

L'OR DANS L'ANTIQUITÉ

DE LA MINE À L'OBJET

Sous la direction de Béatrice Cauuet

AQUITANIA
Supplément 9

CET OUVRAGE A ÉTÉ PUBLIÉ AVEC LE CONCOURS FINANCIER
du Ministère de la Culture et de la Communication,
Direction du Patrimoine, Sous-Direction de l'Archéologie
de la Région Limousin,
de la Région Midi-Pyrénées,
de la COGEMA,
de la Communauté Européenne PDZR,
de l'Unité Toulousaine d'Archéologie et d'Histoire (UMR 5608)

COUVERTURE

PHOTO DU HAUT : *Détail de la maquette de la mine d'or des Fouilloux
(Jumilhac, Dordogne, France), exploitée à la Tène finale.*

Conception B. Cauuet, réalisation P. Maillard de MAD Entreprise (cliché : Studio 77).

PHOTO DU BAS : *Extrémité d'un collier d'or datant du Bronze final, Gleninsheen, Co. Clare, Irlande
(cliché National Museum of Ireland).*

DOS DE COUVERTURE

PHOTO DU HAUT : *Bouloun-Djounga (Niger) : mine d'or ouverte dans la latérite (cliché G. Jobkes).*

PHOTO DU BAS : *Femme Fulbe (Mali) parée de boucles d'oreilles massives à lobes effilés (cliché B. Armbruster).*

La publication de cet ouvrage
a été préparée par Béatrice Cauuet,

assistée de

Claude Domergue,
Martine Fabioux,
Jean-Michel Lassure,
Maurice Montabrut et
Jean-Marie Pailler

qui ont assuré les relectures, des traductions pour certains
et parfois quelques remaniements des textes,

ainsi que de

Patrice Arcelin
pour les cartes informatisées.

MAQUETTE

Teddy Bélier (Toulouse)

IMPRESSION

Achever d'imprimer en octobre 1999

Imprimerie Lienhart à Aubenas d'Arèche

Dépôt légal octobre 1999 - N° d'imprimeur : 1716

Printed in France

ISBN : 2-910763-03-X

A Richard Boudet,

Sommaire

page 9 Robert SAVY, *Président du Conseil Régional du Limousin*,
Préface

page 10 Martine FABIoux,
Avant - propos

page 11 Béatrice CAUuET,
Introduction

Aux origines de l'or : géologie - aires - techniques

page 17 Marie-Christine BOIRON et Michel CATHELInEAU,
Les gisements aurifères, théories anciennes et nouvelles, or visible et invisible : exemples des gisements d'Europe de l'Ouest

page 31 Béatrice CAUuET,
avec des annexes de Béatrice SZEPERTYSKI et Marie-Françoise DIOT,
L'exploitation de l'or en Gaule à l'Age du Fer

page 87 Filippo GAMBARI,
Premières données sur les *aurifodinae* (mines d'or) protohistoriques du Piémont (Italie)

page 93 Claude DOMERGUE et Gérard HERAIL,
Conditions de gisement et exploitation antique à Las Médulas (León, Espagne)

page 117 Volker WOLLMANN,
Contribution à la connaissance de la topographie archéologique d'*Alburnus Maior* (Roşia Montană) et à l'histoire des techniques d'exploitation romaine en Dacie

page 131 Georges CASTEL et Georges POUIT,
Les exploitations pharaoniques, romaines et arabes de cuivre, fer et or. L'exemple du ouadi Dara (désert oriental d'Egypte)

Ethno-archéologie comparative

page 147 Georg JOBKES,
La production artisanale de l'or au Niger dans son contexte socio-économique

page 163 Barbara ARMBRUSTER,
Production traditionnelle de l'or au Mali

Traitement des minerais, techniques métallurgiques

page 185 Béatrice CAUJET et Francis TOLLON,
Problèmes posés par le traitement des minerais et la récupération de l'or dans les mines gauloises du Limousin

page 199 Jiri WALDHAUSER,
Des objets celtes en or très pur à l'affinage de l'or en Bohême en relation avec la technique minière dite "soft-mining"

page 205 Bernard GRATUZE et Jean-Noël BARRANDON,
Apports des analyses dans l'étude de creusets liés à la métallurgie de l'or : étude d'un creuset et de quatre fragments de creusets provenant du site de Cros Gallet (Le Chalard, Haute-Vienne)

page 213 Jean-Noël BARRANDON,
Du minerai aux monnaies gauloises en or de l'ouest : purification et altération

page 217 Rupert GEBHARD, Gerhard LEHRBERGER, Giulio MORTEANI, Ch. RAUB,
Ute STEFFGEN, Ute WAGNER,
Production techniques of Celtic Gold Coins in Central Europe

Fabrication et diffusion de la joaillerie

page 237 Barbara ARMBRUSTER,
Techniques d'orfèvrerie préhistorique des tôles d'or en Europe atlantique des origines à l'introduction du fer

page 251 Peter NORTHOVER,
Bronze Age gold in Britain

page 267 Mary CAHILL,
Later Bronze Age Goldwork from Ireland - Form and Function

page 277 Gilbert KAENEL,
L'or à l'Age du Fer sur le Plateau suisse : parure-insigne

page 291 Giovanna BERGONZI et Paola PIANA AGOSTINETTI,
L'or dans la Protohistoire italienne

page 307 Alicia PEREA,
L'archéologie de l'or en Espagne : tendances et perspectives

page 315 Hélène GUIRAUD,
Bijoux d'or de l'époque romaine en France

Or, économie et symbolique dans les sociétés celtiques

page 331 Christian GOUDINEAU,
Les Celtes, les Gaulois et l'or d'après les auteurs anciens

page 337 José GOMEZ DE SOTO,
Habitats et nécropoles des âges des métaux en Centre-Ouest et en Aquitaine : la question de l'or absent

