

CHAPITRE 3 : LE FONCTIONNEMENT DES ATELIERS MÉTALLURGIQUES

Les fouilles menées en 2009 et 2011 ont mis au jour une activité liée au travail du métal, marquée par la présence de deux ateliers situés en des lieux distincts dont nous avons décrit les vestiges archéologiques. Dans le chapitre 1, nous avons d'abord analysé les structures découvertes en 2011 sur le chantier 21 (atelier E); dans le chapitre 2 ont été étudiées celles qui ont été mises au jour en 2009. Il importe maintenant d'essayer de mieux caractériser la production de ces installations en analysant le fonctionnement des structures retrouvées et les quelques rares objets que nous avons pu mettre en évidence.

L'ORGANISATION GÉNÉRALE

L'atelier E du chantier 21, de grandes dimensions (au moins 10 m × 10 m, soit 100 m²) comprend cinq phases principales. Il est construit sur sablières basses et/ou sur poteaux. Chacune de ses phases apporte, dans la même emprise, des modifications et des reconstructions. L'entrée reste toujours au nord, sur la voie antique (voie 1) menant au vicus d'Horbourg-Wihr, comme le montre l'interruption des sablières basses côté nord, des phases b, c, d. D'autre part, cette orientation permet une lumière sans grand changement pour apprécier la température des métaux par la couleur, comme c'était l'usage. Ces cinq phases conservent toujours un grand foyer rectangulaire dans la partie ouest (309 puis 99).

Dans la phase a, le bâtiment est divisé par une cloison nord-sud au premier tiers côté est. Côté ouest, un grand foyer (309) occupe le centre (**fig. 1.18**). Au sud-ouest, deux lignes de trous de piquet (314, 315 et 323-371) enferment un espace rectangulaire que l'on peut interpréter comme une réserve de combustible. Ensuite trois poteaux forment une limite de ce premier espace (282, 361, 270). Vers le sud, la suite de l'atelier, très érodée, conserve un foyer 358, dont la position pourrait faire penser qu'il était destiné à la frappe du fer. Côté est, deux foyers circulaires de même type (329 et 330), distants de 4 m environ, peuvent avoir le même usage. La cave 190 est le seul indice d'habitat. Celui-ci est localisé, en général, au-dessus ou attendant à l'atelier.

Dans la phase b (**fig. 1.26**), la partie sud est occupée par des fosses qui ont sans doute détruit la paroi. À côté du four (99) s'implante ce qui semble – par le bourrelet de pourtour – un second four (277). Il paraît avoir peu fonctionné. Une concentration de chevilles osseuses de bovidés se trouve sur son côté sud. La corne a pu être utilisée pour la cémentation dans le cadre de fabrication de lames, ou déroulée pour décorer des manches ou des panneaux de coffret. Dans l'angle nord-est, le troisième four (233) est, à notre connaissance, d'un type encore inconnu dans ce type d'atelier, sauf s'il s'agit d'une production non métallurgique. La fosse 213 est une perturbation créée en phase d.

Dans la phase c (**fig. 1.40**), un foyer circulaire 98 apparaît au nord du four (99). À l'emplacement du four (233) s'implantent un foyer rectangulaire et plusieurs petits creux avec traces de combustion. Le foyer entouré d'un bourrelet présente une ouverture à l'est, formée de deux *tegulae* posées à plat à l'origine

(fig. 1.31). La présence des petits creux à proximité permet de proposer une fonction pour ce four : couler des pièces en alliage cuivreux dans des moules en terre, du type à la cire perdue. Le foyer permet de chauffer le creuset et son contenant à la température désirée puis de verser l'alliage cuivreux dans les moules préalablement réchauffés dans les creux remplis de charbon de bois incandescent. L'emplacement de cette installation dans un angle, hors des circulations, correspond bien aux contraintes de ce travail : lumière stable, pas de courant d'air et abords du four bien dégagés pour verser le contenu du creuset le plus rapidement possible. Dans la partie sud, le niveau d'atelier à l'état de lambeaux n'est pas interprétable.

Dans la phase d (fig. 1.43), on retrouve toujours le four (99) avec un second foyer (226) dans le secteur où se trouvait déjà à la phase B un foyer (277). Nous n'avons aucune interprétation pour le creusement carré (225). De cette phase, nous n'avons aucun mobilier métallique.

Dans la phase e, seul est connu le four 99, totalement refait. Par sa taille, on peut plutôt y voir une aire de combustion pour le travail du fer.

L'atelier du chantier 20, moins bien défini spatialement et incomplètement fouillé, ne permet pas de réaliser une analyse fonctionnelle précise du même type. J.-P. G.

