Chapitre 7

L'or et l'argent monnayés

Maryse Blet-Lemarquand, Sylvia Nieto-Pelletier, Guillaume Sarah
IRAMAT Centre Ernest-Babelon (CNRS-Université d'Orléans), 3D rue de la Férollerie, 45071 Orléans cedex 2

7.1 Introduction

Rechercher la provenance de l'or ou de l'argent d'une monnaie en métal précieux revient *stricto sensu* à s'interroger sur la localisation de la mine ou du gisement d'où le minerai aurifère ou argentifère a été extrait [1]. Pour apporter des éléments de réponse, la démarche consiste actuellement à déterminer des caractéristiques géochimiques du métal contenu dans les monnaies, notamment les teneurs en éléments traces et/ou les rapports isotopiques du plomb ou d'autres éléments, et de comparer ces données à celles obtenues pour des échantillons de minerais d'or ou d'argent. Dès lors que les signatures chimiques et/ou isotopiques varient moins à l'intérieur d'un gisement donné que d'une source à l'autre et qu'elles sont conservées de la mine à l'objet, il est permis de proposer des provenances [2].

Les monnaies sont des objets d'étude particulièrement adaptés pour ces recherches et cela pour différentes raisons. Elles ont été fabriquées sous la responsabilité d'une autorité émettrice (roi, empereur, cité, peuple, etc.), selon un cahier des charges précis portant sur leur type, leur masse, leur module et surtout leur titre, c'est-à-dire leur proportion en métal précieux. Il est généralement possible de dater leur émission, avec il est vrai une incertitude très variable suivant les monnayages, comprise entre quelques mois et plusieurs décennies. De plus les monnaies sont des objets de série qui ont été le plus souvent produites en grandes quantités, même si le nombre de celles qui sont parvenues jusqu'à nous est parfois très réduit : leur composition élémentaire et les rapports de leurs isotopes sont donc supposés représentatifs de ceux d'une masse de métal monnayé bien supérieure à celle d'un exemplaire.

1. On utilise habituellement en archéométrie, de façon indistincte, les termes « provenance » et « origine » pour désigner le lieu d'où provient le minerai. En numismatique, ces termes s'appliquent à la monnaie (et non plus au métal dont elle est constituée) et se réfèrent à l'histoire de sa découverte et de sa conservation [1].

Néanmoins, quel que soit le type d'objet en or ou en argent (lingot, objet semi-fini, monnaie, vaisselle, bijoux, etc.) et sa période de fabrication, la question de la provenance du métal reste délicate à résoudre. La composition élémentaire de la monnaie résulte de multiples facteurs : le type de minerai exploité, sa provenance, les différentes opérations métallurgiques réalisées pour obtenir le métal. Les gisements métallifères potentiels, à une époque donnée, ne sont pas toujours identifiés et ceux qui sont connus ne présentent pas systématiquement de signature chimique ou isotopique propre. De plus le recyclage des métaux précieux et le mélange de métaux de différentes provenances font disparaître d'éventuelles signatures spécifiques. Les sources écrites attestent de récupérations d'objets en or plus anciens (exemples cités dans [3]) qui sont très sûrement passés au creuset pour alimenter les circuits d'approvisionnement en métal. Les données textuelles, archéologiques et analytiques doivent dès lors être confrontées afin de tenter d'évaluer si le métal d'un monnayage donné est majoritairement neuf ou recyclé.

Pour éviter ces écueils, les recherches de provenance de l'or ont privilégié les objets les plus anciens, en partant de l'hypothèse qu'aux époques reculées la circulation de l'or était moins importante et que ces objets ont été fabriqués avec du métal neuf, sans refonte ni mélange. En outre, il est peu probable qu'aux époques anciennes des alliages aient été fabriqués comme en témoigne l'étude d'objets en or irlandais datés entre l'âge du Bronze ancien et l'âge du Fer menée en comparaison avec un large échantillonnage de gisements aurifères locaux [4]. La composition de ces objets représenterait donc celle du minerai d'or exploité.

Les études antérieures menées sur la provenance des métaux monnayés permettent de définir une stratégie de recherche. Évaluer les chances de succès d'une campagne d'analyses visant à déterminer le gisement d'origine du métal précieux est un préalable indispensable à son éventuelle mise œuvre. À partir des sources textuelles et archéologiques, il convient dans un premier temps d'identifier les gisements qui auraient pu approvisionner les ateliers monétaires et dont la période d'exploitation coïncide avec celle de l'émission des pièces. L'accessibilité des monnaies et des moyens analytiques adaptés doit être prise en compte, de même que celle des échantillons géologiques et archéologiques susceptibles de faire l'objet d'une comparaison avec les pièces anciennes. Dans tous les cas, une étude pluridisciplinaire faisant intervenir des spécialistes de l'archéologie minière, de l'histoire économique et monétaire et des analyses des métaux anciens doit être mise en œuvre afin de répondre aux questions posées dans les meilleures conditions et avec la plus grande confiance possible.

Lorsque l'on suppose qu'une série monétaire a été fabriquée essentiellement avec du métal recyclé, ou que l'on ne peut pas faire d'hypothèse sur le gisement qui aurait livré du métal neuf, il n'est plus question de chercher à identifier une mine. Les problématiques de provenance des métaux précieux monnayés sont alors abordées en comparant les compositions élémentaires et/ou les rapports isotopiques de différents monnayages dans un contexte historique donné de façon à établir ou rejeter des filiations et étudier les approvisionnements. De telles recherches nécessitent là encore de réunir une équipe pluridisciplinaire pour être menées à bien.

7.2 Provenance du métal monnayé

7.2.1 Méthodologie

7.2.1.1 La caractérisation des monnaies

• Les méthodes d'analyse élémentaire

Les études de provenance imposent de recourir à une méthode d'analyse élémentaire possédant certaines caractéristiques. La méthode employée doit permettre de déterminer la concentration du plus grand nombre d'éléments avec des limites de détection aussi faibles que possible. Il faut en outre s'assurer de son adéquation avec les différents types d'hétérogénéité qui peuvent affecter les monnaies anciennes en métal précieux. Ces hétérogénéités se manifestent de différentes manières. Les monnaies d'argent qui sont en alliages argent-cuivre, sont souvent enrichies en argent en surface, suite au départ partiel du cuivre lors de la fabrication monétaire et au cours du vieillissement de l'objet [5]. Des phénomènes semblables sont aussi susceptibles de concerner les monnaies d'or lorsqu'elles sont constituées d'alliages or-argent [6] ou or-argent-cuivre [7]. De plus certains éléments qui ne sont pas miscibles dans le métal ou l'alliage monétaire forment des phases séparées tels le plomb des monnaies d'argent et certains éléments platinoïdes des monnaies d'or (voir *infra* les inclusions d'éléments platinoïdes). Ainsi, une caractérisation ponctuelle doit tenir compte des éventuelles évolutions de la composition de la surface vers l'intérieur de la monnaie afin d'être représentative de l'analyse de l'ensemble de l'objet. Pour des objets historiques précieux comme les monnaies, il convient enfin que l'analyse soit non destructive, ou tout du moins qu'elle n'occasionne pas de dommages visibles à l'œil nu. Différentes études attestent que les méthodes d'activation protonique et LA-ICP-MS (*Laser Ablation-Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*) répondent à ces différents critères tant pour les monnayages en or que pour ceux en argent (pour les aspects méthodologiques voir [5,8-12]).

• Évolution de la composition élémentaire du minerai à la monnaie

Si déterminer les teneurs d'un grand nombre d'éléments est un atout pour relier les caractéristiques chimiques de l'objet à celles du minerai, il s'avère qu'il n'est pas pertinent d'étudier les teneurs de tous ceux que les méthodes employées permettent de détecter. Certains éléments constitutifs des objets en or seraient spécifiques au minerai tandis que d'autres seraient potentiellement des impuretés introduites par d'éventuels ajouts d'argent et de cuivre. Par exemple, la variabilité des teneurs en plomb des monnaies en or est habituellement utilisée pour tracer l'ajout d'argent [9,13]. Le comportement des éléments traces tout au long de la chaîne opératoire de la métallurgie de l'or est aussi une question essentielle. Les premiers pas de la métallurgie de l'or ont vraisemblablement consisté à agglomérer des particules de métal jaune puis à les fondre [14]. Diverses expérimentations de fonte de minerais d'or ou de métal artificiellement enrichi en éléments traces ont été menées en faisant varier les conditions oxydantes ou réductrices [14-16]. Ainsi l'oxyde d'étain peut être séparé de l'or car il passe dans les scories sous atmosphère oxydante mais il est réduit à l'état métallique lorsque les conditions sont réductrices [14]. Ces expérimentations ont permis de classer les éléments en trois groupes selon leur comportement (tableau 7.1). Ont ainsi été

distingués les lithophiles des éléments sensibles aux conditions de fonte et de ceux qualifiés de résistants. Mais pour autant les éléments affectés par la fonte de l'or ne sont pas dénués d'intérêt car ils sont porteurs d'informations sur le type de gisement aurifère.

Tableau 7.1 – Classement des éléments contenus dans l'or d'après leur comportement pendant la fonte (d'après [15] p. 109).

Éléments lithophiles	**Éléments sensibles aux conditions de fonte**	**Éléments résistants à la fonte**
Al, B, Ba, Be, Ca, Cs, Ga, Hf, K, Li, Mg, Na, Nb, P, Rb, Sc, Si, Sr, Ta, terres rares, Th, U	Cr, Mn, Fe, Co, As, Se, Cd, In, Sn, Sb, Te, Pb, Bi, Hg	Ag, Cu, Rh, Pd, Pt, Ir, Ge, Ni, Os, Ru

Peu après l'émission des premières monnaies vers 600 av. notre ère en Asie mineure, les artisans étaient capables de séparer l'or de l'argent par cémentation, comme l'attestent les fouilles de l'atelier de Sardes qui est daté du VI^{e} siècle av. J.-C. [17]. La coupellation, indispensable pour obtenir l'argent métallique à partir du minerai de plomb argentifère, était alors déjà maîtrisée depuis longtemps [18]. Dans certains cas son usage a été étendu aux minerais aurifères [19]. Le comportement de certains des éléments traces a été étudié lors d'expérimentations de coupellation de plomb argentifère [20,21] et d'alliage à base d'or [22]. Elles démontrent que les éléments tels que l'arsenic, l'antimoine, le cuivre, le zinc et l'étain sont efficacement séparés de l'argent. En revanche, l'argent métallique contient toujours des résidus de plomb et des quantités de bismuth parfois non négligeables [14,22,23]. L'or est l'un des rares éléments contenu à l'état de trace dans l'argent dont la teneur relative reste constante du minerai à l'argent métallique. La plupart des métaux nobles de la famille du platine, dont le comportement chimique est proche de celui de l'or, présenteraient également cette propriété [24]. Des expérimentations de coupellation d'alliages or-argent-cuivre ont notamment démontré que ce procédé d'affinage conservait les rapports entre les concentrations en or, argent, platine et palladium [22]. Il n'en reste pas moins que les expérimentations visant à mieux cerner le comportement des éléments mineurs et traces lors des procédés métallurgiques menées jusqu'à maintenant mériteraient d'être complétées et systématisées pour de plus nombreux éléments.

Finalement, rares sont les éléments traces dont la teneur serait intégralement conservée du minerai aurifère ou argentifère à la monnaie, quelles que soient les opérations métallurgiques réalisées. Néanmoins l'évolution de la teneur de chaque élément trace dépend en premier lieu de sa concentration de départ dans le métal natif ou le minerai. Même si les opérations métallurgiques réduisent les teneurs de certains éléments, il peut rester possible de différencier du métal produit à partir de deux sources sous certaines conditions, par exemple si l'une possède plus de l'élément X au départ et l'autre nettement moins et qu'une différence mesurable demeure après les opérations métallurgiques [21].

