



HAL
open science

L'étain “ des cours d'eau ” : une ressource non négligeable à l'âge du Bronze ?

Céline Tomczyk

► **To cite this version:**

Céline Tomczyk. L'étain “ des cours d'eau ” : une ressource non négligeable à l'âge du Bronze ?. Le passé au fil de l'eau, 2024, 979-10-351-1008-6. halshs-04535367

HAL Id: halshs-04535367

<https://shs.hal.science/halshs-04535367>

Submitted on 6 Apr 2024

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.



Sarah Georgel-Debedde, Camille Hut, Valentine Martin et Stèlio Poli (dir.)

Le passé au fil de l'eau L'eau et ses enjeux dans les sociétés anciennes

Éditions de la Sorbonne

L'étain « des cours d'eau »

Une ressource non négligeable à l'âge du Bronze ?

“Tin From Rivers”: A Significant Resource in the Bronze Age?

Céline Tomczyk

DOI : 10.4000/books.pSORBONNE.115667

Éditeur : Éditions de la Sorbonne

Lieu d'édition : Paris

Année d'édition : 2024

Date de mise en ligne : 2 avril 2024

Collection : Archéo.doct

EAN électronique : 979-10-351-1008-6



<http://books.openedition.org>

Ce document vous est offert par Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne



Référence électronique

TOMCZYK, Céline. *L'étain « des cours d'eau » : Une ressource non négligeable à l'âge du Bronze ?* In : *Le passé au fil de l'eau : L'eau et ses enjeux dans les sociétés anciennes* [en ligne]. Paris : Éditions de la Sorbonne, 2024 (généré le 05 avril 2024). Disponible sur Internet : <<https://books.openedition.org/psorbonne/115667>>. ISBN : 979-10-351-1008-6. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.pSORBONNE.115667>.

Ce document a été généré automatiquement le 4 avril 2024.



Le texte seul est utilisable sous licence CC BY-NC-ND 4.0. Les autres éléments (illustrations, fichiers annexes importés) sont « Tous droits réservés », sauf mention contraire.

L'étain « des cours d'eau »

Une ressource non négligeable à l'âge du Bronze ?

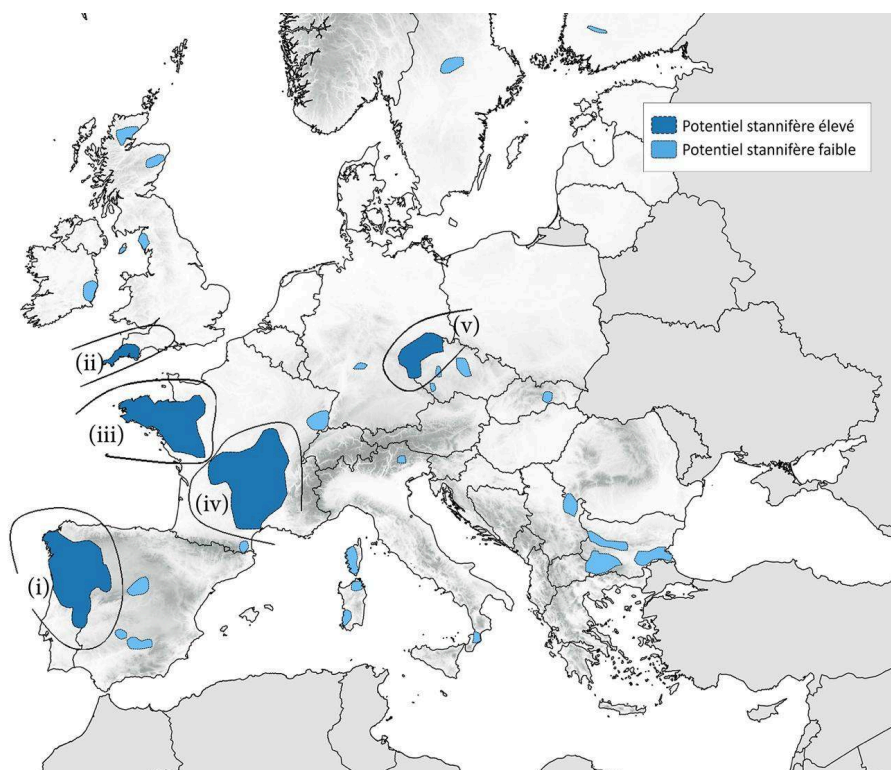
“Tin From Rivers”: A Significant Resource in the Bronze Age?

Céline Tomczyk

L'auteure remercie la Fondation des Treilles, créée par Anne Gruner Schlumberger, pour le soutien financier accordé à ses recherches au travers du Prix jeune chercheur.

- 1 L'étain est l'un des très rares métaux (et le seul exploité aux périodes anciennes) qui se concentre dans des magmas pauvres en soufre et riches en oxygène : les magmas de type granitiques (Cassard *et al.*, 2015). Les roches riches en étain sont donc en très grande majorité des granites d'âge tardi-hercyniens (Matte, 1991 ; Williamson *et al.*, 1996 ; Franke *et al.*, 2005) dont la répartition en Europe est connue (fig. 1). Ainsi, les cartes produites à ce jour visant à indiquer les régions productrices et exportatrices d'étain à l'âge du Bronze se limitent à la simple indication des principales zones où affleurent ces granites (Muhly, 1985 ; Penhallurick, 1986 ; Nielsen, 2016).

Fig. 1 : Potentiel stannifère et grands domaines stannifères en Europe de l'Ouest



(i) ensemble Galice-Portugal, (ii) Cornouailles, (iii) Bretagne, (iv) nord du Massif central et (v) ouest de la Bohême (monts Métallifères). Outre ces districts majeurs, des anomalies plus dispersées et peu enrichies sont recensées dans d'autres massifs hercyniens tels que les Vosges, la Forêt Noire, les Pyrénées, la Corse, la Sardaigne et les Rhodopes.

