

LE TRAVAIL EN LABORATOIRE AU SERVICE
DE L'HISTOIRE DE L'ARTISANAT MÉTALLURGIQUE
DU DÉBUT DU PREMIER MILLÉNAIRE
AVANT NOTRE ÈRE EN ITALIE

QUELQUES RÉSULTATS SUR DES MOBILIERS DE TARQUINIA,
VEIO ET DES COLLECTIONS VILLANOVIENNES BRITANNIQUES

Consacrer une étude à l'identification des caractéristiques de la micro-structure d'un métal peut sembler une préoccupation fort éloignée d'une recherche sur l'artisanat métallurgique des populations d'Italie centrale vers le début du premier millénaire, et plus encore de ce que l'on a coutume de baptiser «histoire». Si les lignes qui suivent ne représentent pas à proprement parler un manifeste qui tente de démontrer le contraire, elles n'en demeurent pas moins guidées par la conviction profonde que les informations conservées dans la mémoire des métaux représentent une source d'autant plus précieuse qu'elle occupe une place éminente dans un ensemble documentaire qui ne brille pas toujours par son abondance. Pour la protohistoire italienne, les sources disponibles se composent ainsi essentiellement d'objets finis, de surcroît volontairement placés dans des dépôts ou des sépultures qui ne rendent compte de la réalité de l'artisanat métallurgique que de manière indirecte.

Pourtant, la métallographie n'a pas vraiment trouvé sa place dans les travaux, y compris ceux qui ont été écrits par des spécialistes préoccupés d'histoire de la métallurgie. Originaire d'un autre monde, celui des «sciences», ce type d'étude n'a osé qu'une entrée timide et récente en sciences humaines et encore, essentiellement sous la forme de tableaux d'analyses bien incompréhensibles aux yeux du plus grand nombre. Le travail en laboratoire reste perçu comme un ensemble de techniques jalouses de leurs secrets, inaccessibles à l'historien. Si ce dernier n'a effectivement guère été préparé à la lecture de ces données, alors que la paléographie lui paraît moins absconse, comme l'archéologue de terrain se sent plus familiarisé avec de subtiles stratigraphies, la métallographie associée aux analyses de composition n'a rien de mystérieux et d'inaccessible. Elle répond à

des règles et à des lois dictées par la science des matériaux qu'il faut prendre le temps de connaître. Elle offre des résultats, au premier abord peu diserts, qu'il convient de faire parler et surtout ne pas laisser sous la forme de vocabulaire inhabituel et de chiffres, indigestes pour tous.

À ce prix, l'étude technique de l'artisanat des métaux bénéficie de l'apport de données précieuses, qui permettent de franchir certains seuils d'incertitude que l'observation visuelle ne peut complètement dissiper¹.

LE LABORATOIRE : OBJECTIFS ET MÉTHODES

Pourquoi des examens et analyses?

Vérifier des hypothèses et acquérir des informations

La mise en œuvre de moyens de laboratoire permet avant tout de procéder à un certain nombre de vérifications ponctuelles d'hypothèses formulées à partir des observations à l'œil nu du mobilier et d'acquérir par ces moyens des informations par ailleurs impossibles à obtenir. En aucun cas, les études en laboratoire ne peuvent être envisagées comme une fin en soi et, de ce fait, l'économie de commentaires des résultats d'analyses comme des examens apparaît ici inconcevable.

Les moyens de laboratoire sont donc utilisés comme un outil permettant de restituer scientifiquement les techniques de fabrication des objets sélectionnés. Dans ce cadre, des priorités ont été posées : livrer des résultats complets d'analyses de composition élémentaire pour chacun des prélèvements; mettre impérativement ces résultats en relation avec une étude des états métallurgiques permettant d'avoir des détails sur le type de travail².

¹ Ce travail en laboratoire a été réalisé dans le cadre d'un doctorat portant sur le bronze des dépositions volontaires en Italie centrale (1200-725 environ avant notre ère). Les résultats livrés ici forment en quelque sorte un résumé de cette étude plus complète comportant en particulier plus de résultats bruts permettant de procéder à certaines vérifications des interprétations proposées mais aussi plus de documents photographiques.

² Un soin particulier a également été apporté concernant les techniques de décoration très mal connues pour ces périodes anciennes. Pour ce dernier point, qui n'a pas été intégré à la présente étude, on renverra pour l'instant à la publication plus exhaustive à paraître.

Quelques fondements de nos connaissances

Ce type d'étude est possible grâce aux informations que la microstructure du métal garde en mémoire, témoins d'une histoire thermomécanique assez précise de l'objet. Nos connaissances dans ce domaine sont le résultat des travaux réalisés en science des matériaux depuis de nombreuses années³. Si les impératifs industriels ont entraîné d'importantes recherches et la publication d'ouvrages destinés à l'enseignement⁴, un certain nombre de travaux récents en France ont également associé des objets archéologiques dans le corpus d'étude⁵.

Aujourd'hui les recherches peuvent donc s'appuyer sur des connaissances précises relatives aux propriétés des matériaux. On sait ainsi que le métal est un matériau cristallin «formé d'une multitude de petits volumes polyédriques appelés grains (...) et qui sont limités par des surfaces appelées joints de grains»⁶. On connaît par ailleurs ses propriétés de fusibilité. Le cuivre a son point de fusion à 1084,5° C. Cependant il a été démontré que celui-ci peut être abaissé grâce à l'ajout d'un autre métal ayant un point de fusion plus bas, comme l'étain (232° C). Il s'agit alors d'un alliage, le bronze étant une association de cuivre et d'étain dans des proportions qui peuvent varier fortement. Les changements de comportement de ces deux éléments, dans différentes situations, en fonction de leur teneur, de la

³ Les premiers travaux sur la métallurgie en science des matériaux remontent à un siècle environ.

⁴ Les ouvrages représentatifs dans ce domaine sont par exemple : J. Lignon et M. Mijon, *Matériaux. Propriétés, traitements, normalisation*, Paris, 1964; C. Chaussin et G. Hilly, *Métallurgie. II. Élaboration des métaux*, Paris, 1974; J. Barralis et G. Maeder, *Précis de métallurgie*, Paris, 1997; l'un des derniers ouvrages, J. Philibert, A. Vignes, Y. Bréchet et P. Combrade, *Métallurgie, du minerai au matériau*, Paris, 1998; sur la métallographie et les microstructures en particulier pour les périodes anciennes, voir D. A. Scott, *Metallography and Microstructure of Ancient and Historic Metals*, Singapour, 1991 (*The J. Paul Getty Museum*).

⁵ Sans prétendre à l'exhaustivité on peut citer parmi les thèses récentes : S. Andrieu, *Étude du formage des bronzes en relation avec des objets de la protohistoire nationale*, thèse dactylographiée de l'Université de Paris Sud, 1995; V. Collin, *Étude des bronzes archéologiques de l'Âge du bronze provenant du site du Fort-Harrouard : analyse élémentaire et analyse isotopique du plomb, relation avec les minerais et les procédés métallurgiques*, thèse dactylographiée de l'Université de Paris VI, 1990; L. Robbiola, *Caractérisation de l'altération de bronzes archéologiques enfouis à partir d'un corpus d'objets de l'Âge du bronze. mécanismes de corrosion*, thèse dactylographiée de l'Université de Paris VI, 1990.

⁶ J. Barralis et G. Maeder, *op. cit.*, p. 15. Sur les structures cristallines voir aussi J. Philibert *et al.*, *op. cit.*, p. 287-327.

température et de la vitesse de refroidissement ont même été étudiés dans un diagramme d'équilibre mis au point par Roberts-Austen et Stanfield en 1885 au moment du véritable essor des études en métallurgie, puis modifié et affiné au fil des travaux⁷. Le métal a une capacité de déformation plastique⁸ qui a pour conséquence, entre autres, des glissements du réseau cristallin et la formation de macles mécaniques visibles dans la microstructure si le matériau n'a pas subi un recuit d'homogénéisation après la dernière passe de martelage⁹. Dans ce dernier cas, les macles mécaniques disparaissent dans une microstructure qui révèle alors des macles thermiques tout à fait caractéristiques. Cette capacité de déformation est d'autant plus importante que l'on procède à une alternance de passes de martelage et de recuits sans atteindre un point critique de rupture du matériau dont les variations ont également fait l'objet d'études¹⁰. Lors d'examens de la microstructure, on est en mesure de distinguer un métal brut de coulée qui présente un réseau dendritique caractéristique, des macles mécaniques qui indiquent une déformation plastique sans recuit ultérieur ou un recuit de cristallisation.

Par ailleurs, l'existence d'inclusions dans le métal (sulfures, plomb, etc.) dans les bronzes archéologiques complète les données. Elles fournissent en particulier des informations que les métaux industriels actuels, nettoyés de ces impuretés, ne livrent plus, par exemple sur les quantités de déformation subies par le matériau ou des indices complémentaires sur les traitements thermiques. En effet, les sulfures, de forme amibaire dans un matériau brut de coulée, modifient leur morphologie en fonction du sens de la déformation et sa quantité. Lorsqu'un recuit est pratiqué, ils maintiennent l'allongement précédemment acquis et l'augmentent de manière cumulative à chaque passe de martelage. En conséquence, en s'appuyant sur la loi de conservation du volume, en déterminant s'il s'agit d'une expansion biaxiale ou plane et en admettant que le facteur de forme du métal est égal à celui de l'inclusion, il est possible de calculer la quantité totale de déformation et donc de pouvoir estimer dans certains cas l'épaisseur de l'ébauche initiale (annexe 2). Les nodules de plomb se comportent différem-

⁷ Pour une synthèse récente, J. Philibert *et al.*, *op. cit.*, p. 329-358 et 509-643 pour les changements de phase, solidification et précipitation.

⁸ J. Philibert *et al.*, *op. cit.*, 1998, p. 743-755 pour les généralités et p. 758-795 pour les déformations à froid et à chaud.

⁹ J. Barralis et G. Maeder, *op. cit.*, p. 27.

¹⁰ C'était l'un des objectifs principaux de la thèse de S. Andrieu, *op. cit.*, chapitres II et III : déformations à froid et déformations à chaud.

ment dans la mesure où, globulaires dans un brut de coulée, ils suivent également le sens de la déformation plastique mais retrouvent leur morphologie initiale lors d'un recuit de recristallisation. À ce titre, ils constituent uniquement des indices sur la dernière phase de travail, martelage ou recuit.

Enfin, une estimation quantitative de ces inclusions permet également de distinguer un métal « propre » d'un matériau qui ne l'est pas. Étant donné que certaines de ces inclusions (en particulier le plomb dont la température de fusion est de 327° C) peuvent aider à la fusion mais portent au contraire préjudice à un travail de déformation plastique, la « qualité » d'une réalisation, en regard de l'objectif à atteindre (fabriquer un pendentif, une hache de parade, une vaisselle, etc.), et donc le savoir de celui qui l'a exécutée, peut ainsi être évaluée.

De la science des matériaux à l'étude archéologique

En quelques mots, voici donc résumées quelques-unes des caractéristiques essentielles des métaux, et plus particulièrement des alliages à base de cuivre. L'étude archéologique qui associe un travail de laboratoire à une étude plus « classique » s'appuie pour sa part sur ce type de données répertoriées en science des matériaux. Joint à ces connaissances, le travail en laboratoire proprement dit est effectué après une sélection rigoureuse des mobiliers à examiner et les informations sont enregistrées en tenant compte de certains problèmes spécifiques, en particulier d'altération, que les objets archéologiques posent. Ensuite, les observations métallographiques et les analyses sont mises en relation avec ce que l'on cherche à comprendre, un artisanat du bronze dans un cadre culturel donné. Il s'agit alors d'identifier des procédés de formage, de reconstruire précisément des chaînes de fabrication, d'évaluer des qualités d'alliages que l'on essaie de mettre en rapport avec des savoir-faire techniques.

Les prélèvements et les échantillons

Le travail en laboratoire est réalisé non pas sur les pièces entières qui ont été sélectionnées pour les examens en laboratoire mais à partir de prélèvements de type spécifique¹¹, un fragment d'environ 2 mm². Ils sont effec-

¹¹ Les prélèvements qui posent le moins de difficulté pour les conservateurs, et qui ont d'ailleurs été les plus pratiqués jusqu'à présent, sont d'un autre type que ceux qui ont été réalisés ici : il s'agit de procéder à un micro-carrotage qui fournit une poudre métallique qui donne lieu à des analyses. Ce type de prélèvement présente deux inconvénients majeurs : d'une part, ils ne permettent aucune étude de la microstructure et les analyses restent donc déconnectées de toute recherche complémen-

tués à l'aide d'outillage à action mécanique (scie d'horloger, pince coupante) directement sur les lieux de conservation des objets¹² : ici aux musées de Tarquinia (Italie) et de Civita Castellana (Italie), à l'Ashmolean Museum d'Oxford (Grande-Bretagne) et au British Museum de Londres (Angleterre, département : « Prehistoric and Romano-British Antiquities »). Le travail de prélèvement lui-même est accompagné d'un travail graphique et photographique afin que chaque échantillon puisse être localisé et orienté sur la pièce d'origine¹³. De plus, il doit impérativement être effectué dans

taire sur les techniques de mise en forme et sur les traitements thermiques subis par le matériau; d'autre part, les risques d'intégrer dans le prélèvement de la poudre provenant de la corrosion et non du métal sain, qui fausseront les résultats, est loin d'être négligeable; il est de surcroît impossible de vérifier une erreur lorsque le prélèvement a été effectué alors que, dans le cas d'un micro-fragment, la plage analysée est visualisée au moment même de procéder à l'analyse.

¹² Je tiens ici à remercier particulièrement toutes les personnes qui m'ont permis d'effectuer ces prélèvements : en Italie, A. M. Moretti, Surintendante pour l'Étrurie méridionale qui m'a accordé l'autorisation de prélever, A. M. Cataldi, directrice du musée de Tarquinia qui a soutenu le projet; F. Boitani, directrice du musée de Villa Giulia et responsable du mobilier de Veio; à l'Ashmolean Museum d'Oxford, A. Sherrat, conservateur du Département des antiquités qui m'a accordé l'autorisation et M. Vickers qui m'a accueillie et a soutenu le projet sans réserve ainsi que M. Norman responsable du service de restauration du musée; au British Museum, S. Needham, conservateur du Département des antiquités préhistoriques et romano-britanniques, qui m'a encouragée et a rendu possible le projet et I. MacIntyre, responsable du laboratoire de restauration des métaux au British Museum avec qui les discussions ont été riches d'enseignement. Des rapports ont été remis à chaque organisme concerné relatifs à la préparation des prélèvements, à leur localisation une fois le travail effectué et aux résultats bruts librement disponibles après leur publication.

¹³ Si l'origine de l'objet est nécessaire à une exploitation archéologique des résultats de laboratoire, la localisation précise de chaque prélèvement est indispensable au bon déroulement du travail. Sans ce travail de repérage, celui de laboratoire est dans une certaine mesure inutile. En effet, tout échantillon qui n'aurait pas été préalablement positionné est inexploitable. Ainsi, il n'est pas indifférent de noter s'il s'agit d'une tôle de vase, et laquelle, ou d'une anse. De même, la portée d'une observation peut se trouver modifiée selon que l'échantillon provient d'une hache ou d'une fibule! Par ailleurs, la localisation précise du prélèvement sur la pièce est essentielle : lorsque l'on cherche à comprendre comment par exemple une fibule a été fabriquée il n'est pas indifférent de savoir si ce que l'on observe est situé sur le ressort, l'arc ou le pied! De même, pour une épée ou une épingle en deux pièces, il est loin d'être anecdotique de savoir de laquelle des deux provient chacun des prélèvements, s'il y a eu la possibilité d'en effectuer plusieurs. Enfin, la localisation précise de l'échantillon et son orientation permettent également de choisir le plan d'observation lors de la préparation de l'échantillon. Une fois de plus, l'interprétation des résultats dépendra de ce choix. Posséder toutes ces informations permet en particulier

une zone de métal sain et non de corrosion afin que les analyses de composition ne soient pas faussées, en particulier par des teneurs anormales en étain¹⁴. Lorsque cela est possible, il est préférable que chacune des pièces d'un même objet puisse donner lieu à un prélèvement différent.

