HAL
open science

Le complexe d'ateliers du Cabezo del Pino (Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Murcia) et l'organisation de l'activité minière à Carthago Noua à la fin de la République romaine. Apports croisés de l'archéologie et de la géochimie

Sandrine Baron, Christian Rico, Juan Antonio Antolinos Marín

To cite this version:

Sandrine Baron, Christian Rico, Juan Antonio Antolinos Marín. Le complexe d'ateliers du Cabezo del Pino (Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Murcia) et l'organisation de l'activité minière à Carthago Noua à la fin de la République romaine. Apports croisés de l'archéologie et de la géochimie. Archivo español de arqueología : serie Anejos, 2017, 90 (90), pp.147-169. 10.3989/aespa.090.017.007 . hal-02010494

HAL Id: hal-02010494

https://hal.science/hal-02010494v1

Submitted on 7 Feb 2019

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.

Archivo Español de Arqueología 2017, 90, págs. 147-169 ISSN: 0066 6742 doi: 10.3989/aespa.090.017.007

Le complexe d'ateliers du Cabezo del Pino (Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Murcia) et l'organisation de l'activité minière à *Carthago Noua* à la fin de la République romaine. Apports croisés de l'archéologie et de la géochimie

The Cabezo del Pino workshops complex (Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Murcia) and the mining activities organisation at *Carthago Noua* at the end of the Roman Republic. Cross-contributions of archaeology and geochemistry

Sandrine Baron[1]
Christian Rico[2]
Université Toulouse Jean Jaurès
Juan Antonio Antolinos Marín[3]
Universidad de Murcia

RÉSUMÉ

Cet article présente les résultats d'analyses isotopiques du plomb (LIA) réalisées sur divers matériaux et objets archéologiques (minerais, sédiments de lavage, litharges) découverts dans le cadre de récentes fouilles archéologiques conduites sur une installation de lavage au sein du district minier d'argent de Carthagène, durant l'époque romaine. Le but de telles analyses était d'affiner la signature isotopique de la laverie de manière à la situer dans ce vaste district. Combinées aux données de l'archéologie et de l'épigraphie, les LIA peuvent contribuer à mieux connaître et comprendre l'organisation de l'activité minière et métallurgique de Carthagène.

SUMMARY

The paper presents the results of the lead isotope analyses (LIA) made on various material and artefacts (ore, washing sediments, litharge) uncovered on the recent excavations carried on an ore washing plant in the Roman silver mining district of Carthago Nova. The aim of such analyses was to precise the isotopic signature of the washing plant so that it could be possible to contextualize it in the whole district. Combined with archaeological and epigraphical data, the LIA can contribute to better know the organisation of Roman mining and metallurgical activity in Cartagena.

RESUMEN

Se presentan los resultados de estudios arqueométricos realizados sobre diversos materiales (mineral, sedimentos de lavado, litargirio) recogidos en las recientes excavaciones de un complejo de talleres de época tardorrepublicana vinculado a la producción de plata y plomo en el distrito de Carthago Nova. Además de permitir la determinación de la signatura isotópica del complejo arqueológico, los isótopos de plomo contribuyen, conjuntamente con la arqueología y la epigrafía, a una mejor comprensión de la organización de la actividad minera y metalúrgica en la Cartagena romana.

MOTS CLEFS: isotopes du plomb; laverie de minerai; litharge; lingots; II-I s. av. J.-C.

KEY WORDS: lead isotopes; ore washing plant; litharge; ingots; II-I century BC.

PALABRAS CLAVE: isótopos del plomo; lavadero de mineral; litargirio; lingotes; siglo II-I a. C..

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO / CITATION: Baron, S., Rico, Chr. y Antolinos Marín, J. A. 2017: ''Le complexe d'ateliers du Cabezo del Pino (Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Murcia) et l'organisation de l'activité minière à Carthago Noua à la fin de la République romaine. Apports croisés de l'archéologie et de la géochimie''. *Archivo Español de Arqueología*, 90: 147-169. doi: 10.3989/aespa.090.017.007

[1] sbaron@univ-tlse2.fr / ORCID iD: http://orcid.org/0000-0003-1910-8903
[2] rico@univ-tlse2.fr / ORCID iD: http://orcid.org/0000-0001-7053-273X
[3] antolino@um.es / ORCID iD: http://orcid.org/0000-0002-4791-9407

Copyright: © 2017 CSIC. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC-by) Spain 3.0 License.

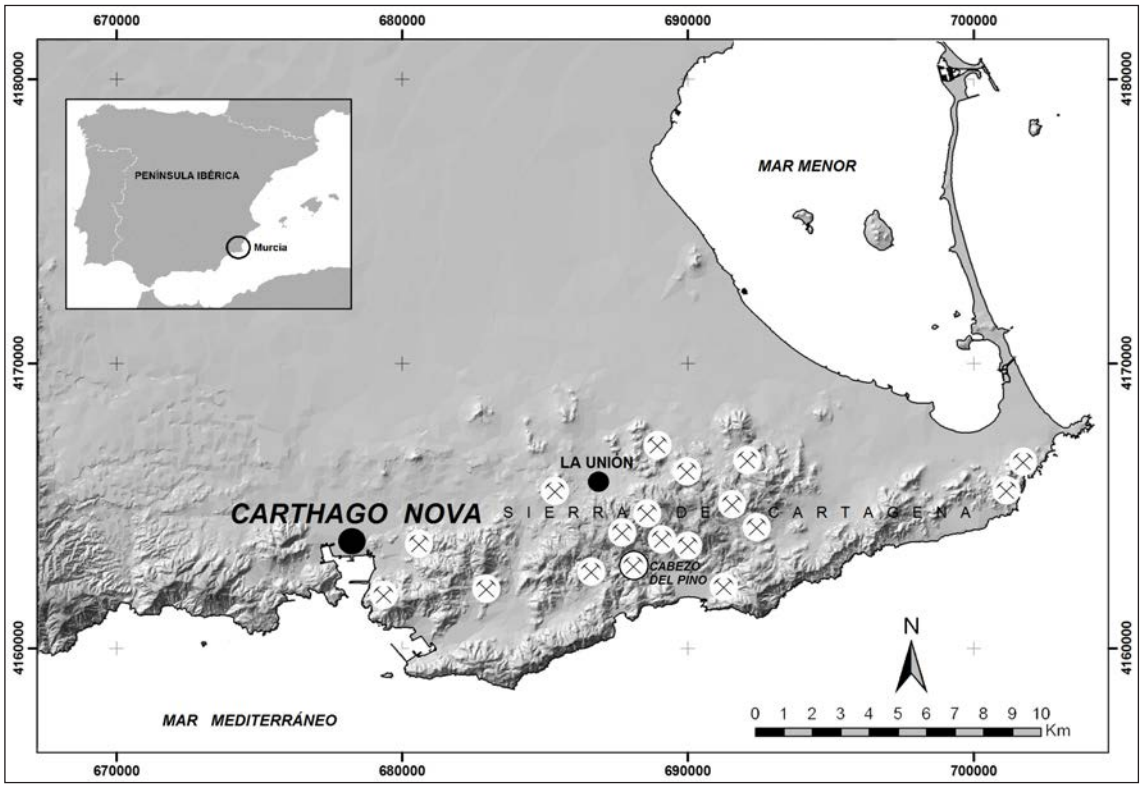

Figure 1. La Sierra minera de Cartagena-La Unión. Principaux sites miniers antiques et situation du Cabezo del Pino (DAO: J. A. Antolinos).

Le Cabezo del Pino est un petit massif au cœur de la Sierra minera de Cartagena-La Unión, petite chaîne littorale longue de 25 km et large de 6,5 km située à quelques kilomètres à l'est de Carthagène, et l'un des hauts lieux de l'industrie minière péninsulaire aux époques antique et contemporaine (Fig. 1). Les vestiges de l'activité minière moderne ne manquent pas sur les flancs de la montagne qui culmine à 268 m : ruines d'installations de surface, galeries de recherche, tranchées ouvertes, déblais miniers et haldes de fines de lavage ; ils témoignent de l'ampleur des travaux qui reprirent dès 1840, donnant lieu à l'ouverture de très nombreuses concessions minières, 1151 pour être précis, d'après le plan de Carlos Lanzarote de 1907. C'est à l'emplacement de l'une de ces anciennes concessions, nommée Presentación Legal, située à mi-pente du Cabezo, sur son flanc est, et en bordure d'une grande falaise de calcaires marmoréens, à une altitude moyenne de 150 m, que des prospections menées au début des années 2000[4] ont révélé l'existence d'un site romain que les vestiges visibles en surface désignaient comme lié à l'activité minière et métallurgique (Fig. 2). Parmi les murs affleurant dans la végétation de spart, associés à du mobilier épars d'époque romaine (céramique, dont amphores républicaines) se trouvaient les restes très abîmés d'une structure circulaire conservant son enduit d'*opus signinum* que, en toute hypothèse, on pouvait identifier à une cuve utilisée pour le lavage de minerai. Les fouilles programmées mises en place dès 2008 devaient permettre de documenter archéologiquement pour la première fois dans le sud-est de l'Espagne de probables ateliers de traitement de galène argentifère, le principal minerai de la région dont l'exploitation fit la richesse de Carthagène dans l'Antiquité romaine. On manquait en effet jusqu'alors de données précises sur les installations d'époque romaine, sur les infrastructures utilisées pour la préparation, le lavage et la métallurgie du minerai argentifère, et, par voie de conséquence, sur les protocoles technologiques utilisés. Pendant longtemps en effet, la connaissance

[4] Ces prospections avaient pour objectif de mettre à jour la carte archéologique de la région, en prévision du classement et de la protection de certains secteurs de la Sierra minera remarquables pour leur patrimoine industriel et/ou archéologique. Cf. Antolinos 1998 ; Antolinos y Peñas 2007.

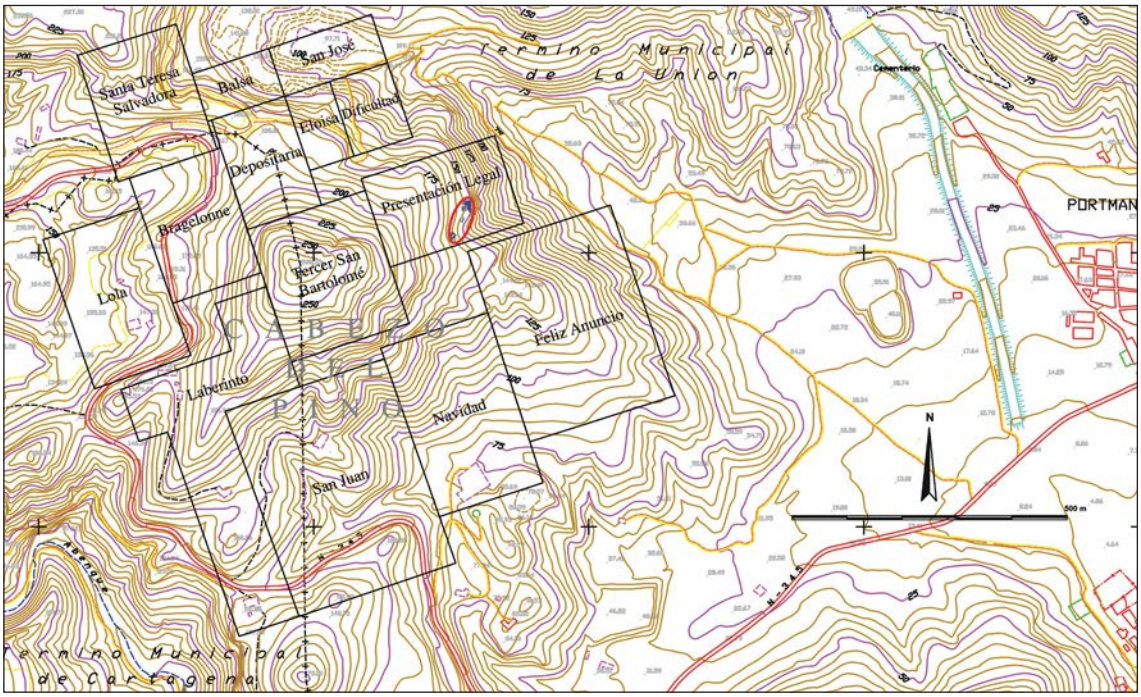

Figure 2. Le Cabezo del Pino. Localisation du site de Presentación Legal et des concessions minières modernes recensées en 1907.

de l'activité minière romaine à *Carthago Noua* a reposé sur les recherches de Claude Domergue, premier archéologue à avoir entrepris dans les années 1970 un travail d'inventaire systématique des données d'archives (les rapports des ingénieurs des mines de la deuxième moitié du XIXe), complété par des reconnaissances sur le terrain (Domergue 2010). Les recherches postérieures se sont largement nourries du tableau dressé par Cl. Domergue qui reste toujours la référence (Domergue 1987 ; 1990), et n'a été complété que ponctuellement lors d'opérations d'archéologie préventive ou de prospections systématiques (Ramallo Asensio et Berrocal Caparrós 1994 ; Antolinos *et alii* 2010 ; Antolinos 2012). Les dernières en date, au début des années 2000, ont permis d'augmenter sensiblement le nombre de sites archéologiques épargnés par l'industrie moderne.

