



HAL
open science

Le plus vieil objet de fer d'Europe occidentale est-il landais ?

Julia Roussot-Larroque, Alain Queffelec

► **To cite this version:**

Julia Roussot-Larroque, Alain Queffelec. Le plus vieil objet de fer d'Europe occidentale est-il landais ?. Bulletin de l'Association française pour l'étude de l'âge du fer, 2014, 32, pp.73-84. hal-02264018

HAL Id: hal-02264018

<https://hal.science/hal-02264018>

Submitted on 2 Dec 2019

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 - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

LE PLUS VIEIL OBJET DE FER D'EUROPE OCCIDENTALE EST-IL LANDAIS ?

Julia ROUSSOT-LARROQUE

CNRS honoraire/UMR 5199

et Alain QUEFFELEC

En Europe occidentale, la découverte d'objets de fer antérieurs aux étapes IIB et III du Bronze final présente un caractère exceptionnel. Leur quasi absence tient sans doute au fait que le fer, dépourvu de la «noblesse thermodynamique» du cuivre, se conserve mal en milieu aérobie. Il se pourrait aussi que le caractère inhabituel de semblables découvertes ait parfois suscité une méfiance et un rejet mal fondés.

Historique de la découverte

Vers 1871, un dépôt de haches en bronze à bords droits fut tiré de l'eau lors du curage de la fontaine Saint-Clair à Ygos-Saint-Saturnin, localité située à une vingtaine de kilomètres au nord-ouest de Mont-de-Marsan (Landes). La découverte fut signalée en 1875 par une courte note non illustrée : «Igos, 7 haches en bronze, en curant une fontaine... arrondissement de Mont-de-Marsan. Peu épaisses, assez grandes, d'une forme ancienne. J'en possède deux... Elles sont toutes identiques de forme et les cinq qui me manquent ont été dispersées» (Pottier, 1875, p. 295). La même année, l'information est reprise par Ernest Chantre : «En curant une fontaine, 2 haches, collection Pottier, Dax, 5 disparues. Igos, Saint-Saturnin, canton d'Arjuzanx, arrondissement de Mont-de-Marsan (Landes)» (Chantre, 1875). À son tour, Henri Du Boucher mentionne la trouvaille dans son inventaire des sites préhistoriques landais. Les haches avaient dû être rapidement dispersées, car Chantre et Du Boucher ne font que reproduire les informations données par R. Pottier. Seul Du Boucher ajoute que, d'après J. de Laporterie, trois d'entre elles seraient entrées au Musée de Saint-Germain (Du Boucher, 1879). Malgré nos recherches, nous n'en avons trouvé aucune trace dans ce musée, devenu Musée d'Archéologie Nationale.

Une vingtaine d'années plus tard, le Dr. Ernest Berchon, dans son travail pionnier sur l'Âge du Bronze en Gironde, apporte de nouvelles informations (Berchon, 1891, p. 47-48). Dans la collection du comte A. de Chasteigner, à Bordeaux, il a pu examiner une hache du dépôt d'Ygos dont les auteurs précédents n'avaient pas eu connaissance : «une hache du type médocain supérieur, l'un des *neuf* exemplaires trouvés dans une fontaine à Igos, et signalés à M. de Chasteigner par le propriétaire de cette fontaine». La hache en question est entrée au Musée Préhistorique de Bordeaux en 1920 avec la collection de Chasteigner, acquise par la Ville. Elle est actuellement conservée au Musée d'Aquitaine. Une étiquette ancienne précise qu'elle faisait partie du dépôt de sept (et non pas neuf) haches et a été offerte à A. de Chasteigner par le propriétaire du château. Berchon signale encore, toujours d'après Laporterie, que trois autres haches du dépôt, de la collection Pottier, seraient entrées au musée de Saint-Germain. Ce renseignement doit être inexact : Pottier lui-même précisait en 1875 qu'il n'en possédait que deux de cette provenance. D'après le même Laporterie, une autre hache du dépôt d'Ygos faisait partie de la collection Camiade à Dax, ce qui cette fois est exact. Nous reproduisons fig. 1, n° 1, d'après une photographie ancienne, un dessin de cette hache conservé dans les archives du Musée de Borda, dans cette même ville. Enfin, une troisième hache du dépôt d'Ygos est parvenue - nous ignorons comment - au Museu Nacional de Arqueologia e Etnologia de Belem, au Portugal. Le dessin reproduit fig. 1, n° 2 avait été communiqué à Alain Roussot par l'intermédiaire d'André Coffyn. Il nous a paru nécessaire de tirer de l'oubli, une première fois, cette découverte (Roussot-Larroque, 1988), puis d'attirer à nouveau l'attention sur son intérêt (Roussot-Larroque, 2013).

Le contexte de la découverte du dépôt d'Ygos n'est pas neutre. Le geste de déposition de ces sept grandes haches en bronze dans l'eau d'une fontaine souligne l'importance et la signification particulière, vraisemblablement culturelle, que cette fontaine devait avoir pour les communautés

locales de l'âge du Bronze. Ce caractère de lieu cérémoniel ou rituel s'est encore confirmé en 1992, avec la découverte d'un second dépôt. Il s'agissait cette fois de neuf haches plates en cuivre d'une minceur anormale, simples feuilles de métal : des «haches simulacres» du début de l'Âge des Métaux (Merlet, 1997 ; Briard et Roussot-Larroque, 2002). Les pratiques rituelles liées à la fontaine Saint-Clair se sont d'ailleurs perpétuées jusqu'à nos jours, en lien avec la croyance populaire dans les vertus miraculeuses de ses eaux.

La hache en bronze d'Ygos, typo-morphologie, analyse et datation.

La hache au rivet de fer (fig. 2), comme les deux autres haches du même dépôt connues par le dessin, appartient au type classique des grandes haches à bords droits du Bronze moyen médocain, tel que Berchon l'a défini le premier. Le sommet est rectiligne, les bords peu divergents et le tranchant étroit. La comparaison avec le dessin des deux autres haches fait apparaître leur appartenance commune au grand type médocain. Leurs dimensions entrent dans la marge de variation correspondant au standard du type. Sur le dessin de celle de la collection Camiade, une tache sombre, en position centrale à quelque distance du sommet, pourrait suggérer une perforation ou tentative de perforation (?). La troisième hache, celle du musée de Belem, est brisée à ce niveau.