L'étain est un des éléments qui sont séparés de l'or et de l'argent au cours des opérations métallurgiques. Cependant sa teneur dans les monnaies en or mérite d'être

étudiée : sa présence en proportions significatives signerait l'origine alluvionnaire du minerai d'or lorsqu'il n'est pas le résultat d'un ajout de bronze [25]. L'étain est régulièrement présent à des niveaux de teneurs non négligeables dans les objets protohistoriques [26,27], et dans certains monnayages en or ou en alliages or-argent qui n'ont pas été altérés par des ajouts de cuivre [28,29]. Le bismuth et le zinc ont également été utilisés en corrélation avec l'étude numismatique des monnaies d'argent médiévales pour différencier des exemplaires constitués de métaux dont l'origine diffère (voir exemples développés *infra*).

• Les inclusions d'éléments platinoïdes dans les monnaies d'or

Des inclusions riches en éléments platinoïdes ont été repérées à la surface d'objets en or de types variés, monnaies ou pièces d'orfèvrerie [30-32]. Elles sont de couleur gris acier parfois légèrement bleuté et de diverses formes (rondes, angulaires ou irrégulières). Les plus grosses d'entre elles atteignent généralement 50 à 150 micromètres dans leur plus grande dimension. Majoritairement constituées des éléments osmium, iridium et ruthénium, elles se trouveraient associées aux particules d'or au terme du transport fluvial. Leur présence dans l'or ancien prouverait que l'or utilisé provient, totalement ou en partie, de gisements secondaires. Mais leur composition élémentaire apparaît bien trop variable d'une inclusion à l'autre au sein d'un même objet pour fournir des informations fiables sur la provenance de l'or. Ces problématiques ont aussi été abordées au moyen des rapports isotopiques de l'osmium [33]. Les inclusions d'éléments platinoïdes résisteraient à la fonte de l'or et à la cémentation mais seraient attaquées lors de la coupellation [34,35].

• Les rapports isotopiques

Des travaux récents ont fait état d'essais de traçage de la provenance des métaux utilisés pour la frappe monétaire en se fondant sur les isotopes de l'argent et sur ceux du cuivre [36,37]. Les recherches sur ces isotopes naturellement stables sont néanmoins très récentes et peu répandues, et le recul manque quant à leur faisabilité en archéométrie. Dans ce domaine, le dosage des rapports isotopiques a jusqu'à maintenant porté très majoritairement sur ceux du plomb, qui présentent des caractéristiques qui les différencient des autres et les rendent particulièrement attractifs pour l'historien de la monnaie [38-40].

Certains éléments présentent à l'état naturel plusieurs isotopes, des atomes dont le noyau possède le même nombre de protons mais un nombre différent de neutrons. Il en résulte qu'il s'agit du même élément mais dont chaque isotope possède une masse différente. Chacun de ces isotopes possède une « abondance naturelle » qui est la même quel que soit le matériau étudié : par exemple, l'argent possède deux isotopes naturels de masses 107 et 109 dont les abondances relatives sont respectivement de 51,8 % et de 48,2 %. La décroissance radioactive de certains éléments peut avoir une influence sur l'abondance isotopique relative de ces mêmes éléments ou d'autres. Ainsi, les chaînes de décroissance de l'uranium et du thorium produisent des atomes de plomb de masses 206, 207 et 208. Selon son âge, une formation géologique contiendra des quantités variables de chacun de ces isotopes. La mesure de leur rapport devient ainsi un marqueur de l'âge géologique d'une roche et donc d'une source de minerai,

et par conséquent un élément de discrimination entre des gisements. Le plomb est l'élément pour lequel les recherches de provenance isotopique sont les plus anciennes et les plus nombreuses : les minerais exploités pour l'argent aux temps anciens sont le plus souvent de la galène, un sulfure de plomb, et présentent cette spécificité de variabilité des rapports isotopiques du plomb. Ces derniers n'étant pas altérés par les procédés métallurgiques mis en œuvre pour obtenir l'argent, et la monnaie d'argent contenant dans la très grande majorité des cas une quantité de plomb non négligeable, il est possible de déterminer les rapports isotopiques du plomb – ou d'un autre élément qui présenterait les mêmes caractéristiques – et de les comparer aux sources possibles du minerai dont ce métal pourrait être issu.

L'étude des rapports isotopiques pour les recherches de provenance des métaux monnayés doit cependant être employée conjointement à l'étude des sources archéologiques, textuelles et numismatiques. Le mélange de différents stocks métalliques est en effet susceptible de conférer à l'alliage qui en résulte une signature géochimique correspondant à une source existante, sans qu'il y ait de lien réel avec elle. Il est de plus possible que deux sources différentes, exploitées à une même époque et sous une même autorité, possèdent des caractéristiques géochimiques indiscernables par l'analyse. Les résultats obtenus à l'occasion d'analyses des rapports isotopiques du plomb doivent donc être considérés comme une information à confronter à d'autres types de données afin d'établir une hypothèse qui soit la plus probable sur le plan historique.

Traditionnellement utilisée pour le traçage de la provenance des monnaies ou objets en argent, l'approche des rapports isotopiques du plomb a été récemment appliquée à des minerais aurifères et des objets en or : minerais or-argent roumains [41] et monnaies d'or celtiques, en complément de la composition élémentaire [42]. Les faibles teneurs en plomb de l'or ancien et la nécessité de préserver l'intégrité des objets constituent des limites sérieuses pour appliquer l'approche isotopique à de grands corpus de monnaies en or.

7.2.1.2 Inventaire et caractérisation des gisements potentiels

Les sources textuelles anciennes nous font connaître les régions qui possédaient des gisements métallifères importants et elles doivent être consultées pour toute tentative d'inventaire de sources de métaux. Mais bien qu'elles puissent receler des informations précieuses, il convient de garder à l'esprit certaines limitations qui les caractérisent : souvent insérées dans des récits ou des descriptions qui se réfèrent parfois à des événements antérieurs à la vie de l'auteur, elles doivent être considérées comme des indications générales et trop d'importance ne peut leur être accordée. La connaissance des sources de métaux dans une région donnée et pour une période définie doit résulter d'une approche pluridisciplinaire et, dans la mesure du possible, faire intervenir la géologie, l'archéologie et les analyses de laboratoire. Des inventaires ont été dressés ces dernières décennies ; voir, par exemple, pour la Préhistoire [43], pour l'Antiquité [44-46], pour le monde islamique [47], pour l'argent en France au Moyen Âge [48] et plus généralement [49] pour cette période.

Les données géologiques et géochimiques seules sont des informations qui ne peuvent pas être négligées dans le cadre d'une recherche portant sur les périodes anciennes

mais elles ne doivent pas être considérées comme suffisantes. Les connaissances archéologiques sont en effet indispensables pour donner du sens à l'étude d'un gisement : dans les cas les plus favorables, il peut être possible de suivre les traces des mineurs anciens et d'accéder au métal natif ou au minerai dans le contexte de l'époque. De même, les vestiges des traitements minéralurgiques et métallurgiques, en particulier les déchets métalliques et céramiques, doivent être pris en considération. Leur examen peut permettre de mieux comprendre les procédés techniques mis en œuvre et donc d'optimiser l'interprétation des analyses ultérieures. Ces analyses doivent autant porter sur le produit fini qu'est la monnaie ou l'objet en métal précieux que sur le minerai prélevé en divers points du lieu d'extraction, si possible avec le renfort de datations au carbone 14 de résidus organiques liés à ces activités, ce qui permettra de replacer dans leur contexte les données analytiques. C'est la mise en commun et la confrontation de toutes ces informations qui offrent les meilleures chances de succès des études de provenance des métaux précieux anciens.

Les caractérisations de gisements aurifères pour les études de provenance de l'or ancien ont surtout porté sur des placers, ces gisements secondaires de roches sédimentaires, le plus souvent d'origine alluvionnaire, produisant des métaux et des minéraux lourds, notamment de l'or. Ces travaux ont montré que la composition élémentaire peut varier selon l'échelle de l'étude, du grain d'or au dépôt alluvionnaire [50]. En effet, les grains d'or sont souvent enrichis en or à leur surface (zonation) et peuvent contenir des micro inclusions. Les variations de composition chimique au sein d'un placer aurifère reflètent celle du gisement primaire ou montrent que le gisement secondaire dérive en fait de plusieurs sources primaires possédant des signatures chimiques variées [4]. Un échantillonnage insuffisant risque donc de fausser la signature des gisements. La caractérisation des gisements aurifères exploités par les hommes au cours des siècles reste très inégale suivant les régions et les périodes mais des études récentes ou encore en cours laissent espérer des développements fructueux. Les recherches se sont surtout concentrées sur les gisements supposés exploités aux époques anciennes : Îles Britanniques (Écosse : [51,15] ; Irlande : [4]), Europe centrale et du sud-est : [41,15], Géorgie : [52], Péninsule ibérique : [53,54]. Les critères descriptifs utilisés sont la composition chimique, principalement en éléments majeurs or et argent, mais les derniers travaux intègrent aussi la détermination des teneurs des éléments traces [15], l'étude des associations minéralogiques [50] et les analyses isotopiques du plomb [41].

Pour l'argent, plusieurs gisements ont fait l'objet par le passé de travaux pluridisciplinaires visant à mieux comprendre leur exploitation aux époques anciennes. Une initiative à saluer est celle du laboratoire Isotrace de l'Université d'Oxford qui a réalisé une base de données des caractéristiques isotopiques du plomb de nombreuses sources d'argent. La plupart d'entre elles furent exploitées pendant l'Antiquité et recouvrent le pourtour méditerranéen, auquel doivent être ajoutées les Îles Britanniques ([40] ; base de données OXALID pour Oxford Archaeological Lead Isotope Database disponible en ligne http ://oxalid.arch.ox.ac.uk/). D'autres données, moins systématiques ou moins accessibles, concernent la France, l'Allemagne, l'Europe centrale et orientale (liste non exhaustive : [55-59]). Enfin, tout reste à faire ou presque, à de rares exceptions près, pour la caractérisation géochimique des gisements de métaux anciens d'Asie et d'Afrique. Il a été suggéré qu'une vingtaine d'échantillons est suffisante pour

cerner la variabilité géochimique d'un gisement, si tant est que ces prélèvement soient judicieux ([39] p. 351). Les freins à la mise en place de telles recherches ne tiennent pas tant au coût des analyses qu'à la convergence, à un moment donné et sur un gisement précis, d'archéologues qui en ont une bonne connaissance et d'analystes disposés à une utilisation de leurs moyens à cette fin.

7.2.1.3 Relation minerai-objet

Alors que les différences chimiques et/ou isotopiques entre objets en or et ors géologiques permettent de réfuter des hypothèses de provenance, les similitudes sont beaucoup plus difficiles à interpréter pour valider une provenance donnée. La complexité de relier fidèlement la composition élémentaire d'objets en or à celle d'échantillons d'or natifs a été mise en évidence dans diverses études consacrées aux premiers objets en or. Par exemple les objets géorgiens de l'âge du Bronze contiennent des proportions variables de cuivre alors que cet élément est présent à de faibles niveaux de teneurs dans les échantillons géologiques d'or analysés. À cette époque, le mode d'exploitation du gisement aurifère aurait conduit à introduire des minéraux riches en cuivre qui n'auraient pas été séparés de l'or par les procédés métallurgiques [52]. L'étude menée sur le soleil du disque céleste de Nebra daté de l'âge du Bronze a permis de proposer les Cornouailles comme provenance de l'or en se fondant sur les teneurs de certains éléments traces. Mais les échantillons d'or géologique se sont révélés systématiquement appauvris en cuivre et en platine par rapport à l'or archéologique [60]. Ces différences sont mises sur le compte de micro inclusions minérales ou de contaminations involontaires en minéraux lourds pendant le procédé de fabrication. D'une façon plus générale, elles posent la question du degré de similitude nécessaire pour établir des provenances. C'est en confrontant les deux approches indépendantes que sont la composition chimique en éléments traces et les rapports isotopiques que l'assignation d'une provenance apparaît la plus assurée (voir cas de l'or géorgien par exemple [52]).