Jean-Michel BEAUSOLEIL,
Mobilier funéraire et identification du pouvoir territorial à l'Age du Fer sur la bordure occidentale du Massif Central

page 357 Serge LEWUILLON,
En attendant la monnaie. Torques d'or en Gaule

Production et circulation des monnayages d'or

page 401 Kamen DIMITROV,
Monnaies et objets d'or sur le territoire d'un Etat en Thrace du Nord-Est pendant la période haute-hellénistique

page 409 Gérard AUBIN,
Le monnayage de l'or en Armorique : territoires, peuples, problèmes d'attribution

page 417 Richard BOUDET, Katherine GRUEL, Vincent GUICHARD, Fernand MALACHER,
L'or monnayé en Gaule à l'Age du Fer. Essai de cartographie quantitative

Or, économie et symbolique dans le monde antique

page 429 Raymond DESCAT,
Approche d'une histoire économique de l'or dans le monde grec aux époques archaïque et classique

page 441 Michel CHRISTOL,
L'or de Rome en Gaule. Réflexions sur les origines du phénomène

page 449 Jean-Marie PAILLER,
De l'or pour le Capitole (Tacite, Histoires, IV, 53-54)

page 457 Claire FEUVRIER-PREVOTAT,
L'or à la fin de la République Romaine. Représentations, valeur symbolique, valeur

page 470 Claude DOMERGUE,
Conclusion

page 474 Glossaire

page 482 Index

Bernard GRATUZE, Jean-Noël BARRANDON

Centre de Recherche
Ernest Babelon, C.N.R.S.,
Orléans, France

Apports des analyses dans l'étude de creusets liés à la métallurgie de l'or : étude d'un creuset et de quatre fragments de creusets provenant du site de Cros Gallet (Le Chalard, Haute-Vienne)

Résumé

Lors des fouilles du site de Cros Gallet (Le Chalard, Haute-Vienne), un creuset et différents fragments d'objets pouvant se rapporter à des opérations métallurgiques ont été trouvés. La découverte de tels objets a suscité plusieurs questions : à quels types d'opérations servaient ces objets ? pratiquait-on l'affinage de l'or sur ce site minier ? C'est pour tenter de répondre à ces interrogations que l'ensemble de ce matériel a été analysé par activation avec des neutrons rapides de cyclotron. A titre de comparaison, des analyses ont aussi été effectuées sur du quartz aurifère trouvé sur le site de Cros Gallet et sur des paillettes d'or provenant du site des Fouilloux. Les paillettes proviennent du concentré de batée d'un quartz aurifère laissé par les mineurs dans un dépilage (pilier de soutènement). Le concentré de batée a lui aussi été analysé. Une confrontation entre les résultats obtenus et les textes anciens sur la cémentation et la coupellation de l'or est effectuée.

Abstract

During the excavations at the site of Cros Gallet (Le Chalard, Haute-Vienne), a crucible and different fragments of objects possibly related to metallurgical operations have been found. The discovery of such objects gave rise to several questions : to what sort of operations were they applied ? Was gold refinement carried out on this mining site ? In order to try and answer those questions, all those materials have been analysed by activation with cyclotron's rapid neutrons. By way of comparison, analyses have also been carried out on auriferous quartz found on the site of Cros Gallet and on gold particles coming from the site of Fouilloux (Jumilhac, Dordogne). The gold particles come from the panned concentrated sample of an auriferous quartz left by the miners in an underground site (on a supporting pillar). The panned concentrate has also been analysed. A confrontation between the results obtained and the ancient texts on gold cementation and cupellation is being carried out at the moment.

Un creuset et quatre fragments de creusets ¹ provenant du site de Cros Gallet (Le Chalard, Haute-Vienne) ont été analysés. Ce site a été occupé vers le Ve et le IVe siècle avant J.-C. Les objets proviennent d'une zone d'habitation et d'artisanat située à proximité d'une aurière. L'une des principales questions posées par ces objets porte sur la présence ou l'absence d'opération d'affinage du métal précieux sur le site minier.

Description des échantillons

Le creuset a la forme d'une petite lentille circulaire épaisse dont le diamètre est supérieur à la hauteur. La partie creuse de l'objet est recouverte d'une "glaçure" verdâtre, reste d'activité métallurgique.

Parmi les quatre fragments, l'un d'entre eux (n°4) est une paroi de creuset de taille nettement plus importante que le premier creuset. Il est en partie recouvert d'une "glaçure" verdâtre qui renferme un petit globule d'or.

Les autres fragments ont un aspect assez différent. Par leur aspect - ressemblance avec la ponce, roche fondue - deux des fragments (n°2 et 3) peuvent aussi être identifiés à des scories. On note par observation à la loupe binoculaire que les échantillons ont l'air d'avoir été fondus (aspect vitrifié et nombreuses bulles). On retrouve ces structures à quelques endroits sur le creuset entier, mais de façon moins nette et moins importante que sur les deux fragments.

Le dernier fragment (n°1) a un aspect complètement différent des précédents. On note par observation à la binoculaire la présence de nombreuses parties vertes qui sont certainement des altérations de parties cuivreuses.

