



**HAL**  
open science

**PCR Paléométallurgies et expérimentations. Rapport 2021.  
La fabrication de fausses monnaies coulées antiques**

Jean-Charles Méaudre, Pierre-Marie Guihard, Guillaume Blanchet, Florian  
Téreygeol

► **To cite this version:**

Jean-Charles Méaudre, Pierre-Marie Guihard, Guillaume Blanchet, Florian Téreygeol. PCR Paléométallurgies et expérimentations. Rapport 2021. La fabrication de fausses monnaies coulées antiques. IRAMAT - Laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération. 2021, pp.239-265. <halshs-05293172>

**HAL Id: halshs-05293172**

**<https://shs.hal.science/halshs-05293172v1>**

Submitted on 1 Oct 2025

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.



HAL Authorization

**CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**  
**INSTITUT DE RECHERCHES SUR LES ARCHÉOMATÉRIAUX**  
**UMR 5060**

**LABORATOIRE DE METALLURGIES ET CULTURES**  
Université Technologique Belfort Montbéliard – 90010 BELFORT Cedex  
tel : 01 69 08 84 71, e-mail : tereygeol@drecam.cea.fr

**PCR**

## **Paléométallurgies et expérimentations**

Document Final de Synthèse

*L'expérimentation paléométallurgique  
de l'analogie à la modélisation*

**2019-2021**

Florian TEREYGEOL (dir.)

## XV La fabrication de fausses monnaies coulées antiques

Méaudre J.-C., Guihard P.-M., Le Quellec, V., Blanchet G., Téreygeol F.

Du II<sup>e</sup> au IV<sup>e</sup> siècle, la production sérielle de monnaies coulées à partir de moules en argile est attestée dans de nombreuses officines locales disséminées sur l'ensemble du territoire gaulois<sup>51</sup>. Étrangères au réseau des *monetae publicae*, ces officines ont produit des monnaies non officielles, qui au regard de la loi sont des fausses monnaies. Rappelons en effet qu'une monnaie est considérée comme officielle et authentique tant qu'elle n'a été manipulée ni dans sa substance métallique ni lors de la frappe<sup>52</sup>. C'est un principe général important auquel font précisément obstacle les monnaies coulées. Généralement issues du surmoulage de deniers, d'antoniniens et de bronzes, les monnaies coulées utilisent donc la technique du coulage en lieu et place de la frappe, tout en trompant sur la nature du métal utilisé, qui se composait dans le cas des deniers et des antoniniens de cuivre et d'une forte proportion d'étain et de plomb. Ainsi, le recours à des techniques typiquement illégales interdit d'y voir une production qui aurait été plus ou moins tolérée par l'État. Nul doute alors que les monnaies coulées étaient destinées à se glisser subrepticement dans la circulation et qu'il s'agissait bel et bien de contrefaçons.

Recréer le travail d'une officine de fausses monnaies romaines coulées est une démarche expérimentale en soi. S'agissant d'une activité illégale, il est assez attendu que les textes romains ne nous disent rien sur les techniques monétaires déployées par les faux-monnayeurs. Si les témoignages de l'archéologie permettent quant à eux de progresser dans cette voie, ils restent malheureusement insuffisants et n'apportent que trop peu d'éléments de réponse, qui, à leur tour, suscitent de nouvelles questions. En revanche, les tentatives de reconstitution ont avec bonheur démontré leur intérêt.

En appuyant ses travaux sur des moules à couler des deniers et des bronzes des II<sup>e</sup>-III<sup>e</sup> siècles découverts à Pachten, H. Drescher a ainsi donné le branle à une enquête féconde sur la fabrication des fausses monnaies<sup>53</sup>. Même si la méthode proposée par H. Drescher apporte une série d'informations sur la réalisation des moules et la prise d'empreintes, il semblait important d'élargir l'enquête à l'ensemble des maillons de la chaîne opératoire, de la préparation de la terre destinée au façonnage des moules monétaires à la coulée des monnaies. Les récentes découvertes réalisées à Charleville-Mézières au Clos-Paul<sup>54</sup> ont été l'occasion de mettre en œuvre un programme expérimental. Nous présentons ici les résultats des campagnes 2019, 2020 et 2021<sup>55</sup>.

---

<sup>51</sup> Aubin (G.), Les moules monétaires en terre cuite du III<sup>e</sup> siècle : chronologie et géographie, *Revue Numismatique*, 159, 2003, pp. 125-162 ; Chameroy (J.), Münzgussformen des 3. Jahrhunderts in den Sammlungen des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz, *Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums Mainz*, 54, 2007, pp. 533-572 ; Chameroy (J.), Guihard (P.-M.), *Falsa fusio* à Trèves. Les moules monétaires du III<sup>e</sup> siècle de la Löwenbrauerei et la place du denier dans la circulation monétaire en Gaule du nord. In: Chameroy, J., Guihard, P.-M., (dir.), *Produktion und Recyclen von Münzen in der Spätantike. Produire et recycler la monnaie au Bas-Empire*, RGZM, Tagunden Band 29, Mainz, 2016, pp. 235-263.

<sup>52</sup> Wolters (R.), Nummi Signati. *Untersuchungen zur römischen Münzprägung und Geldwirtschaft*, Vestigia, 49, Munich, 1999, cf. p. 370.

<sup>53</sup> Drescher (H.), Beobachtungen und Versuche zur Herstellung römischer Münzgußformen, *Bericht der Staatlichen Denkmalpflege im Saarland*, 21, 1974, pp. 95-99, planches 16-17.

<sup>54</sup> Marian (J.) (dir.), Charleville-Mézières « Le Clos-Paul » « Le Triot du Sart » (Ardennes), rapport final d'opération, SRA Grand Est, 2016, 5 volumes.

<sup>55</sup> Résultats intermédiaires dans Méaudre (J.-Ch.) *et al.*, Counterfeiting at Le Clos-Paul in Charleville-Mézières (Ardennes, France). Reconstruction trial of a complex chaîne opératoire, *JAS Report*, 36, 2021, 13 pages.



Figure 226, moules de Charleville-Mézières, familles dites à « couronne plate » (en haut) et à « bord biseauté » (en bas)

### Les questions que pose cette production

Le faux-monnayage par surmoulage est une opération chronophage. Afin d'établir des données significatives, c'est-à-dire reproductibles, six opérateurs ont été mobilisés au cours de ces trois campagnes d'expérimentation. Cet investissement représente en temps cumulé vingt semaines. Parmi ces opérateurs, trois ont participé à l'ensemble des campagnes, permettant ainsi une continuité et une transmission du savoir-faire acquis.

### La préparation de la terre

La préparation de la terre constitue la première étape de ce travail. La terre du Clos-Paul peut-elle convenir pour le façonnage des moules ? À cette fin, de la terre collectée *in situ* est confiée au céramiste François Peyrat. Un test par lévigation permet de caractériser une terre faiblement argileuse (27% de phyllosilicates) et riche d'un granulat quartzique (67%), les six pour cent restants étant une fraction soluble non dosée. Le granulat est composé quasi exclusivement de quartz très fins et réguliers associés à de petits grains d'oxyde de fer. La réalisation d'une éprouvette permet de déterminer le pourcentage de retrait au séchage (4,5%), ainsi que lors d'une cuisson à 1100°C (9%). Ces deux tests mettent en évidence la présence d'une terre « maigre » à faible retrait, notamment au séchage. Les moules monétaires étant utilisés crus, la terre prélevée semble appropriée. Une terre riche en éléments non plastiques abaisse en effet le risque d'apparition de fissures ou de déformations lors du séchage, mais aussi de chocs thermiques lors de la coulée.

Après séchage, une portion de cette terre est broyée et débarrassée de ses éléments végétaux et de ses composants les plus grossiers. Impropre à ce stade pour la prise d'empreintes fines, elle est tamisée à 200 µm. La qualité des empreintes apparaît satisfaisante, mais l'usage d'un tamis à 200 µm est hors de propos pour la période concernée. Nous évoluons vers la décantation, de vingt-quatre heures, puis de neuf mois afin d'améliorer son efficacité. La figure qui suit présente différentes observations réalisées à l'aide d'un microscope optique au grossissement x20. Les trois premiers échantillons ont une granulométrie assez similaire, de l'ordre de 75 µm. Ce sont les proportions entre les différentes tailles de grains qui diffèrent. La terre mise au repos durant neuf mois s'avère d'une granulométrie inférieure à l'élément archéologique, car dénuée d'éléments de 75 µm de section. Il est ainsi probable que le temps de décantation « originel » était de quelques mois. La mise en regard avec un moule provenant du site de La Coulonche (Orne) est révélatrice. Tout comme au Clos-Paul, la terre utilisée pour façonner les moules présente une forte proportion inclusionnaire, supérieure à 30%, et une granulométrie fine et homogène. L'hypothèse de la « décantation/préparation de l'argile » est là aussi privilégiée<sup>56</sup>.

<sup>56</sup> Chameroir (J.), Guihard (P.-M.), L'officine de faux-monneyeurs de La Coulonche (Orne) : nummi coulés de la Tétrarchie en Occident, *The Numismatic Chronicle, The Royal Numismatic Society*, 174, 2014, pp. 153-191, cf. pp. 162-167.

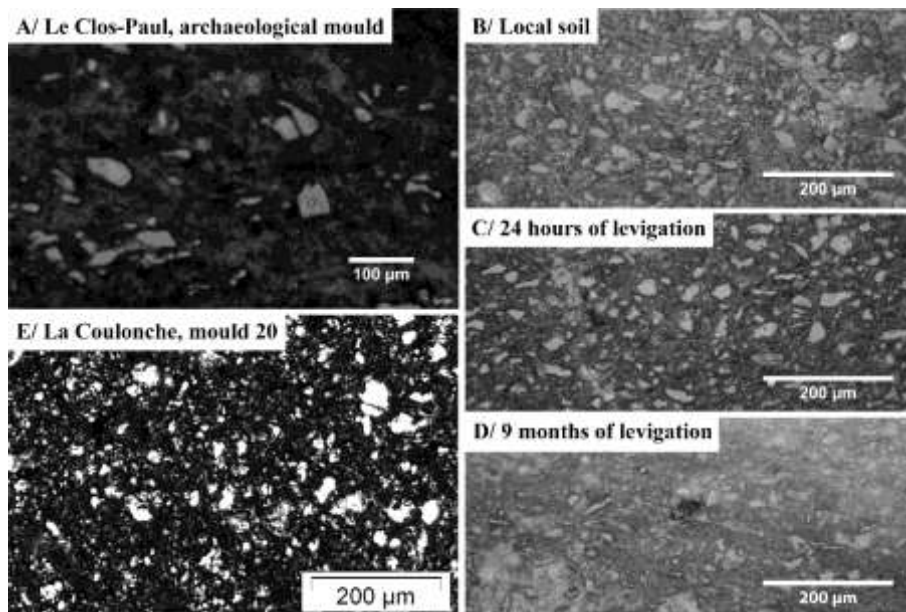


Figure 227, observations au microscope optique (grossissement x20) (E : Chamero y (J.), Guihard (P.-M.) 2014)

L'usage d'une terre exogène ne pouvant néanmoins être écarté, des analyses par fluorescence X portable sont réalisées<sup>57</sup>. Trois familles de prélèvement sont ainsi analysées : moule archéologique, terre broyée et débarrassée de ses éléments végétaux et terre décantée 9 mois. Ces dernières, tout en ne permettant pas d'affirmer qu'il s'agit de la même source d'approvisionnement, ne présentent aucune caractéristique qualitative qui viendrait écarter cette hypothèse. Afin d'être en mesure de statuer, de nouvelles analyses par p-XRF<sup>58</sup> et spectrométrie d'émission atomique<sup>59</sup> sont menées au Centre Michel de Boüiard - CRAHAM<sup>60</sup> (cf. annexe). Ces dernières, tout en ne permettant pas là encore d'être catégoriques, confortent l'hypothèse d'une source d'approvisionnement endogène.

