HAL
open science

Expérimentations sur la technique de fabrication des monnaies grecques : approches, réalisation, perspectives

Thomas Faucher, Louis Brousseau, Julien Olivier

To cite this version:

Thomas Faucher, Louis Brousseau, Julien Olivier. Expérimentations sur la technique de fabrication des monnaies grecques : approches, réalisation, perspectives. Florian Téreygeol. Comprendre les savoir-faire métallurgiques antiques et médiévaux l'expérimentation archéologique et archéométrique sur la plate-forme expérimentale de Melle, Errance, pp.71-99, 2013, 9782877725217. hal-02510964

HAL Id: hal-02510964

https://hal.science/hal-02510964v1

Submitted on 18 Mar 2020

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.

SOUS LA DIRECTION DE
FLORIAN TEREYGEOL

COMPRENDRE LES SAVOIR-FAIRE MÉTALLURGIQUES ANTIQUES ET MÉDIÉVAUX

éditions errance

COMPRENDRE LES SAVOIR-FAIRE MÉTALLURGIQUES ANTIQUES ET MÉDIÉVAUX

SOUS LA DIRECTION DE FLORIAN TEREYGEOL

Depuis 2007, une équipe de chercheurs issus tant du CNRS que des universités s'est réunie sur la plate-forme d'expérimentation paléométallurgique de Melle. Chacune y développe son sujet d'étude sur les métallurgies anciennes portant aussi bien sur la compréhension des chaînes opératoires que sur le comportement des matériaux depuis le minerai jusqu'à l'objet. Ces expérimentations sont organisées sous l'égide de l'Institut de recherche sur les archéomatériaux (IRAMAT, UMR 5060) soutenu par la Région et le Service régional de l'archéologie Poitou-Charentes.

Ces expériences ont pour but de tester les hypothèses formées lors des fouilles archéologiques comme lors de recherches en archives, et de les confronter à la pratique. Elles ont permis des avancées notables sur des sujets variés allant de la production du fer protohistorique jusqu'à l'élaboration des monnaies médiévales, en passant par la réalisation de moules pour des plombs de vitrail. En prise directe avec le public, ces expériences permettent une valorisation active et immédiate du travail de l'archéologue. Plus qu'une porte ouverte, c'est un accès libre à la recherche en cours d'élaboration.

La paléométallurgie est un vaste sujet qui avait besoin d'un lieu propice à l'expérimentation et dont la pérennité soit assurée. Les Mines d'argent des rois francs, en fournissant l'infrastructure et la logistique, assurent de belles avancées scientifiques dans ce domaine.

ISBN : 978-2-87772-521-7

éditions errance

DÉP. LÉG. : JANV. 2013
29 € TTC France
www.editions-errance.fr

Expérimentations sur la technique de fabrication des monnaies grecques : approches, réalisation, perspectives

Experiments on Greek minting techniques : approach, realization, outlook.

Thomas Faucher, Louis Brousseau
et Julien Olivier

Résumé : Les expérimentations menées à Melle de 2007 à 2009 se sont appuyées sur des recherches préexistantes qui, si elles avaient permis de connaître un peu mieux la chaîne opératoire de fabrication de la monnaie grecque, comportaient certaines lacunes que l'archéologie expérimentale semblait à même de résoudre. En recréant un atelier monétaire dans des conditions aussi proches de celles de l'Antiquité que possible, notre équipe a dû faire face aux problématiques liées à la fabrication des flans et à la frappe monétaire. Il ressort de ces trois sessions d'expérimentations deux éléments de réponse. Premièrement, s'il est possible d'obtenir des flans en bronze très proches des objets antiques, il n'en est pas de même pour l'argent où de nouvelles expérimentations devront être menées pour déterminer la méthode de fabrication, la coulée en moules ouverts ayant été écartée. Deuxièmement, il a été observé que la frappe des monnaies de bronze usait les coins monétaires de manière plus importante que la frappe de monnaies en argent.

Abstract *: Experiments on Greek minting techniques held in Melle from 2007 to 2009 lied on preexisting research which, even if they gave some new information on the operational sequence work to produce Greek coins, presents some gaps that experimental archaeology seemed able to fill. By recreating a mint workshop in conditions as close as possible from Antiquity, our team faced problems linked to the monetary blanks fabrication as well as the striking process. First of all, if it is possible to produce bronze blanks similar to those of Antiquity, it is not the case concerning silver ones where new experiments are needed to understand the whole process, the pouring into open moulds being discarded. Secondly, it was shown that striking bronze coins lead to a quicker wear than striking of silver coins.*

Mots-clés : archéologie expérimentale, atelier monétaire, histoire grecque, numismatique.

Key-words *: experimental archaeology, mint workshop, Greek history, numismatics.*

1. Introduction

Le projet des expérimentations menées à Melle ces trois dernières années[1] s'est appuyé sur des recherches préexistantes. Une première, très récente, entreprise l'année précédant le début des expérimentations, a été menée dans le cadre de la thèse de doctorat de Thomas Faucher. L'objectif était alors de parfaire les connaissances sur les techniques de fabrication des flans des monnaies ptolémaïques en bronze, en comparant des exemplaires connus à des recréations effectuées sur le site de la plate-forme des arts du feu à Melle. La seconde remonte aux années soixante et à la mise en œuvre d'une longue expérimentation sur la fabrication des monnaies en argent dans la Grèce ancienne par le docteur D.G. Sellwood[2]. La première a laissé entrevoir la possibilité d'un accès à des connaissances nouvelles par le biais de l'expérimentation, la deuxième nous montrait ce qui avait déjà été fait, ce qu'il restait à faire et ce qu'il faudrait éviter de faire.

Les résultats obtenus en 2007 et 2008 lors des expérimentations portant sur la monnaie d'argent ont déjà été présentés (Faucher *et al.*, 2009). Il est donc question ici principalement de l'apport des expérimentations qui ont eu lieu en 2009 ainsi que des différents aspects de la démarche expérimentale liée à la production monétaire.

Les expérimentations visaient à recréer un atelier monétaire dans son ensemble dans le but d'obtenir des résultats comparables à ceux obtenus par les monnayeurs de l'Antiquité. Le décret d'un jugement ordonné à Dymè, en Grèce, porte sur la condamnation d'une équipe de faux-monnayeurs (fin IIIe - début IIe siècle). Ils sont au nombre de quatre[3]. Ce nombre relativement faible d'ouvriers offrait la possibilité de reproduire à la même échelle les diverses opérations qui mènent du métal à la monnaie.

2. Des choix

L'archéologie expérimentale oblige à certains choix. Le lancement rapide des opérations a motivé certains aspects techniques qui n'ont pu être guidés uniquement par des motivations scientifiques. Ils ont été contraints par trois éléments.

Le premier, le plus inévitable, était la connaissance limitée des techniques de production de la monnaie d'argent et de bronze dans l'Antiquité. La plupart des informations rassemblées l'avaient été lors de la préparation de la thèse de doctorat de T. Faucher. Mais ces informations sont lacunaires et l'archéologie a peu pourvu l'historien qui manque de sources écrites.

---

1. Les expérimentations ont eu lieu aux mois de juillet-août 2007, juillet 2008 et juillet 2009. Des recherches complémentaires sur la fonte des flans en argent ont été menées en juillet 2010.

2. Selwood, 1963, p. 217-231, pl. 23-25; Sellwood 1980, p. 767-769; s'ajoutent à ces expérimentations deux autres opérations ponctuelles: Beer-Tobey, 1979, p. 47-51, pl. 4-5 et Andrieux, 2005, p. 225-254.

3. SIG³, 530 = H.W. Pleket, *Epigraphica* I, n° 11.

Le deuxième était lié à un problème de temps. L'organisation des expérimentations, le calendrier prévisionnel, la recherche de financement et la mise en place à proprement parler de l'expérimentation ont eu lieu en moins de 9 mois, tout en sachant qu'à côté de la prévision la plus optimiste, il fallait songer à des palliatifs en cas de non fonctionnement de certains aspects de l'expérimentation. Notre volonté était cependant, au départ, de frapper le plus grand nombre de monnaies possible.

La troisième contrainte résultait des coûts importants nécessaires aux opérations. Nous tenons ici à remercier Florian Téreygeol qui, par l'intermédiaire du PCR, des Mines d'argent des Rois Francs de Melle et de la région Poitou-Charentes, nous a permis de mettre en place ces expérimentations dans de bonnes conditions, même si évidemment des subventions plus importantes nous auraient permis d'éviter certains choix douloureux. Il faut préciser ici que toutes ces contraintes ont eu un aspect positif : la recherche d'un pragmatisme qui n'était certainement pas étranger aux anciens monnayeurs, même si les contraintes découlaient d'autres facteurs.

Il est important ici de faire connaître la raison des choix effectués lors de ces 3 années d'expérimentations, les résultats obtenus à la suite des opérations et, finalement, l'analyse des choix faits en fonction des résultats obtenus. Il s'agit de définir la portée des résultats, en essayant de juger la fiabilité des réponses apportées aux questions que nous nous étions posées. En somme, essayer de poser la bonne question sans nécessairement trouver la réponse exacte.

2.1. Choix du site

Le choix du site s'est fait plus ou moins de lui-même, le projet d'expérimentations n'aurait clairement pas eu lieu si la plate-forme des arts du feu n'avait pas existé. Il permettait en outre, et c'est un des résultats positifs des opérations, de pouvoir échanger avec des spécialistes d'autres disciplines (physiciens, métallurgistes, forgerons, potiers, etc.), mais aussi d'avoir l'aide de bénévoles qui nous ont assistés, particulièrement au début, pour lancer les opérations et nous ont permis d'être plus productifs.