A titre de comparaison, des analyses ont aussi été effectuées sur différents minerais d'or :

- du quartz aurifère provenant du site de Cros Gallet. Ce minerai est peut-être similaire à celui exploité par les mineurs du Ve et du IVe siècle.
- des paillettes d'or du site des Fouilloux. Ces paillettes proviennent du concentré de batée d'un quartz aurifère laissé par les mineurs anciens dans un dépilage (pilier de soutènement transversal). Le concentré de batée a lui aussi été analysé. L'exploitation du site des Fouilloux est plus récente, le site est daté de La Tène II et III, c'est-à-dire vers le IIe et le Ier siècle avant J.-C.

- du quartz aurifère de deux autres gisements de la région, Les Lanvers et La Fagassière.

Méthode d'analyse

L'ensemble des échantillons a été analysé par activation avec des neutrons rapides de cyclotron. Cette méthode d'analyse globale et non destructive développée par le centre Ernest Babelon pour l'étude des objets cuivreux ² et des matériaux siliceux ³ est assez bien adaptée à l'étude des creusets ayant servi à des opérations métallurgiques.

Elle permet de doser avec une bonne sensibilité une trentaine d'éléments dont l'or et l'argent. Cette méthode est, par contre, nettement moins adaptée à l'étude des objets en or et en argent en raison de sa très forte sensibilité pour ces deux éléments. Toutefois, dans le cas d'objets hétérogènes - paillettes d'or dans les roches, globules métalliques enchâssés dans un creuset ou phase vitrifiée présente à sa surface -, l'activation neutronique ne permet pas, sauf si l'on effectue un prélèvement, l'analyse sélective des différentes parties. Une analyse pseudo-sélective peut cependant être effectuée.

L'activation avec les neutrons rapides de cyclotron est en effet une méthode d'analyse globale. La radioactivité est créée dans tout l'objet et la mesure s'applique à sa totalité. Toutefois, deux sources radioactives identiques placées à des distances différentes d'un détecteur ne seront pas perçues de façon identique par celui-ci (fig. 1). Le signal perçu décroît en fonction du carré de la distance détecteur-source. Dans le cas d'un objet homogène épais, la mesure donnera statistiquement les mêmes résultats, quelle que soit la face de l'objet en contact avec le détecteur. Dans le cas d'un objet hétérogène, le signal émis par la partie la plus proche du détecteur sera privilégié par rapport à celui qui sera émis par une partie plus éloignée.

C'est cette propriété qui a été utilisée pour identifier les éléments présents préférentiellement dans la partie vitrifiée des creusets. Parallèlement, il se produit un autre phénomène de moindre importance, l'absorption du rayonnement par le milieu traversé. Cette absorption dépend de l'énergie du rayonnement et de la nature du matériau ;

1. Cf. article de B. Cauuet dans cet ouvrage.

2. Beauchesne, Barrandon, 1986.

3. Gratuze *et al.*, 1992.

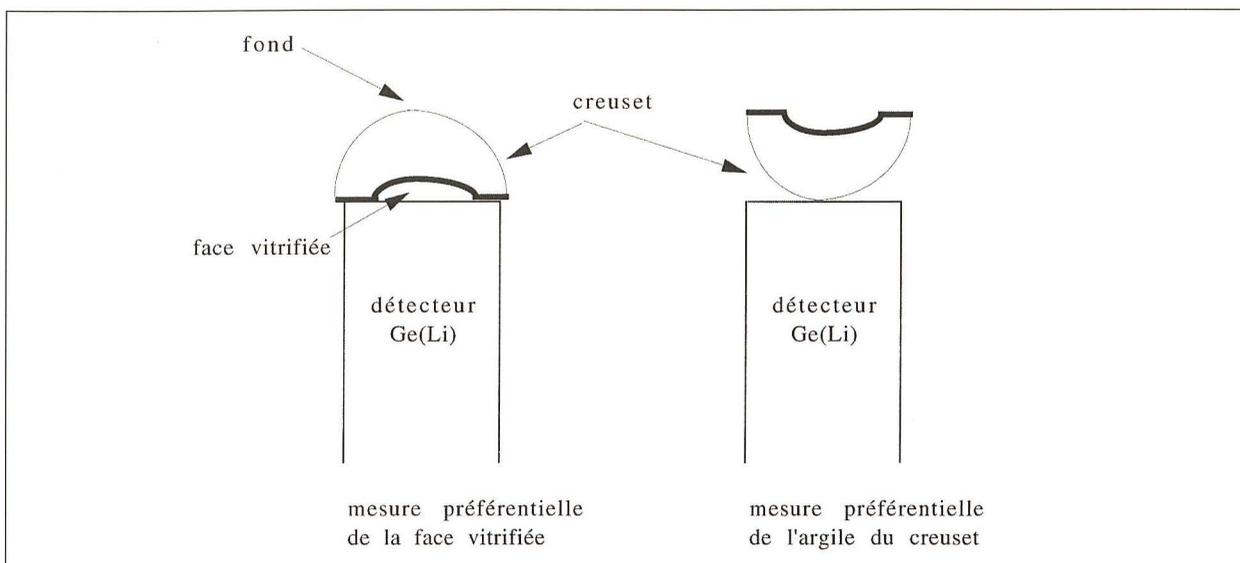


Fig. 1
Mesure sélective par spectrométrie gamma directe.

elle est d'autant plus importante que l'énergie du rayonnement est faible et que la densité du matériau est élevée. Dans notre cas, le signal de l'or sera un peu plus atténué que celui de l'argent, qui sera lui même plus atténué que celui de l'arsenic.