Les prélèvements effectués, numérotés et enregistrés, il faut encore procéder à un travail de préparation pour que les examens métallographiques, puis les analyses, puissent être faits. La préparation consiste en un enrobage de l'échantillon dans une résine de synthèse. C'est au cours de cette phase que l'on choisit, en particulier grâce aux photos et croquis effectués précédemment, et par d'éventuelles découpes successives de l'échantillon enrobé, le plan d'observation de la microstructure du métal qui déterminera une partie des données. Les informations seront en effet différentes selon que l'on optera pour une tranche suivant une coupe longitudinale ou transversale ou, au contraire, sur la face de la pièce.

Les coupes sont ensuite observées en microscopie optique avec un microscope métallographique¹⁵. Il s'agit d'un appareil mis au point dans ses principes il y a un siècle environ, qui permet un travail en réflexion et non en transmission comme c'est le cas pour des échantillons transparents qui laissent passer la lumière (lames minces réalisées en céramologie ou en pétrographie par exemple). Cette dernière est apportée par l'objectif. Le modèle utilisé ici est un microscope inversé Olympus PMG3¹⁶ couplé à un appareil photographique et à une caméra reliée à un système informatique.

Les observations ont d'abord été faites sans attaque chimique du métal. En effet, les bronzes archéologiques présentent une altération du matériau qui révèle souvent l'état métallurgique que l'on cherche précisément à

de comparer ensuite des données qui peuvent l'être et non des analyses entre elles, en général, ce qui n'a aucun sens.

¹⁴ Pour les pièces présentant cependant des zones corrodées, il a été possible de réaliser quelques analyses afin de mettre justement en évidence les différences de résultat selon la zone analysée, saine ou non.

¹⁵ R. Castro, *Progrès de la métallographie microscopique*, Paris, 1935, définissait déjà ainsi dans son introduction la métallographie : «La métallographie microscopique est une science qui permet, par l'examen de surfaces métalliques diversement préparées, en général polies et attaquées par un réactif, de pouvoir formuler, soit indépendamment, soit en relation avec d'autres procédés d'investigation, des conclusions quant à la nature, l'état, la constitution et les propriétés des métaux examinés».

¹⁶ Toutes les observations en microscopie optique ont été réalisées au laboratoire d'archéologie de l'UMR «Archéologie de la Bourgogne» (Université de Dijon) et financées par cette dernière grâce au soutien de M. Pernot, directeur de recherche au CNRS, qui a suivi ce travail avec un intérêt et une patience jamais démentis dont je lui suis très reconnaissante.

connaître. Il s'agit d'une corrosion intergranulaire qui peut ainsi faire apparaître les grains du métal ou les macles mécaniques. Par ailleurs, la morphologie des inclusions de sulfures et de plomb révèle généralement un état brut de coulée ou au contraire un travail de déformation plastique. Dans le premier cas les sulfures ont une forme dendritique caractéristique alors que dans le second ils ont été allongés dans le sens de la déformation et dans des proportions en rapport avec cette dernière.

À l'issue de ces premières observations, la majorité des échantillons a été attaquée chimiquement. L'intérêt est de pouvoir ainsi mieux révéler certaines caractéristiques de la microstructure tels que les macles mécaniques ou thermiques, les grains et les joints de grains du matériau ainsi que les différentes phases de l'alliage. À l'inverse, sur certains échantillons très corrodés, les informations deviennent trop complexes et confuses pour qu'une bonne lisibilité puisse encore être conservée. C'est pourquoi, sur les bronzes archéologiques, il est essentiel de ne pas procéder à une attaque chimique systématique avant même d'enregistrer les résultats des premières observations. En effet celles-ci permettent dans certains cas d'obtenir la totalité des informations recherchées et donc d'éviter l'attaque chimique qui n'apporterait aucune donnée supplémentaire. Par ailleurs, si l'attaque s'avère nécessaire, il est indispensable d'en vérifier le résultat entre chaque application de quinze secondes de la solution, le réactif agissant différemment d'un échantillon à l'autre en raison de la nature même des matériaux. Or si le temps d'application est trop long, la surface devient illisible et il faut recommencer sa préparation depuis le prépolissage.

Observations et analyses en microscopie électronique à balayage (MEB)

Des observations ont ensuite été faites à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB)¹⁷ qui permet d'obtenir des informations complémentaires de celles fournies par la microscopie optique. Le MEB est plutôt utilisé après le microscope métallographique car il est préférable d'avoir déjà une bonne connaissance de l'échantillon observé pour être en mesure de se repérer dans l'espace et de retrouver les données que l'on cherche à mieux connaître. En effet, le MEB fournit des images souvent moins lisibles, plus difficiles d'accès, sur un appareillage d'une complexité sans commune mesure avec le microscope optique.

¹⁷ Ce travail a été fait au laboratoire de science des matériaux de l'Université de Bourgogne. Il a été suivi par S. Colin, alors ingénieur d'étude, puis B. Dufour, responsable du MEB, que je remercie ici vivement.

Le principe du MEB est le suivant¹⁸ : un faisceau d'électrons accélérés bombarde par balayages successifs l'échantillon préalablement recouvert d'une fine couche conductrice (ici carbone) et déposé sous vide. Sous l'incidence de ce faisceau apparaissent, entre autres, des électrons secondaires et des électrons rétrodiffusés dont des détecteurs spécifiques mesurent l'intensité. À partir de ces mesures, des images de deux sortes peuvent être restituées en fonction du type d'électron considéré :

- les images en électrons secondaires. Ce sont les images correspondant à la mesure des électrons de ce type qui ont été éjectés de la cible après le bombardement par le faisceau primaire. C'est une image de surface, la plus similaire à celle de la microscopie optique;
- les images en électrons rétrodiffusés. Ces électrons pénètrent dans la matière puis ressortent à la surface de l'échantillon après un parcours plus ou moins long et une certaine perte d'énergie. Selon le traitement du signal on obtient alors deux types d'images : soit une image en topographie dans laquelle le contraste est donné par le relief, soit une image en composition dans laquelle le contraste est rendu en fonction des différences de numéro atomique. Plus l'élément est lourd, plus il apparaît dans des tonalités claires.

Les observations et les images obtenues au MEB sont donc de nature différente de celles du microscope métallographique. Elles apparaissent également à une autre échelle. Le MEB permet en effet des grossissements beaucoup plus importants, au maximum de 350 000 dans le cas présent.

Enfin, un système d'analyse (par rayons X) connecté à une électronique permet l'analyse élémentaire des éléments, et ainsi la caractérisation de l'alliage. Il s'agit ici d'un programme sans étalon avec correction «ZAF» (Z = n° atomique; A = absorption; F = fluorescence). Le principe général repose sur une exploitation de la valeur des énergies des pics de rayons X positionnés dans un spectre où chaque raie correspond à la valeur atomique d'un élément. L'enregistrement de la valeur se fait au cours d'un temps de 100 secondes sur la plage précise analysée à l'échelle qui a été choisie. Il faut noter que par ce procédé seules les teneurs des majeurs, et dans une certaine mesure celles des mineurs, peuvent être obtenues. Cela signifie qu'en aucun cas les analyses au MEB ne permettent des résultats valides concernant les éléments traces. En d'autres termes, toute valeur inférieure à 0,5 dans les meilleures conditions d'analyse n'est

¹⁸ Le texte s'appuie ici en partie sur la formulation utilisé par V. Collin, *op. cit.*, p. 151.

pas significative. Par ailleurs, la validité des résultats obtenus repose sur la zone de l'échantillon sélectionnée pour l'analyse. La recherche de la composition d'un alliage implique ainsi que le faisceau soit cadré dans un secteur sans corrosion, y compris si nécessaire en travaillant à grande échelle avec des grossissements aux marges des possibilités jusqu'à 200 000 ou 300 000. Dans le cas contraire, si la plage retenue comporte des zones de corrosion, l'analyse sera faussée. Les bronzes analysés risquent alors de présenter des teneurs élevées en étain qui reflètent, non pas la composition de l'alliage, mais celle d'une plage plus vaste comprenant le métal sain et de la corrosion, n'ayant plus aucune signification. Le risque est bien sûr d'autant plus important que le métal est altéré. Lorsque la situation n'est pas trop critique une analyse à un grossissement autour de 800-1 000 permet un résultat global incluant également une mesure des teneurs correspondant aux inclusions (sulfures, plomb). Pour un même échantillon plusieurs analyses sont effectuées et le résultat fourni correspond à la moyenne calculée.

Les caractéristiques du corpus ayant fait l'objet de prélèvements

Des fibules, des ceintures et des vaisselles

L'objectif principal de ce travail en laboratoire était de vérifier des hypothèses envisagées lors d'observations à l'œil nu mais également de soumettre à examen certains pré-supposés relatifs aux techniques de fabrication.

Dans le cadre de cette première série d'examen en laboratoire, il s'agissait en particulier de s'intéresser à des objets de l'Âge du fer d'Italie centrale¹⁹, avec une sélection de vestiges de dates et de types morphologiques différents (pièces massives, tôles) ainsi qu'un nombre suffisamment élevé d'échantillons. Les prélèvements ont donc été exécutés sur des mobiliers datés entre la fin du IX^e siècle avant notre ère et le Villanovien II.B défini

¹⁹ Il serait aujourd'hui essentiel de poursuivre cette entreprise par une étude de mobiliers du Bronze final qui ne sont pas sans poser de difficultés. Il faut ici en particulier invoquer les problèmes que soulève encore parfois ce type de demande auprès des responsables des collections. Le caractère destructif des prélèvements, même si ceux-ci de taille réduite, limite d'autant les possibilités d'examen sur des objets provenant de dépôts pour lesquels on a parfois tendance qu'à retenir le caractère exceptionnel ou esthétique de l'objet au détriment de celui de source documentaire. Pour que la situation puisse évoluer, il faudra sans doute du temps mais aussi des résultats qui sauront convaincre les responsables de l'intérêt d'une telle démarche.

par H. Hencken en 1968²⁰, soit environ 725 avant notre ère ainsi que sur une certaine variété d'objets : des haches, des ceintures larges décorées, des fibules, une perle, des fourreaux d'épée décorés, une épée à antenne, un casque, différentes catégories de vaisselle métallique (urne, gourde, petit vase à une anse, repose vase), etc. Par ailleurs, pour certaines catégories, plusieurs prélèvements ont été faits dans des objets différents. C'est le cas pour les ceintures, les fibules et les haches. Il manque cependant dans cet éventail typologique des types d'objets et même des catégories, comme l'outillage.

Un contexte archéologique difficile

Conservés dans quatre musées d'Italie et d'Angleterre, les objets sur lesquels ont été exécutés les prélèvements posent dans leur grande majorité des problèmes de contexte archéologique.

À Tarquinia, le mobilier provient des fouilles communales de la nécropole de Monterozzi réalisée dans les années 1880²¹. Les contextes d'origine ne sont que partiellement connus et le mobilier largement remanié dans les collections depuis leur mise au jour. Identifiés pour les pièces relativement importantes ou facilement reconnaissables comme le repose-vase, ils restent plus problématiques pour le petit mobilier comme les fibules ou la perle qui peuvent avoir appartenus à une tombe ou une autre sans que les archives de fouille ne permettent de les situer plus précisément.

À l'Ashmolean Museum comme au British Museum, le problème est différent : il s'agit à l'origine de collections dites « italiennes » constituées d'objets acquis par des collectionneurs ou par les musées, soit en raison de leur caractère exceptionnel, soit pour pouvoir présenter au public britannique des vestiges d'une région lointaine et quelque peu « exotique ». Si, avec ce mobilier, le prestige de l'Égypte pharaonique ou de la frise du Parthénon est bien lointain, la démarche d'acquisition procède des mêmes principes. Au British Museum, les prélèvements proviennent des collections « italiennes » et plus particulièrement de la collection Greenwell²².

²⁰ H. Hencken, *Tarquinia, Villanovans and early Etruscans*, Cambridge (MA), 1968.

²¹ Sur les fouilles de cette période, je me permets de renvoyer à A. Lehöerff, *Pratiques archéologiques et administration du patrimoine archéologique en Italie 1875-1895. L'exemple des anciens territoires villanoviens*, dans *MEFRIM*, 1999, p. 73-147.

²² Sur cette collection, voir I. A. Kinnes et I. H. Longworth, *Catalogue of the excavated Prehistoric and Romano-British material in the Greenwell Collection*, Londres, s. d. William Grenwell fut un antiquaire avisé de l'époque victorienne qui s'intéressa

Seul le mobilier de Veio fait figure d'exception, car il provient de fouilles récentes et rapidement publiées qui donnent l'assurance d'une provenance précise pour chaque objet. La nécropole a en effet été fouillée il y a une trentaine d'années et les tombes ont été publiées très rapidement dans les *Notizie degli scavi*²³.

L'origine et la nature des différents prélèvements

La localisation exacte de chacun des prélèvements est une nécessité. Sans cette précision, les résultats des examens restent difficilement exploitables dans la mesure où l'on ne sait pas ce que l'on compare. Comment alors interpréter des différences d'état métallurgique ou de composition, alors que, d'un point de vue technique, il n'y a aucune raison qu'un vase métallique soit analogue à une hache à ailerons? Remarque de bon sens? Certes, mais qui vaut sans doute d'être rappelée dans la mesure où les études en laboratoire sont associées dans bien des esprits à d'indigestes chiffres à partir desquels sont calculées des compositions moyennes à telle période ou dans tel site, tout mobilier confondu, comme si la nature de dernier n'était qu'accessoire.

La nature des prélèvements du musée de Tarquinia²⁴ (annexe 1, clichés 1 à 11)

Les objets concernés présentent une certaine variété typologique : gourde, vaisselle, hache, plusieurs types de fibules, une ceinture, une perle. En grande majorité, il s'agit de tôles ou de plaques (ceinture). Seize prélèvements ont pu être réalisés sur douze objets.

à l'archéologie elle-même et accumula une riche collection, en particuliers d'antiquités britanniques, aujourd'hui conservée au British Museum.

²³ Les fouilles ont été publiées de manière régulière sous la direction de Close-Brook dans les volumes des *Notizie degli scavi* de 1963 à 1972 (voir également annexe 1).

²⁴ Une numérotation des échantillons prélevés a été faite dans chaque musée. Elle comporte le numéro du prélèvement (P1, P2 etc.), suivi du numéro d'inventaire de l'objet. Le même système a été utilisé dans les trois cas, ce qui explique une triple numérotation P1, P2 etc. qui n'est lisible qu'avec le numéro qui suit. Par ailleurs, en laboratoire un même prélèvement portant un numéro unique a parfois été subdivisé en deux échantillons présentant des plans d'observation différents. La distinction se fait alors grâce à une lettre A, B. Enfin, pour des raisons techniques, une numérotation unique a été utilisée au MEB.

Tableau 1
RÉCAPITULATIF DE L'ORIGINE DES PRÉLÈVEMENTS
AU MUSÉE DE TARQUINIA

Objet	N° Inv.	N° P.	Localisation
Gourde décorée	1967	P1-1967	tôle du corps principal avec décor de bossettes
		P2-1967	tôle du corps principal avec décor de rainure
Vase de petite taille à une anse	179	P3-179 P4-179	tôle au niveau de la panse tôle comportant le rebord du vase avec son décor
Vase à pied de petite taille	20	P5-20	tôle dans le fond du vase
Hache à ailerons	1012	P6-1012	angle inférieur du tranchant
Fibule à pied à disque	659	P7-659	amorce du pied
Fibule «hérisson»	527	P8-527 P9-527	disque dans l'arc ressort
Fibule «hérisson»	529	P10-529	fracture près de l'amorce du pied
Fibule a sanguisuga	83	P11-83	rebord de l'arc creux
Perle tubulaire	97	P12-97	rebord fragmenté de la perle
Fibule à pied à disque	651	P16-651	extrémité de la languette du pied
Repose vase ou trépied	1092	P17-1092	tôle avec décor
Ceinture	250	P18-250	tôle près du rebord avec décor
		P19-250	tôle près d'une attache avec décor

Légende du tableau : dans la première colonne figure la désignation de l'objet, dans la deuxième le numéro d'inventaire qui lui est attribué par le musée, dans la troisième le numéro de prélèvement qui a été attribué (et que l'on retrouve tout au long du développement) et, enfin, dans la quatrième colonne, la localisation de celui-ci est résumée.

