



Appréhender le stock de métal monnayé au IV^e siècle après J.-C.

Analyses par spectrométrie de fluorescence X portable de nummi provenant du trésor de Saint-Germain-de-Varreville (Manche)

Apprehend the coin metal supply during the fourth century AD. Analyses by portable X-ray fluorescence spectrometry of nummi from the Saint-Germain-de-Varreville (Manche) Hoard

Pierre-Marie Guihard, Guillaume Blanchet, Anne Bocquet-Liénard, Jean-Claude Angélique, Étienne Liénard, Marie-Paule Bataillé, Juliette Dupré et Jean-Louis Gabriel



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/5826>
DOI : 10.4000/archeosciences.5826
ISBN : 978-2-7535-7732-9
ISSN : 2104-3728

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2018
Pagination : 45-62
ISBN : 978-2-7535-7730-5
ISSN : 1960-1360

Référence électronique

Pierre-Marie Guihard, Guillaume Blanchet, Anne Bocquet-Liénard, Jean-Claude Angélique, Étienne Liénard, Marie-Paule Bataillé, Juliette Dupré et Jean-Louis Gabriel, « Appréhender le stock de métal monnayé au IV^e siècle après J.-C. », *ArcheoSciences* [En ligne], 42-2 | 2018, mis en ligne le 13 février 2020, consulté le 01 janvier 2021. URL : <http://journals.openedition.org/archeosciences/5826> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/archeosciences.5826>

Appréhender le stock de métal monnayé au IV^e siècle apr. J.-C. – Analyses par spectrométrie de fluorescence X portable de *nummi* provenant du trésor de Saint-Germain-de-Varreville (Manche)

*Apprehend the Coin Metal Supply during the Fourth Century AD.
Analyses by Portable X-ray Fluorescence Spectrometry of Nummi
from the Saint-Germain-de-Varreville (Manche)*

Pierre-Marie GUIHARD^a, Guillaume BLANCHET^a,
Anne BOCQUET-LIÉNARD^a, Jean-Claude ANGÉLIQUE^b, Étienne LIÉNARD^b,
Marie-Paule BATAILLÉ^a, Juliette DUPRÉ^a et Jean-Louis GABRIEL^b

Résumé : Parmi les thématiques abordées en numismatique à l'aide de l'archéométrie, les recherches spécifiques sur le stock de métal monnayé au IV^e siècle s'avèrent fascinantes mais délicates. Afflux de nouvelles ressources métalliques, refontes volontaires de monnaies : tous ces phénomènes sont de grande conséquence pour les monnayages produits dans les différents ateliers de l'Empire romain tardif. Certaines données de ce type sont mesurables. Les alliages métalliques (donc ici monétaires) contiennent en effet des éléments mineurs ou en traces, constituant la « carte d'identité » de l'approvisionnement des ateliers monétaires. Il y a 10 ans Isabelle Bollard et Jean-Noël Barrandon réunissaient plusieurs analyses de monnaies en alliage cuivreux émises au cours du IV^e siècle. Nos propres observations, obtenues dans le cadre d'un projet de recherche financé par la région Normandie (intitulé FANUM), sur 14 528 monnaies (*nummi*) de la période constantinienne contenues dans un trésor découvert fortuitement à Saint-Germain-de-Varreville (Manche), nous ont incités à reprendre, de façon plus approfondie, l'étude des alliages utilisés au cours de cette période, en portant notamment notre attention sur les teneurs en or et en argent. En effet, la grande variété des ateliers représentés au sein du trésor favorisait idéalement une telle enquête. Le choix de la fluorescence X portable a permis d'élaborer un protocole d'analyse précis et adapté à un grand nombre de monnaies. L'exploitation de 774 analyses réalisées sur des *nummi* frappés dans les ateliers occidentaux a permis de compléter les travaux antérieurs, mais également de mettre en évidence l'utilisation de stocks métalliques différents à partir des années 320.

Abstract: Among the thematic studies in numismatics using archeometry, specific research on the stock of metal struck in the 4th century turns out to be fascinating but complex. Influx of new metallic resources, voluntary recasts of coins: these phenomena have great consequences for the coinage produced in all the workshops throughout the late Roman Empire. Some of these data can be measurable. Metallic alloys (coins in this case) contain minor or trace elements that constitute a kind of "identity card" for the supply of monetary workshops. Ten years ago, Isabelle Bollard and Jean-Noël Barrandon collected several analyses of bronzes struck during the 4th century. Our own observations, obtained within the FANUM project, funded by the Normandy region, on 14,528 coins (*nummi*) of the Constantinian period, contained in a fortuitously discovered treasure in Saint-Germain-de-Varreville (Manche) have motivated a thorough new study of the alloys used during this period, focusing on the traces of gold and silver. Indeed, the variety of workshops represented in the treasure has encouraged such an inquiry. The choice of portable X-ray fluorescence has enabled to develop a protocol of analysis adapted to a large number of coins. The use of 774 analyzes carried out on *nummi* struck in the Western workshops has completed previous works, but also enabled to highlight the use of different metal stocks from the 320s.

^a Centre de Recherches Archéologiques et Historiques Anciennes et Médiévales – Normandie Univ, UNICAEN, CNRS, CRAHAM, 14 000 CAEN, France.
^b Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen – Normandie Univ, ENSICAEN, UNICAEN, CNRS/IN2P3, LPC Caen, 14 000 CAEN, France.

Mots clés : Numismatique, Antiquité tardive, fluorescence X, stock, argent.

Keywords: Numismatic, Late Antiquity, X-ray fluorescence, Metal supply, silver.

INTRODUCTION

Cet article présente le résultat liminaire d'un projet de recherche¹ dédié à l'analyse de monnaies du IV^e siècle issues d'un considérable trésor découvert fortuitement en 2011 sur la commune de Saint-Germain-de-Varreville (Manche). Les aléas du temps n'ont pas eu raison du trésor, qui nous est parvenu intact : un gros récipient en céramique rempli à ras bord (fig. 1) pour un total estimé de 14 528 monnaies entassées par des mains antiques². C'est l'un des plus amples rassemblements vérifiés de la fin de la première moitié du IV^e siècle (Guihard et Allinne, 2013, p. 20-22). Grâce aux patients dénombrements effectués depuis 2013, la composition du trésor est connue dans ses grandes lignes : il est constitué de monnaies décrivant un arc chronologique centré sur la dynastie constantinienne, c'est-à-dire des monnaies frappées aux noms de Constantin I^{er} et de ses fils³ (fig. 2). Il s'agit exclusivement d'espèces de billon plus ou moins argentées, qui circulent sous le nom de « *nummus* ». Le *nummus* est une pièce créée par Dioclétien lors de la réforme d'ensemble du monnayage, qui eut lieu en 294. Cette réforme repose sur une apparente restauration du plurimétallisme avec des rapports fixes de valeurs entre une pièce d'or précédemment créée, une pièce d'argent et une pièce de billon argenté, le *nummus*. Par sa position à l'intérieur du système monétaire, le *nummus* joue un rôle central pour les paiements courants.

1. Intitulé FANUM (Fluorescence appliquée à l'Archéologie et à la NUMismatique), ce projet pluridisciplinaire est coordonné par trois laboratoires de l'université de Caen Normandie : le Centre Michel de Bouard-CRAHAM (UMR 6273), le Laboratoire de Physique Corpusculaire de Caen (UMR 6534) ainsi que la plateforme IMOGERE (Installation de Mise en Œuvre et de Gestion des Radioéléments). Entre 2016 et 2017, il a bénéficié d'un financement dans le cadre des dispositifs de soutien aux projets émergents de la région Normandie.

2. Les conditions particulières de conservation du trésor ont encouragé le développement d'une micro-fouille en laboratoire de son contenu afin d'étudier le comportement du thésaurisateur face à son pécule. Les résultats obtenus ont permis de révéler un remplissage organisé et progressif au fil du temps, par ajout voire retrait graduel de monnaies disposées en vrac ou dans des sacs. Voir Guihard & Allinne, 2013.

3. La trouvaille se clôt à la veille de la réforme monétaire de l'année 348 avec les émissions au type *Victoriae dd auggg nm*. À ce stade de l'étude, il est permis d'avancer que la composition globale du trésor de Saint-Germain-de-Varreville ne variera plus par rapport aux informations d'ores et déjà recueillies sur la base des 3 501 monnaies étudiées en 2016 et consultables à l'adresse suivante : [https://www.unicaen.fr/craham/Nummus/ead.html?id=Nummus-DD-CCC-SS-199].

Sa place est alors bien définie : il est présent dans les petites transactions quotidiennes. Mais il y a bien plus. L'histoire de cette monnaie a souvent été une histoire de poids et de titre. Ainsi, ne doit-on pas oublier en particulier que le titre d'argent du *nummus* constituait un élément important de la perception de l'objet, garant non seulement d'une confiance acceptée ou refusée par les usagers mais aussi d'une certaine stabilité des prix (Carrié, 2007). Autrement dit, cette pièce argentée constitue une force pour l'État si elle est contrôlée ; elle crée une fragilité si, en devenant faible en elle-même, elle aboutit à un écart notable entre sa valeur métallique et sa tarification officielle.

À ce jour, un ensemble monétaire du IV^e siècle aussi volumineux que celui de Saint-Germain-de-Varreville demeure tout à fait exceptionnel et se prête à plusieurs niveaux d'analyses. La caractérisation des monnaies dans une perspective archéométrique nous permet notamment de réfléchir sur la composition des alliages monétaires. D'autres ont déjà envisagé la question qui nous préoccupe aujourd'hui. Ainsi, les analyses portant sur des monnaies du IV^e siècle ont été nombreuses depuis les années 1960 (Ravetz, 1963 ; Cope, 1968 ; Cope, 1972a ; Barrandon & Brenot, 1978 ; Bastien 1980, 1982, 1985 ; Callu et Barrandon, 1986 ; Bollard, 2006 ; Bollard et Barrandon, 2006 ; Ferreti *et al.*, 2015 ; Romano *et al.*, 2015), mais n'ont que rarement dépassé l'observation du titre des *nummi*. On s'est trop peu interrogé, en revanche, sur ce que les teneurs en éléments-traces présents dans l'argent, en particulier l'or, pourraient apporter à une discussion centrée sur l'évolution de l'approvisionnement en métal précieux⁴.

Pourquoi ne pas tenter cette démarche ? À condition d'être aidé par un équipement adapté et une méthode ajustée au cadre de notre recherche, l'analyse des monnaies du trésor témoignera tant pour elle-même que pour son contexte monétaire général. C'est du moins parce que nous en sommes persuadés que cet article va s'essayer à déterminer l'origine de l'approvisionnement en argent – et non l'origine de l'argent – et les pratiques qui entourent finalement la gestion de cet élément essentiel du *nummus* durant la première moitié du IV^e siècle. En somme, l'impératif est ici d'apprécier

4. L'importance de l'élément or pour ce type de recherche a été rappelée par Blet-Lemarquand *et al.*, 2014, p. 145-146 avec bibliographie antérieure.

