

L'exploitation des gisements non-ferreux des Pyrénées de l'Est aux trois derniers siècles avant notre ère : une ruée vers l'argent ? Le cas des Corbières

Julien Maintenant, M. Munoz¹



Reçu : 30-05-2017
Accepté : 01-07-2017

Résumé

L'étude offre une perspective sur l'exploitation des gisements non ferreux dans les Pyrénées de l'Est au cours des trois derniers siècles avant notre ère. Le problème se pose quant à l'exploitation des gisements d'argent à partir de l'étude de plusieurs zones extractives situées au Massif des Corbières.

Mots clés : gisements non-ferreux ; Pyrénées de l'Est ; Massif des Corberes ; mines d'argent

Abstract. *Exploitation of non-ferrous deposits in the eastern Pyrenees during the last three centuries BC: a rush towards silver? The case of the Corberes*

The study offers a perspective on the exploitation of non-ferrous deposits in the eastern Pyrenees in the last three centuries BC. We discuss the problem regarding the exploitation of silver deposits from the study of several extracting zones located in the Massif of the Corberes.

Keywords: non-ferrous sites; eastern Pyrenees; Massif of the Corberes; silver mines

Resum. *L'exploració dels dipòsits no fèrrics als Pirineus orientals als tres darrers segles abans de la nostra era: un moviment cap a la plata? El cas de les Corberes*

L'estudi ofereix una perspectiva al voltant de l'explotació dels jaciments no fèrrics als Pirineus orientals en els tres darrers segles abans de la nostra era. Es planteja la problemàtica al voltant de l'explotació de jaciments de plata a partir de l'estudi de diverses zones extractives situades al Massís de les Corberes.

Paraules clau: jaciments no fèrrics; Pirineus orientals; Massís de les Corberes; mines de plata

MANTENANT, Julien; MUNOZ, M. « L'exploitation des gisements non-ferreux des Pyrénées de l'Est aux trois derniers siècles avant notre ère : une ruée vers l'argent ? Le cas des Corbières ». *Treballs d'Arqueologia*, 2017, núm. 21, p. 149-179. DOI: 10.5565/rev/tda.67

1. Membre associé UMR 5608 TRACES. maintenantjulien@yahoo.fr
CNRS, UMR 5563 GET. mmunoz@lmtg.obs-mip.fr

L'exploitation des ressources minières est au cœur de la recherche archéologique et historique sur l'évolution économique, politique et culturelle des Pyrénées durant la Protohistoire et l'Antiquité (Rico, 1997 ; Sablayrolles, 2001 ; Olesti, 2014 : 321-374). À ce titre, l'étude de la production des métaux non-ferreux, en particulier de l'argent compte tenu du rôle de ce métal dans les domaines économiques et politiques, est susceptible d'aider à comprendre certains des processus à l'œuvre dans le monde pyrénéen aux trois derniers siècles avant notre ère, période charnière au cours de laquelle cet espace entre progressivement dans l'orbite de Rome.

1. Les gisements argentifères pyrénéens et le marché des métaux non-ferreux de la Méditerranée nord-occidentale : éléments d'une problématique

La partie orientale du massif pyrénéen, entre Garonne et Méditerranée, constitue avec le Sud-est du Massif Central français l'une des deux principales régions métallifères de la Méditerranée nord-occidentale. Le cuivre, le plomb et l'argent sont généralement associés dans des gisements miniers en roche encaissés pour la plupart dans les terrains de l'ère primaire (Paléozoïque) et, dans une moindre mesure, dans les formations de l'ère secondaire (Mésozoïque). Ces gisements se concentrent dans la zone axiale de la chaîne (haute vallée de la Garonne, haut Couserans, haut Vallespir et hautes vallées du Ter et de Llierca) mais aussi dans des

massifs anciens plus isolés au nord et au sud du domaine pyrénéen (Hautes Corbières, Séronais, massif de Montseny-Guilleries) (Pouit, Fortuné, 1980 ; Giannoni 1990, I, 402-427). Rattachés à plusieurs provinces métallogéniques distinctes, ils présentent des caractéristiques géologiques et minéralogiques diversifiées. Leurs minéralisations comprennent toute une série de minéraux sulfurés, oxydés ou carbonatés dont certains sont argentifères. Parmi ceux-ci, les plus fréquents sont la galène, un sulfure de plomb (PbS) dont le taux d'argent peut atteindre 1 %, et une série de sulfosels de cuivre formant un ensemble désigné sous le terme de « cuivres gris », caractérisés par un pôle arsénifère (ténnantite), un pôle antimonifère (tétraédrite) et un pôle argentifère (freibergite). Les taux d'argent sont très variables au sein de la série et peuvent atteindre 40% (Moëlo *et alii*, 2008).

Ni la présence de mines de cuivre, plomb ou argent pyrénéennes, ni même l'existence de telles ressources dans ce massif ne sont clairement mentionnées dans les sources écrites antiques.² Pour autant, cela ne veut pas dire que les gisements présents dans les Pyrénées n'étaient pas connus et exploités. Dans la partie orientale de la chaîne, les recherches archéologiques menées depuis une quarantaine d'années ont permis d'identifier plusieurs zones minéralisées en métaux non-ferreux où une activité antique est archéologiquement attestée.³ Ces zones se trouvent essentiellement sur le versant nord des Pyrénées. Des mines antiques

2. Claude Domergue, notamment, a démontré que le fameux mythe du grand incendie des Pyrénées ayant entraîné la fusion de l'argent et la formation de ruisseaux d'argent évoqué par Diodore de Sicile se réfère en fait à l'ensemble de la péninsule Ibérique (Domergue, 1990: 23, note 27 et 162, note 40).

3. Soit par la découverte de mobilier archéologique, soit par le biais de datations absolues (¹⁴C).

isolées ont été identifiées dans le massif du Canigou et le Haut Vallespir (mines de Montbolo et de la Collada de Bernadelle : Rico, 1997 : 257-258 ; Mut et Kotarba, 2007 : 146), et deux zones d'activité plus importantes sont aujourd'hui connues dans le Séronais (département de l'Ariège ; Meunier, 2014)⁴ et le massif des Corbières (départ. de l'Aude ; Maintenant, 2014, I : 182-248) (figure 1). Dans tous ces secteurs, les indices d'intervention minière au cours des II^{ème} et I^{er} s. av. n. è. sont omniprésents. Bien que le phasage chronologique de cette activité soit encore assez imprécis compte tenu du caractère inégal des données chronologiques disponibles, cette récurrence semble assez significative. Elle incite à restituer une phase d'exploration importante des ressources cuprifères, plombifères et argentifères de la partie orientale des Pyrénées durant les deux derniers siècles avant notre ère.

Or, dans la moitié occidentale des Pyrénées, pourtant plus tardivement conquise par Rome, d'autres zones d'exploitation des gisements de cuivre et plomb argentifères sont actives à la même époque, en particulier les mines du massif du Montaigu (Hautes-Pyrénées), exploitées entre le VI^{ème} av. n. è. et le I^{er} s. de n. è. (Girard *et alii*, 2010) et celles de la vallée de Baïgorri (Pyrénées-Atlantiques), où l'activité se développe dès le II^{ème} s. av. n. è. et se poursuit jusqu'au début du IV^{ème} s. (Beyrie *et alii*, 2003 ; Ancel *et alii*, 2012 ; Parent, 2012).

Un vaste mouvement d'exploration des ressources en métaux non-ferreux du massif pyrénéen semble donc se dessiner

aux II^{ème} et I^{er} s. av. n. è.. Compte tenu de sa chronologie et de son ampleur spatiale, ce phénomène ne peut pas être associé à la seule conquête romaine de ces espaces. Les preuves d'activité dès les IV^{ème}-III^{ème} s. recueillies dans plusieurs zones (massif du Montaigu, vallée de Baïgorri, massif des Corbières), avec pour écho d'autres datations du même ordre issues de mines du sud du Massif Central (mine des Barrens : Maintenant *et alii*, 2013 ; Munteanu *et alii*, 2016) suggèrent au contraire que ce phénomène s'inscrit dans un processus plus large. Son origine doit nécessairement être recherchée dans l'évolution économique des territoires de la Méditerranée nord-occidentale au second âge du Fer et au début de l'Antiquité.

Dans cet espace, les trois derniers siècles avant notre ère sont marqués en particulier par l'essor d'un marché des métaux non-ferreux. D'un point de vue politique, économique et culturel, l'un des aspects les plus significatifs de ce phénomène est le développement du monnayage de cuivre et surtout d'argent. Apparu à partir de la fin du VI^{ème} s. à Massalia, ce dernier se diffuse ensuite progressivement dans le reste de la Méditerranée nord-occidentale, avant de connaître un certain développement à partir de la fin du IV^{ème} s., et surtout au cours du III^{ème} s. av. n. è., lorsque les entités indigènes du nord de la péninsule Ibérique et du sud de la Gaule adoptent cette pratique. S'il convient de ne pas surévaluer les besoins en métal qu'il a entraînés, ceux-ci ont probablement été en rapport, si l'on en juge notamment aux quantités

4. Ce secteur fait actuellement l'objet de recherche dans le cadre d'un doctorat préparé au sein du laboratoire TRACES UMR 5608 (Meunier 2014). Ces recherches prolongent une première enquête menée dans les années 1980 et 1990 (Dubois et Guilbaut, 1982 ; Dubois *et alii*, 1997).

importantes d'argent monnayé prélevées par Rome dans le nord-est de la péninsule Ibérique au tout début du II^{ème} s. L'essor du monnayage d'argenta provoqué de profondes transformations d'ordre économique et socio-politique, et a nécessairement eu un impact sur les modalités d'approvisionnement en métal des entités émettrices (Gorgues, 2010 : 218-220 et 253-258 ; Callegarin *et alii*, 2013 : 187-190 ; Rafel *et alii*, 2011 ; Maintenant, 2014 : 301-319 ; Bats, 2011 ; Campo, 2011). Si ce marché a pu être alimenté *pro parte* par des zones de production extra-régionales actives à cette époque, notamment celles du sud de la péninsule Ibérique, on peut s'interroger sur le lien éventuel entre cette évolution et le mouvement minier perçu dans les Pyrénées autour des gisements non-ferreux. Ce dernier doit-il être interprété comme une sorte de ruée vers l'argent des Pyrénées durant les derniers siècles avant notre ère ?

En vérité, ce questionnement n'est pas nouveau. Dans les Pyrénées centrales, il a été le moteur d'une triple approche archéologique, numismatique et isotopique engagée sur plusieurs mines du massif du Montaigu et sur un monnayage aquitain contemporain mis en œuvre dans le Béarn voisin. Ce travail a permis d'obtenir des résultats préliminaires prometteurs, mais il est malheureusement resté sans suite, et n'a pu démontrer avec certitude l'alimentation des frappes aquitaines par de l'argent pyrénéen (Girard *et alii*, 2010). Dans le Nord-Est de la péninsule Ibérique, un travail destiné à préciser les modalités de production, de circulation et d'utilisation de l'argent au dernier millénaire avant notre ère a été engagé par l'équipe réunie autour de N. Rafel et I. Montero

Ruiz (Rafel *et alii*, 2010 ; Montero Ruiz *et alii*, 2011). Poursuivant un but similaire à l'enquête menée dans les Pyrénées centrales, l'approche était ici nettement plus centrée sur la traçabilité de l'argent par analyses isotopiques. La difficulté d'identifier les sources du métal utilisé pour frapper les monnaies d'argent n'a guère permis d'éclairer la question de la participation des gisements pyrénéens à l'approvisionnement des réseaux d'échanges du Nord-Est de la péninsule Ibérique, en particulier ceux alimentant les frappes monétaires d'*Emporion*. Ces difficultés étaient notamment liées à la perturbation des signatures chimiques des métaux primaires par la pratique récurrente du mélange d'argent de diverses origines pour la fabrication d'objets (Montero Ruiz *et alii*, 2011 : 211 ; Rafel *et alii*, 2014).