Les prélèvements de l'Ashmolean Museum à Oxford (annexe 1, clichés 12 à 16)

Dans ce musée, quatre objets ont permis d'assurer un total de douze prélèvements. Ici, plus que la variété typologique, c'est la multiplicité des

prélèvements sur un même objet qui a été privilégiée. Une attention particulière a été accordée à l'urne métallique²⁵.

Tableau 2

RÉCAPITULATIF DE L'ORIGINE DES PRÉLÈVEMENTS
À L'ASHMOLEAN MUSEUM

Objet	N° Inv.	N° P.	Localisation
Fourreau décoré	Pr 275	P1-275 P2-275	rebord fracturé de la tôle tôle avec décor
Fibule «hérisson»	1862-1165	P3-1872-1165 P4-1872-1165 P5-1872-1165	pied disque de l'arc ardillon
Ceinture	1890-619	P6-1890-619 P7-1890-619	perforation de l'attache avec décor pièce rapportée pour la ré- paration de l'objet
Urne villanovienne décorée	1962-977	P8-1962-977 P9-1962-977 P10-1962-977 P11-1962-977 P12-1962-977	tôle supérieure de l'urne tôle inférieure (panse) tôle inférieure (pied) tôle du pied anse torsadée

Légende du tableau : (voir tableau 1).

Les prélèvements du British Museum à Londres (annexe 1, clichés 17 à 21)

Le nombre total des prélèvements effectués au département des « Antiquités préhistoriques et romano-britanniques » du British Museum s'élève à douze pour un nombre total de six objets.

²⁵ Il s'agit ici d'un mobilier par excellence pour lequel il est très difficile d'obtenir la moindre autorisation de prélèvement en raison de son caractère prestigieux. Je ne peux ici que renouveler mes remerciements aux responsables de ces collections.

Tableau 3
RÉCAPITULATIF DE L'ORIGINE DES PRÉLÈVEMENTS AU BRITISH MUSEUM

Objet	N° Inv.	N° P.	Localisation
Hache à ailerons	WG 1068	P1-1068 P2-1068 P3-1068	partie supérieure (zone du jet de coulée?) un des ailerons tranchant de la lame
Hache	WG 1075	P4-1075 P5-1075	corps de la pièce avec rainure du décor tranchant de la lame
Rasoir	808-233	P6-808-233 P7-808-233	corps de la pièce principale avec rebord pièce d'emmanchement
Hache «villanovienne»	76-7-6-11	P8-767-611 P9-767-611 P10-767-611	tôle présente dans l'emmanchement rebord du talon pièce principale
Petite hache à douille	WG-1086	P11-1086	rebord
Hache à douille décorée	80-8-2-44	P12-808-244	partie supérieure avec décor

Légende du tableau : voir tableau 1.

Les prélèvements de Veio Quattro Fontanili au musée de Civita Castellana

Le mobilier est daté du VIII^e siècle avant notre ère. Une variété typologique relativement importante, associée à une possibilité de prélever sur des objets généralement très «protégés» comme les casques ou les épées, assure à la série de Veio un caractère complémentaire et une importance fondamentale. Dans les mobiliers sélectionnés, on notera la présence d'un fourreau identique à celui de l'Ashmolean Museum, de ceintures similaires à celles de Tarquinia, d'une épée à antennes, d'un casque à crête villanovien, d'urnes dont la typologie peut être comparée à celle de l'Ashmolean Museum. Au total, 16 prélèvements ont été effectués sur 8 objets différents.

Tableau 4
RÉCAPITULATIF DE L'ORIGINE DES PRÉLÈVEMENTS DE VEIO
À CIVITÀ CASTELLANA

Objet	N° Tombe	N° Inv.	N° P.	Localisation
Fourreau décoré	EE 10 B	64855	N° 1 N° 2	bouterolle tôle avec décor
Urne	AA 1	66268	N° 3 N° 4	tôle supérieure tôle centrale (panse)
Ceinture	OP 4-5	sans	N° 5	petite attache
Casque	M 9 B	60304	N° 6 a N° 6 c N° 6 b	un des deux tôles formant la calotte un des deux tôles formant la calotte (rebord) tôle rapportée portant les trois tiges
Urne	M 9 B	60303	N° 7 N° 8 a N° 8 b	tôle du pied tôle supérieure de l'urne tôle inférieure de l'urne
Ceinture	EE 12	62081	N° 9 a N° 9 b	tôle près du rebord avec décor grande attache
Épée	Z 15 A	61916	N° 10 N° 11	antenne fracturée da la poignée fragment de la lame
Ceinture	AA 12 A	61956	N° 12	petite attache

Légende : les différentes colonnes correspondent à celles qui ont été utilisées pour les tableaux 1 à 3, à l'exception de la deuxième colonne, dans laquelle figure le numéro de tombe inexistant pour les autres.

Des prélèvements aux échantillons

Entre les quatre musées concernés par cette étude, 56 prélèvements ont pu être réalisés sur 30 objets différents, selon une répartition très variable selon les provenances (tableau 5). Ces fragments métalliques ont ensuite été préparés après que le, ou les, plans d'observations ont été choisis. Dans ce dernier cas, une double découpe du prélèvement a permis d'obtenir selon les besoins des tranches ou des faces qui ont été orientés par rapport à la géométrie de l'objet lui-même. Au total, les 56 prélèvements ont permis d'obtenir 65 échantillons.

Tableau 5
RÉCAPITULATIF DES PRÉLÈVEMENTS ET DES ÉCHANTILLONS PAR MUSÉE

	Nombre d'objets	Nombre de prélèvements	Nombre d'échantillons
Tarquinia	12	16	22
Ashmolean M.	4	12	12
British Museum	6	12	12
Veio	8	16	19
Totaux	30	56	65

LES RÉSULTATS DES EXAMENS ET DES ANALYSES

Les échantillons préparés sont ensuite été examinés en microscopie optique puis, pour certains, au microscope électronique à balayage (MEB) pour des observations complémentaires et des analyses de composition. Travail long et parfois quelque peu fastidieux, qui est néanmoins indispensable avant qu'une quelconque interprétation d'ensemble ne soit envisageable.

Les examens en microscopie optique

Première étape des études en laboratoire, les examens en microscopie optique, avec sans attaque chimique, permettent de recueillir des informations sur la microstructure de la pièce à l'emplacement précis du prélèvement. On relève en particulier tout ce qui peut être noté sur l'état métallurgique et les inclusions (en particulier leur morphologie dans le plan observé). À partir de ces données, des comparaisons peuvent être dressées entre des pièces typologiquement similaires; des hypothèses sont proposées sur les procédés de fabrications avant d'envisager quelques conclusions plus larges sur l'ensemble examiné.

Les échantillons de Tarquinia

La variété des objets a conduit à des observations différentes selon les échantillons. Les pièces ont été laissées dans des états brut de coulée, recristallisé ou déformé selon les cas.

La seule pièce massive est une hache à ailerons (fig. 3) dont la microstructure présente une structure dendritique caractéristique d'un brut de

coulée. Aucune reprise ultérieure du travail ne semble avoir été effectuée, pas même un polissage de surface (le prélèvement provient du tranchant) qui aurait laissé quelques macles mécaniques, ce qui laisserait supposer que cet objet n'a jamais été utilisé.

La vaisselle métallique, quelle que soit sa nature (gourde [fig. 1], vaisselle [fig. 2], repose vase [fig. 10]) présente des traits communs d'une pièce à l'autre : un état recristallisé ou déformé selon les mobiliers et la localisation du prélèvement. En effet, lorsque ce dernier correspond à une zone de décor ou d'assemblage, des macles mécaniques indiquent un état déformé alors que pour d'autres parties une recristallisation partielle ou complète témoignerait plutôt de l'avant-dernière phase du travail, c'est-à-dire un recuit. Dans l'une ou l'autre des situations, les observations effectuées sur la vaisselle métallique indiquent que l'artisan a réalisé une ébauche de chacune des tôles qu'il a mis en forme par une alternance de passes de martelage et de recuit. Lorsqu'il a souhaité exécuter un décor, ici toujours de type P²⁶, il a fait précéder cette phase de travail d'un recuit d'homogénéisation permettant ensuite au matériau de mieux encaisser la déformation plastique, comme pour la gourde, le petit vase à une anse ou le repose-vase. Dans le cas du vase à pied (P5-20) l'état déformé peut sans doute s'expliquer par le fait que le prélèvement provient du fond de l'objet, dans une partie qui a dû être sertie dans une étape ultime de la fabrication. L'allongement des sulfures, inégal d'un échantillon à l'autre, montre en moyenne une déformation importante pour l'ensemble de la vaisselle (voir *infra* pour les estimations chiffrées).

Les mobiliers de petite taille offrent les résultats les plus hétérogènes, en particulier les fibules : ainsi le type «a sanguisuga» (fig. 7) est un matériau brut de coulée qui atteste que cette pièce a été entièrement réalisée en fonderie, y compris le décor de surface, puis polie pour le rendu final. Entre ces deux étapes, l'artisan n'a même pas jugé nécessaire de procéder à un recuit d'homogénéisation. Les fibules à pied à disque (fig. 4, 9) offrent sans doute le plus de «surprises» : contrairement à ceux qui avait été envisagé, ce type d'objet de parure ne présente pas systématiquement de grandes déformations plastiques si l'on en juge par les allongements de sulfures. Toutes ces fibules sont dans un état recristallisé difficilement compatible avec l'usage de cette parure, spécialement au niveau du ressort qui

²⁶ Pour la définition des types de décor et la terminologie utilisée, je me permets de renvoyer à A. Lehöerff, *La fabrication de fibules en Italie centrale entre le XII^e et le VIII^e siècle avant notre ère. Questions méthodologiques et première étude d'un corpus*, Dijon, 1999 (Centre de recherches sur les techniques gréco-romaines, 15), p. 45-78, part p. 49.

risque de ne pouvoir jouer son rôle de déformation élastique. L'explication réside plutôt dans la destination finale de ces fibules et non dans un choix technique : en effet, il s'agit ici de dépositions funéraires associées à un rituel d'incinération au cours duquel, selon toute probabilité, le défunt est brûlé avec son vêtement retenu par une fibule qui, au cours de la crémation, a subi un recuit de recristallisation visible encore aujourd'hui sous le microscope. Les autres mobiliers observés, qui proviennent également de contextes archéologiques similaires, n'ont pas connu ce même rituel puisqu'ils ont gardé en mémoire les caractéristiques de leur fabrication. Ils ont donc été déposés dans un second temps, après la crémation, autour des restes rassemblés du défunt, sans avoir connu l'épreuve du feu.

Les échantillons de l'Ashmolean Museum

L'étude de l'urne métallique (fig. 16) a permis de vérifier des différences d'état métallurgique d'une pièce à l'autre, chacune dans ce cas ayant pu faire l'objet d'un prélèvement. Là encore, l'artisan a choisi de fabriquer cette vaisselle à partir d'une ébauche modifiée par une alternance de passes de martelage et de recuits. Dans une avant-dernière phase, il a procédé à un recuit de recristallisation, comme l'atteste la matrice des deux tôles principales (P8 et P9-1962-977). En revanche, localement, au niveau des décors, la présence de macles mécaniques montrent un état déformé, de même que la tôle du pied au niveau du sertissage avec le corps du vase. L'anse, pour sa part, est une vraie torsade obtenue par déformation plastique et non en fonderie laissée au niveau du prélèvement dans un état recristallisé qu'il faut peut-être lier à son assemblage sur la tôle supérieure de l'urne, peut-être même avant la fixation de cette dernière à la tôle inférieure pour des raisons de morphologie générale de l'objet.

Les échantillons du British Museum

À l'exception d'un rasoir quadrangulaire en deux pièces, le seul observé, le corpus du British Museum est composé intégralement de haches. De types différents, elles ont néanmoins comme caractéristique commune leur géométrie massive, à l'exception d'une pièce de tôle dans l'objet atypique 767611 (fig. 19). Les microstructures de ces haches attestent une absence ou d'une faible déformation selon les objets et la localisation précise du mobilier.

Ainsi, les échantillons P 9 (fig. 19), P11 (fig. 20) et 12 (fig. 21) mettent en évidence une structure brute de coulée qui n'a subi aucune déformation ultérieure. Dans le premier cas, une hache « villanovienne » en trois pièces, cet état métallurgique a été relevé dans une partie qui pourrait avoir été ob-

tenue par coulée secondaire sur la plaque principale de l'objet, elle-même réalisée pratiquement intégralement en fonderie mais laissée avec une recristallisation. Cette dernière n'a cependant pas conduit à une homogénéisation complète de la matrice métallique et pourrait s'expliquer par le recuit précédant la coulée de la partie supérieure correspondant à l'emmanchement. L'échantillon P12 ne pose aucun problème d'interprétation : cette hache à douille a été réalisée intégralement en fonderie, y compris son décor, et n'a pas été retravaillée ultérieurement. L'autre hache à douille (P11-1086) présente une situation plus complexe dans la mesure où cet objet réalisé en fonderie et non ébarbé est malgré tout recristallisé. Cela signifie que cette hache qui n'a jamais été achevée a malgré tout connu un recuit : soit dans le cours interrompu de sa fabrication, soit, plus probablement, pour une raison liée à son histoire, tel un incendie.

Les examens des deux autres haches (de P1-1068 à P5-1075; fig. 17 et 18) confirment les hypothèses proposées sur ce type de mobilier : ces pièces massives sont obtenues principalement en fonderie mais ont connu également un travail de martelage pour la réalisation des ailerons latéraux, accompagné de recuit(s), mais aussi pour la formation du tranchant de la hache afin de le rendre fonctionnel, par un affinement et un durcissement. Dans le cas de l'exemplaire 1075 (fig. 18), des traces de polissage quelque peu énergique sont visibles en microscopie optique comme à l'œil nu. La décoration constituée d'une rainure latérale simple n'a entraîné aucune modification dans l'organisation des inclusions. Il semble donc qu'elle ait été exécutée, soit en fonderie, soit par abrasion, les macles mécaniques ayant dans ce cas disparu dans le processus de recristallisation. Seule la nature des moules pourrait permettre de trancher en faveur de l'une ou l'autre des hypothèses.

Le rasoir ne présente pas non plus de grande difficulté d'interprétation : la pièce principale a été fabriquée à partir d'une ébauche coulée, puis déformée et laissée dans cet état, sur laquelle a été fixé un emmanchement constitué d'une tige que l'on a torsadée (également après un recuit) et que l'on a également laissée dans un état déformé, soit après la déformation plastique, soit après la fixation au corps principal.

Les échantillons de Veio²⁷

Les objets étudiés sont, cette fois, pratiquement tous constitués de tôles plus ou moins épaisses, à l'exception de l'épée à antennes, plus massive. Dans cet ensemble, typologiquement varié, les caractéristiques déjà

²⁷ Voir l'annexe 1 pour les détails des renvois aux figures des objets examinés.

notées à Tarquinia et à l'Ashmolean Museum se retrouvent : ces tôles sont le résultat d'un travail de déformation plastique à partir d'une ébauche obtenue en fonderie dans un processus au cours duquel l'artisan a alterné les passes de martelage avec celles de recuit; ici encore, lorsqu'un décor est présent, comme dans le cas du fourreau de la tombe EE 10B, le matériau a été laissé dans un état déformé qui a certainement été précédé d'un recuit; ce même état métallurgique a également été relevé pour les deux tôles de l'urne de la tombe AA1 (N° 3 et 4) qui ne portent pas de décor à l'endroit précis du prélèvement; il faut supposer, dans ce cas, que la dernière étape a permis non seulement l'exécution du décor mais également un travail de finition ou, pourquoi pas, d'assemblage puisque cette urne est fixée par rivetage à un casque à crête. Les examens d'un second vase et d'un autre casque du même type de la tombe M9B ont permis d'observer cette fois un métal recristallisé. C'est sans doute ce dernier mobilier qui pose le plus de difficulté d'interprétation : en effet, les prélèvements ont été effectués à la jonction entre l'une des deux tôles qui forment la calotte de l'objet et une autre pièce qui porte trois tiges, et dont le symétrique existe de l'autre côté du casque. La fabrication des deux parties de la calotte ne fait guère de mystère : ces tôles sont fabriquées et décorées selon les mêmes techniques que celles que l'on utilise pour la vaisselle métallique. Seule la morphologie est différente et l'emploi de pièces multiples permet de faciliter le travail. Elles sont, comme pour les vases, fixées par une superposition des deux pièces avec une interversion de l'ordre dans les deux cas pour un meilleur maintien. En revanche, la fabrication de cette petite plaque qui vient se positionner précisément à la jonction des deux tôles de la calotte n'est pas claire : dans le cas présent, en raison d'une déformation plastique certaine (inclusions) et d'un état recristallisé, l'hypothèse d'une réalisation en fonderie est à exclure; il reste à supposer que, sur une plaque obtenue par une alternance de recuits et de martelage, chacune des tiges a été fixée par emboutissage. Aucun échantillon ne provenant des tiges ou de leur base, il est difficile de livrer d'autres détails. Cette hypothèse pourrait en particulier être vérifiée par la prise d'une radiographie qui permettrait de voir si, à cet endroit, il existe une ou quatre pièces (chaque tige comptabilisée), ce qui signifierait que le casque n'est pas constitué de quatre pièces principales mais de dix.