Figure 1 : Le trésor monétaire de Saint-Germain-de-Varreville (Manche) au moment de sa découverte (cl. E. Broine)

Figure 1: The Saint-Germain-de-Varreville hoard (Manche)



Figure 2 : Exemples de monnaies (*nummi*) composant le trésor

Figure 2: Examples of coins (*nummi*)

« dans quelle mesure l'État maîtrise sa monnaie pour en faire l'objet d'une politique » (Callu, 1969, p. 1).

1. LES BASES D'UNE ENQUÊTE PLURIDISCIPLINAIRE

Il suffit de prendre la mesure de ce qui caractérise le trésor de Saint-Germain-de-Varreville pour voir justement quelle peut être sa contribution à l'enquête projetée. Notre *conspicuitus* en cours (cf. *supra* n. 3) permet de constater que les *nummi* du trésor proviennent massivement de tous les ateliers occidentaux frappant monnaie à cette époque (fig. 3). À cela s'ajoute le rôle que jouent leurs productions respectives : les monnaies sont en effet suffisamment nombreuses pour refléter de manière assez fidèle des séquences d'émissions très développées. On aboutit à une accumulation originale où, plus intéressant que le volume, l'amplitude des émissions par atelier est le fait essentiel et, par conséquent, le véritable intérêt de Saint-Germain-de-Varreville pour l'étude du métal monnayé dans une perspective qui nous permette d'appréhender à la fois la fabrication monétaire

et les politiques monétaires définies et mises en œuvre par l'État. On a donc repris la voie ouverte par nos prédécesseurs, en l'étayant d'un matériel plus large et plus systématiquement classé.

L'étude que nous avons conduite porte sur 1024 *nummi*. Nous avons repéré parmi eux 230 imitations et indéterminés que nous écartons de notre enquête. Pour les 774 *nummi* retenus que nous jugeons officiels, leur étape d'émission va de la période 294-307 à la période 341-348. Les pourcentages internes par atelier s'établissent comme suit (tabl. 1). Cette représentation croisée des émissions conduit à estimer que l'échantillon retenu pour l'analyse est représentatif du contenu du trésor, puisqu'il suit scrupuleusement les mêmes tendances que les 3 501 monnaies identifiées jusqu'à présent (cf. *supra* n. 3).

Pour étudier la composition de l'alliage de nos 774 monnaies, nous avons associé aux données numismatiques, l'analyse par fluorescence X portable. C'est une méthode rapide, qui permet de tirer parti du volume de la découverte (voir Cowell, 1998 pour un exemple d'application sur les monnaies et plus précisément p. 454 concernant les avantages et

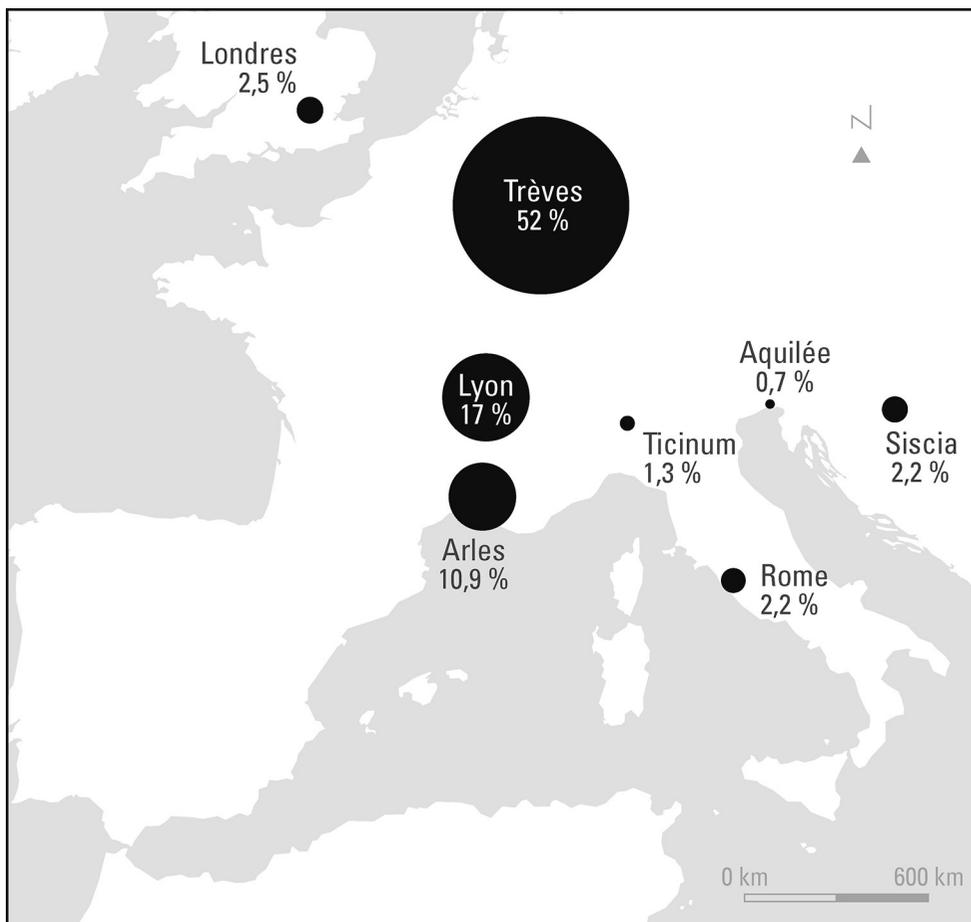


Figure 3 : Localisation et volume de production des ateliers occidentaux représentés dans le trésor, sur la base de l'étude de 3 501 *nummi* (DAO : Jean-Claude Fossey).
Figure 3: Location and production volume of western workshops represented in the treasure (based on 3 501 *nummi*).

	Londres	Trèves	Lyon	Arles	Rome	Ticinum	Aquilée	Siscia	Sirmium	Thessalonique	Héraclée	Constantinople	Nicomédie	Cyzique	Antioche	Alexandrie	Trèves ou Arles	imitations & indéterminées	Total (nombre)
Monnaies identifiées (%)	2,2	45,2	14,8	9,5	1,9	1,1	0,6	1,9	0,03	0,6	0,6	0,2	0,4	0,6	0,09	0,1	0,5	19,6	3501
Monnaies analysées (%)	3,4	54,8	18,6	12,2	2,8	2,4	0,8	2,5	-	1,1	0,4	-	-	0,5	-	0,2	-	-	774

Tableau 1 : Composition du trésor (sur la base de 3501 monnaies étudiées) et composition du lot analysé.

Table 1: Treasure composition (based on 3,501 coins studied) and composition of the analyzed batch.

les inconvénients de la fluorescence X). Toutefois, il s'agit d'un type d'appareil initialement conçu pour l'industrie, notamment pour l'analyse d'alliages modernes. Ces caractéristiques particulières sont donc à prendre en compte, tout comme les propriétés de nos monnaies : des alliages cuivreux qui ont subi l'épreuve du temps. C'est pourquoi il a été nécessaire d'établir un protocole d'analyse à la fois adapté et précis, aux visées clairement définies. Le problème traité ici est un nouvel exemple de la collaboration du numismate, de l'archéomètre et du physicien.

2. LA MÉTHODE

Les caractéristiques du dispositif de fluorescence X portable⁵ ont été prises en compte pour élaborer le protocole d'analyse. Il a été nécessaire pour ce faire de mettre en œuvre une méthodologie qui permette de répondre aux caractéristiques particulières, imposées à la fois par l'appareil et par la composition métallique du *nummus*, en se concentrant en premier lieu sur la détection des deux éléments essentiels pour notre étude : l'argent et l'or.

Les caractéristiques de l'outil analytique

La détection de l'argent et des métaux non-précieux

L'anode de l'appareil utilisé (Niton modèle XL3t 980 GOLDD+) est constituée d'argent et une partie des composants internes contiennent du cuivre, du fer ainsi que du nickel. Tous ces éléments sont présents dans le *nummus* : l'argent en est le composant discriminant et les autres en sont les constituants métalliques (cuivre) ou les impuretés (fer et nickel). Il a été déterminé par le constructeur – et vérifié par

5. L'appareil est initialement fourni avec des « modes » d'analyses, qui regroupent des bibliothèques d'éléments, caractéristiques du matériau que l'utilisateur souhaite analyser.

des simulations Monte Carlo (Patin, 2016) – que le filtre principal de cet outil permet d'atténuer les raies K de l'anode en argent, mais également de réduire plus globalement le bruit de fond. Concernant les éléments appartenant à l'électronique interne de l'appareil, susceptibles de gêner l'analyse de nos échantillons, plusieurs essais sur des objets non métalliques ont été réalisés. Or, il s'avère que ces « contributions parasites » éventuelles sont automatiquement soustraites lors du calcul des concentrations. De plus, la justesse de l'appareil a été testée grâce à l'analyse d'étalons certifiés. Ces étalons proviennent du « copper CHARM Set » (Cultural Heritage Alloy Reference Material Set; Heginbotham *et al.*, 2015); ils ont été choisis pour leur proximité chimique avec la composition des monnaies étudiées⁶. Bien que les résultats délivrés par la fluorescence soient très proches des valeurs certifiées, ils se sont néanmoins montrés légèrement supérieurs (Annexe 1 et fig. 4). Par conséquent, les pentes d'étalonnage ont été modifiées pour tous les éléments, à l'exception de l'or. Les étalons ont également été utilisés dans le cadre de tests de reproductibilité⁷. La répétabilité⁸ des mesures a été, quant à elle, contrôlée par de multiples essais réalisés sur les monnaies (fig. 4). À titre d'exemple, 20 mesures réalisées à 3 minutes d'intervalle sur le *nummus* n° 1920 ont révélé un écart-type de 0,002 % concernant l'élément argent.

6. La liste des étalons choisis est la suivante : 32X SN5, 32X SN6, 32X SN7, 32X LB15, 32X LB17, 33X GM4, 33X GM20, 31X 7835.9. Parmi ces étalons, aucun ne proposait un pourcentage d'or supérieur à 0,01 %.

7. La reproductibilité est l'étroitesse de l'accord entre les résultats de mesurages répétés du même objet (échantillon ou étalon), les mesurages sont effectués en faisant varier les conditions de mesure (appareil arrêté, objet enlevé et remis, jour de la mesure différent).

8. La répétabilité est l'étroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même objet, tous les mesurages étant effectués dans la totalité dans les mêmes conditions de mesure (même méthode, même échantillon, même lieu, même opérateur et durant un intervalle de temps court).