Résultats

Le creuset ou coupelle

Les résultats obtenus pour le creuset sont donnés dans le tableau 1 (fig. 2). Les mesures sélectives de radioactivité effectuées de chaque côté du creuset (face creuse partiellement vitrifiée d'une part et fond d'autre part) nous ont permis de mettre en évidence les éléments présents préférentiellement dans la phase vitreuse (fig. 3).

Ces résultats montrent un enrichissement notable en plomb, or, antimoine, argent, nickel et arsenic de la zone vitrifiée. Si le plomb, l'antimoine et l'or se trouvent principalement dans la zone vitrifiée, cela semble toutefois moins net pour les autres éléments comme l'argent et l'arsenic. Deux explications peuvent être proposées :

- diffusion de ces éléments de la zone vitrifiée vers le creuset ou inversement lors de l'utilisation ;
- présence de ces éléments à des teneurs proches de celle de la phase vitrifiée dans la terre utilisée pour le creuset. Cette seconde hypothèse est peu probable dans le cas de l'argent.

D'après ces résultats, on peut conclure que la phase vitrifiée contient surtout du plomb, de l'antimoine, de l'or et de l'argent qui a diffusé vers le

Éléments	Fond	Face vitrifiée
Al ₂ O ₃	15,6%	15,5%
SiO ₂	71,3%	70,5%
K ₂ O	4,1%	4,0%
MgO	1,3%	1,3%
NiO	0,0031%	0,0053%
SnO ₂	non dosé	0,026%
ZnO	0,019%	0,019%
Sb ₂ O ₃	0,022%	0,036%
PbO	0,83%	1,54%
BaO	0,074%	0,077%
CeO ₂	0,011%	0,012%
As ₂ O ₃	0,094%	0,14%
Fe ₂ O ₃	3,9%	4,0%
CoO	0,0024%	0,0028%
Cs ₂ O	0,00090%	0,00096%
Rb ₂ O	0,018%	0,019%
Y ₂ O ₃	0,0051%	0,0052%
ZrO ₂	0,033%	0,034%
Nb ₂ O ₃	0,0027%	0,0032%
TiO ₂	0,57%	0,58%
Na ₂ O	1,71%	1,78%
CaO	0,46%	0,50%
U	0,00075%	0,00071%
Ag	0,0052%	0,0082%
Au	0,0012%	0,0022%

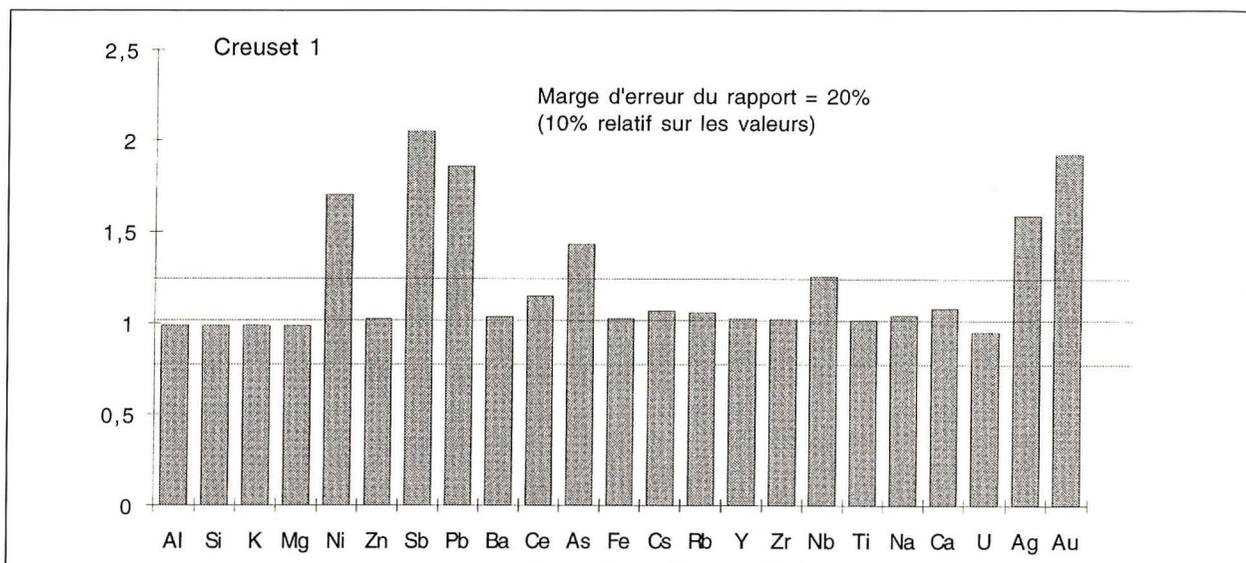
Fig. 2
Tableau 1 : résultats des analyses effectuées par mesures sélectives de la radioactivité sur le creuset.

creuset. La différence importante du rapport Au/Ag selon la face mesurée ne peut pas en effet être expliquée par la seule absorption de la radioactivité émise par l'or dans le creuset. Le cas de l'arsenic est moins net, car cet élément se trouve avec des compositions similaires dans les autres objets étudiés.