Au début des années 2010, le constat est donc simple : aucun lien n'a pu être clairement établi entre les gisements argentifères pyrénéens et le marché des métaux non-ferreux de la Méditerranée nord-occidentale. A vrai dire, en amont des questionnements socio-économiques et politiques, le principal problème rencontré par ces études réside à nos yeux dans la méconnaissance du processus de production d'argent et plus largement des modalités de traitement des minerais extraits des gisements Cu-Pb-Ag. En effet, jusqu'à la décennie actuelle, rien d'un point de vue technologique ne prouvait avec certitude que la partie orientale du massif pyrénéen ait constitué une zone de production d'argent, susceptible d'alimenter le marché de l'argent de la Méditerranée nord-occidentale, ne serait-ce qu'à l'échelon local. Ainsi, dans les Pyrénées de l'Est, moins d'une demi-douzaine de sites de traitement des minerais

non-ferreux sont recensés dans le Séronais⁵ et les Corbières (Dubois *et alii*, 1997 ; Girard, 2010 ; Maintenant, 2014, I : 182-248 ; Meunier, 2014 ; Cauuet, 2014) auxquels s'ajoute un site localisé dans le massif du Montaigu, dans les Pyrénées centrales. Aucun n'avait véritablement été étudié avant 2014 et le démarrage concomitant d'interventions archéologiques sur les sites des Atiels (La Bastide-de-Sérou, Séronais) et du Camp del Oliu (Duilhac-sous-Peyrepertuse, Corbières). Or, la présence d'argent dans une minéralisation ne peut être considérée comme une preuve de la production de métal blanc. Cette production doit être caractérisée archéologiquement. Elle est conditionnée par plusieurs facteurs : nature des minéralisations, compositions et teneurs en argent des minerais extraits, savoirs technologiques des métallurgistes, etc. En particulier, la question est de savoir dans quelle mesure certains types de minerais, notamment ceux du groupe des cuivres gris, ont pu constituer une source d'argent appréciable, rendant de petits gisements miniers particulièrement intéressants et productifs compte tenu de la teneur de ces minerais en argent, potentiellement très élevée. En somme, eu égard à l'état des connaissances ci-dessus, au-delà de la simple identification d'une production d'argent dans le massif, c'est le potentiel réel des gisements pyrénéens dans le cadre technologique et économique qui fut celui de l'âge du Fer et du début de la période romaine qui restait à caractériser plus précisément.

Pour ce faire, il paraît important d'aborder cette question en respectant, en

quelque sorte, les étapes de la chaîne opératoire de l'argent, de la mine au métal. Ainsi, il semble que ce n'est qu'une fois que les mines et les sites de traitement ont été identifiés et positionnés dans un cadre chronologique cohérent, et que la production d'argent a été archéologiquement caractérisée dans une zone minière, qu'il peut être intéressant de tracer le métal blanc dans les courants d'échange, de manière graduelle, de l'échelon local au niveau extra-régional.

Cette approche est tentée depuis 2008 dans le massif des Corbières. Cette enquête se poursuit actuellement, mais les résultats obtenus lors de l'étude des zones de production, des mines aux ateliers de traitement des minerais, apportent d'ores et déjà de nouveaux éclairages sur la mise en valeur des gisements non-ferreux de l'est des Pyrénées.

2. Les recherches menées dans le massif des Corbières : genèse et méthodologie

L'étude archéologique actuellement menée dans le massif des Corbières a été initiée dans le cadre d'une recherche doctorale achevée en 2014 et portant sur l'économie des métaux dans l'ensemble du Languedoc occidental (Maintenant, 2014). Les Corbières, petit territoire de basse montagne (2087km², alt. max. 1230m ; figure 1) situé dans l'avant pays pyrénéen, constituent l'une des principales zones minéralisées de la partie orientale du domaine pyrénéen. Elle

5. Ces scories proviennent des sites de L'Argentario-Le Goutil, Sourre (Labastide-de-Sérou), Le Coffre et Moutou (Cadarcet). Ponctuellement, certains échantillons ont fait l'objet d'analyses exploratoires qui permirent de s'assurer qu'ils avaient été produits lors du traitement de minerais cuprifères. Ces études sont restées sans suite (Dubois *et alii*, 1997).

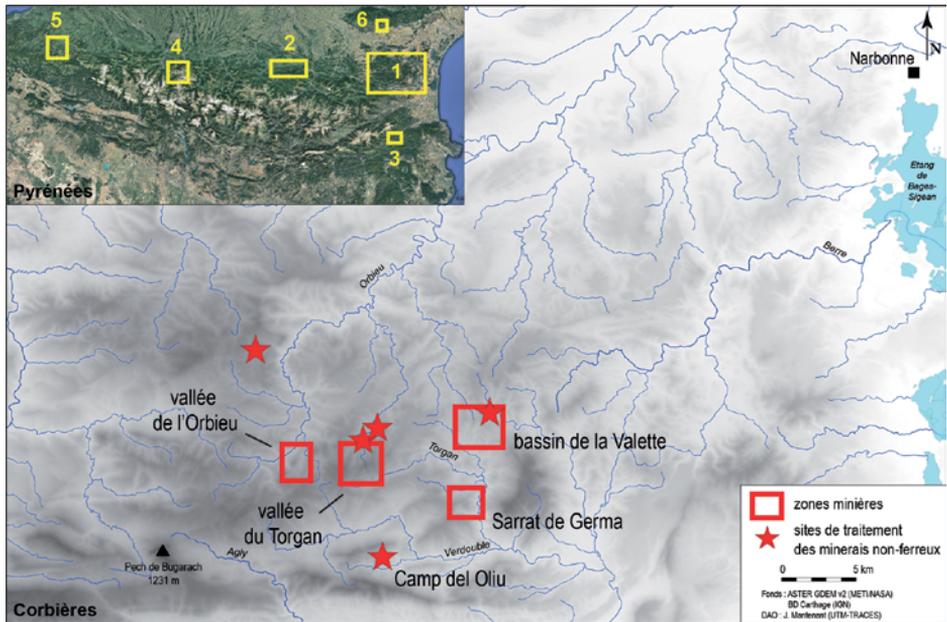


Figure 1. Localisation des zones et sites mentionnés dans le texte (Pyrénées et massif des Corbières) (encadré en haut à gauche : 1 Corbières ; 2 Séronais ; 3 Vallespir ; 4 Montaigu ; 5 Baïgorri ; 6 Barrencs).

abrite des ressources minières diversifiées, formées de gisements de fer, de cuivre, de plomb, d'argent, mais aussi de manganèse et de barytine, exploitées jusqu'au milieu du XX^{ème} s. Sa richesse en métaux, et sa position géographique dans une zone d'échanges, de passage et de confluence entre Narbonne, la Gaule interne, la Méditerranée et la péninsule Ibérique ont justifié le choix de ce terrain d'étude. Les Corbières constituent ainsi un espace d'étude privilégié des modalités d'exploitation des ressources naturelles des Pyrénées, et plus largement de la Méditerranée nord-occidentale, dans le cadre chrono-culturel qui est celui de la Protohistoire récente et du début de l'Antiquité, marqué par l'intégration progressive de ce territoire dans l'orbite romaine.

Cette étude a suivi une double démarche archéologique et archéométrique, de l'identification des zones d'extraction à la caractérisation des productions métalliques. Une approche spatiale a été développée en s'appuyant sur de nombreuses campagnes de prospection et d'exploration des travaux miniers, complétées ponctuellement par des sondages archéologiques. Elle a permis d'élaborer une cartographie détaillée des sites de production (ouvrages de recherche, chantiers d'exploitation, infrastructures minières, sites de traitement des minerais) et de proposer un premier phasage chronologique de l'activité. A ce jour, quatre sites de traitement des minerais non-ferreux sont connus dans les Corbières, mais un seul, l'établissement du Camp del

Oliu, à Duilhac-sous-Peyrepertuse, a pu être daté de l'Antiquité. Ce site a donc retenu toute notre attention. Deux opérations archéologiques y ont été réalisées en 2014 et 2016, dans le but tout d'abord d'évaluer son potentiel archéologique, puis, compte tenu des résultats positifs de cette première intervention, pour y démarrer une étude archéologique plus approfondie.

Ce travail d'inventaire et de fouille s'est doublé de campagnes d'échantillonnage de minerais en réalisant systématiquement les prélèvements uniquement sur les minéralisations effectivement exploitées par les Anciens, sur les fronts de taille de travaux dûment attribués aux trois derniers siècles avant notre ère. Un échantillonnage a aussi été réalisé sur les sites de traitement des minerais, en particulier sur l'établissement du Camp del Oliu. L'étude archéométrique portant tant sur les échantillons de minerais que sur les déchets, a été menée au laboratoire GET UMR 5563 UPS-CNRS (Toulouse).⁶ Des observations macroscopiques et microscopiques ont permis de sélectionner un ensemble d'échantillons considérés comme représentatifs, soumis ensuite à des analyses chimiques ponctuelles (MEB-EDS, microsonde électronique). Les échantillons de minerais prélevés dans les mines antiques ont ensuite été soumis à des analyses chimiques globales (figure 4).

Dans une démarche comparative, l'ensemble des résultats d'analyse d'échantillons de minerai et de déchets de traitement ont ensuite été mis en perspective afin d'éclairer en particulier la nature des minerais recherchés et traités, et d'identifier le cas échéant les techniques de traitement appliquées et le type de production

métallique. Les résultats obtenus ont notablement enrichi le dossier sur l'argent des Corbières, dont l'intérêt est d'englober un ensemble de sites de production technologiquement complémentaires, de l'extraction des minerais non-ferreux à leur traitement, dans un cadre chronologique cohérent centré sur les deux derniers siècles avant notre ère.

3. Les activités minières : caractérisation des minerais

3.1. Le paysage minier des Corbières

Les gisements miniers non-ferreux des Corbières sont concentrés dans une unité géologique singulière, le massif paléozoïque de Mouthoumet, constituée d'un ensemble de terrains primaires d'origine sédimentaire dont la structuration est liée la surrection pyrénéenne (Jaffrezo, 1977 : 9-29 ; Canérot, 2008 : 36-38). La formation de ces gisements miniers est liée à deux grandes phases métallogéniques. La tectonique hercynienne a mobilisé un important stock de métal dans des accidents structuraux, créés en particulier pendant les phases de fracturation et d'hydrothermalisme tardi-hercyniennes. Ce phénomène a entraîné la formation de nombreux gisements filoniens (Aubague *et alii*, 1977 : 157-158). Si beaucoup présentent des associations paragenétiques relativement simples, à sphalérite, pyrite, galène et chalcopryrite, certains affichent un caractère polymétallique plus marqué, lié notamment à l'existence de plusieurs paragenèses successives, marquées par la prédominance de divers sulfures et sulfosels de cuivre, plomb et antimoine (Jaeger et Ovtrach, 1955 : 416 ; Giannoni, 1990,

6. Etude réalisée par J. Maintenant et M. Munoz.

I : 236-242 et 368-389). Une seconde grande phase métallogénique, entre le Trias et le Crétacé, est marquée par un épisode de minéralisation barytique, entraînant la formation d'un ensemble de gisements de morphologie complexe marqués par l'omniprésence de la barytine. Cet épisode a pu se superposer à des dépôts minéralisés antérieurs dans certains gisements tardi-hercyniens filoniens du groupe précédent, contribuant à un enrichissement de leur paragenèse. Ces dépôts adoptent des morphologies complexes, d'allures filoniennes ou en amas, caractérisées par une certaine irrégularité géométrique. Les sulfosels de cuivre, les cuivres gris, dominés par la tétraédrite plus ou moins argentifère, constituent généralement l'essentiel du cortège sulfuré, en association avec la chalcopryrite, la bournonite et la pyrite (Chambolle, 1980 : 318-319 ; Giannoni, 1990, I : 242-427).

Dans chacun de ces groupes, en particulier dans le cas des minéralisations barytiques, toute la difficulté est de distinguer les gisements de cuivre, plomb et argent susceptibles d'être exploités pour ces métaux, des gisements où ces éléments sont présents de manière accessoire. Une telle distinction implique une longue étude géo-archéologique, qu'il n'a pas été possible de réaliser dans le cadre de ce travail. Les recherches documentaires et de terrain permettent tout de même de distinguer quatre grandes zones géographiques où se concentrent des gisements de cuivre, plomb et argent : le bassin de la Valette, la haute vallée de l'Orbieu, la haute vallée du Torgan et le massif du Sarrat de Germa. Toutes ces zones ont livré des indices d'une activité minière aux deux derniers siècles avant notre ère (figure 1). A côté d'indices té nus ou de travaux isolés nécessitant des

compléments d'enquête, il existe des ensembles de travaux plus importants dans le bassin de la Valette et le massif du Sarrat de Germa. Dans le premier secteur, une série de gisements miniers formés au cours des deux grandes phases métallogéniques pré-citées, affichent une paragenèse complexe à sulfures et sulfosels de cuivre, plomb et antimoine, parmi lesquels des minéraux porteurs de l'argent, en particulier la tétraédrite (1,3-2,1 % Ag), l'andorite et la galène (0-1,4 % Ag). Les indices d'interventions antiques sur ces gisements sont bien présents et datés de la fin du II^{ème} s. et de la première moitié du I^{er} s. av. n. è., mais les nombreuses reprises postérieures ont oblitéré une partie des travaux anciens. En revanche, la seconde zone, celle du massif du Sarrat de Germa, a livré de nombreux vestiges miniers nettement mieux conservés. C'est donc là que les recherches archéologiques ont été les plus développées.

