique (Maria-Luisa). Ces résultats confirment la complexité de cette zone de collision, mêlant des terrains très variés, cause de la difficulté à proposer un modèle géodynamique consensuel.

Remerciements. Les auteurs tiennent à remercier G. Ruiz de Almodovar, R. Saez et T. Donaire pour l'aide apportée sur le terrain et dans l'échantillonnage.

Références

[1] L.J. Baeza-Rojano, C. Ruiz Garcia, M. Ruiz Montes, A. Sanchez, Mineralizacion exhalativo-sedimentaria de sulfuros polimetalicos en la Sierra Morena Cordobesa (Espana), Boletin Geologico y Minero XCII–III (1981) 203–216.

[2] L. Chauris, É. Marcoux, Metallogeny of the Armorican Massif, in : J.D. Keppie, J. Chantraine, J. Rolet, D.S. Santallier, A. Piqué (Eds.), Pre-Mesozoïc geology in France and related areas. Part IIC. Metallogeny, Springer-Verlag, Berlin, 1994, pp. 243–264.

[3] R.D. Dallmeyer, E. Martinez-Garcia, Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer-Verlag, 1990.

[4] Y. Deschamps, J.-P. Milési, É. Marcoux, A. Beaujour, D. Cassard, Le pipe hydrothermal briovérien à Zn–Ba–Ag–(Au) de l'Hôtel-Piquet (Normandie, France), Chron. Rech. Min. 517 (1994) 37–47.

[5] B.R. Doe, R.E. Zartman, Plumbotectonics, the Phanerozoic, in : H.L. Barnes (Ed.), Geochemistry of hydrothermal ore deposits, John Wiley and Sons, New York, 1979, pp. 22–70.

[6] C.P. Eden, Tectonostratigraphic analysis of the northern extent of the oceanic terrane, northwestern Huelva Province, Spain, thesis, University of Southampton, 1991, 281 p.

[7] J.-C. Fernandez-Caliani, A. Requena, R. Saez, G. Ruiz de Almodovar, Las mineralizaciones Pb–Zn asociadas a rocas carbonatadas en el sector de Fuenteheridos, Huelva, Studia Geologica Salmanticensia, Vol. Esp. 4 (1989) 7–15.

[8] J.-M. Leistel, É. Marcoux, D. Thiéblemont, C. Quesada, A. Sanchez, G.R. Almodovar, E. Pascual, R. Saez, The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian pyrite belt. Review and preface to the Thematic Issue, Miner. Deposita 33 (1–2) (1998) 2–30.

[9] F. Lotze, Zur Gliederung der Varisciden der Iberischen Meseta, Geotecktonische Forsch. 6 (1945) 78–92.

[10] É. Marcoux, Lead isotope systematics of the giant massive sulphide deposits in the Iberian pyrite belt, Miner. Deposita 33 (1–2) (1998) 45–58.

[11] J.T. Oliveira, Stratigraphy and syn-sedimentary tectonism in the South Portuguese Zone, in : R.D. Dallmeyer, E.M. Garcia (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer, Berlin, 1990, pp. 334–347.

[12] J. Onézime, Environnement structural et géodynamique des minéralisations de la Ceinture Pyriteuse Sud-Ibérique : leur place dans l'évolution hercynienne, thèse, université d'Orléans, 2001, 268 p.

[13] J. Onézime, J. Charvet, M. Faure, A. Chauvet, D. Panis, Structural evolution of the southernmost segment of the West European Variscides: the South Portuguese Zone (SW Iberia), J. Struct. Geol. (in press).

[14] C. Quesada, P. Fonseca, J. Munha, J.T. Oliveira, A. Ribeiro, The Beja–Acebuches Ophiolite (Southern Iberia Variscan Fold Belt): geological characterisation and geodynamic significance, Boletin Geologico y Minero 105 (1994) 3–49.

[15] C. Quesada, A reappraisal of the structure of the Spanish segment of the Iberian Pyrite Belt, Miner. Deposita 33 (1998) 31–44.

[16] J.-B. Silva, J.-T. Oliveira, A. Ribeiro, Structural outline of the South Portuguese Zone, in : R.D. Dallmeyer, E.M. Garcia (Eds.), Pre-Mesozoic Geology of Iberia, Springer, Berlin, 1990, pp. 348–362.

[17] J.S. Stacey, J.D. Kramers, Approximation of terrestrial lead isotope evolution by a two-stage model, Earth Planet. Sci. Lett. 26 (1975) 207–221.