



HAL
open science

Analyses élémentaires de monnaies de Charlemagne et Louis le Pieux du Cabinet des Médailles : l'Italie carolingienne et Venise

Guillaume Sarah, Marc Bompaire, Michael McCormick, Alessia Rovelli,
Catherine Guerrot

► To cite this version:

Guillaume Sarah, Marc Bompaire, Michael McCormick, Alessia Rovelli, Catherine Guerrot. Analyses élémentaires de monnaies de Charlemagne et Louis le Pieux du Cabinet des Médailles : l'Italie carolingienne et Venise. *Revue Numismatique*, 2008, 164, pp.355-406. hal-00579621

HAL Id: hal-00579621

<https://hal.science/hal-00579621>

Submitted on 19 Dec 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Guillaume SARAH*, Marc BOMPAIRE*, Michael McCORMICK**,
Alessia ROVELLI*** et Catherine GUERROT****

Analyses élémentaires de monnaies de Charlemagne et Louis le Pieux du Cabinet des Médailles : l'Italie carolingienne et Venise

Résumé – L'ensemble de la collection de deniers carolingiens conservés au Cabinet des Médailles de la Bibliothèque nationale de France frappés en Italie entre 781 et 822 par Charlemagne et Louis le Pieux a été analysé, ainsi que des exemplaires plus tardifs émis entre 822 et 855. Il a ainsi été possible de mettre en évidence la croissance du titre d'argent des deniers frappés par les deux souverains entre 781 et 822, puis un léger déclin durant la seconde période du règne de Louis (822-840) qui s'est poursuivi sous Lothaire (840-855). Les analyses ont également révélé la particularité des monnaies frappées à Venise au nom de Louis le Pieux entre 818 et 822 alors que la ville était théoriquement sous domination byzantine : ces deniers sont moins purs que les autres, et se distinguent également de par la teneur de certains éléments mineurs et traces.

Summary – The whole Carolingian *denarii* collection kept at the Cabinet des Médailles of the Bibliothèque nationale de France struck in Italy between 781 and 822 under Charlemagne and Louis the Pious has been analysed, as well as some later issues minted between 822 and 855. The analysis revealed an enduring increase in the silver fineness of the coins struck by the two rulers between 781 and 822, followed by a slight decrease during the second part of Louis' reign (822-840) that continued under Lothar (840-855). The results obtained also showed the particularity of the coins struck at Venice in the name of Louis the Pious from 818 to 822, even though the city was theoretically under Byzantine rule: these *denarii* are less fine than the other ones, and differ also regarding the content of some minor and trace elements.

Dans le cadre d'une étude portant sur l'analyse élémentaire des deniers carolingiens frappés sous Charlemagne et Louis le Pieux sont ici présentés dans un premier temps les résultats obtenus sur le monnayage italien. Les analyses présentées ont été effectuées par LA-ICP-MS au Centre Ernest Babelon

* IRAMAT – Centre Ernest Babelon (CNRS), Université d'Orléans, 3D rue de la Férollerie, 45071 Orléans Cedex 2, France.

** Université de Harvard, Department of History, Robinson Hall 201, Cambridge (MA), États-Unis.

*** Università della Tuscia-Viterbo, Dipartimento di Scienze del Mondo Antico, Viterbe, Italie.

**** BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2, France.

Une première version du texte fut rédigée par G. Sarah, principal auteur de cet article. Cette version a été corrigée par M. Bompaire, M. McCormick et A. Rovelli. G. Sarah et M. McCormick ont ensuite coordonné les ajouts et modifications proposés par les différents co-auteurs. Les analyses élémentaires ont été réalisées par G. Sarah et les analyses isotopiques par C. Guerrot.

d'Orléans (IRAMAT – CNRS)¹. Les monnaies proviennent pour l'essentiel de la collection du Cabinet des Médailles de la Bibliothèque nationale de France. Les références de ces monnaies apparaissent dans le Catalogue des monnaies carolingiennes de Maurice Prou².

Introduction historique

La chronologie des types des émissions monétaires de Charlemagne et Louis le Pieux, soit entre 768 et 840, semble actuellement définie avec une certaine précision³. Charlemagne frappe tout d'abord des deniers conjointement avec son frère Carloman à partir de 768. À la mort de ce dernier en 771, il impose la circulation d'un type nouveau sur lequel figure au droit sa titulature royale et au revers le nom de l'atelier émetteur. Ce type monétaire perdure, croit-on, jusqu'à la réforme générale des poids et mesures de 793/4 : à cette date, le module des deniers ainsi que leur masse augmentent (1,7 g contre 1,3 g auparavant), et l'uniformisation des types devient réelle pour l'ensemble du territoire franc. Charlemagne est couronné empereur d'Occident à Rome le jour de Noël 800 ; mais ce n'est vraisemblablement qu'en 812, suite à la reconnaissance de son titre d'empereur par le Byzantin Michel I^{er} que la titulature impériale, accompagnant le buste drapé et lauré de Charles, apparaît sur les deniers. Contrairement aux types précédents, certaines monnaies de ce type ne font pas mention de l'atelier émetteur sur le revers⁴. Louis I^{er} dit le Pieux succède à son père en 814. Le premier type monétaire de cet empereur reprend le dernier émis par son prédé-

1. Les analyses de deniers carolingiens sont réalisées dans le cadre de la thèse de Guillaume Sarah. Cette thèse s'intègre dans un programme de recherche international sur l'argent carolingien organisé par Michael McCormick, Alessia Rovelli et Marc Bompaire, impliquant Bernard Gratuze, Jean-Noël Barrandon et Cécile Morrisson. Les analyses chimiques présentées dans cette étude ont pour partie été financées par l'université de Viterbe grâce à Alessia Rovelli et par un « Andrew W. Mellon Foundation Distinguished Achievement Award » accordé à Michael McCormick. Les auteurs tiennent à remercier le Cabinet des Médailles de la Bibliothèque nationale de France et plus particulièrement Michel Dhénin et Thierry Sarmant pour l'accès au médaillier carolingien.

2. Maurice PROU, *Catalogue des monnaies françaises de la Bibliothèque nationale. Les monnaies carolingiennes*, Paris, 1892. Les monnaies pour lesquelles la référence est suivie d'une lettre ou de la mention « bis » sont des acquisitions postérieures au catalogue de Maurice Prou mais font partie de la collection nationale française.

3. Voir Philip GRIERSON et Mark BLACKBURN, *Medieval European Coinage*, t. 1, *The Early Middle Ages (5th-10th centuries)*, Cambridge University Press, 1986, p. 190-217 ; cité par la suite MEC. Voir également Philip GRIERSON, Money and coinage under Charlemagne, dans *Karl der Grosse: Lebenswerk und Nachleben. Bd.1: Persönlichkeit und Geschichte*, 3. Auflage, Düsseldorf, 1967, W. Braunsfeld Ed., p. 501-536 ; Jean LAFaurie, Numismatique : des mérovingiens aux carolingiens, *Francia*, 2, 1974, p. 26-48 ; Simon COUPLAND, Money and coinage under Louis the Pious, *Francia*, 17, 1990, p. 23-54.

4. Jean LAFaurie, Les monnaies impériales de Charlemagne, *Académie des inscriptions et belles-lettres. Comptes-rendus*, 1978, p. 154-176.

cesseur : on retrouve ainsi au droit l'effigie de l'empereur drapé et lauré. Le nom de l'atelier émetteur apparaît au revers des monnaies, le plus souvent autour d'une porte de ville, mais aussi pour certains ateliers autour d'un temple, d'un bateau ou d'outils de monnayeur. Louis fait frapper ensuite, entre 818 et 822 environ, des monnaies portant au droit la titulature impériale inscrite autour d'une croix et le nom de l'atelier de frappe au revers en une ou plusieurs lignes. Enfin, des deniers dits « au temple », et sans mention de l'atelier, sont émis par Louis entre 822 environ et 840.

La chronologie des émissions monétaires en Italie pour la même période semble différer légèrement. Charlemagne conquiert le royaume lombard en 774. Durant les premières années, les ateliers monétaires de l'Italie carolingienne continueront à frapper un monnayage d'or altéré comme cela se faisait sous les Lombards. Charlemagne réduit le nombre d'ateliers et impose le denier d'argent carolingien en Italie, vraisemblablement en 781, à la suite du capitulaire de Mantoue⁵. Cependant, les premières monnaies d'argent italiennes émises sous Charlemagne (Type 2) se distinguent de celles issues des ateliers situés de l'autre côté des Alpes : elles ne portent pas au revers le nom de l'atelier émetteur, mais la mention *RxF (Rex Francorum)* ; de plus, elles sont à la fois plus grandes et plus fines que les monnaies frappées au nord des Alpes. Puis, après la réforme de 793/4, les monnaies italiennes sont identiques à celles émises dans les autres ateliers. L'incorporation monétaire de l'Italie au territoire de Charlemagne ne semble s'être faite que progressivement ; en cela le témoignage de la numismatique s'accorderait avec celui de l'histoire de l'administration⁶. Il est donc légitime de s'interroger sur une éventuelle particularité des deniers carolingiens italiens du point de vue de leur composition. C'est dans cette optique qu'a été entreprise l'analyse des monnaies italiennes de Charlemagne et de Louis le Pieux. Plus largement, certaines questions demeurent quant à la frappe monétaire et à l'économie de l'empire carolingien en général et de l'Italie en particulier.

Les analyses effectuées par le passé sur des monnaies carolingiennes sont peu nombreuses, et ne permettent pas de suivre une éventuelle évolution du titre des deniers au cours du temps, ou au contraire une stabilité de la teneur en argent. On ne pourra pas non plus étudier de possibles différences de composition chimique des monnaies dans les différentes zones de l'empire (et en particulier en Italie), ni du point de vue du titre d'argent, ni du point de vue des teneurs de certains éléments mineurs et traces contenus dans les alliages monétaires. La problématique de la distinction de groupes parmi un échantillon de monnaies sur la base de la teneur de certains éléments traces nous amène à la question de

5. GRIERSON, *op. cit.* n. 3, p. 506-507.

6. Voir Eduard HLAWITSCHKA, *Franken, Alemannen, Bayern und Burgunder in Oberitalien (774-962)*, *Forschungen zur oberrheinischen Landesgeschichte*, t. 8, Fribourg-en-Brigau, 1960, p. 23-36 et Donald BULLOUGH, *Baiuli in the Carolingian regnum Langobardorum and the career of Abbot Waldo (†813)*, *English Historical Review*, 77, 1962, p. 625-637.

l'origine de l'argent carolingien jadis soulevée par Lombard, qui y répondit en affirmant un afflux des monnaies arabes, sur des bases d'ailleurs discutées⁷.

Si l'activité économique en Europe occidentale demeure relativement modeste durant la première moitié du VIII^e siècle, il semble que le volume des émissions monétaires ait connu sous Charlemagne puis sous Louis le Pieux un essor important. Car si l'on se fonde sur les trouvailles monétaires, c'est bien sur les quelques décennies encadrant l'an 800 durant lesquelles la reprise économique semble indubitable qu'il convient de se focaliser pour chercher à identifier les sources d'approvisionnement métallique d'un monnayage qui semble soudain plus actif et plus abondant, et non sur le passage d'un monnayage d'or altéré à un monnayage d'argent vers 675 en Francie pour tenter d'identifier l'origine de l'argent utilisé en Occident pour la frappe monétaire durant le haut Moyen Âge. On le verra dans la suite, alors que certains indices pourraient faire croire que le nombre de deniers en circulation semble augmenter de manière significative entre 781 – nous ne traitons ici que de l'Italie – et 822, leur titre d'argent ne décroît pas, ce qui suggère un apport constant de métal précieux durant cette période. Il paraît peu probable que la seule mine de Melle, unique producteur d'argent d'importance identifié pour cette époque dans l'empire carolingien, ait pu répondre à une demande toujours croissante en métal précieux. Dans l'état actuel des connaissances, il semble en effet que Melle ait eu surtout une influence régionale si l'on se fonde sur les recherches menées sur le lien entre les rapports isotopiques du plomb du minerai provenant de cette mine et ceux de monnaies carolingiennes émises par divers ateliers de l'ouest de la France⁸. Si Melle n'a pas approvisionné en argent des ateliers relativement proches (Poitiers, Bordeaux), il est difficile d'imaginer que cette mine ait pu subvenir aux besoins d'ateliers plus éloignés, *a fortiori* en Italie pour ce qui nous intéresse ici. Alors, quelle autre source de métal envisager ? En l'absence, en l'état actuel des connaissances, de mine d'importance fonctionnant à l'époque carolingienne dans l'ex-royaume lombard⁹ et sans indice de

7. Maurice LOMBARD, *Espaces et réseaux du haut moyen âge*, Paris, 1972, et surtout IDEM, *Monnaie et histoire d'Alexandre à Mahomet, Etudes d'économie médiévale 1*, Paris, 1971, p. 134-138 et 214-216.

8. Jean-Noël BARRANDON, et Françoise DUMAS, Minerai de Melle et monnaies durant le haut Moyen Âge : relations établies grâce aux isotopes du plomb, *BSFN*, 45, 1990, p. 906. Florian TÉREYGEOL, Stefan HOELZL et Peter HORN, Le monnayage de Melle au haut Moyen Âge : état de la recherche, *Bulletin de l'Association des Archéologues de Poitou-Charentes*, 34, 2005, p. 49-56.

9. Alessia ROVELLI, Mines et monnaies au haut Moyen Âge. Les sources de l'Italie carolingienne, *BSFN*, 59, 2004, p. 58-64. Cependant, comme Rovelli le note (p. 58) reprenant Bailly-Maître, « il peut être difficile d'identifier les stigmates laissés par les premières exploitations d'une mine, les exploitations récentes ayant pu occulter les chantiers antiques. » (Marie-Christine BAILLY-MAÎTRE, *L'argent, du minerai au pouvoir dans la France médiévale*, Paris, 2002, p. 20). Si cela vaut également pour les mines italiennes, il paraîtrait néanmoins difficile d'imaginer qu'un site d'importance comparable à celle de Melle sous les Carolingiens ait pu échapper aux archéologues et n'ait pas été mentionné dans les textes de l'époque.

destockage d'argent en Italie¹⁰, une hypothèse à considérer est celle d'un apport d'argent extérieur, y compris par exemple par le commerce à longue distance, notamment avec l'Orient. Deux principales voies d'accès de ce métal précieux oriental – qui ne sont pas incompatibles – sont à prendre en considération : l'apport d'argent arabe ou éventuellement byzantin par le commerce à longue distance à travers la Méditerranée¹¹ ; et l'arrivée de l'argent oriental dans les emporia du nord, apport qui commence vers 800 et qui se développe au cours du IX^e siècle. On reconnaît en général que cet apport nordique atteint son sommet dans la seconde moitié du IX^e siècle et au X^e siècle, et qu'à ce moment, il provenait du cœur et des marges septentrionales du califat abbasside par la route commerciale allant de la mer Caspienne à la Baltique¹². Dans cette étude traitant du monnayage italien, seule la première hypothèse de voie d'accès sera considérée ; le lecteur notera bien que cela ne signifie aucunement que la seconde soit rejetée. Il est en effet légitime de s'interroger sur le rôle qu'ont pu jouer des centres italiens (et en premier lieu la naissante Venise) comme intermédiaires entre Occident carolingien et Orient arabe et byzantin alors que la demande en argent à l'ouest était importante¹³. D'autant plus que la période où le stock d'argent monnayé circulant dans l'ensemble de l'empire carolingien semble avoir connu une augmentation de son volume sans précédent, à savoir le premier quart du IX^e siècle, coïncide avec celle où le témoignage des trésors hors d'Italie a pu suggérer à Coupland que la frappe de monnaies en Italie croît

10. Peter SPUFFORD, *Money and its use in medieval Europe*, Cambridge, 1988, p. 30 pour un point de vue général sur cette question ; ROVELLI, *op. cit.* n. 9, p. 63 sur l'Italie carolingienne plus spécifiquement.

11. Michael McCORMICK, *Origins of the European Economy. Communications and Commerce AD 300-900*, Cambridge, 2001, p. 319-387.

12. Heiko STEUER, *Gewichtsgeldwirtschaften im frühgeschichtlichen Europa, Untersuchungen zu Handel und Verkehr der vor- und frühgeschichtlichen Zeit in Mittel- und Nordeuropa* (4), 1987, Göttingen, p. 405-527, ici aux p. 480-492 ; Heiko STEUER, Willem B. STERNET et Gert GOLDBERG, *Der Wechsel von der Münzgeld- zur Gewichtsgeldwirtschaft in Haithabu um 900 und die Herkunft des Münzsilbers im 9. und 10. Jahrhundert, Haithabu und die frühe Stadtentwicklung im nördlichen Europa, Schriften des Archäologischen Landesmuseums* (8), Münster, 2002, p. 133-167, ici p. 137.

13. Richard HODGES et David WHITEHOUSE, *Mahomet, Charlemagne et les origines de l'Europe*, édition française mise à jour par Cécile MORRISSON, traduction par Cécile MORRISSON, Jacques LEFORT et Jean-Pierre SODINI, *Réalités Byzantines*, Paris, 1996, p. 111 : « Mais d'où venaient les masses considérables d'argent neuf nécessaires à la frappe ? Grierson émet l'hypothèse qu'une partie de ce métal a pu être extraite de mines nouvelles et attire l'attention sur la légende *Ex me(t)allo novo* qui figure sur quelques-uns de ces deniers. Mais il n'y a pas de témoignage décisif à ce sujet ; au contraire, le peu de pièces conservées avec cette légende paraîtrait plutôt en faveur de l'idée exprimée autrefois par Sture Bolin selon qui cette réforme (y compris certaines des légendes monétaires) avait été influencée par le monnayage abbasside contemporain. Des dirhems de cette époque portent en effet une légende similaire en arabe. N'est-ce pas une raison pour chercher ailleurs l'origine de ces nouvelles masses d'argent obtenues par la cour carolingienne, qui s'en sert ensuite à son avantage ? ». Voir également McCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 758.

considérablement¹⁴. L'analyse élémentaire des monnaies, pour peu qu'elle permette le dosage des éléments majeurs, mineurs et traces constituant les alliages monétaires, peut servir à différencier des groupes de monnaies, voire dans les cas les plus favorables à identifier l'origine du métal utilisé. Nous verrons dans la suite de ce texte ce qu'il en est pour les deniers carolingiens d'Italie.

