



HAL
open science

Production de cuivre en Europe à l'âge du Bronze : première estimation à large échelle

Céline Tomczyk, Patrice Brun, Christophe Petit

► To cite this version:

Céline Tomczyk, Patrice Brun, Christophe Petit. Production de cuivre en Europe à l'âge du Bronze : première estimation à large échelle. Emmanuelle Meunier; Jean-Marc Fabre; Eneko Hiriart; Stéphane Mauné; Călin Tămaș. Mines et métallurgies anciennes. Mélanges en l'honneur de Béatrice Cauuet, Ausonius Éditions, pp.71-82, 2023, DAN@ 9, 978-2-35613-539-1. 10.46608/dana9.9782356135377.9 . halshs-04265043

HAL Id: halshs-04265043

<https://shs.hal.science/halshs-04265043>

Submitted on 31 Oct 2023

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

CÉLINE TOMCZYK, PATRICE BRUN, CHRISTOPHE PETIT

PRODUCTION DE CUIVRE EN EUROPE À L'ÂGE DU BRONZE : PREMIÈRE ESTIMATION À LARGE ÉCHELLE

INTRODUCTION

Si l'exploitation du cuivre débute au Néolithique, c'est à l'âge du Bronze que la demande en cuivre (constituant majeur du bronze avec l'étain) augmente significativement¹. La question de l'identification des zones de production de cuivre de la fin du Néolithique au début de l'âge du Bronze (période 2500 – 800 a.C.)² a ainsi été au cœur des problématiques archéologiques, tant cette ressource s'avère clé pour comprendre l'apparition des échanges à grande distance à l'échelle de l'Europe³.

À l'heure actuelle, une centaine de mines de cuivre datant de l'âge du Bronze a été découverte en Europe et publiée⁴. Ces mines ne représentent certainement qu'un échantillon des exploitations ayant été en activité⁵ : une dizaine de mines supplémentaires datées de cette période sont connues, mais encore peu documentées et une centaine d'autres exploitations a fourni des percuteurs en pierre, laissant supposer une possible exploitation au Néolithique et/ou à l'âge du Bronze.

La création d'une base de données recensant les exploitations datées permet de définir quatre grandes régions de production en Europe : les îles britanniques, la péninsule Ibérique, les Alpes de l'ouest et Chypre. La liste des 98 mines pour lesquelles des calculs ont été effectués et la bibliographie associée sont disponibles dans Tomczyk *et al.* 2020. Ces

données ont été complétées par des données issues des mines espagnoles du district de Baños de la Encina⁶ et de Solana del Bepo⁷, ainsi que des mines autrichiennes⁸ de Schönbiegler Bau, Sagzeche et Knappenkuchl Navis.

Plus des deux tiers des exploitations (70 %) ont été datés par radiocarbone (le reste par le mobilier présent). Il est alors possible de tracer la répartition chronologique des périodes d'exploitation (fig. 1).

Le nombre de mines de cuivre en exploitation est relativement stable tout au long de la période étudiée. Cependant, dénombrer les mines en lien avec l'exploitation d'un métal dans une région ne permet pas d'avoir un aperçu des volumes de production extraits. La taille des mines peut en effet varier comme en témoignent les volumes de vides laissés par l'extraction.

Néanmoins, juger de la capacité de production d'une mine uniquement en observant son volume de vides ne donne qu'une vague idée de l'importance de sa production pour deux principales raisons :

- ▶ une partie du volume de vides peut ne pas être liée à la présence de minerais, mais à un besoin d'accès à ce dernier ;
- ▶ pour un même volume de vides laissés, la quantité de cuivre obtenue peut être très variable selon la richesse de la minéralisation.

L'objectif de cette étude est donc de proposer un calcul de production applicable au corpus d'étude. Un travail à cette échelle nous est apparu important, car, à ce jour, moins d'une dizaine de mines ont fait l'objet d'une quantification de

1 Pare 2000.

2 Date choisie pour inclure le début de l'âge du Bronze dans les îles britanniques et la fin du Néolithique dans le reste de l'Europe de l'ouest.

3 Earle *et al.* 2015.

4 O'Brien 2015; Weisgerber & Pernicka, 1995.

5 Des comblements ou effondrements des structures ou encore des reprises minières postérieures ont pu faire disparaître des exploitations.

6 Arboledas Martínez 2007 p.395-404; Arboledas Martínez *et al.* 2015; Arboledas Martínez *et al.* 2014; Arboledas Martínez & Contreras Cortés 2012; Contreras Cortés *et al.* 2010.