2.2. Choix des monnaies modèles

Le choix d'une monnaie en argent qui servirait de modèle à la recréation s'est assez vite imposé. Athènes, la cité la plus rayonnante de la Grèce antique, est connue pour avoir frappé une énorme quantité de monnaies grâce à l'extraction de minerai des mines du Laurion (Picard, 2001, p. 1-10). La chouette est véritablement la première

Fig. 1 : Monnaie hybride frappée à Melle en 2007 et en 2008.

monnaie internationale. Elle est vraisemblablement, avec le numéraire frappé par Alexandre le Grand, la monnaie la plus connue du monde grec. Pour compléter la chouette présente sur le revers, nous avons décidé d'utiliser un coin de droit imitant une monnaie celte ; nous expliquerons plus bas les raisons de ces choix.

Pour les expérimentations portant sur la frappe de la monnaie de bronze, le choix s'est porté cette fois-ci sur une monnaie de l'atelier d'Alexandrie. La monnaie "aux deux aigles" représente la monnaie ptolémaïque par excellence puisqu'elle a été frappée en très grande quantité. Elle montre Zeus-Ammon au droit et deux aigles au revers, entourés de la légende PTOLEMAIOU BASILEWS ("[monnaie du] roi Ptolémée"). Il était important également que cette monnaie soit du même diamètre que la chouette dans le but de pouvoir comparer les deux productions (elle ne pouvait pas être du même poids, la différence de densité des métaux rend ceci impossible).

Fig. 2 : Monnaie des Ptolémées frappée à Melle en 2009.

Ces deux monnaies ont donc un diamètre d'environ 20 mm. Et même si leurs poids diffèrent (17,2 g pour la chouette contre environ 9 g pour la monnaie aux deux aigles), cela permettait, à la fin, de comparer l'usure des coins monétaires pour des monnaies d'un même module.

2.3. Choix du métal

2.3.1. Argent

Le choix de la qualité de l'argent employé s'est appuyé sur l'étude de composition métallique de plusieurs monnayages. La plupart des monnaies d'époque classique, et c'est le cas particulièrement à Athènes, sont constituées d'un alliage à base d'argent à haute teneur en fin, souvent proche de 98 ou 99 %. Bien sûr, d'autres éléments sont présents en petites quantités, mais il ne nous a pas semblé, *a priori*, que cette présence – de cuivre notamment – puisse faire varier de façon significative nos résultats. Il ne faut tout de même pas négliger l'influence de l'ajout de cuivre dans l'alliage d'argent. Lors de la première session, en 2007, nous avons essayé de frapper des monnaies dans lesquelles environ 10 % de cuivre avait été ajouté à l'argent. La frappe était alors sensiblement plus difficile, sans qu'il soit possible de le quantifier.

2.3.2. Bronze

Dans le cadre de sa thèse, T. Faucher a mené au centre Babelon une série d'analyses sur les monnayages de bronze ptolémaïques. Il en ressort que les monnayeurs alexandrins avaient utilisé une large variété d'alliages, du bronze "classique" à des

alliages comprenant plus de 30 % de plomb. Les monnaies aux deux aigles qui ont servi de modèle contiennent généralement un pourcentage non négligeable de plomb. Néanmoins, puisque nous voulions que nos résultats aient une portée la plus large possible, et que la majorité des monnayages grecs en bronze sont faits d'un bronze classique (92 % de cuivre, 8 % d'étain), nous avons décidé d'utiliser ce type d'alliage pour notre expérimentation.

3. Le four

3.1. Préparation

Construit dans le cadre d'un projet plus large, le four devait être capable de fondre toutes sortes de métaux, et principalement du cuivre. Nous avons pensé que ce facteur n'était pas limitant, à partir du moment où nous étions capables de monter à une température suffisamment élevée et que nous avions tout de même à nous confronter à la maîtrise du feu[4].

3.2. Utilisation

Nous renvoyons ici aux explications complètes et illustrées de l'article sur les expérimentations des deux premières années (Faucher *et al.*, 2009). Il convient toutefois d'ajouter que la fonte du métal argent a été plus facile que celle du bronze. Ceci résulte bien entendu des différences de température de fusion entre l'argent (962 °C) et l'alliage de bronze (entre 900 et 1000 °C selon la teneur en étain). Nous retiendrons qu'il était possible de fondre 4 kg d'argent par heure lors de la première année d'expérimentation, alors qu'il n'a guère été possible de dépasser 2 kg par heure pour le bronze. Contrairement à l'argent, nous ne disposons pas de données précises puisque les premiers jours ont vu la préparation de l'alliage, cuivre puis étain. Une fois l'alliage constitué, le temps de fonte du métal s'est considérablement restreint.

3.3. Consommation du charbon

L'utilisation du four permet également d'étudier la consommation de charbon de bois. Évidemment, il serait imprudent de vouloir utiliser nos données pour évaluer la consommation de charbon dans l'Antiquité. D'une part, les fours étaient de taille beaucoup plus modeste, ce qui réduisait automatiquement la consommation. D'autre part, et c'est là l'élément le plus essentiel, notre expérience ne permettait pas d'utiliser ce charbon de manière optimale, contrairement aux ouvriers de l'Antiquité pour qui c'était un élément rare et coûteux (Bresson, 2007, p. 78-82). Notre consommation de charbon qui, au départ avoisinait les 500 litres par jour, a diminué notablement,

4. D.G. Sellwood avait utilisé un four électrique. Il lui permettait certes une meilleure gestion de l'énergie et des températures, mais certainement pas de s'approcher des conditions antiques.

même s'il était difficile d'obtenir des chiffres précis, le stock de charbon étant utilisé pour différentes expérimentations.

3.4. Les creusets

Nous avons utilisé des creusets en plombagine – de taille A3 et A6 –, un mélange d'argile et de graphite. Évidemment, cela s'éloigne des creusets en argile utilisés pendant l'Antiquité, mais il ne semble pas que cela influe sur les caractéristiques de chauffe ou de rendement. Il s'agissait principalement pour notre équipe de disposer d'éléments possédant une durée de vie importante et ainsi de diminuer de façon notable les risques de casse et les dangers liés à celle-ci. La durée de vie indiquée par le fabriquant est de l'ordre de 15 à 20 fontes ; nous sommes allés bien au-delà de ces indications.

Modèle	Hauteur	Diamètre	Capacité ras bord (en kg) BRONZE	Capacité ras bord (en kg) ARGENT	Poids du creuset (en g)
A3	127	105/70	3,84	5,04	845
A6	165	130/95	9,52	12,5	1670

Tableau 1 : Creusets utilisés lors des expérimentations.

Au final, il est difficile d'obtenir des résultats définitifs sur cette partie de l'expérimentation. Notre manque de connaissance technique n'autorise pas à tirer des conclusions pour l'Antiquité. Comme pour d'autres parties de l'expérimentation, nos choix ont été pragmatiques ; ils visaient notamment à ce que l'atelier dispose, de manière la plus continue, de flans puisque nous avions décidé que la priorité se trouvait dans la frappe du plus grand nombre de monnaies possible. Avec la méthode choisie et une équipe au four un peu aguerrie, la production de flans, que ce soit pour l'argent ou le bronze, alimentait largement l'atelier de frappe. Il semble que l'utilisation d'un four de type médiéval ne soit pas de nature à modifier nos résultats.

4. La production de flans

Comme pour les autres étapes de notre reconstitution d'un atelier monétaire antique, nous ne disposons que de peu ou pas de textes. Nos connaissances reposent donc essentiellement sur l'observation des monnaies et les quelques découvertes archéologiques. Plusieurs auteurs se sont déjà intéressés à ces problèmes et ont pour cela emprunté les mêmes voies (Cooper, 1988). Il nous semble avoir franchi un pas de plus en ayant expérimenté nous-mêmes différentes hypothèses.

4.1. Les données archéologiques

4.1.1. Le bronze

Il existe quelques découvertes de moules monétaires, mais exclusivement pour le bronze. Ces moules proviennent par exemple de Paphos (Chypre, IIe siècle)

(Nicolaou, 1972, p. 310-315), de Khirbet Rafi (vallée du Jourdain, IIe siècle) (Kloner, 1976 ; Meshorer, 1982, LVI) ou de Châteaubleau (près de Paris) (Pilon, 2003), mais la plupart ont été trouvés en Judée (Elayi, 1995)[5].

L'utilisation d'un couvercle confirme la méthode de coulée en chapelet (de 12 à 15 cupules à Khirbet Rafi). Elle se faisait dans un moule fermé. Deux plaques étaient alors jointes, une dans laquelle avaient été forées les cupules et l'autre qui servait de couvercle ; des traces de métal et de combustion sont d'ailleurs présentes sur ces couvercles. On retrouve sur la plaque forée une cavité centrale au fond de la cupule provoquée par la vrille lors du forage. Des canaux étaient aménagés pour faciliter le passage du métal. La masse de métal coulée dans ces moules était variable : environ 1 kg pour Châteaubleau, 2 kg pour Khirbet Rafi. Ces moules sont en pierre, principalement en calcaire (4 découvertes à Chypre et en Israël du IIe siècle), mais un exemplaire d'époque romaine en terre cuite est connu (Thessalonique, IVe siècle).

