



*La spécialisation des productions et les spécialistes /
Specialised productions and specialists*

Actes de la séance de la Société préhistorique française de Paris (juin 2018)
Proceedings of the session n° XXXIV-2 of the XVIII^e UISPP World Congress

Textes publiés sous la direction de

Rebecca PEAKE, Sylvain BAUVAIS, Caroline HAMON et Claude MORDANT
Paris, Société préhistorique française, 2020

(Séances de la Société préhistorique française, 16), p. 41-62

www.prehistoire.org

ISSN : 2263-3847 – ISBN : 2-913745-84-9

Le mode de production de la première métallurgie du cuivre dans le Sud-Ouest de l'Europe

Alberto OBÓN ZÚÑIGA

Résumé : Traditionnellement, et jusqu'à nos jours, la présence du métal a été considérée comme un facteur fondamental dans l'organisation économique et politique des sociétés préhistoriques, au point de devenir un marqueur de l'évolution de la complexité sociale. Souvent, les artefacts métalliques ont été interprétés comme des symboles de pouvoir, de richesse et de prestige. Ils auraient été produits par un artisanat spécialisé à plein temps au service des élites émergentes. L'identification à travers l'archéométrie des caractéristiques de la technologie qui correspondent aux restes de la production métallurgique est indispensable pour pouvoir vérifier les hypothèses émises. Les résultats des approches dites « archéométallurgiques » ont montré l'existence d'un mode de production très modeste et rudimentaire à ses débuts. La métallurgie du cuivre, une activité considérée fréquemment comme la preuve fondamentale de l'existence d'un artisanat spécialisé, ne l'était peut-être pas dans ses premières étapes. Durant le Néolithique-Chalcolithique, les activités métallurgiques se sont développées dans des zones d'habitat ; des installations importantes n'étaient pas nécessaires et la plupart des objets produits étaient des outils. La simplicité dans le mode de réduction des minerais de cuivre semble perdurer au début de l'âge du Bronze, du moins dans la péninsule Ibérique, malgré l'arrivée des alliages cuivre-étain et d'autres innovations ou améliorations techniques.

Bien que la caractérisation de la technologie soit importante, d'autres variables doivent être analysées systématiquement afin de déterminer l'existence ou non d'artisans spécialisés. Il est nécessaire d'examiner les preuves de tout le système ou cycle économique pour éviter des incohérences entre la détermination des caractéristiques de la production et celles de la distribution et de la consommation du métal. Divers aspects méritent d'être étudiés et mis en relation, par exemple, la quantité et la taille de centres de production par rapport à la demande, le volume et la fréquence de la production ou le degré de standardisation, mais aussi l'ampleur de la circulation des productions (locale, régionale ou à longue distance), le contexte de découverte des objets métalliques (funéraire, habitat ou autres), et donc, le type de consommation (prestige, utilitaire ou militaire).

Mots-clés : métallurgie du cuivre, expérimentation, production domestique, objets de prestige, Néolithique, Chalcolithique, âge du Bronze.

Abstract: Traditionally the first use of metal is seen as a fundamental factor in the economic and political organization of prehistoric societies. Metallurgy would have played a special role in the evolution of social complexity (Gilman, 1976; Lull 1983; Chapman 1991; Molina et al. 2004). Often, these authors conceive metal artefacts as symbols of power, wealth and prestige manufactured by a full-time specialized craftwork serving emerging elites. The identification of technological characteristics of ancient metals and the by-products of metallurgical processes through laboratory analysis is necessary in order to verify these hypotheses. The archaeometallurgical approaches have shown however that the mode of production was modest and rudimentary in its beginnings. Experimental archaeometallurgy can help to improve knowledge of the technological characteristics of production, and therefore this method can help to determine if copper production in its early periods was a simple or complex activity (smelting techniques, intentional alloy, and use of furnaces, hand bellows and charcoal). The knowledge of these aspects is fundamental to elucidate the possible relation between the metallurgy and the specialization of the productions.

This article aims to highlight the existence of a domestic production of copper objects in South-West Europe during the Neolithic, Chalcolithic and early Bronze Age. The main contribution is to show how an activity traditionally considered as a specialised craft, may not be so in its early stages. The interpretation of the results of this experimental study shows that production was most likely domestic and non-specialized. In fact, metallurgical activities developed in settlement zones, as no major installations were necessary, and most of the objects produced were tools.

Keywords: copper metallurgy, experimental archaeology, domestic production, prestige goods, Neolithic, Chalcolithic, Bronze Age.

L'importance d'une métallurgie du cuivre précoce dans le Sud-Ouest de l'Europe est connue depuis longtemps (Renfrew, 1967). Ce territoire est devenu une référence dans les débats sur l'origine et le développement de la métallurgie en Europe occidentale, mais aussi sur le caractère spécialisé ou non des productions métallurgiques, pour deux raisons principales. D'une part, la péninsule Ibérique héberge une ample distribution de minéralisations cuprifères le long de ses systèmes montagneux, ainsi qu'une grande diversité d'espèces minérales. Certaines zones ont des ressources de minerais métalliques particulièrement abondants, et, dans l'ensemble, c'est l'un des territoires les plus minéralisés d'Europe (O'Brien, 2015, p. 77). D'autre part, il existe aussi, si l'on compare avec d'autres territoires européens, une relative abondance de restes d'activités métallurgiques appartenant aux premières étapes de la production du cuivre. Une grande partie de la recherche sur les sociétés chalcolithiques et de l'âge du Bronze a attribué une grande importance à la métallurgie, laquelle, mise en œuvre par des spécialistes, aurait joué un rôle particulier dans l'évolution des structures sociales (Gilman, 1976 ; Lull, 1983 ; Chapman, 1991 ; Molina *et al.*, 2004). Les différentes interprétations ont été limitées à des critères exclusivement typologiques et descriptifs et n'ont pas été basées sur l'étude des caractéristiques technologiques appuyées par des analyses de laboratoire.

L'archéométaballurgie expérimentale peut contribuer à améliorer les connaissances sur les caractéristiques technologiques de la production, et par conséquent, à déterminer si l'obtention de cuivre dans ses débuts était une activité simple ou complexe (techniques de fusion scorifiante et d'alliage intentionnel, utilisation de fours, de soufflets à main et de charbon de bois). La connaissance de ces aspects est fondamentale pour élucider la possible relation entre la métallurgie et la spécialisation des productions. L'existence d'une production domestique d'objets en cuivre dans le Sud-Ouest de l'Europe durant le Néolithique, le Chalcolithique et le début de l'âge du Bronze est mise en évidence dans le cadre de cet article. La thèse doctorale soutenue en 2017 à l'université de Zaragoza est le résultat de plusieurs années d'acquisition d'habiletés techniques en accord avec la première métallurgie du cuivre, puis d'un intense travail bibliographique et enfin d'une étude expérimentale consacrée à la production du cuivre du Sud-Ouest européen, notamment sur le bassin de Vera et le site d'Almizaraque, à Almería. Les principaux résultats obtenus sont présentés ici, dont le détail fera l'objet d'une autre publication. L'argumentation développée concerne surtout les structures de combustion, les vases de réduction en céramique, les produits métalliques bruts et les déchets de réduction des minerais de cuivre, mais aussi la mise en forme et le traitement final des objets. Dans ce texte, je vais établir une comparaison avec d'autres sites à l'échelle européenne, et finalement, je vais estimer la possibilité d'une production spécialisée par la présence d'autres matières précieuses et plutôt dédiée aux produits de prestige (Roberts, 2009 ; Murillo-Barroso et Montero, 2012).

ÉTAT DE LA RECHERCHE

Historiographie de la première métallurgie dans la péninsule Ibérique

Le point de départ de la recherche se situe autour de 1870 avec la découverte de La Bastida à Totana, Murcie (Inchaurrandieta, 1875), site de l'âge du Bronze attribué à la culture d'El Argar (2 250-1 550 cal. av. J.-C.). Cependant, la première contribution vraiment importante est attribuable à L. Siret, ingénieur des mines belge, qui mena un travail intense de fouilles de plusieurs sites des cultures de Los Millares (Chalcolithique, 3 200-2 250 cal. av. J.-C.) et d'El Argar dans le Sud-Est de la péninsule Ibérique (Siret et Siret, 1888 ; Siret, 1893). C'est avec ses travaux que s'est consolidé le modèle colonial de type diffusionniste, selon lequel la métallurgie aurait été introduite par des populations venues de la Méditerranée orientale, attirées par la richesse minérale du sud de la péninsule Ibérique (Cartailhac, 1886 ; Leisner et Leisner, 1943 ; Childe, 1957, p. 284 ; Sangmeister, 1960). Le contact avec les colonisateurs se serait produit à partir des sites chalcolithiques de Los Millares et Almizaraque, à Almería, ou Zambujal, Leceia et Vila Nova de São Pedro, au Portugal (Schubart, 1991). Malgré la présence de matériaux exotiques, comme les œufs d'autruche décorés et les objets en ivoire sur certains sites, les caractéristiques de la plupart des matériaux archéologiques récupérés n'ont pas de parallèles dans d'autres régions méditerranéennes. Les datations absolues et la rareté des preuves de contacts directs et réguliers à longue distance, ainsi que l'apparition de nouveaux postulats de la Nouvelle archéologie, ont abouti à considérer le diffusionnisme comme une explication dépassée (Martínez Navarrete, 1989, p. 297).

La contribution de C. Renfrew (1967, p. 284) a marqué le début du rejet du modèle colonial. Par la suite, les postulats indigénistes, de type évolutionniste, ont accordé plus de poids aux populations locales dans l'adoption de la métallurgie. Selon ces travaux, un phénomène d'émergence de la complexité sociale sous-tendrait l'évolution des sociétés du IV^e au II^e millénaire av. J.-C. Dès les années 1970, les nouveaux courants fonctionnalistes et matérialistes ont attribué à la métallurgie un rôle particulier dans l'évolution des structures sociales (Gilman, 1976 ; Lull, 1983 ; Chapman, 1991 ; Molina *et al.*, 2004). Selon ces différents auteurs, la métallurgie aurait été mise en œuvre par des spécialistes à mi-temps ou serait une activité principale à plein-temps. Les pièces produites en métal ont été considérées comme ayant une fonction d'objets de prestige. Cet ensemble d'approches ne se base pas sur l'étude des caractéristiques technologiques, ni sur la détermination de l'ampleur des minéralisations, même si la technologie et la richesse minérale sont précisément les fondements de leurs interprétations (Montero, 1991, p. 12-14). De la même manière que le diffusionnisme, ces modèles se sont limités à des critères exclusivement typologiques et descriptifs, en privilégiant des questions comme le degré de spécialisation, les répercussions du

nouveau matériau dans la production agricole ou la possible valeur commerciale du métal.

Dans les dernières décennies, l'état de la recherche archéométallurgique a radicalement changé. Depuis 1982, le « Proyecto de Arqueometalurgia » a effectué plusieurs milliers d'analyses chimiques par fluorescence de rayons X et des analyses métallographiques du mobilier archéométallurgique de la péninsule Ibérique, de la Préhistoire au Moyen-Âge (Rovira *et al.*, 1997 ; Rovira et Gómez Ramos, 2003). Les nouvelles données et études permettent d'identifier les caractéristiques de la première métallurgie comme une production domestique, simple, rudimentaire et efficace (Gómez Ramos, 1999 ; Rovira, 2004, p. 35). Ces auteurs notent aussi l'existence fréquente d'un approvisionnement en minerais locaux et une perdurance de la simplicité de la production pendant le Chalcolithique et l'âge du Bronze.

De plus, ce projet a mis en évidence l'existence d'une métallurgie précoce par rapport au reste de l'Europe occidentale, probablement due à l'abondance de minéralisations de cuivre et à la facilité de leur accès. La découverte d'un fragment de céramique avec des résidus scoriacés dans un niveau néolithique du Cerro Virtud (Almería) a renforcé les thèses indigénistes et la possibilité d'une origine indépendante de la production métallurgique dès le Ve millénaire cal. av. J.-C. dans le Sud-Ouest de l'Europe (Montero et Murillo-Barroso, 2014). Quelques auteurs ne considèrent pas cet indice comme une preuve définitive de l'invention indépendante de la métallurgie du cuivre (Roberts, 2009, p. 466 ; Gauss, 2013, p. 221-222). Cependant, d'autres indices sont à prendre en compte, comme un burin détecté dans un niveau néolithique du site de Puente Tablas (Jaén), mais aussi la découverte d'un fragment de céramique avec ce type de résidu dans le dolmen d'El Palomar (SevillaSevilla), daté de la première moitié du IV^e millénaire (Montero, 2005, p. 192).

La métallurgie du cuivre est présente de manière incontestable à partir de la seconde moitié du IV^e millénaire. Les restes sont plus abondants au III^e millénaire, ce qui suggère une généralisation de cette activité. Pendant la période campaniforme, on observe un plus grand nombre de sites avec des évidences archéométallurgiques.

Types de restes et caractéristiques de la technologie

Dans la péninsule Ibérique, dès l'origine de la métallurgie et jusqu'à la période campaniforme, environ cent cinquante sites archéologiques ont fourni des preuves d'activités métallurgiques (fig. 1). Ils sont plus abondants dans la moitié méridionale. Ces vestiges montrent l'existence d'une certaine homogénéité technologique et d'une tradition culturelle commune. Ceux-ci correspondent principalement à des fragments de minerais carbonatés ou de type oxyde, des gouttes de métal constituées de cuivre avec des impuretés, des fragments de scories, des fragments de céramique avec des adhérences scoriacées ou métalliques, et des objets métalliques. Dans plusieurs sites apparaît un type d'objet en céramique plus ou moins

standardisé, de forme ovale ou rectangulaire (fig. 2, nos 3 et 4). Il s'agit probablement d'un creuset ou d'un moule destiné à contenir le métal en fusion pour obtenir une préforme ou ébauche de hache plate.

L'ensemble de restes de la chaîne opératoire métallurgique est incomplet puisque les éléments végétaux ou le cuir des soufflets ne sont pas conservés. Des branches évidées, par exemple d'*Arundo donax* ou de sureau (*Sambucus sp.*), ont dû être utilisées comme tubes pour fabriquer le système de ventilation avec des soufflets à main ou à bouche. L'utilisation du vent est envisageable mais aucun indice n'existe.

Certains éléments nécessaires, comme les structures de combustion, les tuyères ou les moules, sont très peu représentés. Grâce à des analyses de laboratoire et à l'expérimentation, il est possible d'identifier les éléments et les techniques utilisées, *a priori* invisibles. D'abord, les études effectuées sur le mobilier archéométallurgique des sites comme La Vital, à Gandía, Valencia (Rovira et Montero, 2011), Almizaraque (Müller *et al.*, 2004), San Blas, à Cheles, Badajoz (Hunt *et al.*, 2009), Bauma del Serrat del Pont, à Tortellá, Gerona (Alcalde *et al.*, 1998), El Ventorro, à Getafe, Madrid (Rovira et Montero, 1994), commencent à documenter le processus technique. Des traits particuliers et bien définis ont été mis en évidence, comme la simplicité des structures de combustion avec l'utilisation de vases simples en céramique pour la réduction des minerais, et une production infime de scories due à l'utilisation de minerais carbonatés de cuivre assez purs.

