



HAL
open science

”Tracer” l’or monnayé

Maryse Blet-Lemarquand, Sylvia Nieto-Pelletier, Florian Téreygeol

► **To cite this version:**

Maryse Blet-Lemarquand, Sylvia Nieto-Pelletier, Florian Téreygeol. ”Tracer” l’or monnayé : le comportement des éléments traces de l’or au cours des opérations de refonte et d’affinage. Société française de numismatique, Apr 2014, Paris, France. hal-02562102

HAL Id: hal-02562102

<https://univ-orleans.hal.science/hal-02562102>

Submitted on 21 Sep 2021

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.

BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE NUMISMATIQUE

Publication de la Société Française de Numismatique

SOMMAIRE

ÉTUDES ET TRAVAUX

BLET-LEMARQUAND (Maryse), NIETO-PELLETIER (Sylvia), TÉREYGEOL (Florian) — « Tracer » l’or monnayé : le comportement des éléments traces de l’or au cours des opérations de refonte et d’affinage. Application à la numismatique antique90

COATIVY (Yves) — La légende monétaire bretonne « *Deus in adiutorium meum intende* » (XIV^e-XV^e siècle).95

CHARLET (Christian) et HENRY (Emmanuel) — Les trois portraits de Louis XIV représentés sur l’écu de 60 sols frappé à Rennes en 168599

GARNIER (Jean-Pierre) — Les énigmatique jetons au « W couronné » : des jetons des Vivres royales fin XVII^e et XVIII^e siècle103

CORRESPONDANCE

MARTIN (Stéphane) — À propos d’un potin trouvé à Morgantina (Serra Orlando, Sicile, Italie). Remarques sur la circulation monétaire en Méditerranée occidentale107

SOCIÉTÉ

Compte rendu de la séance du 5 avril 2014110

PROCHAINES SÉANCES

SAMEDI 3 MAI 2014

14 h

BnF Salle des Commissions

6-7 JUIN 2014

Journées Numismatiques

Gap

SAMEDI 6 SEPTEMBRE 2014

14 h

BnF Salle des Commissions

SAMEDI 4 OCTOBRE 2014

14 h

BnF Salle des Commissions

ÉTUDES ET TRAVAUX

BLET-LEMARQUAND (Maryse) (1), NIETO-PELLETIER (Sylvia) (2), TÉREYGEOL (Florian) (3) — « **Tracer** » l'or monnayé : le comportement des éléments traces de l'or au cours des opérations de refonte et d'affinage. Application à la numismatique antique.

Retracer l'origine de l'or monnayé en s'appuyant sur les éléments traces présents dans les différents ors est, dans le contexte actuel de développement de la numismatique antique, un enjeu majeur et récent. Pour mener à bien ces recherches, il est essentiel de connaître le comportement des impuretés de l'or au cours de la chaîne opératoire de l'alliage monétaire, car ces impuretés peuvent constituer une véritable empreinte chimique/signature de l'or.

Les quelques expérimentations réalisées jusqu'à présent, associées aux propriétés chimiques de ces impuretés, ont montré que les éléments de la famille des platinoïdes, parmi lesquels figurent le platine (Pt) et le palladium (Pd), ne sont pas affectés par la fonte et qu'ils ne devraient pas non plus, en théorie, être affectés par les procédés d'affinage de l'or (Schmiderer 2008 cité dans Ehser *et al.* 2011). Leur concentration est supposée rester constante par rapport à celle de l'or au cours de ces différentes opérations.

Afin de valider l'hypothèse selon laquelle le platine et le palladium sont des traceurs de l'or, d'un stock métallique donné jusque dans l'objet fini, nous avons procédé aux différentes opérations de fonte et d'affinage d'ors de recyclage en nous appuyant sur un cas numismatique précis : les ors monnayés gaulois et romain au lendemain de la guerre des Gaules.

Ces expérimentations, réalisées sur la plateforme archéométallurgique de Melle (Deux-Sèvres) au cours de l'été 2013 (4), s'inscrivent dans le cadre des programmes d'analyses développés au laboratoire IRAMAT Centre Ernest-Babelon sur l'or antique. Elles relèvent d'une problématique liée à la fabrication monétaire des alliages à base d'or et plus spécifiquement à la question de l'origine du métal monnayé à partir des compositions métalliques.