Le nombre des découvertes relatives au bronze permet d'être fidèle dans la reproduction de la technique de coulée. Ce n'est pas le cas pour l'argent.

4.1.2. L'argent

La technique de fabrication des flans en argent pose problème car les indices sont peu nombreux. La découverte de moules en litharge par Conophagos semblait fournir la réponse. Dans ces moules, trouvés au Laurion, avaient été imprimées des cavités à l'aide du pouce, ce qui permettait, selon l'ingénieur athénien, de verser le métal en fusion et d'obtenir ainsi les flans des chouettes. Malheureusement, des moules similaires datés de l'âge du Bronze ont été mis au jour récemment, ce qui remet en cause l'interprétation de Conophagos.

Les hypothèses ont toujours été formées autour d'une coulée dans un moule ouvert. D'autant que D.G. Sellwood, lors de ses premières expérimentations, affirmait qu'il était possible d'obtenir un poids relativement régulier en coulant le métal en fusion dans des moules prévus à cet effet.

4.2. Observation des monnaies

À partir de l'observation des monnaies d'argent et de bronze, il semble évident que la technique diffère selon le métal.

Bien sûr, la valeur intrinsèque de la monnaie d'argent et d'or implique que les poids soient calibrés avec une grande précision. Pour ne citer que cet exemple, les chouettes athéniennes (Ve-IVe siècles) offrent un écart type d'environ 0,5 g.

Au contraire, les monnaies de bronze ont une valeur essentiellement fiduciaire. Leur poids revêt donc beaucoup moins d'importance. L'étude d'un trésor de bronze lagide du IIe siècle par Th. Faucher a montré que les poids pouvaient varier du simple

5. On consultera avec profit le travail de synthèse mené par Donald Ariel sur les moules monétaires de Méditerranée orientale (Ariel, Forthcoming).

au double. Dès lors, les critères du diamètre et encore plus celui de la typologie sont aussi importants que celui du poids lorsqu'il s'agit de différencier les diverses dénominations.

	Nombre	Poids théorique (g)	Poids moyen observé (g)	Écart type (g)	Écart type (% du poids moyen)
Tétradrachmes de Babylone du trésor d'Akçakale (fin IVe s.)[1]	56	17,20	17,10	0,26	1,52
Tétradrachmes athéniens (Ve-IVe s.)	667	17,20	16,75	0,55	3,28
Bronzes du trésor de Gezeir (IIe s.)[2]	107		8,23	0,94	11,42
Bronzes du trésor de Gezeir (IIe s.)	101		16,24	1,46	8,99

Tableau 2 : Poids comparés de certaines séries de monnaies antiques.
[1] Trésor de 190 alexandres dont 56 de Babylone de la fin du IVe s. trouvé à Akçakale en 1958 (Le Rider & Olcay, 1988).
[2] Trésor de 213 bronzes lagides du IIe s. (Faucher & Shahin, 2006).

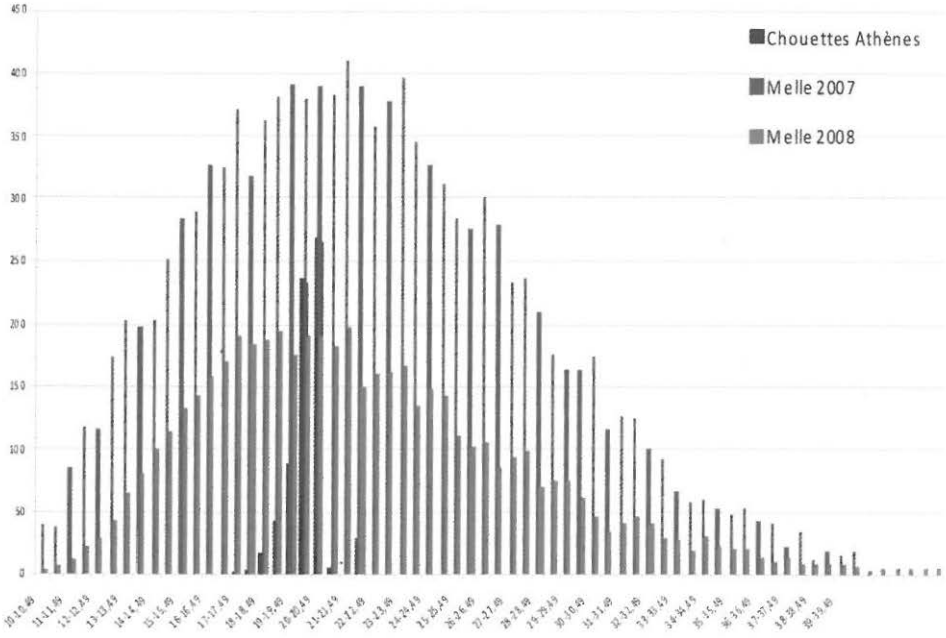

Fig. 3 : Poids comparés des monnaies antiques et celles issues des expérimentations.

4.3. Aspect de la monnaie

On observe régulièrement des traces de tenons de coulée sur les monnaies de bronze, signe d'une coulée en chapelet. Outre sa simplicité de mise en œuvre, cette méthode permet aussi de produire rapidement des quantités très importantes de flans.

À l'inverse, on ne retrouve que très exceptionnellement ces traces sur des pièces d'argent. Cela montre que les techniques de fabrication des monnaies d'argent étaient

différentes de celles des bronzes[6]. On ne retrouve également que très peu de traces de gouge, épiphénomène principalement observé sur les monnaies romaines (Stannard, à paraître). Il en résulte que les flans d'argent étaient alors conçus individuellement et directement au bon poids.

4.4. Préparation des moules

En accord avec les découvertes archéologiques, le calcaire s'est imposé comme matériau. Des tests ont donc été réalisés sur une pierre calcaire issue d'une carrière située aux alentours de Melle. Les résultats n'ont pas été concluants. En effet, après une seule utilisation, le moule s'était déjà largement détérioré et cela malgré l'usage de graphite ou de suie afin d'éviter les arrachements de pierre lors de l'extraction des flans (Deraisme, 2003). Nous pensons que l'impossibilité d'utiliser ces moules est principalement liée à la qualité du calcaire utilisé, celui que nous avions choisi ne convenant pas à un usage de fonderie. Pline déjà indiquait que certains calcaires résistaient mieux au feu que d'autres (Pline l'Ancien, XXXVI, 168). Il faut noter que les découvertes de ces moules monétaires sont limitées à la fois dans l'espace et dans le temps puisqu'on ne les a retrouvés qu'en Méditerranée orientale et qu'ils datent principalement de la fin du IIe et du Ier siècle BC.

Il aurait fallu disposer d'un matériau très proche de celui retrouvé archéologiquement, à savoir du calcaire provenant de Judée ou de Chypre. Le coût, ainsi que les difficultés techniques entraînées par la production de tels moules, nous ont amenés à rechercher d'autres solutions.

4.4.1 Argent

En 2007, nous avions alors privilégié l'utilisation du sable de fonderie[7]. Utilisé dans la métallurgie, il est possible d'y imprimer la forme voulue sans que celle-ci se déforme au contact du métal en fusion. L'inconvénient majeur de l'utilisation de ce matériau réside dans l'obligation de refaire les moules après chaque coulée, d'une part parce que le matériau brûle au contact du métal, et d'autre part parce que le démoulage des flans détruit les cavités. Son utilisation est donc unique. Toutefois, le façonnage de ces moules est aisément reproductible, mais nécessite un temps important.

Le sable de fonderie est disposé dans un cadre en bois et ensuite tassé au marteau. Nous avions fait usiner en relief des cylindres à la dimension des cupules, de différents diamètres (18-20 mm) et à l'épaisseur adéquate pour obtenir idéalement des flans de 17,20 g d'argent. Contrairement à ce qu'il avait été observé sur les monnaies, des tenons étaient tracés entre les cupules, permettant une meilleure coulée du métal. En

6. Il existe également pour le bronze une technique qui consistait à découper des rondelles dans des barres qui étaient ensuite martelées afin d'obtenir le bon diamètre (Faucher, 2006, p. 244-247).

7. Ceci est proche de l'hypothèse de Cooper (1988, p. 10), à ceci près que notre sable de fonderie remplace l'argile.

effet, après quelques essais, nous avions pu remarquer qu'il était impossible de verser le métal successivement dans chaque cupule, puisque celui-ci se refroidit rapidement et se fige dans le creuset, empêchant sa coulée. Dans chaque moule étaient creusés 48 flans (4 x 12).

En 2008, afin de gagner du temps et pour ne pas être soumis à la production d'un nouveau moule après chaque coulée, l'emploi de moules en briques réfractaires a été privilégié. Ceux-ci pouvaient subir entre 10 et 15 opérations avant d'être remplacés.

Les cupules étaient ici creusées à la perceuse dans la brique réfractaire. Dans ce cas, il n'était pas possible de relier les cupules entre elles par des tenons de coulée, ceci fragilisant trop la brique. En début d'opération, une fine couche de graphite était apposée sur le moule. Elle permettait d'éviter trop d'arrachements de surface lorsque les flans, une fois coulés, étaient retirés des moules.

4.4.2. Bronze

En 2009, lors des expérimentations sur la monnaie de bronze, l'équipe a refait le choix du sable de fonderie. Cela permettait d'être au plus près des vestiges archéologiques, sans le surcoût lié à l'importation de calcaire de l'étranger. Seule la plaque de couvercle était en calcaire réfractaire; il s'agissait de plaques de fours résistant parfaitement aux chocs thermiques.