7 Rafel *et al.* 2019; Montero Ruiz 2017.

8 Grutsch *et al.* 2019; Staudt *et al.* 2019.

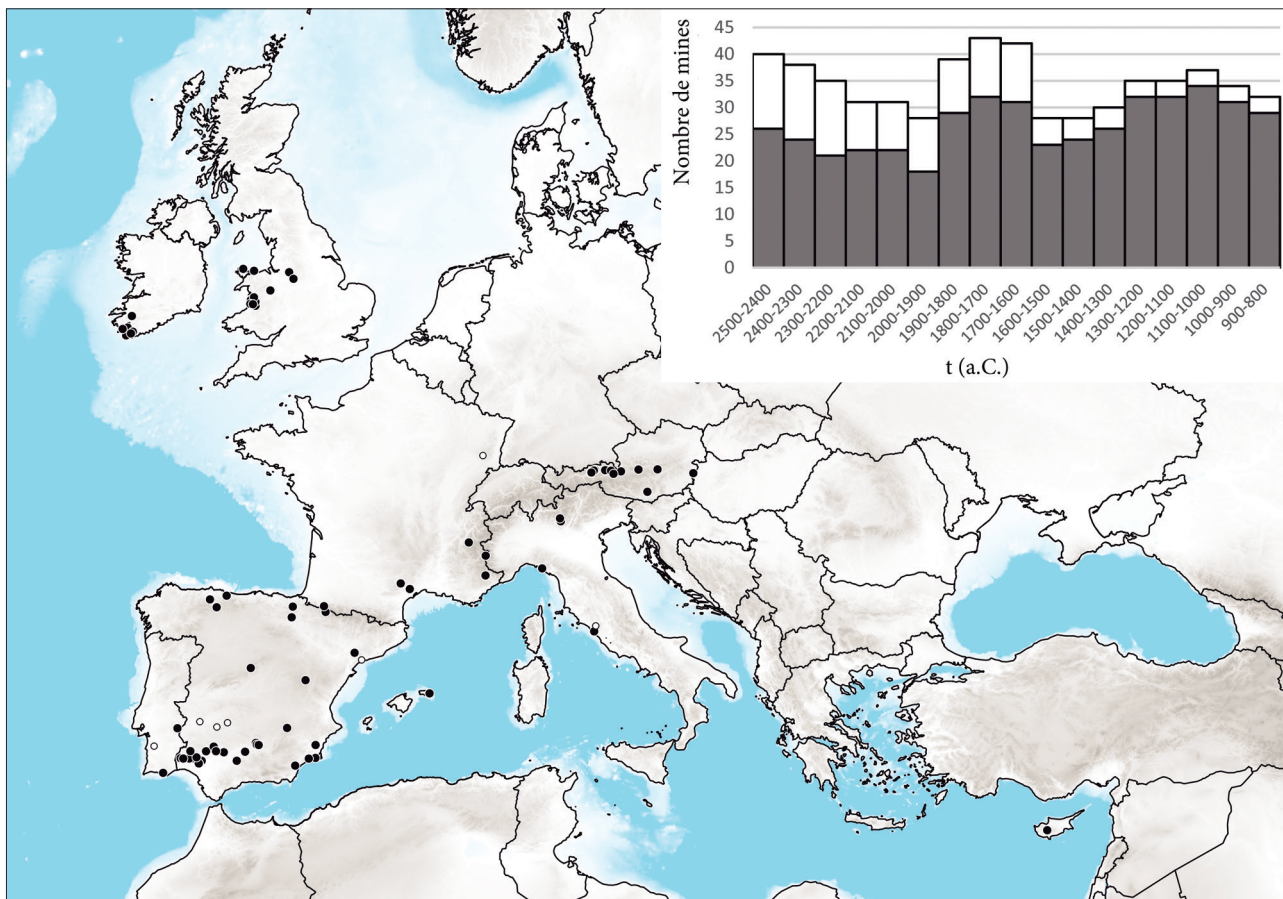


Fig. 1. Localisation et évolution du nombre de mines (en noir) considérées dans le cadre de cette étude et connues (en blanc) mais dont les données ne sont pas assez complètes pour permettre un calcul de production.

leur production et les travaux portant sur de grandes zones productrices sont plus rares encore pour la Protohistoire⁹.

De plus, bien qu'appuyées par des données de terrain, les estimations précédentes peuvent varier fortement pour une même mine selon les auteurs¹⁰, car les éléments pris en compte pour réaliser les calculs (volume du vide réel ou extrapolé, choix de la teneur moyenne) modifient grandement les estimations proposées, et ne sont pas toujours précisés dans les publications. Le même constat peut être appliqué aux estimations portant sur de grandes régions : Jackson propose une production de 1463 t de cuivre pour l'ensemble de l'Irlande

9 Pour le cuivre : dans le Tyrol autrichien (Pernicka *et al.* 2016) et dans les îles britanniques (Timberlake 2017; Jackson 1984) ou encore pour l'or à l'âge du Fer dans le Limousin (Cauuet *et al.* 2018).

10 La mine de Great Orme (pays de Galles) a fait l'objet de trois calculs de production (non détaillés dans les publications) présentant des résultats discordants allant de 35 t (Timberlake 2017), 30-175 t (Lewis 1996) à 1769 t (Randall 1995) produites. La production de la mine de Mount Gabriel (Irlande) a été estimée à 163 t (Jackson 1984) puis à 312 t (O'Brien 1994). Ces productions peuvent paraître faibles face à d'autres telles que celles de la mine de Saint-Véran (Alpes, France) estimée par Rostan *et al.* 2002 à 1400 t en seulement 200 ans.

pour le Bronze Ancien uniquement quand Timberlake estime la production à 24 t entre le Chalcolithique et le Bronze Final¹¹.

Or, ces travaux menés à une échelle régionale présentent un intérêt majeur : ils permettent de discuter de l'importance des métaux dans l'économie de secteurs donnés, mais aussi de comparer les capacités de production de différentes régions. Cependant, pour que ceci soit possible, il faut que les données de production soient comparables et donc issues d'un même mode de calcul.

Le but de cette étude est donc d'appliquer à l'ensemble des mines un même calcul de production se basant sur des sources bibliographiques dont il est possible de tirer :

- ▶ une estimation du volume extrait;
- ▶ le type de minerai de cuivre extrait;
- ▶ la teneur moyenne du gisement exploité.

Il n'est pas possible de proposer une estimation de la production lorsqu'une ou plusieurs des données citées ci-dessus est manquante. C'est malheureusement le cas pour Chypre : bien qu'il s'agisse d'un centre de production majeur

11 Jackson 1984; Timberlake 2017.

(en témoignent les nombreux lingots peau-de-bœuf retrouvés en Méditerranée et datés entre 1600 et 1200 a.C.¹²), trop peu de galeries protohistoriques y ont été découvertes pour proposer une estimation de sa production en utilisant les vestiges miniers. Cette zone de production ne sera donc pas prise en compte dans les estimations chiffrées présentées ici.

De plus, ces trois proxys permettent de déterminer la quantité de cuivre disponible dans l'exploitation. Cependant, afin d'obtenir une estimation du cuivre produit, il est nécessaire de prendre en compte :

- ▶ la chaîne opératoire de traitement du cuivre (minéralurgie et pyro-métallurgie).

Ce dernier facteur permet d'estimer l'écart entre la quantité de métal obtenu et la quantité de métal initialement contenu dans le minerai. Cependant, les processus sont encore mal connus et peu d'études permettent de définir les rendements des nombreux processus de pyro-métallurgie (variables selon les régions et les périodes chronologiques). Ainsi, cette étude ne présente que la quantité de métal théoriquement extractible dont on ne peut totalement assurer l'adéquation avec la production.

De plus, notre estimation n'ayant pas fait l'objet d'un travail de vérification de terrain, elle est nécessairement soumise à la qualité des données publiées. Ainsi, son objectif est de proposer une estimation homogène et une vision globale à l'échelle de l'Europe en analysant des données régionales comparables entre elles afin d'obtenir une estimation de production approximative pour chaque mine.

CALCUL DE LA PRODUCTION D'UNE EXPLOITATION

Si les manières de calculer d'anciennes productions minières peuvent varier, elles se basent néanmoins toutes sur la proportion du minerai (et par extension sur la proportion de stériles) dans les vides laissés.

Nous proposons un calcul pouvant se résumer par la formule suivante : quantité de cuivre = $V \times d \times t$ où V correspond au volume d'extraction en m^3 , d à la densité des minerais de cuivre présents et t à la teneur en cuivre du gisement. La quantité de cuivre ainsi obtenue divisée par la durée d'activité permet ensuite d'estimer une quantité de cuivre extractible par année.

Cependant, les données prises en compte présentent des incertitudes tant pour ce qui concerne le volume que la densité des minerais et la teneur en cuivre.

Calcul du volume des vides

La qualité des données de volumes récoltées dépend de plusieurs facteurs :

- ▶ l'état de conservation de la mine : des reprises minières postérieures, des effondrements et/ou comblements des structures peuvent avoir fait disparaître ou avoir rendu inaccessibles certaines portions des mines ;
- ▶ la difficulté d'identifier les zones minéralisées : il peut être complexe pour quelqu'un ne disposant pas de bonnes connaissances géologiques de faire la distinction entre les creusements nécessaires à l'accès au gisement et ceux correspondant à l'exploitation du gisement en lui-même. Il est parfois nécessaire d'abattre des portions stériles pour accéder au gisement, ce qu'une étude géologique détaillée de la mine permet de vérifier ;
- ▶ la précision des données publiées : elles varient selon qu'il s'agit de relevés 3D, de plans, de descriptions textuelles ou encore de simples photographies avec échelle.

L'estimation des volumes extraits correspondant à l'exploitation de zones minéralisées aura été la donnée la plus complexe que nous avons eu à recueillir et estimer. Seuls 56 % des mines prises en compte ont fait l'objet d'une estimation de volume et/ou en présentent une description publiée. Les 44 % qui restent présentent ainsi une incertitude très importante du volume extrait, pouvant atteindre ± 25 %, car les estimations ne s'appuient pas sur des données précises.