Le site de Presentación Legal est l'un d'eux. Huit années de recherches[5] ont permis de mettre au jour les vestiges d'un complexe d'ateliers de la fin de l'époque républicaine et du tout début du Haut-Empire dédiés au traitement du minerai extrait alentour. Le complexe, construit à flanc de montagne, est en effet situé à proximité immédiate de grandes tranchées ouvertes qui se poursuivent en souterrain et dont on peut imaginer que le minerai venait alimenter les installations de ces ateliers. La topographie des lieux, très accidentée, ne permet pas une évaluation précise de l'extension du complexe archéologique, enfoui par endroits sous plusieurs mètres de déblais miniers modernes. Elle a conditionné aussi la progression des fouilles. Ces dernières en effet n'ont touché que les parties basses du site, qui, au vu des structures mises au jour entre 2008 et 2015, présentait une organisation étagée en terrasses épousant la pente de la montagne ; la falaise de marbres qui domine la petite baie de Portmán en constitue logiquement la limite inférieure (Fig. 3). Au cœur du complexe se trouve une laverie, localisée dans la partie nord du site. Elle est la première installation du genre pour l'époque romaine qui ait jamais été fouillée extensivement dans la péninsule Ibérique, un bâtiment de près de 200 m^2 conservant encore ses dispositifs de lavage dont il sera question ci-après. Le mobilier prélevé en stratigraphie permet de dater son activité entre le IIe s. av. J.-C. et les années 80-70 du siècle suivant. Ailleurs sur le site, d'autres structures contemporaines ont été mises au jour mais leur mauvais état de conservation empêche

[5] Programme mis en place avec le soutien de la Casa de Velázquez et du Ministère français des Affaires étrangères et du développement international (depuis 2011), du laboratoire TRACES, UMR 5608 CNRS, de l'université et de la Région autonome de Murcie. Les fouilles, organisées autour d'une campagne annuelle d'un mois tous les étés de 2008 à 2015, ont été dirigées par Christian Rico et Juan Antonio Antolinos Marín.

Figure 3. Vue oblique du site de Presentación Legal, à la fin de la campagne 2015 (Cl. Aerograph Studio).

de connaître leur rôle précis dans le fonctionnement du site. Celui-ci est délaissé pendant quelques décennies au Ier s. av. J.-C., avant que l'activité ne redémarre à l'époque augustéenne. L'endroit est alors profondément réorganisé, l'essentiel des structures visibles à l'heure actuelle, à l'exclusion de celles de la laverie, appartient à cette deuxième phase d'activité. La réoccupation est cependant de courte durée, malgré l'ampleur des réaménagements; le site est en effet définitivement abandonné dans les années 50-60 au plus tard[6].

Dès le début, se sont posées à nous la question de la nature du site et celle de son insertion dans le district minier de *Carthago Noua* au temps de son apogée, c'est-à-dire les deux derniers siècles avant notre ère. L'ensemble de la chaîne opératoire de la galène argentifère semble en effet y être représentée, au travers d'une part de la présence de gîtes métallifères à proximité immédiate du site (extraction), d'autre part des infrastructures mises au jour, dont celles, on l'a dit, de la laverie (minéralurgie), enfin du matériel relativement abondant prélevé en stratigraphie qui peut être rattaché à la dernière étape de la chaîne opératoire du minerai, la métallurgie; il s'agit de scories de réduction, qui restent cependant relativement rares[7], mais surtout de plusieurs fragments de rouleaux de litharge de coupellation. La présence sur le site de toutes les opérations de traitement de la galène argentifère est donc là un argument fort pour identifier les ateliers comme ceux d'une

[6] En attendant la publication monographique des travaux, en préparation, nous renvoyons aux articles déjà publiés ou à paraître sur les différentes opérations menées dans le secteur du Cabezo del Pino: Rico *et alii* 2009; Antolinos *et alii* 2010; Fabre *et alii* à paraître; Antolinos et Rico 2012; Rico et Antolinos à paraître. Voir aussi la page dédiée sur le site de la Casa de Velázquez: https://www.casadevelazquez.org/recherche-scientifique/fouilles-archeologiques/carthagene/presentation-et-objectifs/

[7] Seule une petite partie du site a été explorée. Il est fort possible que les ateliers métallurgiques aient été éloignés du reste du complexe pour éviter tout désagrément lié à la réduction de la galène. Sur le site de Feliz Anuncio, un peu plus au sud-est du nôtre, des scories éparses et quelques structures étaient visibles il y a quelques années. Rien n'interdit *a priori* d'y voir le quartier métallurgique de notre complexe.

même entreprise minière, et pourquoi pas, de l'une de celles qui essaimèrent dans la région de *Carthago Noua* au lendemain de la deuxième guerre punique. Celles-ci nous sont connues par les inscriptions des lingots de plomb républicains attribués à ce district. Aujourd'hui, un peu plus d'une trentaine de producteurs sont connus grâce aux grands cartouches inscrits moulés au dos des lingots pour la période de la fin du IIe s. et surtout de la première moitié du Ier s. av. J.-C., producteurs que l'onomastique et la prosopographie relient tous à la péninsule Italique (Domergue 1990 : tabl. X 254-257 et 321-332 ; Stefanile 2013). Avec beaucoup d'autres très certainement qui nous restent pour l'heure inconnus, il se partagent un domaine minier qu'on peut imaginer comme étant organisé en concessions selon le système de l'*occupatio*[8]. Aucune de ces entreprises n'a été à ce jour localisée sur le terrain[9]. Le site de Presentación Legal pourrait être la première. Il reste à le prouver; mais l'archéologie montre là ses limites.

Un des outils permettant d'aider l'archéologie et plus particulièrement la paléométallurgie, est la géochimie. Les isotopes du plomb permettent d'établir des liens entre des matériaux métalliques et des gisements sources. Les apports de l'utilisation des isotopes du plomb en paléométallurgie ne sont plus à démontrer (Pernicka *et alli* 1993; Cattin *et alli* 2009 ; Stos-Gale et Gale 2009; Baron et Coustures 2015). Néanmoins, des limites, inhérentes à la plupart des traceurs, nécessitent une certaine prudence quant à la restitution des sources de provenance. En effet, la similitude de signatures isotopiques du plomb entre gisements, géographiquement éloignés ou non, ainsi qu'une large hétérogénéité isotopique au sein d'un même district et/ou d'une même veine sont tout à fait possibles. Par ailleurs, l'impact des procédés métallurgiques sur la composition isotopique des produits obtenus est également possible via des ajouts ou mélanges de minerais dans un même four métallurgique (Baron *et alli* 2014). La géochimie constitue donc l'autre volet des recherches effectuées sur le site de Presentación Legal. Une partie des matériaux prélevés en stratigraphie, principalement entre 2009 et 2014, morceaux de minerai, résidus de lavage, scories et litharges, ont été soumis à des analyses, élémentaires et isotopiques, nécessaires pour caractériser les matériaux issus des phases minéralurgique et métallurgique et contribuer ainsi à une meilleure connaissance des procédés technologiques anciens.

Nous présentons ici les résultats des analyses des isotopes du plomb effectuées sur des minerais, des résidus de lavage et des litharges de coupellation échantillonnés lors de nos fouilles. Ces analyses répondaient à une problématique particulière. Il s'agissait d'une part de caractériser la signature isotopique de la matière première traitée dans la laverie et, par ce biais, d'identifier celle du complexe d'ateliers étudié. Il s'agissait d'autre part de vérifier l'éventuelle filiation entre les sédiments de lavage de la laverie et les litharges de coupellation. Une même signature isotopique du plomb renforcerait l'hypothèse d'une activité métallurgique orientée vers la production d'argent sur le site, ce qui, indubitablement, conforterait l'interprétation que nous donnons des ateliers de Presentación Legal. Enfin, il est apparu nécessaire de replacer les résultats obtenus dans le champ de composition isotopique de Carthagène, et plus particulièrement dans celui des lingots de plomb républicains, disponible depuis peu (Trincherini *et alii* 2009). L'enjeu est non seulement de déterminer la signature isotopique du métal produit par l'atelier, mais aussi d'en apprendre plus, en croisant les données de l'archéologie, de l'épigraphie et de la géochimie, sur l'organisation de l'activité minière et métallurgique dans le district de *Carthago Noua* aux deux derniers siècles de la République. Les isotopes du plomb seront utilisés ici non pas comme des traceurs de provenance mais comme des indicateurs des modalités d'exploitation d'un district minier en lien avec les données archéologiques.

1. LE MATÉRIEL ANALYSÉ ET SON CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE

L'obtention de métaux, plomb et argent, à partir de la galène argentifère passe par toute une série d'étapes qui génèrent des déchets; c'est la chaîne opératoire, qu'il convient, en préambule, de présenter ici, même brièvement (Domergue 2008: 143-178).

Après extraction, les minerais étaient soigneusement triés, puis concassés. Sur le site de Presentación Legal, on utilisait en guise d'enclumes des blocs de marbre bruts sur lesquels le minerai était broyé à l'aide de percuteurs, des galets par exemple, dont quelques rares exemplaires ont été trouvés en fouille. Ces mortiers sont désignés par les collègues espagnols sous le terme de «piedras con cazoletas», en raison

[8] Voir d'ores et déjà Rico 2010: 400; Orejas et Rico 2015 [en ligne] et, d'une manière générale, sur l'*ager occupatorius* et les conditions de son exploitation, Roselaar 2010.

[9] A l'exception peut-être toutefois des ateliers d'où sortirent les lingots de plomb estampillés M. P. ROSCIEIS M. F. MAIC trouvés au milieu du XIXe s. dans un ancien crassier, près de la grande mine du Cabezo Rajado (Domergue 1987: 381-384), dans une zone où les anciennes fonderies, aujourd'hui disparues, ne manquaient pas. Le nom du lieu-dit, *Caseríos de Roche*, n'est pas sans faire écho au gentilice des deux exploitants romains, les Roscii (cf. aussi Domergue 2005: 190).

Figure 4. Vue verticale de la laverie en 2014 (Cl. Aerograph Studio).

des cavités arrondies, plus ou moins profondes et plus ou moins larges, produites par un broyage répétitif qui a peu à peu usé la roche. L'objectif de l'opération consistait à aboutir à un matériau homogène, qui éventuellement pouvait être grillé pour en supprimer les sulfures, et qui devait, dans tous les cas, être lavé. Le lavage avait pour fonction de séparer, par concentration gravimétrique, les particules lourdes, contenant le minerai de plomb, des particules plus légères de la gangue, et d'aboutir ainsi à un concentré qui soit plus facile à réduire. Cette étape d'enrichissement nécessitait de l'eau, courante ou en tout cas en mouvement, mais pas nécessairement une infrastructure complexe; un simple bassin et un crible pouvaient faire l'affaire, comme le montre une des vignettes du traité d'Agricola (fol. 245). Il existait bien sûr des installations en dur, mais qui dans l'ensemble sont très mal connues, en particulier pour l'époque romaine. Les fouilles de Presentación Legal ont permis de documenter *in extenso* la première laverie du monde romain[10] (Fig. 4).

