HAL
open science

Maîtrise des techniques minières durant le néolithique et l'âge du bronze, un facteur d'exploitation des mines de cuivre ?

Céline Tomczyk, Patrice Brun, Christophe Petit

To cite this version:

Céline Tomczyk, Patrice Brun, Christophe Petit. Maîtrise des techniques minières durant le néolithique et l'âge du bronze, un facteur d'exploitation des mines de cuivre ?. Séances de la Société préhistorique française, 2020, Actes de la séance de la Société préhistorique française de Paris (juin 2018), 16. halshs-03056504

HAL Id: halshs-03056504

https://shs.hal.science/halshs-03056504

Submitted on 21 Dec 2020

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

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

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° 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. 225-240
www.prehistoire.org
ISSN : 2263-3847 – ISBN : 2-913745-83-0

Maîtrise des techniques minières durant le Néolithique et l'âge du Bronze

Un facteur d'exploitation des mines de cuivre ?

Céline Tomczyk, Patrice Brun, Christophe Petit

Résumé : La présente étude vise à déterminer la capacité d'adaptation technique à la difficulté d'extraction inhérente aux gisements de cuivre exploités au Néolithique et à l'âge du Bronze en Europe. Pour ce faire, un corpus d'une centaine de mines a été créé. L'étude de ce dernier montre que les mineurs sont capables, dès la fin du Néolithique, d'ouvrir des mines de types différents (en surface, en puits, mais aussi en souterrain) et de s'adapter aux spécificités des gisements (utilisation de l'abattage par le feu dans les encaissants durs, récupération de cuivre de minéralisations massives, mais aussi très fines).
Cependant, bien que l'ouverture des mines ne semble pas limitée par des contraintes techniques, elle pourrait présenter des contraintes d'exploitation importantes en matière de gestion de l'eau et du bois, nécessaires à l'exploitation minière.

Mots-clés : Néolithique, âge du Bronze, extraction de cuivre, gestion de l'eau et du bois.

Abstract: The present study aims to determine the technical adaptability to the difficulty of copper ore extraction ore during the Neolithic and the Bronze Age in Europe. To this aim, we have studied a corpus of around a hundred mines. This study shows that miners were capable as far back as the end of the Neolithic, to open different types of mines (surface, shaft but also underground) and to adapt to the specificities of each deposit (use of fire-setting in hard rocks, recovery of copper from massive but also very fine mineralization). However, if the opening of mines does not seem to be limited by technical constraints, it could present significant operating constraints in the management of water and wood required for mining.

Keywords: Neolithic, Bronze Age, copper mining, water and wood management.

En même temps que l'exploitation des premières mines de cuivre, des mines, notamment de silex, étaient en exploitation en Europe. Cependant, mines de silex et mines de cuivre ne sont en rien comparables, n'étant pas situées dans les mêmes régions d'Europe et n'impliquant pas le même type de roches : les rognons de silex sont généralement encaissés dans des calcaires tendres et les gîtes de cuivre dans des roches plus résistantes. De plus, le traitement appliqué aux substances extraites n'est en rien analogue. Le cuivre et les minerais métalliques demandent une phase de pyrométallurgie avant de donner une matière première exploitable, alors que le silex est quant à lui directement débitable.

Le choix des mines de cuivre dans le cadre de cette étude est motivé par la volonté d'étudier un matériau impliquant des contextes géologiques variés (on dénombre en Europe six types de gisements de cuivre) et des installations minières d'un nouveau genre, lesquelles voient le jour au Néolithique. L'évolution des techniques et des types de mines exploitées est analysée via l'étude comparative d'un corpus de mines néolithiques et de l'âge du Bronze (soit entre 5 000 et 800 BC), et ce à l'échelle de l'Europe.

Les données présentées ne traitent pas de la phase de prospection des gisements [(1)], mais uniquement de l'ouverture et de l'exploitation de la mine. Des prospections (recherche de gisement et/ou test du potentiel de ce dernier) sont néanmoins supposées dans le cas des mines de Callaros Oughter, au Pays de Galles (O'Brien, 2015, p. 134) et dans le massif des Rousses, en France (Moulin *et al.*, 2010), où les travaux de taille très réduite sont interprétés comme des tests de prospection.

Suite à la phase d'exploration et une fois un gisement repéré, trois conditions sont requises pour que ce dernier soit exploité et devienne une mine (Ixer et Pattrick, 2003) :

- Son exploitation doit être techniquement possible (maîtrise de la technicité minière suffisante) ;
- Le gisement doit posséder un minerai dont la teneur en métal est suffisamment élevée ;
- L'exploitation du gisement doit permettre un enrichissement (être génératrice de profits).

Si l'une de ces conditions est manquante, le gisement ne sera pas exploité. La technicité minière joue donc un rôle primordial dans la sélection des gisements qui feront l'objet d'une exploitation minière. Ainsi, un gisement riche et contenant une substance intéressante ne pourra pas être exploité si les mineurs ne possèdent pas le savoir-faire technique nécessaire à son ouverture [(2)] ou si ce dernier ne peut pas être repéré.

Il est donc important d'étudier la capacité des mineurs à extraire des minerais de contextes géologiques complexes et de déterminer si une sélection des gisements s'opère selon des critères de technicité minière. Pour cela, nous proposons un inventaire des outils et des techniques disponibles s'adaptant aux contraintes géologiques inhérentes à la mise en place des exploitations.

DONNÉES ARCHÉOLOGIQUES

Corpus d'étude

98 mines de cuivre ont pu être inventoriées dans 12 pays différents. Parmi les références bibliographiques utilisées, citons deux travaux à l'échelle de l'Europe : O'Brien, 2015 et Weisgerber et Pernicka, 1995, mais également quelques synthèses régionales : Hunt Ortiz, 2003 ou encore Domergue, 1990 (pour la péninsule Ibérique), Timberlake, 1992 et Ixer et Budd, 1998 pour les Îles Britanniques. Ces grands inventaires ont été enrichis de nombreuses publications à une échelle plus régionale. Les données du corpus sont disponibles en annexe. Certaines mines connaissent plusieurs phases d'exploitation [(3)] et constituent ainsi deux entrées dans la base de données (le total des exploitations prises en compte est ainsi porté à 116, si l'on considère les phases de reprises comme une nouvelle exploitation à part entière).

La localisation des mines montre une large répartition à travers Europe et ses zones cuprifères principales (fig. 1 et 2). Les régions productrices varient peu entre le Néolithique et l'âge du Bronze, à l'exception des Balkans (exploités uniquement avant 2 000 BC) et du Tyrol (après 2 000 BC), ce qui permet d'envisager des comparaisons chronologiques entre grandes régions productrices de cuivre.

Il est néanmoins à noter que ce corpus ne donne très certainement qu'une vision partielle des mines ayant réellement été en exploitation (une mine pouvant être effacée par des exploitations postérieures). Des études de traçage de provenance par isotopie du plomb soulignent que de nombreux objets ont été fabriqués à partir de cuivre de régions pour lesquelles aucune mine n'a pu être retrouvée. C'est le cas notamment de la Sardaigne (Pinarelli, 2004) ou encore des mines du Laurion, dont les signatures isotopiques du plomb indiquent une première exploitation du cuivre à l'âge du Bronze, soit avant celle de l'argent (Georgakopoulou, 2005).

Éléments de datations et répartition chronologique

81 exploitations sont datées par le radiocarbone (sur boisements ou charbons de bois retrouvés en contexte d'extraction). Cependant, toutes les publications ne présentant pas de données des datations brutes, il n'est pas possible de réaliser de manière systématique une nouvelle calibration afin d'homogénéiser les datations. La précision des données calibrées est de 95,4 % de probabilité (2σ) : précision disponible pour l'ensemble des sources utilisées. Les données de datation radiocarbone utilisées impliquent donc une imprécision chronologique [(5)]. Les autres mines sont datées en fonction de la chronotypologie des mobiliers, en particulier céramique. Les mines se répartissent dans le temps sans lacunes importantes (fig. 3).

