

OBJETS EN FER DE  
L'AGE DU BRONZE  
FINAL

LE CAS DU LAC  
DU BOURGET,  
APPROCHE CHIMIQUE

---

ALBERT JAMBON

Avec la collaboration d'ISABELLE KEROUANTON

Albert Jambon,  
Sorbonne Universités, Université Pierre et Marie Curie, IMPMC, Paris  
MNHN Paris, Laboratoire de Cosmochimie  
Université de la Côte d'Azur, Sophia-Antipolis

Avec la collaboration d'Isabelle Kerouanton  
Ingénieure chargée de recherches, Inrap

#### RÉFÉRENCE ÉLECTRONIQUE

Albert Jambon, Isabelle Kerouanton  
(collab.) « Objets en fer de l'Âge du  
Bronze final. Le cas du lac du Bourget,  
approche chimique ».  
*Les Dossiers du Musée Savoisien :*  
*Revue numérique* [en ligne], 5-2019.  
URL : [http://www.musee-savoisien.fr/  
8754-05-2019.htm](http://www.musee-savoisien.fr/8754-05-2019.htm)

Cet article a été l'objet d'une communication aux  
Journées nationales de l'archéologie 2017  
(Novalaise, Base départementale d'aviron,  
lundi 19 juin 2017).

## RÉSUMÉ

---

Des analyses récentes de fers de l'âge du Bronze au Proche-Orient (avant 1300 BCE) ont montré qu'il s'agissait d'objets en fer météoritique. Il existe aussi en Europe et particulièrement en France, quelques objets en fer de l'âge du Bronze final, comme ceux provenant du lac du Bourget et conservés au Musée Savoisien de Chambéry. La question posée ici est différente puisque le passage de l'âge du Bronze à l'âge du Fer y est beaucoup plus récent. Les fers du lac du Bourget analysés sont tous d'origine terrestre. Deux sont composites (fer-bronze) et constituent des clés pour la compréhension de cette période de transition. On est à une époque charnière et l'origine la plus probable serait une importation de contrées plus à l'Est, sous forme de lingots. Il se serait donc agi d'une métallurgie artisanale (fabrication de bijoux et d'objets de prestige), le passage à la pratique industrielle (fabrication d'outils et d'armes en quantité) viendra probablement après la découverte de la réduction des minerais locaux.

## MOTS-CLÉS

---

**LAC DU BOURGET**

**FER**

**ÂGE DU BRONZE**

# INTRODUCTION

---

L'apparition de la métallurgie du fer est une révolution technique, économique et culturelle majeure dans l'histoire de l'humanité. Si l'on a de fortes raisons de penser qu'elle a commencé au Proche-Orient vers 1200 avant J.-C., on ne sait ni où, ni quand, ni comment. Ainsi il existe des objets de fer, en petit nombre certes, trouvés dans des sites archéologiques de l'âge du Bronze, aussi bien au Proche-Orient : voir par exemple les inventaires de J. C. Waldbaum<sup>1</sup>, de G. J. Varoufakis<sup>2</sup> en Grèce, de J. Gomez de Soto et I. Kerouanton en France<sup>3</sup>, de R. Vilaça au Portugal<sup>4</sup> ou encore de C. Giardino en Italie<sup>5</sup>...). Deux hypothèses ont été proposées pour expliquer ces découvertes : 1) Il s'agit de fer météoritique – ce qui implique que la métallurgie extractive du fer n'a pas été inventée avant la fin de l'âge du Bronze ; 2) Il s'agit d'une métallurgie confidentielle inventée au cours de l'âge du Bronze et dont le secret aurait été jalousement gardé pendant près de deux millénaires peut-être. Des analyses récentes ont montré que les fers du Proche-Orient datés de l'âge du Bronze, lorsqu'ils sont proprement analysés et que l'on s'affranchit

**1** WALDBAUM J.C., "The first Archaeological Appearance of Iron and the transition to the Iron Age" in T.A. Wertime, Muhly J.D., *The Coming of Age of Iron*, New Haven and London : Yale University Press, 1980, pp. 69-98; WALDBAUM J.C., "The coming of Iron in the Eastern mediterranean : Thirty years of Archaeological and Technological research" in *The archaeometallurgy of the Asian World*, V.C. Pigott ed. MASCA Research papers in *Science and archaeology*, vol. 16, 1999, pp. 27-57  
**2** VAROUFAKIS G. J., "The Origin of Mycenaean and Geometric Iron on the Greek Mainland and in the Aegean Islands" In Muhly James D., Maddin Robert, Karageorghis Vassos eds, *Early metallurgy in Cyprus, 4000-500 B.C.*, Nicosie, 1982, pp. 315-317

**3** GOMEZ DE SOTO J., KEROUANTON I., « Les premiers objets en fer en France, à l'âge du Bronze » in *De l'âge du Bronze à l'âge du Fer en France et en Europe occidentale (Xe - VIIe siècle av. J.-C.). La moyenne vallée du Rhône aux âges du Fer*. Actes du XXXe colloque international de l'A.F.E.A.F., co-organisé avec l'A.P.R.A.B., Saint-Romain-en-Gal, 26-28 mai 2006, (27e suppl. à la R.A.E.), 2009, pp. 501-506  
**4** VILAÇA R., « L'arrivée des premiers fers dans l'Occident Atlantique » in *Les transferts de technologie au premier millénaire av. J.-C. dans le sud-ouest de l'Europe*, Mélanges de la Casa de Velázquez, Nouvelle série, 2013, 43-1  
**5** GIARDINO C., "Metallurgy in Italy between the late Bronze age and the Early Iron Age: the Coming of Iron" in Attema Peter, Nijboer Albert, Zifferero Andrea (éd.), *Papers in Italian Archaeology VI. Communities and Settlements from the Neolithic to the early Medieval Period*, Oxford, 2005, pp. 491-505

des problèmes d'altération, sont tous composés de fer météoritique (Nakai et al.<sup>6</sup>, Rehren et al.<sup>7</sup>, Johnson<sup>8</sup>, Comelli et al.<sup>9</sup>, Jambon<sup>10</sup>). On notera cependant que seule une poignée d'objets a été étudiée et qu'il convient donc de multiplier les analyses pour confirmer cette hypothèse. Dans le cas des fers européens, le problème est probablement différent. En effet, l'âge du Fer européen ne commence pas avant le début du IX<sup>e</sup> siècle, environ trois siècles après son apparition au Proche-Orient ; en Europe de l'ouest, il ne débute pas avant le VII<sup>e</sup> siècle (Hallstatt C). Outre les hypothèses précédemment mentionnées pour l'origine du fer, on peut aussi imaginer une importation de fer en provenance de contrées où la métallurgie du fer était déjà connue.

