

La technique de fabrication des grands bronzes antiques

Un important dépôt de bronze a été découvert sur le site du sanctuaire gallo-romain du Vieil-Évreux (Eure) (fouillé depuis 1840). Le mobilier, aujourd'hui conservé au musée d'Évreux et à la Mission Archéologique Départementale de l'Eure (MADE), comprend entre autres une exceptionnelle statue de Jupiter (*figure 1*), une statue d'Apollon et une centaine de fragments d'une statue monumentale supposée équestre⁽¹⁾. Ces objets sont de remarquables témoignages des savoir-faire qu'avaient acquis les artisans fondeurs de l'Antiquité. Les récentes recherches que nous avons menées ont montré que la fabrication des grands bronzes antiques (du VI^e siècle avant J.-C. au V^e siècle après J.-C.) reposait sur la maîtrise de deux techniques métallurgiques complexes : le *procédé indirect de fonte en creux à la cire perdue*, qui permettait d'obtenir des parois métalliques particulièrement fines et régulières, au prix d'une coulée en pièces détachées (tête, jambe, bras, torse...), et le *soudage par fusion au bronze liquide*, qui assemblait les pièces préalablement coulées.

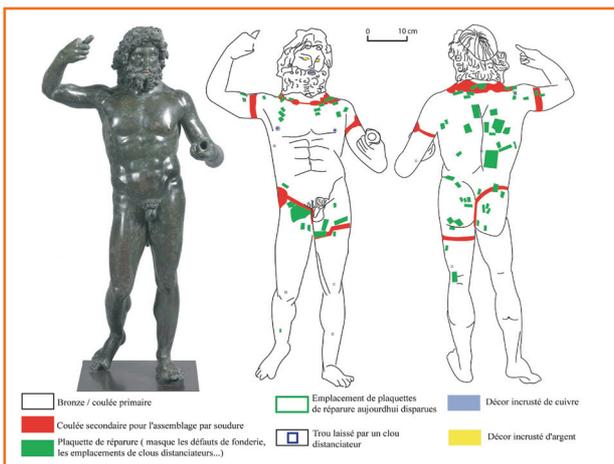


Figure 1 - Synthèse des relevés technologiques effectués sur la statue de Jupiter (h : 92 cm, 1^{er} siècle après J.-C., musée d'Évreux).

Étudier un grand bronze antique

L'étude d'un objet du patrimoine constitue dès le départ un travail interdisciplinaire entre archéologues, historiens de l'art, radiologues, chimistes... Réaliser l'étude technologique d'une statue, c'est identifier les étapes ayant présidé à sa réalisation, et donc comprendre les techniques de fabrication employées. Nous mettons en évidence des critères qui peuvent être utilisés comme de véritables marqueurs technologiques, donc en mesure d'aider à l'authentification, voire à la datation de la statue. Nous observons ainsi la façon de travailler la cire, le découpage de la statue (plan de coulée), les techniques d'assemblage, les types de clous distanciateurs et l'emploi éventuel d'armature pour le maintien du noyau pendant la coulée, les réparures (corrections des défauts de coulée et d'assemblage), les techniques de décor (incrustations, patines, dorures...), sans oublier de déterminer la nature des alliages employés. Pour

accéder à toutes ces informations, il faut mobiliser de nombreuses méthodes analytiques en caractérisation multi-échelle allant de la simple observation visuelle à l'analyse par spectrométrie d'émission atomique⁽²⁾, en passant par l'endoscopie industrielle, la radiographie et la tomographie X, les microscopies optiques et électroniques.

Une technique de fonderie : le procédé indirect de fonte en creux à la cire perdue

Jupiter, Apollon et la statue équestre ont été réalisés en creux et leurs parois sont fines et très régulières (2 à 3 mm). Les avantages d'une fonte creuse sont multiples : économie de matière première, allègement considérable de la statue (la densité du bronze à 10 % massique en étain est d'environ 8,7), solidification rapide et uniforme, donc moins de défauts de fonderie. Le procédé indirect employé par les fondeurs antiques était très complexe, mettant en œuvre deux phases successives de moulage. Il autorisait par ailleurs la réalisation de plusieurs exemplaires identiques d'une statue (tirage multiple d'épreuves en cire). Le principe d'une fabrication à la cire perdue est illustré par l'exemple du bras droit du Jupiter d'Évreux (*figure 2*) : le bras est moulé à l'aide d'une terre argileuse sur un modèle préexistant de la statue, qui peut être en argile cuite ou encore en marbre, depuis l'aisselle jusqu'en haut de la paume (A-B). Le moule obtenu est découpé en au moins deux parties afin d'éviter les contre-dépouilles, on parle ainsi de moule à bon creux (C). Une fine couche de cire (3 mm en moyenne) est appliquée à l'intérieur de chacune des portions du moule obtenu (D). Parallèlement, les doigts sont directement sculptés en cire (ces compléments sont réalisés par le procédé direct en fonte pleine). On procède alors au montage du bras en cire (E). Un noyau de terre est ensuite coulé dans la cavité interne du bras en cire et des clous distanciateurs sont mis en place afin de maintenir le noyau lors des étapes suivantes (F). Le système d'alimentation est lui aussi ajouté en cire (G). Le bras est alors recouvert d'argile pour constituer le moule de coulée (H). Puis cet ensemble est étuvé et retourné afin d'évacuer la cire, avant d'être cuit pour éliminer toute trace d'humidité et renforcer sa structure (I).

