



HAL
open science

**L'artisanat de l'orfèvrerie dans la culture du Hallstatt
occidental, entre traditions et innovations technologiques.
L'apport de l'archéométrie**

Maryse Blet-Lemarquand, Barbara Armbruster

► **To cite this version:**

Maryse Blet-Lemarquand, Barbara Armbruster. L'artisanat de l'orfèvrerie dans la culture du Hallstatt occidental, entre traditions et innovations technologiques. L'apport de l'archéométrie. Duyrat, Fr.; Nieto-Pelletier, S. Le Luxe en Gaule. Actes du colloque "Le luxe en Gaule", Musée départemental Arles antique 16-17 octobre 2017, 61, Ausonius Éditions, pp.133-150, 2021, Mémoires 61. <hal-03094286>

HAL Id: hal-03094286

<https://univ-tlse2.hal.science/hal-03094286v1>

Submitted on 17 Aug 2022

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.



HAL Authorization

LE LUXE EN GAULE

Frédérique Duyrat

dirige le département des Monnaies, médailles et antiques de la Bibliothèque nationale de France et est chercheur associé à l'UMR 8167 Orient et Méditerranée – Mondes sémitiques (Sorbonne Université). Elle est aussi affiliée à l'École doctorale 112 – Archéologie de l'Université Paris I. Ses recherches portent sur l'histoire économique du monde grec et plus particulièrement sur la richesse et la monnaie.

Sylvia Nieto-Pelletier

est directrice de recherche au CNRS et directrice-adjointe de l'Institut de recherche sur les archéomatériaux (IRAMAT, UMR 5060, CNRS-université d'Orléans). Ses recherches portent sur les monnayages celtiques en or, en argent et en alliages cuivreux selon une démarche pluridisciplinaire qui associe et croise des données numismatiques, archéométriques, archéologiques et historiques.



Illustration de couverture :

Tahnee Cracchiola© Getty-BnF. Gobelet des jeux isthmiques, argent doré, époque julio-claudienne, trésor de Berthouville (Eure). BnF, MMA, Inv. 56.10.

AUSONIUS ÉDITIONS

— Mémoires 61 —

LE LUXE EN GAULE

Actes du colloque “Le luxe en Gaule”,
Musée départemental Arles antique
16-17 octobre 2017

sous la direction de

Frédérique Duyrat & Sylvia Nieto-Pelletier

*avec le concours de la Bibliothèque nationale de France, de l'Institut de recherche
sur les archéomatériaux - Centre Ernest-Babelon et du musée départemental Arles antique*

— Bordeaux 2021 —

Notice catalographique

Duyrat, F. et Nieto-Pelletier, S., dir. (2021) : *Le luxe en Gaule*, Mémoires 61, Bordeaux.

Mots-clés

or, argent, bijoux, orfèvrerie, argenterie, monnaies, trésors, vin, décors, tombes princières, notables/aristocratie, Gaule

AUSONIUS

Maison de l'Archéologie

Université Bordeaux Montaigne

F – 33607 Pessac Cedex

<http://ausoniuseditions.u-bordeaux-montaigne.fr>



Directeur des Publications Ausonius : Sophie KRAUSZ

Secrétaire des Publications : Nathalie JUNCA

Couverture : Nathalie JUNCA

Tous droits réservés pour tous pays. La loi du 11 mars 1957 sur la propriété littéraire et intellectuelle interdit les copies ou reproductions destinées à une utilisation collective. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit sans le consentement de l'éditeur ou de ses ayants droit, est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

© AUSONIUS 2021

ISSN : 1283-2995

EAN : 9782356133953

Achévé d'imprimer sur les presses

de l'imprimerie Rochelaise

Rue du pont des Salines

BP 197

17006 La Rochelle cedex 1

30 juin 2021

Sommaire

Introduction, <i>Frédérique Duyrat & Sylvia Nieto-Pelletier</i>	9
Mathilde Avisseau-Broustet, <i>Le luxe antique au Cabinet des médailles : brève histoire des collections</i>	13
Cécile Colonna, <i>Le trésor de Berthouville et le luxe</i>	27
Susan Lansing Maish & Eduardo P. Sanchez, <i>Conservation, New Discoveries and Exhibition Considerations for the Berthouville Treasure and four Late Roman Missoria: an Eight Year Journey, 2010-2018</i>	37
François Baratte, <i>La vaisselle précieuse en Gaule, circulation et chronologie</i>	49
Nicolas Tran, <i>Les gens de métier, leurs associations et le luxe en Gaule romaine</i>	63
Bastien Dubuis & Émilie Millet, avec la collab. de l'équipe du PCR "La tombe princière et le complexe funéraire monumental de Lavau "Zac du Moutot" (Aube), <i>La tombe princière celtique de Lavau (Aube) : une simple question de luxe ?</i>	73
Pierre Gros, <i>La magnificentia publica dans les centres urbains de la Gaule romaine sous le Haut Empire : marqueurs, signification et limites</i>	91
David Djaoui, <i>L'expression du luxe dans les collections du Musée départemental Arles antique</i>	107
Julien Boislève, <i>Manifestation du luxe dans les décors peints et stucés de Gaule romaine : styles, matériaux et techniques</i> ..	117
Maryse Blet-Lemarquand & Barbara Armbruster, <i>L'artisanat de l'orfèvrerie dans la culture du Hallstatt occidental, entre traditions et innovations technologiques. L'apport de l'archéométrie</i>	133
Sylvia Nieto-Pelletier, <i>Or monnayé et thésaurisation en Gaule au second âge du Fer</i>	151
Philip de Jersey, <i>Treasure Island: hoarding on Jersey in the mid-first century BC</i>	169
Arnaud Suspène, <i>Les premiers aurei en Gaule romaine : une manifestation du luxe impérial (fin de la République-Haut Empire) ?</i>	181
Kenneth Lapatin, <i>Beyond Gaul: Luxury in Greece and Rome</i>	193
Résumés	213
Index général	221

L'artisanat de l'orfèvrerie dans la culture du Hallstatt occidental, entre traditions et innovations technologiques. L'apport de l'archéométrie

Maryse Blet-Lemarquand & Barbara Armbruster

F entre 800 et 450 a.C., la partie occidentale du domaine hallstattien (sud-ouest de l'Allemagne, est et centre de la France, Suisse) est notamment caractérisée par la production de parures, d'éléments décoratifs et de vaisselles en métaux précieux, majoritairement en or et plus ponctuellement en argent. Ce n'est pas pour la masse de métal mise en jeu que l'orfèvrerie apparaît emblématique de cette période, mais plutôt pour ce que ce mobilier témoigne de la culture qui l'a produit. En effet, les 552 objets recensés en 2015 de ce premier âge du Fer pèsent à peine 6,5 kg¹ quand les cinq parures annulaires en or du seul dépôt de Guînes (Pas-de-Calais), daté du Bronze final (1200-1000 a.C.), représentent une masse de 4,57 kg². L'artisanat des métaux précieux au premier âge du Fer s'est développé en étroite relation avec les élites hallstattiennes et a connu des évolutions stylistiques et techniques importantes au cours du temps. Nous proposons de réexaminer ces évolutions à partir des données archéologiques, typo-technologiques et archéométriques obtenues dans le cadre d'un récent projet franco-allemand interdisciplinaire intitulé "West Hallstatt Gold"³.

PRÉSENTATION DE L'ORFÈVRERIE HALLSTATTIENNE

Les contextes archéologiques

Le domaine hallstattien occidental est caractérisé par des résidences aristocratiques, avant tout des sites de hauteur fortifiés, et par des tombes princières, surtout masculines au Ha D2⁴. La tombe à char d'Eberdingen-Hochdorf (Allemagne), découverte en 1977-1978, en est un exemple remarquable⁵. Cette sépulture est celle d'un prince inhumé au VI^e s. a.C., et elle a livré des objets en or associés à d'autres biens de prestige en matériaux précieux. Parmi ceux-ci, certains sont exotiques, comme le char qui accompagnait le défunt et un ensemble de vaisselle en bronze pour le banquet. Le mobilier funéraire en or se composait de deux fibules, d'un torque annulaire (fig. 1b), d'un brassard et d'une coupe, ainsi que de tôles d'or qui ornaient et couvraient des chaussures, un poignard et une plaque de ceinture. Cette panoplie d'attributs de haut rang est représentée presque à l'identique sur une stèle anthropomorphe contemporaine, issue du site de Hirschlanden (Allemagne)⁶. À compter du Ha D3, le matériel en or se retrouve aussi dans des tombes féminines qui peuvent également être mises en relation avec des sites aristocratiques, comme le montre la découverte en 1953 de la tombe à char de la dénommée "dame de Vix", à proximité du site du Mont Lassois (Côte-d'Or)⁷. Le riche mobilier est composé d'un torque en or sophistiqué (fig. 1h à fig. 1j), d'une grande phiale en argent (fig. 1h) et de plusieurs objets importés depuis des régions situées au-delà des Alpes – un grand cratère, de la vaisselle en bronze et une coupe attique –, témoignant de contacts et d'échanges sur de longues distances.

1. Milcent 2018, 56.
2. Armbruster & Louboutin 2004.
3. Programme franco-allemand en SHS 2011, ANR-11-FRAL-0013, dirigé par B. Armbruster et E. Pernicka (université d'Heidelberg).
4. Pour la périodisation du Hallstatt et les datations correspondantes, voir Milcent 2018, 65.
5. Biel 1985.
6. *Die Welt der Kelten* 2012.
7. Rolley 2003.

Les produits de l'orfèvrerie du Hallstatt occidental⁸ proviennent donc pour la plupart de tombes aristocratiques. Ils présentent des formes variées et avaient des fonctions diverses : vaisselle (coupes et phiales), parures (bijoux annulaires, épingles, fibules) et pièces décoratives (appliques ou plaquages d'objets comme des meubles, des armes ou autres ; plus rarement encore éléments d'incrustation dans des armes en fer).



Fig. 1. Planche photographique d'objets d'orfèvrerie "traditionnelle" du Hallstatt occidental : (a) torques annulaires d'Apremont (Haute-Saône) ; (b) torques d'Eberdingen-Hochdorf (Allemagne) ; (c) têtes d'épingles de Ditzingen-Schöckingen (Allemagne) ; (d) détail. Objets porteurs d'innovations techniques : (e) matériel trouvé à Ensheim (Haut-Rhin) ; (f) détails du bracelet ; (g) bracelets et boucles d'oreilles de Sainte-Colombe-sur-Seine (Côte-d'Or) ; (h) torques et phiale de de Vix (Côte-d'Or) ; (i) et (j) détails du torque ; (k) anneau de Charmoy (Yonne) ; (l) anneaux de Gurgy (Yonne). Crédits photographiques B. Armbruster et les musées : (a), (g) : Musée d'Archéologie nationale (Saint-Germain-en-Laye) ; (b-d) : Museum Württemberg (Stuttgart) ; (e-f) : Musée Unterlinden de Colmar ; (h-j) : Musée du Pays Châtillonnais-Trésor de Vix (Châtillon-sur-Seine) ; (k) Musée municipal de Sens ; (l) : Musée d'art et d'histoire d'Auxerre.