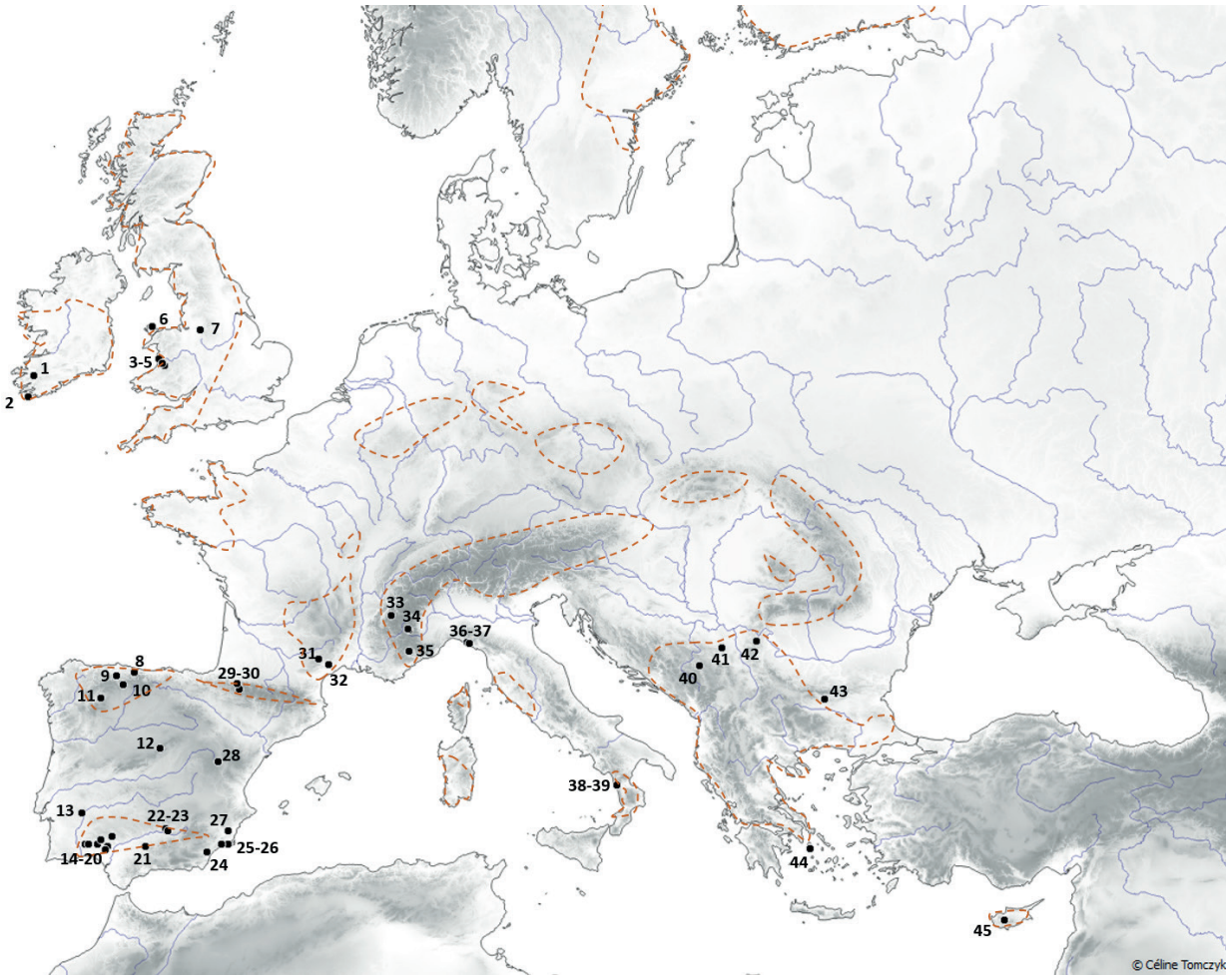


Fig. 1 – Mines exploitées entre 5 000 et 2 000 BC (détails des mines en annexe) et zones à fort potentiel cuprifère (délimitation en ligne pointillée orange), modifié d'après Cassard *et al.*, 2015.

Fig. 1 – *Mines exploited between 5.000 and 2.000 BC (details of the mines in the appendix) and areas with high copper potential (orange dotted line), modified from Cassard et al., 2015.*

Le nombre de sites en exploitation augmente avec le temps. Cependant, sans données de production, il est impossible de définir si cela reflète ou non une augmentation de la production de cuivre.

Quatre grandes phases se dégagent de la figure 3 :

- avant 3 700 BC, on ne recense pas plus de trois mines simultanément en exploitation pour la zone d'étude, soit toute l'Europe ;
- entre 3 700 et 3 000 BC, leur nombre se situe aux alentours de 5 ;
- entre 3 000 et 2 500 BC, le nombre de mines augmente à plus d'une quinzaine,
- après 2 500 BC, le nombre de mines en exploitation se stabilise à une trentaine.

Ces découpages chronologiques sont corrélés avec des changements de répartition spatiale : avant 3 700 BC, les mines sont concentrées dans les Balkans ; entre 3 700 et 2 500 BC, elles sont localisées sur le pourtour méditerranéen ; après 2 500 BC, des exploitations apparaissent dans les îles britanniques, ainsi que dans les Alpes occidentales puis orientales.

Conditions d'extraction en fonction des contextes gîtologiques

Le type de gisement et son contexte de formation déterminent bien moins les contraintes d'exploitation que l'aspect final de ce dernier suite aux contraintes secondaires qu'il a pu subir.

En Europe, six types de gisements cuprifères (tabl. 1) sont recensés (Cassard *et al.*, 2015).

Ces gisements primaires de minerais de cuivre sont couramment repris par des phénomènes tectoniques et basculés, voire recoupés par des failles, perdant alors leur morphologie initiale. De plus, ils peuvent également être repris par des minéralisations secondaires, venant modifier la morphologie des gisements et leurs enrichissements en cuivre. Les gisements de cuivre peuvent ainsi posséder des morphologies et des tailles différentes (minéralisations massives plurimétriques à veines centimétriques, en passant par des minéralisations en poches, éparses, en filon ou encore bréchiques), mais également des orientations variées (de pendage horizontal à vertical ou encore des encroûtements, dans le cas de gisements affectés par des phénomènes karstiques).

Type de gisement	Teneur en cuivre	Morphologie	Taille de la minéralisation	Quantité extractible	Texture
Mafique	~ 0,5-3 %	Lentilles de sulfures mais aussi portions massives	Métrique	Moyenne	Disséminée
VMS (6)	1-10 % Cu	Corps béchique à stockwork surmonté d'un amas massif	Métrique	Moyenne	Massive
SEDEX-MVT (7)	~ 0,5 % Cu	Corps tabulaires s'alignant avec la roche sédimentaire hôte	Métrique	Moyenne	Massive
Porphyres	< 1,5 % Cu	Partie sommitale d'une chambre magmatique	Kilométriques	Importante	Disséminée
Skarns	< 0,8 % Cu	Contact roche mafique-roche carbonatées	Zone de contact décimétrique	Faible	Massive
Sédimentaires (8)	2-3,6 %Cu	Veinules suivant la schistosité	Millimétriques à centimétriques	Faible	Massive

Tabl. 1 – Synthèse des différents types de gisements de cuivre primaires (d'après Arndt et Ganino, 2009).
Tabl. 1 – *Synthesis of the different types of primary copper deposits (based on Arndt et Ganino, 2009).*

Or, la morphologie et l'orientation des gisements constituent (avec la concentration), des facteurs primordiaux influant sur le type d'exploitation. Ainsi, un filon affleurant proche de la surface et d'orientation horizontale conduira plutôt à l'ouverture d'exploitations à ciel ouvert, quand le même filon de pendage vertical sera exploité préférentiellement sous forme de puits et de galeries. Le basculement tectonique subi par ce filon va donc jouer sur le type d'exploitation. De la même manière, un corps massif ou des lentilles minéralisées ne seront pas exploités de la même manière selon leur orientation, leur degré de déformation et leur taille.

Les phénomènes tectoniques peuvent également conduire à la présence de gisements en altitude et donc à des difficultés d'accès, mais également à un enneigement saisonnier des sites.

De plus, une dureté importante de l'encaissant [9] du gisement rend plus lente la progression des mineurs et joue donc également sur la difficulté d'ouverture et d'exploitation d'une mine. La roche encaissant les gisements dépend des contextes de formation, mais sa dureté peut également être augmentée (par dolomitisation ou encore métamorphisme) ou diminuée (par altération supergène, par exemple).

Enfin, des facteurs externes aux gisements sont à prendre en compte dans la difficulté d'extraction. La présence de nappes phréatiques, mais aussi les suintements d'eau en milieux souterrains limitent l'exploitation en profondeur d'une mine sans système d'exhaure, tout comme l'abondance des ressources en bois (nécessaires pour l'abattage par le feu et le traitement pyrométallurgique des gisements) peut être un facteur limitant l'extension des exploitations.

L'ensemble de ces critères : type de minéralisation, morphologie et orientation du gisement, type d'encaissant, altitude, présence d'eau et besoin important en bois représentent ainsi des obstacles pour les mineurs et nécessitent la mobilisation d'un savoir-faire technique conséquent.

DISCUSSION

Le niveau de maîtrise de la technicité minière, face aux difficultés inhérentes à l'exploitation des gisements précédemment évoquées, peut être étudié en quantifiant ces divers éléments pour les sites inventoriés dans le corpus d'étude.

Facteurs liés à la morphologie et au type de gisement

L'analyse des données de cette étude montre que les mineurs peuvent exploiter de grandes zones massives (tels que les ophiolites de Chypre ou les sulfures massifs volcanogènes (VMS) de la péninsule Ibérique), mais aussi des gisements aux minéralisations de cuivre très fines et/ou disséminées. Ces minéralisations très fines sont, par exemple, exploitées dans la mine de Mount Gabriel, où les minéraux de cuivre dépassent rarement 0,0 mm de diamètre et sont donc invisibles à l'œil nu (Ixer et Budd, 1998).

De grands filons peuvent être suivis et exploités sur des distances importantes, comme à Mocissos (Portugal) où un filon est suivi sur 800 m via des tranchées, puits et ouvrages à ciel ouvert (Hunt Ortiz, 2015 p. 212-213). À l'opposé, des veines d'épaisseur [10] centimétrique sont également exploitées, comme c'est le cas dans la mine de Cuchillares (également au Sud de la péninsule Ibérique), qui suit une veine de seulement 3 cm d'épaisseur (Rothenberg et Blanco-Freijeiro, 1981 p. 81-84).

Ces observations semblent indiquer que les mineurs étaient capables de s'adapter au cas par cas aux minéralisations locales. Cette information recoupe les données issues de fouilles indiquant le type de gisement exploité. On retrouve en effet des exploitations de gisements cuprifères variés : magmatiques mafiques (exploités à Chypre ou encore dans une partie des Alpes), VMS (dans la *Pyrite Belt,* soit le sud de la péninsule Ibérique, par exemple), skarns (Rudna Glava), sédimentaires (*Red Bed* du Pays de Galles) [11] ou encore des gisements ayant subi