Minerais exploités et teneur en cuivre

Une fois le volume obtenu, il est nécessaire de déterminer la densité du minerai extrait ainsi que la teneur du gisement.

La densité du minerai peut être supposée en connaissant les minéraux de cuivre présents et le type de gangue. Cependant, les descriptions des assemblages minéralogiques sont en général peu précises dans les publications et seuls les minéraux de cuivre dominant sont toujours clairement identifiés dans les références utilisées.

La teneur du gisement est issue de travaux de géologues. Il n'est pas toujours possible de connaître la teneur en cuivre d'une mine précise. Dans ce cas de figure, des teneurs mesurées pour des gisements du même type et dans la même région ont été considérées. De plus, les teneurs calculées actuellement sont pensées avec des contraintes de mécanisation et portent sur des surfaces incluant des zones de roches. Ainsi,

12 Sabatini 2016.

si l'exploitation d'une veine de 15 cm de puissance demande nécessairement d'abattre de la roche pour que le mineur puisse progresser dans les galeries, ce volume est compris dans la teneur considérée.

Une marge d'erreur supplémentaire est cependant à prendre en compte, car la teneur en cuivre peut varier au sein d'une même minéralisation. Ceci est particulièrement marqué dans les zones qui présentent une forte altération supergène pouvant conduire à un enrichissement de surface important. Ainsi, à Chypre, la teneur moyenne en cuivre des gisements varie de 2 à 4,5 %, mais peut très localement atteindre 20 % dans les portions les plus riches des zones d'enrichissement supergène¹³.

Production théorique par tranche d'âge

Tout le cuivre potentiellement extrait d'une mine n'a pas nécessairement été récupéré. Des pertes se produisent au cours de l'extraction minière et du traitement minéralurgique (tri et concassage du minerai) et lors du processus pyrométallurgique (fonte des minerais pour obtenir du cuivre métal). Cependant, ces processus varient beaucoup selon les périodes et les régions et sont complexes à quantifier¹⁴. Nous avons donc choisi de ne pas prendre en compte ces pertes, qui auraient été évaluées arbitrairement.

Néanmoins, il est possible d'estimer un potentiel de production pour chaque mine¹⁵. La division du potentiel de production par le nombre d'années d'exploitation donne alors un potentiel de production par an¹⁶.

13 Constantinou 2007, 342.

14 Pour exemple, deux travaux menés sur le même type de minerais de cuivre et visant à étudier le même processus pyrométallurgique dans le Tyrol ont estimé une perte en cuivre allant de 13 % (Stöllner *et al.* 2011) à 25 % (Zschocke & Preuschen 1932).

15 En effet, les quantités calculées ne correspondent pas à une production réelle qui demanderait la prise en compte des pertes au cours de la chaîne opératoire.

16 Une simple division implique une production constante par an, depuis la mise en exploitation jusqu'à la fermeture de la mine. Une correction permettant d'obtenir des courbes de production en cloche a été appliquée. Faute de modèles ethnographiques, cette dernière s'inspire de courbes modernes.

RÉSULTATS

Pour toutes les raisons évoquées plus haut, la courbe de potentiel de production obtenue pour la période 2500-800 a.C. reste une première proposition, ne prenant en compte qu'un échantillon de mines ayant existé. Elle possède une marge d'erreur inhérente à l'état de conservation des mines, à la variation de l'enrichissement des gisements et à la précision des données publiées. De plus, une grande partie des productions calculées présentent une valeur très haute par rapport aux calculs précédemment publiés (**tab. 1**). L'intervalle de production proposé n'est donc pas à considérer comme des valeurs exactes.

| Zone/site | Estimation moyenne | Estimation(s) précédente(s) |
|------------------------|--------------------|--|
| Irlande | 129 t | 24 t (Timberlake, 2017) à 1 463 t (Jackson, 1984) |
| Grande Bretagne | 4 638 t | 51 t (Timberlake, 2017) à > 1 800 t (Randall 1995) |
| Est des Alpes | 25 181 t | 20 140 t (Pernicka <i>et al.</i> 2016) |
| Mine d'El Aramo (Esp.) | 886 t | 350 t (de Blas Cortina, 2014) |

Tableau 1. Exemple de comparaisons des productions de cuivre estimées et précédemment publiées. La difficulté de comparer ces estimations est liée au fait que les méthodologies, les valeurs de volumes et les teneurs prises en compte ne sont que rarement présentées dans ces publications et ne peuvent pas être recalculés. L'estimation de la production de l'Irlande reste très hypothétique du fait de la difficulté à trouver des informations de volume sur la mine de Ross Island, pour la mine d'El Aramo la seule donnée indiquée est le volume de vides mesuré (4670 m³).

Cependant, bien qu'imparfaite, cette courbe (qui ne prend pas en compte Chypre pour les raisons évoquées plus haut) apporte une vision plus précise des capacités de production que le simple comptage des exploitations (**fig. 2**).

Si le nombre de mines en activité reste relativement stable (histogrammes), la courbe de capacité de production proposée pour l'ensemble de l'Europe montre clairement une augmentation progressive du cuivre potentiellement disponible avec un maximum entre 1400 et 1200 a.C. Il semblerait ainsi qu'en Europe de l'ouest, la production de cuivre soit relativement faible de 2500 à 2000 a.C., puis augmente fortement entre 2000 a.C. et 1400 a.C. avant de finalement diminuer.

Cependant, cette observation à échelle européenne doit être nuancée; en effet, en analysant les productions régionales du sud de la péninsule Ibérique, de l'est des Alpes et du pays de Galles, on constate qu'elles sont asynchrones (**fig. 3**). Ainsi,

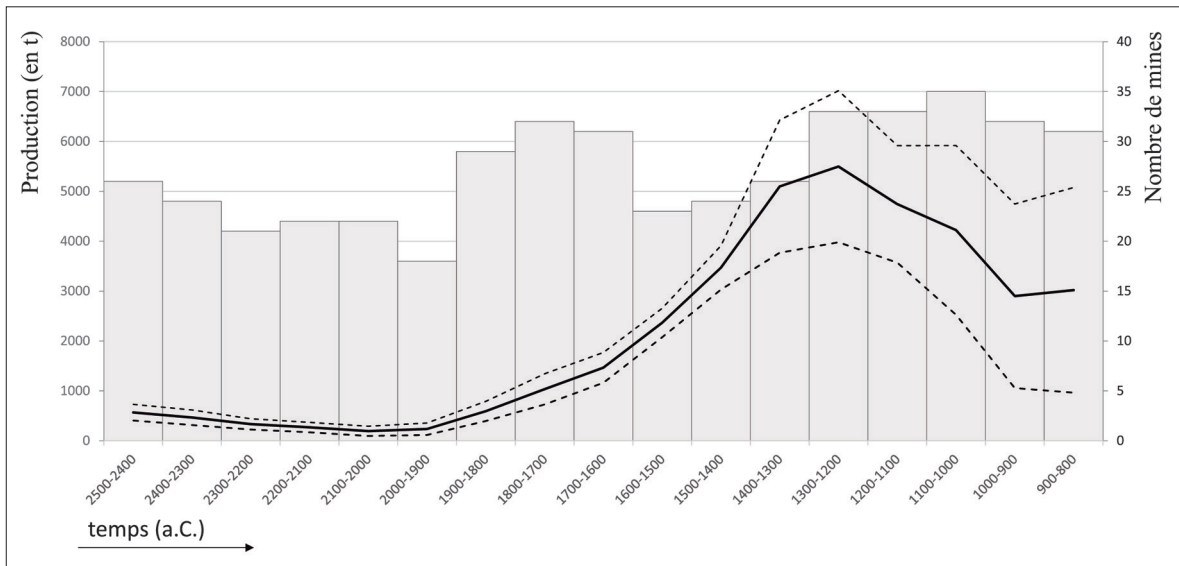


Fig. 2. Production totale estimée par tranche de 100ans pour l'Europe de l'ouest (Chypre exclue). Les productions minimales et maximales obtenues sont indiquées en pointillés, la moyenne est représentée par un trait plein.