Le rapport Au/Ag trouvé pose un problème : ce rapport égal à 20/80 n'est en effet conforme ni avec ceux de l'or natif - de 100/0 à 60/40 - ni avec ceux

Fig. 3

Variation du rapport des concentrations entre la face vitrifiée et le fond du creuset en fonction des éléments dosés.



de l'argent natif - < 5/95 -. Il ne correspond donc certainement pas à celui du métal traité dans le creuset, on peut penser qu'il y a eu enrichissement préférentiel de la phase vitrifiée soit par l'or soit par l'argent.

Si on fait l'hypothèse d'un creuset ayant servi à la purification (cémentation ou coupellation) de l'or, cela implique que l'on ait eu un enrichissement

préférentiel de la phase vitrifiée en argent. Cette hypothèse paraît justifiée. R. Halleux dans son étude des méthodes de cémentation et de coupellation⁴ dit à propos des ciments : "Ils contiennent aussi de l'argile, brique ou tuile pilée, qui absorbe les sels d'argent et surtout empêche les feuilles d'or de coller entre elles". Plus loin nous trouvons : "Dans l'affinage de l'or par cémentation, l'argent est perdu totalement ou partiellement. Une partie des sels d'argent est absorbée par l'argile réfractaire du creuset...". Nos résultats sont en accord avec ces textes, on observe en effet une diffusion de l'argent vers le creuset. On peut donc conclure en l'absence d'autres éléments que le métal fondu ou affiné dans le creuset est l'or. Cette hypothèse - purification de l'or ou pré-séparation de l'or des autres minéraux présents dans le concentré de minerais et enrichissement du creuset par l'argent - est aussi justifiée par le milieu où a été trouvé l'objet.

Fig. 4

Tableau 2 : Résultats des analyses effectuées par mesures sélectives de la radioactivité sur le fragment de creuset n°4.

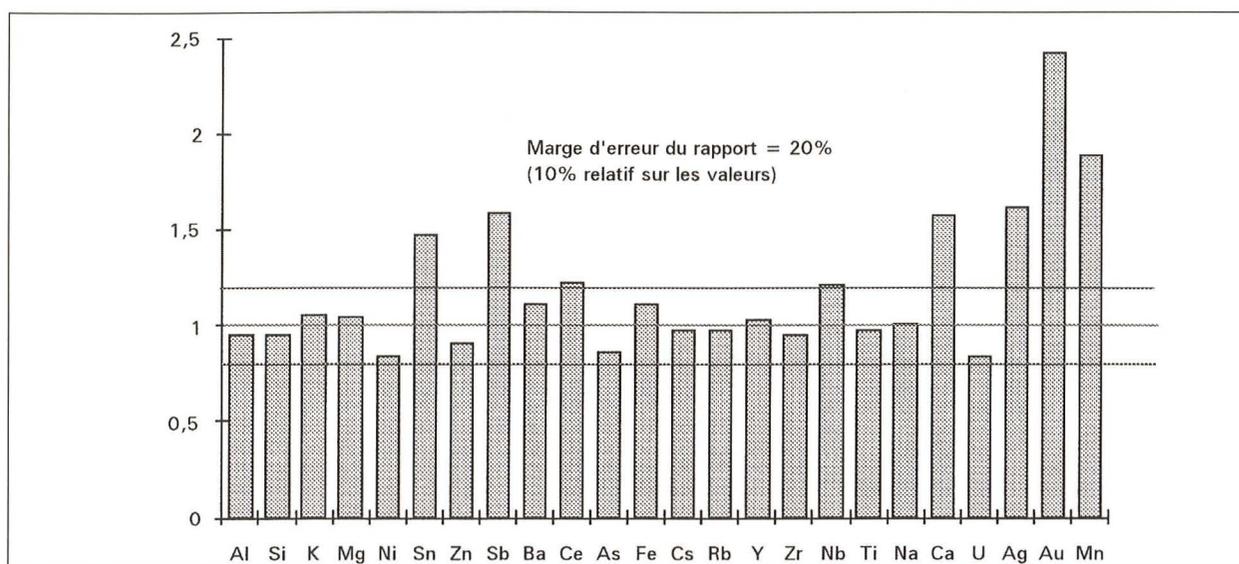
Éléments	Fragment Creuset 4 face opposée au globe	Fragment Creuset 4 face au globe
Al ₂ O ₃	13,9%	13,3%
SiO ₂	66,2%	63,7%
K ₂ O	5,0%	5,3%
MgO	1,3%	1,4%
NiO	0,0034%	0,0028%
SnO ₂	0,055%	0,081%
ZnO	0,019%	0,017%
Sb ₂ O ₃	0,0034%	0,0054%
PbO	>ldd	0,0054%
BaO	0,18%	0,20%
CeO ₂	0,025%	0,030%
As ₂ O ₃	0,034%	0,030%
Fe ₂ O ₃	5,43%	6,04%
CuO	0,049%	>ldd
CoO	>ldd	0,0043%
CS ₂ O	0,0032%	0,0031%
Rb ₂ O	0,065%	0,064%
Y ₂ O ₃	0,015%	0,016%
ZrO ₂	0,038%	0,037%
Nb ₂ O ₃	0,0092%	0,011%
TiO ₂	0,37%	0,36%
Na ₂ O	3,6%	3,7%
CaO	3,4%	5,4%
U	0,0020%	0,0017%
Ag	0,016%	0,027%
Au	0,028%	0,067%
MnO ₂	0,13%	0,24%

Le fragment de creuset n°4

Le fragment n°4 comme nous l'avons dit précédemment se singularise par la présence d'un globe d'or enchâssé dans une phase vitrifiée verte. Pour son étude, on a utilisé le même type de mesures sélectives que celles qui ont été employées pour l'analyse du creuset. Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau 2 (fig. 4).