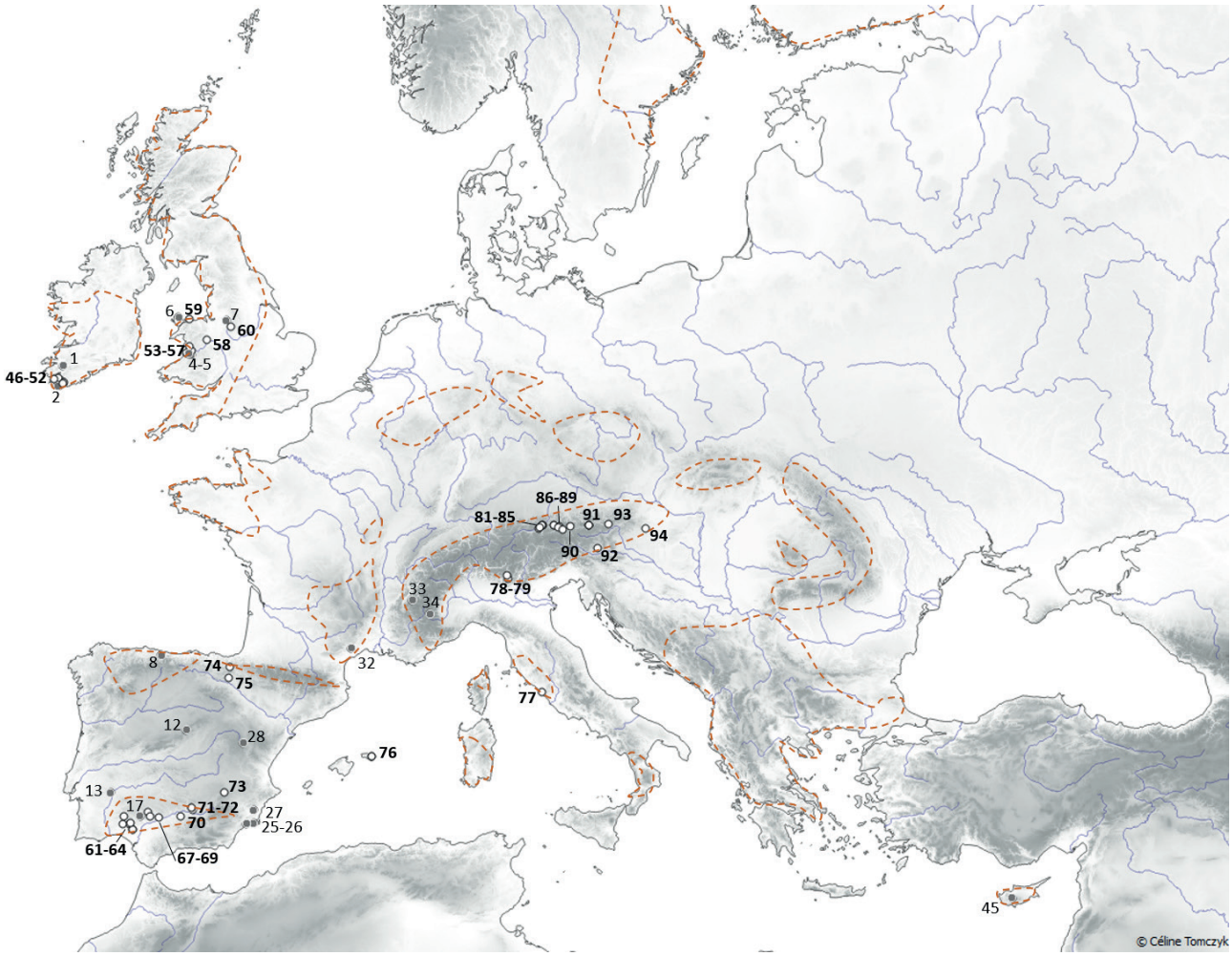


Fig. 2 – Mines exploitées entre 2 000 et 800 BC. En gris, les mines encore en exploitation de la période précédente (5 000-2 000 BC ; détails des mines en annexe) [4] et zones à fort potentiel cuprifère (délimitation en ligne pointillée orange), modifié d'après Cassard *et al*., 2015.

Fig. 2 – *Mines exploited between 2.000 and 800 BC, in grey the mines still in operation from the previous period (5.000-2.000 BC; details of the mines in the appendix) and areas with high copper potential (orange dotted line), modified from Cassard et al., 2015.*

un hydrothermalisme secondaire les enrichissant en arsenic et antimoine (c'est le cas de la *Greywacke Zone* du Tyrol autrichien, mais aussi de Cabrières). À l'échelle de l'Europe et pour l'ensemble de la période étudiée, il ne se dégage donc pas de tendance visible d'extraction préférentielle d'un type de gisement donné.

De plus, les mineurs sont capables d'exploiter des gisements polymétalliques (comportant plusieurs métaux) et d'y sélectionner une phase minéralisée en particulier. Ce phénomène a été décrit en péninsule Ibérique (Domergue, 1990 p. 121-122), mais également dans le Pays de Galles, dans les mines de Twll y Mwyn et de Great Orme, où le cuivre est ciblé par les mineurs qui y délaissent les portions argentifères des gisements (Timberlake, 2008 ; Ixer et Budd, 1998).

De nouvelles études viendront compléter les informations concernant le type de minerais ciblé mais, les types de minéraux de cuivre exploités (variant au cours de la période étudiée) ne semblent pas être associés à une forme de mine particulière.

Types d'extractions privilégiées

Les ramassages de surface ne laissent pas ou très peu de traces archéologiques. Même si des prélèvements de ce type ont certainement eu lieu [12], trop peu de données archéologiques y sont associées.

Les formes d'extractions couramment retrouvées sont : les exploitations à ciel ouvert et les tranchées, les puits et les exploitations souterraines. Un puits est un conduit vertical dont le but est d'atteindre une minéralisation située plus en profondeur, alors qu'une tranchée (pouvant être inclinée) suit directement la minéralisation. Les galeries souterraines se distinguent des tranchées du fait de leur implantation souterraine et elles diffèrent des puits par un suivi au plus proche de la minéralisation cuprifère, entraînant souvent une complexité de leur organisation.

Une même zone d'extraction peut comporter plusieurs types de structures. Elles peuvent ainsi correspondre au prolongement en souterrain de tranchées à ciel ouvert ou

	Néolithique (5 000 à 2 000 BC)	Âge du Bronze (2 000 à 800 BC)
Ciel ouvert et tranchées	13 (30 %)	16 (28 %)
Souterrains	11 (25 %)	16 (28 %)
Puits	4 (9 %)	10 (18 %)
Souterrains et tranchées	7 (16 %)	11 (19 %)
Souterrains et puits	6 (14 %)	2 (3,5 %)
Puits et tranchées	1 (2 %)	2 (3,5 %)
Puits, tranchées et souterrains	2 (4 %)	0
TOTAL	44	57

Tabl. 2 – Répartition des mines par formes d'exploitation. Il est à noter que l'association de puits et tranchées est peu courante.
Tabl. 2 – *Distribution of mines by type of operation. It should be noted that the combination of shafts and trenches is unusual.*

encore à la présence de puits et de souterrains dans une même zone d'exploitation.

Le type d'extraction employé montre une répartition soulignant une diversité claire des types d'extraction, aucune n'étant majoritaire au Néolithique comme à l'âge du Bronze (tabl. 2).

Les tranchées réalisées durant le Néolithique témoignent déjà du contrôle des difficultés d'extractions : il a été retrouvé à Ai Bunar, des tranchées et travaux souterrains de plus de 30 m de profondeur (O'Brien, 2015 p. 47-53), représentant un défi technique de stabilité. La seule limite à l'approfondissement y aura été la nappe phréatique.

Le problème des nappes phréatiques

L'ennoyage est un risque connu et récurrent dans les travaux miniers. Il peut provenir de suintements d'eau dans les galeries souterraines ou encore être lié au fait d'atteindre le niveau de la nappe phréatique. Dans le domaine minier, le terme d'exhaure est employé pour désigner la gestion et, plus précisément, l'évacuation de l'eau.

La mise en évidence d'un arrêt de l'exploitation minière en lien avec la présence d'eau n'est pas courante. Mis à part le cas d'Ai Bunar, elle n'est citée que dans de rares travaux :

- dans les mines de Berrocal, Las Navas et la Caba en péninsule Ibérique (Hunt Ortiz, 2003, p. 76-78), où neufs puits sont décrits comme limités en approfondissement par le niveau de la nappe phréatique (soit dans ce cas, 15 m de profondeur) ;
- à Mount Gabriel (O'Brien, 2015 p. 2014), où l'approfondissement des travaux serait limité par la présence de la nappe phréatique ;
- dans le cas de Copa Hill dont l'exploitation semble s'arrêter du fait de problèmes d'évacuation d'eau (Timberlake et Marshall, 2018).

De même, une seule installation de lutte contre les inondations en contexte minier est citée dans la bibliographie. Il s'agit de barrages de bois et d'argile, interprétés comme des barrages servant à éviter que les travaux miniers soient inondés dans les mines du Mitterberg (Zschocke et Preuschen, 1932 ; repris par Morteani et Northover, 2013, p. 170) [13].

Le travers-banc d'exhaure [14] le plus ancien retrouvé en Europe est situé dans la mine de Campolungo (Italie), mais ce dernier date de 900 BC soit à la limite du Bronze Final

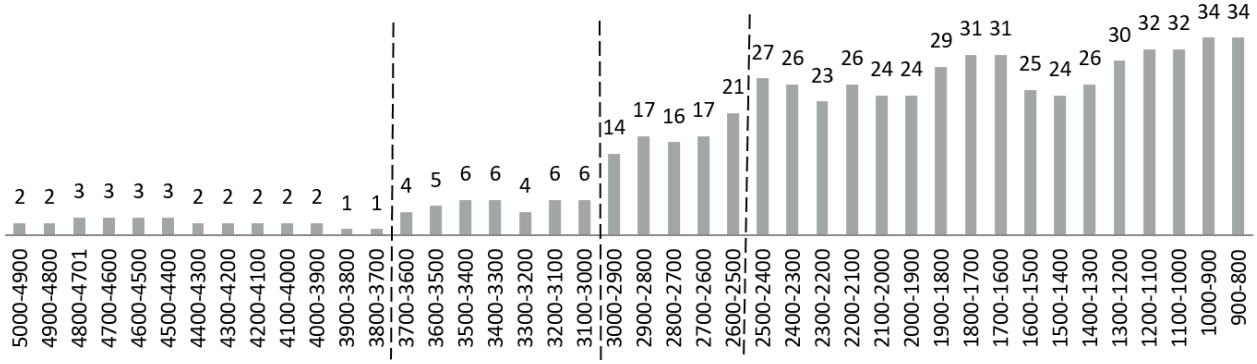
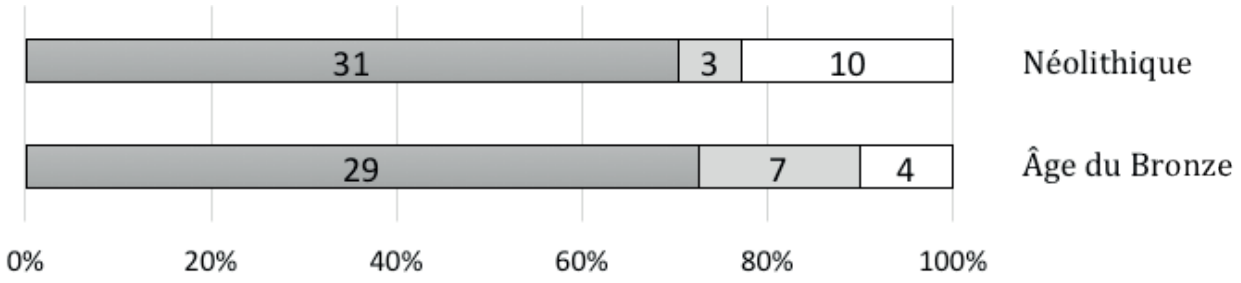


Fig. 3 – Répartition chronologique du nombre de mines présentes dans le corpus.
Les histogrammes ont été tracés à l'aide de l'application Chronophage (Desachy, 2016) 2016.
Fig. 3 – *Chronological distribution of the number of mines in the corpus.*
Histograms were plotted using Chronophage *application (Desachy, 2016) 2016.*



et du premier âge du Fer (Morin et Tizzoni, 2009). Avant cette date, aucun n'indice ne permet de mettre en évidence un traitement efficace de l'eau en contexte minier.