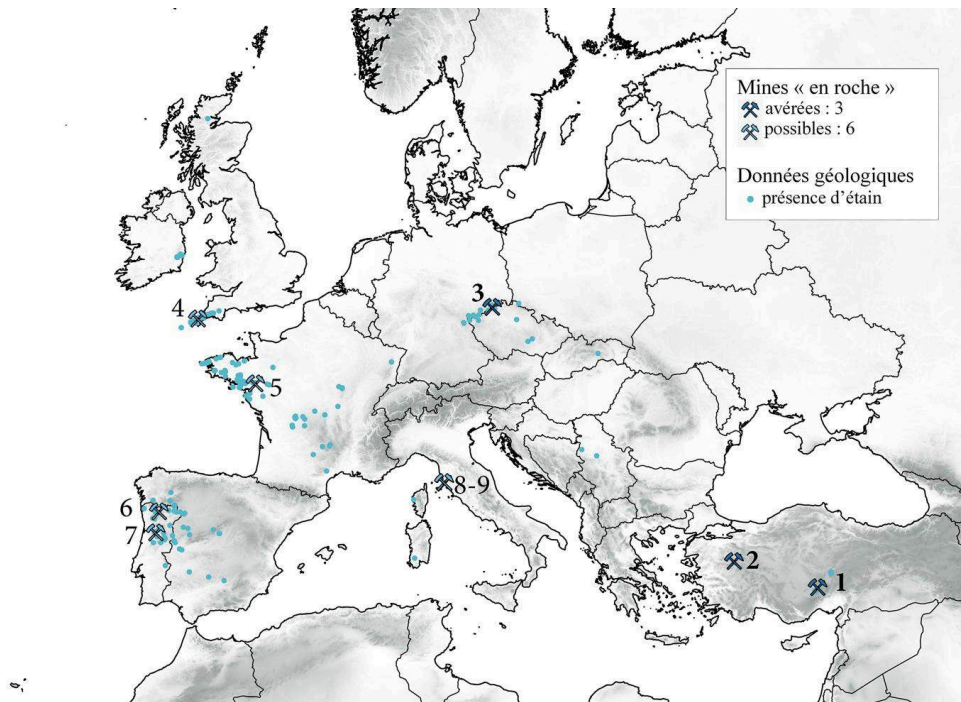
Modifié d'après Cassard *et al.* (2015) p. 23. Cartographie C. Tomczyk.

- 2 Le minéral d'étain le plus courant cristallisant dans ces granites stannifères est la cassitérite (SnO_2), qui semble être le seul minéral d'étain exploitable au cours de la Préhistoire (Berger *et al.*, 2019a)¹. De l'étain est ainsi présent dans des roches dures. Cependant on ne peut exclure une exploitation de l'étain en alluvions puisque les grains de cassitérite se concentrent également dans les rivières.
- 3 L'étain est ainsi généralement décrit par les archéologues comme une ressource exploitée préférentiellement et quasi exclusivement sous sa forme alluvionnaire, car cette dernière serait plus accessible aux mineurs protohistoriques (Niederschlag *et al.*, 2003 ; Haustein *et al.*, 2010 ; Kienlin, 2013 ; Svizzera et Tisdell, 2018). Néanmoins, cette hypothèse n'a jamais été clairement mise à l'épreuve. Cette étude propose donc de la tester. Les gisements d'étain sont-ils vraiment si complexes à exploiter en roche ? Est-il aisé d'exploiter l'étain alluvionnaire pour un mineur de l'âge du Bronze ? Y a-t-il plus d'exploitations d'étain alluvionnaire connues que de mines en roche à l'âge du Bronze ?

L'étain extrait en roche : de rares exploitations avérées dans des granites altérés

- 4 Très peu de mines d'étain primaires (en roche) ont été découvertes à ce jour, en Europe de l'Ouest (fig. 2).

Fig. 2 : Mines d'étain en roche connues et supposées pour l'âge du Bronze



1 Kestel, 2 Kültepe, 3 Schellerhau, 4 Wheal Coates, 5 Abbaretz-Nozay, 6 Carvalhelhos, 7 Tuela, 8-9 : Monte Valerio et Monte Rombolo. Une dixième mine aurait pu être ajoutée à cette compilation : la mine de São Martinho de Orens (Portugal) où une dague datée du Bronze Final a été trouvée dans le comblement d'un puits d'extraction lors de l'exploitation de cette dernière pendant la Seconde Guerre mondiale (Comendador Rey et al., 2017). Les données géologiques sont issues de la base de données ProMine.

Cartographie C. Tomczyk.

- 5 Seules trois mines ont été fouillées et six autres indiquent potentiellement une exploitation en roche. Ces dernières ont cependant fait l'objet de reprises minières, notamment dans les années 1930 à 1960. Les vestiges de l'âge du Bronze ont alors été détruits, ne permettant pas leur étude détaillée.
- 6 Les trois mines les plus étudiées présentent toutes un point commun : le granite est très altéré (il forme une roche que l'on nomme alors greisen) :
 - dans les monts Métallifères (frontière germano-tchèque), les études menées sur le site de Schellerhau montrent que seul le greisen est exploité à l'âge du Bronze et que l'exploitation s'arrête au contact du granite sain (Tolksdorf *et al.*, 2020) ;
 - le site de Kestel et son atelier Göltepe dans les monts Taurus (Turquie) sont associés à un granite extrêmement altéré (Powell *et al.*, 2021 ; Yener, 2021) ;
 - toujours en Anatolie, la mine de Kültepe exploite des fissures très fragilisées par l'altération (Yener *et al.*, 2015 ; Yazgan, 2015).
- 7 De la même manière, si les exploitations supposées n'ont livré que des informations limitées, il semblerait que toutes soient reliées à la présence de zones altérées :
 - à Wheal Coates dans les Cornouailles, où des scories et outils miniers ont été découverts, les granites sont altérés (Budd et Gale, 1994) ;
 - la datation de l'exploitation des mines de Monte Valerio - Monte Rombolo (Campigliese) est complexe du fait de l'importance de l'activité minière à la période romaine mais là encore, les études géologiques récentes y soulignent une altération importante (Pampaloni, 2017) ;

- l'exploitation de l'étain à Abbaretz-Nozay (Bretagne) ne repose que sur une découverte douteuse² mais la présence de zones altérées (greisen) (Chauris, 2011) et de filons dans des schistes friables (Champaud, 1957) y sont décrits ;
 - les possibles mines de Tuela (Comendador Rey et al., 2017) et de la région de Carvalhelhos (Figueiredo et al., 2018) au Portugal sont également associées à des granites altérés. Ces deux sites, caractérisés respectivement par la présence de broyeurs et de scories, pourraient cependant correspondre à des exploitations alluvionnaires.
- 8 Ainsi, les quelques mines en roche connues semblent en lien avec des granites stannifères très altérés qui ne demandent que peu d'effort minier. Au contraire, l'exploitation d'un granite sain, roche pour laquelle aucune exploitation pour l'étain n'est réellement attestée, nécessiterait un effort plus important.
- 9 Cependant, l'exploitation d'un granite peu altéré n'apparaît pas impossible pour des mineurs de l'âge du Bronze, comme en témoigne la présence d'abattage par le feu identifié dans la mine de Kestel en Turquie (Yener, 1997). Des brasiers allumés au contact de la roche permettaient alors de fragiliser cette dernière et donc de progresser dans des roches très résistantes. Toutefois, cette technique, très utilisée dans le cas des mines de cuivre (Tomczyk et al., 2020), semble peu courante dans les mines d'étain. Seules les mines de Karnab (Ouzbékistan) et de Mushiston (Tadjikistan) présentent également des traces de l'emploi de cette technique (Garner, 2015).
- 10 De plus, si les mines d'étain dans les granites apparaissent peu nombreuses compte tenu de l'importance de cette ressource, leur faible nombre pourrait s'expliquer par deux raisons. La première est la difficulté à retrouver les exploitations de granite altéré car les reprises minières successives gommement facilement les traces de surface, comme c'est le cas de la mine de Schellerhau en Allemagne (Tolksdorf et al., 2020). La seconde raison serait que l'étain proviendrait d'un autre type de source : une source alluvionnaire, piégée dans les cours d'eau.