8. Voir les différentes contributions dans Schwab *et al.* 2018.

La méthodologie du projet ANR-DFG “West Hallstatt Gold”

Le projet de recherche franco-allemand “West Hallstatt Gold” conduit entre 2012 et 2015 a eu pour objectif d'étudier les ors de la culture occidentale du Hallstatt selon une méthodologie pluridisciplinaire qui a combiné des approches archéologique, typo-technologique et archéométrique.

Les procédés de fabrication des objets ont été déduits de l'observation des stigmates, de traces d'outils et des surfaces, parfois appuyée par des expérimentations, des analogies ethnoarchéologiques et des informations tirées des sources écrites anciennes. Certaines des traces laissées par les poinçons et ciselets ont été documentées à l'aide d'empreintes de silicone réalisées sur les objets et ensuite étudiées et comparées en laboratoire. Cette étude technologique a surtout systématiquement été conduite au moyen d'examen optique à divers grossissements, complétés si nécessaire par de l'imagerie par microscopie électronique à balayage (MEB) et par des images par radiographie de rayons X. Ainsi, près de 750 objets⁹ conservés dans des collections publiques en France, en Allemagne et en Suisse ont bénéficié d'une documentation par macro et microphotographie. Des analyses élémentaires ont été effectuées sur une part significative d'entre eux, par LA-ICP-MS¹⁰ notamment, permettant d'aborder la question du choix des alliages (or natif, or allié intentionnellement, or purifié), celle de l'approvisionnement en or, et de caractériser certains procédés techniques.

TYPO-TECHNOLOGIE DE L'ORFÈVREterie HALLSTATTIENNE

Les traditions

Le projet “West Hallstatt Gold” a confirmé que l'orfèvrerie du Ha D2 comprend majoritairement des objets en tôle fine, d'une épaisseur de moins d'un demi-millimètre, réalisés d'une seule pièce. Au sein de cette production traditionnelle du Hallstatt, les parures annulaires (torques, bracelets, anneaux/bagues, boucles d'oreilles) forment le groupe le plus significatif, devant celui des têtes d'épingles et les autres objets en fine tôle d'or. En effet, les petits anneaux sont les objets les plus nombreux : ce sont vraisemblablement des boucles d'oreilles ou des ornements de cheveux, qui montrent une grande variété morphologique, aussi bien de la tige que du système de fermeture¹¹.

Les torques de facture traditionnelle, faits d'une seule pièce de tôle d'or, constituent les éléments les plus prestigieux de la catégorie des parures annulaires, à l'image de ceux des tumulus 1 et 2 d'Apremont (Haute-Saône) ou de celui d'Eberdingen-Hochdorf (Allemagne) (fig. 1a et fig. 1b). Ces torques présentent la particularité technique d'avoir été mis en forme par tournage, à l'aide d'un outil de rotation, tout comme certains bracelets¹². La morphologie de ces parures annulaires – un court cylindre fermé portant un relief cannelé – et les traces d'outils parallèles et perpendiculaires à l'axe de symétrie des objets, indiquent sans aucun doute la déformation plastique réalisée à l'aide du tour du repousseur. L'outil nécessaire est un tour à axe horizontal fabriqué en bois, mis en rotation alternée à l'aide d'un archet. L'invention de la technique du tournage en orfèvrerie remonte à l'âge du Bronze Final en Europe atlantique¹³.

Certains éléments de parure qui relèvent aussi d'une production traditionnelle sont composés de deux parties emboîtées mécaniquement¹⁴ et non d'une seule pièce. C'est le cas des têtes d'épingles, telles celles de Ditzingen-Schöckingen (Allemagne) (fig. 1c), et de certaines perles constituées de deux calottes en tôle, obtenues à l'aide d'un dé à emboutir et d'une bouterolle.

9. Décompte réalisé en 2019 à partir de la base de données en cours d'élaboration.

10. Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry. Pour les protocoles d'analyses, voir Blet-Lemarquand *et al.* 2018 qui décrit en particulier les dispositifs novateurs et originaux conçus et développés à l'IRAMAT-CEB pour analyser par LA-ICP-MS les objets volumineux (cellules d'analyse rigides de grandes dimensions et cellules souples confectionnées autour des plus gros objets comme les torques et la coupe d'Apremont).

11. Dubreucq *et al.* 2018, 134-146 ; Milcent 2018, 50, figure 6.

12. Armbruster 2018. Le tableau 1, p. 238, répertorie les torques et bracelets confectionnés de cette façon.

13. Armbruster 2004 ; Armbruster 2018.

14. Dubreucq *et al.* 2018, 146-149, figure 11-12.

Les parures hallstattiennes en tôle sont traditionnellement richement décorées de motifs géométriques. Un motif très répandu est la croix de Saint André, qui se trouve aussi bien sur des objets du Ha D2 que du Ha D3. Les éléments de parure concernés sont, par exemple, le torque d'Ensisheim (Haut-Rhin) (fig. 1e), les bracelets de Sainte-Colombe-sur-Seine (Côte d'Or) (fig. 1g), les têtes d'épingles de Ditzingen-Schöckingen (Allemagne) (fig. 1c) ou les boucles de Haguenau-Ohlungen (Bas-Rhin) – tous du Ha D2¹⁵ – ou le torque de Vix (Côte-d'Or), daté du Ha D3 (fig. 1h à fig. 1j). Des motifs figuratifs, tels des masques sur un torque dit de "l'Est de la France", ont plus rarement été employés¹⁶.

Le procédé dominant de décoration en orfèvrerie du premier âge du Fer est la technique de la déformation plastique, notamment par poinçonnage. On ne connaît pas d'outils en métal qui auraient servi à fabriquer ou décorer des objets en or à cette période. Cependant le site d'habitat de la Heuneburg (Allemagne) a livré un poinçon en bois de cerf qui porte le négatif d'un motif de cercles concentriques¹⁷ semblable au décor de certains objets d'orfèvrerie¹⁸. Dès lors, l'hypothèse de petit outillage en matière organique servant à la décoration des tôles en or a été avancée, et des expérimentations ont été menées sur une tôle de cuivre à l'aide de poinçons expérimentaux en bois de cerf et en os pour valider cette hypothèse¹⁹.

Les innovations et les influences externes

Au Ha D3 et à LT A, des techniques innovantes telles que la soudure, le filigrane et la granulation sont mises en œuvre pour fabriquer des bijoux complexes constitués de plusieurs éléments, souvent des corps creux, assemblés par soudure²⁰. C'est aussi à la fin de la période hallstattienne qu'un procédé novateur de dorure des premiers objets en argent ou d'objets en alliages cuivreux est employé. Les objets d'innovation de cette période sont, par exemple, les petits anneaux de Gurgy ou de Charmoy (Yonne), faits de trois fils perlés décorés par granulation (fig. 1k et fig. 1l), le bracelet d'Ensisheim (Haut-Rhin), qui comprend plus de 15 éléments différents (fig. 1e et 1f), ou encore la paire de pendants d'oreilles de Sainte-Colombe-sur-Seine (Côte-d'Or), composés chacun de plus de 50 éléments²¹ (fig. 1g). Le bijou le plus imposant est le torque de la tombe de Vix (Côte-d'Or) : pesant 480 g, ce torque complexe est à lui seul constitué de 66 éléments façonnés séparément puis assemblés par soudure²² (fig. 1h à fig. 1j).

Des objets de confection traditionnelle et d'autres plutôt porteurs d'attributs technologiques innovants ont parfois été découverts ensemble dans le mobilier funéraire. C'est le cas de la tombe d'Ensisheim, où un torque annulaire relevant plutôt de traditions en vigueur au Ha D2, était associé au bracelet mentionné ci-dessus, attribué au Ha D3, composé de plusieurs éléments et décoré de granulation et de filigrane (fig. 1e et 1f)²³. Ce dernier se rapproche techniquement et stylistiquement du torque de Vix (Côte-d'Or), lui aussi daté du Ha D3 (fig. 1h à fig. 1j). Dans la tombe de Sainte-Colombe-sur-Seine (Côte-d'Or), deux bracelets appartenant à un type classique parmi les parures annulaires en tôle ont été découverts avec une paire de boucles d'oreilles de facture complexe, déjà mentionnées ci-dessus (fig. 1g). Ces assemblages laissent penser que les innovations techniques en matière d'orfèvrerie n'auraient pas conduit à des ruptures brutales mais auraient été progressivement adoptées et développées.

L'APPORT DE LA CARACTÉRISATION CHIMIQUE DES ALLIAGES

Vue d'ensemble de l'or travaillé au Hallstatt

La caractérisation des techniques et du métal travaillé apporte des informations pour mieux comprendre comment les évolutions technologiques ont été introduites dans le monde hallstattien et comment elles se sont diffusées. La discussion

15. Il n'y a pas de consensus établi pour la datation du matériel de Sainte-Colombe-sur-Seine. B. Armbruster l'attribue au Ha D2 sur des considérations techniques (présence de soudures) mais ces objets sont datés du Ha D1 pour d'autres chercheurs (Milcent 2018, 83).

16. Dubreucq *et al.* 2018, 160, figure 25.

17. Sievers 1984, 51.

18. Armbruster 2018 ; Schorer *et al.* 2018.

19. Armbruster 2018, 251 ; Schorer *et al.* 2018.

20. Milcent *et al.* 2018, figure 5 ; Dubreucq *et al.* 2018, 152-159 et 163.

21. Armbruster 2003 ; Dubreucq *et al.* 2018, 137, figure 3 c-d, 143, figure 9, 154, figures 18 et 19 ; Milcent *et al.* 2018, figure 27.

22. Rolley 2003 ; Armbruster 2003 ; Dubreucq *et al.* 2018, figure 27.

23. Pour expliquer cet assemblage atypique, l'hypothèse que le mobilier provienne de deux tombes différentes a aussi été avancée (Dubreucq *et al.* 2018, 157).

s'appuie sur les résultats des analyses réalisées par LA-ICP-MS à l'IRAMAT-CEB, dans le cadre du projet "West Hallstatt Gold", sur 99 objets en or conservés dans des collections publiques françaises. Datés entre le Ha D1 et LT A2²⁴, ces objets appartiennent à diverses catégories : 50 anneaux ou boucles d'oreilles, 25 décors ou éléments de fibules, neuf épingle, quatre perles, quatre bracelets, quatre torques, une phiale, une tôle d'or interprétée comme le décor d'une corne à boire, une bande fermée qui pourrait correspondre à un cerclage et des rubans torsadés. Les données obtenues pour les objets laténiens²⁵ ont volontairement été conservées dans la comparaison pour amorcer une réflexion sur les évolutions du choix du métal travaillé et de sa provenance au cours de l'âge du Fer²⁶.

Quinze objets du corpus, datés entre le Ha D1 ou le Ha D2 et LT A1, ont été élaborés à l'aide de techniques d'orfèvrerie innovantes (fig. 2). Ces objets ont en commun d'être des parures constituées de plusieurs éléments assemblés par soudure ; certains comportent, en plus, des décors de granulation ou sont faits de fils perlés, ou bien encore ont été conçus en employant les trois procédés.