Le bronze est versé sous forme liquide dans le

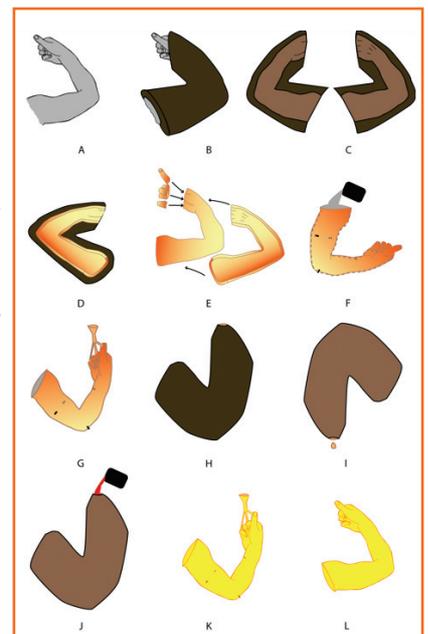


Figure 2 - Proposition de reconstitution de la fabrication du bras droit de la statue de Jupiter du Vieil-Évreux par le procédé indirect de fonte en creux à la cire perdue.

moule ; il remplit l'espace initialement occupé par la cire et prend ainsi la forme exacte du bras (J). Après solidification, le bras en bronze est dégagé du moule (K) ; le noyau, les clous distanciateurs et le système d'alimentation sont retirés (L). Reste ensuite à réaliser toutes les autres pièces de la statue *via* le même procédé avant de les assembler par soudage.

La statue de Jupiter a ainsi été élaborée en six pièces fondues séparément par le procédé indirect de fonte à la cire perdue (tête, bras, jambes et tronc). À la complexité intrinsèque du procédé indirect s'ajoutait parfois une subtilité supplémentaire, puisque des compléments sculptés directement en cire pouvaient venir compléter ou habiller les pièces de cire obtenues par moulage. Ce serait ici le cas des doigts et probablement de certaines mèches de la chevelure et de la barbe. De cette façon, le nombre de contre-dépouilles restait limité tout en conservant des volumes individualisés et nombre de détails en fort relief. À noter enfin que le sexe a été coulé en fonte pleine après l'assemblage des jambes sur le tronc, selon une technique qui se réclame à la fois du procédé direct et du soudage.

Une technique d'assemblage : le soudage par fusion au bronze liquide

Deux paramètres définissent une technique de soudage : les propriétés du métal d'apport qui déterminent le domaine de température de travail, et la nature de la source de chaleur employée. Le soudage était opéré en versant du bronze liquide (coulée secondaire) dans un espace aménagé entre les deux pièces à assembler afin de provoquer la fusion partielle des bords à joindre. Le métal de base fondu se mêle alors au métal d'apport et la solidification de l'ensemble forme un joint continu de matière (*figure 3*). La particularité de ce procédé

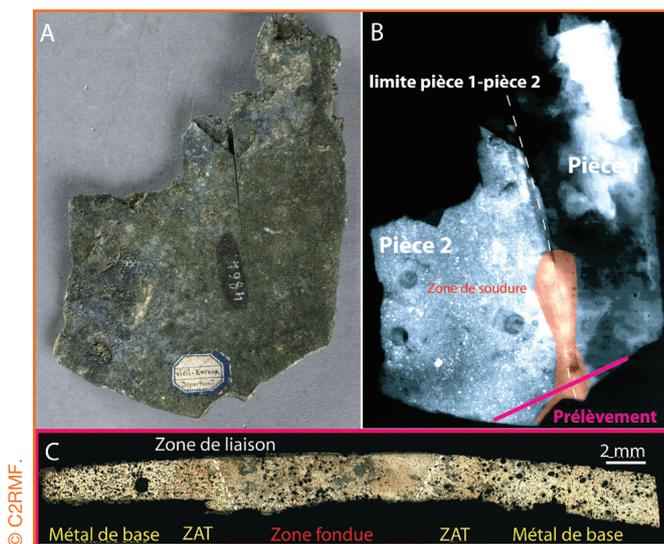


Figure 3 - Fragment de statue équestre du Vieil-Évreux constituée de deux pièces soudées.