La hache au rivet de fer n'est pas une pièce neuve brute de coulée. La cicatrice de la cassure du bouton de coulée a été soigneusement rectifiée. Les bavures de coulée ont été réduites et les rebords aplatis par martelage au-dessus du tranchant. Celui-ci a dû être aiguisé à plusieurs reprises, d'après le pincement latéral visible de profil, et présente des stigmates d'utilisation. On note encore des traces de corrosion, plus marquées sur la face 2. La patine, d'un vert sombre noirâtre, est celle d'un bronze ayant longtemps séjourné dans une eau dormante.

À 15 mm environ du sommet et à égale distance des bords, le corps de la hache est traversé par une perforation peu régulière, pour autant qu'on puisse l'apercevoir (elle est presque entièrement occupée par la tige du rivet de fer). Pour des artisans munis seulement d'outils de bronze, le percement à froid dans un métal dur, épais en ce point de 7 à 8 mm, devait présenter de sérieuses difficultés. Se seraient-ils servi pour cela de la tige de fer, avant de l'introduire dans le trou et d'en écraser les deux extrémités ? En tout cas, sur l'une des faces, entre le sommet et la perforation, la surface est irrégulière, bosselée et fissurée (fig. 2, face 2) Une radiographie sera nécessaire pour vérifier si ces traces ne décèleraient pas une surcoulée destinée à consolider le sommet de la hache, peut-être affaibli par la perforation.

Les dimensions de la hache sont les suivantes : longueur : 179 mm ; largeur au sommet : 28,1 ; au tranchant : 52,7 ; épaisseur au sommet : 9,5 ; épaisseur max. (rebords compris) : 25,2 ; hauteur max. des rebords : 5,5. Elles entrent dans la marge de variation du grand type médocain.

Analyse. Une analyse par spectrographie optique du bronze de la hache (analyse n° 76) a été réalisée en 1974 par J.-R. Bourhis au Laboratoire «Anthropologie – Préhistoire - Protohistoire – Quaternaire armoricains» de Rennes (Bourhis, Giot, Briard, 1975). Un second prélèvement a été fait en 1983 et analysé dans ce même laboratoire (analyse n° 2048), notamment pour contrôler la teneur en cuivre, calculée par déduction en 1974 (tableau 1).

Element	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi
Dimension	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
analyse n°76	< 0,001	0,025	0,30	(86)	0,002	0,40	0,06	12,5	0,15	0,40	0,005
analyse n° 2048	-	0,001	0,40	85,65	traces	0,20	0,07	13,45	0,10	0,15	0,002

