CultureSciences-Chimie | Article

Sur les traces de l'or antique

Publié le 01.06.10 | Par Maria Filomena Guerra

La détermination de l'origine et de la provenance de l'or utilisé dans la fabrication de bijoux et monnaies anciens se base sur l'analyse élémentaire d'éléments traces caractéristiques d'un gisement. Cet article aborde les derniers développements de méthodes d'analyse élémentaire, non destructives ou utilisant des micro-prélèvements, pour mesurer les éléments traces présents dans les alliages d'or, puis montre l'application de ces méthodes à l'étude de différents procédés métallurgiques de production du métal ainsi qu'à l'identification de la provenance de l'or utilisé dans la fabrication de bijoux mycéniens et de monnaies et bijoux islamiques.

1. Bijoux et monnaie en or : de la fabrication à l'analyse

Un bijou ou une monnaie en or passe par différents stades de fabrication, allant de l'exploitation du minerai jusqu'à l'objet fini (figure 1). D'une façon générale, ce sont les placers (gisements détritiques[1]) et le quartz aurifère qui ont été exploités pour la production d'or. Après récupération des paillettes d'or, les techniques d'affinage permettent de séparer l'or des autres métaux présents dans l'or natif. L'or est ensuite allié au cuivre et à l'argent par l'orfèvre pour produire, selon les besoins, des alliages avec diverses propriétés (comme la dureté) et couleurs (or rouge, jaune, vert, etc.). Les différentes parties de l'objet sont réalisées par exemple par fonte et martelage, avec ou sans finition de la surface, pour être décorées au moyen de techniques avec ou sans apport de matière, parfois polychromes, avant d'être enfin assemblées par soudure ou par rivetage.