Le problème de l'eau pourrait donc être un facteur limitant de l'exploitation minière au Néolithique et à l'âge du Bronze. Néanmoins, il ne devient limitant que lorsque l'exploitation atteint une certaine taille et ne constitue donc pas une limite à l'implantation de la mine, mais seulement à son développement en profondeur.

Dureté de l'encaissant

Les roches exploitées peuvent présenter des duretés différentes, nécessitant l'emploi de techniques et d'outils différents :

dans les roches tendres et/ou friables (gossans, calcaires, schistes, etc.), les mineurs utilisent des outils en pierre, bois et os pour creuser la roche. Il est à noter que dans le cas d'encaissants schisteux, des boisages de soutènement permettant de maintenir la roche friable ont été retrouvés. C'est le cas dans le Tyrol, au Mitterberg, ou encore à Kechalm (Goldenberg, 1998) ;

dans des roches plus résistantes (dolomies, roches plutoniques…), la technique dite de l'abattage par le feu est employée en complément des outils précédemment cités (Willies et Weisgerber, 2000 ; Dubois, 1996).

Les données concernant les types d'encaissants ne montrent pas de sélection particulière en lien avec la dureté des roches. Les mineurs exploitent des roches dures comme tendres et les encaissants résistants sont même majoritaires dans le corpus d'étude au Néolithique comme à l'âge du Bronze (tabl. 3).

	Néolithique (5 000 à 2 000 BC)	Âge du Bronze (2 000 à 800 BC)
Encaissant résistant	29 (73 %)	31 (70 %)
Encaissant tendre	7 (17 %)	3 (7 %)
Encaissant friable	4 (10 %)	10 (23 %)
TOTAL	40	44

Tabl. 3 – Nombre de mines par dureté d'encaissant.
Tabl. 3 – *Number of mines by host rock's hardness.*

Abattage par le feu

L'abattage par le feu consiste à allumer de grands brasiers au contact des roches. Le choc thermique les fracturent et les délitent en écailles (on parle de desquamation ; Ancel et Py, 2008). Les roches exposées au feu sont ensuite attaquées à coups de marteaux et de pics en pierre (régulièrement retrouvés dans les mines).

L'abattage par le feu est une technique d'exploitation minière pour laquelle :

- la progression est très lente : quelques centimètres par bûcher ;
- l'allumage suppose un approvisionnement en bois et un système de ventilation performant des galeries ;
- enfin, l'abattage par le feu nécessite un arrêt de l'activité des mineurs dans la mine pendant que les bûchers sont actifs (ce qui implique une bonne gestion des roulements exploitation – bûchers).

Le recours à cette technique semble quasi-systématique : 86 % des mines de la base de données présentent des traces d'abattage par le feu (soit 59 entrées sur les 69 pour lesquelles cette donnée est renseignée). Cet abattage peut avoir lieu dans des mines à l'encaissant pourtant tendre pour atteindre des zones présentant une dureté plus importante, comme cela est décrit dans les mines de cuivre en contexte karstiques de Great Orme, au Pays de Galles (Timberlake, 1990a) et d'El Aramo en Espagne (Domergue, 1990). Les portions les moins altérées (et donc les plus résistantes) de la dolomie de ces deux exploitations ont été abattues par le feu.

Des mines situées au-dessus de la limite altitudinale des arbres [15] présentent des traces d'abattage par le feu (cas observé à Gratlspitze, au Tyrol, bien que l'exploitation soit située légèrement au-dessus de la limite altitudinale des arbres [16] (Heiss et Oeggl, 2008). L'apport en bois nécessite alors son acheminement depuis des zones de plus basse altitude. De plus, sur huit études polliniques réalisées sur des sites miniers des Alpes et du Pays de Galles, W. O'Brien pointe les indices d'une déforestation limitée pour l'approvisionnement en bois des travaux miniers (abattage par le feu, mais aussi pyrométallurgie ; O'Brien, 2015, p. 274). Des études menées sur les charbons de bois issus d'abattage par le feu en Irlande à Mount Gabriel (O'Brien, 1994) et dans le Tyrol autrichien (Heiss et Oeggl, 2008) ont démontré que le bois utilisé provient de branches et de tiges et non de troncs, ce qui permet de conserver le couvert forestier.

L'abattage par le feu est connu dès le Néolithique pour l'extraction du cuivre (Dubois, 1996). Ainsi, la mine

de Rudna Glava (Serbie), exploitée au Ve millénaire, présente des traces de l'utilisation de cette technique pour exploiter un skarn sous forme de puits (Willies et Weisgerber, 2000). Les données du corpus confortent ces observations et confirment en effet que cette pratique était déjà répandue en Europe au Néolithique (fig. 4).

L'abattage par le feu n'est pas uniquement connu pour les mines de métal, mais est également attesté au Néolithique dans le cas des jadéites du Mont Viso, au Ve millénaire (Pétrequin *et al.*, 2011), ou encore dans celui de la mine de silex d'Isteiner Klotz (Allemagne) au IVe millénaire [17] (Willies et Weisgerber, 2000). Cette technique est donc utilisée de manière contemporaine au Néolithique pour l'exploitation de roches tenaces (jadéite) et de minerais métallifères.

Altitude

La mine de Mali Sturac, dans les Balkans, à une altitude de plus de 1 000 m, était déjà exploitée en 4 500 BC. D'autres mines sont exploitées à une altitude élevée dont une quinzaine de mines de l'âge du Bronze, situées à plus de 1 500 m d'altitude.

La difficulté d'approvisionnement en bois pour l'abattage par le feu est accrue en haute montagne. Néanmoins, la rareté du couvert végétal peut devenir un atout pour la prospection minière.

O'Brien (2015, p. 16 et 267) estime que le travail de mineur était, dans de nombreux cas, une activité saisonnière s'étendant de la fin de l'automne à l'ensemble de l'hiver (quand le besoin de main-d'œuvre pour l'agriculture et l'élevage était faible). Les mines peuvent être exploitées malgré l'enneigement. Cependant, en altitude, les gisements sont parfois d'accès plus difficile du fait de dénivelés importants.

Techniques et mobilier minier

L'exploitation d'une mine demande la maîtrise de techniques d'extraction, mais aussi la possession de matériel adapté. Un ensemble de mobilier est donc fréquemment retrouvé en contexte archéologique ; il dépend du type de mine et donc des aménagements permettant d'assurer le fonctionnement de l'exploitation (tabl. 4).

Comme précédemment évoqué, les ramassages de surface laissent trop peu de traces archéologiques pour être clairement identifiés en tant que tels. Ils impliquent également peu de matériel. Le tableau présenté montre que les mêmes outils se retrouvent dans tous les types de mines.

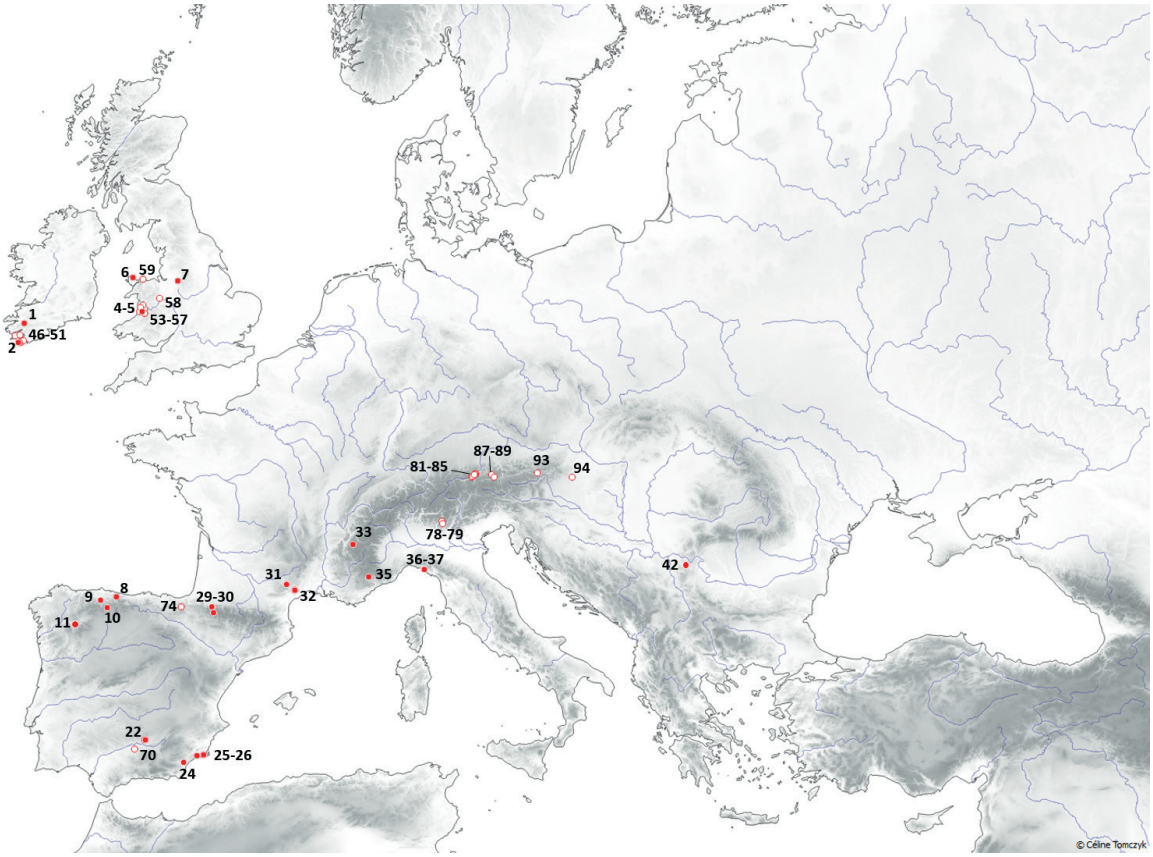


Fig. 4 – Répartition spatiale des mines présentant des traces d'abattage par le feu avant 2 000 BC (disques rouges) et après 2 000 BC (disques blancs). L'abattage par le feu est présent dans l'ensemble de l'Europe avant 2 000 BC (l'exploitation des mines du Tyrol autrichien débute après 2 000 BC).