Il existe très peu de fers de l'âge du Bronze pour lesquels des analyses récentes et fiables aient été produites. On notera par exemple la goupille de fer de la hache d'Ygos, datée de l'âge du Bronze moyen d'après sa typologie<sup>11</sup> et les quelques objets du lac de Neuchâtel (deux clous, un hameçon, trois épingles) datés de l'âge du Bronze final<sup>12</sup>. Tous ces objets, d'après leur composition, sont en fer terrestre. Si les analyses ne sont pas à mettre en cause, la question de leur datation précise pourrait probablement, être discutée. Il paraît donc nécessaire de multiplier les analyses d'autres objets afin de s'appuyer sur une base de données plus large et donc plus fiable. Les objets du lac du Bourget<sup>13</sup> constituent une cible de choix. Leur contexte et leur typologie les rapprochent des échantillons du lac de Neuchâtel mais on notera que nos échantillons provenant de pêches de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle<sup>14</sup> leur datation s'effectue de façon analogique et non stratigraphique. Le

nombre d'objets de fer est trop faible pour procéder autrement. On pourra aussi noter la recension<sup>2</sup> de R. Laurent<sup>15</sup> en observant toutefois que les loupes de fer de Sévrier (lac d'Annecy) se sont finalement avérées être médiévales.

**6** NAKAI I., ABEY., TANTRAKARN K., OMURA S., ERKUT S., "Preliminary report on the Analysis of an early Bronze Age iron dagger excavated from Alacahöyük" in *Anatolian Archaeological Studies*, 17, 2008, pp. 321-324

**7** REHREN T., BELGYA T., JAMBON A., KÁLI G., KASZTOVSZKY Z., KIS Z., KOVÁCS I., MARÓTI B., MARTINÓN-TORRES M., MINIACI G., PIGOTT V.C., RADIVOJEVI M., "5,000 years old Egyptian iron beads made from hammered meteoritic iron" in *Journal of Archaeological Science*, 40, 2013, 4785-4792, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.06.002>

**8** JOHNSON D., TYLDESLEY J., LOWET., WITHERS P.J., GRADY M.M., "Analysis of a prehistoric Egyptian iron bead with implications for the use and perception of meteorite iron in ancient Egypt" in *Meteoritics and Planetary Science*, 2013, 48, 997-1006

**9** COMELLI D., D'ORAZIO M., FOLCO L., EL-HALWAGY M., FRIZZIT T., ALBERTI R., CAPOGROSSO V., EL-NAGGAR A., HASSAN H., NEVIN A., PORCELLI F., RASHED M.G., VALENTINI G., "The meteoritic origin of Tutankhamen's iron dagger blade" in *Meteoritics & Planetary Science*, 2016, 1-9. doi: 10.1111/maps.12664

**10** JAMBON A., "Bronze Age Iron: Meteoritic or not ? A Chemical Strategy" in *Journal of Archaeological Science*, 2017, 88, 47-53 ; JAMBON A., "A Meteoritic Iron Pendant from Umm el Marra tomb" in *Animals, Ancestors and Sacrifice in Third-Millennium BC Syria: Excavations at Umm el-Marra*. Schwartz, G. (ed.) Cotsen Institute of Archaeology Press, University of California at Los Angeles, 2020 (soumis)

**11** ROUSSOT-LARROQUE J., QUEFFELECA A., « Le plus vieil objet de fer d'Europe occidentale est-il Landais ? » in *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude de l'âge du Fer*, 2014, 32, 73-84

**12** JAMBON, 2020 ; JAMBON, 2017

**13** KEROUANTON I., « Le lac du Bourget (Savoie) à l'âge du Bronze final : Les groupes culturels et la question du groupe du Bourget » in *Bulletin de la Société préhistorique française*, 2002, 99-3, pp. 521-561 ; GOMEZ DE SOTO, KEROUANTON, 2009

**14** KEROUANTON, 2002

**15** LAURENT R., « L'apparition de la métallurgie du fer dans les stations littorales de la Savoie de l'âge du Bronze final », *Publications de la Société Linéenne de Lyon*, 1968, 37-2, 54-65

# LES ÉCHANTILLONS

Les sites du lac du Bourget ont fait l'objet de réévaluations récentes permettant d'établir une stratigraphie des sites et d'obtenir des données dendrochronologiques plus ou moins abondantes <sup>16</sup>. Douze sites sont répertoriés de l'âge du Bronze final <sup>17</sup> (fig. 1). Nous avons procédé à l'analyse de cinq objets (quatre épingles et un bracelet) conservés au Musée Savoisien de Chambéry et provenant des pêches du XIX<sup>e</sup> siècle (fig. 2). Nous avons conservé les numéros indiqués par J. Gomez de Soto et I. Kerouanton <sup>18</sup>.

**16** BILLAUDY, « Le lac du Bourget à la fin de l'âge du Bronze. Premiers éléments pour une reconstitution de l'occupation des zones littorales » in *Cahiers d'Archéologie Romande*, 2010, 132 ; Documents préhistoriques, 30, 345-361

**17** BILLAUDY, LANGENEGGER F., BRIGAND R., « Formes de l'habitat palafittique sur les rives du lac du Bourget (Savoie, France) à la fin de l'âge du Bronze », in *Bulletin d'études préhistoriques et archéologiques alpines*, 2013, n° spécial, XIII<sup>ème</sup> colloque sur les Alpes dans l'Antiquité, pp. 237-250