La présence ou l'ajout de plomb est de plus indispensable dans les procédés métallurgiques anciens de production ou de traitement de l'argent (voir par exemple les procédés mis en œuvre pour extraire l'argent de minerais secs telle la jarosite argentifère de Rio Tinto, [18] p. 217). Il est donc possible que la signature géochimique d'un stock monétaire, en particulier ses caractéristiques en rapports isotopiques du plomb, soit modifiée par un tel ajout. Il existe donc là un biais qu'il n'est pas possible d'identifier et sur lequel aucune étude n'a été entreprise.

7.2.2 Exemples d'études sur la provenance de l'or et de l'argent monnayés

Certains travaux qui sont parvenus à établir des rapprochements entre des mines et des monnayages en métaux présentent un caractère exemplaire. Pour l'Antiquité, les mines d'argent du Laurion en Grèce ont bénéficié d'une étude pluridisciplinaire dès les débuts de l'application de ces approches. L'analyse d'échantillons de minerai, de déchets issus de fouilles archéologiques et de monnaies émises par différentes cités grecques a permis d'établir des liens géochimiques entre eux et d'en déduire des réseaux d'approvisionnement [24,61-63]. L'étude la plus complète sur le plan méthodologique concerne une période plus tardive, le haut Moyen Âge, et un gisement français de plomb argentifère, celui de Melle dans le Poitou. Les métaux d'Amérique

latine à l'époque moderne ont fait l'objet de différents travaux portant sur l'or du Brésil et de Colombie [64,65] et l'argent du Potosi [65-69]. Des recherches exploratoires ont également été menées sur l'approvisionnement en argent des Arvernes. Différents paramètres expliquent pourquoi les études des métaux du Nouveau Monde ont livré des résultats probants. Ils peuvent être caractérisés par un seul élément trace, leur exploitation est bien connue et la production monétaire est bien documentée.

7.2.2.1 L'argent des Arvernes

Peuple puissant du Centre de la Gaule, les Arvernes ont émis un monnayage d'argent abondant et varié dès La Tène D1 (150-80 av. J.-C.) [70]. Les résultats des analyses élémentaires (par activation aux neutrons rapides de cyclotron) associés aux cartes de répartition des trouvailles et aux sources textuelles, qui témoignent de liens entre ce peuple et le Sud de la Gaule, sont à l'origine d'une étude des rapports isotopiques du plomb [71,72]. À partir des données fournies par É. Marcoux [2] sur les caractéristiques isotopiques des gisements français, cinq grandes régions ont été définies pour le Massif central recouvrant d'une part l'aire de circulation principale des monnaies d'argent arvernes et s'étendant, d'autre part, vers le pourtour méditerranéen [55]. En dépit des limites inhérentes à ce type d'étude, et signalées plus haut, les comparaisons des rapports isotopiques déterminés pour 13 monnaies arvernes avec ceux caractérisant les gisements dans la région définie ont permis de dégager quelques grandes tendances. Contre toute attente, aucune relation n'a pu être établie avec les gisements situés dans le Centre-Ouest et dans le Centre-Est du Massif central, c'est-à-dire à proximité des lieux supposés de frappe. En revanche, des rapprochements ont pu être faits, ponctuellement, avec des gisements situés en Limousin mais surtout avec ceux localisés dans le Sud-Est du Massif central (figure 7.1).

Ces premiers résultats, même s'ils sont à considérer avec réserve, offrent néanmoins de nouvelles perspectives en orientant vers le sud un hypothétique approvisionnement, tout au moins en excluant les gisements répertoriés par É. Marcoux situés dans l'aire de circulation des monnaies arvernes. À partir de ces premiers résultats, des analyses de rapports isotopiques complémentaires ont été réalisées afin de déterminer si l'argent arverne pouvait avoir la même origine que celui utilisé pour la fabrication des monnaies de peuples situés plus au sud et qualifiés par César de « vassaux » (les Cadurques) ou d'« alliés » des Arvernes (les Rutènes) (*BG* I, 45 ; VII, 75) et qui ont frappé des émissions communément appelées monnaies « à la croix ». Les monnaies arvernes ont des rapports isotopiques qui coïncident avec ceux obtenus pour l'ensemble des monnaies « à la croix », quelle que soit leur attribution (figure 7.1). Cette similitude des résultats est paradoxale étant donné l'absence de concordance avec les signatures isotopiques des minerais du Sud-Ouest du Massif central où se localisent les territoires attribués aux Rutènes et aux Cadurques. S'il est tentant de vouloir rapprocher les monnaies arvernes des monnaies « à la croix » sur le plan des rapports isotopiques, les résultats obtenus nous autorisent seulement à conclure que l'alliage employé pour frapper les monnaies d'argent arvernes présente une signature

2. Les informations rassemblées par É. Marcoux ne constituent pas un panorama des gisements exploités à l'âge du Fer. Mais en l'absence de gisements datés et pour lesquels la signature isotopique est connue, l'étude d'É. Marcoux offre une première base de travail.

isotopique proche de celle des monnaies « à la croix » analysées. Quant à déterminer des gisements potentiels d'approvisionnement, il serait aventureux d'aller plus en avant en l'absence d'échantillon de minerai archéologique daté.

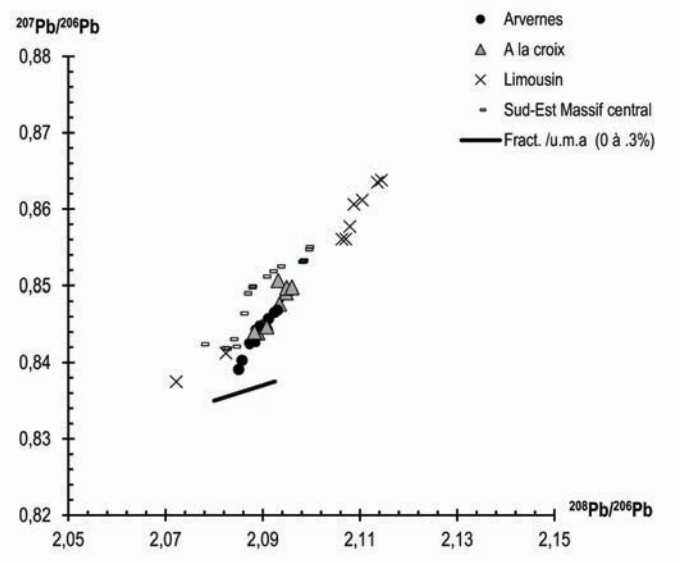


FIGURE 7.1 – Rapport $^{207}Pb/^{206}Pb$ en fonction de $^{208}Pb/^{206}Pb$ pour les monnaies d'argent arvernes, les monnaies « à la croix » et les gisements situés dans le Limousin et au Sud-Est du Massif central (d'après [71,72]).

Dans le cadre d'une étude sur les relations entre monnayages arverne, rutène et cadurque, de tels résultats, même s'ils sont encore préliminaires, sont essentiels. Confrontés aux sources textuelles, ils devraient permettre, à terme, d'appréhender au mieux les relations entre ces trois peuples, notamment en matière d'approvisionnement du métal monnayé, d'autant que plusieurs mines d'argent sont identifiées dans les territoires traditionnellement attribués aux Rutènes et aux Cadurques [73]. Des analyses complémentaires sont donc souhaitables tout particulièrement pour élargir l'échantillonnage des monnaies mais également pour affiner celui des minerais en se concentrant sur des gisements dont l'exploitation est datée de La Tène comme c'est le cas notamment en Auvergne à La Minayre et à La Rodde, dans l'Aveyron à Villefranche-de-Rouergue et de façon encore incertaine dans le Mont Lozère chez les Gabales [45].

7.2.2.2 L'argent de Melle

La mine d'argent de Melle présente des caractéristiques qui laissent supposer que l'étude de la diffusion de sa production peut être couronnée de succès. Exploitée pendant plusieurs siècles du haut Moyen Âge puis abandonnée sans reprise ultérieure, elle est une source de connaissances intacte pour les archéologues miniers. Elle a de plus bénéficié de recherches géologiques durant la seconde moitié du XX^{e} siècle et de recherches archéologiques et techniques ininterrompues depuis le milieu des années 1990. Le type de minéralisation qui y était exploité, son mode d'extraction et les procédés de

son traitement sont dorénavant bien connus. Les analyses élémentaires et isotopiques ont en outre été mises en œuvre pour suivre la diffusion d'un des sous-produits de la production de l'argent à Melle. La signature isotopique du gisement a été circonscrite et comparée à celle des monnaies de l'atelier monétaire local et d'autres officines proches ou plus éloignées [74]. Le dosage des éléments traces a permis de mettre en évidence la particularité de l'argent neuf monnayé par l'atelier de Melle en comparaison avec les pièces d'autres localités qui selon toute vraisemblance refondaient du métal pour la frappe monétaire. Globalement, les pièces de Charlemagne de la fin du VIII^{e} siècle au nom de Melle présentent des teneurs en or et en zinc plus faibles que les autres (figure 7.2). Les teneurs résiduelles plus importantes pour ces deux éléments dans l'argent des autres pièces peuvent s'expliquer par la refonte répétée de métal contenant des niveaux d'impuretés plus forts que l'argent neuf mellois.

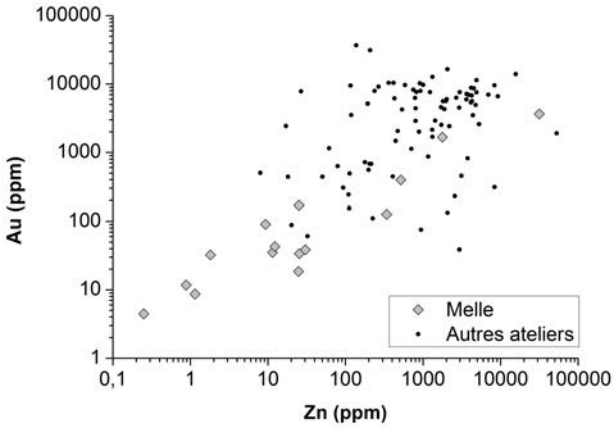


Figure 7.2 – Graphique des teneurs en Au en fonction de celles en Zn pour les monnaies en argent de Melle et celles des autres ateliers carolingiens (d'après [75]).

Des galets de verre de forme caractéristique, parfois appelés « lissoirs », ont d'autre part été retrouvés sur de nombreux sites archéologiques d'époque carolingienne, en particulier au nord de la Loire, sur les côtes de la Mer du Nord jusqu'aux Îles Britanniques, en Scandinavie et même en Russie [76]. Certains de ces objets sont très riches en plomb et présentent une signature géochimique qui se superpose parfaitement avec celle du gisement de Melle. Il a ainsi pu être proposé que ces galets de verre, dont la fonction reste énigmatique, seraient le produit du retraitement de scories vitreuses qui résultent de l'opération de réduction de minerai à Melle.