Les analyses réalisées à l'IRAMAT-CEB depuis plusieurs années sur des monnayages en or gaulois ont mis en évidence que les autorités émettrices gauloises frappent, au milieu du I^{er} siècle av. J.-C., des monnaies d'or fortement alliées d'argent et de cuivre dont le titre ne paraît pas dépasser 50 % (Barrandon *et al.*, 1994 ; Nieto-Pelletier, 2013 (5)). À l'appui des sources textuelles, de nombreux auteurs comme K. Castelin en 1977, D. Nash en 1987 ou J. Van Heesch en 2005 ont cherché à mesurer l'impact de

1. IRAMAT-CEB, UMR 5060 CNRS-Univ. d'Orléans ; lemarquand@cnrs-orleans.fr

2. IRAMAT-CEB, UMR 5060 CNRS-Univ. d'Orléans ; nieto@cnrs-orleans.fr

3. IRAMAT-LMC, UMR 5060 CNRS-UTBM ; tereygeol@cea.fr

4. Programme Collectif de recherche « Enrichissement des minerais, production et circulation des métaux : Expérimentations paléométallurgiques transpériodes » 2013-2015, (dir. F. Téreygeol), SRA Poitou-Charentes.

5. Également Charlotte PARISOT-SILLON, *Les monnaies d'or du Nord de la Gaule (IIIe-Ier siècle av. n. è.)*, doctorat d'Histoire en cours à l'université d'Orléans, sous la direction de B. Gratuze et S. Fichtl, co-encadrement S. Nieto-Pelletier.

la conquête de la Gaule par César sur l'or gaulois. Si les Gaulois disposaient encore d'or sous forme de monnaies ou d'objets après la conquête, plusieurs textes signalent qu'une grande part de l'or a été saisie par César (notamment Suétone, *Caes.*, LIV, 2) et ses successeurs. Ces quantités d'or et leur alliage de bas titre auraient eu comme corollaire la baisse du prix de l'or à Rome. Bien évidemment, il n'est pas question dans cette contribution d'étudier le lien entre ors gaulois et romains, qui d'ailleurs ne doit pas se limiter aux ors monnayés, mais ces considérations présentent l'intérêt de fournir un cadre à nos expérimentations.

Celles-ci ont consisté à fabriquer un alliage or-argent-cuivre caractéristique de l'or monnayé des Arvernes au milieu du I^{er} siècle av. n. è. (en moyenne : Au 50 % ; Ag 30 % ; Cu 20 %) et à l'affiner pour parvenir à la composition de la monnaie d'or romaine républicaine (titre de l'ordre de 99 %). À chaque étape, des prélèvements ont été effectués pour analyses à l'IRAMAT-CEB.

1- Le déroulement des expérimentations (fig. 1)

La première étape a consisté à fabriquer un alliage Au-Ag-Cu composé à 50 % d'or, 30 % d'argent et 20 % de cuivre. Pour cela, une monnaie en or de Louis XVIII (20 francs, type tête nue de 1816) présentant un titre de 90 % a été achetée. L'analyse élémentaire par LA-ICP-MS a montré qu'elle était riche en éléments platine et palladium (tableau 1) et se prêtait donc bien aux expérimentations.

Les quantités de 3,12 g d'argent pur et 2,07 g de cuivre pur ont été ajoutées à cette monnaie pour atteindre la composition souhaitée, en tenant compte des quantités d'argent et de cuivre déjà présentes dans l'or monétaire (fig. 1a). Les métaux à fondre ont été placés dans un creuset plombagine fermé d'un couvercle puis chauffés à un peu plus de 1000 °C. L'alliage obtenu a été coulé dans un moule en acier à 4 cupules.

Dans un deuxième temps, cet alliage Au-Ag-Cu a été coupellé pour supprimer le cuivre et ne conserver que les métaux or et argent. La coupellation consiste à porter à hautes températures sous atmosphère oxydante l'argent additionné de plomb placé dans une coupelle poreuse (Halleux 1985 ; Craddock 2010). Le plomb s'oxydant préférentiellement, il imprègne la coupelle et entraîne d'autres métaux aisément oxydables comme le cuivre. Le bouton métallique récupéré à la fin de l'opération, lorsque tout le plomb est passé dans la coupelle, est composé majoritairement d'argent.

Dans notre cas, le métal noble à séparer n'était pas de l'argent mais un alliage or-argent. Des tables établies au XIX^e siècle indiquent quelle quantité de plomb ajouter en fonction de la masse d'argent à extraire (Hervé 1839). À partir de ces données, un nouvel alliage a été confectionné en additionnant 115 g de plomb à l'alliage Au-Ag-Cu. L'alliage plombifère a été coulé dans un moule en acier à 4 cupules.