**18** GOMEZ DE SOTO, KEROUANTON, 2009

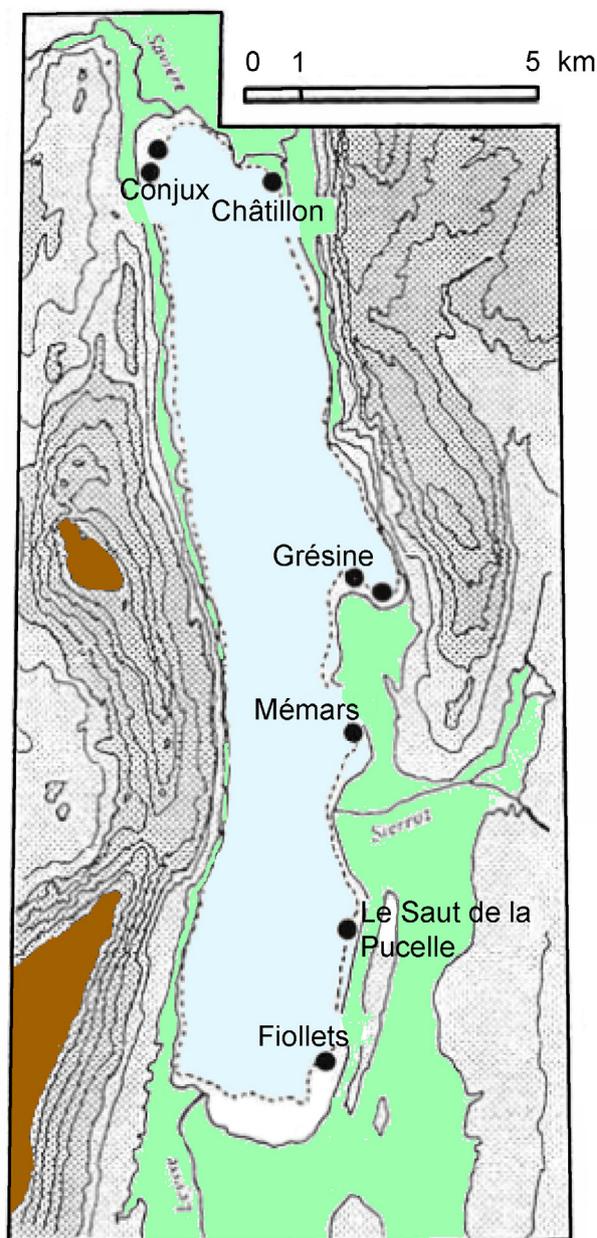


Figure 1. Carte de localisation des sites du lac du Bourget indiquant les différents sites.

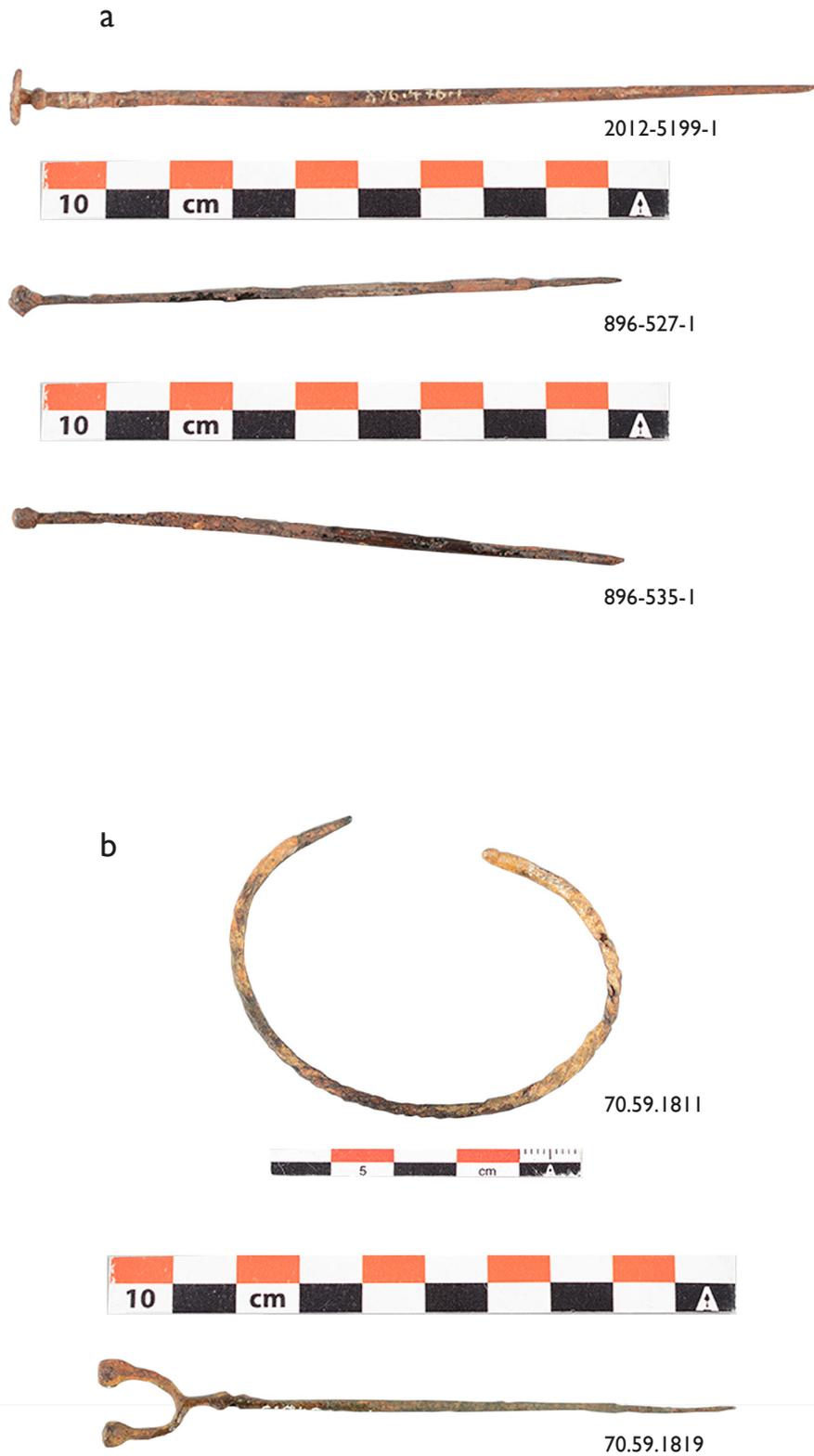


Figure 2. Images des objets analysés. a) Objets en fer. b) Objets composites.

Le premier objet (n° 1 : 70-59-1811) est un bracelet torsadé à deux brins dont la provenance précise est inconnue. Il provient de la collection de J.-A. Blanc). I. Kerouanton mentionne un bracelet typologiquement comparable en provenance du site de Grésine.

**Site du Saut de la Pucelle :** Les datations dendrochronologiques des pieux donnent des valeurs s'échelonnant de 1068 à 805 BCE<sup>19</sup>. Deux épingles proviennent de ce site : n° 3 (= 896-527-1 ; D-2441) et n° 4 (= 896-535-1 ; D-2449)

**Site des Fiollets :** Les datations dendrochronologiques des pieux donnent des valeurs s'échelonnant de 940 à 875 BCE<sup>20</sup> mais le nombre de mesures est limité à onze. On y a analysé deux épingles dont l'une (n° 2 : 2012-5199-1, anciennement 896-436-1) est à tête plate et l'autre (n° 5 = 70-59-1819) une épingle à tête bifide, toutes deux en provenance de la collection de J.-A. Blanc.