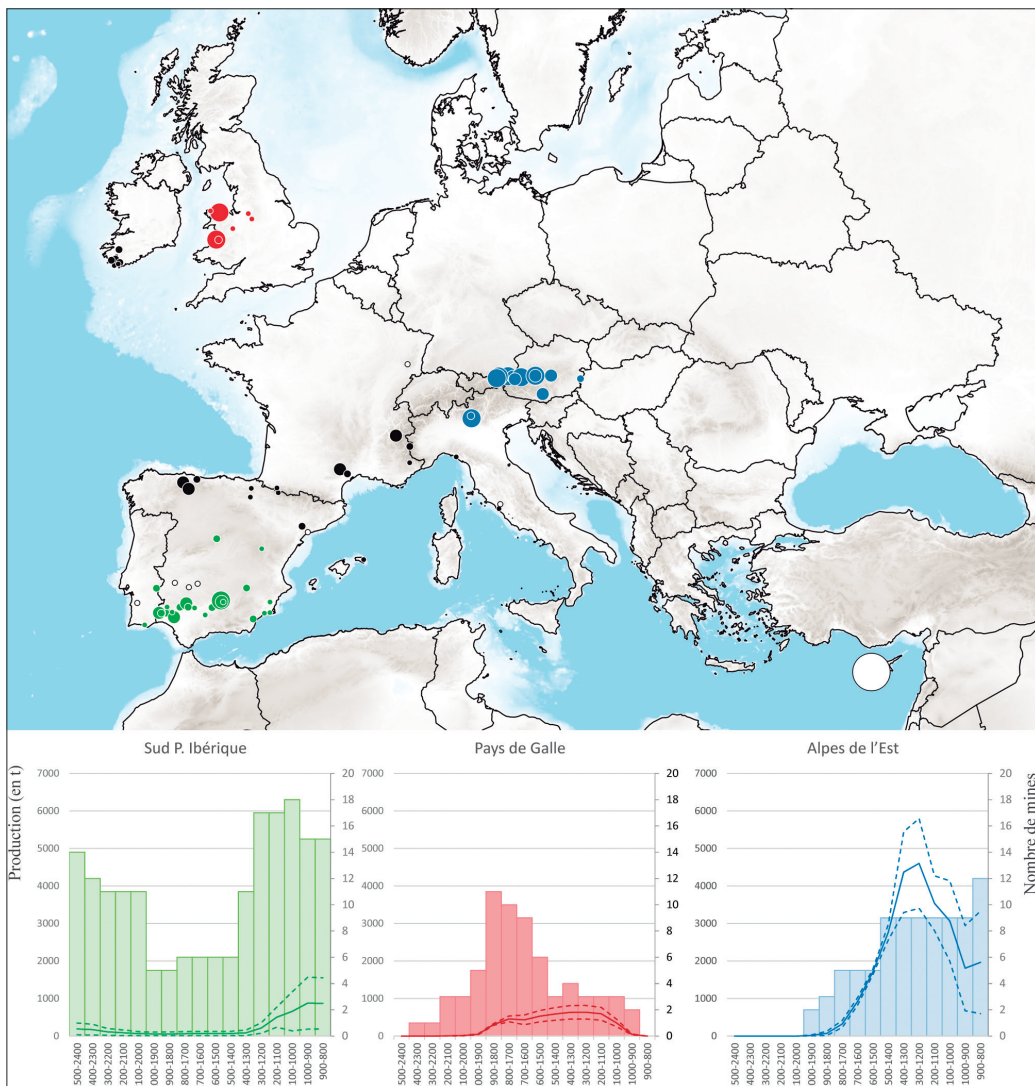


Fig. 3. Localisation (la taille des figurés est proportionnelle à la production totale des mines) et courbes de production pour les trois régions présentant la plus forte concentration de mines décrites : le sud de la péninsule Ibérique, le Pays de Galle et l'est des Alpes. L'écart entre les valeurs maximales et minimales (représentées en pointillés) obtenues est important. Il est dû à la présence de zones d'altération supergène dans le sud de la péninsule Ibérique et à la difficulté d'estimer les volumes de vides dans les Alpes.

la production chute dans l'est des Alpes et au pays de Galles à partir de 1200 a.C., mais augmente dans le sud de la péninsule Ibérique après 1300 a.C.

La productivité des mines (nombre de mines en exploitation vs quantité de cuivre produite) montre de grandes disparités régionales. Le sud de la péninsule Ibérique possède de nombreuses mines, la plupart se trouvant dans des zones d'altérations supergènes enrichies en cuivre, mais les mines y seraient "plus petites" et de capacité de production inférieure¹⁷ à celles de l'est des Alpes, dont les gisements sont pourtant moins riches et plus difficiles d'accès.

DISCUSSION

Les disparités de capacités de production par région pourraient traduire des stratégies d'exploitation différentes. Certaines régions semblent faire l'objet d'une exploitation intensive du cuivre, comme déjà supposé dans le cas des Alpes de l'est¹⁸. D'autres régions pourraient privilégier les gisements dont il est possible d'extraire d'autres métaux en plus du cuivre. Cela pourrait être le cas de la péninsule Ibérique où Macías¹⁹ constate que, dans la région de Rio Tinto, des gisements de cuivre sont abandonnés vers la fin de l'âge du Bronze à la faveur de l'exploitation de gisements polymétalliques (cas de la mine de Monte Romero présentant cuivre et argent). Pour le même volume extrait, la quantité de cuivre obtenue pourrait ainsi être moindre. Ces différences de productivité des mines peuvent faire penser à des différences de "stratégies d'exploitation" et à une organisation différente des productions. Une étude de spécialisation des tâches²⁰ pourrait constituer un complément intéressant à ce calcul de production.

À l'échelle européenne, la baisse de production qui semble se dessiner aux environs de 1200 a.C. pourrait être une répercussion des troubles de l'est de la Méditerranée à cette période. La crise de 1200 a.C. aurait en effet pu modifier les grands axes d'échanges et, par rebond, l'exploitation de certaines régions minières. De récents travaux²¹ montrent

que les réseaux d'échange à grande distance se mettant en place au Bronze Moyen paraissent complexes et pourraient être modifiés à la suite de cette crise. Chypre orienterait alors ses exportations vers le pourtour égéen, et non plus vers le Levant (ce dernier se fournirait alors dans les districts de Faynan et Timna)²². En Scandinavie, le cuivre semble provenir de plusieurs grandes régions exportatrices variant entre 1500 et 1100 a.C.²³ Nos estimations semblent faire état d'une baisse des productions de cuivre dans les Alpes de l'est et d'une augmentation des productions dans le sud de la péninsule Ibérique durant cette période, pouvant indirectement renforcer l'hypothèse d'un changement rapide de sources d'approvisionnement en métaux.