Fig. 4 – *Spatial distribution of mines showing traces of fire-setting before 2.000 BC (red triangles) and after 2.000 BC (white triangles). Fire-setting is present all over Europe before 2.000 BC (mining in Austrian Tyrol begins after 2.000 BC).*

Type de mine		ramassage de surface	à ciel ouvert	tranchée	puits	souterraine
Techniques minières	Abattage par le feu	-	-	parfois	parfois	parfois
	Boisage de soutènement	-	-	parfois	parfois	parfois
	Système de ventilation	-	-	-	-	oui
	Système d'évacuation de l'eau	-	-	-	-	rare
Principaux outils et équipement	Marteaux et piques (pierre, corne, bois)	parfois	oui	oui	oui	oui
	Pelles (bois, os)	parfois	oui	oui	oui	oui
	Mortier et pilon (pierre, bois)	-	oui	oui	oui	oui
	Burin (os, pierre, bois)	-	oui	oui	oui	oui
	Lampes (pierre, poteries) et torches (bois, copeaux de bois)	-	-	parfois	oui	oui
	Échelles (bois)	-	-	parfois	oui	oui

Tabl. 4 – Techniques et outils miniers recensés selon le type d'exploitation pour la période 5 000-800 BC (inspiré de De Jesus, 1980 p. 360).

Tabl. 4 – *Mining techniques and tools commonly identified by type of exploitation for the period 5.000-800 BC (inspired by De Jesus, 1980 p. 360).*

À l'exception des ouvrages à ciel ouvert ne nécessitant pas d'éclairage et n'ayant pas fourni d'échelles, le matériel d'extraction utilisé est très fortement similaire entre les différents types de mines. De même, les techniques minières ne diffèrent que peu entre les exploitations en tranchées, puits et souterrains. Il est cependant à noter qu'une ventilation efficace de l'air est importante dans les cavités souterraines afin d'évacuer les fumées produites lors de l'abattage par le feu.

Cette ventilation ne concerne que les mines les plus profondes. Elle peut s'effectuer en inclinant les galeries, comme dans le cas de Mitterberg (Pittioni, 1951; Willies et Weisgerber, 2000). L'action de surélever les bûchers permettait également de jouer sur la hauteur de diffusion des fumées (Willies et Weisgerber, 2000). Dans la mine de Great Orme, des amas de roche stériles sont utilisés pour créer des murs artificiels et ainsi contrôler les flux de fumées (Fokkens et Harding, 2013 p. 449).

CONCLUSION

Dès le Néolithique, les mineurs possèdent le savoir-faire nécessaire pour leur permettre d'ouvrir et d'exploiter des mines de cuivre dans des contextes de gisements très différents. Le mineur est ainsi clairement un spécialiste capable de s'adapter aux caractéristiques des minéralisations locales, en employant une panoplie de compétences (via l'utilisation d'outils mais aussi de techniques d'extraction). De plus, il est important de souligner que la gestion du bois pour l'abattage par le feu demande une logistique importante.

Il a été choisi de n'évoquer dans cet article, que la phase d'extraction des minerais car il est difficile de déterminer si la minéralurgie (tri et concassage des minerais), mais aussi la pyrométallurgie (fonte des minerais concassés pour obtenir du cuivre sous forme de métal), étaient ou non effectuées par les mêmes individus. C. Strahm (1998) considère à ce sujet que les métallurgistes de métier apparaissent vers l'âge du Bronze, avec la fonte de minéraux de cuivre sulfurés (du fait de la difficulté de maîtrise technique des processus d'oxydation puis de réduction). De plus, V. Lull *et al.* (2010) indiquent que la métallurgie devient un élément structurant de la société dans le sud de l'Espagne à partir du IIe millénaire BC : des sites spécialisés dans la production de cuivre apparaissent et l'accès au métal pourrait alors être restreint à certains groupes de spécialistes.

En utilisant ce corpus, de futurs travaux pourront être focalisés sur la relation entre compétences pyrométallurgiques et localisation des mines de cuivre. Une sélection des minerais de cuivre s'opère en fonction de la capacité technique à les fondre. D'autres études chercheront à quantifier les productions de cuivre en lien avec la teneur des gisements exploités. Ce développement des recherches est nécessaire pour caractériser le niveau de spécialisation des tâches spécifiquement liées à la mine et au métal et donc, dans la mise en évidence de la complexité organisationnelle des sociétés en question.

NOTES

(1) Un gisement se caractérise par la présence, en un lieu donné, d'un élément (ici le cuivre) en quantité exploitable.

(2) En géologie minière, l'ouverture désigne le creusement d'une mine.

(3) On parle alors de reprise minière : plusieurs centaines d'années s'écoulent entre les phases d'activités extractives.

(4) La plupart de ces mines correspondent à une exploitation continue du gisement. Seuls 5 cas de reprise minière (après un temps d'inactivité de la mine) sont dénombrés : Chinflon, Cueva del Monje, José Martín Palacios, Junta de Gila/Rio Corumbel et Los Paredones

(5) Il est à noter que des travaux récents soulignent l'apport des datations dendrochronologiques afin d'obtenir des valeurs très resserrées de la datation des exploitations (Tropper *et al.*, 2017). Ce propos doit cependant être modéré car il est difficile de définir si les bois ainsi datés sont représentatifs de toute la durée d'exploitation. De plus, la dendrochronologie ne permet pas d'obtenir l'effet cumulatif obtenu dans le cadre de datations sur charbons de bois (contribuant à mieux appréhender la chronologie longue d'une exploitation).
(6) Volcanogenic Massive Sulphides (VMS).
(7) Sedimentary exhalative deposits (SedEx) et Mississippi Valley Type (MVT).
(8) Les gisements sédimentaires se décomposent en deux catégories distinctes : le type RedBeds et le type Kupferschiefer.
(9) Roche qui contient la minéralisation.
(10) L'épaisseur (ou puissance) d'un filon ou d'une couche géologique s'obtient via un calcul de trigonométrie simple : e = a x sin(p) où a est la largeur à l'affleurement (épaisseur apparente mesurée sur le terrain) et p le pendage de la couche.
(11) À la précision près que l'on trouve des gisements de type Red Beds exploités, mais pas d'évidence de gisement de type Kupferschiefer. Ces gisements ayant connu une forte reprise minière - quand ? aux périodes historiques ? -, d'éventuelles traces d'exploitation peuvent s'avérer complexes à retrouver.
(12) Des ramassages de surface sont avérés au Néolithique pour le silex (Desloges *et al.*, 2010) et sont supposés, dans le cas des premiers cuivres, ramassés en surface sous forme natifs (O'Brien, 2015, p. 37).
(13) Néanmoins, l'importante quantité de seaux retrouvés en profondeur est interprétée comme ayant servi à évacuer l'eau, ce qui laisse supposer que la présence de cette dernière était un facteur gênant pour l'exploitation malgré les techniques de barrage mises en place.
(14) Galerie creusée à travers la roche pour permettre l'évacuation de l'eau présente dans les galeries.
(15) Limite supérieure de pousse des arbres (différente de celle de la forêt, située à une altitude plus faible et où le bois est plus abondant).
(16) La mine se situe à 1 899 m d'altitude alors que la limite actuelle d'apparition des arbres est fixée à 1 800 m.
(17) Il s'agit de la seule, parmi plus de 200 mines de silex connues en Europe, à utiliser cette technique, mais elle est aussi la seule à posséder un encaissant de roche calcaire très résistante.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Ambert P. (1995) – Les mines préhistoriques de Cabrières (Hérault) : quinze ans de recherches. État de la question, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 92, 4, p. 499-508.

Ancel B. (1997) – La mine de cuivre des Clausis à Saint-Véran : apports des sources écrites et relevés des travaux protohistoriques souterrains, *Archéologie en Languedoc*, 21, p. 121-128.

Ancel B., Py V. (2008) – L'abattage par le feu : une technique minière ancestrale, *Archéopages, Archéologie et société*, p. 34-41.

Antonović D. (2002) – Copper Processing in Vinča//New Contributions to the Thesis about Metallurgical Character of the Vinča culture, *Starinar*, 52, p. 27-46.

Antonović D., Vukadinovic M. (2012) – Eneolithic Mine Prljusa: Mali Sturac Archaeological and Geophysical Investigations, *Starinar*, p. 95-106.

Arndt N., Ganino C. (2009) –*Ressources minérales : Nature, origine et exploitation. Cours et exercices corrigés.*, Dunod, 216 p.

Bailly-Maitre M.-C., Gonon T. (2008) – L'exploitation de la chalcopyrite à l'âge du Bronze dans le massif des Rousses en Oisans (Isère) : premiers éléments, *in* H. Richard et D. Garcia (dir.), *Le peuplement de l'arc alpin (édition électronique)*, 131e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques (Grenoble, 2006), Paris, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques (Documents préhistoriques, 2), p. 207-223.

Banco Freijeiro A., Rothenberg B. (1981) – *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva,* Barcelona, Río Tinto Minera, Labor, 312 p.

Barge-Mahieu H., Talon B. (2012) – Attaque au feu au Bronze ancien sur le gîte de cuivre de Saint-Véran (Hautes-Alpes), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 109, 1, p. 145-154.

Barge H., Bourhis J.-R., Rosta, P. (1998) – Métallurgie prehistorique et gites cupriferes dans le sud-est de la France. Premiers résultats, *in* A. d'Anna et D. Binder (dir.), *Production et identité culturelle : actualité de la recherche*, actes de la deuxième session des Rencontres méridionales de préhistoire récente (Arles, Bouches-du-Rhône, 8 et 9 novembre 1996), Antibes, APDCA, p. 65-79.

Barnatt J., Thomas G. H. (1998) – Prehistoric Mining at Ecton, Staffordshire: a Dated Antler Tool and its Context, *Mining History: The Bulletin of the Peak District Mines Historical Society*, 13, 5, p. 72-78.

Beyrie A. (2009) – Premiers indices d'exploitation de cuivre et de fer dans les Pyrénées occidentales, *in* D. Galop (dir.), La construction des territoires montagnards : exploitation des ressources et mobilité des pratiques, 2e International Workshop on archaeology of european mountain landscape, laboratoire GEODE, université Toulouse 2-Le Mirail, http://www.canal-u.tv/?redirectVideo=5552 [Accédé le 16 janvier 2018].

