Outils et ateliers d'orfèvres des temps anciens

Ouvrage publié avec le concours de l'enveloppe Recherche du Ministère de la Culture

Textes rassemblés par Christiane Eluère

antiquités nationales mémoire 2

Société des Amis du Musée des Antiquités Nationales et du château de Saint-Germain-en-Laye 1993

De l'orpaillage aux granules des orfèvres

Christiane Eluère*, David Cottier-Angeli** et Myriam Eveno***

*Musée des Antiquités nationales, Saint-Germain-en-Laye (France)

**Restaurateur-bijoutier, Genève (Suisse)

***Laboratoire de Recherche des Musées de France, Paris (France)

L'exploitation directe par l'orfèvre préhistorique ou antique des paillettes d'or des gisements secondaires, la plupart du temps alluvionnaires, est une phase opératoire à laquelle on a jusqu'à présent insuffisamment réfléchi dans les études de paléo-orfèvrerie. L'accumulation de premières réflexions à propos de la rareté des lingots, et donc du possible transport de l'or en paillettes, la structure de quelques objets, nous donnent l'occasion d'attirer l'attention sur ce sujet.

Les paillettes d'or alluvionnaires, vu leur forme naturelle et leurs dimensions généralement minuscules, nous ont semblé tout particulièrement bien adaptées à la production du procédé décoratif qui passe pour l'un des plus sophistiqués : celui de la granulation. Nous avons voulu tester notre hypothèse par l'expérimentation suivie de l'étude en laboratoire.

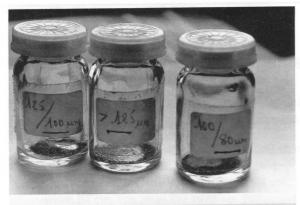
Paillettes d'or alluvionnaire

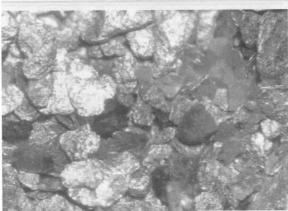
Les paillettes d'or provenant de gisements d'or détritique ont été particulièrement bien étudiées par G. Hérail (Hérail, 1984). En prenant pour exemple des gisements du Nord Ouest de l'Espagne, il a notamment mis au point une méthode d'étude des paillettes et su définir les caractéristiques de leur évolution au cours de l'histoire géomorphologique. Les paillettes d'or contiennent divers éléments alliés à l'or, dont principalement l'argent. Au cours de leur évolution dans le gisement, les paillettes voient progressivement diminuer leur proportion en argent. Ce taux d'enrichissement en or des paillettes tend à s'accroître en fonction de l'éloignement du gisement primaire et il s'opère généralement à la périphérie de chaque particule. Grosso modo on peut considérer que plus les paillettes sont petites plus elles ont une composition homogène et pure.

En effet, la taille et la morphologie des paillettes varient dans un même gisement, modifiées surtout par les différents agents de transport. Dans le lit d'une rivière, en fonction de la distance parcourue, les paillettes voient leur taille diminuer, leurs contours s'émousser, leur forme s'aplatir de plus en plus. Ces phénomènes ont été constatés à de nombreuses reprises et en diverses régions (Boyle, 1979). Les calibres des paillettes peuvent dépendre des gisements mais le plus souvent celles que l'on considère comme de "grosses" paillettes mesurent entre 500 et 300 microns, parfois même dépassent 1 mm de long. Cependant les plus fréquentes oscillent entre 200 et 100 microns.