CONCLUSION

Même si elles présentent encore beaucoup d'incertitudes, les courbes de potentiel de production, obtenues via une même méthodologie de calcul, permettent d'apporter un regard inédit sur les productions de cuivre entre 2500 et 800 a.C. Si le potentiel de production total à l'échelle européenne semble rester stable entre 2500 et 2000 a.C., puis augmenter progressivement jusqu'à atteindre un pic vers 1300 a.C., cette dernière paraît chuter fortement vers 1200 a.C. La variation de ce potentiel à l'échelle de trois grandes régions productrices de cuivre pourrait indiquer une modification des grands axes d'échanges (cette chute s'observe dans les Alpes de l'Est mais n'a néanmoins pas lieu dans le sud de la péninsule Ibérique qui voit sa production de cuivre augmenter).

Enfin, à l'échelle des trois grandes régions productrices, les calculs soulignent un décalage des productions tant sur le plan de la chronologie que des quantités de cuivre disponible et de la capacité de production par mine. S'il est difficile de déterminer si, dans les régions où les reprises minières ont été nombreuses, les exploitations de volume important auraient pu disparaître, cette différence apparente de productivité permet de supposer des différences de "stratégies d'exploitation" et une organisation différente des productions.

17 Il est cependant possible que la forte reprise minière ait détruit certaines (grandes) mines.

18 Lutz & Pernicka 2013.

19 Macías 2015.

20 Brun 2015.

21 Appuyés en particulier par des études de provenance utilisant les isotopes du plomb.

22 Kassianidou 2015.

23 Ling *et al.* 2019.

ANNEXES

Données inhérentes aux minéraux de cuivre

| Minéral | Formule chimique | Cu wt% | Densité |
|---|---|---------|---------|
| Cuivre Natif | Cu | 100 % | 8,93 |
| Cuprite (cup) | Cu ₂ O | 88,8 % | 5,95 |
| Malachite (mal) | CuCO ₃ ·Cu(OH) ₂ | 57,3 % | 3,983 |
| Azurite (az) | Cu ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂ | 55 % | 3,8 |
| Chalcocite (cc) | Cu ₂ S | 79,85 % | 5,65 |
| Digénite (dg) | Cu ₉ S ₅ | 78,1 % | 5,628 |
| Chalcopyrite (cpy) | CuFeS ₂ | 34,5 % | 4,2 |
| Bornite (bn) | Cu ₅ FeS ₄ | 63,3 % | 5,07 |
| Brochantite (bh) | Cu ₄ SO ₄ (OH) ₆ | 56,2 % | 3,97 |
| Cuivres gris (fh) - Tétraédrite (td) | (Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃ | 34,8 % | 4,97 |
| Cuivres gris (fh) - Tennantite (td) | (Cu,Fe) ₁₂ As ₄ S ₁₃ | 47,5 % | 4,62 |

Tableau 2. Densités prises en compte pour les principaux minéraux de cuivre (la densité prise en compte correspond à l'ensemble de l'assemblage décrit dans les proportions publiées).

Comme précisé dans le texte, les teneurs en cuivre des gisements varient selon les régions : dans l'est des Alpes, les teneurs moyennes considérées sont de l'ordre de 4 à 5 % ; dans le Pays de Galle de 2 à 3,6 % ; dans le sud de la péninsule Ibérique les teneurs moyennes varient de 2 à 14 % du fait de la présence d'importantes zones d'altération supergène.

| Nom du site | Réf. | Pays | Méthode datation | Datation | Minéraux exploités | V (cal) | Précision volume | Production estimable t/an |
|-------------------------------|------|------|------------------|----------------|--------------------|---------|------------------|---------------------------|
| Baita Cludona di Fondo | 77 | IT | ¹⁴ C | 900-400 a.C. | Cpy | 3850 | Cor | 1,214 |
| Eiblschrofen (Pagan) | 80 | AT | mobilier | 2000-1600 a.C. | Fh | 195 | Cor | 0,109 |
| Kitzbühel-Kelchalm | 86 | AT | ¹⁴ C | 1410-1210 a.C. | cpy (fh) | 2000 | Dim | 1,564 |
| Kleinkogel | 82 | AT | mobilier | 1450-400 a.C. | Td | 321 | Exel | 0,053 |
| Knappenkuchl Navis | x | AT | ¹⁴ C | 1261-1016 a.C. | Td | 92,5 | Exel | 0,065 |
| Leogang-Viehhofen | 88 | AT | ¹⁴ C | 1445-1385 a.C. | Cpy | 300 | Dim | 0,773 |
| Mauk (Mauken) | 85 | AT | ¹⁴ C | 813-714 a.C. | Fh | 95,5 | Exel | 0,211 |
| Mitterberg (district entier) | 90 | AT | ¹⁴ C | 1800-900 a.C. | Cpy | x | Exel | 16,667 |
| Mooschrofen | 84 | AT | ¹⁴ C | 1058-665 a.C. | Td | 100 | Exel | 0,044 |
| Saalfelden-Becken | 89 | AT | ¹⁴ C | 1600-1150 a.C. | Cpy | 3000 | Cor | 1,043 |
| Sagzeche | x | AT | ¹⁴ C | 816-780 a.C. | Td | 200 | Exel | 0,956 |
| Schönbiegler Bau | x | AT | ¹⁴ C | 987-547 a.C. | Td | 49 | Exel | 0,019 |
| Schwaz-Brixlegg | 83 | AT | mobilier | 1200-700 a.C. | Td | 490 | Exel | 6,513 |
| Schwaz-Brixlegg - Blutskopf | 81 | AT | ¹⁴ C | 1450-400 a.C. | Td | 3920 | Cor | 4,984 |
| Schwaz-Brixlegg - Großkogel | 93 | AT | ¹⁴ C | 915-810 a.C. | Td | 300 | Dim | 1,709 |
| Silber di Campolungo | 78 | IT | ¹⁴ C | 900-400 a.C. | cpy (dg, mal, az) | 650 | Cor | 0,207 |
| St Veit / Sunnpau | 92 | AT | ¹⁴ C | 1850-1000 a.C. | td, cpy | 2550 | Mauv | 0,529 |
| St Veit im Pongau | 91 | AT | ¹⁴ C | 1200-1050 a.C. | cpy ± fh | x | Cor | 2,193 |
| St Veit im Pongau | 91 | AT | ¹⁴ C | 1500-1200 a.C. | cpy ± fh | x | Cor | 5,748 |
| St Veit im Pongau (Main lode) | 91 | AT | ¹⁴ C | 1940-1500 a.C. | cpy ± fh | x | Cor | 0,567 |
| Velem St. Vid | 94 | HU | ¹⁴ C | 1800-400 a.C. | Mal | 2000 | Dim | 0,216 |

Tableau 3. Détail des mines considérées, Alpes de l'est.