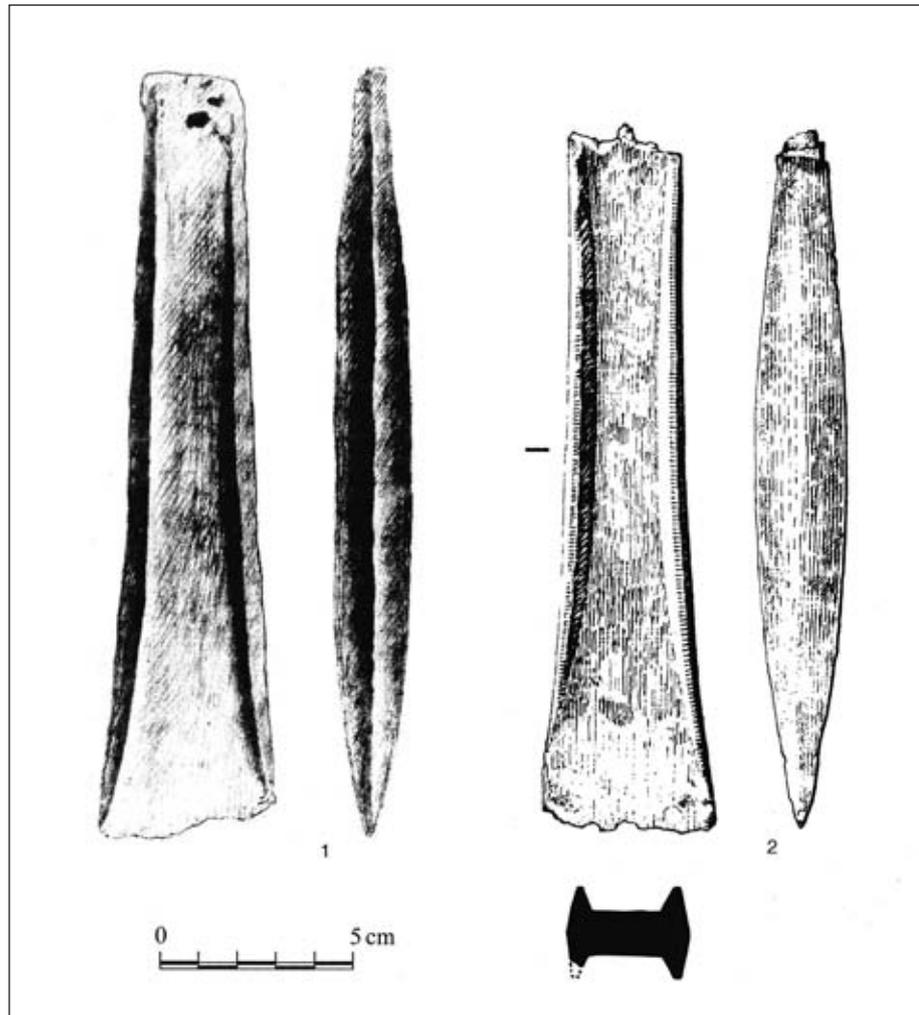


Fig. 1

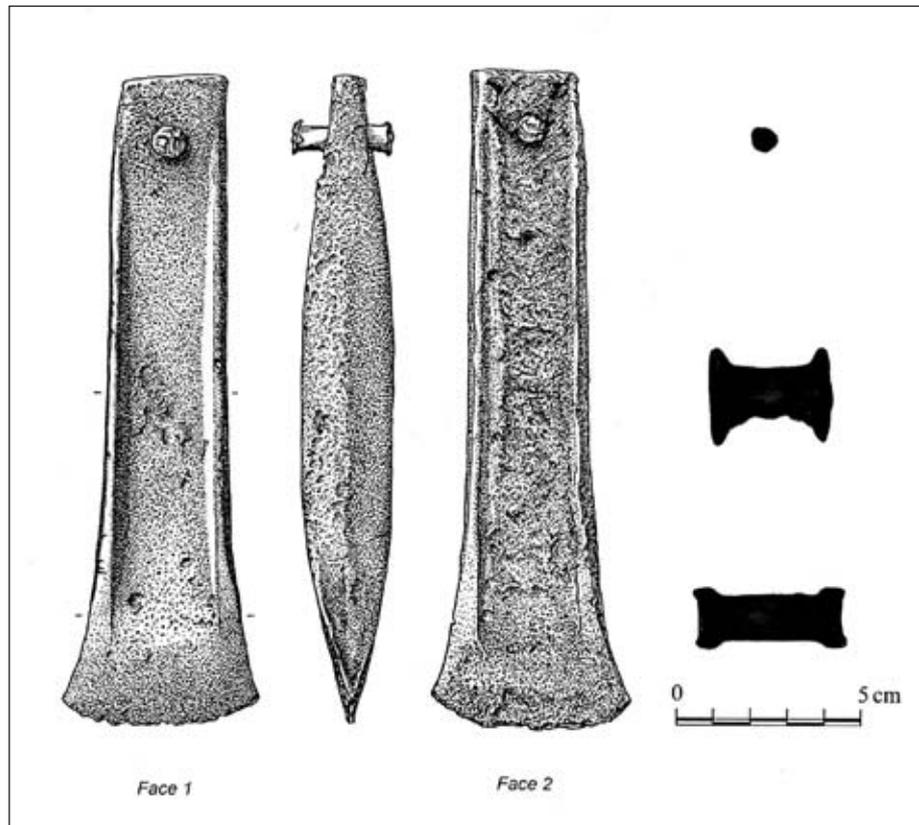


Fig. 2

Les nouveaux résultats ne contredisent pas fondamentalement les précédents. Pour la composition de l'alliage, le bronze de la hache est conforme aux normes habituelles pour ce type : un vrai bronze d'étain où le plomb est régulièrement présent, sans qu'on puisse encore, en rigueur, parler d'alliage ternaire. Pour les composantes principales, les teneurs en arsenic, antimoine ou nickel ne s'écartent pas sensiblement des valeurs normales à cette époque et dans ce groupe culturel. On notera encore la quasi absence du fer dans la composition du métal.

Datation. Aucun des nombreux dépôts comprenant, en totalité ou en partie, des haches médocaines à bords droits n'a pu être directement daté à ce jour, faute d'association primaire avec des matières organiques datables par le radiocarbone ou la dendrochronologie. On dispose néanmoins de dates fiables pour le Bronze moyen médocain (Roussot-Larroque, 1997a et b). Elles portent sur des niveaux d'occupation livrant des témoins de la fabrication sur place de haches médocaines (moule de hache, creuset et scories de La Lède du Gurg à Grayan-et-L'Hôpital, Gironde), ou des sites dont les assemblages céramiques sont étroitement comparables aux vases ayant contenu des dépôts de haches du même type (site palustre de Lapartens à Vendays-Montalivet, Gironde ; Roussot-Larroque et Bernat, 1997). Ces dates sont centrées sur le XV^e siècle av. J.-C.

Le rivet de fer, typo-morphologie et analyse du métal

Le rivet-goupille de fer qui traverse la hache en bronze d'Ygos est une forte tige de métal, de section sub-circulaire, façonnée par martelage. L'existence d'un joint longitudinal encore discernable incite à s'interroger sur le procédé de fabrication de cette tige : repli et jonction bord sur bord d'un demi-produit aplati ? Les deux têtes ont été écrasées par un martelage dont les traces sont encore bien visibles (fig.3). Leur contour est irrégulier. Sur le pourtour de l'une d'elles, le battage du métal a formé une mince couronne déchiquetée, rabattue vers l'intérieur. Par ces caractères, le rivet de fer rappelle étonnamment certains rivets de cuivre ou bronze du Bronze ancien et moyen. Son état de conservation est remarquable, sans doute à cause de son séjour aquatique, à l'abri de l'air. La couche de rouille qui le recouvre est très mince. Un autre facteur a contribué à cette excellente conservation : le dépôt très léger en surface d'un composé cuivreux, invisible à l'oeil nu mais détecté



Fig. 3

par l'analyse, d'une teneur en cuivre d'environ 0,65 %. Ce dépôt superficiel, dû au contact avec le bronze, nous a contraints à reprendre l'analyse du rivet sur des parties légèrement poncées, où ce composé n'apparaît plus.

Dimensions. Longueur de la goupille : 24,6 mm ; diamètre de la tige : 7 ; diamètre des têtes : 8,5/8,6 et 7,8/8,3.

Analyse. L'analyse du rivet a été réalisée par fluorescence X à dispersion d'énergie à l'aide d'un appareil portable de type SpectroXSORT par l'un de nous (Alain Queffelec), selon la méthode de calcul dite des paramètres fondamentaux. Elle a révélé un fer presque pur. Pour la plupart des autres éléments, y compris le manganèse (autour de 0,025 %), les teneurs ne dépassent pratiquement pas la limite du seuil de détection (tableau 2). L'appareillage utilisé n'a pas permis le dosage d'éléments trop légers et/ou en trop faible teneur comme le carbone, le phosphore, le soufre, le silicium ou le calcium, importants comme indicateurs potentiels de l'origine du minerai et du procédé de réduction. Les analyses chimiques destructives étant exclues dans le cas présent, il conviendra d'utiliser d'autres méthodes pour des analyses complémentaires (MEB-EDS, PIXE-PIGE...).

Element	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Zr	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi
Dimension	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Ygos-brut	< 0,014	69,11	< 0,050	< 0,0057	0,6328	0,0925		< 0,0031	0,0426	< 0,0093	0,192	< 0,023
Ygos-brut	< 0,024	98,22	< 0,086	< 0,015	0,668	< 0,012	0,2668	< 0,011	0,1065	< 0,020	0,0864	< 0,011
Ygos-poncé	< 0,026	99,66	< 0,096	< 0,014	0,0616	< 0,0063	0,2407	< 0,011	< 0,016	< 0,019	0,0234	< 0,0094
Ygos-poncé	< 0,027	99,68	< 0,097	< 0,014	0,0493	< 0,0068	0,2399	< 0,011	< 0,016	< 0,019	< 0,012	< 0,0086
Ygos-poncé	< 0,027	99,62	< 0,097	< 0,015	0,0783	< 0,0064	0,234	< 0,011	0,0187	< 0,019	0,0272	< 0,0091
Ygos-poncé-moyenne	< LOD	99,65	< LOD	< LOD	0,0631	< LOD	0,2382	< LOD	0,0187	< LOD	< LOD	< LOD