L'exploitation alluvionnaire est-elle plus aisée et plus rentable que celle d'une mine d'étain en roche ?

Formation des gisements de placer

- 11 Si les techniques minières (abattage par le feu et percuteurs en pierre) permettent difficilement d'extraire les cassitérites des granites sains, l'altération chimique et l'érosion mécanique sont à ce titre très efficaces. La cassitérite libérée est très peu soluble et peut donc être transportée par l'eau de ruissellement. Cette dernière est ensuite intégrée dans le système hydrographique d'un fleuve ou d'une rivière ou rejoint directement la mer. Sa forte densité (6,8 à 7,1) permet ensuite à la cassitérite de se déposer sur le lit du cours d'eau dès lors que la vitesse du courant diminue. Ce type de gisement, nommé placer (ou paléo-placer si ce dernier n'est plus actif), se localise en aval des gîtes primaires. La cassitérite se concentre ainsi dans des placers alluviaux (Haustein et al., 2010 ; Lehmann, 2021). Ces gisements fournissent 80 % de l'étain actuellement produit dans le monde (Kamilli et al., 2017). Cependant, si les gisements primaires conduisent facilement à des placers, ces derniers sont-ils réellement si simples à détecter et à exploiter ?

Est-ce plus facile de récupérer l'étain des placers que de mines en roche ?

- 12 De couleur sombre (bien que pouvant prendre des teintes brunâtres), la cassitérite est supposée facile à détecter dans le lit des cours d'eau. Néanmoins, les zones où les cassitérites se concentrent sont très localisées. Délimiter les zones de placers riches en étain nécessite donc une bonne connaissance des réseaux hydrographiques et de leur fonctionnement.
- 13 Comme évoqué en introduction, il est fréquemment mentionné qu'il est aisé de récolter la cassitérite dans les cours d'eau. Cependant, isoler la cassitérite des autres sédiments demande de les séparer par gravité (notamment par des systèmes de type tables à secousse), et les méthodes permettant d'obtenir beaucoup d'étain nécessitent de modifier des cours d'eau. L'immense majorité des exploitations de placers découvertes à ce jour prennent la forme de larges chantiers alluvionnaires remobilisant de très grandes quantités d'alluvions³. Des exploitations sous la forme de ravines sont également connues au début de l'âge du Fer en Europe (Cauuet *et al.*, 2006). Le cours d'eau était alors détourné dans le but de perturber les sédiments fluviaux. La cassitérite ainsi remise en suspension était piégée par gravité dans la partie sommitale des ravines creusées dans le sens de la pente. Les particules plus légères se déposaient donc en contrebas des ravines.
- 14 Ainsi, si des ramassages de surface ne sont pas à exclure, collecter des quantités importantes d'étain alluvionnaire demande une maîtrise technique importante, très différente de celle des mines en roche (tab. 1).

Tableau 1 : Techniques minières et outils mis en œuvre selon le type d'exploitation

Type de mine		Alluvionnaire (placer)	Mines en roche (primaires)
Métal exploité		Étain et or uniquement	Tous métaux
Techniques minières	Détournement de cours d'eau	Oui	-
	Abattage par le feu	-	Éventuellement
	Boisage de soutènement	-	Éventuellement
	Système d'évacuation de l'eau	-	Éventuellement
	Éclairage	-	Éventuellement
	Système de ventilation	-	Éventuellement
Principaux outils et équipement	Bac de lavage	Oui	-
	Pelles	Oui	Oui

Marteaux	Éventuellement	Oui
Enclumes	Oui	Oui
Cordes (fibres, herbes)	-	Éventuellement
Lampes/torches	-	Éventuellement
Échelles	-	Éventuellement

Inspiré de De Jesus, 1980, p. 360.

- 15 Il est donc impossible d'affirmer que l'étain alluvionnaire était plus facile à extraire. Les outils mobilisés pour l'extraction en roche et en alluvionnaires étaient différents, tout comme les savoir-faire techniques nécessaires pour mener à bien chacune de ces extractions. De plus, les seules mines en roche connues sont associées à des granites altérés dont l'exploitation n'apparaît pas aussi complexe que pourrait l'être l'exploitation souterraine d'un filon dans une roche résistante.

Est-ce « plus rentable » d'exploiter les mines en alluvionnaire ?