Des indices d'utilisation des paillettes aux premiers temps de l'orfèvrerie

On constate une relative rareté des lingots d'or avant l'époque romaine. Quelques régions en ont livré en Europe occidentale, sous forme de barres ou de lentilles fondues (Eluère, 1990, figs. 83-84), essentiellement dans des contextes du Bronze Final, époque durant laquelle les orfèvres utilisèrent les alliages or-argent-cuivre : dépôts en Bretagne, dépôt d'Eberswalde dans le Nord de l'Allemagne (Eluère, 1987, fig. 43). Il semble que l'on n'en ait pas remarqué en Etrurie. Par contre certains textes mésopotamiens font allusion à la circulation de la poudre d'or ou de paillettes d'or (Eluère,1990, p. 78). Il est notoire que l'orpaillage a été pendant très longtemps une des principales méthodes d'extraction du métal précieux de bonne qualité, et qu'il a été encore pratiqué à l'époque où on commença à aménager des systèmes d'exploitation minière destinée à extraire l'or des primaires. Les fréquentes descriptions du lavage des sables aurifères des rivières que nous ont laissées Posidonios, Strabon, Diodore de Sicile, Pline l'Ancien (Eluère, 1990, p. 60-68) sont éloquentes. Sans doute ces paillettes étaient transportées telles quelles, renfermées dans des petits sacs, vers les ateliers de mise en forme.





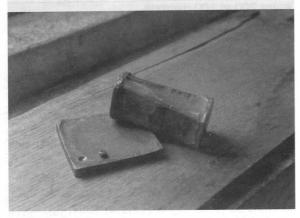


fig. 1 - Matériel utilisé pour l'expérimentation n° 1, la fabrication d'une feuille. De haut en bas :

a/ paillettes d'or mises aimablement à notre disposition par les

Comptoirs Lyon Alemand Louyot, à Paris, déjà calibrées entre 125

et 80 microns ; b/détail des paillettes de forme aplatie ;

c/ outils de cuivre préparés pour l'expérimentation : marteau à face plate de 656 gr., tas plat quadrangulaire de 7 cm de côté muni d'une cupule de 7 mm avec une pastille de cuivre adpatée au même diamètre.

A l'appui de cette hypothèse nous attirons l'attention sur le probable contenu d'un tel sachet qui a été retrouvé en 1988 lors de l'une des campagnes de fouille de l'habitat protohistorique du Fort-Harrouard (Eure-et-Loir), site occupé du néolithique à l'époque romaine sur lequel des activités métallurgiques et notamment des ateliers de bronziers de l'Age du Bronze final ont été observés et explorés (Mohen et Bailloud, 1987). A proximité de l'un

d'eux une petite accumulation de paillettes d'or a pu être recueillie dans le sédiment tamisé à la batée afin de séparer les minéraux lourds pour retrouver d'éventuelles traces de minerais d'étain. La région étant totalement dépourvue de ressources naturelles en or, ces paillettes avaient été apportées de loin, peut-être de Bretagne, comme d'autres matières premières, notamment l'étain -ce dernier étant sûrement transporté sous forme de grains de cassitérite (Queixalos, Menu, Mohen, 1987) - pour constituer le stock du métallurgiste protohistorique voire, plus tard, celui du monnayeur gallo-romain.

D'autre part, plusieurs perles ou petits ornements en feuille d'or ayant déjà pu être soumis à l'examen métallographique ont montré qu'ils avaient été fabriqués à partir de paillettes martelées. Il s'agit de perles du Bronze Moyen et Final trouvées dans la région du lac de Neuchâtel, ou dans le Sud-Ouest de la France (Eluère et Raub, 1991). Nous identifions également cette technique sur des perles du dépôt de Blanot (Pernot, 1991, figs. 105-106). Cette technique semble disparaître avec l'utilisation de métal affiné, comme c'est le cas pour le casque d'Agris (Eluère et Raub, 1991, fig. 5).

Expérimentation n° 1 Fabrication de feuille à partir de paillettes (figs. 1 à 6)

L'expérimentation nous a démontré qu'il est relativement aisé d'obtenir des feuilles à partir du martelage de paillettes. Celles-ci doivent d'abord être séparées de toutes les impuretés accompagnatrices comme les grains de sable. Rassemblées sur une surface plane, lisse et dure comme une pierre ou un tas en bronze (fig. 1), elles sont prêtes à être traitées. Un compactage doit être exercé et celui-ci se réalise plus facilement si l'on dispose les paillettes dans une cupule pour les comprimer sous une masse dure ayant le même profil en négatif (fig. 2). Une pression énergique est exercée avec une deuxième masse relativement lourde pour écraser et comprimer les paillettes (fig. 3). Cette opération tend à chasser les paillettes hors de la zone de pression, un rassemblement des particules est nécessaire et est répété à plusieurs reprises. Cela jusqu'à obtenir une petite galette encore très friable et fragile (fig. 2 en bas). Cette galette concave se compacte régulièrement au cours des opérations répétées de compression (fig. 5 à gauche, fig. 6 en haut). Peu avant le