Les plus vieux objets de fer d'Europe occidentale

Jusqu'ici, l'objet de fer considéré comme le plus ancien d'Europe occidentale était une petite tige, longue de 33 mm, terminée d'un côté en pointe pyramidale et de l'autre côté, en taillant ou ciseau. Il a été mis au jour en 1961, posé sur l'une des planches d'un chemin de bois, le chemin XVII (Bou) de Bargeroosterveld, près d'Emmen, dans le sud-est de la Drenthe (Pays-Bas). Ce chemin XVII faisait partie d'un ensemble de trois chemins de planches aménagés dans une vaste tourbière surélevée, le Bourtanger Moor. Leur construction ayant d'abord été attribuée à l'âge du Fer, le petit objet n'avait pas particulièrement retenu l'attention. Mais des dates radiocarbone ont révélé que ces chemins étaient plus anciens qu'on ne l'avait cru. La pointe ou poinçon de fer et son contexte ont alors fait l'objet d'une étude systématique (Butler, 1976 et 1984 ; Casparie, 1984 ; Charles, 1984). La planche de chêne sur laquelle était posé le poinçon de fer a été datée par le ^{14}C de 3120 ± 55 BP (GrN-4179), soit 1533 à 1192 av. J.-C. après calibration. Pour une autre planche du même chemin, une deuxième date ^{14}C , sur les derniers cernes du bois, s'établit à 3020 ± 50 BP (GrN-4342) soit 1617 à 1211 av. J.-C. Enfin, une dendro-date, nettement plus précise, 1372 av. J.-C., a été obtenue pour le dernier cerne d'un autre bois du chemin. Selon W. A. Casparie, la construction de ce chemin serait postérieure de quelque 20 à 25 ans et se situerait donc vers 1350-1300 av. J.-C. Par la suite, la fréquentation du marais et de ses alentours aurait cessé. Elle n'aurait repris que vers le début de l'âge du Fer, autour de 700 av. J.-C. Ainsi, le petit objet de fer de Bargeroosterveld a bien précédé d'un demi millénaire au moins l'introduction « officielle » de l'Âge du Fer, comme le remarquent les auteurs de la publication. Toutefois, d'après les datations, il se situerait plutôt au début du Bronze récent (Bronze D). En revanche, le rivet de fer landais d'Ygos, dont le contexte archéologique est incontestablement Bronze moyen, pourrait être antérieur d'un siècle au moins.

En Europe centrale, à Ganovce, en Slovaquie septentrionale, une garde de poignard associant fer et bronze (Pleiner, 1980, p. 376-378 et fig. 11.1, n° 4) a été découverte en relation avec un puits qui contenait des objets de la culture d'Otomani. Une date radiocarbone sur l'un des bois du puits, 3415 ± 35 BP (CRN-7319) s'établirait autour de 1873-1626 av. J.-C. De rares objets de fer anciens ont été également découverts en Bohême, en Roumanie, et plus largement dans la région balkano-carpathique dont le rôle devient important au Ha A, vers le 12^e s. av. J.-C. Plus au sud, en Sardaigne, un courant d'origine est méditerranéenne, via Chypre et l'Égée, serait à l'origine des premiers objets de fer, apparus dès le Bronze moyen, parallèlement à la céramique mycénienne (Lo Schiavo, 1988). En Égypte, dans la tombe de Toutankhamon (1346 av. J.-C.) une vingtaine d'objets de fer avaient été déposés, mais certains les pensent fabriqués à partir de fer météorique contenant du nickel. Dans le Sud-Ouest de l'Europe occidentale, dans la péninsule Ibérique, plusieurs sites portugais ont livré des objets de fer un peu plus récents, datés du Bronze final (XI^e-X^e siècles). Certains des objets de fer portés par ce courant atlantique pourraient remonter au XII^e s. (Vilaça, 2013), mais demeurent nettement postérieurs aux découvertes précédentes.

L'origine possible du minerai

Les résultats de l'analyse du rivet d'Ygos ont montré qu'il s'agit d'un fer très pur. L'absence du nickel dans la composition du métal est un argument essentiel contre l'utilisation de fer météorique. Quelques auteurs, il est vrai, dont P. T. Craddock, ont argué du fait que certaines météorites ne contiennent pas de nickel, mais presque toutes en contiennent. On peut aussi, sans grand risque, exclure le fer tellurique, bien trop rare dans la nature. L'analyse chimique et l'étude métallographique du petit poinçon hollandais (Charles, 1984) ont abouti à la conclusion que le fer provenait de la réduction d'un fer de marais, la sidérite. Il contenait 0,52 % de manganèse, élément fréquent dans le «fer de marais». Ce minerai peut parfois en contenir plus que de fer, ce qui présenterait un avantage pour la conduite de la réduction et pour la qualité du fer obtenu, quand le manganèse s'élimine dans la scorie. À Bargerosterveld, la conservation d'un taux de manganèse aussi important dans le produit pourrait indiquer une réduction de type «primitif», non scorifiante. Des expériences ont montré qu'avec un système très simple de réduction du minerai en foyer ouvert, passant par la production d'un bloom ou éponge de fer, du manganèse peut subsister dans le métal obtenu, sous forme d'inclusions d'oxydes et de sulfures. Dans le rivet d'Ygos, en revanche, le taux de manganèse est très faible, pratiquement négligeable (0,027 %). Pour le carbone, l'analyse à la microsonde du petit objet néerlandais n'en a trouvé qu'une teneur très faible dans le fer : moins de 0,1 %, probablement de l'ordre de 0,05-0,07 %. La question pourrait se poser d'un traitement thermique après la réduction. Le très faible volume de l'objet par rapport à sa surface aurait pu faciliter l'élimination du carbone par oxydation superficielle. L'examen métallographique de la microstructure de la pointe ou poinçon a mis en évidence une déformation orientée des inclusions non métalliques et des grains de ferrite. Cela suggère une mise en forme par déformation mécanique, à température plus basse que celle de recristallisation, autrement dit par martelage à froid.

Pour le rivet d'Ygos, la méthode d'analyse n'a pas permis de doser le carbone. Dans ce cas, il était intéressant pour le forgeron de disposer plutôt d'un fer doux, plus facile à travailler à froid, pour façonner la tige du rivet, puis élargir et aplatir les extrémités opposées. Cela n'eût pas été le cas si l'artisan avait entrepris de fabriquer des outils tranchants, lames de couteau ou armes offensives, comme ceux qui constituent, pour une bonne part, les plus vieux objets de fer d'Europe sud orientale et centrale (mais il y a aussi des parures). Un métal dur, incluant des parties aciérées, serait mieux adapté dans ce cas. Et pourtant, les mesures de dureté appliquées au poinçon de Bargerosterveld révèlent une valeur moyenne de 262 sur l'échelle de Vickers, atteignant même 290 à 317 à la pointe, ce qui suppose un travail très poussé de martelage à froid. Dans son étude, J. A. Charles a comparé la dureté de cette pointe en fer à la dureté maximale qu'aurait pu atteindre son équivalent en bronze, pour un travail équivalent. De 60-80 au départ, à l'état brut de coulée, il n'aurait atteint une dureté de 250 qu'après un travail intense de martelage. Malgré son apparence modeste, la petite pointe en fer de la tourbière hollandaise constitue donc «une

merveille d'expertise technologique dans le contexte du Bronze moyen» (Charles, 1984, p. 91). D'où la conclusion que cette pointe aurait pu, entre autres fonctions, servir à décorer des objets de bronze de moindre dureté.