7.2.2.3 L'or du Brésil

Les Portugais ont exploité l'or du Brésil à partir de la fin du XVII^{e} siècle puis durant tout le XVIII^{e} siècle et l'ont utilisé notamment pour battre monnaie. Les exemplaires qui ont servi à régler des transactions commerciales avec d'autres pays ont été refondus à l'étranger, si bien que l'or brésilien s'est finalement diffusé dans le stock monétaire européen. Cet or présente la particularité d'être naturellement riche en palladium, la

proportion de cet élément atteignant plus de 10 % dans certaines pépites [64]. Les techniques d'exploitation et d'affinage mises en œuvre par les Portugais ne permettaient pas de séparer le palladium de l'or si bien que les monnaies portugaises émises au cours du XVIII^{e} siècle, tant au Brésil qu'au Portugal, contiennent en moyenne un peu plus de 0,1 % de palladium comme l'ont montré des analyses par activation protonique (figure 7.3). Or la concentration de cet élément est environ 100 fois moindre dans les monnaies portugaises frappées avant l'exploitation des gisements brésiliens. Cet écart de teneur important fait du palladium le traceur idéal pour suivre la dilution de l'or du Brésil dans le stock de métal précieux européen au XVIII^{e} siècle. Considérant la concentration en palladium d'un or 100 % brésilien et celle mesurée pour l'or monnayé français du XVII^{e} siècle, la proportion d'or brésilien entrant dans la composition des monnaies françaises a été calculée. Connaissant les statistiques annuelles des frappes monétaires, les quantités d'or du Brésil arrivé en France ont pu être estimées. Ces informations ont permis de quantifier le rôle joué par ce métal dans l'augmentation de la masse monétaire française au XVIII^{e} siècle, en complément des calculs fondés sur l'excédent commercial avec le Portugal. Ces deux approches, totalement indépendantes l'une de l'autre, ont abouti à des conclusions très proches ([64] p. 108) : la démarche s'appuyant sur la teneur en palladium de l'or a donc été parfaitement validée.

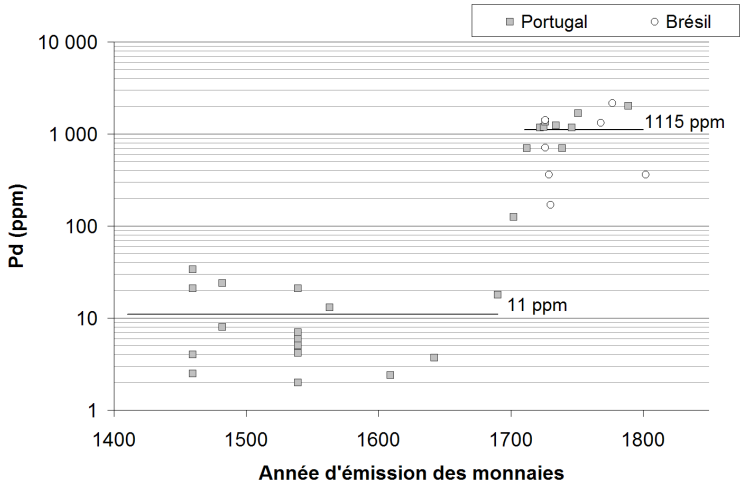


Figure 7.3 – Évolution de la teneur en Pd de monnaies d'or portugaises émises entre 1450 et 1800 (d'après [64]).

7.2.3 Émission de monnaies et possession de mines à l'époque antique

Les études de provenance de l'or monnayé nous fournissent des éléments pour réfléchir à la relation entre la fabrication monétaire et le contrôle direct de gisements métalliques. Différents exemples tirés de l'Antiquité attestent que des rois ou des cités ont frappé un monnayage grâce au métal extrait des mines qu'ils contrôlaient. Suite à la découverte d'un filon d'argent exceptionnellement riche dans les mines du Laurion, en 483 av. J.-C., la cité d'Athènes a décidé d'intensifier l'émission des « chouettes » pour

financer la construction d'une nouvelle flotte [46]. Les premières frappes de monnaies en or par Philippe II de Macédoine à partir de 352 ou de 348 av. J.-C. pourraient être rapprochées de ses conquêtes de la Thrace et du Mont Pangée dont les gisements en or sont attestés [77].

La corrélation entre frappes monétaires et possession minières n'est pourtant pas systématique. Il est d'ailleurs même plutôt rare de pouvoir établir un lien entre l'exploitation d'un gisement métallique et l'émission d'un monnayage au cours de l'Antiquité. Dès sa création, au plus tard vers 530 av. J.-C., le monnayage d'Égine est abondant alors que l'île ne possédait pas de mines d'argent. En Égypte, vers 300, les Lagides ont instauré un système monétaire fermé qui imposait leurs seules monnaies à l'intérieur de leurs frontières. On ne connaît aucune ressource métallique sur le territoire égyptien pour frapper leur très abondant monnayage en argent si ce n'est le métal qui entrait par différentes voies (commerce, guerre) et qui devait être refondu [78]. L'exemple de l'or du Brésil au XVIII^{e} siècle démontre aussi comment, grâce au commerce extérieur, des pays européens comme la France ont augmenté leur masse monétaire en or sans pour autant posséder ou contrôler de mines d'or.

Si l'accès au métal est bien évidemment une condition nécessaire pour émettre des monnaies, l'émission de monnaies répond surtout à un besoin. Le cas des Lémovices, peuple gaulois du Centre-Ouest de la Gaule, est à ce titre particulièrement éclairant. Les recherches menées par B. Cauuet dans cette région ont notamment permis d'inventorier près de 250 mines d'or et de dater leur exploitation du second Âge du Fer (fin II^{e} - fin I^{er} siècles av. J.-C. pour les sites les plus imposants) [79]. Or, dans l'état actuel des connaissances, une seule série de monnaies en or, connue à peu d'exemplaires, est attribuée à ce peuple qui a semble-t-il surtout frappé des monnaies d'argent. Cette faible représentativité des émissions en or associée à l'absence ou presque d'objets en or dans les nécropoles étudiées de l'âge du Fer a conduit à supposer que l'or des Lémovices n'est pas resté dans la région et que la fabrication monétaire locale ne représentait qu'une faible proportion des réserves en métal précieux dont disposait ce peuple [80-82].

7.3 Refontes et approvisionnements en métaux précieux

7.3.1 Notion de « stock » et problématiques étudiées

Rechercher la provenance des métaux précieux monnayés ne prend véritablement de sens que lorsque certaines conditions sont réunies et notamment lorsqu'un gisement présentant une signature chimique ou isotopique distincte de celle du métal disponible jusque-là est mis en exploitation parallèlement à l'émission de monnaies. Aussi, plutôt que de tenter d'identifier d'où proviennent l'or et l'argent des monnaies, on cherche le plus souvent à regrouper les exemplaires présentant des similitudes de composition élémentaire ou de rapports isotopiques dans un contexte historique et archéologique donné. Ces regroupements sont interprétés en termes de « stock », notion qui représente le métal utilisé à une époque déterminée dans une même aire géographique. Comme pour les études de provenance à proprement parler, les critères utilisés sont les teneurs en éléments mineurs et traces caractéristiques de l'or et de l'argent ou les rapports isotopiques du plomb. La comparaison de séries monétaires successives

ou contemporaines fournit des arguments pour discuter de l'évolution de l'approvisionnement en métal précieux et des questions de refonte, en appui des informations historiques, archéologiques et numismatiques.

Ainsi, on conclura de deux ensembles monétaires présentant des caractéristiques chimiques et/ou isotopiques distinctes qu'ils ne peuvent pas résulter d'un même stock (voir *infra* l'argent de Venise). De la même façon, lorsqu'on suppose que des monnaies ont été refondues pour frapper de nouvelles émissions, l'étude des éléments traces et/ou des rapports isotopiques peut, dans certains cas, fournir des éléments de réponse (voir *infra* les ors kouchan et romain ou les ors lagide et séleucide dans [83,84]). D'une façon plus générale, les variations de compositions en éléments traces caractéristiques révèlent des changements d'approvisionnement dans une région donnée. De nombreuses études illustrent ce phénomène (voir, par exemple, le cas de l'or d'Auguste dans [85], ou celui de l'or islamique dans [86]). Les évolutions des teneurs en éléments traces au fil des émissions d'un monnayage peuvent aussi témoigner des modifications des procédés d'affinage. Ainsi au cours du XVIII^{e} siècle la séparation du platine de l'or à l'aide du mercure s'est généralisée en Colombie et la concentration en platine des monnaies en or colombien a chuté ([64] p. 126). Des exemples sont exposés dans les paragraphes suivants pour illustrer ces différentes problématiques de recyclage de métaux monnayés qu'il est possible d'aborder au moyen des analyses élémentaires.

Tous les éléments traces de l'or et l'argent monnayés n'ont pas la même pertinence pour étudier les approvisionnements et ils possèdent des significations différentes. Les éléments platine et palladium, considérés comme solubles dans l'or [30], fondent à haute température et résistent à la fusion [15] et à la coupellation de l'or [22]. Ces propriétés leur confèrent le statut de marqueur pour suivre l'or (voir *supra* le palladium avec l'or brésilien). Néanmoins, d'autres éléments se sont révélés pertinents pour caractériser certains monnayages. Dans les études antérieures portant sur l'or, les éléments traces les plus fréquemment utilisés pour comparer la composition de monnaies d'or sont les suivants : Pt, Pd, Sn, Ni, Sb et Ga (voir par exemple [42,64,87,88] et *infra*). Dans le cas de l'argent monnayé ancien, les éléments les plus pertinents sont Au et Bi (voir par exemple [21,23,39] et *infra*).

7.3.2 Études de cas

7.3.2.1 Hypothèse de refonte

• L'or et l'argent gaulois

Il est d'usage de considérer que c'est au cours du III^{e} siècle av. J.-C. que la monnaie fait son apparition en Gaule par l'intermédiaire de mercenaires celtes recrutés au moment des conflits qui se déroulent en Méditerranée entre 320 et 270 av. J.-C. À leur retour en Gaule, ces mercenaires auraient introduit des statères aux types de Philippe II de Macédoine qui, par la suite, servent de prototypes aux premières monnaies gauloises [89]. C'est donc en utilisant des originaux grecs puis en les copiant que les Gaulois adoptent la monnaie. L'étude et l'analyse par activation protonique de ces premières émissions ont permis de mettre en évidence deux grandes générations d'imitations [13]. La première, proche de la monnaie grecque du point de vue typologique,

est frappée à partir d'un or natif qui n'est pas purifié. Progressivement le titre de ces monnaies est affaibli par l'ajout d'argent et de cuivre. Parallèlement, le type s'éloigne du prototype grec : c'est la seconde génération d'imitations. Pour altérer le titre de ces monnaies, deux hypothèses ont été envisagées : soit par refonte de métaux purs argent et cuivre, soit par refonte de monnaies d'argent allié [13]. Cette dernière hypothèse est particulièrement séduisante puisqu'elle confère à la monnaie d'argent qui n'a pas ou plus cours dans un territoire donné une valeur de réserve métallique. Ainsi, les analyses par activation aux neutrons rapides de cyclotron réalisées sur plusieurs exemplaires en argent du Centre-Ouest de la Gaule ont montré que des monnaies attribuées aux Pictons présentaient le même rapport Ag/Cu que les imitations en or de la série au trident, qui ont circulé dans l'Ouest de la Gaule, et que, de ce fait, elles avaient pu être refondues pour fabriquer l'alliage monétaire. Les teneurs en étain et en plomb observées dans ces deux monnayages semblent également appuyer cette hypothèse [13,90] qui ne pourra être confirmée que par la comparaison des rapports isotopiques du plomb contenu dans les monnaies d'argent avec ceux du plomb présent dans les monnaies d'or concernées.

• L'or kouchan

Entre le I^{er} et le III^{e} siècle de notre ère, la dynastie des Kouchans a régné sur un vaste territoire centré sur l'actuel Afghanistan. Tirant sa puissance du contrôle des routes du commerce international et de ses grands entrepôts, elle s'est assurée des ressources supplémentaires en émettant de grandes quantités de monnaies d'or [91]. Des numismates ont émis l'hypothèse que les monnaies d'or romaines envoyées en Orient pour acheter les luxueux produits ont été refondues par les rois kouchans pour frapper monnaie [92]. Pour tester cette proposition, la composition élémentaire d'exemplaires des deux ensembles monétaires a été déterminée puis comparée [93]. Alors que les monnaies romaines sont en or hautement purifié jusqu'au milieu du II^{e} siècle [87], les Kouchans ont continûment diminué la proportion d'or de leurs monnaies en ajoutant deux fois plus d'argent que de cuivre. Surtout, l'immense majorité des dinars kouchans contiennent beaucoup plus de platine et palladium que les *aurei* et cette tendance s'accentue dans le temps (figure 7.4, [93,94]). Il est donc exclu que les Kouchans aient uniquement refondu l'or romain pour émettre leur propre monnayage.