Site et datation	Objet	Masse (g)	S	F	G	Composition moyenne		
						Au (%)	Ag (%)	Cu (%)
Sainte-Colombe-sur-Seine (Côte-d'Or) ; Ha D1 ou Ha D2	2 bracelets et 2 boucles d'oreilles deux à deux identiques	176	X			92,5	7,3	0,1
Apremont (Haute-Saône) ; Ha D2	2 fibules identiques	8	X			92,9	5,5	1,5
"Est de la France" ; Ha D2	fragments d'un torque réparé	97,3	X			87,1	12,5	0,2
Ensisheim (Haut-Rhin) ; Ha D3	bracelet	107,8	X		X	98,0	1,7	0,1
Gurgy (Yonne) ; Ha D3	2 boucles d'oreilles identiques	1,8	X	X	X	76,2	17,3	6,4
Cérilly (Côte-d'Or) ; Ha D3-LT A1	anneau	3	X			97,7	1,5	0,5
Charmoy (Yonne) ; LT A1	boucle d'oreille	3,4	X	X	X	83,9	15,3	0,3
Bourges (Cher), Lazenay ; LT A1	épingle	2,4	X		X	84,8	13,9	1,1
Sainte-Geneviève-des-Bois (Loiret), La Ronce ; LT A1	parure composée de différents éléments	2,2	X	X	X	93,6	5,6	0,6
Weitbruch (Bas-Rhin) ; LT A1	bague	6,6	X	X		91,6	7,9	0,3

Fig. 2. Tableau présentant de façon synthétique les 15 objets²⁷ analysés porteurs de techniques innovantes (S : soudure, F : fil perlé, G : granulation). Des objets identiques issus d'un même site possèdent presque toujours des compositions très proches (voir fig. 9), si bien que nous avons choisi de ne présenter ici que les teneurs moyennes. La même remarque s'applique au matériel de Sainte-Colombe-sur-Seine²⁸ et dans une mesure un peu moindre à celui de Sainte-Geneviève-des-Bois.

Les teneurs en or des 99 objets varient entre 67 % et 98,6 %, cependant la grande majorité des objets contient entre 75 % et 95 % d'or (fig. 3 et 4). Les rares objets analysés qui sont plus riches en or que cette limite de 95 % datent de la fin de la période d'étude, c'est-à-dire du Ha D3 ou de la transition Ha D3-LT A1. Certaines concentrations en or apparaissent particulièrement représentées dans nos résultats, c'est le cas par exemple du domaine 83-85 % ou du taux de 93 % environ. Le premier intervalle de teneurs correspond surtout au petit matériel du Ha D2 trouvé en Alsace, tandis que le second rassemble des objets de masses

24. Un seul objet date du Ha C2 et deux de LT A2.

25. P.-Y. Milcent propose de revoir le découpage chronologique de l'âge du Fer, "LT A1 correspond plus à la fin du premier âge du Fer au sens structurel qu'au début d'une nouvelle époque", Milcent 2018, 87.

26. Ces questions sont reprises et approfondies dans le cadre d'un autre projet ANR-DFG centré sur l'orfèvrerie laténienne ("Celtic Gold" dirigé par B. Armbruster et R. Schwab du CEZA, Mannheim).

27. Parures de Sainte-Colombe-sur-Seine : Armbruster *et al.* 2017, 174-175 ; Dubreucq *et al.* 2018, 143, 152. Fibules d'Apremont : Dubreucq *et al.* 2018, 166. Fragments d'un torque : Dubreucq *et al.* 2018, 152. Bracelet d'Ensisheim : Armbruster *et al.* 2017, 174 ; Dubreucq *et al.* 2018, 155-156. Anneaux de Gurgy : Dubreucq *et al.* 2018, 137. Anneau de Cérilly : Armbruster *et al.* 2017, 174 ; Dubreucq *et al.* 2018, 142. Anneau de Charmoy : Dubreucq *et al.* 2018, 137, 142 ; Dubreucq *et al.* sous presse. Épingle de Bourges : Milcent *et al.* 2018, 264.

28. Dubreucq *et al.* 2018, 153.

variées, datés entre le Ha D2 et LT A1 et trouvés dans diverses régions (Alsace, Franche-Comté et aussi centre de la France). D'ailleurs, la confrontation de la masse des objets à leur concentration en or montre bien que l'intervalle de composition 90-95 % d'or correspond à la masse de métal travaillé la plus élevée pour notre échantillon d'analyses (fig. 4). Les objets concernés sont notamment deux torques de 200 g chacun environ, de confection traditionnelle, datés du Ha D2²⁹ découverts à Apremont et à Ensisheim, et le matériel en or de Sainte-Colombe-sur-Seine, daté du Ha D1 ou du Ha D2, de près de 180 g au total, qui présente des soudures (fig. 1, fig. 2, fig. 3, fig. 4). D'une façon générale, il convient de noter qu'aucune tendance de composition particulière n'apparaît pour les 15 objets de parure qui ont bénéficié de procédés innovants pour leur fabrication. Il ne semble pas non plus que le classement de productions contemporaines selon leur fonction (anneaux et boucles, perles et épingles, bracelets, torques, fibules, vaisselle) constitue un critère pertinent d'interprétation des compositions.

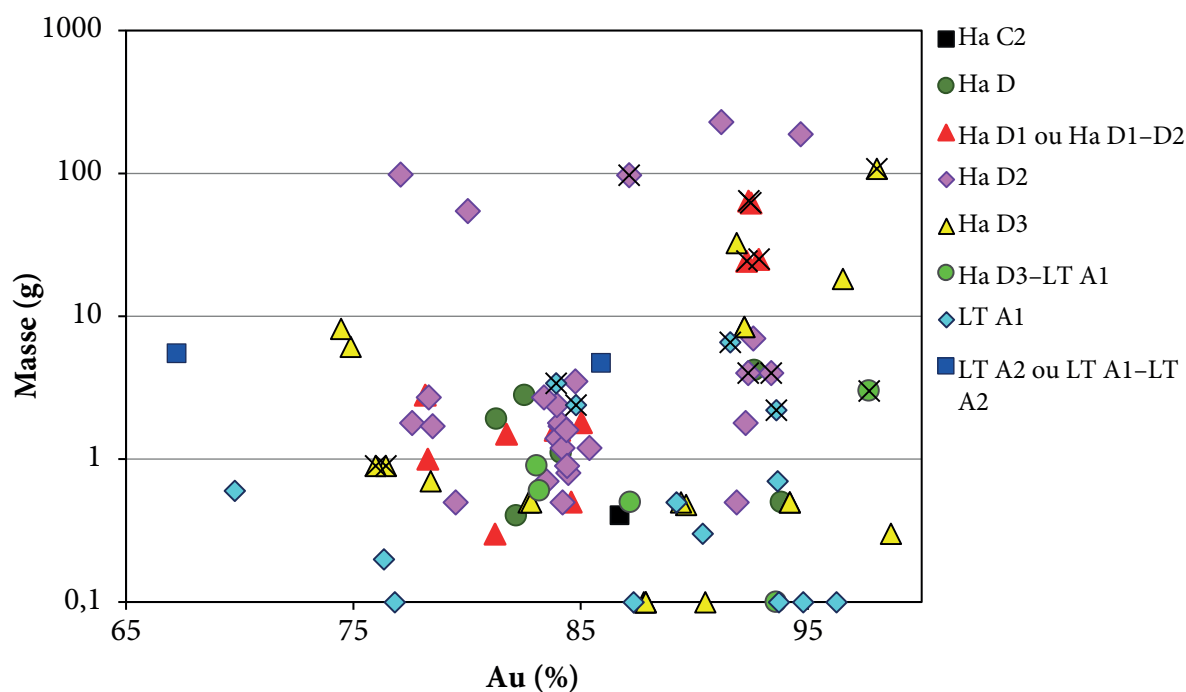


Fig. 3. Masse (g) des objets en fonction de leur teneur en or (%). Échelle logarithmique pour les masses. 88 objets classés par datation³⁰. Une masse arbitraire de 0,1 g a été attribuée aux feuilles d'or recouvrant des fibules. Analyses effectuées par LA-ICP-MS dans le cadre du projet "West Hallstatt Gold". Les objets conçus au moyen d'une technique innovante – soudure, fil perlé, granulation – (fig. 2) sont repérés par une croix.

Domaine de teneurs en or (%)	Nombre d'objets	Masse totale (g)
[95-98,6[	5	130
[90-95[	26	676
[85-90[	13	108
[80-85[	28	94
[75-80[	12	112
[67-75[	4	20

Fig. 4. Étude par domaine de teneurs en or (pas de 5 %) du nombre d'objets et de leur masse cumulée.

29. La période Ha D2 est à la fois celle qui concentre le maximum de dépôts livrant des objets en or et celle dont les productions sont les plus lourdes (Milcent *et al.* 2018, 73).

30. Les 12 éléments de parures analysés de Sainte-Geneviève-La-Ronce (Loiret) et datés de LT A1 ne sont pas considérés individuellement sur les graphiques mais sous la forme d'une composition moyenne associée à la masse totale de 2,2 g de cette découverte.

En contrepartie de l'or, les 88 objets analysés contiennent des proportions variées d'argent, de 0,1 % à près de 30 % (fig. 5). Les teneurs en or et argent laissent penser que la plupart des objets d'orfèvrerie analysés ont été fabriqués à partir d'or natif non purifié. En effet, l'or natif contient généralement entre 5 % et 20 % d'argent³¹, cependant certains gisements sont quasiment purs³², alors que d'autres renferment plus de 50 % d'argent. De plus, l'argent métal produit à partir d'un minerai contient généralement de l'ordre du pourcent de plomb³³ et son ajout à de l'or conduit à enrichir l'or en cette impureté³⁴. Or, ce phénomène n'est pas observé pour notre échantillon puisque la concentration en plomb des objets analysés dépasse très rarement la centaine de ppm³⁵ et n'est pas corrélée à celle de l'argent. L'ajout d'argent au métal destiné à l'orfèvrerie est donc exclu, et cela d'autant plus que le métal argent est rare à cette époque, d'après les découvertes archéologiques³⁶.