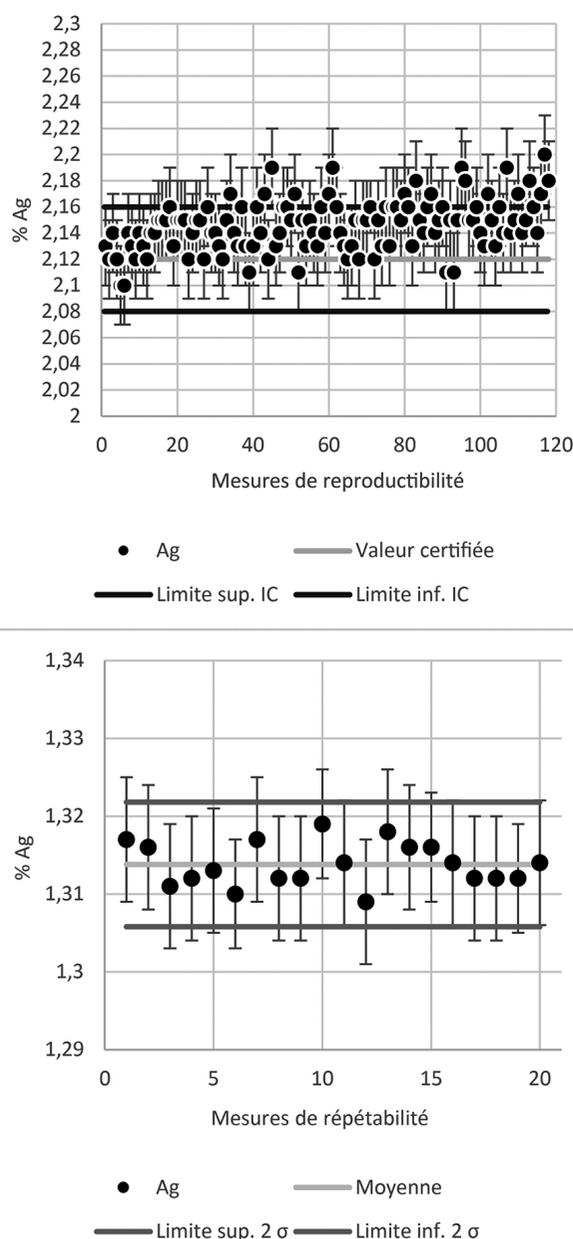


Figure 4 : (haut) Mesures de reproductibilité de l'argent effectuées sur l'étalon CHARM 31X 7853.9. (bas) Vingt analyses de répétabilité effectuées sur la monnaie n° 1920 à 3 minutes d'intervalle (répétabilité).

Figure 4: (top) Reproducibility performed on the CHARM standard 31X 7853.9. (below) Repeatability tests performed on the coin n° 1920.

Détecter l'or, les limites de la méthode

Par défaut, l'or fait partie des éléments mesurés avec l'application du filtre principal. Le calcul de la concentration est initialement effectué sur la raie L_{β} de l'Au (11,44 keV).

Néanmoins, un problème lié à sa détection s'est rapidement posé : cette raie se trouve en effet dans la même gamme d'énergie que celles du plomb. L'or étant présent à l'état de traces dans ces monnaies (<0,06 %), il y a une interférence entre le Pb et l'Au, le plomb étant d'ailleurs systématiquement présent dans les *nummi*. Afin de rendre possible cette détection, nous avons pris la décision de déterminer la concentration de l'Au à une énergie plus basse, en dédiant une plus grande partie du temps d'acquisition au filtre « bas » de la fluorescence X portable (120 secondes). Ainsi, le calcul de l'or s'effectue non plus sur la L_{β} mais sur la L_{α} (9,71 keV). Travailler à cette énergie pourrait s'avérer problématique dans le cas où les objets que nous analysons seraient constitués de fortes teneurs en zinc. Toutefois, les *nummi*, à quelques exceptions près, n'en contiennent pas⁹.

Même si nous sommes sûrs, après cette orientation méthodologique, de pouvoir détecter de petites quantités d'or, il s'avère difficile, dans certains cas, d'interpréter les teneurs les plus faibles délivrées par la machine. En effet, le constructeur estime que la limite de détection de l'or dans une matrice cuivreuse est de 0,025 %. Or, près de 35 % de nos échantillons possèdent des teneurs en or inférieures ou égales à cette limite. En observant de manière très précise les spectres, on s'aperçoit rapidement que la raie de l'Au se distingue mal du bruit de fond. Il est donc difficile de prendre en compte ces valeurs inférieures ou égales à 0,025 %.

Considérer les caractéristiques de l'appareil, ses capacités et ses limites, nous a permis de déterminer des conditions d'analyse (tabl. 2), c'est-à-dire le choix du mode et des filtres, ainsi que la détermination du temps d'acquisition en fonction des éléments à analyser.

Filtre	Mode	Tension	Durée (secondes)	Éléments recherchés
Principal	Alliage électronique	50 keV	60	Ag, Pb, Sn, Cu, As, Ni, Fe, Sb, Zn
Bas	Alliage électronique	20 keV	120	Au

Tableau 2 : Conditions d'analyse des *nummi* par fluorescence X portable.

Table 2: Nummi analysis conditions by portable XRF

9. D'après le constructeur la limite de détection du zinc dans une matrice cuivre est de 0,03%.

Les caractéristiques métalliques du *nummus*

Avant de soumettre les *nummi* à une analyse de composition, il a été nécessaire de prendre en compte deux phénomènes majeurs les caractérisant.

Les phénomènes de surface

Les phénomènes de surface sont aujourd'hui bien connus (voir récemment Moreno-Suárez *et al.*, 2016; Beck *et al.*, 2017). Ils peuvent résulter, d'une part, de processus thermomécaniques qui interviennent durant la fabrication et, d'autre part, d'altérations diverses se déroulant lors de la circulation, l'enfouissement et éventuellement la restauration de la monnaie. Dans le cas précis du *nummus*, il est systématiquement question de l'enrichissement de sa surface par le métal précieux qui en constitue son identité : l'argent. Certains auteurs ont formulé l'hypothèse de la formation d'enrichissement lors de la mise en forme de la monnaie (Hall, 1961; Canovaro *et al.*, 2011) et plus précisément pendant une phase de recuit¹⁰ (Ferretti *et al.*, 2015). Le caractère volontaire ou non de ce procédé n'est pas à discuter ici, même si rendre intentionnellement argentée la surface du *nummus* n'est pas une technique étrangère aux ateliers de l'Empire. En effet, une étude (Romano *et al.*, 2015) a permis de détecter, sur des émissions frappées dans les ateliers italiens¹¹, l'utilisation de mercure pour enrichir (par amalgame) en argent la surface.

Après avoir considéré les phénomènes pouvant intervenir durant la mise en forme des monnaies, il reste à examiner les altérations produites lors de la circulation, l'enfouissement et le traitement chimique moderne éventuel des *nummi*. Dans ces cas, le départ du cuivre est la conséquence directe de la réaction électrochimique entre le cuivre et l'argent (Condamin & Picon 1964; Cope, 1972b). Une fois extraites de leur contenant, les monnaies du trésor de Saint-Germain-de-Varreville étaient recouvertes d'une couche d'oxydation cuivreuse, ayant souvent contribué à les souder entre elles.

10. Voir Ferretti *et al.*, 2015 : quatre *nummi* plus anciens (frappés sous Maxence, 306-312) ont fait l'objet de coupes métallographiques. Des frappes expérimentales ont été menées démontrant que la chauffe, entre 500 et 700 °C, permettrait au plomb et à l'argent d'entrer en phase liquide et de migrer vers la surface, le plomb n'étant pas miscible dans le cuivre. Voir aussi Canovaro *et al.*, 2011 : les investigations menées sur des *nummi* plus tardifs (début V^e siècle) ont montré une différence brute moyenne de 15,3 % de plomb entre la surface et le cœur des échantillons. Ces deux études confirment ce que l'on peut entrevoir avec les résultats de notre tableau 3, lorsque la partie superficielle de la monnaie est décapée.

11. Sur 1041 *nummi* du trésor de Misurata (Lybie) analysés par BSC-XRF (Beam Stability Controlled-XRF) et provenant de divers ateliers, 220 contiennent des traces de mercure. Ces *nummi* ont été exclusivement émis par Constantinople et les ateliers monétaires italiens, pendant des périodes d'émission précises.

Un nettoyage, à l'aide de méthodes mécanique et chimique, s'est alors imposé pour les libérer de leur gangue corrosive. Mais, en contrepartie, la surface a été quelque peu altérée. Or, ces altérations peuvent tout à fait provoquer un enrichissement où l'utilisation d'acides notamment participe à l'élimination des oxydes de cuivre et donc à la concentration de l'argent en surface (Beck *et al.*, 2008).

La profondeur analysée par spectrométrie de fluorescence X sur ce type de monnaies est estimée à 30 microns. Face à tous ces phénomènes d'enrichissement résultant de différents processus cités plus haut, il y a donc de fortes chances pour que la partie analysée ne soit pas représentative de la composition de la monnaie. Afin de nous affranchir de ces phénomènes de surface, nous avons pris la décision, en nous inspirant de travaux antérieurs (notamment Carter, 1964), d'ôter une partie de la surface de la monnaie jusqu'à arriver sur un métal que nous estimons « sain ».

Le tableau 3 démontre que lorsque la surface de la monnaie est « décapée », il y a une différence de 1,81 % d'argent (différence brute moyenne) entre son état initial et son décapage. De la même manière et sans surprise, les proportions de cuivre augmentent après le décapage. Étant donné que le taux d'argent est un élément discriminant, une telle surévaluation n'est pas envisageable pour notre étude. Un décapage a donc été appliqué à l'intégralité des monnaies analysées : il a été réalisé sur des zones de 3 mm de diamètre, correspondant à la taille du faisceau du dispositif XRF¹².

	État	Ag (%)	Au (%)	Cu (%)	Pb (%)	Sn (%)	Fe (%)
1	Av.	3,75	0,07	88,46	3,46	3,73	0,070
	Ap.	2,14	0,03	91,23	3,39	2,89	0,068
2	Av.	4,48	0,10	84,20	4,97	5,52	0,097
	Ap.	2,28	0,04	89,61	4,15	3,53	0,089
3	Av.	3,54	0,08	88,17	3,77	3,93	0,044
	Ap.	1,93	0,04	92,00	2,67	2,96	0,071

Tableau 3 : Composition de la monnaie n° 5149 (frappée à Londres) avant et après sa préparation (décapage sur trois zones différentes)

Tableau 3: Composition of the coin n° 5149 (London mint) before and after its preparation (cleaned on 3 areas)

Un alliage hétérogène

Sans avoir eu, pour le moment, la possibilité de réaliser des coupes métallographiques, la connaissance générale des caractéristiques de l'alliage du *nummus* permet déjà d'être

12. Un micro-tour a été utilisé avec des mèches abrasives en oxyde d'aluminium. Aucune contamination n'a été constatée.

bien conscient de son caractère hétérogène. La non miscibilité du plomb et les différents phénomènes de ségrégation et migrations présentés plus haut en sont les principales causes. Il semblerait que les effets de ségrégation liés à l'étain soient inexistantes lorsque cet élément est inférieur à 14 % (Scott, 1991). Notons que la composition des *nummi* ne compte quasiment jamais une concentration en étain supérieure à 5 %¹³ (dans le cas de nos échantillons et de ceux traités par des analyses globales). Les différentes phases étant présentes à l'échelle microscopique dans ces monnaies, l'utilisation d'un faisceau assez large (3 mm ici) suffit à prévenir les éventuelles variations liées à l'hétérogénéité métallique (Smith, 2013). Cependant, tout comme le choix d'ôter une partie de la surface des échantillons, nous avons décidé de prendre une précaution supplémentaire, en multipliant le nombre de zones analysées. En routine, deux points sont analysés, un au droit et un au revers de la monnaie. Une troisième mesure est effectuée dans le cas où les deux premiers dosages présentent un écart important. En sélectionnant l'argent comme témoin, nous avons fixé un seuil équivalent à 0,4 % de différence, écart permettant de discriminer deux monnaies issues de périodes monétaires dissemblables (sur 1 000 monnaies analysées, la nécessité d'une troisième mesure ne s'est présentée que dans 2 % des cas). Enfin, les mesures sont réalisées sur les zones les plus planes de la monnaie, évitant ainsi les zones de relief. Ce choix permet de répondre à deux conditions. La première correspond à une précaution liée à la conservation de l'objet : l'iconographie et les légendes ne doivent pas être endommagées. La seconde est liée au comportement du faisceau : un positionnement sur un relief trop marqué ou trop poreux peut avoir un impact sur l'intensité délivrée et ainsi influencer le calcul des concentrations (Trojek *et al.*, 2010 ; Smith, 2013). L'ensemble de ces choix méthodologiques doit ainsi permettre de nous approcher au mieux d'une composition représentative de l'ensemble de la monnaie, tout en cherchant à préserver autant que faire se peut son état de conservation.