Si l'hypothèse de la refonte ponctuelle d'*aurei* ne peut être écartée, les Kouchans ont surtout utilisé un autre or. Ce résultat conduit à reconsidérer le faible nombre de monnaies romaines en or découvertes en Asie centrale : l'or romain est probablement rarement passé par les creusets kouchans, mais a circulé jusqu'en Inde, comme en attestent de nombreuses trouvailles [95].

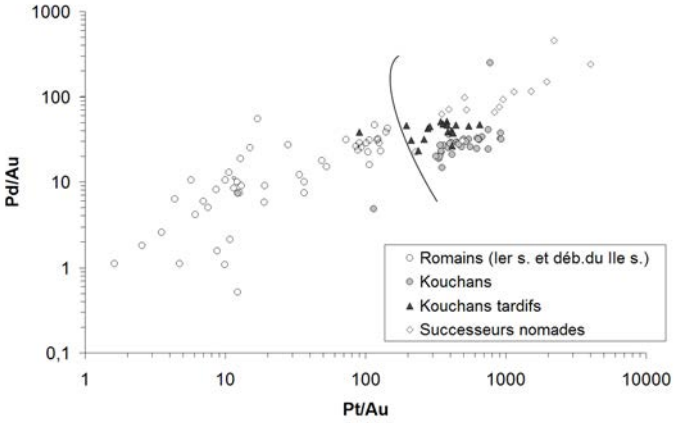


FIGURE 7.4 – Comparaison des rapports Pd/Au et de Pt/Au entre les monnaies d'or kouchanes et romaines (d'après [93]).

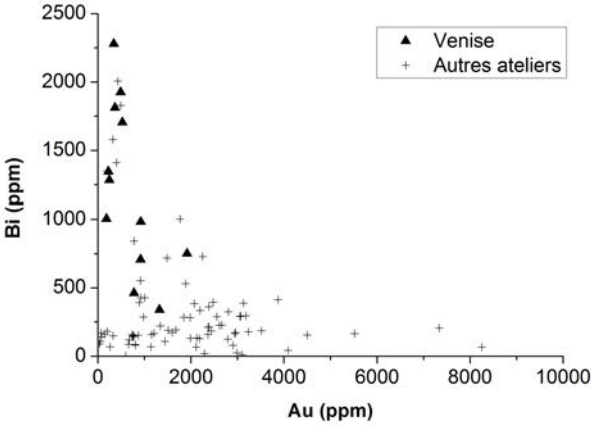


FIGURE 7.5 – Graphique des teneurs en Bi en fonction de celles en Au pour les monnaies en argent de Venise et celles des ateliers carolingiens (d'après [96]).

7.3.2.2 Mise en évidence de différents approvisionnements

• L'argent de Venise

Les premières monnaies connues qui portent le nom de Venise sont des deniers datés du début du IX^{e} siècle qui portent le nom de l'empereur carolingien Louis le Pieux [96,97]. À cette époque, la cité adriatique n'est cependant pas sous le contrôle des Francs, qui dominent la majeure partie de l'Europe Occidentale, jusqu'à l'Italie du Nord au plus près de Venise : il s'agit d'une cité byzantine qui, loin de sa tutelle, bénéficie d'une indépendance de fait. Afin de faciliter les échanges à longue distance qui se mettent en place autour de 800 et dont Venise est un point focal, pour des

marchandises en provenance de la côte sud de la méditerranée ou du Proche-Orient, et à destination du « cœur » de l'empire carolingien par les Alpes et la vallée du Rhin, les Vénitiens frappent donc des monnaies qui correspondent à une tutelle qui n'est pas la leur. Cette première émission, particulièrement abondante, peut être datée assez précisément des années 818-823. Elle n'a pas été alimentée par une mine mais par l'argent collecté grâce au commerce avec ses différents partenaires.

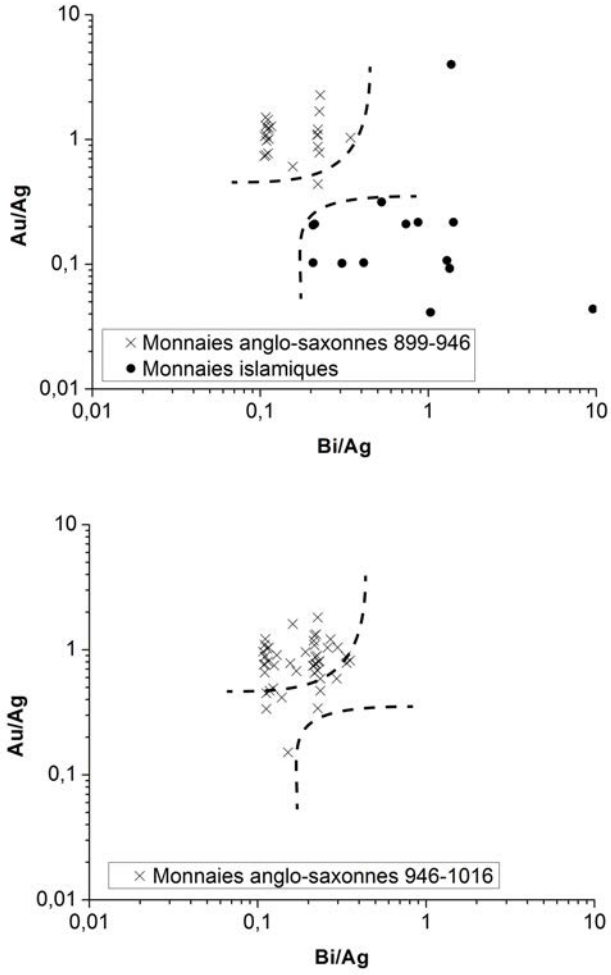


Figure 7.6 – Graphiques des rapports Au/Ag en fonction des rapports Bi/Ag, pour les monnaies anglo-saxonnes émises entre 899 et 1016 et pour les monnaies islamiques (d'après [21]).

Une campagne d'analyses élémentaires et isotopiques a ainsi révélé que l'argent des deniers vénitiens de cette période se singularise de celui des frappes carolingiennes « officielles » de la même période. Deux éléments traceurs discriminants ont été iden-

tifiés : l'or est présent à de plus faibles concentrations dans l'argent de Venise et surtout, le bismuth y est bien plus abondant, ce que l'on ne retrouve pas dans des monnaies d'argent d'Europe Occidentale (figure 7.5). Dans cette étude, le fait qu'il s'agisse du monnayage correspondant à la mise en place de l'atelier monétaire a permis d'obtenir un « instantané » de la signature géochimique de l'argent arrivant à Venise par le commerce et par extension de confirmer l'existence de routes commerciales à très longue distance entre l'Europe et l'Asie. La connaissance des relations commerciales de Venise avec le monde islamique de cette époque a conduit à chercher dans cet ensemble la source potentielle de cette abondance de bismuth dans l'argent. La comparaison avec des travaux antérieurs a permis d'identifier une zone de production importante d'argent présentant cette même caractéristique dans le monde islamique. Indirectement, il a donc été possible de proposer une source de provenance probable. Les recherches de Cowell et Lowick ont en effet identifié une zone dans le monde islamique du IX^{e} siècle, le Panshir dans l'actuel Afghanistan, où était produit en grandes quantités de l'argent présentant des teneurs en bismuth importantes [23] : il pourrait s'agir de la source, indirecte et probablement non exclusive, de l'argent monnayé à Venise au début du IX^{e} siècle.

Une étude menée par McKerrell et Stevenson est particulièrement intéressante à mettre en relation avec celle sur les premières frappes monétaires de Venise [21]. Pour une période légèrement plus tardive, le X^{e} siècle, la composition de trouvailles de dirhams islamiques importés en Écosse par les Vikings a été comparée avec celle des émissions locales d'argent (figure 7.6). Dans un premier temps, les teneurs en or et en bismuth mettent en évidence des stocks dont les caractéristiques géochimiques diffèrent. Pour la période suivante, les frappes monétaires d'Écosse présentent des teneurs en or et en bismuth intermédiaires : selon toute vraisemblance, l'argent importé d'Asie centrale jusqu'en Écosse par les Vikings a été incorporé au stock local d'argent, ce qui en a modifié la signature géochimique.

7.3.3 Liaisons de coins et compositions

L'étude des liaisons de coins a pour objectif d'établir une séquence chronologique relative au sein d'une émission et d'estimer, grâce à des méthodes statistiques, la production monétaire d'un atelier. Concrètement, il s'agit de déterminer si deux ou plusieurs monnaies ont été frappées avec les mêmes coins de droit et/ou de revers. La mise en évidence de liaisons de coins suggère alors une proximité temporelle et spatiale de frappe et suppose de fait une certaine homogénéité métallique inhérente à la politique de production monétaire mise en œuvre. On attend alors des éléments traces qu'ils livrent des informations sur le métal utilisé au sein d'un même atelier à une époque donnée. La pertinence de la notion de « stock métallique » définie plus haut trouve alors ici tout son sens. Néanmoins, la durée d'une émission est un facteur important dans une éventuelle variation de la composition de l'alliage que ce soit pour les éléments majeurs ou traces. Si la contemporanéité déduite des liaisons de coins est fréquente, elle n'est pas systématique. G. Le Rider signale par exemple le cas de l'atelier de Sidon qui a utilisé entre 333/332 et 324/323 neuf coins pour la frappe des statères dont un pendant quatre ans ([98] p. 196, 202 ; [99] p. 65). Pour certaines

périodes, comme en protohistoire, l'estimation de la durée d'une émission est très difficile et ne peut être approchée que dans quelques cas particuliers.

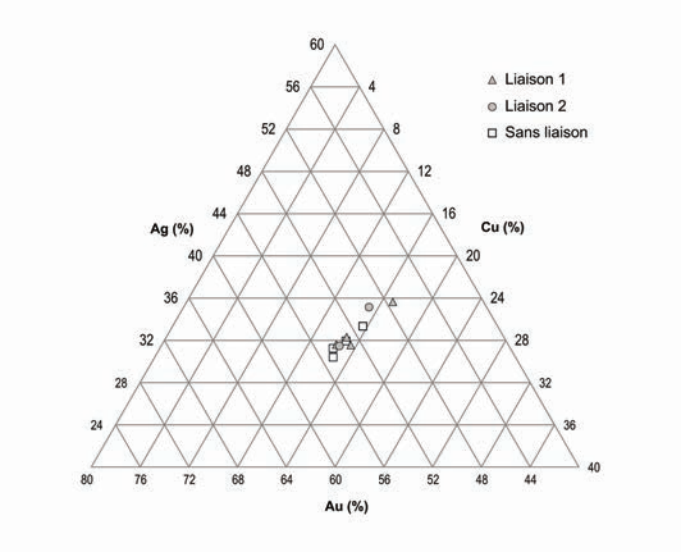


Figure 7.7 – Composition des statères au nom de Vercingétorix avec ou sans liaison de coin (d'après [72]).