L'étude de trois ceintures de Veio (tombees OP 4-5, EE12, AA12A) a permis d'établir des parallèles avec les exemplaires de typologie semblable de Tarquinia (fig. 11) et de l'Ashmolean (fig. 14 et 15). Toutes les ceintures villanoviennes de ce type portent un décor relativement élaboré au droit de la pièce. Dans tous les cas, lorsqu'il s'agit d'une zone avec un décor, le métal a été laissé dans un état déformé après l'exécution de ce dernier. Celui-ci cor-

respond toujours à un travail de déformation plastique, soit par ciselure, soit par poinçonnage. En revanche, quand le prélèvement provient d'une partie sans décor, le matériau est recristallisé, parfois de manière complexe à l'image de l'échantillon n° 5 de Veio (tombe OP 4-5) où l'image est en quelque sorte «brouillée» dans une structure hétérogène. Ces ceintures ont donc été travaillées également par martelage à partir d'une ébauche, avec des passes de recuit, en particulier juste avant l'exécution du décor. La déformation plastique totale reste cependant largement inférieure à celle que les tôles de vaisselle ont connu, comme l'atteste le très faible allongement des sulfures. La ceinture de l'Ashmolean a été réparée par l'apport d'une seconde pièce (une «pétasse») qui a été martelée et laissée dans cet état. C'est pratiquement l'un des seuls cas où l'on peut supposer une éventuelle expansion plane (annexe 2).

Une seule épée a pu faire l'objet d'observations. D'un type connu dit «à antennes» et constitué de deux pièces, l'exemplaire de Veio (tombe 215A) est volontairement fracturé, d'une part au niveau de l'une des antennes de la poignée et, d'autre part, en plusieurs morceaux pour la lame. Les microstructures montrent dans les deux cas un état recristallisé à gros grains dans une structure brute de coulée. Cela signifie que la lame comme la poignée ont été fabriquées en fonderie, cette dernière soit uniquement par rivetage (trois sont visibles), soit par coulée secondaire sur cette âme comportant les trois tiges servant à fixer le moule et renforçant la fixation de l'ensemble. Le recuit de recristallisation ne répond à aucun impératif technique. En revanche, il pourrait s'expliquer par le fait que cet objet a été volontairement brisé en plusieurs endroits. En effet, le métal sain, en particulier pour un objet massif, est très résistant et ne se brise nullement sur une simple pression. Dans le cas d'une épée, la résistance considérable du matériau peut avoir été réduite si l'opération de fragmentation de l'objet a été réalisée à chaud et non à froid, ce qui correspondrait parfaitement à son état métallurgique.

Les résultats d'analyses : composition et qualité des matériaux²⁸

S'il est possible de proposer par musée des résultats partiels relatifs aux examens en microscopie optique, l'équivalent pour les analyses de composition semble difficilement envisageable et une synthèse par type

²⁸ Les résultats plus détaillés d'analyses seront intégrés à la publication complète de l'étude (voir *supra* note 1). Les moyennes ici présentées ont été calculées à partir des différentes mesures faites pour un même échantillon. Elles suffisent amplement à dresser un bilan sur les alliages utilisés, tant pour leur composition que pour leur qualité mais elles n'ont évidemment aucune valeur statistique étant donné le faible nombre concerné.

d'objet est largement préférable. Les résultats d'analyses n'ont en effet de sens que rassemblés par ensembles typologiques et techniques cohérents.

La réunion de l'ensemble des données classées par catégorie d'objet permet d'avoir une vision plus synthétique, tant sur la qualité que sur la composition des matériaux employés.

Concernant la nature et la qualité des alliages, aucun calcul de moyenne générale n'a été établi. Savoir en effet quelle est, en moyenne, la composition de tous ces objets ou même de ceux conservés dans tel ou tel musée n'aurait aucun sens. L'objectif est en effet ici de comparer ce qui est comparable, à savoir des objets ayant des points techniques communs, des tôles avec des tôles, des pièces massives avec des pièces massives. Cela n'exclut pas pour autant de chercher à avoir une vue d'ensemble afin de mieux définir l'artisanat des IX^e-VIII^e siècles avant notre ère.

La très grande majorité des objets étudiés a été fabriquée dans un alliage binaire cuivre-étain, le bronze dans des matériaux «propres», c'est-à-dire sans inclusion notable de sulfure ou de plomb. Ces inclusions en effet ne dépassent qu'exceptionnellement 1%. Parmi les mobiliers qui échappent à la règle, deux objets de Tarquinia sont des cuivre-plomb : une hache à 5% environ de plomb et une perle à plus de 38% avec de surcroît plus de 4% d'antimoine. Pour le reste, l'ensemble du corps se distingue par des alliages plutôt de bonne qualité dans lesquels on a su, quels que soient les lieux et les objets, éliminer les impuretés. Loin d'être anecdotique, cette qualité de matériau suppose une bonne maîtrise des procédés de réduction et de fonderie indispensable à la conduite de l'ensemble du travail de fabrication, en particulier pour le martelage. Dans cet ensemble, les teneurs en étain varient selon les types d'objets, qu'ils soient massifs, de petite taille, formés de tôles «épaisses» ou fines.

Les alliages des pièces massives

Le premier groupe qui se détache est formé par des pièces massives, différentes haches et une épée. En dehors de l'exemplaire de Tarquinia (fig. 3) qui est un cuivre enrichi en plomb pour faciliter la coulée avec seulement environ 1% d'étain, ces pièces se caractérisent par un alliage de bronze avec des teneurs assez basses en étain, de 5,5 à 10% environ. Malgré le fait que ces objets aient été fabriqués principalement en fonderie, l'artisan n'a donc pas choisi un pourcentage plus fort en étain ou même en plomb (les teneurs s'échelonnent entre des traces et 2% avec une moyenne s'établissant plutôt autour de 0,5%) qui aurait pourtant facilité la coulée en abaissant le point de fusion de l'alliage. Étant donné que cette caractéris-

Tableau 6
PRÉSENTATION DES ANALYSES SIMPLIFIÉES PAR TYPE D'OBJET

Prov.	Objet	Localisation	N°	Sn	Cu	Pb	S	Autre
Tarquīnia	hache	matrice	P 6-1012 b	1	+ 90	5	1,5	Fe = 1
British M.	hache à ailerons	près du jet de coulée	P 1-1068	9		0,5		
British M.	hache à ailerons	tranchant	P 3-1068	10		1	0,3	
British M.	hache	corps pièce	P 4-1075	8		< 0,5	< 0,5	
British M.	petite hache à douille	corps-bord	P 11-1086	> 10		± 0,5	± 0,5	
British M.	hache à douille décorée	près du jet-décor	P 12-808-244	5,5		tr	0,5	
British M.	«hache villanovienne»	tôle emmanchement	P 8-767-611	6		0,5		
British M.	«hache villanovienne»	ailerons	P 9-767-611	< 7		2		
British M.	«hache villanovienne»	bord plaque	P 10-767-611	< 6		< 0,5		
Veio	épée à antennes	poignée	N° 10	6,5		0,6		Sb = 0,8
Veio	épée à antennes	lame	N° 11	6,5		inégal		Sb = 0,7
Tarquīnia	perle tubulaire	corps pièce	P 12-97	< 1	45	> 38		Sb > 4,5
Tarquīnia	fibule sanguisuga	arc	P 11-83	15				
Tarquīnia	fibule pied disque	pied	P 7-659 A	10		< 0,3	< 0,3	
Tarquīnia	fibule «hérissée»	ressort	P9-527 A	11,5		< 0,4	< 0,3	

(à suivre)

Prov.	Objet	Localisation	N°	Sn	Cu	Pb	S	Autre
Tarquinius	fibule «hérisson»	arc	P 10-529	11,4				
Tarquinius	fibule pied à disque	langnette pied	P 16-651 A	± 11				
Ashmolean	fibule hérisson disque	pied	P 3-1872-1165	7		< 0,4		Fe < 0,5
Ashmolean	fibule hérisson-disque	disque arc	P 4-1872-1165	5				Fe ± 2
Ashmolean	fibule hérisson-disque	ardillon	P 5-1872-1165	7		< 0,4		Fe < 0,5
British M.	rasoir	corps - rebord	P 6-808-233	10				
British M.	rasoir	manche	P 7-808-233	< 10		1	0,2	
Tarquinius	ceinture	matrice	P 18-250	8,5				
Ashmolean	ceinture	matrice	P 6-1890-619	11		± 1		
Ashmolean	ceinture	pièce réparation	P 7-1890-619	11		< 0,3		
Veio	ceinture	corps	N° 5	8,5		1		Sb = 1
Veio	ceinture	corps	N° 9 b	10				
Veio	ceinture	corps	N° 12	± 10		0,6	0,5	
Ashmolean	fourreau	tôle	P 1-275	7				Fe > 1
Veio	fourreau	bouterolle	N° 1	13				
Veio	fourreau	tôle	N° 2	> 12				
Tarquinius	petit vase	tôle	P 3-179	12				

(à suivre)

Prov.	Objet	Localisation	N°	Sn	Cu	Pb	S	Autre
Tarquinia	petit vase	tôle	P 4-179 a	12,5				
Tarquinia	petit vase à pied	tôle	P 5-20 a	7				
Tarquinia	repose vase	tôle-décor	P 17-1092	> 13		1	0,3	
Ashmolean	urne	tôle supérieure	P 8-1869-977	> 7		< 1	0,5	
Ashmolean	urne	tôle centrale	P 9-1869-977	8		< 1	0,5	
Ashmolean	urne	tôle centrale	P 10-1869-977	8		< 1	0,5	
Ashmolean	urne	tôle du pied	P 11-1869-977	9		0,8		
Ashmolean	urne	anse	P 12-1869-977	> 7		0,7	0,7	
Veio	urne	tôle supérieure	N° 3 bis	11,5		0,3		Sb = 0,4
Veio	urne	tôle panse	N° 4 bis	10		0,3		
Veio	urne	tôle du pied	N° 7	11,5				
Veio	urne	tôle supérieure	N° 8 a	11		0,5	0,3	Sb = tr
Veio	urne	tôle inférieure	N° 8 b	10,5		0,5	0,3	Sb = tr
Veio	casque à crête	tôle calotte	N° 6 a	> 12		0,4	0,3	
Veio	casque à crête	pièce à 3 tiges	N° 6 b	8		0,5	0,2	
Tarquinia	gourde	tôle-décor	P 1-1967	14,5				
Tarquinia	gourde	couche interne	P 1-1967	0,5	88			O = 11

tique n'est remise en cause par aucun mobilier (un seul objet atypique a certes plus de plomb mais encore moins d'étain), il faut en conclure qu'il s'agit là, avec toutes les réserves nécessaires étant donné le nombre peu élevé d'objets, d'une action volontaire. Ce choix peut s'expliquer par un manque d'étain à disposition ou en raison de l'usage prévu pour ces mobiliers, la solution étant peut-être d'ailleurs une combinaison de ces deux hypothèses. Pour pouvoir être fonctionnels ces objets doivent être à la fois suffisamment durs (donc enrichis avec un métal différent du cuivre) et pas trop fragiles (donc pas dans un alliage trop riche, comme un bronze à 20% qui en ferait un matériau dur mais cassant). Les pourcentages d'étain pourraient ici correspondre à des teneurs minimales requises pour que ces haches soient utilisables dans une gestion économique des stocks d'étain, ce dernier étant une denrée précieuse. Le seul exemplaire qui semble avoir été utilisé avec certitude est celui du British Museum (1068) dont les teneurs avoisinent cependant les 10%. À l'inverse, la fonctionnalité de la hache de Tarquinia est largement à mettre en doute en raison même de la composition, ce que viendrait d'ailleurs confirmer les observations faites en microscopie optique puisque cet objet n'a même pas été réellement poli après la fonderie. À la même époque, les vaisselles de Tarquinia affichent pour leur part des teneurs en étain largement supérieures, qui confirment bien un choix délibéré de l'artisan. Ici, il est donc possible que cet objet ait été réalisé sans que son utilisation autre que funéraire ait jamais été envisagée.

Les alliages des petits objets

Les petits objets forment un groupe hétérogène. La perle tubulaire (fig. 8) constitue un objet tout à fait à part dans l'ensemble du corpus et qui n'a aucun autre équivalent, tant par la nature de l'alliage que par sa qualité. L'alliage a été choisi pour faciliter la coulée tout en «économisant» de l'étain pour un rendu final de coloris jaune pâle à blanc. La présence d'antimoine reste moins explicable, si ce n'est peut-être en liaison avec la nature des minerais utilisés. Il s'agit ici du matériau le plus adapté au travail technique à réaliser, peut-être dans une production en nombre, si ce n'est en série, qui correspondrait d'ailleurs à la grande quantité de ce type de perles mises au jour à Tarquinia. Le même type de remarques pourraient également être formulé pour la fibule «a sanguisuga» (fig. 7) : cette fois il s'agit d'un bronze avec la teneur en étain la plus élevée de tout le corpus (15%) ce qui a certainement permis de faciliter la fabrication de ce type de fibule coulé, d'une belle couleur jaune, dont la production ne se limite pas à quelques exemplaires isolés. Il est difficile de conclure à propos des fibules à

pied à disque tant les exemplaires de Tarquinia (fig. 4 à 6, 9), homogènes entre eux, différent de l'exemplaire de l'Ashmolean Museum. Si, dans le premier cas, des bronzes à 10-11% semblent compatibles avec le type de travail et d'objet, la fibule de la collection anglaise affiche des teneurs en étain fort basses, entre 5 et 7% suivant les pièces.

Les alliages des tôles «épaisses»

Dans cet ensemble, un seul rasoir a été étudié et il est donc difficile de proposer d'autres conclusions que celles strictement liées à l'objet. Ce bronze, à teneur moyenne en étain, possède un alliage parfaitement adapté au travail de fabrication choisi, alliant fonderie et martelage pour un rendu final d'un beau jaune tirant très légèrement sur un jaune orangé.

Les ceintures ventrales larges sont mieux représentées avec cinq exemplaires. Les alliages sont des bronzes affichant entre 8,5 et 11% d'étain, soit une certaine homogénéité même si les données recueillies à l'Ashmolean Museum se distinguent un peu par des teneurs, pour une fois, légèrement supérieures. La qualité du métal (inclusions de plomb et de soufre) présente quelques variations mais reste de bon niveau. Le rendu final devait être d'un coloris équivalent à celui du rasoir.