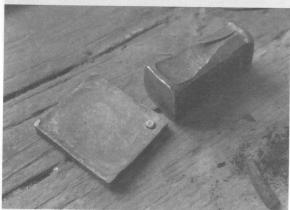




fig. 2 - Paillettes de 50 à 80 microns rassemblées dans la cupule (en haut) puis compressées sous la pastille de cuivre (au milieu) qui sera soumise au poids du marteau, puis résultat des premières pressions offrant un début d'agglomération des paillettes ; ces conglomérats précaires atteignent une surface de 3 x 2 mm et 0,6 mm d'épaisseur environ (flèche, en bas).

point limite d'écrouissage, la pression nécessaire augmente et des fissures apparaissent dans la galette. Un recuit est alors nécessaire et un feu réducteur agit aussi pour éliminer les éventuelles impuretés (fig. 4). La compression est exercée à nouveau et suivant le degré de pureté de l'alliage plusieurs opérations de recuit peuvent être nécessaires pour obtenir une feuille métallique compacte et propre à la fabrication d'objets (fig. 5 à droite et fig. 6 en bas).





fig. 3 - Geste de pression avec le poids du marteau percutant la pastille de cuivre et écrasant les paillettes d'or plus ou moins agglomérées se trouvant en dessous (en haut) ; applatissement de l'ébauche de feuille obtenue.

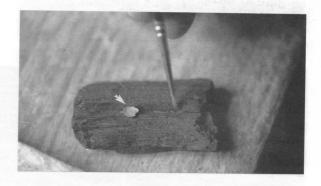




fig. 4 - Opération de recuit à l'aide de la flamme d'une bougie dirigée avec un chalumeau à bouche. La flamme pouvant atteindre 1300°C.

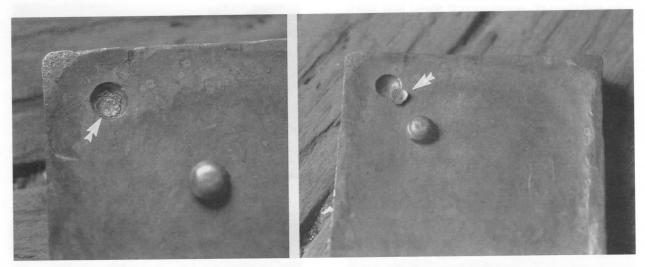


fig. 5 - Ebauche progressive de la petite feuille : à gauche, au début du travail ; à droite, après plusieurs pressions alternant avec un recuit.

Paillettes et granulation

Nous pouvons supposer que l'utilisation de ces petites paillettes pouvait tout particulièrement être appréciée des orfèvres antiques pratiquant cette technique ornementale si célèbre : la granulation. La granulation est un procédé décoratif consistant à déposer sur une surface lisse d'or ou d'argent un certain nombre (parfois des centaines, voire des milliers) de petits granules sphériques d'or et d'argent (quoique ce dernier métal est plus rarement employé pour la granulation), que l'orfèvre aligne pour

dessiner des motifs géométriques ou figuratifs. Les granules peuvent aussi à eux seuls former des motifs décoratifs, comme des grappes, des pyramides... Les orfèvres étrusques ont été les champions de la granulation. Leur dextérité s'évalue à la complexité des motifs et à la grande finesse des granules obtenus. Entre le VIIe et le VIe siècle avant J.-C. les granules étrusques n'ont bien souvent que 0,14 mm, (c'est-à-dire qu'il faut environ 70 granules alignés pour faire une ligne de 1 cm!), voire