3.2. *Les mines du massif du Sarrat de Germa*

Situé dans la vallée du Torgan, le petit massif du Sarrat de Germa, culminant à 604m d'altitude, correspond à une unité géologique bien individualisée, constituée de calcaires dolomitiques viséens (figures 2 et 3). Une vingtaine de gisements principaux sont encaissés dans ces calcaires dolomitiques. Au sud, le filon d'Esquina d'Ase (mine de Tistoulet) est une importante structure filonienne quartzreuse tardi-hercynienne subverticale s'étendant sur 1500m de longueur d'est en ouest, dont 900m de manière continue. Sa puissance varie de 0,80 à 2m (Sabra, 1970 : 15 ; Giannoni, 1990, II : 261). Ce filon principal est encadré par une série de filons secondaires de barytine

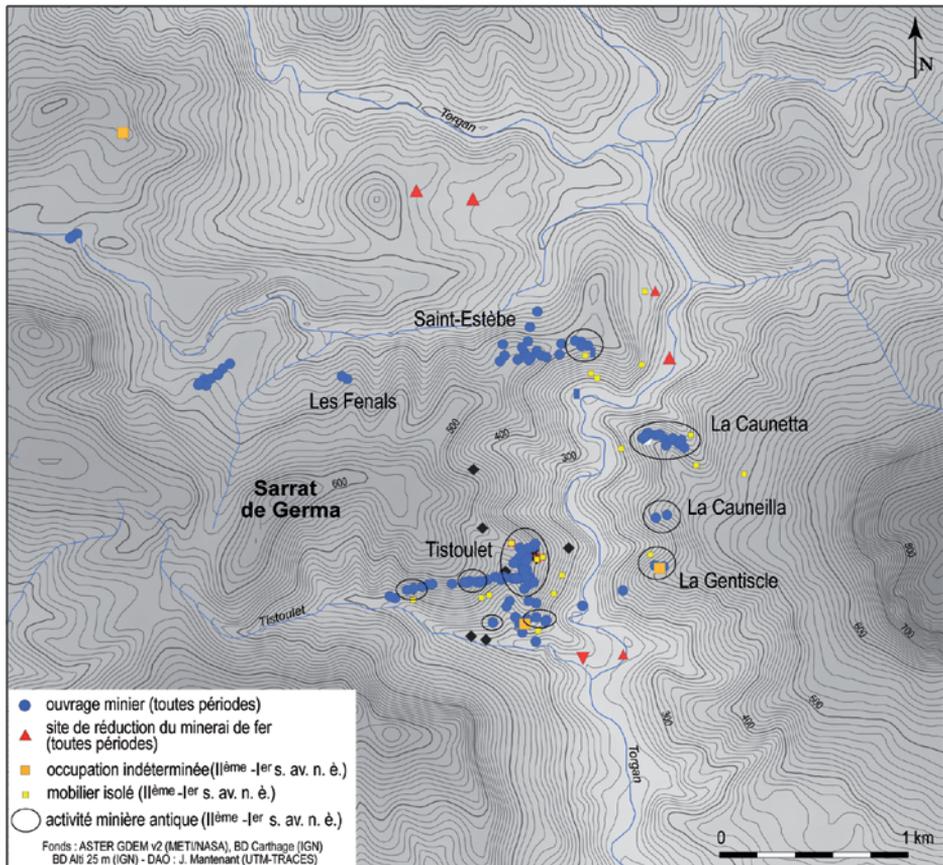


Figure 2. Localisation des sites miniers et indices de fréquentation tarδο-républicain dans le massif du Serrat de Germa.

et de quartz de direction E-O à NE-SO, dont les dimensions varient de quelques centimètres à quelques décimètres d'épaisseur, pour des longueurs généralement inférieures à une centaine de mètres. Au nord du massif, un deuxième grand ensemble de corps minéralisés correspond à une succession d'amas barytiques de taille métrique à plurimétrique. A ces deux ensembles s'ajoutent des groupes secondaires de taille variable et de morphologie filonienne ou en amas,

ainsi que de nombreux indices plus isolés.

Dans l'ensemble, les associations paragenétiques des gisements du Serrat de Germa sont relativement simples. La barytine et le quartz constituent la gangue des minéralisations sulfurées. Ces minéralisations sont dominées par les sulfosels de cuivre, représentés essentiellement par une tétraédrite de formule $(\text{Cu,Zn,Fe,Ag})_{12}(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$, dont les teneurs en argent sont généralement comprises entre 0,5 et 2 %_{mass} mais peuvent atteindre 5 %_{mass} (Giannoni 1990, I,

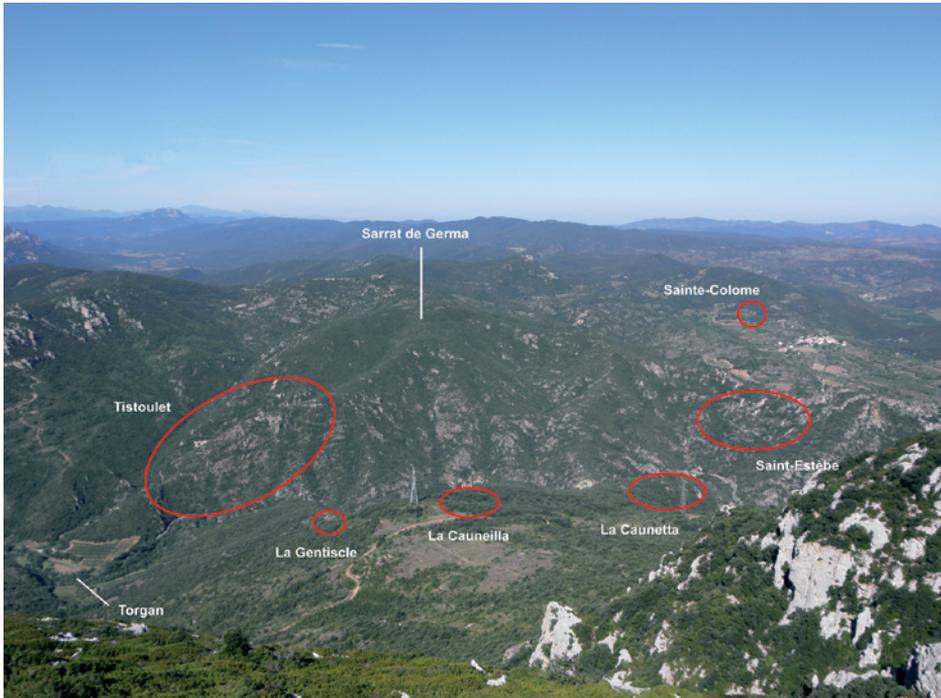


Figure 3. Vue générale des principales mines du massif du Serrat de Germa (depuis le sud-est) (cl. J. Maintenant).

373-388 et II, 142-149). Les analyses à la microsonde électronique d'échantillons de tétraédrite du Serrat de Germa réalisées dans le cadre de notre étude s'inscrivent dans ces fourchettes (Maintenant 2014, III, annexe VI) (figure 4, tableau supérieur). La bournonite, la pyrite, la galène, la sphalérite et leurs minéraux d'oxydation (cérusite, smithsonite) sont rares, et la chalcoppyrite, plus fréquente, n'est pas argentifère.

Le travail d'inventaire archéologique systématique a permis d'identifier 128 ouvrages miniers sur l'ensemble du mas-

sif, qui témoignent de plus de 2000 ans d'activité minière, cette dernière cessant au milieu du XX^{ème} s. L'attribution d'une partie de ces travaux à l'Antiquité s'appuie essentiellement sur la découverte récurrente de mobilier céramique dans les ouvrages ou dans les haldes associées et sur des datations par le radiocarbone de lots de charbons de bois prélevés lors de sondages archéologiques. Le mobilier céramique recueilli est très largement dominé par des éléments tardo-républicains.⁷ Dans l'ensemble, les lots les plus diversifiés incitent à resserrer la chronologie de

7. Amphores italiques Dressel 1a, céramique campanienne A, céramique ibérique commune ou peinte, céramique celtique et céramique indigène.

Composition des tétraédrites (%mass, 227 analyses MSE)

	S	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Cd	Sn	Sb	Hg	Pb	Bi	Total
min	24,66	0,00	0,76	0,00	0,00	36,60	5,53	1,86	0,25	0,00	0,02	13,96	0,00	0,00	0,00	98,29
max	26,46	0,04	2,07	0,04	0,07	40,14	7,10	10,94	2,31	0,16	0,19	25,53	0,56	0,00	0,25	100,84
méd	25,81	0,00	1,09	0,01	0,00	38,99	6,63	7,34	1,10	0,03	0,08	18,53	0,22	0,00	0,08	99,64
moy	25,78	0,01	1,13	0,01	0,01	38,77	6,58	6,84	1,11	0,04	0,08	19,10	0,23	0,00	0,08	99,68

Composition d'échantillons de minerais

Element	Ag	As	Ba	Cu	Pb	S	Sb	LOI	Cu
Unite	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%
ESQ2 E6	1765	0,72	10,65	9,35	0,057	3,34	2,06	8,47	–
ESQ20-E 13	1740	2,91	1,06	17,25	0,03	3,76	4,7	17,84	–
TIS14-E3	5640	1,82	8,96	> 20,0	0,188	10,05	5,91	6,9	21,1
CAL1-E 1	4380	2,67	0,4	>20,0	0,022	1,32	9,94	18,41	21,2
ESQ5-E5	1975	0,47	0,04	10,3	0,596	0,05	1,655	23,91	–
ESQ21-22-E 10	6030	1,48	1,96	13,45	0,077	4,87	5,92	5,69	–
TIS14-E4	2230	0,41	34,2	7,47	0,029	10,9	1,99	3,32	–
CAL1-E2	3980	2,51	0,28	>20,0	0,011	2,59	8,04	19,19	21,1
AIG2-E14	NSS	2,45	3,9	15,15	0,213	6,27	6,12	5,4	–

Figure 4. Résultats des analyses de minerais prélevés dans des travaux antiques du Sarrat de Germa. Tableau 1 : composition des tétraédrites (%_{mass}, échantillons prélevés dans les travaux antiques en 2010, analyses MSE, *n* 227). Tableau 2 : teneurs en métaux et autres éléments (%_{mass}) d'échantillons de minerais (analyses chimiques globales, gangue non comprise, laboratoire ALS Minerals, Séville, Espagne).

l'activité entre la seconde moitié du II^{ème} s. et la première moitié du I^{er} s. av. n. è. Une poursuite de l'activité au-delà du milieu du I^{er} s. av. n. è. est pour l'instant écartée, le mobilier postérieur à cette fourchette faisant totalement défaut. En revanche, il est impossible de fixer avec certitude le démarrage de l'activité dans le dernier tiers du II^{ème} s. En effet, deux datations ¹⁴C réalisées à partir d'échantillons de charbons de bois (branchettes) prélevés dans le réseau Caunetta 6 inciteraient à restituer sur ce point une activité d'extraction entre le IV^{ème} et le II^{ème} s. av. n. è. Ces datations hautes restent cependant très isolées alors même que les tra-

voux, où une activité tardo-républicaine est probable, sont présents dans l'ensemble du massif (figure 2).

La mine de Tistoulet, en particulier, concentre les indices d'activité antique. Dans ce secteur, le filon d'Esquina d'Ase a été exploité sur près de 900m de longueur par le biais de chantiers à ciel ouvert et de petites fosses, auxquels s'ajoutent des travaux de recherches en galeries ou en fosses de dimensions beaucoup plus limitées et généralement très difficiles à dater. En outre, de nombreuses interventions ont concerné un ensemble de filons secondaires, parallèles ou sécants au filon d'Esquina d'Ase.

Systématiquement attaqués depuis l'affleurement des gisements, les chantiers observés correspondent dans la plupart des cas à des chantiers verticaux ou subverticaux ouverts par le feu et à l'outil. Ils sont généralement de dimensions limitées, le plus vaste actuellement connu mesurant 50m de longueur et 2 à 3 m de largeur (Tistoulet 1). Ces dimensions restreintes s'expliquent notamment par la géologie des corps minéralisés exploités, généralement de faible extension et d'épaisseur centimétrique⁸.

D'une manière générale, les techniques d'exploitation mises en œuvre paraissent clairement l'œuvre de spécialistes engageant leurs travaux selon un schéma préconçu, mais adapté à la géométrie de la structure minéralisée visée. Dans la plupart des chantiers de Tistoulet et de la Caunetta, la morphologie des travaux et la présence de reliquats d'anciens niveaux d'exploitation sur les parois indiquent la mise en œuvre récurrente d'une technique d'exploitation fondée sur le percement de galeries échelonnées sur un plan vertical (chantier de Tistoulet 14 : figure 5). Creusées dans l'allongement des filons et vers l'amont-pendage, elles ont été reliées les unes aux autres après abattage des planchers intermédiaires, en vue d'exploiter les zones minéralisées jugées intéressantes par tranches horizontales ou sub-horizontales. Dans les mines de la partie nord du massif du Sarrat de Germa, où se concentrent des gisements barytiques en amas isolés ou groupés, les modalités d'exploitation s'écartent toutefois de ce schéma. L'exemple le plus intéressant est le réseau ancien identifié à la mine de la Caunetta (Caunetta 6 : figures 2 et 3). Couvrant une superficie minimale de

150 m², ce petit réseau largement comblé s'organise en deux chantiers établis sur deux failles parallèles de direction NE-SO. Ces deux chantiers sont reliés par deux galeries étroites parallèles auxquelles sont connectées plusieurs petites chambres d'exploitation de forme ovoïde, ouvertes par le feu et à l'outil dans des amas barytiques minéralisés en sulfosels et sulfures de cuivre.