### Le choix des monnaies

Deux aspects entrent en ligne de compte dans le choix des monnaies : la quantification des résultats et la proximité avec la réalité archéologique. Cette quantification devient possible grâce à une standardisation du surmoulage et donc l'usage de modèles identiques. Bien qu'elles ne soient pas contemporaines, nous optons ainsi pour des fac-similés d'un denier d'Hadrien daté de 132 p.C. (Avers - HADRIANVS – AVG COS III PP, tête laurée d'Hadrien à droite, Revers - FELICITATI AVGUSTI, galère voguant à gauche)<sup>61</sup> (Figure *infra*). Quoiqu'antérieure, cette monnaie n'en demeure pas moins similaire aux titres utilisés pour le façonnage des moules archéologiques. La proximité avec la réalité archéologique passe par l'usage de monnaies ayant circulé. Les découvertes archéologiques tendent à prouver que les Antiques n'opéraient pas une sélection des modèles, mais avaient recours aux monnaies en circulation, parfois frappées au siècle précédent, indépendamment de leur degré d'usure<sup>62</sup>. Trois

<sup>57</sup> Niton XL3t GOLDD+, anode Ag 50 kV et 200 µA, paramétrage usine, mode sol, collimateur 8 mm, acquisitions comprises entre 60 et 100 secondes. <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/XL3TGOLDDPLUS>

<sup>58</sup> Niton XL 3t-980 GOLDD+

<sup>59</sup> ICP-AES, Optima DV 2100 de Perkin Elmer

<sup>60</sup> Centre de recherches archéologiques et historiques anciennes et médiévales, UMR 6273 (CNRS/Université de Caen Normandie)

<sup>61</sup> [www.decumanus.fr](http://www.decumanus.fr)

<sup>62</sup> Lallemand (J.), Les moules monétaires de Saint-Mard (Virton, Belgique) et les moules de monnaies impériales romaines en Europe : essai de répertoire. In: Cahen-Delhay e, A. *et al.*, *Un quartier artisanal de l'agglomération gallo-romaine de Saint-Mard (Virton)* (Etudes et documents, fouilles, 1), Namur, 1994, pp. 141-177, cf. p.146 ; Chamero y, Guihard 2016, cf. p. 253 ; Guihard (P.-M.), Fichet de Clairfontaine (F.), Les moules monétaires de

deniers issus de découvertes isolées réalisées lors des fouilles de l'Hôtel de Ville à Rouen dans les années 80 et 90 sont ainsi intercalés dans les piles.



Figure 228, Fac-similé d'un denier d'Hadrien émis en 132.



Figure 229, Rouen, Hôtel de ville, deniers du IIIe s. ap. J-C

### Le choix de l'alliage

Devant l'absence de témoins métalliques, des analyses par fluorescence X portable<sup>63</sup> ainsi que par spectrométrie X (Aztec® Oxford©) couplée au microscope électronique à balayage (JEOL)<sup>64</sup> sont réalisées sur le profil d'un moule archéologique. Il en ressort la présence de Cu, Pb et Zn à des taux non représentatifs, l'étain n'étant quant à lui pas détecté par la XRF portable. La mise en regard avec des analyses menées sur la surface d'une matrice expérimentale en contact avec un alliage 80Cu, 10Pb, 10Sn permet de relativiser ces résultats puisque le plomb se trouve surreprésenté, tandis que l'étain demeure indétectable. La présence de zinc s'explique aisément par la réutilisation de creusets destinés à la production du laiton, activité première du site du Clos-Paul<sup>65</sup>.

Afin de compenser cette absence d'indices archéologiques et de nous rapprocher des choix faits par les Antiques, nous prenons en compte un ensemble d'analyses de faux coulés des deuxièmes et troisièmes siècles<sup>66</sup>. En dépit de l'hétérogénéité des protocoles d'analyses, aucune de ces 139 analyses n'est écartée

Sées (Orne), Monnayeurs locaux et circulation du bronze au III<sup>e</sup> siècle apr. J.-C, *Revue numismatique*, 172, 2015, pp. 257-292.

<sup>63</sup> Niton XL3t GOLDD+, anode Ag 50 kV et 200 µA, paramétrage usine, mode sol, collimateur 8 mm, acquisitions comprises entre 60 et 100 secondes. <https://www.thermofisher.com/order/catalog/product/XL3TGOLDDPLUS>

<sup>64</sup> Profils de concentration obtenus sur des épaisseurs de 4 mm avec des pas de 50 µm (tension d'accélération 15 kV, courant de sonde 3,5 nA)

<sup>65</sup> Marian (J.) 2016

<sup>66</sup> Mitchiner (M.), *Jetons, medalets and tokens. The medieval period and Nuremberg*, vol. 1, London, Seaby, 1988, 704 pages, cf. pp. 56-57; Pilon (F.), Composition chimique d'un denier et d'un antoninien coulés. In: Jacques, A., Gricourt, D., Hosdez, Ch., Tuffreau-Libre, M., Les fouilles de sauvetage au centre hospitalier d'Arras, Bulletin de la Commission départementale d'histoire et d'archéologie du Pas-de-Calais, XIII-3, 1993, pp. 572-576, cf. pp. 572-573 ; Pilon (F.), La fabrication de monnaies d'imitation frappées et coulées à Châteaubateau (Seine-et-Marne) au III<sup>e</sup> siècle après J.-C., *Trésors monétaires*, XVII, 1998, pp. 77-106, pl. X-XIII, cf. p. 93 ; Frey-Kupper (S.), Les trouvailles monétaires d'Avenches En Selley, fouilles 1997 : une séquence d'ensembles du Bas-Empire, *Bulletin de l'association Pro Aventico*, 41, Avenches, 1999, pp. 71-109, cf. p.83 ; Pilon (F.), La fabrication de fausses monnaies coulées à Châteaubateau (Seine-et-Marne) au III<sup>e</sup> s. après J.-C. In: Vanni, F.M., Bussi, S. (eds.), *La moneta fussa nel mondo antico. Quale alternativa alla coniazione ? (Arezzo, 19-20 settembre 2003)*, Milano, 2004, pp. 235-262., cf. p.241 ; Cécillon (C.) et al., Des faux-monnayeurs à Lyon/ Lugdunum, *L'Archéologue*, 115, 2011, pp. 57-59., cf. p.58-59 ; Raub (Chr.), Zwicker (U.) (†), Cast Forgeries of Roman Denarii and Antoniniani, Silver-tin-copper and Copper-tin Alloys, *The Numismatic Chronicle*, 172, 2012, pp. 219-226., cf. pp. 222-224; Blanchet (G.), *Contrefaire la monnaie d'argent : analyses archéométriques appliquées à un lot*

afin de compenser leur rareté. Ce travail permet d'établir des gammes de composition pour les éléments Cu, Sn, Pb et Zn. Si les intervalles interquartiles montrent des compositions dominantes comprises entre 72 et 81% pour le cuivre, 14 et 21 % pour l'étain, 2 et 7 % pour le plomb et 1 et 6% pour le zinc, des compositions représentatives sont établies entre 61 et 90% pour le cuivre, 4 et 32% pour l'étain, 1 et 14% pour le plomb et 0 et 10% pour le zinc. De fortes proportions de cuivre et d'étain caractérisent ainsi les deniers coulés. Face à cette grande variabilité de composition, le choix se ainsi porte sur deux bronzes non plombifères, le plomb étant assimilé à l'étain : le premier contenant 30% d'étain et le second 20%. Le point de fusion du premier assemblage se situe ainsi à 760°C, tandis que le second à 900°C. Les propriétés colorimétriques de ces alliages correspondent en tout point à la volonté des faussaires d'imiter l'argent, « la couleur jaune-brun de l'alliage s'éclaircit [en effet] nettement au-delà de 15 % d'étain pour devenir presque blanche aux taux supérieurs à 25 % »<sup>67</sup>.

## Le façonnage des moules

### Premier protocole

Face à la variété des faciès des valves mises au jour au Clos-Paul, nous posons comme hypothèse l'existence de deux chaînes opératoires distinctes. Notre attention se focalise alors sur la reproduction des unités dites « à couronne plate » dont la compréhension semble plus aisée. De plus, partant du postulat que nous sommes face à une production opportuniste de petite échelle, nous optons pour une simplicité de l'outillage et de l'exécution, sans réfléchir en termes de « production de masse ». Notre chaîne opératoire s'écarte ainsi de la technique du cylindre et du coin mis en avant par H. Drescher<sup>68</sup> ou encore du « principe estampe-dormant » décrit par Ph. Andrieux<sup>69</sup>. Néanmoins, nous ne choisissons pas pour autant les *modi operandi* présentés par F. Barakat<sup>70</sup> ou J. Hall et D. Goodburn Brown<sup>71</sup> dans lesquels les moules sont élaborés un à un à l'aide de pâtons positionnés entre deux pièces et pressés entre le pouce et l'index. Notre matériel se compose ainsi d'un anneau bivalve, d'une spatule faisant office de lame et d'un outil de dentiste servant de pic.



Figure 230, matériel nécessaire à la conception des moules dits « à couronne plate ».

Assemblé sur une surface plane, l'anneau bivalve est rempli de terre débarrassée de son surplus d'eau d'une texture plastique, mais non adhérente. Une fois la terre pressée, le surplus éliminé et la surface

---

*de deniers plaqués des Ier-IIIe siècles*, Mémoire de Master 2, Université de Bordeaux Montaigne, 2015, 103 pages, cf. p. 99 ; Woytek (B. E.), Blet-Lemarquand (M.), The C. L. CAESARES denarii RIC I Augustus 208, A pseudo-Augustan unsigned restoration issue. Corpus, die study, metallurgical analyses, *Revue Numismatique*, 174, 2017, pp. 183-248, cf. pp. 211-212 et 233.

<sup>67</sup> Picon (M.) *et al.*, Recherches techniques sur des bronzes de Gaule romaine, *Gallia*, XXIV-1, 1966, pp. 189-215, cf. p. 191.

<sup>68</sup> Drescher 1974

<sup>69</sup> Andrieux (Ph.) *et al.*, Etudes expérimentales et métallurgiques du moulage de monnaies en bronze de la fin de l'Empire romain. In: Duyrat, Fr., Picard, O. (Eds), *L'exception égyptienne ? Production et échanges monétaires en Égypte hellénistique et romaine. Actes du colloque d'Alexandrie, 13-15 avril 2002*, Etudes alexandrines, 10, 2005, pp. 225-252, cf. pp. 237-238.

<sup>70</sup> Barakat (F.), Picard (O.), Moules monétaires du Bas Empire d'Hermopolis Magna au Musée gréco-romain, *Etudes alexandrines*, 6, 2002, pp. 275-313 ; Barakat (F.), « Gußmünzen im römischen Ägypten », *Etudes alexandrines*, 10, 2005, pp. 213-223.

<sup>71</sup> Hall (J.), Goodburn Brown (D.), Faking it – the evidence for counterfeiting coins in Roman London, *London Archaeologist*, summer 2015, 2015, pp. 123-127.

lissée (B à D), l’empreinte de la pièce y est apposée (E). Le nouvel excès de terre supprimé et la surface lissée (F et G), la pièce, puis la bague sont retirées (H et I). Ceci vaut pour les moules situés aux extrémités des piles et ne comportant qu’une empreinte. Pour ceux ayant une position intermédiaire, le moule est retourné après la première prise d’empreinte et une nouvelle impression réalisée. Les deux monnaies et l’anneau sont ensuite retirés et le moule mis à sécher. Ce mode opératoire, qu’il est possible de comparer à ceux mis en avant par F. Barakat ou J. Hall et D. Goodburn de par leur simplicité respective, possède comme avantage primordial une grande maîtrise du centrage et du parallélisme des empreintes.