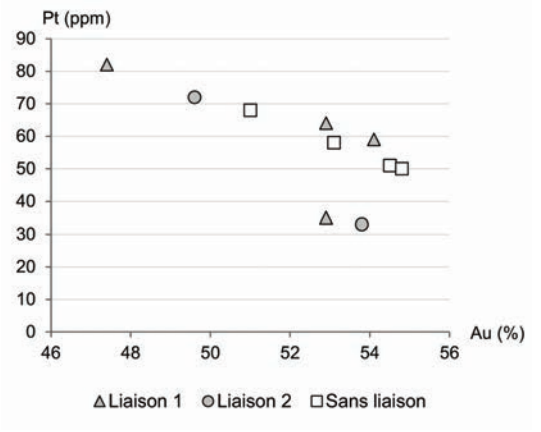


Figure 7.8 – Teneurs en Pt en fonction du titre pour les monnaies au nom de Vercingétorix avec ou sans liaison de coins.

Les monnaies au nom de Vercingétorix fournissent à ce titre un ensemble documentaire particulièrement intéressant. Parmi les 26 statères actuellement recensés, 12 ont été analysés par activation protonique et 2 chaînes de coins ont pu être identifiées (figure 7.7 liaisons 1 et 2 ; [72]). Ces exemplaires, émis dans le contexte de la guerre des Gaules entre 58 et 52 av. J.-C. dans l'hypothèse où Vercingétorix a frappé monnaie avant d'obtenir le « commandement suprême » en 52, présentent des compositions

élémentaires relativement homogènes, au moins pour neuf d'entre elles, avec un titre compris entre 47,8 % et 54,8 % (figure 7.7). En ce qui concerne les éléments traces, si les monnaies de la liaison 2 présentent des concentrations en étain et en antimoine identiques [3], les teneurs en platine sont quant à elles très différentes [4] : 33 et 72 ppm pour un titre respectif de 53,8 % et 49,6 %. Pour les exemplaires de la liaison 1, les résultats obtenus pour le platine mais également pour l'étain sont discordants. Les teneurs en antimoine sont en revanche similaires et proches de celles des monnaies de la liaison 2. Les monnaies analysées ne présentant pas de liaison de coins ont des compositions en éléments traces qui, dans certains cas, se rapprochent des exemplaires de liaison 1 et/ou de liaison 2 (figures 7.8 et 7.9).

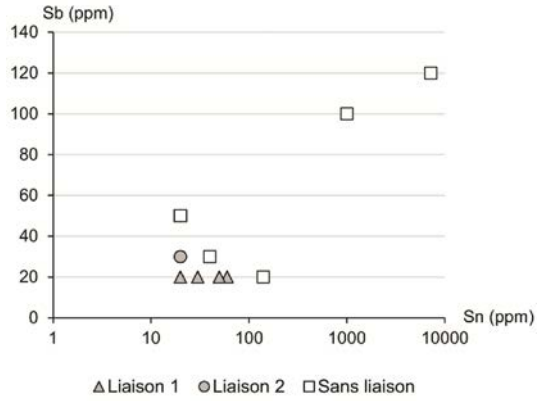


Figure 7.9 – Teneurs en Sb en fonction de celles en Sn pour les monnaies au nom de Vercingétorix avec ou sans liaison de coins.

L'ensemble de ces données semble aller dans le sens de l'utilisation de stocks métalliques de signature différente, très probablement à mettre en relation avec le contexte de troubles dans lequel ces monnaies au nom de Vercingétorix ont été émises.

La question des sources d'approvisionnement a également parfois été évoquée pour expliquer les variations de composition en éléments majeurs constatées au sein d'un ensemble issu de la même paire de coins. Ainsi, pour 19 *aurei* du trésor de Lava émis par l'atelier de Milan et frappés avec la même paire de coins au cours de la seconde moitié de l'année 272, les auteurs interprètent la dispersion des titres compris entre 81 % et 92,5 %, de la façon suivante : « la frappe quotidienne au sein d'un atelier se faisait à partir d'alliages de composition variable, de sources diverses, sans doute à partir de lingots de provenance extérieure à l'atelier » ([100] p. 384) [5]. Mais ce sont surtout les éléments traces peu ou pas affectés par les procédés métallurgiques qui servent à appréhender la cohérence ou non du stock d'or, les éléments majeurs

3. Étain et antimoine n'ont pas été dosés pour une monnaie.

4. Pour deux exemplaires la teneur en platine n'a pas été déterminée.

5. En fait, la variabilité étonnement élevée de la composition de ce lot de 19 monnaies tient surtout à l'exemplaire qui contient le moins d'or. S'il est omis des calculs, l'écart type qui était initialement de 2,6 % est réduit à 1,8 % et les titres des 18 monnaies sont alors compris entre 86,0 % et 92,55 %.

permettant quant à eux d'apprécier la capacité des artisans à préparer des alliages monétaires selon un cahier des charges donné.

Il n'est pas toujours nécessaire de procéder à une étude des liaisons de coins pour déterminer la cohérence du stock métallique disponible à un moment donné dans un atelier. Un ensemble représentatif des monnaies d'or émises par Auguste entre 29 av. J.-C. et 4 ap. J.-C. a été analysé [85]. En confrontant les teneurs en éléments traces aux classements numismatiques, des groupes ont été constitués (figure 7.10). Les exemplaires analysés n'ont pas de coins de droit ou de revers en commun mais certains d'entre eux présentent le même type, c'est-à-dire les mêmes iconographies et légendes sur chaque face. Ainsi dix types différents, repérés par les lettres A à J sur la figure 7.10, sont représentés au sein de l'échantillon analysé par deux ou trois monnaies. Les résultats sont cohérents pour neuf d'entre eux, c'est-à-dire que les exemplaires du même type appartiennent bien au même groupe de composition. Pour un seul type, attribué à l'atelier de Lyon et daté de 8 av. J.-C., dont trois monnaies ont été analysées (lettre H sur la figure 7.10), des résultats discordants ont été obtenus. Deux s'insèrent dans le groupe caractéristique de l'or frappé à Lyon tandis qu'une se rapproche des monnaies émises dans un atelier incertain d'Italie près de 40 ans plus tôt. D'une façon générale, l'étude du monnayage en or d'Auguste a mis en évidence que l'approvisionnement en or avait évolué au fil du temps et pouvait différer d'un atelier à l'autre pour des monnaies émises à la même époque.

7.4 Conclusion

Nous avons dressé un état de l'art des questions de provenance des métaux monnayés or et argent en confrontant les publications disponibles sur le sujet et en élargissant à certaines consacrées aux métaux précieux anciens non monnayés. Le développement des travaux traitant de cette thématique au cours des trois dernières décennies correspond aux progrès instrumentaux qui ont permis de développer des méthodes d'analyse élémentaire et isotopique performantes, strictement non destructive ou nécessitant un prélèvement minime invisible à l'œil nu. En dépit de ces avancées technologiques, la question de la provenance reste complexe à résoudre. Le lien entre la composition élémentaire du minerai et celle de l'objet est souvent difficile à établir. L'examen des éléments traces est en revanche beaucoup plus fructueux pour étudier l'évolution des approvisionnements métalliques et les refontes, en comparant les compositions élémentaires de différents monnayages. Si l'approche isotopique a fait ses preuves pour valider des hypothèses de provenance de l'argent monnayé, les faibles teneurs en plomb de la plupart des monnaies d'or limite la possibilité de mesurer les rapports isotopiques du plomb de ces objets. Néanmoins, lorsque cela est possible, le croisement de ces deux approches indépendantes que sont détermination des teneurs en éléments traces et celle des rapports isotopiques du plomb, est indéniablement un atout. Quels que soient les monnayages étudiés et la méthodologie adoptée, il est indispensable de réunir un échantillonnage représentatif d'objets à analyser de façon à proposer des conclusions solides. D'une façon générale, les problématiques de provenance des métaux monnayés doivent être abordées dans le cadre de recherches pluridisciplinaires auxquelles collaborent spécialistes de l'histoire économique et monétaire, des analyses des métaux anciens et de l'archéologie minière, le cas échéant.

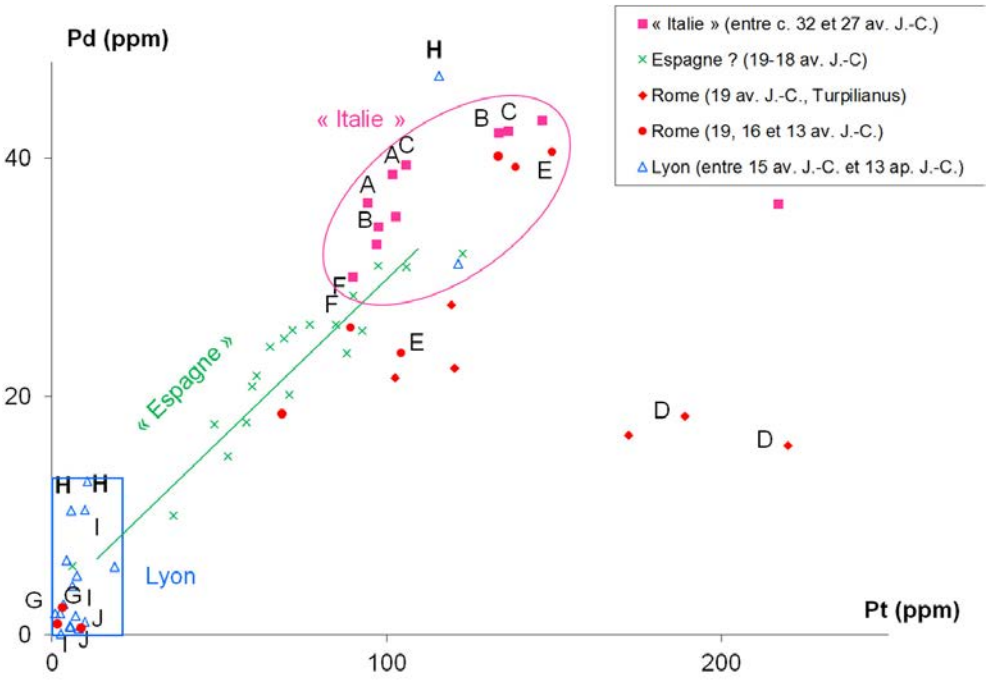


FIGURE 7.10 – Graphique des teneurs en Pd en fonction de celles en Pt pour les monnaies d'or d'Auguste frappées entre 32 av. J.-C. et 4 après J.-C. (d'après [85]). Les monnaies appartenant à un même type sont repérées par une lettre (A à J).

7.5 Bibliographie

[1] M. Bompaire, F. Dumas, Numismatique médiévale : monnaies et documents d'origine française. L'atelier du médiéviste 7, Brepols, Turnhout, 2000.

[2] L. Wilson, A.M. Pollard, « The Provenance Hypothesis » dans Handbook of Archaeological Sciences, eds. D.R. Brothwell, A.M. Pollard, Wiley, London. p. 507-517, 2008.

[3] C. Eluère, Les secrets de l'or antique, La Bibliothèque des Arts, Paris, 1990.

[4] R.J. Chapman, R.C. Leake, R.A. Warner, M.C. Cahill, N.R. Moles, C.A. Shell, J.J. Taylor, Microchemical characterisation of natural gold and artefact gold as a tool for provenancing prehistoric gold artefacts : A case study in Ireland. Applied Geochemistry. 21, 904-918, 2006.

[5] G. Sarah, B. Gratuze, J.-N. Barrandon, Application of laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry (LA-ICP-MS) for the investigation of ancient silver coins. Journal of Analytical Atomic Spectrometry. 22-9, 1163-1167, 2007.

[6] M. Blet-Lemarquand, F. Duyrat, « Elemental analysis of the Lydo-Milesian electrum coins of the Bibliothèque nationale de France using LA-ICP-MS » dans Proceedings of White Gold International Congress, June 25–26, 2012, Israel Museum, Jerusalem, eds. H. Gitler, C. Lorber, K. Konuk, à paraître.