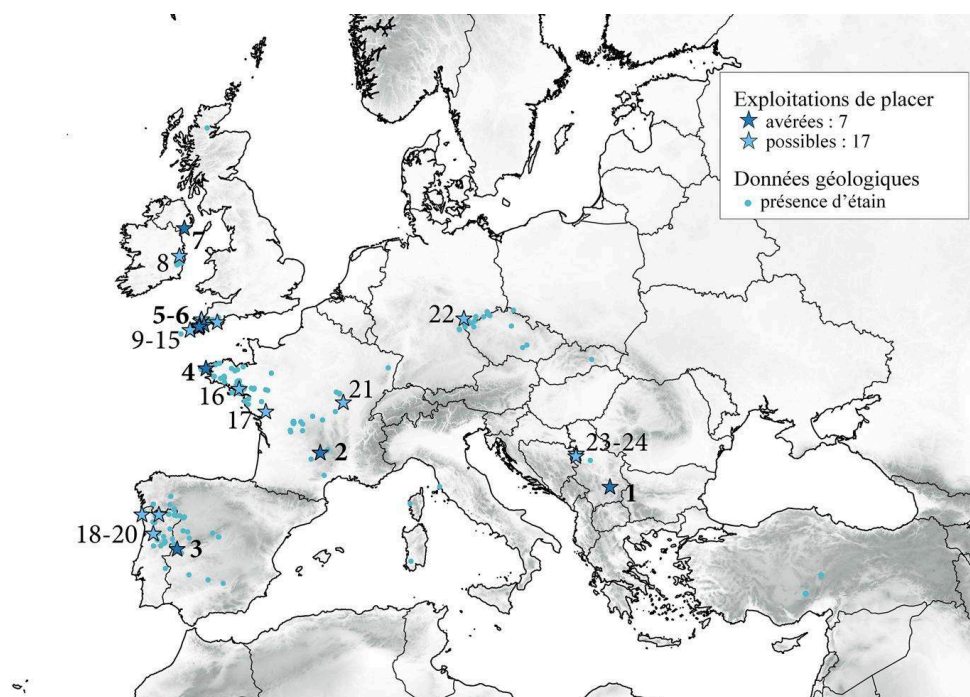
- 16 L'exploitation des placers (et paléo-placers) est également régulièrement citée comme présentant un second avantage notable : l'étain y est localement très concentré. Des teneurs en étain allant de 10 à 15 kg/m³ de sédiment ont ainsi été mesurées dans les cours d'eau d'Abbaretz-Nozay en Loire Atlantique (France) (Champaud, 1957) et les rejets protohistoriques de Saint-Renan (Finistère) contenaient jusqu'à 3 kg/m³ de cassitérite (Giot et Lulzac, 1998). Cependant, les fortes teneurs sont très localisées et peuvent diminuer drastiquement sur une faible distance (Abraham et Morasz, 1997).
- 17 Les deux travaux de quantification de productions minières soulignent une forte rentabilité. Des géologues ont estimé à Saint Renan (Bretagne) que le volume d'alluvions remués à l'âge du Bronze est de l'ordre de 4 000 à 5 000 m³ (Giot et Lulzac, 1998). Ce volume important pourrait avoir permis d'extraire environ 15 t de cassitérite (Lulzac, 2012). La teneur en étain de la mine de Kestel (Turquie) a été estimée à 1 % ce qui aurait permis d'extraire 115 tonnes d'étain des 4 600 m³ de la mine (Yener, 2009).
- 18 Ainsi, si l'on ne s'intéresse qu'au rendement des mines, pour un même volume en mètres cubes, les mines en roche peuvent être tout aussi productives, voire davantage, que les exploitations alluvionnaires⁴.
- 19 Demeure alors une dernière question : si les exploitations alluvionnaires et les mines en roches sont toutes deux exploitables par les mineurs de l'âge du Bronze et qu'elles permettent d'extraire des quantités importantes d'étain, un type d'extraction aurait-il été privilégié ?

Des exploitations alluvionnaires plus nombreuses que les mines en roche ?

Une identification complexe des exploitations d'étain issues de gisements de placers

- 20 Peu d'exploitations alluvionnaires ont été clairement identifiées et datées de l'âge du Bronze. La plupart d'entre elles correspondent à des chantiers alluvionnaires : Saint-Renan en Bretagne (Giot et Lulzac, 1998 ; Chauris, 2011), Montpeyroux et Le Faltre dans le Massif central (travaux de P. Abrahams ; Cauuet, 2013), Spasovine en Serbie (Pacífico *et al.*, 2022), El Cerro de San Cristobal au Portugal (Comendador Rey *et al.*, 2017), et enfin St Austell et Carnon⁵ dans les Cornouailles (Timberlake, 2017). À ces sites s'ajoutent des structures découvertes dans les montagnes de Mourne en Irlande qui, si elles n'ont fait l'objet que de prospections, semblent correspondre à une exploitation alluvionnaire (Warner *et al.*, 2010). Ainsi seules sept exploitations alluvionnaires ont été clairement identifiées et fouillées pour toute la durée de l'âge du Bronze (fig. 3).

Fig. 3 : Mines d'étain alluvionnaires connues et supposées pour l'âge du Bronze



1 Spasovine, 2 Montpeyroux et Le Faltre, 3 El Cerro de San Cristobal, 4 Saint-Renan, 5-6 : St Austell et Carnon, 7 Montagnes de Mourne, 8 Montagnes de Wicklow, 9-15 : Perran-ar-Worthal, vallée de la Lanherne, Truro, Tremough, rivière Erme, St Eval et Sennen, 16 Mor Braz, 17 Mervent, 18-20 : Folgadoura, Carvalhelhos et Baiões, 21 Autun, 22 vallée de l'Elster (monts Métallifères), 23-24 : Mont Cer et Cigankulja. Les données géologiques sont issues de la base de données ProMine.

Cartographie C. Tomczyk.

- 21 Plusieurs facteurs expliquent ce faible nombre de découvertes. Tout d'abord, les structures alluvionnaires sont facilement détruites par des phases de reprise d'exploitations postérieures. Par exemple, dans le Massif armoricain, des prospecteurs décrivent de nombreuses traces d'anciens travaux, aujourd'hui détruites et impossibles à dater (Le Carlier *et al.*, 2017). L'exploitation des alluvions de Mor Braz en Bretagne est

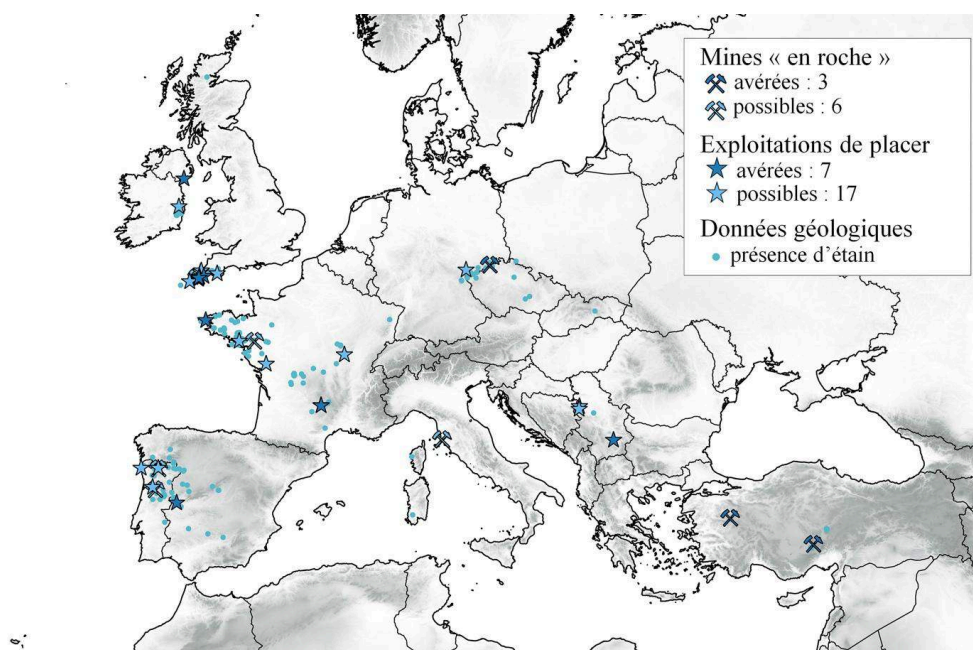
à ce titre quasi-certaine, mais les vestiges ne sont plus accessibles (Chauris, 2011) tout comme les traces repérées à Cigankulja en Serbie⁶.