Les aspects relatifs à la production, et en particulier à la technologie, sont plus facilement identifiables et vérifiables à travers l'utilisation des techniques archéométriques. Ensuite, l'approche expérimentale peut contribuer à améliorer l'interprétation sur les caractéristiques de la technologie, à travers la simulation du processus métallurgique d'une façon contrôlée, quantifiée et observable. Quand les conditions du phénomène à observer sont proches des conditions matérielles, techniques et productives de celles qui ont eu lieu dans le passé, avec un haut degré d'authenticité ou de réalisme, l'expérimentation est appelée « intégrale » (Obón, 2017).

Processus technique

Les fragments de minerais trouvés dans les sites sont des carbonates et des oxydes de cuivre, souvent associés à des sulfures secondaires de cuivre, d'arséniates de cuivre et de minerais de fer. Pour extraire le métal à partir de ces minerais, le processus est simple. Il n'est pas nécessaire d'atteindre des températures très élevées (à partir de 850-900 °C), ni de créer une ambiance excessivement réductrice. La transformation du minerai nécessite la présence du monoxyde de carbone (CO) comme agent réducteur, lequel est produit par la combustion du bois ou du charbon de bois. Le CO à haute température va réagir avec l'oxygène présent dans ces minerais. La formation de phases de cuivre métallique et leur degré d'oxydation (formation de cuprite) dépendent de la pression partielle



Fig. 1 - Carte des principaux sites avec des restes de transformation des minerais mentionnés dans le texte.

Fig. 1 – Map of the main sites with metal ore transformation mentioned in the text

d'oxygène (pO₂) et de la température (Hauptmann *et al.*, 1996, p. 10 ; Sáez *et al.*, 2003, p. 635-636). Comme le montre le diagramme d'Ellingham, l'oxyde de cuivre nécessite une ambiance réductrice plus faible et moins d'énergie pour être extrait que les oxydes d'autres métaux (Killick, 2014, p. 30-31).

Étant donné l'absence de scories dans les contextes de métallurgie primitive, quelques auteurs avaient suggéré que la possibilité de réussite de l'opération était due à la pureté des minerais utilisés (Craddock et Meeks, 1987, p. 191). Cependant, les analyses postérieures ont montré que ceux-ci sont souvent polymétalliques et, la plupart du temps, se présentent accompagnés de restes de la roche encaissante. Les fragments de scories analysés ne sont pas des produits de fusions scorifiantes intentionnelles, c'est-à-dire des sous-produits massifs créés à partir de l'introduction de fondants avec la charge dans un fourneau, lesquels provoquent les réactions nécessaires pour séparer le métal des impuretés. Le type de produit qu'on trouve correspond plus précisément à des fragments de conglomerats de réduction (fig. 3). Ils sont constitués par des phases de scories associées à des gouttes de métal,

des fragments de charbon et de minerais plus ou moins altérés (fig. 5). La faible quantité de scories présentes est produite à partir d'impuretés telles que la roche encaissante, en fonction de l'utilisation des minerais plus ou moins purs.

La structure de combustion ne doit pas être une chambre fermée facilitant la réduction du minerai. Les caractéristiques minéralogiques et de composition des matériaux archéométallurgiques, et l'absence de découvertes de véritables fours, ont conduit à affirmer que ce type de métallurgie avait eu lieu de manière exclusive dans des structures de combustion simples (Rovira, 2004). En effet, il n'est pas facile de détecter les restes de ces structures de combustion à cause, d'une part, de leurs petites dimensions et de leur probable destruction pendant l'opération. Elles sont identifiables uniquement par l'association d'une cuvette-foyer avec des restes archéométallurgiques.

D'autre part, les nombreux et fréquents fragments de céramique avec des adhérences scoriacées ou métalliques, similaires aux produits décrits, indiquent que les opérations ont eu lieu à l'intérieur de récipients fabriqués

sans traitements particuliers, et ayant des typologies et des dimensions très diverses. Cette manière de procéder provoque la formation d'abondants oxydes et aussi de minerais altérés, car les conditions d'oxydo-réduction (redox) et la température ne sont pas homogènes. L'appellation correcte est « vase de réduction », plutôt que le terme souvent utilisé de « vase-four », étant donné qu'il ne s'agit pas d'un vrai four doté d'une chambre fermée. La technique de transformation de minerais avec vase de réduction n'a pas été exclusive, et l'utilisation de simples cuvettes est également possible. On trouve des indices de la perdurance de cette tradition technique pendant le II^e millénaire cal. av. J.-C., laquelle a coexisté avec d'autres méthodes jusqu'à l'âge du Fer.

D'autres auteurs ont suggéré que les restes archéométrallurgiques de sites comme Los Millares (Almería) et El Malagón (Granada) démontrent l'application de techniques d'élaboration d'alliages intentionnels de cuivre à l'arsenic, mais aussi l'exploitation de sulfures de cuivre et l'existence d'une production métallurgique intense et spécialisée (Keesmann *et al.*, 1991-1992 ; Molina *et al.*, 2004, p. 146). Ces interprétations n'ont pas été prouvées. Les données des analyses effectuées correspondent à nou-

veau à ce modèle général d'une technologie de vase ou cuvette de réduction. Les études archéométrallurgiques ont donc permis de constater l'existence de techniques de métallurgie extractive très rudimentaires mais efficaces, et donc, capables d'obtenir assez de cuivre pour les besoins de ces populations.

Le « Projet Odiel » et les récentes fouilles à Huelva (Cabezo Juré, La Junta) et Séville (Valencina de la Concepción) ont fourni de nouvelles données. Les auteurs suggèrent l'existence d'une technologie plus développée et spécialisée pour le Sud-Ouest de la péninsule Ibérique (Nocete, 2006 ; Nocete *et al.*, 2008). Ils affirment avoir identifié des fourneaux, l'utilisation de fondants et de systèmes d'injection d'air plus complexes. Cependant, les résultats des analyses ne confirment pas cette vision. Les dimensions proposées pour les structures de combustion sont excessives car elles seraient inefficaces, tandis que les tuyères en céramique correspondent plutôt et très probablement à des supports destinés à d'autres activités, étant donné leur typologie et le diamètre de leur orifice interne. Quant à l'utilisation de fondants à Cabezo Juré (Sáez *et al.*, 2003), les analyses réalisées au MEB ne correspondent pas à des matériaux d'une fusion scorifiante,

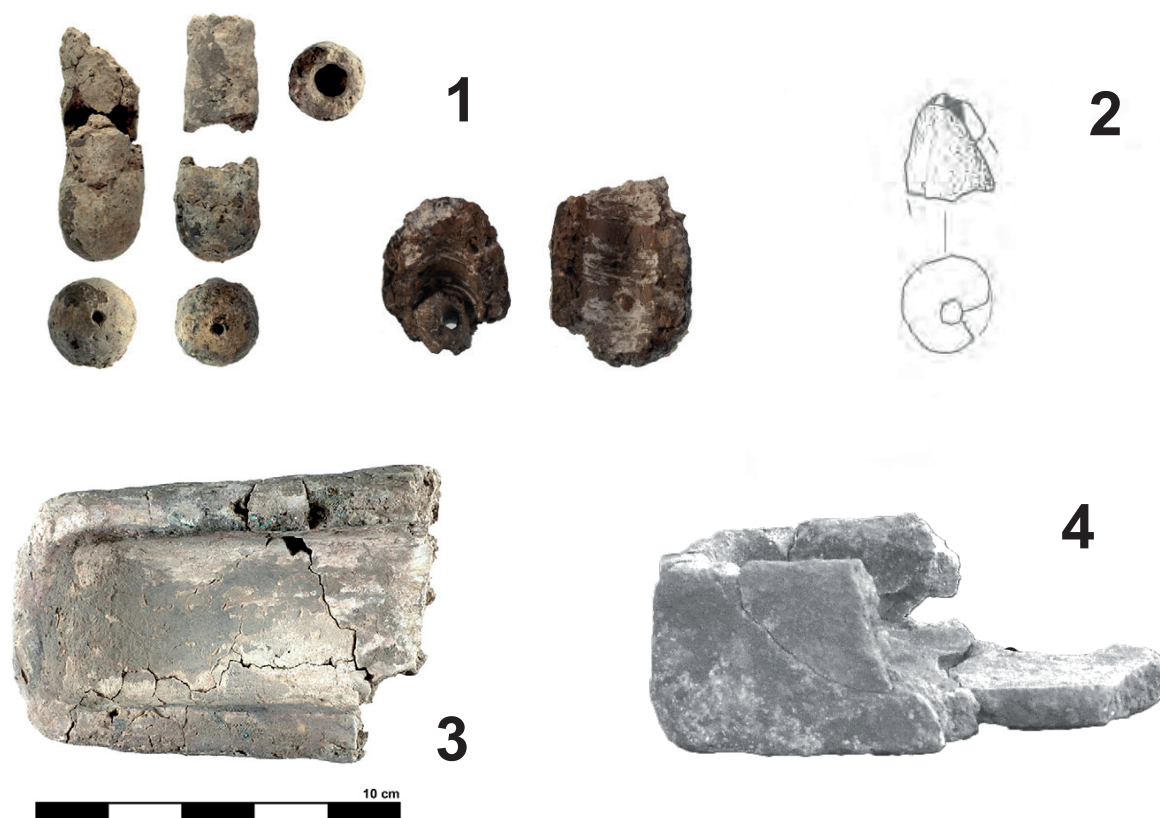


Fig. 2 – Exemples de lingotières ou creusets-moules (n^{os} 3 et 4) et de buses ou tuyères (n^{os} 1 et 2).

1 : Las Pilas (Almería ; Murillo-Barroso *et al.*, 2017) ; 2 : La Salaberdí (Tarn ; Servelle *et al.*, 2006) ; 3 : Valencina de la Concepción (Sevilla, Nocete *et al.*, 2008) ; 4 : La Sierrecilla (Badajoz ; Cruz *et al.*, 2006).

Fig. 2 – Examples of ingot moulds or crucible moulds (n^{os} 3 and 4) and nozzles (n^{os} 1 and 2).

1 : Las Pilas (Almería ; Murillo-Barroso *et al.*, 2017) ; 2 : La Salaberdí (Tarn ; Servelle *et al.*, 2006) ; 3 : Valencina de la Concepción (Sevilla, Nocete *et al.*, 2008) ; 4 : La Sierrecilla (Badajoz ; Cruz *et al.*, 2006).

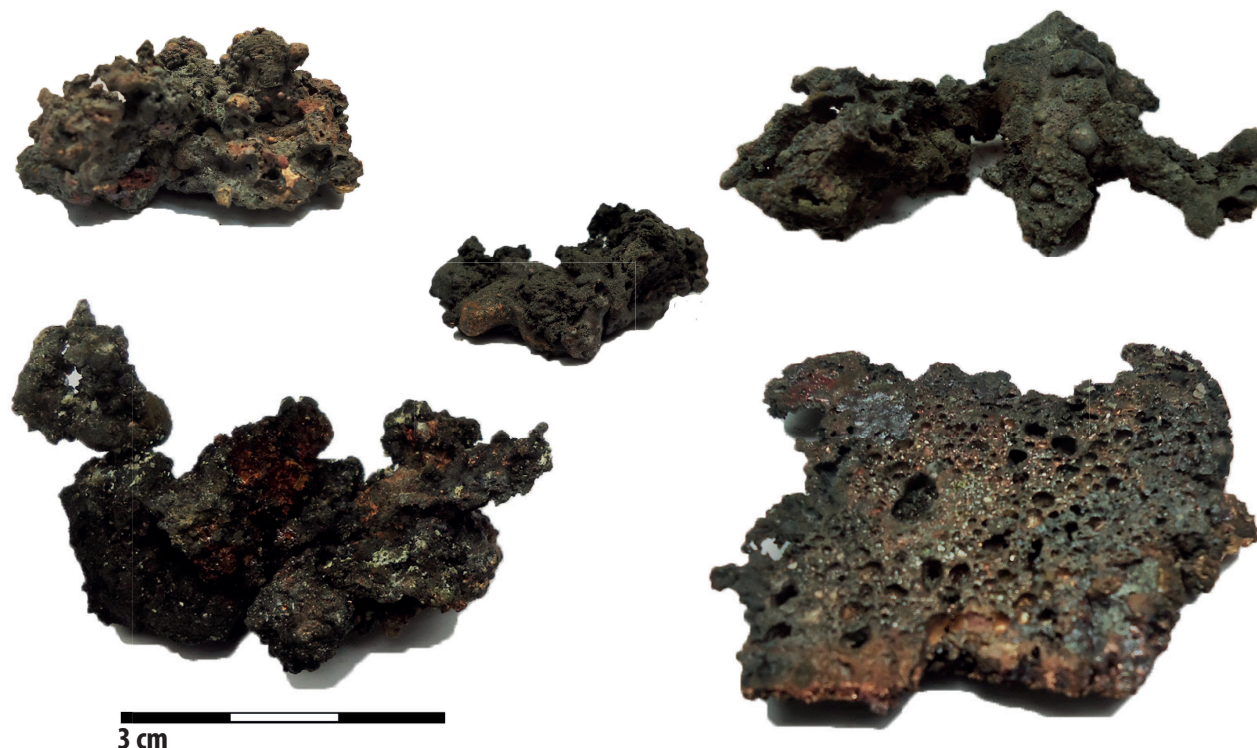


Fig. 3 – Exemples expérimentaux de fragments de conglomérats de réductions (Obón, 2017).
Fig. 3 – Examples of fragments of metal reduction conglomerates from experimentation.

car on observe d'abondantes gouttes de cuivre piégées dans la scorie, des oxydes comme la cuprite, de la fosfite ou magnétite, et même des grains de quartz sans altération (Rovira, 2016, p. 59-61). De plus, il est possible que des éléments comme Al, Mg et Ca proviennent des cendres du combustible ou des parois de la cuvette (Bourgarit, 2007, p. 6-7). En conclusion, ce site ne peut être considéré comme une exception car les minerais oxydés auraient été transformés avec une technologie simple dans de petites structures. Les archéologues proposent l'existence d'endroits spécifiques pour les activités métallurgiques, hors de la zone d'habitat et séparés par des murs, malgré la taille modeste de la production et l'absence de preuves d'une telle organisation. La possible spécialisation d'artisans à temps plein a été remise en question par d'autres auteurs (Gauss, 2013).

CONTRIBUTION EXPÉRIMENTALE À LA CARACTÉRISATION DE LA PREMIÈRE MÉTALLURGIE DU CUIVRE

Notre approche expérimentale a été motivée par l'inexistence de projets expérimentaux rigoureux qui aient abordé cette question. L'objectif est de contribuer à caractériser la technologie du vase de réduction en appliquant l'expérimentation intégrale (Obón, 2017). Pour cela, nous avons testé diverses hypothèses sur le système d'injection d'air, le type de combustible ou sur des

aspects concrets de la métallurgie d'Almizaraque, site du III^e millénaire, avec un ensemble de matériaux archéométrallurgiques bien étudié (Montero, 1991 ; Gómez Ramos, 1999 ; Rovira, 2004 ; Müller *et al.*, 2004), et potentiellement comparable avec un ensemble de matériaux produits expérimentalement. Beaucoup des aspects traités sont communs à la plupart des sites avec des restes archéométrallurgiques de la péninsule Ibérique, entre autres la simplicité de la structure de combustion, le temps et l'effort nécessaires ou la présence accidentelle d'arsenic dans les produits de cuivre. Seuls les principaux résultats obtenus sont décrits ici, lesquels seront publiés plus en détail dans le cadre d'une autre publication.