La multiplication des indices d'activité tardo-républicaine sur les nombreux gisements présents dans le massif témoigne d'une activité d'une certaine intensité. Les mineurs paraissent avoir procédé à de larges reconnaissances du terrain, et n'ont pas hésité à prospecter, et exploiter, des gisements très réduits. Ces données incitent donc à restituer une large fréquentation du secteur et, partant, un même et vaste mouvement exploratoire des ressources minières du Sarrat de Germa centré sur le tournant des II^{ème} et I^{er} s. av. n. è, dont le démarrage est toutefois difficile à caractériser.

Au vu de ces résultats, la question est de savoir quelle substance a suscité une telle activité ? Si en l'absence d'étude géo-archéologique détaillée des travaux, il est difficile de répondre à cette question, quelques observations éclairent tout de même l'objectif des mineurs. Ainsi, bien que le large comblement des travaux n'ait que rarement permis d'identifier la base des travaux, il semble d'après la documentation d'archives et la distribution des ouvrages miniers que les chantiers d'exploitation anciens sont concentrés dans la partie supérieure des structures minéralisées, et n'ont guère entamé ces filons en profondeur. Cela est nettement visible sur le grand filon d'Esquina d'Ase,

8. Les dimensions moyennes sont comprises entre 0,80 et 2m, et certains atteignent à peine 0,60m de largeur.



Figure 5. Exemple de chantier antique à galerie échelonnée, avec filons de sulfosels et sulfures de cuivre au toit de la galerie (site Tistoulet 14, cl. J. Mantenent). Un échantillonnage de minéral a été réalisé sur ce filon.

où aucun ouvrage ancien n'a été recoupé en profondeur par les travaux contemporains. Au contraire, les interventions attribuées à l'époque tardo-républicaine ont été implantées uniquement sur l'affleurement, aux épontes de la structure filonienne, là où se concentrent les sulfosels de cuivre.

Cette distribution des travaux paraît clairement liée à la géologie des corps minéralisés, et éclaire selon nous les choix économiques des exploitants. Il est vraisemblable qu'en implantant leurs travaux dans la partie supérieure des gisements, les mineurs aient cherché à exploiter prioritairement les zones d'altération supergène des minéralisations. Or, l'examen du processus d'altération de la tétraédrite dans ces zones supérieures a permis d'identifier un phénomène d'enrichissement en cuivre et argent de ce minéral altéré. Ainsi, les microanalyses ont montré que les sulfosels de cuivre en cours d'altération peuvent afficher des taux d'argent particulièrement élevés compris entre 7,6 et 21,6 % Ag, et donc supérieurs aux taux moyens de la tétraédrite non altérée issue de ces filons. En outre, d'autres produits d'altération sont susceptibles de se former, tels que le cuivre natif, l'argent natif et des minéraux d'argent (pyrargyrite, Ag_3SbS_3) (Subra, 1970 : 32 et 38 ; Gianoni, 1990, I : 381 ; Maintenant, 2014, I : 184-185). L'analyse globale d'échantillons de minerai prélevés sur les fronts de taille de travaux associés à du mobilier céramique antique⁹ confirme l'enrichissement de ces minéralisations au niveau de la zone d'altération supergène (figure 4). Les teneurs en argent sont particulièrement élevées (1740-6030 g/t de minerai) et les taux de cuivre varient entre 7,47 et

21,2 %. Et comme attendu, les taux de soufre sont faibles à modérés (0,05-10,9 %), en fonction du taux d'oxydation de la minéralisation au niveau des points de prélèvement (la teneur en soufre dans les cuivre gris non altérés étant de 20-25 %).

Ce processus incite donc à considérer le potentiel argentifère des gisements du Sarrat de Germa en tenant compte non seulement des teneurs en argent de la tétraédrite, qui apparaît comme le principal minéral primaire porteur de l'argent, mais aussi des produits d'altération de ce minéral dans les zones d'altération supergène des gisements. Ce phénomène, observé à la mine de Tistoulet, reste à caractériser plus précisément dans les autres gisements du massif du Sarrat de Germa. Néanmoins, il apporte d'ores et déjà un début d'explication à l'intensité de l'activité minière observée dans le massif durant la période tardo-républicaine. Le vaste mouvement de prospection et d'exploitation perçu durant cette période, que l'on qualifierait volontiers de systématique, pourrait avoir été largement motivé non seulement par la présence de cuivre, mais aussi et surtout par le caractère hautement argentifère de certaines parties des minéralisations.

Le secteur minier du Sarrat de Germa n'est pas isolé, mais s'insère dans un ensemble de zones d'exploitation tardo-républicaine présentes en différents points des Corbières (figure 1). La large répartition de ces interventions, dont le niveau de connaissance est variable d'une zone à l'autre, semble révélatrice. Les vestiges identifiés dans le Sarrat de Germa, dans le bassin de la Valette, dans la haute vallée du Torgan et dans la haute vallée de l'Orbieu (cf. 3.1) témoignent d'une

9. Chantiers Esquina d'Ase 2, 5, 20, 21-22, Tistoulet 14 et Cauneilla 1.

large exploration des zones concentrant les gisements de plomb, cuivre et argent des Corbières aux II^{ème} et I^{er} s. av. n. è., probablement centré sur le tournant de ces deux siècles. Les vestiges observés dans certains secteurs, en particulier dans le Serrat de Germa, illustrent l'intensité de l'activité suscitée par des gisements au demeurant d'ampleur limitée, mais susceptibles d'afficher des teneurs en argent particulièrement élevées. Plus encore que l'exploitation extensive d'un important gisement minier, ces interventions d'ampleur limitée, difficiles à identifier mais que l'on pressent nombreuses dans le massif des Corbières, soulignent à nos yeux les enjeux représentés par la mise en valeur des gisements non-ferreux du massif. Au regard des données recueillies lors de l'étude de ces zones minières, l'argent pourrait avoir été le moteur de ce mouvement. Cependant, l'identification d'une production d'argent ne peut reposer sur le seul caractère argentifère des gisements. C'est par l'étude des matériaux recueillis sur le site de traitement des minerais que l'identification des productions peut être tentée.

4. Du minerai argentifère à la production d'argent: le site du Camp del Oliu

Le minerai issu de la mine intègre un processus de traitement destiné à en extraire le ou les métaux recherchés. La chaîne opératoire inclut des opérations de traitement minéralurgique, destinées à concentrer et donc enrichir le minerai via l'évacuation partielle des minéraux stériles par le biais de procédés mécaniques et/ou thermiques, puis des traitements métallurgiques complexes, aboutissant à la pro-

duction du ou des métaux recherchés. Des artefacts de ces métaux n'étant qu'exceptionnellement découverts dans les zones de production, l'étude doit être étendue à l'ensemble des indices permettant de caractériser au mieux les étapes de cette production métallurgique.

Or, la carte des sites de traitement des minerais non-ferreux des Corbières est particulièrement déficitaire (figure 1). Ainsi, outre une hypothétique aire de concassage de minerai de cuivre antique identifiée anciennement en contrebas d'une mine de cuivre, seuls quatre sites ou indices de sites métallurgiques sont à ce jour recensés dans le massif. Parmi eux, le site du Camp del Oliu est le seul daté de l'Antiquité.

4.1. Un établissement tardo-républicain

L'établissement du Camp del Oliu se situe au sud des Corbières, dans la vallée du Verdoble, à environ 5km des gisements non-ferreux les plus proches, ceux du Serrat de Germa (figure 1). Il est implanté sur la rive gauche d'un cours d'eau, le Ribenc, au pied du versant sud d'une colline, dans une zone soumise depuis 2000 ans à un double phénomène d'accrétion sédimentaire par colluvionnement et alluvionnement, et d'érosion des sols provoquée par les crues du Ribenc et les travaux agricoles.

Identifié dans les années 1980 lors de prospections pédestres, ce site se présente en surface sous la forme de deux petites concentrations de déchets de traitement couvrant respectivement 300m² et 150m², distantes d'une cinquantaine de mètres l'une de l'autre (figure 6). Le mobilier archéologique recueilli au sein de ces deux concentrations et lors des deux campagnes de fouilles menées en 2014 et

2016 est assez diversifié et chronologiquement homogène, plaçant l'activité entre la fin du II^{ème} s. et le milieu du I^{er} s. av. n. è.¹⁰. Aucune fréquentation du site avant ou après cet intervalle n'est à ce jour clairement démontrée. Le site du Camp del Oliu semble donc contemporain des mines antiques identifiées dans les Corbières, en particulier dans le massif voisin du Sarrat de Germa.

4.2. Organisation générale de l'établissement : premier aperçu

Les fouilles réalisées en 2014 et 2016 ont apporté un premier éclairage sur l'organisation de l'établissement, non sans surprises (figure 6). Dans la partie orientale du site (zone 1), légèrement en amont de la concentration de déchets, une plate-forme creusée dans le substrat marneux a été mise au jour au pied d'un affleurement rocheux. Longue de 4 m et large de 3,70 m, elle semblait initialement se prolonger vers le sud, mais elle a été probablement détruite par les travaux agricoles sur ce point. De plan quadrangulaire dans la partie fouillée, elle présente des parois verticales à subverticales très irrégulières (figure 7). La base de cet aménagement correspond à un niveau de sol très compact épais de quelques centimètres. Ce niveau n'a pas encore été fouillé, mais un sondage ouvert en aval de la plate-forme a montré qu'il recouvre des niveaux de déchets de composition distincte se prolongeant vers le sud en direction du cours d'eau. Cette zone d'activité semble se poursuivre vers l'est, si

l'on croit les observations faites dans un sondage ouvert à 5m de cette plate-forme, qui a permis de dégager en coupe un niveau de circulation ou de rejet de déchets de traitement. En l'état actuel des données, on peut donc restituer dans la partie orientale du site une zone d'activité couvrant vraisemblablement une centaine de mètres carrés au minimum, zones de rejet comprises. La plate-forme et le niveau de sol associé paraissent correspondre à l'aire de travail en contrebas de laquelle s'étend probablement une zone de rejet de déchets de traitement, partiellement remaniée par les travaux agricoles.

Dans la partie occidentale du site (zone 2), les investigations ont été plus réduites, mais les trois sondages réalisés dans cette zone ont tout de même permis d'identifier un prolongement vers l'amont du niveau de rejet de déchets de traitement identifié en surface, plus au sud (figure 6). Les limites de cette couche de scories n'ont pas été identifiées, mais compte tenu de la topographie du terrain, et de la localisation de ce niveau de rejet, la présence d'un atelier peut être envisagée entre les sondages 2 et 3.

Enfin, et c'est l'un des apports importants de la campagne de fouille 2016, une troisième zone d'activité a été identifiée au centre du site, entre les zones 1 et 2. Dégagée sur 5m² seulement, cette zone comprend un niveau de sol très compact constitué de sédiment sableux gris comportant de nombreuses inclusions de charbons de bois et de fragments de terre rubéfiée, ainsi que des résidus de carbonates de cuivre et de cuivre métal. Une

10. Il se compose de céramiques d'importation (amphores italiennes, céramiques campaniennes A et B, céramiques ibériques de type « sombrero de copa ») et d'origine régionale (céramiques communes réductrices et oxydantes, céramique non tournée à décor peigné) et d'une monnaie celtibère en bronze (Ournac *et alii*, 2009, 278).