En tout cas, on sait désormais que des monnaies arabes et byzantines en or, argent et cuivre atteignaient l'empire carolingien, et tout particulièrement ses territoires italiens. Malgré un contrôle de la circulation monétaire visant à exclure les monnaies étrangères qui semble relativement efficace, surtout au nord des Alpes, tant les trouvailles numismatiques (comprenant quelque 750 monnaies arabes) qu'une centaine de mentions des monnaies arabes (plus rarement byzantines) dans les textes permettent d'identifier des mouvements et des phases d'arrivées de monnaies orientales en Europe occidentale. Outre des courants qui concernaient l'Espagne et la Sardaigne, et les derniers relents au début du VIII^e siècle de l'ancienne route méditerranéenne du Rhône (lesquels semblent moins importants), on constate un afflux de monnaies arabes en bordure de l'Adriatique supérieure, et surtout à Venise, d'où l'on peut suivre la circulation de ces monnaies vers le nord en deux séries distinctes. La première traverse les Alpes et descend le Rhin, au cœur même de l'empire carolingien ; la seconde traverse également les Alpes, mais part vers le nord-est et les terres slaves du Danube. Cet afflux adriatique commença vers 775 et continua au moins jusque vers 840. Enfin, la grande vague d'argent arabe ou de style arabe, mais frappé dans les marches septentrionales du Califat, traversait la Scandinavie au IX^e siècle, surtout à partir de sa seconde moitié. Pour les monnaies byzantines en or ou en argent, les trouvailles ou les mentions sont réelles, mais moins importantes. Il est manifeste, donc, que de telles monnaies auraient pu fournir, dans une mesure encore inconnue, une partie au moins du métal nouvellement monnayé dans le numéraire carolingien¹⁵.

Il ne s'agira pas ici d'apporter des réponses définitives à des questions qui sont demeurées insolubles sur le monnayage carolingien, sa frappe et sa circulation. Nous nous bornerons à soumettre à la communauté scientifique les résultats analytiques obtenus sur les deniers italiens, et tenterons de proposer des pistes de réflexion à la lumière des éléments ainsi apportés par une nouvelle approche de ces monnaies.

14. Simon COUPLAND, Charlemagne's coinage: ideology and economy, dans *Charlemagne : empire and society*, éd. J. Story, Manchester, 2005, p. 211-229, en particulier p. 214 et suivantes, et aux p. 221-222 où il qualifie les ateliers de Pavie et Milan de « prolif », d'après l'augmentation progressive de l'importance relative des ateliers italiens dans les trouvailles monétaires de Charlemagne et Louis le Pieux, trouvailles qui sont toutefois limitées aux territoires de l'empire carolingien situés au nord des Alpes. Rovelli ne partage pas cette appréciation d'une augmentation de la production italienne (Alessia ROVELLI, Some considerations on the coinage of Lombard and Carolingian Italy, dans *The Long Eighth Century. Production, Distribution and Trade*, Leyde, 2000, p. 194-223).

15. Voir MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 319-384.

Si le monnayage italien de Charlemagne et Louis le Pieux de 781 à 822 constitue un ensemble cohérent tant du point de vue géographique que chronologique, on ne peut néanmoins se limiter à cette zone de l'empire ni à cette seule période. Des analyses de deniers frappés dans tout le territoire carolingien, depuis Pépin le Bref jusqu'à Charles le Chauve et Lothaire, sont indispensables pour une compréhension globale de la frappe monétaire en Occident à cette époque. Les résultats présentés ici doivent donc être considérés comme un préambule à la publication prochaine des travaux effectués sur les deniers conservés au Cabinet des Médailles frappés dans l'ensemble de l'empire carolingien pour une période allant de l'avènement de Pépin en 751 à l'édit de Pîtres (864).

La démarche analytique

Les analyses de deniers carolingiens présentées dans cette étude ont été effectuées par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif avec prélèvement par ablation laser (LA-ICP-MS). Ces monnaies étaient les premières à bénéficier des innovations apportées par cette technique dont l'application aux monnaies d'argent est très récente¹⁶. L'ablation laser couplée à l'ICP-MS a été utilisée par le passé sur ce type d'objet avec un appareil à multi-collecteur (LA-MC-ICP-MS). Il s'agissait dans ce cas d'analyses des rapports isotopiques du plomb, et non d'analyses élémentaires¹⁷.

La principale limitation apparaissant lorsqu'il s'agit d'analyser des monnaies anciennes à base d'argent vient de l'enrichissement de leur surface en argent¹⁸.

16. L'analyse d'objets archéologiques par LA-ICP-MS remonte au début des années 1990, tout d'abord pour les matériaux siliceux (Bernard GRATUZE, Alain GIOVAGNOLI, Jean-Noël BARRANDON, Philippe TELOUK et Jean-Louis IMBERT, Apport de la méthode ICP-MS couplée à l'ablation laser pour la caractérisation des archéomatériaux, *Revue d'Archéométrie*, 17, 1993, p. 89-104 ; Bernard GRATUZE, Maryse BLET-LEMARQUAND, Jean-Noël BARRANDON, Mass spectrometry with laser sampling: A new tool to characterize archaeological materials, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 247, n° 3, 2001, p. 645-656), puis plus récemment pour les monnaies d'or (Bernard GRATUZE, Maryse BLET-LEMARQUAND, et Jean-Noël BARRANDON, Caractérisation des alliages monétaires à base d'or par LA-ICP-MS, *BSFN*, 59, 2004, p. 163-169). L'application de cette méthode aux monnaies d'argent constitue la partie analytique de la thèse de Guillaume Sarah débutée en 2005 au Centre Ernest Babelon (IRAMAT-CNRS, Université d'Orléans).

17. Matthew PONTING, J.A. EVANS et V. PASHLEY, Fingerprinting of Roman mints using laser-ablation MC-ICP-MS lead isotope analysis, *Archaeometry*, 45 (4), 2003, p. 591-597.

18. Il conviendrait davantage de parler d'appauvrissement en cuivre plutôt que d'enrichissement en argent : la teneur en argent plus élevée à la surface des monnaies par rapport à leur cœur est en effet due principalement au départ du cuivre oxydé. Il serait donc plus juste d'utiliser une formulation impliquant l'élément à l'origine des variations de composition entre la surface et l'intérieur, à savoir le cuivre. Cependant, il est d'usage d'employer « enrichissement de la surface en argent » ou plus simplement « enrichissement de surface » pour désigner les conséquences des phénomènes chimiques mis en jeu ; ce sont donc ces dernières expressions qui ont été adoptées dans la suite de ce texte.

Ce phénomène, observé par les analystes depuis les débuts des analyses non destructives de monnaies d'argent, a de multiples origines, parmi lesquelles la ségrégation entre argent et cuivre durant le refroidissement de l'alliage ou la mise en forme des monnaies¹⁹. Les monnayeurs peuvent avoir accentué ces phénomènes par un traitement chimique ou mécanique spécifique afin d'enrichir la surface des monnaies en argent (blanchiment)²⁰. Mais la principale cause de la variation de composition entre intérieur et surface des monnaies est le départ du cuivre oxydé, phénomène lent qui se produit durant la période d'enfouissement des pièces²¹. D'une manière générale, les monnaies de bas titres présentent un enrichissement de surface plus important que les bons alliages d'argent ; cependant, il nous est apparu que des monnaies de mêmes titre et époque, et dont les caractéristiques physiques sont similaires (diamètre, épaisseur) peuvent présenter des couches d'enrichissement très variables. D'autre part, la composition de la couche superficielle ne peut être corrélée à celle de l'alliage sain. Dans tous les cas, l'importance du phénomène ne peut être estimée sans coupe des monnaies. L'épaisseur de la couche concernée peut atteindre voire excéder 150 μm d'épaisseur sur chaque face. En conséquence, la fiabilité des résultats obtenus par des méthodes analysant la proche surface des monnaies est discutable et l'utilisation de telles techniques n'est pas satisfaisante. À l'opposé, une méthode d'analyse globale comme l'Activation aux Neutrons Rapides de Cyclotron (ANRC²²) fournit une valeur globale sur l'ensemble de la monnaie pour chaque élément analysé. Cette technique est cependant relativement lente et onéreuse, et, si elle n'a pas comme les méthodes de surface une propension à surestimer le titre d'argent, elle ne permet pas de visualiser et donc d'estimer l'importance de la couche superficielle d'enrichissement en argent.

19. Giles F. CARTER, Preparation of ancient coins for accurate X-Ray Fluorescent analysis, *Archaeometry*, 7, 1964, p. 106-113. Lucile BECK, Sophie BOSONNET, Sandrine REVEILLON, Daniel ELIOT et Fabien PILON, Silver surface enrichment of silver-copper alloys: a limitation for the analysis of ancient silver coins by surface techniques, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, Vol. 226, Issues 1-2, 2004, p. 153-162.

20. Adrien ARLES, Paolo PICCARDO et Florian TÉREYGEOL, Le procédé de blanchiment dans les ateliers monétaires français au XVI^e siècle : approche archéométrique et expérimentale, *Craft treatises and handbooks*, 6-8 octobre 2005, Cordoue, Espagne, à paraître. Adrien ARLES, Florian TÉREYGEOL et Bernard GRATUZE, Two silvering processes used in the French medieval minting, *Archaeometallurgy In Europe 2007*, 17-21 juin 2007, Aquileia, Italie, à paraître.

21. Jeanne CONDAMIN et Maurice PICON, The influence of corrosion and diffusion on the percentage of silver in Roman denarii, *Archaeometry*, 7, 1964, p. 98-105. Jeanne CONDAMIN CONDAMIN et Maurice PICON, Notes on the diffusion in ancient alloys, *Archaeometry*, 8, 1965, p. 110-114. Jeanne CONDAMIN et Maurice PICON, Changes suffered by coins in the course of time and the influence of these on the results of different methods of analysis, *Methods of chemical and metallurgical investigation of ancient coinage*, E.T. Hall et D.M. Metcalf Eds, Londres, RNS Special Publication 8, 1972, p. 49-66.

22. En anglais Fast Neutron Activation Analysis ou FNAA.

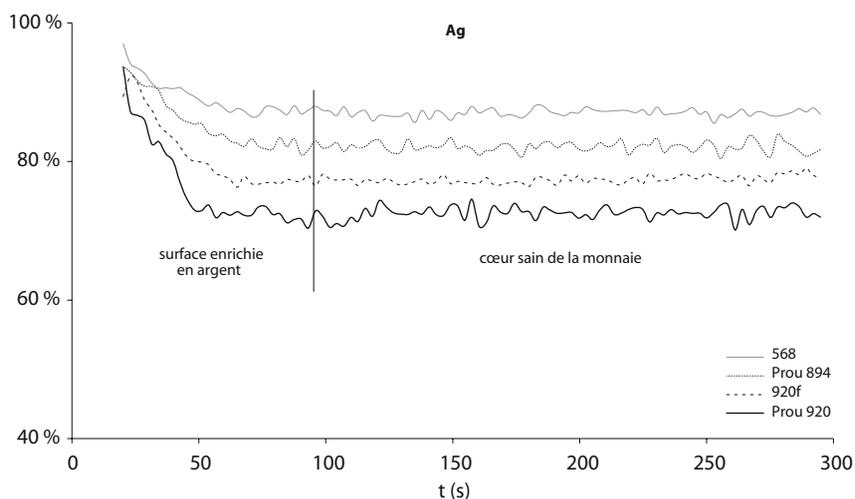


Fig. 1 - Exemples de profils de concentration obtenus sur quatre deniers carolingiens représentant l'évolution de la teneur en argent en fonction de la durée de l'ablation laser en secondes

C'est à partir de ce constat qu'a été envisagée l'application de la méthode LA-ICP-MS pour l'analyse des monnaies d'argent. Une des caractéristiques de cette méthode réside dans son mode de prélèvement particulier : un laser de haute énergie frappe régulièrement la surface de l'objet à analyser, permettant d'obtenir un prélèvement de matière microscopique utilisé pour l'analyse élémentaire. Ce type de micro-prélèvement est totalement invisible à l'œil nu ; on peut ainsi considérer, du point de vue de l'objet entier, que la méthode LA-ICP-MS est non destructive, et donc qu'elle convient pour l'analyse d'objets précieux tels que les monnaies anciennes. Durant l'ablation laser, le faisceau est d'abord focalisé à la surface de l'objet à analyser puis « creuse » progressivement vers l'intérieur. C'est cette particularité qui a été spécifiquement exploitée dans notre protocole : par une acquisition du signal en temps réel, il est possible de calculer les teneurs des différents éléments constituant l'alliage monétaire à chaque instant. La représentation graphique de ces données permet l'obtention de profils de concentration depuis la surface vers l'intérieur des monnaies (fig. 1)²³.

23. Le lecteur notera bien qu'il s'agit de profils représentant les teneurs en fonction de la durée d'ablation, et non en fonction de la profondeur atteinte. La corrélation entre temps d'ablation et profondeur dans l'alliage fait intervenir des facteurs complexes qui ne permettent pas pour l'instant de présenter des profils montrant l'évolution des concentrations en fonction de la profondeur d'investigation. Cependant, les profils d'évolution montrent dans l'extrême majorité des cas un palier de stabilité consécutif à l'enrichissement de surface. On obtient ainsi avec certitude la composition de l'alliage qui n'a pas été affecté par les phénomènes d'enrichissement de surface, et c'est là bien l'essentiel.

Il est ainsi possible de visualiser l'enrichissement de surface en argent et donc de s'en affranchir. Trois profils sont effectués sur chaque monnaie afin de s'assurer de la reproductibilité et donc de la représentativité des analyses. En plus, la méthode LA-ICP-MS permet un dosage rapide de nombreux éléments mineurs et traces avec des limites de détection plus basses que celles des techniques utilisées traditionnellement pour ce type d'alliages. Les caractéristiques du protocole d'analyse des monnaies d'argent par LA-ICP-MS ainsi que la validation de ce protocole peuvent être consultées dans le *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*²⁴.

Le corpus

L'intégralité des monnaies du Cabinet des Médailles frappées en Italie entre 781 et 822 a été analysée dans le cadre de cette étude, soit 39 monnaies de cette collection (38 deniers et une obole), auxquelles s'ajoutent un denier vénitien du musée Dobrée de Nantes et un autre de Pavie mis au jour dans les fouilles de Saint-Marcel (Morbihan, France)²⁵. Seize monnaies plus tardives du Cabinet des Médailles, émises entre 822 et 855, ont également été analysées, ainsi que quatre monnaies appartenant à M. McCormick.

Sept deniers du Type 2 de Charlemagne, émis entre l'introduction du monnayage carolingien d'argent en Italie, vraisemblablement à la suite du capitulaire de Mantoue en 781, et la réforme de 793/4, ont été étudiés. Contrairement aux deniers frappés dans les autres ateliers de l'empire dès 771, la mention de l'atelier émetteur n'apparaît pas sur les monnaies italiennes²⁶. Seule une monnaie (Prou 911), dont les motifs sont atypiques pour cette période (monogramme de Charles au droit et nom de l'atelier au revers), peut être attribuée avec certitude à l'atelier de Trévise. La question de l'attribution des premières monnaies italiennes de Charlemagne – en particulier consécutivement à la découverte du trésor de Sarzana-Luni – a été discutée par d'éminents numismates durant le XIX^e siècle sur la base de lettres supplémentaires ou de monogrammes apparaissant sur le revers de certains exemplaires²⁷. Plus récemment, certaines de ces

24. Guillaume SARAH, Bernard GRATUZE et Jean-Noël 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*, Vol. 22, 2007, p. 1163-1167.

25. Les auteurs tiennent à remercier Gildas Salaün, Conservateur du médaillier du musée Dobrée de Nantes pour avoir permis l'analyse de la monnaie référencée N-4300 et Paul-André Besombes, Conservateur du Patrimoine au SRA de Bretagne, pour avoir permis l'analyse du denier de Louis le Pieux découvert sur le site de Saint-Marcel (56) dans le cadre d'une fouille conduite par l'INRAP sous la direction de Françoise Le Boulanger.

26. Selon Coupland, les deniers italiens antérieurs à la réforme se distinguent par trois éléments : « the flans were larger than those of the rest of the empire; the lettering was sprawling and spiky; the RF legend on the reverse was accompanied by a letter or group of letters indicating the mint. » (COUPLAND, *op. cit.* n. 13, p. 216-217).

27. Voir Arthur ENGEL et Raymond SERRURE, *Traité de numismatique du Moyen Âge*, t.1, 1891,

attributions furent reprises par Lafaurie, en particulier pour les deniers Prou 893, 894 et 895 de la collection du Cabinet des Médailles analysés dans notre étude : ces trois monnaies auraient respectivement été frappées à Crémone, Vérone et Milan²⁸.

Les onze deniers italiens du Cabinet des Médailles au monogramme de Charlemagne, émis entre la réforme générale des poids et mesures de 793/4 et 812 ont également été analysés. Trois sont au nom de Pavie, trois à celui de Milan, trois de Lucques et deux de Trévis.

Le dernier monnayage émis par Charlemagne entre 812 et 814 après la reconnaissance de son titre d'empereur par Byzance, et sur lequel figure un buste drapé et lauré, n'a pas été intégré à cette étude portant sur les monnaies italiennes du fait de l'absence de mention du nom de l'atelier émetteur, ce qui exclut l'identification des deniers issus des officines italiennes. Toutefois, en raison de la rareté de ce monnayage et de la faible durée de sa frappe, on peut considérer que cette absence n'est pas dommageable quant aux conclusions qui pourront être tirées de ces recherches.

Le premier type monétaire de Louis le Pieux, sur lequel figure au droit le buste de l'empereur et au revers le nom de l'atelier, a également fait l'objet d'analyses par LA-ICP-MS. Quatre de ces pièces frappées entre 814 et 818 ont pu être analysées, deux de Pavie et deux de Milan.