Mise en place du protocole et validation des premiers résultats

L'ensemble de ces tests et choix méthodologiques nous a permis de mettre en place un protocole d'analyses précis. Tout d'abord, chaque série d'analyses débute par un contrôle de la calibration de l'appareil via la mesure de deux étalons¹⁴ provenant du set d'étalons présenté *supra*. Dans le

13. Voir Scott, 1991 : dans un bronze, lorsque les 14 % d'étain sont dépassés, cela crée une phase métallique supplémentaire (δ) conférant des propriétés plus fragiles au matériau.

14. Ces étalons ont été choisis car leur composition, en argent principalement, est dans la gamme de concentration attendue des *nummi*.

même temps, les monnaies sont décapées en deux points (sur le droit et le revers) sous une loupe binoculaire. Les échantillons sont soigneusement débarrassés de leurs résidus métalliques, afin d'éviter la contamination des autres monnaies. Ensuite, chaque *nummus* est placé sur le poste d'analyse, la zone préparée est centrée sur la cible du collimateur, à l'aide de la caméra intégrée au dispositif XRF. L'analyse peut alors être lancée, avec un temps d'acquisition de 180 secondes pour chaque zone (60 secondes sur le filtre principal et 120 secondes sur le filtre bas¹⁵). L'acquisition est menée et enregistrée par le logiciel fourni par le constructeur. Cet outil permet d'extraire les spectres, mais également toutes les données brutes mesurées par la XRF. L'extraction passe donc par un contrôle rigoureux des spectres afin de valider l'acquisition. Pour résumer, le protocole se déroule selon quatre étapes :

- Mesure de deux étalons avant chaque série d'analyses ;
- Décapage des monnaies, au droit et au revers ;
- Analyse de 180 secondes par zone décapée ;
- Extraction, analyse et interprétation des données.

Afin de conforter la justesse de notre protocole, nous avons pu soumettre cinq *nummi* à une méthode d'analyse globale, en l'occurrence par Activation aux Neutrons Rapides de Cyclotron (ANRC)¹⁶. Comme il est permis de le constater pour l'argent et l'étain, les résultats sont très proches entre les deux méthodes, avec un coefficient de corrélation égal à 0,99 dans les deux cas (fig. 5). De par les phénomènes d'hétérogénéité, le plomb commence à décrocher lorsque l'on dépasse les 10 %. Concernant l'or, notre appareil surestime la concentration massique des échantillons¹⁷. Cependant on observe une cohérence tendancielle dans cette différence, qui peut être suffisante pour les considérations que nous ferons par la suite.

Si l'on se penche pour terminer sur ce qui fait l'identité même du *nummus*, son titre d'argent, nos analyses permettent une nouvelle fois de valider la méthode suivie. Il est en effet remarquable de souligner que les analyses antérieures se retrouvent systématiquement dans la même gamme de composition que les nôtres et ce pour chaque période (fig. 6). Ainsi, on observe pour la première période (307-318), un titre inférieur à 2 % d'argent, qui augmente

15. Le temps d'acquisition a été déterminé à partir d'essais réalisés sur des monnaies. La prise en compte des temps morts nous a permis d'optimiser le temps réel de comptage (temps actif). Un temps chronomètre de deux minutes permet de négliger les temps morts (voir Patin, 2016).

16. Nous souhaitons particulièrement remercier Maryse Blet-Lemarquand et l'IRAMAT Centre Ernest-Babelon (UMR 5060, CNRS/université d'Orléans) pour ces analyses ainsi que le CEMHTI-cyclotron (UPR 3079, CNRS d'Orléans) pour les facilités d'irradiation.

17. Pour approfondir, d'autres comparaisons devront être menées sur des *nummi* avec une concentration plus élevée en or.

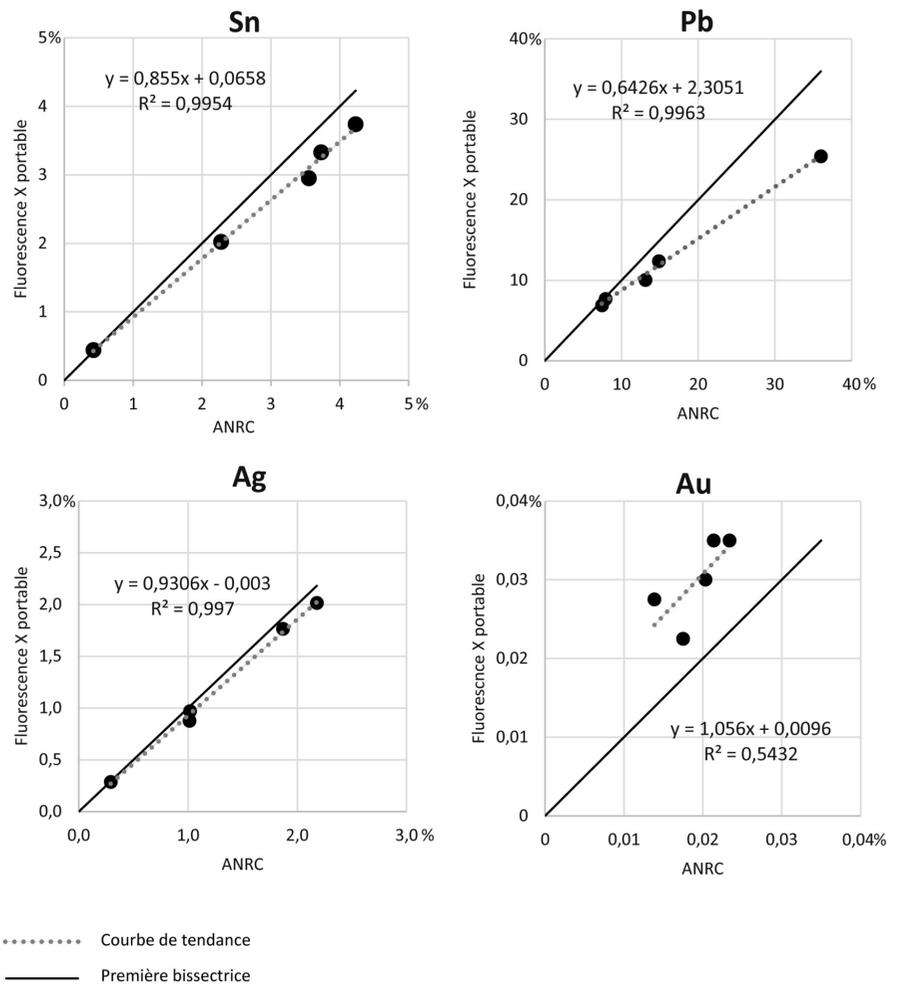


Figure 5 : Comparaison des résultats obtenus par Florescence X portable et ANRC sur 5 nummi du trésor.
 Figure 5: Comparison of results from portable XRF and ANRC analyzes on 5 nummi from the treasure.

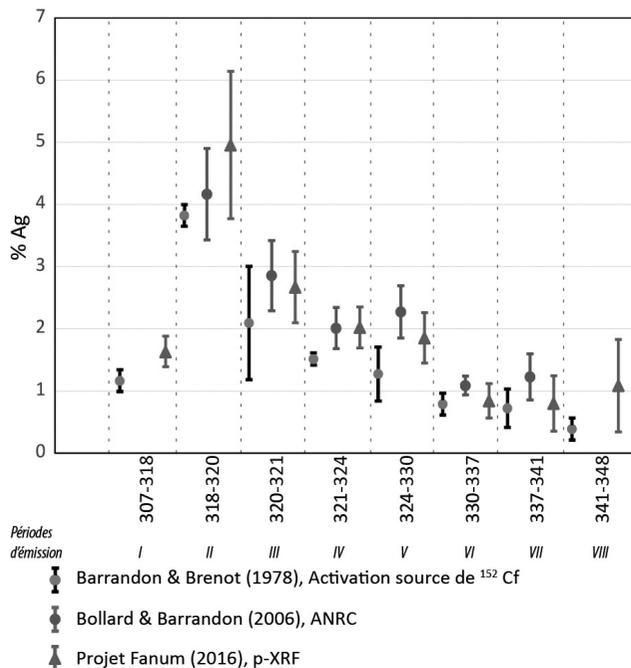


Figure 6 : Comparaison des résultats antérieurs avec les résultats obtenus par fluorescence X portable.
 Figure 6: Comparison between anterior analyzes and portable XRF results.

nettement au cours de la période suivante (318-320) en atteignant les 4 % de métal précieux. Une chute s'amorce ensuite à partir de la période 320-321 où le titre se maintient à environ 2 % d'argent jusqu'à la période 324-330. Enfin, à partir de la période 330-337, le titre du *nummus* passe sous la barre des 1 %, jusqu'à la fin de la première moitié du IV^e siècle.