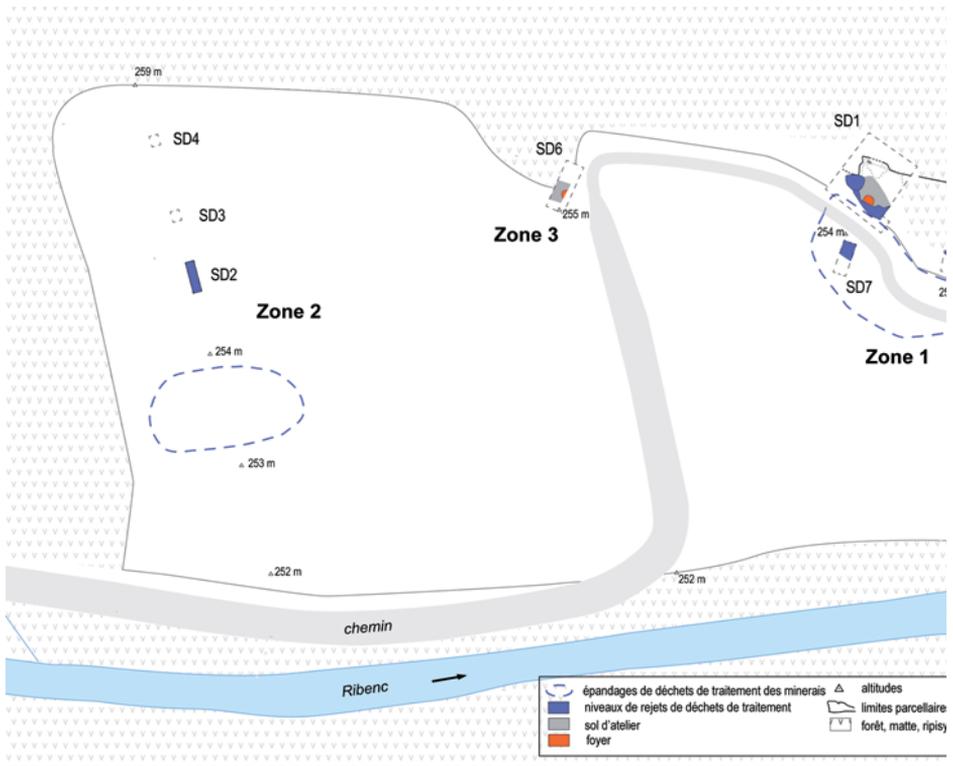


Figure 6. Plan général du site du Camp del Oliu.

zone rubéfiée partiellement conservée de 0,30 m de diamètre est visible à la surface de ce niveau. Il s'agit là probablement d'un sol d'atelier constitué de résidus d'activité qui restent à analyser. Plusieurs fragments d'amphore et de vaisselle ont été rejetés sur ce sol, formant un niveau d'abandon. Ce mobilier est en tout point similaire aux éléments recueillis par ailleurs sur le site.

Bien que dégagé sur une très faible superficie, le niveau de sol identifié en zone 3 conduit à réévaluer l'ampleur du site. Contrairement à ce qui était envisagé initialement, en l'occurrence deux zones d'activités distantes d'une cinquantaine

de mètres, on suppose désormais l'existence d'un ensemble d'aires de travail implantées en rive gauche du Ribenc sur 70 m de longueur, conférant à l'établissement du Camp del Oliu une ampleur insoupçonnée jusque-là.

4.3. Les activités : structures de travail et déchets de traitement

Des structures de travail encore méconnues

L'étude archéologique du site n'en est qu'à ses débuts et aucun niveau ou structure de travail n'a été clairement identifié à ce jour. En zones 1 et 3, deux zones ru-



Figure 7. Vues générales du site (en haut, cl. A. Mayans) et de la plate-forme de la zone 1 à l'issue de la campagne 2016 (en bas, cl. J. Maintenant).

béfiées aux contours irréguliers de moins d'1 m de diamètre semblent correspondre à l'emplacement de structures de combustion, de type foyer ouvert, Leur fonction reste toutefois indéterminée à ce stade de l'enquête (grillage du minerai ? foyer métallurgique ?). Par ailleurs, une structure bâtie en petits blocs de pierre a été partiellement dégagée près de la paroi nord de la plate-forme de la zone 1 (figure 7). Sa surface est partiellement rubéfiée et elle est associée stratigraphiquement à ce qui semble correspondre à un niveau d'effondrement d'un aménagement fait de blocs de pierre. Il pourrait s'agir là d'une autre structure de travail aménagée contre la paroi de la plate-forme. Enfin, un bloc de pierre dure présentant une cupule caractéristique en son centre a été découvert hors stratigraphie. Il a probablement été utilisé comme enclume lors d'une opération de concassage d'un matériau dur (minerai ?).

Compte tenu du caractère ténu de ces vestiges, c'est essentiellement par l'étude des déchets de traitement que l'on peut espérer apporter un premier éclairage à ce stade de l'enquête sur les activités développées sur le site.

Les déchets de traitement

L'étude archéométrique d'échantillons prélevés sur le site entre 2009 et 2014 a permis d'élaborer une première typologie des déchets de traitement, qui reste cependant provisoire compte tenu de notre très large méconnaissance de la chaîne opératoire antique des métaux non-ferreux. Un premier ensemble de restes englobe des déchets silicatés, partagés en trois grands types : scories vitreuses noires, scories vi-

treuses et cristallisées grises, et scories à grandes inclusions minérales (8).

Prédominantes et morphologiquement très homogènes, les scories vitreuses noires (type 1) forment l'écrasante majorité des éléments observés dans le niveau de rejet identifié en zone 2. Elles sont en revanche beaucoup plus rares en zone 1, où elles apparaissent en outre systématiquement de taille calibrée, d'ordre centimétrique. Ces scories peu vacuolaires montrent fréquemment sur leur surface des indices d'écoulement (flux d'écoulement, bourrelets, cordons), et, souvent, deux faces caractéristiques : une face supérieure à cordons d'écoulement et une face inférieure ayant moulé la surface d'écoulement. La matrice de ces scories est constituée essentiellement de verre, affichant des taux élevés en Fe_2O_3 (17,28 %_{mass}), BaO (14,41 %_{mass}) et PbO (12,19 %_{mass}), dans lequel des cristaux de pyroxène (silicates) en lattes à lacune de croissance sont visibles ponctuellement. Quelques reliquats de charbons de bois et plus rarement des fragments de roche partiellement fondus (quartz essentiellement) sont présents dans cette matrice, ainsi que des inclusions néoformées prenant la forme de billes sphériques à subsphériques de taille généralement inférieure à 100 μm de diamètre et passées par un état fondu. Elles sont systématiquement constituées d'un cœur métallique pluriphasé composé de plomb, antimoine, cuivre et arsenic, et d'une périphérie sulfurée biphasée constituée de sulfures de cuivre (Cu_2S) et de plomb (PbS)¹¹.

Le second type est plus hétérogène (figure 8). La surface de ces scories est généralement beige à grise et largement im-

11. L'argent n'apparaît que ponctuellement dans les plages Cu-Sb-As des billes d'un échantillon (CDO9) à des taux relativement faibles (< 0,40 %_{mass}).

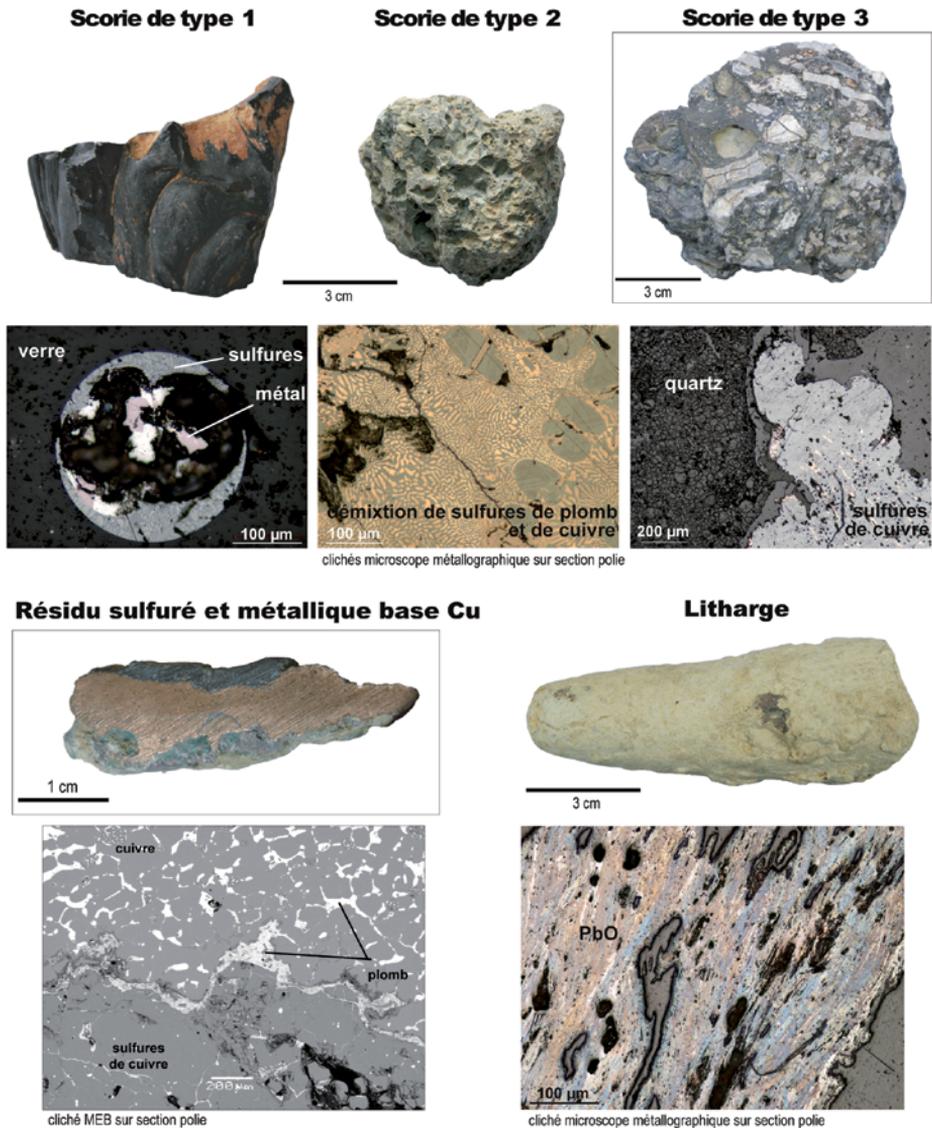


Figure 8. Typologie des scories et des résidus de production : vues macroscopiques et microscopiques.

pactée par les phénomènes taphonomiques. Certains échantillons montrent des indices d'écoulement (cordons, bour-

relets), voire deux faces supérieure et inférieure typiques d'une scorie écoulée. La matrice est en revanche nettement plus

crystallisée que dans le premier groupe. Les cristaux les plus fréquents sont des pyroxènes à lacunes de croissance et des feldspaths riches en baryum (31,39-33,13 %_{mass}). Des zones vitreuses riches en baryum et en plomb sont présentes (Maintenant 2014, 231). Les reliquats sont fréquents et correspondent à des charbons de bois et surtout à des grains de quartz (< 25 mm) soumis à de hautes températures. Enfin, les inclusions néoformées observées sont plus diversifiées que dans le type 1. Elles correspondent en particulier à des billes de plomb métal affichant quelques pourcents d'antimoine et pouvant contenir quelques zones très riches en argent (jusqu'à 53,38 %_{mass}) ou des inclusions informes de cuivre métal associé à l'antimoine et à l'arsenic dans lesquelles des plages d'argent de quelques microns sont fréquentes (jusqu'à 80 %_{mass}). Ces inclusions métalliques sont entourées d'une zone périphérique constituée de sulfures de cuivre (Cu, Fe)_{2-x}S ou (Cu, Fe, Ag)S où l'argent peut être présent ponctuellement à des taux élevés. En outre, des inclusions néoformées de forme irrégulière sont constituées de plages de sulfure de plomb PbS et de sulfure de cuivre (Cu, Fe)_{2-x}S associés à l'argent (jusqu'à 0,39 %_{mass}).

Enfin, le troisième type correspond à des scories assez vacuolaires, à surface hétérogène vitreuse et cristallisée, de couleur noire à brune, sans trace d'écoulement (figure 8). La matrice est constituée à la fois de verre et de cristaux de magnétite à traces de cuivre et de baryum (< 1 %_{mass}) et de silico-aluminates riches en baryum, fer et potassium (Maintenant 2014, 236). Ces scories se distinguent de tous les déchets identifiés par la forte proportion de reliquats rocheux blanc à beige de taille millimétrique à centimétrique. Tous les reliquats analysés correspondent à des

grains de quartz soumis à de hautes températures et certains contiennent de petites billes de cuivre métal affichant des taux d'argent compris entre 1,5 et 3,5 %_{mass}. Enfin, des inclusions néoformées, de taille micrométrique à plurimillimétrique, correspondent à des éléments informes constitués de sulfures de cuivre Cu₂S (< 1%_{mass} Ag), de plages métalliques de Cu-Sb et de Pb (3-4 %_{mass} Ag) et de plages d'argent (93 %_{mass}) et à des billes métalliques de Cu-Sb à plages de plomb affichant jusqu'à 56-58 %_{mass} Ag.

Les résidus de production

Outre les scories, trois résidus métalliques, sulfurés et oxydés ont été identifiés (figure 8). De densité élevée et non magnétiques, ils sont recouverts d'une couche d'altération vert-de-gris. L'échantillon CDO140 est un fragment de petite taille (3,5 x 2,5 x 1 cm), à surface irrégulière, dont la périphérie montre des bourrelets caractéristiques de l'écoulement d'un matériau en fusion. L'une des faces adopte un profil convexe et correspond vraisemblablement à la face inférieure. L'échantillon CDO141 est un élément allongé (4 x 2 x 1,5 cm) à arêtes vives et bourrelets. L'échantillon CDO142 correspond quant à lui un fragment plat et peu épais (1 cm) légèrement convexe, cassé sur trois de ses côtés. Le long de son quatrième côté apparaît un léger bourrelet en bordure de ce qui semble être la face supérieure de l'échantillon.