[7] K. Gruel, G. Leclerc, S. Nieto-Pelletier, avec la collab. de J.-N. Barrandon, M. Blet-Lemarquand, B. Gratuze, « Les monnaies gauloises de l'Orne, de la Mayenne et de la Sarthe, approches typologique, analytique et territoriale » dans L'Âge du fer en Basse-Normandie. Gestes funéraires en Gaule au Second Âge du fer. Actes du XXXIII^{e} colloque international de l'AFEAF Caen, 20 au 24 mai 2009, eds. P. Barral et al., Presses universitaires de Franche-Comté, Besançon. p. 247-260, 2011.

[8] J. Poirier, « Contribution à l'analyse de l'or antique. Application aux monnayages du monde méditerranéen du IIe au XIVe siècle », thèse de doctorat de l'Université d'Orléans, 206 pages, 1983.

[9] J.-N. Barrandon, J. Poirier, « Les méthodes d'analyse des monnaies d'or » dans L'or monnayé I. Purification et altérations de Rome à Byzance, Cahiers Ernest-Babelon 2, eds. C. Morrisson et al., Éditions du CNRS, Paris. p. 17-38, 1985.

[10] L. Dussubieux, L. van Zelst, LA-ICP-MS analysis of platinum-group elements and other elements of interest in ancient gold. Applied Physics A : Materials Science & Processing. 79-2, 353-356, 2004.

[11] B. Gratuze, M. Blet-Lemarquand, J.-N. Barrandon, Caractérisation des alliages monétaires à base d'or par LA-ICP-MS. Bulletin de la Société Française de Numismatique. 59-6, 163-169, 2004.

[12] M. Blet-Lemarquand, G. Sarah, B. Gratuze, J.-N. Barrandon, Nuclear methods and Laser Ablation Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry : How can these methods contribute to the study of ancient coinage ? Cercetări numismatice. XV, 43-56, 2009.

[13] J.-N. Barrandon, G. Aubin, J. Benusiglio, J. Hiernard, D. Nony, S. Scheers, L'or gaulois. Le trésor de Chevanceaux et les monnayages de la façade atlantique. Cahiers Ernest-Babelon 6, Éditions du CNRS, Paris, 408 pages, 1994.

[14] C. Raub, « The metallurgy of gold and silver in prehistoric times » dans Prehistoric gold in Europe : mines, metallurgy and manufacture. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Prehistoric Gold in Europe, held at Seeon, Germany, from September 26 to October 1, 1993, eds. G. Morteani, J.P. Northover, Kluwer, Dordrecht. p. 243-259, 1995.

[15] A. Schmiderer, « Geochemische Charakterisierung von Goldvorkommen in Europa », thèse de l'Université Martin-Luther Halle-Wittenberg, Spielberg, 2008.

[16] A. Hauptmann, T. Rehren, E. Pernicka, « The composition of gold from the ancient mining district of Verespatak/Rosia Montana, Romania » dans Prehistoric gold in Europe : mines, metallurgy and manufacture, eds. G. Morteani, J.P. Northover, Kluwer, Dordrecht. p. 369-384, 1995.

[17] A. Ramage, P.T. Craddock, King Croesus' gold : Excavations at Sardis and the History of Gold Refining. Archaeological Exploration of Sardis Monograph 11, British Museum Press, Cambridge, 2000.

[18] P.T. Craddock, Early Metal Mining and Production. First published in 1995 unrevised edition, Archetype Publications Ltd, London, 2010.

[19] R. Halleux, « Méthodes d'essai et d'affinage des alliages aurifères dans l'Antiquité et au Moyen Âge » dans L'or monnayé I. Purification et altérations de Rome à Byzance, Cahiers Ernest-Babelon 2, eds. C. Morrisson et al., Éditions du CNRS, Paris. p. 39-77, 1985.

[20] E. Pernicka, H.-G. Bachmann, Archäometallurgische Untersuchungen zur antiken Silbergewinnung in Laurion. III. Das Verhalten einiger Spurenelemente beim Abtreiten des Bleis. Erzmetall. 36, 12, 592-597, 1983.

[21] H. McKerrell, R.B.K. Stevenson, « Some analyses of Anglo-Saxon and associated Oriental coinage » dans Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage, eds. E.T. Hall, D.M. Metcalf, Royal Numismatic Society, London. p. 195-210, 1972.

[22] M. Blet-Lemarquand, S. Nieto-Pelletier, F. Téreygeol, « Tracer » l'or monnayé : le comportement des éléments traces de l'or au cours des opérations de refonte et d'affinage. Bulletin de la Société Française de Numismatique. 4, 90-95, 2014.

[23] M.R. Cowell, N.M. Lowick, « Silver from the Panjhir mines » dans Metallurgy in Numismatics, Volume 2, eds. W.A. Oddy, M.R. Cowell, The Royal Numismatic Society, London. p. 65-74, 1988.

[24] N.H. Gale, W. Gentner, G.A. Wagner, « Mineralogical and geographical silver sources of Archaic Greek coinage » dans Metallurgy in Numismatics, Volume 1, eds. D.M. Metcalf, W.A. Oddy, Royal Numismatic Society, London. p. 3-49, 1980.

[25] R.K. Dube, Interrelation between gold and tin : A historical perspective. Gold Bulletin. 39-3, 103-113, 2006.

[26] A. Hartmann, Prähistorisches Goldfunde aus Europa. Spektralanalytische Untersuchungen und deren Auswertung. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 3, Berlin, 1970.

[27] A. Hartmann, Prähistorisches Goldfunde aus Europa II. Spektralanalytische Untersuchungen und deren Auswertung. Studien zu den Anfängen der Metallurgie 5, Berlin, 1982.

[28] M.F. Guerra, « Em busca da origen do ouro dos Visigodos atraves dos seus elementos traço » dans Homenagem a Mario Gomes Marques, eds. M.C. Hipolito et al., Sintra. p. 223-251, 2000.

[29] M. Blet-Lemarquand, M. Bompaire, C. Morrisson, Platine et plomb dans les monnaies d'or mérovingiennes : nouvelles perspectives analytiques. Revue numismatique. 175-198, 2010.

[30] J.M. Ogden, Platinum group metal inclusions in ancient gold artefacts. Historical Metallurgy. 11, 2, 53-72, 1977.

[31] N.D. Meeks, M.S. Tite, The Analysis of platinum-group element inclusions in gold Antiquities. Journal of Archaeological Science. 7, 267-275, 1980.

[32] U. Steffgen, R. Gebhard, G. Lehrberger, G. Morteani, « Platinum group metal inclusions in Celtic gold coins » dans Metallurgy in Numismatics, Volume 4, eds. W.A. Oddy, M.R. Cowell, Royal Numismatic Society, London. p. 202-207, 1998.

[33] S.A. Junk, E. Pernicka, An assessment of osmium isotope ratios as a new tool to determine the provenance of gold with platinum-group metal inclusions. Archaeometry. 45, 313-331, 2003.

[34] U. Zwicker, « An investigation of inclusions of platinum-group metals in Ancient coinage » dans Metallurgy in Numismatics, Volume 4, eds. W.A. Oddy, M.R. Cowell, Royal Numismatic Society, London. p. 171-201, 1998.

[35] P.T. Craddock, « The platinum group element inclusions » dans King Croesus' Gold : Excavations at Sardis and the History of Gold Refining, eds. A. Ramage, P.T. Craddock, British Museum Press, London. p. 238-244, 2000.

[36] A.-M. Desaulty, F. Albarède, Copper, lead, and silver isotopes solve a major economic conundrum of Tudor and early Stuart Europe. Geology. 41-2, 135-138, 2013.

[37] A.-M. Desaulty, P. Telouk, E. Albalat, F. Albarède, Isotopic Ag-Cu-Pb record of silver circulation through 16th-18th century Spain. Proceedings of the National Academy of Sciences. 108, 22, 9002-9007, 2011.

[38] T. Rehren, E. Pernicka, Coins, artefacts and isotopes-archaeometallurgy and archaeometry. Archaeometry. 50, 2, 232-248, 2008.

[39] Z.A. Stos-Gale, « Lead isotope analysis of coins - A review » dans Metallurgy in Numismatics, Volume 4, eds. W.A. Oddy, M.R. Cowell, Royal Numismatic Society, London. p. 348-366, 1998.

[40] Z.A. Stos-Gale, N.H. Gale, Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID). Archaeological and Anthropological Sciences. 1, 3, 195-213, 2009.

[41] S. Baron, C.G. Tămaş, B. Cauuet, M. Munoz, Lead isotope analyses of gold-silver ores from Rosia Montana (Romania) : a first step of a metal provenance study of Roman mining activity in Alburnus Maior (Roman Dacia). Journal of Archaeological Science. 38, 5, 1090-1100, 2011.

[42] C. Bendall, D. Wigg-Wolf, Y. Lahaye, H.-M. Von Kaenel, G.P. Brey, Detecting changes of Celtic gold sources through the application of trace element and Pb isotope laser ablation analysis of Celtic gold coins. Archaeometry. 51-4, 598-625, 2009.

[43] G. Lehrberger, « The gold deposits of Europe : An overview of the possible metal sources for prehistoric gold objects » dans Prehistoric gold in Europe : mines, metallurgy and manufacture, eds. G. Morteani, J.P. Northover, Kluwer, Dordrecht. p. 115-144, 1995.

[44] J.F. Healy, Mining and metallurgy in the Greek and Roman world, Thames and Hudson, London, 1978.

[45] C. Domergue, V. Serneels, B. Cauuet, J.-M. Pailler, S. Orzechowski, « Mines et métallurgies en Gaule à la fin de l'âge du Fer et à l'époque romaine » dans Celtes et Gaulois, l'Archéologie face à l'Histoire. La romanisation et la question de l'héritage celtique, Actes de la table ronde de Lausanne (17-18 juin 2005), ed. D. Paunier, Bibracte, Glux-en-Glenne. p. 131-162, 2006.

[46] C. Domergue, Les mines antiques. La production des métaux aux époques grecque et romaine. Antiqua, Éditions A. & J. Picard, Paris, 240 pages, 2008.

[47] K. Ben Romdhane, « Exploitation des métaux précieux au Maghreb médiéval : l'apport des sources écrites » dans Minas y metalurgia en al-Andalus y el Magreb occidental : explotación y poblamiento, eds. A.C. García, P. Cressier, Casa de Velázquez. p. 1-11, 2008.

[48] M.-C. Bailly-Maître, P. Benoit, « Les mines d'argent de la France médiévale » dans XXVIIIe congrès de la Société des Médiévistes de l'Enseignement Supérieur. L'argent au Moyen Âge : idéologie, finances, fiscalité, monnaie. Clermont-Ferrand Juin 1997, Publications de la Sorbonne, Paris. p. 17-45, 1998.

[49] I. Blanchard, Mining, Metallurgy and minting in the Middle Ages, 4 volumes, Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2001-5.

[50] R. Chapman, B. Leake, M. Styles, Microchemical characterization of alluvial gold grains as an exploration tool. Gold Bulletin. 35-2, 53-65, 2002.

[51] B. Leake, R. Chapman, D.J. Bland, P. Stone, D.G. Cameron, M.T. Styles, The origin of alluvial gold in the Leadhills area of Scotland : evidence from interpretation of internal chemical characteristics. Journal of Geochemical Exploration. 63, 7-36, 1998.

[52] A. Hauptmann, S. Klein, Bronze Age gold in Southern Georgia. ArchéoSciences. 33, 75-82, 2009.

[53] L.C. Pérez-García, F.J. Sánchez-Palencia, J. Torres-Ruiz, Tertiary and Quaternary alluvial gold deposits of Northwest Spain and Roman mining (NW of Duero and Bierzo Basins). Journal of Geochemical Exploration. 71-2, 225-240, 2000.