Seize deniers de la période suivante (818-822) sur lesquels figurent au droit la légende + *HLVDOVICVS IMP* autour d'une croix et au revers le nom de l'atelier émetteur dans le champ ont été analysés. Se trouvent parmi eux onze exemplaires de Venise, deux de Pavie et Trévis ainsi qu'un de Milan. À la collection du Cabinet des Médailles s'ajoute pour ce type une monnaie de fouille frappée à Pavie mise au jour sur le site de Saint-Marcel. Pour la même période, une obole frappée au nom de Pavie portant au droit *LVDVVIC* en deux lignes et au revers *PAPA* (pour *PAPIA*) a également pu être analysée.

Afin d'explorer l'éventuelle continuité ou rupture des caractéristiques chimiques et pour évaluer l'apport de la méthode LA-ICP-MS pour les attributions proposées pour ces monnaies, onze deniers au temple de Louis le Pieux portant

p. 212 et Adrien de LONGPÉRIER, Deniers de Charlemagne trouvés près de Sarzana, *RN* 1868, p. 345-356. Sur le trésor d'Ilanz, principale trouvaille de cette période, voir Ernesto BERNAREGGI, I tremissi longobardi e carolingi del ripostiglio di Ilanz, nei Grigioni, *NAC QT*, 6, 1977, p. 341-364.

28. LAFAURIE, *op. cit.* n. 3 p. 47. Les attributions de Lafaurie pour les deux premières monnaies citées sont motivées par l'existence pour la première d'un *C* et d'un *E* de part et d'autre du *R* de la légende *RF* du revers (on retrouve ainsi le début du nom de Crémone), et pour la seconde par la présence d'un *V* entre le *R* et le *F* au revers. Nous passerons ici sur l'attribution anachronique de cette dernière monnaie à Venise par Depeyrot (G. DEPEYROT, *Le numéraire carolingien. Corpus des monnaies*, deuxième édition augmentée, 1998, p. 279). Un denier similaire à Prou 895 apparaît dans les planches de ce même article de Jean Lafaurie, qui attribue cette monnaie portant un monogramme au revers à l'atelier de Milan (p. 48). Pour l'état de la question des ateliers italiens voir Alessia ROVELLI, The mints of the Kingdom of Italy: a survey, 774. *Ipotesi su una transizione*, S. Gaspari Ed., Turnhout, sous presse.

la légende *XPISTIANA RELIGIO* et sans mention d'atelier émis entre 822 et 840 par Louis ont également été analysés. Il ne s'agit pas pour ce dernier monnayage de proposer une étude exhaustive : l'absence de la mention du nom de l'atelier sur ces monnaies rend leur problématique plus complexe que pour les types précédents. De ce fait, les quelques analyses présentées ici visent simplement à vérifier certaines tendances observées pour les types antérieurs. Les attributions aux ateliers ont été faites d'après la classification stylistique proposée par Coupland²⁹ ; on retrouve ainsi sept deniers attribués selon cette classification à Milan et quatre à Venise.

Deux deniers vénitiens portant au droit la légende *+DS CVSERVA ROMA NP* et au revers *+XPE SALVA VENECIAS* ont également été analysés, ainsi que trois deniers frappés dans la partie italienne du royaume de Lothaire, à Pavie, Milan et Venise.

Les dénominations employées pour désigner les types monétaires étudiés pour chaque souverain sont présentées dans le tableau ci-dessous pour une meilleure compréhension du lecteur. Elles sont reprises du *Medieval European Coinage (MEC)* t. 1 de Grierson et Blackburn. Le découpage chronologique adopté est pour Charlemagne celui du *MEC* tandis que l'article « Money and coinage under Louis the Pious » de Coupland a servi de base pour le monnayage de Louis le Pieux. Pour Lothaire, la chronologie proposée par Simon Coupland dans son article consacré spécifiquement à ce monnayage a été adoptée³⁰. Concernant les monnaies du type *XPE SALVA VENECIAS*, les bornes chronologiques ne sont pas connues avec précision. D'après les auteurs ayant fait mention de ces émissions dans leurs travaux, elles auraient été émises durant la même période que les deniers au temple de Louis le Pieux, soit entre 822 et 840. Nous avons vu que la classification des monnaies sans mention d'atelier du type *XPISTIANA RELIGIO* par Coupland attribue certains exemplaires à l'atelier de Venise³¹. Cela pourrait suggérer que deux types monétaires différents auraient été émis dans cette ville durant cette même période. Rien ne permet actuellement de préciser si ces émissions ont été consécutives ou concomitantes. Cependant, Grierson et Blackburn³² d'une part et Coupland³³ d'autre part s'accordent sur le fait que le style des monnaies du type *XPE SALVA*

29. COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 40-45. Voir également *MEC*, 1, p. 217.

30. Simon COUPLAND, The coinage of Lothar (840-855), *NC* 2001, p. 157-198.

31. COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 40 et suivantes pour l'ensemble de la classification ; *ibid.*, p. 43-44 pour Venise.

32. Pour ces auteurs, la présence de deux de ces monnaies dans le trésor d'Hermenches les date d'avant la fin du règne de Louis le Pieux – soit avant 840 (*MEC*, 1, p. 217).

33. Coupland, quant à lui, parle de « two contemporary issues from Venice » parmi 320 monnaies du Type 3 de Louis le Pieux dans le trésor d'Hermenches (COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 37). Il affirme plus loin, en se basant également sur des critères stylistiques : « the type was minted at the same time as Louis' Class III » (*Ibid.*, p. 44).

VENECIAS ainsi que la présence de deux d'entre elles dans le trésor d'Hermenches, dont l'enfouissement est daté entre 825 et 840, renforcent l'hypothèse d'une émission à la fin du règne de Louis le Pieux, et non ultérieurement comme on peut le lire dans des travaux plus anciens³⁴.

Tableau 1 - Récapitulatif du découpage chronologique adopté et des dénominations employées dans le texte et les figures pour les différents types monétaires étudiés. Les types qui n'ont pas été étudiés sont entre parenthèses.

Souverain	Type	Dénomination	Période
Charlemagne	(1)	C1	(768-771)
	(2)	C2	771-793/4 (hors Italie)
	2	C2	781-793/4 (Italie)
	3	C3	793/4-812
	(4)	C4	(812-814)
Louis le Pieux	1	L1	814-818
	2	L2	818-822
	3	L3	822-840
Doge vénitien ?	<i>Xpe Salva Venecias</i>	Xpe Ven	822-840 ?
Lothaire	Italie	Lothaire	840-855

Le nombre de monnaies de chaque type étudié (deux au minimum, et jusqu'à seize) ne permet évidemment pas une approche statistique des résultats analytiques, et nous nous garderons bien de dresser des conclusions définitives sur le monnayage italien à la seule lumière de nos analyses. Plus modestement, cette étude vise à combler une lacune évidente en dessinant des tendances générales concernant la composition des alliages monétaires en Italie à la fin du VIII^e siècle et au début du IX^e siècle. Des analyses complémentaires de deniers équivalents d'autres collections seront nécessaires afin de pouvoir raisonner sur une quantité d'échantillons représentative pour chacun des types monétaires considérés. Cependant, le problème de la confrontation entre les résultats obtenus par des méthodes d'analyse dont les caractéristiques diffèrent demeure. En effet, si les résultats obtenus sur des mêmes monnaies par LA-ICP-MS et par Activation aux Neutrons Rapides de Cyclotron sont en bon accord dans la plupart des cas³⁵, il n'en est pas de même pour les méthodes d'analyse de surface employées couramment pour les monnaies d'argent, comme la spectrométrie de fluorescence X. Si le sérieux et la compétence des utilisateurs de méthodes d'analyse de surface ne sont pas mis en doute ici, on peut s'interroger sur la

34. Papadopoli proposait par exemple 855-880 (NICOLÒ PAPADOPOLI, *Le monete di Venezia*, t. 1, 1893, p. 49).

35. SARAH, GRATUZE et BARRANDON, *op. cit.* n. 24, p. 1166.

pertinence de telles analyses³⁶. D'autre part, les travaux menés sur les deniers carolingiens ont démontré qu'une analyse sur leur tranche s'avère très hasardeuse : les résultats obtenus de cette manière peuvent être pertinents comme ils peuvent surestimer le titre d'argent d'une manière non négligeable. Or de nombreux analystes procèdent de cette manière³⁷, avec l'intention certes louable de minimiser les dommages causés par le nettoyage de la zone analysée ; mais le gain d'ordre esthétique entraîne une incertitude analytique plus importante – du moins pour les monnaies fines comme nombre de monnaies médiévales, parmi lesquelles les deniers carolingiens dont l'épaisseur est de l'ordre de 500 μm ³⁸. L'écart relatif entre les teneurs d'argent déterminées grâce aux profils LA-ICP-MS sur la face et la tranche de 18 des deniers italiens analysés dans notre étude excède 5 % pour 5 monnaies, soit 28 % d'entre elles (tableau 2). Aucune corrélation entre l'écart observé entre les deux analyses et le type de chaque monnaie n'a pu être mise en évidence.

36. Voir CONDAMIN et PICON 1972 *op. cit.* n. 21, p. 57-58. Metcalf l'avait également remarqué : « Analysis of an abraded section of the edge of the coin should in theory discount surface effects, such as corrosion or surface enrichment, and should measure the unaltered alloy; in practice, however, it is a delicate and sometimes perhaps an impossible task, within the limitations of aesthetic damage, to obtain even an approximately correct result. » (David Michael METCALF, *Interpreting the alloy of the Merovingian silver coinage*, *Studies in Numismatic Method presented to Philip Grierson*, C.N.L. Brooke, B.H.I.H. Stewart, J.G. Pollard et T.R. Volk Eds, Cambridge University Press, 1983, p. 113), et plus loin p. 114 : « Most of the specimens analysed were repositioned several times in the spectrometer, turned this way and that, and re-measured after successive cleaning of the edge. The results were sometimes different by as much as 10 % or even 20 % . »

37. David Michael METCALF et Peter NORTHOVER, *Debasement of the coinage in Southern England in the age of King Alfred*, NC 1985, p. 150-176 ; p. 176 pour le détail de la méthodologie employée. Michael COWELL, *Coin analysis by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry*, *Metallurgy in Numismatics* (4), W.A. Oddy et M.R. Cowell Eds, Londres, RNS Special Publication 30, 1998, p. 448-460. F. SCHWEIZER, *Analysis of ancient coins using a point source linear X-Ray spectrometer: a critical review*, *Methods of chemical and metallurgical investigation of ancient coinage*, E.T. Hall et D.M. Metcalf Eds, Londres, RNS Special Publication 8, 1972, p. 153-169. David Michael METCALF, *Interpreting the alloy of the Merovingian silver coinage*, *Studies in Numismatic Method Presented to Philip Grierson*, Cambridge, 1983, p. 113.

38. Pour une meilleure compréhension de ce phénomène voir le schéma présenté p. 52 dans CONDAMIN et PICON 1972, *op. cit.* n. 21. Pour des monnaies plus épaisses comme par exemple la plupart des monnaies romaines le phénomène de recouvrement de l'enrichissement de surface sur les bords des pièces est moins marqué. Nous ne préjugeons pas de la pertinence d'analyses réalisées sur la tranche de telles monnaies. Notre propos ne concerne que les pièces extrêmement fines telles les monnaies carolingiennes que nous avons étudiées spécifiquement.

Tableau 2 - Titres d'argent déterminés par LA-ICP-MS sur la face des monnaies, sur leur tranche ainsi que l'écart relatif calculé entre les deux valeurs. Les résultats sont classés par ordre d'écart relatif entre les deux valeurs croissant.

Référence	Type	Face	Tranche	Écart relatif
906b	C3	91,87 %	91,77 %	0,12 %
Prou 903	L2	84,05 %	84,20 %	0,17 %
Prou 905	C3	88,81 %	89,18 %	0,41 %
920e	L2	92,04 %	91,62 %	0,45 %
920c	L2	88,59 %	89,10 %	0,57 %
Prou 1001	L3	89,96 %	90,56 %	0,68 %
Prou 919	L2	85,07 %	85,97 %	1,05 %
912 bis	C3	92,18 %	90,59 %	1,72 %
920h	Xpe Ven.	83,25 %	85,17 %	2,31 %
920f	L2	78,00 %	79,82 %	2,33 %
920g	Xpe Ven.	81,91 %	83,83 %	2,34 %
1032q	L3	88,03 %	90,92 %	3,29 %
Prou 918	L2	86,88 %	91,09 %	4,85 %
Prou 910	Lothaire	78,98 %	85,00 %	7,62 %
Prou 568	L3	86,29 %	94,83 %	9,91 %
Prou 894	C2	81,66 %	89,84 %	10,02 %
Prou 904	Lothaire	76,21 %	85,31 %	11,94 %
Prou 920	L2	72,58 %	86,12 %	18,65 %

Une analyse effectuée sur la face en employant de telles méthodes n'est cependant pas non plus satisfaisante : il paraît difficile d'envisager de nettoyer la couche de corrosion qui peut excéder 150 μm sur des monnaies dont l'épaisseur oscille pour un même échantillon entre 200 et 800 μm ³⁹ sans causer de dommage visible. S'ajoutent également les problèmes liés au relief des monnaies qui causent une incertitude sur les teneurs déterminées par Spectrométrie de fluorescence X. Dans ces conditions, et si l'on souhaite rester dans une approche non destructive, les analyses réalisées par des méthodes de surface ont tendance à surestimer le titre d'argent des monnaies, et ce d'une manière aléatoire et imprévisible. La plus grande circonspection est donc de mise lorsqu'il s'agit de comparer des résultats obtenus par fluorescence X à d'autres fournis par des méthodes n'ayant pas les mêmes limitations. On privilégiera ainsi une méthode globale comme l'Activation aux Neutrons Rapides de Cyclotron⁴⁰, ou mieux encore, une méthode qui permet de visualiser l'enrichissement de surface et donc de s'en affranchir comme la méthode LA-ICP-MS, qui de surcroît permet

39. Épaisseurs mesurées ponctuellement sur des deniers carolingiens par les auteurs.

40. On notera toutefois que si dans la majorité des cas une méthode globale produisant des teneurs moyennes fournit des résultats justes et fiables, une légère surestimation du titre d'argent peut apparaître dans certains cas. Voir CONDAMIN et PICON 1972, *op. cit.* n. 21, p. 52, Julien GUEY, Peut-on se fier aux essais chimiques ?, RN, 1965, p. 110-122 et SARAH, GRATUZE et BARRANDON, *op. cit.* n. 24, p. 1166.

le dosage d'un plus grand nombre d'éléments avec des limites de détection bien plus basses. Néanmoins, il est certains cas où l'analyse de monnaies d'argent par LA-ICP-MS montre ses limites : si l'alliage monétaire est particulièrement hétérogène, les profils de concentration sont trop fluctuants pour permettre de proposer une valeur pour chaque élément analysé. On aura alors recours à une méthode d'analyse globale comme l'ANRC qui fournira des teneurs moyennes sur l'ensemble de la monnaie. C'est dans de tels cas que la complémentarité des méthodes ANRC et LA-ICP-MS est remarquable : tandis qu'une technique fournit des teneurs moyennes, l'autre apporte des informations sur l'homogénéité de l'alliage constituant la monnaie sans causer sa destruction.

Les analyses antérieures

Si chacun reconnaît l'intérêt évident d'entreprendre des analyses chimiques de deniers carolingiens, force est de constater que les résultats disponibles dans la littérature sont non seulement rares mais également sporadiques et obtenus par des méthodes différentes, ce qui exclut la possibilité d'avoir une réflexion d'ordre général⁴¹. Au vu de la faiblesse du nombre d'analyses antérieures, nous avons préféré ne pas nous limiter aux résultats obtenus pour les seules monnaies italiennes ; les analyses de deniers de l'ensemble de l'empire ont donc été considérées dans ce qui suit. Les résultats sont présentés en fonction de l'ordre d'émission, du Type 2 de Charlemagne jusqu'à Lothaire⁴².

Les résultats des analyses pratiquées sur des deniers de Charlemagne du Type 2 antérieurs à la réforme de 793/4 sont les plus abondants pour la période qui nous intéresse. Relevons en premier lieu les analyses pratiquées par spectrométrie de fluorescence X sur 72 des monnaies constituant le trésor de Pöschendorf-Krinkberg. Les titres déterminés s'échelonnent entre 55 % et 98 % d'argent, pour des deniers provenant pour l'essentiel de Dorestad⁴³. En dehors de ce trésor, les teneurs en argent obtenues pour des deniers frappés par Charlemagne entre 771 et 793/4 se divisent en deux groupes : on trouve d'une part des valeurs comprises entre 90 % et 94 % d'argent, obtenues par des méthodes de surface⁴⁴ ;

41. On retiendra néanmoins le travail de Coupland qui compila dans son article de 1990 sur les monnayages de Louis le Pieux les analyses antérieures effectuées sur des monnaies de ces types (COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 29 pour le Type 2 de Louis ; *ibid.*, p. 38-39 pour le Type 3).

42. Voir en Annexe 1 le tableau récapitulatif des analyses publiées antérieurement sur des deniers carolingiens de mêmes types que ceux analysés dans cette étude.

43. Lutz ILISCH, *Dirham und Rappenpfennig. Mittelalterliche Münzprägung im Bergbauregionen*, Bonn, 2003, p. 146-147.

44. David Michael METCALF et Julia M. MERRICK, *Studies in the composition of early medieval coins*, NC 1967, p. 217-231. David Michael METCALF, Julia M. MERRICK et Lynette Kaye HAMBLIN, *Studies in the composition of early medieval coins*, *Minerva Numismatic Handbooks* (3), 1968, p. 38 et 56. David Michael METCALF et Peter NORTHOVER, *Coinage Alloys of the Time of Offa and Charlemagne to c.864*, NC 1989, p. 106.

d'autre part, des résultats obtenus sur quatre deniers du trésor de Dijon découvert en 1989, contenant pour leur part entre 38 % et 65 % d'argent seulement⁴⁵.