Phase expérimentielle

Plusieurs exigences sont indispensables pour planifier et aborder un programme expérimental, comme l'établissement d'hypothèses ou la capacité de contrôler et de quantifier les principales variables, mais aussi celles d'avoir les habiletés techniques, les matières premières et les outils en accord avec la métallurgie chalcolithique. En premier lieu, une phase de quelques dizaines d'essais, qu'on appelle « expériences » (Jeffery, 2004), a permis la compréhension du processus technique, mais aussi l'acquisition de l'habileté technique nécessaire (Obón et Berdejo, 2013). Grâce à la méthode essai-erreur, on observe comment interagissent les principales variables entre elles (temps, température et conditions redox), mais aussi avec les différents paramètres des éléments qui interviennent (comme la taille des fragments de minerais,

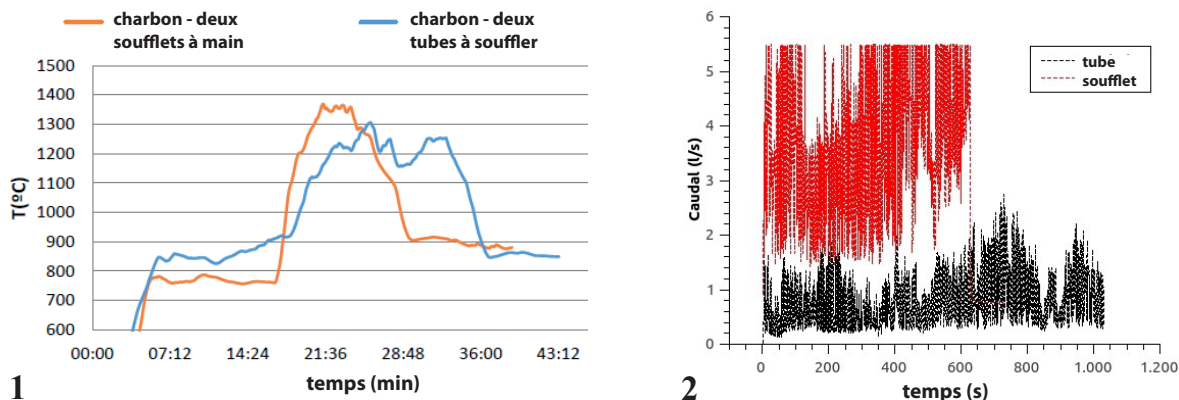


Fig. 4 – 1 : Comparaison des graphiques de température entre deux soufflets à main (en orange) et deux tubes à souffler (en bleu) ; **2 :** Comparaison des graphiques de débit d'air entre un tube à souffler (en noir) et un soufflet à main (en rouge).

Fig. 4 – Graphs comparing the temperature between two sets of bellows (orange) and two blow pipes (blue) ;
2: graph comparing the air output between a blow pipe (black) and a set of bellows (red).

les dimensions de la structure ou du vase en céramique, le nombre de souffleurs ou de soufflets, la position et l'angle de la tuyère) et les gestes techniques (par exemple l'exposition des minerais à diverses ambiances et températures). La modification de ces éléments et l'observation de ses effets nous permettent d'établir un modèle de processus technique offrant les résultats désirés avec le moins d'effort possible. Le charbon de bois et les soufflets à main en cuir sont plus efficaces mais exigent un plus grand effort de préparation. Cependant, on est capable d'obtenir des résultats réguliers avec les éléments les plus simples à préparer, comme les tubes en bois pour le système de ventilation à bouche et l'utilisation de bois comme combustible.

Ce modèle de processus technique devient possible par l'application de solutions simples à certains éléments intervenant dans les opérations et qu'on ne trouve pas ou rarement dans les contextes archéologiques. Les moules ne sont pas nécessaires puisque la coulée peut être faite dans de simples trous creusés dans le sol, mais aussi dans du sable ou de l'argile. Dans le cas de buses ou tuyères, leur élaboration peut se faire avec des matériaux éphémères comme l'argile crue mélangée avec des éléments végétaux juste avant les opérations ; cette technique ne laisse que des traces minimales. Des buses réalisées avec de l'argile crue et des fibres végétales ont été postérieurement identifiées sur le site de Las Pilas (Murillo-Barroso *et al.*, 2017 ; ici : fig. 2, n° 1). Elles présentent de légères vitrifications indiquant un contact avec le combustible et leur orifice a été créé de l'extérieur, comme l'atteste une bavure d'argile.

Phase expérimentale

La phase expérimentale comprend un total de 55 opérations (tabl. 1). Une partie est dédiée exclusivement à l'étude du fonctionnement de la structure de combustion, selon le modèle de processus technique établi dans la phase expérimentielle. Dans les opérations sans minerai,

la plupart des paramètres restent fixes ou statiques. On modifie uniquement le système de ventilation (à bouche, avec des tubes en bois, ou à main, avec des soufflets en cuir) ou le type de combustible (bois et charbon de bois de différentes espèces) afin d'observer les différences liées au temps, au débit d'air ventilé et à la température à travers diverses mesures effectuées. Dans l'autre partie, les essais avec du minerai se divisent en « peu réalistes », avec du minerai du Bou Beker (Maroc), et « très réalistes », avec du minerai et des matières premières, comme l'argile, provenant des alentours d'Almizaraque dans le Bassin de Vera.

Résultats de l'étude sur la structure de combustion

Les résultats de l'analyse de mesures effectuées montrent que la température moyenne est légèrement supérieure à l'utilisation de charbon de bois, logiquement, car ce dernier a plus de pouvoir calorifique que le bois de la même espèce. Il en est de même avec l'utilisation du soufflet à main plutôt que le système de ventilation à bouche, car le plus grand débit d'air introduit détermine la température atteinte. La moyenne de débit d'air est plus élevée dans les essais avec un seul soufflet à main (168 l/min) que dans les essais avec un seul tube en bois comme soufflet à bouche (entre 54 et 70 l/min ; fig. 4, n° 2), toujours en fonction de la capacité du soufflet à main (sac en cuir) et de la cadence d'insufflation. Même si plusieurs souffleurs (entre trois et quatre) peuvent égaliser un soufflet à main relativement au débit d'air injecté, cela entraîne des pertes de chaleur liées à une distribution interne de l'air, qui devient inefficace et contre-productive. De plus, agrandir le diamètre de la structure rend difficile le contrôle de la température dans tout l'espace. Dans ce sens, les graphiques de température montrent aussi comment les opérations avec le système de ventilation à bouche créent des lignes longues et discontinues, car la durée de vie de la même quantité de combustible est plus longue (fig. 4, n° 1). Cela n'em-

Séries	Fonctionnement de la structure de combustion (37 tests)	Recherche des stigmates des éléments techniques (8 tests)	Expérimentation intégrale (10 tests)
Constantes			
Poids de la charge (min. ou métal) et dimensions fr.	Sans charge	500 g (min. Bou Beker) ; 1 mm <math>\lt; \text{Ø} < 4 \text{ cm}</math> ; 13/39,3 g de métal	350 g (min. alentours Almiz.) ; 0,5 cm <math>\lt; \text{Ø} < 4 \text{ cm}</math> ; 27/41 g métal
Structure de combustion, dimensions du vase de réduction en céramique	Fosse-cuvette adaptée au vase (26 cm Ø ; 8 cm H ; 0,5 cm ép. des parois). 1 test sans vase	Fosse-cuvette adaptée au vase (24 cm <math>\lt; \text{Ø} < 27 \text{ cm}</math> ; 5/9 cm H ; 0,5/1 cm ép. des parois)	Fosse-cuvette adaptée au vase (16,5 cm <math>\lt; \text{Ø} < 20 \text{ cm}</math> ; 9/11,5 cm H ; 0,5/1,5 cm ép. des parois)
Matières premières des éléments en céramique	Argile riche en SiO ₂ et en mica	Argile riche en SiO ₂ et en mica	Argile et dégraissants provenant des alentours d'Almizaraque
Tuyères/buses : Mat. première ; Disposition ; Ø canal int. et orifice	Argile-fibre vég. ; Près du bord du vase, air dirigé vers le centre, 30° d'incl. ; 7,5 mm <math>\lt; \text{Ø} < 10 \text{ mm}</math>	Argile-fibre vég. ; Près du bord du vase, air dirigé vers le centre, 30° d'incl. ; 7,5 mm <math>\lt; \text{Ø} < 10 \text{ mm}</math>	Argile-fibre vég. ; Près du bord du vase, air dirigé vers le centre, 30° d'incl. ; 7,5 mm <math>\lt; \text{Ø} < 10 \text{ mm}</math>
Dimensions creuset	-	6 cm <math>\lt; \text{Ø} < 8 \text{ cm Ø}</math> ; 4/5,5 cm H ; 0,5 cm ép. des parois	10 cm <math>\lt; \text{Ø} < 11 \text{ cm Ø}</math> ; 4/5 cm H ; 1 cm ép. des parois
Critère de la fin du temps de chauffe	Quand la température à l'intérieur du vase se stabilise	Quand la temp. à l'intérieur du vase avec la charge se stabilise	Quand la temp. à l'intérieur du vase avec la charge se stabilise
Critère de la fin du temps d'injection d'air	Moment d'épuisement des braises et la temp. baisse inévitablement	Moment d'épuisement des braises et la temp. baisse inévitablement	Moment d'épuisement des braises et la temp. baisse inévitablement
Poids et dimensions des braises incandescentes	1 ou 2 kg ; 5 cm <math>\lt; \text{Ø} < 20 \text{ cm}</math>	1,5 kg ; 5 cm <math>\lt; \text{Ø} < 20 \text{ cm}</math>	1,5 ou 2 kg ; 5 cm <math>\lt; \text{Ø} < 20 \text{ cm}</math>
Cadence d'insufflation	20 ppm par tuyère/buse	20 ppm par tuyère/buse	20 ppm par tuyère/buse
Variables			
Type du combustible	Bois (pin, chêne vert, olivier) ou charbon de bois (pin, chêne vert)	Bois (pin, chêne vert) ou charbon de bois (pin, chêne vert)	Bois du pin ou charbon de bois du pin
Système d'injection	Souffl. à bouche (1, 2, 3 tubes en bois) ou souffl. à main (1 ou 2)	Soufflet à bouche (1 ou 2 tubes en bois) ou 1 soufflet à main	Soufflet à bouche (1 ou 2 tubes en bois) ou 1 soufflet à main
Conditions atmosphériques	Vent, pression atmosphérique, temp. amb. et humidité relative	Vent, pression atmosphérique, temp. amb. et humidité relative	Vent, pression atmosphérique, temp. amb. et humidité relative

Tabl. 1 – Protocole expérimental de tests réalisés.

Les résultats des tests, des analyses de laboratoire et de l'étude seront publiés très prochainement.

Tabl. 1 – *Experimental protocol. The results of the tests, lab analyses and the study will be published in the near future.*

pêche pas d'atteindre de hautes températures. À l'inverse, la plus grande ventilation du soufflet provoque des hausses rapides de température, mais les braises se consomment plus rapidement et plus intensément dans une structure de type ouvert.

Malgré ces petites différences, ces éléments ne déterminent pas significativement les conditions redox créées dans la structure et les différences de température ne sont pas excessivement grandes. Tous les essais, indépendamment du combustible ou du type d'injection d'air utilisé, ont atteint une température moyenne suffisante, et pendant le temps nécessaire, pour transformer une grande partie ou la totalité du minerai, en tenant compte du fait que les réactions chimiques ont lieu entre 900-1 200 °C

(Hauptmann *et al.*, 1996, p. 6). Il en est de même pour les opérations de fonte du métal récupéré. Les températures ne demeurent pas longtemps au-dessus de 1 200 °C, même si des pics au-dessus des 1 300 °C peuvent se produire. Les 1 400 °C ne sont jamais atteints dans une petite structure ouverte.

En définitive, le processus technique et la technologie sont déterminés principalement par la structure ouverte, et beaucoup moins par des éléments comme le type de combustible ou les systèmes de ventilation. Les dimensions réduites, d'environ 20-30 cm de diamètre, contribuent aussi à créer la température et l'atmosphère réductrice nécessaires, malgré l'énorme perte de chaleur et l'abondance d'oxygène.

Recherche des stigmates des éléments techniques

Une batterie d'analyses de composition chimique, par diffraction et fluorescence de rayons X, et de microscopie optique et SEM a été réalisée sur les échantillons des tests avec du minerai. Les données sont comparées pour observer de possibles stigmates minéralogiques ou des différences de composition entre les séries de tests dans lesquelles on a modifié un des éléments techniques mentionnés (type injection d'air et de combustible). La comparaison a été principalement établie entre l'évolution de la concentration des différents éléments métalliques en relation avec le cuivre pendant le processus (le minerai,

les produits de la réduction et les produits de la fonte du métal) et leur évolution minéralogique.