Dans la composition du poinçon néerlandais, un dernier élément fait pratiquement défaut : le phosphore. On pourrait s'en étonner, le minerai de fer utilisé étant un «fer de marais» formé dans un environnement végétal, une tourbe ferrugineuse à Hypnacées, par l'action des eaux d'infiltration. Dans ce marais avaient commencé à se former, vers 4500 av. J.-C., des concentrations de fer formant des lentilles en dôme. Le minerai était un carbonate de fer, la sidérite FeCO_3 , à l'état amorphe. Le processus de formation aurait été interrompu assez brusquement autour de 3100 av. J.-C., sans doute à la suite d'une modification du drainage (Casparie, 1984, p. 52). L'exploitation de cette ressource aurait été le principal motif de la fréquentation de la tourbière par les hommes de l'âge du Bronze, et de la construction des chemins de planches, orientés dans la direction de zones d'affleurement de ce minerai de fer, relativement facile à extraire et à réduire.

En Aquitaine occidentale, une étude récente a mis en évidence une source potentielle de fer de marais (Gourdon-Platel et Maurin, 2008). Cette étude a vu le jour suite à la découverte, sous les eaux du lac de Sanguinet (Landes) d'un fanum construit en blocs de fer de marais (Maurin, 1998). Ce matériau ferrifère, jamais identifié auparavant, se distingue de la «garluche», grès ferrugineux caractéristique des pays landais, par sa richesse très supérieure en fer (plus de 65 % de Fe_2O_3 , exceptionnellement 90 %). Il se présente sous la forme de larges encroûtements formés pour l'essentiel de granules ferrifères, majoritairement constitués de goethite, oxyde de fer ($\alpha \text{FeO}(\text{OH})$) et de débris de végétaux minéralisés, inclus dans un ciment ferrugineux induré. La genèse de ce minerai a été replacée dans son contexte géomorphologique. Après dissolution par des eaux acides riches en matières organiques, les matériaux ferrifères, présents sous forme de menus grains parmi les minéraux lourds du sable des Landes, auraient enrichi en fer la nappe phréatique, grâce à l'activité des ferro-bactéries, puis auraient été précipités, sous forme d'hydroxyde de fer, dans le fond de cuvettes marécageuses. Les encroûtements ferrugineux se seraient formés par assèchement de ces cuvettes (Gourdon-Platel et Maurin, 2008, p. 15-18). Ces encroûtements superficiels seraient de formation récente. Leur association avec des débris végétaux a permis d'obtenir une date radiocarbone (Ly-12142) : 3945 ± 50 BP, soit 2574 à 2294 av. J.-C. Dans nos régions, ce créneau chronologique correspond au Néolithique final/début de l'Âge des Métaux. Dans ce secteur des Landes, au sud du bassin d'Arcachon, la formation du fer de marais aurait donc été un peu plus récente que dans le sud de la Drenthe.

Les recherches archéologiques subaquatiques dans le lac de Sanguinet-Cazaux ont attesté l'emploi de blocs de fer de marais dans diverses constructions. La mise en évidence de scories métalliques dans des sites préromains comme celui de l'Estey du Large (Maurin et coll., 1999) ne pouvait manquer d'inspirer un rapprochement entre une métallurgie locale du fer et le minerai de fer de marais reconnu à proximité, d'où l'interprétation proposée selon laquelle «à la fin de l'âge du Fer (IV^e-I^{er} s. a.C.) les habitants au Sud du Bassin d'Arcachon ont collecté ce minerai pour produire du fer (présence de scories)» (Gourdon-Platel et Maurin, *ibid.*, p. 7). Pourtant, cette interprétation se heurte à certaines difficultés. Comme les carbonates de fer (dont la sidérite utilisée à Bargerosterveld), les oxydes et hydroxydes de fer, telle la goethite αFeOOH ou la limonite $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$, sont assez faciles à réduire, sans faire intervenir des procédés complexes. Mais les analyses chimiques font apparaître un taux important de phosphore dans le fer de marais des Landes : 1,51 et jusqu'à 2,35 % de P_2O_5 à l'Estey du Large (Gourdon-Platel et Maurin, 2008, fig. 5). On sait que le traitement de minerais de fer phosphoreux est une source de difficultés : le fer produit est cassant et se prête mal au martelage et au forgeage. Jusqu'à la mise au point par H. Bessemer vers le milieu du XIX^e siècle d'un procédé industriel, le convertisseur, qui permet d'éliminer le phosphore, ces minerais ne pouvaient ni être transformés en outils, ni être utilisés pour produire de l'acier. Des expérimentations menées par J.-C. Leblanc sur le fer des marais de la zone littorale landaise ont confirmé qu'après réduction, le fer obtenu était en effet trop cassant pour pouvoir être forgé (Leblanc, communication verbale). Et pourtant, selon P. T. Craddock, le fer phosphoreux présenterait certains avantages ; on le préférerait dans les cas où la présence de parties aciérées dans le fer n'était pas souhaitée, la présence de traces

de phosphore inhibant l'absorption du carbone par le fer (Craddock, 1995, p. 238). De plus, toujours selon P. T. Craddock, une petite quantité de phosphore dans le fer peut être avantageuse, car elle abaisse le point de fusion du fer de plusieurs centaines de degrés. Mais la toute première métallurgie du fer ne dépassait pas les températures où le fer demeure à l'état solide, des températures familières à l'industrie métallurgique de l'âge du Bronze. Après la réduction, l'éponge de fer devait être soumise à de longues séquences de martelage, coupées de chauffés répétées, afin d'éliminer la scorie et les éléments de la gangue encore inclus dans la masse. Des témoignages antiques prêtent même aux Ibères un procédé particulier, consistant en l'enfouissement plus ou moins long de l'éponge dans le sol, pour que la corrosion facilite l'élimination des éléments indésirables. Cette séquence d'opérations postérieure à la réduction produisait un fer doux très pur.