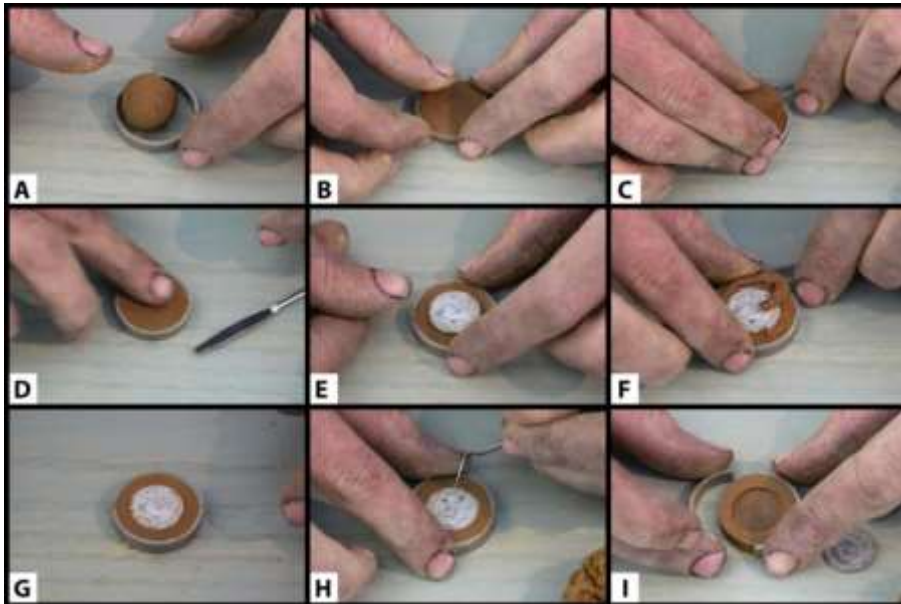


Figure 231, modus operandi de l’élaboration des moules à empreinte unique

Les fragments de moules de Charleville-Mézières ne présentent aucun témoignage d’orifices de coulée et comme évoqué, nous ne disposons d’aucun indice métallique. S’agissait-il de canaux de section triangulaire, telle la pile mise au jour à Trèves<sup>72</sup> et à Corseul<sup>73</sup>, ou d’entonnoirs, comme les moules associés de la collection du RGZM<sup>74</sup> ? Les premiers semblent plus répandus<sup>75</sup> et de réalisation plus aisée ; nous prenons ce parti et optons pour une découpe des canaux de coulées sur argile verte à l’aide d’une simple lame. Après séchage complet, les moules sont mis d’assiette par usure sur un support de bois saupoudré de terre. Cette opération, tout en permettant d’abaisser la profondeur des empreintes, vise à optimiser les surfaces de contact entre les moules et ainsi limiter la formation d’échancrure sur le pourtour des monnaies. Une fois disposés en piles de dix à douze éléments, les moules sont finalement ligaturés à l’aide de cordelettes en fibres végétales.

### Premiers résultats et remise en cause du protocole

Ce protocole pose néanmoins question. Malgré sa simplicité apparente, il est chronophage. La simple mise en forme d’une matrice, sans taille du canal de coulée ni mise d’assiette, avoisine les quinze minutes. En dépit d’une exécution soignée, l’imperfection du centrage des empreintes crée des décalages entre les faces des monnaies coulées que le limage peut difficilement masquer. Malgré l’usure liée à la mise d’assiette, les monnaies obtenues sont plus épaisses que les. Le faciès des moules ne correspond aucunement aux irrégularités observées sur les éléments archéologiques, irrégularités que les aléas

<sup>72</sup> Guihard (P.-M.), Les faux-monnayeurs au travail, *Archäologisches Korrespondenzblatt, Jahrgang, 45*, 2015, pp. 263-282, cf. p. 268, fig. 3.

<sup>73</sup> Aubin (G.), Les moules monétaires de Corseul (Côtes-d’Armor) et la date de fabrication des faux deniers en Gaule, *Gallia*, 47, 1990, pp. 257-263, cf. p. 258, fig. 1.

<sup>74</sup> Chameroy 2007, cf. p. 562, planche 2, C (Nr. 17 u. 7).

<sup>75</sup> Guihard 2015, cf. p. 267.

intervenues après la coulée ne peuvent pleinement justifier. Ce protocole ne résout pas la question du façonnage des moules dits « à bord biseauté » au faciès conique.



Figure 232, C4 PT8, à gauche, copie avec décalage des faces, à droite, copie trop épaisse.

Il est décidé de tester les protocoles établis par F. Barakat<sup>76</sup> et H. Drescher<sup>77</sup>. Le premier a été élaboré suite à l'étude de 2880 moules datés du quatrième siècle découverts à Ashmounein, ancienne *Hermopolis Magna* (Égypte). Le second s'inscrit dans la continuité d'études antérieures basées sur l'observation de moules en provenance de Pachten<sup>78</sup> et de Mainz-Kastel<sup>79</sup> et prend en compte la découverte d'un tube de bronze contenant trois disques d'argile faite à Sousse en Tunisie<sup>80</sup> et de piles associées en triplettes à Damery, antique *Bibé*, dans la Marne<sup>81</sup>.

## Les protocoles de F. Barakat et H. Drescher

### Le protocole de F. Barakat

Le mode opératoire élaboré par F. Barakat et illustré *infra* a fait l'objet d'une tentative. Les matrices sont élaborées une à une à l'aide de pâtons positionnés entre deux pièces et pressés entre le pouce et l'index. Ces éléments sont ensuite assemblés en piles, puis ces dernières égalisées par découpe et lissage ou rotation sur un support plan. Des pâtons sont ainsi constitués puis pressés entre deux pièces. Il apparaît d'emblée que la terre du Clos-Paul ne convient pas. La quantité de dégraissant la rend insuffisamment plastique. Les fractures visibles sur la figure *infra* en témoignent. Leur importance, tant en fréquence qu'en taille, rend impossible la poursuite des opérations.

<sup>76</sup> Barakat, Picard 2002 ; Barakat 2005.

<sup>77</sup> Drescher 1974.

<sup>78</sup> R.-Alföldi (M.), Die Gußformen und gegossenen <Fälschungen>, kaiserzeitlicher Münzen, *Chiron*, 1, 1971, pp. 351-363, Pl. V ; R.-Alföldi (M.), Die « Fälscherförmchen » von Pachten, *Germania*, 52, 1974, pp. 426-447.

<sup>79</sup> Behrens (G.), Eine römische Falschmünzerwerkstätte in Mainz-Kastel, *Mainzer Zeitschrift*, XV-XVI, 1920-1921, pp. 25-31.

<sup>80</sup> Gauckler (P.), Moules de monnaies romaines trouvés à Sousse (Tunisie), *Bulletin de la Société Nationale des Antiquaires de France*, 1899, pp. 368-370.

<sup>81</sup> Hiver (A.), Notice sur un atelier monétaire découvert à Damery (Marne) en 1830, *Revue de la Numismatique Française*, 1837, pp. 171-180, pl. VI.

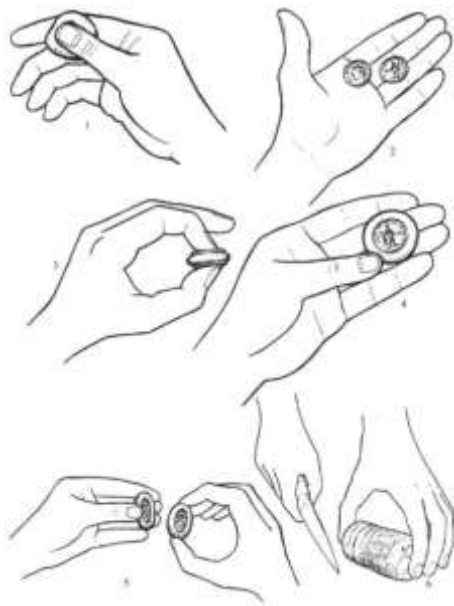


Figure 233, protocole de façonnage d'après Barakat 2005 (gauche), tentative réalisée avec la terre du Clos-Paul (à droite).

### Le protocole inspiré de H. Drescher

En dépit de certaines modifications, le mode d'exécution reste fidèle aux préconisations de H. Drescher<sup>82</sup>. Il est nécessaire de disposer des éléments suivants (Figure *infra*) :

- une argile homogène et d'une bonne plasticité, mais non excédentaire en eau
- une plaque poreuse sur laquelle l'argile n'adhère pas
- un tube aux parois minces et de diamètre supérieur d'une dizaine de millimètres aux monnaies à copier
- un tampon de section légèrement inférieure au tube
- un cercle ou deux règles permettant de maîtriser l'épaisseur des disques d'argile
- 10 à 12 monnaies légèrement graissées (huile végétale)
- une lame aiguisée et une pointe fine, voire une pince fine et une spatule.
- de la ficelle de chanvre ou de lin



Figure 234, matériel nécessaire à l'exécution du protocole inspiré de H. Drescher.

<sup>82</sup> Drescher 1974

Le *modus operandi* se résume ainsi. Un pàton d'argile est disposé au centre du cercle puis aplani. Des disques sont ensuite découpés à l'aide du tube en exerçant un mouvement circulaire. Porosité du support faisant, les disques restent solidaires de l'emporte-pièce et peuvent être extraits sans déformation notable. Une fois les onze valves réalisées, une monnaie est disposée entre deux d'entre-elles (B). Après positionnement du tube, une pression verticale est réalisée sur les disques d'argile à l'aide du tampon (C). Une nouvelle monnaie est placée dans le tube, en la lançant simplement tomber (D1) ou en la positionnant à l'aide d'une pince (D2). En dépit des précautions, la première technique peut conduire à une chute biaisée de la monnaie avec pour conséquence un défaut de l'empreinte. Un nouveau disque est positionné dans le tube. Un simple mouvement circulaire permet de le désolidariser après avoir toutefois exercé une pression verticale (E). Une fois les onze matrices réalisées, le tube est retourné. Le tampon est positionné au sommet de la pile, puis le rouleau extrait en exerçant une courte pression du haut vers le bas, puis en le maintenant immobile tout en faisant glisser le tube de bas en haut (F). Une fois l'argile verte, le canal de coulée est incisé (G), puis les monnaies extraites (H) et le rouleau finalement remis en forme (I).

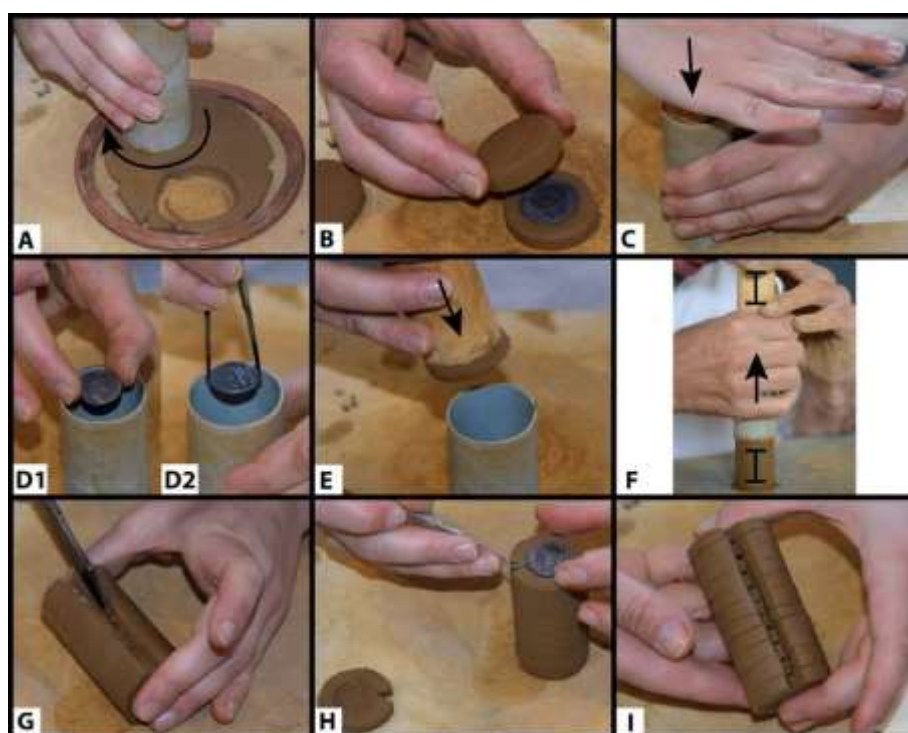


Figure 235, protocole de mise en forme inspiré de H. Drescher.

Le protocole inspiré de H. Drescher s'avère supérieur en tout point, qu'il s'agisse de la qualité ou de la rapidité d'exécution. Le temps de réalisation d'une pile est ainsi de quinze minutes environ contre quinze par moule pour le premier protocole.