Seul l'échantillon CDO140 a été analysé. Dans ce dernier, deux zones distinctes sont clairement visibles (figure 8). La partie supérieure, de couleur grise cristallisée, à reflets métalliques, est constituée des sulfures de cuivre Cu₂S, traversées par de nombreuses microfissures remplies de plomb métal. La partie inférieure est for-

mée en revanche d'une matrice orangée cristallisée, à reflets métalliques. Elle présente un faciès de démixtion entre du cuivre métal (Cu) dominant, à structure pseudo-dendritique (grains à bord incurvé) et du plomb métal (Pb) intercalé entre les grains de cuivre. Ces deux métaux sont passés par un état fondu, à l'instar des billes de sulfures Cu_2S présentes en inclusions dans la matrice Cu et qui ont elles-mêmes piégé du plomb lors du refroidissement. Des nodules anguleux métalliques Cu-Sb, associés à Ag, Ni et As et de taille micrométrique, sont présents en inclusions dans la phase métallique Cu. Enfin, au contact entre les deux matrices apparaît un fin liseré de plomb (Pb). A la cassure, les échantillons CDO141 et CDO142 montre une matrice homogène orangée cristallisée à reflets métalliques similaire à la phase de cuivre métal présente dans CDO140 et correspondant sans doute là aussi à du cuivre.

Un dernier élément nettement différent morphologiquement est de forme conique (10 x 4cm), de densité élevée et de couleur blanc crème en surface. Il présente une extrémité arrondie légèrement aplatie (figure 8). Une cavité cylindrique longitudinale (diam. 1/1,5 cm) est visible dans l'axe médian. Sur cassure, la matrice est de couleur violacée à grise, cristallisée, à débit feuilleté. Les analyses MEB-EDS et à la microsonde électronique ont montré qu'il est composé essentiellement d'oxydes de plomb, avec une concentration médiane en plomb de 92,5 %, comportant des inclusions métalliques de cuivre ou de cuivre et argent affichant des teneurs jusqu'à 2 %_{mass} Ag. L'aspect et la composition de cet élément conduisent à

l'interpréter comme un rouleau de litharge (PbO) (Bachmann, 1993 : 492). Morphologiquement, il est similaire aux rouleaux trouvés dans le village de mineurs tardo-républicaine de La Loba (Domergue, Tollon 2002, 70-71), à Rio Tinto (Craddock, 1995 : 231) ou au Laurion (Conophagos, 1980 : 325).

Fragments de parois et roches exogènes

Enfin, des fragments de parois de structure de combustion et des roches exogènes ont été observés sur le site. Les premiers présentent des indices nets d'un fort impact thermique en conditions réductrices, la face interne, quand elle est présente, étant en outre fortement scoriacée, et, dans certains cas, colorée en jaune. Des carbonates de cuivre de couleur verte sont régulièrement visibles sur la face interne et, sur certains échantillons, de la scorie vitreuse noire comportant de grosses inclusions blanches, des reliquats de charbons et des encroûtements de carbonates de cuivre adhérent encore à la paroi.

Les roches exogènes découvertes sur le site correspondent quant à elles à des roches bréchiques constituées de fragments de roches carbonatées, de barytine et de quartz dont la surface est recouverte de carbonates de cuivre.

4.4. Minerais traités et nature des productions : premiers résultats

La restitution de la chaîne opératoire développée sur le site se heurte au caractère parcellaire des données disponibles actuellement, qui n'éclairent que certains aspects des procédés mis en œuvre¹². Dans le cadre de cet article, nous nous intéressons

12. Pratique probable de traitements mécaniques préalables de type concassage et broyage du minerai, scories produites au cours d'une phase de traitement d'un minerai à des températures dépassant 1000°C, etc.

rons surtout à la nature des minerais traités et aux productions de l'établissement du Camp del Oliu, que le recouplement des informations archéologiques et physico-chimiques renseigne partiellement.

Le minerai traité

Les scories de type 1 et de type 2 partagent de nombreuses similitudes. Les verres des deux types de scories ont des compositions assez proches, affichant notamment des taux élevés de BaO et PbO, et les principales inclusions ont un cœur métallique à dominante Pb, entouré d'une zone périphérique sulfurée, à sulfures de plomb et/ou de cuivre. Les cristallisations symplectiques des zones sulfurées montrent des compositions voisines. Ces observations paraissent indiquer que les scories de type 1 et 2 appartiennent à la même chaîne opératoire destinée à traiter un minerai sulfuré non-ferreux, au cours de laquelle des températures élevées, vraisemblablement supérieures à 1000-1100°C, ont été atteintes (Chausson et Hilly, 1974 : 196). Les scories de type 3 se distinguent en revanche des deux types précédents par leur morphologie et la nature de leur matrice et de leurs inclusions. Cependant, il faut très certainement les rattacher à la même métallurgie que les scories de type 1 et 2 en raison de la présence récurrente de Cu, Cu₂S, Pb, Sb et As dans leur composition.

Or, l'omniprésence de l'antimoine et de l'arsenic en association avec le cuivre et le plomb dans les inclusions néoformées de ces trois types est significative. En ef-

fet, le cuivre, l'antimoine et l'arsenic constituent les éléments traceurs des minéraux du groupe des cuivres gris (Rehren *et alii*, 1999b ; Rehren et Prange, 1998 : 183 ; Bourgarit *et alii*, 2003 : 434 ; Krismer *et alii*, 2011 : 935-936). Étant donné leur omniprésence dans les scories analysées, on peut considérer que les métallurgistes du Camp del Oliu ont traité un minerai contenant des cuivres gris. La présence récurrente de baryum dans les verres des scories de type 1 et 2, à des taux assez élevés (méd. 14,41 %_{mass} et 25,92 %_{mass}) conduit en outre à envisager le traitement de sulfosels de cuivre à gangue de barytine, dont le baryum (BaSO₄) est l'un des principaux composants.¹³ Ce minéral est avec le quartz le principal minéral de gangue des gisements minéralisés en cuivres gris du massif des Corbières, notamment ceux du massif du Sarrat de Germa, qui est la zone minière la plus proche de l'atelier (5km) et qui lui est contemporaine. Ces données conduisent à faire de cette zone l'une des sources possibles d'approvisionnement en minerai du site du Camp del Oliu.

Une production de cuivre à partir d'un minerai sulfuré

L'omniprésence des sulfures dans les inclusions néoformées des scories de type 1 et 2 démontre que le minerai traité était encore largement sulfuré. Nous ne disposons d'aucune preuve directe d'un grillage préalable du minerai sur l'atelier, mais s'il a eu lieu, le grillage a été partiel, dans la mesure où un grillage complet aurait eu

13. On ne peut pas écarter un ajout volontaire de barytine comme fondant dans la structure de traitement. Ce minéral constituerait effectivement un fondant de choix dans la métallurgie des non-ferreux, plus particulièrement dans la métallurgie du plomb, car elle décomposerait les silicates de plomb formés par réaction de cet élément avec la silice présente éventuellement dans la gangue, libérant ainsi le plomb métal en prenant sa place, suivant la formule $2\text{PbO},\text{SiO}_3 + \text{BaS} \rightarrow 2\text{BaO},\text{SiO}_3 + 2\text{PbS}$ (Percy 1870, 489 ; Bachmann, 1993 : 491-492 ; Kassianidou, 2003 : 202).

pour effectuer la transformation de tous les sulfures du minerai en oxydes (Chaussin et Hilly, 1974 : 15-16 ; Hauptmann, 2007 : 243). Conduit à une température peu élevée (400-700°C), le grillage partiel est nécessaire en particulier dans le cas de minerais sulfurés complexes, à teneurs généralement basses en cuivre et dans lesquels sont présents d'autres éléments, tels que le plomb, le zinc, l'arsenic et l'antimoine. L'oxydation ne doit pas être poussée trop loin afin de garder suffisamment de soufre en vue d'une étape ultérieure de fusion pour matte (cf. ci-dessous) (Chaussin et Hilly, 1974 : 15-16). La technique du grillage partiel a été identifiée en particulier sur le site de Monte-Romero, daté du premier âge du Fer, où le minerai traité paraît correspondre à un minerai complexe polymétallique constitué de sphalérite, galène, pyrite, et surtout freibergite $[\text{Ag,Cu}]_{12}(\text{Sb,As})_4\text{S}_{13}$ (Kassianidou, 2003 : 203), et à Vipasca, sur un site de traitement de minerai sulfuré composé de chalcopryrite, pyrite, galène, sphalérite et probablement cuivres gris, et daté du I^{er} s. de n. è. (Cauuet *et alii*, 1999 : 297-298).

Cette technique du grillage partiel vise à obtenir une matte sulfurée cuivreuse, qu'il sera possible d'enrichir en cuivre en répétant les opérations de fusion pour éliminer peu à peu le soufre, afin de limiter les pertes en cuivre et d'améliorer le rendement. La matte constitue en quelque sorte un produit d'enrichissement des minerais de cuivre sulfurés dans le cadre d'une production de cuivre (Rivot, 1872, I : 113 ; Chaussin et Hilly, 1974 : 195-196). Or,

nous avons vu que plusieurs résidus de production recueillis sur le site sont liés à la fusion de cuivre métal. Dans l'un de ces éléments (CDO140), le métal Cu est associé à un sulfure de cuivre Cu_2S . Compte tenu de sa composition, il y a tout lieu de voir là un résidu d'une phase de traitement d'un sulfure de cuivre secondaire, de type matte, visant à produire du cuivre métal. Cet élément induit une phase préalable de fusion pour matte dans la chaîne opératoire développée sur le site. Ces données constituent un écho intéressant à l'hypothèse d'un grillage volontairement partiel du minerai sulfuré initial. Mises en perspective avec les observations faites lors de l'étude des autres déchets, elles permettent de restituer de manière vraisemblable une production de cuivre sur le site.

Indices en faveur d'une production d'argent

La découverte d'un rouleau de litharge constitue un apport important. Ce type d'élément est produit lors de l'opération de coupellation qui vise à extraire le métal blanc du plomb d'œuvre issu du traitement d'un minerai argentifère (Bachmann, 1993 : 488-489). Par ailleurs, la litharge a pu être utilisée comme ajout de plomb lors du traitement des minerais de cuivre argentifère. Loin d'être considérée comme un déchet par les métallurgistes, la litharge peut être réduite à son tour afin d'obtenir du plomb métal (Téreygeol et Happ, 2000 : 201 ; Peris Vicente *et alii*, 2008 : 144).¹⁴ Bien qu'une origine exogène ne soit pas à écarter,¹⁵ l'hypothèse

14. Pour cette opération, un simple creuset suffit. Placé dans un foyer, il est recouvert de charbon de bois pour créer une atmosphère réductrice au contact de l'oxyde de plomb (Téreygeol, 2003 : 69).

15. La litharge a fait l'objet d'un commerce durant l'Antiquité, et a été utilisée en particulier dans la pharmacopée antique (Rehren *et alii*, 1999a). Le retraitement de la litharge par le biais d'un ajout au cours de la fusion du minerai permettait par ailleurs de récupérer l'argent encore piégé éventuellement dans la litharge (Rehren *et alii*, 1999b : 307).

d'une production *in situ* semble toutefois la plus vraisemblable, compte tenu, notamment, de l'identification d'inclusions métalliques de cuivre et cuivre argent dans la litharge, indice possible que ce rouleau a été produit sur un site de traitement de minerais de cuivre-argent. Cette proposition incite à replacer sur le site une opération de coupellation et facilite la compréhension des données présentées dans les pages précédentes.

En effet, le plomb est omniprésent dans les déchets de traitement analysés, sous forme sulfurée et métallique dans la matrice et les inclusions néo-formées des scories 1, 2 et 3, et sous forme métallique dans le résidu CDO140, associé au cuivre métal et en remplissage des microfissures de la phase sulfurée Cu_2S . Son identification dans les scories encore riches en sulfures de cuivre et en éléments traceurs du minerai (Sb, As) incite à penser que le plomb était présent dans le processus dès le traitement métallurgique des minerais. Entraîné dans la composition du minerai initial ou bien a-t-il été ajouté ? Les deux principaux minerais de plomb, la galène et la bourmonite, apparaissent dans le cortège sulfuré des gisements des Corbières, en particulier de la haute vallée de l'Orbieu et du bassin de la Valette (Giannoni, 1990, I : 369-379). On ne peut donc écarter l'hypothèse d'un traitement de minerais Cu-Pb extraits de l'un de ces gisements, tous situés à une dizaine de kilomètres du site du Camp del Oliu. Cependant, il faut noter que dans le massif du Sarrat de Germa, secteur minier le plus proche de l'établissement et considéré comme l'une des zones d'approvisionne-

ment possibles de l'atelier, les formes minérales du plomb ne semblent dominer que dans le cortège sulfuré du gisement des Fénals, où aucune trace d'intervention antique n'a été identifiée malgré une prospection systématique de la mine. Le plomb est en revanche particulièrement rare dans les autres gisements.¹⁶ Dans les analyses globales d'échantillons provenant du Sarrat de Germa (mines de Tistoulet, La Caunetta et La Cauneilla), le plomb est présent uniquement en traces ($< 1 \text{ \%}_{\text{mass}} \text{Pb}$; Subra, 1970 : 20-25 ; Giannoni, 1990, I : 266 ; Mantenent, 2014, I : 185) (figure 4).