Comme en 2007, le sable de fonderie était disposé dans un cadre en bois et tassé au marteau. Cette fois-ci, les tenons étaient légitimes puisque nous pouvons les observer à la fois en relief sur les monnaies, et en creux sur les moules issus des découvertes archéologiques. La taille des cadres en bois, plus grands qu'en 2007 (11 x 8 = 88 flans), a été calquée sur certains exemples archéologiques; elle était également fonction du poids de bronze que nous souhaitions fondre à chaque coulée (environ 1 kg). Dans la partie supérieure, un canal de coulée était aménagé afin de faciliter le passage du métal. Le couvercle était ajusté à l'aide de serre-joints et placé un peu plus haut que le moule afin d'obtenir une butée très pratique lors de la coulée.

4.5. Coulée du métal

4.5.1. Argent

Les moules étaient disposés à proximité du four sur une plaque de fonte pour laquelle avait été vérifiée la planéité. Le creuset était rempli d'1 kg d'argent, de granules de métal tout d'abord, puis de pièces issues de l'expérimentation ensuite, de sorte qu'un stock de métal de 17 kg nous a permis de fonctionner en circuit fermé. Le poids du métal déposé dans le creuset correspondait théoriquement à la capacité d'un moule (48 x 17,2 g + les tenons de coulée). Une fois le métal fondu, le creuset était sorti du four avec une pince. Le métal en fusion était alors versé dans le moule d'un geste rapide et régulier, les différents chapelets étaient remplis. La deuxième année des expérimentations, lors de l'utilisation des moules sans tenons de coulée, il fallait verser le métal successivement dans chaque cupule. Même avec un peu d'expérience,

l'opération était longue et délicate[8]. Les flans étaient récupérés à l'aide de pinces après qu'ils s'étaient solidifiés (le métal se fige en quelques secondes).

Argent	Nombre	Poids théorique (g)	Poids moyen observé (g)	Écart type (g)	Écart type (% du poids moyen)
Melle 2007	12211	17,20	22,17	6,24	28,15
Melle 2008	5174	17,20	18,91	5,82	30,78
Tétradrachmes de Babylone du trésor d'Akçakale (fin IVe s.)	56	17,20	17,10	0,26	1,52
Tétradrachmes athéniens (Ve-IVe s.)	667	17,20	16,75	0,55	3,28

Tableau 3 : Poids et écart type des monnaies antiques et de celles issues des expérimentations de 2007 et 2008.

La technique du moule ouvert devait nous permettre de calibrer au mieux les poids de nos monnaies. Il en résulte un échec complet, tant du point de vue des poids moyens constatés que de l'écart type moyen. Si, comme dans les ateliers antiques, nous avions dû écarter les pièces trop lourdes ou trop légères (en tolérant par exemple les monnaies entre 15 et 19 g, ce qui est extrêmement large comparé aux poids observés sur les monnaies anciennes), nous aurions remis à la fonte près de 78 % de notre production de 2007 et 72 % de celle de 2008. Il est certain que les Anciens ne pouvaient se le permettre étant donné les sommes engagées. Ce qui permet de remarquer que notre échec constitue une avancée en soi puisqu'il est indéniable que cette technique de fabrication de flans, qui, rappelons-le, est généralement admise, n'était pas en usage dans l'Antiquité.

Malgré l'inexpérience de l'équipe, la technique de coulée est par nature trop imprécise. Couler 1 ou 2 kg d'argent à l'aide d'un creuset tenu au bout d'une pince dans des cupules de 20 mm de diamètre est une gageure. Même si une plus grande expérience doit permettre d'améliorer ces résultats (amélioration sensible entre 2007 et 2008), il est impossible de calibrer un flan à 0,25 ou même 0,5 g près en coulant selon cette méthode. Par conséquent, celle-ci doit être écartée.

4.5.2. Bronze

Lors de la coulée du bronze, le moule était disposé à 45°. Cette information, qui pouvait paraître anodine, a été révélée par l'étude d'un reste de métal sur l'un des moules monétaires découverts à Châteaubleau (Pilon, 2003, p. 47)[9]. Après avoir expérimenté différentes inclinaisons du moule, la position à 45° est bien la plus

8. D.G. Sellwood écrivait qu'il était possible de calibrer de manière satisfaisante les flans à l'aide de cette technique. Il faut rappeler ici que les creusets utilisés par le savant anglais ne contenaient pas plus de 200 g d'argent, ce qui rendait la manipulation bien plus aisée (Sellwood, 1963, p. 225).

9. Information relevée du fait de la présence d'une coulure oblique sur une tranche des moules de Châteaubleau.

efficace, puisqu'elle permet de créer un évent naturel et ainsi de chasser l'air du moule lors de la coulée du métal.

Là encore, le creuset était sorti à la pince. Pour chaque coulée, 800 g de métal étaient fondus. D'abord le cuivre, puis l'étain (92 % de cuivre, 8 % d'étain) ; le métal ayant le plus haut point de fusion devant être fondu en priorité (1 084 °C pour le cuivre, 232 °C pour l'étain). De même que pour l'argent, le poids de chaque charge suivait la capacité du moule (88 x 8 g + tenons de coulée).

Suivant la température du métal, deux techniques de coulée étaient optimales. Lorsque le métal est bien chaud, il est possible de remplir les différents chapelets un à un. Au contraire, lorsque le métal est moins liquide, on risque de boucher les tenons, il faut alors privilégier des allers-retours réguliers. Quoi qu'il en soit, il est toujours plus facile de couler lorsque la température du métal est plus élevée. Les moules étaient ensuite ouverts à l'aide de gants et les chapelets extraits avec des pinces.

Le petit nombre d'ouvriers de l'atelier nécessite d'être organisé et efficace. Il faut gérer la fabrication des moules, la fonte du métal, ainsi que la coulée. En comptant une trentaine de coulées par jour pour produire environ un millier de monnaies (selon le métal), il faut un minimum de 2 personnes autour du four pour accomplir les différentes tâches.

Bronze	Nombre	Poids moyen observé (g)	Ecart type (g)	Écart type (% du poids moyen)
Melle 2009	3000	8,73	1,98	22,68
Bronzes du trésor de Gézéïr (IIe s.)	107	8,23	0,94	11,42
Bronzes du trésor de Gézéïr (IIe s.)	101	16,24	1,46	8,99

Tableau 4 : Poids et écart type des monnaies antiques et de celles issues des expérimentations de 2009.

La comparaison avec les bronzes du trésor de Gézéïr montre que les résultats obtenus lors de l'expérimentation sont relativement proches : 8,73 g pour l'équipe et 8,23 dans le trésor de Gézéïr. Et cela, même si l'écart type moyen est moins bon : 22,68 % contre un peu plus de 11 % pour Gézéïr. L'écart type tient bien sûr à l'amplitude des poids. En effet, nous avons toléré des flans allant de 3 à plus de 17 g (dans le trésor de Gézéïr les poids s'échelonnent de 6,5 à 11,5 g) dans le but avoué de favoriser la frappe de la monnaie et ainsi de produire le plus grand nombre de pièces possible.

Néanmoins, même après deux sessions d'expérimentation, l'inexpérience de l'équipe tant à la fabrication de moules qu'à la coulée n'a pas permis de se conformer aux résultats obtenus dans l'Antiquité. Mais il faut certainement imaginer une mise à l'écart des pièces les moins bien calibrées, c'est du moins ce que semble montrer le graphique des poids des monnaies de Gézéïr, où les monnaies pesant moins de 6,5-7 g ont clairement été écartées.

4.6. Traitement des flans

4.6.1. Argent

Pour l'argent, il n'était pas prévu au départ d'opération de traitement. C'est l'utilisation de moules en chapelet qui nous a obligés à nous adapter. On sait que les tenons n'apparaissent pratiquement pas (à de rares exceptions) sur les monnaies en argent. Inutile donc ici de s'attarder sur la découpe des chapelets, opération rendue nécessaire pour la frappe mais scientifiquement inintéressante. Il est cependant important de constater qu'il existe des tenons sur des monnaies d'argent.

4.6.2. Bronze

Dans un premier temps, les essais d'un burin pour découper les flans et d'une meule pour les polir ont donné des résultats très satisfaisants, réellement proches de ceux constatés sur les monnaies antiques. Par contre, notre manque d'expérience ne nous permettait pas d'accéder à une cadence suffisamment régulière pour alimenter correctement l'atelier de frappe. Comme nous nous concentrions principalement sur la frappe elle-même, il a été décidé, comme dans d'autres cas, de sacrifier à la modernité pour gagner en productivité. Très vite, nous avons donc utilisé une disqueuse pour le polissage et la découpe de nos flans. Un traitement plus soigné aurait été nécessaire. On peut mesurer encore une fois le temps important nécessaire à ce genre d'opération, même pour un ouvrier spécialisé. On notera tout de même que les Anciens devaient être attentifs à la récupération du métal.

Lors des deux premières années, et compte tenu de la valeur de l'argent, nous avons traqué les moindres petites billes. Lors de la dernière saison, nous n'avons pas pris le temps de récupérer le bronze issu des différentes étapes de polissage et de découpe. À la vue des poussières qui tapissaient la plate-forme et considérant le prix du métal, il semble que la récupération de ces "déchets" était un élément incontournable des opérations menées dans l'Antiquité.