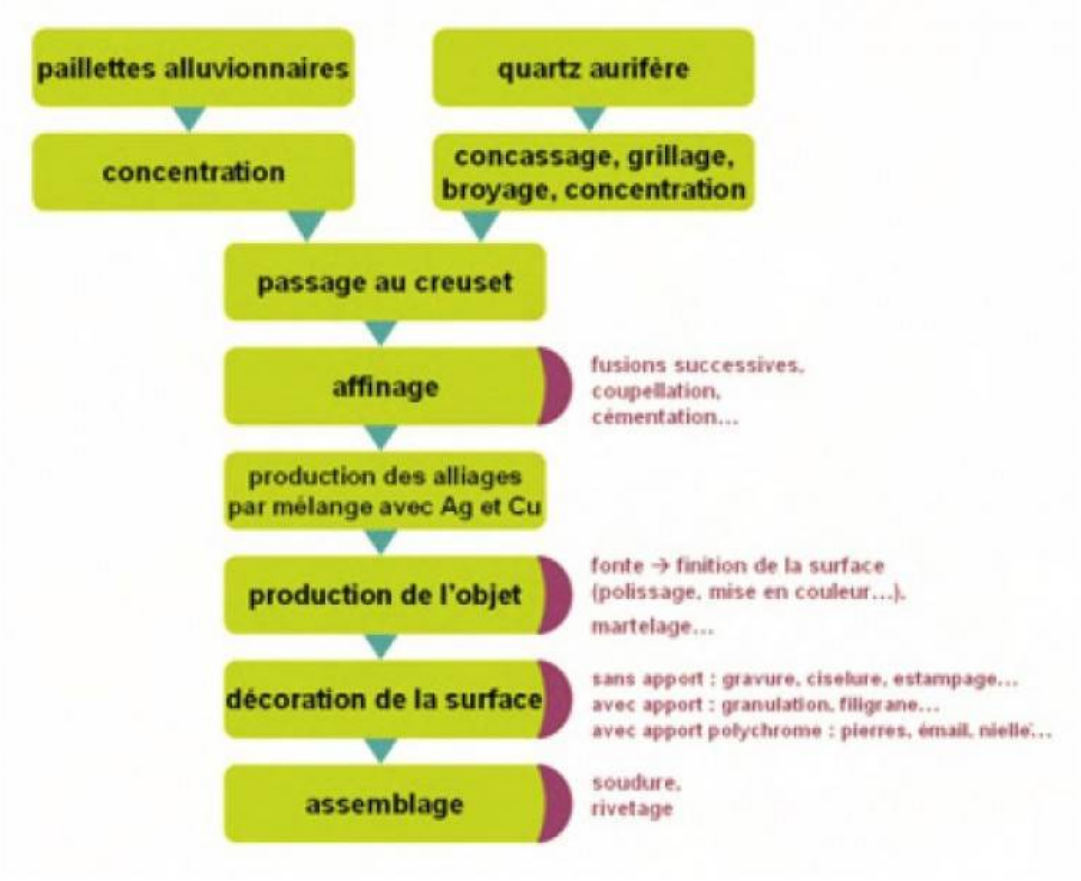


Figure 1 - Schéma de la chaîne opératoire du minerai à l'objet fini

L'observation des objets en or sous différentes lumières et radiations et à différents grossissements permet de mettre en évidence un certain nombre de techniques de fabrication **[1]**. Loupe binoculaire et radiographie permettent de déterminer la morphologie de la surface et les différents assemblages ; la microscopie électronique à balayage (MEB) fournit la morphologie et la topographie de la surface ainsi qu'une estimation de sa composition par couplage à un système de spectrométrie en énergie dispersive (EDS) ; la mesure optique de surface avec numérisation 3D identifie les techniques de décoration sans apport et la forme de l'outil. Cependant, aucune de ces techniques ne permet de déceler les changements d'approvisionnement d'un atelier et l'origine et la provenance[2] de l'or **[2]**.

Certains éléments associés à l'or présentent des rapports isotopiques caractéristiques de la provenance du minerai, comme le plomb et l'osmium. Ces éléments, seulement présents dans certains types d'or, s'y trouvent en basses quantités ; leur mesure demandant donc un prélèvement important, cette méthode se voit écartée. La question de la provenance et de la circulation de l'or concerne la mesure de rapports de concentration d'éléments traces caractéristiques de la source de métal **[3]**. Peu de techniques analytiques non destructives, donnant accès à la microanalyse, possèdent les limites de détection (LDD) nécessaires à la mesure non destructive d'éléments traces dans une matrice lourde quant pratiquées sur des objets fragiles constitués de petits éléments. Dans le cas des matrices d'or, les techniques à base de faisceaux d'ions (IBA) et de spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif (ICP-MS) sont les plus adaptées. Récemment, la technique de fluorescence X sous rayonnement synchrotron (SR-XRF) a commencé à percer dans ce domaine.