Pour le Type 3 au monogramme frappé entre 793/4 et 812, des analyses réalisées au XIX^e siècle sur des monnaies de la collection de Giovanni Mulazzani révèlent des titres de près de 95 % pour des deniers italiens⁴⁶. Plus récemment, des analyses de surface effectuées également sur des monnaies italiennes révélèrent des titres particulièrement élevés de l'ordre de 98 %⁴⁷.

Aucune analyse n'est disponible pour les deniers au buste de Louis (Type 1)⁴⁸.

Pour le type suivant de Louis le Pieux (Type 2 frappé entre 818 et 822), on relèvera tout d'abord deux analyses chimiques réalisées au XIX^e siècle sur des deniers de Pavie et Venise dont les titres sont respectivement 94,4 % et 89,8 %⁴⁹. Metcalf reprend ces analyses et, constatant qu'elles ne révèlent que peu ou pas d'or, conclut que les monnaies italiennes sont plus pauvres en or que les autres⁵⁰. Plus récemment, trois résultats obtenus par une méthode de surface sur des deniers issus d'ateliers situés entre Seine et Rhin révélèrent des titres d'argent compris entre 93 % et 96 %⁵¹.

Le titre d'un denier de Louis le Pieux apparaît dans l'article de Mulazzani cité précédemment (93,0 %) ; néanmoins, le type de ce denier de Pavie n'est pas précisé, et il peut donc s'agir du Type 1 ou du Type 2⁵².

45. Marc BOMPAIRE et Germaine DEPIERRE, Le trésor carolingien de Dijon, rue du Chapeau Rouge, *BSFN*, 44, 1989, p. 577-581. Les résultats des analyses apparaissent p. 581.

46. Giovanni MULAZZANI, *Studi economici*, *RIN* 1888, p. 41-72. Les résultats des analyses apparaissent p. 58. Les types des deux deniers de Charlemagne analysés ne sont pas précisés, il s'agit cependant selon toute vraisemblance de deniers au monogramme puisque l'auteur mentionne le nom de l'atelier émetteur.

47. METCALF, MERRICK et HAMBLIN, *op. cit.* n. 44, p. 40.

48. « No analysis of silver content has yet been undertaken » (COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 26).

49. Camillo BRAMBILLA, *Monete di Pavia raccolte ed ordinatamente dichiarate*, 1883, p. 86 pour la monnaie pavesane et PAPADOPOLI, *op. cit.* n. 34, p. 41 pour la vénitienne.

50. David Michael METCALF, *Analyses of the Metal Contents of Medieval Coins*, *Methods of chemical and metallurgical investigation of ancient coinage*, E. Hall et M. Metcalf Eds, 1972 p. 405 : « The Italian coins of Charlemagne have much lower gold contents, and this is confirmed by a careful assay made at Paris for Papadopoli of a Venetian denario of Louis I: it showed 89.8 per cent silver and 0.05 per cent gold. In a similar coin of Pavia analysed for Brambilla no gold was noticed (silver 94.4 per cent, alloy 5.6 per cent), but this may have been simple cupellation. » Malheureusement ce passage manque de précision : il est tout d'abord énoncé sans justification sur le fait que les monnaies italiennes de Charlemagne contiennent beaucoup moins d'or que les autres ; puis sont présentés des résultats censés confirmer cette observation obtenus sur deux deniers du Type 2 de Louis. Et si effectivement le denier vénitien contient peu d'or, il est vraisemblable que pour la monnaie de Pavie cet élément soit contenu dans le pourcentage d'argent, si celui-ci a bien été déterminé par cupellation comme cela est supposé.

51. METCALF et NORTHOVER, *op. cit.* n. 44, p. 108.

52. MULAZZANI, *op. cit.* n. 46, p. 58. Les deniers du Type 2 étant plus abondants que les précédents, cette solution est la plus probable, néanmoins les données fournies par Mulazzani ne sont pas suffisantes pour pouvoir l'affirmer.

Le Type 3 de Louis le Pieux frappé entre 822 et 840 étant bien plus fréquent que les précédents dans les trésors, davantage d'analyses ont été réalisées. Hormis deux deniers des trésors de Mercurey-Bourgneuf et Fontaines-les-Chalon contenant seulement 45 % d'argent environ⁵³, les titres des dix-sept autres pièces analysées s'échelonnent entre 80 % et 96 % à ces deux exceptions près⁵⁴. Simon Coupland faisait part de son scepticisme au regard des deux résultats inférieurs à 50 % dans son article consacré au monnayage de Louis le Pieux, et suggérait une inversion entre les valeurs déterminées pour ces monnaies et celles obtenues pour des deniers du type plus tardif de l'édit de Pîtres⁵⁵. Les fragments des monnaies issues de la trouvaille de Mercurey-Bourgneuf restant après les analyses chimiques conduites par Prou sont demeurés au Cabinet des Médailles (Références 1029a et 1029b). Nous avons donc pu procéder à l'analyse complémentaire de ces fragments de deniers, par LA-ICP-MS et par ANRC ; il s'est avéré que les deux deniers contiennent environ 85 % d'argent, et non 44,2 % pour 1029a et 86,6 % pour 1029b comme Prou le rapportait. Le denier du trésor de Fontaines-les-Chalon pour lequel l'analyse de Prou révèle un titre de 45,5 % n'a pu être analysé. Néanmoins, nos analyses complémentaires semblent confirmer le doute émis par Coupland.

Un denier du type *XPE SALVA VENECIAS* analysé par Papadopoli à la fin du XIX^e siècle avait un titre de 70,0 % environ⁵⁶.

Pour Lothaire, deux analyses de monnaies italiennes contenant 75 % d'argent environ furent publiées par Mulazzani⁵⁷. Un exemplaire vénitien portant +*VENECIA* au revers a été analysé par Papadopoli ; cette monnaie contenait 72 % d'argent⁵⁸. Les titres de deux deniers de Dorestad analysés plus récem-

53. M. PROU, Note sur le titre de quelques deniers des IX^e et XI^e siècles essayés à la Monnaie, *GNF*, 2, 1898, p. 227-232. Voir COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 39 pour une discussion sur ces résultats surprenants. Le lecteur notera que ces analyses ont été reprises de manière erronée par Metcalf et Northover (METCALF et NORTHOVER, *op. cit.* n. 44, p. 108) : ces auteurs mentionnent cinq analyses publiées par Prou de deniers du type *XPISTIANA RELIGIO* de Louis le Pieux dans leur article ; il n'y en a en réalité que trois – les trois que nous avons mentionnées. Les deux autres valeurs citées concernent des deniers de Charles le Chauve antérieurs à l'Édit de Pîtres (*CARLVVS REX FR* autour d'une croix au droit et *XPISTIANA RELIGIO* autour d'un temple au revers) publiées également par Prou.

54. MULAZZANI, *op. cit.* n. 46, p. 58. PROU, *op. cit.* n. 53, p. 228-230. J. GRUAZ, Le trésor d'Hermenches et les temps carolingiens, *Revue historique vaudoise*, 1922, p. 193-212, analyse p. 211. P. CHENU, Un dépôt de monnaies carolingiennes dans le département du Cher, *Mémoires de la Société historique, littéraire et scientifique du Cher*, 1931-1932, p. 114. METCALF, MERRICK et HAMBLLIN *op. cit.* n. 44, p. 40 et 57. METCALF et NORTHOVER, *op. cit.* n. 44, p. 109. ILISCH, *op. cit.* n. 43, p. 146-147.

55. « ... is it not probable that Prou – or his technician – mixed up the results of the analyses? [...] Such factors leave me sceptical of Prou's figures until they are corroborated by modern results », COUPLAND, *op. cit.* n. 2, p. 39.

56. PAPADOPOLI, *op. cit.* n. 34, p. 49.

57. MULAZZANI, *op. cit.* n. 46, p. 58.

58. PAPADOPOLI, *op. cit.* n. 34, p. 47.

ment (un au temple et un avec le nom de l'atelier émetteur dans le champ), étaient quant à eux supérieurs à 93 %⁵⁹. Leurs teneurs en or et zinc étaient de plus nettement supérieures aux valeurs trouvées pour les monnaies de types antérieurs. Un troisième exemplaire au nom d'atelier dans le champ ne contenait quant à lui que 61 % d'argent. Si l'on en croit Metcalf et Northover qui reprennent cette analyse, cette monnaie serait similaire à celle référencée 819 dans *MEC*⁶⁰. D'après ce dernier ouvrage, il s'agirait d'une imitation frisonne⁶¹.

Relevons enfin dans un souci d'exhaustivité une analyse réalisée au XVIII^e siècle et citée par Prou selon laquelle le titre des deniers carolingiens serait de 95,8 %⁶². Le manque de précision quant au type de monnaies concernées ne permet évidemment pas d'intégrer ce résultat à notre réflexion.

Ces résultats sont trop peu nombreux pour permettre d'étudier l'évolution du titre d'argent à chaque changement de type monétaire, ou pour discerner, au sein d'un même type, une différence entre les monnaies cisalpines et transalpines. Nous allons voir dans les prochaines pages si l'approche analytique que nous proposons, qui consiste à analyser par une même méthode l'intégralité des monnaies de chaque type conservées dans la collection nationale française, apporte de nouveaux éléments de réflexion pour une meilleure compréhension du monnayage carolingien.

Interprétation des résultats analytiques : l'étude du titre

L'exploitation des résultats analytiques s'est articulée, comme il est d'usage de le faire lorsqu'il s'agit d'alliages métalliques constituant des monnaies, autour de deux axes principaux : en premier lieu, le titre d'argent. L'évolution de la teneur en métal précieux au cours de la période considérée a été étudiée, ainsi que d'éventuelles disparités géographiques, puisque pour l'essentiel du corpus l'atelier émetteur est connu. En second lieu, l'étude des éléments mineurs et traces, dont certains peuvent permettre de définir des groupes parmi les monnaies, voire dans les cas les plus favorables l'origine du minerai utilisé. D'autre part, des analyses complémentaires portant sur les rapports entre les différents isotopes du plomb ont été effectuées sur quelques monnaies dans le but de confirmer ou d'infirmer les différences apparues à la lumière des analyses élémentaires.

Les résultats des analyses se sont révélés particulièrement instructifs⁶³. Considérons en premier lieu le titre des deniers⁶⁴.

59. METCALF et NORTHOVER, *op. cit.* n. 44, p. 118-119.

60. METCALF et NORTHOVER, *op. cit.* n. 44, p. 118-119.

61. *MEC*, 1, p. 532 et planche 37.

62. PROU, *op. cit.* n. 2, p. XLIII.

63. Le détail de ces résultats figure en Annexe 2.

64. Les émissions vénitiennes du Type 2 de Louis et le denier de Pavie Prou 903 ont été dissociées des calculs suivants et des considérations qui les accompagnent, nous en verrons ultérieurement les raisons.

Les premiers deniers examinés sont ceux de Charlemagne antérieurs à la réforme de 793/4. L'une des sept monnaies analysées est remarquable par son titre d'argent particulièrement faible (Prou 895 avec 57,3 %). Cet exemplaire, seul à se différencier dans ce groupe, est attribuable à Milan du fait de la présence d'un monogramme au revers⁶⁵. Avant l'analyse, rien ne distinguait cette monnaie des autres. De ce fait, cet exemplaire est peut-être issu d'un atelier officiel, ou éventuellement frappé hors du contrôle royal mais en se servant de coins royaux. Les six autres deniers de ce type analysés contiennent entre 81 % et 88 % d'argent (84,9 % en moyenne si l'on exclut Prou 895). Si la teneur en argent déterminée pour la première monnaie citée la rapproche des deniers du trésor de Dijon (titres compris entre 38 % et 65 %), les autres sont plutôt conformes aux autres analyses. Néanmoins, nos valeurs sont légèrement inférieures à celles déterminées antérieurement par une méthode d'analyse de surface sur des deniers de même type frappés en dehors de l'Italie, comprises entre 90 % et 93 %⁶⁶. Deux explications sont possibles : soit les deniers italiens sont d'un titre moins bon que les autres ; soit les analyses plus anciennes ayant fourni des teneurs supérieures à 90 % surestiment la teneur en argent des monnaies à cause de l'enrichissement de surface. Nous verrons ce qu'il en est lors de la publication des analyses des deniers carolingiens du Cabinet des Médailles frappés hors d'Italie. Ces nouveaux résultats tendent cependant à confirmer que le titre des deniers de Charlemagne antérieurs à la réforme est globalement plutôt élevé, supérieur à 80 % si l'on exclut Prou 895.

Les deniers au monogramme postérieurs à la réforme de Charlemagne de 793/4 (Type 3) que nous avons analysés contiennent entre 87,3 % et 94,2 % d'argent (91,3 % en moyenne). Les deux analyses chimiques de Mulazzani réalisées sur des exemplaires issus d'ateliers italiens, ont rendu des titres légèrement supérieurs mais proches de notre valeur maximale (94,8 %). Cependant, si l'on considère les analyses de surface de Metcalf *et al.*, une différence apparaît : les deux deniers au monogramme analysés par ces auteurs contiennent d'après eux près de 98 % d'argent. Il est légitime de penser que, dans ce cas, les analyses chimiques de Mulazzani sont fiables, mais que l'analyse de surface de Metcalf *et al.* a conduit à une surestimation du titre d'argent. Metcalf l'a reconnu ultérieurement : « Two Italian coins of Charlemagne's later coinage were analysed in 1968 and were found to be of the very highest silver standard. The XRF figures may overstate the case slightly »⁶⁷.

Les valeurs obtenues pour les deniers du Type 1 de Louis le Pieux (au buste) s'échelonnent entre 92 % et 96 % d'argent. Nous ne disposons pas d'élément de comparaison pour ces résultats, aucune analyse de denier de ce type n'ayant été publiée par le passé. Les quatre résultats sont homogènes et semblent montrer que les monnaies de ce type sont d'un très bon titre d'argent.

65. Voir *supra*, p. 364-365.

66. METCALF et MERRICK *op. cit.* n. 44 et METCALF et NORTHOVER, *op. cit.* n. 44, p. 116-117.

67. METCALF et NORTHOVER *op. cit.* n. 44, p. 108.

Pour le Type 2 de Louis le Pieux, nos valeurs de titre sont comprises entre 93,6 % et 97,6 % pour les deniers d'Italie carolingienne. Ces résultats sont cohérents avec les analyses antérieures, qu'elles soient chimiques ou de surface (92,7 % à 94,8 % d'argent, le denier vénitien exclu).

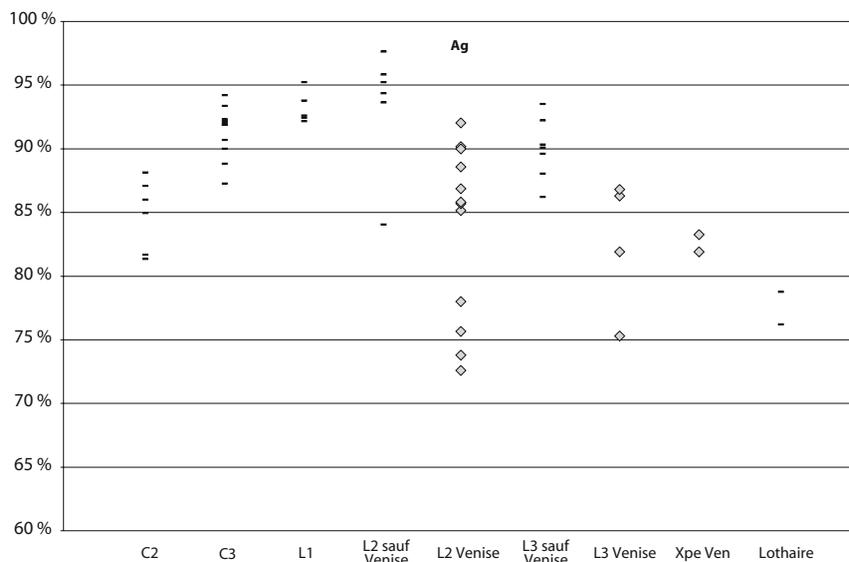


Fig. 2 - Titre des deniers d'Italie carolingienne et vénitiens analysés

L'évolution de la teneur en argent sur la période 771-822 – en Italie de 781 à 822 – montre une croissance permanente du titre de monnaies (fig. 2). On passe ainsi tout d'abord de 84,9 % à 91,3 % d'argent en moyenne de part et d'autre de la réforme de 793/4. L'alourdissement des deniers et la standardisation des légendes s'accompagnent donc d'une augmentation sensible du titre des monnaies. Et si l'on exclut les deniers au buste de Charlemagne dont aucun exemplaire n'a pu être analysé dans notre étude, on constate que la hausse se poursuit, plus modestement certes, mais encore visiblement dans la première partie du règne de Louis le Pieux : tout d'abord 93,5 % entre 814 et 818, puis l'on atteint une moyenne de 95,3 % pour la période 818-822.

En plus de la nette augmentation du titre des deniers, la figure 2 permet de constater que la dispersion de ces valeurs diminue nettement entre 781 et 822. Mais de ce point de vue, ce n'est pas la réforme de 793/4 qui marque l'évolution la plus importante mais le passage de Charles à Louis : si les bornes minimales et maximales des titres des deniers de Charles sont nettement décalées vers le haut lors du passage du Type 2 au Type 3, les valeurs restent passablement dispersées (écart-types relatifs respectivement de 3,3 et 2,2 %). En revanche, sous Louis le Pieux, les teneurs en argent des deniers tendent à se rapprocher de la valeur moyenne. L'écart-type relatif calculé sur le titre d'argent, qui rappe-

lons-le reflète la dispersion des valeurs, est inférieur à 2 % pour les deux premiers types de Louis. Nous resterons toutefois prudents quant à l'interprétation de ces dernières observations : seuls quatre deniers du Type 1 et six du Type 2 (hors Venise) ont été analysés ; des résultats complémentaires sont donc nécessaires afin de s'assurer de la réalité de ce phénomène de regroupement du titre des deniers dans la première partie du règne de Louis le Pieux.