Les alliages des tôles fines

Les tôles fines mises en forme pour la fabrication de fourreaux, de vaisselle ou de casque, affichent des compositions qui varient du simple au double dans une fourchette comprise entre 7 et 14,5% d'étain. Quels que soient les objets considérés dans cet ensemble, ce sont les valeurs des mobiliers de l'Ashmolean Museum qui sont les plus basses, entre 7 et 9%. Cela conduit à de notables différences de composition pour des objets strictement identiques d'un point de vue technique comme typologique. Ainsi, les fourreaux étudiés sont de type identique et ont été fabriqués de la même manière. En revanche, dans un cas l'alliage est un bronze à 7% alors que dans l'autre, l'étain s'élève à 13%. De même, les deux urnes de Veio présentent des teneurs s'établissant autour de 10-11% d'étain alors qu'un exemplaire similaire à Oxford n'affiche que 8% d'étain. Fruit du hasard des prélèvements? Difficile d'en être parfaitement convaincu, d'autant plus qu'il s'agit également d'un phénomène existant pour les fibules à pied à disque étudiées. Peut-être faut-il alors chercher une autre explication. Dans l'état d'avancement des recherches, avec un échantillonnage sans valeur statistique, la seule qui puisse se dessiner pour l'instant est à rechercher du côté des choix techniques du, ou des, artisans, du lieu de production lui même.

Les mobiliers aujourd'hui conservés à l'Ashmolean auraient été fabriqués dans un atelier où l'étain aurait fait l'objet de quelque économie, tout en restant suffisant pour que la pièce puisse être travaillée correctement et le produit fini utilisable. À l'inverse, les mêmes objets aujourd'hui en contexte funéraire à Veio auraient pu bénéficier d'une plus grande générosité dans l'ajout d'étain, conférant ainsi une meilleure résistance mécanique à ces tôles fragiles en raison de leur faible épaisseur²⁹, mais pas trop élevé afin que le travail de martelage n'en souffre pas.

La vaisselle de Tarquinia présente des variations dans les alliages d'un objet à l'autre, entre la gourde contenant 14,5% d'étain et le petit vase à pied (P 5-20) qui en affiche la moitié moins. Ce dernier objet fait tout de même figure d'exception, même s'il semble techniquement envisageable dans la mesure où la résistance mécanique requise dans ce cas est plus limitée en raison de sa petite taille. Pour le reste, la vaisselle de Tarquinia étudiée est composée de bronze à plus de 12% d'étain qui atteste la qualité technique des artisans qui l'a fabriquée, en particulier pour la gourde. En effet, dans ce dernier cas, on atteint des teneurs en étain qui commencent à rendre plus difficile le travail de déformation plastique et le risque de rupture en cours de martelage plus élevé. D'ailleurs, pour limiter ce risque, sauf pour le repose vase qui est de taille réduite (1% de plomb demeure encore une teneur très raisonnable), on s'est assuré d'une bonne qualité d'alliage débarrassée de trop d'inclusions de plomb et de soufre qui peuvent porter préjudice au martelage. Dans l'ensemble, ces vaiselles ont brillé d'un beau jaune éclatant après le dernier polissage de surface.

Le casque à crête de Veio présente pour sa part des différences notables d'une pièce à l'autre. En effet la tôle de la calotte est un bronze à plus de 12% d'étain alors que la plaque portant les trois tiges en affiche tout juste 8%. Plus qu'une explication technique, c'est peut-être plutôt à une raison esthétique qu'il faut faire appel ici. Ces différences de composition pouvaient ainsi apporter un certain jeu de polychromie entre un jaune clair et un jaune plus rosé dont la corrosion générale actuelle (le trop fameux «joli» vert bronze) ne rend absolument pas compte.

²⁹ L'épaisseur d'une tôle comme sa composition joue en effet un rôle dans le degré de résistance mécanique. Une tôle trop fine risque de ne présenter aucune résistance mécanique nécessaire dans le cas d'un vase. Pour s'en convaincre il suffit d'imaginer un tel objet, même de petite taille dans une feuille d'aluminium alimentaire. Pour y remédier l'artisan peut d'une part fabriquer une tôle plus épaisse mais également dans un alliage où l'une des composantes va assurer à l'ensemble une meilleure résistance.

Le travail de mise en forme (tableau 7)

La fabrication des pièces de morphologie variée

Pour essayer de rendre compte des techniques de fabrication identifiées sur l'ensemble du corpus étudié en laboratoire, les mêmes divisions que celles utilisées pour les analyses ont été reprises dans un tableau où l'on retrouve les différents ensembles, pièces massives, petites pièces, tôles épaisses et fines.

À l'échelle de l'ensemble du corpus, les caractéristiques relevées précédemment se retrouvent. Quel que soit le lieu de provenance, les pièces massives ont été fabriquées en fonderie avec une faible déformation plastique ultérieure, correspondant généralement à un travail de finition ou d'usage (tranchant de hache).

Dans le cadre de ce choix technique les alliages restent compatibles, sans difficulté technique majeure. Les basses teneurs en étain impliquent simplement que l'alliage a dû être monté fortement en température pour que la coulée puisse être réalisée.

Cette constatation ne règle pas pour autant une question essentielle : quel procédé a été utilisé ? S'agit-il d'une fonte en moule permanent, d'une fonte à la cire perdue ? En l'absence d'autres vestiges, même avec les moyens de laboratoire les plus perfectionnés, il reste difficile de livrer des informations beaucoup plus précises. Rien ne s'oppose à l'emploi de l'un ou l'autre des procédés. À la fin du IX^e et au début du VIII^e siècle avant notre ère ils sont tous les deux connus. Il n'existe pas davantage de contre-indication technique : les pièces sont de géométrie simple ne posant aucun problème de contre-dépouille ; des moules en pierre sont inventoriés pour l'Âge du bronze mais le choix d'une fonte en moule non permanent est sans doute moins contraignant, plus rapide, et permet de produire en plus grand nombre. Malheureusement, à eux seuls, ces objets ne peuvent fournir de conclusion indiscutable, ni par leur aspect extérieur, ni par leur microstructure interne.

L'étude de la mise en forme des petites pièces offre plus d'éléments de réponse mais laisse cependant également des questions en suspens. La perle comme la fibule «a sanguisuga» (P 11 et P 12) de Tarquinia (fig. 7 et 8) sont des objets bruts de coulée qui ont très probablement été obtenus par une fonte à la cire perdue. Ce choix, comme celui d'ailleurs de l'alliage, répond sans doute à un besoin de production relativement simple mais abondante. La solution adoptée a donc une motivation économique autant que technique.

Les fibules à pied à disque gardent quant à elles encore une part de leur secret de fabrication. La déformation plastique observée pour tous

Tableau 7
RÉCAPITULATIF DES ÉTATS MÉTALLURGIQUES OBSERVÉS SUR L'ENSEMBLE DES PRÉLÈVEMENTS

Musée	Objet	Localisation	Géo.	D.	N°	État métallurgique
T	Hache	tranchant	massif		P6-1012A	brut de coulée
BM	Hache	emmanchement	massif		P1-1068	recristallisé sans déformation notable
BM	Hache	aileron	massif/plaque		P2-1068	recristallisé avec «skin pass»
BM	Hache	tranchant	massif		P3-1068	macles mécaniques dans recristallisé
BM	Hache	bord décoré	massif	X	P4-1075	recristallisé avec peu ou pas de déformation
BM	Hache	tranchant	massif		P5-1075	déformé
BM	Hache	emmanchement	tôle		P8-767-611	recristallisé
BM	Hache	bord emmanchement	massif		P9-767-611	brut de coulée
BM	Hache	pièce principale	plaque		P10-767-611	recristallisé
BM	Hache	bord non ébarbé	résidu		P11-1086	recristallisé
BM	Hache	rebord du talon	massif	X	P12-808-244	brut de coulée
V	Épée	poignée	massif		10	recristallisé à gros grain dans brut de coulé
V	Épée	lame	pseudo massif		11	recristallisé à gros grain dans brut de coulé
T	Perle	rebord	ND		P12-97	brut de coulée
T	Fibule	rebord arc creux	tôle		P11-83	brut de coulée et polissage

(à suivre)

Musée	Objet	Localisation	Géo.	D.	N°	État métallurgique
T	Fibule	pied à disque	tôle		P7-659A	recristallisation à gros grains
T	Fibule	disque de l'arc	tôle		P8-527	? corrosion
T	Fibule	ressort	fil		P9-527A	recristallisé
T	Fibule	amorce du pied	fil/tôle		P10-529	recristallisé
T	Fibule	languette du pied	tôle	X	P16-651A	recristallisé
T	Fibule	languette du pied	tôle	X	P16-651B	recristallisé
AM	Fibule	pied	tôle		P3-1872-1165	recristallisation?
AM	Fibule	disque de l'arc	tôle		P4-1872-1165	recuit de recristallisation à grain fin
AM	Fibule	ardillon	fil		P5-1872-1165	recuit de recristallisation
BM	Rasoir	bord pièce pp.	tôle		P6-808-233	déformé dans recristallisé à grain fin
BM	Rasoir	manche torsadé	fil épais		P7-808-233	recristallisé
T	Ceinture	bord pièce	tôle	X	P18-250	déformé
T	Ceinture	corps décoré	tôle	X	P19-250	déformé
AM	Ceinture	corps décoré	tôle	X	P6-1890-619	déformé
AM	Ceinture	pétasse	tôle		P7-1890-619	déformé
V	Ceinture		tôle		5	recristallisation complexe

(à suivre)

Musée	Objet	Localisation	Géo.	D.	N°	État métallurgique
V	Ceinture		tôle	X	9 a	? (corrosion)
V	Ceinture		tôle		9 b	recristallisé
V	Ceinture	attache	tôle		12	recristallisé
AM	Fourreau	bord	tôle	X	P1-275	recristallisé à grain fin (recuit)
V	Fourreau	bouteroille	-		1	recristallisé
V	Fourreau	tôle décorée	tôle	X	2	déformé dans recristallisé
T	Petit vase	panse	tôle		P3-179	recristallisé
T	Petit vase	décor du bord	tôle	X	P4-179A	déformé dans une recristallisation partielle?
T	Petit vase	bord du vase	tôle	?	P4-179B	déformé
T	Vase à pied	fond	tôle		P5-20A	déformé?
T	Repose vase	corps décoré	tôle	X	P17-1092A	déformé sous le décor
AM	Urne	pièce sup. panse	tôle		P8-1962-977	recristallisé
AM	Urne	Pièce inf. panse	tôle	X	P9-1962-977	déformé sous la bossette dans matrice recristallisée
AM	Urne	pied	tôle		P11-1962-977	déformé dans une matrice recristallisée
AM	Urne	anse torsadée	massif		P12-1962-977	recristallisé

(à suivre)

Musée	Objet	Localisation	Géo.	D.	N°	État métallurgique
V	Urne		tôle		3 bis	déformé
V	Urne		tôle		4 bis	déformé
V	Urne		tôle		7 et 7 bis	recristallisé
V	Urne		tôle		8 a	recristallisé
V	Urne		tôle		8 b	recristallisé mais déformation «skin pass» ?
V	Casque		tôle		6 a	recristallisé
V	Casque		tôle		6 b	recristallisé
T	Gourde	corps décoré	tôle	X	P1-1967	déformation plastique

les exemplaires reste inférieure à celle qui était attendue. En effet, l'hypothèse émise concernant la fabrication de cette parure vestimentaire reposait essentiellement sur un travail de martelage. Certes, ce dernier existe effectivement. Cependant, il ne peut à lui seul expliquer la morphologie complexe des fibules dans leur état final. Il faut donc admettre que, pour ces quatre objets conservés dans deux collections différentes, le travail de déformation plastique s'est appuyé sur une ébauche assurant déjà l'existence substantielle de certaines parties. Ainsi, la languette de la fibule à disque de Tarquinia (P16-651; fig. 9) devait déjà être pour une part formée à l'issue de la fonderie. Même si la morphologie précise de l'ébauche reste inconnue, cela signifierait tout de même que l'on est en mesure de supposer qu'un procédé en moule non permanent a plutôt été utilisé. Cette hypothèse demanderait à être confirmée, en particulier grâce à d'autres études sur ce type de fibule, essentiel dans l'évolution de l'artisanat en Italie centrale entre le X^e et le IX^e siècle avant notre ère.

Le travail prépondérant par martelage laisse subsister moins de doutes. Les microstructures montrent des allongements de sulfure parfois très importants (voir *infra*), qui signifient une déformation plastique totale conséquente. Les grandes étapes de la chaîne opératoire seraient donc ici : coulée d'une ébauche en bronze dans un alliage entre 8 et 11% pour les tôles «épaisses» (rasoir, ceinture) et plutôt de l'ordre de 12% (avec un maximum pour la gourde à 14,5%) pour les tôles fines de vaisselle, sauf pour les objets de l'Ashmolean Museum qui gardent des teneurs plus basses. Dans l'ensemble, l'artisan procède à une «bonne» fonderie, c'est-à-dire avec un matériau le plus propre possible qui lui permettra de limiter au maximum les risques de rupture en cours de martelage en raison d'un matériau trop riche en inclusions. D'une manière générale, Tarquinia occupe la première place pour la qualité des alliages des tôles de vaisselle tandis que l'Ashmolean Museum arrive en troisième et dernière position. Cela est parfaitement en accord avec les teneurs moyennes relevées entre une collection et une autre. Plus les teneurs en étain sont importantes, plus le travail de martelage est délicat et plus il est indispensable de disposer d'un matériau propre. En d'autres termes, le mobilier de Tarquinia atteste une meilleure qualité technique tandis que l'artisan qui a fabriqué les objets de la collection anglaise a adapté sa fonderie au travail de martelage ultérieur. Dans le cas de la gourde, l'alliage choisi est, d'une certaine manière, en limite des possibilités techniques envisageables. En effet, la solubilité de l'étain dans le cuivre atteint son maximum à 15,8% pour une température comprise entre 500 et 600° C. Cela signifie qu'un bronze se situant autour de 15% est ce que l'on appelle biphasé à température ambiante avec une forte

proportion de seconde phase eutectoïde α - δ , cette dernière étant dure et donc préjudiciable au travail de déformation plastique. Dans l'artisanat actuel, le martelage d'un bronze à 15% est même considéré comme pratiquement impossible. L'existence de cet alliage pour cette gourde, pratiquement sans seconde phase, atteste un remarquable savoir-faire de l'artisan qui a fabriqué cette vaisselle, en particulier pour le martelage mais également pour la conduite des recuits³⁰. Quoi qu'il en soit, à Tarquinia comme dans les collections d'Oxford, l'adéquation entre la nature de l'alliage, sa qualité et le travail à exécuter est préservée. L'un était en mesure de fabriquer une tôle très fine dans un alliage à 15% très propre, l'autre s'est contenté d'un alliage à faible teneur en étain, moins épuré des inclusions, lui assurant un travail de martelage plus aisé. Concernant ce dernier, des précisions peuvent même être obtenues à partir d'un certain nombre de mesures effectuées en microscopie optique.

Données sur les déformations plastiques : le quantitatif

Du sulfure à l'ébauche : les propositions pour une estimation des épaisseurs initiales

En s'appuyant sur un certain nombre d'hypothèses, mais aussi de calculs, estimer l'épaisseur initiale d'une ébauche à partir de son épaisseur finale et de l'allongement des sulfures ne semble pas déraisonnable³¹. Il n'est bien sûr pas question de proposer un résultat au millimètre près mais plutôt un chiffre approximatif à partir d'un calcul, variable selon que l'on se trouve dans un cas de déformation plane ou biaxiale, auquel il faut encore ajouter l'équivalent de ce qui a disparu au cours des opérations de polissage et de finitions, ce qui peut représenter encore plusieurs millimètres d'épaisseur.

³⁰ Des remarques de même nature avaient déjà été faites sur un mobilier pratiquement contemporain, mis au jour en 1987 dans la tombe de Saint-Romain-de-Jalionas (Isère) qui reste encore, malheureusement encore largement inédite en dehors de S. Verger et J. P. Guillaumet, *Les tumulus de Saint-Romain-de-Jalionas. Premières observations*, dans *Les princes celtes et la Méditerranée. Actes du colloque, Paris, 1987*, Paris, 1988, p. 220-230. Pour les études métallurgiques, une publication est cependant disponible : M. Pernot et F. Monteillet, *Archéométallurgie du formage : le martelage des alliages à base de cuivre à l'époque protohistorique. Premiers résultats*, dans *La revue de métallurgie*, mai 1994, p. 849-861, part. p. 853-854. Elle devrait être complétée pour le mobilier en bronze, dans le cadre d'un travail de synthèse sur le site, par M. Pernot et A. Le Fèvre-Lehöerff, *Le matériel en bronze du tumulus Géraud de Saint-Romain-de-Jalionas : les compétences artisanales*.