Brandherm D., Maass A., Müller-Kissing M., Ardid E.d. (2014) - Prospecciones arqueomineras en la Sierra de Orihuela, in *Orihuela, arqueología y museo*, MARQ, Alicante, p. 114–125.

De Blas Cortina M. A. (1996) – La primera minería metálica deI N peninsular: las indicaciones del C-14 y la cronología prehistórica de las explotaciones cupriferas del Aramo y El Milagro, *Complutum*, 1, p. 217.

De Blas Cortina M. A. (2005) – Un Témoignage probant de l'exploitation préhistorique du cuivre dans le nord de la péninsule Ibérique : le complexe minier d'El Aramo (Asturies), *in* P. Ambert et J. Vaquer (dir.), *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes*, actes du Colloque

international (Carcassonne, 28-30 septembre 2002), Paris, Société préhistorique française (Mémoire, 37), p. 195-206.

De Blas Cortina M. A. (2008) – Minería prehistórica del cobre en el reborde septentrional de los picos de Europa: Las olvidadas labores de «El Milagro» (Onís, Asturias), *Veleia*, 24-25, p. 723-753.

De Blas Cortina M. A., Fernandez M. S. (2010) – Utillaje faunístico inédito de las labores de cobre prehistóricas de La Profunda (León) y su datación C14 (AMS), *Zephyrvs*, 64, p. 5-18.

Bouquet L., Figueroa-Larre V., Laroche M., Guendon J.-L., Ambert P. (2006) – Les Neuf-Bouches (district minier de Cabrières-Péret), la plus ancienne exploitation minière de cuivre de France : travaux récents, conséquences, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 103, 1, p. 143-159.

Bourgarit D., Rostan P., Carozza L., Mille B., Artioli G. (2010) – Vingt ans de recherches à Saint-Véran, Hautes Alpes: état des connaissances de l'activité de production de cuivre à l'âge du Bronze ancien, *Trabajos de Prehistoria*, 67, 2, p. 269-285.

Brandherm D., Maass A. (2010) – Copper Mining, Settlement and Society in the Earlier Bronze Age of Southeast Spain: Prospects for new research in the Lower Segura valley, *in* P. Anreiter, G. Goldenberg et K. Hanke (dir.), *Mining European History and its Impact on Environment and Human Societies*, proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT (Innsbruck, 12-15 November 2009), Innsbruck University Press (Conference series), p.17-22.

Brandherm D., Maass A., Ardid E.d. (2013) – Multi-period Mining Remains from the Sierra de Orihuela (Alicante, SE Spain), *in* P. Anreiter, G. Goldenberg et K. Hanke (dir.), *Mining European History and its Impact on Environment and Human Societies*, proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT (Innsbruck, 12-15 November 2009), Innsbruck University Press (Conference series), p. 115-119.

Breitenlechner E., Hilber M., Lutz J., Kathrein Y., Unterkircher A., Oeggl K. (2012) – Reconstructing the History of Copper and Silver Mining in Schwaz, Tirol, *RCC Perspectives*, 10, p. 7-20.

Browne D. M., Hughes S. (2003) – *The Archaeology of the Welsh Uplands*, Royal Commission on the Ancient and Historical Monuments of Wales, 151 p.

Carey C., Moles N. (2017) – Geochemical Survey and Evaluation Excavations at Alderley Edge: Recognizing Anthropogenic Signatures within a Mining Site scape, *Archaeological Prospection*, 24, 3, p. 225-244.

Carozza L., Amert P., Lechelon B. (1998) - De la mine au métal au sud du Massif Central au Chalcolithique (région de Cabrières, Fayet et Villefranche de Rouergue), *in L'atelier du bronzier en Europe du XXème au VIIème siècle avant notre ère*, p. 59–70.

Carozza L., Mille B., Bourgarit D., Rostan P., Burens-Carozza A. (2008) – Mine et métallurgie en haute montagne dès la fin du Néolithique et le début de l'âge du Bronze : l'exemple de Saint-Véran en Haut-Queyras (Hautes-Alpes, France), *in L'età del rame in Italia*, atti della 43e riunione scientifique (Bologna, 26-29 novembre 2008), Firenze, Istituto italiano di Preistoria e Protohistoria, p. 151-155.

Cassard D., Bertrand G., Billa M., Serrano J.-J., Tourlière B., Angel J.-M., Gaal G. (2015) – ProMine Mineral Databases: New Tools to Assess Primary and Secondary Mineral Resources in Europe, *in 3D, 4D and Predictive Modelling of Major Mineral Belts in Europe*, Cham, Springer International Publishing (Mineral Resource Reviews), p. 9-58.

Cauuet B. (2013) – Les ressources métallifères du Massif central à l'âge du Fer, *in* S. Verger et L. Pernet (dir.), *Une odyssée gauloise : parures de femmes à l'origine des premiers échanges entre la Grèce et la Gaule*, exposition (site archéologique Lattara-Musée Henri-Prades, Lattes et 27 avril 2013-12 janvier 2014, Musée de Bibracte, Saint-Léger-sous-Beuvray, mars-novembre 2014), Arles, Errance (Archéologie de Montpellier agglomération, 4), p. 74-83.

Černych E. N. (1978) – Aibunar - a Balkan Copper Mine of the Fourth Millennium BC (Investigations of the Years 1971, 1972 and 1974), *Proceedings of the Prehistoric Society*, 44, p. 203-217.

Cortés F. C., Onorato A. M., Serrano J. A. C. (2010) – Los inicios de la minería. La explotación del mineral de cobre, *in F. C. Cortés et J. Dueñas Molina (dir.), La minería y la metalurgia en el Alto Guadalquivir: desde sus orígenes hasta nuestros días*, Jaén, Instituto de Estudios Giennenses, p. 43-121.

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.

De Jesus P. S. (1980) – *The Development of Prehistoric Mining and Metallurgy in Anatolia*, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series 74), 495 p.

Desachy B. (2016) – From Observed Successions to Quantified Time: Formalizing the Basic Steps of Chronological Reasoning, *Acta IMEKO*, 5, 2, p. 4-13.

Desloges J., Ghesquière E., Marcigny C. (2010) – La minière Néolithique ancien/moyen I des Longrais à Soumont-Saint-Quentin (Calvados), *Revue archéologique de l'Ouest*, 27, p. 21-38.

Dimuccio L. A., Rodrigues N., Larocca F., Pratas J., Amado A. M., Batista De Carvalho L. A. E. (2017) – Geochemical and Mineralogical Fingerprints to Distinguish the Exploited Ferruginous Mineralisations of Grotta della Monaca (Calabria, Italy), *Spectrochimica Acta, Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 173, p. 704-720.

Domergue C. (1987) – *Catalogue des mines et des fonderies antiques de la péninsule Ibérique*, Madrid, Casa de Velázquez (Publications de la Casa de Velázquez. Série Archéologie, 8) et Paris, de Boccard, 2 vols., 585 p.

Domergue C. (1990) – *Les mines de la péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine*, Rome, École française de Rome (Collection de l'École française de Rome, 127) et Paris, de Boccard, 625 p.

Dubois C. (1996) – L'ouverture par le feu dans les mines : histoire, archéologie et expérimentations, *Revue d'Archéométrie*, 20, 1, p. 33-46.

Dutton A., Fasham P. J., Jenkins D. A., Caseldine A. E., Hamilton-Dyer S. (1994) – Prehistoric Copper Mining on the Great Orme, Llandudno, Gwynedd, *Proceedings of the Prehistoric Society*, 60, p. 245-286.

Escanilla Artigas N. (2016) – *Recursos minerales de cobre y su explotación prehistórica en el sudeste peninsular. El valle del Guadalentín (Murcia)*, thèse de doctorat, Universitat Autònoma de Barcelona, Departament de Prehistòria, Barcelona, 815 p.

Escanilla N., Delgado-Raack S. (2014) – Minería prehistórica del cobre (3100-1550) en el levante murciano, *in* J. M. Lopez Ballesta (dir.), *Minería y metalurgia en el Mediterráneo y su periferia oceánica*, 3e Encuentros Internacionales del Mediterráneo, Phicaria, Mazarrón (Murcia), Universidad Popular de Mazarrón, p. 78-99.

Feichter-Haid A., Koch Waldner T., Masur A., Viehweider B. (2013) – The Prehistoric and Historic Mining District in the Region of Kitzbühel (tyrol, Austria): An Interdisciplinary Approach to Reconstruct the Past, *Metalla*, 20, 2, p. 46-57.

Filipovic D. (2016) – Review Essay: Rudna Glava in the Foreground of Recent Overviews of the Beginnings of Copper Mining in Europe and of the Development of Archaeometallurgy, *Balcanica*, 46, p. 341-347.

Fokkens H., Harding A. (2013) – *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*, Oxford, Oxford University Press (Oxford handbooks in archaeology), 1012 p.

Francisco G. T. (2016) – *El final de la Edad del Bronce entre el Guadiana y el Guadalquivir*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva (Arias Montano, 21), 296 p.

Gale N. H., Stos-Gale Z. (2012) – The role of the Apliki Mine Region in the post c. 1400 BC copper production and trade networks in Cyprus and in the wider Mediterranean, *in* V. Kassianidou et G. Papasavvas (dir.), *Eastern Mediterranean Metallurgy in the Second Millenium BC*, Oxford, Oxbow Books, p. 70-82.

García Romero J. (2002) – *El papel de la minería y la metalurgia en la Córdoba romana*, tests doctoral, Universidad de Córdoba, 955 p.

Gattiglia A., Rossi M. (1995) – Les céramiques de la mine préhistorique de Saint-Véran (Hautes-Alpes), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 92, 4, p. 509-518.

Georgakopoulou M. (2005) – *Technology and Organization of Early Cycladic Metallurgy: Copper on Seriphos and Keros, Greece*, thèse de doctorat, university of London, 421 p.

Goldenberg G. (1998) – L'exploitation du cuivre dans les Alpes autrichiennes à l'âge du Bronze, *in* C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (dir.), *L'Atelier du bronzier en Europe du XXe au VIIIe siècle avant notre ère*, actes du Colloque international « Bronze' 96 » (Neuchâtel et Dijon, 4-9 mars 1996), Tome II (session de Dijon) : *Du minerai au métal, du métal à l'objet*, Paris, CTHS (Documents préhistoriques, 10, II), p. 9-24.