Les boutons obtenus ont ensuite été placés chacun dans une coupelle séparée. La température a été maintenue entre 950 et 1000 °C pour garantir le bon déroulement de la coupellation (fig. 1b). Le processus s'est accidentellement arrêté en cours d'opération pour l'une des coupelles car la température avait baissé. Il a fallu ajouter du plomb au bouton concerné pour poursuivre la coupellation dans une nouvelle coupelle (réemplombage).

La cémentation est une opération d'affinage qui a pour but d'éliminer la proportion d'argent des alliages or-argent (Halleux 1985 ; Ramage et Craddock 2000). Comme elle opère à partir de la surface, l'alliage doit être sous une forme finement divisée (particules) ou de minces tôles. Les fouilles archéologiques de l'atelier de Sardes daté du VI^e siècle av. n. è. ont mis au jour des tôles cémentées dont l'épaisseur varie entre 60 et 100 micromètres (Ramage et Craddock 2000, p. 145).

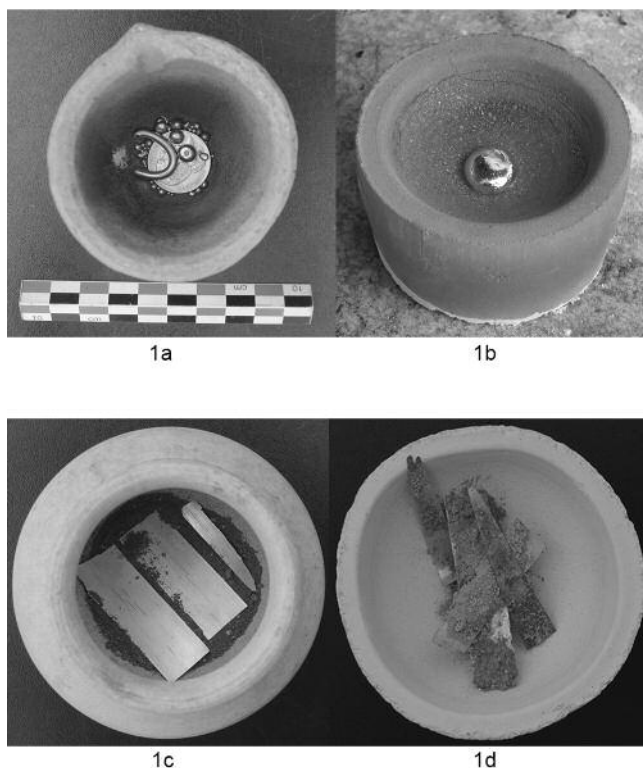


Fig. 1 : Les différentes étapes de l'expérimentation

1a : Réalisation de l'alliage Au-Ag-Cu

1b : Bouton métallique Au-Ag obtenu après coupellation

1c : Tôles laminées dans le pot de cémentation, avant cémentation

1d : Tôles laminées, après cémentation

Les boutons en alliage or-argent obtenus après coupellation présentaient une épaisseur bien supérieure qui a été réduite à 50 micromètres à l'aide d'un laminage. Une succession d'une dizaine de recuit/laminage a été nécessaire pour obtenir les tôles (température de recuit entre 600 et 700 °C). Celles-ci ont été découpées en deux parties, de façon à ne cémenter qu'une moitié et à en conserver une autre pour d'éventuelles expérimentations ultérieures.

Pour réaliser la cémentation, nous avons pris en exemple la reconstruction du procédé proposée à partir des fouilles de l'atelier de Sardes (Ramage et Craddock 2000, p. 200 et suiv.). Ainsi 120 g de poudre d'argile cuite ont été mélangés à 60 g de sel de cuisine, suivant les proportions de 2 pour 1 préconisées dans le traité médiéval de Théophile (6). La poterie choisie pour la cémentation est une vaisselle en céramique