### L'appareillage

L'appareillage des potées, c'est-à-dire le façonnage d'une enveloppe externe, est nécessaire à deux titres : autoriser une préchauffe et constituer un entonnoir de coulée. Solidariser les piles permet une mise au feu en amont de la coulée afin d'éviter que le métal ne fige trop rapidement. L'entonnoir de coulée reçoit pour sa part un surplus d'alliage, réserve compensant l'effet de succion tout en facilitant l'entrée du métal dans les opercules et le dégazage sous l'effet de sa masse. Il est néanmoins fondamental que cette couche n'entrave pas l'évacuation des gaz. Deux possibilités s'offrent alors : recourir aux événements ou élaborer une couche poreuse. Aucun témoignage archéologique ne venant conforter la

première hypothèse, nous nous inspirons de techniques en usage durant la Basse époque dans la vallée du Nil<sup>83</sup>. Cette chaîne opératoire, bien que plus complexe, car destinée à la fonte à la cire perdue, reste cohérente. La fonte par surmoulage ne nécessite pas cette alternance de badigeon et de couches chargées en matière organique ou fortement dégraissées ; l'enveloppe se limite à une couche composée d'un tiers d'argile et de deux tiers de crottin d'âne frais. Reste à définir le nombre de moules par pile et le type d'assemblage. Variable selon les sites, chaque pile permet généralement de produire dix à douze monnaies et nécessite donc entre neuf et onze matrices à double empreinte et deux valves à impression unique pour les extrémités. L'assemblage se présente sous trois formes : une pile unique disposée à l'horizontale (Qasr-Quarum, Égypte)<sup>84</sup> ou des piles regroupées par deux (Lingwell Gate, York, Grande-Bretagne)<sup>85</sup> ou par trois (Damery, Marne)<sup>86</sup> et positionnées à la verticale.



Figure 236, moules archéologiques assemblés : de gauche à droite, Qasr-Quarum, Lingwell Gate et Damery

La fonte dans des piles uniques disposées à l'horizontale semble plus aisée ; nous nous orientons vers ce modèle pour ensuite façonner des triplettes d'après le protocole inspiré de H. Drescher. Après séchage complet, les piles sont ligaturées puis disposées à l'horizontale sur un disque composite. Ce disque est rabattu sur la pile puis travaillé afin de former un entonnoir de coulée tout en homogénéisant la matière. Dans le cas des triplettes, les piles sont placées par trois sur un grand disque et après colmatage des jonctions entre les rouleaux, le disque composite est rabattu sur les piles et travaillé de façon à le faire remonter jusqu'à leur sommet. Le bloc est alors retourné afin de poursuivre ce travail d'homogénéisation de l'appareil. L'entonnoir de coulée est finalement réalisé (Figure *infra*, droite C). Après séchage complet, les potées subissent une carbonisation de cinq heures environ sur un lit de charbons, combustion destinée à éliminer les éléments organiques présents dans le crottin, les rendant ainsi poreuses.

<sup>83</sup> Auenmüller (J.) *et al.*, Bronze casting artefacts from the Qubbet El-Hawa – Moulds, materials, and experimental methods. In: Verly, G., Rademakers, F. W., Téreygeol, F. (Eds), *Studies in experimental archaeometallurgy, Methodological approaches from non-ferrous metallurgies*, Bruxelles, 2019, pp. 141-163.

<sup>84</sup> Qasr-Quarum, Guihard, Blanchet et Chameroy, étude en cours ; Guihard (P.-M.) *et al.*, Un atelier de faux monnayeurs en Égypte romaine, *Archéologia*, 582, 2019, pp. 48-53.

<sup>85</sup> Akerman (J.) , Roman coins mould, *Numismatic Chronicle*, 1, 1838-1839, pp. 147-165, 2 planches., cf. planche 1, figure 5.

<sup>86</sup> Hiver 1837, cf. planche VI, figures 12 à 16

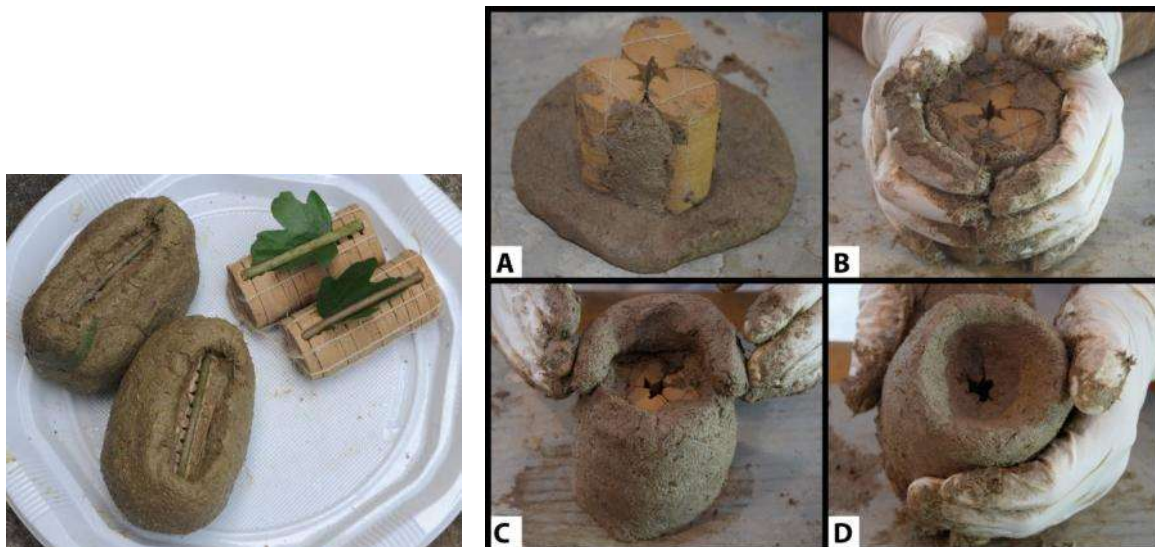


Figure 237, potées horizontales, et façonnage d'une triplète.

Qu'il s'agisse des potées horizontales ou des triplètes, le temps nécessaire à leur appareillage avoisine les quinze minutes. Le temps de séchage des piles et de la potée est variable, mais n'entre pas en ligne de compte, ne nécessitant pas d'intervention de l'opérateur. En résumé, le façonnage d'une potée horizontale d'après le premier protocole nécessite plus de trois heures contre une seule pour l'élaboration d'une triplète en suivant le protocole inspiré de H. Drescher.

D'un point de vue archéologique, l'utilisation d'un appareil constitué d'argile et de crottin reste cohérente. Après carbonisation, celui-ci devient pulvérulent et se délite aisément, prenant la forme d'une poudre jaunâtre similaire à des indices retrouvés dans la fosse Fs 218 sur le site du Clos Paul. Afin de pousser la comparaison, des fragments ont été enfouis en décembre 2016. Indépendamment des variations colorimétriques, fruit d'une combustion en atmosphère plus ou moins oxydante, cette mise en parallèle s'avère concluante.

#### Les structures de combustion et les creusets

Concernant les creusets et les fours liés à cette activité, les indices archéologiques se révélant à la fois peu nombreux et hétéroclites, nous ne cherchons pas à les intégrer à notre démarche. Nous travaillons avec des creusets en graphite placés dans une enceinte en briques dotée d'une ventilation électrique. Cette enceinte de fusion est doublée d'un foyer ouvert faisant office de structure de carbonisation et d'espace de préchauffe des potées.

#### Le post-traitement

Après récupération des monnaies, deux opérations sont nécessaires : le nettoyage et le limage. Le nettoyage se décline en deux opérations : l'une mécanique vise à supprimer les résidus terreux, l'autre chimique, le blanchiment, destinée à éliminer les crasses et les oxydes résultants de la coulée. L'usage de brosses et d'un petit outillage en métal ou en bois permet de supprimer les nodules terreux si tant est que la préchauffe des potées ait été optimale. Lors d'une montée en température trop importante, l'épiderme des moules adhère aux monnaies coulées, engendrant un surcroît de travail non négligeable. La deuxième étape vise à redonner aux monnaies leur aspect argenté en recourant à un bain de sel de mer additionné de gravelle<sup>87</sup>. Ce sous-produit de la fermentation alcoolique est un solide cristallisé composé majoritairement de bitartrate de potassium ou de sodium recueilli dans les fûts de vieillissement

<sup>87</sup> Arles (A.), *Entre monnayage officiel et faux-monnayage. La fabrication de la monnaie au marteau en France (XIIIe – XVIIe siècles). Approche physico-chimique, expérimentale et historique*, Volume 1 : texte, thèse de doctorat, 2009, 779 pages, cf. pp. 96-101 ; Arles (A.), Téreygeol (F.), L'apport de l'expérimentation paléométallurgique dans une discussion technique, *Revue Numismatique*, 167, 2011, pp. 245-263, cf. pp. 251-254.

du vin. Ce procédé, étudié par A. Arles dans le cadre du monnayage de billon, permet un enrichissement de surface des flancs en éliminant les oxydes de cuivre, « la solution n'ayant pas d'effet sur les métaux, mais uniquement sur les phases oxydées »<sup>88</sup>. Le protocole consiste ici à saturer à part égal en gravelle et en sel de l'eau portée à ébullition, puis à y plonger dix monnaies durant trente à quarante-cinq minutes. Après rinçage, les monnaies sont lustrées à l'aide d'un tissu, puis séchées. La campagne 2021 a permis de tester un nouveau protocole basé sur une action purement mécanique, le polissage. Les monnaies sont positionnées sur une toile à grosse trame, du coton, sur laquelle a été disposé du sable de Fontainebleau. En dépit des reliefs, l'exécution de mouvements circulaires permet aisément d'éliminer les résidus terreux et les oxydes. Cette action est relativement rapide, de l'ordre de 5 minutes pour les unités les plus encrassées et d'une à deux minutes pour les monnaies ne présentant pas de nodules terreux. La dernière étape, inchangée, consiste à éliminer le canal de coulée et les ébarbures par usure. Cette opération est comprise entre 4 et 6 minutes.



Figure 238, traitement et résultat : monnaie brute de fonte, polie, limée.

### Production sérielle et nouvelles surprises

L'objectif *in fine* de la reconstitution du processus de fabrication et d'appariement des moules est de couler des monnaies. On remarquera d'emblée que la majorité des numismates s'accordent sur le fait que la part des monnaies coulées est généralement modeste sur les sites archéologiques, représentant en moyenne *c.* 3% des trouvailles isolées de deniers et *c.* 1% des bronzes<sup>89</sup>. Cependant, un paramètre reste hypothétique, puisque rien n'est moins sûr quant à la bonne identification des monnaies coulées. En effet, nombre de monnaies listées, par exemple, dans les volumes des *Fundmünzen der römischen Zeit in Deutschland* les plus récents ne sont en fait connues que par de simples mentions glanées dans les archives, où l'économie des descriptions ne permet pas de vérifier les identifications plus anciennes. En outre, il était certainement plus aisé pour l'utilisateur antique (comme pour le numismate moderne) de repérer les monnaies d'argent *subaerati*, dont l'enveloppe argentée, une fois endommagée, laisse apparaître l'âme en métal vil, que les monnaies d'argent coulées. Dans l'Antiquité, les monnaies *subaerati* avaient ainsi plus de chance d'être jetées en rebut puis recensées comme telles lors de leur

<sup>88</sup> Arles, Téreygeol 2011.

<sup>89</sup> Chameroy, Guihard 2016.

découverte à notre époque, expliquant peut-être en partie leur plus forte représentation au sein des trouvailles isolées. Ces remarques invitent donc à la prudence dans l'interprétation des données. Elles nous ont aussi et surtout décidés à examiner les rendements atteignables, en se libérant de l'impression laissée par les résidus de production des officines de faux-monnayage, qui par leur volume, pourraient laisser croire, de façon paradoxale, que les produits eux-mêmes jouèrent un rôle important au sein de la circulation. Aurait-on dès lors tendance à surestimer l'importance de la production de monnaies coulées en oubliant que les moules, aussi nombreux soient-ils sur certains sites<sup>90</sup>, n'étaient utilisés qu'une seule fois ? Quel est l'effet, en définitive, de cette pratique dans l'économie monétaire romaine ? C'était là l'un des enjeux de notre expérimentation : tenter de déterminer ce qu'il est raisonnable d'attendre d'une telle pratique, en essayant de s'approcher au plus près des techniques de l'époque et en utilisant ces techniques dans le cadre d'une officine produisant un certain nombre de monnaies coulées.