Orienté du nord au sud, le bâtiment est de plan presque carré. Ses dimensions hors-œuvre sont de 14,40 m de longueur et de 13,30 m de largeur, ce qui lui donne une superficie de 186 m^2 (Fig. 5). La laverie présente une organisation en trois terrasses étagées perpendiculairement à la pente à laquelle elle est accrochée. Dans un deuxième temps, sans doute dans le courant du IIe s., l'édifice est agrandi au nord par l'ajout de trois nouveaux espaces de 11 m^2 chacun, également disposés d'ouest en est. La fonctionnalité des terrasses supérieure et médiane est mal cernée, en raison de l'état de conservation très moyen des structures et du peu d'indices et du matériel qui y ont été découverts. On notera toutefois l'aménagement sur la terrasse supérieure d'un espace probablement destiné au stockage de minerai, et la présence dans la terrasse médiane de deux structures qui ont été interprétées comme des fours de grillage du minerai (Antolinos et Rico 2012: 78-87). La fonction de la terrasse inférieure est donnée par les aménagements qui la complétaient. Il s'agit

[10] Pour mémoire, on rappellera la découverte d'une série de bassins de lavage et de concentration au Coto Fortuna à Mazarrón dans les années 1880 (Domergue 1998: 39-40), mais qui n'a fait l'objet d'aucune étude archéologique récente.

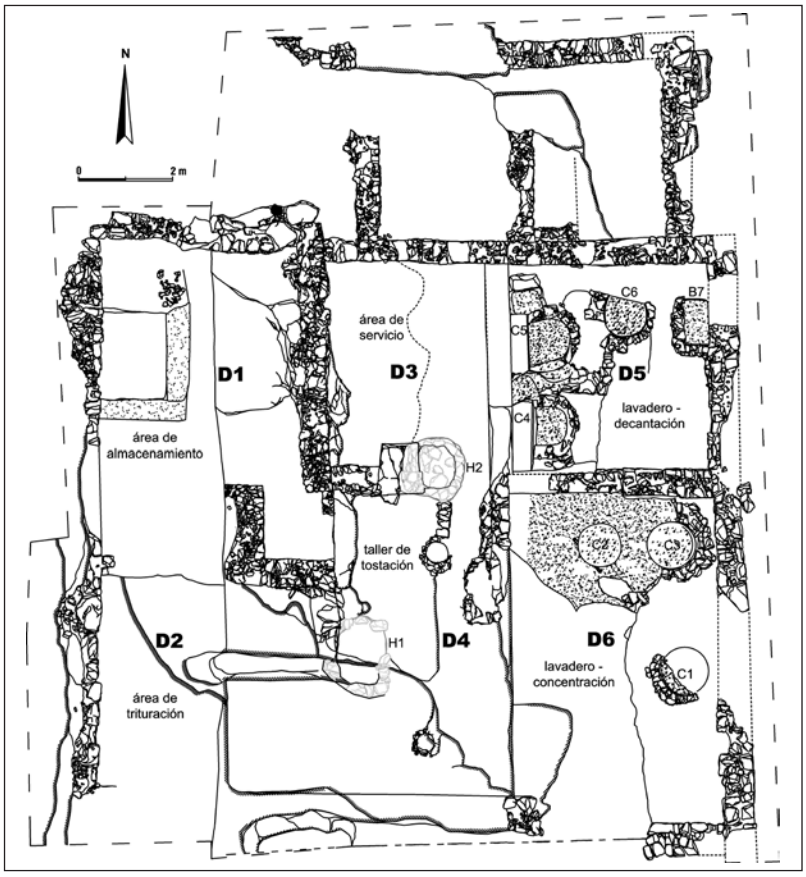

Figure 5. La laverie du secteur 2 de Presentación Legal (Relevé et DAO : E. Celdrán et J. A. Antolinos).

de plusieurs cuves maçonnées et revêtues d'un enduit étanche d'*opus signinum*, ménagées dans le remblai mis en place pour constituer la terrasse ; elles sont parvenues jusqu'à nous dans un état de conservation très inégal. Trois, localisées dans la partie sud de la terrasse (Fig. 6), sont des bassins cylindriques (C1, C2, C3) d'un diamètre compris entre 0,90 (cuve 3) et 1 m (cuves 1 et 2) pour une profondeur de 0,90-0,95 m. Elles étaient pourvues dans leur partie supérieure, à une vingtaine de cm du sol de l'espace de travail, d'une canalisation peut-être destinée à évacuer le trop plein d'eau pendant les opérations de lavage. Dans la partie nord, se trouve un dispositif de structures en batterie (C4 et C5), constitué de deux réservoirs parallèles, distants de 0,50 m, de formes et dimensions comparables, 0,65 m dans l'axe E/O et 0,85 m dans le sens N/S (C4), 0,75 m (axe E/O) et 0,85 m (N/S) pour le réservoir de C5 (Fig. 7). Profonds de 0,85-0,95 m, ils sont tous deux ouverts sur une fosse rectangulaire en partie maçonnée mais non revêtue d'*opus signinum*, longue de 3,20 m, large de 0,40-0,45 m et profonde d'un peu plus d'un mètre. À la tête du dispositif, au nord, se trouve un petit réservoir en hauteur, en communication directe avec la cuve C5[11]. Enfin, placée à l'angle nord-est de l'espace de travail, se trouve une dernière cuve, C6, proche par ses dimensions comme par son plan des deux précédentes. Elle nous est parvenue cependant dans un mauvais état de conservation (Fig. 8). La fouille a révélé un bassin en forme de fer à cheval, ouvert côté nord sur un espace rectangulaire fermé par la fondation du mur nord du bâtiment. Cet espace est rempli d'un mélange de blocs et de terre très indurée, provenant certainement de l'écroulement d'une structure maçonnée attenante au bassin. Ces restes suggèrent que, comme la cuve C5, le bassin C6 était doté d'un réservoir en hauteur, qui a disparu. Enfin, un dernier petit bassin, B7, de forme carrée, est aménagé dans l'angle nord-est du bâtiment. Il était peut-être en communication avec la

[11] La structure a été, dans un deuxième temps, partiellement remblayée et un petit réservoir supérieur a été ajouté au-dessus de la cuve C4, par dessus le canal qui reliait les deux bassins, lui aussi comblé de matériel tout-venant.

Figure 6. Les cuves cylindriques C2 et C3, premier plan (Cl. C. Rico).

cuve C6, mais l'état de conservation de l'ensemble empêche de s'en assurer et donc de lui attribuer une fonction précise.

Toutes les cuves ont été découvertes entièrement comblées de matériaux divers. La fouille stratigraphique a permis d'identifier, dans les remplissages, les derniers niveaux d'utilisation, que l'on peut aisément distinguer, par leur composition et leur couleur, des remblais de comblement. Il s'agit, dans tous les cas, d'un limon fin, de couleur marron-verdâtre à gris foncé, tapissant sur quelques centimètres d'épaisseur les fonds des bassins. Ces sédiments se sont consolidés avec le temps, en particulier par altération et recristallisation, formant une croûte indurée au contact de la sole des cuves. Le matériau constitue donc un résidu de lavage, non récupéré ou plutôt non nettoyé, correspondant à la dernière, voire aux toutes dernières utilisations des différents dispositifs de lavage. Il contient des teneurs en argent et en plomb dans des proportions variables d'une cuve à l'autre (Fig. 9)[12].

Le concentré de lavage était ensuite réduit dans des bas-fourneaux. L'opération produisait des déchets, les scories, et du plomb, appelé «plomb d'œuvre», qui était coulé en lingots ou, du moins, en masses de métal qu'il fallait ensuite désargenter. La récupération de l'argent appelait donc une autre opération métallurgique, la coupellation. Il s'agit d'une oxydation préférentielle du plomb vis-à-vis de l'argent dont le résultat final est la séparation des deux métaux. Tout comme la réduction, la coupellation produisait un déchet, la litharge (oxyde de plomb), qui était récupéré. Les litharges se présentent sous plusieurs formes : pains, rouleaux ou galettes. Elles pouvaient être réduites à nouveau pour obtenir du plomb métal qui était alors coulé en lingots («plomb marchand»), puis commercialisé. Elles pouvaient aussi être utilisées sous leur forme première, sur place, à des fins métallurgiques, ou commercialisées à l'extérieur pour les mêmes raisons ou à d'autres fins. Pline l'Ancien décrit par exemple longuement les méthodes de préparation

[12] L'analyse chimique élémentaire des niveaux de remplissage des cuves, et des sédiments de fonds de cuves en particulier, permet de réfléchir au fonctionnement de l'atelier de lavage et autorise une reconstitution du protocole suivi par les Romains sur le site. Cet aspect ne nous intéresse pas ici. Nous renvoyons à la publication générale en cours de préparation.

Figure 7. La structure de lavage en batterie C4-C5. Le petit réservoir en hauteur dans la partie droite est un ajout postérieur (Cl. C. Rico).

Figure 8. La cuve en « fer à cheval » C6 (Cl. C. Rico).

Unités Stratigraphiques (US)	Teneurs élémentaires*	
	Pb (%)	Ag (%)
Cuve n°2		
US 2041	10,90	0,01
Cuve n°4		
US 2114	6,86	0,01
US 2113	23,50	0,03
US 2115	18,40	0,03
Cuve n°5		
US 2133	17,50	0,02
US 2134	11,90	0,02
Cuve n°6		
US2130	16,50	0,02

* Analyses globales (pourcentage massique)

Figure 9. Teneurs élémentaires en plomb (Pb) et argent (Ag) des sédiments de cuve de lavage. Il s'agit d'analyses globales sur échantillon total pulvérisé, reportées ici en pourcentage, et opérées par voie humide.

de la litharge (*spuma argenti*, «écume d'argent»), à laquelle il attribue un certain nombre de vertus, en particulier curatives ou calmantes[13]. Après celle de l'Attique, la litharge hispanique était, poursuit le Naturaliste, la plus recherchée. Sa présence sur les sites métallurgiques n'est pas rare. Des rouleaux de litharge sont ainsi attestés au Laurion (Conophagos 1980 : 326-327) et, dans la péninsule Ibérique, sur plusieurs sites miniers : dans la Sierra de Cartagena même, ils ont été observés régulièrement, et notamment dans le secteur de la mina San Ramón, au Cabezo Agudo à La Unión; dans la Sierra Morena, au Cerro del Plomo, près de la célèbre mine de El Centenillo (Domergue 1990: 507), ou encore à La Loba (Blázquez *et alii* 2002: 70-71) et à Doña Rama à Belmez (García Romero 2002: 147-148).

Les fouilles du site de Presentación Legal n'ont pas révélé à ce jour de vestiges métallurgiques qui puissent être attribués à des fours de réduction ou de coupellation. Les scories de réduction sont de leur côté très rares. En revanche, une dizaine de fragments de rouleaux de litharge (*tubuli*) ont été découverts en stratigraphie, pour l'essentiel dans des remblais de nivellement correspondant au réaménagement du site au début de l'époque impériale (deuxième phase d'activité). Ils peuvent donc être rattachés, d'après le matériel qui les accompagne, à la phase républicaine d'activité du site. Ils se présentent sous la forme de petits cylindres plus ou moins épais, dont la section présente un aspect feuilleté correspondant aux couches successives d'oxydes cristallisés enroulées autour d'une broche de métal ou de bois vert écumant la surface du bain métallique liquide, suivant une procédure que décrit Pline l'Ancien (*HN* 33, 107-108). La broche a laissé son empreinte dans l'étroit conduit qui perce de part en part les rouleaux. Sept des fragments découverts (PL12-1063-3 à 7) proviennent d'un même remblai du secteur 1 (Fig. 10). La grande homogénéité des fragments[14], le fait d'autre part qu'ils ont été retrouvés ensemble suggèrent qu'ils appartenaient à l'origine à un même *tubulus* présentant une extrémité arrondie, pleine et peu épaisse. Le rouleau reconstitué présenterait une longueur minimum de 36,8 cm et son poids serait supérieur à 290 gr (Fig. 11).

Enfin, la fouille a livré de nombreux fragments de plomb, informes le plus souvent, mais parfois issus d'objets manufacturés, tels que des plaques, tôles ou agrafes. Pour autant, rien ne permet de dire qu'ils ont été fabriqués sur place. Dès lors, aucun d'entre eux n'a été soumis à des analyses isotopiques à des fins de traçabilité. De la même manière, nous avons exclu les scories, dont on a dit qu'elles étaient très peu nombreuses, et qui proviennent essentiellement de niveaux de remblai et d'enfouissement du site. Les choses auraient été bien sûr différentes si elles avaient été trouvées plus nombreuses et associées à

[13] Pline, *HN*, 33, 108-110 ; voir aussi Dioskoridès, *Sur les matières médicales*, V, 87, 2.

[14] Cette homogénéité se retrouve dans les signatures isotopiques mesurées pour chaque fragment, très proches les unes des autres. Voir tableau de la fig. 12.