Plusieurs éléments d'ordre numismatique avaient permis de supposer que la première partie du règne de Louis le Pieux était caractérisée par un contrôle strict de la frappe et de la circulation monétaires. En premier lieu, la quasi-absence de monnaies étrangères découvertes sur le territoire carolingien prouve que l'interdiction de la circulation de ces monnaies était scrupuleusement respectée, sous Charlemagne mais plus encore sous Louis le Pieux⁶⁸. D'autre part, l'étude des trésors démontre une efficacité remarquable dans le renouvellement des monnaies en circulation lors des changements de type monétaire, et ce malgré la faible durée d'émission de certains types. L'homogénéité des trouvailles de cette époque est en effet exceptionnelle : quand elles ne sont pas totalement absentes, seules quelques rares monnaies du type antérieur coexistent avec celles constituant le type en circulation. Enfin, la composition des trésors démontre une circulation rapide des monnaies à travers l'ensemble de l'empire⁶⁹. Les résultats analytiques présentés plus haut apportent la confirmation de ces observations purement numismatiques : en ce qui concerne la frappe monétaire, Louis le Pieux ne fut pas comme on l'a longtemps cru l'héritier indigne de Charlemagne⁷⁰, mais, du moins au début de son règne, il est parvenu à maintenir voire à renforcer le contrôle exercé par son prédécesseur sur la monnaie. Cependant, la situation spécifique à l'Italie concernant le monnayage est assez peu compréhensible. Si l'on admet la représentativité des données archéologiques, la rareté des trouvailles de monnaies d'époque carolingienne en Italie semble montrer que le denier d'argent n'était pas utilisé pour des échanges de faible valeur. Doit-on en déduire que le denier était utilisé à des seules fins de commerce à grande échelle dans cette partie de l'empire, et non pour les transactions quotidiennes⁷¹ ? La publication des résultats obtenus sur les deniers frappés en dehors de l'Italie pour la même période nous en apprendra sans doute encore davantage. Les analyses dont nous disposons actuellement mon-

68. Pour les trésors de l'époque de Charlemagne voir COUPLAND, *op. cit.* n. 14, p. 221 ; pour ceux de Louis le Pieux voir COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 24 et p. 32-33.

69. COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 24. MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 683.

70. Voir à ce sujet l'excellente introduction dans COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 23.

71. ROVELLI, *op. cit.* n. 14, p. 207. Selon cette appréciation, le denier d'argent carolingien avait un pouvoir d'achat relativement haut en Italie – ce qui expliquerait le faible nombre de trouvailles dues à des pertes – et il serait utilisé surtout pour le commerce le long du Pô et la gestion des biens immobiliers. Pour Coupland, qui lui se base sur des textes d'époque carolingienne faisant mention de transactions effectuées en deniers (hors Italie), cette monnaie était d'usage quotidien (COUPLAND, *op. cit.* n. 14, p. 212-213).

trent que les deniers italiens des deux types de Charlemagne étudiés, entre 781 et 812, sont d'un titre légèrement plus faible que ceux des autres ateliers. Pour le Type 2, la moyenne du titre des monnaies italiennes est de 84,9 % tandis que cette valeur est de 87,5 % pour les autres ateliers. Pour le Type 3, les moyennes sont de 91,3 % pour l'Italie et 93,5 % pour le reste de l'empire. Rien de tel n'a pu être observé pour les émissions de Louis le Pieux. Peut-être cela reflète-t-il l'intégration progressive de l'Italie du Nord à l'empire carolingien. Ces observations nous ont paru suffisamment importantes pour être rapportées ici. Néanmoins, il convient de rester prudent au vu de ces différences supposées : dans les deux cas où les deniers italiens semblent se singulariser de par leur titre d'argent, si cette tendance ressort de nos analyses, il faut noter que tous les deniers des Types 2 et 3 de Charlemagne du Cabinet des Médailles frappés en dehors d'Italie n'ont pas été analysés à ce jour. Il ne s'agit donc pas d'une conclusion définitive mais d'une observation qui devra être confirmée lorsque l'ensemble des résultats analytiques pourra être étudié. De plus, il faut garder à l'esprit que les valeurs de titre d'argent déterminées pour les deux types monétaires de Charlemagne étudiés sont passablement dispersées. En conséquence, les deux groupes de valeurs se recouvrent ; cependant, dans les deux cas, les moyennes calculées pour les deniers italiens sont plus basses que pour les autres deniers analysés.

Une obole frappée au nom de Pavie (légende exacte *PAPA*) a également été analysée. Si la frappe d'oboles est avérée sous Louis le Pieux pour l'ensemble du territoire carolingien, aucune mention de demi-denier italien n'apparaît dans la littérature. L'article de Simon Coupland traitant spécifiquement du monnayage de Louis le Pieux, bien qu'il recense les ateliers ayant émis des oboles au nom de Louis pour les deux types monétaires frappés entre 814 et 822, ne mentionne à aucun moment d'exemplaires portant le nom de Pavie⁷². L'absence de telles monnaies dans la littérature spécialisée, la faiblesse du titre de cette obole (moins de 60 %) ainsi que son exécution grossière nous font penser qu'il s'agit probablement d'un faux.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, les quelques analyses de deniers au temple de Louis le Pieux publiées ici n'ont qu'une valeur indicative dans la mesure où l'étude de ce monnayage est plus complexe que celle des types précédents. De plus, ces monnaies furent émises durant une période de 18 ans ; on ne peut donc exclure une éventuelle évolution de leur composition, surtout, peut-être, lors des sombres années de la fin du règne de Louis. Néanmoins, les résultats obtenus sur ces monnaies méritent d'être commentés. Là encore, les deniers attribués à Venise ont été traités séparément, et ce paragraphe n'est relatif qu'aux sept autres deniers supposés avoir été frappés à Milan. La moyenne du titre de ces deniers est de 90,0 %, valeur certes honorable mais

72. COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 28.

sensiblement plus basse que pour les deux types précédents (93,5 % et 95,3 %). Les valeurs sont assez variables, comprises entre 86 % et 94 %. La comparaison avec les résultats antérieurs est malaisée, les attributions à des ateliers émetteurs n'étant pas possibles dans la plupart des cas. Remarquons simplement que nous n'avons pas retrouvé de titres aussi faibles que ceux déterminés par Prou pour deux deniers au temple, de l'ordre de 45 %. Concernant la légère baisse du titre des deniers constatée pour ce type par rapport aux deux émissions précédentes de Louis le Pieux, une première hypothèse pourrait être l'influence des troubles liés à la succession de Louis qui apparaissent dès la fin des années 820. Le type monétaire au temple de Louis le Pieux mérite une campagne d'analyses ambitieuse s'appuyant de manière critique sur la classification de Simon Coupland afin d'apporter de nouveaux éléments de réflexion sur ce monnayage qui, s'il est bien plus abondant dans les collections que ses prédécesseurs, demeure assez peu compréhensible encore.

Considérons enfin les résultats obtenus sur les deniers de Lothaire dont nous disposons, l'exemplaire vénitien mis à part. Les deux monnaies de Pavie et Milan présentent des titres respectivement de 76,2 % et 78,7 %. Outre leur teneur en argent relativement faible, on peut remarquer qu'une de ces monnaies contient une teneur importante de zinc (2 %), qui, rapportée à la concentration en cuivre, semble montrer l'utilisation d'un laiton pour affaiblir un alliage de meilleur titre. Les titres calculés sont du même ordre que ceux déterminés par Mulazzani pour des pièces frappées dans ces deux mêmes villes. Ces quatre résultats semblent montrer que les ateliers italiens émettaient sous Lothaire des monnaies d'un titre de l'ordre de 75 % d'argent. Les deux deniers de Lothaire frappés à Dorestad analysés par Metcalf et Northover contenaient plus de 90 % d'argent. Ici encore, deux explications sont à considérer : premièrement, une éventuelle surestimation du titre par la méthode d'analyse de surface utilisée par les chercheurs britanniques ; deuxièmement, une différence de teneur en argent entre les deniers frisons et italiens de Lothaire. La particularité du territoire de ce souverain, bande étroite allant de la mer du Nord à l'Italie, joue en faveur de la deuxième option : il n'est en effet pas déraisonnable d'imaginer que le titre des deniers ait pu différer entre Dorestad et Pavie. D'autant plus que l'instabilité en Frise à l'époque de Lothaire est grandissante depuis l'époque de Louis le Pieux, ainsi le contrôle des ateliers monétaires entre 840 et 855 aura été moins strict que durant la période précédente. Cependant, il serait légitime de penser que les raids nordiques en Frise auraient plutôt contribué à faire baisser le titre des deniers à Dorestad, à une période où l'activité commerciale de cet *emporium* semble avoir commencé à décliner. Dans ces conditions, pourquoi les monnaies auraient-elles été plus riches en argent dans cette région troublée en comparaison de l'Italie du nord où une relative stabilité perdurait ? De nouvelles analyses de deniers de Lothaire émis en Frise nous éclaireront sans doute davantage sur cette question.

Le lecteur l'aura remarqué, les deniers émis à Venise, qu'ils soient du Type

2 ou du Type 3 de Louis, ont été traités séparément de ceux issus des autres ateliers italiens – situés, eux, à l'intérieur des frontières de l'empire carolingien. Le même lecteur, ayant pris de l'avance sur nos explications, aura noté la pertinence d'un tel choix en se référant à la figure 2 : il ne lui aura pas échappé que, tandis que les titres des monnaies issues des autres ateliers italiens sont regroupés autour de 95 %, les valeurs déterminées pour les deniers vénitiens sont non seulement nettement plus basses mais également singulièrement plus dispersées. On se situe, rappelons-le, à 95,3 % d'argent en moyenne avec un écart-type relatif de 1,6 % pour les quatre autres ateliers, alors que la moyenne chute à 83,5 % pour un écart-type relatif de 8,6 % pour le seul atelier de Venise ; la teneur en argent varie ainsi entre 72,6 % et 92,0 % dans ces monnaies. Un denier de Pavie (Prou 903), bien visible sur la figure 2, a été écarté du groupe formé par les deniers émis en dehors de Venise : il contient en effet seulement 84,1 % d'argent alors que les valeurs oscillent entre 93,6 % et 97,6 % pour les autres. Les teneurs de certains éléments mineurs et traces caractéristiques confirment la particularité de cet exemplaire⁷³.

À la lumière de ces nouvelles analyses, on constate que cette différenciation des deniers de Venise était décelable en se référant aux quelques résultats obtenus par le passé sur des deniers émis entre 818 et 822 : Coupland, dans son article sur le monnayage de Louis le Pieux, constatait en reprenant les résultats publiés antérieurement que le denier de Venise dont le titre avait été déterminé contenait moins d'argent que les autres⁷⁴. Sa teneur en métal précieux était en effet inférieure à 90 % alors que pour les quatre autres, issus d'ateliers situés entre Seine et Rhin, cette valeur était comprise entre 93 % et 97 %. Ces quelques résultats étaient bien entendu insuffisants pour conclure ce qui semble dorénavant indiscutable : les deniers vénitiens de Louis le Pieux contiennent moins d'argent que ceux frappés dans les ateliers italiens de l'empire carolingien, et la standardisation du titre est sans commune mesure. Les analyses de deniers carolingiens de la même période frappés hors d'Italie que nous avons effectuées confirment d'ores et déjà la particularité des monnaies vénitiennes du point de vue du titre.

La figure 2 peut laisser croire que deux groupes de deniers vénitiens se distinguent de par leur titre d'argent : l'un au-dessus de 85 %, l'autre au-dessous de 80 %. L'étude numismatique des monnaies concernées ne permet pas de retrouver cette différenciation : à l'exception du denier référencé 1982-63 dont la légende du revers est en trois lignes, toutes les autres forment un groupe homogène. Les deux groupes de pièces se différencient-ils par leurs teneurs en éléments traces ? Nous verrons que ce n'est pas non plus le cas ; nous ne pouvons expliquer la répartition des titres observés en deux sous-groupes autrement que

73. Cf. *infra* p. 382-383.

74. « ... and a denier of Venice had the slightly lower, but still respectable figure of 89,8 % silver », COUPLAND, *op. cit.* n. 3, p. 29.

par les incertitudes induites par un échantillon d'effectif limité. Il est légitime de penser qu'il n'y aurait qu'un seul groupe caractérisé avant tout par une large dispersion où le hasard ne nous aurait pas permis d'observer de deniers correspondant aux valeurs médianes.

L'examen des résultats obtenus sur les deniers du type *XPISTIANA RELIGIO* attribués à Venise sur la base de leurs caractères stylistiques montre que le titre moyen est comparable au type précédent (82,6 % et 83,3 %). Seules quatre monnaies ont été analysées et leurs titres sont compris dans la gamme définie par les deniers du type antérieur frappés dans cette même ville. Cela ne permet évidemment pas de conclure sur l'évolution du titre des deniers vénitiens lors du passage du Type 2 au Type 3 de Louis le Pieux. Cependant, ces analyses semblent confirmer la classification des deniers du Type 3 de Louis le Pieux proposée par Simon Coupland. Les monnaies de ce type attribuées à Venise par l'étude numismatique sont en effet d'un titre plus faible que celles qu'il attribue à Milan (en moyenne 82,6 % contre 90,0 %). On retrouve ainsi la même différenciation des deniers vénitiens du point de vue du titre que pour le type précédent, et la dispersion des valeurs de ces émissions est également bien plus importante que celle des monnaies attribuées à Milan. Une étude complète intégrant un nombre d'analyses significatif sera nécessaire pour une meilleure compréhension des monnaies au temple de Louis le Pieux.

Le titre d'argent des deniers du type *XPE SALVA VENECIAS* est sensiblement identique à celui des *XPISTIANA RELIGIO* attribués à Venise (en moyenne 82,6 % dans les deux cas). Cela n'est pas suffisant pour conclure quant à la contemporanéité ou la succession de ces deux types monétaires. En plus des deux exemplaires au type *XPE SALVA VENECIAS* étudiés, deux ont été retrouvés dans le trésor d'Hermenches⁷⁵ ; douze autres sont également recensés dans le *Corpus Nummorum Italicorum*⁷⁶.

L'exemplaire vénitien de Lothaire Prou 921 n'est pas constitué d'un alliage à base d'argent : d'après les résultats obtenus par LA-ICP-MS, cette monnaie contiendrait 77 % d'étain, 23 % de plomb⁷⁷. La fiabilité des teneurs de plomb et d'étain déterminées n'est pas optimale puisque le protocole utilisé ne peut théoriquement s'appliquer qu'à des alliages contenant une majorité d'argent. Néanmoins, on peut être sûr que cette monnaie ne contient pas d'argent, et qu'elle est constituée d'un alliage étain-plomb. Les caractéristiques physiques de ce denier (en particulier sa masse), ainsi que son aspect, ne pouvaient laisser présager qu'il s'agissait d'un faux. Par rapport aux deniers du Type 2 de Louis le Pieux sur lesquels figure également le nom de l'atelier émetteur dans le

75. GRUAZ, *op. cit.* n. 54, p. 211.

76. *Corpus Nummorum Italicorum - Veneto Venezia*, Parte I, 1915, p. 7-8.

77. Les teneurs déterminées par LA-ICP-MS pour cette monnaie ont été reportées dans l'Annexe 2 récapitulant l'ensemble des résultats obtenus pour une meilleure commodité de lecture, cependant la précision des valeurs calculées pour cet exemplaire, du fait de la particularité de sa composition, n'est pas la même que pour les autres.

champ, la seule différence notable est le passage d'une légende + *VE NE/CIAS* en deux lignes à *VENECIA* sur une seule ligne. Cependant le même phénomène est observé pour Trévis et Milan. Il est remarquable qu'aucun denier vénitien de Lothaire n'ait été retrouvé en fouille alors que des exemplaires existent dans les collections⁷⁸. Des monnaies du même type frappées à Milan, Pavie et Trévis furent retrouvées dans différents trésors, en particulier à Roermond, mais aucune en Italie ni en France⁷⁹. Comme l'a relevé Coupland, « It is surprising that Venice produced any coinage at all in Lothar's name, given that in 840 the latter signed a treaty with the port guaranteeing its independence and neutrality »⁸⁰. Cette observation, reliée à notre analyse de Prou 921, qui démontre que cette monnaie est un faux, nous a d'abord fait penser que les quelques deniers de Venise au nom de Lothaire présents dans les collections pourraient être des faux récents. Cela expliquait l'absence de telles monnaies dans les inventaires de trésors. Cela permettait également d'imaginer une révision de la chronologie des émissions vénitiennes : car si aucune monnaie n'a effectivement été frappée par Lothaire à Venise, on pourrait alors envisager de situer le type *Xpe Salva Venecias*, dont les dates d'émission sont encore floues, pendant le règne de Lothaire. Rien ne permet actuellement de vérifier ces hypothèses. L'analyse d'un autre denier vénitien de Lothaire au XIX^e siècle a révélé un titre d'argent de 70 % environ⁸¹, ce qui tendrait à infirmer notre hypothèse. Alors, notre monnaie est-elle simplement une exception ? L'analyse des deniers de Venise frappés au nom de Lothaire conservés dans d'autres collections serait des plus instructives pour une meilleure compréhension de ce monnayage.

Interprétation des résultats analytiques : les éléments mineurs et traces

L'étude de l'évolution des teneurs en éléments mineurs et traces (i.e. tous les éléments détectés à l'exception de l'argent et du cuivre) est également riche d'enseignements, en particulier la somme des teneurs de ces éléments. On observe en effet une diminution nette de cette valeur lors du passage du Type 2 au Type 3 de Charlemagne : en moyenne, la somme des teneurs en éléments mineurs et traces est de 1,8 % avant la réforme de 793/4 et de 1,2 % après. Cette valeur reste stable légèrement au dessus de 1 % sous Louis le Pieux jusqu'en 822. On constate donc que la réforme générale de Charlemagne n'a pas eu seulement une influence sur le titre d'argent des monnaies, mais également sur la pureté des alliages d'argent et des alliages cuivreux mélangés. La stabilisation autour de 1 % pour le Type 2 de Louis le Pieux concerne à la fois les deniers émis par les ateliers italiens faisant partie intégrante de l'empire

78. Trois dans le *CNI*, Veneto, p. 6.

79. COUPLAND, *op. cit.* n. 31, p. 176.

80. COUPLAND, *op. cit.* n. 31, p. 177-178.

81. PAPADOPOLI, *op. cit.* n. 34, p. 47.

carolingien, mais également les pièces portant le nom de Venise. Ce sont donc bien les teneurs en argent et en cuivre qui différencient les deniers vénitiens et pas la quantité globale d'impuretés contenue dans ces monnaies. Car si quelques pourcents de cuivre sont ajoutés à l'argent à Pavie, Milan et Trévisé pour faciliter le travail de l'alliage, la quantité de métal rouge ajoutée par les monnayeurs vénitiens fait penser à une fraude.