Par conséquent, il est raisonnable d'envisager que le minerai traité initialement au Camp del Oliu était pauvre en plomb, ce qui supposerait un ajout de ce dernier. Sous quelle forme ? La présence de sulfures de plomb dans les inclusions néoformées n'implique pas l'ajout sous forme de galène (PbS). Dans une atmosphère nettement sulfurée et à températures élevées, le plomb peut en effet aisément réagir avec le soufre pour former un sulfure de plomb (Ditte, 1902 : 289-290). En outre, l'introduction du plomb sous forme métallique a été envisagée sur d'autres sites métallurgiques protohistoriques ou antiques dans le cadre d'un traitement de minerais sulfurés Cu-Ag, en particulier à Monte-Romero, à La Loba et à Rio Tinto (Kassianidou, 2003 : 203-204 ; Domergue et Tollon, 2002 : 75 ; Anguilano *et alii*, 2010 : 273-276). L'ajout de plomb lors du traitement de minerais à l'origine pauvres en plomb, quel que soit sa forme, répondrait à un but : mettre à profit la plus grande affini-

16. Sur l'ensemble des échantillons de minerai prélevés dans des travaux miniers antiques (Tistoulet, Aigas Caudas, La Caunetta) et analysés à la microsonde, la bourmonite est absente et la galène n'apparaît qu'à trois reprises (Mantenent, 2014: III, annexe V).

té de l'argent pour ce métal et le séparer des autres éléments, l'argent étant ensuite collecté lors d'une phase ultérieure de coupellation (Bachmann, 1993 : 489 ; Domergue, 2008 : 159-160 ; L'Héritier, 2012 : 190).

Sur le site du Camp del Oliu, la découverte d'un rouleau de litharge inciterait à proposer la même explication quant à la présence récurrente de plomb dans les déchets analysés, si tant est que ce minerai provienne des mines du Sarrat de Germa. Dans ce cas de figure, cela témoignerait d'un processus volontaire de cofusion de plomb – sous une forme à ce jour non déterminée précisément – et d'un minerai Cu-Ag afin de concentrer dans le plomb l'argent contenu dans ce minerai. Ce type d'opération se rapprocherait des processus mis en évidence à la Loba, à Monte-Romero ou à Rio Tinto sans que l'on puisse pour l'instant en restituer précisément les étapes.

5. Bilan et perspectives

Fondée sur une double approche archéologique et archéométrique, les recherches menées entre 2008 et 2016 ont apporté de précieux éclairages sur les modalités d'exploitation des gisements non ferreux du massif des Corbières. Elles se sont appuyées sur un ensemble de sites cohérent d'un point de vue chronologique et technologique, dont l'étude a permis de préciser les principales étapes d'exploitation et de traitement des minerais Cu-Pb-Ag.

Il apparaît que les Corbières connaissent une phase importante d'exploration de ces ressources minières aux II^{ème}-I^{er} s. av. n. è. Cette phase paraît centrée sur le tournant de ces deux siècles. Il semble que la majeure partie des zones où se concen-

trent les gisements Cu-Pb-Ag aient été touchées par le phénomène. A ce titre, le cas du massif du Sarrat de Germa est révélateur. En effet, cette zone a probablement été largement prospectée et les gisements, systématiquement mis en valeur. Ce phénomène illustre l'intensité de l'activité minière développée dans cette zone durant la période concernée. Faut-il y voir là l'intervention d'une ou de plusieurs sociétés minières italiennes, semblable(s) à la société des mines d'argent rutènes intervenant dans la haute vallée de l'Orb, au sud du Massif Central (Gourdiolle et Landes, 2000)? Rien n'est moins sûr, même si les interventions menées dans le massif du Sarrat de Germa semblent témoigner d'un haut niveau d'organisation, potentiellement porté par une seule et même entité.

Grâce à l'enquête menée dans les mines du Sarrat de Germa et sur le site du Camp del Oliu, il apparaît désormais plus clairement que l'objectif de ces interventions ait été le cuivre et l'argent. A ce titre, l'identification d'un processus d'exploitation des minerais très argentifères que sont certains cuivres gris et leurs produits d'altération conduits à réévaluer le potentiel argentifère du massif des Corbières, dont les gisements, certes assez restreints spatialement, pourraient avoir constitué d'importantes sources d'approvisionnement en métal blanc. Peut-on parler d'une ruée vers l'argent aux II^{ème} et I^{er} s. av. n. è. ? Au regard de l'intensité de l'activité identifiée dans le Sarrat de Germa, ce questionnement est justifié. Pour autant, encore aujourd'hui, les résultats de cette étude ne nous renseignent pas sur les rendements atteints par les métallurgistes du Camp del Oliu, ou sur l'ampleur économique de l'activité développée dans les Corbières. Si nous pouvons identifier une production d'argent d'un

point de vue technique, nous ne savons rien d'elle d'un point de vue économique, ou, disons, commercial. Enfin, aspect important, la chronologie de cette activité reste à préciser, en particulier en ce qui concerne la probable mise en valeur des gisements argentifères des Corbières entre le IV^{ème} et le II^{ème} s. av. n. è., qui s'insérerait dans un mouvement plus large touchant d'autres zones minières des Pyrénées de l'Est, avant la conquête de ce territoire par Rome.

Par conséquent, beaucoup reste à faire. La priorité est évidemment de poursuivre les recherches menées au Camp del Oliu, afin de caractériser plus précisément la chaîne opératoire développée sur le site, et déterminer, en particulier, la place occupée par l'argent. Ceci étant, afin d'apporter de nouveaux éléments de réflexion quant à une possible ruée vers l'argent des Corbières, il faut aussi poursuivre le travail de cartographie des sites de production et de caractérisation des minerais exploités durant l'Antiquité. En outre, il semble important d'étudier de nouveaux sites de traitement des minerais contemporains du mouvement exploratoire tardo-républicain, afin que le site du Camp del Oliu ne reste pas un *unicum*, dans une approche comparative primordiale en archéologie des métaux. Enfin, si l'on veut clarifier ce mouvement de mise en valeur des ressources argentifères du massif pyrénéen dès la fin de l'âge du Fer, cette démarche doit être étendue à l'ensemble du massif pyrénéen.

En effet, la question du potentiel argentifère du massif pyrénéen a trop souvent été perçue à l'aune de considérations géologiques et économiques modernes. Or, l'exemple du Sarrat de Germa semble démontrer que de petits gisements très argentifères ont pu susciter une activité

minière intense dans des contextes différents de ceux des derniers siècles. Reste à prouver que ces petits gisements, fréquents dans les Pyrénées, aient donné lieu à une production d'argent importante. A ce titre, les données réunies dans les Corbières à propos du traitement des minerais de type cuivres gris en vue de produire de l'argent invitent à réévaluer le rôle joué par ce type de minerai dans la production d'argent antique. Compte tenu de sa teneur en argent, nettement plus élevée que pour la galène, il a pu constituer une ressource en métal blanc particulièrement attractive. La question est de savoir si les métallurgistes antiques ont su mettre complètement à profit ce caractère argentifère en résolvant les problèmes posés par la présence dans les cuivres gris et leurs minéraux d'altération d'autres éléments chimiques non recherchés, qui compliqueraient les opérations de métallurgie primaire.

Cet axe de recherche ne concerne pas uniquement les Pyrénées, mais, en réalité, l'ensemble de la Méditerranée nord-occidentale. Cette région est englobée dans une vaste province métallogénique qui, des Cévennes aux chaînons côtiers catalans au sud, du Séronais dans les Pyrénées à la bordure des massifs des Maures et de l'Estérel, en Provence, regroupent un ensemble de gisements barytiques à sulfosels de cuivre argentifères partageant des caractéristiques géologiques similaires et tous situés dans des massifs montagneux en marge des principaux bassins de peuplement (Giannoni, 1990 : 402-427). Une meilleure caractérisation du rôle joué par ces minerais dans la production d'argent régionale permettrait peut-être, à terme, de réévaluer la place tenue par cet espace dans le marché des métaux non-ferreux méditerranéen. Plus largement, en

s'attachant à éclairer les phénomènes socio-économiques et culturels associés à la mise en valeur des ressources offertes par les montagnes métallifères de la Méditerranée nord-occidentale durant les derniers siècles avant notre ère, une telle recherche peut contribuer à une meilleure compré-

hension de l'évolution des populations de ces espaces à la fin du dernier millénaire avant notre ère, des modalités de diffusion des modèles économiques et culturels romains dans ces territoires et des conditions dans lesquelles s'est déroulée leur prise de contrôle par Rome.

Références bibliographiques

- ANCEL, B. ; PARENT, G. ; BEYRIE, A. ; KAMMENTHALER, E. ; DARDIGNAC, C. 2012. « Stratégie d'exploitation et galeries d'exhaure dans la mine de cuivre antique de Banca (St Etienne de Baigorri, Pyrénées-Atlantiques) ». En : J.-P. Bost (éd.). *L'eau : usages, risques et représentations, dans le Sud-Ouest de la Gaule et le Nord de la péninsule Ibérique, de la fin de l'âge du Fer à l'Antiquité tardive (I^{ère} siècle avant J.-C. - V^{ème} siècle après J.-C.)*. Actes du colloque de Dax (2009), 169-193.
- ANGUILANO, L. ; REHREN, T. ; MÜLLER, W. ; ROTHENBERG, B. 2010. « The importance of lead in the silver production at Riotinto (Spain) ». *Archéosciences* 34, 269-276.
<https://doi.org/10.4000/archeosciences.2833>
- AUBAGUE, M. ; ORGEVAL, J.-J. ; SOULIÉ M. 1977. *Les gîtes minéraux de la terminaison méridionale du Massif central et de sa bordure languedocienne (Essai de synthèse)*, Montpellier : Bureau de recherches géologiques et minières.
- BACHMANN, H. G. 1993. « The archaeometallurgy of silver ». En Francovich R. (éd.). *Archeologia delle attività estrattive e metallurgiche. Atti del V ciclo de Lezioni sulla Ricerca Applicata in Archeologia (Certosa di Pontignano-Campiglia Marittima, 9-21 settembre 1991)*, 487-495.
- BATS, M. 2011. « Métal, objets précieux et monnaie dans les échanges en Gaule méridionale protohistorique (VII^{ème}-II^{ème} s. a. c.) ». En : M.-P. Garcia Bellido, L. Callegarin, A. Jimenez Diez (éds.). *Barter, money and coinage in the Ancient Mediterranean (10th-1st centuries BC)*, 97-109.
- BEYRIE, A. ; GALOP, D. ; MONNA, F. ; MOUGIN, F. 2003. « La métallurgie du fer au Pays Basque durant l'Antiquité. État des connaissances dans la vallée de Baigorri (Pyrénées-Atlantiques) ». *Aquitania* 19, 49-65.
- BOURGARIT, D. ; MILLE, B. ; PRANGE, M. ; AMBERT, P. ; HAUPTMANN, A. 2003. « Chalcolithic falhore smelting at Cabrières: reconstruction of smelting process by archaeometallurgical finds ». En: *Proceedings of international conference on archaeometallurgy in Europe (Milan, 24-26 septembre 2003)*, 431-440.
- CALLEGARIN, L. ; GENEVIÈVE, V. ; HIRIART, H. 2013. « Production et circulation monétaire dans le Sud-Ouest de la Gaule à l'âge du Fer (III^{ème}-I^{er} s. a.C.) ». En : A. Colin, F. Verdin (éds.). *L'âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'âge du Fer. Actes du 35^{ème} colloque de l'AFEAF (Bordeaux, 2-5 juin 2011)*, 185-217.
- CAMPO, M. 2011. « Mercado, dinero y moneda en el Nordeste de Iberia (SS. V-III a. c.) ». En: M.-P. Garcia Bellido, L. Callegarin, A. Jimenez Diez (éds.). *Barter, money and coinage in the Ancient Mediterranean (10th-1st centuries BC)*, 189-202.