<sup>19</sup> KEROUANTON, 2002 ; BILLAUD Y., « Le lac du Bourget à la fin de l'âge du Bronze. Premiers éléments pour une reconstitution de l'occupation des zones littorales » in *L'Homme au bord de l'eau. Archéologie des zones littorales du Néolithique à la Protohistoire : actes du 135e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques du CTHS «Paysages», Neuchâtel, 6-11 avril 2010, Session de Pré-et Protohistoire*, Éditions du CTHS (Collection Documents préhistoriques ; n° 30) ; Cahiers

d'Archéologie Romande, 132, 2012, pp. 345-361

<sup>20</sup> GOMEZ DE SOTO, KEROUANTON, 2009

<sup>21</sup> JAMBON, 2017

## MÉTHODE ANALYTIQUE

L'analyse chimique par fluorescence X portable (p-XRF) s'est considérablement répandue ces dernières années dans le domaine de l'archéologie en raison de son caractère non destructif. Cette méthode permet d'obtenir la composition chimique de la zone superficielle de n'importe quel matériau. Dans le cas d'objets en métal suffisamment bien préservés, elle permet d'obtenir des valeurs fiables pour le manganèse, le fer, le cobalt, le nickel et le cuivre, éléments importants pour la détermination de l'origine du fer. La méthode analytique a été présentée par A. Jambon<sup>21</sup>. Nous avons recours à un analyseur (Niton X3t 900) opérant avec une source de rayons X à 50 kV. Une série de filtres utilisés de façon séquentielle permet de travailler successivement dans quatre domaines du spectre depuis 1.25 keV (raie K du Mg) jusqu'à 13.6 keV (raie K de l'U). Pour l'analyse d'objets en fer, seules deux fenêtres sont utilisées, permettant d'analyser les éléments légers (de Al à Ca) et les éléments de transition (de Ti à Cu). Les analyses s'effectuent à l'air ambiant, l'obtention d'un point d'analyse prenant environ deux minutes. On notera que les éléments plus légers que le manganèse (par exemple l'oxygène et le carbone) ne peuvent être pris en compte même si le résultat d'analyse d'un métal et de son oxyde sont différents. La durée d'analyse est un compromis afin d'abaisser la limite de détection des éléments en traces et de permettre des répliques en un temps raisonnable. La comparaison avec d'autres méthodes analytiques mises en œuvre sur les mêmes échantillons (NAA et EMPA) indique que la limitation est liée à l'état de surface de l'échantillon et non pas à la méthode.

# RÉSULTATS

Les résultats analytiques bruts sont répertoriés dans le [tableau I](#). Parmi les objets analysés, trois sont en fer et deux sont des composites fer-bronze. Les éléments aluminium, silicium et soufre qui représentent souvent moins d'un pour cent de la composition, n'ont pas été reportés dans ce tableau. Nous considérons qu'il s'agit de contamination : présence de sédiment dans le cas de silicium et d'aluminium et formation de FeS<sub>2</sub> superficiel secondaire dans le cas du soufre. Les faibles totaux correspondent à la présence de ces éléments.

## Les objets de fer

Les trois épingles en fer présentent une teneur en fer supérieure à 86% indiquant que la corrosion est limitée à une fine couche superficielle (total très voisin de 100%). La présence de nickel est inférieure au seuil de détection et celle du cobalt dépend des épingles, mais ne dépasse jamais une valeur assez banale pour un fer métallurgique. Ces résultats sont suffisants pour affirmer qu'il s'agit, sans aucun doute possible de fer terrestre. La teneur en cuivre est négligeable sauf pour un objet. Dans ce dernier cas il est possible qu'il s'agisse d'une pollution (sous forme de sulfure) en relation avec le nombre important d'objets en cuivre présents dans le contexte de découverte. La teneur en manganèse est variable, suggérant des minerais de diverses origines mais une contribution du sédiment ne peut pas être exclue.

Référence Echantillon	type	#	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Sn
896-535-1	épingle	506	0.5	93.4	0.2	0	0.9	0
896-535-1	épingle	507	0.4	89.7	0	0	1.4	0
896-535-1	épingle	508	0.2	91.4	0.4	0	1.2	0
896-476-1	épingle	509	0	94.4	0	0	0.2	0
896-476-1	épingle	510	0	86.9	0	0	0	0
896-476-1	épingle	511	0.1	94.4	0.1	0	0.2	0
896-527-1	épingle	512	0.1	96	0.2	0	0.2	0
896-527-1	épingle	513	0.2	96	0.3	0	0.2	0
896-527-1	épingle	514	0.1	95.9	0.2	0	0.3	0
70.59.1819	épingle	515	0	31.7	0	0.1	37.8	16.6
70.59.1819	épingle	516	0	19.9	0	0	53.2	12.4
70.59.1819	épingle	517	0	11.8	0	0	54	22.3
70.59.1819	épingle	518	0	9.8	0	0	56.1	18.4
70.59.1811	bracelet	519	0	60.7	0	0	23.8	4.8
70.59.1811	bracelet	520	0	56.5	0	0	31.2	4.1
70.59.1811	bracelet	521	0	20.9	0	0	1.7	0
70.59.1811	bracelet	523	0	32.9	0	0	6.1	0

Tableau I : Résultats analytiques bruts. Les valeurs nulles correspondent à des valeurs en dessous du seuil de détection. La silice (sédiment collé à la surface) permettrait de compléter les analyses à près de 100%. On note la présence de bronze dans les deux derniers échantillons.

## Les objets composites

---

Dans le cas de l'épingle bifide, la bimodalité fer-bronze n'apparaît pas visuellement dans l'état actuel de l'objet. La composition du bronze (après soustraction du fer) est de 74% de cuivre (plus ou moins 5%) et de 26% d'étain (plus ou moins 5%) composition assez banale pour un bronze. Cette composition varie d'un point à l'autre probablement en relation avec la corrosion. On notera la présence de traces de zinc (0.5%) et l'absence de plomb.