5. La frappe des monnaies

Dans la chaîne opératoire de la fabrication de la monnaie, la frappe est l'ultime opération qui permet au flan de devenir une monnaie. L'opération est simple mais soulève un nombre important de questions, en particulier pour ce qui concerne la nature précise de l'outillage utilisé à l'époque grecque. Certaines interrogations peuvent trouver un début de réponse dans les expérimentations que nous avons menées, mais ces dernières en génèrent d'autres qui nécessiteraient de nouvelles expérimentations ciblées.

La technique de frappe de l'Antiquité est relativement bien connue. D'une part, nous sont parvenues une série de représentations[10], et d'autre part, la frappe est demeurée sensiblement la même jusqu'à l'apparition du balancier au XVIe siècle. Elle

10. Datant principalement de l'époque romaine.

nécessite du métal préalablement ouvragé de manière à ce que celui-ci se présente telle une pastille : le flan. Ensuite, deux matrices – les coins – servent à imprimer les types et les légendes sur les deux faces du flan. Encore, une enclume, sur laquelle les coins sont disposés. Et finalement, un outil pouvant servir à transférer la force nécessaire à l'impression dans la pastille de métal : le marteau ou la masse. Le point crucial de l'opération de frappe de nos sessions d'expérimentation est donc le choix de l'outillage. De nombreux paramètres ne nous sont connus que d'une manière indirecte et imprécise[11] ; là encore, il a été nécessaire de faire des choix.

Il ne semble pas que l'opération de frappe soit forcément étroitement liée à la préparation des flans. Les deux opérations sont distinctes et nécessitent des ouvriers avec des compétences différentes. L'un doit maîtriser la force et la précision, alors que l'autre doit être capable de gérer la température du four, une compétence qui s'acquiert par l'expérience[12]. Dès lors, la frappe et la transformation du métal n'ont pas à être localisées au même endroit, ne serait-ce que pour des questions de sécurité. Cette hypothèse semble être corroborée par les minces indices archéologiques à notre disposition[13].

5.1. Les outils (présentation des outils et explication des choix)

Quelques éléments nous renseignent sur l'outillage utilisé par les ouvriers chargés de frapper les monnaies grecques.

5.1.1. La masse

Les représentations (fig. 4-9) offrent peu d'informations précises sur la forme de l'outillage. De plus, les renseignements sur la composition métallique de ces outils sont extrêmement rares. Le marteau était-il en fer ou en bronze ? La même question se pose pour les coins. Et si ces derniers étaient en bronze, quel était leur alliage ? Même si des découvertes très récentes nous apportent peut-être de nouvelles données à ce sujet, pour l'heure, les interrogations ne peuvent trouver des éclaircissements qu'à travers l'expérimentation, mais des choix s'imposent et peuvent influencer les résultats. Il faut donc exposer les motivations qui ont engendré ces choix.

Le marteau sélectionné, une masse de 4,5 kg, est en fer. Les scènes de frappes antiques montrent que l'ouvrier chargé de la frappe tient un marteau lourd, puisqu'il est toujours tenu à deux mains. Cependant, les Grecs auraient aussi bien pu utiliser une masse de fer ou de bronze. Seules des expérimentations avec une masse en bronze pourraient amener à apprécier l'influence découlant du choix de la masse sur les

11. À cet égard, la prochaine publication de l'atelier monétaire celte découvert en Suisse lors de fouilles archéologiques sera, sans doute, très instructive (Ziegaus, à paraître).

12. Voir notre précédent article (Faucher *et al.*, 2009, p. 58).

13. Cela semble être le cas à Laos, dans deux bâtiments (1ère moitié du IIIe s. a.C.) situés l'un en face de l'autre ; s'il s'avère que la "casa della zecca" est bien le lieu de fabrication de la monnaie (Cantilena, 2001, p. 175-181). Cependant, on remarquera qu'il n'est pas rare sur les scènes de l'époque médiévale de voir dans un même lieu l'ouvrier chargé de frapper des monnaies et un four en arrière-plan.

Fig. 4 : Métaponte, statère (Gorny et Mosch 160, 9 octobre 2007, 1071).

Fig. 5 : Populonia, Paris BN, fonds général 36.

Fig. 6 : Paestum, semis (NAC 27, 12 mai 2004, 41).

Fig. 7 : Rome, denier de Carusius (H.D. Rauch 81, 21 novembre 2007, 246).

Fig. 8 : Rome, tessère (Vienne, Kunsthistorische Museum).

Fig. 9 : Rome, contorniate (Londres, British Museum).

résultats. Néanmoins, le choix d'une masse lourde, contrairement à un marteau léger tel qu'utilisé par d'autres expérimentateurs, nous a semblé beaucoup plus significatif que la possibilité d'utiliser le fer ou le bronze. D'ailleurs, le simple choix d'un marteau plus lourd peut modifier les résultats et ainsi améliorer nos connaissances de la technique de frappe antique.

5.1.2. Les coins

Les contraintes les plus fortes étaient liées à la fabrication des coins. Le financement réduit dont disposait l'expérimentation a forcé certains choix.

La gravure des coins a été effectuée par M. Ducouret, graveur sur métal. Cet artisan avait déjà eu l'occasion de travailler avec les Mines d'argent des Rois Francs de Melle. De plus, son lieu de résidence, proche du site des expérimentations, facilitait les échanges. Malheureusement, M. Ducouret n'avait pas réalisé de coins monétaires imitant les coins antiques à l'exception d'un exemplaire de coin de revers de chouette athénienne et d'un coin de droit de monnaie celte. La première année, en 2007, le temps nous manquant, nous avons décidé d'utiliser des coins qui étaient à disposition de notre graveur, à savoir ces types celte et grec. Pour la deuxième année d'expérimentation, notre coin de droit a été regravé, ce qui permettait, nous semblait-il à l'époque, de repartir sur de nouvelles bases pour la nouvelle saison d'expérimentation.

Dans le cadre de l'expérimentation de la frappe des monnaies de bronze, l'équipe a choisi un type plus adapté à nos besoins, à savoir les types d'une monnaie lagide du IIe siècle, présentée plus haut, portant au droit une tête de Zeus Ammon et au revers deux aigles.

Dans les deux cas, la gravure des coins s'est faite à l'aide de poinçons, une technique qui n'avait pas été utilisée par les Grecs mais qui permettait non seulement à M. Ducouret d'exercer au mieux ses talents, mais en outre, et ce n'est pas un détail, de disposer de plusieurs coins avec une seule matrice (cela abaissant considérablement le coût final de l'opération).

Dans l'Antiquité, on sait qu'il existait des coins en fer et d'autres en bronze, sans qu'il soit possible de savoir à quelle destination *était dévolu* chaque métal. Les spécialistes soupçonnent, en bonne logique, que le bronze ait servi à frapper l'or et l'argent alors que le fer *était utilisé pour* le bronze. Dans le but de comparer les différents matériaux, il a été décidé de confectionner des coins de droit et de revers en fer et en bronze. Dans le cadre des expérimentations sur l'argent, le choix du métal a été laissé à M. Ducouret, ce dernier utilisant le métal dont il disposait (Faucher *et al.*, 2009, p. 61-64).

La frappe du bronze ayant été programmée plus en amont, il a été possible de préparer des cylindres de bronze lors d'une session d'expérimentation, permettant ainsi de disposer d'un alliage dont nous connaissions la teneur métallique. Le choix de l'alliage s'est inspiré de la composition connue d'un coin d'Auguste authentique

conservé au Cabinet des Médailles de la Bibliothèque Nationale[14]. Les coins en fer ont, quant à eux, été façonnés dans des cylindres en fer de récupération. Il s'agit d'un fer provenant d'une église du XVIIe siècle. Ce matériau comportant des inclusions et des faiblesses semblait plus proche du matériau antique que le fer provenant d'usines modernes.

Les dimensions des coins ont été adaptées à ce que nous connaissions, à savoir un droit dont la largeur permettait de frapper la monnaie sans que l'on puisse jamais déceler le bord du coin. Pour le revers, au contraire, le bord du coin devait suivre d'assez près le grènetis, comme les monnaies le montrent.

5.2. L'opération de frappe

Le coin de droit repose sur l'enclume, c'est celui qui, d'après l'examen des monnaies qui nous sont parvenues, possède la durée de vie la plus longue. En pratique, cette observation se vérifie puisque comme nous l'étudierons plus bas, les coins de revers se sont détériorés beaucoup plus rapidement. Le coin peut donc reposer librement sur l'enclume et les expérimentations ont démontré que celui-ci ne nécessitait pas de dispositif particulier lui permettant de demeurer enchâssé comme il a souvent été imaginé. Par contre, le coin de revers, qui est mobile, doit être tenu par un autre ouvrier, d'où les pinces que l'on voit sur les représentations. Celles-ci sont destinées à tenir le coin de revers. Nous avons procédé à des frappes à l'aide d'une paire de pinces similaire à celles que l'on observe sur les représentations. L'expérience fut concluante (fig. 10). Cependant quelques observations peuvent être formulées : avec l'usage de pinces, il arrive occasionnellement que le coin soit éjecté. Dès lors, un coin de revers tenu par des pinces obtiendra une meilleure adhérence s'il est de forme circulaire. L'onde de choc qui se transmet à travers les pinces est assez importante, même avec des gants. Les pinces étant courtes, les risques d'accident étaient présents et ainsi, pour des questions de sécurité, nous avons privilégié des manches en bois enchâssés

Fig. 10 : Coins de revers en bronze maintenu avec une pince.