Étant donné le prix du charbon de bois, qui était une denrée rare et chère, la productivité était sans aucun doute un point essentiel aux yeux du faux-monnayeur. Ce n'est donc pas un hasard si les activités de faux-monnayage se retrouvent souvent associées à des ateliers de métallurgistes, bronzier en l'occurrence<sup>91</sup>. Elles pouvaient ainsi tirer parti de l'efficacité d'un four utilisé à d'autres fins, sans que cela n'engendre une consommation supplémentaire trop importante de charbon tout en bénéficiant d'un savoir-faire spécialisé. Il est dès lors probable que les moules monétaires étaient préparés à l'avance pour qu'il n'y ait plus qu'à fondre et à couler le métal dans le cadre d'un atelier de métallurgiste déjà en exercice.

## 2020, début de la production sérielle et fracturation de la couche évent

L'ensemble du protocole étant validé à l'issue de la campagne 2019, il est décidé d'entamer une production sérielle. Destinées à aborder les questions de productivité, 21 potées, façonnées selon le protocole inspiré de H. Drescher, sont ainsi coulées en 2020. Parmi elles, 6 avaient été réalisées durant la campagne 2019.



Figure 239, Deniers d'Hadrien surmoulés avec détail de la chevelure.

## Les recettes de la couche évent

Un séchage rapide des matériaux argileux comporte un risque potentiel de fissuration dû au retrait différentiel de la matière. Ce processus doit donc se faire naturellement sans exposition au soleil. L'atmosphère du Pays mellois étant souvent des plus humides, le temps de séchage des valves peut atteindre deux jours, auquel viennent s'ajouter sept jours supplémentaires pour la couche évent. En dépit des précautions, cette dernière présente un niveau de fracturation inhabituel. Malgré les tentatives de comblement, cette fragilisation se traduit par le bris d'environ 10% des potées lors de la phase de carbonisation. Les nouveaux colmatages réalisés avant les coulées empêchent rarement le métal en fusion de chasser, ou, à l'inverse, imperméabilisent les potées, conduisant à des défauts de dégazage.

<sup>90</sup> Ainsi, il a été possible d'estimer à 5400 le nombre de moules monétaires découverts dans la ville antique de Trèves. Cf. **Chameroy, Guihard 2016**.

<sup>91</sup> **Guihard 2015**.



Figure 240, fractures visibles sur un fragment de couche évent après séchage.

La recette de la couche de finition présente une seule variable : l'ancienneté du crottin d'équidé. Prélevé dans le stock constitué en 2019, ce matériau, entreposé à l'extérieur, mais à l'abri des intempéries, ne présente pas de différences macroscopiques. Afin de valider cette explication, quatre éprouvettes sont façonnées, les deux premières avec du crottin frais<sup>92</sup> (éprouvettes Ia et Ib), les suivantes avec celui prélevé en 2019 (éprouvettes IVa et IVb). Tout comme les potées, les éprouvettes de la famille IV présentent des déformations significatives dès le séchage et leur retrait est de 9% contre 3 pour la famille I.

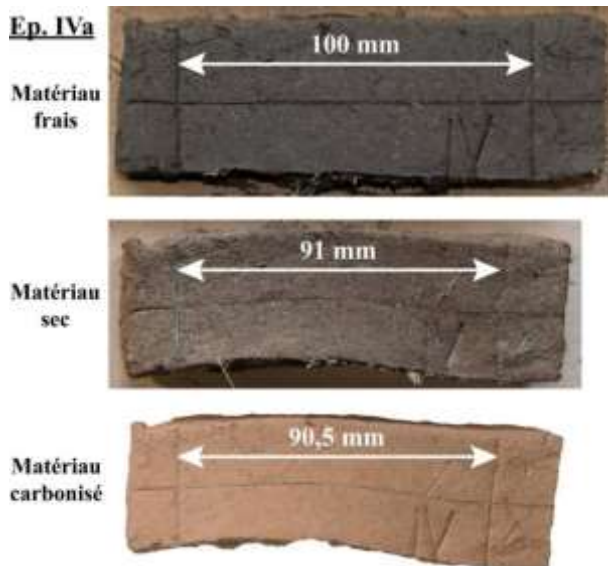


Figure 241, déformations observées sur l'éprouvette IVa.

<sup>92</sup> Devant les difficultés d'accès au matériau, du crottin de cheval est utilisé. Les variations morphologiques entre ces deux familles d'équidés semblent secondaires.

	Matériaux	Frais	Sec		Carbonisé	
		Dimension (mm)	Dimension	Déformations	Dimension	Retrait (%)
Ep.Ia	2/3 crottin de cheval frais	100	97	Néant	97	3
Ep.Ib	1/3 terre de Langeais					
Ep.IVa	2/3 crottin d'âne 1 an	100	91	Importantes	90,5	9,5
Ep.IVb	1/3 terre de Langeais			Néant	89	11

Figure 242, tableau synthétique des observations faites sur les éprouvettes des familles I et IV.

Les éprouvettes sont finalement carbonisées. Afin de limiter les aléas liés à une chauffe à même le combustible, une enceinte est aménagée. Il s'agit d'une simple enceinte de briques similaire dans son aspect au foyer de fusion. Elle présente néanmoins deux différences notables ; l'absence de ventilation forcée et la mise en place d'une sole suspendue. Les retraits observés sur les éprouvettes de la famille IV atteignent 11% après carbonisation, tandis qu'aucune évolution significative n'est à signaler pour la famille I. L'expérience met ainsi en lumière la source du problème sans toutefois l'expliquer. En outre, la nécessité de laisser fermenter les mélanges d'argile et de crottin destinés à façonner la couche évent apparaît dans plusieurs sources ethnoarchéologiques<sup>93</sup> et modernes<sup>94</sup>, laissant présager le caractère bénéfique de l'ancienneté de la matière première. Le problème vient-il d'une proportion insuffisante de fragments végétaux ? Afin de poursuivre l'investigation, des observations par microscopie optique sont réalisées. Tout comme le laissaient présager les observations macroscopiques, aucune différence notable n'est à signaler ; le réseau de cavités, fruit de la carbonisation des matières organiques, est similaire.

Devant l'absence d'études paléométallurgiques consacrées spécifiquement à l'appareillage des potées, le recours à l'analogie a permis de développer un protocole qui s'est révélé opérationnel. Néanmoins, les problèmes rencontrés durant cette session ont à nouveau mis l'accent sur ces problématiques, qu'il s'agisse de la recette de la couche évent ou de sa méthode de carbonisation. L'étude de potées archéologiques est donc nécessaire. Le recours à l'expérimentation permettra quant à lui de constituer des référentiels et d'observer le comportement des matériaux. Afin de débiter cette réflexion, deux nouvelles recettes sont testées durant la campagne 2020. La première vise à substituer la terre dite de Langeais à une argile plus fusible, la seconde à introduire une part de dégraissant minéral. Un premier mélange est ainsi constitué de deux tiers de crottin frais et d'un tiers de terre dite des mines de Melle (éprouvettes II). Il s'agit d'une argile jaune de décalcification présente en surface de la couche calcaire du Pliensbachien. Cette terre produit de forts dégazages à partir de 950/1000°C et commence à fondre dès 1050°C. Après retrait des éléments les plus grossiers puis séchage, celle-ci est concassée manuellement et tamisée. Le second mélange présente des proportions égales de crottin frais, de terre de Langeais et de grabeaux tamisés (éprouvettes III). La terre dite de Langeais provient de la carrière de La Rouchouse située sur la commune de Langeais (37)<sup>95</sup>. Il s'agit d'argiles blanches à spongiaires constituées à parts égales de kaolinite et de montmorillonite et mêlées à de la silice sous formes diverses. Ces couches appartiennent à un épisode Sénonien (Crétacé supérieur)<sup>96</sup>. La terre commerciale est le fruit du broyage du tout-venant de la carrière, galets siliceux compris. Le dégraissant minéral utilisé est constitué des grabeaux obtenus en fin d'opération, c'est-à-dire des refus de tamis issus de ce tout-venant. Cette terre peut être qualifiée de terre « maigre » très riche en silice. Notre céramiste, François Peyrat, précise que le biscuit demeure poreux à 1320°C en réduction, sans plus de précision. Ces deux nouvelles

<sup>93</sup> Verly (G.), Etude de cas : restitution de potées pour la technique de la cire retrouvée / Case study : restitution of moulds, 2013, non publié

<sup>94</sup> Bra (M.), 1836. Détails historiques et techniques sur la sculpture, Le magasin pittoresque n°4, Paris, pp. 74-75 et 93-94, cf. pp. 93-94, cité dans Verly 2013 ; Anonyme, Fonderie en bronze, dans *l'Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers, par une société de gens de lettres de Diderot et d'Alembert*, Durand, 1752, Paris, pl. I-VIII, cité dans Verly 2013.

<sup>95</sup> <http://www.terre-cuite-touraine.com/contact/>

<sup>96</sup> Macaire (J.-J.), Les exploitations d'argiles siliceuses sénoniennes de la Rouchouse à Langeais, Ministère du développement durable, CEN0010, 2016, 13 pages.

[http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/cen0010\\_les\\_exploitations\\_d\\_argiles\\_siliceuses\\_senoniennes\\_de\\_la\\_rouchouse\\_a\\_langeais\\_cle2c6a84.pdf](http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/cen0010_les_exploitations_d_argiles_siliceuses_senoniennes_de_la_rouchouse_a_langeais_cle2c6a84.pdf)

familles d'éprouvettes ne présentent pas de différences de retrait significatives vis-à-vis de la famille I, tout en possédant une bonne tenue mécanique. Néanmoins, qu'en est-il de la qualité de dégazage dans des potées dont la couche évent n'est constituée que d'un tiers de crottin ?

	Matériaux	Frais	Sec		Carbonisé	
		Dimension (mm)	Dimension	Déformations	Dimension	Retrait (%)
Ep.IIa	2/3 crottin de cheval frais	100	98	Néant	97,5	2,5
Ep.IIb	1/3 terre de mine				98	2
Ep.IIIa	1/3 crottin de cheval frais	100	97	Néant	97	3
Ep.IIIb	1/3 terre de Langeais 1/3 grabeaux tamisés		96		96	4

Figure 243, tableau synthétique des observations faites sur les éprouvettes des familles II et III.