- 22 Lorsqu'elles ne sont pas détruites, les exploitations de placers et paléo-placers sont difficiles à identifier car elles laissent des traces peu caractéristiques dans les paysages.
- 23 Néanmoins, on peut supposer la présence d'exploitations à proximité d'ateliers de minéralurgie et de métallurgie, destinés à la réduction de cassitérites. Ces deux étapes correspondent au lavage et concassage des minerais d'étain et à la fonte des minerais pour obtenir de l'étain sous forme de métal. Les découvertes réalisées sur le site du Faltra (Massif central) montreraient que ces étapes de la chaîne opératoire minière auraient lieu à proximité immédiate des sites d'extraction : des zones de réduction de la cassitérite y ont été découvertes à proximité immédiate d'aires de lavage du minerai, récolté sous forme alluvionnaire (Cauuet, 2013)⁷. Des outils d'extraction dans les alluvions, ou encore des broyeurs, ont également été retrouvés aux abords directs de placers dans les Cornouailles à Tremough (Jones *et al.*, 2016), Sennen (Carey *et al.*, 2019), et dans la vallée de la Lanherne (Todd, 2014, p. 109). Toujours dans les Cornouailles, de la cassitérite a été trouvée dans des habitats à St Eval (Timberlake, 2007).
- 24 De plus, si la métallurgie de l'étain produit peu de scories (Tizzoni, 1999 ; Timberlake, 2007) et ne permet pas de déterminer clairement l'origine des minerais fondus (gisements primaires ou placers), leur présence à proximité de gisements alluvionnaires laisse penser que ces derniers ont été exploités. C'est le cas des sites de Baiões au Portugal (Figueiredo *et al.*, 2010) et de Truro dans les Cornouailles (Carey *et al.*, 2019).
- 25 Enfin, la présence de fortifications et/ou des concentrations importantes d'habitations dans des zones de placers très riches en étain pourraient être le signe d'une exploitation de leurs gisements⁸.
- 26 Des occupations humaines proches de placers, associées à une activité métallurgique locale intense, ont ainsi été signalées dans les monts Métallifères et plus précisément dans la vallée de l'Elster (Allemagne) (Bouzek *et al.*, 1989). La présence d'habitations et de deux enceintes le long de canaux d'extraction laisse également supposer une exploitation à la fin de l'âge du Bronze à Autun (Saône-et-Loire) (Cauuet et Boussicault, 2015). Des enceintes fortifiées ont aussi été découvertes à Mervent en Vendée à proximité de possibles structures d'extraction (Nillesse et Watteaux, 2020).
- 27 Dans les Cornouailles, des habitats ont été repérés à proximité immédiate de placers aux abords de la rivière Erme (Timberlake, 2007). Le même cas de figure est à signaler à Mont Cer (Serbie) où les habitats sont concentrés autour des placers stannifères (Huska *et al.*, 2014). Enfin, des teneurs importantes en étain ont été mises au jour en Irlande dans les montagnes de Wicklow (Harding, 2000) et sont potentiellement associées à des occupations humaines.
- 28 Un dernier site mérite d'être évoqué : celui de Perran-ar-Worthal (Cornouailles) présentant des sépultures en lien direct avec des placers stannifères (Timberlake, 2007).

Des exploitations alluvionnaires potentiellement plus nombreuses que les mines en roche

- 29 Ce travail de recensement des exploitations connues (tous degrés de précision des informations inclus) dénombre 9 exploitations en roche pour 24 exploitations alluvionnaires (fig. 4). Ainsi, deux tiers des exploitations retrouvées correspondraient à des exploitations de placers. Si ce chiffre paraît significatif, il convient de souligner le très faible nombre de découvertes et la part très importante des exploitations mal documentées.

Fig. 4 : Ensemble des exploitations d'étain connues et supposées pour l'âge du Bronze



Les données géologiques sont issues de la base de données ProMine.

Cartographie C. Tomczyk.

- 30 Considérer la cassitérite alluvionnaire comme la source principale d'étain en Europe à l'âge du Bronze semble donc prématuré à ce stade de l'état de l'art. Les sites découverts sont trop peu nombreux et les arguments en faveur d'une exploitation alluvionnaire sont fragiles car il est complexe de comparer deux types d'extraction très différents, présentant tous deux des avantages et des inconvénients.
- 31 Il convient cependant de souligner que quasiment⁹ toutes les régions stannifères sont exploitées à l'âge du Bronze, ce qui témoigne de l'importance économique de cette ressource. Le complexe atlantique concentre à lui seul 22 des 33 exploitations d'étain connues et/ou supposées et pourrait correspondre à une zone de production d'étain importante.
- 32 Enfin, si dans le complexe atlantique et dans les monts Métallifères, des exploitations en roche et en alluvionnaire semblent avoir été pratiquées, il est probable que certaines régions exploitaient préférentiellement l'étain en roche (cas de l'Anatolie), quand d'autres (Serbie, Massif central) l'exploitaient plutôt sous forme alluvionnaire.

Toutefois, cette affirmation ne repose que sur peu de données et des découvertes futures pourraient amener à la remettre en cause.

Conclusion

- 33 L'étain peut être exploité sous deux formes : en gisements alluvionnaires ou en roche. À l'heure actuelle, les découvertes archéologiques témoignent du fait que ces types d'exploitations coexistent à l'âge du Bronze.
- 34 Les granites dans lesquels les minerais d'étain se forment sont difficiles à exploiter en roche mais les surfaces altérées de ces derniers constituent des gisements exploitables par les mineurs protohistoriques. Les exploitations alluvionnaires sont souvent détruites par les reprises minières et sont complexes à identifier dans les paysages, ce qui explique leur faible nombre et nécessite de prendre en compte des indices indirects de leur présence. Elles seraient cependant significativement plus nombreuses que les mines en roche, mais cette hypothèse ne s'appuie que sur un nombre restreint d'exploitations fouillées et beaucoup d'exploitations supposées.
- 35 De plus, il paraît prématuré à ce stade d'affirmer que les mines alluvionnaires étaient plus accessibles et aussi plus faciles à exploiter que les mines en roche. Leur exploitation demande l'identification des zones d'accumulation de cassitérite dans les cours d'eau, la maîtrise de la gravitation voire la modification de cours d'eau.
- 36 Il convient néanmoins de conclure cette étude par une note optimiste : l'évolution des technologies devrait permettre de brosser un portrait de plus en plus précis des zones de production d'étain à l'âge du Bronze. Le LiDAR aéroporté permet d'identifier d'éventuelles ravines et bassins de rétention liés à l'extraction de l'étain. Cette identification demeure cependant encore complexe (Nillesse et Watteaux, 2020). De plus, les isotopes de l'étain, en cours de développement (Berger *et al.*, 2019b), montrent déjà des résultats très prometteurs lorsqu'ils sont croisés avec d'autres analyses géochimiques (Berger *et al.*, 2019a), ou encore traités par statistiques multivariées (Mason *et al.*, 2020). Dans l'hypothèse où ils permettraient prochainement de déterminer l'origine de l'étain contenu dans les bronzes, de nouvelles zones minières et potentiellement de nouveaux sites d'exploitation en roche et/ou alluvionnaire pourraient être découverts.