6. Théophile, *Diversarum atrium schedula*, 33 ; trad. J.G. Hawthorne et C.S. Smith, Chicago, 1963.

commune, conformément au mobilier trouvé à Sardes, dans laquelle couches de ciment et fragments de tôle ont été successivement déposés (fig. 1c). Le mélange a été imbibé de vinaigre et le pot de cémentation a été recouvert d'un pot retourné. Les températures atteintes au cours de la cémentation doivent demeurer inférieure à la température de fusion de l'alliage, estimée dans le cas présent à 1035 °C. À Sardes, les cémentations auraient été menées à des températures inférieures à 800° C (Ramage et Craddock 2000) et de précédentes expérimentations de cémentations, réalisées dans des fours de laboratoire, se sont révélées concluantes après 4 heures de chauffe à 750° C (Ramage et Craddock p. 187). Dans notre cas, le travail s'est effectué en foyer ouvert alimenté par du charbon de bois qui recouvrait totalement le pot. Le creuset était légèrement surélevé sur un fromage afin de ne pas reposer directement sur la sole du foyer et ainsi de mieux profiter de la chauffe. La ventilation de l'ensemble était assurée par une soufflerie électrique modulable. L'insertion d'un thermocouple dans le creuset a permis de suivre l'évolution de la température tout au long de l'expérience.

La cémentation a donc été conduite en veillant à ce que cette température n'exède pas 700 °C. Après 8 heures de chauffe la poterie a été ouverte : le ciment avait pris une couleur rosée voire gris-vert, il était aggloméré et durci à certains endroits et présentait parfois des traces de dégazage. En revanche, les tôles métalliques étaient intactes et présentaient un aspect doré, un peu mat, légèrement différent selon leur position dans la céramique de cémentation.

2- L'étude de laboratoire

Les études de laboratoire avaient pour objectif de déterminer la composition élémentaire des échantillons prélevés après chaque étape et d'observer leur microstructure. Il s'agissait de s'assurer que les opérations d'affinage avaient été correctement menées et que les rapports entre les teneurs en Pt, Pd et Au utilisés pour « tracer » les ors monnaies étaient bien conservés à l'issue du processus.

Les échantillons ont été analysés à l'IRAMAT-CEB par LA-ICP-MS, méthode d'analyse qui permet de déterminer les teneurs des éléments majeurs, mineurs et traces et donc d'évaluer leur comportement au cours des opérations métallurgiques. Les échantillons ont également été observés au microscope électronique à balayage (MEB).

Le premier échantillon, obtenu en fondant la monnaie de Louis XVIII additionnée d'argent et de cuivre, présente bien la composition en or, argent et cuivre souhaitée (tableau 1 et *supra*). Pour suivre les éléments traces, leurs concentrations sont divisées par la teneur en or et ces rapports sont comparés d'un alliage à l'autre. Les valeurs de Pt/Au et de Pd/Au sont identiques ou proches dans la monnaie et dans l'alliage Au-Ag-Cu (tableau 1).

Les 4 tôles fabriquées en laminant les alliages issus de la coupellation contiennent en moyenne 63,2 % d'or et 35,1 % d'argent. Comme prévu, le cuivre a été en grande partie éliminé de l'alliage lors de la coupellation. Sa teneur est passée de 19,4 % à 1,6 %, en moyenne et de 19,4 % à 0,1 %, pour celui qui a subi un réemplombage. Les résultats d'analyses montrent que les ratios Pt/Au et Pd/Au n'ont pas été affectés par la coupellation (tableau 1).

Les tôles qui ont subi la cémentation ont été nettoyées pour éliminer les résidus de ciment et révéler leur surface métallique. Elles présentent une couleur plus dorée que leurs homologues non cimentées et sont partiellement recouvertes d'un fin dépôt rougâtre qui noircit à la lumière (essentiellement composé de chlorure d'argent qui résulte de la réaction chimique du sel avec l'argent de l'alliage). En surface, les tôles, qui contenaient de l'ordre de 35 % d'argent avant la cémentation, ont été plus ou moins

	Au (%)	Ag (%)	Cu (%)	Pt (ppm)	Pd (ppm)	Pt/Au	Pd/Au
Monnaie Louis XVIII	90,2	5,4	3,8	1362	343	0,15	0,038
Alliage Au-Ag-Cu	50,2	30,3	19,4	741	172	0,15	0,034
Alliages coupellés puis laminés	63,5	34,6	1,4	1047	243	0,16	0,038
	64,3	35,1	0,1	977	230	0,15	0,036
	62,8	35,3	1,5	985	224	0,16	0,036
	62,2	35,4	1,7	994	225	0,16	0,036
Alliages coupellés puis cémentés	63,5	36,1	0,2	1045	244	0,16	0,038
	64,2	34,9	0,8	1047	242	0,16	0,038
	63,4	35,2	1,2	1016	237	0,16	0,037
	62,8	35,6	1,3	923	220	0,15	0,035

Tableau 1 : Compositions, déterminée par LA-ICP-MS, de la monnaie en or de Louis XVIII, du premier alliage Au-Ag-Cu, des 4 tôles coupellées et laminées et de 4 tôles après cémentation. La composition mesurée correspond à la partie interne.
Ppm : partie par million (1 ppm = 0,0001 %)

appauvries en argent (teneurs minimales en surface de 8 % à 10 %), de même que le cuivre qui a été aussi en partie éliminé. Le départ partiel de l'argent en surface explique que la cémentation semble donner une couleur dorée aux tôles.