[54] J. Garcia-Guinea, V. Correcher, R.M. Rojas, J.L.G. Fierro, C. Fernandez-Martin, P. López-Arce, S. Rovira-Llorens, Chemical tracers in archaeological and natural gold : Aliseda Tartessos treasure and new discovered nuggets (SW Spain). Gold Bulletin. 38-1, 23-28, 2005.

[55] É. Marcoux, « Isotopes du plomb et paragenèse métallique, traceurs de l'histoire des gîtes minéraux », thèse d'État de l'Université de Clermont II, 1986.

[56] S. Baron, M. Lavoie, A. Ploquin, J. Carignan, M. Pulido, J.L. De Beaulieu, Record of metal workshops in peat deposits : history and environmental impact on the Mont Lozere Massif, France. Environmental Science & Technology. 39-14, 5131-5140, 2005.

[57] B. Guénette-Beck, V. Serneels, L'interprétation archéologique des données isotopiques de plomb. ArchéoSciences. 1, 289-297, 2010.

[58] F. Ströbele, T. Wenzel, A. Kronz, L.H. Hildebrandt, G. Markl, Mineralogical and geochemical characterization of high-medieval lead-silver smelting slags from Wiesloch near Heidelberg (Germany) : an approach to process reconstruction. Archaeological and Anthropological Sciences. 2-3, 191-215, 2010.

[59] M. Bode, A. Hauptmann, K. Mezger, Tracing Roman lead sources using lead isotope analyses in conjunction with archaeological and epigraphic evidence : a case study from Augustan/Tiberian Germania. Archaeological and Anthropological Sciences. 1-3, 177-194, 2009.

[60] A. Ehser, G. Borg, 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, 895-910, 2011.

[61] Z.A. Stos-Gale, N.H. Gale, The sources of Mycenaean silver and lead. Journal of Field Archaeology. 9-4, 467-485, 1982.

[62] H. Nicolet-Pierre, J.-N. Barrandon, J.-Y. Calvez, Monnaies archaïques d'Athènes sous Pisistrate et les Pisistratides (c. 545-c. 510) II. Recherches sur la composition métallique des Wappenmünzen. Revue numismatique. 23-44, 1985.

[63] N.H. Gale, O. Picard, J.-N. Barrandon, « The Archaic Thasian silver coinage» dans Antike Edel- und Buntmetallgewinnung auf Thasos. Der Anschnitt Beiheft 6, eds. G. A. Wagner, G. Weisgerber, (eds.). Bochum. p. 212-223, 1988.

[64] C. Morrisson, J.-N. Barrandon, C. Morrisson, Or du Brésil, monnaie et croissance en France au XVIIIe siècle. Cahiers Ernest-Babelon 7, Éditions du CNRS, Paris, 1999.

[65] M.F. Guerra, The circulation of South American precious metals in Brazil at the end of the 17th century. Journal of Archaeological Science. 31- 9, 1225-1236, 2004.

[66] M.F. Guerra, J.-N. Barrandon, B. Collin, E. Le Roy Ladurie, C. Morrisson, « The diffusion of the silver from Potosi in the 16th century Spanish coinage : a new analytical method » dans Archaeological Sciences 1989, ed. P. Budd, Oxford. p. 28-35, 1989.

[67] E. Le Roy Ladurie, J.-N. Barrandon, B. Collin, M.F. Guerra, C. Morrisson, Sur les traces de l'argent du Potosi. Annales Économies Sociétés Civilisations. 2, 483-505, 1990.

[68] J.-N. Barrandon, M.F. Guerra, B. Collin, E. Le Roy Ladurie, C. Morrisson, « The diffusion of silver from Potosi in the 17th century European coinage » dans Archaeometry '90, eds. E. Pernicka, G.A. Wagner, Berlin. p. 11-18, 1991.

[69] J.-N. Barrandon, M.F. Guerra, E. Le Roy Ladurie, C. Morrisson, B. Collin, La diffusion de l'argent du Potosi dans le monnayage européen à partir du XVI^{e} siècle. Le circuit méditerranéen. Gaceta Numismática. 107, IV, 15-22, 1992.

[70] S. Nieto, « La place du monnayage arverne dans les monnayages gaulois du centre et du sud de la Gaule aux II^{e} et I^{er} s. av. J.-C. : étude numismatique et analytique » dans Actas del XIII Congreso Internacional de Numismática, Madrid 2003, eds. C. Alfaro, C. Marcos, P. Otero, Madrid. p. 459-468, 2005.

[71] S. Nieto, J.-N. Barrandon, « Lead isotopes contribution to the study of Celtic silver coinages from central Gaul » dans Archaeometallurgy in Europe 24-25-26 September 2003, Milan, Italy : proceedings, Associazione Italiana di Metallurgia, Milan. p. 277-282, 2003.

[72] S. Nieto-Pelletier, Catalogue des monnaies celtiques, 1. Les Arvernes (Centre de la Gaule). Bibliothèque nationale de France/Musée d'Archéologie nationale, Paris, 2013.

[73] J.-G. Morasz, Contexte géologique et gîtologique des mines d'argent antiques et médiévales de Villefranche-de-Rouergue (Aveyron). Pallas. 46, 269-272, 1997.

[74] J.-N. Barrandon, F. Dumas-Dubourg, Minerai de Melle et monnaies durant le Haut Moyen-Age : relations établies grâce aux isotopes du plomb. Bulletin de la Société Française de Numismatique. 45-9, 901-906, 1990.

[75] G. Sarah, « Analyses élémentaires de monnaies de Charlemagne et de Louis le Pieux du Cabinet des Médailles : le cas de Melle » dans Numismatique et archéologie en Poitou-Charentes, Actes du colloque de Niort, 7-8 décembre 2007, Musée Bernard d'Agesci, eds. A. Clairand, D. Hollard, Niort. p. 63-83, 2009.

[76] B. Gratuze, C. Guerrot, D. Foy, A. Arles, F. Téreygeol, S. Baron, « Les galets de verre au plomb carolingiens issus des scories de Melle : élaboration et distribution » dans Actes du colloque Mine, métal, monnaie. Autour du cas de Melle, les voies de la quantification de l'histoire monétaire du haut Moyen Âge, eds. M. Bompaire, G. Sarah, à paraître.

[77] G. Le Rider, Le monnayage d'argent et d'or de Philippe II frappé en Macédoine de 359 à 294, É. Bourgey, Limoges, 1977.

[78] G. Le Rider, F. de Callataÿ, Les Séleucides et les Ptolémées. L'héritage monétaire et financier d'Alexandre le grand, Éditions du Rocher, Paris, 2006.

[79] B. Cauuet, « L'exploitation de l'or en Gaule à l'Âge du Fer » dans L'or dans l'Antiquité, de la mine à l'objet, ed. B. Cauuet, Fédération Aquitania, Bordeaux. p. 31-70, 1999.

[80] J.-M. Beausoleil, « Mobilier funéraire et identification du pouvoir territorial à l'Age du Fer sur la bordure occidentale du Massif Central » dans L'or dans l'Antiquité, de la mine à l'objet, ed. B. Cauuet, Fédération Aquitania, Bordeaux. p. 347-356, 1999.

[81] R. Boudet, K. Gruel, V. Guichard, F. Malacher, « L'or monnayé en Gaule à l'Âge du Fer. Essai de cartographie quantitative » dans L'or dans l'Antiquité, de la mine à l'objet, ed. B. Cauuet, Fédération Aquitania, Bordeaux. p. 417-425, 1999.

[82] J. Gomez de Soto, « Habitats et nécropoles des âges des métaux en Centre-Ouest et en Aquitaine. La question de l'or absent » dans L'or dans l'Antiquité, de la mine à l'objet, ed. B. Cauuet, Fédération Aquitania, Bordeaux. p. 337-346, 1999.

[83] F. Duyrat, J. Olivier, Deux politiques de l'or. Séleucides et Lagides au III^{e} siècle avant J.-C. Revue numismatique. 71-93, 2010.

[84] J. Olivier, C.C. Lorber, Three gold coinages of third-century Ptolemaic Egypt. Revue belge de Numismatique et de Sigillographie. CLIX, 49-150, 2013.

[85] M. Blet-Lemarquand, A. Suspène, M. Amandry, « Augustus' gold coinage : investigating mints and provenance through trace-element concentrations » dans Proceedings of Archaeometallurgy in Europe III Bochum 2011, eds. A. Hauptmann, D. Modaressi-Tehrani, à paraître.

[86] A. Gondonneau, M.F. Guerra, The circulation of precious metals in the Arab Empire : The case of the Near and the Middle East. Archaeometry. 44-4, 573-599, 2002.

[87] J.-P. Callu, C. Brenot, J.-N. Barrandon, J. Poirier, « « Aureus obryziacus » dans L'or monnayé I. Purification et altérations de Rome à Byzance, Cahiers Ernest-Babelon 2, eds. C. Morrisson et al., Éditions du CNRS, Paris. p. 81-111, 1985.

[88] M.F. Guerra, T. Calligaro, Gold traces to trace gold. Journal of Archaeological Science. 31, 1199-1208, 2004.

[89] S. Scheers, « La naissance du monnayage d'or en Gaule d'après les influences étrangères » dans Forschungen zur Monetarisierung und ökonomischen Funktionalisierung von Geld in den nordwestlichen Provinzen des Imperium Romanum. Die Entstehung eines europäischen Wirtschaftsraumes. Akten des 2. Trierer Symposiums zur antiken Wirtschaftsgeschichte, eds. K. Strobel, R. Loscheider, Kliomedia, Trier. p. 7-26, 2004.

[90] C.-O. Sarthre, M. Guerra, J.-N. Barrandon, J. Hiernard, Les monnaies d'argent du Centre-Ouest de la Gaule. Premiers résultats d'analyses. Revue numismatique. 7-27, 1996.

[91] G. Fussman, « L'empire kouchan » dans De l'Indus à l'Oxus : Archéologie de l'Asie Centrale, eds. O. Bopearachchi, C. Landes, C. Sachs, Association imago-musée de Lattes, Lattes. p. 171-173, 2003.

[92] R. Göbl, Roman patterns for Kushana coins. Journal of the Numismatic Society of India. 75-95, 1960.

[93] M. Blet-Lemarquand, « Analysis of Kushana gold coins : Debasement and provenance study » dans Dal denarius al dinar : l'oriente e la moneta romana, Atti dell'incontro di studio, Roma 16-18 Settembre 2004, eds. F. De Romanis, S. Sorda, Roma. p. 155-171, 2006.

[94] M. Blet-Lemarquand, « The origin of the gold » dans The Alexander Medallion. Exploring the origins of a unique artefact, eds. F. Holt, O. Bopearachchi, Imago Lattara, Rouqueyroux. p. 82-92, 2011.

[95] P.J. Turner, Roman coins from India. Royal Numismatic Society Special Publication 22, London, 150 pages, 1989.

[96] G. Sarah, M. Bompaire, M. McCormick, A. Rovelli, C. Guerrot, Analyses élémentaires de monnaies de Charlemagne et Louis le Pieux du Cabinet des Médailles : l'Italie carolingienne et Venise. Revue numismatique. 355-406, 2008.

[97] G. Sarah, « An analysis of early medieval silver coins : towards a better understanding of the trading role of the Adriatic emporia ? » dans From one sea to another. Trading places in the European and Mediterranean Early Middle Ages. Proceedings of the international Conference Comacchio 27th-29th March 2009, eds. S. Gelichi, R. Hodges, Brepols, Turnhout. p. 321-335, 2012.

[98] G. Le Rider, Alexandre le Grand. Monnaie, finances et politique. Presses universitaires de France, Paris, 2003.

[99] G. Aubin, avec la collab. de S. Nieto-Pelletier, Liaisons de coins et or gaulois. Revue numismatique. 51-70, 2010.

[100] S. Estiot, L'or romain entre crise et restitution, 270-276 apr. J.-C. II. Tacite et Florien. Journal des Savants. 2, 335-447, 1999.