³¹ C'est également un travail de ce type qui avait été réalisé par P. Piccardo, M. Pernot, *Studio analitico strutturale di alcuni vasi celtici in bronzo*, dans *La metallurgia italiana*, 11, 1997, p. 43-52, sur le mobilier métallique de deux tombes à char du VI^e-V^e s. avant notre ère, Estissac et Bouranton, resté par ailleurs largement inédit.

Tableau 8
RÉSULTATS DE CALCUL POUR L'ESTIMATION DES ÉPAISSEURS INITIALES DES ÉBAUCHES TRAVAILLÉES
EN DÉFORMATION PLASTIQUE (voir annexe 2 pour le détail des calculs)

Objet	N° échantillon	Exp. Biaxiale	Def. plane	FF inclusion	Épaisseur tôle (final) en mm	Estimation épaisseur initiale en mm
Gourde	P1-1967	X		40	0,2 (bossette)	2,3
Petit vase	P3-179	X		40	0,15	1,8
Petit vase	P4-179 A	X		20	0,5	3,7
Vase à pied	P5-20A	X		15	0,2	1,2
Fibule pied à disque	P7-659	X		2,5	0,75	1,4
Fibule pied à disque	P8-659	X		12,5	0,5	2,7
Fibule « hérisson »	P10-529	?		8	1,5	Biax = 6,; Plane = 4,2
Fibule (languette)	P16-651 A	X?		/	0,4	incalculable dans ce plan
Fibule (languette)	P16-651 B	X?		5	0,4	1,2
Repose vase	P17-1092 B	X		15	0,7	4,3
Ceinture	P 18-250	X		4	0,8	2,
Fourreau	P2-275	X		100 (maxi)	0,7	1,5
Fourreau	P2-275	X		60 (majorité)	0,7	1,2

(à suivre)

Objet	N° échantillon	Exp. Biaxiale	Def. plane	FF inclusion	Épaisseur tôle (final) en mm	Estimation épaisseur initiale en mm
Pied de fibule	P3-1872-1165	X		25	0,25	2,1
Disque de fibule	P4-1872-1165	X		15	0,15	0,9
Ardillon de fibule	P5-1872-1165		X	10	1,5	4,7
Ceinture	P6-1890-619	X		4	1,2	3
Pièce réparation	P7-1890-619	?	?	20	0,5	Biax = 3,7; Plane = 2,2
Urne, tôle supérieure	P8-1962-977	X		20	0,4	2,9
Urne, tôle inférieure	P9-1962-977	X		15	0,35	2,1
Urne, tôle inférieure	P11-1962-977	X		20	0,4	2,9
Rasoir	P6-808-233	X		17	0,2	1,3
Hache villanovienne	P8-767-611	X?		10	0,35	1,6
Fourreau	N° 2	X		20	0,8	5,9
Urne	N° 3 bis	X		16	0,8	5,2
Urne	N° 4 bis	X		15	0,5	9
Ceinture	N° 5	X		3,3	1,4	3,1
Casque	N° 6 a	X		16	0,5	3,,3

(à suivre)

Objet	N° échantillon	Exp. Biaxiale	Def. plane	FF inclusion	Épaisseur tôle (final) en mm	Estimation épaisseur initiale en mm
Casque	N° 6 b	X		17	0,9	5,9
Urne	N° 7 bis	X		16	-	estimation incalculable
Urne	N° 8 a et 8 a bis	X		32	1,2	1,2
Urne	N° 8 b	X		25	1,1	2
Ceinture	N° 9 a	X		5	1,0	2,9
Ceinture	N° 12	X		6 (maxi)	1,6	5,3
Ceinture	N° 12	X		4 (majorité)	1,6	4

Remarques : les épaisseurs de la tôle de Veio (N° 8) supérieures à celles relevées sur d'autres vaiselles du même type s'explique par le fait que les prélèvements ont été faits ici à la jonction entre les deux tôles et non au plus milieu de celles-ci. Une meilleure résistance mécanique est ainsi assurée.

À la lecture de ce tableau, plusieurs remarques s'imposent. Dans cet ensemble, certaines valeurs extrêmes sont atypiques : les épaisseurs maximales entre 9 et 15 mm ou, à l'opposé, les résultats proches de 1 mm. Dans le premier cas, ces valeurs posent des difficultés d'interprétation dans la mesure où de telles épaisseurs sont, certes relativement faciles à obtenir en fonderie, mais inadaptées à un travail de déformation plastique important. En effet, d'un point de vue technique, l'épaisseur « idéale » d'une ébauche sera celle qui aura le meilleur rapport entre le produit brut de fonderie (l'épaisseur et les autres dimensions) et la pièce dans sa forme achevée. Cet idéal ne semble pas vraiment atteint ici, en particulier pour le fourreau d'Oxford. Dans le second cas, les faibles valeurs relevées correspondraient à une coulée d'ébauche particulièrement fine, pratiquement en limite des possibilités techniques envisageables. Ces chiffres restent néanmoins acceptables pour deux raisons : premièrement il faut sans doute y ajouter l'équivalent du travail de polissage et, deuxièmement, ils ne concernent que de petites pièces (le disque de fibule P4-1872-1165 a un diamètre d'environ 4,5 cm) pour lesquelles il n'est pas forcément déraisonnable de penser qu'une ébauche plus fine ait été réalisée que celle des grands vases.

Par ailleurs, les estimations des épaisseurs des ébauches varient selon les prélèvements entre 2 mm et 6 mm environ, c'est-à-dire un résultat dont l'intérêt réside dans le caractère normalisé de ces chiffres. En effet, ces épaisseurs se retrouvent pour d'autres mobiliers archéologiques, comme ceux par exemple des tombes plus tardives d'Estissac et Bouranton (France)³². D'une certaine manière, il s'agit d'une solution optimale dans le cadre d'une fonderie bien conduite et qui précède un travail de martelage largement anticipé³³. En d'autres termes, ces épaisseurs correspondent à une sorte de « calibrage » pour les ébauches que l'on retrouve en divers lieux et temps et qui s'affirme comme la meilleure réponse technique envisageable dans le cadre d'un artisanat de qualité qui associe fonderie et martelage. En soi, ce résultat n'est pas étonnant dans la mesure où la fabrication d'objets comme les urnes métalliques ou les casques ne semble imaginable qu'à ce prix. Il n'en reste pas moins que le savoir technique en Italie entre la fin IX^e et le VIII^e siècle avant notre ère est ici mesurable au sens propre, confirmé d'ailleurs par l'étude du martelage lui-même.

³² P. Piccardo et M. Pernot, *op. cit.*, p. 46-47.

³³ À titre de comparaison, dans le monde artisanal actuel, une ébauche de 3 mm d'épaisseur pour une surface de 10 cm est considéré comme un bon travail alors que pour la même pièce, une épaisseur de 5-6 mm est censée être à la portée de tout professionnel.

Le pourcentage de réduction des épaisseurs

À ce travail d'estimation des épaisseurs des ébauches coulées peut s'ajouter un autre calcul, celui du pourcentage de réduction des épaisseurs. Cela revient à chiffrer le rapport existant entre le produit initial, l'ébauche, et final, la pièce telle qu'elle a été mesurée. En d'autres termes, cette estimation permet d'avoir une idée du travail total de martelage accompli par l'artisan lors de la seconde phase de la chaîne opératoire de fabrication.

Tableau 9
POURCENTAGES DE RÉDUCTION D'ÉPAISSEUR D'APRÈS LES DONNÉES
RELATIVES AUX ÉPAISSEURS INITIALES ET FINALES³⁴

Objet	N° échantillon	Épaisseur initiale (mm)	Épaisseur finale (mm)	% de réduction d'épaisseur (ordre de)
Gourde	P1-1967	2,3	0,2 (bossette)	90
Petit vase	P3-179	1,8	0,15	90
Petit vase	P4-179 A	3,7	0,5	85
Vase à pied	P5-20A	1,2	0,2	80
Fibule pied à disque	P7-659	1,4	0,75	45
Fibule pied à disque	P8-659	2,7	0,5	80
Fibule «hérisson»	P10-529	Biax = 6; Plane = 4,2	1,5	75-65
Fibule (languette)	P16-651 A	incalculable dans ce plan	0,4	—
Fibule (languette)	P16-651 B	1,2	0,4	65
Repose vase	P17-1092 B	4,3	0,7	85
Ceinture	P 18-250	2	0,8	60
Fourreau	P2-275	15	0,7	100
Fourreau	P2-275	12	0,7	95
Pied de fibule	P3-1872-1165	2,1	0,25	90
Disque de fibule	P4-1872-1165	0,9	0,15	85

(à suivre)

³⁴ Le calcul est établi comme suit :

$$\% = \frac{e \text{ initial} - e \text{ final}}{e \text{ initial}} \times 100$$

Objet	N° échantillon	Épaisseur initiale (mm)	Épaisseur finale (mm)	% de réduction d'épaisseur (ordre de)
Ardillon de fibule	P5-1872-1165	4,7	1,5	70
Ceinture	P6-1890-619	3	1,2	60
Pièce réparation	P7-1890-619	Biax= 3,7; Plane = 2,2	0,5	85-75
Urne, tôle supérieure	P8-1962-977	2,9	0,4	85
Urne, tôle inférieure	P9-1962-977	2,1	0,35	85
Urne, tôle inférieure	P11-1962-977	2,9	0,4	85
Rasoir	P6-808-233	1,3	0,2	85
Hache villanovienne	P8-767-611	1,6	0,35	80
Fourreau	N° 2	5,9	0,8	85
Urne	N° 3 bis	5,2	0,8	85
Urne	N° 4 bis	9	0,5	95
Ceinture	N° 5	3,1	1,4	55
Casque	N° 6 a	3,3	0,5	85
Casque	N° 6 b	5,9	0,9	85
Urne	N° 7 bis	estimation incalculable	—	—
Urne	N° 8 a et 8 a bis	12	1,2	90
Urne	N° 8 b	2	1,1	45
Ceinture	N° 9 a	2,9	1,0	65
Ceinture	N° 12	5,3	1,6	70
Ceinture	N° 12	4	1,6	60

Légende et remarques : dans la dernière colonne sont reportés les résultats des calculs pour chacun des échantillons arrondis au 0 ou au 5 le plus proche, dans la mesure où il s'agit ici d'ordres de grandeur. En effet, les épaisseurs initiales de la troisième colonne sont également des estimations et, dans les mesures des épaisseurs finales, il faudrait ajouter les millimètres correspondant au travail de finition et de polissage qui ont disparu, dans des proportions qui restent inconnues.

Sur la totalité des calculs établis, seules deux valeurs sont inférieures à 50% de réduction et les deux tiers sont supérieures ou égales à 80% de réduction de l'épaisseur initiale de l'ébauche. Ces chiffres montrent donc un

important travail de déformation plastique dans la majorité des cas étudiés. Dans cet ensemble, un groupe homogène, constitué des ceintures, se détache avec des valeurs plus faibles autour de 60%. Seule la pièce rapportée de réparation de l'exemplaire d'Oxford (P7-1890-619) affiche 85 ou 75% selon qu'il s'agit d'une expansion biaxiale ou d'une déformation plane. Les tôles fines, quelle que soit l'épaisseur initiale de l'ébauche, se caractérisent par des réductions dues au martelage dans des proportions s'établissant autour de 80-90%, avec un maximum de 100% environ pour le fourreau d'Oxford³⁵. Ces valeurs très élevées rendent compte de l'importance du travail de mise en forme par déformation plastique pour ces mobiliers³⁶. D'une certaine manière, elles n'en mettent que plus fortement en relief la nécessité de disposer d'un matériau de qualité à l'issue de la fonderie. Enfin, les fibules se démarquent une fois encore³⁷ par une certaine hétérogénéité d'un objet à l'autre.

CONCLUSION

En conclusion, on peut souligner que le travail en laboratoire n'a rien de mystérieux. De miraculeux non plus, mais dans le cadre de cette étude, il a permis effectivement de confirmer ou d'infirmer certaines hypothèses sur les techniques de fabrication.

Les pièces massives, telles que les haches ou l'épée, ont bien été fabriquées en fonderie, peu retravaillées mais avec un procédé que les observations en microscopie optique ou les analyses ne permettent pas d'identifier. Les petits objets, tels que les fibules ou la perle tubulaire de Tarquinia, ont été réalisés soit uniquement en fonderie, soit en associant également du martelage mais dans des proportions moins importantes que celles qui étaient attendues. Ici, l'hypothèse d'une fonte en moule non permanent n'est pas à écarter. Les examens de la vaisselle métallique attestent un travail de déformation plastique parfois très important à partir d'ébauches épaisses, en majorité, entre 2 et 6 mm.

Les analyses de compositions ont révélé l'utilisation surtout d'alliage binaire cuivre-étain dans des proportions variables selon les types d'objets mais également selon les provenances puisque l'ensemble du mobilier

³⁵ Le maximum est ici calculé sur le sulfure le plus allongé repéré dans l'échantillon; un calcul sur les allongements moyens (ligne suivante) donne un maximum de 95%.

³⁶ Un résultat similaire (90%) avait été obtenu pour les cistes d'Estissac (P. Piccardo, M. Pernot, *op. cit.*, 1997, p. 47).

³⁷ Voir *supra* les remarques sur le travail de mise en forme.

conservé à l'Ashmolean Museum affiche des teneurs moins élevées que celles, pour du mobilier similaire, de Tarquinia ou Veio. De plus, la qualité générale des matériaux souligne le savoir-faire d'artisans qui ont, avant même de procéder à un travail de martelage, anticipé les difficultés de cette étape par une «bonne fonderie». Même pour la qualité la plus médiocre enregistrée, l'artisan semble avoir su ce qu'il faisait : inexploitable pour une tôle martelée, cet alliage est en revanche adapté à la technique choisie et au produit réalisé, une perle de couleur blanche qui devait être produite en nombre assez élevé si l'on s'en tient aux découvertes faites dans la nécropole de Monterozzi. Le même type de remarque pourrait d'ailleurs être formulé pour la fibule «a sanguisuga» provenant également de Tarquinia. La coexistence en un même lieu d'objets fabriqués par des techniques aussi différentes que celles qui sont employées pour ces deux petites pièces ou celles qui ont guidé la réalisation de la gourde conduit à supposer l'existence d'une véritable économie artisanale.

Aussi satisfaisante soit-elle, cette étude appelle néanmoins une suite. Sans qu'il soit question de procéder à un tronçonnage systématique de tous les mobiliers métalliques, l'examen de nouveaux objets pourrait apporter des compléments sur un certain nombre de points précis : les résultats sur les petits objets restent encore trop partiels pour que l'on s'en satisfasse. Les fibules à pied à disque, mais également d'autres types comme celles à arc folié, nécessiteraient une étude à part entière. De même, certains objets «de prestige» ont ici été étudiés de manière trop marginale pour ne pas souhaiter d'autres prélèvements, par exemple sur les épées ou les casques. Même les résultats les plus complets obtenus sur les tôles métalliques fines ou plus épaisses pourraient trouver des prolongements : rechercher des différences entre un lieu ou un autre à l'image de celles entre Tarquinia et les collections de l'Ashmolean Museum dans le but d'isoler des «groupes techniques», faute de pouvoir vraiment parler ici d'ateliers puisqu'il s'agit des lieux de découverte ou de conservation; examiner plus systématiquement des mobiliers similaires, déjà assez bien connus d'un point de vue technique, et dont les contextes archéologiques, comme à Veio, sont identifiés, en vue d'une étude locale. Il vaudrait donc ici la peine de poursuivre le travail entrepris, en s'appuyant sur les premiers résultats, et sans jamais perdre de vue la motivation première, faire appel à toutes les données envisageables pour mieux servir la connaissance d'un artisanat qui n'a de sens que dans la société qui l'organise.