Dans les caractéristiques des conglomérats de réduction mentionnés, on observe la formation tant de phases propres à des ambiances oxydantes que réductrices, ce qui est dû à l'instabilité de la température et des conditions redox. On constate une forte présence des oxydes de Cu et de Fe (cuprite, delafossite et magnétite), lesquels indiquent des conditions peu réductrices ou bien oxydantes (fig. 5). Les masses métalliques sont présentes, mais les gouttes ou les petites boules de cuivre piégées dans les matériaux silicatés sont très abondantes aussi. Souvent, le cuivre métallique est accompagné par As, Fe, Ag ou d'autres éléments. Les phases de scories sont

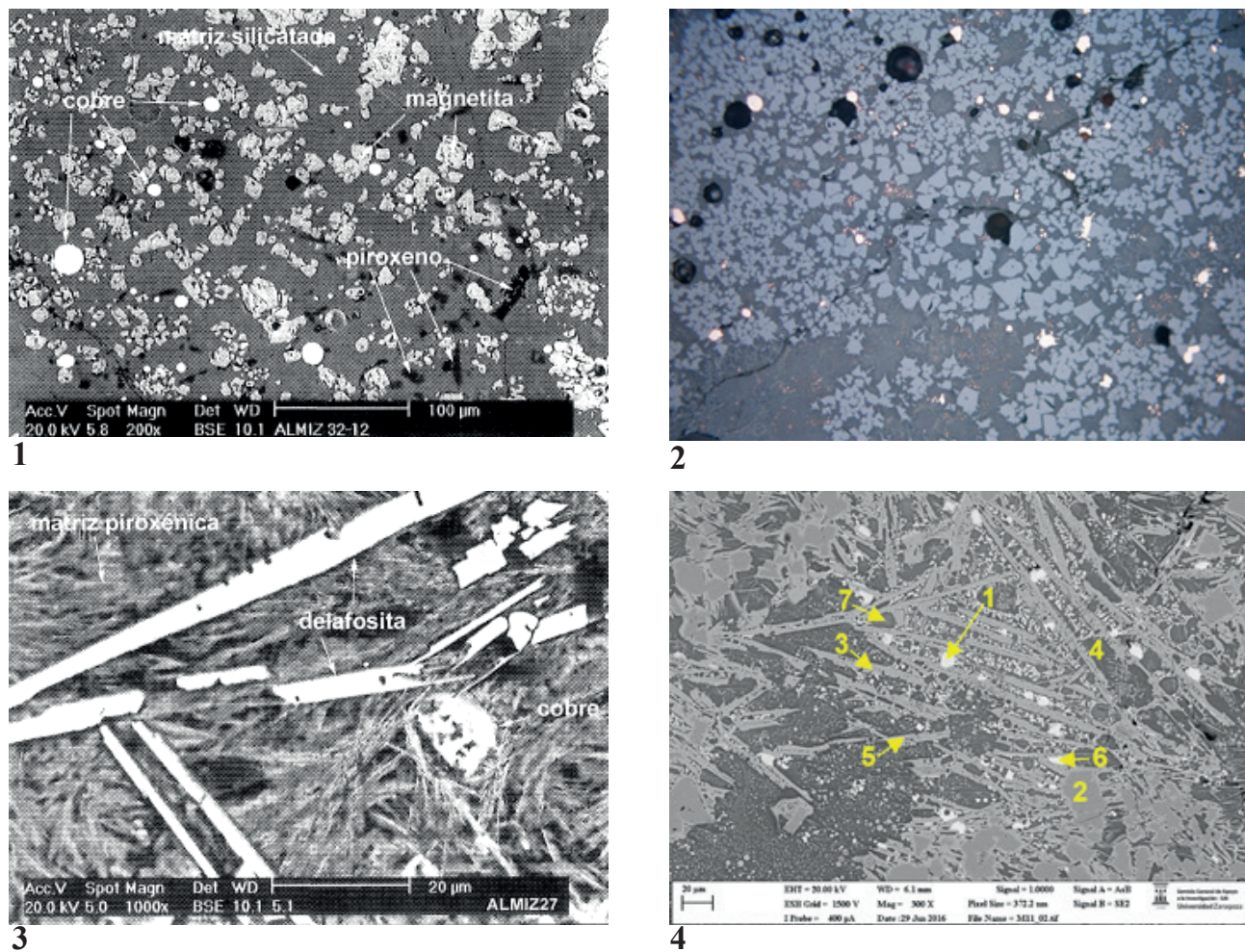


Fig. 5 – Comparaison des images de sections obtenues par microscopie entre les échantillons des conglomérats de réduction d'Almizaraque (nos 1 et 3 ; Rovira et Ambert, 2002) et les échantillons expérimentaux (nos 2 et 4 ; Obón, 2017). 1 : Image obtenue par microscopie électronique à balayage (MEB). Gouttes de cuivre, magnétite et pyroxènes dans une matrice silicatée ; 2 : Image obtenue par microscopie optique (MO). Magnétite, delafossite et gouttes de cuivre dans une matrice silicatée ; 3 : Image obtenue par MEB. Adhérence dans un fragment de céramique avec de la delafossite et une goutte de cuivre piégées dans une matrice pyroxénique ; 4 : Image obtenue par MEB. Magnétite (2), delafossite (3 et 5), gouttes de cuivre avec du fer (1 et 6), matrice silicatée (4 et 7).

Fig. 5 - Comparing the microscopic sections of conglomerate ore reduction samples from Almizaraque (nos 1 and 3; Rovira and Ambert, 2002) and experimental samples (nos 2 and 4; Obón, 2017). 1: Image obtained by scanning electron microscope. Copper droplets, magnetite and pyroxenes in a silicate matrix; 2: Image obtained by optical microscope. Magnetite, delafossite and copper droplets in a silicate matrix; 3: Image obtained by scanning electron microscope. Adherence of delafossite in a pottery sherd and copper droplets trapped in a pyroxene matrix; 4: Image obtained by scanning electron microscope. Magnetite (2), delafossite (3 and 5), copper droplets with iron (1 and 6), silicate matrix (4 and 7).

constituées par des silicates qui proviennent de l'encaissant présent dans les minerais, lequel est enrichi par la contribution des cendres du combustible. La fayalite, principal composant de vraies scories massives, ne se forme que très rarement.

Les données des séries d'essais de transformation des minerais de Bou Beker (Maroc) et d'Almería ne présentent pas de différences claires permettant de déterminer des stigmates produits par l'utilisation d'un élément technique particulier. Les éléments les plus simples (bois, ventilation à bouche) génèrent moins de débit d'air et de pouvoir calorifique. Les stigmates principaux, qui nous indiqueraient simplement l'existence de températures moins élevées, sont le degré d'élimination des éléments qui accompagnent le cuivre, le degré de présence d'oxydes de cuivre ou d'autres oxydes, et finalement, la présence de quartz ou de la roche encaissante sans transformation. En effet, la présence de quartz non transformé, sauf par de petites fissures, apparaît toujours dans les échantillons d'essais dans lesquels on a utilisé du bois comme combustible et le système de ventilation à bouche.

En outre, le charbon de bois crée une ambiance plus réductrice que le bois, mais dans une structure ouverte, les différences sont minimales. Le soufflet génère des températures plus élevées car les débits d'air sont réguliers. Dans ces essais, on note aussi une présence majeure d'oxygène. Cela peut entraîner une modification des conditions d'oxydo-réduction. Dans un échantillon d'Almizaraque, on trouve un pyroxène en cours de décomposition en magnétite et en cristobalite-tridymite, dans des conditions oxydantes et à une température élevée (Rovira, 2016, p. 55). Ces indices pourraient correspondre à l'utilisation d'un soufflet à main. Néanmoins, il est établi, tant par les données archéologiques que par celles des expérimentations, que les conditions d'oxydo-réduction étaient irrégulières. La conclusion principale est à nouveau que le processus est déterminé principalement par la structure de combustion de type ouverte.

Les minéralisations exploitées à Almizaraque

L'objectif de la série d'expérimentations intégrales est la détermination des caractéristiques de la production à travers la comparaison avec le contexte archéologique d'Almizaraque. Cette étude va contribuer aussi à déterminer quelle est la minéralisation utilisée préférentiellement dans ce site. Les minerais utilisés correspondent aux trois minéralisations de cuivre les plus proches, Sierra Almagra (Martínez-Frías, 1991), Sierra de Bédar (Montero, 1991) et Sierra Almagro (Favreau *et al.*, 2013). Les matières premières (argile, dégraissants, combustible) ont été ramassées aux alentours du site et sont similaires à celles utilisées par les métallurgistes chalcolithiques.

Les fragments de minerais découverts à Almizaraque sont polymétalliques. Ils correspondent à des carbonates (malachite, azurite) et des arséniate de cuivre (olivénite, conicalcite, chenevixite), avec une présence de cuprite et de sulfures de cuivre. La composition élémentaire inclut

du Cu, accompagné d'As et Fe comme éléments mineurs principaux, et une présence de Ni, Sb, Zn et parfois aussi d'Ag et Sn (Montero, 1991, p. 186-188 ; Rovira *et al.*, 1997, p. 48-62). La roche encaissante est constituée par des minerais de fer, quartz et autres. Les minerais de Cerro Minado (Sierra Almagro) sont très similaires à ceux d'Almizaraque. De la même manière, les produits de la réduction (conglomérats de réduction et fragments de céramique avec des adhérences scoriacées), ainsi que les produits de la fonte (gouttes de cuivre et objets), ont une composition minéralogique et élémentaire qui pourrait provenir aussi de l'utilisation de ces minerais. L'évolution des éléments pendant le processus (minerais-réduction-fonte) donne un enrichissement d'Ag, des pertes de Ni, Sb et As et une forte diminution de Fe, Zn, Pb et d'autres éléments. Les grandes pertes de Fe sont liées aux conditions peu réductrices créées dans une structure de combustion ouverte (Craddock et Meeks, 1987).

Les résultats nous indiquent une préférence pour la minéralisation de Cerro Minado dans le site d'Almizaraque, même si d'autres minéralisations ont pu être utilisées ponctuellement. Postérieurement, des analyses des isotopes de plomb, encore inédites, ont corroboré cette conclusion. De plus, récemment, des indices d'exploitations minières préhistoriques ont été découverts à Cerro Minado (Delgado *et al.*, 2014, p. 20-30). D'autres analyses des isotopes de plomb, réalisées sur des objets de la période d'El Argar, comme Gatas (Turre), indiquent que quelques échantillons pourraient provenir aussi de cette minéralisation (Stos-Gale *et al.*, 1999, p. 355).

Les données récemment publiées sur les matériaux de Las Pilas à Mojácar (Almería ; Murillo-Barroso *et al.*, 2017) sont comparables aussi aux données de cette expérimentation. Ces derniers montrent assez d'indices pour dire que la minéralisation de la Sierra de Bédar serait la source principale utilisée. Plusieurs éléments coïncident dans la composition des minerais, principalement des carbonates et des arséniate de cuivre et de chrysocolle, accompagnés par des minerais de Zn, dolomite, moscovite et oxydes de Fe, mais aussi par le polymétallisme caractéristique de Cu-As-Zn-Pb, avec une présence de Fe, Sb, Bi, Ni et Ag. Les produits de la réduction présentent des phases similaires (présence de cuprite dendritique, inclusions de sulfures de cuivre, arséniate et silicates de Ca et oxydes de Mg). Les objets de cuivre de Las Pilas ont entre un 1 et un 2,3 % d'As et d'autres éléments comme Ag, Zn, Fe, Pb et Bi. Les gouttes métalliques expérimentales ont des compositions très similaires.

Alliage cuivre-arsenic

Cette étude expérimentale détermine que l'alliage cuivre-arsenic, présent dans un grand nombre d'objets, est dû au polymétallisme des minéralisations de cuivre, riches en arsenic, et non à l'existence d'un alliage intentionnel. Cela vient confirmer les résultats des études des matériaux archéométallurgiques d'Almizaraque et d'autres sites de la péninsule Ibérique. Ce polymétallisme avait été signalé pour d'autres zones de la Médi-

terranée (Gale *et al.*, 1985, p. 145-146), tandis qu'une autre étude expérimentale est arrivée à des conclusions similaires (Pollard *et al.*, 1991). Cerro Minado, Sierra de Bédar et d'autres minéralisations dans la région sont polymétalliques. Les deux types de minerais, arséniate et carbonates de cuivre, apparaissent associés dans les mêmes fragments de minerais, et si on ramasse des pierres vertes et bleues, comme la malachite et l'azurite, on récolte aussi des arséniate de cuivre. Dans les zones superficielles des minéralisations de la péninsule Ibérique apparaissent des arséniate de cuivre, comme l'olivénite, la clinoclase ou la cornwallite, des arsénures de cuivre, comme la domeykite, des arséniate de cuivre et de fer, comme la chenevixite, des arséniate de cuivre et de calcium, comme la conicalcite ou des arséniate de cuivre et de zinc, comme la zincolivénite. Ces minerais donnent des cuivres à faible teneur d'arsenic, car les conditions sont oxydantes à l'intérieur de la structure de combustion.

Antérieurement, le diffusionnisme avait soutenu l'argument de l'intentionnalité des cuivres arséniés, lequel impliquait l'existence d'une technologie amenée par des colons (Sangmeister, 1960, p. 137). À partir de 7-8 % d'arsenic, les objets de cuivre étaient considérés comme un alliage intentionnel (Charles, 1967), produit par une possible co-réduction délibérée ou par une sélection des minerais qui amélioreraient les propriétés mécaniques des objets (Lechtman et Klein, 1999). Il est significatif que dans l'ensemble des objets analysés, le groupe avec plus de 3 % est moins abondant que le groupe avec un contenu inférieur à cette valeur (Rovira, 2017, p. 178-182). Il n'y a pas d'évidence claire de distribution par type d'objet ni au Chalcolithique ni à l'âge du Bronze ancien.

L'identification et la sélection des minerais riches en As sont peu probables car il s'agit d'espèces avec des tonalités similaires ou proches. Il est possible que la reconnaissance d'un alliage intentionnel, selon le type d'objet voulu, ait été opérée par une sélection des nodules de cuivre en fonction de leur couleur après la réduction, comme il a été suggéré pour le site d'Abu Matar en Israël (Shugar, 2000, p. 254). En revanche, la finalité de l'alliage serait l'aspect esthétique et non les propriétés mécaniques.

Malgré l'idée répandue de l'existence d'un alliage intentionnel dans les séries de Los Millares, à Almería, et d'El Malagón, à Granada (Keesmann *et al.*, 1991-1992, p. 290 ; Molina *et al.*, 2004, p. 146), le cuivre à l'arsenic apparaît dans toute la séquence, dès les premières étapes métallurgiques. L'alliage n'était pas contrôlé car les quantités d'As dans les fragments de scories sont très variables. De plus, l'éventuelle amélioration des propriétés mécaniques des objets élaborés commence à partir du 12 % d'As, proportion que ne présente aucun objet (Budd, 1991, p. 35 ; Rovira et Montero, 2013, p. 234). Il faut mentionner que l'alliage Cu-As n'est pas une solution solide homogène en raison de l'absence d'un équilibre entre les deux éléments. Une séparation des éléments se produit pendant le refroidissement post-fonte et aussi pendant l'opération de recuit (Budd, 1991, p. 43). Jusqu'à une teneur de 25 % d'arsenic, l'alliage peut se concentrer dans des inclusions et dans des oxydes dendritiques

proches de la surface (Northover, 1989, p. 111). Cela implique une perte des améliorations des propriétés de l'alliage. En effet, les objets présentent une énorme variabilité de la concentration d'As, et souvent une variabilité dans la même pièce. L'explication est que l'oxydation de l'arsenic en As_2O_3 est rapide dans des conditions oxydantes, même si les pertes sont moins importantes à une température de 1 150 °C dans des conditions réductrices (McKerrell et Tylecote, 1972).

UNE PRODUCTION DOMESTIQUE

Une technologie simple

L'interprétation des résultats de cette étude confirme l'hypothèse de l'existence d'une technologie simple et rudimentaire, mais efficace à ses débuts, et dont le mode de production serait très probablement domestique et non spécialisé. Une révision exhaustive de toutes les références de découvertes de restes archéométrallurgiques apparues dans la péninsule Ibérique, et des données des analyses effectuées, permet d'affirmer que ce modèle technologique serait, sans exception, le seul existant au cours de toute la période (Obón, 2017). En effet, il n'existe aucune preuve de l'utilisation des vrais fours dotés d'une chambre de combustion fermée, ni de techniques de fusion scorifiante intentionnelle à travers l'utilisation de fondants, ni de l'exploitation de minerais sulfurés, ni de techniques d'élaboration d'alliages intentionnels (Rovira et Montero, 2013, p. 232-234). Les opérations ont eu lieu dans des structures ouvertes, soit des foyers simples ou bien des cuvettes de petites dimensions. En effet, les expérimentations menées rigoureusement nous indiquent clairement que le système de ventilation ou le type de combustible sont moins déterminants que le type de structure de combustion. Toutes les possibilités sont viables car les différences dans les matériaux produits avec ces différents éléments sont minimales.

Ce type de métallurgie a été rendu possible par l'habileté pyrotechnologique des premiers métallurgistes, laquelle leur a permis d'atteindre de hautes températures avec de très petites charges de combustible, ceci dans des espaces très réduits. Les matériaux obtenus dans une petite structure ouverte sont très caractéristiques et très similaires en composition et en aspect aux restes archéologiques analysés, indépendamment de l'utilisation d'un récipient en céramique. On peut donc affirmer que cet élément technique, le vase de réduction, n'est pas déterminant pour la réussite des opérations, mais peut contribuer à améliorer les conditions thermiques et faciliter la récupération des produits et sous-produits.