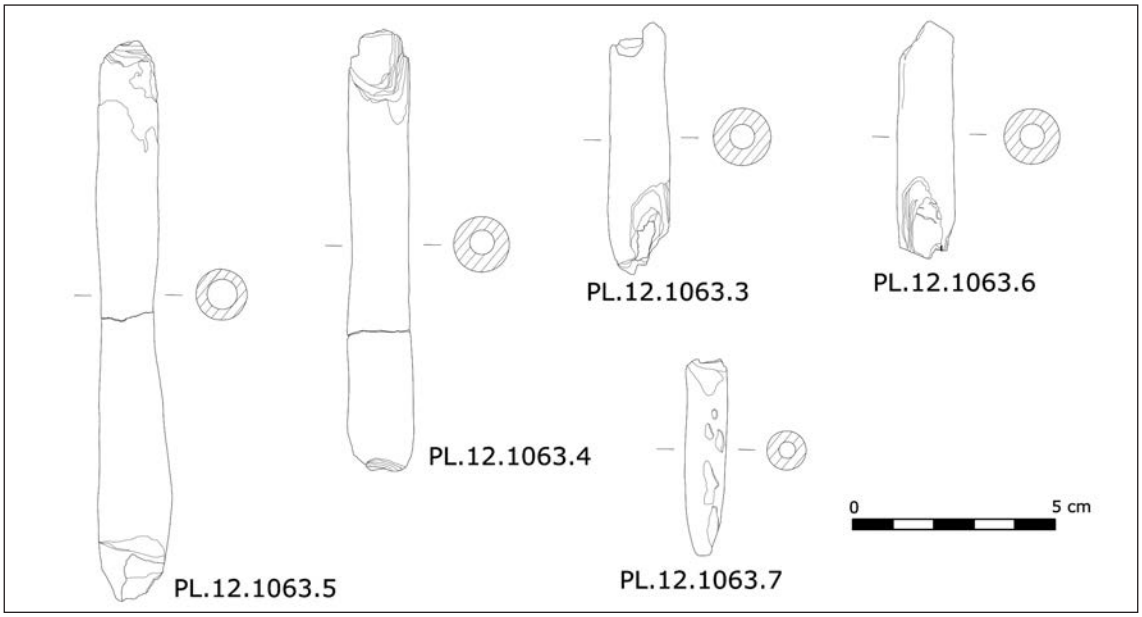

Figure 10. Les fragments de rouleaux de litharge de la campagne 2012 (DAO : J. A. Antolinos).

N° inventaire	Longueur (en mm)	Diamètre (en mm)	Poids (en gr)
PL12-1063-3	56	13	39,8
PL12-1063-4 (2 fgts)	101	12,5	95,5
PL12-1063-5 (2 fgts)	127	12-16	117,9
PL12-1063-6	37	11	19,3
PL12-1063-7	47	4,2-9	16,3
PL13-1146-199	53,7	20	76,2
PL15-1172-2	44	16	49,8

Figure 11. Dimensions et poids des litharges de coupellation découvertes sur le site (2012-2013 et 2015).

d'autres vestiges métallurgiques ou si elles provenaient de niveaux d'occupation clairement identifiés. Seuls donc ont fait l'objet d'analyses isotopiques les niveaux de sédiments correspondant à la dernière ou aux dernières utilisations des cuves de la laverie ainsi que les fragments de litharges découverts en 2012 et en 2013. L'intention, on l'a dit, était double. Le premier objectif était d'établir la signature isotopique du complexe d'ateliers. Les galènes contenues dans les résidus de fonds de cuves de la laverie sont en effet notre meilleur élément pour attribuer une signature isotopique pertinente. Certes, on ne connaît pas avec certitude l'origine du minerai qui y était traité. On rappellera toutefois que la laverie est installée à proximité immédiate d'une zone filonienne qui présente de nombreuses traces d'une exploitation ancienne. L'autre objectif était de vérifier l'éventuelle filiation entre les résidus de lavage et les litharges de coupellation et de déterminer ainsi si les litharges avaient été produites sur place ou pas[15]. Une grande partie de

[15] La présence de litharges sur un site minier et métallurgique n'est pas en effet un argument suffisant pour conclure à une production d'argent sur place. Dans certains districts argentifères pauvres en plomb, un ajout de plomb est en effet nécessaire en début de réduction du minerai afin d'amorcer le processus métallurgique et/ou de favoriser le transfert de l'argent contenu dans la galène vers le plomb (Baron *et alii* 2009). Cela a été le cas dans les mines de Riotino dans le Sud-Ouest, où du plomb de *Carthago Noua* a été exporté sans doute à cette fin, et dans les mines d'or et d'argent romaines de Roumanie, où il a pu être récemment démontré par l'isotopie et la géologie que l'apport de plomb avait été nécessaire pour récupérer de leur gangue puis séparer, l'or et l'argent contenu dans les minerais exploités (Baron *et alii* 2011). Le site de Presentación Legal n'entre pas dans cette configuration, le minerai principal exploité dans la région et traité dans la laverie étant la galène argentifère (PbS).

l'interprétation du complexe d'ateliers de Presentación Legal en dépend.

Enfin, les analyses isotopiques ont été étendues au minerai échantillonné sur le filon principal de la mine de la Rambla del Abenque. Il s'agit d'une grande mine souterraine qui se développe sous le même Cabezo del Pino, que nous avons également étudiée dans le cadre de ce programme de recherche (Antolinos *et alii* 2010: 158-175). Elle fut active dans la même période que le site de Presentación Legal, c'est-à-dire aux deux derniers siècles avant notre ère. Mais rien ne la relie directement au site. Autrement dit, la question était de savoir si le minerai extrait de cette mine, voisine de nos ateliers, avait pu être traité par ces derniers. Les analyses isotopiques du plomb devaient pouvoir apporter au moins des éléments de réponse.

2. LES MESURES ET LEURS RÉSULTATS

Après avoir été sous-échantillonnés, les matériaux sélectionnés, minerais, galènes des résidus de fond de cuves et litharges[16], ont été mis en solution selon un protocole classique et éprouvé (Baron *et alii* 2006). La séparation de l'élément chimique plomb (Pb) des autres éléments constitutifs de la matrice a été opérée sur colonne anionique (Strelow et Walt 1981). Les rapports isotopiques de chaque échantillon ont été mesurés en utilisant deux types de spectromètres de masse. Les échantillons des sédiments de cuves ont été mesurés à l'aide d'un spectromètre de masse à thermo ionisation (TIMS) selon la méthode classique (Manhes *et alii* 1974; Trincherini *et alii*, 1984) tandis que les minerais et les litharges ont été mesurés à l'aide d'un spectromètre de masse de haute résolution (MC-ICP-MS) (Baron *et alii* 2006; Baron *et alii.* 2009). Les valeurs utilisées du standard de référence SRM 981 Pb sont celles reportées par Thirlwall (2002) pour les deux types de mesures; les résultats de notre étude sont reportées dans le tableau de la figure 12. L'incertitude totale sur échantillons est représentée par la moyenne de trois mises en solution du même échantillon mesuré trois fois (deux fois l'écart type, à 95% de confiance). L'incertitude totale sur échantillons est inférieure à 0,1% pour les mesures réalisées à l'aide d'un TIMS et inférieure à 0,01% pour les mesures réalisées à l'aide d'un MC-ICP-MS et ce, pour tous les rapports isotopiques. Les justesses sur la mesure sont, à deux fois l'écart type près, similaires pour les deux types de spectromètres (Fig. 13) tandis que les précisions sont, bien évidemment, meilleures sur les mesures réalisées à l'aide d'un MC-ICP-MS que sur celles réalisées à l'aide d'un TIMS. Les deux séries de données de cette étude sont donc comparables, même si les données issues de la littérature comportent quelques imprécisions pour le cas d'études régionales (Baron et Coustures 2011: 83-84)[17]. Nous en tiendrons bien sûr compte lors de la discussion.

Présentation des résultats:

- *Galènes des sédiments des cuves de la laverie*. Elles possèdent des signatures isotopiques du plomb comprises entre 18,718 – 18,756 pour le rapport $^{206}Pb/^{204}Pb$, 15,676 – 15,717 pour le rapport $^{207}Pb/^{204}Pb$, 38,993 – 39,129 pour le rapport $^{208}Pb/^{204}Pb$, 2,0829 – 2,0868 pour le rapport $^{208}Pb/^{206}Pb$ et enfin 1,1930-1,1940 pour le rapport $^{206}Pb/^{207}Pb$. Ces valeurs s'alignent toutes selon une même droite dite de mélange.

- *Minerais de la mine de la Rambla del Abenque*. Ils possèdent des signatures isotopiques du plomb comprises entre 17,848 et 18,375 pour le rapport $^{206}Pb/^{204}Pb$, entre 15,593 et 15,645 pour le rapport $^{207}Pb/^{204}Pb$, 37,899 et 38,822 pour le rapport $^{208}Pb/^{204}Pb$, 2,0872 et 2,1235 pour le rapport $^{208}Pb/^{206}Pb$ et enfin 1,1446 et 1,1759 pour le rapport $^{206}Pb/^{207}Pb$. Ces valeurs sont très différentes et moins radiogéniques que celles obtenues pour les galènes des cuves de lavage. Les signatures de ces minerais forment aussi une droite de mélange avec d'autres minerais échantillonnés dans les haldes de mines modernes de la Sierra de Cartagena (Trincherini *et alii* 2009). Cette droite possède néanmoins une pente différente de la première droite constituée par les sédiments des cuves de la laverie.

- *Litharges de coupellation*. Elles présentent des signatures extrêmement homogènes, comprises entre 18,728 – 18,736 pour le rapport $^{206}Pb/^{204}Pb$, 15,690 – 15,696 pour le rapport $^{207}Pb/^{204}Pb$, 39,027 – 39,043 pour le rapport $^{208}Pb/^{204}Pb$, 2,0839 – 2,0842 pour le rapport $^{208}Pb/^{206}Pb$ et enfin 1,1935-1,1937 pour le rapport $^{206}Pb/^{207}Pb$. La composition identique des six fragments PL12-1063-3 à 7, trouvés dans la même unité stratigraphique, semble confirmer que ces fragments appartiennent à un même *tubulus*. La litharge PL13-1146-199 provient quant à elle d'un autre remblai du même secteur. Le fragment, qui est typologiquement différent des fragments antérieurs (il présente un plus grand diamètre, 2 cm contre 1,3

[16] Seules sont concernées ici les litharges trouvées lors des campagnes 2012 et 2013.

[17] Dans la littérature en effet, la valeur choisie pour le matériau de référence, nécessaire aux mesures isotopiques du plomb, n'est pas dans la plupart des cas spécifiée. Il n'est donc pas possible d'ajuster parfaitement nos mesures sur les autres. Si l'on perd un peu en précision, l'incidence reste mineure sur l'interprétation générale des résultats.

Identification des spécimens	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{207}Pb$	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
Galènes dans sédiments de cuve					
Cuve 3					
C3 US 2041	2,08598	1,19331	18,7398	15,7040	39,091
C3-1 US 2040	2,08528	1,19346	18,7460	15,7073	39,091
C3-3 US 2040	2,08457	1,19369	18,7412	15,7001	39,067
C3-2 US 2040	2,08557	1,19341	18,7485	15,7101	39,101
C3 US 2041	2,08680	1,19304	18,7509	15,7169	39,129
Cuve 4					
C4 US 2115f	2,08448	1,19367	18,7309	15,6919	39,044
C4 US 2113mA	2,08377	1,19391	18,7231	15,6823	39,015
C4 US 2113mB	2,08381	1,19391	18,7227	15,6818	39,014
C4 US 2115 m	2,08294	1,19399	18,7357	15,6917	39,025
C4 US 2113 mC	2,08328	1,19402	18,7198	15,6780	38,999
C4 US 2113 fB	2,08414	1,19369	18,7318	15,6923	39,040
C4 US 2113 fA	2,08341	1,19394	18,7292	15,6869	39,021
C4 US 2113 fC	2,08315	1,19405	18,7184	15,6764	38,993
Cuve 5					
C5 US 2133 mA	2,08484	1,19356	18,7322	15,6944	39,054
C5 US 2133 mC	2,08538	1,19341	18,7371	15,7005	39,074
C5 US 2133 mB	2,08501	1,19350	18,7341	15,6968	39,061
Cuve 6					
C6 US 2130 fA	2,08504	1,19349	18,7368	15,6991	39,067
C6 US 2130 mB	2,08434	1,19360	18,7447	15,7043	39,070
C6 US 2130 fC	2,08519	1,19348	18,7396	15,7016	39,076
C6 US 2130 mB	2,08454	1,19363	18,7443	15,7037	39,073
C6 US 2130 mA	2,08303	1,19395	18,7334	15,6903	39,022
C6 US 2130 mA	2,08542	1,19339	18,7556	15,7163	39,113
C6 US 2130 fB	2,08442	1,19370	18,7288	15,6897	39,039
Minerais "archéologiques"					
Filon 1-B	2,1235	1,1446	17,847	15,593	37,899
Filon 1-A	2,1179	1,1512	17,963	15,603	38,043
Filon 2-A	2,1087	1,1707	18,317	15,645	38,622
Filon 2-B	2,0872	1,1759	18,375	15,626	38,351
Filon 2-C	2,1225	1,1452	17,857	15,593	37,901
Litharges de coupellation					
1063-7	2,0840	1,1937	18,730	15,691	39,034
1063-6	2,0839	1,1936	18,734	15,694	39,040
1063-5	2,0839	1,1937	18,728	15,690	39,027
1063-4	2,0839	1,1936	18,736	15,696	39,043
1063-3	2,0840	1,1936	18,730	15,692	39,034
1146	2,0842	1,1935	18,729	15,692	39,036

Figure 12. Compositions isotopiques du plomb des morceaux de galènes contenus dans les sédiments de cuve de lavage, des minerais archéologiques et des litharges de coupellation.