BIBLIOGRAPHIE

Abraham Philippe, Morasz Jean-Gabriel, « Occurrence d'une métallurgie de l'étain en Viadène (nord Aveyron). Prospections archéologiques et recherche des gisements », *Pallas revue d'études antiques*, 46, 1997, p. 219-231. DOI : 10.3406/palla.1997.1444

Anthony John Williams *et al.*, *Handbook of Mineralogy*, Chantilly (É.-U.), Mineralogical Society of America, 2005. URL : handbookofmineralogy.org/

- Berger Daniel, Brüggmann Gerhard, Pernicka Ernst, « On Smelting Cassiterite in Geological and Archaeological Samples: Preparation and Implications for Provenance Studies on Metal Artefacts with Tin Isotopes », *Archaeological and Anthropological Sciences*, 11, 2019b, p. 293-319. DOI : 10.1007/s12520-017-0544-z
- Berger Daniel et al., « Isotope Systematics and Chemical Composition of Tin Ingots from Mochlos (Crete) and other Late Bronze Age sites in the Eastern Mediterranean Sea: An Ultimate Key to Tin Provenance? », *PLOS ONE*, 14, 2019a, p. 1-46. DOI : 10.1371/journal.pone.0218326
- Bouzek Jan, Koutecky Drahomír, Simon Klaus, « Tin and Prehistoric Mining in the Erzgebirge (Ore Mountains): Some New Evidence », *Oxford Journal of Archaeology*, 8, 1989, p. 203-212. DOI : 10.1111/j.1468-0092.1989.tb00200.x
- Budd Paul, Gale David, « Archaeological Survey of an Early Mineworking at Wheal Coates near St Agnes, Cornwall », *Cornish Archaeology*, 33, 1994, p. 14-21. URL : archaeologydataservice.ac.uk/library/browse/details.xhtml?recordId=3086838&recordType=Journal
- Carey Chris et al., « The Social Organisation of Metalworking in Southern England during the Beaker Period and Bronze Age: Absence of Evidence or Evidence of Absence? », *Internet Archaeology*, 52, 2019. DOI : 10.11141/ia.52.4
- Cassard Daniel et al., « ProMine Mineral Databases: New Tools to Assess Primary and Secondary Mineral Resources in Europe », dans Weihed Pär (dir.), *3D, 4D and Predictive Modelling of Major Mineral Belts in Europe*, Cham, Springer International Publishing, 2015, p. 9-58. DOI : 10.1007/978-3-319-17428-0_2
- Cauuet Béatrice, « Les ressources métallifères du Massif central à l'âge du Fer », dans S. Verger, L. Pernet (dir.), *Une Odyssée gauloise. Parures de femmes à l'origine des premiers échanges entre la Grèce et la Gaule*, Arles, Éditions Errance, 2013, p. 74-83. URL : archeomine.org/bcauuet/cauuet-lattes-2013.pdf
- Cauuet Béatrice, Boussicault Matthieu, « Apport du Lidar à l'étude des mines d'étain antiques en dépôts secondaires autour d'Autun (71) », *Bulletin archéologique d'Autun*, 2015, p. 31-33. URL : hal.archives-ouvertes.fr/halshs-02132369
- Cauuet Béatrice et al., « Les exploitations minières en pays éduen », *Dossiers d'Archéologie*, 316, 2006, p. 20-25. hal.archives-ouvertes.fr/hal-02873536
- Champaud Claude, « L'exploitation ancienne de cassitérite d'Abbaretz-Nozay (Loire-Inférieure). Contribution aux problèmes de l'étain antique », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest*, 64, 1957, p. 46-96. DOI : 10.3406/abpo.1957.2017
- Chauris Louis, « Aperçu sur les anciennes exploitations d'étain en Bretagne », *Bulletin de la Société géologique et minéralogique de Bretagne*, 2011, p. 103-115. URL : bretagne-environnement.fr/sites/default/files/7-Chauris.pdf
- Comendador Rey Beatriz et al., « Northwestern Iberian Tin Mining from Bronze Age to Modern Times: an Overview », dans P. Newman (dir.), *The Tinworking Landscape of Dartmoor in a European Context. Prehistory to 20th Century: Papers Presented at a Conference in Tavistock, Devon, 6-11 May 2016 to Celebrate the 25th Anniversary of the DTRG*, Devon, Dartmoor Tinworking Research Group, 2017, p. 133-153. URL : <https://hal.science/hal-02024038/document>
- De Jesus Prentiss, *The Development of Prehistoric Mining and Metallurgy in Anatolia*, thèse de doctorat dirigée par James Mellart, University of London, 1980, 1 vol. URL : discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1349186/