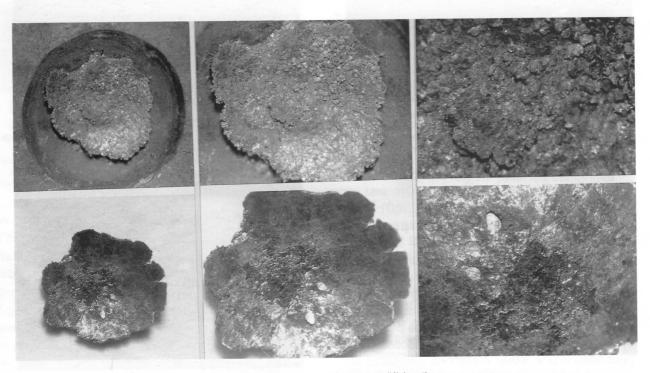


fig. 6 - Macrophotos de la feuille en cours d'élaboration : en haut, phase d'agglomération précaire, en bas feuille présentant des fissures périphériques.

100 microns et on parle alors de granulation "a pulviscolo". Certaines pièces même seraient couvertes de plusieurs dizaines de milliers de fins granules (comme le bol de Praeneste conservé au Victoria and Albert Museum de Londres, qui comporterait environ 140.000 granules) (Formigli, 1985, p. 97-98). La granulation est une technique qui apparaît dès le Ille millénaire au Proche-Orient, puis au Ile millénaire en Crète et en Grèce. Elle se manifeste en Etrurie au VIIIe siècle avant J.-C. où elle atteint des sommets de virtuosité surtout pendant les deux siècles suivants. Elle a stupéfait les archéologues et experts du XVIIIe et du XIXe siècle, qui ont parlé d'une technique

Selon cet auteur la méthode la plus logique pour obtenir les granules, qui est aussi actuellement la plus généralement admise est la suivante :

"On découpe une fine feuille en de nombreux petits paillons de dimension égale et on dispose les petits fragments dans un creuset en les mélangeant à de la poudre de charbon de bois de façon qu'ils ne se touchent pas les uns les autres. Le creuset muni d'un couvercle est chauffé jusqu'au point de fusion des particules d'or qui fondent en formant des sphères isolées dans la poudre de charbon. Le contenu du creuset est ensuite lavé et filtré pour calibrer les granules"... (Formigli, 1983, p. 328).

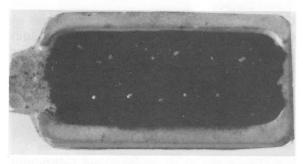


fig. 7 - Petit creuset de 3 cmde long rempli d'une couche de charbon de bois pulvérisé sur laquelle des paillettes sont régulièrement disposées une à une.

mystérieuse, d'un secret des orfèvres étrusques perdu après eux. Ils ont procédé à de nombreuses expérimentations pour comprendre les deux principaux problèmes : premièrement la production massive des petits grains sphériques d'or, bien calibrés ; deuxièmement le procédé de fixation de ces granules, pratiquement invisible à l'oeil nu, surtout en ce qui concerne les granulations étrusques.

Une bibliographie importante sur ce sujet a été rassemblée par J. Wolters (Wolters, 1983). Plusieurs études ont permis d'élucider ce fameux "mystère" des soudures invisibles, procédé astucieux maintenant bien identifié dans son principe (Parrini, Formigli, Mello, 1982; Duval, Eluère, Hurtel, Menu, 1989) sur lequel nous ne revenons pas ici puisque le sujet du présent article est consacré seulement à l'utilisation des paillettes pour la première phase de ce travail : la production des granules. Récemment les hypothèses classiques de la fabrication des granules ont été plusieurs fois exposées et commentées notamment par notre collègue E. Formigli (Formigli, 1985, p. 99-100)1 qui a également pratiqué de nombreuses expérimentations (Nestler, Formigli, 1993).







fig. 8 - Vues successives du foyer dans lequel est déposé le creuset garni de la poudre de charbon de bois et des paillettes.

Cette technique décrite et expérimentée par E. Formigli nous paraît tout à fait convaincante et nous ne voulons pas la mettre en doute. Notre intervention consiste seulement à suggérer qu'un moyen encore plus simple était à la disposition de l'orfèvre pour la première phase de l'opération : au lieu de marteler une feuille pour ensuite la découper avec une lame tranchante en minuscules carrés il pouvait directement utiliser des paillettes d'or naturel toutes prêtes à l'emploi!