Matériau de Référence NIST NBS 981 Pb	$^{208}Pb/^{206}Pb$	$^{206}Pb/^{207}Pb$	$^{206}Pb/^{204}Pb$	$^{207}Pb/^{204}Pb$	$^{208}Pb/^{204}Pb$
Valeur certifiée#	**2,16768**	**1,09310**	**16,9408**	**15,4980**	**36,722**
2*sd	*0,00023*	*0,00007*	*0,0021*	*0,0025*	*0,008*
Session Avril 2012 (TIMS)*	**2,16763**	**1,09309**	**16,9400**	**15,4973**	**36,720**
2*sd	*0,00050*	*0,00013*	*0,0051*	*0,0062*	*0,018*
Session Décembre 2014 (MC-ICP-MS)**	**2,16744**	**1,09309**	**16,9413**	**15,4986**	**36,719**
2*sd	*0,00026*	*0,00012*	*0,0019*	*0,0010*	*0,003*
Session de Juillet 2015 (MC-ICP-MS)***	**2,16752**	**1,09313**	**16,9448**	**15,5012**	**36,728**
2*sd	0,00034	0,00016	0,0046	0,0043	0,013

 # (Thirlwall 2002)
** Petits morceaux de galènes dans les sédiments de cuve*
*** Litharges de coupellation*
**** Minerais "archéologiques"*

Figure 13. Compositions isotopiques du plomb du standard international de référence NIST NBS 981 Pb obtenues durant les différentes sessions d'analyses de nos échantillons archéologiques.

en moyenne), provient donc d'une pièce différente. Sa composition isotopique est très proche toutefois de celle des autres fragments.

3. INTERPRÉTATION DES ANALYSES ISOTOPIQUES DU PLOMB

Sur les graphiques de la figure 14 sont reportées les compositions isotopiques du plomb des galènes issues des sédiments de cuves, des minerais de la Rambla del Abenque, des minerais modernes échantillonnés à l'échelle du district minier[18] et des litharges trouvées en fouille. Ces graphiques seront discutés dans les différents paragraphes suivants.

3.1. La signature isotopique du plomb des minéralisations du district minier de la Sierra de Cartagena

La Sierra de Cartagena est constituée de trois complexes géologiques: le complexe «Nevado-Filabride», mis en place durant le paléozoïque, le complexe «Alpujarride» formé à la période triasique et, enfin, le complexe «Neogène» (miocène supérieur). La plupart des minéralisations sont d'âge post miocène. En effet, durant le Miocène récent, un événement majeur aurait favorisé la mise en place de la plupart des minéralisations de la Sierra de Cartagena. Les données isotopiques du soufre, réalisées sur des minerais sulfurés, indiquent que ces minéralisations auraient été mises en place par trois fluides sulfurés différents, dont deux seraient d'origine marine et un d'origine magmatique (Sabaté *et alii* 2015) ; ces derniers auraient recoupé tous les complexes géologiques plus anciens. Par conséquent, il s'agit de minéralisations pour la plupart hydrothermales et épigéniques. La chronologie de mise en place de ces minéralisations s'échelonne entre 7 et 11 millions d'années (Manteca et Ovejero 1992).

Les minéralisations exploitées par les Romains sont localisées dans le complexe supérieur «Nevado-Filabride» et le complexe inférieur «Alpujarride». Elles se présentent sous la forme de dépôts polymétalliques stratifiés appelés «mantos» (*e.g.* Oen *et alii* 1975a et b; Bellon 1976; Manteca et Ovejero 1992). Les Romains ont tiré profit des parties les plus riches de ces «mantos»; c'est là en effet que l'on trouve la galène la plus argentifère. Ils auraient aussi exploité les veines dites principales, mesurant entre 500 à 1000 mètres de long sur 1 mètre d'épaisseur. D'autres, plus épaisses encore et, du coup, exceptionnelles, ont été également intensivement travaillées, comme «la veine de Rothschild» et celle de «Cabezo Rajao». La galène argentifère (environ 0,1% d'argent en masse) se situait principalement dans ces veines. Des galènes argentifères disséminées dans la gangue ou dans des fissures minéralisées dans la roche hôte n'ont pas pour autant été délaissées, mais leur exploitation semble avoir été davantage anecdotique (Domergue 1987: 359-362 et 366-368; Trincherini et *alii* 2009: 125-126).

Par conséquent, nous pouvons nous attendre à avoir des compositions isotopiques du plomb hétérogènes et donc assez étendues au sein du district car les fluides ont des origines différentes. Ces remontées de fluides hydrothermaux se sont effectuées par pulsations répétées selon un temps long (plusieurs milliers, voire millions d'années). Par exemple, dans les «mantos» précités, l'aspect des galènes montre jusqu'à quatre étapes de pulsations hydrothermales au sein d'une même veine. Au sein d'un même gisement voire d'une même veine, il peut donc y avoir des mélanges de galènes de plusieurs générations (liées dès lors à la signature géochimique d'une remontée hydrothermale donnée), voire des processus de remobilisation partielle de la galène liée à des phénomènes de dissolution, transport puis précipitation causée par des processus de fracturation. Les graphiques (Fig. 14) le démontrent clairement, malgré le faible échantillonnage en minerais opéré par le passé. En effet, on observe que les signatures oscillent selon des valeurs isotopiques qui sont celles des fluides porteurs de la minéralisation et dont la mise en place a été longue. Aucune étude géochronologique sur les gisements n'a été réalisée pour l'heure pour dater directement les phases de minéralisations, ce qui aurait permis de mieux appréhender les données isotopiques de nos cuves et des minerais de la Rambla del Abenque.

On observera d'abord que les galènes des sédiments des cuves de lavage entrent parfaitement dans le champ de compositions isotopiques des minerais modernes de Carthagène, ce qui ne saurait constituer une surprise. Quant aux signatures isotopiques du plomb des minerais de la Rambla del Abenque, elles sont globalement moins radiogéniques et viennent élargir le champ isotopique de la Sierra minera. Ce

[18] Concernant les échantillons de minerais, on ignore dans quelles conditions ils ont été prélevés, dans quelles parties des gisements, et on sait peu de choses d'autre part sur la chronologie de leur exploitation. On ne dispose enfin que d'une analyse isotopique par gisement ou par mine, alors que, dans l'idéal, pour une meilleure définition de la signature isotopique, un minimum de 10-12 analyses par veine minéralisée aurait été nécessaire; par ailleurs, celles-ci auraient dû être orientées selon les paragenèses observées par les géologues.

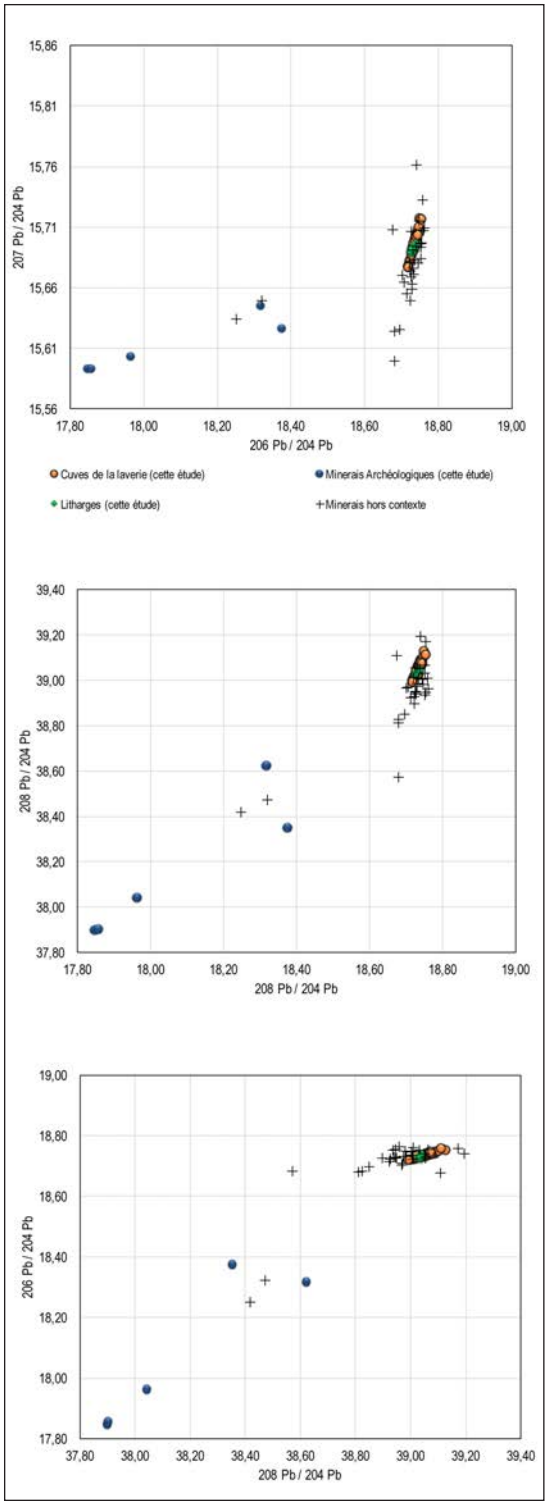

Figure 14. Diagrammes Pb/Pb des sédiments de cuve de lavage, des minerais archéologiques, des litharges de coupellation et de minerais échantillonnés hors contexte archéologique.

dernier étant probablement encore incomplet, il pourrait donc être encore plus vaste.

Il est intéressant de constater, à ce stade de la discussion, que les signatures des galènes issues des sédiments de cuves de lavage forment une droite de mélange et ce, dans les trois représentations de l'espace. Par ailleurs, nous pouvons observer aussi qu'une autre droite de mélange, dont la pente est très différente de la première, se distingue sur ces mêmes graphiques. Elle est constituée par trois minerais exploités durant l'époque moderne (et dont les compostions sont moins radiogéniques que les autres) et par les cinq échantillons de la mine antique de la Rambla del Abenque. On a donc ici deux droites de mélange dont on ne peut pas définir avec précision les compositions isotopiques de leurs pôles respectifs d'origine. Ces deux droites de mélange, constituées par les échantillons de galène étudiés ici, traduisent deux longues phases de mise en place de minéralisations dont les sources ont des compositions isotopiques différentes ainsi qu'un âge différent.

3.2. La signature isotopique des ateliers de lavage du site de Presentación Legal

Comme nous venons de le voir, les signatures isotopiques du plomb des galènes des sédiments de nos cuves s'alignent selon une droite de mélange et ce, malgré un choix de minerais qui a été opéré par les Anciens. Pour expliquer cet alignement, l'hypothèse la plus probable réside dans le fait que le minerai retrouvé dans les cuves a été exploité puis traité tel quel; ainsi, la signature isotopique du minerai est le reflet de l'histoire géologique de la structure minéralisée qui a été décaissée par les Anciens.