En plus de leur particularité concernant le titre d'argent, les deniers vénitiens présentent des caractéristiques du point de vue de certains éléments mineurs et traces qui les distinguent des autres émissions italiennes du Type 2 de Louis le Pieux (nom de l'atelier dans le champ au revers). Les résultats des analyses démontrent que les monnaies de Venise émises entre 818 et 822 contiennent moins d'or et davantage de bismuth que celles des autres ateliers italiens (fig. 3) ; on distingue ainsi deux nuages de points correspondant aux deux groupes différents. On peut noter que le denier de Trévisé Prou 914 a des caractéristiques proches de ceux de Venise – la proximité géographique des deux villes peut être une explication – et que le denier de Pavie Prou 903 dont le titre était remarquablement faible tend à se rapprocher du groupe formé par les monnaies vénitiennes. La répartition des points sur la figure 3 pourrait montrer qu'un stock de métal contenant une quantité importante de bismuth et peu d'or a été mélangé à un autre stock contenant quant à lui peu de bismuth et davantage d'or. L'ensemble des deniers italiens du Type 2 de Louis le Pieux comprend onze deniers vénitiens et six exemplaires issus d'autres ateliers. Parmi ces six exemplaires, deux, nous l'avons vu, présentent des caractéristiques de composition qui les rapprochent des monnaies de Venise. Ne restent donc que quatre deniers formant un groupe homogène au regard des teneurs en or et bismuth. Et si la différenciation des deniers vénitiens semble évidente sur la figure 3, elle l'est également si l'on compare ces monnaies aux autres du même type frappées en dehors d'Italie. Des analyses complémentaires de deniers du Type 2 de Louis le Pieux issus d'ateliers d'Italie carolingienne seraient néanmoins bienvenues afin de confirmer l'observation spécifique à l'Italie.

D'autre part, l'étude des éléments mineurs et traces met en évidence que les deniers vénitiens contiennent davantage d'antimoine et d'arsenic que les autres deniers italiens, le denier pavesan Prou 903 mis à part (fig. 4). Cependant, ces deux éléments sont liés au cuivre, et il s'agit ici très probablement d'une simple corrélation liée à la teneur en métal rouge, et non d'une « signature » caractéristique de l'origine du métal utilisé.

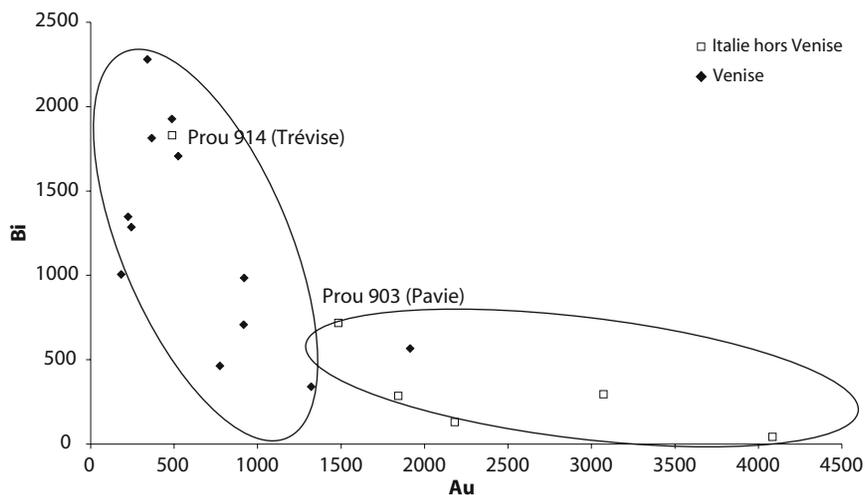


Fig. 3 - Diagramme binaire représentant les teneurs en bismuth en fonction des teneurs en or pour les deniers italiens et les deniers vénitiens. Toutes valeurs en ppm

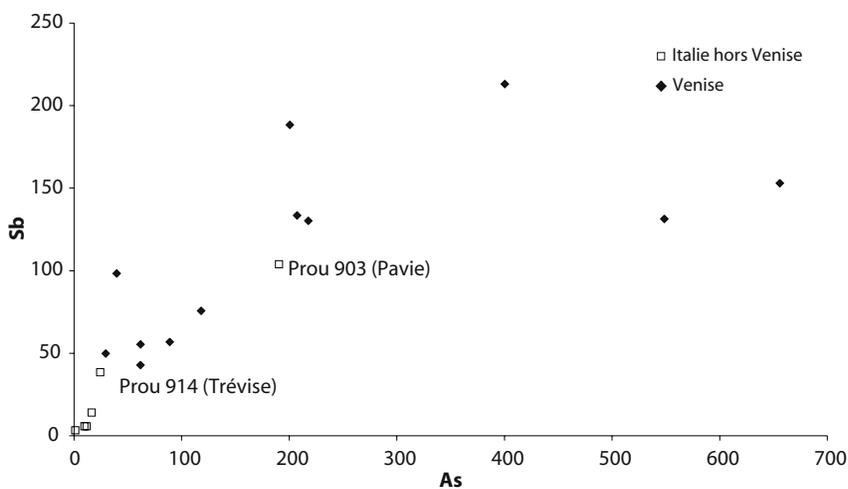


Fig. 4 - Diagramme binaire représentant les teneurs en antimoine en fonction des teneurs en arsenic pour les deniers italiens et les deniers vénitiens. Toutes valeurs en ppm

Les nombreuses refontes entre 771 et 818 ont vraisemblablement « gommé » d'éventuelles différenciations sur l'ensemble de l'empire carolingien dans l'origine des minerais utilisés par les teneurs de certains éléments traces. Cependant, il est un atelier d'Italie du nord dont les monnaies n'ont pas été affectées par ces refontes successives pour la simple et bonne raison que la première émission connue pour cet atelier date justement de la période 818-822 : c'est bien entendu Venise. On peut donc s'interroger sur la principale source d'approvisionnement de l'atelier vénitien lorsque celui-ci commença à frapper monnaie en son nom. La restriction de circulation des monnaies étrangères dans l'empire carolingien étant semble-t-il scrupuleusement respectée, il ne faudra pas compter sur les trouvailles de monnaies arabes ou byzantines sur ce territoire pour nous en apprendre davantage à ce sujet. Cependant, aux marges de l'empire, les trouvailles monétaires ainsi que les textes documentaires montrent que des dinars (en or), des dirhems abbassides et des *miliaresia* byzantins arrivaient dans l'Italie franque de la fin du VIII^e siècle et de la première moitié du IX^e siècle. Tout concourt à indiquer que ces monnaies atteignaient l'Italie par Venise, et qu'elles circulaient dans la région de Venise en ces années⁸². Si l'on imagine que des monnaies d'argent arabes ou byzantines arrivées à Venise aient été « injectées » dans l'économie carolingienne, celles-ci auraient été inévitablement refondues et refrappées en deniers, si bien que ce ne sont pas les monnaies elles-mêmes qu'il faut rechercher mais une éventuelle « signature » qu'elles auraient laissée de leur incorporation à la masse monétaire carolingienne, comme par exemple un élément trace⁸³. C'est donc du côté des analyses chimiques qu'il convient de s'orienter.⁸⁴ Comme nous l'avons montré, certaines différences existent dans les teneurs en or et bismuth entre deniers carolingiens italiens et vénitiens. Les quelques analyses présentées ici ne permettent évidemment pas de conclure à une origine différente de l'argent utilisé pour la frappe des deniers à Venise et dans les autres ateliers du nord de l'Italie, et plus encore de formuler des hypothèses quant à ses origines. Ces questions mériteront de faire l'objet d'une étude plus approfondie incluant l'analyse élémentaire et isotopique de monnaies arabes et byzantines contemporaines et l'étude de minerais issus de mines exploitées en Orient et, alors seulement, nous saurons si les analyses chimiques permettent d'orienter les recherches visant à déterminer l'origine de l'argent carolingien. Une étude préliminaire de ces questions démontre la pertinence de telles recherches. Si l'on en croit Hodges et Whitehouse, les principales mines d'argent du califat abbasside seraient dans le Panjir

82. MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 379-384.

83. Le meilleur exemple de traçage d'un élément caractéristique grâce à l'analyse élémentaire est celui du palladium contenu dans l'or du Brésil incorporé au stock monétaire circulant en Europe au XVIII^e siècle, Christian MORRISSON, Jean-Noël BARRANDON, et Cécile MORRISSON, *Or du Brésil, monnaie et croissance en France au XVIII^e siècle*, Cahiers Ernest Babelon 7, 1999.

84. MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 758.

(actuel Afghanistan) et à Ilaq en Transoxiane (Ouzbékistan)⁸⁵. Or les mines d'argent du Panjir produisent du métal particulièrement riche en bismuth⁸⁶. Le raccourci est certes tentant, mais bien trop hasardeux en l'état actuel des recherches. Il existe vraisemblablement d'autres mines que nous n'avons pas considérées dont l'argent extrait est riche en bismuth. De plus, il est impossible de quantifier la production de ces mines autour de 800 par rapport à l'ensemble de la production d'argent dans le califat abbasside, afin de « suivre » le bismuth du Panjir vers Bagdad puis éventuellement vers l'Occident. D'autre part, l'examen d'analyses antérieures de monnaies anglo-saxonnes et de monnaies arabes contemporaines retrouvées en Ecosse présente une similarité singulière avec nos résultats⁸⁷. La représentation des teneurs en or en fonction des teneurs en bismuth montre que, durant la première moitié du IX^e siècle, deux groupes se distinguent : d'un côté, les monnaies anglo-saxonnes, plus riches en or mais contenant peu de bismuth ; de l'autre, les monnaies orientales – pour l'essentiel des dirhems samanides, avec moins d'or et davantage de bismuth. Dans cet exemple, la démarche est inverse de la nôtre : deux stocks d'argent contemporains d'origine connue ont été analysés ; les résultats ont démontré que ces deux stocks monétaires sont caractérisés par des teneurs en or et bismuth différentes. Dans notre cas, ce sont les résultats d'analyses pratiquées sur des monnaies que l'étude numismatique n'avait pas différenciées qui ont mis en évidence deux groupes distincts sur la base des teneurs de ces deux mêmes éléments. Il s'agit probablement de deux stocks d'argent différents, dont l'un, celui constituant les deniers vénitiens, proviendrait de l'extérieur de l'empire carolingien. Cet argent est-il, comme dans le cas des monnaies du IX^e siècle mises au jour en Écosse, en provenance du monde arabe ? Cela n'est qu'une hypothèse. Tout ce qu'il nous est possible d'affirmer au regard de nos analyses, et à la lumière des données auxquelles nous avons pu avoir accès, est que l'arrivée d'argent arabe dans l'empire carolingien par Venise n'est pas à exclure.

Les analyses isotopiques

En complément des analyses élémentaires, quelques analyses des isotopes du plomb ont été effectuées afin de vérifier si la différenciation observée entre les monnaies de Venise et celles des autres ateliers italiens pouvait être confirmée par cette approche. Ces analyses ont été réalisées au BRGM en TIMS,

85. HODGES et WHITEHOUSE, trad. MORRISSON, *op. cit.* n. 13, p. 125. Voir également James W. ALLAN, *Persian metal technology 700-1000 AD*, Londres, 1979, p. 14.

86. Michael R. COWELL et Nicholas M. LOWICK, Silver from the Panjhir mines, dans *Metalurgy in Numismatics* (2), W.A. Oddy Ed., Londres, 1988, p. 65-74.

87. Hugh MCKERRELL et Robert B.K. STEVENSON, Some Analyses of Anglo-Saxon and Associated Oriental Silver Coinage, dans *Methods of Chemical and Metallurgical Investigation of ancient Coinage*, E.T. Hall et D.M. Metcalf Eds, Londres, RNS Special Publication no. 8, 1972, p. 195-209. Voir en particulier la figure 4 p. 202.

après purification sur résine échangeuse d'ions, selon une méthode adaptée de Pomiès *et al.*⁸⁸. Six analyses ont ainsi pu être effectuées : trois deniers de Venise (Prou 918, 920c et 1982-63) et trois deniers d'autres ateliers, dont un situé en dehors d'Italie (Prou 79 de Cologne, Prou 903 de Pavie et Prou 909 de Milan). Les points correspondant à des analyses antérieures effectuées sur des galènes provenant de Melle, seule mine d'importance de l'empire carolingien identifiée à l'heure actuelle, ont été ajoutés sur notre graphique⁸⁹.

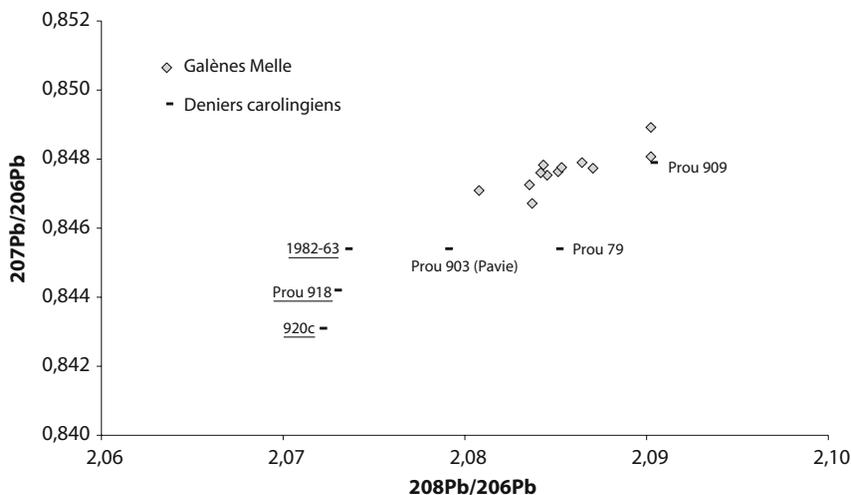


Fig. 5 – Caractéristiques isotopiques du plomb de six deniers de notre corpus. Les références soulignées correspondent aux monnaies de Venise. Les caractéristiques de galènes de la mine de Melle sont également reportées.

On constate, en représentant les rapports entre les isotopes 207 et 206 du plomb en fonction des rapports entre 208 et 206 (fig. 5), que les monnaies vénitiennes se différencient des autres. Le denier de Pavie Prou 903, mis en évidence précédemment du fait de ses caractéristiques de titre d'argent ainsi que d'or et de bismuth, se place sur notre graphique entre les monnaies de Milan et Cologne et celles de Venise. D'autre part, la comparaison de nos résultats avec ceux de la base de données de Stos-Gale *et al.* portant sur l'Italie montre clairement que l'argent utilisé à Venise pour la frappe des deniers sous Louis le Pieux

88. Catherine POMIÈS, Alain COCHERIE, Catherine GUERROT, Eric MARCOUX et Joël LANCELLOT, Assessment of the precision and accuracy of lead-isotope ratios measured by TIMS for geochemical applications: example of massive sulphide deposits (Rio Tinto, Spain), *Chemical Geology*, 1998, 144, p.137-149.

89. Les caractéristiques isotopiques de galènes analysées par Téreygeol *et al.* ont été utilisées (TÉREYGEOL, HOELZL et HORN, *op. cit.* n. 8).

ne provient pas de mines italiennes⁹⁰. Le denier de Milan présente des caractéristiques isotopiques proches de celles des galènes de la mine de Melle ; cela ne signifie pas nécessairement que cet exemplaire a été frappé avec de l'argent provenant majoritairement du Poitou. En effet, des mélanges de stocks d'argent peuvent conduire à faire coïncider les signatures isotopiques de métaux d'origines géographiques différentes. Par contre, des signatures isotopiques différentes excluent que l'argent utilisé pour les deniers vénitiens soit uniquement originaire de la mine Melle. Ces quelques résultats semblent confirmer les particularités des monnaies de Venise ressorties de l'étude du titre et de certains éléments mineurs et traces : du point de vue des isotopes du plomb, les deniers vénitiens présentent des caractéristiques différentes des autres monnaies analysées. De plus, la comparaison de ces résultats d'analyses isotopiques avec ceux présentés dans la base de données concernant le bassin méditerranéen et les îles britanniques publiée dans *Archaeometry*⁹¹ est claire : les monnaies de Venise présentent des caractéristiques particulières, que l'on ne retrouve que dans les districts de Mendips et Bristol (Somerset, Angleterre). Comme nous l'avons déjà mentionné, cela ne signifie pas nécessairement que l'argent monnayé vénitien provienne majoritairement de cette zone. Il semble donc qu'il faille nous orienter vers des districts miniers qui ne sont pas référencés dans cette base de données. En Europe, des mines d'argent existent dans les Alpes et en Europe centrale, mais l'importance de leurs activités aux VIII^e et IX^e siècle reste à préciser⁹². Des données isotopiques caractérisant les principales mines ayant alimenté les ateliers monétaires orientaux (arabes et byzantins) permettraient d'apporter de nouveaux éléments de réflexion afin de préciser certaines hypothèses ou de suggérer de nouvelles pistes de recherche.

90. Zofia STOS-GALE, Noël H. GALE, Judy HOUGHTON et R. SPEAKMAN, Lead isotope data from the Isotrache laboratory, Oxford: *Archaeometry Database 1, Ores from the Western Mediterranean*, *Archaeometry*, Vol. 37, Part 2, Août 1995, p. 407-415.