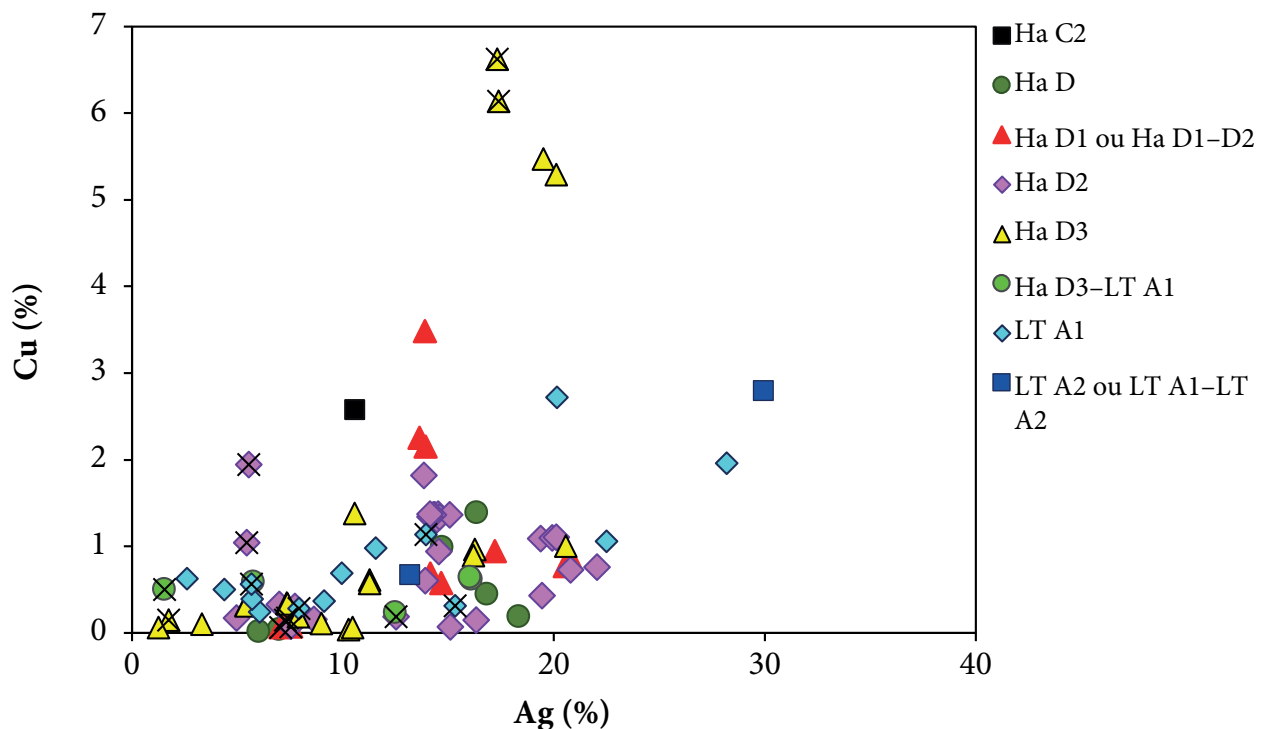


Fig. 5. Teneurs en cuivre (%) en fonction des teneurs en argent (%) des 88 objets classés par datation.

Les concentrations en cuivre des objets analysés varient de 0,02 % à près de 7 % et deux tiers des objets contiennent moins de 1 % de cuivre (fig. 5). Il est admis que l'or natif est généralement pauvre en cuivre et renferme moins de 1 % de cet élément³⁷. Ainsi, des teneurs au-delà d'un certain seuil estimé entre 1 % et 3 % suivant les publications³⁸, signeraient des ajouts volontaires en métal rouge. Il est donc certain que le métal des quatre objets datés du Ha D3 qui contiennent entre 5 %

31. Hough *et al.* 2009.

32. La concentration en argent est toutefois rarement inférieure à 1 % (Macdonald 2007, 10).

33. Exception faite de l'argent produit à partir d'argent natif (Meyers 2003).

34. Barrandon & Poirier 1985, 33.

35. Une exception, l'anneau découvert à Charmoy (Yonne) et daté de LT A1, Dubreucq *et al.* sous presse. La teneur d'une centaine de ppm est un seuil maximal souvent retenu pour caractériser les ors de type placer suite aux analyses d'Antweiler & Sutton 1970.

36. Le rare matériel en argent connu pour le domaine hallstattien est répertorié dans Dubreucq *et al.* 2018, 168. Les quatre objets en argent analysés pour le projet "West Hallstatt Gold" datent du Ha D3-LT A1 ou de LT A1 (Dubreucq *et al.* 2018, 169).

37. Chapman *et al.* 2006, 907.

38. 1 % dans Tylecote 2000, 5 ; 2 % dans Bachmann 1999, 269 ; 3 % dans Craddock 2010, 111.

et 7 % de cuivre pour 17 % ou 20 % d'argent – deux perles très semblables trouvées à Plichancourt (Marne) et deux anneaux identiques constitués de fils perlés et granules soudés mis au jour à Gurgy (Yonne) – est un alliage artificiel, réalisé en ajoutant du cuivre à de l'or natif peut-être pour colorer l'or. En revanche, il est plus difficile de se prononcer avec certitude pour bon nombre d'objets et l'examen des teneurs des éléments susceptibles d'avoir été introduits avec du cuivre (Zn, As, Sn, Sb, Pb et Bi ; voir ci-après fig. 7 pour le cas de l'étain) ne donne rien de probant. Par ailleurs, il est à noter que l'argent est au moins trois fois plus concentré que le cuivre dans l'or des objets étudiés (fig. 5) et que ceux qui sont les plus lourds (de 20 g à 200 g environ) contiennent systématiquement moins de 1 % de cuivre (fig. 6).

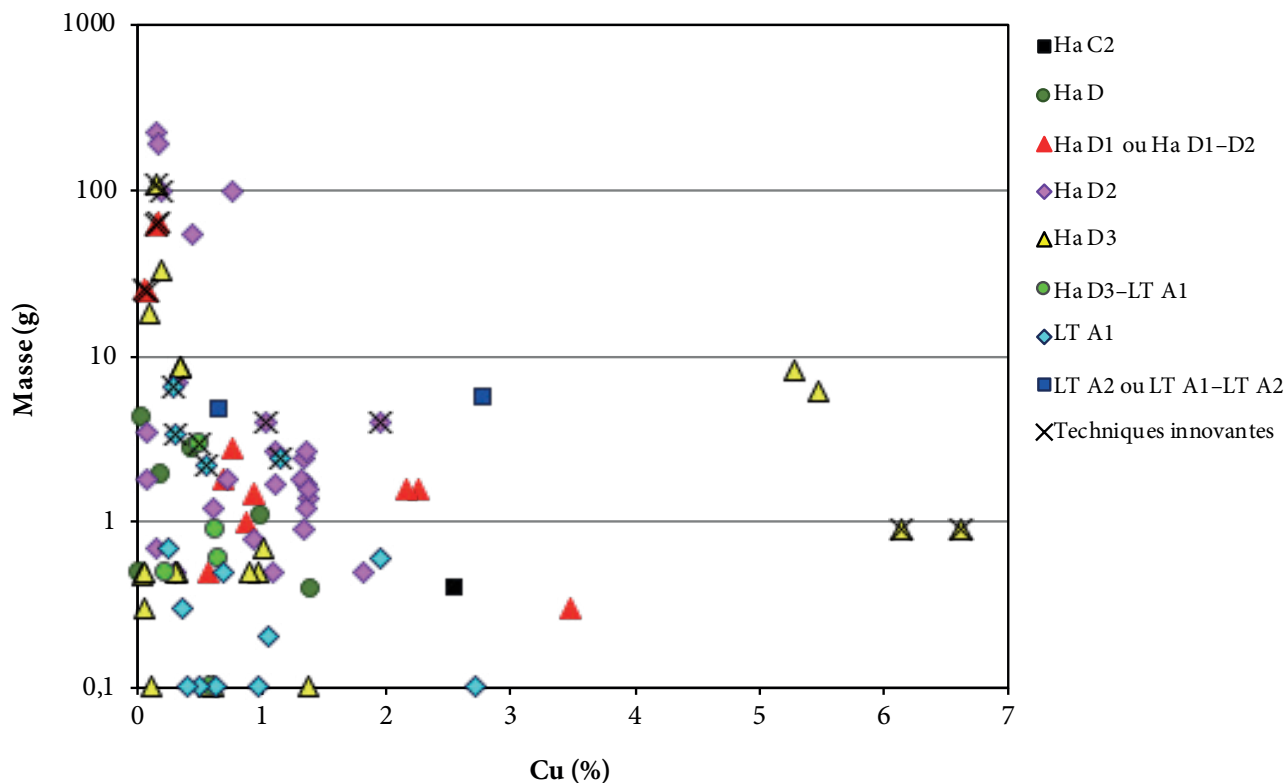


Fig. 6. Masse (g) des objets en fonction de leur teneur en cuivre (%). Échelle logarithmique pour les masses.

L'étain est une impureté habituelle des ors protohistoriques³⁹ et, en effet, 30 % des objets étudiés contiennent 0,1 % ou plus de cet élément. Cinq d'entre eux, datés du Ha D1 ou du Ha D2, se distinguent par des teneurs plus élevées qui sont comprises entre 0,4 % et 1,3 % (fig. 7). Ce dernier groupe rassemble surtout des anneaux et boucles d'oreilles des sites alsaciens de Nordhouse et de Haguenau-Ohlungen. D'ailleurs, d'une façon générale, des parentés de composition lient le matériel issu de ces sites⁴⁰. Quelle que soient les concentrations en étain des objets d'orfèvrerie, aucune corrélation n'est observée entre le cuivre et l'étain (fig. 7), ce qui permet d'exclure la possibilité que l'étain provienne de l'ajout de bronze à l'or. Ce résultat s'accorde avec l'hypothèse communément admise selon laquelle l'étain a été fortuitement introduit dans le minerai aurifère sous forme de grains de cassitérite (oxyde d'étain SnO₂), minéral qui peut être associé à l'or dans les gisements alluviaux⁴¹.

39. Dube 2006.

40. Dubreucq *et al.* 2018, 140.

41. Dube 2006 ; Eluère 1990, 28, illustrations 22-23.

Des expérimentations archéométallurgiques réalisées avec de l'or pur additionné de particules de cassitérite ont montré qu'au fil de refontes réalisées sous atmosphère oxydante (c'est-à-dire en apportant de l'air), l'étain est séparé de l'or car il passe dans les scories⁴². En revanche, si les expérimentations de fonte d'or de rivière sont conduites en conditions réductrices (c'est-à-dire avec peu d'air apporté, en présence de charbon de bois), une partie des impuretés minérales sont conservées avec l'or car elles sont réduites et forment des solutions solides ou des composés intermétalliques avec l'or. Par conséquent, la teneur en étain, comme celles d'autres éléments facilement oxydés (tels Cu, Fe, As, Sb, Pb ou Bi, pour ne citer que ceux dont les teneurs sont commentées ici⁴³), mesurée dans les objets d'orfèvrerie, dépend à la fois du gisement d'or exploité mais aussi de la métallurgie mise en œuvre.