La provenance des minerais traités par la laverie de notre site n'est pas connue, on l'a dit, avec certitude. De ce point de vue, les signatures isotopiques de minerais aujourd'hui disponibles n'offrent aucune piste permettant de cibler telle ou telle mine, même si plusieurs d'entre elles s'alignent le long de la droite de mélange des galènes des sédiments de cuves de lavage. En revanche, la grande mine de la Rambla del Abenque, dont il a été question plus haut, ne semble pas avoir fourni en minerai notre laverie. Les compositions isotopiques des galènes prélevées sur le filon principal, ne se situent pas, comme on l'a vu, sur la droite de mélange définie par les galènes des cuves de lavage. Cette mine aurait donc approvisionné d'autres ateliers. Les rares vestiges d'installations d'époque romaine comprenant des restes de bassins de lavage qui ont été repérés en prospection dans le vallon sur lequel la mine ouvrait, au pied du versant ouest du

Figure 15. Vue aérienne verticale du site. Dans l'angle inférieur droit, travaux d'extraction (ils se poursuivent hors du champ) (Cl. Aerograph Studio).

Cabezo, pourraient correspondre à ces ateliers (Antolinos *et alii* 2010: 153-157). On est ici à l'opposé des ateliers de Presentación Legal.

Les ateliers de Presentación Legal sont installés à mi-pente sur le flanc est d'un petit massif, au bord d'un précipice d'une centaine de mètres de hauteur. Une telle situation, en pleine montagne et à l'écart des fonds de vallées, ne peut s'expliquer que si les Romains avaient cherché à se rapprocher au plus près de gisements minéralisés exploitables. Ceux-ci existent bien à quelques dizaines de mètres seulement au sud-ouest du site. On peut y observer d'anciennes tranchées d'exploitation minière, certaines de grande extension et qui donnent accès à des travaux souterrains (Fig. 15). L'étude qui a été tentée en début de programme sur ces anciens travaux n'a pas pu cependant aller au-delà d'une exploration superficielle. Envahis par la végétation, les travaux sont aussi en grande partie obstrués par des éboulements postérieurs à l'exploitation et/ou des remblais d'exploitation plus modernes. En effet, la forme de certains de ces travaux ainsi que la présence de trous de forets révèlent que, si elles remontent bien à l'Antiquité, ces mines furent reprises à l'époque contemporaine. Elles constituent, quoi qu'il en soit, les plus intéressantes candidates pour l'origine du minerai traité sur notre site.

3.3. La signature isotopique des litharges du site de Presentación Legal

L'ensemble des valeurs mesurées des litharges s'aligne parfaitement le long de la droite de mélange définie par les galènes issues des sédiments de laverie. Prenons, par exemple, les rapports isotopiques $^{208}Pb/^{204}Pb$ et $^{206}Pb/^{207}Pb$; ces derniers sont respectivement compris entre 38,993 - 39,127 et 1,1930 - 1,1940 pour les sédiments de traitement, entre 39,026 - 39,030 et 1,1937 - 1,1938 pour les litharges. Les compositions isotopiques du plomb de ces dernières sont donc clairement incluses dans l'intervalle isotopique défini par les minerais des cuves de la laverie, et plus précisément par ceux de la cuve C4. Cela indique que l'origine du plomb des litharges est la même que celle des minerais traités dans ces cuves. L'hypothèse d'une activité métallurgique sur le site de Presentación Legal pour l'obtention de plomb et la récupération de l'argent semble donc confirmée.

4. IMPLICATIONS HISTORIQUES. APPORT DES ANALYSES ISOTOPIQUES DU PLOMB À LA CONNAISSANCE DE L'ORGANISATION DE L'ACTIVITÉ MINIÈRE A CARTHAGÈNE À LA FIN DE L'ÉPOQUE RÉPUBLICAINE

L'absence, jusqu'à la découverte en 2012 des premières litharges, de tout indice de métallurgie sur le site de Presentación Legal, et en particulier de vestiges de bas fourneaux et de fours de coupellation, nous avait conduits à présenter le complexe d'ateliers romain du Cabezo del Pino comme un centre de traitement minéralurgique organisé autour de la laverie mise au jour dans la partie nord du site (Antolinos et Rico 2012: 74). Celui-ci, avions-nous conclu, aurait été dédié au seul traitement par lavage et enrichissement du minerai, et le concentré enrichi réduit ailleurs, dans d'autres ateliers. Aujourd'hui, grâce aux litharges dont les analyses isotopiques du plomb démontrent qu'elles furent fabriquées sur place, et malgré l'absence de fours de réduction et de coupellation, on peut affirmer que les ateliers de Presentación Legal assuraient l'ensemble de la chaîne opératoire de la galène argentifère. Cela conforte donc l'hypothèse selon laquelle les installations aménagées sur le site dépendaient d'une même entreprise, une de celles qui, dans le courant du IIe s. av. n. è., avait acquis, dans le cadre de la procédure de l'*occupatio* mise en place sans doute rapidement par Rome pour l'exploitation des ressources du sous-sol provincial (Mateo 2001 : 30-40 et 62-65; Domergue 2004: 222-226; Rico 2010 : 405-406; Orejas et Rico 2015), les droits sur une

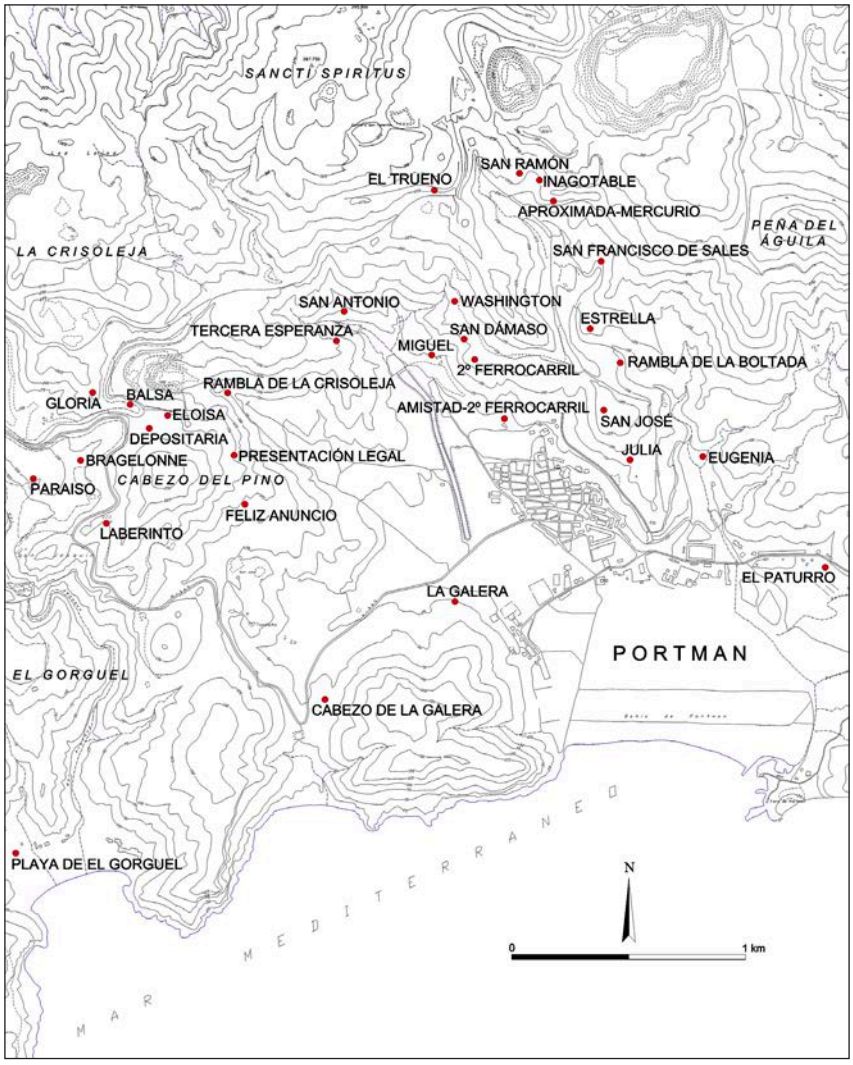

Figure 16. Sites d'époque romaine liés directement ou indirectement à l'activité minière dans le secteur central de la Sierra minera, secteur du Cabezo del Pino – baie de Portmán (DAO : J. A. Antolinos).

concession minière. Car c'est ainsi que nous apparaît désormais le complexe mines-ateliers du flanc est du Cabezo del Pino, une concession attribuée à une de ces nombreuses sociétés minières qui s'installèrent dans le Sud-Est péninsulaire dans le courant du IIe siècle. Cette entreprise n'était certainement pas isolée dans le secteur. Les prospections réalisées ces dernières années dans cette même zone centrale de la Sierra minera ont révélé la présence de nombreux autres sites, dispersés dans les montagnes qui ferment en particulier l'anse de Portmán (Antolinos *et alii* 2010) (Fig. 16). Ils montrent une configuration qui n'est pas différente de celle du site de Presentación Legal : une situation en hauteur, à flanc de pente ou au sommet de petits cerros ou cabezos, des travaux d'extraction à proximité, enfin des structures caractéristiques affleurant à la surface, certaines conservant encore leur enduit d'*opus signinum*, et associées à du mobilier céramique d'époque romaine (Fig. 17). Certes, aucun de ces sites n'a fait l'objet de fouilles, mais on ne peut douter qu'ils avaient un lien plus ou moins direct avec l'exploitation minière et le traitement du minerai. Assurément, des fouilles, complétées par des analyses isotopiques, permettraient de caractériser ces sites. Mais d'ores et déjà se dessine un paysage minier morcelé en une multitude de concessions, dont on ne peut, aujourd'hui, évaluer le nombre, et à laquelle n'est pas sans faire écho, quelque vingt siècles plus tard, l'organisation de l'activité minière dans la Sierra minera. À la fin du XIXe s. en effet, quelques décen-

Principaux sites archéologiques du secteur de la baie de Portmán (Sierra minera de Cartagena-La Unión)							
SITES	Catégories						CHRONOLOGIE
	Mines	Installations minières	Laveries	Fonderies	Zones d'habitat	Autres / indéterminés	
Amistad - Segundo Ferrocarril				•	•		IIe-Ier s. av. J.-C. – Ier s. apr. J.-C.
Aproximada - Mercurio	•		•		•		IIe-Ier s. av. J.-C.
Balsa	•				•		IIIe-Ier s. av. J.-C. – Ier s. apr. J.-C
Bragelonne	•	•	•				IIe-Ier s. av. J.-C.
Cabezo de la Galera					•		IIe-Ier s. av. J.-C.
Depositaria	•				•		IIe-Ier s. av. J.-C.
El Paturro						•	IIe-Ier s. av. J.-C. – Ier-IIIe s. apr. J.-C
El Trueno	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Eloisa		•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Estrella			•	•	•		IIe-Ier s. av. J.-C.
Eugenia			•		•		IIe-Ier s. av. J.-C.
Feliz Anuncio	•	•		•			IIe-Ier s. av. J.-C. – Ier s. apr. J.-C
Gloria	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Inagotable	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Julia						•	IIe-Ier s. av. J.-C.
La Galera						•	IIe-Ier s. av. J.-C.
Laberinto	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Miguel	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Paraíso				•	•		IIe-Ier s. av. J.-C.
Playa de El Gorguel				•	•		IIe-Ier s. av. J.-C.
Presentación Legal	•	•	•		•		IIe-Ier s. av. J.-C. – Ier s. apr. J.-C
Rambla de la Boltada	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Rambla de la Crisoleja	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
San Antonio	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
San Dámaso	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
San Francisco de Sales	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
San José					•		IIe-Ier s. av. J.-C.
San Ramón	•	•	•		•		IIe-Ier s. av. J.-C.
Segundo Ferrocarril	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Tercera Esperanza	•	•					IIe-Ier s. av. J.-C.
Washington	•	•	•		•		IIe-Ier s. av. J.-C. – Ier s. apr. J.-C

Figure 17. Tableau synoptique des sites d'époque romaine liés directement ou indirectement à l'activité minière dans le secteur central de la Sierra minera, secteur du Cabezo del Pino – baie de Portmán.