L'approvisionnement en minerais

La seule matière première vraiment spécifique aux activités métallurgiques est le minerai de cuivre. Pour l'approvisionnement, les zones d'oxydation des miné-

lisations étaient plus facilement repérables et accessibles. Dans la plupart des sites, l'acquisition de minerais de cuivre a dû être réalisée d'une manière directe ou, selon les cas, par des échanges locaux et même régionaux, mais ne dépendait pas nécessairement des mécanismes de contrôle de la distribution de la part d'un groupe de population ou d'une élite. De plus, l'abondance de petits filons de minerais secondaires rend impossible le contrôle des ressources par une élite ou une communauté et l'exploitation minière ne nécessitait pas de structures d'organisation complexe. Il est probable que l'existence de minerais de cuivre en surface ait permis un ramassage facile ne nécessitant pas d'opérations souterraines. Enfin, l'élaboration de charbon de bois n'est pas une exigence indispensable pour réaliser les opérations métallurgiques. De plus, il est établi que les éléments en céramique n'étaient pas élaborés d'une façon spéciale avec de l'argile ou des dégraissants particuliers.

Dans la péninsule Ibérique, il existe des preuves d'activités minières souterraines dès le Néolithique, qu'on a pu découvrir malgré l'intense destruction de vestiges due aux travaux miniers postérieurs, en particulier les plus récents. Une dizaine d'exploitations minières ont été reconnues et témoignent de cette activité au cours du Chalcolithique, principalement dans le Sud, dans la région cantabrique et dans le Nord-Est (Maya, 2003 ; Obón, 2017). D'autres découvertes se sont produites simplement par la présence de pics miniers ou de perceurs, et donc sans une attribution chronologique précise. L'exploitation des minerais métalliques présente des caractéristiques similaires aux exploitations d'autres minerais ou d'autres roches. Les mêmes techniques ont été utilisées comme le ramassage en surface, le suivi des filons superficiels par la réalisation de petites fissures, de fosses, de petits puits, de tranchées ou de petites galeries. Les outils détectés sont en pierre, en os et en bois d'animaux. On connaît aussi l'existence de l'utilisation de l'abattage au feu pour fracturer la roche.

La petite quantité de restes de la roche encaissante, dans les fragments de minerais récupérés et de scories dans les sous-produits, a conduit à considérer que les minerais étaient triés au pied des mines (Rovira, 2016, p. 58). De plus, l'approvisionnement d'une grande quantité de minerai n'était pas nécessaire, étant donné le faible volume de production de métal au cours des premières étapes métallurgiques et la relative abondance des minéralisations de cuivre de type oxyde. Le transport des minerais n'aurait pas été un inconvénient pour un grand nombre de sites.

Les rares indices indiquent que la métallurgie était une activité occasionnelle, même dans les sites fouillés presque intégralement comme Almizaraque. Il y a deux possibilités pour l'approvisionnement des minerais à Almizaraque : soit des expéditions pour l'extraire directement, ou bien une obtention par échange. La minéralisation de Cerro Minado et celle du Pinar de Bédar se situent toutes les deux à une distance de plus de 20 km du site. Les minéralisations de Sierra Almagrera et Las Herrerías sont plus proches, entre plusieurs centaines de

mètres et quelques kilomètres. En une journée, il est possible de faire à pied le trajet aller-retour d'Almizaraque à Cerro Minado.

La mise en forme des objets

La transformation de minerais n'est qu'une des étapes de la chaîne opératoire métallurgique. Celle-ci comporte aussi la fonte des nodules métalliques récupérés et la mise en forme des objets métalliques (moulage et forge). Dans la péninsule Ibérique, un système de moulage simple semble avoir perduré. En effet, la faible représentation de moules univalves en pierre ou céramique a conduit à suggérer la possible utilisation de moules éphémères durant le Chalcolithique, lesquels seraient élaborés à partir de sable ou d'argile fraîche (Delgado et Risch, 2008, p. 236). Tous ces systèmes de façonnage génèrent des problèmes d'évacuation de gaz qui pourraient être résolus facilement en appliquant des traitements mécaniques et thermiques des artefacts (martelage à froid, recuit ou la combinaison des deux). Ces opérations de forge montrent aussi une certaine tradition métallurgique caractéristique à cette zone. Les études métallographiques indiquent qu'il existe une préférence pour la technique la plus simple par martelage à froid (Rovira et Gómez Ramos, 2003), tandis que dans le reste de l'Europe, au cours du Néolithique Final-Chalcolithique, le travail de recuit est fréquemment utilisé et associé à l'élaboration d'objets ornementaux (Montero et Murillo-Barroso, 2014). Mais en général, dans la péninsule Ibérique, toutes les techniques de forge sont utilisées, ce qui nous indique qu'il ne s'agit pas d'une production standardisée (Rovira, 2016, p. 63). De plus, on observe comment les différentes techniques ont été appliquées pour créer le même type d'objet, malgré la variabilité du résultat fonctionnel des artefacts.

L'étude typologique des objets permet d'analyser aussi leur valeur fonctionnelle et finalement leur valeur sociale. D'autres traits particuliers de la métallurgie dans la péninsule Ibérique sont l'absence ou une très faible production d'éléments de parures, ces derniers apparaissant plus tard, probablement parce que la demande était inexistante. Les artefacts élaborés pendant le Chalcolithique sont en grande partie des outils (Murillo-Barroso et Montero, 2012). Les objets métalliques correspondent exclusivement à quelques types basiques (burins, haches, alènes, scies, poignards et pointes de flèches) car ils n'ont pas une grande valeur symbolique et de différenciation sociale. En effet, pendant longtemps, les objets en métal ne semblent pas avoir été considérés comme des objets de prestige. Au cours de la période campaniforme, seulement deux nouveaux types d'objets apparaissent : les pointes de Palmela et les poignards à languette. Dans certains sites du Sud-Ouest, des pointes de javelots ont été découvertes (Hunt *et al.*, 2012). Les pointes du dolmen de La Pastora (Valencina de la Concepción) ont quant à elles des caractéristiques de haute qualité technique qui pourraient en faire des exceptions (Rovira, 2002, p. 12).

L'effort de préparation et le degré d'efficacité de la technologie

Le mode de production décrit est caractérisé par une haute efficacité par rapport à l'effort de préparation et d'exécution. La réussite des opérations dépend de la qualité des minerais ou de la quantité de roche encaissante qu'ils contiennent. Même s'il s'agit d'une technologie primitive, l'efficacité est très élevée et une grande partie de la teneur en cuivre peut facilement être extraite en utilisant une malachite assez pure. Ces minerais apparaissent associés à d'autres minerais et à la roche encaissante, et la production peut donc être très variable selon la source ou le filon exploité. Habituellement, une faible quantité de scories est produite et une quantité de minerai est uniquement altérée, par conséquent non complètement réduite ou transformée. Cependant, avec un certain degré de savoir-faire, il est facile d'obtenir 40 % de cuivre à partir du poids initial des minerais, donc 400 g de cuivre métallique avec des impuretés à partir de 1 000 g de minerais.

L'effort dans la préparation des opérations dépend des éléments qui interviennent. L'élaboration des éléments nécessaires à la métallurgie peut exiger plusieurs jours d'anticipation si on utilise du charbon de bois, des soufflets à main ou des récipients en céramique spécifiques. En revanche, la préparation reste minime car ni les récipients, ni le combustible (bois), ni même les tubes en bois pour le système de ventilation à bouche, ne sont des éléments uniquement propres à cette activité. Les vases de réduction des minerais ne présentent aucune évidence de traitement spécial, ni une morphologie différente de celle des céramiques ordinaires. Nous avons constaté que la cuisson préalable du vase de réduction n'est pas strictement nécessaire. La préparation des buses peut être réalisée en quelques secondes en appliquant de l'argile fraîche et des fibres de végétaux à une extrémité des tubes en bois. L'effort de préparation est minime et le récipient est cuit pendant sa première opération métallurgique, sans pour autant modifier son efficacité.

Si tous les éléments sont préparés, deux ou trois personnes peuvent obtenir en moins de deux heures un ou plusieurs objets en métal à partir des minerais (concasage, réduction et fonte). Avant de commencer l'injection d'air, quelques minutes sont nécessaires pour chauffer les récipients en céramique (vase et creuset) et la matière première (minerais ou cuivre métallique). Ensuite, l'opération de réduction peut avoir lieu en 20 ou 30 minutes avec une seule charge de combustible. Après la récupération et la sélection des nodules métalliques, l'opération de fonte nécessite 30 minutes pour la phase d'injection d'air. La mise en forme de l'objet est estimée à une heure environ, en tenant compte des facteurs comme l'habileté technique et le type d'objet élaboré.

Un seul individu est nécessaire pour réaliser ces opérations, selon son savoir-faire et son habileté technique, laquelle n'est pas forcément un synonyme de spécialisation. Plusieurs personnes ont pu participer, mais l'espace dévolu à ces activités est souvent très réduit.

L'endroit des opérations et la circulation de la production

La faible quantité de découvertes de structures de combustion suggère l'existence d'une production métallurgique proche des endroits d'approvisionnement. En revanche, rien ne semble indiquer que les différentes opérations métallurgiques, du minerai à l'objet, aient pu avoir lieu dans des endroits séparés. Bien au contraire, la plupart des évidences archéométallurgiques du Chalcolithique signalent une préférence pour les zones d'habitat afin de développer ces activités. Seulement quelques indices en Asturies, comme des fragments de vases de réduction trouvés dans les mines d'El Aramo et El Milagro, indiquent que la transformation du minerai a pu être réalisée dans les mines. La récente découverte du site de La Campa les Mines (Asturias) est particulièrement intéressante. Il s'agit d'un site proche de la mine d'El Aramo, avec deux moments d'occupation, au III^e et au II^e millénaire cal. av. J.-C., où l'on a documenté des cuvettes et des petites structures de combustion, des percuteurs et des fragments de minerais (Blas *et al.*, 2013).

De plus, les faibles étendue et quantité des restes d'activités archéométallurgiques indiquent l'absence d'aménagements ou d'installations spécialisées capables de produire un stock de métal pour développer un commerce à grande échelle. Il peut y avoir des zones spécifiques pour développer les activités métallurgiques comme à Valencina de la Concepción et Cabezo Juré. Dans ces cas, l'existence d'une distribution locale et régionale de la production est envisageable dans une partie de la vallée du Guadalquivir. Il faudrait vérifier ou prouver cette hypothèse par des études de provenance des objets. En revanche, le mode de production était probablement domestique et ne nécessitait aucun grand aménagement (Rovira, 2016, p. 64). Les activités de transformation des minerais se sont développées dans les zones et les unités d'habitation. De plus, on constate l'existence de nombreux centres de production alors que la demande en métal était plutôt modeste.

En définitive, tant les caractéristiques de la technologie comme d'autres aspects de la production indiquent que la métallurgie semble être répartie sur le territoire, mais aussi développée d'une manière occasionnelle dans des aires réduites, et par conséquent indépendante des élites. La connaissance des techniques métallurgiques semble avoir été partagée et n'était pas un secret gardé par des spécialistes à temps plein. Comme cela a déjà été signalé pour d'autres régions de l'Europe, la métallurgie n'était pas plus spécialisée que d'autres productions (Kienlin, 2014). L'information circulait facilement et une coopération était requise. L'absence de scories dans un territoire riche en minéralisations indique que la production semble avoir été plutôt destinée aux besoins de la famille ou du clan. Des activités commerciales de minerais ou d'objets vers les régions les plus éloignées des minéralisations ont pu exister, mais il n'y a pas eu une circulation de métal significative, et le métal n'a pas joué un rôle essentiel dans le changement social. Néanmoins,

la possession d'objets en métal, d'abord comme outils, et à l'âge du Bronze comme objets ornementaux ou bien d'offrandes, était importante et a permis l'expansion de la connaissance métallurgique.

LE MÉTAL ET LES AUTRES MATÉRIAUX DANS LES SOCIÉTÉS CHALCOLITHIQUES

Le faible volume de production, et en conséquence le faible impact économique, a favorisé la persistance d'une technologie simple et d'une production domestique. Il est probable que la métallurgie n'ait pas engendré de stimulus significatif dans le processus d'émergence de la stratification sociale (Montero et Murillo-Barroso, 2014, p. 73). Dans ce cadre chronologique, le cuivre semble avoir eu moins de valeur sociale et même fonctionnelle que d'autres matériaux. Dans les contextes funéraires des sépultures collectives, les objets de cuivre semblent être secondaires par rapport à d'autres productions, et on ne constate pas de grandes différences entre les sépultures quant au nombre et aux caractéristiques de ces objets. Le cuivre est absent des plus importantes sépultures. Il n'existe pas de demande d'objets de prestige en cuivre de la part des hypothétiques élites, puisqu'on observe une production majoritaire d'objets utilitaires. Il semble qu'au cours de cette période l'industrie lithique ait été plus prisée car elle a été très développée.

En revanche, on observe des phénomènes particuliers dans le Sud de la péninsule Ibérique. Les caractéristiques de certains sites chalcolithiques du III^e millénaire cal. av. J.-C. (enceintes fortifiées et tholoi comme à Los Millares, macro-villages comme Valencina de la Concepción) ne trouvent pas de parallèles dans l'Europe occidentale. Il est possible qu'un processus de complexification sociale ait eu lieu, lequel serait identifiable non pas à travers le métal, mais plutôt par la présence d'autres matières précieuses comme l'ivoire, les pierres vertes, les coquilles, le cristal de roche, le quartz, le cinabre, le lignite, les œufs d'autruche décorés, l'ambre ou l'or. Les objets en or sont rares et leur élaboration par martelage à froid les exclut des activités métallurgiques. Ces diverses productions ont été probablement des objets plus prestigieux que les objets en cuivre. L'argent a commencé à être utilisé aux débuts de II^e millénaire av. J.-C., dans la zone argarique, à partir d'argent natif ou de chlorure d'argent (Bartelheim *et al.*, 2012). Ces minerais ne requièrent pas d'opérations de réduction, ni de coupellation.

Certaines de ces matières ou objets révèlent des échanges à longue distance. De nouveaux matériaux exogènes sont arrivés à partir d'échanges occasionnels et non par un véritable commerce régulier. Cette tradition d'acquisition des matériaux exotiques existe dès le Néolithique, comme il a été détecté par exemple en France (Bostyn et Vaquer, 2018, p. 115-118), mais d'une manière beaucoup moins intense qu'au cours du Chalcolithique du sud de la péninsule Ibérique. À la différence des objets en cuivre, il s'agit d'objets ornementaux et la plupart

des découvertes appartiennent aux contextes funéraires. L'ambre provenant de Sicile apparaît à partir du V^e millénaire, mais il est plus abondant au III^e millénaire av. J.-C. (Murillo-Barroso *et al.*, 2018). Au cours du II^e millénaire av. J.-C., l'ambre de la Baltique commence à arriver. Ces matières premières semblent avoir eu une valeur plus importante que le cuivre (Roberts, 2009 ; Murillo-Barroso et Montero, 2012), même brutes, comme le montrent les preuves de manufacture d'objets en ivoire d'éléphant à Valencina de la Concepción (Nocete *et al.*, 2013).