Dans le cas du bracelet à deux brins, la bimodalité pourrait correspondre à un brin de fer et un brin de bronze mais l'examen optique ne permet pas de confirmer cette hypothèse, la corrosion de surface ne permettant pas de voir un métal propre. La composition du bronze (après soustraction du fer et du plomb) est 82% de cuivre et de 17% d'étain, en faisant l'hypothèse que le bronze ne contenait pas de plomb. En effet la teneur apparente en plomb est très variable, de 10 à 30% ; nous l'interprétons comme un métal de brasage plutôt que comme un constituant du bronze. Cette hypothèse serait évidemment à vérifier par une analyse plus fine.

Pour tous les objets sans exception, la teneur en nickel est extrêmement faible et une seule analyse a donné une valeur supérieure au seuil de détection (environ 0,05%). Pour le cobalt, la teneur est, la moitié du temps, supérieure au seuil de détection. Dans ce cas on peut affirmer que le rapport cobalt-nickel est nettement supérieur à l'unité, une caractéristique des minerais de fer terrestres. Les teneurs très faibles en nickel et cobalt pourraient résulter de la corrosion, mais l'examen optique des objets montre à l'évidence que celle-ci est modeste ; on peut exclure sans hésitation dans ce cas particulier qu'un métal mé-

téorique à 5% de nickel (ou plus) ait été corrodé pour atteindre d'aussi faibles valeurs. Ces deux observations permettent de conclure que le fer dont sont constitués ces objets est d'origine terrestre même si leur typologie est caractéristique d'objets en bronze contemporains.

La teneur apparente du cuivre dans les échantillons de fer est très variable (de 0 à 1,4%) mais la quasi-totalité des valeurs est anormalement élevée. On peut penser à une réaction électrochimique à la surface du métal précipitant du cuivre dissous dans l'eau sur du fer à l'état métallique. Un milieu relativement riche en cuivre peut s'expliquer par la densité d'objets en bronze associés sur le même site à quelques rares objets de fer. Ceci est cohérent avec l'image suggérée par I. Kerouanton<sup>22</sup> de dépôts rituels sur les rives du lac, formant une véritable accumulation au cours du temps.

---

<sup>22</sup> KEROUANTON, 2002

## Discussion

### Les trois épingles de fer

Pour ces objets en fer du Lac du Bourget la composition est, au premier ordre, identique à celle des objets découverts au lac de Neuchâtel : il s'agit bien de fer terrestre alors que les objets en question sont datés de l'âge du Bronze (données dendrochronologiques des deux sites), avec une typologie caractéristique de cette époque.

Le très faible nombre d'objets en fer parmi des milliers d'objets en bronze indique que l'usage de ce métal n'était pas encore très répandu à ce moment-là. Les objets sont des bijoux, caractéristique d'une époque où ce métal avait encore probablement une valeur appréciable. Rappelons pour mémoire que le fer météoritique avait à l'âge du Bronze au Proche-Orient, environ dix fois la valeur de l'or alors que la valeur du fer métallurgique deviendra inférieure à celle du cuivre dès

le début de l'âge du Fer<sup>23</sup>. Il n'existe pas hélas de documentation équivalente pour l'Europe et l'hypothèse d'une grande valeur du fer métal à la fin de l'âge du Bronze est une hypothèse spéculative même si elle est raisonnable.

Il s'agit donc probablement d'une époque de transition où la réduction du minerai de fer n'est pas maîtrisée sur place, comme en témoignent les très faibles quantités retrouvées. Le fer est donc importé de régions où l'on sait le produire et qu'il serait intéressant de déterminer. A priori l'Europe de l'Ouest est peu probable si, comme on le pense, le passage à l'âge du Fer est à peu près synchrone dans ces différentes régions, mais

**23** ZACCAGNINI C., "The Transition from Bronze to Iron in the Near East and in the Levant: Marginal Notes" in *Journal of the American Oriental Society*, 1990, Vol. 110, n° 3, p. 502 et note 63

Analyse	type	ss type	#	Mn	Fe	Co	Ni
506	Epingle		896-535-1	0.6	99.2	0.3	0
507	Epingle	boule	896-535-1	0.5	99.5	0	0
509	Epingle	Tete plate	2012-5199-1	0	100	0	0
510	Epingle		2012-5199-1	0	100	0	0
511	Epingle		2012-5199-1	0.1	99.9	0	0
512	Epingle	tete	896-527-1	0.1	99.9	0	0
513	Epingle		896-527-1	0.2	99.6	0.3	0
514	Epingle		896-527-1	0.1	99.9	0	0
515	Epingle	tete 1	70-59-819	0	99.8	0	0.2
516	Epingle	tete 2	70-59-819	0	100	0	0
517	Epingle		70-59-819	0	100	0	0
518	Epingle		70-59-819	0	100	0	0
519	bracelet		70-59-1811	0	100	0	0
520	bracelet		70-59-1811	0	100	0	0
521	bracelet		70-59-1811	0	100	0	0
523	bracelet		70-59-1811	0	100	0	0

Tableau 2 : Composition de la fraction fer des échantillons étudiés après soustraction du bronze et normalisation à 100%.

il faut bien reconnaître que nos connaissances sur le sujet sont encore très imparfaites, car on discute peut être d'un délai d'une cinquantaine d'années seulement. La production locale nouvelle aurait-elle été suffisante pour en distribuer à l'échelle régionale, avant que cette technique ne se soit répandue plus largement ?

La présence de quelques objets en fer, et, de surcroît, de qualité, sur deux sites contemporains, indique qu'il n'y avait pas de répulsion particulière par rapport à ce matériau nouveau. La typologie des objets suggère que celui-ci aurait donc été importé sous forme de lingots dont le prix était encore élevé, ce qui explique les petites quantités pour fabriquer des objets de luxe. A l'âge du Fer, le nombre d'objets deviendra beaucoup plus important et l'on passera progressivement d'un métal précieux (armes, décoration sur bronze, etc) au Hallstatt, à la fabrication d'objets typiquement utilitaires à la Tène. Il semble donc que l'on n'assiste pas à une rupture brutale mais à une évolution dans l'usage d'un matériau dont il va falloir apprivoiser les différentes étapes de fabrication.