91. Zofia STOS-GALE, Noël H. GALE, Judy HOUGHTON et R. SPEAKMAN, 1995 ; B. M. ROHL, Lead isotope data from the Isotrache laboratory, Oxford: *Archaeometry Database 2, Galena from Britain and Ireland*, *Archaeometry*, Vol. 38, Part 1, Février 1996, p. 165-180 ; Zofia STOS-GALE, Noël H. GALE et N. ANNETTS Lead isotope data from the Isotrache laboratory, Oxford: *Archaeometry Database 3, Ores from the Aegean, Part 1*, *Archaeometry*, Vol. 38, Part 2, Août 1996, p. 381-390 ; Zofia STOS-GALE, Noël H. GALE, G. MALIOTIS et N. ANNETTS, Lead isotope data from the Isotrache laboratory, Oxford: *Archaeometry Database 4, Ores from Cyprus*, *Archaeometry*, Vol. 39, Part 1, Février 1997, p. 237-246 ; Zofia STOS-GALE, Noël H. GALE, N. ANNETTS, T. TODOROV, P. LILOV, A. RADUNCHEVA ET I. PANAYOTOV, Lead isotope data from the Isotrache laboratory, Oxford: *Archaeometry Database 5, ores from Bulgaria*, *Archaeometry*, Vol. 40, Part 1, Février 1998, p. 217-226.

92. Lothar KLAPPAUF, 10 Jahre Montanarchäologie im Harz – Resümee und Ausblick, *Man and Mining-Mensch und Bergbau. Studies in honour of Gerd Weisgerber*, T. Stöllner et al. Eds, 2003, p. 227-235 et Lothar KLAPPAUF, Rammelsberg near Goslar, northern Germany: 3000 years old mining district waits to be explored, *Proceedings of the International Conference Archaeometallurgy in Europe*, 24-26 septembre 2003, Vol. 1, p. 645-655.

Venise : vers les sources du métal ?

Les principaux auteurs ayant traité du monnayage de Louis le Pieux ont bien relevé la particularité de la frappe de deniers carolingiens à Venise dans leurs travaux⁹³. Il est en effet singulier que les premières monnaies connues frappées au nom de Venise (Type 2 de Louis le Pieux entre 818 et 822), alors théoriquement sous domination byzantine, portent le nom d'une autre autorité – certes plus proche géographiquement. Cela est symptomatique du désir des Vénitiens de se développer économiquement en tirant profit au maximum de la situation extraordinaire dont la ville bénéficie. Toutefois, ni l'étude des types monétaires ni celle des trésors n'ont permis de relier la particularité de ce monnayage à une éventuelle différenciation du point de vue numismatique. Seul Bompois, dans son étude du trésor d'Apremont-Veuillin, lequel contenait 195 deniers de Venise sur 753 monnaies du type 2 de Louis (soit 26 % du total) avait relevé : « Le poids de tous ces deniers de Venise est beaucoup plus variable que dans les autres séries, fait qui s'explique d'autant moins aisément que leur belle conservation est presque exactement la même chez tous »⁹⁴. Malheureusement, l'auteur jugea fastidieuse pour le lecteur l'énumération des masses de tous les deniers de ce trésor, et il n'est donc pas possible de vérifier les bases de cette remarque. Nos observations sur ce point corroborent celles de Bompois : les deniers de Venise sont globalement plus légers que ceux des autres ateliers, et ce malgré leur excellent état. Si l'on observe les masses des deniers italiens du Type 2 de Louis le Pieux du Cabinet des Médailles, on constate que les monnaies vénitiennes sont d'une manière générale plus légères que les autres : leur masse moyenne est de 1,53 g, tandis que cette valeur est de 1,72 g pour les ateliers carolingiens d'Italie du nord. La masse des deniers vénitiens est inférieure à 1,65 g dans tous les cas, tandis que tous les autres, à l'exception d'un, pèsent au moins 1,70 g (fig. 6). Pour l'ensemble de l'empire, la situation est similaire, du moins pour les deniers que nous avons pu étudier à ce jour : environ deux tiers des monnaies sont plus lourdes que 1,65 g, et les monnaies de Venise sont parmi les plus légères. La masse légèrement plus faible des deniers frappés à Venise que l'on observe aujourd'hui reflèterait plutôt véritablement la production des deniers dans cette ville et à cette époque. On aurait donc, en plus de la « fraude » des Vénitiens sur le titre d'argent, une économie réalisée sur la

93. *MEC*, 1 p. 196 : « At no time in this period, however, was imperial sovereignty over Venice a reality, and it is no more than a matter of convenience that the coins are catalogued here under the rulers whose names they bear » ; et p. 217 : « How it came about that Venice, which was still formally part of the Byzantine Empire, minted Western-type silver denari in the names of Carolingian sovereigns from Louis' Class 2 onwards is something of a mystery ». *COUPLAND, op. cit.* n. 3, p. 32 : « It is particularly unexpected to find Venetian coins minted in Louis' name, since the port was theoretically independent of Carolingian rule ».

94. Ferdinand BOMPOIS, *Notice sur un dépôt de monnaies carlovingiennes découvert en juin 1871 aux environs du Veuillin, commune d'Apremont, département du Cher*, 1871, p. 49.

masse des deniers. Toutes ces observations, qu'elles soient métrologiques ou analytiques, ont permis de corroborer une singularité historique certes connue, mais que l'observation numismatique seule n'avait permis de confirmer. L'histoire de la ville à l'époque carolingienne et de son premier essor commercial est également riche d'enseignements⁹⁵.

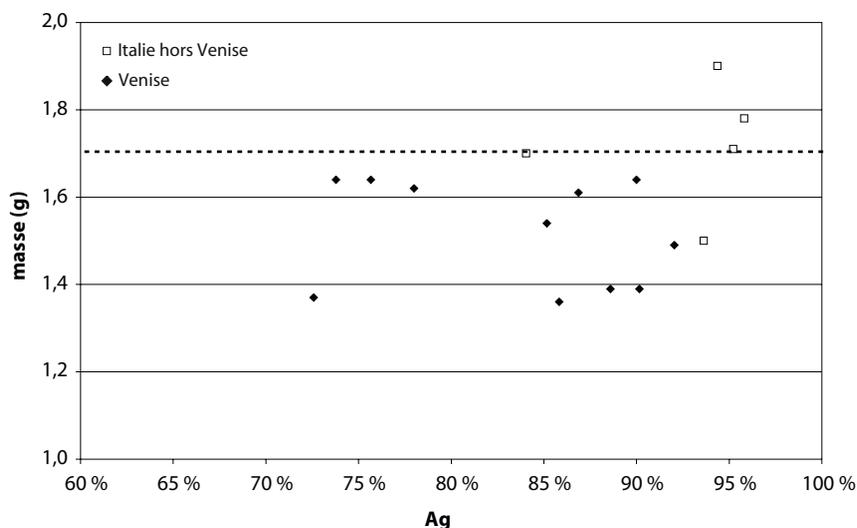


Fig. 6 - Représentation du titre des deniers carolingiens d'Italie et vénitiens frappés sous Louis le Pieux entre 818 et 822 en fonction de leur masse

À l'orée du VIII^e siècle, le commerce trans-méditerranéen de l'Europe chrétienne a largement disparu⁹⁶. L'Italie du nord et du centre est occupée par les Lombards, et seules quelques villes côtières de ces régions demeurent sous domination byzantine⁹⁷. Outre une présence administrative byzantine, les hameaux qui deviendront Venise, à l'instar de leur premier rival Comacchio, s'adonnaient vraisemblablement surtout à la pêche et au commerce du sel⁹⁸.

95. Voir en particulier Henri PIRENNE, *Mahomet et Charlemagne*, 1935, rééd., 2005 p. 129-132 et Michael McCORMICK, Where do trading towns come from? Early Medieval Venice and the northern emporia, *Post-Roman Towns, Trade and Settlement in Europe and Byzantium Vol. 1: The Heirs of the Roman West*, Millennium Studies 19, Joachim Henning Ed., Berlin, 2007, p. 43-70, ainsi que Michael McCORMICK, Venice on the threshold: early economic growth, *Venice before San Marco*, A. Ammerman Ed., Baltimore, Johns Hopkins University Press, sous presse.

96. PIRENNE, *op. cit.* n. 95, p. 122. McCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 433-443.

97. T.S. BROWN, Byzantine Italy c. 680-876, *New Cambridge Medieval History*, t. 2, p. 320-348.

98. Voir les chapitres de Albert J. AMMERMAN et Michael McCORMICK dans *Venice before San Marco*, sous presse.

Alors que les communications maritimes de longue distance passant par Marseille et la vallée du Rhône semblent fort réduites, Venise donne les premiers signes de son émergence commerciale à la fin de la première moitié du VIII^e siècle : un commerce méditerranéen se laisse détecter depuis le port de l'Adriatique d'abord vers la côte ouest de l'Italie et l'Afrique, puis vers le Proche-Orient⁹⁹. À la fin du VIII^e siècle, les marchands vénitiens naviguent régulièrement jusqu'en Palestine¹⁰⁰. Le dynamisme économique de Venise suscite alors les intérêts des souverains byzantins et carolingiens. Pépin, fils de Charlemagne, est envoyé dès 803 pour conquérir le port et malgré des tentatives répétées, il se heurte à la flotte de Nicéphore I^{er} jusqu'à sa mort en 810. Le marché tant convoité demeure sous la souveraineté byzantine. Parallèlement, Comacchio, principale rivale de Venise dans l'Adriatique, est attaquée par la flotte byzantine durant l'hiver 808-809 et ne s'en relèvera pas. Ayant échoué dans sa tentative de conquête de Venise, l'empire carolingien restera un domaine essentiellement terrestre – exception faite des *emporion* de la mer du Nord tels Dorestad et Quentovic, tournés vers le nord. Un traité est signé en 812 entre Charlemagne et le basileus Michel I^{er}¹⁰¹. Le Carolingien y concède la souveraineté byzantine sur Venise tandis que le Byzantin reconnaît le titre d'empereur d'Occident de Charles¹⁰². C'est vraisemblablement à la suite de cet accord qu'est émis le dernier type monétaire de Charlemagne, sur lequel figure au droit le buste de l'empereur drapé et lauré à la manière des empereurs romains. Après cet accord, Venise tire encore davantage profit de son exceptionnelle situation, port susceptible d'offrir aux européens les denrées de luxe qu'ils affectionnent, tandis que ceux-ci procurent aux Arabes esclaves, fourrures et armes¹⁰³. Le premier traité commercial conclu entre Carolingiens et Vénitiens qui soit parvenu jusqu'à nous date de 840, et, dans une mesure qui semble difficile à préciser, il dépend de semblables traités perdus¹⁰⁴. Nous insistons bien sur le fait que les relations commerciales entre les deux parties y figurent clairement, et qu'il n'y pas est question de la frappe monétaire.

Tout porte à croire que Charlemagne et son successeur étaient parvenus à exercer un contrôle strict de l'émission des monnaies dans les ateliers situés dans leur empire. Mais dans quelles conditions s'opérait la frappe monétaire à Venise ? Comment, pour l'autorité carolingienne, imposer aux monnayeurs vénitiens le respect des édits régissant l'émission des monnaies dans une cité

99. MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 523-526.

100. MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 77-82 et MCCORMICK, *op. cit.* n. 98, sous presse.

101. Voir pour une histoire détaillée des origines et de l'émergence de Venise *Origini-età ducale*, Lellia Cracco Ruggini Ed., 1991, Rome, et *Venice before San Marco*, *op. cit.* n. 98, sous presse.

102. Pour la chronologie des guerres byzantino-franques autour de Venise voir MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 892-899.

103. MCCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 708-777.

104. *MEC*, 1 p. 196 ; MCCORMICK *op. cit.* n. 11, p. 334 et p. 633.

étrangère ? Le titre plus faible observé pour les deniers de Venise démontre clairement que cet atelier n'était pas soumis à un contrôle aussi strict que ceux situés dans les frontières de l'empire ; la dispersion des valeurs des titres des monnaies renforce notre hypothèse : forts de leur indépendance de fait et de l'opportunité qu'ils ont saisie de battre monnaie pour une autorité extérieure, les Vénitiens ont émis des deniers contenant moins de métal précieux que ceux des autres ateliers frappant des monnaies théoriquement équivalentes à tout point de vue. Et quand bien même l'autorité carolingienne se serait aperçue de cette fraude, elle n'avait vraisemblablement aucun moyen de contraindre les monnayeurs vénitiens à se conformer au standard monétaire occidental. Rien de surprenant donc, dans de telles conditions, à ce que les Vénitiens aient profité de leur situation, *a fortiori* quand on sait qu'ils furent à cette époque les marchands les plus dynamiques de la chrétienté méditerranéenne¹⁰⁵. Nos résultats analytiques semblent souligner l'habileté des Vénitiens. À Venise même, la monnaie arabe et peut-être byzantine circulait durant la période examinée ici. On serait donc enclin à croire que la frappe de deniers du style carolingien à Venise était motivée surtout par les échanges avec l'empire franc, ce qui n'est pas contredit par la fréquence des trouvailles de monnaies frappées à Venise sur le territoire carolingien. En frappant des monnaies de moindre valeur intrinsèque et en s'en servant pour payer ce qu'ils achetaient aux Francs, les Vénitiens auront réalisé un double bénéfice : le profit provenant de la frappe elle-même, et celui consistant à acheter des biens avec une monnaie de valeur moindre que sa dénomination formelle.

Conclusion

Les résultats obtenus par LA-ICP-MS sur les deniers carolingiens du Cabinet des Médailles émis entre 771 et 855 en Italie apportent indiscutablement des nouveaux éléments pour une meilleure compréhension de la frappe monétaire sous les premiers carolingiens, mais également des pistes de réflexion autour de la question de l'approvisionnement en argent de l'Occident durant le haut Moyen Âge. On a pu mesurer ici tout l'intérêt d'une méthode dont les caractéristiques ont été spécifiquement exploitées pour l'analyse des monnaies d'argent. L'approche nouvelle proposée intégrant l'analyse des principaux constituants des alliages par des profils de concentration permet une excellente fiabilité et une grande précision dans la détermination des teneurs en éléments majeurs, et au premier chef l'argent. Le nombre d'éléments dosés, et les limites de détection des constituants mineurs et traces qu'offre la méthode LA-ICP-

105. PIRENNE, *op. cit.* n. 95, p. 129 : « De tous les prolongements byzantins vers l'ouest, le plus important et le plus original, c'est l'extraordinaire Venise, la plus curieuse réussite de l'histoire économique de tous les temps avec celle des Provinces-Unies » ; McCORMICK, *op. cit.* n. 11, p. 633 : « In the Veneto, everything smells of commerce ».

MS, constituent également des avancées importantes pour des études de provenance. Et si pour certains types monétaires il eût été préférable de pouvoir raisonner sur un nombre de monnaies plus large, l'unité de méthode et d'analyste permet une comparaison des résultats sans avoir de doute sur la manière dont ont été conduites les analyses.

Les analyses élémentaires ont ainsi démontré que le titre des deniers carolingiens en Italie s'est renforcé régulièrement entre le début du monnayage carolingien en Italie du Nord en 781 et la première partie de l'empire de Louis le Pieux jusqu'en 822. Les résultats des analyses ont mis en évidence que la réforme monétaire de Charlemagne de 793/4 n'avait pas seulement été l'occasion de relever la masse des deniers et d'uniformiser le type pour l'ensemble de l'empire ; à la suite de cette réforme, les monnaies sont également plus riches en argent. La hausse se poursuit pour les deux premiers types de Louis le Pieux entre 814 et 822, puis il semble que la teneur en métal précieux des deniers ait légèrement décliné, entre 822 et 840 d'abord, puis encore davantage sous Lothaire entre 840 et 855. De plus, les premiers résultats obtenus pour des deniers frappés en dehors d'Italie semblent montrer que la teneur en argent des monnaies italiennes sous Charlemagne est en moyenne légèrement plus basse que celle des autres deniers. Cette observation, qui devra être confirmée, peut être considérée comme un indice d'une intégration progressive de l'ex royaume lombard à l'empire carolingien. Une autre observation plus nette concerne les monnaies de Venise : les deniers du Type 2 de Louis le Pieux émis par la cité lacustre se sont révélés moins riches en argent que les monnaies similaires des autres ateliers italiens. Cet élément, comme l'évolution du titre d'argent des deniers entre 771 et 822, est tout à fait nouveau et, nous semble-t-il, indiscutable au vu des résultats des analyses. Enfin, la cohérence des compositions chimiques et des titres des monnaies indubitablement frappées à Venise avec ceux des monnaies attribuées à Venise sur la base des seuls critères stylistiques vient opportunément confirmer le bien-fondé de cette attribution.

Les différences ressorties des analyses du point de vue des éléments mineurs et traces que sont l'or et le bismuth, sont également d'un intérêt évident pour qui s'intéresse à la circulation monétaire et plus largement à l'économie du haut Moyen Âge. Comme pour le titre d'argent, les monnaies vénitiennes se différencient des autres si l'on considère ces deux éléments. Cette singularité de l'argent utilisé pour la frappe monétaire à Venise est confirmée par les analyses des rapports isotopiques du plomb pratiquées sur certains échantillons. Et si rien ne permet de conclure avec certitude que de l'argent Abbasside a transité par Venise pour être incorporé dans la masse monétaire carolingienne, plusieurs observations confirment l'intérêt de poursuivre les recherches dans cette voie. D'autres analyses, élémentaires et isotopiques, portant sur davantage d'échantillons, seront nécessaires pour appuyer les hypothèses formulées à la lumière des résultats obtenus.

Cet article, rappelons-le, n'est que le premier volet d'une étude intégrant l'ensemble du territoire carolingien et parfois, quand cela fut jugé opportun, incluant des analyses de monnaies extérieures à l'empire. Pour cette seule partie, la somme des résultats obtenus est significative quantitativement et qualitativement. Espérons que tous ces résultats seront repris, commentés, nos hypothèses affirmées par certains et contestées par d'autres. Car au-delà de notre interprétation, notre souhait est que chacun puisse utiliser les résultats présentés ici afin de permettre une meilleure connaissance du monnayage carolingien et une meilleure compréhension de l'économie du haut Moyen Âge.