14. Sa composition est de 75,1 % de cuivre et de 23,1 % d'étain (Amandry, 1991, p. 96 ; Le Gentilhomme, 1946, p. II-VIII ; Malkmus, 1991, p. 46).

sur les coins de revers pour la majeure partie des opérations (fig. 11). Nous ne pensons pas que ces manches puissent être susceptibles d'avoir modifié les résultats[15].

Fig. 11 : Frappe de la monnaie.

5.3. Frappe à chaud ou frappe à froid ?

Cette question est essentielle et selon la méthode, les moyens à mettre en œuvre diffèrent largement. Par exemple, dans le cas de la frappe à chaud, qui consiste à faire monter les flans en température juste avant de les frapper, ce qui accroît leur ductilité, il est nécessaire d'avoir à proximité du lieu de frappe des installations permettant le réchauffement (Sellwood les montait à 700 °C). De plus, les flans réchauffés ne sont plus maniables à main nue, ce qui contribue d'autant à compliquer et à ralentir les opérations. Les expérimentateurs qui nous ont précédés[16] ont privilégié la frappe à chaud. Leurs conclusions, largement reprises depuis, estiment qu'il est plus facile de frapper un flan réchauffé, et par conséquence, que cette technique devait être utilisée dans l'Antiquité.

5.3.1. Argent

Toutefois, lors de nos sessions expérimentales, il s'est avéré que la frappe à froid convenait tout à fait à l'argent : un seul coup de masse permet d'imprimer les types monétaires[17]. Le choix d'un marteau lourd, plus proche des représentations antiques que des représentations médiévales, démontre ainsi à quel point, parfois, les choix peuvent influencer les résultats. Dès lors, il n'y a pas lieu d'imaginer que les Grecs aient choisi la frappe à chaud, plus fastidieuse, alors que la frappe à froid, la solution

15. D'ailleurs, le coin (?) de revers retrouvé à Sounion possédait un orifice qui servait possiblement à insérer un manche (Kalligas, 1995, p. 143).

16. D. G. Sellwood (1963) et L. Beer-Tobey (1979) avaient préconisé la frappe à chaud. D. G. Sellwood avait néanmoins tenté les frappes à froid sur une centaine de monnaies.

17. Et cela sur des flans dont les poids varient d'une dizaine de grammes à environ 40 g. Rappelons que les décadrachmes pesaient un peu plus de 40 g et qu'il semble donc qu'il était possible de les frapper d'un seul coup avec un tel marteau.

la plus simple, convenait parfaitement et a dû s'imposer[18]. Par contre, il est commun de voir des monnaies tréflées. Si un tréflage existe, il est synonyme d'un second, voire d'un troisième coup de marteau en cas de mauvaise impression. On a pu constater que lorsque la monnaie était rengrénée et frappée plusieurs fois, s'il est facile de la rengréner sans laisser apparaître de tréflage, un détail apparaît : le glissement du grènetis. Le métal chasse vers l'extérieur ; des traces radiales apparaissent ainsi, qui vont du type au grènetis comme sur les deux exemplaires ci-dessous, le premier issu des expérimentations, le second du monnayage de l'Égypte hellénistique (fig. 12).

Fig. 12 : Monnaies en argent avec des traces de glissement radial du métal (à gauche Melle, à droite Monnaie de Ptolémée).

5.3.2 Bronze

En 2009, lors de la troisième saison des expérimentations, la frappe des monnaies de bronze change légèrement les données du problème. L'opération est identique, mais le bronze est plus dur que l'argent[19]. Néanmoins, il s'est avéré que la frappe à froid imprimait bien, même si elle nécessitait une vigueur supplémentaire de la part de l'ouvrier responsable. En outre, plus le diamètre et le poids sont grands, plus l'effort à fournir est important. Le nombre élevé de monnaies tréflées montre qu'un deuxième coup de marteau était souvent asséné pour imprimer correctement la monnaie. Ce fut le cas pour les ouvriers de notre équipe, surtout au début des opérations. Mais comme il est noté plus haut, il est relativement facile de rengréner la monnaie, et ce, en un temps très rapide. Dans un tel cas, aucune trace de tréflage n'est visible, ni au droit, ni au revers.

5.4. Productivité

5.4.1. Argent

La reconstitution de la chaîne opératoire qui mène à la fabrication de monnaies permet d'apprécier la productivité que pouvait atteindre un atelier antique. Lors des sessions de frappes de 2007 et 2008, nous avons frappé respectivement 12 281

18. Les conditions ont pu néanmoins varier d'un atelier à l'autre et il n'est pas totalement exclu que les Grecs aient également utilisé la frappe à chaud.

19. La dureté de l'argent est de 60 sur l'échelle de Knoop et de 2,5 sur l'échelle de Mohs, alors que le cuivre a une dureté de 163 sur l'échelle de Knoop et de 3 sur l'échelle de Mohs. Bien sûr, l'alliage de bronze, qui incorpore de l'étain dans sa composition, change ou modifie sa dureté. Généralement, la dureté du bronze augmente en fonction de sa teneur en étain.

et 5590 monnaies, soit en tout 18271 pièces imitant les tétradrachmes attiques. Bien que le rendement de notre équipe de 4 personnes, d'abord inexpérimentée (et soumise aux aléas de la météo), fût assez inégal, il nous a été possible à plusieurs reprises de dépasser les 1000 monnaies par jour (maximum atteint: 1187). Ces chiffres fournissent alors une indication, certes approximative mais intéressante lorsqu'elle est rapportée à l'Antiquité grecque. Une équipe expérimentée pouvait vraisemblablement frapper plus de 30000 monnaies en un mois. Bien entendu, si l'on multiplie le nombre d'ouvriers, de fours et d'enclumes, ce total peut arithmétiquement s'accroître. On peut dès lors mieux réaliser que des émissions peuvent avoir été fabriquées dans un laps de temps relativement court.

5.4.2 Bronze

La frappe de la monnaie de bronze n'a pas pu être aussi productive. En effet, les opérations de traitement du flan après la coulée (découpe et limage) ont pris un temps considérable aux ouvriers chargés de la frappe. De plus, la difficulté de la frappe obligeait d'une part à répéter régulièrement l'opération pour une seule et même monnaie, d'autre part à une rotation plus rapide des équipes. Après un début assez lent lié à la difficulté de frapper les flans en bronze, un rythme régulier de 300 monnaies par jour a pu être atteint, avec une pointe à plus de 600 monnaies. On est amené à penser que les cadences de frappe de la monnaie de bronze étaient sans doute moins intensives que celles de la frappe de la monnaie d'argent ou d'or. Cette baisse de productivité est liée à la difficulté de frapper les pièces, et donc à la fatigue des frappeurs (les esclaves dans l'Antiquité), ainsi qu'à la nécessité de refrapper plusieurs fois les pièces pour obtenir une impression de bonne qualité, même si les monnaies de bronze à fleur de coin peuvent souffrir de quelques défauts.

Fig. 13 : Monnaie du trésor de Touna el Gebel tout juste sortie de l'atelier d'Alexandrie avant son enfouissement (Musée égyptien du Caire).

5.5. Accidents de frappe

Une productivité telle que nous l'avons expérimentée lors des journées où plus de 1000 monnaies ont été frappées nous a permis de mieux comprendre le phénomène des *brockages*, ces monnaies ratées dont le seul équivalent français serait "incuses accidentelles". Elles se produisent lorsque la monnaie tout juste frappée reste coincée dans le coin de revers et qu'elle y demeure pendant qu'un nouveau flan est disposé dans le coin de droit. Le coin de revers cesse d'être incus et prend alors un relief. Le choc chasse le métal et le relief de la monnaie coincée dans le coin de revers s'imprime

en creux sur le nouveau flan (fig. 14). On peut se demander pourquoi l'ouvrier ne s'est pas rendu compte que la monnaie était restée coincée. Lors des expérimentations, ces accidents de frappe se sont produits à quelques reprises lorsque le rythme de frappe était élevé. Lors de la frappe, il arrive régulièrement qu'après l'impact, le flan, devenu monnaie, soit éjecté et tombe par terre. Or, lorsque le rythme de frappe est bien lancé, l'ouvrier ne récupère pas toujours immédiatement la monnaie, mais procède à la frappe suivante. Alors, si la monnaie n'a pas été éjectée mais qu'elle est demeurée coincée dans le coin de revers, l'ouvrier qui ne l'a pas remarqué obtient un *brockage*.

Fig. 14 : Brockage (monnaie incuse accidentelle).

6. Usure des coins

C'était le point névralgique de l'expérimentation. Il s'agissait d'*étudier le plus précisément possible l'impact mécanique de la succession des frappes* sur le coin. Il est essentiel puisque cette étude, en permettant de quantifier de manière plus ou moins précise la productivité des coins monétaires, entraîne des répercussions qui vont bien au-delà de la simple étude de l'histoire des techniques, notamment sur la perception de l'économie monétaire, et ainsi de l'histoire politique de l'Antiquité[20].

6.1 L'argent

Nous voulions être le plus prudent possible, nous espérons que la publication de cette étude mettra en relief ce fait. Il s'agissait de ne pas retomber dans les écueils de l'expérimentation menée par Sellwood – ou plutôt dans ceux de ses commentateurs – et de vouloir définir à tout prix une productivité moyenne qui servirait de référence pour un calcul simple. Nous voudrions plutôt offrir un ordre de grandeur, et surtout quantifier l'écart qui pouvait exister entre les différents paramètres (métal du coin principalement, mais aussi par la suite composition métallique de la monnaie).