Détails des mines et volumes considérés dans le cadre de cette étude

Le terme réf correspond au numéro de référence dans Tomczyk *et al.* 2020 (permettant d'obtenir les principales références utilisées et la localisation de l'exploitation). Les références marquées d'un x correspondent aux données complémentaires citées dans l'introduction.

Les volumes utilisés ont été divisés en quatre catégories selon le niveau de précision :

- ▶ Excel (excellent) : présence de relevés topographiques précis, existence de modèles 3D ou estimations de tonnages de minerais extraits disponibles (le volume est alors défini par un x)
- ▶ Cor (correct) : volume déduit de schémas et/ou de textes descriptifs détaillés, identification assez claire des phases de reprises minières postérieures
- ▶ Dim (dimension) : une dimension (souvent la profondeur) est mal définie, les phases de reprises ne sont pas clairement identifiées
- ▶ Mauv (mauvais) : les mines ne sont caractérisées que par une photo ou un schéma très peu précis

Nous avons calculé les volumes dans les trois derniers niveaux de précision cités. Des données plus précises permettraient d'affiner la marge d'erreur du calcul de production.

| Nom du site | Réf. | Pays | Méthode datation | Datation | Minéraux exploités | V (calc) | Précision volume | Production estimable t/an |
|--------------------------|------|------|------------------|----------------|--------------------|----------|------------------|---------------------------|
| Alderley Edge | 43 | GB | ¹⁴ C | 2018-1528 a.C. | mal, az | x | Dim | 0,001 |
| Cwmystwyth - Copa Hill | 4 | GB | ¹⁴ C | 1880-940 a.C. | cpy, bn | 801 | Exel | 0,087 |
| Ecton Hill | 60 | GB | ¹⁴ C | 1880-1630 a.C. | mal | 100 | Mauv | 0,042 |
| Erglodd | 3 | GB | ¹⁴ C | 2340-2130 a.C. | Cpy | 10 | Dim | 0,004 |
| Great Orme | 59 | GB | ¹⁴ C | 1878-922 a.C. | cpy (mal) | 40000 | Exel | 4,015 |
| Llanymynech Ogof | 58 | GB | mobilier | 1350-1000 a.C. | cpy (az, mal) | 112,5 | Cor | 0,031 |
| Nantyrarian | 54 | GB | ¹⁴ C | 1940-1620 a.C. | mal ? | 320 | Dim | 0,010 |
| Nantyreira | 55 | GB | ¹⁴ C | 1890-1520 a.C. | mal (cpy) | 1080 | Dim | 0,097 |
| Ogof Wyddon (Park Lodge) | 57 | GB | ¹⁴ C | 1890-1630 a.C. | mal, cpy | 32 | Cor | 0,012 |
| Parys Mountain | 6 | GB | ¹⁴ C | 2140-1390 a.C. | Cpy | x | Cor | 0,004 |
| Twl y Mwyn | 53 | GB | ¹⁴ C | 1910-1700 a.C. | Cpy | 7000 | Mauv | 2,291 |
| Tyn y fron | 6 | GB | ¹⁴ C | 2135-1885 a.C. | Cpy | 360 | Mauv | 0,149 |

Tableau 4. Détail des mines considérées, Pays de Galle.

| Nom du site | Réf. | Pays | Méthode datation | Datation | Minéraux exploités | V (calc) | Précision volume | Production estimable t/an |
|------------------------------------|------|------|------------------|----------------|----------------------|----------|------------------|---------------------------|
| Almadenes de Bembézar | 67 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | mal, az | 16 | Dim | 0,012 |
| Arroyo del Cuevo | 68 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | mal (cpy) | 228 | Dim | 0,145 |
| Aznalcollar | 19 | ES | mobilier | 3000-2000 a.C. | mal, az | 912 | Exel | 0,258 |
| Baños de la Encina - Doña Eva | x | ES | mobilier | 1250-500 a.C. | mal, az | 5000 | Cor | 0,068 |
| Baños de la Encina - El Polígono | x | ES | ¹⁴ C | 2196-2029 a.C. | mal, az | 20 | Exel | 1,882 |
| Baños de la Encina - J.M. Palacios | x | ES | ¹⁴ C | 894-389 a.C. | mal, az (cup) | 131 | Exel | 0,056 |
| Berrocal - Las Navas - la Caba | 64 | ES | mobilier | 1350-800 a.C. | mal, az | 41 | Exel | 0,021 |
| Cerro Minado | 24 | ES | ¹⁴ C | 2466-2347 a.C. | mal (cup, cpy, tn) | 150 | Cor | 0,398 |
| Chinflon - Chalco | 16 | ES | mobilier | 3000-2050 a.C. | mal (cpy) | 4 | Exel | 0,001 |
| Chinflon - LBA | 16 | ES | ¹⁴ C | 1138-892 a.C. | mal (cpy) | 157 | Exel | 0,183 |
| Consuelo (Filón Consuelo) | 26 | ES | mobilier | 3000-1000 a.C. | Mal | 28 | Dim | 0,007 |
| Corta de Tiberio de Sotiel C. | 61 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | mal, az | 150 | Mauv | 0,094 |
| Cueva del Monje | 15 | ES | mobilier | 2700-2000 a.C. | Mal | 6 | Exel | 0,002 |
| Cueva del Monje | 15 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | mal, az, cpy | 5 | Cor | 0,003 |
| El Chorrillo | 65 | ES | mobilier | 1250-300 a.C. | mal, az | 5100 | Exel | 1,753 |
| El Cobre-Cerro Hueco | 70 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | mal, az | 2400 | Cor | 1,261 |
| Faro - Mina da Cova dos Mouros | 13 | PT | mobilier | 2500-2000 a.C. | Mal | 30 | Dim | 0,019 |
| Faro - Moccissos | 13 | PT | ¹⁴ C | 3500-600 a.C. | mal (cu, cuivre nat) | 3200 | Mauv | 0,401 |
| Hondurillas | 63 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | mal, az (cpy) | 48 | Cor | 0,030 |
| Junta de Gila - Rio Corumbel | 12 | ES | mobilier | 2500-2050 a.C. | Mal | 103 | Exel | 0,086 |
| Junta de Gila - Rio Corumbel | 12 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | mal, bh | 520 | Exel | 0,392 |
| La Sierrecilla | 14 | ES | ¹⁴ C | 2834-2475 a.C. | mal, az | 1000 | Cor | 0,732 |
| Loma de la Tejería | 28 | ES | mobilier | 3000-1700 a.C. | mal, az | 3,92 | Exel | >0,001 |
| Los Arrayanes | 23 | ES | mobilier | 2500-2000 a.C. | mal, az, cpy | 9 | Dim | 0,006 |
| Los Paredones | 17 | ES | mobilier | 3000-2000 a.C. | mal, az (cpy) | 364 | Exel | 0,104 |
| Los Paredones | 17 | ES | mobilier | 1250-750 a.C. | cpy (mal, az) | 291 | Exel | 0,167 |
| Mansegoso | 71 | ES | mobilier | 1100-900 a.C. | Cpy | 180 | Cor | 0,208 |
| Mazarrón - Minas de Balsicas | 25 | ES | mobilier | 3000-1000 a.C. | mal (cpy) | 180 | Cor | 0,029 |
| Monte da Angerinha | 21 | ES | ¹⁴ C | 3000-2450 a.C. | mal, az (bh) | 15 | Mauv | 0,008 |
| Monte Romero | 62 | ES | ¹⁴ C | 1800-1200 a.C. | Cpy | 15 | Exel | 0,007 |
| Redondilla | 65 | ES | mobilier | 1350-800 a.C. | cpy (cv, mal) | 240 | Cor | 0,118 |
| San Enrique | 66 | ES | mobilier | 1000-500 a.C. | cpy, mal, az | 90 | Cor | 0,057 |
| Sierra de Orihuela mountains | 27 | ES | mobilier | 3000-1000 a.C. | mal, az | 50 | Mauv | 0,009 |
| Tharsis - Cabezo Juré (la Hueca) | 18 | ES | ¹⁴ C | 2873-2274 a.C. | mal, az, cup (cc) | 500 | Mauv | 0,478 |