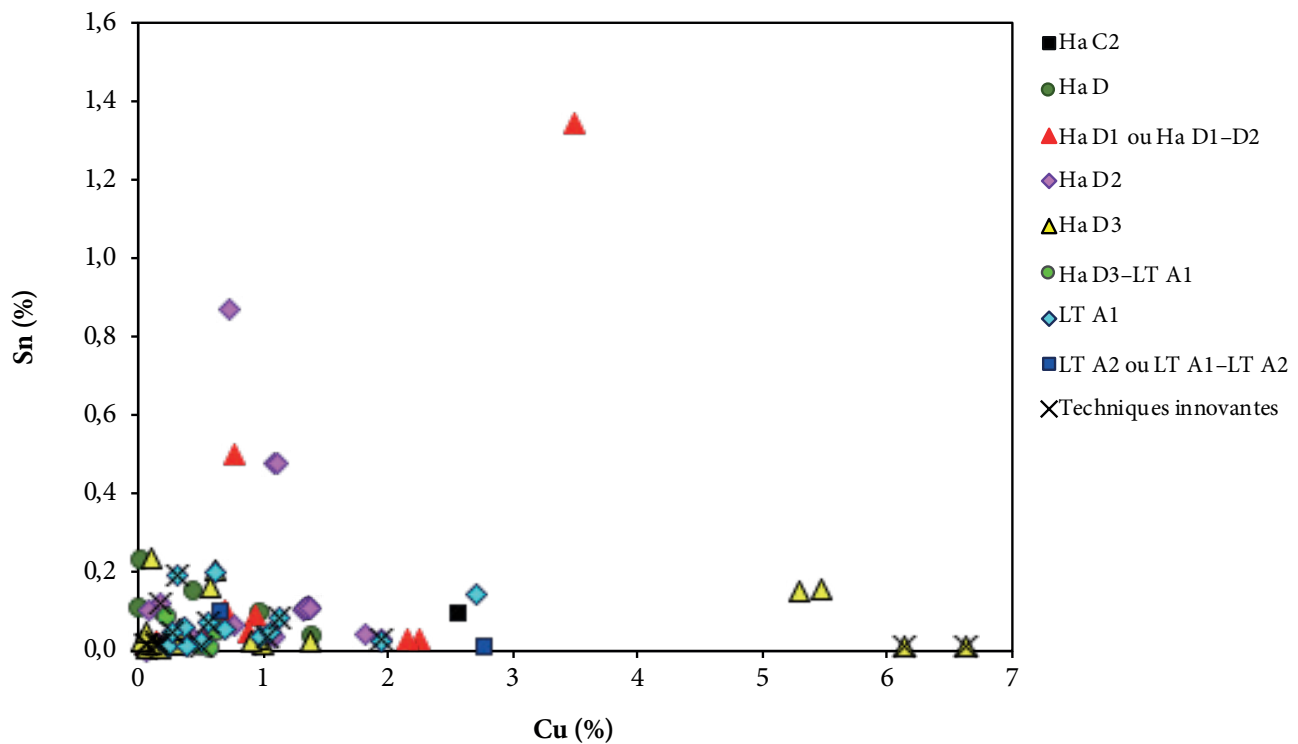


Fig. 7. Teneurs en étain (%) en fonction des teneurs en cuivre (%) des 88 objets classés par datation.

À la différence des éléments sensibles aux conditions de fonte, le platine et le palladium résistent à la fonte de l'or et aux opérations antiques de purification de l'or comme la cémentation et la coupellation⁴⁴. Ce sont même des éléments traceurs des ors anciens employés pour aborder les questions de provenance du métal précieux⁴⁵ car ils sont absents des métaux argent et cuivre qui ont pu être alliés à l'or. Leurs concentrations dans les objets hallstattiens analysés sont surtout comprises entre 3 et 26 ppm pour le platine et 0,3 et 6 ppm pour le palladium (fig. 8). Quelques rares objets s'écartent de cette tendance car ils sont légèrement plus riches en palladium (10 à 18 ppm de Pd et 12 à 19 ppm de Pt) ou contiennent nettement plus de platine (61 ppm et 2 ppm de Pd). Ces spécificités ne peuvent pas être reliées à un site de découverte des objets ni à une datation particulière et, d'une manière générale, les résultats d'analyses ne permettent pas de mettre en évidence de changement d'approvisionnement en or au cours de la période ou de différence selon la zone géographique des découvertes. Ainsi, les quelques rares objets datés

42. Raub 1995.

43. Blet-Lemarquand *et al.* 2018, tableau 7.

44. Blet-Lemarquand *et al.* 2017.

45. Cas des monnaies en or : Blet-Lemarquand *et al.* 2014.

du Ha D3 ou de la transition Ha D3–LT A1 qui contiennent plus de 95 % d'or ne présentent pas de signature en platine ou en palladium distinctive de celle des objets antérieurs. De la même façon, les 15 objets confectionnés en employant des procédés d'innovation présentent des teneurs en platine et palladium cohérentes avec celles des objets de facture traditionnelle.

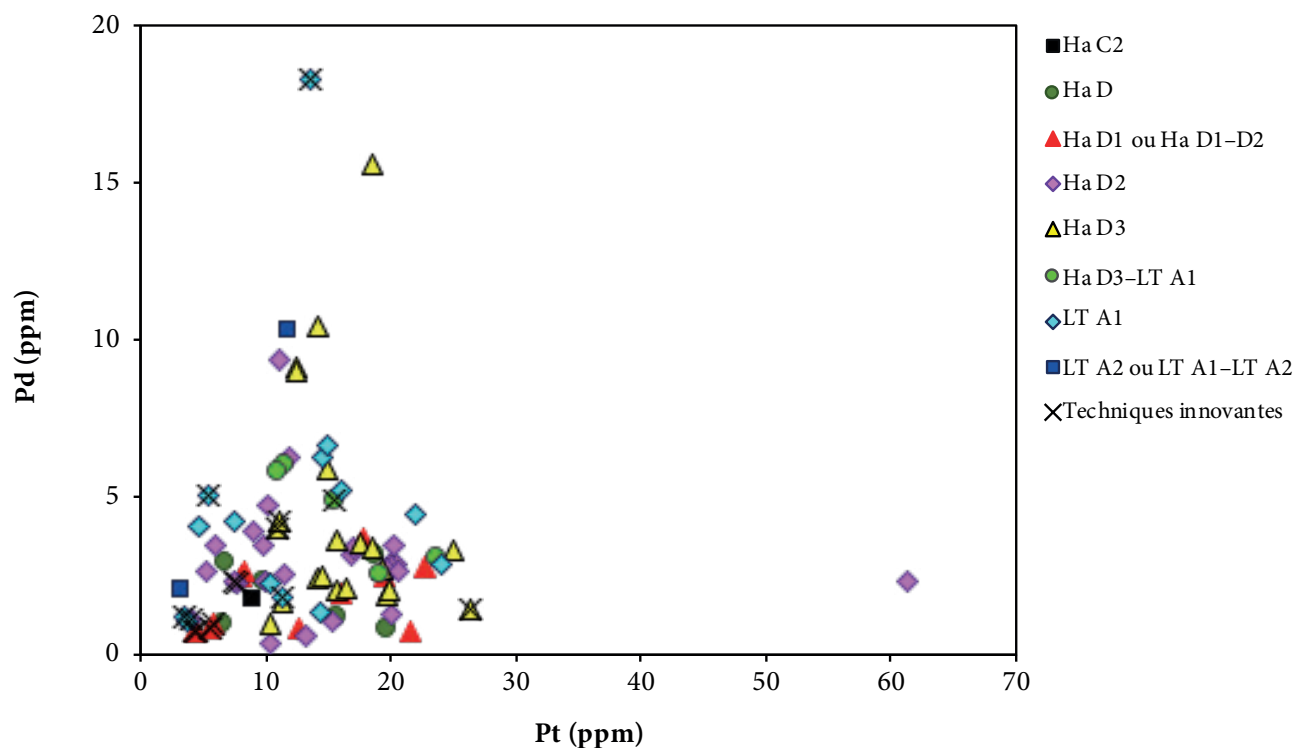


Fig. 8. Teneurs en palladium (ppm) en fonction des teneurs en platine (ppm) des 88 objets classés par datation.

Certains objets d'orfèvrerie semblent relever de séries car ils sont identiques ou très semblables et ont été retrouvés ensemble dans les sites. C'est le cas des boucles d'oreilles et de certains bracelets trouvés par paires et de lots d'épingles⁴⁶. Les analyses élémentaires qui ont été effectuées ont montré que ces objets strictement identiques ou très proches possédaient la plupart du temps une composition similaire (fig. 9). Ce résultat, qui était attendu car conforme à l'intuition, méritait tout de même d'être démontré. Il conforte ce concept de production en série et invite à s'interroger sur la notion d'atelier.

46. Dubreucq *et al.* 2018, 148.

Site et datation	Type	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)	Fe	Zn	As	Sn	Sb	Pb	Bi	Pd	Pt	(Ir)
Apremont (Haute-Saône), Ha D2	fibule	84,2	13,8	1,8	1 071	13	2	388	11	53	20	4	9	0,3
	fibule	93,4	5,4	1,0	1 051	17	1	335	11	9	17	2	8	0,4
Diarville (Meurthe-et-Moselle), Ha D3	boucle d'oreille	94,2	5,4	0,3	414	49	3	183	2	9	1	2	14	0,6
	boucle d'oreille	94,2	5,4	0,3	401	47	3	170	2	9	1	3	15	0,6
Metz (Moselle), Ha D3	boucle d'oreille	89,6	10,3	0,04	150	6	3	211	5	12	21	16	19	0,6
	boucle d'oreille	89,4	10,4	0,06	162	11	7	467	11	27	45	10	14	0,5
Plichancourt (Marne), Ha D3	perle	74,9	19,5	5,5	70	30	2	1 540	26	56	23	2	20	0,2
	perle	74,4	20,1	5,3	99	29	1	1 509	24	51	21	2	20	0,2
Marsal (Moselle), Ha D3-LT A1	anneau	83,1	16,1	0,6	1 402	29	9	593	15	19	17	6	12	0,4
	anneau	83,2	16,0	0,6	1 029	22	5	474	12	17	16	6	11	0,5

Fig. 9. Composition de paires d'objets identiques ou très semblables (perles de Plichancourt, anneaux de Marsal) trouvés ensemble (perles, anneaux, boucles d'oreilles, fibules) en % ou en ppm. Les compositions de certains autres objets ont déjà été publiées par ailleurs⁴⁷. Chaque composition correspond à la moyenne de deux à huit micro-prélèvements. Les teneurs en Ir ont uniquement une valeur indicative, faute de pouvoir étalonner correctement les mesures par LA-ICP-MS en l'absence de matériau de référence adapté.

Pour résumer, l'alliage travaillé au Hallstatt pour l'orfèvrerie est de l'or natif non purifié, probablement extrait de gisements alluviaux. La teneur moyenne en or est de 90 %⁴⁸. Toutefois, à la fin de la période, au Ha D3, de l'or titrant à 95-98,6 % et contenant 1,5-3 % d'argent a aussi été ponctuellement employé, notamment pour le lourd et complexe bracelet d'Ensisheim⁴⁹. S'agit-il d'un or natif particulièrement pur ou bien d'or affiné ? Aucun élément de réponse ne permet de trancher entre ces deux possibilités⁵⁰. Il apparaît aussi que les objets les plus pesants du Ha D2 ont été fabriqués dans des alliages avec 90 % à 95 % d'or⁵¹, donc soigneusement choisis pour ces objets particulièrement prestigieux. Si les objets hallstattiens contiennent majoritairement moins de 1 % de cuivre, ce constat est systématiquement vérifié pour les objets les plus lourds, c'est-à-dire ceux dont la masse excède 20 g. Or, à l'âge du Bronze final, il était courant d'ajouter du cuivre à de l'or natif pour l'orfèvrerie⁵². Le recyclage d'objets datant de l'âge du Bronze final ne peut donc pas être avancé comme source privilégiée d'approvisionnement de l'orfèvrerie du premier âge du Fer mais pourrait être une hypothèse valide pour certains rares objets du corpus datés du Ha D3 riches en cuivre.