D'ailleurs, la deuxième année d'opération nous a appris beaucoup à ce sujet. Alors que la première année, presque 10 000 monnaies avaient été frappées avec le même coin, la frappe de 5 000 monnaies l'année suivante avait réussi à mettre hors d'usage le même coin, regravé entre les deux campagnes. Plusieurs facteurs ont pu provoquer cette différence d'usure, facteurs dont il est impossible de connaître le niveau d'implication dans le phénomène. Premièrement, le poids des monnaies

20. Nous ne reviendrons pas ici sur les différents débats concernant la productivité des coins dans l'Antiquité. Nous renvoyons à Faucher *et al.*, 2009, p. 68-77 ; ainsi qu'à Faucher, à paraître.

était légèrement plus faible la deuxième année. Deuxièmement, l'équipe était plus aguerrie; il en résultait des frappes plus vigoureuses, facteur à notre avis non négligeable. Enfin, la regravure du coin a sans doute fragilisé le coin de sorte qu'un coin "neuf" aurait probablement mieux supporté les frappes successives. Cette dernière donnée ne nous est apparue que récemment, lors de l'étude par un collègue anglais de séries monétaires où il a démontré que les coins, une fois regravés, étaient écartés de manière plus rapide que les coins "neufs"[21].

Fig. 15: Usure du coin de droit en bronze en 2007.

21. Nous tenons à remercier ici Robert Bracey (Project curator: Kushan coins au British Museum) pour ces informations.

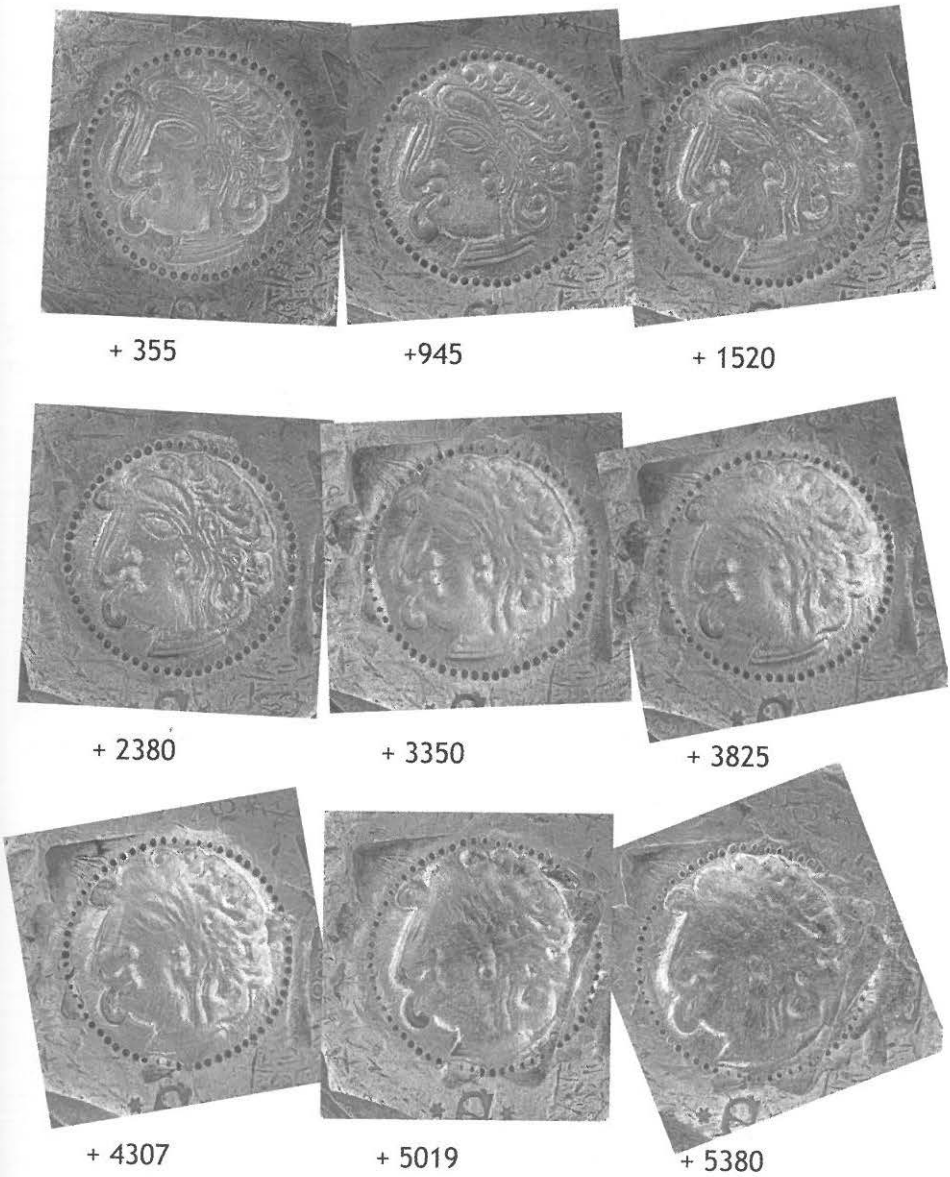

Fig. 16 : Usure du coin de droit en bronze en 2008.

Fig. 17 : Usure du coin de revers en 2007.

6.2 Le bronze

Les numismates antiquisants, en règle générale, employaient le même ordre de grandeur de productivité que ce soit pour les coins ayant frappé de l'or, de l'argent ou du bronze. Le discours, pas toujours admis, mais souvent évoqué, consistait à dire que l'on n'usait pas les coins pour la frappe des monnaies d'or jusqu'à leur terme, afin d'obtenir des monnaies toujours superbes. L'argent sert, lui, de valeur référence. Quant aux coins utilisés pour la frappe du bronze, ils auraient été usés jusqu'à leur dernier souffle, augmentant ainsi artificiellement leur durée de vie. Si ce schéma n'est pas tout à fait dénué de sens, il semble trop caricatural pour être juste. Malheureusement, le coût de l'or ne permet pas d'effectuer des essais sur ce métal. En revanche, la frappe de monnaies de bronze offrait de nouvelles données susceptibles d'être comparées aux expérimentations précédentes.

L'expérimentation a montré qu'il fallait déployer une énergie plus importante pour la frappe du bronze que pour l'argent. Il s'en est suivi une usure beaucoup plus rapide du coin. Le constat est le même pour le droit en fer que pour celui en bronze.

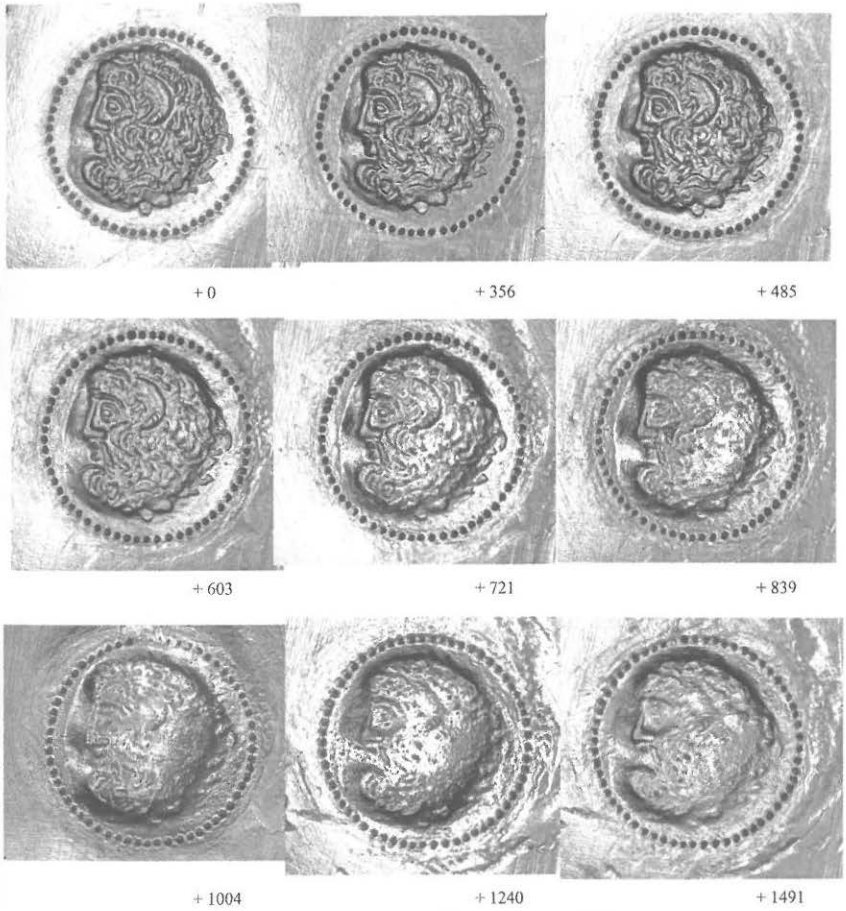

Fig. 18 : Usure du coin de droit en bronze en 2009.