Tableau 5. Détail des mines considérées, sud de la péninsule Ibérique.

| Nom du site | Réf. | Pays | Méthode datation | Datation | Minéraux exploités | V (calc) | Précision volume | Production estimable t/an |
|-------------------------------|------|------|------------------|----------------|----------------------------|----------|------------------|---------------------------|
| Arritzaga | 74 | ES | ¹⁴ C | 930-810 a.C. | cpy, mal, az | 3 | Exel | 0,003 |
| Arritzaga | 74 | ES | ¹⁴ C | 1600-1400 a.C. | cpy, mal, az | 3 | Exel | 0,002 |
| Ballyrisode | 50 | IE | ¹⁴ C | 1853-1619 a.C. | Mal | 13328 | Exel | 0,034 |
| District de Bouco-Payrol | 31 | FR | ¹⁴ C | 2480-2450 a.C. | fh (mal, az) | 200 | Mauv | 1,211 |
| Boulysallagh (Dane's Lode) | 49 | IE | ¹⁴ C | 1883-1691 a.C. | cc, bn | 106 | Exel | 0,051 |
| Cabrières - Neuf Bouches | 32 | FR | ¹⁴ C | 2630-1470 a.C. | Fh | 400 | Cor | 0,052 |
| Cabrières - Pioch Farrus | 32 | FR | ¹⁴ C | 2480-2130 a.C. | Td | 90 | Cor | 0,039 |
| Callaros Oughter | 48 | IE | ¹⁴ C | 1879-1531 a.C. | cc, bn | 3 | Cor | >0,001 |
| Canshanavoe | 47 | IE | ¹⁴ C | 1599-1431 a.C. | Mal | x | Mauv | 0,105 |
| Carrigacat | 2 | IE | ¹⁴ C | 2009-1693 a.C. | Mal | 17 | Exel | 0,005 |
| Clue de Roua | 35 | FR | mobilier | 3200-2200 a.C. | cuivre natif, mal | 7 | Cor | 0,002 |
| Crumpane | 46 | IE | ¹⁴ C | 1739-1431 a.C. | mal, az | 200 | Mauv | 0,062 |
| Derrycarhoon | 52 | IE | ¹⁴ C | 1114-921 a.C. | Mal | 165 | Exel | 0,082 |
| El Aramo | 9 | ES | ¹⁴ C | 2875-2035 a.C. | mal, az (cup) | 4670 | Cor | 1,056 |
| El Milagro | 8 | ES | ¹⁴ C | 2700-1600 a.C. | mal, az (cc, fh, cpy) | 400 | Cor | 0,069 |
| La Profunda in León | 10 | ES | ¹⁴ C | 2860-2200 a.C. | mal, az (cpy, cc, fh, cup) | 3700 | Mauv | 0,920 |
| Les Rousses | 33 | FR | ¹⁴ C | 2186-1641 a.C. | cpy (fh) | 1600 | Cor | 0,577 |
| Minorque - Sa Mitja Lluna | 76 | ES | ¹⁴ C | 1876-1627 a.C. | mal, az (cpy) | 10 | Dim | 0,004 |
| Minorque - Sa Mitja Lluna | 76 | ES | ¹⁴ C | 1432-1214 a.C. | mal, az (cpy) | 10 | Dim | 0,005 |
| Monte Loreto | 37 | IT | ¹⁴ C | 3645-2340 a.C. | mal (cpy) | 170 | Exel | 0,020 |
| Monti della Tolfa | 75 | IT | ¹⁴ C | 1100-500 a.C. | mal, az (cpy, bn, tn) | 54 | Exel | 0,009 |
| Mount Gabriel | 51 | IE | ¹⁴ C | 1868-1438 a.C. | mal (az) | x | Cor | 0,041 |
| Ross Island | 1 | IE | ¹⁴ C | 2562-1752 a.C. | cpy, tn | 300 | Cor | 0,048 |
| Saint-Véran | 43 | FR | ¹⁴ C | 2350-1900 a.C. | Bn | 17500 | Dim | 0,8 |
| Saint-Véran - tr. des anciens | 43 | FR | ¹⁴ C | >1350 a.C. | bn (cuivre natif) | x | Exel | 0,267 |
| Solana del Bepo | x | ES | ¹⁴ C | 1931-1622 a.C. | Mal | 818,4 | Exel | 0,478 |
| Urbiola - Los Hombres Verdes | 79 | ES | mobilier | 1250-900 a.C. | mal, az | 105 | Dim | 0,030 |
| Vallée d'Aspe - Somport | 29 | FR | ¹⁴ C | 2580-2430 a.C. | Cpy | 15,68 | Cor | 0,010 |
| Vallée d'Aspe - Causiat | 30 | FR | ¹⁴ C | 2580-2340 a.C. | cpy, bn | 4 | Dim | 0,002 |

Tableau 6. Détail des mines considérées hors des trois grands ensembles précédemment cités.