## Les objets composites

L'épingle à tête bifide est un objet unique en son genre. La typologie ne permet donc pas d'affirmer qu'il s'agit d'un objet de fabrication locale. Sa composition est bimodale aussi bien sur chacune des têtes que sur la pointe (deux analyses). L'analyse a révélé des traces de plomb mais à un niveau très faible et nous ne pouvons donc pas exclure qu'il s'agisse de pollution. Si on recalcule la composition du bronze par soustraction du fer on obtient une composition très variable pour le rapport Sn/Cu : 0.44, 0.23, 0.41, 0.33, alors qu'on s'attendrait à une valeur inférieure à 0.25. Le bronze étant obtenu par fusion du métal devrait être homogène; on peut donc proposer que le fer et le bronze auraient été brasés à l'aide d'étain. Cette hypothèse sera évidemment à vérifier par une analyse plus fine. Le bracelet est le second objet composite. Sa typologie est typique de l'époque et de la région concernée. La présence de sédiment incrusté est attestée par la forte teneur en silice dans les analyses (# 521-523) et confirmée par l'aspect visuel. Le rapport fer/bronze est variable d'une analyse

Analyse	type	ss type	#	Cu	Zn	Sn	Pb
515	Epingle	tete 1	70-59-819	68.9	0.7	30.3	0.2
516	Epingle	tete 2	70-59-819	80.8	0.3	18.8	0.1
517	Epingle		70-59-819	70.3	0.5	29	0.1
518	Epingle		70-59-819	74.9	0.5	24.5	0.2
519	bracelet		70-59-1811	74.3	1.2	14.9	9.7
520	bracelet		70-59-1811	81.8	0.8	10.8	6.5
523	bracelet		70-59-1811	72	-	0	28

Tableau 3 : composition de la fraction bronze des échantillons composites après soustraction du fer et normalisation à 100%. On notera pour l'épingle la teneur variable et anormalement élevée de l'étain, ce qui pourrait correspondre à la présence de brasure à l'étain. Pour le bracelet, la teneur en Sn pour l'analyse 523 est inexacte : la quantité de bronze trop faible entraîne une erreur sur l'étain ; on note des teneurs en Pb élevées et totalement anormales pour du bronze ce qui pourrait cette fois correspondre à une brasure au Pb.

à l'autre 2.1, 1.5, 10.2, 4.5. Ceci peut s'expliquer simplement si le bracelet est constitué d'un brin de fer et d'un brin de bronze torsadés, la méthode analytique ne permettant pas d'isoler parfaitement l'un ou l'autre brin. La teneur en plomb est très élevée et ne peut pas être une simple pollution. S'il existe parfois des bronzes riches en plomb, ce ne peut pas être une explication satisfaisante dans le cas présent car le rapport Cu/Pb est très variable. Nous ne voyons plus qu'une hypothèse simple : les deux brins auraient été brasés en utilisant du plomb, réparti de façon inégale sur l'objet. Comme dans le cas précédent, une étude plus fine sera nécessaire pour valider cette hypothèse. Ces deux objets composites comprennent du fer et du bronze. Il s'agit là d'un cas unique que jusqu'ici, on n'a retrouvé nulle part en Europe à cette époque. Pour réaliser un tel objet il fallait un artisan maîtrisant bien son art car la brasure de fer devient délicate dès lors qu'il est légèrement oxydé. Il n'est pas possible d'affirmer s'il s'agit ou non d'une fabrication locale. Inclusion du fer associé à du bronze dans un bijou, technique délicate, n'a de sens que si le fer est un métal précieux. Ceci est une caractéristique qui pourrait être héritée d'une époque où le seul fer disponible était météoritique et où sa très grande rareté faisait sa valeur, son intérêt pouvant être dans ce cas lié à son origine céleste. On est donc très proche d'une époque où le fer avait encore une très grande valeur, même si nous sommes incapables de préciser son cours à l'époque qui nous concerne alors que l'on sait qu'à l'âge de Fer son prix sera beaucoup plus faible.

---

24 LAURENT, 1968

## CONCLUSIONS

---

L'époque étudiée précède de très peu le début de l'âge du Fer, qui est l'époque où l'utilisation de ce métal deviendra commune (armes et outils). Au Proche-Orient, il serait téméraire d'affirmer que nous possédons des objets de fer d'une époque transitoire équivalente et dans l'état limité de nos connaissances actuelles nous ne savons même pas quand (à une centaine d'année près), ni où le fer métallurgique est apparu.

Aucun des fers analysés à l'âge du Bronze final en Europe de l'Ouest n'est d'origine extra-terrestre. Ceci ne pouvait pas être prédit *a priori* compte-tenu des découvertes récentes pour le Proche-Orient. Si au pays berceau de la métallurgie du fer l'importation de fer métallurgique n'est pas envisageable, l'importation paraît être la meilleure explication pour l'Europe de l'Ouest.

La nature des objets et leur faible effectif parmi les objets métalliques indique que l'on est dans une époque transitoire : La typologie des objets laisse penser qu'il s'agit d'un artisanat régional encore balbutiant à partir d'un métal précieux, encore en faible abondance. Les objets en fer d'Haute-rive et Auvernier (lac de Neuchâtel) *a priori* de la même époque mais en contexte mieux défini (voir annexe), sont aussi en fer métallurgique ; ils présentent des typologies semblables. Outre les épingles, on trouve aussi des objets utilitaires (un hameçon, des clous) qui sont absents au Bourget, mais ceci est peut-être simplement lié au contexte. Les quelques objets de fer de Mörigen (lac de Bienne) : un couteau, deux poignées d'épée, deux épées et une paire de bracelet) et le couteau de Saint Aubin<sup>24</sup> n'ont pas, à notre connaissance, donné lieu à analyse.

Deux objets composites dont la facture est exceptionnelle et inattendue complètent le tableau. Aucun objet comparable n'a été découvert à ce jour en Europe de l'Ouest. Nous pensons qu'il s'agit de clés pour la compréhension de la signification du fer à cette époque transitoire. Ils ne peuvent avoir été élaborés qu'à cette époque, sinon l'interprétation devient problématique : très vite (à l'âge du Fer) il deviendra inimaginable de fabriquer des bijoux en fer (terrestre). Sa rareté ayant disparu ce métal n'aura plus de valeur exceptionnelle et il n'y aura plus de justification pour son association à des non-ferreux, d'autant plus que la difficulté technique est certaine. L'argent sera beaucoup plus adapté comme métal blanc car il deviendra alors plus précieux, que son pouvoir réflecteur est beaucoup plus élevé, qu'il s'altère moins facilement et son association au cuivre ou au bronze est beaucoup plus facile. Ces remarques qui peuvent paraître triviales aujourd'hui ne l'étaient manifestement pas encore lors de cette période de transition.