Les objets porteurs d'innovations techniques

Les alliages

La confrontation des résultats d'analyses laisse penser que les alliages des 15 objets porteurs d'innovations techniques ne sont pas différents de ceux d'autres objets contemporains qui ont été fabriqués de façon plus traditionnelle. C'est le cas,

47. Paires de bracelets et de boucles d'oreilles de Sainte-Colombe-sur-Seine (Côte-d'Or), Ha D1 ou Ha D2 : Dubreucq *et al.* 2018, 153. Paire de boucles d'oreilles de Bouxières (Meurthe-et-Moselle) ; Ha D1-D2 : Dubreucq *et al.* 2018, 138. Paire de boucles d'oreilles de Nordhouse (Bas-Rhin), tumulus 4, Ha D2 : Plouin & Gratuze 2018, 299. Lot de huit têtes d'épingles de Nordhouse (Bas-Rhin), tumulus 4 : Dubreucq *et al.* 2018, 139. Paire de boucles d'oreilles de Nordhouse (Bas-Rhin), tumulus 3-tombe 10, Ha D3 : Plouin & Gratuze 2018, 299. Anneaux de Gurgy (Yonne), tumulus 5, Ha D3 : Dubreucq *et al.* 2018, 142. Paire de boucles d'oreilles d'Ensisheim (Haut-Rhin), Ha D3-LT A1 : Dubreucq *et al.* 2018, 157.

48. Calculs réalisés en considérant la masse des 88 objets ; la même moyenne est obtenue en excluant les objets datés de LT A1 et de LT A2.

49. Cette remarque concerne aussi le torque de Vix qui contient environ 2 % d'argent et 1 à 2 % de cuivre, d'après des analyses réalisées par microfluorescence X (Eluère *et al.* 1989, 21).

50. Des gisements livrant des paillettes d'or pur qui renferment de l'ordre de 2 % d'argent, sont connus en Europe occidentale, voir Eluère 1987, 13-14 qui cite notamment ceux de la région du Napf, en Suisse. On sait aussi que l'affinage de l'or est attesté en Méditerranée orientale, à Sardes, dès le milieu du VI^e s. a.C. (Ramage 2000, 95) et qu'une seule opération de cémentation telle qu'elle pouvait être pratiquée à Sardes suffit pour atteindre une pureté de 99,5 % en partant d'un alliage Au 83 % et Ag 17 % (Wunderlich *et al.* 2014).

51. Torques d'Apremont, d'Ensisheim et le matériel de Sainte-Colombe-sur-Seine (Ha D1 ou Ha D2).

52. Ajout jusqu'à 10 %, Northover 1995, 298.

par exemple, des lourds objets du Ha D2 qui contiennent 90 % à 95 % d'or, ou des deux paires d'objets identiques du Ha D3 qui se distinguent par de fortes teneurs en cuivre : chacun de ces deux groupes de composition comprend des objets fabriqués de façon traditionnelle et d'autres qui ont bénéficié de nouveautés techniques. On ne peut donc pas conclure que des alliages particuliers ont été sélectionnés pour mettre en œuvre un procédé innovant.

L'étude des soudures

Comme il a déjà été expliqué, les objets d'orfèvrerie du Hallstatt sont traditionnellement composés d'une seule pièce, par conséquent, la soudure de plusieurs éléments, qui nécessite une parfaite maîtrise des alliages et de la température, constitue une innovation technique majeure. Les soudures permettent de rapporter des éléments décoratifs (ex. granules de l'anneau de Charmoy ou de la goupille du système de fermeture du bracelet d'Ensisheim), d'assembler deux fils perlés (éléments de parure de Sainte-Geneviève-des-Bois), de fermer un volume (tête de bélier de l'épingle de Bourges) ou un anneau (anneau de Cérilly) (fig. 2). Le corpus réuni ici montre que la soudure est mise en œuvre dès le Ha D1 ou le Ha D2 et, qu'à partir du Ha D3, elle apparaît toujours associée à d'autres procédés innovants tels que le fil perlé ou la granulation⁵³ (fig. 2, voir aussi le cas du torque de Vix daté du Ha D3).

Les soudures ont été observées à diverses échelles et ont été analysées par MEB-EDX et par LA-ICP-MS sans aucune préparation préalable⁵⁴. Elles présentent des états de surface variés qui sont le reflet de diverses microstructures. Certaines sont très lisses (ex. fibules d'Apremont ; anneau de Cérilly⁵⁵ ; fragment de torque sans provenance) tandis que d'autres ont une microstructure dendritique visible en surface (goupille du bracelet d'Ensisheim ; épingle de Bourges⁵⁶). Enfin, certaines soudures ont été limées pour ôter un excès de métal (anneau de Charmoy⁵⁷ ; goupille du bracelet d'Ensisheim⁵⁸).

Toutes les zones de soudures contiennent légèrement plus de cuivre que les alliages des parties assemblées⁵⁹, d'après les analyses par LA-ICP-MS qui caractérisent l'intérieur de la soudure ou mêmes certaines de celles effectuées par MEB-EDX qui portent uniquement sur la proche surface (fig. 10)⁶⁰. Ce résultat est conforme à la propriété qu'a le cuivre d'abaisser le point de fusion des alliages or-argent⁶¹. Deux filières conduisent à enrichir en cuivre la jonction : le soudage métallique, qui requiert un alliage de soudure dont la température de fusion est inférieure à celle des parties à assembler, et le soudage aux sels de cuivre décrit dans les traités techniques antiques⁶². Le second procédé est la méthode traditionnelle employée pour les décors de granulation en Étrurie à partir du VIII^e s. a.C. et en Grèce à l'époque classique⁶³. Il a été identifié sur de rares objets trouvés en Suisse – donc dans l'aire culturelle hallstattienne – qui associent granulation et filigrane (perle de Ins-Grossholz ; perle de Jegenstorf-Hurst)⁶⁴ mais les spécialistes sont incapables de trancher si ces objets sont d'origine étrusque ou bien d'influence étrusque. En fait, les observations des objets de notre corpus plaideraient en faveur de la première solution car les jonctions correspondent plutôt à des ajouts de matière qui pourraient s'expliquer par un apport d'alliage de soudure. Au contraire, le soudage aux sels de cuivre introduit peu de matière susceptible de s'allier à l'or.

53. L'anneau de Cérilly ne respecte pas cette règle. S'agit-il vraiment d'un objet fini ?

54. L'analyse des soudures n'est pas sans poser de difficultés pour maintes raisons signalées dans Blet-Lemarquand *et al.* 2018, 123 et Schorer *et al.* 2018, 195.

55. Armbruster *et al.* 2017, figure 6c ; Dubreucq *et al.* 2018, 142.

56. Milcent *et al.* 2018, 264, figure 10.

57. Dubreucq *et al.* sous presse.

58. Armbruster *et al.* 2017, figure 6b.

59. Les rapports entre les teneurs en Ag et en Au sont conservés, voir notamment la composition du paillon de soudure et de l'or de la boucle d'oreille de Sainte-Colombe-sur-Seine (fig. 10).

60. La méthode LA-ICP-MS s'est révélée mieux à même de caractériser les soudures. Ainsi, de précédents travaux avaient conclu que les différentes parties constitutives des anneaux de Gurgy avaient la même composition que les soudures, d'après des analyses par MEB-EDX (Eluère 1989, 51). En fait, les analyses par LA-ICP-MS qui permettent de caractériser le métal en profondeur ont montré que les jonctions des anneaux de Gurgy sont plus riches en cuivre que l'alliage des éléments assemblés (fig. 10). L'application du MEB-EDS directement sur la surface des objets d'orfèvrerie risque donc de produire des biais.

61. Diagramme ternaire du liquidus des alliages Au-Ag-Cu dans Chang *et al.* 1977.

62. Robert-Hauglustaine 1993 ; Duval *et al.* 1989.

63. Eluère 1990, 204.

64. Eluère 1989, 50.

Deux objets hallstattiens prouvent l'emploi d'un alliage de soudure car nous avons identifié des résidus accidentellement déposés sur des surfaces qui n'étaient pas destinées à recevoir une soudure : le torque de Vix, du Ha D3⁶⁵ et l'une des boucles d'oreilles de Sainte-Colombe-sur-Seine, du Ha D1 ou du Ha D2⁶⁶. Le dépôt lenticulaire, millimétrique, rosé, découvert à la surface de cette boucle, est très nettement enrichi en cuivre par rapport au reste de l'objet, soudures comprises (fig. 10). Nous sommes donc enclines à supposer que la soudure métallique est le mode d'assemblage utilisé dans le monde hallstattien. Toutefois, cette hypothèse mériterait d'être confirmée au moyen d'expérimentations archéométriques puis d'études archéométriques des analogues produits en comparaison des objets anciens.

Site	Datation	Objets	Éléments assemblés			Soudure		
			Au (%)	Ag (%)	Cu (%)	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)
Sainte-Colombe-sur-Seine	Ha D1 ou Ha D2	bracelet	92,4	7,4	0,2	90,1	7,4	2,4
		bracelet	92,5	7,3	0,1	89,3	7,0	3,6
Inconnu	Ha D2	fragment de torque	87,1	12,5	0,2	84,9	11,3	3,6
Ensisheim	Ha D3	bracelet	98,0	1,7	0,1	96,7	1,6	1,6
Gurgy	Ha D3	boucle d'oreille	76,0	17,3	6,6	76,2	15,7	8,0
Cérilly	Ha D3-LT A1	anneau	97,9	1,6	0,5	95,3	1,6	3,1
Charmoy	LT A1	boucle d'oreille	83,9	15,3	0,3	82,4	14,9	2,2
Bourges	LT A1	épingle	84,8	13,9	1,1	82,0	13,6	4,2
Sainte-Geneviève-des-Bois	LT A1	parure	94,2	4,7	0,9	91,0	4,7	4,1
		parure	94,3	5,0	0,6	92,1	4,4	3,4
Weitbruch	LT A1	bague	91,6	7,9	0,3	86,6	9,7	3,4

Site	Datation	Objets	Éléments assemblés			Paillon de soudure		
			Au (%)	Ag (%)	Cu (%)	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)
Sainte-Colombe-sur-Seine	Ha D1 ou Ha D2	boucle d'oreille	95,0	5,0	< 0,1	88,2	4,7	7,1

Fig. 10. Caractérisation de soudures de différents objets et du paillon de soudure découvert à la surface de l'une des deux boucles de Sainte-Colombe-sur-Seine (Côte-d'Or). Analyses réalisées par LA-ICP-MS ou par MEB-EDX (anneau de Cérilly et paillon de soudure de Sainte-Colombe-sur-Seine).

Les compositions des éléments soudés

Les 15 objets du corpus présentant des soudures sont chacun constitués de deux à 15 éléments différents qui possèdent la même composition élémentaire, aux incertitudes d'analyse près, ce qui signifie que toutes les parties de chaque objet ont été fabriquées à partir d'un alliage issu d'un même stock métallique et probablement d'un seul lingot de métal. Cette tendance est vérifiée par exemple pour le bracelet d'Ensisheim⁶⁷ (fig. 11). On comprend aisément que cette pratique était un atout pour réussir les assemblages à l'aide d'un alliage de soudure car ainsi les éléments à assembler fondaient à la même température.