Comme dans le cas précédent, les résultats mettent en évidence une différence de composition entre la phase vitrifiée et le reste du creuset. Un enrichissement notable en or, antimoine, argent, étain, calcium et manganèse de la zone vitrifiée est

4. Halleux, 1985, p.45.

**Fig. 5**

Variation du rapport des concentrations entre la face vitrifiée portant un globule d'or et la face opposée en fonction des éléments dosés.

observé (fig. 5). On remarque que le rapport Au/Ag diffère d'une face à l'autre, ce qui semble indiquer là encore un enrichissement du creuset en argent. Toutefois, à la différence du creuset n°1, on note une absence quasi totale de plomb dans l'échantillon et une concentration constante en arsenic au sein de celui-ci.

Le rapport Au/Ag trouvé dans ce fragment est d'environ 70/30. Si l'on admet un enrichissement en argent de la phase vitreuse, le rapport réel correspondant au globule est certainement plus élevé. Une analyse spécifique du globule devrait être effectuée prochainement par spectrométrie ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) couplée à l'ablation laser. Cette méthode très sensible permet d'effectuer une analyse multi-élémentaire, ponctuelle, et qui peut être considérée comme non-destructive - le diamètre des impacts laser peut varier entre 20 et 100 micromètres. Elle peut aussi être utilisée pour réaliser des profils de concentration à l'intérieur des creusets ou analyser spécifiquement les inclusions d'or présentes dans les roches ou les creusets.

Au regard des résultats, on peut penser que la phase vitrifiée est un verre calcique enrichi en antimoine, en argent et aussi, semble-t-il, en étain et en manganèse. Il est à noter que l'étain n'a pas pu être dosé lors de l'une des analyses du creuset n°1, et que le manganèse n'a pas été détecté dans celui-ci.

Si l'on se réfère aux textes anciens⁵, on trouve dans une description de Geber⁶ le passage suivant : "Seule la substance de l'argent et de l'or subsiste dans l'épreuve de la cendrée. La méthode est la sui-

vante : prenez de la cendre tamisée, ou de la chaux, ou de la poudre d'os d'animaux brûlés, ou un mélange de tout cela ou de quelques-uns. Ensuite mouillez d'eau, tassez à la main, faites un lit ferme et solide et, au milieu du lit, faites une fosse ronde solide et polie, et sur le fond de cette fosse on répand une certaine quantité de verre pilé. Ensuite on laisse sécher, et quand le produit est sec, on met dans la fosse précitée le corps à qui on veut faire subir l'épreuve, et au-dessus on allume un fort feu de charbons et on souffle sur la surface du corps à examiner, jusqu'à ce qu'il fonde. Quand il est fondu, nous y jetons du plomb morceau par morceau, et sur ce plomb on souffle à la flamme d'un feu vif quand vous verrez qu'il est agité et remué d'un fort mouvement d'entrechoquement, il n'est pas pur ; attendez donc que tout le plomb soit évanoui ; s'il est évanoui et si son mouvement ne cesse pas, il n'est pas purifié. Recommencez donc, jetez du plomb au-dessus, et à sa surface recommencez la projection de plomb et la soufflerie et observez sa surface jusqu'à ce qu'il se calme et voyez le pur et clair sur sa surface. Ensuite, écartez les charbons, dissipez le feu, versez de l'eau à la surface et vous le trouverez parfaitement essayé".

Plus loin nous trouvons dans une citation de Théophile⁷ : "Comment séparer l'or du cuivre. S'il vous arrive de casser des vases ou quelque autre ouvrage de cuivre ou d'argent doré, vous pourrez récupérer l'or comme suit. Prenez les os de n'importe quel animal que vous aurez trouvé sur la

5. Halleux, 1985, p.51.

6. Geber, *Summa perfectionis*, IV, 14, 1702, p.554.

7. Ap. Halleux, 1985, p.53.

place et brûlez-les finement et mêlez-y un tiers de cendres de hêtre et faites des coupelles comme nous l'avons dit plus haut pour la purification de l'argent, et vous les ferez sécher au feu ou au soleil. Ensuite, vous raclerez soigneusement l'or sur le cuivre et vous emballerez cette raclure dans du plomb finement laminé, vous mettrez une de ces coupelles sur des braises dans le four et quand elle sera échauffée vous y mettrez l'emballage de plomb avec la raclure, vous mettrez des charbons au-dessus et vous fondrez. Quand il sera fondu de la même manière que l'on purifie l'argent, écartez de temps à autre en découvrant et en soufflant minutieusement, vous brûlerez jusqu'à ce que le cuivre soit complètement consumé et que l'or pur apparaisse".

Si ces deux textes expliquent la présence de calcium dans la phase vitreuse, l'absence de plomb dans cette même phase nous permet de conclure que ce creuset n'a pas servi à des opérations de coupellation. Il semble donc à première vue plus probable que ce creuset a simplement servi à fondre le métal. Dans ce cas, la présence d'un "revêtement de verre calcique" peut s'expliquer si on admet que le

creuset a été luté par une substance riche en calcium pour éviter des pertes de métal trop importantes par inclusion ou diffusion. Par ailleurs, le verre - obtenu par vitrification du revêtement interne du creuset lors du chauffage - peut avoir dissous préférentiellement certains composants de l'alliage - l'argent si l'on a de l'électrum - ou certaines impuretés présentes dans le métal fondu.