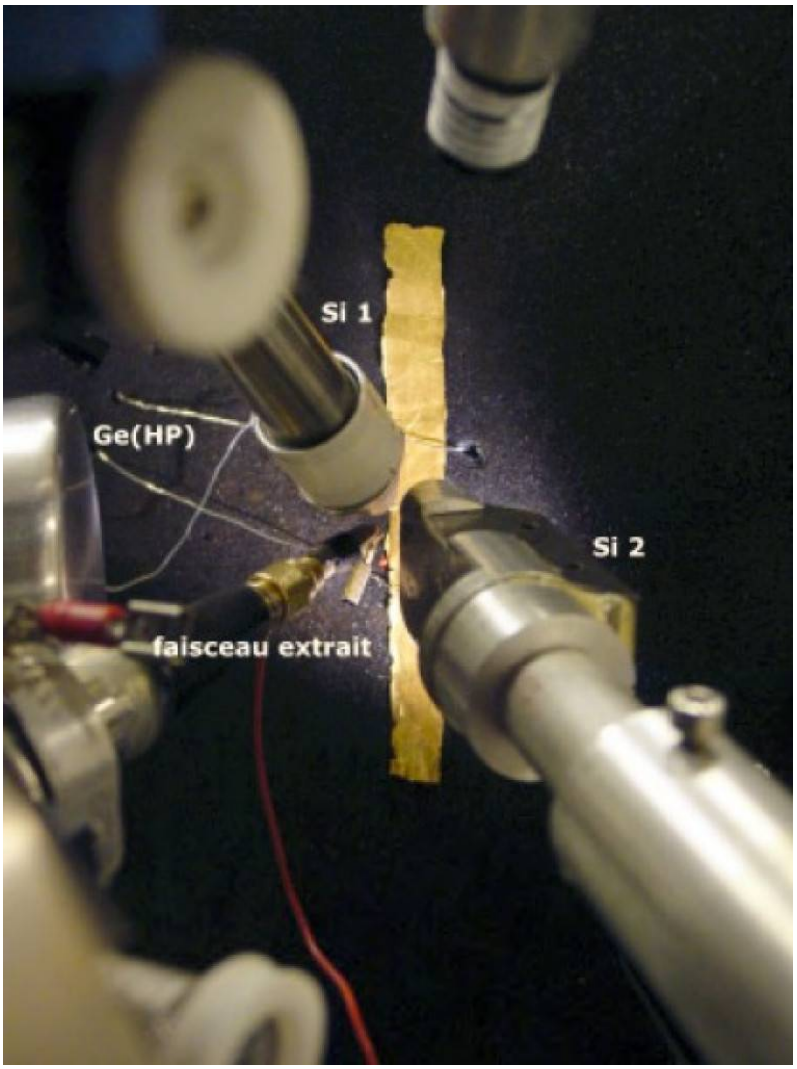


Figure 2 - Dispositif PIXE-PIGE monté avec l'équipe AGLAE (Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire), équipe placée sous la responsabilité de J. Salomon, ingénieur MCC

Un faisceau de protons de 3 MeV et 30 µm de diamètre, extrait à l'air, frappe la microrégion d'une feuille d'or, choisie au préalable pour analyse. Le rayonnement X émis par l'objet est mesuré par deux détecteurs de silicium (Si 1 et Si 2) alors que le rayonnement ɣ est mesuré par un détecteur de germanium (GeHP).

Auteur(s)/Autrice(s) : C2RMF/M.F. Guerra

Aux difficultés analytiques vient s'ajouter la complexité de la chaîne opératoire du métal et de l'objet. D'une part, les différentes étapes métallurgiques mènent à une perte (par évaporation et absorption par la coupelle) d'éléments présents à l'origine dans le minerai, et d'autre part, la refonte et la réutilisation de l'or (parfois de différentes origines) contribuent à la perte d'information sur le métal. Enfin, le manque de données géochimiques sur les gisements anciens, parfois de localisation imprécise en ce qui concerne les périodes les plus anciennes, complique l'attribution d'un or à une source.

2. L'orfèvrerie mycénienne : analyse sans prélèvement

Les fouilles menées à Kazanaki (Grèce) par V. Adrimi- Sismani, conservatrice à Volos, d'une tombe d'époque mycénienne (XIV^{e} siècle av. J.-C.), ont livré des perles de collier et des feuilles décoratives en or. Ce site se trouve au pied du Mont Pélion, situé dans une région sous l'influence de la ville d'Iolkos, cité mythique de Jason. Partant de l'hypothèse que le mythe de la Toison d'Or pourrait faire référence aux peaux de mouton utilisées pour l'orpaillage en Colchide (Géorgie actuelle), nous avons tenté de déterminer si l'or de Kazanaki est d'origine alluvionnaire (recueilli dans les fleuves). L'analyse de quinze feuilles, deux disques et une perle de collier (figure 3a) par PIXE et PIXE-XRF a été effectuée à AGLAE dans le cadre du réseau d'accès transnational du

programme européen Eu-ARTECH.