Le travail en laboratoire a, par ailleurs, apporté certains résultats inattendus dans le cadre d'une étude technique mais essentiels dans celui d'une meilleure compréhension du devenir de ces objets à l'issue de leur fabrica-

tion. Ainsi, si les données du laboratoire ne peuvent certes pas permettre de trancher véritablement le débat opposant les partisans d'un artisanat funéraire et ceux qui penchent en faveur d'une utilisation secondaire de mobiliers fabriqués pour les vivants et non pour les morts, elles alimentent les propositions des uns et des autres. Elles peuvent rassurer les premiers lorsque les examens en microscopie tendent à montrer que la hache de Tarquinia n'a jamais dû être en usage et conforter les seconds en soulignant la qualité technique de la vaisselle métallique dont il paraît dans ces conditions difficile de limiter l'utilisation à la seule déposition dans une tombe. Il n'est d'ailleurs pas invraisemblable de penser qu'il ait pu y avoir une double production, l'une pour les vivants et l'autre en complément de la première pour certains mobiliers funéraires. De plus, les études de microstructure enrichissent de quelques certitudes nos connaissances sur le devenir de certains objets après leur fabrication, leur utilisation jusqu'à leur ensevelissement. Les états métallurgiques relevés attestent en effet de recuits de recristallisation qui n'ont aucune explication technique dans la chaîne opératoire de fabrication : les recuits des fibules qui rendent inopérants les ressorts ou encore celui de l'épée à antennes et l'identification d'une couche interne dans la gourde de Tarquinia. Les caractéristiques des fibules sont à mettre en liaison avec le rituel de déposition lui-même. Cela confirme que, dans un premier temps, le défunt était bien incinéré avec son vêtement fermé par cette parure en un ou plusieurs exemplaires. Les cendres et le mobilier subsistants devaient ensuite être rassemblés dans une urne en terre cuite ou en métal surmontée éventuellement d'un casque ou d'une simple écuelle et qui, elle, n'avait pas connu cette épreuve du feu, comme l'attestent des états métallurgiques déformés, et déposés dans la tombe au cours d'une cérémonie particulière. Dans le cadre de cette cérémonie il n'est pas impossible que des mets aient été offerts au défunt. L'identification d'une couche interne clairement isolée dans la gourde de Tarquinia, que l'on a interprétée comme une corrosion différentielle due à la présence d'un liquide dans le récipient au moment de son enfouissement, irait en tout cas dans ce sens. Le cas de l'épée de Veio est légèrement différent. La recristallisation de l'objet fabriqué en fonderie pourrait être liée au processus de destruction volontaire de cette arme, elle-même déposée dans la tombe dans son intégralité. Le recuit est donc, là encore, lié au rituel funéraire. On peut essayer de l'imaginer au cours d'une cérémonie située peut-être entre l'incinération elle-même et la déposition, sans doute impressionnante en raison de la présence du feu si l'action s'est déroulée au cours d'une cérémonie « publique », mais guidée également par des impératifs techniques, la destruction d'une telle épée n'étant guère une opération aisée.

En définitive, les examens métallographiques comme les résultats d'analyses de composition confirment les conclusions établies à partir des données sur les épaisseurs initiales des ébauches : tous ces mobiliers ont été fabriqués par des artisans maîtrisant remarquablement l'ensemble de la chaîne opératoire dans le cadre d'un artisanat de qualité, parfaitement en mesure de fournir les réponses techniques aux besoins d'une élite sociale, avide d'afficher sa richesse jusque dans l'au-delà, y compris par l'intermédiaire de cérémonies dont il ne reste aucune trace, sauf dans la « mémoire » interne des métaux.

Anne LEHÖERFF

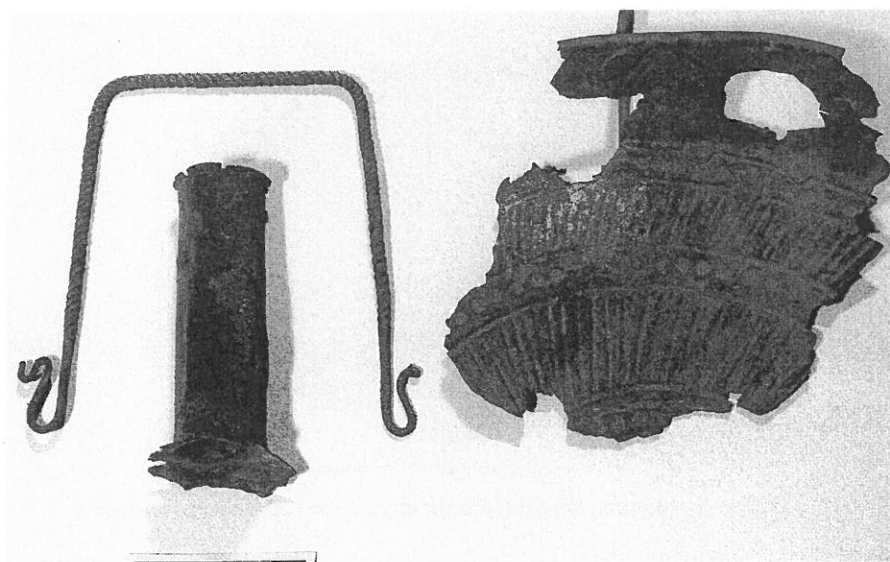


Fig. 1 – Tarquinia. Gourde décorée (n° d'inventaire 1967).



Fig. 2 – Tarquinia. Vase de petite taille à une anse (n° d'inventaire 179).

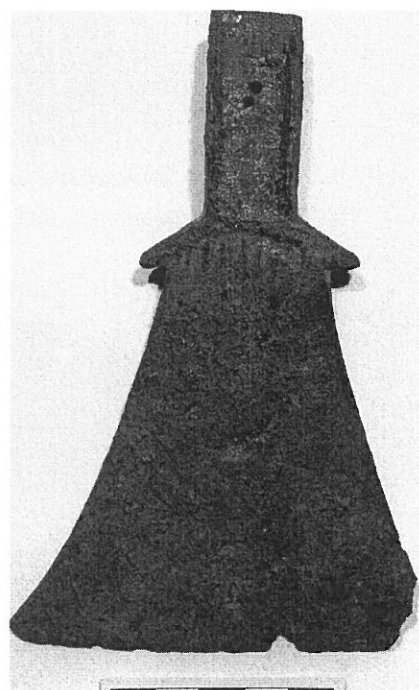


Fig. 3 – Tarquinia. Hache villanovienne à ailerons (n° d'inventaire 1012).



Fig. 4 – Tarquinia. Fibule à pied à disque (n° d'inventaire 659).



Fig. 5 – Tarquinia. Fibule «hérisson» (n° d'inventaire 527).

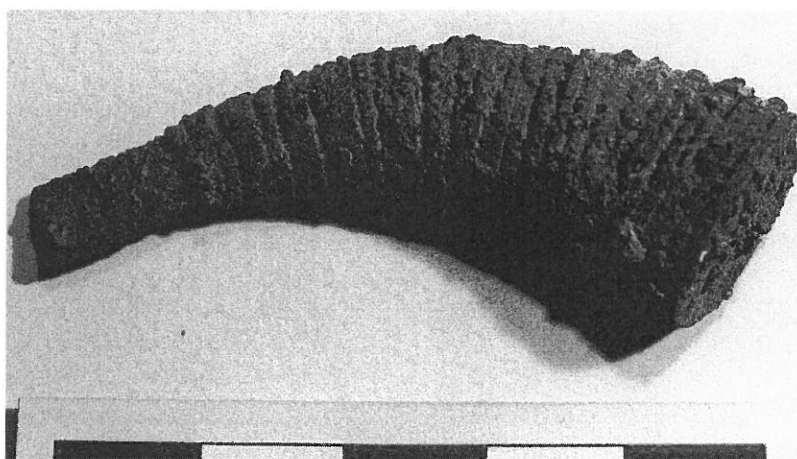


Fig. 6 – Tarquinia. Fibule «hérisson» (n° d'inventaire 529).



Fig. 7 – Tarquinia. Fibule à «sanguisuga» (n° d'inventaire 83).

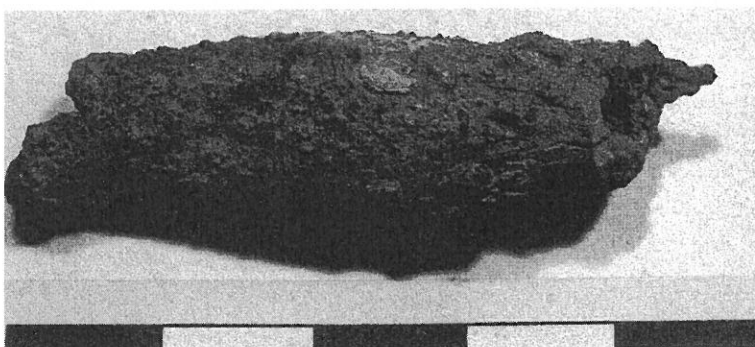


Fig. 8 – Tarquinia. Perle tubulaire (n° d'inventaire 97).



Fig. 9 – Tarquinia. Fibule à pied à disque (n° d'inventaire 651).



Fig. 10 – Tarquinia. Repose vase ou trépied (n° d'inventaire 1092).

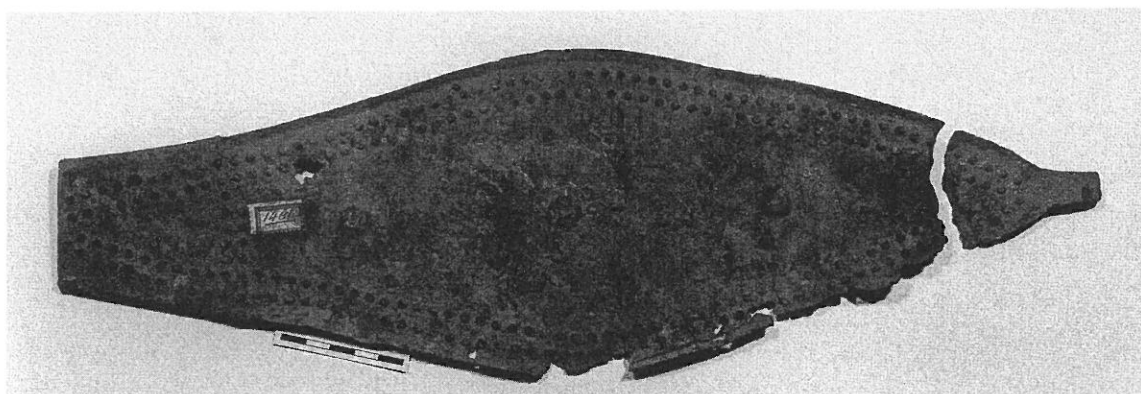


Fig. 11 – Tarquinia. Ceinture ventrale décorée (n° d'inventaire 250).



Fig. 12 – Oxford. Ashmolean Museum. Fourreau décoré (n° d'inventaire PR 275).

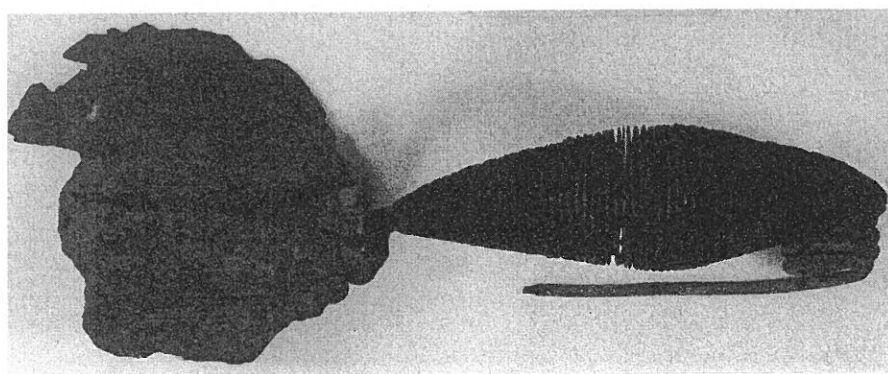


Fig. 13 – Oxford. Ashmolean Museum. Fibule (n° d'inventaire 1872-1165).

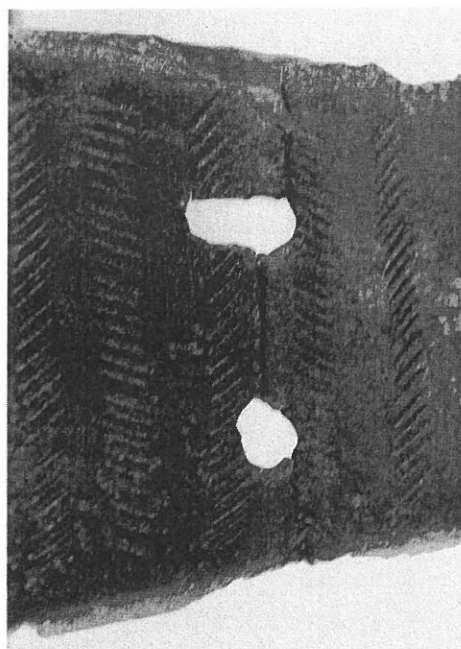


Fig. 14 et 15 – Oxford. Ashmolean Museum. Ceinture ventrale décorée
(n° d'inventaire 1890-619).



Fig. 16 – Oxford. Ashmolean Museum. Urne décorée (n° d'inventaire 1962-977).



Fig. 17 – Londres. British Museum. Hache à ailerons (n° d'inventaire WG 1068).

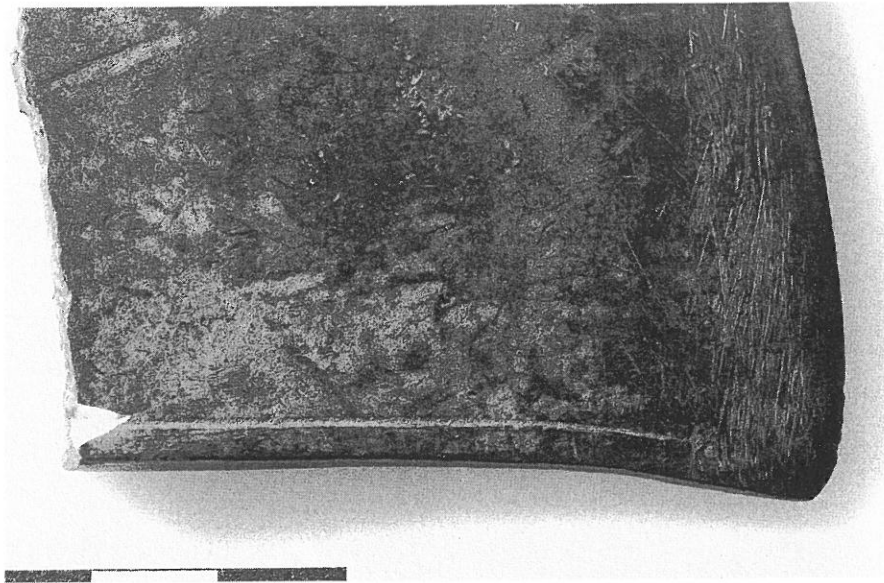


Fig. 18 – Londres. British Museum. Hache (n° d'inventaire WG 1075).

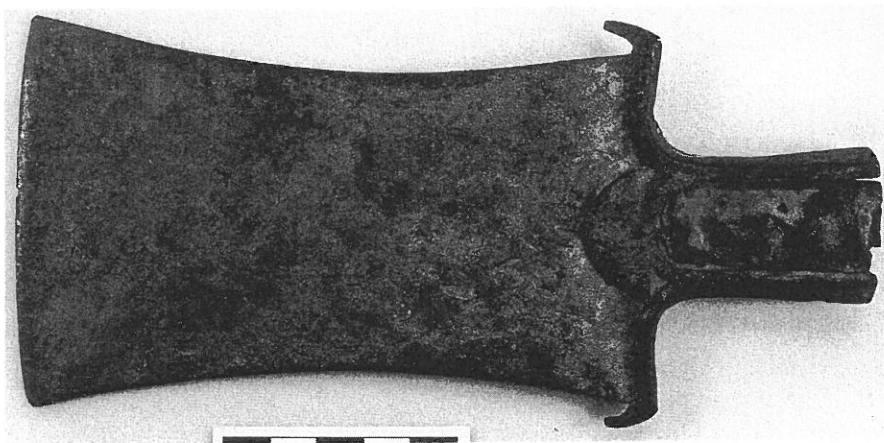


Fig. 19 – Londres. British Museum. Hache «villanovienne»
(n° d'inventaire 76-7-6-11).



Fig. 20 – Londres. British Museum. Hache (n° d'inventaire WG 1086).