Les autres fragments

Les résultats obtenus montrent que les fragments se répartissent en deux groupes. D'une part le fragment 1, d'autre part, les fragments 2 et 3 (Tableau 3, fig. 6).

Le fragment 1 a une composition complètement différente des autres objets (creuset et fragments). En aucun cas il ne peut être considéré comme un fragment de creuset. D'après sa composition, il s'apparente plus à un fragment de minerai, un morceau de métal très corrodé (fragment d'outil en bronze ?) ou à un déchet de purification de l'or (on note par observation à la binoculaire la présence de nombreuses parties vertes qui sont certainement des altérations de parties cuivreuses). Le rapport Cu/Sn, qui correspond à ceux rencontrés dans de nombreux bronzes, est en faveur de l'hypothèse d'un fragment d'outil.

Les fragments 2 et 3 ont des compositions identiques. Les variations observées pour l'or et l'argent ne sont pas significatives, étant donné l'ordre de grandeur des teneurs rencontrées (proche des limites de détection de la méthode). Par leur aspect (ressemblance avec la ponce, roche fondue) et leur composition, les fragments 2 et 3 peuvent être identifiés soit à des scories soit à des fragments de creusets. On note par observation à la loupe binoculaire que les échantillons ont l'air d'avoir été fondus (aspect vitrifié et nombreuses bulles). Ceci se retrouve à quelques endroits sur le creuset mais de façon moins nette et moins importante que sur ces deux fragments. Dans l'hypothèse où ces fragments sont des parties de creuset, on peut penser qu'ils ont fait partie du même objet.

Si l'on compare la composition du creuset avec celle des fragments 2, 3 et 4, on note :

- que l'antimoine, le plomb, l'argent et l'or sont en net excédent dans le creuset (cette différence peut être attribuée à la phase vitrifiée du creuset).
- le magnésium, le fer, le calcium et le titane sont, à l'inverse, nettement excédentaires dans les

Fig. 6
Tableau 3 :
Résultats des
analyses effectuées
sur les fragments
n°1, 2 et 3.

Référence	Fragment 1	Fragment 2	Fragment 3
Cl	0,7%	0,00%	0,00%
Al ₂ O ₃	1,0%	17,9%	18,4%
SiO ₂	2,3%	62,7%	61,7%
K ₂ O	1,2%	4,2%	4,2%
MgO	0,13%	2,9%	2,9%
NiO	0,051%	0,0056%	0,0051%
SnO ₂	20,6%	>ldd	>ldd
ZnO	0,025%	0,027%	0,026%
Sb ₂ O ₃	0,065%	0,0080%	0,0062%
PbO	0,041%	0,0074%	0,0094%
BaO	0,049%	0,094%	0,080%
CeO ₂	>ldd	0,014%	0,016%
As ₂ O ₃	0,24%	0,17%	0,093%
Fe ₂ O ₃	0,77%	8,5%	8,3%
CuO	71,8%	>ldd	0,025%
CoO	0,022%	>ldd	0,0032%
Cs ₂ O	0,0003%	0,0018%	0,0017%
Rb ₂ O	>ldd	0,031%	0,030%
Y ₂ O ₃	0,0011%	0,0098%	0,0076%
ZrO ₂	0,0024%	0,037%	0,043%
Nb ₂ O ₃	0,0003%	0,0030%	0,0031%
TiO ₂	0,072%	1,12%	1,20%
Na ₂ O	0,31%	1,1%	1,5%
CaO	0,49%	1,3%	1,3%
In	0,0026%	>ldd	>ldd
U	0,0003%	0,0014%	0,0015%
Ag	0,041%	0,0017%	0,0008%
Au	0,072%	0,0003%	0,0001%
MnO ₂	0,060%	>ldd	>ldd

fragments qui ont par ailleurs des compositions similaires. D'autres éléments traces : césium, rubidium, yttrium et uranium adoptent le même comportement.

- La silice et l'alumine ont un comportement contraire : on trouve plus de silice et moins d'alumine dans le creuset par rapport aux fragments.

Ces différences sont explicables soit par une pollution en terre importante des fragments soit par la nature différente du matériau de base (roche ou argile).

Les rapports Au/Ag trouvés dans ces deux échantillons sont, aux incertitudes de dosage près, du même ordre de grandeur que celui qui a été obtenu pour le creuset n°1. Ces deux fragments sont donc probablement des fragments de creuset.

Le minerai

Les minerais étudiés proviennent de quatre sites différents : Cros Gallet, Les Fouilloux, Les Lanvers et la Fagassière.

A l'exception du site des Fouilloux, dont nous avons analysé un concentré de batée et des paillettes, les autres analyses ont été effectuées directement sur le quartz aurifère.

Pour le site de Cros Gallet, il s'agit d'un quartz laiteux blanc relativement pur à l'intérieur duquel les paillettes d'or se distinguent facilement à l'œil nu. A l'inverse, les échantillons provenant des deux derniers sites sont constitués d'un quartz gris renfermant de nombreuses inclusions de minéraux sulfurés. Dans ces échantillons, l'or est difficilement observable.

Comme l'indique l'aspect des échantillons, le minerai de Cros Gallet est un quartz relativement pur à teneur élevée en or (fig. 7). A la différence des autres sites, les minéraux sulfurés et arséno-sulfurés y sont moins abondants. On note la présence de plomb, avec des teneurs du même ordre de grandeur que celle de l'or. Le rapport moyen Au/Ag est de l'ordre de 80/20, il est assez éloigné de la valeur trouvée pour le fragment n°4 : 70/30. Mais il correspond à certaines valeurs trouvées pour des objets en or d'époque gauloise comme le trésor de Tauciac (torque et monnaies).