Expérimentation n° 2 Fabrication de granules à partie de paillettes

Nous avons utilisé:

- Comme précédemment, des paillettes d'or de calibres variés provenant de rivières du Midi de la France aimablement mises à notre disposition par les Comptoirs Lyon Alemand Louyot.
- Un creuset de 3 cm de long en terre réfractaire (fig. 7). Nous avons choisi cette forme plate de creuset afin de mieux pouvoir observer la transformation des paillettes. Nous aurions pu tout aussi bien utiliser un creuset conique plus profond.
- Du charbon de bois pilé en poudre fine. Le charbon de bois pulvérisé est là pour empêcher les paillettes d'or en train de se liquéfier de s'agglomérer en une seule et unique masse, comme pour la fabrication d'un lingot, et au contraire pour maintenir la séparation de chaque paillette. Il a aussi une action réductrice.
- Un feu ouvert de charbons de bois. Un feu de tisons activé par un apport d'air pulsé est extrêmement réducteur, ce qui signifie qu'il a la propriété d'éliminer les éléments qui parfois contaminent l'or alluvionnaire.

Pour commencer, nous avons garni le fond du creuset d'un tapis de poydre de charbon de bois de 1 mm d'épaisseur dans lequel nous avons parsemé une douzaine de paillettes (fig. 7). Portées au feu pendant 15 minutes, elles ne se sont pas transformées en granules. A nouveau le creuset fut reporté au feu, plus longtemps, pendant 25 minutes, et là nous pûmes obtenir de premiers granules.

Nous avons recommencé l'opération avec six paillettes isolées et trois "doubles" paillettes (deux paillettes côte à côte). Nous les avons plus abondamment recouvertes de poudre de charbon de bois et le creuset a été placé au fond du feu tout près de la tuyère. Cette zone du foyer a été couverte d'une brique réfractaire. Cette fois-ci au bout de 10 minutes nous recueillîmes très facilement neuf granules parfaitement sphériques : 6 petits et 3 plus gros (résultat de l'assemblage intentionnel de paillettes doubles).

Le lit de braises ardentes préparé a été maintenu à haute température par un apport constant d'air propulsé au moyen de la tuyère. La disposition du creuset, dans l'axe direct de la tuyère, permet de porter l'or à une température légèrement supérieure à son point de fusion et de garantir une bonne fluidité ainsi que la purification des éventuelles impuretésgrâce à l'action réductrice du feu. Cette température est facilement contrôlable si nous disposons d'un corps témoin à proximité immédiate du creuset. Pour nos essais, un support en fil de fer sur lequel reposait le creuset, en atteignant la couleur jaune clair et jaune blanc, a indiqué une température d'environ de 1100° à 1200° C. Le point de fusion de l'or est à cette température largement dépassé, ce qui nous garantit une fluidité parfaite.

L'apport d'air peut être alors suspendu et l'ensemble peut se refroidir en prenant soin d'éviter toute secousse qui viendrait perturber les gouttelettes dans leur tapis de charbon ardent. Le point de solidification du métal détermine en théorie le moment où le creuset peut être retiré du feu.

Après refroidissement complet (fig. 8 bas)nous avons pu facilement découvrir les granules d'or dont l'éclat jaune vif se distingue clairement dans la cendre. Nous les avons récupérés par une légère ventilation du mélange, en triant délicatement au pinceau les cendres issues du creuset. Aussitôt apparaissent des granules d'or parfaitement sphériques prêts à l'emploi (fig. 9). Les granules que nous avons obtenus sont de deux calibres. Ceux produits à partir d'une seule paillette mesurent 200 à 300 microns de diamètre; ceux produits à partir de l'association voulue de deux paillettes atteignent 400 microns. Dix granules pesés ensemble atteignent 10 mg.

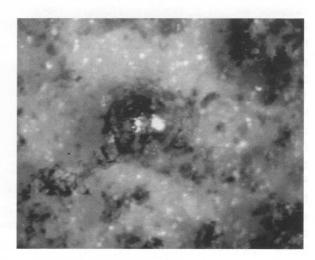


fig. 9 - Granule fixé sur la paroi du creuset.