Figure 18. Lingot estampillé SOC M. C. PONTILIENORVM M. F., épave *Mal di Ventre C.* (Cl. Claude Domergue).

nies seulement après la reprise, en 1840, de l'activité minière dans la région, on ne comptait pas moins de 1150 exploitations différentes sur toute l'étendue du district. Aujourd'hui, la Sierra minera, et tout particulièrement son secteur central autour du Cabezo Sancti Spiritu et du Cabezo del Pino, se présente comme une vaste friche industrielle, désolée et défigurée par l'exploitation industrielle moderne. À la fin de l'époque républicaine, elle devait montrer un visage un peu différent, celui d'un paysage plus "humanisé", jalonné d'ateliers, de mines, de lieux d'habitation sans doute aussi. Polybe ne décrivait-il pas au milieu du IIe s. une véritable ruche où s'affairaient quotidiennement près de 40 000 travailleurs (*ap.* Strabon, III, 2, 10) ?

Les analyses isotopiques du plomb effectuées sur les résidus de lavage et les litharges fournissent donc la signature isotopique d'une concession aujourd'hui clairement identifiée grâce aux données archéologiques. À défaut de disposer de mesures identiques sur d'autres sites archéologiques, il nous a paru intéressant de la comparer à celles obtenues sur une partie des lingots de plomb attribués à Carthagène et désormais disponibles. Le corpus porte sur 43 lingots, relevant de 21 producteurs différents (Fig. 18), identifiés par les grands timbres moulés sur le dos desdits lingots, mais non localisés sur le terrain[19].

Plusieurs observations peuvent être faites dans le graphique de la fig. 19 sur la répartition spatiale, par producteur, des signatures isotopiques du plomb des lingots[20]:

- Pour les cas où nous avons au moins 3 lingots du même producteur, nous observons que les analyses isotopiques du plomb, par producteur, forment des droites de mélange, comme celles des galènes des sédiments de lavage. Chaque matériau venant s'ajouter sur cette droite traduit une origine commune. C'est le cas des lingots estampillés L. PLANI L.F//(*delphinus*)//RVSSINI (dont un reste néanmoins systématiquement en dehors de la droite définie par ce groupe de lingots), (*lunula*)//M. SEX. CALVI M.F. (*lunula*), M. AQVINI C.F et (*delphinus*)//C. VTIVS C.F// (*caduceus*) (sauf pour le rapport $^{206}Pb/^{204}Pb$ versus $^{208}Pb/^{204}Pb$, où l'alignement est décalé vers les cuves de lavage de notre site). Ces droites de mélanges identifient donc un métal fabriqué par une concession qui utilise le même type de minerai.
- Nous pouvons pousser encore un peu plus la discussion. Si l'on regarde la répartition des signatures isotopiques du plomb des lingots estampillés SOC. M. C. POINTILIENORVM. MF., L. CARVLI LF. HISPALI MEN, C. FIDVI CF//S. LVCRETI S.F et SOCIETAT//S. T. LVCRETI, nous observons qu'elles se situent dans le prolongement de la droite de mélange formée par les galènes des sédiments de cuves et les litharges de notre site (avec un recouvrement partiel pour le coté de la droite la moins radiogénique). Cela suggère une origine commune de la matière première traitée à la fois par ces producteurs et par l'atelier de Presentación Legal (notons que d'autres ateliers peuvent avoir une même droite de mélange puisque cette dernière est le reflet de l'histoire de la mise en place des minéralisations du district minier). Dès lors, on peut supposer que ces lingots, relevant d'exploitants différents mais dont les isotopes s'alignent sur la même droite (celle des galènes des sédiments de lavage), proviennent d'un même secteur minier

[19] N'ont été retenus ici que les producteurs pour lesquels on dispose d'un minimum de deux analyses isotopiques.

[20] Elles tiennent compte forcément des incertitudes de la mesure, exposées ci-dessus, p. xxx.

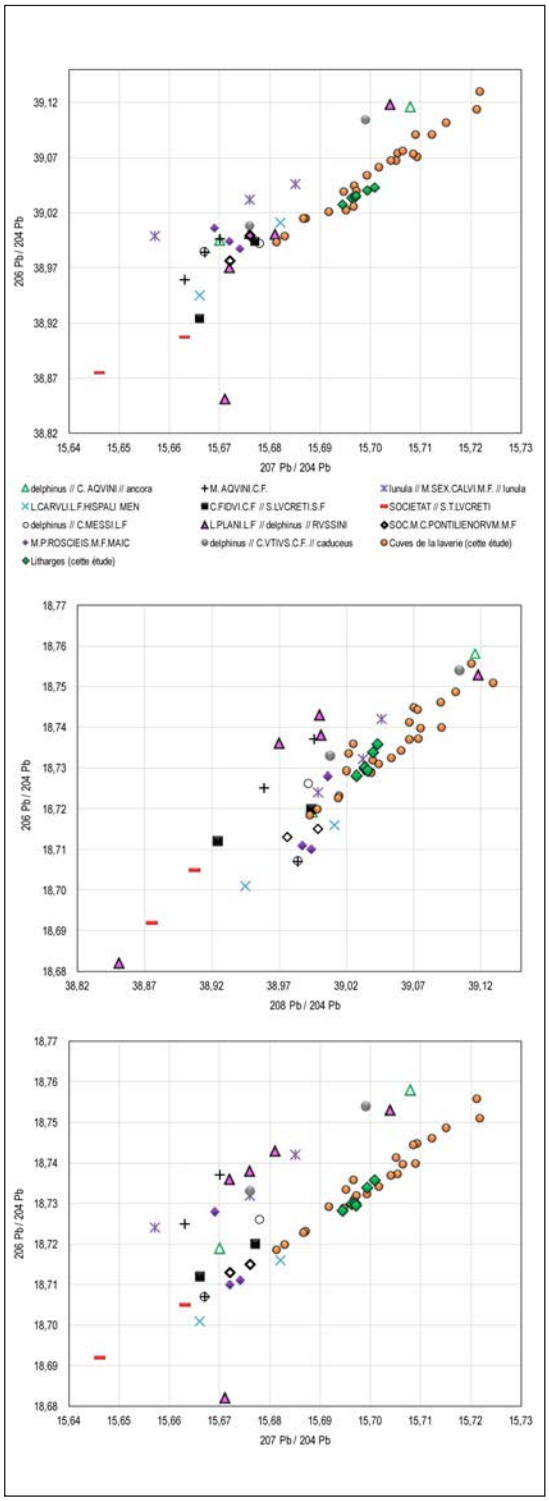

Figure 19. Diagrammes Pb/Pb des sédiments de cuve de lavage, des litharges de coupellation et des lingots de plomb de Carthagène (à partir de Trincherini *et alii* 2009).

où serait présent un type de minerai identique. Cela montre qu'un même secteur minier avait pu être découpé en plusieurs concessions.

- Enfin, pour d'autres producteurs, les signatures des lingots ne sont pas organisées comme une droite de mélange; il s'agit ici des lingots estampillés (*delphinus*)//C. MESSI L.F. et M.P. ROSCIEIS M.F. MAIC. Il est possible d'expliquer cette relative dispersion des signatures par l'utilisation de minerais de provenance différente[21] (et qui ont donc des signatures différentes) au sein d'une même concession.

Aller plus loin, et par exemple rattacher le site de Presentación Legal à l'un ou l'autre des producteurs attestés dans l'épigraphie et identifier ainsi l'entreprise minière qui s'était installée sur les flancs du Cabezo del Pino, serait évidemment imprudent; ce n'était pas, on le rappellera, l'objectif du programme d'analyses mis en place. Il faudrait multiplier les prélèvements, et donc les analyses, sur les lingots de ces mêmes producteurs, sinon sur l'ensemble des lingots attribués à Carthagène, pour se donner les meilleures chances de parvenir à des conclusions définitives. Il est néanmoins intéressant de constater que l'isotopie du plomb permet d'apporter une autre lecture que celle de la «simple» provenance. En effet, l'étude a permis de mettre en évidence le rôle majeur de la mesure d'isotopes sur des minerais exploités par les Anciens. Ces minerais ont des compositions isotopiques du plomb qui sont organisées en une droite de mélange dont la raison est liée à l'histoire de la mise en place des minéralisations, ce qui permet ensuite, par le biais des données archéologiques, de remonter aux modalités d'exploitation des gisements par les Romains. Dans tous les cas, il apparaît qu'il n'y a pas eu de mélange des ressources minérales à l'échelle du district minier de *Carthago Noua*. En effet, si cela avait été le cas, les isotopes du plomb des laveries, des litharges et des lingots ne formeraient pas des droites de mélanges, mais un champ isotopique beaucoup plus resserré et homogène.

5. CONCLUSION

Le district minier de *Carthago Noua* fut le premier grand centre producteur de métaux, argent et plomb,

[21] Cela ne signifie pas pour autant que les sources d'approvisionnement des ateliers étaient nécessairement éloignées les unes des autres. Ainsi, comme on l'a vu, les galènes de Presentación Legal et celles de la Rambla del Abenque ont des signatures très différentes. Or elles ont été exploitées dans le même secteur du Cabezo del Pino.

du monde romain occidental, que Rome contrôla, sans doute très rapidement au lendemain de la prise de la capitale des Barcides en pleine deuxième guerre punique. Son exploitation fut laissée à des entreprises venues, au moins pour un certain nombre d'entre elles, d'Italie. Elles nous sont connues par les grandes estampilles moulées sur les dos des lingots de plomb qui ont pu être attribués, sur la base d'arguments épigraphiques et archéologiques, puis géochimiques (isotopes du plomb), à la région de Carthagène. Pour l'heure, aucune de ces entreprises n'a été localisée sur le terrain. Avec les recherches effectuées de 2008 à 2015 sur le site de Presentación Legal, l'un des nombreux sites romains encore préservés de la Sierra minera de Cartagena-La Unión, et qui ont associé étroitement archéologie et géochimie, la situation a quelque peu évolué. Un complexe d'ateliers dédiés à l'ensemble de la chaîne opératoire de la production de métaux, depuis l'extraction du minerai jusqu'à la production de métal, a été mis au jour au cœur de la Sierra minera ; il comportait un certain nombre d'installations, dont au moins une laverie, situées au plus près des minéralisations pour une acquisition rapide des métaux convoités, et sans doute en premier lieu de l'argent, auquel la priorité semble avoir été donnée par les Romains. La signature isotopique du site a pu être établie grâce aux analyses isotopiques du plomb effectuées sur des résidus de traitement du minerai prélevés *in situ* et en stratigraphie ; de la même manière, la géochimie a permis de vérifier la présence d'une activité métallurgique sur place en vue de l'obtention d'argent, alors que les recherches n'ont pas révélé, dans les secteurs fouillés, de vestiges attribuables à des structures métallurgiques. La mise en relation enfin de la signature isotopique obtenue avec celles des lingots de plomb conforte l'image déjà perceptible au travers de l'épigraphie de ces mêmes lingots d'une organisation de l'antique district minier en une multitude de concessions indépendantes les unes des autres, quoique exploitant souvent des minerais aux caractéristiques proches, et assurant *a priori* l'ensemble de la chaîne opératoire de la galène argentifère[22]. Le complexe d'ateliers d'époque républicaine de Presentación Legal est l'une de ces concessions ; elle est aussi la première à avoir été identifiée sur des bases à la fois archéologiques et archéométriques dans le Sud-Est de la péninsule Ibérique. Il resterait à la nommer, autrement dit à la rattacher éventuellement à l'un ou l'autre des entrepreneurs connus par les estampilles des lingots. Il y a quelques candidats plausibles, si l'on en croit les droites de mélanges obtenues sur certains lingots qui se placent dans l'alignement de celle qui a pu être établie pour notre site. Mais sans doute est-il trop tôt pour s'aventurer dans cette voie. Il faudrait, pour ce faire, multiplier et diversifier et les observations archéologiques sur les sites miniers du district, et les analyses sur les vestiges métallurgiques comme sur les lingots, de manière à étoffer un référentiel encore réduit. Les résultats présentés dans cette étude, comme les analyses récemment publiées sur une partie des lingots de plomb de Carthagène, sont la première étape d'une recherche de plus longue haleine mais que l'on peut croire riche de promesses.

BIBLIOGRAPHIE

Alonso Campoy, D. 2009: "Minería y tráfico marítimo, pecios y enclaves costeros para el estudio de la actividad minera en Carthago Nova", *Argentum* 1, 11-55.

Antolinos Marín, J. A. 1998: "Prospección minero-metalúrgica antigua en la Sierra de Cartagena y su territorio adyacente", *Memorias de Arqueología* 13, 581-602.