65. Dubreucq *et al.* 2018, 163, centre de la figure 27c.

66. Armbruster *et al.* 2017, figure 6a.

67. Dubreucq *et al.* 2018, 154 ; Milcent *et al.* 2018, 265.

Localisation de l'analyse	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)	Fe	Zn	As	Sn	Sb	Pb	Bi	Pd	Pt	(Ir)
Jonc	97,9	1,8	0,20	813	46	1	228	1	8	4	0,7	15	0,7
Jonc	98,1	1,7	0,12	760	43	2	149	1	8	7	2,0	36	0,7
Tenon	98,0	1,7	0,14	532	50	4	191	1	8	0,9	1,3	24	0,7
Bossette hémisphérique	98,0	1,7	0,15	622	49	1	187	1	3	0,5	1,2	24	0,7
Tête de bélier	98,0	1,7	0,17	614	42	1	158	1	4	0,8	1,6	30	0,7
Pomme	98,1	1,7	0,12	529	40	1	145	1	3	0,4	1,7	31	0,7
Tige de la goupille	98,0	1,7	0,14	504	55	2	204	1	10	0,6	1,5	27	0,7
Tête de la goupille	98,0	1,7	0,16	601	55	2	209	1	4	0,4	1,2	24	0,7
Granule de la goupille	98,0	1,7	0,14	557	50	2	197	1	8	0,7	1,5	28	0,7

Fig. 11. Bracelet d'Ensisheim (Haut-Rhin), Ha D3 (107,8 g). Résultats d'analyses par LA-ICP-MS. Chaque composition correspond à un micro-prélèvement. Teneurs en % ou en ppm. Les teneurs en Ir ont uniquement une valeur indicative.

Il n'existe pas la même contrainte si les différents éléments ne sont pas soudés. C'est ce qui est observé pour deux boucles d'oreilles munies de fermoirs et décorées de ciselure découvertes dans la tombe 4 de Nordhouse (Ha D2)⁶⁸. Les deux parties de chacun de ces objets – corps de la boucle et anneau mobile – présentent des concentrations légèrement mais significativement différentes, en argent et en étain notamment⁶⁹. Toutefois, ces teneurs s'inscrivent dans une variabilité régionale qui traduit une parenté chimique des lingots d'or employés à cette époque pour confectionner le matériel déposé dans les tombes de Nordhouse et de Haguenau-Ohlungen.

La dorure par diffusion

Rares sont les objets d'orfèvrerie hallstattiens dorés. Les observations laissent penser que la dorure des objets concernés – principalement des fibules pour les objets découverts en France – a été réalisée en fixant une feuille d'or au moyen d'un adhésif sur un support qui est en alliage cuivreux ou en argent⁷⁰. À partir du Ha D3, un autre procédé, appelé dorure par diffusion, est employé : il consiste à recouvrir un support en argent soigneusement nettoyé par une feuille d'or qui en épouse les reliefs et à chauffer modérément pour provoquer une diffusion entre les métaux et ainsi assurer l'adhérence⁷¹. Cette méthode de dorure est une innovation technique par rapport à un plaquage mécanique car elle consomme moins d'or et assure une parfaite adhérence avec le support. C'est ce procédé qui a été employé pour dorer l'omphalos de la célèbre phiale en argent de Vix⁷² et quelques autres objets découverts en Suisse (bracelets de Unterlunkhofen)⁷³ ou dans le sud de l'Allemagne (rivets de Grafenbühl ; anneau et bracelets de différentes tombes de Herberlingen-Hundersingen)⁷⁴. Dans tous les cas de dorure par diffusion mentionnés ci-dessus, la feuille d'or a été déposée sur une tôle d'argent, même lorsque les objets sont en fait en alliages cuivreux.

Le projet "West Hallstatt Gold" a permis de découvrir qu'une fibule de type discoïdale en fer, provenant du dépôt de la Douix, à Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or) et datée de LT A1⁷⁵, avait été dorée par diffusion. Le décor en argent doré qui recouvre partiellement le fer a été analysé par LA-ICP-MS et échantillonné à deux endroits pour une étude métallographique⁷⁶. L'observation des coupes et les analyses ponctuelles par MEB-EDX ont montré que la couche d'or était fine (20 à 50 micromètres), que l'interface résultait bien de phénomènes d'interdiffusion entre les deux alliages, et que la dorure ne contenait pas de mercure (fig. 12). Ces constats apportent des preuves définitives que la fibule a bien été dorée par diffusion.

68. Plouin & Gratuze 2018, 293, figure 4(10) ; Dubreucq *et al.* 2018, 137.

69. Plouin & Gratuze 2018, 299 ; Dubreucq *et al.* 2018, 139.

70. Dubreucq *et al.* 2018, 167.

71. Oddy 1993, 176.

72. Eluère *et al.* 1989, 26.

73. Eluère *et al.* 1989, 26.

74. Schorer *et al.* 2018, 204-207.

75. Dubreucq *et al.* 2018, 168, figure 32c.

76. Blet-Lemarquand *et al.* 2018, 121-123.

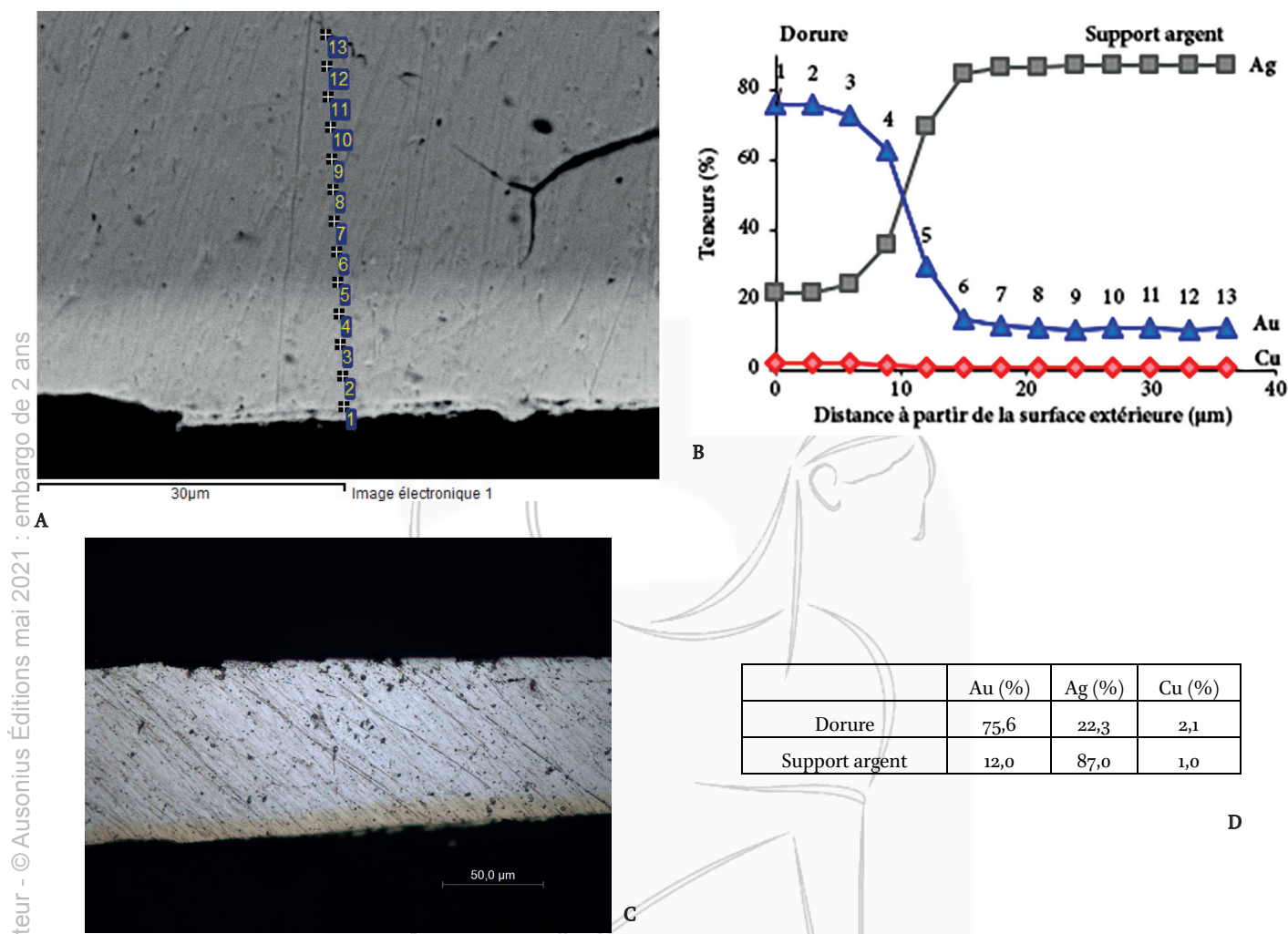


Fig. 12. Étude métallographique de la fibule de Douix, Châtillon-sur-Seine (Côte-d'Or). (a) Image MEB en contraste chimique de la coupe avec les pointés MEB-EDX ; (b) teneurs en Au, Ag et Cu des 13 pointés dont les numéros ont été reportés sur la courbe de l'or ; (c) coupe observée sous loupe binoculaire ; (d) compositions moyennes des deux alliages. Image MEB et photographie M. Blet-Lemarquand.

Ce procédé était sans doute très répandu pendant l'antiquité avant l'introduction du mercure pour la dorure au feu⁷⁷. Il est attesté pour des objets archaïques grecs et étrusques en argent⁷⁸. Son introduction dans le monde hallstattien au Ha D3 pourrait donc témoigner de contacts interculturels.

CONCLUSION

À partir du Ha D2, l'orfèvrerie du Hallstatt occidental témoigne de la maîtrise de nouvelles techniques de fabrication et de décoration proches de certaines déjà en vigueur en Étrurie et en Grèce. Les objets hallstattiens porteurs de ces innovations sont souvent constitués de plusieurs éléments en tôle d'or élaborés à partir d'un même lingot de métal et soudés entre eux, très probablement au moyen d'un alliage de soudure obtenu en additionnant un peu de cuivre à l'or. Leur composition élémentaire n'apparaît pas différente de celle des objets contemporains élaborés de façon traditionnelle, c'est-à-dire, pour simplifier, faits

77. Oddy 1988.

78. Oddy 1988, 16, tableau 1.

d'une seule tôle généralement décorée de poinçons : quel que soit leur mode de fabrication, les productions hallstattiennes sont généralement en or natif non purifié, sûrement d'origine alluviale. Probablement influencés par les productions méditerranéennes, les orfèvres du Hallstatt auraient donc introduit et réinterprété de nouveaux procédés techniques sans modifier les circuits d'approvisionnement et de production du métal.