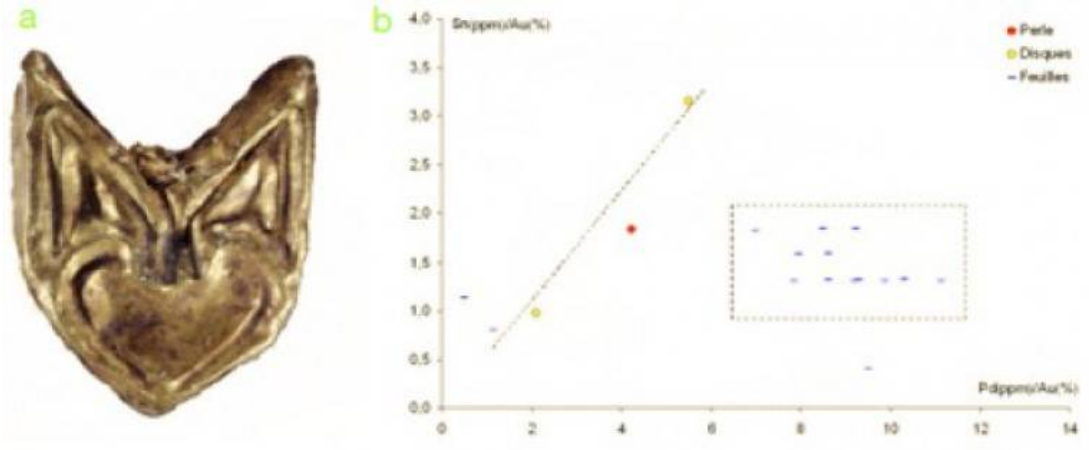


Figure 3 - a) La perle de collier de Kazanaki ; b) Représentation des rapports Sn (en ppm)/Au (en %) et Pd (en ppm)/Au (en %) pour les objets étudiés.
Les fortes teneurs en étain (jusqu'à 850 ppm) présentes dans ces alliages sont caractéristiques des ors d'origine alluvionnaire.

Auteur(s)/Autrice(s) : C2RMF/D. Bagault – Licence : Reproduit avec autorisation

La composition de l'alliage de cet ensemble d'objets correspond à celle attendue pour des ors de type alluvionnaire (possédant en général des teneurs inférieures à 40 % d'argent et 2 % de cuivre), avec une teneur moyenne d'Ag de 22,5 % et de Cu de 1,5 %. Les fortes teneurs en étain ainsi que la présence de platine – celle-ci déterminée par PIXE-XRF pour un petit nombre d'objets – confirment l'utilisation d'un or alluvionnaire et nous permet ainsi d'envisager que l'or utilisé à Kazanaki au XIV^{e} siècle av. J.-C. est d'origine alluvionnaire, obtenu par orpaillage peut-être à l'aide de peaux de moutons.

Les teneurs en étain et palladium pour la totalité des objets étudiés suggèrent l'existence de deux ors, comme l'illustre la figure 3b, dont un est caractérisé par une corrélation de ces deux éléments. Néanmoins, sans analyse de références, nous ne pouvons pas déterminer s'il s'agit de gisements alluvionnaires différents ou de l'emploi, pour un même gisement, de procédés d'affinage distincts.

3. Monnaie et orfèvrerie d'Islam : analyse sur prélèvement

Le trésor de l'épave de la baie de Salcombe (Devon, Angleterre), conservé au British Museum, contient, parmi d'autres objets constitués de matériaux très divers, quatre cents monnaies (dinars), bijoux cassés et lingots en or. Grâce à la présence de dinars appartenant au règne de Sharif al-Walid (1631-1636), le naufrage a été daté du XVII^{e} siècle. Témoignage du trafic entre l'Europe et l'Afrique du Nord, la présence d'objets cassés mène à l'hypothèse d'exportation pour refonte. Cependant, aucune indication ne permettait de vérifier si les monnaies et les bijoux, dont le style indique une production des ateliers nord africains, avaient été fondus pour fabriquer les lingots.

En sachant qu'un large nombre de monnaies de ce trésor ont été frappées par Ahmad al-Mansur (1578-1603), qui a contrôlé les routes sahariennes de l'or de Gao et Timbuktu, nous avons été sollicités par V. Porter, conservatrice au British Museum, pour comparer la composition des bijoux et lingots à nos données chimiques pour l'or du monde islamique. Ces données, obtenues lors de l'analyse de dinars émis par différents ateliers à l'époque de l'expansion musulmane et de pépites d'or de régions minières d'Afrique de l'Ouest **[4]**, avaient permis de caractériser et différencier des ors de diverses provenances.