- CANÉROT, J. 2008. *Les Pyrénées. Histoire géologique et itinéraires de découverte*. Biarritz : Atlantica eds.
- CAUQUET, B. 2014. « Les Atiels. Labastide-de-Sérou ». *Bilan Scientifique Régional Midi-Pyrénées*, 25-26.
- CAUQUET, B. ; DOMERGUE, C. ; DUBOIS, C. ; PULOU, R. ; TOLLON, F. 1999. « La production de cuivre dans la province romaine de Lusitanie. Un atelier de traitement de minerai à *Vipasca* (Aljustrel, Portugal) ». En : J.-G. Gorges, F.-J. Rodriguez Martin (éds.). *Économie et territoire en Lusitanie romaine*, 279-306.
- CHAMBOLLE, P. 1980. « Le district à barytine des Corbières (Aude) ». En : G. Pouit, J.-P. Fortuné (éds.). *Métallogénie du Massif central et des Pyrénées. Actes du 26^{ème} congrès géologique international (Paris, 7-17 juillet 1980)*, 46-51.
- CHAUSSIN, C. ; HILLY, G. 1974. *Métallurgie. Tome 2 : élaboration des métaux*. Paris : Editions Dunod.
- CONOPHAGOS, C. 1980. *Le Laurium antique et la technique grecque de la production de l'argent*. Athènes : Ekdorike Hellados.
- CRADDOCK, P. T. 1995. *Early Metal Mining and Production*. Édimbourg : Edinburgh University Press.
- DITTE, A. 1902. *Introduction à l'étude des métaux*. Paris.
- DOMERGUE, C. 1990. *Les mines de la péninsule Ibérique dans l'Antiquité Romaine*. Rome : Ecole Française de Rome.
- DOMERGUE, C. 2008. *Les mines antiques. La production des métaux aux époques grecque et romaine*. Paris : Picard.
- DOMERGUE, C. ; TOLLON F. 2002. « La mine, les minerais, les métaux (cuivre, argent, plomb) ». En : J.M. Blázquez Martínez ; C. Domergue ; P. Sillières (éds.). *La Loba (Fuenteovejuna, Cordoue, Espagne). La mine et le village minier antiques*, 53-77.
- DUBOIS, C. ; GUILBAUT, J.-E. 1982. « Antiques mines de cuivre du Séronais (Pyrénées ariégeoises) ». En : *Mines et fonderies antiques de la Gaule. Table-ronde du CNRS (Université Toulouse-Le Mirail, 21-22 novembre 1980)*, 95-123.
- DUBOIS, C. ; GUILBAUT, J.-E. ; TOLLON, F. 1997. « Les anciennes métallurgies du front montagnard ariégeois (fer et non-ferreux, I^{er} s. av. n. è. au XIII^{ème} s.) ». *Archéologie en Languedoc* 21, 203-215.
- GIANNONI, A. 1990. *Les gîtes à barytine et sulfosels associés des Corbières (Aude). Un exemple de concentrations épigénétiques à l'interface socle/couverture*, thèse de 3^{ème} cycle. Paris.
- GIRARD, J. ; MUNOZ, M. ; CAUQUET, B. ; POLVÉ, M. ; ARIÈS, S. ; CALLEGARIN, L. 2010. « Mines d'argent du Montaigu (Hautes-Pyrénées, France). Une filière aquitaine de l'argent ? Étude isotopique du plomb ». *Archéosciences* 34, 235-241.
<https://doi.org/10.4000/archeosciences.2792>
- GORGUES, A. 2010. *Économie et société dans le Nord-Est du domaine ibérique (III^{ème} - I^{er} s. av. J.-C.)*. Madrid : CSIC.
- GOURDIOLE, R. ; LANDES, C. 2000. « Une société minière italienne en pays rutènes ». En : B. Dedet ; P. Gruat ; G. Marchand ; M. Py ; M. Schwaller M. (éds.). *Aspects de l'âge du Fer dans le sud du Massif Central. Actes du 21^{ème} colloque de l'AFEAF (Conques-Montrozier, 8-11 mai 1997)*, 61-64.
- HAUPTMANN, A. 2007. *The Archaeometallurgy of Copper. Evidence from Faynan, Jordan*. Berlin-Heidelberg-New York : Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-72238-0>
- JAEGER, J.-L. ; OVTRACHT, A. 1955. « La minéralisation des Hautes-Corbières (Aude) ». *Bulletin de la Société Géologique de France* 5 (6), 411-422.
- JAFFREZO M. (éd.) 1977. *Pyrénées orientales, Corbières*. Paris.
- KASSIANIDOU, V. 2003. « Early extraction of silver from complex polymetallic ores ». En: P. Craddock, J. Lang (éds.). *Mining and metal production through the ages*, 198-206.

- KRISMER, M.; VAVTAR, F.; TROPPEL, P.; KAINDL, R.; SARTORY, B. 2011. « The chemical composition of tetrahedrite-tennantite ores from the prehistoric and historic Schwaz and Brixlegg mining areas (North Tyrol, Austria) ». *European Journal of Mineralogy* 23, 925-936.
<https://doi.org/10.1127/0935-1221/2011/0023-2137>
- L'HÉRITIER, M. 2012. « *De ratione, qua argentum ab aere separari debeat*. Approche expérimentale du procédé par liquation et ressuage ». En : F. Téreygeol (éd.). *Comprendre les savoir-faire métallurgiques antiques et médiévaux. L'expérimentation archéologique sur la plate-forme expérimentale de Melle*, 189-210.
- MANTENANT, J. 2014. *Montagnes métallifères de Gaule méditerranéenne. Approche archéologique et historique de la production des métaux en Languedoc Occidental du début du second âge du Fer à la fin de la période romaine (IV^{ème} s. av. n. è. - V^{ème} s. de n. è.)*. Thèse de doctorat, Toulouse, 3 volumes.
- MANTENANT, J. ; BEYRIE, A. ; FABRE, J.-M. ; KAMMENTHALER, E. ; MUNTEANU, G. ; RICO, C. 2012. « Les Barrengs, une vaste mine protohistorique et antique en Montagne Noire ». *Bulletin de la Société d'Études Scientifiques de l'Aude* 113, 27-44.
- MEUNIER, E. 2014. « L'exploitation antique du cuivre dans le Séronais. Prospection thématique ». *Bilan Scientifique Régional Midi-Pyrénées*, 33-36.
- MOËLO, Y. ; MAKOVICKY, E. ; MOZGOVA, N.N. ; JAMBOR, J.L. ; COOK, N. ; PRING, A. ; PAAR, W. ; NICKEL, E.H. ; GRAESER, S. ; KARUP-MØLLER, S. ; BALIC-ŽUNIC, T. ; MUMME, W.G. ; VURRO, F. ; TOPA, D. ; BINDI, L. ; BENTE, K. ; SHIMIZU, M. 2008. « Sulfosalt systematics: a review. Report of the sulfosalt sub-committee of the IMA Commission on Ore Mineralogy ». *European Journal Mineralogy* 20, 7-46.
<https://doi.org/10.1127/0935-1221/2008/0020-1778>
- MONTERO RUIZ, I. ; PÉREZ, A. ; RAFEL, N. 2011: « Sobre la procedencia de los metales de las primeras monedas del NE. Ibérico. Aplicación de análisis de isótopos de plomo ». En : M.-P. García-Bellido, L. Callegarin, A. Jiménez Díez (éds.). *Barter, money and coinage in the Ancient Mediterranean (10th-1st centuries BC)*, 203-212.
- MUNTEANU, G. ; KAMMENTHALER, E. ; MANTENANT, J. ; RICO, C. ; FABRE, J.-M. ; BEYRIE, A. 2016. « Le complexe minier gaulois des Barrengs (Aude, France) dans son contexte géologique et minéralogique ». *Archeosciences* 40 (1), 163-180.
<https://doi.org/10.4000/archeosciences.4839>
- MUT, G. ; KOTARBA, J. 2007. « Les activités métallurgiques d'époque romaine dans les Pyrénées-Orientales ». En : J. Kotarba, G. Castellvi, F. Mazières (éds.). *Carte archéologique de la Gaule. Les Pyrénées-Orientales (66)*, 141-155.
- OLESTI VILA, O. 2014. *Paisajes de la Hispania Romana. La explotación de los territorios del Imperio*. Sabadell: Dstoria.
- OURNAC, P. ; PASSELAC, M. ; RANCOULE, G. 2009. *Carte archéologique de la Gaule. L'Aude (11/2)*. Paris : Académie des inscriptions et Belles-Lettres.
- PARENT, G. 2012. « Mines de la vallée de Baïgorry ». *Bilan Scientifique Régional Aquitaine*, 174-177.
- PERCY, J. 1870 : *The metallurgy of lead*. Londres.
- PERIS VICENTE, J. ; VALLE ALGARRA, F.M. ; FERRER ERES, M. A. ; GIMENO ADELANTADO, J.V. ; MATEO CASTRO, R. ; SORIAN PIÑOL, M.D. 2008. « Archaeometrical study of paleometallurgical materials from archaeological sites Cerro de las Balsas - Chinchorro (La Albuferaeta, Alacant, Spain) ». *Microchemical Journal* 90, 142-146.
<https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.05.003>
- POUIT, G. ; FORTUNÉ J.-P. (éds.) 1980. *Métallogénie du Massif central et des Pyrénées. Actes du 26^{ème} congrès géologique international (Paris, 7-17 juillet 1980)*, 109-167.
- RAFEL, N. ; ARMADA, L. ; BELARTE, C. ; CASTANYER, P. ; GASULL, P. ; GENER, M. ; GRAELLS, R. ; HUNT, M. ; MATA-PERELLO, J. ; MONTERO, I. ; PÉREZ, A. ; PONS, E. ; ROVIRA, C. ; ROVIRA, S. ;

- SANTOS, M.; VILLALBA, P. 2011. « La arqueologia de la plata y su investigacion en la peninsula Iberica : el proyecto Plata Prerromana en Catalunya ». En : I *Congreso Internacional de Minería y Metallurgia en el Contexto de la Historia de la Humanidad : pasado, presente y futuro (Mequinenza 6-9, julio 2006)*, 253-268.
- RAFEL, N.; MONTERO-RUIZ, I.; CASTANYER, P.; AQUILUÉ, X.; ARMADA, X.-L.; BELARTE, C.; FAIREN, S.; GASULL, P.; GERNER, M.; GRAELLS, R.; HUNT, M.; MARTIN, A.; MATA, J.M.; MORELL, N.; PEREZ, A.; PONS, E.; RENZI, M.; ROVIRA, C.; ROVIRA, S.; SANTOS, M.; TREMOLEDA, J.; VILLALBA, P. 2010. « New approaches on the archaic trade in the North-Eastern Iberian Peninsula: exploitation and circulation of lead and silver ». *Oxford Journal of Archaeology* 29 (2), 175-202.
<https://doi.org/10.1111/j.1468-0092.2010.00344.x>
- RAFEL, N.; MONTERO, I.; SORIANO, I.; HUNT, M.; ARMADA, X.-L. 2014. « Nuevos datos sobre la minería pre y protohistórica en Cataluña ». *CPAG* 24, 147-165.
- REHREN, T.; PRANGE, M. 1998. « Lead metal and patina : a comparison ». En : T. Rehren, A. Hauptmann, J. Muhly (eds.). *Metallurgia antica. In Honour of Hans-Gert Bachmann and Robert Maddin*, 183-196.
- REHREN, T.; SCHNEIDER, J.; BARTELS, C. 1999a. « Medieval lead-silver smelting in the Siegerland, West Germany ». *Journal of the Historical Metallurgy Society* 33 (2), 73-84.
- REHREN T.; VANHOVE, D.; MUSSCHEN, H.; OIKONOMAKOUN, M. 1999b. « Litharge from Laurion. A medical and metallurgical commodity from South Attika ». *L'Antiquité Classique* 68, 299-308.
<https://doi.org/10.3406/antiq.1999.1348>
- RICO, C. 1997. *Pyrénées romaines. Essai sur un pays de frontière (III^{ème} s. av. J.-C. - IV^{ème} s. ap. J.-C.)*. Madrid : Casa de Velázquez.
- RIVOT, L.E. 1872. *Traité de métallurgie théorique et pratique. Tome II, métallurgie du plomb et de l'argent*. Paris.
- SABLAYROLLES, R. (éd.) 2001. *Les ressources naturelles des Pyrénées. Leur exploitation durant l'Antiquité. Actes de la table ronde de Toulouse (15-16 novembre 1999)*, 119-139.
- SUBRA, A. 1970. *Contribution à l'étude métallogénique du cuivre : étude d'un gisement filonien (Padern) et d'un gisement stratiforme (Transrifi)*, thèse de doctorat, Toulouse.
- TÉREYGEOL, F. 2003. « Technique de production et diffusion de l'argent au haut Moyen Âge : l'exemple de Melle ». *Techné* 18, 66-73.
- TÉREYGEOL, F. ; HAPP, J. 2000. « La production de l'argent à Melles. Du minerai au métal : approche expérimentale ». En : P. Pétrequin, P. Fluzin, J. Thiriou, P. Benoît. (éds.). *Arts du feu et productions artisanales. Actes des 20^{ème} rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes (Antibes, 21-23 octobre 1999)*, 189-204.