Pour le fer du rivet d'Ygos, s'il ne provient pas du minerai des marais littoraux landais, d'autres solutions seraient envisageables : d'autres minerais de fer étaient disponibles dans des zones peu éloignées. La limonite en cuirasse ne présente pas les mêmes inconvénients et peut être réduite et travaillée, comme l'ont montré les expérimentations de J.-C. Leblanc (communication verbale). Ce matériau est présent au nord de Castelnau, dans le Médoc, foyer nucléaire des haches médocaines en bronze du type de celles d'Ygos. Une autre hypothèse serait l'importation de menus objets venant de foyers précoces de métallurgie de fer en Europe orientale ou centrale, ou parvenus sur la côte, par voie maritime, depuis la Méditerranée centrale. Cette hypothèse ne peut être totalement écartée, mais sa probabilité semble faible, vu les distances à parcourir et la rareté de ces premiers objets de fer dans les régions concernées. Enfin, certains chercheurs (dont J. A. Charles, 1984) envisagent que l'apparition de la métallurgie du fer ait pu être un effet collatéral de la réduction de certains minerais de cuivre. Les gîtes cuprifères comportent une zone riche en fer, le ghossan ou chapeau de fer, principalement constitué de goethite et d'hématite. La mise en exploitation des minerais sulfurés, en particulier la chalcopirite CuFeS_2 , et les «cuivres gris», tétraédrite $(\text{CuFe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ et tennantite $(\text{CuFe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$, a mis les métallurgistes du cuivre et du bronze en présence du minerai de fer même si, au départ, ils ne pouvaient reconnaître la présence du métal inconnu dans ces composés métalliques. Pour obtenir le cuivre, les procédés de réduction devaient éliminer le soufre et le fer. Dans un premier temps, la réduction a pu être obtenue par un grillage poussé «à mort» (*dead-roasting*), sans production de scorie. Le cuivre obtenu contenait encore des sulfures de cuivre et de fer, et exigeait la mise en oeuvre d'une séquence d'opérations de raffinage en creuset destinées à les éliminer.

La notable présence du fer parmi les composantes de certains objets de bronze a été souvent interprétée comme la trace «fossile» des procédés employés à cette époque pour la réduction du minerai de cuivre, procédés jugés rudimentaires et technologiquement inférieurs à ceux qu'avaient maîtrisés très tôt les métallurgistes du Proche-Orient ou de l'Égée (Craddock et Meeks, 1987 ; Craddock, 1990, p. 69-71 ; Bauer et Northover, 1998, p. 181-183). Ces procédés primitifs de réduction ne nécessitaient pas de véritables fourneaux, et ne produisaient pas de scories. Une autre méthode de réduction, un peu plus élaborée, comportait l'introduction dans le fourneau de blocs de minerais de fer agissant comme fondant et favorisant donc la formation de scories. La production de scories avait pour effet l'éjection conjointe du fer, sous forme d'oxydes, et des silicates formant l'essentiel de la gangue. Si les techniques de réduction du minerai de cuivre n'entraînaient pas de scorification, l'une des conséquences aurait été ce taux résiduel de fer dans le cuivre. Par la suite seront mises au point des méthodes plus élaborées, produisant des scories de coulée riches en fer. Or, au cours du processus de réduction scorifiante, il peut arriver que, s'il est riche en fer, le cuivre fraîchement réduit, non encore raffiné, contienne des globules présentant la structure du fer blanc coulé (*white cast iron*). Le fait a été observé par exemple dans le métal des sites de Sa Sedda et Sos Carros, en Sardaigne (Craddock, 1995, p. 140). Les bronziers auraient pu le remarquer.

En Europe occidentale, y compris la France, des teneurs variables en fer, parfois fortes, ont été constatées, particulièrement dans des lingots du Bronze moyen et récent, sub-contemporains du rivet de fer d'Ygos et de la pointe ou poinçon de Bargerosterveld. Pour ne prendre que quelques exemples, dans le dépôt du Bronze C/D de Malassis (Cher), des lingots de cuivre présentent des teneurs en fer variant de 0,22 à 5,4 %. «Il s'agit donc parfois d'un véritable alliage cuivre-fer» (Giot, Bourhis et Briard, 1970, p. 39). Les mêmes constatations ont été faites pour des lingots ou des déchets

de fonderie inclus dans les dépôts du début du Bronze final (Ha A) de Cannes-Ecluse (Seine-et-Marne). En Suisse, à peu près en même temps – Bronze moyen et Bronze D/Ha A – on signale aussi la présence du fer dans la composition des bronzes (Rychner et Kläntsch, 1995). C'est encore le cas lors d'étapes plus récentes de l'âge du Bronze dans divers dépôts du Bronze final III, tel celui du Petit-Villatte à Neuvy-sur-Barangeon (Cher) (Giot *et al.*, 1970, p. 39 et 46), mais alors, le fer sous sa forme métallique est déjà présent – quoique discrètement – dans plusieurs dépôts.

Certains historiens de la métallurgie – les mêmes qui jugeaient primitive la technique de réduction non scorifiante du cuivre – se sont demandé si ces bronzes riches en fer n'auraient pas été recherchés pour leurs qualités propres (Craddock, 1995, p. 255). Mais si l'on reprend l'exemple des dépôts de Malassis ou de Cannes-Ecluse, on constate que les teneurs en fer, importantes dans les lingots ou les déchets de fonderie, sont très nettement inférieures dans les objets fabriqués, outils, armes ou parures, qui leur sont associés dans ces mêmes dépôts. À moins de supposer une origine différente pour ces deux catégories de produits - ce qui paraît peu vraisemblable – on peut envisager que les bronziers, lors de phases ultérieures de traitement du métal, parvenaient à éliminer une grande partie du fer résiduel subsistant dans le cuivre brut ou peu raffiné. À cet égard on observera que le bronze de la hache au rivet de fer d'Ygos est pratiquement dépourvu de fer (0,025 et 0,001 %), et que le fer du rivet ne contient pas de cuivre en pourcentage appréciable (0,063 %). Celui de la pointe ou poinçon de Bargerosterveld n'en contenait pas davantage (0,003-0,022 %). Dans le Médoc où a fonctionné au Bronze moyen un foyer particulièrement actif de métallurgie, producteur entre autres de haches à bords droits semblables à celle d'Ygos, les mêmes constatations s'imposent. Les résultats encore inédits de l'analyse d'une cinquantaine de lingots du groupe de dépôts de l'Amélie à Soulac-sur-Mer, en Gironde (Roussot-Larroque et Queffélec, en préparation) montrent des teneurs en fer nettement plus élevées que dans les produits finis, haches médocaines à bords droits et autres objets de ces dépôts.