Etude en laboratoire

Un échantillonnage des paillettes et les granules obtenus ont été observés au Laboratoire de Recherche des Musées de France. Une série d'examens réalisés au

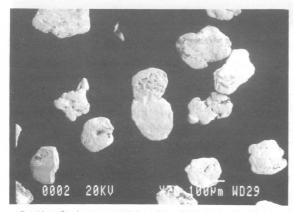


fig. 10a - Quelques exemplaires des paillettes d'or mises à notre disposition. Les impuretés incluses à la surface sont bien visibles. Image en électrons secondaires.

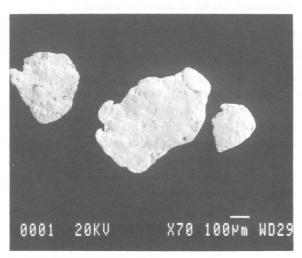


fig. 10b - Grandes paillettes plates faisant partie de notre échantillonnage. Image en électrons secondaires.

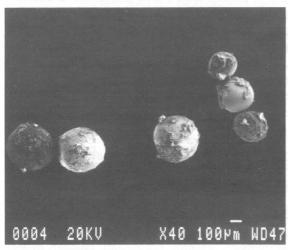


fig. 11 - Résultat de la fusion des paillettes : des granules parfaitement sphériques. Image en électrons secondaires.

microscope électronique à balayage couplé à un système de microanalyse de rayons X a été suivie d'une étude de microsections de quelques paillettes et d'un granule.

Examen optique et analyses de surface

L'examen optique des paillettes au microscope électronique à balayage a permis de mesurer quelques-unes d'entre elles plus précisément : les plus grandes atteignent 600 à 800 microns, les plus petites ont de 200 à 400 microns. La plupart ont un aspect très aplati et émoussé (fig. 10). Leur analyse de surface indique seulement de l'or. Restent mêlées aux paillettes des particules de minéraux contenant du silicium, parfois associé à de l'aluminium, du potassium et aussi du fer. Il peut s'agir de quartz, de feldspaths ou de micas provenant de l'environnement des paillettes.

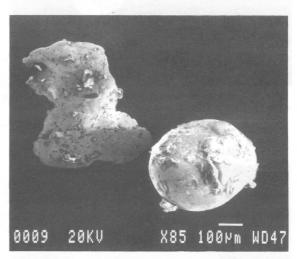


fig.12 - Paillette ayant échappé à l'action de la fusion (à gauche) ; deux paillettes réunies en un granule (à droite). Image en électrons secondaires.

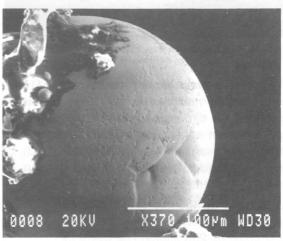


fig. 13 - Détail d'un granule : on remarque l'aspect lisse et l'absence de structure dendritique. Image en électrons secondaires.

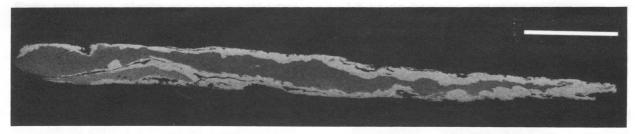


fig. 14 - Microsection d'une grande paillette de 700 à 800 microns de long. L'échelle = 100 microns. Image en électrons rétro-diffusés.

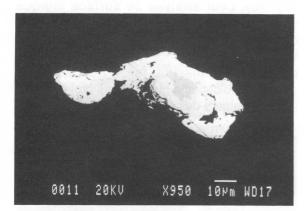


fig. 15 - Microsection d'une paillette d'or d'environ 100 microns de largeur. Image en électrons rétro-diffusés.

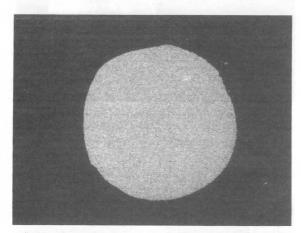


fig.16 - microsection d'un granule de 300 microns de diamètre. Image en électrons rétro-diffusés.