REMERCIEMENTS

Ces recherches ont été menées entre 2012 et 2015 dans le cadre du projet franco-allemand "West Hallstatt Gold" dirigé par B. Armbruster et E. Pernicka, et financé par l'ANR et la DFG (ANR 11-FRAL-0013). Les auteurs remercient tout particulièrement Bernard Gratuze qui a réalisé toutes les analyses par LA-ICP-MS, ainsi qu'Émilie Dubreucq, Pierre-Yves Milcent et Marilou Nordez qui ont alimenté la base de données et permis le traitement des informations archéologiques. Les analyses archéométriques n'auraient pu se dérouler sans le précieux concours des institutions qui ont accepté de prêter les objets, qu'elles soient ici aussi remerciées (Musée d'Archéologie nationale de Saint-Germain-en-Laye, Musée archéologique de Dijon, Musée archéologique de Strasbourg, Musée d'art et d'histoire d'Auxerre, Musée d'Art et d'Histoire de Toul, Musée du Berry, Musée de Châtillon-Coligny, Musée historique d'Hagenau, Musée lorrain de Nancy, Musée du Pays Châtillonnais-Trésor de Vix, Musée de Sens, Musée d'Unterlinden-Colmar, Service d'archéologie municipale de Bourges, Services régionaux de l'archéologie de Champagne-Ardenne, de Bourgogne-Franche-Comté, du Grand Est, INRAP).

Bibliographie

Abréviation particulière

Die Welt der Kelten (2012) : Archäologisches Landesmuseum Baden-Württemberg, Landesmuseum Württemberg und Landesamt für Denkmalpflege im Regierungspräsidium Stuttgart (ed), *Die Welt der Kelten. Zentren der Macht – Kostbarkeiten der Kunst* (Stuttgart, 2012).

Antweiler, J. C. et Sutton, A. L. (1970) : "Spectrochemical analyses of native gold samples", *U. S. Geological Survey Report*, USGS-GD-70-003.

Armbruster, B. (2003) : "Remarques sur la technique de fabrication", in : Rolley, éd. 2003, 200-214.

Armbruster, B. (2004) : "Le tournage dans l'orfèvrerie de l'âge du Bronze et du premier âge du Fer en Europe Atlantique", in : Feugère & Gérold, éd. 2004, 53-70.

Armbruster, B. (2018) : "Rotary motion in iron age gold work: annular ornaments and their decoration", in : Schwab *et al.*, éd. 2018, 231-254.

Armbruster, B. et Louboutin, C. (2004) : "Parures en or de l'âge du Bronze de Balinghem et Guînes (Pas-de-Calais) : les aspects technologiques", *Antiquités Nationales*, 36, 133-146.

Armbruster, B., Blet-Lemarquand, M., Gratuze, B., Leusch, V., Pernicka, E., Schorer, B. et Schwab, R. (2017) : "Metallurgical and technological aspects of early iron age gold", in : Montero-Ruiz & Perea, éd. 2017, 169-178.

Bachmann, H.-G. (1999) : "On the early metallurgy of gold. Some answers and more questions", in : Hauptmann *et al.*, éd. 1999, 267-275.

Baratte, F., éd. (1988) : *Argenterie Romaine et Byzantine*, Paris.

Barrandon, J.-N. et Poirier, J. (1985) : "Les méthodes d'analyse des monnaies d'or", in : Morisson *et al.*, éd. 1985, 17-38.

Biel, J. (1985) : *Der Keltenfürst von Hochdorf*, Stuttgart.

Blet-Lemarquand, M., Nieto-Pelletier, S. et Sarah, G. (2014) : "Chapitre 7. L'or et l'argent monnayés", in : Dillmann & Bellot-Gurlet, éd. 2014, 133-159.

- Blet-Lemarquand, M., Nieto-Pelletier, S., Suspène, A. et Téreygeol, F. (2017) : "Are platinum and palladium relevant tracers for ancient gold coins? Archaeometallurgical and archaeometric data to study an antique numismatic problem", in : Montero-Ruiz & Perea, éd. 2017, 19-28.
- Blet-Lemarquand, M., Da Mota, H., Gratuze, B., Schwab, R. et Leusch, V. (2018) : "Material sciences applied to West Hallstatt gold", in : Schwab *et al.*, éd. 2018, 101-132.
- Chang, Y.A., Goldberg, D. et Neumann, J.P. (1977) : "Phase diagrams and thermodynamic properties of ternary copper-silver systems", *Journal of Physical and Chemical Reference Data*, 6(3), 621-674.
- Chapman, R.J., Leake, R.C., Warner, R.A., Cahill, M.C., Moles, N.R., Shell, C.A. et Taylor, J.J. (2006) : "Microchemical characterisation of natural gold and artefact gold as a tool for provenancing prehistoric gold artefacts: a case study in Ireland", *Applied Geochemistry*, 21, 904-918.
- Craddock, P.T. (2010) : *Early Metal Mining and Production*, First published in 1995, Londres.
- Dillmann, P. et Bellot-Gurlet, L., éd. (2014) : *Circulation et provenance des matériaux dans les sociétés anciennes*, Paris.
- Dube, R.K. (2006) : "Interrelation between gold and tin: a historical perspective", *Gold Bulletin*, 39(3), 103-113.
- Dubreucq, E., Milcent, P.-Y., Blet-Lemarquand, M., Armbruster, B., Gratuze, B. et Olivier, L. (2018) : "L'or hallstattien en France et Suisse occidentale. Approches typologiques, technologiques et analytiques", in : Schwab *et al.*, éd. 2018, 133-179.
- Dubreucq, E., Blet-Lemarquand, M., Armbruster, B. et Gratuze, B. (sous presse) : "L'anneau de Charmoy : une pièce d'orfèvrerie exceptionnelle", in : Baray L., éd. sous presse.
- Duval, A.-R., Eluère, C. et Hurtel, L.P. (1989) : "Joining techniques in ancient gold jewellery", *Jewellery Studies*, 3, 5-13.
- Eluère, C. (1987) : *L'Or des Celtes*, Paris.
- Eluère, C. (1989) : "A 'Gold connection' between the Etruscans and early Celts?", *Gold Bulletin*, 22(2), 48-55.
- Eluère, C. (1990) : *Les secrets de l'or antique*, Paris.
- Eluère, C., Drillhon, F., Duda, H. et Duval, A.-R. (1989) : "L'or et l'argent de la tombe de Vix", *Bulletin de la Société préhistorique française*, 86(1), 10-31.
- Eluère, C., éd. (1993) : *Outils et ateliers d'orfèvres des temps anciens*, Antiquités nationales mémoires 2, Issoudun.
- Feugère, M. et Gérold, J.-C., éd. (2004) : *Le tournage des origines à l'an mil*, Actes du colloque de Niederbronn, octobre 2003, Montagnac.
- Green, M., éd. (1995) : *The Celtic World*, Londres-New York.
- Hauptmann, A., Pernicka, E., Rehren, T. et Yalçin, Ü, éd. (1999) : *The Beginnings of Metallurgy, Proceedings of the International Conference, Bochum, 1995*, Der Anschnitt 9, Bochum.
- Hough, R.M., Butt, C.R.M. et Fischer-Bühner, J. (2009) : "The crystallography, metallography and composition of gold", *Elements*, 5(5), 297-302.
- La Niece, S. et Craddock, P.T., éd. (1993) : *Metal Plating and Patination*, Oxford.
- Macdonald, E.H. (2007) : *Handbook of Gold Exploration and Evaluation*, Cambridge.
- Meller, H., Risch R. et Pernicka, E., éd. (2014) : *Metalle der Macht – Frühes Gold und Silber. Metals of power – Early gold and silver. 6. Mitteldeutscher Archäologentag vom 17. bis 19. Oktober 2013 in Halle (Saal)*.
- Meyers, P. (2003) : "Production of silver in antiquity: ore types identified based upon elemental compositions of ancient silver artifacts", in : Van Zelst, éd. 2003, 271-288.
- Milcent, P.-Y. (2018) : "L'or hallstattien dans le temps et l'espace", in : Schwab *et al.*, éd. 2018, 43-91.
- Milcent, P.-Y., Armbruster, B., Blet-Lemarquand, M. et Gratuze, B. (2018) : "Les bijoux en or du tumulus princier du v^e s. av. J.-C. de Lazenay à Bourges (région Centre-Val de Loire)", in : Schwab *et al.*, éd. 2018, 255-269.
- Montero-Ruiz, I. et Perea Caveda, A., éd. (2017) : *Archaeometallurgy in Europe IV*, Bibliotheca praehistorica hispana, vol XXXIII, Madrid.
- Morrisson, C., Brenot, C., Callu, J.-P., Barrandon, J.-N., Poirier, J. et Halleux, R., éd. (1985) : *L'or monnayé I*, Cahiers Ernest-Babelon 2, Paris.
- Morteani, G. et Northover, J.P., éd. (1995) : *Prehistoric Gold in Europe: Mines, Metallurgy and Manufacture. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Prehistoric Gold in Europe, held at Seon, Germany, from September 26 to October 1, 1993*, Dordrecht.
- Northover, P. (1995) : "Chapter sixteen. The technology of metalwork. Bronze and gold", in : Green, éd. 1995, 285-309.
- Oddy, W.A. (1988) : "The gilding of Roman silver plate", in : Baratte, éd. 1988, 9-25.
- Oddy, W.A. (1993) : "Gilding of metals in the old world", in : La Niece & Craddock, éd. 1993, 171-181.
- Plouin, S. et Gratuze, B. (2018) : "Les anneaux et boucles d'oreilles en or d'Alsace", in : Schwab *et al.*, éd. 2018, 285-304.
- Ramage, A. (2000) : "The excavations and finds", in : Ramage & Craddock, éd. 2000, 72-98.
- Ramage, A. et Craddock, P.T., éd. (2000) : *King Croesus' Gold: Excavations at Sardis and the History of Gold Refining. Archaeological Exploration of Sardis*, Monograph 11, Cambridge.
- Raub, C. (1995) : "The metallurgy of gold and silver in prehistoric times", in : Morteani & Northover, éd. 1995, 243-259.

- Robert-Hauglustaine, A.-C. (1993) : “Le soudage de l’or : étude à partir des textes antiques et médiévaux”, in : Eluère, éd. 1993, 111-116.
- Rolley, C., éd. (2003) : *La tombe princière de Vix*, Paris.
- Schorer, B., Leusch, V. et Schwab, R. (2018) : “New insights into Hallstatt gold from southwest Germany: technological aspects and material analyses”, in : Schwab *et al.*, éd. 2018, 181-229.
- Schwab, R., Milcent, P.-Y., Armbruster, B. et Pernicka, E., éd. (2018) : *Early Iron Age Gold in Europe; Society, Technology and Archaeometry. Proceedings of the International Congress held in Toulouse, France, 11-14 March 2015*. *Forschungen zur Archäometrie und Altertumswissenschaft* 6,1, Rahden/Westf.
- Sievers, S. (1984) : *Die Kleinfunde der Heuneburg: Die Funde aus den Grabungen von 1950–1979*, Heuneburgstudien V, Römisch-Germanische Forschungen 42, Mainz.
- Tylecote, R. F. (2000) : *A History of Metallurgy*, Second Edition, Londres.
- Van Zelst, L., éd. (2003) : *Patterns and Process: A Festschrift in Honor of Dr. Edward V. Sayre*, Washington DC.
- Wunderlich, C.-H., Lockhoff, N. et Pernicka, E. (2014) : “De Cementatione oder: Von der Kunst, das Gold nach Art der Alten zu reinigen”, in : Meller *et al.*, éd. 2014, 353-366.