Malheureusement, dans l'état actuel de la recherche en France, si une grande attention a été portée aux toutes premières étapes de l'extraction et de la métallurgie du cuivre, les données sont bien rares sur les ateliers de bronziers et la reconstitution des process techniques prévalents à cette époque. Et pourtant, le Bronze moyen et le tout début du Bronze final se caractérisent par une intense activité métallurgique, particulièrement dans la France de l'Ouest, la Normandie, la Bretagne ainsi que le Médoc. À quelques kilomètres seulement du lieu de découverte des dépôts de l'Amélie, le site de La Lède du Gurg à Grayan-et-L'Hôpital a été l'un de ces ateliers de bronzier. Il a livré les vestiges d'un fourneau métallurgique, des restes de moules et de creusets et quelques scories ou fragments de paroi scorifiés (Roussot-Larroque, 1997a). Toujours dans le Médoc, d'après des renseignements sur une découverte demeurée inédite, un petit ensemble de céramique typique du Bronze moyen médocain aurait été accompagné de scories ressemblant à des scories de fer, mais qui d'après l'analyse, seraient le résidu de la métallurgie du bronze. Or, on a montré pour des périodes plus récentes que «la distinction entre des scories de fer et des scories de cuivre peut être délicate» (Ploquin, 1989).

Pour conclure, en Europe occidentale, les découvertes d'objets de fer dans des contextes du Bronze moyen ou récent demeurent rares et dispersées. Et pourtant on ne saurait les considérer comme anecdotiques. Elles coïncident avec l'augmentation, considérable à cette époque, du volume de la production des ateliers de bronziers et, dans le même temps, avec les avancées technologiques que laisse entrevoir l'évolution des process de réduction des minerais de cuivre sulfurés. On sait que la réduction du minerai de fer dépendra essentiellement de la maîtrise des procédés de réduction scorifiante et que ces procédés ne diffèrent pas fondamentalement lorsque l'on passe du cuivre au fer. Peut-on conjecturer que, dès le Bronze moyen, autour du XV^e siècle av. J.-C., les bronziers occidentaux avaient franchi le seuil technologique conduisant à la production du fer ? Étaient-ils déjà capables de reconnaître la présence du nouveau métal dans les blocs de minerai de fer non réduit, les produits scorifiés, ou les globules de fer apparus quelquefois dans les masses de cuivre incomplètement raffiné ? Dans l'état actuel de l'information, la prudence s'impose, mais la question peut désormais être posée.

BIBLIOGRAPHIE

BAUER I., NORTHOVER J. P. (1998) – Zug-Sumpf : an extensive approach to the analysis of a single site and the development of sampling strategies for other sites. In : MORDANT C., PERNOT M., RYCHNER V. (dir.), *L'atelier du bronzier en Europe du XXe au VIIIe siècle avant notre ère. 1. - Les analyses de composition du métal : leur apport à l'archéologie de l'Âge du Bronze*. Paris, CTHS, p. 175-188.

BERCHON E. (1891) – Études paléo-archéologiques sur l'Âge du Bronze spécialement en Gironde. *Société Archéologique de Bordeaux*, 16, 3, p. 47.

BOURHIS J.-R., GIOT P.-R., BRIARD J. (1975) – *Analyses spectrographiques d'objets préhistoriques et antiques. Troisième série*. Rennes, Travaux du Laboratoire «Anthropologie – Préhistoire - Protohistoire – Quaternaire armoricains.»

BRIARD J., ROUSSOT-LARROQUE J. (2002) - Les débuts de la métallurgie dans la France atlantique. In : M. BARTELHEIM, E. PERNICKA, R. KRAUSE (dir.), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt/ The Beginnings of Metallurgy in the Old World*. Rahden/Westfal., Leidorf, p. 135-160. (Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft, Bd. 1).

BUTLER J. J. (1976) – An Iron Find of the Middle Bronze Age. *Union internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, IXe Congrès, Nice, Résumés des communications, Colloque VII*, 2, p. 431.

BUTLER J. J. (1984) – Indications of iron production in the Middle Bronze Age. In : W. A. CASPARIE, The three Bronze Age footpaths XVI (Bou), XVII (Bou) and XVIII (Bou) in the raised bog of Southeast Drenthe (the Netherlands). *Palaeohistoria*, 26, p. 59-60.

CASPARIE W. A. (1984) – The three Bronze Age footpaths XVI (Bou), XVII (Bou) and XVIII (Bou) in the raised bog of Southeast Drenthe (the Netherlands). *Palaeohistoria*, 26, p. 41-94.

CHANTRE E. (1875-1877) - *Etudes paléoethnologiques dans le bassin du Rhône. Recherches sur l'origine de la métallurgie en France*. Paris, J. Baudry, 3 vol. grand in-quarto, avec un atlas de 79 planches in-folio. III. *Statistiques*, 248 p.

CHARLES J. A. (1980) - The Coming of Copper and Copper-Base Alloys and Iron : a Metallurgical Sequence. In: WERTIME T. A. et MUHLY J. D. (éd.) (1980), *The Coming of the Age of Iron*. New Haven and London, Yale University Press, p. 151-181.

CHARLES J. A. (1984) – The Middle Bronze Age Iron Punch of Southeast Drenthe. *Palaeohistoria*, 26, p. 95-99.

CRADDOCK P. T. (1990) – Copper smelting in Bronze Age Britain : Problems and Possibilities. In : CREW P. (ed.), *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*, p. 69-71 (Plas Tan y Bwlch Occasional Paper N° 1).

CRADDOCK P. T. (1995) - *Early Metal Mining and Producing*. Edimburgh University Press.

CRADDOCK P. T., MEEKS N. (1987) – Iron in ancient copper. *Archaeometry*, 29, p. 187-204.

DU BOUCHER H. (1879) - Matériaux pour un catalogue des stations préhistoriques landaises. *Bulletin de la Société de Borda*, Dax, p. 56-57 ; p. 307-318 [p. 261].

GIOT P.-R., BOURHIS J.-R., BRIARD J. (1970) – *Analyses spectrographiques d'objets préhistoriques et antiques. Deuxième série*. Rennes (Travaux du Laboratoire d'Anthropologie préhistorique. Faculté des Sciences, Rennes).

GOMEZ J., MOHEN J.-P. (1981) - Les plus vieux objets en fer en France. In : H. HÄNSEL (dir.), *Frühes Eisen in Europa. Festschrift W.V.Guyan zu seinem 70. Geburtstag*. Schaffhausen, Meili, p. 53-56.

GOURDON-PLATEL N., MAURIN B. (2008) – Utilisation du fer des marais, encroûtement superficiel holocène, autour des sites sub-lacustres de Sanguinet (Landes). *Aquitania*, 24, p. 7-20.