Parmi les objets du trésor de Salcombe, nous avons sélectionné huit lingots, cinq bijoux et huit monnaies. Des micro-prélèvements sur ces objets ont été dissous pour analyse par ICP-MS. Les teneurs obtenues pour le palladium, le platine et l'étain montrent clairement que les objets de Salcombe forment un groupe chimique unique, défini par la majorité des dinars et des pépites d'or d'Afrique de l'Ouest (figure 4). Ceci nous permet d'avancer l'hypothèse de refonte de monnaies et bijoux pour le transport de l'or sous forme de lingots et de proposer l'Afrique de l'Ouest comme provenance de l'or utilisé pour la fabrication des bijoux et monnaies de ce trésor.

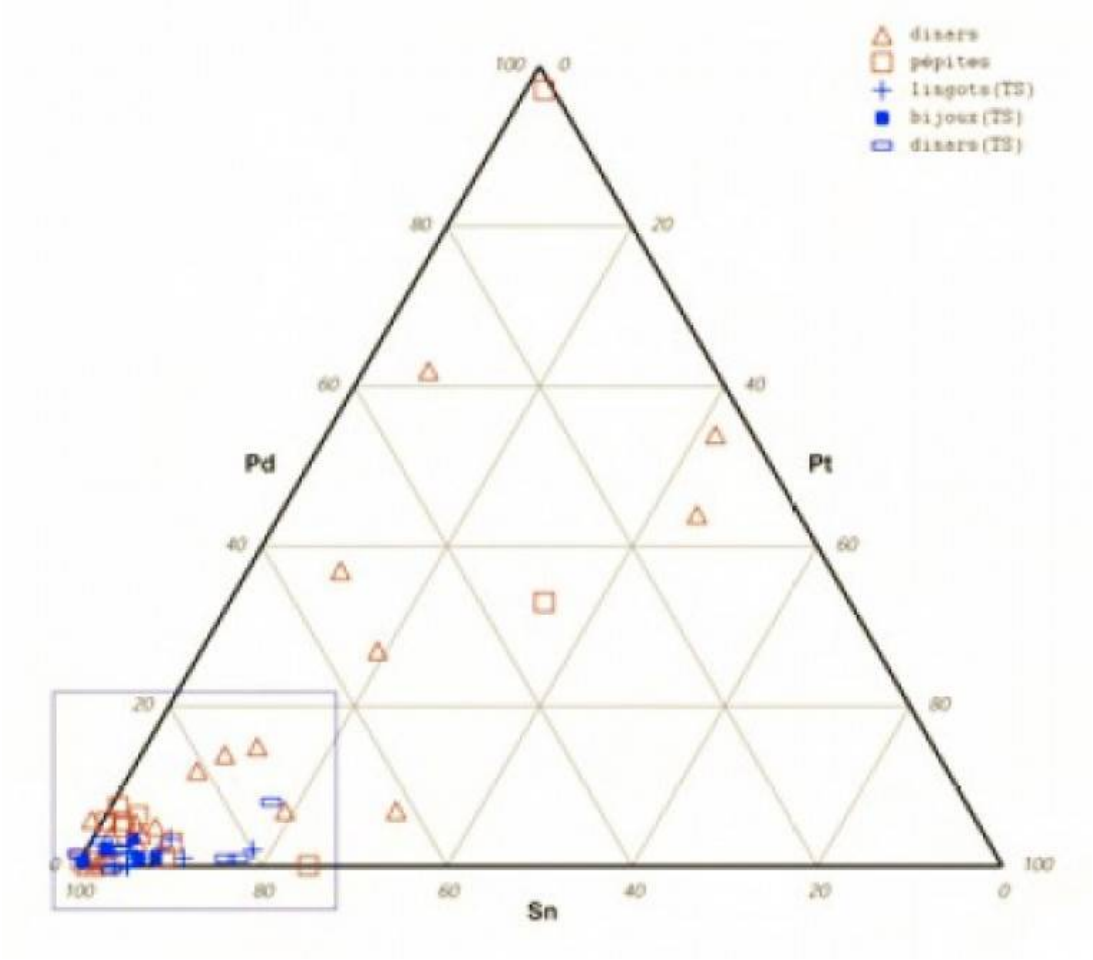


Figure 4 - Représentation des teneurs en Pt, Pd et Sn (en ppm puis normalisées à 100) présentes dans les objets du trésor de Salcombe (indiqué par TS) ainsi que dans des dinars et des pépites d'or d'Afrique de l'Ouest.
Les objets de Salcombe forment un groupe chimique unique, constitué par la majorité des dinars frappés en Afrique de l'Ouest et les pépites d'or provenant du Ghana, de la Côte d'Ivoire et du Mali (85 % des données se trouvent dans ce groupe).