Antolinos Marín, J. A. 2012: "Centros de producción y administración en el territorio de Carthago Nova: a propósito de los hallazgos documentados en El Gorguel (sierra de Cartagena)", A. Orejas et Chr. Rico (éd.), *Minería y metalurgia antiguas. Visiones y revisiones. Homenaje a Claude Domergue*, Collection de la Casa de Velázquez, 128 Madrid, 63-79.

Antolinos Marín, J. A., Fabre, J.-M. et Rico, Chr. 2010: "Las minas romanas de Carthago Noua. Avance de las investigaciones en la Rambla del Abenque (Sierrra de Cartagena)", *Mastia* 9, 151-177.

Antolinos Marín, J. A., Noguera Celdrán, J. M. et Soler Huertas, B. 2010: "Poblamiento y explotación minero-metalúrgica en el distrito minero de Carthago Noua", J. M. Noguera (ed.), *Poblamiento rural romano en el sureste de Hispania. 15 años después*, Murcia, 167-231.

Antolinos Marín, J. A. et Peñas Castejón, J. M. 2007: "Catalogación del patrimonio cultural en la Sierra Minera de Cartagena-La Unión", *XVIII Jornadas de Patrimonio Cultural. Intervenciones en el patrimonio arquitectónico, arqueológico y etnográfico de la Región de Murcia* I, Murcia, 327-351.

Antolinos Marín, J. A. et Rico, Chr. 2012: "El complejo mineralúrgico de época tardorrepublicana del Cabezo del Pino

[22] Il faut aussi tenir compte d'un certain nombre de sites métallurgiques identifiés hors de la Sierra Minera, dans le Campo de Cartagena, à une distance plus ou moins grande des zones d'extraction minière (par ex. Cabezo de la Atalaya, La Huertecica y Los Beatos), plus ou moins bien connus sur le plan archéologique (Antolinos *et alii* 2010 : 193-197; Alonso Campoy 2009: 28-33 ; Díaz et Antolinos 2013: 540-542). Ces sites, qui semblent en activité à la fin de l'époque républicaine, ont pu assurer une partie de la production de plomb (et d'argent ?) du district. Toute la question est de savoir comment ils s'insèrent dans le système de production de métal mis en place dans les deux derniers siècles de la République, mais aussi à quel moment ils apparaissent véritablement et si les entreprises étaient différentes de celles révélées par l'épigraphie des lingots de plomb. Pour l'heure on a peu d'éléments pour répondre à de telles questions.

(Sierra de Cartagena, Murcia)", M. Zarzalejos Prieto *et alii* (éd.), *Paisajes mineros antiguos en la Península Ibérica. Investigaciones recientes y nuevas lineas de trabajo, Actas del coloquio de Almadén 2012*, Madrid, 69-90.

Baron, S., Carignan, J., Laurent, S. et Ploquin, A. 2006: "Medieval lead making on Mont-Lozère Massif (Cévennes-France): tracing ore sources by using Pb isotopes", *Applied Geochemistry* 21, 241-252. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2005.09.005

Baron, S. et Coustures, M.-P. (avec la collaboration de D. Béziat, M. Guérin, J. Huetz, L. Robbiola) 2011: "Lingots de plomb et barres de fer des épaves romaines des Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône, France) : Questions de traçabilité comparée", *Revue Archéologique de Narbonnaise* 44, 71-98.

Baron, S. et Coustures, M.-P. 2015: "Apports et limites des méthodes isotopiques pour restituer la circulation des métaux aux périodes anciennes", *Méthodes et formations en archéométrie en France*. Les Nouvelles de l'Archéologie, Paris, 35-39.

Baron, S., Le-Carlier, C., Carignan, J. et Ploquin, A. 2009: "Archaeological reconstruction of medieval lead production: implications for ancient metal provenance studies and paleopollution tracing by Pb isotopes", *Applied Geochemistry* 24, 2093-2101. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2009.08.003

Baron, S., Tamas, C. G., Cauuet, B. et Munoz, M. 2011: "Lead Isotopes of Gold - Silver Ores from Rosia Montana (Romania): a first step of metal filiation study of Roman Mining Activity in Alburnus Maior (Roman Dacia)", *Journal of Archaeological Science* 38, 1090-1100. https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.12.004

Baron, S., Tamas, C. G. et Le Carlier, C. 2014: "How Mineralogy and Geochemistry can improve the Significance of Pb Isotopes in Metal Provenance Studies?", *Archaeometry*, 56, 4, 665–680. https://doi.org/10.1111/arcm.12037

Bellon, H. 1976: *Séries magmatiques Néogènes et Quaternaires du pourtour de la Méditerranée occidentale, comparées dans leur cadre géochronométrique; implications géodynamiques*, Thèse d'Etat, Orsay.

Blázquez, J. M.ª, Domergue, Cl. et Sillières, P. (dir.) 2002: *La Loba (Fuenteobejuna, Cordoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*, coll. Mémoires, 7, Bordeaux.

Cattin, F., Villa, I. M. et Besse, M. 2009: "Copper supply during the Final Neolithic at the Saint-Blaise/Bains des Dames site (Neuchâtel, Switzerland)", *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1, 161-176. https://doi.org/10.1007/s12520-009-0016-1

Conophagos, C. 1980: *Le Laurium antique et la technique grecque de production de l'argent*, Athènes.

Díaz Ariño, B. et Antolinos Marín, J. A. 2013: "The organisation of mining and metal production in Carthago Noua between the Late Republic and Early Empire", *Athenaeum* 101/2, 535-553.

Domergue, Cl. 1987: *Catalogue des mines et des fonderies antiques de la péninsule Ibérique*, Publications de la Casa de Velázquez, série Archéologie VIII, Madrid.

Domergue, Cl. 1990: *Les mines de la péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine*, coll. École française de Rome, Roma.

Domergue, Cl. 1998: "Remarques sur le fonctionnement des laveries planes du Laurion", *Argyritis. Mélanges en l'honneur de Constantin Conophagos*, Athènes, 33-42.

Domergue, Cl. 2004: "Le régime juridique des mines du domaine public à Rome. À propos d'un ouvrage récent", *Mélanges de la Casa de Velázquez*, Nouvelle série 34-2, 221-236.

Domergue, Cl. 2005: "Lingote de plomo romano", *Bocamina. Patrimonio minero de la región de Murcia, catálogo de exposición*, Murcia, 190.

Domergue, Cl. 2008: *Les mines antiques aux époques grecque et romaine*, Paris.

Domergue, Cl. 2010: "Mes débuts dans l'archéologie minière de la péninsule ibérique (2). Premiers pas à Carthagène (1965)", *Mastia* 9, 133-149.

Fabre, J.-M, Meunier, E., Souhassou, M., Rico, Chr. et Antolinos Marín, J. A. à paraître : "La mina romana de plomo argentífero de la Rambla del Abenque (Sierra Minera de Cartagena): morfología de los trabajos de extracción, tipos de mineralización y cronología de la explotación. Comparación con otras minas de los Pirineos y del Macizo Central (Francia) explotadas entre los siglos IV y I a.C.", *Actas del VIII Congreso internacional sobre minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo. Presente y futuro de los paisajes mineros del pasado: estudios sobre minería, metalurgia y poblamiento,* Granada.

García Romero, J., 2002, *Minería y metalurgia en la Córdoba romana*, Córdoba.

Manhes, G., Minster, J. F. et Allègre, C. J. 1974: "Comparative Uranium-Thorium-Lead and Rubidium-Strontium study of the Saint-Séverin amphoterite: conséquences for early solar system chronology", *Earth and Planetary Science Letters* 39, 14-24. https://doi.org/10.1016/0012-821x(78)90137-1

Manteca, J. I. et Ovejero, G. 1992: *Los yacimientos Zn, Pb, Ag, Fe del distrito minero de la Unión-Cartagena, Betica Oriental*, CSIC Col. Textos Universitarios 15, 1085-1110.

Mateo, A. 2001: *Observaciones sobre el régimen jurídico de la minería en tierras públicas en época romana*, Cuadernos Compostelanos de Derecho Romano, Santiago de Compostela.

Oen, I. S., Fernández, J. C. et Manteca, J. I. 1975a: "The lead-zinc and associated ores of La Union, Sierra de Cartagena, Spain", *Economic Geology* 70, 1259-1278. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.70.7.1259

Oen, I. S., Windt, C. J., Winnubst, T. G. M. et Kager, P. 1975b: "Epigenetic lead-zinc mineralization in miocene pebbly mudstones, Sierra de Cartagena, Spain", *Mineralium Deposita* 10, 4, 362–373. https://doi.org/10.1007/bf00207894

Orejas, A. et Rico, Chr. 2015: "*Metalla, civitates, coloniae:* les mines hispaniques dans les processus de changement des statuts territoriaux à la fin de la République et au début de l'Empire", *Mélanges de l'École française de Rome - Antiquité* 127, 2. https://doi.org/10.4000/mefra.3038

Pernicka, E., Begemann, F., Schmitt-Strecker, S. et Wagner, G. A. 1993: "Eneolithic and Early Bronze Age copper artefacts from the Balkans and their relation to Serbian copper ores", *Praehistorisches Zeitschrift* 68, 1-54. https://doi.org/10.1515/prhz.1993.68.1.1

Ramallo Asensio S. F. et Berrocal Caparrós M.ª C. 1994: "Minería púnica y romana en el sureste peninsular : El foco de Carthago Nova", D. Vaquerizo Gil (coord.), *Minería y metalurgia en la España prerromana y romana*, Córdoba, 79-146.

Rico, Chr. 2010: "Sociétés et entrepreneurs miniers italiques en Hispanie à la fin de l'époque républicaine. Une comparaison entre les districts de Carthagène et de Sierra Morena", P. Moret et Chr. Rico (éd.), *Ab Aquitania in Hispaniam. Mélanges d'histoire et d'archéologie offerts à Pierre Sillières*, Pallas, 82, Bordeaux, 395-415.

Rico, Chr. et Antolinos Marín, J. A. à paraître : "La minería romana en Carthago Nova a la luz de las investigaciones recientes", *Actas del coloquio de Riotinto, junio de 2013*, Madrid.

Rico, Chr., Fabre, J.-M. et Antolinos Marín, J. A. 2009: "Recherches sur les mines et la métallurgie du plomb-argent de Carthagène à l'époque romaine", *Mélanges de la Casa de Velázquez*, nouvelle série 39, 1, 291-310.

Roselaar, S. T. 2010: *Public Land in the Roman Republic. A Social and Exonomic History of Ager Publicus in Italy, 396-89 BC*, Oxford.

Sabaté, A. A., Melgarejo, J. C., Tauler, E., Torro, L., Manteca, J. I. et Arnold, M. 2015: "Ore deposits in La Union-Portman District: Mineralogical and Geochemical Characterization", *Proceedings of the 13th SGA Biennal Meeting- Nancy (France,* Nancy, 355-358.

Stefanile, M. 2013: "On the routes of the Iberian lead. New data and new remarks on the presence of gentes from Campania in Hispania between the II century B.C. and the I century A.D. on the basis of marked lead ingots", *SOMA 2012, Proceedings of the GAMA Symposium on Mediterranean Archaeology, Florence 2012*, BAR Int. Series, 1281, II, 991-999.

Stos-Gale, Z. A. et Gale, N. H. 2009: "Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID)", *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1, 195-213. https://doi.org/10.1007/s12520-009-0011-6

Strelow, F. W. E. et Walt, T. N. V. D. 1981: "Quantitative separation of bismuth from lead, cadmium, and other elements by anion exchange chromatography with hydrobromic acid-nitric acid elution", *Analytical Chemistry* 53, 1637-1640. https://doi.org/10.1021/ac00234a021

Thirlwall, M. F. 2002: "Multicollector ICP-MS analysis of Pb isotopes using a 207Pb-204Pb double spike demonstrates up to 400 ppm/amu errors in Tl-normalisation", *Chemical Geology* 184, 255-279. https://doi.org/10.1016/s0009-2541(01)00365-5

Trincherini, P. R., Contini, S. et Perucchini, L. 1984: "Determination by mass spectrometry of the isotopic ratio Pb206/Pb207 in metal (SRM) and in blood samples", *Finnigan Mat Application Note* 49, 5-10.

Trincherini, P. R., Domergue, Cl., Manteca, I., Nesta, A. et Quarati, P. 2009: "The identification of lead ingots from the Roman mines of Cartagena: the role of lead isotopes analysis", *Journal of Roman Archaeology* 22, 123-145. https://doi.org/10.1017/s1047759400020626

Recibido: 17-05-2016
Aceptado: 22-11-2016