Les résultats des analyses effectuées sur le concentré de batée provenant de la mine des Fouilloux montrent que le filon présente une forte minéralisation en antimoine ; la stibine est le miné-

Al	1,5%	1,3%
Si	97,9%	97,3%
K	0,0%	0,6%
Mg	0,13%	0,02%
Ni	>ldd	0,0007%
Sn	0,0012%	0,0010%
Sb	0,0130%	0,0490%
Pb	0,066%	0,165%
Ba	0,0074%	0,010%
Ce	0,0003%	>ldd
As	0,11%	0,14%
Fe	0,19%	0,26%
Cu	0,002%	0,003%
Co	0,0002%	>ldd
Cs	0,0002%	0,0002%
Rb	0,004%	0,003%
Y	0,0007%	0,003%
Zr	0,0009%	0,0005%
Nb	0,0001%	0,0001%
Ti	0,006%	0,004%
Ag	0,02%	0,04%
Au	0,09%	0,15%

Fig. 7
Tableau 4 : composition moyenne de deux échantillons de quartz aurifère du site de Cros Gallet.

ral le plus important de la fraction analysée. Les autres phases importantes sont la pyrite et le mispickel. Parmi les autres éléments métalliques, on peut noter la présence d'étain. La teneur en or du concentré n'a pas de signification, certaines paillettes ayant été retirées de celui-ci pour être analysées. L'analyse des paillettes montre que l'on est en présence d'un alliage naturel or-argent contenant peu ou pas de cuivre. La valeur moyenne du rapport Au/Ag : 80/20 (83/17 pour les paillettes et 81/19 pour le concentré) est identique à celle qui a été trouvée pour l'or de Cros Gallet.

a)

Paillettes d'or	
Sb	0,055%
As	0,26%
Cu	< à 0,5%
Ag	16,5%
Au	82,4%

Fig. 8
Tableau 5 : a) composition moyenne des paillettes d'or du site des Fouilloux,

b)

	fond de batée	Les Lanvers	La Fagassière
Al2O3	1,1%	0,4%	1,1%
SiO2	13,2%	95,8%	96,8%
K2O	0,55%		
MgO	0,28%		0,06%
SnO2	0,033%	0,003%	
Sb2S3	40,3%	0,014%	0,012%
FeAsS	23,0%	1,9%	1,1%
FeS2	21,0%	1,5%	1%
Pb		0,24%	
Ag	0,017%	0,013%	0,0001%
Au	0,071%	0,027%	0,00014%

b) composition minéralogique moyenne d'un fond de batée provenant du site des Fouilloux et d'échantillons de quartz aurifère des sites des Lanvers et de La Fagassière.

Les deux autres sites analysés montrent eux aussi des teneurs importantes en sulfures et arséno-sulfures (fig. 8).

Conclusion

Les résultats des analyses effectuées sur les différents objets sont en accord avec l'hypothèse de leur utilisation lors d'opérations métallurgiques en relation avec le traitement de l'or.

Il ne permettent cependant pas de répondre pleinement à la question concernant l'affinage du métal précieux.

Si l'on compare la teneur en argent de l'or natif des différents minerais avec celle du globule, on peut penser que la purification de l'or était partielle. Il faut cependant noter que l'analyse sélective du globule n'a pas été effectuée. Le rapport Au/Ag obtenu pour le fragment n° 4 est probablement inférieur au rapport réel. Les opérations métallurgiques effectuées autour de la mine avaient donc peut-être essentiellement pour but de séparer le métal précieux de sa gangue et de le récupérer.

On peut toutefois supposer que, s'il y a eu affinage, celui-ci est incomplet et en partie involontaire. L'étude des textes anciens nous montre en effet que l'on peut avoir une pré-concentration naturelle de l'or par rapport à l'argent en chauffant celui-ci dans un creuset. Dans le cas étudié, la présence naturelle de minerai de plomb dans le quartz aurifère facilite une coupellation partielle et accidentelle.

Bibliographie

Beauchesne, Barrandon, 1986 : Beauchesne F., Barrandon J.N., 1986, Analyse globale et non destructive des objets archéologiques cuivreux par activation avec des neutrons rapides de cyclotron, *Revue d'Archéométrie*, 10, p.75-85.

Gratuze et al., 1992 : Gratuze B., Barrandon J.N., Dulin L., Al Isa K., Ancient glassy materials analyses : a new bulk non destructive method based on fast neutron activation analysis with a cyclotron, *Nucl. Instr. and Meth.*, B71, 1992, p.70-80.

Gratuze et al., 1993 : Gratuze B., Giovagnoli A., Barrandon J.N., Telouk P., Imbert J.L., Apport de la méthode ICP-MS couplée à l'ablation laser pour la caractérisation des archéomatériaux, *Revue d'Archéométrie*, 17, 1993, p.89-104.

Halleux, 1985 : Halleux R., Méthodes d'essai et d'affinage des alliages aurifères dans l'Antiquité et au Moyen Age, dans Morrisson C., Brenot C., Callu J.P., Barrandon J.N., Poirier J., Halleux R., *L'or monnayé 1*, Cahier Ernest-Babelon 2, CNRS éd., Paris, 1985.