Goldenberg G., Rieser B. (2004) – Die Fahlerzlagerstätten von Schwaz/Brixlegg (Nordtirol). Ein weiteres Zentrum urgeschichtlicher Kupferproduktion in den österreichischen Alpen. Alpenkupfer Rame delle Alpi, *Der Anschnitt*, 17, p. 37-52.

Goldenberg G., Staudt M., Grutsch C. (2017) – Ausflug in vorgeschichtliche Bergwerke, universität Innsbruck, https://www.uibk.ac.at/newsroom/ausflug-in-vorgeschichtliche-bergwerke.html.de.

Hankinson R. (2010) – *Mines and Quarries - The Scheduling Enhancement Programme*, Rapport 1033, CPAT (Clwyd-Powys Archaeological Trust), 19 p.

Hanning E., Gauss R., Goldenberg G. (2010) – Metal for Zambujal: Experimentally Reconstructing a 5000-Year-Old Technology, *Trabajos de Prehistoria*, 67, 2, p. 287-304.

Heiss A. G., Oeggl K. (2008) – Analysis of the Fuel Wood Used in Late Bronze Age and Early Iron Age Copper Mining Sites of the Schwaz and Brixlegg Area (Tyrol, Austria), *Vegetation, History and Archaeobotany*, 17, 2, p. 211-221.

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.

Huelga-Suarez G., Moldovan M., Suarez Fernandez M., De Blas Cortina M. Á., Vanhaecke F., Garcia Alonso J. I. (2012) – Lead Isotopic Analysis of Copper Ores from the Sierra el Aramo (Asturias, Spain), *Archaeometry*, 54, 4, p. 685-697.

Huelga-Suarez G., Moldovan M., Fernandez M. S., De Blas Cortina M. Á., Alonso J. I. G. (2014) – Isotopic Composition of Lead in Copper Ores and a Copper Artefact from the La Profunda Mine (León, Spain), *Archaeometry*, 56, 4, p. 651-664.

Hunt Ortiz M.a. (2003) – *Prehistoric Mining and Metallurgy in South West Iberian Peninsula*, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series 1188), 418 p.

Hunt Ortiz M.a. (2005) - La explotación de los recursos minerales en Europa y la Península Ibérica durante la Prehistoria, *in* B*ocamina - Patrimono Minero de La Region de Murcia*, Musei de la Ciencia y el Agua, p. 3–18.

Hunt Ortiz M.a. H., Estarellas B. L., Mateo L. P., Simonet B. S. (2014) – Aprovechamiento de recursos cupríferos en la edad del bronce de Menorca: la mina de sa mitja lluna (Illa den Colom), *Cuadernos de prehistoria y arqueología de la Universidad de Granada*, 24, p. 85-109.

Ixer R. A., Budd P. (1998) – The Mineralogy of Bronze Age Copper Ores from the British Isles: Implications for the Composition of Early Metalwork, *Oxford Journal of Archaeology*, 17, p. 15-41.

Ixer R. A., Pattrick R. (2003) – Copper-Arsenic Ores and Bronze Age Mining and Metallurgy with Special Reference to the British Isles, *in* P. T. Craddock et J. Lang (dir.), *Mining and Metal Production Through the Ages*, Londres, British Museum, p. 9-20.

Jones M. R. (2007) – *Oxhide Ingots, Copper Production, and the Mediterranean Trade in Copper and other Metals in the*

Bronze Age, thèse de doctorat, Office of Graduate Studies of Texas A&M University, College Station (Texas), 448 p.

Jones N. W., Hankinson R., Silvester R. J. (2012) – *Llanymynech Hill: Cultural Heritage and Management*, CPAT Report N° 1166, Powys, The Clwyd-Powys Archaeological Trust, 44 p.

Jovanović B. (1982) – *Rudna Glava: Najstarije Rudarstvo Bakra na Centralnom Balkanu*, Bor-Beograd, Muzej Rudarstva Metalurgije (Arheološki institut, Posebna Izdanja, 17), 158 p.

Jovanović B. (2009) – Beginning of the Metal Age in the Central Balkans According to the Results of the Archeometallurgy, *Journal of Mining and Metallurgy,* 45, p. 143-148.

Kammenthaler É., Beyrie A. (2007) – *Louvie-Soubiron-Urdos - Les origines de l'activité minière et métallurgique dans le Haut Béarn*, Bilan scientifique de la région Aquitaine 2007, DRAC Pyrénées-Atlantiques, service régional de l'Archéologie, Bordeaux, p. 202-203.

Kassianidou V. (2013) – Mining Landscapes of Prehistoric Cyprus, *Metalla*, 20, 2, p. 36-45.

Kassianidou V. (2015) – Cypriot Copper for the Iron Age World of the Eastern Mediterranean. *Mediterranean Archaeology*, 143, p. 261-271.

Larocca F. (2010) – Grotta della Monaca: A Prehistoric Copper and Iron Mine in the Calabria Region (Italy), *in* P. Anreiter, G. Goldenberg et K. Hanke (dir.), *Mining European History and its Impact on Environment and Human Societies*, proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT (Innsbruck, 12-15 November 2009), Innsbruck University Press (Conference series), p. 267-270.

Levato C., Larocca F. (2016) – The Prehistoric Iron Mine of Grotta della Monaca (Calabria, Italy), *Anthropologica et Praehistorica*, 126, p. 25-37.

Lewis A. (1996) – *Prehistoric Mining at the Great Orme: Criteria for the identification of early mining*, thèse de doctorat, University of Wales, Bangor (Galles du Nord), 184 p.

Lliev I., Dimitrov K., Kuleff I., Pernicka E. (2007) – Archaeometallurgical Studies on Eneolitic Copper Artifacts from Northeast Bulgaria, *in Archaeometallurgy in Europe,* 2nd international Conference (Aquileia, Italy, 17-21 June 2007), Milano, Associazione Italiana di Metallurgia (Collana tecnica AIM), p. 1-14.

Lull V., Micó Pérez R., Rihuete Herrada C., Risch R. (2010) – Metal and Social Relations of Production in the 3rd and 2nd Millennia BCE in the Southeast of the Iberian Peninsula, *Trabajos de prehistoria*, 67, 2, p. 323-347.

Lutz J., Pernicka E. (2013) – Prehistoric Copper from the Eastern Alps, *Open Journal of Archaeometry*, 1, 25, p. 122-127.

Macías J. A .P. (2015) – Los primeros mineros del Andévalo, *Aestuaria. Revista de investigación*, 12, p. 33-57.

Maggi R., Pearce M. (2005) – Mid Fourth-Millennium Copper Mining in Liguria, North-West Italy: The Earliest Known Copper Mines in Western Europe, *Antiquity*, 79, p. 66-77.

Martínez L. A. (2007) – *Minería y metalurgia romana en el alto Guadalquivir: aproximación desde las fuentes y el registro arqueológico*, thèse de doctorat, Universidad de Granada, Departamento de Prehistoria y Arqueología, 1186 p.

Martínez L. A., Cortés F. C., Onorato A. M. (2014) – La explotación minera antigua en Sierra Morena oriental y su vinculación con el territorio, *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24, p. 111-145.

Martínez L., Alarcon E., Cortes F., Moreno Onorato A., Padilla Fernandez J. (2015) – La mina de José Martín Palacios-Doña Eva (Baños de la Encina, Jaén): la primera explotación minera de la Edad del Bronce documentada en el sureste de la península Ibérica, *Trabajos de Prehistoria*, 72, p. 158-175.

Mighall T.m., Timberlake S., Foster I.d.l., Krupp E., Singh S. (2002) – Geochemical Evidence for Atmospheric Pollution Derived from Prehistoric Copper Mining at Copa Hill, Cwmystwyth, mid-Wales, UK, *The Science of the Total Environment*, 292, 1-2, p. 69-80.

Mighall T. M., Abrahams P. W., Grattan J. P., Hayes D., Timberlake S., Forsyth S. (2009) – Ancient Copper and Lead Pollution Records from a Raised Bog Complex in Central Wales, UK, *Journal of Archaeological Science*, 36, 7, p. 1504-1515.

Mighall T. M., Timberlake S., Grattan J. P. (2013) – A Palaeoecological Assessment of the Blanket Peat Surrounding the Source of the Severn, Plynlimon, *Metal Links Project Collection*, 33 p.

Mighall T., Timberlake S., Martinez-Cortizas A., Silva-Sanchez N., Foster I. D. L. (2017) – Did Prehistoric and Roman Mining and Metallurgy Have a Significant Impact on Vegetation? *Journal of Archaeological Science: Reports*, 11, p. 613-625.

Montero Ruiz I., Rodríguez De La Esperanza M. J. (2008) – Un pequeño campamento minero de la Edad del Bronce: La Loma de la Tejería (Albarracín, Teruel), *Trabajos de Prehistoria*, 65, 1, p. 155-168.

Morin D., Tizzoni M. (2009) – Aux origines des techniques minières. L'exploitation d'un gisement filonien au Premier âge du Fer. Les mines de Silter di Campolungo et de Baita Cludona di Fondo (Val Camonica, Alpes lombardes, Italie), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 106, 1, p. 109-141.

Morteani G., Northover J. P. (2013) – *Prehistoric Gold in Europe: Mines, Metallurgy and Manufacture*, NATO ASI Series, 604 p.

Moulin B., Thirault É., Vital J., Bailly-Maître M.-C. (2010) – Quatre années de prospection sur les extractions de cuivre de l'âge du Bronze ancien dans le massif des Rousses en Oisans (Isère et Savoie, France), *in T. Perrin*, I. Sénépart, J. Cauliez, É. Thirault, S. Bonnardin, *Dynamismes et rythmes évolutifs des sociétés de la Préhistoire récente : actualité de la recherche*, actes des 9e Rencontres méridionales de Préhistoire récente (Saint-Georges-de-Didonne, 8 et 9 octobre 2010), Toulouse, Archives d'écologie préhistorique, p. 341-369.

Nocete F., Álex E., Nieto J. M., Saez R., Bayona M. R. (2005) – An Archaeological Approach to Regional Envi-

ronmental Pollution in the South-Western Iberian Peninsula Related to Third millennium BC Mining and Metallurgy, *Journal of Archaeological Science*, 32, 10, p. 1566-1576.

O'brien W. (1996) – *Bronze Age Copper Mining in Britain and Ireland*, Princes Risborough, Buckinghamshire, Shire Publications (Shire archaeology, 71), 64 p.