### Réflexion autour de la structure de carbonisation

Devant l'absence de témoins archéologiques directs relatifs aux structures de carbonisation des potées, nous avons à nouveau travaillé par analogie. Suite à des échanges avec notre collègue George Verly<sup>97</sup>, qui produit depuis de nombreuses années de la petite statuaire en bronze d'après la technique de la cire perdue, un protocole est élaboré<sup>98</sup>. Ce protocole initial, volontairement sommaire, consiste à disposer les potées sur un lit de charbons ardents dans un foyer ouvert et à renouveler le combustible durant cinq à six heures (#1). Cette pratique évolue progressivement vers l'usage d'un foyer à trois montants dans lequel le combustible vient recouvrir les potées, permettant ainsi d'homogénéiser la carbonisation tout en limitant les interventions. Deux calibres de charbon sont utilisés : un très petit calibre, compris entre taille noisette et poussier (#2), et un calibre noix (#3). Après cinq à six heures de combustion, les potées carbonisées dans le combustible de très petit calibre possèdent à cœur une teinte anthracite, symptomatique d'une atmosphère exclusivement réductrice (Cliché *infra* gauche). Celles disposées dans du charbon de plus gros calibre présentent une grande variété colorimétrique s'étalant du rougeâtre au brunâtre et révélatrice d'une combustion en atmosphère oxydo-réductrice (Cliché *infra* centre). Suite à des fouilles réalisées sur le site de *Quantir* dans le delta du Nil (Nouvel Empire), la pratique de notre collègue a évolué vers une carbonisation au bois sans contact avec le combustible<sup>99</sup>. Cette pratique, qui offre de meilleurs résultats en termes d'accident de chauffe, motive l'aménagement de l'enceinte évoquée *supra*. Le parallèle avec les pratiques encore en usage au Vietnam au XIXe siècle est intéressant. La carbonisation de moules destinés à la confection de salpèques, de petites monnaies en alliage cuivreux, y est réalisée dans une enceinte chauffée au bois, les moules étant disposés sur des barres de fer<sup>100</sup>. L'enceinte réalisée sur la plateforme de Melle reproduit ce principe (#4). Ainsi, après

<sup>97</sup> Doctorant, Musée royal d'Art et d'Histoire, Bruxelles

<sup>98</sup> Auenmüller *et al.* 2019 ; Verly 2013 ; Verly (G.), Europe - Restitutions d'ex-voto étrusques (V-IV<sup>e</sup> siècle avant notre ère). Technique de la cire « retrouvée » : Restitutions expérimentales – Méthodologie, 2014, non publié ; Verly (G.) *et al.*, Fondation Roi Baudouin – Fonds Comhaire. Qubbet el-Hawa casting moulds (Aswan, Egypt) : Experimental Archaeology of the Process of Antique Lost Wax Technique: données archéologiques de Qubbet el-Hawa, archéologie expérimentale, archéométrie et  $\mu$ CT-scans. Poster pour Experimental Archaeology Conference EAC10: 2017, 19-22 April 2017, Leiden, Holland. (poster)

<http://exarc.net/meetings/eac10/abstracts>

<sup>99</sup> Non publié

<sup>100</sup> Schroeder (A.), *Annam: études numismatiques*, Paris, 1905, 651 pages et 111 planches, cf. pp. 292-293.

« FOUR POUR LA CUISSON DES MOULES. Il est composé de deux parties construites toutes deux en briques crues. La partie inférieure, devant contenir le combustible, a comme dimensions dans œuvre trois pieds six pouces de longueur, un pied sept pouces de largeur et un pied deux pouces cinq *phàn* de hauteur; les murs sont élevés en forme de dôme tronqué, sur lesquels reposent cinq barres de fer destinées à soutenir les moules; une porte est réservée sur un des grands côtés pour le chargement du combustible. La partie supérieure, qui a la forme d'un parallélépipède, a pour dimensions dans œuvre trois pieds deux pouces de longueur et huit pouces cinq *phàn* de largeur, permettant ainsi l'admission de dix moules. »

deux à trois heures de chauffe au bois, l'élimination des matières organiques est achevée. La teinte des moules, rouge orangé à cœur, est symptomatique d'une carbonisation en atmosphère oxydante (Cliché *infra* droite). La couche évent présente quant à elle deux teintes ; rose sur la moitié externe et crème sur la partie interne. La teinte rose, révélatrice là encore d'une atmosphère oxydante, se mue en tons crème en raison d'une atmosphère rendue réductrice par la carbonisation des matières organiques. Cette atmosphère réductrice localisée est par ailleurs à l'origine de l'apparition d'une pellicule brunâtre sur les piles à l'interface avec la couche évent.

	Structure de combustion	Combustible	Calibre	Teinte moules	Teinte couche évent	Atmosphère
# 1	Foyer ouvert	Charbon	≥ noix	Rougeâtre ► brunâtre	Beige ► anthracite	Oxydo-réductrice
# 2	Foyer fermé		≤ noisette	Anthracite	Anthracite	Réductrice
# 3			Noix	Rougeâtre ► brunâtre	Beige ► anthracite	Oxydo-réductrice
# 4	Enceinte - sole suspendue	Bois	Buchettes	Rouge orangé	Rose ► crème	Oxydante



#1

#2

#3

Figure 244, Tableau synthétique des modes de carbonisation.

La teinte des matériaux évolue à nouveau lors de la seconde mise au feu destinée à préchauffer les potées en amont de la coulée. Le contact avec l'alliage en fusion provoque enfin la formation d'une patine à la surface des valves. De ces trois étapes - carbonisation, préchauffe, coulée - résulte un spectre colorimétrique très large. Néanmoins, les évolutions qui surviennent durant les phases deux et trois ne sont que superficielles et n'affectent pas le cœur des valves. Les moules du Clos-Paul, de même que la majorité des témoins archéologiques découverts à travers l'Empire, présentent des gradients colorimétriques en adéquation avec les protocoles #1 et #3. La carbonisation des potées dans un foyer au contact de charbon de calibre moyen semble ainsi validée. En dépit de moins bons résultats en termes de bris de potées et du surcoût engendré par l'usage du charbon et non du bois, le recours à ce mode opératoire se justifie. Il ne nécessite aucune structure particulière, facteur non négligeable dans le cadre d'une activité illicite. De plus, contrairement à la technique de la cire perdue, il n'est pas ici nécessaire de récupérer la cire.



Figure 245, écorché de la potée XP19\_C10\_PT18.

### Les défauts de dégazage engendrés par la terre à feu de Charente

Le stock de terre prélevé au Clos-Paul arrivé à épuisement et l'accès à ce gisement devenu impossible, il est décidé à l'issue de la campagne 2020 d'élaborer un mélange aux caractéristiques similaires. Cette expérimentation ne porte pas en effet sur la prospection et l'étude de nouveaux gisements, mais sur une chaîne opératoire dont la terre du Clos-Paul constitue l'une des composantes. Douze « recettes » sont élaborées en amont de la session 2021 à partir de trois terres et d'une chamotte. Deux mélanges supplémentaires permettent de statuer sur le dégraissant à ajouter à la Terre à feu de Charente précédemment sélectionnée.

**BTR** : « terre réfractaire maigre », société Solargil (89520 Moutiers en Puisaye).

**Terre de Baillet** : équivalent de la BTR additionnée de 40% de chamotte 1mm. Société Solargil.

**Terre à feu de Charente** : terre non réfractaire dotée après cuisson d'un coefficient de dilatation assez faible. Société Doublet Thierry EURL (24410 Parcou-Chenaud).

**Chamotte** : briques dites légères concassées puis tamisées. Ces briques sont élaborées à partir d'une terre réfractaire fine équivalente à la BTR additionnée de sciure de bois très fine éliminée lors de la cuisson. Société IFB Refractories (36500 Buzançais).

Recette (%mass)	Retrait au séchage	Retrait à 1000°	Remarques
<b>Terre du Clos-Paul</b>	4,5%	9,0%	Plasticité et granulométrie adéquates
Baillet rouge pure	6,0%	7,0%	Granulométrie trop élevée
Langeais pure	5,5 / 6%	6,0%	Trop plastique. Grain fin
Lg + 20% chamotte 50µm	3,0%	3,0%	Peu plastique
Lg + 15% ch.50µm + 15% ch.80µm	3,5%	3,0%	Plasticité moyenne. Grain assez fin
Lg + 60% ch.80µm	4,5%		Plasticité moyenne, voire insuffisante
Lg + 20% ch. 200µm	3,5 / 4%	3,0%	Trop plastique
BTR pure	5,5 / 6%	7,0%	Plastique. Grain très fin
BTR + 60% ch. 50µm	0,5 / 1%		Plasticité insuffisante
Terre à Feu de Charente pure	5,5%	7,0%	Très plastique
TAF + 20% ch. 50µm	4,5%		Beaucoup moins plastique
TAF + 13% ch. 200µm	5,5 / 6%	7,0%	Plasticité et granulométrie adéquates
TAF + 7% ch. 400µm	4,0%	5,5%	idem
TAF + 13% ch. 200µm + 2% ch. 300µm	4,0%		Plasticité insuffisante
<b>TAF + 7,5% ch. 200µm</b>	5,0%		Plasticité et granulométrie adéquates

Figure 246, tableau synthétique des recettes de terre.

Une recette basée sur l'usage de la « terre à feu de Charente » additionnée de 7,5% masse de chamotte tamisée à 200 $\mu$ m est retenue. Cette terre est qualifiée de terre à feu, car destinée à l'élaboration d'outils culinaires résistants au feu, car à faible coefficient de dilatation. Additionnée de chamotte, elle présente une plasticité et une granulométrie adéquate et un retrait après séchage similaire à la terre du Clos-Paul. Les temps de séchage des piles et des potées étant importants, un grand nombre de piles sont élaborées avant que les premières carbonisations puis coulées soient réalisées. Cinq potées sont coulées, toutes présentent des défauts de dégazage prononcés. L'emploi de piles conservées à l'issue de la campagne 2020 écarte un problème lié à l'appareil. La coulée dans des piles disposées à l'horizontale permettant de limiter les risques liés au dégazage, l'air pouvant chasser plus aisément, deux potées sont montées selon cette méthode. Les résultats confirment les craintes ; cette terre à feu dégaze au contact du métal en fusion. Cet incident met à nouveau en exergue les limites de notre pratique ; conceptualiser et préparer en laboratoire onze mois durant une expérimentation, mais n'accéder à la plateforme qu'une fois l'an. Les recettes élaborées par notre céramiste ont permis d'entrevoir les questions de plasticité, de granulométrie et de retrait, mais le dégazage de la terre lors d'une brusque montée en température.

### 2021, production sérielle et début de quantification

En additionnant les piles « recyclées » à l'issue de la campagne 2020, c'est-à-dire après retrait de la couche évent défectueuse, et la fin de stock de terre du Clos-Paul, quatorze triplettes sont réalisées. Les anciennes piles ont pour moitié subi une première carbonisation et présentent des fragilités, celles regroupées dans la potée 6 sont très altérées. Le rendement potentiel s'élève ainsi à 420 monnaies. L'ensemble a été coulé entre le 22 et le 29 juin. Le rendement journalier est assez variable. En pratique, il est intéressant de noter trois choses. Une fois la coulée réalisée, la potée doit refroidir plusieurs heures avant de pouvoir être ouverte et son contenu récupéré. Vient ensuite l'étape du démontage des piles et, en particulier, la séparation, à l'aide d'un marteau et d'un burin, des monnaies de l'arbre de coulée. Avec un alliage 80Cu 20Sn, nous observons une dureté d'ensemble qui rend le démontage fastidieux. Le démontage de la potée 12 a par exemple atteint une heure. Avec un alliage 70Cu 30Sn, la fragilité d'ensemble rend le démontage périlleux. La récupération peut notamment se traduire par une cassure au niveau du canal de coulée entamant plus ou moins profondément le flan, phénomène également présent avec l'alliage 80Cu 20Sn. Il faut probablement reconnaître ici un manque de maîtrise qui pourrait être amélioré à force de pratique, preuve en est le recours à des frappes latérales lors des dernières ouvertures.



Figure 247, potée coulée et dégagement des monnaies de l'arbre de coulée.

Le savoir-faire développé au cours de ces sessions permet à présent d'estimer le temps nécessaire à la pratique de la copie par surmoulage d'après le protocole inspiré de H. Drescher. Sans considérer le temps

de préparation des matériaux (argile, couche évent et alliage) et les phases « passives » (séchage et carbonisation), il se décline ainsi :

- Façonnage d'une pile : 15 à 20 minutes, soit 45 à 60 minutes par triplète.
- Nettoyage et ligature d'une pile : 5 à 10 minutes, soit 15 à 30 minutes par triplète.
- Façonnage de la couche évent : 15 à 20 minutes.
- Coulée : 30 à 45 minutes.
- Ouverture : 30 minutes pour un alliage 70Cu 30Sn, 60 minutes pour un alliage 80Cu 20Sn.
- Polissage d'une monnaie : 1 à 5 minutes par unité, soit potentiellement 1,5 à 7,5 heures par triplète.
- Limage : 4 à 6 minutes par unité, soit potentiellement 6 à 9 heures par triplète.