Si l'hypothèse explicative (importation) que nous venons de présenter est discutable, elle s'appuie cependant sur quelques arguments simples. Nous possédons au Proche-Orient un certain nombre de textes qui documentent la valeur du fer depuis le début du second millénaire jusqu'à l'âge du Fer<sup>25</sup>. Ces textes ont bien-sûr une validité dans les régions et aux époques considérées, mais la valeur du fer météoritique était à l'évidence liée à sa rareté. Pour fabriquer des bijoux, il est nettement moins intéressant techniquement que l'or ou l'argent. Il est délicat à travailler car il faut le faire

obligatoirement à chaud mais, dans ces conditions, il s'oxyde rapidement si l'atmosphère de travail n'est pas fortement réductrice. A partir du moment où l'on utilise ce métal rarissime, son coût est élevé et ceci n'a rien à voir avec la géographie. A l'âge du Fer ce métal deviendra abondant et ses qualités réelles, ne suffiront pas à lui assurer une valeur marchande supérieure à celle du cuivre. Sa valeur sera plus en rapport avec le coût d'élaboration. L'ordre de la valeur marchande fer / cuivre / argent / or est le même que celui de leur abondance dans la croûte terrestre, et ceci sauf pour le fer, est attesté dès l'âge du Bronze, alors que la facilité à produire les métaux conduirait au résultat inverse : le fer est plus difficile à produire (techniquement et énergétiquement) que le cuivre etc, l'or étant toujours (à cette époque) natif.

La restriction de l'usage du fer aurait pu être culturelle tout au début. Par exemple, seules les élites auraient eu le droit de l'utiliser, ce qui aurait *de facto* restreint la quantité de production. On ne peut pas exclure ce type d'hypothèse mais on ne possède aucun élément factuel qui permette de l'étayer.

Dans le même ordre d'idées, on pourrait avancer que l'origine céleste du fer météoritique lui donnait une origine divine et c'est pour cela qu'il était d'un grand prix. Cet argument s'il est évident n'est pas très robuste. La pluie tombe du ciel, les dieux de l'orage et de la pluie existent dans toutes les cultures, l'eau de pluie n'en a pas pour autant de valeur marchande particulière. C'est au premier ordre, la rareté qui fait le prix mais uniquement pour des matériaux auxquels on attache un intérêt culturel. La notion de valeur marchande est liée à celle d'échange et l'abondance des métaux dans la croûte terrestre est une parfaite illustration de ce principe, à partir du moment où l'on sait extraire le métal.

<sup>25</sup> ZACCAGNINI, 1990

J'en conclus donc que le moteur essentiel pour l'utilisation du fer est son abondance: lorsqu'il est rare (météoritique) il est cher et on en fait des bijoux; on s'y intéresse à cause de son origine extraordinaire, le porter est une marque de rang social. Dès lors que l'on sait réduire son minerai, son prix chute et l'on fabrique des objets fonctionnels et utilitaires; cette fois ce sont les propriétés physico-chimiques du matériau qui sont recherchées. On a alors affaire à un nouveau matériau, tant pour son origine que pour ses applications et sa signification culturelle. A l'âge du Bronze terminal nous sommes à une époque charnière. On ne sait pas fabriquer le fer localement, il est moins rare mais encore cher, mais cela va changer progressivement, inexorablement. Découvrir son utilité en tant que matériau suppose une évolution culturelle qui prendra plus ou moins longtemps selon les cultures. Cela ne signifie pas qu'il n'y a pas eu des soubresauts, économiques mais ceux-ci n'ont été que des facteurs de second ordre qui auraient pu jouer localement et/ou momentanément. En fait on pourrait considérer qu'il y a même une discontinuité dans le cours du métal, mais ceci n'est que notre vision moderne du moment où l'on devrait considérer qu'il s'agit de deux matériaux différents,

La confirmation des méthodes d'élaboration pour les objets composites nécessitera une étude plus approfondie. Il nous semble important que tous les objets de fer trouvés en contexte mieux déterminé, soient analysés avec le plus grand soin afin de préciser où et à partir de quelle date le métal nouveau est apparu en Europe, importé ou élaboré localement.

## ANNEXE.

Précisions concernant les objets analysés chez A. Jambon<sup>26</sup> en provenance du lac de Neuchâtel. (AUV = Auvernier et HR = Hauterives Champréveyres) :

AUV-2242 (épingle) : Auvernier-Nord, fouille en plongée octobre 1972<sup>27</sup>. Date : 900 – 850 av. J.-C.

AUV.2290 (hameçon): Auvernier-Nord, fouille en plongée octobre 1972<sup>28</sup>. Date : époque moderne?

AUV-2736 (clou) :Auvernier-Nord, fouille en polder (terrain asséché), octobre 1974 (non publié). Date : 950 – 850 av. J.-C.

AUV-2740 (tête de clou) :Auvernier-Nord, fouille en polder (terrain asséché), octobre 1974 (non publié). Date : 950 – 850 av. J.-C.

HR-93 (épingle) : Hauterive-Champréveyres, fouille ancienne, fin XIX<sup>ème</sup> s.<sup>29</sup>. Date : 1050 – 900 av. J.-C.

HR-110 (longue épingle) : Hauterive-Champréveyres, fouille ancienne, fin XIX<sup>ème</sup> s.<sup>30</sup>. Date : 1050 – 900 av. J.-C.

**26** JAMBON, 2017

**27** RYCHNER V., *L'âge du Bronze final à Auvernier (lac de Neuchâtel, Suisse). Typologie et chronologie des anciennes collections conservées en Suisse*. T. 1 et 2, Lausanne : Cahiers d'Archéologie Romande, n° 15–16, 1979, pl. 3/9

**28** RYCHNER, 1979, pl. 29/30

**29** RYCHNER-FARAGGI A.M., *Métal et parure au Bronze final. Hauterive-Champréveyres*, 9. Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie (Archéologie neuchâteloise ; 17), 1993, p. 50, fig. 48

**30** *Ibidem*

## Remerciements

---

Ce travail a reçu le soutien d'un certain nombre de collègues archéologues, en particulier O. Buchsenschutz et J. Gomez de Soto. Les responsables de collections A. Roche (Musée Savoisien à Chambéry) et D. Ramseyer (Musée du Laténium à Neuchâtel) nous ont facilité l'accès aux collections d'objets en fer du Bronze final. Nous avons pu bénéficier d'un soutien du Musée Savoisien pour la journée des Rencontres archéologiques de Savoie à Aiguebelette (19 juin 2017).