LES « FOURS »

L'atelier E a fonctionné entre l'époque de Tibère/Claude et le premier tiers du 2^e siècle, sans qu'on puisse exclure que l'activité ait continué au-delà, les niveaux supérieurs de la stratigraphie ayant été détruits. Les structures sont essentiellement caractérisées par des fosses généralement ovalaires et cendreuses et des sols rechargés en permanence. Seul le premier état, marqué par une rubéfaction générale du sol, dans sa partie occidentale, sans doute à la suite d'un feu violent, peut être considéré comme véritablement homogène du point de vue chronologique (fig. 1.18). Cet atelier s'étend clairement sous la chaussée 01, qui en marque la limite septentrionale, comme le montrent les coupes réalisées à cet endroit (pl. h. t. 6, coupes 21-22). Le mobilier constituant l'épandage n'a donc pas pu être prélevé dans sa totalité.

Nous appelons « fours » les structures de combustion en cuvette, de forme généralement ovalaire, qui caractérisent ce secteur. Peu profondes (une vingtaine de centimètres en moyenne) elles présentent des dimensions variables qui varient entre 1,80 m/2,80 m × 0,80 m/2 m, ce qui leur confère une forme plus ou moins arrondie. Seule l'une d'entre elles, la structure 99, dans son dernier état (fig. 1.47) offre une forme quadrangulaire de 3 m × 1,80 m environ, mais avec une cupule ovalaire centrale. On doit en outre noter que certaines structures se sont avérées quasi permanentes entre le début et la fin de l'occupation, mais elles ont sans cesse été refaites et rechargées sur place : il en va ainsi de la cuvette 309, qui a révélé une série d'états successifs avant de donner naissance à la cuvette 99, au même endroit.

Morphologiquement, toutes ces cuvettes présentent des traces concentriques de parois brûlées, de cendres, de sable et gravier mêlé avec de la cendre. La fouille n'a pourtant pas mis en évidence de fragments de parois argileuses brûlées encore en place ou de tuyères. On constate en revanche, en certains cas, l'existence de zones chauffées plus intensément et qui se caractérisent par une rubéfaction plus forte mais ponctuelle : ainsi la figure 1.18 montre-t-elle, à chaque extrémité de la cuvette 309, deux points de chauffe, qui pourraient correspondre à l'emplacement de soufflets ou de tuyères. Dans le cas de la structure 233-01 (fig. 1.41-1.42), les « spots » de chaleur sont intenses, notamment à l'angle sud-est, mais aussi juste au sud de la cuvette, ce qui indique que le métal a été posé là, ou un creuset. Dans ce cas précis, la présence de *tegulae* posées à plat, à même le sol, suggère une aire de travail pour un artisan accroupi à même le sol. On

doit toutefois souligner que les parois de ces fosses ne sont jamais vitrifiées, ce qui indique une température relativement peu élevée.

On doit en outre noter la présence de différents artefacts qui s'accommodent bien d'une activité de forge, notamment des meules en basalte du Kaiserstuhl, de petite taille, presque toujours cassées, et dont les fragments assez nombreux jonchent les sols de l'atelier (voir par exemple la **fig. 1.40**). Différentes zones d'épandage de charbon sont perceptibles à la périphérie des cuvettes, par exemple **figure 1.18** ou **1.46**.

De telles structures ont été assez souvent décrites, ces dernières années, dans la littérature spécialisée¹. V. Serneels en a proposé des restitutions graphiques simples et claires que nous reproduisons ici (**fig. 3.1-2**). Il décrit ces « fours » de la manière suivante² : « les foyers de forge anciens sont de simples fosses de combustion circulaires, oblongues ou quadrangulaires. Les dimensions varient de 25 à 100 cm environ et la profondeur est de 10 à 30 cm. Elles peuvent avoir un avant-foyer et un muret de protection, souvent rudimentaire, pour protéger les soufflets. Des superstructures plus complexes peuvent renforcer l'effet de réverbération de la chaleur. Le foyer possède une zone chaude, à proximité immédiate de la tuyère. Il sera donc caractérisé par une asymétrie de l'impact de chaleur et donc de la rubéfaction. La variété des formes de foyers reflète sans doute des traditions techniques mais peut-être aussi des activités différentes. En particulier les foyers circulaires en fosse sont relativement bien adaptés pour le travail des petites pièces. Au contraire le travail de pièces allongées demande que l'on puisse déplacer des objets longs dans le foyer rectangulaire. Les dimensions doivent, elles aussi, être adaptées à l'objet que l'on fabrique ».