Le temps déployé pour produire, couler et ouvrir une triplète est compris entre 2h15 et 3h30, auquel viennent s'ajouter entre 7h30 et 16h30 de post-traitement. Le temps nécessaire à la production de 90 monnaies est ainsi théoriquement compris entre 9h45 et 20h. Le décompte lié au post-traitement pose question. Le limage des canaux de coulées et des échancrures est incontournable, car lié à la technique même de la copie par surmoulage. Néanmoins, un détachement optimal des monnaies, c'est-à-dire sans bris biaisé au niveau du canal de coulée, permet d'abaisser ce temps. De plus, l'usage d'une meule rotative est à envisager. Le temps investi dans la phase de polissage semble lui aussi découler d'un manque de pratique, l'adhésion de nodules terreux aux monnaies étant liée à une trop forte préchauffe des potées. Un polissage limité à l'élimination des oxydes peut ainsi être abaissé à une minute. Face à cet investissement en temps, se pose finalement la question du recyclage des monnaies défectueuses par les Antiques.

Sans se perdre en conjecture, il faut souligner que sous l'Empire romain la monnaie officielle avait reçu la *forma publica* (Paul, *Dig.* XVIII, 1, 1 : « *Eaque materia forma publica percussa usum dominiumque non tam ex substantia praebet quam ex quantitate* »), c'est-à-dire l'image tout entière par impression du coin officiel sur le flan monétaire. Frappée au coin de l'autorité publique la monnaie tire ainsi sa valeur officielle et permanente de la marque<sup>101</sup>. Tel que nous le rapporte le juriste Paul, le type apparaît comme la clé de voûte du caractère reconnu d'une monnaie. Il est donc à présumer que cette « limite réglementaire » a été recherchée par les faux-monnayeurs. Nous pouvons même admettre, *a priori*, que les caractéristiques visuelles devaient être déterminantes pour permettre le bon écoulement d'une fausse monnaie dans la circulation. Prenons ici l'exemple du trésor de Beaurains (Pas-de-Calais), qui a été interprété comme le résultat de *donativa* distribués à un officier de l'armée romaine<sup>102</sup>. Bien que celui-ci fut certainement attentif à l'authenticité des monnaies d'or et d'argent qui lui ont été remises en guise de paiement, deux monnaies coulées (deniers) ont été néanmoins identifiées. Lorsqu'on les examine, elles ne présentent aucune anomalie notable si ce n'est un aspect plus « empâté » du type. Rien ne pouvait quoi qu'il en soit les différencier au premier regard de frappes officielles usées par une circulation prolongée, si ce n'est le diamètre inférieur, conséquence du retrait de la terre lors du séchage des valves. Notons d'ailleurs qu'un siècle et demi sépare ces monnaies de la date supposée d'enfouissement du dépôt.

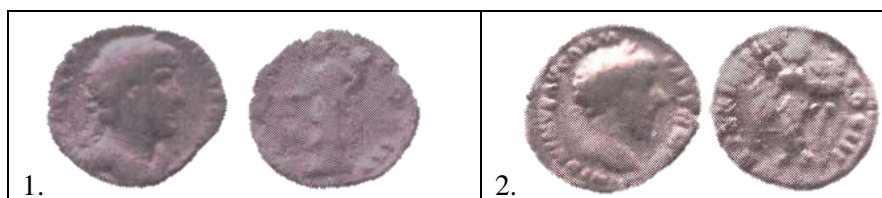


Figure 248, Deniers coulés issus du trésor de Beaurains (sans échelle) (1. N° 63 denier coulé d'Hadrien ; 2. N° 104 denier coulé de Marc Aurèle).

<sup>101</sup> Nicolet (Cl.), Pline, Paul et la théorie de la monnaie, *Athenaeum*, 72, 1984, pp. 105-135.

<sup>102</sup> Bastien (P.), Metzger (C.), *Le trésor de Beaurains (dit d'Arras)*, Mémoires de la Commission Départementale des Monuments Historiques du Pas-de-Calais, XVII, Arras, 1977.

D'un point de vue morphologique, les monnaies coulées réalisées à Melle en 2021 se répartissent selon trois groupes principaux. Les monnaies se caractérisent :

- 1/ (-) par un défaut de remplissage du moule, une cassure au niveau du canal de coulée entamant profondément le flan, un défaut majeur lié à un défaut d'empreinte et/ou un dégazage incorrect ;
- 2/ (+) par des empreintes altérées (reliefs lissés, effet de granulosité, petites crevasses à la surface du flan liées à des défauts de dégazage ou de légers défauts du moule) ;
- 3/ (++) par un rendu fidèle à l'original.

<b>Groupe 1 (-) : défaut de remplissage du moule, bris biaisée au niveau du canal de coulée, défaut du moule</b>		
		
XP21 - PT 13 - PL1 - MN4	XP21 - PT7 - PL1 - MN9	XP19 - CL6 - PT11
<b>Groupe 2 (+) : empreintes altérées (reliefs lissés, légers défauts de dégazage, granulosité)</b>		
		
XP19 - CL7 - PT13	XP21 - PT12 - PL1 - MN3	XP21 - PT19 - PL2 - MN7
<b>Groupe 3 (++) : monnaies fidèles à l'original</b>		
		
XP19 - CL6 - PT11	XP21 - PT12 - PL1 - MN7	

Figure 249, échelle de qualité des monnaies.

Le plus frappant est d'emblée le nombre de monnaies, 237 exemplaires soit 56%, ressortissant à la première catégorie (-), rendant leur écoulement dans la circulation monétaire inconcevable. La deuxième catégorie regroupe 75 individus, soit 18%, dont l'écoulement dans la circulation monétaire est délicat, mais concevable (+). A cela s'ajoutent les moules dans lesquels le métal ne s'est pas diffusé (0), portant à 21 le nombre de monnaies avortées. Seules 87 monnaies, 21%, présentent donc des qualités suffisantes

(++) pour penser qu'elles auraient pu être confondues avec d'authentiques monnaies frappées et être immédiatement injectées dans la circulation.

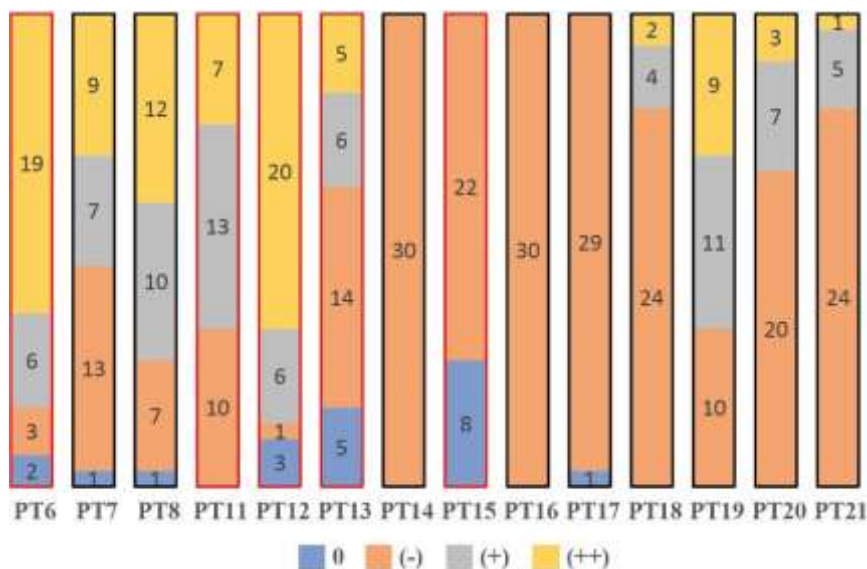


Figure 250, qualité des monnaies par potée (en rouge, potées fissurées).

Remarquons par ailleurs que les poids de celles-ci (++) sont assez variables. Toutefois, selon la définition des juristes, la monnaie officielle était *pecunia numerata* – monnaie comptée et non pesée dont la valeur au sein du système monétaire reposait sur la garantie de l'État<sup>103</sup>. L'autorité monétaire officielle tolérait donc pour une même dénomination une marge de fluctuation des poids<sup>104</sup>. Dans ces conditions, le poids ne peut être tenu comme un critère déterminant pour discriminer les monnaies coulées entre elles.

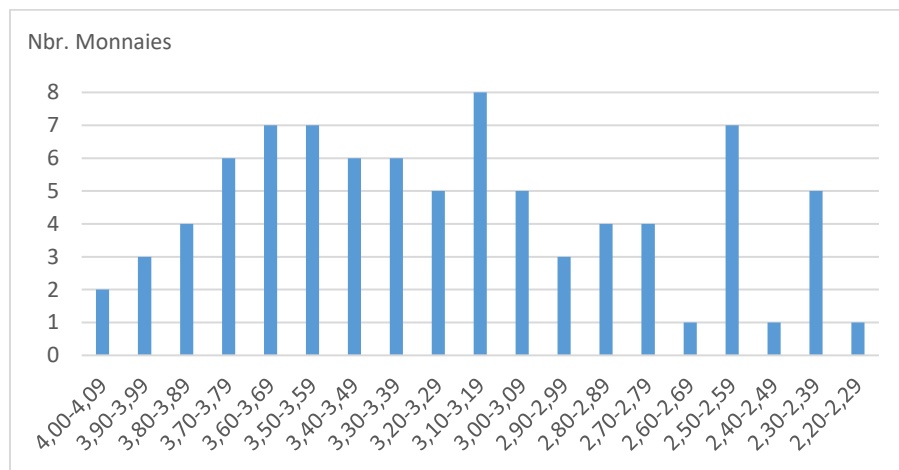


Figure 251, poids des monnaies coulées fidèles à la monnaie originale (++).

Au final, sur les 420 monnaies potentiellement atteignables avec ces 14 potées, seules 87 auraient pu être facilement injectées dans les circuits monétaires, soit 21%. Nous pourrions ajouter les 75 monnaies à l'empreinte altérée (+), soit un total de 39%. Cela fait bien peu à l'évidence et interroge sur le bénéfice réel entre le temps déployé et le rendement obtenu compte tenu du nombre élevé de monnaies avortées. Faut-il néanmoins considérer nos expérimentations comme suffisamment probantes pour affirmer que

<sup>103</sup> Wolters 1999, cf. p. 358 ; Hasler (K.), *Studien zu Wesen und Wert des Geldes in der römischen Kaiserzeit von Augustus bis Severus Alexander*, Bochum (Bochumer historische Studien, Alte Geschichte, 4), 1980, cf. pp. 27, 65-66, 69.

<sup>104</sup> Au cours du Haut-Empire romain, le poids du denier oscille entre 3 et 4 g.

la pratique du coulage par surmoulage était peu fiable et d'un rendement aléatoire ? Nous ne le pensons pas, compte tenu du développement important que connut le surmoulage dans les provinces occidentales de l'Empire au III<sup>e</sup> siècle<sup>105</sup>. Plusieurs paramètres peuvent expliquer ces résultats. **En premier lieu**, il s'agissait pour certains d'une première expérience de modelage. En soi, cette inexpérience n'est pas réellement problématique d'un point de vue qualitatif, les piles défectueuses étant écartées, mais de fait, cette mise au rebut se révèle problématique du point de vue quantitatif. L'inexpérience se révèle en vérité très problématique lors du façonnage de l'appareil. Comment connaître les usages adéquats, épaisseur, compactage, lissage, etc. sans expérience de la carbonisation et de la coulée ? **En deuxième lieu**, ces expérimentations doivent être menées sur le long court, sans les contraintes de temps liées à une campagne d'expérimentation. Les fissurations apparues sur plusieurs potées sont liées à ces contraintes nous ayant conduits à réaliser des carbonisations de nuit, sans surveillance du foyer, avec pour résultat des montées en température trop importantes. Paradoxalement, les potées fissurées ne présentent pas les pires résultats. Ce paradoxe s'explique par leur capacité à dégazer. Car, **troisième point**, l'imperfection doit être tolérée, voire être favorisée. Souhaitant limiter la formation d'échancrures sur le pourtour des monnaies coulées, des piles ont été mieux ligaturées qu'à l'accoutumée. Ces piles, très jointives d'origine en raison de la maîtrise technique du façonneur, ont ainsi présentées un dégazage inadéquat (Pt14, 16, 17 et 18). Preuve en est la potée 19, ligaturée plus amplement, qui présente de meilleurs résultats. Du fait des aléas liés à notre expérience somme toute limitée, auxquels s'ajoutent ceux engendrés par les contraintes de temps, peut-être est-il préférable de voir ce travail comme à même de nous fournir des fourchettes et ne prendre en compte que les potées présentant les meilleurs résultats. Ainsi, cette technique permettrait de produire aux alentours de 70 à 85% de monnaies diffusables, avec parfois une chute à 50%. Cette productivité étant dans les faits abaissée par les inévitables accidents de fonte, comme en témoignent les témoins archéologiques.