Cependant la composition du centre des tôles n'a pas été modifiée d'après les analyses LA-ICP-MS (tableau 1). Il n'est donc pas possible de se prononcer avec certitude sur le comportement des éléments traces au cours de la cémentation dès lors qu'elle n'a pas été conduite à son terme. Néanmoins, les températures atteintes et requises pour cette opération sont bien inférieures à celles nécessaires pour la coupellation ce qui permet de supposer que la cémentation ne devrait pas avoir d'effet notable sur les éléments Pt et Pd.

Conclusion

La coupellation a été efficace puisque le cuivre et les autres métaux aisément oxydables ont été en grande partie éliminés de l'alliage. La cémentation a entraîné un enrichissement en or à la surface suite au départ de l'argent.

Même si ce dernier traitement n'a pas été conduit jusqu'au cœur des tôles, ces expérimentations permettent d'évaluer comment les éléments traces se comportent au cours d'opérations métallurgiques. Si les propriétés physico-chimiques du platine et du palladium et les expériences précédentes, mais limitées à de la fonte, laissent présager que les rapports Pt/Au et Pd/Au devaient être conservés de l'objet à l'alliage coupellé, la preuve expérimentale en a été apportée. Le platine et le palladium sont donc des marqueurs pertinents pour suivre des stocks d'or.

Bibliographie

Barrandon *et al.*, 1994 : J.-N. BARRANDON, G. AUBIN, J. BENUSIGLIO, J. HIERNARD, D. NONY et S. SCHEERS, *L'or gaulois. Le trésor de Chevaux et les monnaies de la façade atlantique*, Paris, 1994 (Cahiers Ernest-Babelon 6).

Castelin K. 1977: K. CASTELIN, « L'or de la Gaule et César », *Cahiers numismatiques*, 53, p. 62-68.

Craddock 2010 : P.T. CRADDOCK, *Early Metal Mining and Production*, Londres, 2010.

Ehser et al. 2011 : A. EHSE, G. BORG et E. PERNICKA., « Provenance of the gold of the Early Bronze Age Nebra Sky Disk, central Germany : geochemical characterization of natural gold from Cornwall », *European Journal of Mineralogy*, 23-6, 2011, p. 895-910.

Halleux 1985 : R. HALLEUX, « Méthodes d'essai et d'affinage des alliages aurifères dans l'Antiquité et au Moyen Age », dans C. MORRISSON et al. (éds.), *L'or monnayé, I : Purification et altérations de Rome à Byzance*, Paris, 1985 (Cahiers Ernest-Babelon 2), p. 39-77.

Hervé 1839 : A. HERVÉ, *Manuels-Roret. Nouveau manuel complet des alliages métalliques, contenant la préparation de ces alliages, leurs principales propriétés, leur emploi, leur existence dans la nature, leur analyse, etc.*, Paris, 1839.

Nash 1987 : D. NASH, *Coinage in the Celtic world*, Londres, 1987 (particulièrement p. 34).

Nieto-Pelletier 2013 : S. NIETO-PELLETIER, *Catalogue des monnaies celtiques*, t.1 : *Les Arvernes (Centre de la Gaule)*, Paris, 2013.

Ramage et Craddock 2000 : A. RAMAGE, A. et P.T. CRADDOCK, *King Croesus' gold : Excavations at Sardis and the History of Gold Refining*, Cambridge, 2000.

Schmiderer 2008 : A. SCHMIDERER, *Geochemische Charakterisierung von Goldvorkommen in Europa*, Thèse inédite de l'université Martin-Luther de Halle-Wittenberg, 2008.

Van Heesch 2005 : J. VAN HEESCH, « Les Romains et la monnaie gauloise : laissez-faire, laisser-aller ? », dans J. METZLER, D. WIGG-WOLF (éds.), *Die Kelten und Rom : Neue numismatische Forschungen*, Mayence, 2005 (Studien zu Fundmünzen der Antike, Band 19), p. 229-245.