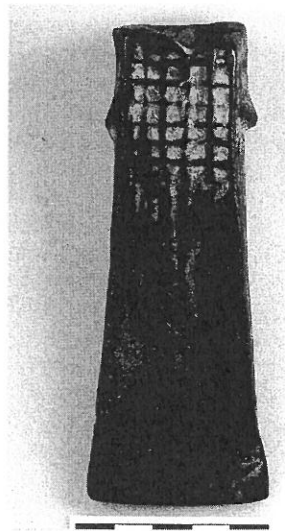


Fig. 21 – Londres. British Museum. Hache (n° d'inventaire 80-8-2-44).

ANNEXE

1. DÉTAIL DE LA LOCALISATION DES PRÉLÈVEMENTS

Tarquinia

– Gourde décorée (n° d'inventaire 1967; fig. 1). Deux prélèvements ont été effectués sur cette vaisselle. Ils sont enregistrés : P1-1967 et P2-1967. Ils proviennent des différents fragments de l'objet qui n'est actuellement pas remonté. Pour cette dernière raison, il est impossible de donner une localisation très précise des prélèvements.

– Vase de petite taille à une anse (n° d'inventaire 179; fig. 2). Deux prélèvements ont également été réalisés sur cette vaisselle. Ils sont enregistrés P3-179 et P4-179; P3-179 est localisé dans la tôle sur le rebord fragmenté et P4-179 sur le rebord décoré par incision du vase. Pour ce dernier, deux échantillons ont été obtenus à partir du fragment métallique.

– Vase à pied de petite taille (n° d'inventaire 20). Ce prélèvement P5-20 a été réalisé dans le fond d'un vase sur pied très fragmentaire, dans la partie du corps en connexion avec celle qui est rapportée pour former le pied lui-même. Il est localisé précisément dans une lacune existante qui a été légèrement agrandie. Il a été subdivisé en deux échantillons (P5-20 A et B).

– Hache villanovienne à ailerons (n° d'inventaire 1012; fig. 3). Le prélèvement P6-1012 a été effectué dans l'angle inférieur du tranchant déjà fragmenté et a fait l'objet d'une double préparation afin d'obtenir deux plans d'observation différents.

– Fibule à pied à disque (n° d'inventaire 659; fig. 4). Ce prélèvement a été réalisé sur un pied de fibule dont le reste de l'objet est manquant. P7-659 est localisé au niveau de l'amorce du pied dans une partie de forme triangulaire, invisible au droit de la pièce.

– Fibule «hérisson» (n° d'inventaire 527; fig. 5). Deux prélèvements ont pu être faits sur cet objet. P8-527 est localisé dans le disque apparaissant dans la fracture de l'objet. Lors du prélèvement, il est apparu que le métal était très corrodé. P9-527 a été effectué au niveau de la fracture du ressort de la fibule.

– Fibule «hérisson» (n° d'inventaire 529; fig. 6). Ce prélèvement a été réalisé dans une fibule du même type que la précédente, également fragmentée. P 10-529 se situe au niveau de la fracture de l'amorce du pied.

– Fibule à «sanguisuga» (n° d'inventaire 83; fig. 7). Le prélèvement provient d'une fibule à «sanguisuga» dont il ne subsiste que l'arc creux. Le P 11-83 est localisé sur le rebord de l'arc. Lors du prélèvement, il est apparu que le métal était très corrodé.

– Perle tubulaire (n° d'inventaire 97; fig. 8). Le P12-97 est localisé sur l'un des rebord fragmenté de la perle tubulaire.

– Fibule à pied à disque (n° d'inventaire 651; fig. 9). P 16-651 est situé sur l'ex-

trémité fragmentée de la languette du pied¹ et a fait l'objet d'une seconde découpe afin d'obtenir deux plans d'observation différents.

– Repose vase ou trépied (n° d'inventaire 1092; fig. 10). Le P 17-1092 est localisé le long de la fracture de la tôle au niveau de la partie décorée.

– Ceinture ventrale décorée (n° d'inventaire 250; fig. 11). Deux prélèvements ont été effectués sur cet objet. Le P 18-250 se trouve en bordure de la pièce principale, au niveau du décor de bossettes. Le P 19-250 est localisé dans la lacune de la pièce principale qui a été légèrement agrandie.

Ashmolean Museum à Oxford

– Fourreau décoré (n° d'inventaire PR 275; fig. 12). Deux prélèvements ont été réalisés sur ce fourreau; en raison de problèmes de fragilité et de morphologie, ils ont dû être effectués au droit de l'objet, en limite de fracture de celui-ci. Le P1-275 se situe sur le rebord fracturé de la tôle formant le fourreau; ce choix a été déterminé en raison de la bonne préservation du métal sain à cet endroit (photo 1). Le P 2-275 est localisé globalement dans le même secteur que le précédent; le choix repose cette fois sur l'existence du décor d'un décor au trait « incisé ».

– Fibule (n° d'inventaire 1872-1165; fig. 13). Trois prélèvements ont été effectués sur cette fibule, en fonction des pièces composant l'objet et des techniques supposées utilisées pour le réaliser. Le P3-1872-1165 est localisé dans le pied de la fibule, en rebord d'une des fractures. Le P 4-1872-1165 se trouve dans un des disques recouvrant l'arc de la fibule, dans la zone proche du ressort et « sous » la fibule dans un souci de présentation muséographique. Le P5-1872-1165 correspond à l'extrémité fracturée de l'ardillon de la fibule, d'une taille assurant la présence de métal sain.

– Ceinture ventrale décorée (n° d'inventaire 1890-619; fig. 14 et 15). Sur cet important objet villanovien de parure, deux échantillons ont été prélevés, afin que les résultats soient comparés à ceux obtenus pour le même type d'objet en provenance de Tarquinia et de Veio. Le P6-1890-619 est situé dans l'une des perforations de l'attache qui a été agrandie; sa taille se justifie par l'existence d'un décor dont la technique de réalisation peut ainsi être étudiée précisément. Le P7-1890-619 est localisé dans une pièce rapportée pour la réparation de l'objet.

– Urne décorée (n° d'inventaire 1962-977; fig. 16). Ce vase a fait l'objet de 5 prélèvements, plus ou moins visibles d'un point de vue muséographique; ces différents choix reposent sur la nécessité de comparaison des différentes pièces et sur la recherche des techniques de décoration, tant des tôles de l'urne que de l'anse torsadée. Le P 8-1962-977 est situé dans la tôle principale de l'urne aujourd'hui en grande partie disparue; il est localisé en face de l'anse restante. Le P9-1962-977 est situé dans la tôle décorée formant la moitié inférieure du corps du vase, sur une bossette, dans une lacune qui a seulement été légèrement agrandie. Le P 10-1962-977 est localisé dans la tôle principale subsistante au niveau du fond du vase. Le P 11-196-977 se trouve dans la tôle formant le pied de l'urne, dans sa partie repliée sur la tôle principale subsistante, au niveau d'une lacune qui a seulement été agrandie. Le P 12-196-977 est positionné dans la torsade de l'anse subsistante; c'est le prélèvement le plus

¹ La numérotation passe de P12 à P16 car les prélèvements de P13 à P15 initialement prévus, et dont l'autorisation avait été accordée, ont finalement été écartés. Par ailleurs, le second prélèvement envisagé sur la fibule n° 651 avant de faire des comparaisons avec P7-659 n'a pu être réalisé.

visible qui nécessitera sans doute un léger camouflage pour une présentation muséographique.

Les collections du British Museum

– Hache à ailerons (n° d'inventaire WG 1068; fig. 17). Cette hache a fait l'objet de 3 prélèvements différents. Le P1-1068 a été réalisé dans la partie supérieure de l'emmanchement de l'outil, dans une zone qui devrait être celle du jet de coulée. Le P2-168 a été effectué dans l'un des ailerons de la hache; plus précisément, il est situé sur le rebord de l'un d'entre eux, proche d'une zone comportant une fissure. Le P3-1068 a été prélevé sur le tranchant de la hache.

– Hache (n° d'inventaire WG 1075; fig. 18). Cette hache brisée en deux fragments a fait l'objet de 2 prélèvements dans la pièce comportant le tranchant de la lame. Le P4-1075 est situé en limite de fracture, sur l'une des deux rainures latérales décorant l'objet. Le P 5-1075 se trouve sur le tranchant de la lame, en limite d'une zone déjà endommagée.

– Rasoir (n° d'inventaire 808-233). Deux prélèvements ont été effectués dans chacune des 2 pièces principales, elles-mêmes assemblées par rivetage. Le P6-808-233 a été prélevé dans la tôle comportant le tranchant; plus précisément il a été effectué dans une zone proche de l'un des angles supérieurs conduisant à la pièce d'emmanchement. Le P7 – 808-233 est situé dans la pièce formant le manche, en limite entre la torsade de forme annulaire et la zone plate rivetée sur la tôle.

– Hache «villanovienne» (n° d'inventaire 76-7-6-11; fig. 19). Cette hache composée de plusieurs pièces a fait l'objet de 3 prélèvements afin que des comparaisons puissent être établies. Le P8-767611 est localisé dans l'une des 2 tôles situées au centre du talon d'emmanchement et maintenues par un rivet. Le P9-767611 est situé sur l'un des rebords du talon d'emmanchement, près de l'extrémité de l'objet. Le P10 – 767611 a été effectué sur la pièce principale de l'objet, sur l'un des rebords proche des pièces formant le système d'emmanchement.

– Hache (n° d'inventaire WG 1086; fig. 20). Le P11-1086 a été réalisé sur le rebord de cette petite hache à douille, dans une zone qui n'est pas ébarbée et qui, logiquement, devrait donc appartenir à un objet brut de coulée.

– Hache (n° d'inventaire 80-8-2-44; fig. 21). Le P 12-808.244 a été effectué dans la partie supérieure de cette hache à douille dans le but de vérifier l'existence d'un décor obtenu en fonderie.

La nécropole de Veio

– Tombe EE 10 B, fourreau 64855 (*Notizie degli scavi*, 1967, p. 139 sq.). Ce fourreau a fait l'objet de 2 prélèvements : l'un sur la bouterolle dont le métal est bien conservé pour une analyse de composition de cette pièce et une étude de la microstructure. L'impératif est ici d'avoir du métal sain (prélèvement n° 1); l'autre sur le droit de la tôle pour une étude des techniques de décor (en particulier le problème de la distinction entre gravure et ciselure). L'impératif est ici d'avoir un prélèvement comportant un décor dont l'orientation peut être retrouvée (n° 2).

– Tombe AA1, urne 66268 (*Notizie degli scavi*, 1970, p. 294 sq.). Deux prélèvements ont été réalisés sur cette urne : le premier dans la tôle de la partie supérieure de l'urne au niveau de l'anse pour une étude similaire à celle qui sera effectuée sur le prélèvement 1 (n° 3); le second dans l'un des fragments de la tôle formant la panse (n° 4).

– Tombe OP 4-5, ceinture sans n° d'inventaire (*Notizie degli scavi*, 1972, p. 296). Un prélèvement au revers de la pièce, au niveau de l'attache a été proposé pour une analyse de composition et une étude de la microstructure. Ce prélèvement restera invisible pour une éventuelle présentation muséographique (n° 5).

– Tombe M 9B, casque 60304 (*Notizie degli scavi*, 1963, p. 103). L'état très fragmentaire du casque de la tombe M9B permet d'envisager des prélèvements dans des endroits généralement impossibles à atteindre sans porter préjudice à l'objet. Ils ont été effectués sur 2 tôles différentes du casque (croquis) : n° 6 a et n° 6 c² : à deux endroits de l'une des 2 tôles formant la calotte du casque, le premier au niveau de l'une des 2 jonctions de ces deux pièces principales ainsi que la tôle quadrangulaire portant les 3 « tiges » latérales à fonction décorative et fixée par 4 rivets et le second en bordure extérieure; n° 6 b : dans l'une des 2 tôles qui supporte les 3 tiges décoratives.

– Tombe M 9B, urne 60303 (*Notizie degli scavi*, 1933, p. 103). L'état de conservation de l'objet permet un travail de prélèvement sans qu'il soit porté un quelconque préjudice à une présentation muséographique : n° 7 dans la tôle du pied de l'urne; n° 8 a dans la tôle formant la partie supérieure de la vaisselle et portant l'anse et n° 8 b dans la tôle formant la partie inférieure de la panse du vase dans le même secteur que le n° 8a, là où les deux tôles sont assemblées par rivetage.

– Tombe EE12, ceinture 62081 (*Notizie degli scavi*, 1965, p. 97). Un premier prélèvement a été réalisé dans l'une des lacunes du bord, incluant une portion de décor afin que la technique de celui-ci puisse être étudiée plus précisément (N° 9 a); un deuxième prélèvement (n° 9 b) a été effectué dans l'une des extrémités comportant le système d'attache de la ceinture (extrémité large avec double perforation).

– Tombe Z15 A, épée 61916 (*Notizie degli scavi*, 1965, p. 175). Deux prélèvements ont été faits dans cette épée : dans la poignée au niveau de l'antenne fracturée (n° 10); dans un des morceaux de la lame volontairement fragmentée près du tranchant (n° 11).

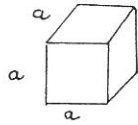
– Tombe AA12A, ceinture 61956 (*Notizie degli scavi*, 1965, p. 70). La prélèvement n° 12 est au niveau de l'attache la plus fine au revers située à l'une des deux extrémités.

² Il s'agit d'une numérotation des prélèvements légèrement différente pour la série effectuée sur le mobilier de Veio. Elle diffère en particulier légèrement de celle qui a été adoptée pour les trois autres musées et qui avaient été expliquée précédemment. L'emploi des lettres s'explique dans le cas présent parce que le prélèvement n° 6 a finalement été multiplié, y compris sur une même pièce.

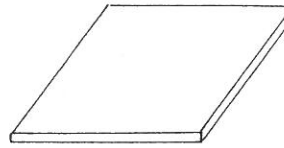
2. CALCULS À PARTIR D'UNE EXPANSION DE TYPE BIAXIALE OU PLANE POUR UNE ESTIMATION DE L'ÉPAISSEUR INITIALE DES ÉBAUCHES DE TÔLE

- Expansion biaxiale :

État initial



État final



Hypothèse : expansion biaxiale $\Rightarrow y = x$

loi de conservation du volume $\Rightarrow a^3 = x y z = x^2 z$

Définition : FF $\Rightarrow$ facteur de forme

$$\text{FF métal} = \frac{x \text{ métal}}{z \text{ métal}}$$

$$\text{FF inclusion} = \frac{x \text{ inclusion}}{z \text{ inclusion}}$$

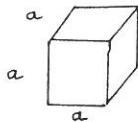
Hypothèse : FF métal = FF inclusion

$$\text{d'où} \Rightarrow \text{FF}^2 \text{ inclusion} = \text{FF}^2 \text{ métal} = \frac{x^2 \text{ métal}}{z^2 \text{ métal}} = \frac{x^2 \text{ métal} * z \text{ métal}}{z^3 \text{ métal}} = \frac{a^3}{z^3 \text{ métal}}$$

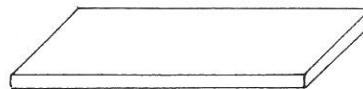
$$\text{soit } a = \sqrt[3]{z^3 \text{ initial} * \text{FF}^2 \text{ inclusion}} = z \text{ métal} * \text{FF}^{2/3} \text{ inclusion}$$

- Déformation plane

État initial



État final



Hypothèse : déformation plane $\Rightarrow y = a$

$$\begin{aligned} \text{loi de conservation de volume} \Rightarrow a^3 &= x y z = x z a \\ \Rightarrow a^2 &= x * z \end{aligned}$$

Hypothèse : FF métal = FF inclusion

$$\text{d'où} \Rightarrow \text{FF inclusion} = \frac{x \text{ métal}}{z \text{ métal}} = \frac{x \text{ métal} * z \text{ métal}}{z^2 \text{ métal}} = \frac{a^2}{z \text{ métal}}$$

$$\text{soit } a = \sqrt{z^2 \text{ métal} * \text{FF inclusion}} = z \text{ métal} * \text{FF}^{1/2} \text{ inclusion}$$

fig na corrigée