A) photographie ; B) localisation du prélèvement sur la radiographie ; C) coupe métallographique transversale de la soudure où l'on retrouve les zones caractéristiques d'une soudure par fusion, à savoir métal de base, zone affectée thermiquement (ZAT) et zone fondue.

réside dans le fait que le bronze versé joue un double rôle : il est à la fois le métal d'apport et la source principale de chaleur. L'alliage d'apport doit posséder un point de fusion équivalent à celui des pièces qu'il assemble, donc le cas le plus fréquent est un alliage d'apport de même composition que les pièces à assembler. Par exemple, dans le cas du Jupiter d'Évreux, le métal de soudure employé pour l'assemblage du bras sur le torse est un alliage cuivreux comportant 4,4 % massique (%m) d'étain et 18 %m de plomb ($T_{\text{liquidus}}^{(3)} \sim 975 \text{ }^\circ\text{C}$), soit une composition proche de celle du bras (5 %m d'étain et 20 %m de plomb, $T_{\text{liquidus}} \sim 960 \text{ }^\circ\text{C}$). En plus de la grande qualité de l'assemblage obtenu, le travail avec des alliages de même composition permettait d'éviter les variations de couleur d'une pièce à l'autre, donnant ainsi l'illusion d'une statue coulée en un seul jet. Il est d'ailleurs souvent difficile d'observer les soudures à l'œil nu : elles sont parfois révélées par la corrosion, mais la plupart du temps, elles ne sont localisables que par examens radiographiques (*figure 3B*).

Finitions

Une fois les différentes pièces coulées et assemblées, un long travail de finition est nécessaire, aussi bien pour dissimuler les défauts de fonderie et d'assemblage que pour les éventuels décors. Les réparations des défauts mineurs (fissures, porosités, trou laissé par un clou distanciateur) se présentent sous la forme de plaquettes de bronze rectangulaires ou polygonales plus ou moins grandes (*figure 1*). Cette pratique est une constante sur les grands bronzes antiques ; elle consiste à aménager un espace autour du défaut en creusant à mi-épaisseur dans la paroi de la pièce et d'y couler du métal (coulée secondaire de réparation). Pour les finitions, la statue de Jupiter se distingue notamment par de magnifiques incrustations d'argent pour figurer les yeux et des incrustations de cuivre pour les lèvres (*figure 4*).



Figure 4 - Incrustations d'argent pour les yeux et de cuivre pour les lèvres de Jupiter.

Pour en savoir plus

- Azéma A., Mille B., Pilon F., Birolleau J.-C., Guyard L., Étude archéométallurgique du dépôt de grands bronzes du sanctuaire gallo-romain du Vieil-Évreux (Eure), *ArchéoSciences*, 2012, 36, p. 153.
- Mille B., Robcis D., Le cas des grands bronzes antiques. Étudier pour restaurer ou restaurer pour étudier ?, dans *La restauration des peintures et des sculptures : connaissances et reconnaissance de l'œuvre*, Armand-Colin, 2012, p. 101-116.

Notes

- (1) Ces œuvres feront l'objet d'une exposition temporaire au musée d'Évreux, intitulée « Grands Dieux ! Chefs-d'œuvre de la statuaire antique », du 14 décembre 2013 au 23 mars 2014.
- (2) L'ICP-AES (« inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry ») permet de mesurer les concentrations en éléments majeurs (en général cuivre, étain et plomb) et en traces des alliages.
- (3) La température de fusion n'existe pas pour un alliage : il passe de l'état solide à l'état liquide sur un domaine de température plus ou moins étendu. Le solidus donne la température à partir de laquelle l'alliage commence à fondre ; à partir de la température de liquidus, il est totalement fondu.

Cette fiche a été réalisée par **Aurélia Azéma**, post-doctorante Labex PATRIMA (aurelia.azema@culture.gouv.fr), et **Benoît Mille**, ingénieur d'étude du Ministère de la Culture (benoit.mille@culture.gouv.fr), Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France, Palais du Louvre, Porte des Lions, 14 quai François Mitterrand, F-75001 Paris.

Les fiches « Un point sur » sont coordonnées par un comité éditorial mené par Jean-Pierre Foulon et Michel Quarton (contact : bleneau@lactualitechimique.org).