#### Bilan et questions en suspens

Au-delà d'augmenter la productivité, le recours à un protocole inspiré de H. Drescher permet de résoudre la question de la variabilité des faciès des moules du Clos-Paul. La morphologie des assemblages en triplettes et des canaux de coulée s'avère elle aussi similaire aux éléments archéologiques découverts à travers l'Empire. La mise en regard des potées expérimentales avec les témoins découverts dans les thermes de Damery est des plus révélatrices, de même que la comparaison avec les déchets de productions en provenance de Mainz-Kastel<sup>106</sup>, Pachten<sup>107</sup>, Londres<sup>108</sup> ou encore Châteaubateau (Seine-et-Marne)<sup>109</sup>. La difficulté à insérer les monnaies dans le cylindre métallique explique quant à elle le nombre maximal de moules par pile.



Figure 252, Damery (gauche). XP19 PT17-PT18 (droite).

<sup>105</sup> Aubin 2003 ; Chameroy 2007 ; Guihard 2015.

<sup>106</sup> Behrens 1920-1921, cf. Abb. 3

<sup>107</sup> Radnoti-Alföldi 1974, cf. Tafel 53

<sup>108</sup> Hall, Goodburn Brown 2015, cf. p. 125, fig. 4

<sup>109</sup> Pilon 2016, cf. p. 63-64

La facilité à séparer les monnaies coulées avec un alliage 70Cu 30Sn conduit à un faible degré de fractionnement des moules, similaire aux témoins archéologiques. La fragilité de cet alliage pose néanmoins question. À l'inverse, lors du recours à l'alliage 80Cu 20Sn, seuls les moules situés aux extrémités des piles sont préservés. Cette non-concordance avec les témoins archéologiques pose question elle aussi. Est-elle liée à un manque d'expérience, qu'il s'agisse du façonnage du canal de coulée ou de la méthode d'ouverture ? La taille des canaux de coulée est similaire aux témoins archéologiques et il semble difficile d'en diminuer la taille. Demeure la méthode de séparation des monnaies.

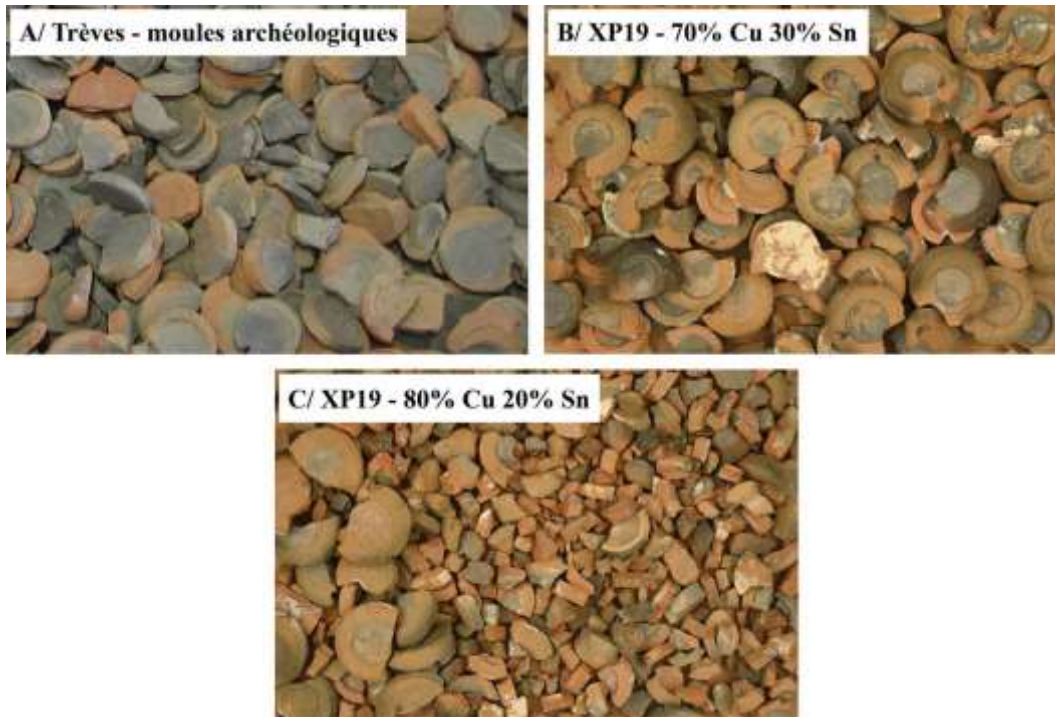


Figure 253, déchets de moule.

Haut gauche, Trèves (P.-M. Guihard). Haut droite, XP19 – alliage 70Cu 30Sn.

Bas, XP19 – alliage 80Cu 20Sn

### Conclusion et perspectives

Ces trois sessions d'expérimentation menées sur la plateforme expérimentale des arts du feu à Melle ont permis de mieux comprendre le mode de fabrication des fausses monnaies coulées dans l'Antiquité, depuis la préparation de la terre jusqu'au traitement final des monnaies coulées. Les résultats obtenus montrent à l'évidence que la fabrication par coulage ne s'improvise pas et qu'elle faisait appel à un savoir-faire qualifié. Au-delà, la nécessité de réaliser ce travail sur le long court, afin d'éviter tout séchage hâtif et toute carbonisation sans surveillance, vient renforcer l'idée d'une activité inscrite dans le cadre d'ateliers de fondeurs établis. Afin de clore ce dossier lié à la copie par surmoulage d'après la technique dite de Drescher, de nouvelles coulées devront être réalisées. Mais, preuve est faite qu'il faut faire preuve d'humilité et limiter le volume de données. Ainsi, grâce à un petit stock de terre du Clos-Paul redécouvert, dix nouvelles potées, façonnées en amont de la campagne, seront carbonisées puis coulées en 2022. Afin d'obtenir des données statistiquement viables, seul un alliage sera utilisé, un bronze binaire 75Cu 25Sn.

## Remerciements

Nous tenons à remercier Oksana Vingolte pour l'aide apportée durant ces trois campagnes, de même que Katia Neff qui a pris part à la session 2021. Nos pensées vont également à François Peyrat et George Verly pour les conseils et les enseignements prodigués.

## **Problématique des moules monétaires, Charleville-Mézières. Analyses par p-XRF et ICP-AES**

M.-P. Bataillé et A. Bocquet-Liénard

Trois échantillons ont été confiés au service pour analyse par ICP-AES : CP13-archeo (moule), CP13 XP17 (expérimentation) et CP13 terre broyée. Les échantillons étaient inclus dans de la résine.

Avant de faire les prélèvements pour l'analyse par ICP-AES, nous avons procédé à une analyse par fluorescence-X portable.

**Problématique** : comparer la composition chimique du moule avec celle d'un matériau argileux broyé et un moule expérimental.

### **Méthodes d'analyses**

#### **p-XRF**

Un protocole d'analyse par p-XRF des céramiques a été élaboré en 2018 dans le cadre d'un stage d'une étudiante de master 2 CEI de l'université de Caen (Fatma Benabdallah 2018). Les différents paramètres liés au fonctionnement de l'appareil (Niton XL 3t-980 GOLDD+) permettant d'optimiser les conditions de mesure (temps de comptage, balayage à l'azote, choix du collimateur, type de préparation de l'échantillon, mode) et d'augmenter la précision de l'analyse des céramiques ont été évalués. Par la suite, Madame M.-P. Bataillé du service d'archéométrie-céramologie, a poursuivi la mise en place du protocole en évaluant les corrections nécessaires pour les courbes de calibration grâce à des poudres d'étalons géochimiques du CRPG\_SARM de Nancy. Cela permet d'optimiser la justesse des analyses réalisées par cet équipement portatif et non destructif.

Les échantillons ont été analysés directement avec un collimateur de 3 mm. Par ailleurs, nous avons procédé à l'analyse de la résine et de la fraise utilisées pour le prélèvement de l'échantillon pour la mise en solution pour l'analyse par ICP-AES dans le but d'identifier d'éventuelles contaminations lors du prélèvement. Aucun élément parmi ceux que nous analysons habituellement n'était présent dans la résine ou la fraise.

#### **ICP-AES**

Les poudres, recueillies avec une fraise, ont été analysées par spectrométrie d'émission atomique (ICP-AES, Optima DV 2100 de Perkin Elmer). Elles sont broyées et mises en solution dans un mélange d'acides (acide nitrique à 5 % et acide chlorhydrique 2,5%) après une fusion alcaline avec du métaborate et du bromure de lithium (100mg de poudre d'échantillon calciné/1g de fondant). Le dosage de 20 éléments chimiques est réalisé après une calibration au moyen de 9 étalons géochimiques<sup>110</sup> (CRPG de Nancy) et un blanc réactif (eau ultrapure et métaborate de lithium). La perte au feu est calculée après une calcination d'1 g de poudre à 1000°C dans un four à moufle durant 1 heure.

### **Résultats**

Après normalisation en tenant compte des mêmes éléments dosés, on constate que les résultats sont cohérents entre p-XRF et ICP-AES pour deux des échantillons. L'analyse a été réalisée sur la résine et non sur l'échantillon cp13 XP17 (non présenté).

Le moule monétaire est caractérisé par une pâte riche en silice et en fer et une proportion en alcalin élevée.

La comparaison entre les trois échantillons montre leur grande similitude de composition chimique. La différence principale repose sur les proportions en silice, alumine et fer, probablement liés à la nature des inclusions non siliceuses. La proportion en silice est d'ailleurs un peu plus élevée dans le moule archéologique par rapport à l'échantillon expérimental et à la terre broyée.

---

<sup>110</sup> Les étalons géochimiques utilisés sont les suivants : BXN (bauxite), ANG (anorthosite), DRN (diorite), BEN (basalte), GA, GH et Man (granite), UBN (serpentine) ZWC (zinnwaldite) (Govindaraju 1995). Des analyses de contrôle sont réalisées sur une argile normande (AireID) et sur deux étalons géostandards de Nancy non utilisés pour la calibration (ACE, un granite et WSE, une dolérite) au cours de chaque série d'analyses, afin d'étudier les dérives éventuelles au cours de la journée, mais également au cours du temps. C'est grâce à ces cartes de contrôles que nous avons pu identifier les problèmes d'analyse du rubidium (Rb), non encore résolus à ce jour.

Le profil compositionnel est similaire, mais il faudrait un échantillonnage plus important pour en déduire une filiation entre la matière première broyée et le moule monétaire.

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ba	Sr	V	Zn	Zr	Cr	Ni	Rb	Ce	Y
% poids oxyde										ppm									
cp13 archeo	80,98	10,38	4,26	0,93	0,50	0,00	2,31	0,02	0,41	247	99	132	198	938	181	0	99	0	49
cp13 terre broyée	78,63	10,99	5,56	1,03	0,60	0,00	2,54	0,03	0,36	722	75	135	135	752	196	0	105	376	30

Figure 254, Analyses des terres par pXRF

Avec un collimateur de 3 mm et courbes de calibration revue. Les données en gris ne sont pas fiables en p-XRF. Le sodium n'est pas analysable par cette méthode.

Sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	PF %	Ba	Sr	V	Zn	Zr	Cr	Ni	Rb	Ce	Y
% poids oxyde											ppm										
CP13 archeo	81,10	9,80	4,23	0,96	0,51	0,84	2,18	0,07	0,13	0,89	-0,54	414	80	91	113	631	106	52	192	48	33
CP13 XP17	78,07	11,75	5,11	0,88	0,55	1,05	2,24	0,06	0,14	0,90	5,13	441	81	97	140	320	86	33	173	36	27
CP13 terre broyée	76,30	12,39	5,94	0,96	0,55	1,14	2,24	0,05	0,15	0,77	19,19	437	81	112	103	552	193	982	199	45	32

Figure 255, Analyses des terres par ICP-AES

Normalisées à 100 % sans l'oxyde de sodium et la perte au feu. Le rubidium est donnée à titre indicatif, car une dérive a été observée au cours des mesures.