3. APPRÉHENDER L'ORIGINE DE L'APPROVISIONNEMENT EN ARGENT

Alors que la variation de l'argent est en soi un critère assez présumable pour déterminer les politiques monétaires définies et mises en œuvre par l'État, d'autres facteurs nous permettent de discuter de l'évolution de l'approvisionnement en métal précieux¹⁸. C'est ce vers quoi nous mène précisément la recherche des éléments-traces, ceux-là non décelables dans l'Antiquité. Nous savons, en particulier, que l'argent à l'état natif contient en très petites quantités des impuretés métalliques, dont certaines, les éléments nobles, ne semblent affectées par aucun traitement du métal : en somme, l'argent fut-il refondu plusieurs fois, cela n'altère pas sa teneur. L'or est un des éléments « traceurs » de l'argent¹⁹. Depuis les travaux d'Adon Gordus (1970 et 1972), il est admis que la représentation des teneurs en argent en fonction des teneurs en or permet de déterminer des aires métallogéniques. En conséquence, si deux ensembles monétaires présentent des caractéristiques chimiques distinctes, il n'y a qu'une seule conclusion possible : ils ne résultent pas d'un même « stock » – compris ici comme le métal utilisé (Blet-Lemarquand *et al.* 2014, p. 145-146). Ainsi, la comparaison de séries monétaires successives ou contemporaines devrait fournir des arguments permettant d'aborder la question de l'approvisionnement en argent. Le point le plus décisif serait alors de constituer en critère absolu la variation de l'Au en fonction de celle en Ag, dans le but de différencier les « argents » utilisés, c'est-à-dire déterminer si l'argent utilisé pour la fabrication des *nummi* au cours du IV^e siècle a toujours la même origine.

18. De nombreuses études se sont intéressées à cette question, voir par exemple pour la monnaie romaine le cas de l'or d'Auguste dans Blet-Lemarquand *et al.*, 2015.

19. Il faut préciser que les minerais de cuivre contiennent, entre autres, des quantités détectables d'argent. Ainsi, pour les *nummi* présentant des teneurs en argent très faibles (inférieures à 0,2-0,3 %), on ne peut écarter que l'Ag et l'Au détectés proviennent du minerai de cuivre. La discussion de cette hypothèse (dans Bollard et Barrandon, 2006, p. 297) a permis de « différencier le cas où l'argent est ajouté volontairement (de 294 à 364) du cas où l'argent n'est pas ajouté mais lié au minerai du cuivre (après 364) ». Or, concernant notre échantillon, 96 % des *nummi* (498 sur 516) possèdent des teneurs en argent supérieures à 0,3 %.

Dans cette voie de l'analyse des traces caractéristiques de l'argent, nous avons eu une devancière. En 2006, Isabelle Bollard envisageait dans sa thèse de doctorat la question qui nous occupe (voir aussi Bollard et Barrandon, 2006). Pour ce faire, elle avait analysé 147 *nummi* émis entre 294 et 348 dans des ateliers d'Occident et d'Orient, et arriva à la conclusion d'une uniformité métallurgique du stock monnayé. Une raison, cependant, nous engage à compléter ses résultats : préoccupée essentiellement par une comparaison entre les deux parties de l'Empire, elle n'était pas rentrée dans le détail des émissions de chaque atelier, gommant ainsi toute possibilité de percevoir des évolutions d'une période de frappe à l'autre. Une vérification dès lors s'imposait en renforçant l'échantillon d'analyses nouvelles.

La composition particulière du dépôt de Saint-Germain-de-Varville suggère de limiter notre recherche aux ateliers d'Occident, qui sont ceux qui fournissent l'éventail le plus large de monnaies (cf. fig. 3). Sur les 774 monnaies que compte notre échantillon, 516 ont pu être néanmoins analysées. Dans un cas sur trois, l'or est à la limite de détection. Il s'agit là d'un problème de sensibilité de l'équipement utilisé, comme nous l'avons souligné (cf. *supra*). D'autres analyses semblent donc nécessaires afin de poursuivre et d'approfondir nos résultats. Quoi qu'il en soit, l'échantillonnage est déjà très ouvert pour retracer l'utilisation de l'argent au sein des ateliers d'Occident : Londres (36), Trèves (302), Lyon (83), Arles (55), Rome (17), *Ticinum* (19), Aquilée (4). Afin d'en faciliter le traitement, les monnaies ont été rangées classiquement selon 8 tranches chronologiques dictées par les types : I. 307-318, II. 318-320, III. 320-321, IV. 321-324, V. 324-330, VI. 330-337, VII. 337-341 et VIII. 341-348 (tabl. 4). Mener l'analyse de cette façon doit ainsi permettre de dégager éventuellement différents groupes à l'intérieur d'un même atelier et entre plusieurs ateliers et, par là-même, de voir leur évolution dans le temps. Voilà le schéma directeur qui peut dès à présent guider dans les comparaisons analytiques du matériel.

Dans les résultats obtenus (fig. 7), la position des points invite d'emblée à dissocier au moins trois ensembles. Un premier groupe rassemble des monnaies qui ont la particularité de présenter une variation Au/Ag similaire (approximativement % Au : 0,03-0,04) et quelque soit l'atelier considéré au cours des périodes III à V (320-321, 321-324, 324-330). Cela semble impliquer que l'argent employé pour fabriquer les monnaies dans les ateliers occidentaux provient, tout au moins, d'un même stock de métal. Il y a là plus qu'une présomption qui avait déjà été avancée par Isabelle Bollard (2006) et récemment admise par Jean-Pierre Callu (2015). Nous savons qu'au IV^e siècle la production et le contrôle du numéraire relèvent de l'administration fiscale, dirigée par

Tableau 4 : Répartition des monnaies par période d'émission.
 Table 4: Repartition of coins by emission period.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Période	307-318	318-320	320-321	321-324	324-330	330-337	337-341	341-348	Total
Nombre	12	2	13	170	124	178	15	2	516

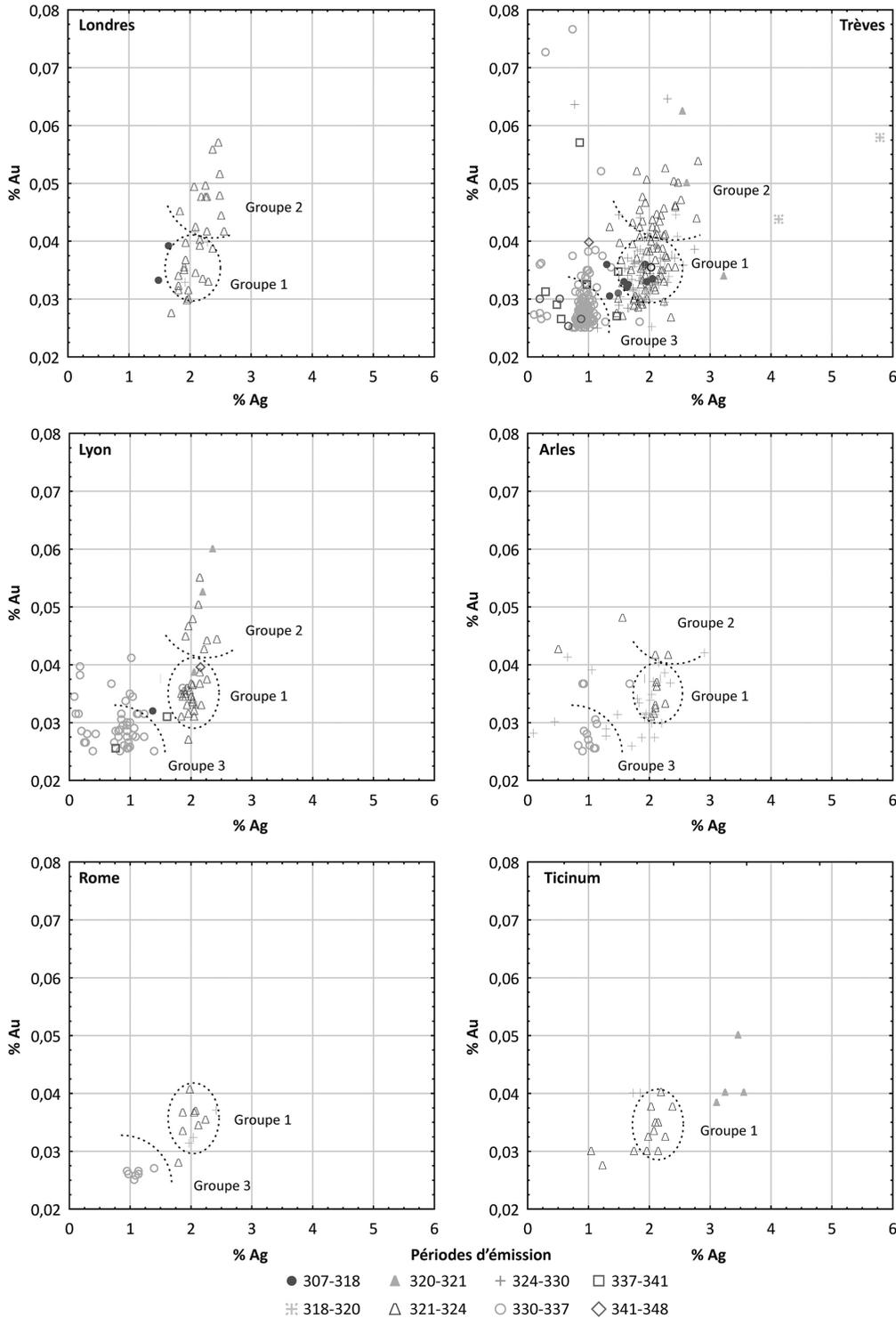


Figure 7 : Diagramme binaire Au/Ag des monnaies frappées dans les ateliers de Londres, Trèves, Lyon, Arles, Rome et Ticinum pendant la première moitié du IV^e siècle.
 Figure 7: Au/Ag ratio of coins struck by London, Trier, Lyon, Arles, Rome and Ticinum workshops in the first half of the 4th century.

le *rationalis summarum*. La réorganisation administrative menée par Constantin voit en particulier l'apparition d'un nouveau comte des largesses sacrées (*comes sacrarum largitionum*), qui est responsable entre autres de la monnaie. Son autorité s'étend aux ateliers monétaires ainsi qu'aux sources d'approvisionnement en métaux à monnayer, comme les mines d'or et d'argent (sur le sujet voir Delmaire, 1989, p. 495-525). Décrite dans la *Notice des Dignités*, l'administration du comte des largesses sacrées assure ainsi l'approvisionnement monétaire des provinces de l'Empire romain. Un bureau des Largesses sacrées, le *scrinium pecuniis*, est quant à lui directement chargé de la production du numéraire de bronze. C'est dire à quel point la production monétaire devait être maîtrisée et scrupuleusement contrôlée, ce que semble par conséquent indiquer la large stabilité, d'un atelier à l'autre, des caractéristiques chimiques des monnaies du groupe 1.

Dans le sillage des productions des années 320, il est intéressant de porter un regard plus spécifique sur les *nummi* antérieurs à la fondamentale césure de 318. Il est en effet maintenant clairement établi que Constantin et Licinus démonétisèrent en 318 ces *nummi*, ouvrant ainsi la voie vers une nouvelle thésaurisation (Brenot, 1972, p. 212, 216-217; Callu, 1976, p. 230-231). Ce qui retient précisément l'attention ici, ce sont les correspondances entre l'argent utilisé pour les monnaies postérieures à 318 et les quelques exemplaires antérieures à cette date (période I) qui sont encore présents dans le dépôt de Saint-Germain-de-Varreville. Cela nous donne semble-t-il une indication supplémentaire sur l'organisation de la frappe après 318 : à savoir l'existence d'une refonte volontaire des émissions antérieures (Callu, 1976, p. 231-232, à compléter par Brenot, 1974; Brenot et Callu, 1974 p. 671; Depeyrot 1982, p. 52; Bollard et Barrandon, 2006; Callu, 2015, p. 72), preuve, en elle-même, d'un manque de matières premières qui a dû se faire sentir lorsque le taux de fin du *nummus* fut rehaussé à partir des années 318-320 (cf. fig. 6), tout en conservant une taille au 1/96^e de livre.