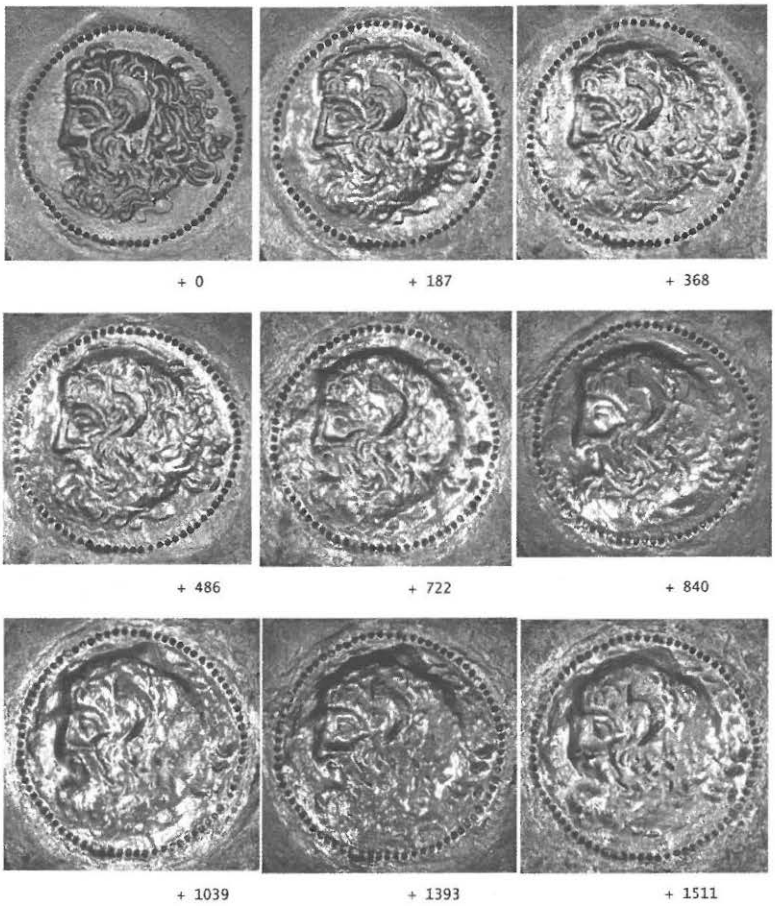

Fig. 19 : Usure du coin de droit en fer en 2009.

La frappe d'environ 1500 monnaies a suffi à user complètement les coins ; ils auraient sans aucun doute été mis au rebut par les monnayeurs antiques. Le constat est sensiblement équivalent pour les deux coins, même si celui en fer a un peu mieux résisté à l'usure. Cela est décelable dans la gravure de l'œil, encore visible à la fin des opérations sur le coin en fer, mais non sur celui en bronze.

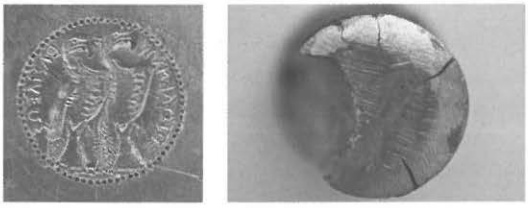

Fig. 20 : Face et dos du coin de revers en bronze utilisé en 2009, après une vingtaine de frappes.

Il est intéressant toutefois de noter que notre revers en bronze a connu un triste sort. Il s'est en effet brisé après à peine 20 frappes, après qu'on a pu apercevoir très

tôt des fissures au point de contact entre la masse et le coin. C'est certainement la preuve que l'alliage utilisé contenait trop d'étain. Pourtant, le coin de droit contenait la même teneur en étain ; mais il ne s'est pas fissuré (on pouvait le prévoir puisque que le coin de droit romain de l'époque d'Auguste contenait plus de 20 % d'étain).

Les autres coins de revers, en fer (le même que le droit), se sont usés encore plus vite que les coins de droit. Après à peine un millier de frappes, la gravure était déjà presque effacée, empêchant en tout cas d'imprimer correctement le flan. Pour les besoins des expérimentations, les deux coins de revers ont été utilisés jusqu'à leur terme. Cela permettait d'apprécier l'évolution de l'usure et était rendu indispensable par la rupture du coin en bronze et la nécessité de continuer à frapper des monnaies pour étudier l'usure des droits.

Fig. 21 : Usure du coin de revers en fer en 2009.

7. Conclusions et perspectives

Le bilan de ces trois années d'expérimentations est très positif. L'archéologie expérimentale est une voie propre pour la découverte de l'histoire des techniques, mais aussi un pourvoyeur d'informations pour les historiens. Bien sûr, ces travaux ne peuvent pas être considérés comme une finalité. Bien des points sont restés en suspens et il est clair que de plus amples opérations amèneraient de nouvelles connaissances et une approche plus globale de la chaîne opératoire du monnayage antique. Nous essaierons ici de présenter succinctement les problèmes les plus prégnants auxquels nous nous sommes heurtés, et ce faisant, d'offrir des perspectives scientifiques à la résolution de ces problèmes.

Les expérimentations ont mis en lumière deux problèmes majeurs auxquels il faudra répondre à l'avenir : la fabrication des flans et l'usure des coins monétaires.

7.1. Production des flans

7.1.1. Argent

L'hypothèse émise d'une coulée des flans d'argent dans un moule ouvert a été largement battue en brèche par nos expérimentations. Il reste maintenant à proposer de nouvelles hypothèses et à les expérimenter.

Les projets pour les prochaines expérimentations s'orientent autour de la production des flans. Il s'agirait de peser à l'avance le poids voulu d'argent, comme le proposaient déjà les professeurs Tylecote (1976) et Conophagos (1976, p. 15 et 1980, p. 371). Après avoir disposé le métal sous forme de grenailles dans un moule, on le placerait dans un four adapté à ce genre d'opérations. Des expérimentations menées en juillet 2010 valident cette hypothèse que nous ne pouvons pas développer ici.

7.1.2 Bronze

Si l'essentiel des découvertes archéologiques conduisent à privilégier l'emploi du calcaire dans la fabrication des moules, les expériences menées à ce sujet se sont révélées infructueuses. Il faudrait à l'avenir pratiquer des essais sur des calcaires des régions dans lesquelles ont été découverts ces moules monétaires (Chypre et Israël). Cependant, la représentativité de nos traces archéologiques peut laisser perplexe. En effet, même si de nombreuses découvertes ont été mises au jour, ces moules en calcaire proviennent d'une zone bien précise : Chypre et la Palestine, et sont principalement datés de la fin de la période hellénistique. L'usage de ces matériaux était-il si courant ?

Il est possible d'envisager la confection de moules dans d'autres matières moins bien conservées de par leur nature et qui auraient donc été détruites : terre cuite comme à Thessalonique (Aubin, 2003), métal (comme le suggèrent Bouyon *et al*, 2000, p. 24), cendres et litharge (Conophagos, 1980, p. 371-2). Quoi qu'il en soit, il ne faut certainement pas imaginer une méthode unique pour l'Antiquité grecque.

7.2. La frappe des monnaies et l'usure des coins monétaires

Nos expérimentations de frappe dans les conditions d'un atelier monétaire grec semblent s'approcher de la réalité antique. Certains résultats en apportent des preuves. En particulier, l'expérimentation a démontré que l'usage de la frappe à froid de l'argent devait s'imposer. Le choix d'un marteau lourd qui a été fait pour la frappe des monnaies montre que la modification d'un seul paramètre est en mesure de modifier considérablement les résultats. Il s'agit d'un acquis important puisqu'il est vraisemblable que la frappe à froid s'applique à toute l'Antiquité. Par exemple, pour les deniers romains, qui sont beaucoup plus minces que les monnaies grecques, il est assurément plus facile d'imprimer les types et donc superflu de réchauffer les flans pour en faciliter la frappe. En ce qui concerne le bronze, la frappe à froid fonctionne également. À côté de cette méthode traditionnelle, il ne faut pas oublier qu'il existe une autre façon de fabriquer des monnaies, même si celle-ci est plus marginale et qu'elle ne concerne que le bronze : les monnaies coulées[22].

Cependant, d'autres voies nécessiteraient d'être explorées. Par exemple, est-ce que lors de frappes de petits modules, les coins s'usent à la même vitesse que sur des gros modules ? Le choix de frapper un module d'environ 20 mm en argent et en bronze a amené des résultats qui ne sont pas forcément reproductibles avec de toutes petites fractions ou des grands bronzes. Il est intéressant de constater dans les études que le rapport entre le nombre de coins de droit et de revers tend plutôt à s'approcher de 1 avec les fractions. On pourrait alors être tenté de considérer une usure plus rapide du coin de droit. De nouvelles expérimentations pourraient nous renseigner sur ce phénomène.

En outre, il est possible de s'interroger sur l'implication de l'alliage monétaire du coin dans les résultats. En effet, si, en 2009 lors de la frappe des monnaies de bronze, il n'est pas apparu une nette différence entre le coin de droit en bronze et celui en fer, la destruction rapide de notre coin de revers en bronze oblige à se questionner sur une possible différence de composition métallique des coins de droit et de revers.

Enfin, et c'est une donnée majeure issue de l'expérimentation, il faudra dorénavant revoir à la baisse les calculs de productivité des coins pour le monnayage de bronze par rapport à ceux consacrés à la frappe de monnaies en argent.

On le voit bien, seules des expérimentations menées sur le long terme, avec des moyens financiers accrus, permettront de répondre à ces questions. Expérimentations que nous appelons de nos vœux.

---

22. C'est d'une manière générale au début des monnayages de bronze que le phénomène apparaît. Ces monnaies sont principalement de forme circulaire, mais parfois la monnaie revêt d'autres formes (cônes, dauphin, roue) (Brousseau, 2010). Nous pensons également au nombre impressionnant de monnaies coulées émises en Égypte à la fin de l'époque hellénistique.