ÉVOLUTION DE LA MÉTALLURGIE PENDANT L'ÂGE DU BRONZE

À la différence du reste de l'Europe, l'alliage cuivre-étain a fait son apparition dans la péninsule Ibérique d'une manière tardive, lente et progressive, malgré l'existence d'importantes concentrations de minerais d'étain dans l'Ouest et le Nord-Ouest. Les objets en bronze n'apparaissent qu'à partir du II^e millénaire cal. av. J.-C., sauf quelques exceptions attribuées au III^e millénaire qui ont été découvertes dans le Nord, dans les sites de Bauma del Serrat del Pont, à Gerona (Alcalde *et al.*, 1998, p. 96) et Guidoiro Areoso, à Pontevedra (Comendador, 1995, p. 123). Au début, l'alliage n'était pas standardisé et les bronzes à faible teneur d'étain étaient abondants. Le nombre d'objets en cuivre ou cuivre arsénié est très supérieur aux objets en bronze jusqu'à l'âge du Bronze final, lorsqu'on observe une certaine standardisation et la substitution complète du cuivre par le bronze (Rovira et Montero, 2013).

Le faible volume de production, et par conséquent le faible impact économique, a favorisé la continuité d'une technologie simple et d'une production domestique au cours du II^e millénaire av. J.-C. Fondre les deux métaux dans le creuset permettrait un meilleur contrôle de l'alliage. Cependant, l'absence de preuve d'étain métallique indique que la fusion de cuivre et d'étain métalliques n'était pas la technique utilisée (Rovira, 2017, p. 182). La source d'étain pour obtenir le bronze est la cassitérite, par co-réduction avec des oxydes de cuivre ou par cémentation avec du cuivre métallique. L'application de ces techniques explique la grande variabilité de la concentration d'étain dans les objets (Rovira, 2004, p. 25-26). Même si cette question n'est pas encore résolue, certains indices indiquent que le bronze était plus probablement produit par la co-réduction, avec la même utilisation du vase de réduction traditionnel. La variabilité du pourcentage d'étain dans les objets analysés indique comment les techniques mentionnées ont continué à être utilisées jusqu'à l'âge du Fer.

En outre, à l'âge du Bronze, quelques améliorations techniques de la fonte et de la mise en forme des objets se sont produites. Les découvertes de moules en pierre simples d'alènes ou burins et de haches plates sont plus abondantes pour le Bronze ancien. Au cours

de cette période, les moules présentent une ou plusieurs matrices d'objets dans la face polie (Delgado y Risch, 2008, p. 238). Quelques nouveaux types d'objets ont été élaborés et on note une augmentation significative de la production. De plus, la valeur du métal semble changer radicalement car les matériaux exotiques, si habituels au Chalcolithique, disparaissent en tant qu'objets de prestige (Murillo-Barroso et Montero, 2012, p. 58). Dans la culture d'El Argar (2 250-1 550 cal. av. J.-C.), la plus développée de la péninsule Ibérique, ont eu lieu de nombreux changements dans le modèle d'habitat, la morphologie des maisons et les sépultures individuelles (Murillo-Barroso et Montero, 2012, p. 55-56). Ces sépultures, comme celles du Chalcolithique, ne contiennent pas de dépôts spectaculaires d'objets de métal. À partir du 1 800 cal. av. J.-C., apparaissent davantage d'objets métalliques ornementaux, plus fréquents dans les sépultures que dans les contextes domestiques.

Très peu de sites du II^e millénaire av. J.-C. ont fourni des restes des différentes opérations métallurgiques. Les éléments liés à la refonte du métal (creusets et moules) sont plus fréquents que les évidences de transformation de minerais. Les seules exceptions sont Peñalosa (Jaén), avec une intense activité pendant l'âge du Bronze Moyen (Moreno *et al.*, 2010, p. 311-318), et El Trastejón, à Huelva (Hunt, 2011). Les deux sites présentent une technologie simple à vase de réduction et des objets de cuivre accidentellement arséniés.

Les restes archéométallurgiques de production de bronze sont plus fréquents à partir de l'âge du Bronze moyen (Rovira *et al.*, 1997). Quelques innovations se sont produites, comme les premiers dépôts d'objets métalliques, éléments soulignant que la valeur sociale du métal était importante, et les premiers lingots, preuves d'un certain degré de spécialisation et de l'établissement de relations commerciales. Cela ne veut pas dire que la production domestique ne coexistait pas avec ce nouveau modèle de production. Les lingots, de morphologie et de poids réguliers, impliquent la nécessité de mesurer quantitativement le volume de métal échangé et de faciliter le transport. Ils témoignent aussi de l'existence d'une segmentation et d'une éventuelle spécialisation (transformation des minerais et refonte des métaux).

Entre l'âge du Bronze final et le premier âge du Fer, on observe l'apparition des alliages ternaires de Cu, Sn et Pb (Gómez Ramos, 1999), et pourtant, les techniques de mise en forme des objets n'ont pas changé (Rovira, 2017, p. 184). Les nouvelles techniques de coulage en moules simplifient les opérations d'atelier et l'on observe l'apparition de l'épée à partir de l'âge du Bronze moyen. La diversité de types d'objets accroît au cours de l'âge du Bronze final lorsqu'un commerce à grande distance doit être instauré. Le changement technologique semble s'être produit avec l'apparition des dépôts de lingots plano-convexes, l'utilisation de vrais fours et l'application de techniques de fusion scorifiante (Rovira, 2004, p. 29 ; Rovira et Montero, 2013, p. 236-237). Néanmoins, l'utilisation du vase de réduction semble avoir perduré jusqu'à l'âge du Fer, lorsque la production et l'utilisa-

tion du métal ont pris un poids économique et social plus facilement identifiable dans les restes archéologiques. On ne trouve pas de vraies scories matures jusqu'à l'âge du Fer, tandis que dans les Alpes, il en existe déjà à l'âge du Bronze.

LE MÉTAL ET LA MÉTALLURGIE DANS LE RESTE DE L'EUROPE

En Europe, les processus d'apparition (objets et technologie) et d'évolution de la métallurgie varient selon les régions. Bien que de multiples facteurs interviennent, ce sont principalement les conditions sociales de chaque société qui ont stimulé son adoption. Quelques auteurs ont signalé l'existence généralisée d'une production domestique et simple au cours des premières étapes de la métallurgie (Roberts, 2009 ; Kienlin, 2014). En conséquence, le métal n'aurait pas eu une grande répercussion sur les changements socio-économiques.

Les Alpes et les minerais sulfurés

Dans les Alpes, les premières activités métallurgiques datent de 4 500 cal. av. J.-C., soit le Néolithique récent de la région, sur les sites de Brixlegg, en Autriche, lequel appartient à la culture de Münchshöfen (Höppner *et al.*, 2005), et de Botteghino, en Italie (Dolfini, 2014). Elles coïncident avec l'apparition des premiers objets en métal. Il s'agit d'une métallurgie de vase de réduction, où le métal est extrait à partir de sulfures de cuivre. Malgré son ancienneté, les auteurs considèrent que l'adoption de la métallurgie résulte d'une influence des Balkans, étant donné que les vestiges archéométallurgiques les plus anciens d'Europe ont été découverts à Belovode (Serbie). Dans ce site néolithique de la culture de Vinča, daté vers 5 000 cal. av. J.-C., une technologie simple dans de petites cuvettes a été identifiée (Radivojević et Rehren, 2015). La technologie des Alpes et du reste de l'Italie n'a pas beaucoup évolué pour l'essentiel jusqu'à l'âge du Bronze ancien, lorsque les premiers fours ont été utilisés et des scories compactes ont été produites. Certains auteurs signalent que, dès le Ve millénaire jusqu'à la fin du III^e millénaire, la production n'était pas accompagnée de changements sociaux nécessaires pour faire évoluer la technologie (Bartelheim, 2009 et 2013). Même à l'âge du Bronze ancien, quand la production a augmenté et s'est consolidée, le métal ne semble pas avoir joué un rôle économique très important dans les sociétés de l'Europe centrale. Ce possible impact économique pourrait être plus facilement identifié dans d'autres activités comme l'agriculture ou la production du sel.

Tandis que dans la péninsule Ibérique l'exploitation des sulfures de cuivre n'a probablement débuté qu'à la période romaine, la métallurgie alpine a quant à elle exploité les sulfures depuis le Néolithique, conditionnée par leur prédominance dans les ressources disponibles (Rovira, 2017, p. 177). Ces minerais se situent

dans les dépôts primaires à une plus grande profondeur que les oxydes. En conséquence, ils sont plus difficiles à extraire. De plus, un traitement complexe est requis, car il faut éliminer le soufre et le fer qui sont associés au cuivre. Théoriquement, l'extraction du métal peut être réalisée de deux manières différentes, impliquant entre deux et plusieurs opérations, ainsi que l'utilisation d'un fondant comme le quartz et un affinage postérieur du métal (Killick, 2014, p. 37-39). Ces méthodes ont été prouvées expérimentalement à de nombreuses occasions. Néanmoins, ces populations possédaient la capacité d'exploiter ces minerais, mais avec une technologie plus simple. L'archéologie expérimentale a montré aussi comment il est possible d'obtenir du cuivre à partir des sulfures en une seule opération (Zwicker *et al.*, 1985 ; Lorscheider *et al.*, 2003), mais aussi à partir de la co-réduction d'oxydes et de sulfures de cuivre (Rostoker *et al.*, 1989).

France

La découverte de parures en tôle de cuivre très pur dans la sépulture collective de Vignely (Seine-et-Marne), – site daté de la seconde moitié du IV^e millénaire et attribué à la culture Seine-Oise-Marne du Néolithique récent (Bourgarit et Mille, 2007) –, mais aussi les perles trouvées récemment à Colmar « Aérodrome » (Haut-Rhin), – site attribué à la culture de Munzingen du Néolithique récent (3 800-3 600 av. J.-C. ; Lefranc *et al.*, 2012) –, marquent l'apparition du métal dans le nord de la France. Ces objets sont considérés comme une production venue de l'Europe centrale. Il faut mentionner aussi les restes d'un creuset de refonte et d'un nodule de cuivre (non nécessairement un lingot) récupérés à Eckwersheim (Bas-Rhin), culture de Munzingen, lesquels témoignent de l'existence d'activités métallurgiques liées aussi aux cultures alpines (Lefranc, 2015).

D'autres types d'objets apparaissent déjà au III^e millénaire av. J.-C., comme les haches, les alènes et les perles massives (Mille et Bouquet, 2004). Il faudrait vérifier avec des analyses archéométriques si les poignards ou les pointes de flèches du type Palmela, attribués à la période campaniforme, ont vraiment été réalisés en cuivre riche en arsenic provenant de la péninsule Ibérique, comme il a été proposé (Bostyn et Vaquer, 2018, p. 123). Malgré l'apparition d'objets, aucun vestige d'activité métallurgique n'a été détecté jusqu'à l'âge du Bronze moyen dans le nord de la France. Les lieux ou les centres de production de bronze sont aussi très mal connus à l'âge du Bronze (Lehöerff, 2018, p. 259-260).

Dans la moitié sud de la France, les objets attribués au IV^e millénaire av. J.-C. sont considérés comme une production externe qui viendrait d'Italie (Bostyn et Vaquer, 2018, p. 120). À la différence du Nord, les activités métallurgiques apparaissent à partir de la fin du IV^e ou au début du III^e millénaire av. J.-C., même s'il s'agit toujours d'indices ténus. Les découvertes de structures de combustion associées à la première métallurgie sont rares, malgré l'apparition plus fréquente d'objets métal-

liques. Ce fait est probablement dû à la simplicité de ces structures. Les vestiges semblent avoir des caractéristiques technologiques similaires à celles de la péninsule Ibérique (Bourgarit, 2007). Les éléments communs sont les fragments de céramique avec des adhérences scoriacées, découverts par exemple au Serre de Boidons, à Grospièrres (Ardèche), ou encore les fragments de vases campaniformes avec des adhérences et un fragment de malachite détectés au Travers des Fourches, à Villeveyrac (Hérault), ainsi que les fragments de malachite et de conglomérats de réduction récupérés dans quelques sites véraziens, à Ouveillan, Aude (Rovira et Ambert, 2002). Quelques fragments de vases de réduction et de la malachite sont apparus à La Vayssonnée, à Rosières (Tarn), – site daté vers 2 600-2 400 cal. av. J.-C. –, et à La Salaberdié, à Garric (Tarn), – daté vers 2 500-2 300 cal. av. J.-C. (Servelle *et al.*, 2006). Un autre élément commun est le creuset-moule ou lingotière, dont quelques fragments ont été trouvés à La Capitelle du Broum, à Péret, Hérault (Ambert *et al.*, 2002), à la grotte du Cimetière, à Lanuéjols (Gard) et au Serre de Boidons (Rovira et Ambert, 2002), et finalement à La Vayssonnée et à La Salaberdié (Servelle *et al.*, 2006).

La plupart des données ont été fournies par le site d'Al Claus, à Varen (Tarn-et-Garonne), – daté entre 2 448-2 175 cal. av. J.-C. (Carozza *et al.*, 1997, p.148-155) –, et par les témoins de La Capitelle du Broum dans le district minier de Cabrières-Péret, – site de la première moitié du III^e millénaire cal. av. J.-C. (Ambert *et al.*, 2013). Les études archéométallurgiques ont permis d'interpréter l'existence d'une technologie de transformation de minerais simple, même si la co-réduction de minerais sulfurés et d'oxydes a eu lieu. À Al Claus, les sulfures comme la chalcopirite ont été traités dans des vases en céramique, mais probablement co-réduits avec des minerais oxydés. La métallurgie à La Capitelle du Broum est aussi simple et rudimentaire car elle s'est développée dans de petites cuvettes ouvertes, et avec une faible efficacité, car le cuivre est resté en partie piégé dans la scorie. Les différences avec la métallurgie ibérique ne sont pas tant l'utilisation ou non de vases en céramique, que l'utilisation de sulfures à la place d'oxydes, et dans l'application plus généralisée des techniques de recuit dans les travaux de mise en forme des objets.

Irlande

En Irlande, la date d'apparition du métal vers la deuxième moitié du III^e millénaire av. J.-C., durant la période campaniforme, coïncide avec l'apparition des activités métallurgiques à Ross Island. La minéralisation exploitée dans ce site correspond à de la tennantite, minéral du groupe des fahlores ou cuivres gris (O'Brien, 2012, p. 342). Dans une opération qui produirait peu de scories, le soufre se volatiliserait facilement. Même si une partie de l'arsenic serait perdue aussi, un cuivre légèrement arsénié serait obtenu accidentellement.

Comme dans la péninsule Ibérique, les objets présentent une simplicité de types avec des caractéristiques

utilitaires, comme les haches (O'Brien, 2012). En général, dans les îles Britanniques, la substitution du cuivre par le bronze à la fin du III^e millénaire est beaucoup plus rapide.