L'examen optique de 9 granules (fig. 11) plus une paillette mal fondue (fig. 12) a permis de préciser les dimensions de ces petites boules parfaitement sphériques et dont la surface est très "lisse", sans aspect dendritique (fig. 13), ce qui s'explique facilement par la lenteur du refroidissement:

- 3 granules de 400 microns de diamètre.
- 4 granules de 300 microns de diamètre.
- 1 granule de 250 microns de diamètre.
- 1 granule de 200 microns de diamètre.

Le granule "raté" présente un aspect de paillette boursoufflée de 500 microns de long.

Des analyses de surface ont indiqué une assez importante présence d'argent :

gros granules	Au 87	Ag 13
petits granules	Au 90	Ag 10
granule raté	Au 85	Ag 15

Par ailleurs, les impuretés adhérant à la surface des granules ont été analysées : on détecte le plus souvent de l'aluminium, du silicium, du potassium, du fer et aussi du calcium.

ETUDE DES MICROSECTIONS

Une grande paillette très plate "n° 1" (600 à 700 microns de longueur et une plus petite paillette "n° 2" (100 microns), ainsi qu'un granule (300 microns) ont pu être inclus dans une résine, sectionnés et polis afin de les observer et de les analyser de façon plus précise. La surface de la coupe a été recouverte d'une fine couche de carbone afin de la rendre entièrement conductrice.

La microsection de la paillette n° 1 nous permet de voir très nettement une différence de composition due à un enrichissement de surface comme nous l'avons exposé précédemment. La paillette n° 2 présente le même phénomène ; plus petite elle a subi un enrichissement de surface plus important : le coeur des paillettes contient un alliage or-argent alors que la périphérie est constituée uniquement d'or. La microanalyse a indiqué :

zones périphériques Au 100 zones centrales Au 88 Ag 12

Par contre, la microsection du granule permet de constater que sa composition est parfaitement homogène de part en part. Différents points analysés ont indiqué des proportions constantes:

Au 87 Ag 13 Ce granule comporte en périphérie encore quelques vestiges d'impuretés minérales (aluminium, silicium, potassium, calcium et fer) fixés à la surface du métal et déjà signalés plus haut. Il est probable que ces impuretés soient celles qui étaient déjà associés aux paillettes. Elles peuvent aussi résulter d'une contamination du creuset, la couche de charbon de bois sur laquelle les paillettes furent déposées étant trop mince pour les isoler totalement. Effectivement une analyse du creuset indique que sa pâte est composée également d'aluminium, de silicium et de potassium. Les orfèvres antiques ont pu facilement élimer l'encroûtement partiel de la surface des granules, soit mécaniquement (en les faisant rouler entre les paumes des mains) soit chimiquement (attaque par décoction végétale ou minérale).

Conclusion

Ces expérimentations nous permettent donc de confirmer que les orfèvres préhistoriques et antiques ont pu utiliser directement des paillettes d'or tant dans la fabrication des feuilles que dans celle des granules. L'importance de cette observation conduit à réviser l'hypothèse trop systématique du passage obligé par le lingot comme point de départ de toute mise en forme.

Des problèmes de choix technique restent encore à résoudre notamment lorsque nous sommes face à des objets antiques présentant des alliages d'or avec de l'argent et du cuivre. Néanmoins, même si elle n'a pas été universellement ni exclusivement adoptée, il faut désormais compter avec cette technique sans doute intéressante pour sa "rentabilité" dans les centres produisant de grandes quantités de granules.

D'ailleurs la technique de la granulation ne serait-elle pas née d'une observation "scientifique" des orfèvres antiques, découvrant cette réaction des paillettes d'or se mettant en boules sous l'action thermique?

Voici, reproduites brièvement, les hypothèses évoquées pour la fabrication des granules et rassemblées par E. FORMIGLI (FORMIGLI, 1985 - p. 99-100)

Hypothèse n° 1 :

L'or en fusion dans un creuset est jeté d'une certaine hauteur et des gouttes tombent dans un récipient plein d'eau ou de cendres.

Commentaire : les grains obtenus sont de forme et de taille irrégulières et l'or tend à se refroidir avant d'arriver dans l'eau.