O'brien W. (1994) – *Mount Gabriel: Bronze Age Mining in Ireland*, Galway University Press, 371 p.

O'brien W. (2003) – The Bronze Age Copper Mines of the Goleen Area, Co. Cork, *Proceedings of the Royal Irish Academy*, 103C, 2, p. 13-59.

O'brien W. (2015) – *Prehistoric Copper Mining in Europe 5500–500 BC*, Oxford University Press, 345 p.

Page N., Hughes G., Jones R., Murphy K. (2012) – Excavations at Erglodd, Llangynfelyn, Ceredigion: Prehistoric/Roman Lead Smelting Site and Medieval Trackway, *Archaeologia Cambrensis*, 161, p. 285-356.

Penhallurick R. D. (1986) – *Tin in Antiquity: Its Mining and Trade Throughout the Ancient World with Particular Reference to Cornwal*, Maney, London, The Institute of Metals, Routledge, 271 p.

Pérez Macías J. A. (2016) – *Metalurgia extractiva prerromana en Huelva*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Huelva (Arias Montano, 15), 238 p.

Pernicka E., Lutz J., Stöllner T. (2016) – Bronze Age Copper Produced at Mitterberg, Austria, and its Distribution, *Archaeologia Austriaca*, 100, p. 19-55.

Pétrequin P., Bontemps C., Buthod-Ruffier D., Le Maux N. (2011) – Approche expérimentale de la production des haches alpines, *in* P. Pétrequin, S. Cassen, M. Errera, L. Klassen, A. Sheridan et A. M. Pétrequin (dir.), *Jade. Grandes haches alpines du Néolithique européen : Ve et IVe millénaires av. J.-C.*, Besançon, Presses Universitaires de Franche-Comté et Gray, Centre de recherche archéologique de la Vallée de l'Ain (Les cahiers de la MSH Ledoux), p. 258-291.

Pichler T., Nicolussi K., Goldenberg G. (2009) – Dendrochronological Analysis and Dating of Wooden Artefacts from the Prehistoric Copper Mine Kelchalm/Kitzbühel (Austria), *Dendrochronologia*, 27, 2, p. 87-94.

Pichler T., Nicolussi K., Goldenberg G., Hanke K., Kovács K., Thurner A. (2013) – Charcoal from a Prehistoric Copper Mine in the Austrian Alps: Dendrochronological and Dendrological Data, Demand for Wood and Forest Utilisation, *Journal of Archaeological Science*, 40, 2, p. 992-1002.

Pinarelli L. (2004) – Lead Isotope Characterization of Copper Ingots from Sardinia (Italy): Inferences on their Origins, *Bulletin of the Geological society of Greece*, 36, 3, p. 1173-1180.

Pittioni R. (1951) – Prehistoric Copper Mining in Austria: Problems and Facts, *Seventh Annual Report*, London, Institute of Archaeology, p. 17-40.

Raack S. D., Artigas N. E., 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.

Rábano I., Manteca I., García C. (2003) – *Patrimonio geológico y minero y desarrollo regional*, Madrid, IGME (Cuadernos del Museo Geominero, 2 ; Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España (Cuadernos del Museo Geominero, 2), 628 p.

Risch R., Escanilla N., Delgado-Raack S. (2014) – Mazas ocultas. rastros de minería prehistórica en El Cerro minado de Huercal-Overa (almería) hidden hammers. Traces of prehistoric mining at cerro minado (Huercal-Overa, Almería), *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24, p. 13-44.

Rostan P., Mari G. (2005) – L'exploitation protohistorique de cuivre natif de Roua (Daluis et Guillaumes, Alpes-Maritimes), *in* P. Ambert et J. Vaquer (dir.), *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes*, actes du Colloque international (Carcassonne, 28-30 septembre 2002), réunion organisée dans le cadre de l'Université d'été de Carcassonne, du PCR « Mines et métallurgies préhistoriques du Midi de la France » et des journées décentralisées de la Société préhistorique française, Paris, Société préhistorique française (Mémoire 37), p.139-149.

Rothenberg B., Blanco-Freijeiro A. (1981) – *Studies in Ancient Mining and Metallurgy in South-West Spain: explorations and excavations in the Province of Huelva* London, The Institute for Archaeo-Metallurgical Studies (Metal in History, 1), 320 p.

Rovira S. (2011) – Contribution of the Analytical Work to the Knowledge of the Early Metallurgy in the Iberian Peninsula, in C. Giardino (dir.), *Archeometallurgia: dalla conoscenza alla fruizione*, atti del Workshop (Le Cavallino, Bari, 22-25 maggio 2006), Bari, Edipuglia (BACT, 8), p. 43-55.

Sarp H., Mari G., Rolland P. (1998) – Nouvelle contribution à l'inventaire minéralogique des indices de Roua (Daluis et Guillaumes, Alpes-Maritimes, France), *Riviéra Scientifique*, p. 29-36.

Schibler J., Breitenlechner E., Deschler-Erb S., Goldenberg G., Hanke K., Hiebel G., Plogmann H. H. (2011) – Miners and Mining in the Late Bronze Age: a Multidisciplinary Study from Austria, *Antiquity*, 85, 330, p. 1259-1278.

Shennan S. J. (1989) – The Excavation of an Early Bronze Age Settlement at St. Veit-Klinglberg, Land Salzburg, Austria: An Interim Report, *The Antiquaries Journal*, 69, 2, p. 205-224.

Steiniger D., Giardino C. (2013) – Prehistoric Mining in Central Italy: New Evidence from the Monti della Tolfa (Latium), *in* P. Anreiter, G. Goldenberg et K. Hanke (dir.), *Mining European History and its Impact on Environment and Human Societies*, proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT (Innsbruck, 12-15 November 2009), Innsbruck University Press (Conference series), p. 81-87.

Strahm C. (1998) – Les séquences socio-culturelles de la première métallurgie, *in* M.-C. Frère-Sautot (dir.), *Paléométallurgie des cuivres*, actes du Colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune (17-18 octobre 1997), Montagnac, Monique Mergoil (Monographies Instrumentum, 5), p. 151-153.

Timberlake S. (1990a) – Excavation and Fieldwork on Copa Hill, Cwmystwyth, 1989, *in Early Mining in the British Isles*, proceedings of the Early Mining workshop at Plas Tan

y Bwlch (Snowdonia National Park Study Centre, 17-19 November, 1989), Plas Tan y Bwlch, Peter & Susan Crew, p. 22-29.

Timberlake S. (1990b) – Excavations at Parys Mountain and Nantyreira, *in Early Mining in the British Isles*, , proceedings of the Early Mining workshop at Plas Tan y Bwlch (Snowdonia National Park Study Centre, 17-19 November, 1989), Plas Tan y Bwlch, Peter & Susan Crew, p. 15-21.

Timberlake S. (1992) – Prehistoric Copper Mining in Britain, *Cornish Archaeology*, 31, p. 15-34.

Timberlake S. (1996) – Tyn y Fron Mine, *Archaeology in Wales*, 36, p. 60-63.

Timberlake S. (2003) – Early Mining Research in Britain the Development of the Last Ten Years, *in* P. T. Craddock et J. Lang (dir.), *Mining and Metal Production Through the Ages*, Londres, British Museum, p. 21-42.

Timberlake S. (2008) – *Excavations of Early Mine Workings at Twll y Mwyn (Cwm Darren) and Erglodd, Ceredigion*, West Sussex, Crawley, p. 20-29.

Timberlake S. (2014) – Prehistoric Copper Extraction in Britain: Ecton Hill, Staffordshire, *Proceedings of the Prehistoric Society*, 80, p. 159-206.

Timberlake S., Prag A. J. N. W. (2005) – *The Archaeology of Alderley Edge: Survey, Excavation and Experiment in an Ancient Mining Landscape*, Oxford, BAR Publishing (BAR British Series, 396), 309 p.

Timberlake S., Craddock B. (2013) – Prehistoric Metal Mining in Britain: the Study of Cobble Stone Mining Tools Based on Artefact Study, Ethnography and Experimentation, *Chungara, Revista de Antropología Chilena*, 45, 1, p. 33-59.

Timberlake S., Marshall P. (2018) – Copper Mining and Smelting in the British Bronze Age: New Evidence of Mine Sites Including some Re-Analysis of Dates and Ore Sources, *in* E. Ben-Yosef (dir), *Mining for Ancient Copper: Essays in Memory of Beno Rothenberg*, University Park, Pennsylvania, Eisenbrauns (Sonia and Marco Nadler Institute of Archaeology, 37), p. 418-431.

Tropper P., Krismer M., Goldenberg G. (2017) – Recent and Ancient Copper Production in the Lower Inn Valley. An Overview of Prehistoric Mining and Primary Copper Metallurgy in the Brixlegg Mining Dirstrict, *Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft*, 163, p. 97-115.

Vidal R. (2012) – La minería metálica prehistórica en la península ibérica, *Lurralde : investigacion y espacio*, 35, p. 67-78.

Weisgerber G., Pernicka E. (1995) – Ore Mining in Prehistoric Europe: An Overview, *in* G. Morteani and J. P. Northover Prehistoric Gold in Europe: mines, metallurgy and manufacture, NATO advanced research workshop on prehistoric gold in Europe (Seeon, Germany, September 26 to October 1, 1993), Dordrecht ; Boston ; London, Kluwer Academic publ (NATO ASI series, Series E, Applied sciences, 280), p. 159-182.

Willies L., Weisgerber G. (2000) – The Use of Fire in Prehistoric and Ancient Mining: Firesetting, *Paléorient*, 26, 2, p. 131-149.

Zschocke C., Preuschen E. (1932) – *Das urzeitliche Bergbaugebiet von Miihlbach-Bischofshofen*, Wien, Anthropologische Gesellschaft in Wien (Materialien zur Urgeschichte Österreichs, Wiener Prähistorische Gesellschaft, 6), 287 p.

Céline Tomczyk
UMR 7041 ArScAn,
équipe Archéologies environnementales
MAE, 21 allée de l'Université
F-92023 Nanterre cedex
celine.tomczyk@univ-paris1.fr

Patrice Brun
UMR 7041 ArScAn, équipe TranSphères
MAE, 21 allée de l'Université
F-92023 Nanterre cedex
patrice.brun@univ-paris1.fr.

Christophe Petit
UMR 7041 ArScAn,
équipe Archéologies environnementales
MAE, 21 allée de l'Université
F-92023 Nanterre cedex
christophe.petit@univ-paris1.fr