## BIBLIOGRAPHIE

---

- BILLAUD Y., « Le lac du Bourget à la fin de l'âge du Bronze. Premiers éléments pour une reconstitution de l'occupation des zones littorales » in *L'Homme au bord de l'eau. Archéologie des zones littorales du Néolithique à la Protohistoire : actes du 135e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques du CTHS «Paysages», Neuchâtel, 6-11 avril 2010, Session de Pré- et Protohistoire, Éditions du CTHS (Collection Documents préhistoriques ; n° 30) ; Cahiers d'Archéologie Romande, 132, 2012, pp. 345-361*
- BILLAUD Y., LANGENEGGER F., BRIGAND R., « Formes de l'habitat palafittique sur les rives du lac du Bourget (Savoie, France) à la fin de l'âge du Bronze », in *Bulletin d'études préhistoriques et archéologiques alpines*, 2013, n° spécial, XIII<sup>ème</sup> colloque sur les Alpes dans l'Antiquité, pp. 237-250
- COMELLI D., D'ORAZIO M., Folco L., EL-HALWAGY M., FRIZZI T., ALBERTI R., CAPOGROSSO V., EL-NAGGAR A., HASSAN H., NEVINA., PORCELLI F., RASHED M.G., VALENTINI G., "The meteoritic origin of Tutankhamen's iron dagger blade" in *Meteoritics & Planetary Science*, 2016, 1-9. doi: 10.1111/maps.12664
- DARQUE-CERETTI E., BREGUET S., FELDER E., BOZZOLO N., JAMBON A., Meteoritic Iron Working before Iron Age: an Historical and Experimental Study. *Metallurgical and Materials transactions B*, 2017 (soumis)

- GIARDINO C., “ Metallurgy in Italy between the late Bronze age and the Early Iron Age: the Coming of Iron” in Attema Peter, Nijboer Albert, Zifferero Andrea (éd.), *Papers in Italian Archaeology VI. Communities and Settlements from the Neolithic to the early Medieval Period*, Oxford, 2005, pp. 491-505
- GOMEZ DE SOTO J., KEROUANTON I., « Les premiers objets en fer en France, à l'âge du Bronze » in *De l'âge du Bronze à l'âge du Fer en France et en Europe occidentale (Xe - VIIe siècle av. J.-C.). La moyenne vallée du Rhône aux âges du Fer. Actes du XXXe colloque international de l'A.F.E.A.F., co-organisé avec l'A.P.R.A.B., Saint-Romain-en-Gal, 26-28 mai 2006, (27e suppl. à la R.A.E.)*, 2009, pp. 501-506
- JAMBON A., “A Meteoritic Iron Pendant from Umm el Marra tomb” in *Animals, Ancestors and Sacrifice in Third-Millennium BC Syria: Excavations at Umm el-Marra. Schwartz G. M. (ed.) Cotsen Institute of Archaeology Press, University of California at Los Angeles, 2020 (soumis)*
- JAMBON A., “Bronze Age Iron: Meteoritic or not ? A Chemical Strategy” in *Journal of Archaeological Science*, 2017, 88, pp. 47-53
- JAMBON A., CHANUT C., MATOIAN V., « La hache extra-terrestre d'Ougarit (Syrie) » in *Etudes ougaritiques*, 2017 (en préparation)
- JOHNSON D., TYLDESLEY J., LOWET., WITHERS P.J., GRADY M.M., “Analysis of a prehistoric Egyptian iron bead with implications for the use and perception of meteorite iron in ancient Egypt” in *Meteoritics and Planetary Science*, 2013, 48, 997-1006
- KEROUANTON I., « Le lac du Bourget (Savoie) à l'âge du Bronze final : Les groupes culturels et la question du groupe du Bourget » in *Bulletin de la Société préhistorique française*, 2002, 99-3, pp. 521-561
- LAURENT R., « L'apparition de la métallurgie du fer dans les stations littorales de la Savoie de l'âge du Bronze final », *Publications de la Société Linéenne de Lyon*, 1968, 37-2, 54-65
- NAKAI I., ABE Y., TANTRAKARN K., OMURA S., ERKUT S., “Preliminary report on the Analysis of an early Bronze Age iron dagger excavated from Alacahöyük” in *Anatolian Archaeological Studies*, 17, 2008, pp. 321-324
- REHREN T., BELGYA T., JAMBON A., KÁLI G., KASZTOVSZKY Z., KIS Z., KOVÁCS I., MARÓTI B., MARTINÓN-TORRES M., MINIACI G., PIGOTT V.C., RADIVOJEVI M., “5,000 years old Egyptian iron beads made from hammered meteoritic iron” in *Journal of Archaeological Science*, 40, 2013, 4785-4792, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.06.002>
- ROUSSOT-LARROQUE J., QUEFFELEC A., « Le plus vieil objet de fer d'Europe occidentale est-il Landais ? » in *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude de l'âge du Fer*, 2014, 32, 73-84
- RYCHNER V., *L'âge du Bronze final à Auvernier (lac de Neuchâtel, Suisse). Typologie et chronologie des anciennes collections conservées en Suisse. T. I et 2*, Lausanne : Cahiers d'Archéologie Romande, n° 15-16, 1979
- RYCHNER-FARAGGI A.M., *Métal et parure au Bronze final. Hauterive-Champréveyres*, 9. Neuchâtel, Musée cantonal d'archéologie (Archéologie neuchâteloise ; 17), 1993, pp. 47-62
- VAROUFAKIS G. J., «The Origin of Mycenaean and Geometric Iron on the Greek Mainland and in the Aegean Islands» In Muhly James D., Maddin Robert, Karageorghis Vassos eds, *Early metallurgy in Cyprus, 4000-500 B.C.*, Nicosie, 1982, pp. 315-317
- VILAÇA R., « L'arrivée des premiers fers dans l'Occident Atlantique » in *Les transferts de technologie au premier millénaire av. J.-C. dans le sud-*

ouest de l'Europe, Mélanges de la Casa de Velázquez, Nouvelle série, 2013, 43-1

- WALDBAUM J.C., "The first Archaeological Appearance of Iron and the transition to the Iron Age" in T.A. Wertime, Muhly J.D., *The Coming of Age of Iron*, New Haven and London : Yale University Press, 1980, 69-98
- WALDBAUM J.C., "The coming of Iron in the Eastern mediterranean : Thirty years of Archaeological and Technological research" in *The archaeometallurgy of the Asian World*, V.C. Pigott ed. MASCA Research papers in Science and archaeology, vol. 16, 1999, 27-57
- ZACCAGNINI C., "The Transition from Bronze to Iron in the Near East and in the Levant: Marginal Notes" in *Journal of the American Oriental Society*, 1990, Vol. 110, n° 3, 493-502