Hypothèse n $^{\circ}$ 2 :

On taille de petits paillons dans une fine feuille d'or ou on débite un fil d'or en fragments réguliers. Ces petits morceaux sont posés sur une pièce de matériau réfractaire que l'on chauffe jusqu'à former de petites sphères. Pour favoriser la formation de grains parfaitement sphériques, la pièce peut être tenue inclinée de façon à faire rouler les sphères et les faire tomber dans un récipient plein d'eau.

Commentaire : cette méthode est valable pour produire un nombre restreint. On peut ainsi obtenir des grains de taille constante semblables à ceux de la granulation étrusque. Il est indispensable de disposer d'une flamme concentrée comme celle d'un chalumeau à gaz moderne ou d'un chalumeau à bec dont on ignore

l'usage à l'époque étrusque. En outre la fabrication des fils étant longue et laborieuse, la taille de fil paraît exclue.

N.B.: I'un de nous a en partie avait utilisé ce procédé lors d'une expérimentation. Il est vrai que la méthode est peu adaptée à la production de masse. Toutefois, selon nous, l'usage du chalumeau par les orfèvres antiques n'est pas à exclure.

(Cf. Duval, Eluere, Hurtel, Menu, 1989).

Hypothèse n° 3 :

On laisse fondre la pointe d'un fil à la flamme et on recueille les gouttes qui tombent. Mais on obtient des grains grossiers peu aptes à la granulation

Hypothèse n° 4 :

De petits fragments d'or sont mélangés avec de la poudre de charbon de bois. Le mélange est déposé dans un creuset à couvercle que l'on chauffe à 1100°C, jusqu'à ce que les petits fragments forment des grains sphériques en suspension dans la poudre de charbon. Après refroidissement on les lave dans l'eau et à l'aide d'un filtre on peut les calibrer. Cette méthode est la plus pratique et probablement celle qui fut employée dans l'antiquité.

Bibliographie

- BOYLE R., 1979 The geochemistry of gold and its deposits, *Geol. Surv. of Canada. Com. Geol. du Canada*, Bull. 280, 584 p.
- Duval A.R., Eluere C., Hurtel L., Menu M., 1989 -The use of S.E.M. in the study of gold granulation, *Archaometry*, p. 325-334.
- ELUERE C., 1987 *L'or des Celtes*, Bibliothèque des Arts, Paris.
- ELUERE C., 1990 Les secrets de l'or antique, Bibliothèque des Arts, Paris.
- ELUERE C. ET RAUB C., 1991 New investigation on early gold foil manufacture, *Archaeometry*, 1990, p. 45-54.
- FORMIGLI E., 1983 *in* Cristofani M. et Martelli M., *L'oro degli Etruschi*, Novara.
- FORMIGLI E., 1985 Techniche dell'oreficeria etrusca e romana, Milano.
- HERAIL G., 1984 *Geomorphologie et gîtologie de l'or détritique*, éd. C.N.R.S., 456 p.

- MOHEN J.P., BAILLOUD G., 1987 La vie quotidienne, les fouilles du Fort-Harrouard, *l'Age du Bronze en France*, 4, Picard, Paris.
- Nestler G., Formigli E., 1993 Etruskische Granulation, eine antike goldschmiedetechnik, Nuova immagine editrice, Sienna, 95 p., 63 figs.
- Parrini P., Formigli E., Mello E., 1982 Etruscan granulation: analysis of orientalizing Jewelry from Marsigliana d'Albegna, *American Journal of Archaeology*, p. 118-121.
- PERNOT M., *in* THEVENOT J.P., 1991 L'Age du bronze en Bourgogne, le dépôt de Blanot (Côte-d'Or), *Supplément R.A.E.*, Dijon.
- QUEIXALOS I., MENU M., MOHEN J.P., 1987 Creusets pour la fonte des alliages à base cuivre au Bronze Final au Fort-Harrouard à Sorel-Moussel (Eure-et-Loir), *Bull. Soc. Préhist. Fr.*, 84, p. 23-30.
- WOLTERS J., 1983 *Die Granulation,* Callwey, München.