Beaucoup plus intéressante se révèle la suite des pourcentages (cf. fig. 7). Force est de constater qu'un second ensemble de monnaies émises aussi au cours des années 320 (périodes III à V) se dissocie du premier groupe avec des teneurs en or supérieures à 0,04 % – sans que cette augmentation ne soit corrélative à une augmentation du taux d'argent²⁰. Seules les monnaies des ateliers des dio-

cèses de Bretagne (Londres) et des Gaules (Lyon et Trèves) sont concernées. Le même phénomène demeure probable pour Arles, bien que nous manquions d'un nombre suffisant de monnaies. En conséquence, il semblerait que l'on soit en présence de l'utilisation d'un stock d'argent différent à l'intérieur d'une même période. D'un point de vue numismatique, la figure 8 montre comment s'ordonnent, par types de revers, les 187 monnaies des périodes concernées. D'emblée, ce qui retient l'attention sont les correspondances entre les deux groupes. Ainsi, retrouve-t-on à Londres des *nummi* du type *Caesarum nostrorum* de l'émission²¹ PLON(croissant) aussi bien dans le premier que dans le second. Un phénomène que l'on observe également à Trèves avec les *nummi* du type *Sarmatia devicta* de l'émission PTR(croissant) ou encore à Lyon avec les *nummi* du type *Beata Tranquillitas* de l'émission C/R//PLG. De toute évidence, un tel brassage indique que les ateliers, à l'intérieur d'une même émission, ont pu avoir recours à deux stocks d'argent différents. Précisons toutefois que l'examen des types ne porte pas toujours à une conclusion identique. On ne manquera pas de relever en effet, dans ce second groupe, la présence d'émissions absentes du premier. C'est le cas à Trèves et à Londres avec le type *Beata tranquillitas*. S'il est encore difficile de considérer ces résultats comme significatifs étant donné le faible nombre de monnaies analysées, le fait mérite d'être souligné. Quoi qu'il en soit, on peut imaginer l'utilisation sciemment combinée de deux stocks de métal de la part des ateliers. Le plus difficile est de l'expliquer. À cet égard, il convient de porter une attention toute particulière au volume des émissions, qui, à partir du début des années 320, gagne en importance dans les ateliers de Londres, Trèves et Lyon, après que les ateliers italiens (Rome, Ticinum et Aquilée) eurent interrompu – ou drastiquement ralenti – leur activité monétaire pendant quelques années, entre 322 et 325 (Bruun 1966, p. 87, 280, 349 et 390). Schématiquement, on aboutit pour la phase 318-325/326 aux résultats présentés à la figure 9 – qui donnent à la fois le total des monnaies dénombrées pour chaque émission et leur pourcentage par rapport à l'ensemble.

antérieurs ne nous ont pas autorisés à aller plus loin. Cette question pourrait être débattue avec un appareillage plus précis.

21. L'usage courant en numismatique attribue l'émission au lieu même de fabrication, qui a pour siège le plus souvent l'atelier. Au IV^e siècle, une émission associe plusieurs « marques » qui combinent de façon plus ou moins complète l'indication de l'atelier. Par exemple, dans le cas d'une émission portant les sigles PTR(croissant), les lettres TR indiquent l'atelier de Trèves (*Augusta Treverorum*) et les « différents » qui s'y rattachent (P pour l'officine, etc.) permettent de préciser l'émission. Autant de « marques », autant d'émissions distinctes.

20. La variation en or a été confrontée aux teneurs en argent des *nummi* conformément au postulat posé par A. Gordus et repris par Bollard & Barrandon (voir *supra*). Néanmoins, on ne peut totalement exclure l'hypothèse que ces teneurs en or soient induites par l'apport d'un autre métal que l'argent. Cependant, la sensibilité de notre équipement et les travaux

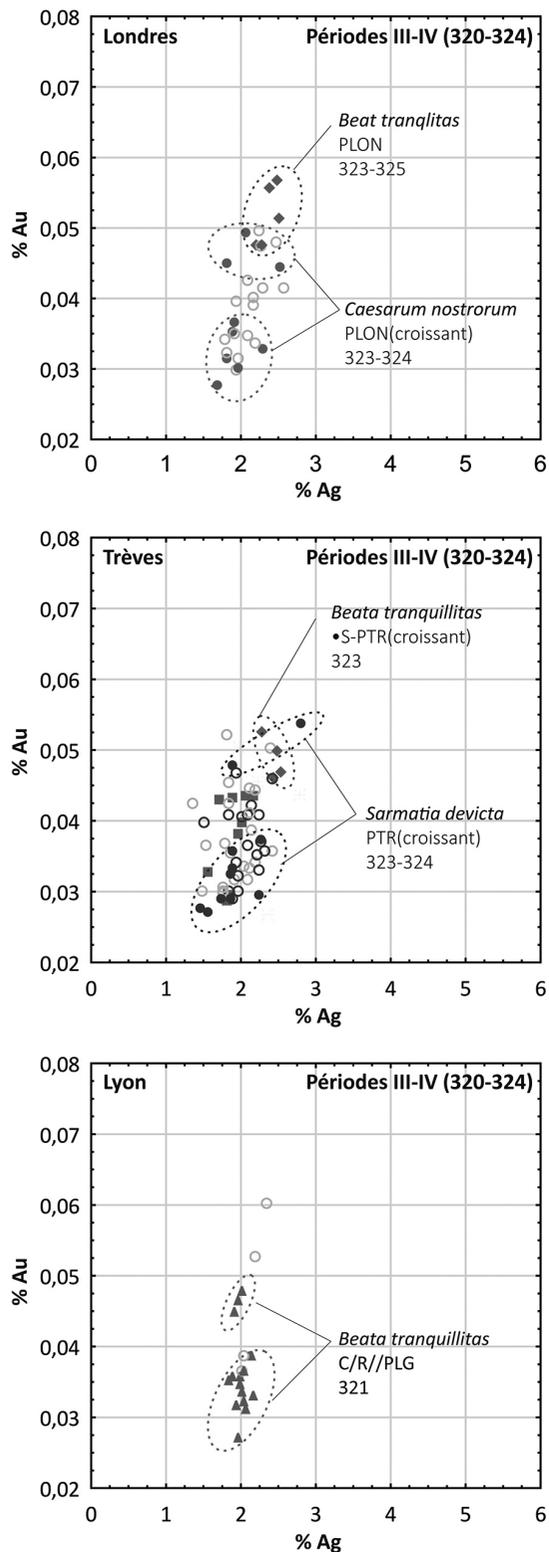


Figure 8 : Diagramme binaire Au/Ag des émissions issues de Londres, Trèves et Lyon entre 320 et 324.

Figure 8: Au/Ag ratio of emissions from London, Trier and Lyon workshops between 320 and 324.

Il suffit de lire la figure 9 (cf. aussi Annexe 2) pour déterminer que la production de *nummi* des années 321/2-325 dans les ateliers de Londres, Trèves et Lyon procède en effet d'un rythme d'émission plus soutenu. La relation avec les variations de compositions en éléments en traces observées à la même période dans les mêmes ateliers est intéressante et fournit volontiers une raison vraisemblable pour expliquer la différence introduite par ce second groupe : en somme, une augmentation de la production monétaire dans les ateliers qui, en gonflant les besoins, aurait nécessité de se tourner vers d'autres sources d'approvisionnement en métal.

Il resterait à jeter un regard sur l'évolution ultérieure, celle représentée par le numéraire des périodes VI (330-337) et VII (337-341). Que remarque-t-on? Dans les ateliers de Trèves, Lyon, Arles et Rome, le groupe 3 a été identifié par des teneurs en or et en argent inférieures à ce que l'on rencontre pour les périodes précédentes (fig. 7). À cette époque, le *nummus*, avec l'introduction du type à la *gloria exercitus* et des frappes urbaines (Rome et Constantinople), fut l'objet d'importantes manipulations de la part de l'État. Taillé au 1/96^e de livre depuis 313, le poids du *nummus* est ainsi abaissé au 1/132^e de livre. Après 336, la dévaluation continue pour atteindre une taille au 1/192^e. Parallèlement, sa teneur en argent, proche de 2 % au cours des années 320, tend à régresser peu à peu aux alentours de 1 % (fig. 6). Pour autant, ces diverses manipulations, qui étaient destinées à accroître les quantités émises (Depeyrot 1982, p. 75-76) sur fond d'une violente poussée inflationniste des prix du marché induisant la nécessité de la monnaie²², ne font pas clivage en matière de stock monnayé. En effet, on observe une constance entre les groupes 1 et 3 (fig. 7). L'or et l'argent semblent évoluer selon le même rapport : de manière générale, quand l'argent baisse, l'or diminue également. Cet aspect n'incline pas en effet à supposer l'utilisation d'un nouveau stock. On peut dès lors imaginer une large refonte de la monnaie antérieure (dans le même sens Depeyrot 1982, p. 75 ; Bollard et Barrandon 2006, p. 294-296), ce qui laisserait à penser que la fiscalité a pu jouer un rôle de premier plan dans l'approvisionnement en métal des ateliers

22. Jusque vers 310, les prix officiels observables en Égypte et en Palestine (dont les conséquences, selon certains historiens-économistes, furent ressenties dans l'ensemble de l'Empire) montent avec une lente régularité, mais ne dénotent pas d'accroissement fulgurant au cours de la première décennie du IV^e siècle (voir Oertel 1939 ; Bagnall 1985 ; Carrié 1993). Les années suivantes sont marquées par davantage de brutalité. Les recherches récentes ont en effet établi une multiplication des prix nominaux par 6 entre 330 et 348, et par 40 à 50 entre 348 et 354. Dans les années 360, l'inflation se calme et une stabilisation complète n'intervient qu'à partir de 380 (Carrié 2007, p. 148). Traitant plus largement de la période 324-368, J.-P. Callu arrivait à la conclusion que « s'il y a eu des flux inflationnistes, c'est là [années 320-330] qu'il importe de les [poussées inflationnistes] reconnaître » (Callu 1993, 105).