BIBLIOGRAPHIE

- Arboledas Martínez, L., Alarcón, E., Contreras Cortés, F., Moreno Onorato, A., Padilla Fernández, 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", *Trab. Prehist.*, 72, 158-175. <https://doi.org/10.3989/tp.2015.12149>
- Arboledas Martínez, L. (2007) : *Minería y metalurgia romana en el alto Guadalquivir: aproximación desde las fuentes y el registro arqueológico*, Universidad de Granada.
- Arboledas Martínez, L., Contreras Cortés, F. (2012) : "La mina del Polígono o Contraminas (Baños de la Encina, Jaén). Evidencias de la explotación de mineral de cobre en la antigüedad", *Cuad. Prehist. Arqueol.* 20, 355-379. <https://doi.org/10.30827/cpag.v20i0.137>
- Arboledas Martínez, L., Contreras Cortés, F., Moreno Onorato, A. (2014) : "La explotación minera antigua en Sierra Morena oriental y su vinculación con el territorio", *Cuad. Prehist. Arqueol.*, 24, 111-145.
- Blas Cortina, M. Á. de (2014) : "El laboreo del cobre en la sierra del Áramo (Asturias) como referente cardinal de la minería prehistórica en la región cantábrica", *Cuad. Prehist. Arqueol. Univ. Granada*, 24, 45-84.
- Brun, P. (2015) : "Réflexion sur les degrés de spécialisation artisanale dans les sociétés de l'âge du Bronze", in : *Artisanats et productions à l'âge du Bronze : actes de la journée de la Société préhistorique française, Séances de la Société préhistorique française, Nantes*, 11-22.
- Cauuet, B., Tămaş, C. G., Boussicault, M., Muñoz, M. (2018) : "Quantités et contrôle de l'or produit à l'âge du fer en Gaule du Centre-Ouest", in : Rico, C., Orejas, A. éd. : *Los metales preciosos: de la extracción a la acuñación (Antigüedad - Edad Media)*, *Mélanges de la Casa Velázquez Nouv. Sér.*, 48 (1), 13-42.
- Constantinou, G. (2007) : "Contribution of the geology to the early exploitation of the cuprifera sulphide deposits of the Skouriotissa mining district", in: *Joan Du Plat Taylor's Excavations at the Late Bronze Age Mining Settlement at Apliki Karamallos, Cyprus, Studies in Mediterranean Archaeology, Sävedalen*, 337-345.
- Contreras Cortés, F., Moreno Onorato, A., Cámara Serrano, J. A. (2010) : "Los inicios de la minería. La explotación del mineral de cobre", in: Contreras Cortés, F., Dueñas Molina, J. ed. : *La Minería y La Metalurgia En El Alto Guadalquivir: Desde Sus Orígenes Hasta Nuestros Días*, Jaén, 43-121.
- Earle, T., Ling, J., Uhnér, C., Stos-Gale, Z., Melheim, L. (2015) : "The Political Economy and Metal Trade in Bronze Age Europe: Understanding Regional Variability in Terms of Comparative Advantages and Articulations", *Eur. J. Archaeol.*, 18, 633-657.
- Grutsch, C., Martinek, K.-P., Tropper, P., Lutz, J. (2019) : "Prospecting for copper - Mineralogical and first mining archaeological surveys in western North Tyrol, Austria", in: *Alpine Copper II: New Results and Perspectives on Prehistoric Copper Production*, VML Verlag Marie Leidorf, Rahden/Westfalen, 103-114.
- Jackson, J. (1984) : "The Age of Primitive Copper Mines on Mount Gabriel, West County Cork", *J. Ir. Archaeol.*, 2, 41-50.
- Kassianidou, V. (2015) : "Cypriot copper for the Iron Age world of the Eastern Mediterranean", in : *Mediterr. Archaeol., Structure, Measurement and Meaning: Insights into the Prehistory of Cyprus. Studies on Prehistoric Cyprus in Honour of David Frankel*, 143, 261-271.
- Lewis, A. (1996) : *Prehistoric Mining at the Great Orme: Criteria for the identification of early mining*, thèse de doctorat, university of Wales – Bangor.
- Ling, J., Hjärthner-Holdar, E., Grandin, L., Stos-Gale, Z., Kristiansen, K., Melheim, A.L., Artioli, G., Angelini, I., Krause, R., Canovaro, C. (2019) : "Moving metals IV: Swords, metal sources and trade networks in Bronze Age Europe", *J. Archaeol. Sci. Rep.*, 26, 101837.
- Lutz, J., Pernicka, E. (2013) : "Prehistoric copper from the Eastern Alps", *Open J. Archaeom.*, 1, 122-127.
- Macías, J.A.P. (2015) : "Los primeros mineros del Andévalo". *Aestuaría, Rev. Investig.*, 12, 33-57.
- Montero Ruiz, I. (2017) : "La Solana del Bepo from an archaeometallurgical perspective", in: *A prehistoric copper mine in the North-East of the Iberian Peninsula: Solana del Bepo (Ulldemolins, Tarragona)*, Edicions i Publicacions de la Universitat de Lleida, Lleida, 67-79.
- O'Brien, W. (1994) : *Mount Gabriel: Bronze Age mining in Ireland*, Galway University Press, Galway.
- O'Brien, W. (2015) : *Prehistoric Copper Mining in Europe 5500-500 BC*, Oxford University Press.
- Pare, C. (2000) : "Bronze and the Bronze Age", in: *Metals Make The World Go Round. The Supply and Circulation of Metals in Bronze Age Europe*, Oxford, 1-38.
- Pernicka, E., Lutz, J., Stöllner, T. (2016) : *Bronze Age Copper Produced at Mitterberg, Austria, and its Distribution*, *Archaeol. Austriaca*, 100, 19-55.
- Rafel, N., Hunt Ortiz, M., Montero Ruiz, I., Soriano, I., Delgado-Raack, S., Marín, D. (2019) : *New Bronze Age absolute datings for Solana del Bepo copper mine (Ulldemolins,*

- Tarragona Province, Spain), *Archéologie et archéométrie méditerranéenne*, 19, 9-24.
- Rafel, N., Montero Ruiz, I., Soriano, I., Delgado-Raack, S. (2016) : "L'activité minière préhistorique dans le Nord-Est de la péninsule Ibérique - Étude sur la Coveta de l'Heura et l'exploitation du cuivre à la Solana del Bepo (Tarragone, Espagne)", *Bull. Société Préhistorique Fr.*, 113, 95-129.
- Randall, M. (1995) : *Estimates of Bronze Age Copper Production at Great Orme*, mémoire de Master, université de Londres.
- Sabatini, S. (2016) : "Revisiting Late Bronze Age oxhide ingots: meanings, questions and perspectives", in : Aslaksen, O. C. ed. : *Local and Global Perspectives on Mobility in the Eastern Mediterranean*, Athènes, 15-62.
- Staudt, M., Goldenberg, G., Scherer-Windisch, M., Nicolussi, K. (2019) : "Late Bronze Age/Early Iron Age fahlore mining in the Lower Inn Valley (North Tyrol, Austria)", in : *Alpine Copper II: New Results and Perspectives on Prehistoric Copper Production*, VML Verlag Marie Leidorf, Rahden/Westfalen, 115-142.
- Stöllner, T., Hanning, E., Hornschuch, A. (2011) : "Ökonometrie des Kupferproduktionsprozesses am Mitterberger Hauptgang", in : *Die Geschichte Des Bergbaus in Tirol Und Seinen Angrenzenden Gebieten. 5th Milestone-Meeting des SFB-HiMAT, Mühlbach*, 115-128.
- Timberlake, S. (2017) : "New ideas on the exploitation of copper, tin, gold, and lead ores in Bronze Age Britain: The mining, smelting, and movement of metal", *Mater. Manuf. Process.*, 32, 709-727.
- Tomczyk, C., Brun, P., Petit, C. (2020) : "Maîtrise des techniques minières durant le Néolithique et l'âge du Bronze un facteur d'exploitation des mines de cuivre?", in : *La Spécialisation Des Productions et Les Spécialistes*, Séances de la Société préhistorique française, Paris, 225-240.
- Weisgerber, G., Pernicka, E. (1995) : "Ore Mining in Prehistoric Europe: An Overview", in: *Prehistoric Gold in Europe*, NATO ASI Series, Springer, Dordrecht, 159-182. https://doi.org/10.1007/978-94-015-1292-3_12
- Zschocke, C., Preuschen, E. (1932) : *Das urzeitliche Bergbaugesamt von Mühlbach-Bischofshofen. Materialien zur Urgeschichte Österreichs*, Anthropologische Gesellschaft in Wien, Vienne.

Céline Tomczyk
ArScAn UMR7041, Nanterre

Patrice Brun
ArScAn UMR7041, Nanterre

Christophe Petit
ArScAn UMR7041, Nanterre

Retrouvez la version en ligne gratuite
et ses contenus additionnels