Auteur(s)/Autrice(s) : C2RMF/D. Bagault

4. Conclusion

La mise au point de techniques d'analyse élémentaire, telles PIXE, SR-XRF et ICP-MS, permet d'aborder les problèmes concernant l'origine et la provenance de l'or ancien. Selon la problématique et le type d'objets, des analyses soit non invasives, soit utilisant des microprélèvements, permettent de mesurer les éléments traces dont les rapports sont caractéristiques d'un type de gisement et parfois d'une région minière. En effet, si dans le cas de l'or mycénien nous avons pu montrer l'origine alluvionnaire de l'or, grâce à la comparaison des objets du trésor de Salcombe à d'autres du monde islamique déjà analysés, nous avons aussi pu déterminer la provenance de l'or. Les difficultés liées à la chaîne opératoire du métal doivent être prises en compte. Des essais simulant les différentes étapes métallurgiques du minerai au métal permettent, d'une part de vérifier les hypothèses émises sur les différents procédés, et d'autre part de tester la place de certains éléments traces dans le cadre des études de provenance.

Ces travaux ne sont possibles que grâce à la collaboration de différentes équipes d'archéologues, chimistes, historiens, métallurgistes et physiciens, dans le cadre de projets et groupements nationaux et internationaux.

5. Bibliographie et ressources en ligne

[1] Regert M., Guerra M.F., Reiche I., Analyses physico-chimiques des matériaux du patrimoine culturel : objectifs, principes,

méthodes et exemples d'application, Techniques de l'Ingénieur, **2006**, P 3780, p. 1-21 ; P 3781, p. 1-11.

[2] Guerra M.F., Calligaro T., The analysis of gold: manufacture technologies and provenance of the metal, Meas. Sci. Technol., **2003**, 14, p. 1527.

[3] Guerra M.F., Trace elements fingerprinting using accelerators and ICPMS: circulation of gold from the 6th century BC to the 12th century AD, Cultural Heritage Conservation and Environmental Impact Assessment by Non-Destructive Testing and Micro-Analysis, R. Van Griecken, K. Janssen (eds), Balkema, Londres, **2005**, p. 223.

[4] Guerra M.F., The circulation of gold in the Portuguese area from the 5th to the 18th century, Ancient gold technology: America and Europe, A. Perea, I. Montero, O. Garcia-Vuelta (eds), Anejos de AespA XXXII, Madrid, **2005**, p. 423.

[5] Thomas N., Prendre de l'acier pour de l'or : imaginaire et procédés métallurgiques du Moyen Âge au XVIII^{e} siècle, Hypothèses 2005, Publications de la Sorbonne, Paris, **2006**, p. 175.

CRÉDITS

AUTEUR(S)/AUTRICE(S)

Maria Filomena Guerra

Directrice de recherche au CNRS, rattachée à l'UMR-ArchAm, Archéologie des Amériques de l'Université Panthéon-Sorbonne (en 2016)

MISE EN LIGNE

Nicolas Lévy

Professeur agrégé de chimie, responsable du Centre de Préparation à l'Agrégation externe de Chimie (École Normale Supérieure de Paris - Sorbonne Université - Université Paris-Saclay), responsable éditorial de CultureSciences-Chimie de 2008 à 2014.

PARTENAIRE(S)

Cet article provient du numéro spécial de l'Actualité Chimique sur Chimie et Patrimoine Culturel, Octobre-Novembre 2007, n° 312-313.

Actualité Chimique n° 312-313

NOTES

1. Gisement détritique : gisement sédimentaire où s'accumulent les minéraux transportés par des courants d'eau.
2. L'origine du métal est le type de gisement, la provenance est le lieu.