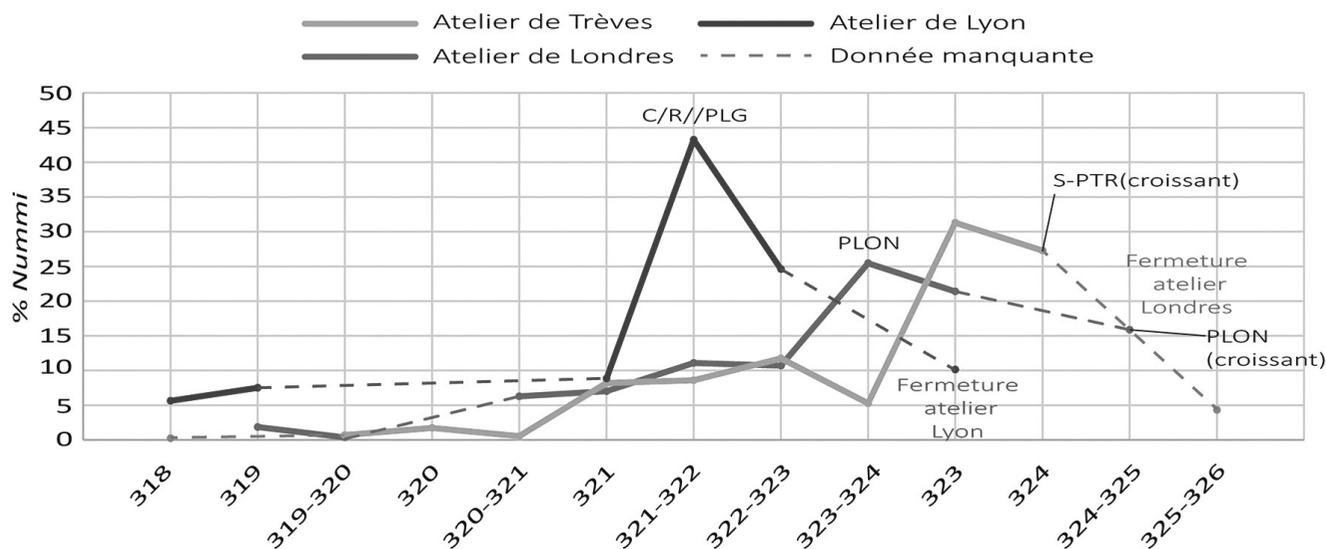


Figure 9 : Évolution de la production des ateliers de Londres, Trèves et Lyon de 318 à 325-326 d'après les trésors de La Chapelle-Lès-Luxeuil (Gricourt 2000) et de Saint-Germain-de-Varreville 2016.

Figure 9: Production evolution of London, Trier and Lyon workshops from 318 to 315-326 according to La Chapelle-Lès-Luxeuil (Gricourt 2000) and Saint-Germain-de-Varreville (2016) treasures.

(Delmaire 1989, 504). En ce cas, le recyclage des monnaies serait un élément fortement perturbateur pour rechercher les sources de minerais²³.

Les caractéristiques physiques et historiques (courte période d'émission, augmentation du volume de production, etc.) du groupe 2 pourraient conduire, en revanche, à le considérer comme le produit final d'un possible débouché minier. En cas de besoin ponctuel, on sait aussi que les levées forcées (voir *P. Oxy.* XXXIII, 2673, février 304 apr. J.-C.) constituaient des leviers non moins importants pour l'approvisionnement en métal des ateliers, tout comme la fonte des statues qui fut notamment employée par Constantin avec les trésors des temples (Eusèbe *VC* 3, 54; Sozomène 2, 5, 3). Firmicus Maternus recommande même de fondre les idoles dans les ateliers monétaires (*De errore* 28, 6). En l'état de nos connaissances, il est impossible de trancher entre une source minière déterminée et une confiscation de métal quelle qu'elle soit. C'est une piste de recherche qui, pour être consolidée, devra s'appuyer sur une analyse géochimique plus poussée des monnaies du groupe 2.

CONCLUSION

Si nous prenons maintenant en compte les conséquences générales des analyses effectuées dans le cadre de cette recherche, on observe que la concordance des analyses d'Isabelle Bollard et les nôtres présente un grand intérêt méthodologique. Quant aux différences ponctuelles, elles proviennent simplement d'un plus grand degré de précision accordé à la production d'un atelier, puisque l'un des atouts du trésor de Saint-Germain-de-Varreville est de mettre à notre disposition un nombre conséquent de monnaies, représentant un très large éventail d'émissions. Parmi les nouveaux résultats obtenus, un présente un intérêt historique certain : les analyses suggèrent que l'approvisionnement en métal n'est pas toujours commun à l'ensemble des ateliers occidentaux bien que le jeu des refontes successives ne soit pas à sous-estimer²⁴; dans certains cas, en effet, l'utilisation d'une autre source de métal s'est imposée comme l'indiquerait le groupe 2, ce qui est une réelle avancée mais qui doit encore être vérifiée par des analyses plus nombreuses. Il serait ainsi intéressant de mener une décomposition encore plus précise des émissions monétaires par période, dans le but d'identifier – ou non – la signature d'autres approvisionnements en métal précieux.

23. La recherche de la provenance des métaux utilisés dans les monnayages anciens n'est pas nouvelle, notamment par l'analyse isotopique du plomb contenu dans le métal (voir Tamas *et al.* 2009). Voir les études de Brill, Shields, 1972 et Girard *et al.*, 2010 sur des monnayages déterminés.

24. Les lois monétaires des Valentinien, en 364-368, instituent ainsi la refonte des monnaies d'or (*solidi*) versés aux caisses de l'État et leur refappe aux poids et titres légaux garantis par une estampille (*obryza*) dont les premières attestations datent de la fin de 367 ou du début de 368 (Amandry *et al.* 1985; Delmaire 1989, p. 257-258 et 508-514).

31x 7835.9		
Eléments	p-XRF	MBH
	Moyenne arithmétique Déviation standard	Valeur certifiée IC
Sb	0,444 0,011	0,445 0,003
Sn	1,546 0,018	1,48 0,02
Cd	0,064 0,003	0,0673 0,0015
Ag	2,148 0,029	2,12 0,04
Bi	0,720 0,028	0,81 0,02
Pb	1,245 0,045	1,024 0,017
Se	0,098 0,033	0,34 0,02
Zn	14,178 0,081	14,34 0,06
Cu	78,885 0,103	78,48 0,11
Ni	0,092 0,009	0,1 0,02
Co	0,088 0,007	0,0813 0,0013
Fe	0,410 0,011	0,408 0,03
Al	< LOD	0,092 0,003
Mn	< LOD	0,0009 0,0001
S	ND	0,0161 0,001
As	< LOD	0,107 0,002
P	ND	0,039 0,0006
Si	ND	0,0232 0,004

32X LB17		
Eléments	p-XRF	MBH
	Moyenne arithmétique Déviation standard	Valeur certifiée IC
Sb n=151	3,990 0,320	4,10 0,06
Sn n=151	5,940 0,220	5,97 0,04
Cd n=150	0,132 0,005	0,151 0,003
Ag n=151	0,898 0,023	0,911 0,006
Bi n=150	0,163 0,017	0,220 0,005
Pb n=151	9,414 0,216	9,83 0,10
As n=150	1,490 0,056	1,51 0,02
Zn n=150	0,606 0,016	0,634 0,007
Cu n=151	76,044 0,959	74,83 0,08
Ni n=150	0,444 0,016	0,465 0,005
Fe n=151	0,509 0,036	0,488 0,006
Mn n=150	0,326 0,017	0,296 0,005
Al	< LOD	0,388 0,011
Cr	< LOD	0,0008 0,0002
Co	< LOD	0,0083 0,0005
P	ND	0,051 0,003

IC = mi-largeur de l'intervalle de confiance à 95 % fourni par MBH

LOD = limite de détection

ND = non dosé

Les mesures (n=168) ont été réalisées entre juillet 2016 et juin 2017

IC = mi-largeur de l'intervalle de confiance à 95 % fourni par MBH

LOD = limite de détection

ND = non dosé

Annexe 1: Comparaison des résultats d'analyses de fluorescence X portable obtenus sur les étalons 31X 7835.9 et 32X LB17 avec les valeurs certifiées de chaque élément.

Annex 1: Comparison between p-XRF results on 31X 7835.9 and 32X LB17 standards and certified values from each element.

Londres										
Émissions	losange/PLN	couronne /PLN	PLN	P/A/PLON	PLON 321- 322	F/B/PLON	PLON	PLON croissant	PLON	TOTAL
Dates	319	319-320	320-321	321	321- 322	322-323	323	323-324	324-325	
Nb	5	1	17	19	30	29	69	58	43	271
%	1,84	0,36	6,27	7,01	11,07	10,7	25,46	21,4	15,86	

Volume des émissions de nummi de 318 à 325-326 (d'après les 271 nummi contenus dans les trésors de La Chapelle-Lès-Luxeuil et de Saint-Germain-de-Varreville 2016)

Trèves												
Émissions	P-STR	*S-PTR, */STR	•PTR, STR	T/F/•PTR, T/F/STR	P-STR	P-STR•	•P-STR•	•P-STR croissant	P-STR	P-STR croissant	P-STR croissant	TOTAL
Dates	318	319-320	320	320-321	321	321-322	322-323	323	323-324	324	325-326	
Nb	3	9	22	7	104	109	149	67	397	346	55	1268
%	0,23	0,7	1,73	0,55	8,2	8,59	11,75	5,28	31,3	27,28	4,33	

Volume des émissions de nummi de 318 à 325-326 (d'après les 1268 nummi contenus dans les trésors de La Chapelle-Lès-Luxeuil et de Saint-Germain-de-Varreville 2016)

Lyon								
Émissions	PL	PL, •P•L	A/S/PLG	C/R/P LG	PLG	PLG	PLG	TOTAL
Dates	318	318-319	321	321	321- 322	322-323	324-325	
Nb	84	112	26	106	645	367	151	1491
%	5,63	7,51	1,74	7,1	43,25	24,61	10,12	

Volume des émissions de nummi de 318 à 325-326 (d'après les 1491 nummi rassemblés par Bastien 1982, p. 103)

Annexe 2 : Volume des émissions de nummi de 318 à 325-326 pour les ateliers de Londres, Trèves et Lyon.

Annex 2: Volume of nummi emissions from 318 to 325-326 for London, Trier and Lyon mints.

Remerciements

Nos remerciements vont au musée de Normandie pour sa collaboration et les nombreuses autorisations qui ont favorisé le bon déroulement des analyses. Nous souhaitons remercier l'IRAMAT Centre Ernest-Babelon (UMR 5060, CNRS/université d'Orléans) pour l'analyse des cinq nummi par ANRC ainsi que le CEMHTI-cyclotron (UPR 3079, CNRS d'Orléans) pour les facilités d'irradiation.

Sources

- Eusèbe VC = *Vita Constantini*, éd. I. A. Heikel, *Eusebius Werke I*, Leipzig, 1902, p. 1-148 (*Griech. Christ. Schriftst.* 7).
- Firminus Maternus *De errore = Liber de errore profanarum gentium*, éd. C. Halm, *Corpus Scriptorum Ecclesiasticorum Latinorum* 2, 1867.
- P. Oxy.* XXXIII, 2673 = *Bulletin of the American Society of Papyrologists* 46, 2009, p. 109-138. (Choat, M., Yuen-Collingridge, R.)
- Sozomène = *Historia ecclesiastica*, éd. J. Bidiez et E. C. Hansen, *Griech. Christ. Schriftst.* 50, 1960.