HAPP J., AMBERT P., BOURHIS J.-R., BRIARD J. (1994) - Premiers essais de métallurgie expérimentale à l'Archéodrome de Beaune à partir des minerais chalcolithiques de Cabrières (Hérault): analyse spectrographique des produits de cette métallurgie. Comparaison avec les productions chalcolithiques de Cabrières. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 91, 6, p. 429-434.

LEROY M., CASAROTTO J.-T., MERLUZZO P., av. la coll. de C. Forrières, A. Ploquin et B. Hamon (1994) – La sidérurgie ancienne en Lorraine et les conditions de l'utilisation du minerai oolithique lorrain en réduction directe, l'exemple de l'atelier de Frouard (Ve-VIe s.). In : *La sidérurgie ancienne de l'Est de la*

France dans son contexte européen, colloque de Besançon 10-13 novembre 1993, p. 41-56 (Annales littéraires de l'Université de Besançon, 536).

LO SCHIAVO F. (1988) – Early Metallurgy in Sardinia. In : MADDIN R. (ed.), *The Beginning of the Use of Metals and Alloys. Papers from the Second International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys. Zhengzhou, China, 21-26 October 1986*. Massachusetts Institut of Technology, p. 92-193.

MAURIN B. (1998) – 3000 ans sous les eaux. Bilan de 20 ans de recherches archéologiques subaquatiques dans le lac aquitain de Cazaux-Sanguinet. Larbey.

MAURIN B., DUBOS B., LALANNE R. (1999) – L'enceinte protohistorique de l'Estey du Large, site archéologique sublacustre de Sanguinet. *Aquitania*, 15, p. 73-107.

MERLET J.-C. (1997) - Un dépôt de haches plates à Ygos-et-Saint-Saturnin (Landes). *Archéologie des Pyrénées Occidentales et des Landes*, 16, p. 123-130.

MOHEN J.-P., ELUÈRE C. (coord.) (1991) – *Découverte du métal*. Paris, Picard (Millénaires, 2).

PLEINER R. (1980) – Early iron metallurgy in Europe. In : T. A. WERTIME et J. D. MUHLY (eds.), *The Coming of the Age of Iron*. New Haven/London, p. 375-415.

PLEINER R. (1981) – Die Wege des Eisens nach Europa. In : H. HÄFNER (dir.), *Frühes Eisen in Europa. Festschrift Walter Ulrich Guyan zu seinem 70. Geburtstag*. Schaffhausen, Meili, p. 115-128.

PLEINER R. (1994) – Early bloomeries in Central Europe. Ateliers de réduction précoces d'Europe centrale. In : *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen, colloque de Besançon 10-13 novembre 1993*, p. 41-56 (Annales littéraires de l'Université de Besançon, 536).

PLOQUIN A. (1989) – Du minerai de fer... avant le haut fourneau et le passage au haut fourneau, apports de l'analyse chimique des scories et autres déchets. In : VUAILLAT D. (dir.), *Le Berry et le Limousin à l'Âge du Fer. Artisanat du bois et des matières organiques, Actes du XIIIe colloque de l'AFEAF, Guéret, mai 1989*, Guéret, p. 21-28.

POTTIER R. (1875) - Haches de bronze dans les Landes. *Matériaux pour l'histoire primitive et naturelle de l'Homme*, 2e série, t. VI, p. 295-296 [p. 295].

ROUSSOT-LARROQUE J. (1989) - Le Bronze moyen d'Aquitaine et la culture des Tumulus. *Dynamique du Bronze moyen en Europe occidentale*. Actes du 113e congrès national des Sociétés savantes, Strasbourg, 1988, Editions du Comité des Travaux historiques et scientifiques, 1989, p. 393-427.

ROUSSOT-LARROQUE J. (1997a) - La Lède du Gurp et la métallurgie du Bronze moyen dans le Médoc. (Annexe par J.-R. BOURHIS). *Revue archéologique de Bordeaux*, 88, p. 33-56.

ROUSSOT-LARROQUE J. (1997b) - Eight millenia under the sand dunes: a detailed holocene sequence on the Atlantic shoreline in the North Medoc: La Lède du Gurp. *Holocene coastal changes in the Aquitaine region, relationships with human settlements. Les changements côtiers holocènes en Aquitaine, leurs relations avec l'occupation humaine*. Union internationale pour l'étude du Quaternaire (INQUA), sous-commission des lignes de rivages de l'Europe du nord et de l'ouest. Fieldmeeting 1997, 7 p., 2 tabl.

ROUSSOT-LARROQUE J. (2013) – L'épée et le rasoir : transition Bronze-Fer autour de l'estuaire de la Gironde. In : A. COLIN et F. VERDIN (dir.), *L'Âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'Âge du Fer, Actes du XXXVe colloque de l'AFEAF, Bordeaux, 2-5 juin 2011*. Bordeaux, Aquitania, suppl. 30, p. 57-81.

ROUSSOT-LARROQUE J., BERNAT P. (1997) - Site immergé de l'Age du Bronze à Lapartens (commune de Vendays-Montalivet, Gironde). *Bulletin Préhistoire du Sud-Ouest, Nouvelles Etudes*, 4, 2, p. 7-21, 10 fig.

ROVIRA S. - La première métallurgie en Espagne et dans le Sud-Est de la France : similitudes et différences. In : J.-P. MOHEN, Chr. ELUÈRE (coord.), *Découverte du Métal*. Paris, Picard (Millénaires, 2).

RYCHNER V., KLÄNTSCHI N. (1995) – Arsenic, nickel et antimoine : une approche de la métallurgie du Bronze moyen et final en Suisse par l'analyse spectrométrique. Lausanne, Cahiers d'Archéologie romande, 63 et 64.

SPECK J. (1981) – Frühes Eisen in den Ufersiedlungen der Spätbronzezeit. *Helvetia archaeologica*, 45-46, *Zürcher Seeufersiedlung*, p. 265-271.

STIG SØRENSEN M. L., THOMAS R. (1989) – *The Bronze Age-Iron Age Transition in Europe. Aspects of continuity and change in European societies c. 1200 to 500 B. C.* BAR International Series 483.

TYLECOTE R. F. (1987) – *The Early History of Metallurgy in Europe*. London/New-York (Longman Archaeology Series).

VILAÇA R. (2013) – Contextes d'utilisation, de circulation et de déposition des premiers artefacts en fer de l'Atlantique occidental. In : A. COLIN et F. VERDIN (dir.), *L'Âge du Fer en Aquitaine et sur ses marges. Mobilité des hommes, diffusion des idées, circulation des biens dans l'espace européen à l'Âge du Fer, Actes du XXXVe colloque de l'AFEAF, Bordeaux, 2-5 juin 2011*. Bordeaux, Aquitania, suppl. 30, p. 631-642.