- Durman Aleksandar, « Tin in Southeastern Europe? », *Opvscvla archaeologica*, 21, 1997, p. 7-14.
URL : hrcak.srce.hr/5437
- Earl Brian, « Tin from the Bronze Age Smelting Viewpoint », *Journal of Historical Metallurgy Society*, 28, 1994, p. 117-120. URL : hmsjournal.org/index.php/home/article/view/465
- Figueiredo Elin. et al., « Smelting and Recycling Evidences from the Late Bronze Age Habitat Site of Baiões (Viseu, Portugal) », *Journal of Archaeological Science*, 37, 2010, p. 1623-1634. DOI : 10.1016/j.jas.2010.01.023
- Figueiredo Elin et al., « Ancient Tin Production: Slags from the Iron Age Carvalhelhos Hillfort (NW Iberian Peninsula) », *Journal of Archaeological Science*, 93, 2018, p. 1-16. DOI : 10.1016/j.jas.2018.02.007
- Franke Wolfgang, Matte Philippe, Tait Jennifer, « Europe: Variscan Orogeny », dans R. Selley, R. Cocks, I. Plimer (dir.), *Encyclopedia of Geology*, Oxford, Elsevier, 2005, p. 75-85. DOI : 10.1016/B0-12-369396-9/00441-X
- Gale Noel « 2 / Lead Isotope Studies - Sardinia and the Mediterranean Provenance Studies of Artefacts Found in Sardinia », dans F. Lo Schiavo, C. Atzeni (dir.), *Archaeometallurgy in Sardinia: From the Origins to the Beginning of the Early Iron Age*, Montagnac, Mergoïl, 2005, p. 29-34. URL : ora.ox.ac.uk/objects/uuid:fa859418-9d46-4663-af8e-78c841be4ced
- Garner Jennifer, « Bronze Age Tin Mines in Central Asia », dans A. Hauptmann, D. Modarressi-Tehrani (dir.), *Archaeometallurgy in Europe III. Proceedings of the 3rd International Conference*, Bochum, Deutsches Bergbau-Museum Bochum, 2015, p. 135-145. URL : academia.edu/12478380/
- Giot Pierre-Roland, Lulzac Yves, « Datation à l'Âge du bronze d'une exploitation de cassitérite dans le Finistère », *Bulletin de la Société préhistorique française*, 95, 1998, p. 598-601. DOI : 10.3406/bspf.1998.10893
- Hanks Bryan, Doonan Roger, « From Scale to Practice: A New Agenda for the Study of Early Metallurgy on the Eurasian Steppe », *Journal of World Prehistory*, 22, 2009, p. 329-356. DOI : 10.1007/s10963-009-9031-5
- Harding Anthony, *European Societies in the Bronze Age*, Cambridge, Cambridge University press, 2000.
- Haustein Mike, Gillis Carole, Pernicka Ernst, « Tin Isotopy—A New Method for Solving Old Questions », *Archaeometry*, 52, 2010, p. 816-832. DOI : 10.1111/j.1475-4754.2010.00515.x
- Huska Andrea et al., « Placer Tin Ores from Mt. Cer, West Serbia, and Their Potential Exploitation during the Bronze Age », *Geoarchaeology*, 29, 2014, p. 477-493. DOI : <http://doi.org/10.1002/gea.21488>
- Jones Andy, Gossip James, Quinnell Henrietta, « Meet the Smiths », *British Archaeology*, 146, 2016, p. 24-29. URL : archaeologydataservice.ac.uk/library/browse/details.xhtml?recordId=3012526&recordType=Journal
- Kamilli Robert, Kimball Bryn, Carlin James, « Tin », dans K. J. Schulz et al., *Critical mineral Resources of the United States. Economic and Environmental Geology and Prospects for Future Supply: U.S. Geological Survey Professional Paper 1802*, Reston, US Geological survey, 2017, p. 1-53. DOI : 10.3133/pp1802S
- Kienlin Tobias, « Copper and Bronze: Bronze Age Metalworking in Context », dans *The Oxford Handbook of the European Bronze Age*, Oxford, Oxford University Press, 2013, p. 414-436. DOI : 10.1093/oxfordhb/9780199572861.013.0023

- Le Carlier de Veslud Cécile, Siepi Céline, « Tin Production in Brittany (France): a Rich Area exploited Since Bronze Age », dans I. Montero Ruiz A. P. (dir.), *Archaeometallurgy in Europe IV*, Madrid, Biblioteca Praehistorica Hispana, 2017, p. 91-103. URL : researchgate.net/publication/329440595
- Lehmann Bernd, « Formation of Tin Ore Deposits: A Reassessment », *Lithos, 9th Hutton Symposium on the Origin of Granites and Related Rocks*, 402-403, 2021. DOI : 10.1016/j.lithos.2020.105756
- Lulzac Yves, « L'étain armoricain. Où le trouve-t-on ? Où l'a-t-on exploité ? », *Mines et carrières*, hors-série 196, 2012, p. 5-56.
- Mason Andrea et al., « Provenance of tin in the Late Bronze Age Balkans based on Probabilistic and Spatial Analysis of Sn Isotopes », *Journal of Archaeological Science*, 122, 2020. DOI : 10.1016/j.jas.2020.105181
- Matte Philippe, « Accretionary History and Crustal Evolution of the Variscan Belt in Western Europe », *Tectonophysics*, 196, 1991, p. 309-337. DOI : 10.1016/0040-1951(91)90328-P
- Muhly James, « Sources of Tin and the Beginnings of Bronze Metallurgy », *American Journal of Archaeology*, 89, 1985, p. 275-291. DOI : 10.2307/504330
- Niederschlag Elke et al., « The Determination of Lead Isotope Ratios by Multiple Collector Icp-Ms: A Case Study of Early Bronze Age Artefacts and their Possible Relation with Ore Deposits of the Erzgebirge », *Archaeometry*, 45, 2003, p. 61-100. DOI : 10.1111/1475-4754.00097
- Nielsen Ebbe, « A Late Bronze Age Tin Ingot from Sursee-Gammainseli (Kt. Luzern) », *Archäologisches Korrespondenzblatt*, 44, 2016, p. 177-193. DOI : 10.11588/AK.2014.2.28105
- Nillesse Olivier, Watteaux Magali, « Le massif forestier de Mervent-Vouvant (Vendée) de la Protohistoire à nos jours : premiers éléments d'une enquête archéologique et archéogéographique », *Archéologies numériques*, 4, 2020, p. 1-22. DOI : 10.21494/ISTE.OP.2020.0529
- Pacifico Lina et al., « Iron Age and Roman Metallurgical Activities at the Spasovine Placer Tin Deposit, West Serbia », *SSRN Electronic Journal*, 2022. DOI : 10.2139/ssrn.4020126
- Pampaloni Auro, « The Tin of Campigliese: 40 Centuries of Usage », *Rel*, 14, 2017, p. 1-25. URL : academia.edu/34237795/
- Penhallurick Rob, *Tin in Antiquity: Its Mining and Trade Throughout the Ancient World with Particular Reference to Cornwall*, Londres, The Institute of Metals, 1986.
- Powell Wayne et al., « Mineralogical Analysis of the Kestel Mine: An Early Bronze Age Source of Tin Ore in the Taurus Mountains, Turkey », *Minerals*, 11, 2021. DOI : 10.3390/min11010091
- Svizzero Serge, Tisdell Clément, « The Demise of the Únětice Culture due to the Reduced Availability of Natural Resources for Bronze Production », *International Journal of Research in Sociology and Anthropology*, 4, 2018, p. 1-14. DOI : 10.20431/2454-8677.0403001
- Timberlake Simon, « The Use of Experimental Archaeology/Archaeometallurgy for the Understanding and Reconstruction of Early Bronze Age Mining and Smelting Technologies », dans S. La Niece, D. Hook, P. Craddock (dir.), *Metals and Mines: Studies in Archaeometallurgy*, London, Archetype Publications Ltd., 2007, p. 27-36. URL : researchgate.net/publication/283996810
- Timberlake Simon, « New Ideas on the Exploitation of Copper, Tin, Gold, and Lead Ores in Bronze Age Britain: The Mining, Smelting, and Movement of Metal », *Materials and Manufacturing Processes*, 32, 2017, p. 709-727. DOI : 10.1080/10426914.2016.1221113