ANNEXE 1

Auteurs	Année	Type d'analyse	Type	Atelier
METCALF et MERRICK	1967	de surface	C2	Melle
			C2	Dorestad
METCALF <i>et al.</i>	1968	de surface	C2	Melle
METCALF et NORTHOVER	1989	de surface	C2	Lyon
			C2	Melle
			C2	Mayence
BOMPAIRE et DEPIERRE	1989	activation protonique	C2	Tours St Martin
			C2	Paris
			C2	<i>SCI SEPHF</i>
			C2	Troyes
ILISCH <i>et al.</i> *	2003	de surface	C2	
MULAZZANI	1888	chimique	C3	Pavie
			C3	Milan
METCALF <i>et al.</i>	1968	de surface	C3	Pavie
			C3	Milan
ILISCH	2003	de surface	C3	Milan
			C3	<i>EX METALLO NOVO</i>
			C3 ou C. le Chauve	Melle
BRAMBILLA	1883	chimique	L2	Pavie
PAPADOPOLI	1898	chimique	L2	Venise
METCALF et NORTHOVER	1989	de surface	L2	Cambrai
			L2	Paris
			L2	Rouen
MULAZZANI	1888	chimique	L1 ou L2	Pavie
MULAZZANI	1888	chimique	L3	inconnu
PROU	1898	chimique	L3	inconnu
			L3	inconnu
			L3	inconnu

* Cette référence présente les résultats obtenus sur 82 monnaies carolingiennes, pour l'essentiel des deniers du Type 2 de Charlemagne provenant du trésor de Pöschendorf ; les titres d'argent déterminés pour ces monnaies varient entre 55 % et 98 %. Se référer à cette publication pour le détail des résultats.

Ag	Cu	Au	Pb	Zn	Sn	As	Sb	Bi
93	5	2	tr	tr				
90	8	2	tr	tr				
94	6	tr	tr					
91,61	7,38	0,11	0,67	0,07	nd		0,01	0,14
91,92	6,47	0,03	1,45	0,06	nd		nd	0,03
92,66	3,92	0,25	1,61	1,41	nd		0,03	0,05
65								
61								
50								
38								
94,8								
94,8								
97,5-97,75	2-2,25						0,25	
98	2	tr						
90,87	6,64	1	0,74	0,040	0,154	0	0,033	0,247
95,51	6,64	1	0,74	0	0	0	0,026	0,065
87,16	7,74	2,37	0,65	0,680		0	0,091	0,126
94,4								
89,8		0,05						
94,61	4,03	0,24	0,96	0,08	nd		nd	nd
94,78	3,52	0,36	1,23	0,08	nd		nd	tr
92,69	3,22	0,3	0,57	0,16	nd		nd	tr
93								
92,4								
86,6								
44,2**								
45,5**								

** L'analyse d'un de ces deniers par nos soins a révélé un titre de 85 % d'argent. Nous encourageons donc le lecteur à la prudence quant à ces deux analyses (voir notre discussion *supra* p. 372).

Auteurs	Année	Type d'analyse	Type	Atelier
GRUAZ	1922	chimique	L3	inconnu
			L3	inconnu
CHENU	1931-32	chimique	L3	inconnu
			L3	inconnu
METCALF <i>et al.</i>	1968	de surface	L3	inconnu
			L3	inconnu
METCALF et NORTHOVER	1989	de surface	L3	inconnu
			L3	inconnu
ILISCH	2003	de surface	L3	inconnu
			L3	inconnu
PAPADOPOLI	1898	chimique	<i>Xpe Salva Ven.</i>	Venise
MULAZZANI	1888	chimique	Lothaire	Milan
			Lothaire	Pavie
PAPADOPOLI	1898	chimique	Lothaire	Venise
METCALF et NORTHOVER	1989	de surface	Lothaire	Dorestad
			Lothaire	Dorestad
			Lothaire	imitation Dorestad

Bibliographie spécifique à l'Annexe 1

David Michael METCALF et Julia M. MERRICK, Studies in the composition of early medieval coins, *NC* (7), 1967, p. 217-231.

David Michael METCALF, Julia M. MERRICK et Lynette Kaye HAMBLIN, Studies in the composition of early medieval coins, *Minerva Numismatic Handbooks* (3), 1968.

David Michael METCALF et Peter NORTHOVER, Coinage Alloys of the Time of Offa and Charlemagne to c.864, *NC*, 1989, p. 101-120.

Marc BOMPAIRE et Germaine DEPIERRE, Le trésor carolingien de Dijon, rue du Chapeau Rouge, *BSFN*, 1989 p. 577-581.

Lutz ILISCH, Dirham und Rappenpfennig. Mittelalterliche Münzprägung im Bergbauregionen, Bonn, 2003, p. 146-147.

Ag	Cu	Au	Pb	Zn	Sn	As	Sb	Bi
90,3								
82,5								
92,6	5,75	0,116	1,39	nd	nd			nd
81,6	14,97	0,351	1,17	nd	nd			tr
96	2	2	tr	tr		tr		
94,5	3	1,5	1	tr		tr		
93,5-95	3-3,5	1	1	tr		tr		
92	5	1	1			tr		
89,75	7	1,25	1			tr		
92,95	5,57	0,28	0,99	0,15	nd		tr	0,04
92,47	5,74	0,39	1,28	0,04	nd		tr	0,01
89,75	8,78	0,22	1,03	0,11	nd		0,02	0,07
84,57	13,02	0,12	1,33	0,81	nd		0,01	0,09
85,35	11,83	1,06	1,18	0,48	nd		0,01	0,04
71,83	23,21	0,48	1,3	3,05	tr		0,01	0,04
63,91	33,32	0,55	0,75	0,833	0	0	0,046	0,042
94,14	4,16	0,25	0,7093	0,0315	0	0	0,0174	0,0994
70								
72								
77,4								
72								
91,14	4,92	1,58	1,58	1,57	nd		tr	0,08
90,63	5,73	1,75	1,75	0,28	0,24		nd	0,04
58,6	33,58	1,97	1,97	4	1,24		0,06	0,04

Giovanni MULAZZANI, *Studi economici*, *RIN* (1), 1888, p. 41-72.

Camillo BRAMBILLA, *Monete di Pavia raccolte ed ordinatamente dichiarate*, 1883.

Nicolo PAPADOPOLI, *Le monete di Venezia*, t. 1, 1893.

M. PROU, Note sur le titre de quelques deniers des IX^e et XI^e siècles essayés à la Monnaie, *Gazette Numismatique* (2), 1898, p. 227-232.

J. GRUAZ, Le trésor d'Herminches et les temps carolingiens, *Revue Historique Vaudoise*, 1922, p. 193-212.

P. CHENU, Un dépôt de monnaies carolingiennes dans le département du Cher, *Mémoires de la Société historique, littéraire et scientifique du Cher*, 1931-1932, p. 103-126.

ANNEXE 2

Référence	Type	Atelier	Masse (g)	Ag	Cu	Pb	Au
PROU 891	C2	Italie	1,24	86,0%	12,2%	1,35%	0,02%
PROU 892	C2	Italie	1,06	85,0%	13,3%	1,29%	0,17%
PROU 893	C2	Italie	0,75	81,4%	15,9%	0,83%	0,09%
PROU 894	C2	Italie	1,10	81,7%	16,3%	0,77%	0,49%
PROU 895	C2	Italie	0,93	57,3%	40,3%	0,99%	0,26%
PROU 895bis	C2	Italie	1,11	87,1%	11,5%	0,90%	0,21%
PROU 911	C2	Trévise	1,23	88,1%	10,6%	0,96%	0,01%
PROU 897	C3	Pavie	1,40	93,4%	5,7%	0,77%	0,11%
PROU 898	C3	Pavie	1,68	91,9%	7,1%	0,64%	0,32%
PROU 899	C3	Pavie	1,53	94,2%	4,1%	1,04%	0,33%
PROU 905	C3	Milan	1,61	88,8%	10,0%	1,03%	0,01%
PROU 906	C3	Milan	1,67	90,0%	8,7%	0,96%	0,07%
PROU 906b	C3	Milan	1,63	91,9%	7,1%	0,98%	0,01%
PROU 912	C3	Trévise	1,23	87,3%	11,9%	0,65%	0,01%
PROU 912bis	C3	Trévise	1,65	92,2%	6,7%	0,90%	0,08%
PROU 915	C3	Lucques	1,50	90,7%	8,0%	0,86%	0,32%
Prou 916	C3	Lucques	1,32	92,3%	6,6%	0,35%	0,27%
PROU 916a	C3	Lucques	1,55	92,0%	6,8%	0,67%	0,23%
Prou 900	L1	Pavie	1,44	93,8%	4,7%	1,21%	0,07%
Prou 901	L1	Pavie	1,34	95,4%	3,5%	0,54%	0,16%
Prou 907	L1	Milan	1,68	92,2%	6,4%	0,83%	0,29%
Prou 908	L1	Milan	1,38	92,6%	6,0%	0,93%	0,27%
Prou 902	L2	Pavie	1,71	95,2%	3,7%	0,71%	0,31%
Prou 903	L2	Pavie	1,70	84,1%	14,8%	0,79%	0,15%
Prou 903a	L2 (ob.)	Pavie	0,67	59,4%	34,8%	0,74%	0,35%
<i>St Marcel</i>	L2	Pavie	*	97,6%	1,5%	0,36%	0,41%

nd : non détecté

Ag, Cu, Pb et Au en %, tous les autres éléments en ppm

(10000 ppm = 1 %)

En italique : monnaies provenant de fouilles ou d'une autre collection que celle de la Bibliothèque nationale de France.

* La masse de cette monnaie mise au jour récemment n'a pas été reportée car la mesure possible ne reflète pas la masse précise de la monnaie seule.

Fe	Ni	Zn	As	Pd	Cd	Sn	Sb	Pt	Hg	Bi
14	41	2571	60	nd	1,1	312	71	0,78	280	671
11	nd	1323	62	1,3	0,27	535	47	nd	304	233
8594	nd	1167	1824	11,4	150	610	767	391	3801	422
190	43	4769	86	2,4	1,5	1881	111	1,1	317	268
nd	75	5275	745	5,7	0,08	4200	596	0,99	2,2	298
51	18	1317	121	1,2	0,16	788	67	0,42	512	262
93	15	2070	101	1,3	0,56	291	36	nd	408	270
9,9	7,8	24	5,0	1,0	0,05	18	19	0,47	87	419
nd	3,8	23	4,3	1,5	0,79	18	27	0,45	328	314
97	6,4	360	46	1,1	0,40	962	65	0,40	513	1187
8,6	13	17	75	1,5	nd	23	89	1,00	88	943
92	42	623	44	0,91	0,24	472	64	0,34	419	1141
nd	1,6	7,2	10	2,5	0,51	40	62	0,10	3,8	383
27	1,5	7,6	44	1,4	1,06	26	90	0,20	435	1586
4,1	1,1	137	20	2,8	0,52	117	34	0,32	6,6	583
22	43	479	42	11	5,3	673	40	4,9	144	183
247	17	622	136	1,5	0,36	296	86	0,84	3642	144
26	3,6	737	26	1,7	0,36	1473	37	0,56	291	404
19	3,7	9,9	8,0	2,2	0,24	26	31	0,13	815	1200
10	2,3	14	4,8	1,0	0,32	52	6,7	0,57	3461	188
13	11	202	33	2,0	0,19	389	15	0,61	1628	516
nd	nd	118	7,7	1,8	0,30	148	8,5	0,53	811	769
34	5,6	58	9,7	nd	0,65	206	5,6	1,1	320	295
17	14	290	191	3,4	0,65	842	104	0,12	55	718
353	84	36071	1208	12	0,43	7974	518	3,8	204	573
nd	21	862	16	1,4	0,14	187	14	0,11	11	43

Référence	Type	Atelier	Masse (g)	Ag	Cu	Pb	Au
PROU 909	L2	Milan	1,78	95,8%	3,2%	0,74%	0,22%
PROU 913	L2	Trévisé	1,90	94,4%	4,8%	0,48%	0,18%
PROU 914	L2	Trévisé	1,50	93,6%	4,9%	1,18%	0,05%
PROU 917	L2	Venise	1,39	90,2%	8,7%	0,90%	0,04%
PROU 918	L2	Venise	1,61	86,9%	11,6%	1,22%	0,03%
PROU 919	L2	Venise	1,64	73,8%	25,2%	0,81%	0,02%
PROU 920	L2	Venise	1,37	72,6%	26,1%	1,08%	0,08%
PROU 920a	L2	Venise	1,64	90,0%	8,6%	1,14%	0,13%
PROU 920b	L2	Venise	1,63	85,7%	12,5%	1,36%	0,19%
PROU 920c	L2	Venise	1,39	88,6%	10,1%	1,07%	0,05%
PROU 920d	L2	Venise	1,64	75,7%	23,2%	0,84%	0,09%
PROU 920e	L2	Venise	1,49	92,0%	6,7%	1,03%	0,09%
PROU 920f	L2	Venise	1,62	78,0%	21,0%	0,82%	0,02%
1982-63	L2	Venise	1,54	85,2%	13,5%	1,10%	0,02%
N-4300	L2	Venise	1,36	85,8%	12,9%	1,01%	0,05%
[Côte] 568	L3	Venise	1,67	86,3%	11,9%	0,86%	0,59%
PROU 998	L3	Venise	1,43	75,3%	23,1%	0,78%	0,29%
PROU 1000	L3	Milan	1,71	89,6%	8,9%	1,20%	0,11%
PROU 1001	L3	Milan	1,78	90,1%	8,7%	0,96%	0,03%
PROU 1032l	L3	Venise	1,51	81,9%	16,6%	0,76%	0,18%
PROU 1032m	L3	Milan	1,44	86,2%	12,3%	1,14%	0,12%
PROU 1032q	L3	Milan	1,30	88,0%	10,8%	0,71%	0,22%
McC1	L3	Milan	1,39	93,5%	5,4%	0,77%	0,14%
McC2	L3	Milan	1,5	90,3%	8,5%	0,87%	0,10%
McC3	L3	Milan	1,52	92,2%	6,6%	0,87%	0,20%
McC4	L3	Venise	1,66	86,8%	11,8%	0,89%	0,19%
PROU 920g	XPE Ven	Venise	1,58	81,9%	16,2%	1,63%	0,17%
PROU 920h	XPE Ven	Venise	1,26	83,2%	15,3%	1,32%	0,06%
PROU 904	Lothaire	Pavie	1,48	76,2%	20,3%	0,88%	0,44%
PROU 910	Lothaire	Milan	1,45	78,7%	19,3%	1,00%	0,38%
PROU 921*	Lothaire	Venise	1,66			23%*	

* La monnaie Prou 921 doit être mise à part du fait de la particularité de sa composition.

Fe	Ni	Zn	As	Pd	Cd	Sn	Sb	Pt	Hg	Bi
29	nd	6,3	1,3	1,5	nd	53	3,2	0,62	167	129
51	nd	17	12	1,7	0,13	23	5,7	0,48	1038	285
23	nd	33	24	4,7	1,9	43	38	0,54	510	1829
61	6,1	69	89	2,1	0,49	99	57	nd	265	1813
69	2,0	134	40	2,0	1,1	124	98	0,07	35	2280
4,3	nd	15	400	14	10	67	213	3,9	281	1285
30	36	604	200	2,4	0,31	386	188	0,13	102	463
43	0,85	52	29	2,1	0,23	105	50	0,18	259	341
0,69	9,4	186	218	5,0	0,24	532	130	0,42	396	566
23	10	47	118	2,9	nd	117	76	0,12	80	1707
18	nd	232	656	nd	0,16	509	153	nd	205	708
111	1,2	103	62	2,5	0,90	169	43	0,42	5,3	984
72	5,6	125	62	2,4	0,65	603	55	0,24	1,8	1006
35	17	76	548	2,9	nd	123	131	0,04	141	1346
62	9	115	207	3,9	0,31	175	134	0,23	46	1928
52	6,3	1195	36	2,8	0,39	728	66	0,73	48	475
148	42	2126	569	2,6	0,87	1165	147	1,5	168	728
23	6,6	198	82	1,0	0,68	118	46	0,45	197	956
21	7,6	73	105	2,8	1,1	62	83	0,11	134	2124
51	39	2053	553	5,1	0,61	2359	96	0,29	273	542
37	nd	254	395	1,1	1,3	153	74	nd	259	1162
26	1,6	731	69	2,1	0,86	590	64	0,60	6,9	398
248	0,7	6,3	18	2,6	0,51	31	21	0,28	36	829
nd	3,7	407	109	3,1	0,40	235	41	0,25	45	1307
nd	2,7	35	30	2,9	0,49	349	21	0,31	55	926
251	18	1150	139	4,9	0,61	823	74	0,57	31	614
nd	13	nd	46	2,3	0,91	356	565	0,83	192	129
76	2,7	48	113	3,6	0,55	69	104	0,24	4,3	629
96	nd	19488	209	2,7	0,67	1131	139	0,58	17	398
27	5,2	3382	77	1,8	1,2	775	68	0,76	80	359
						77%*				



Prou 891



Prou 892



Prou 893



Prou 894



Prou 895



Prou 895 bis



Prou 911



Prou 897



Prou 895



Prou 895 bis



Prou 911



Prou 897



Prou 895



Prou 895 bis



Prou 911



Prou 897



Prou 898



Prou 899



Prou 905



Prou 906



Prou 898



Prou 899



Prou 905



Prou 906



Prou 906 bis



Prou 912



Prou 912 bis



Prou 915



Prou 916



Prou 916a



Prou 900



Prou 901



Prou 907



Prou 908



Prou 902



Prou 903





Prou 903a



St Marcel



Prou 909



Prou 913



Prou 914



Prou 917



Prou 918



Prou 919



Prou 920



Prou 920a



Prou 920b



Prou 920c





Prou 920d



Prou 920e



Prou 920f



1982-63



N 4300



Côte 568



Prou 998



Prou 1000



Prou 1001



Prou 1032l



Prou 1032m



Prou 1032q





McC 1



McC 2



McC 3



McC 4



Prou 920g



Prou 920h



Prou 904



Prou 910



Prou 921