CONCLUSION

La connaissance des caractéristiques de la technologie est essentielle afin d'interpréter le mode de production et l'organisation sociale impliquée. Actuellement, la péninsule Ibérique est une des régions d'Europe où les techniques utilisées dans les premières étapes métallurgiques sont les mieux connues. Malgré l'abondance de minéralisations et la découverte de plusieurs vestiges d'activités métallurgiques, il n'est pas possible de reconnaître une vraie spécialisation de la production métallique au cours du Néolithique-Chalcolithique et jusqu'à l'âge du Bronze moyen. Les techniques métallurgiques n'ont pas évolué pendant plusieurs siècles car il n'existait pas une demande d'objets de prestige de la part des hypothétiques élites. Cette métallurgie primitive a été possible grâce à l'existence d'un savoir-faire pyro-technologique et à la facilité d'accès aux minéralisations.

L'inexistence d'une domination sur les exploitations et sur la production est évidente au III^e millénaire à Almizaraque, site ouvert et non fortifié, où les restes archéométrallurgiques apparaissent dispersés dans la zone d'habitat. En effet, la plupart des sites ne sont pas défensifs et les villages situés en zones basses sont nombreux, bien que pendant longtemps des chercheurs aient projeté une image inspirée du site de Los Millares, ainsi que d'autres sites, entouré d'enceintes en pierre sèche. De plus, les unités d'habitation présentent une morphologie circulaire. Certains de ces sites ouverts, comme Valencina de la Concepción ou Marroquíes Bajos (Jaén), appelés *macro-villages*, ont de nombreuses phases d'occupation superposées qui donnent la perception d'une plus grande ampleur de ce qu'elle fut réellement.

Pour le sud de la péninsule Ibérique, d'autres auteurs interprètent l'existence d'une activité artisanale métallurgique à temps partiel entre la fin du IV^e millénaire et le II^e millénaire (Gauss, 2013). L'importance de cette production augmenterait progressivement dans le contexte d'une complexité sociale émergente. Cependant, les évidences technologiques ne prouvent pas cette vision. Rien ne semble indiquer l'existence d'une métallurgie spécia-

lisée, contrôlée par une élite et réalisée par des artisans dédiés en exclusivité à ces travaux. Néanmoins, d'autres productions élaborées avec d'autres matériaux semblent avoir eu une valeur plus importante que le cuivre. Comme il a été signalé, la stratification sociale peut se produire indépendamment de la variable métallurgie (Jeunesse, 2018). Il est possible que les productions à partir d'autres matériaux impliquent l'existence d'objets de prestige et d'un processus similaire à celui qu'on a voulu interpréter dans la production du métal. Il est significatif que des matériaux exotiques, comme l'ivoire d'éléphant africain et asiatique, l'ambre et les œufs d'autruche, aient parcouru de très longues distances. D'autres activités, comme l'agriculture, ont pu être sous le contrôle d'éventuelles élites. La question reste ouverte. En revanche, le métal ne semble pas avoir une énorme charge symbolique ou de prestige comme ces autres matières et objets.

Les processus d'apparition, adoption et évolution de la métallurgie ont été divers selon les territoires. Le progrès est lent et peu intense dans certaines régions car il n'implique pas un changement socio-économique significatif. Il faut être prudent face aux modèles qui situent le métal comme une ressource indispensable et capable de faire évoluer la dynamique sociale. Au contraire, ce sont probablement les changements sociaux qui conditionnent les changements technologiques. Comme il a été signalé, l'adoption de la métallurgie et son développement dans chaque société sont motivés principalement par la valeur des objets métalliques et son acceptation sociale (Montero et Murillo-Barroso, 2016). Il est possible que pendant la période campaniforme et l'âge du Bronze ancien une demande accrue d'objets de prestige en métal se soit produite. Cependant, c'est seulement à partir de l'âge du Bronze final et au premier âge du Fer que l'on peut identifier des changements significatifs dans la technologie.

Remerciements

Je remercie Abel Berdejo, co-responsable des expérimentations. Les analyses par microscopie électronique à balayage (MEB) et une sonde de température ont été financées par le projet HAR 2012-36967, *Dinámica de la ocupación prehistórica del valle medio del Ebro durante el Holoceno Superior*, et le projet HAR 2015-65620-P, *Paisaje y sociedad: El valle medio del Ebro entre el 6000 y el 500 Cal ANE* (MINECO/FEDER), de l'Universidad de Zaragoza.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALCALDE G., MOLIST M., MONTERO I., PLANAGUMÀ L., SAÑA M., TOLEDO A. (1998) - Producciones metalúrgicas en el nordeste de la Península Ibérica durante el III milenio cal. AC: el taller de la Bauma del Serrat del Pont (Tortellà, Girona), *Trabajos de Prehistoria*, 55, 1, p. 81-100.
- AMBERT P., COULAROU J., CERT C., GUENDON J.-L., BOURGARIT D., MILLE B., DAINAT D., HOULÈS N., BAUMES B. (2002) - Le plus vieil établissement de métallurgistes de

France (III^e millénaire av. J.-C.) : Péret (Hérault), *Comptes Rendus Palevol*, 1 (1), p. 67-74.

- AMBERT P., BALESTRO F., LAROCHE M., FIGUEROA V., ROVIRA S. (2013) - Technological Aspects of the Earliest Metallurgy in France : 'Furnaces' and Sslags from La Capitelle du Broum (Péret, France), *Historical Metallurgy*, 47, 1, p. 60-74.

- BARTELHEIM M. (2009) - Elites and Metals in the Central European Early Bronze Age, in T. L. Kienlin et B. W. Roberts (dir.), *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*, Bonn, Dr. Rudolf Habelt GMBH (Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie, 169), , p. 34-46.
- BARTELHEIM M. (2013) - Innovation and Tradition. The Structure of the Early Metal Production in the North Alpine Region, in S. Burmeister, S. Hansen, M. Kunst et N. Müller-Scheessel (dir.), *Metal Matters. Innovative Technologies and Social Change in Prehistory and Antiquity*, Rahden/Westf., VML, p. 169-180.
- BARTELHEIM M., CONTRERAS CORTES F., MORENO ONORATO A., MURILLO-BARROSO M., PERNICKA E. (2012) - The Silver of the South Iberian El Argar Culture: A first Look at Production and Distribution, *Trabajos de Prehistoria*, 69, 2, p. 293-309.
- BLAS CORTINA M. Á., RODRÍGUEZ DEL CUETO F., SUÁREZ FERNÁNDEZ M. (2013) - De las labores subterráneas a las actividades metalúrgicas en el exterior: Investigaciones 2007-2012 en las minas de cobre prehistóricas de la Sierra del Aramo ("La Campa les Mines", Concejo de Riosa), *Excavaciones Arqueológicas en Asturias 2007-2012*, Oviedo, Principado de Asturias, p. 169-187.
- BOSTYN F., VAQUER J. (2018) - Matériaux, échanges, circulations au Néolithique, in D. Garcia et J. Guilaine (dir.), *La Protohistoire de la France*, Paris, Hermann, p. 111-126.
- BOURGARIT D. (2007) - Chalcolithic Copper Smelting, in S. La Niece, D. R. Hook et P. T. Craddock (dir.), *Metals and Mines, Studies in Archaeometallurgy*, London, Archetype Publications, p. 3-14.
- BOURGARIT D., MILLE B. (2007) - Les premiers objets métalliques ont-ils été fabriqués par des métallurgistes ?, *L'Actualité Chimique*, 312-313 (oct-nov), p. 54-60.
- BUDD P. (1991) - Eneolithic Arsenical Copper: Heat Treatment and the Metallographic Interpretation of Manufacturing Processes, in A. Pernicka et G. A. Wagner (dir.), *Archaeometry '90: 27th International Symposium on Archaeometry* (Heidelberg, 1990), Basel, Birkhäuser Verlag, p. 35-44.
- CAROZZA L., BOURGARIT D., MILLE B., BURENS A. (1997) - L'habitat et l'atelier de métallurgiste chalcolithique d'Al Claus: analyse et interprétation des témoins d'activité métallurgique, *Archéologie en Languedoc*, 21, p. 147-160.
- CARTAILHAC É. (1886) - *Les âges préhistoriques de l'Espagne et du Portugal*, Paris, C. Reinwald Libraire, p. 347.
- CHAPMAN R. (1991) - *La formación de las sociedades complejas. El Sureste de la Península Ibérica en el marco del Mediterráneo occidental*, Barcelona, Editorial Crítica, p. 411.
- CHARLES J. A. (1967) - Early Arsenical Bronzes: a Metallurgical View, *American Journal of Archaeology*, 71, 1, p. 21-26.
- CHILDE V. G. (1957) - *The Dawn of European Civilisation*, London, Ed. Routledge and Kegan Paul (6^e edition), p. 368.
- COMENDADOR REY B. (1995) - Caracterización de la metalurgia inicial gallega: una revisión, *Trabajos de Prehistoria*, 52, 2, p. 111-129.
- CRADDOCK P. T., MEEKS N. D. (1987) - Iron in Ancient Copper, *Archaeometry*, 29, 2, p. 187-204.
- CRUZ BERROCAL M., CERRILLO CUENCA E., GARCÍA SOLANO J. A. (2006) - Nuevos datos sobre el Calcolítico de Extremadura: el yacimiento de la Sierrecilla (Santa Amalia, Badajoz), *SPAL Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla*, 15, p. 51-70.
- DELGADO RAAK S., RISCH R. (2008) - Lithic Perspectives on Metallurgy: an Example from Copper and Bronze Age South-East Iberia, in L. Longo et N. Skakun (dir.), *Prehistoric Technology. Proceedings of the International Congress (Verona, 2005)*, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series 1783), p. 235-252.
- DELGADO RAAK S., ESCANILLA ARTIGAS N., RISCH R. (2014) - Mazas ocultas. Rastros de minería prehistórica en el Cerro Minado de Huercal-Overa (Almería), *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24, p. 13-44.
- DOLFINI A. (2014) - Early Metallurgy in the Central Mediterranean, in B. W. Roberts et C. P. Thornton (dir.), *Archaeometallurgy in Global Perspective*, New York, Springer, p. 473-506.
- FAVREAU G., EYTIER C., EYTIER J. R., ESCANILLA N. (2013) - Les mines de Cerro Minado, Huércal-Overa (Almería), *Bulletin de l'Association française de microminéralogie (Le Cahier des Micromonteurs, 121)*, 3.
- GALE N. H., STOS-GALE Z. A., GILMORE G. R. (1985) - Alloy Types and Copper Sources of Anatolian Copper Alloy Artifacts, *Anatolian Studies*, 35, p. s143-173.
- GAUSS R. (2013) - The Development of Metallurgy on the Iberian Peninsula. Technological and Social Patterns of a Long-Term Innovation Process, in S. Burmeister, S. Hansen, M. Kunst et N. Müller-Scheessel (dir.), *Metal Matters: Innovative Technologies and Social Change in Prehistory and Antiquity*, Rahden/Westf., VML, p. 209-229.
- GILMAN A. (1976) - Bronze Age Dynamics in Southeast Spain, *Dialectical Anthropology*, 1, p. 307-319.
- GÓMEZ RAMOS P. (1999) - *Obtención de metales en la prehistoria de la Península Ibérica*, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series 753), p. 366.
- HAUPTMANN A., BACHMANN H. G., MADDIN R. (1996) - Chalcolithic Copper Smelting: New Evidence from Excavations at Feinan, Jordan, in Ş. Demirci, A. M. Ozr et G. D. Summers (dir.), *Archaeometry 94*, The Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry (Ankara, 1994), Ankara, Tübitak, p. 3-10.
- HÖPPNER B., BARTELHEIM M., HUIJSMANS M., KRAUSS R., MARTINEK K. P., PERNICKA E., SCHWAB R. (2005) - Prehistoric Copper Production in the Inn Valley (Austria), and the Earliest Copper in Central Europe, *Archaeometry*, 47, 2, p. 293-315.
- HUNT ORTIZ M. (2011) - El asentamiento de El Trastejón y la economía metalúrgica de la Edad del Bronce en Sierra Morena Occidental, in V. M. Hurtado, L. García Sanjuán et M. A. Hunt Ortiz (dir.), *El asentamiento de El Trastejón (Huelva), investigaciones en el marco de los procesos sociales y culturales de la Edad del Bronce en el Suroeste de la Península Ibérica*, Junta de Andalucía (Monografías Arqueológicas), p. 167-261.
- HUNT ORTIZ M. A., HURTADO PÉREZ V., MONTERO RUIZ I., ROVIRA LLORENS S., SANTOS ZALDUEGUI J. F. (2009) -