Bibliographie

- Amandry, M., Barrandon, J.-N., Brenot, C., Callu, J.-P., Poirier, J., 1985. Aureus obryziacus. In C. Morrisson, C. Brenot, J.-P. Callu, J.-N. Barrandon, J. Poirier, R. Halleux, *L'or monnayé I : purification et altérations de Rome à Byzance*. Valbonne, 81-111.
- Bagnall R. S., 1985. *Currency and inflation in fourth century Egypt*, Bulletin of the American Society of Papyrologists, supplement 5.
- Barrandon, J.-N., Brenot, C., 1978. Analyse de monnaies de bronze (318-340) par activation neutronique à l'aide d'une source isotopique de californium 252. In *École française de Rome, Les « dévaluations » à Rome – époque républicaine et impériale (Rome, 13-15 novembre 1975)*. Rome-Paris, 125-144.
- Bastien, P., 1980. *Le monnayage de l'atelier de Lyon. Dioclétien et ses corégentes avant la réforme monétaire (285-294)*. Wetteren.
- Bastien, P., 1982. *Le monnayage de l'atelier de Lyon. De la réouverture de l'atelier en 318 à la mort de Constantin (318-337)*. Wetteren.
- Bastien, P., 1985. *Le monnayage de l'atelier de Lyon. De la mort de Constantin à la mort de Julien (337-363)*. Wetteren.
- Beck, L., et al., 2008. Silver surface enrichment controlled by simultaneous RBS for reliable PIXE analysis of ancient coins. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 266 : 2320-2324.
- Beck, L. et al., 2017. Ion beam analysis and AMS dating of the silver coin hoard of Preusdorf (Alsace, France). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 406 : 93-98.
- Blet-Lemarquand, M., Nieto-Pelletier, S., Sarah, G., 2014. L'or et l'argent monnayés. In P. Dillmann et L. Bellot-Gurlet (dir.), *Circulation des matériaux et des objets dans les sociétés anciennes*. Paris, 133-159.
- Blet-Lemarquand, M., Suspène, A., Amandry, M., 2015. Augustus' gold coinage : investigating mints and provenance through trace-element concentrations. In A. Hauptmann, D. Modarressi-Tehrani (eds), *Archaeometallurgy in Europe III. Proceedings of the 3rd International Conference Deutsches Bergbau-Museum Bochum*. Bochum, 107-113.
- Bollard, I., 2006. *Les médaillons et les contorniates (IV^e-V^e siècles apr. J.-C.) : les apports des analyses métalliques*. Université de Paris IV-Sorbonne, Thèse de doctorat.
- Bollard, I., Barrandon J.-N., 2006. Nouvelle contribution à l'étude du monnayage en bronze du IV^e siècle après J.-C. *Revue Numismatique* 162 : 277-310.
- Brill, R. H. et Shields, W. R., 1972. Lead isotopes in Ancient coins. *Methods of chemical and metallurgical investigations of Ancient coinage*, Londres, p. 279-303.
- Brenot, C., 1972. Le trésor de Nebek (Syrie). *Revue numismatique* : 208-239.
- Brenot, C., 1974. Un follis de Trèves de Constantin II surfrappé en 320 sur un follis de 317. *Bulletin de la Société Française de Numismatique* : 604-606.
- Brenot, C., Callu, J.-P., 1974. Deux surfrappes postérieures à 318. *Bulletin de la Société Française de Numismatique* : 670-673.
- Bruun, P. M., 1966. *The Roman Imperial Coinage, Volume VII. Constantine and Licinius. A.D. 313-337*. Londres.
- Callu, J.-P., 1969. *La politique monétaire des empereurs romains de 238 à 311*. Paris, BEFAR 214.
- Callu, J.-P., 1976. La circulation monétaire de 313 à 348. Les réformes de 318 et de 321. In H. A. Cahn, G. Le Rider (eds), *Actes du 8e Congrès International de Numismatique, New-York-Washington, 1973*. Paris-Bâle, 227-242.
- Callu, J.-P., 1993. Quantifier l'inflation du IV^e siècle : modes et causes de l'évolution du volume des frappes. In : L'« inflazione » nel quarto secolo d.C., Rome, p. 97-113 (Studi e materiali 3).
- Callu, J.-P., 2015. L'atypie de l'ensemble monétaire de Misurata (294-333). In S. Garraffo et M. Mazza (dir.), *Il tesoro di Misurata (Libia) : produzione e circolazione monetaria nell'età di Costantino il Grande*. Catania, 71-75.
- Callu, J.-P., Barrandon, J.-N., 1986. L'inflazione nel IV^e secolo (295-361) : il contributo delle analisi. In A. Giardina (dir.), *Società romana e impero tardoantico*. Rome, 559-589.
- Canovaro, C. et al., 2011. Caratterizzazione microstrutturale du nummi ufficiali e imitativi del V^e secolo d.C. *Metallurgia Italiana*, 2 : 21-26.
- Carrié, J.-M., 1993. Les réformes économiques da Aureliano a Costantino. In A. Momigliano, A. Schiavone (eds.), *Storia di Roma Einaudi*, III, 1, Torino, p. 283-322.
- Carrié, J.-M., 2007. Les crises monétaires de l'Empire romain tardif. In B. Thérêt (dir.), *La monnaie dévoilée par ses crises, Volume I. Crises monétaires d'hier et d'aujourd'hui*. Paris, 131-163.
- Carter, G. F., 1964. Preparation of ancient coins for accurate fluorescence analysis. *Archaeometry*, 7/1 : 106-113.
- Condamin, J., Picon, M., 1964. Influence of corrosion and diffusion on the percentage of the silver denarii. *Archaeometry*, 7/1 : 98-105.
- Cope, L. H., 1968. The Argentiferous Bronze Alloys of the Large Tetrarchic Follis of A. D. 294-307. *The Numismatic Chronicle* 7/VIII : 115-149.
- Cope, L. H., 1972a. The metallurgical analysis of Roman imperial silver and Aes coinage. In E. T. Hall, D. M. Metcalf, *Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient coinage*. Londres, 3-47.
- Cope L. H., 1972b. Surface-silvered ancient coins. In *Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient coinage*, eds. E.T. Hall, D.M. Metcalf (dir.), Royal Numismatic Society, Londres, 261-278.

- Cowell M., 1998. Coin analysis by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry. In *Metallurgy in Numismatics*, W.A. Oddy & M. Cowell (eds), 4, Royal Numismatic Society, London, 448-460.
- Delmaire, R., 1989. *Largesses sacrées et res privata. L'Aerarium impérial et son administration du IV^e au VI^e siècle*. Rome, Collection de l'École française de Rome 121.
- Depeyrot, G., 1982. *Le numéraire gaulois du IV^e siècle. Aspects quantitatifs*. Oxford, British Archaeological Reports 127.
- Ferretti, M., 2015. L'arricchimento superficiale nei nummi : studio dedli originali e simulazioni sperimentali. In S. Garraffo, M. Mazza (ed.) *Il tesoro di Misurata (Libia). Produzione e circolazione monetaria nell'età di Costantino il Grande*. Atti del convegno internazionale du studi (Rome, Institut National d'études Romaines, 19-20 avril 2012). Édition Del Prisma, 191-197.
- Girard, J., Munoz, M., Cauuet, B., Polve, M., Aries, S., et Callegarin, L., 2010. Mines d'argent du Montaigu (Hautes-Pyrénées, France). *ArcheoSciences*, 34 : 235-241.
- Gordus, A., 1970. Non-destructive analysis of silver coins : a study of Sasanian and Umayyad coinage. *Bulletin de la Société Française de Numismatique* : 543.
- Gordus, A., 1972. Neutron Activation Analysis of Coins and Coin Streaks. In E. T. Hall, D. M. Metcalf, *Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of Ancient Coinage* : 127-148.
- Gricourt, D., 2000. La Chapelle-lès-Luxeuil (Haute-Saône), 15.518 *nummi* constantiniens, Bibliothèque nationale de France, Paris (Trésors monétaires XVIII).
- Guihard, P.-M., Allinne, C., 2013. La fouille du trésor monétaire de Saint-Germain-de-Varreville (Manche) : stratigraphie d'un pécule de 14528 *nummi* (première moitié du IV^e siècle). *Annales de Normandie* 63/1 : 3-25.
- Hall, E.T., 1961. Surface-enrichment of buried metals. *Archaeometry*, 4/1 : 92-66.
- Heginbotham, A. *et al.*, 2015. The copper charm set : a new set of certified reference materials for the standardization of quantitative X-ray fluorescence analysis of heritage copper alloys. *Archaeometry*, 57/5 : 586-868.
- Moreno-Suárez, A.I. *et al.*, 2016. Feasibility of different cleaning methods for silver-copper alloys by X-ray fluorescence: Application to ancient Greek silver coins. *Spectrochimica Acta Part B*, 116 : 85-91.
- Oertel, F., 1939. The Economic Life of the Empire. In *The Cambridge Ancient History, vol. XII, The Imperial Crisis and Recover (A. D. 193-324)*, Cambridge, p. 232-281.
- Patin, C., 2016. Mise en place d'un protocole de mesures par Fluorescence X portable sur des alliages métalliques hétérogènes pour une application en archéologie. Mémoire de master 2, Université de Caen Normandie, France.
- Ravetz, A., 1963. Neutron Activation Analysis of Silver in some Late Roman Copper Coins. *Archaeometry* 6 : 45-55.
- Romano, F.P. *et al.*, 2015. Determinazione non distruttiva del contenuto di mercurio nei nummi del Tesoro di Misurata mediante l'utilizzo del sistema portatile BSCXRF del laboratorio LANDIS. In S. Garraffo, M. Mazza (ed.) *Il tesoro di Misurata (Libia). Produzione e circolazione monetaria nell'età di Costantino il Grande*. Atti del convegno internazionale du studi (Rome, Institut National d'études Romaines, 19-20 avril 2012). Édition Del Prisma, 199-206.
- Scott, D.A., 1991 : *Metallography and microstructure of ancient and historic metals*, Éditions Oxford University Press, Oxford.
- Smith, D., 2013. Handheld X-ray fluorescence analysis of Renaissance bronzes : Practical approaches to quantification and acquisition. In A. N. Shugar, J. L. Mass (dir.). *Handheld XRF for Art and Archaeology*, Presses Universitaires de Louvain, Louvain, 37-74.
- Tamas, C.G., Baron, S., Cauuet, B., 2009. Minéralogie et signature isotopique du plomb des minerais auro-argentifères exploités durant l'époque romaine. *Alburnus Maior* (Roşia Montană, Roumanie), *Actes du Colloque international AURUM Authentication and Analysis of Gold Work*, Paris, 11-13 mai 2009, *Archeosciences*, p. 83-89.
- Trojek, T., 2010. Monte Carlo simulations of disturbing effects in quantitative in-situ X-Ray fluorescence analysis and microanalysis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 619 : 266-269.