Tizzoni Marco, « Etruscan Tin: a Legend? », *Pallas. Revue d'études antiques*, 50, 1999, p. 89-100. DOI : 10.3406/palla.1999.1538

Todd Malcolm, *The South West to 1000 AD*, Londres, Routledge, 2014

Tolksdorf Johann Friedrich et al., « Evidence for Bronze Age and Medieval Tin Placer Mining in the Erzgebirge Mountains, Saxony (Germany) », *Geoarchaeology*, 35, 2020, p. 198-216. DOI : 10.1002/gea.21763

Tomczyk Céline, Brun Patrice, Petit Christophe, « Maîtrise des techniques minières durant le Néolithique et l'âge du Bronze. Un facteur d'exploitation des mines de cuivre ? », dans R. Peake, S. Bauvais, C. Hamon, C. Mordant (dir.), *La Spécialisation des productions et les spécialistes*, Séances de la Société préhistorique française, Paris, Société préhistorique française, 2020, p. 225-240.
URL : http://www.prehistoire.org/offres/doc_inline_src/515/13%2BTomczyk%2B001-corrige9.pdf

Warner Richard, Moles Norman, Chapman Rob, « Evidence for Early Bronze Age Tin and Gold Extraction in the Mourne Mountains, County Down », *Journal of the Mining Heritage Trust of Ireland*, 10, 2010, p. 29-36. URL : academia.edu/7150708/

Williamson Ben et al., « Geochemical Constraints on the Genesis of Hercynian Two-Mica Leucogranites from the Massif central, France », *Chemical Geology*, 127, 1996, p. 25-42. DOI : 10.1016/0009-2541(95)00105-0

Yazgan Evren, « Cassiterite (Tin) Mineralization Related with Erciyes Volcanic Activities and the Mode of Formation of the Hematite-Cassiterite-Yazganite-Tridymite Paragenesis and its Implication for Bronze Alloys », dans F. Kulakoğlu, C. Michel (dir.), *Proceedings of the 1st Kültepe International Meeting*, Kültepe, European Centre for Upper Mesopotamian Studies, 2015, p. 183-193. URL : academia.edu/7318989/

Yener Kutlu Aslihan, « Excavations at Kestel Mine, Turkey: The Final Season », *Oriental Institute Annual Report (1996-1997)*, 1997, p. 58-61. URL : oi.uchicago.edu/sites/oi.uchicago.edu/files/uploads/shared/docs/ar/91-00/96-97/96-97_Goltepe.pdf

Yener Kutlu Aslihan, « Strategic Industries and Tin in the Ancient NE: Anatolia Updated », *TÜBA-AR*, 12, 2009, p. 143-154. URL : academia.edu/1581326/

Yener Kutlu Aslihan et al., « New Tin Mines and Production Sites Near Kültepe in Turkey: a Third-Millennium BC Highland Production Model », *Antiquity*, 89, 2015, p. 596-612. DOI : 10.15184/aqy.2015.30

Yener Kutlu Aslihan, *Göltepe Excavations: Tin Production at an Early Bronze Age Mining Town in the Central Taurus Mountains*, Turkey, Philadelphie, Pennsylvania, INSTAP Academic Press, 2021.

Yener Kutlu Aslihan, Vandiver Pamela, « Tin Processing at Göltepe, an Early Bronze Age Site in Anatolia », *American Journal of Archaeology*, 97, 1993, p. 207-238. DOI : 10.2307/505657

NOTES

1. L'étain peut également cristalliser sous forme de stannite (Cu_2FeSn_4) dans les gîtes hydrothermaux de haute température (Anthony et al., 2005). Ces gisements sont secondaires et liés à une reprise de la minéralisation primaire.
2. Le site a été repéré par un amateur n'ayant pas fourni le contexte exact de la découverte (Champaud, 1957).

3. Tel que le fossé de 2 m de profondeur pour une largeur d'environ 20 m découvert dans le Finistère à Saint-Renan (Giot et Lulzac, 1998 ; Chauris, 2011).
 4. Certains gisements en roche très riches peuvent atteindre les 3 à 5 % d'étain quand les exploitations alluvionnaires dépassent rarement 0,2 % (Earl, 1994).
 5. La datation des travaux de Carnon ne repose cependant que sur la présence d'un pic en bois de cerf retrouvé dans des sédiments remaniés (Penhallurick, 1986).
 6. Les traces observées ont été emportées par une tempête et non détruites par la reprise minière (Durman, 1997).
 7. Ce même type d'organisation a été observé à Kestel (Turquie) où la cassitérite est traitée directement en contrebas de la mine (Yener et Vandiver, 1993).
 8. Le fait de ne pas avoir directement retrouvé les ateliers s'explique car ces derniers laissent des traces plus ténues dans les paysages que les autres types d'occupations humaines (Hanks et Doonan, 2009).
 9. L'hypothèse d'exploitations sardes est encore débattue : les ressources en étain y sont importantes (Pampaloni, 2017) mais il n'est pas certain que l'étain puisse y être exploité sans les techniques de flottation modernes (Gale, 2005).
-

RÉSUMÉS

Si se procurer de l'étain était d'une importance majeure à l'âge du Bronze, la manière dont ce dernier était extrait est mal connue. À l'heure actuelle l'existence de seulement une trentaine de mines d'étain est supposée en Europe et les exploitations alluvionnaires en constituent les deux-tiers. Cependant, ces structures peu marquées dans les paysages et facilement détruites par des phases de reprises postérieures sont complexes à identifier. L'étain alluvionnaire n'était pas nécessairement plus facile à exploiter que les mines en roche car il demandait de très bonnes connaissances des réseaux hydrographiques pour y établir des chantiers. Ainsi, si l'étain alluvionnaire constituait certainement une ressource précieuse, l'importance des mines en roche ne doit pas être sous-estimée.

If obtaining tin in the Bronze Age was undoubtedly of major concern, the way in which its extraction was carried out remains poorly defined. At present, only about thirty tin mining sites are assumed to have existed in Europe, and two-thirds of these are alluvial mines. However, the identification of these structures, which are hardly marked in the landscape and are easily destroyed by later reworking phases, remains problematic. It is also not easy to assume that alluvial mining was easier to exploit than rock mining. The latter require very good knowledge of the river systems to establish workings. Thus, while alluvial tin was certainly a valuable resource in the Bronze Age, the importance of rock mines should not be underestimated.

INDEX

Mots-clés : étain, mine, placer, localisation, Protohistoire

Keywords : tin, mine, placer, localisation, Protohistory

AUTEUR

CÉLINE TOMCZYK

UMR 7041 ArScAn, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Thèse sous la direction de Christophe Petit et de Patrice Brun