- Chalcolithic Metal Production and Provenance in the Site of San Blas (Cheles, Badajoz, Spain), *Archaeometallurgy in Europe*, 2nd International conference (Grado-Aquileia, 2007), Milano, Associazione Italiana di Metallurgia, p. 81-92.
- HUNT ORTIZ M. A., MARTINEZ NAVARRETE M. A., HURTADO PEREZ V., MONTERO RUIZ I. (2012) - Procedencia de las puntas de jabalina del "Dolmen de la Pastora" (Valencina de la Concepción, Sevilla), *Trabajos de Prehistoria*, 69, 2, p. 158-175.
- INCHAURRANDIETA R. (1875) - Notice sur la montagne funéraire de La Bastida, Province de Murcie (Espagne), *Congrès International d'Anthropologie et d'Archéologie Préhistorique* (4^e session, Copenhague, 1869), Copenhague, Imprimerie de Thiele, p. 344-350.
- Jeffery D. (2004) - Experiential and Experimental Archaeology with Examples in Iron Processing, *IAMS Institute for Archaeo-Metallurgical Studies*, 24, p. 13-16.
- JEUNESSE C. (2018) - « Big men », chefferies ou démocratie primitive ? Quels types de sociétés dans le Néolithique de la France?, in D. Garcia et J. Guilaine (dir.), *La Protohistoire de la France*, Paris, Hermann, p. 171-186.
- KEESMANN I., MORENO ONORATO A., KRONZ A. (1991-1992) - Investigaciones científicas de la metalurgia de El Malagón y Los Millares, en el sureste de España, *Cuadernos de Prehistoria de la Universidad de Granada*, 16-17, p. 247-302.
- KIENLIN T. L. (2014) - Aspects of Metalworking and Society from the Black Sea to the Baltic Sea from the Fifth to the Second Millennium BC, in B. W. Roberts et C. P. Thornton (dir.), *Archaeometallurgy in Global Perspective*, New York, Springer, p. 447-472.
- KILLICK D. (2014) - From Ores to Metals, in B. W. Roberts et C. P. Thornton (dir.), *Archaeometallurgy in global perspective*, New York, Springer, p. 11-45.
- LECHTMAN H., KLEIN S. (1999) - The Production of Copper-Arsenic Alloys (Arsenic Bronze) by Cosmelting: Modern Experiment, Ancient Practice, *Journal of Archaeological Science*, 26, p. 497-526.
- LEFRANC P. (2015) - Creuset et lingot en cuivre du IV^e millénaire avant notre ère à Eckwersheim : premiers témoins d'une activité métallurgique néolithique dans le sud de la plaine du Rhin supérieur, in B. Schnitzler et F. Séara (dir.), *Brumath-Brocomagus, capitale de la cité des Triboques*, Strasbourg, Musées Strasbourg, p. 36-39.
- LEFRANC P., ARBOGAST R. M., CHENAL F., HILDBRAND E., MERKL M., STRAHM C., VAN WILLIGEN S., WÖRLE M. (2012) - Inhumations, dépôts d'animaux et perles en cuivre du IV^e millénaire sur le site néolithique récent de Colmar « Aérodrome » (Haut-Rhin), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 109, 4, p. 689-730.
- LEHÖERFF A. (2018) - La métallurgie du bronze : techniques, usages et sociétés, in D. Garcia et J. Guilaine (dir.), *La Protohistoire de la France*, Paris, Hermann, p. 251-264.
- LEISNER G., LEISNER V. (1943), Die Megalithgräber der Iberischen Halbinsel. I. Der Süden, Berlin, W. de Gruyter (Römisch-Germanische Forschungen, 17), p. 618.
- LORSCHIEDER F., MAASS A., STEININGER D. (2003) - Frühe Kupferproduktion-archäologischer Befund und Experiment: Versuche zur Fahlerzverhüttung in einem einzigen Ofengang, in T. Stöllner, G. Körlin, G. Steffens et J. Cierny (dir.), *Man and Mining, Mensch und Bergbau. Studies in honour of Gerd Weisgerber* (Der Anschnitt, Beiheft 16), Bochum, DBM, p. 301-307.
- LULL V. (1983) - *La cultura de El Argar. Un modelo para el estudio de las formaciones económico-sociales prehistóricas*, Madrid, Ediciones Akal, 488 p.
- MARTÍNEZ FRÍAS J. (1991) - Sulphide and Sulphosalt Mineralogy and Paragenesis from the Sierra Almagrera Veins, Betic Cordillera (SE Spain), *Estudios geológicos*, 47, 5-6, p. 271-279.
- MARTÍNEZ NAVARRETE M. I. (1989) - *Una revisión crítica de la prehistoria española: la Edad del Bronce como paradigma*, Madrid, Siglo veintiuno de España Editores, p. 521.
- MAYA GONZÁLEZ J. L. (2003) - La minería del cobre durante el Calcolítico y Bronce Final en la Península Ibérica, in J. M. Mata-Perelló et J. M. González (dir.), *Actas del Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia Antigua en el Sudoeste Europeo* Segría, Catalunya, 5 al 7 de mayo 2000), Serós, Centre d'Arqueologia d'Avinyanya (vol. 1), p. 87-115.
- MCKERRELL H., TYLECOTE R. F. (1972) - The Working of Copper-Arsenic Alloys in the Early Bronze Age and the Effect on the Determination of Provenance, *Proceedings of the Prehistoric Society*, 38, p. 209-218.
- MILLE B., BOUQUET L. (2004) - Le métal au 3^e millénaire avant notre ère dans le Centre-Nord de la France, *Anthropologica et Præhistorica*, 115, p. 197-215.
- MOLINA GONZÁLEZ F., CÁMARA SERRANO J. A., CAPEL MARTÍNEZ J., NÁJERA COLINO T., SÁEZ PÉREZ L. (2004) - Los Millares y la periodización de la Prehistoria Reciente del Sureste, *Las primeras sociedades metalúrgicas en Andalucía, II-III Simposio de Prehistoria Cueva de Nerja (Nerja, 1998)*, Nerja, Fundación Cueva de Nerja, p. 142-158.
- MONTERO RUIZ I. (1991) - *Estudio arqueometalúrgico en el Sureste de la península Ibérica*, thèse de doctorat, universidad Complutense de Madrid, 662 p.
- MONTERO RUIZ I. (2005) - Métallurgie ancienne dans la Péninsule Ibérique, in P. Ambert et J. Vaquer (dir.), *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes*, actes du Colloque international (Carcassonne, 2002), Paris, Société préhistorique française (Mémoire, 37), p. 187-193.
- MONTERO RUIZ I., MURILLO-BARROSO M. (2014) - Difusión o innovación tecnológica: los inicios de la metalurgia en la Península Ibérica, in E. García Alfonso (dir.), *Movilidad, contacto y cambio*, 2e Congreso Prehistoria de Andalucía (Antequera, 2012), Sevilla, Consejería de Educación, Cultura y Deporte-Junta de Andalucía, p. 65-75.
- MONTERO RUIZ I., MURILLO-BARROSO M. (2016) - Los inicios de la metalurgia y el valor social del metal, *Menga*, 7, p. 15-29.
- MORENO ONORATO A., CONTRERAS CORTÉS F., RENZI M., ROVIRA LLORENS S., CORTÉS SANTIAGO H. (2010) - Estudio preliminar de las escorias y escorificaciones del yacimiento metalúrgico de la Edad del Bronce de Peñalosa

- (Baños de la Encina, Jaén), *Trabajos de Prehistoria*, 67, 2, p. 305-322.
- MÜLLER R., REHREN T., ROVIRA S. (2004) - Almizaraque and the Early Cooper Metallurgy of Southeast Spain: New data, *Madrider Mitteilungen*, 45, p. 33-56.
- MURILLO-BARROSO M., MONTERO RUIZ I. (2012) - Copper Ornaments in the Iberian Chalcolithic: Technology Versus Social Demand, *Journal of Mediterranean Archaeology*, 25, 1, p. 53-73.
- MURILLO-BARROSO M., MARTINÓN-TORRES M., CAMALICH MASSIEU M. D., MARTÍN SOCAS D., MOLINA GONZÁLEZ F. (2017) - Early Metallurgy in SE Iberia. The Workshop of Las Pilas (Mojácar, Almería, Spain), *Archaeological and Anthropological Sciences*, 9, 7, p. 1539-1569.
- MURILLO-BARROSO M., PEÑALVER E., BUENO P., BARROSO R., DE BALBÍN R., MARTINÓN-TORRES M. (2018) - Amber in Prehistoric Iberia: New Data and a Review, *Plos One*, 13, 8, p. 36.
- NOCETE CALVO F. (2006) - First Specialized Cooper Industry in the Iberian Peninsula : Cabezo Juré (2900-2200 BC), *Antiquity*, 80, p. 646-657.
- NOCETE F., QUEIPO G., SÁEZ R., NIETO J. M., INÁCIO N., RODRÍGUEZ BAYONA M., PERAMO A., VARGAS J. M., CRUZ-AUÑÓN R., GIL-IBARGUCHI J. I., SANTOS J. F. (2008) - The Smelting Quarter of Valencina de la Concepción (Seville, Spain): the Specialised Copper Industry in a Political Centre of the Guadalquivir Valley during the Third Millennium BC (2750-2500 BC), *Journal of Archaeological Science*, 35, p. 717-732.
- NOCETE F., VARGAS J. M., SCHUHMACHER T. X., BANERJEE A., DINDORF W. (2013) - The Ivory Workshop of Valencina de la Concepción (Seville, Spain) and the Identification of Ivory from Asian Elephant on the Iberian Peninsula in the First Half of the 3rd Millennium BC, *Journal of Archaeological Science*, 40, p. 1579-1592.
- NORTHOVER J. P. (1989) - Properties and use of Arsenic-Copper Alloys, in A. Hauptmann, E. Pernicka et G. A. Wagner (dir.), *Proceedings of the International Symposium Old World Archaeometallurgy* (Heidelberg, 1987), Bochum, Veröffentlichungen aus dem Deutschen Bergbau-Museum (Anschnitt, Beiheft 7), p. 111-118.
- O'BRIEN W. (2012) - Prehistoric Copper Mining and Metallurgical Expertise in Ireland, in C. M. Braz Martins, A. M. S. Bettencourt, J. I. F. P. Martins et J. Carvalho (dir.), *Povoamento e Exploração dos recursos mineiros na Europa Atlântica occidental*, Braga, CITCEM, p. 337-357.
- O'BRIEN W. (2015) - *Prehistoric Copper Mining in Europe: 5500-500 BC*, Oxford, Oxford University Press, 345 p.
- OBÓN ZÚÑIGA A. (2017), *Los inicios de la obtención de cobre en el suroeste europeo. Aproximación experimental a la metalurgia de Almizaraque (Almería)*, thèse de doctorat, universidad de Zaragoza, 751 p.
- OBÓN ZÚÑIGA A., BERDEJO ARCÉIZ A. (2013) - Estudio experimental de los orígenes de la metalurgia del cobre en el sur de Iberia. La vasija-horno, in A. Palomo, R. Piqué et X. Terradas (dir.), *Experimentación en Arqueología, estudio y difusión del pasado*, Girona, Serie Monográfica del MAC 25.2, p. 407-415.
- POLLARD A. M., THOMAS R. G., WILLIAMS P. A. (1991) - Some Experiments Concerning the Smelting of Arsenical Copper, in P. Budd, B. Chapman, C. Jackson, R. Janaway et B. Ottaway (dir.), *Archaeological Sciences 1989: Proceedings of a Conference on the Application of Scientific Techniques to Archaeology* (Bradford, 1989), Oxbow Monograph, 9, p. 169-174.
- RADIOJEVIĆ M., REHREN T. (2015) - Paint It Black: The Rise of Metallurgy in the Balkans, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 22, p. 38.
- RENFREW C. (1967) - Colonialism and Megalithism, *Antiquity*, 41, 164, p. 276-288.
- ROBERTS B. W. (2009) - Production Networks and Consumer Choice in the Earliest Metal of Western Europe, *Journal of World Prehistory*, 22, p. 461-481.
- ROSTOKER W., PIGOTT V. C., DVORAK J. R. (1989) - Direct Reduction to Copper Metal by Oxide-Sulfide Mineral Interaction, *Archeomaterials*, 3, p. 69-87.
- ROVIRA S. (2002) - Metallurgy and Society in Prehistoric Spain, in B. S. Ottaway et E. C. Wager (dir.), *Metals and Society*, Papers from a session held at the European Association of Archaeologists Sixth Annual Meeting (Lisbon, 2000), Oxford, Archaeopress (BAR, International Series 1061), p. 5-20.
- ROVIRA S. (2004) - Tecnología metalúrgica y cambio cultural en la prehistoria de la Península Ibérica, *Norba. Revista de Historia*, 17, p. 9-40.
- ROVIRA LLORENS S. (2016) - La metalurgia calcolítica en el suroeste de la Península Ibérica: una interpretación personal, *Menga*, 7, p. 53-67.
- ROVIRA LLORENS S. (2017) - Innovación y continuidad en la metalurgia prehistórica de la Península Ibérica, in L. J. García-Pulido, L. Arboledas, E. Alarcón et F. Contreras (dir.), *Presente y futuro de los paisajes mineros. Estudios sobre minería, metalurgia y poblamiento*, VIII Congreso Internacional sobre Minería y Metalurgia en el Suroeste europeo (Granada, 2014), Granada, SEDPGYM et Universidad de Granada, p. 173-189.
- ROVIRA S., AMBERT P. (2002) - Vasijas cerámicas para reducir minerales de cobre en la Península Ibérica y en la Francia meridional, *Trabajos de Prehistoria*, 59, 1, p. 89 -105.
- ROVIRA S., GÓMEZ RAMOS P. (2003) - *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. III. Estudios metalográficos*, Madrid, Instituto Universitario Ortega y Gasset, p. 208.
- ROVIRA LLORENS S., MONTERO RUIZ I. (1994) - Metalurgia campaniforme y de la Edad del Bronce en la Comunidad de Madrid, in M^a C. Blasco (dir.), *El Horizonte Campaniforme en la Región de Madrid en el centenario de Ciempozuelos*, Universidad Autónoma de Madrid (Patrimonio Arqueológico del Bajo Manzanares, 2), p. 137-171.
- ROVIRA LLORENS S., MONTERO RUIZ I. (2011) - Aspectos metalúrgicos, in G. Pérez, J. Bernabeu, Y. Carrión, O. García, L. Molina et M. Gómez (dir.), *La Vital (Gandia, Valencia). Vida y muerte en la desembocadura del Serpis durante el III y el I milenio a. C.*, Valencia, Diputación de Valencia, SIP Museo de Prehistoria de Valencia (Serie de Trabajos Varios, 113), p. 219-228.

- ROVIRA LLORENS S., MONTERO RUIZ I. (2013) - Iberia: Technological Development of Prehistoric Metallurgy, in S. Burmeister, S. Hansen, M. Kunst et N. Müller-Scheessel (dir.), *Metal Matters: Innovative Technologies and Social Change in Prehistory and Antiquity*, Rahden/Westf., VML, p. 231-239.
- ROVIRA LLORENS S., MONTERO RUIZ I., CONSUEGRA RODRÍGUEZ S. (1997) - *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. I. Análisis de materiales*, Madrid, Instituto Universitario Ortega y Gasset, p. 424.
- SÁEZ R., NOCETE F., NIETO J. M., CAPITÁN M. A., ROVIRA. S. (2003) - The Extractive Metallurgy of Copper from Cabezo Juré, Huelva, Spain: Chemical and Mineralogical Study of Slags Dated to the Third Millennium B.C., *The Canadian Mineralogist*, 41, 3, p. 627-638.
- SANGMEISTER E. (1960) - Metalurgia y comercio del cobre en la Europa prehistórica, *Zephyrus*, 10, p. 131-139.
- SCHUBART H. (1991) - Almizaraque y Zambujal como plazas portuarias de la Edad del Cobre, *Verdolay*, 2, 1990, p. 19-25.
- SERVELLE C., TCHÉRÉMISSINOFF Y., COULAROU J. (2006) - Métallurgie et exploitation minière, in Y. Tchérémissinoff (dir.), *La Vayssonnè et La Salaberdé deux occupations domestiques de l'âge du Cuivre dans le Ségala* (Tarn, France), Castres, Comité Départemental d'Archéologie du Tarn (Monographie d'Archéologie Tarnaise, 1), , p. 145-167.
- SHUGAR A. N. (2000) - *Archaeometallurgical Investigation of the Chalcolithic Site of Abu Matar, Israel: a Reassessment of Technology and its Implications for the Ghassulian Culture*, thèse de doctorat, university of London, p. 284.
- SIRET H., SIRET L. (1888) - *Les Premiers âges du métal dans le sud-est de l'Espagne*, Bruxelles, Imprimerie Polleunis, Ceuterick et Lefébure, 110 p.
- SIRET L. (1893) - L'Espagne préhistorique, *Revue des Questions Scientifiques*, 34, p. 489-562.
- STOS-GALE Z. A., HUNT ORTIZ M. A., GALE N. H. (1999) - Análisis elemental y de isótopos de plomo de objetos metálicos de Gatas, in P. V. Castro, R. W. Chapman, S. Gili, V. Lull, R. Micó, C. Rihuete, R. Risch et M. E. Sanahuja (dir.), *Proyecto Gatas 2. La dinámica arqueológica de la ocupación prehistórica*, Sevilla, Junta de Andalucía (Arqueología Monografías, 4), p. 347-357.
- ZWICKER U., GREINER H., HOFMANN K. H., REITHINGER M. (1985) - Smelting, Refining and Alloying of Copper and Copper Alloys in Crucible Furnaces during Prehistoric up to Roman Times, in P. Craddock et M. J. Hughes (dir.), *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity*, London, British Museum (British Museum Occasional Paper, 48), p. 103-115.

Alberto OBÓN ZÚÑIGA
Universidad de Zaragoza
Dpto. de Ciencias de la Antigüedad
C/ Pedro Cerbuna, 12, E-50009 Zaragoza
albertoobon@gmail.com