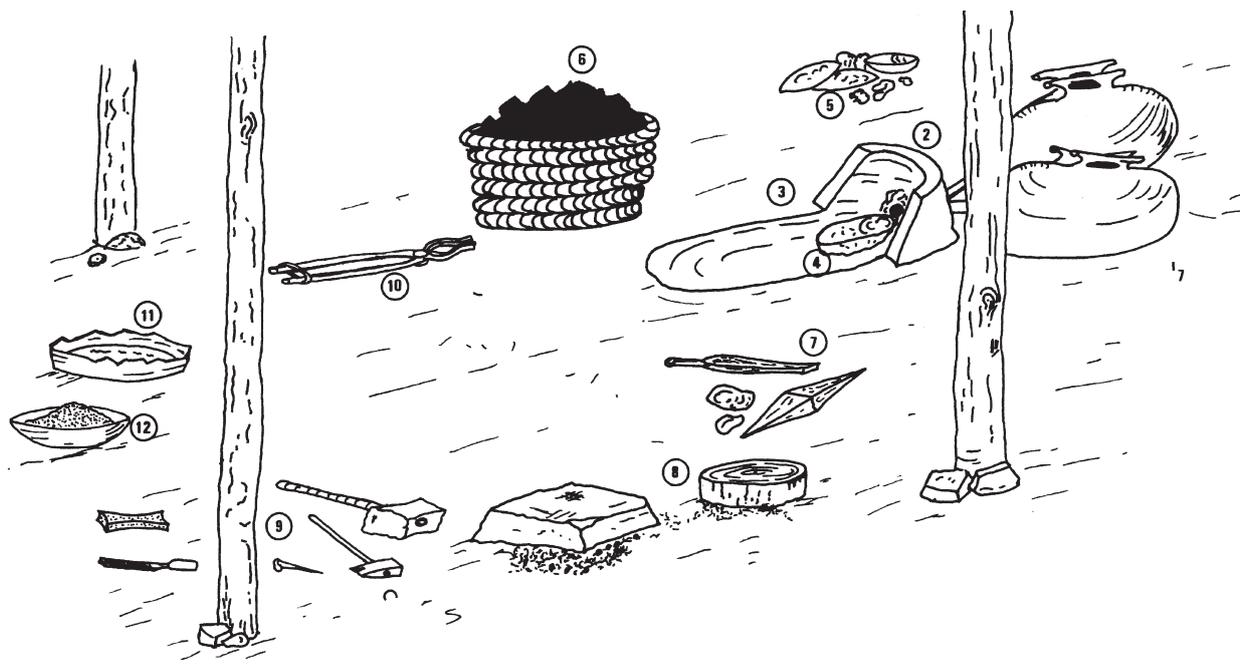
Le four 233 (**fig. 1.26; 1.28**) présente toutefois une morphologie particulière, avec une rainure centrale élargie en T à chaque extrémité. Cette forme a d'abord fait penser à un four à céramique, en raison de sa similitude avec des installations qui paraissent à première vue similaires et qui sont présentes dans la région à la fin de la période laténienne et à l'époque augustéenne³. Il s'agit là probablement d'une ressemblance formelle trompeuse : non seulement l'installation d'Oedenburg n'a livré aucun raté de cuisson dans le secteur, mais encore n'a-t-elle pas de dispositif de ventilation interne. En outre elle est surmontée par un second four de métallurgie (233-01). Il est possible, dans ces conditions, que la rainure centrale ait simplement servi à la chauffe ou la cémentation de grandes barres métalliques. Cette hypothèse est toutefois présentée sous toute réserve.

¹ À titre d'exemples, et sans chercher une illusoire exhaustivité, voir les ateliers du Magdalensberg (H. Dolenz, Eisenfunde aus der Stadt auf dem Magdalensberg. Kärntner Museumsschriften 75. 77 [Klagenfurt 1998] 161 fig. 62. 65; K. Gostenčnik, Le fer, les alliages cuivreux et l'or : l'artisanat du métal sur le Magdalensberg. Dans : P. Chardon-Picault, Aspects de l'artisanat en milieu urbain : Gaule et occident romain. Actes du colloque international d'Autun, 20-27 sept. 2007. Revue archéologique de l'Est Supplément 28 [Dijon 2010] 289-303, sc. 294 [fig. 5]. 296 [fig. 9]. 297 [fig. 10]). Voir aussi, pour des fosses très allongées, l'exemple des fouilles de Metz, rue de la citadelle, Arsenal Ney (M. Leroy / P. Merluzzo, Les déchets des activités de métallurgie du fer dans les agglomérations de Gaule romaine : ateliers, dépotoirs et rebuts déplacés. Dans : Chardon-Picault, Aspects de l'artisanat (note 1) 317 [fig. 8]). Des structures de même type que celles d'Oedenburg semblent documentées pendant la période laténienne à Lattes (D. Lebeaupin, Ateliers de forgerons et témoins dispersés du travail du fer à Lattes [Hérault] [IV^e s. av. - I^{er} s. ap. J.-C.]. Dans : M. Feugère / V. Serneels, Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale. Monographies Instrumentum 4 (Montagnac 1998) 88 [fig. 7-8]. 92 [fig. 10]. 93 [fig. 11]) ou à Bram à l'époque romaine (M. Passelac / J.-C. Leblanc / L. Chabal, Installations pour le travail du fer dans le Vicus Eburomagus [Bram, Aude]. Dans : Feugère/Serneels, Mé-

diterranée (note 1) 130 [fig. 2-3]. 131 [fig. 4-5]). Pour Autun, on verra V. Serneels, Les ateliers métallurgiques d'Autun-Lycée militaire. Dans : G. Nicolini / N. Dieudonné-Glad, Les métaux antiques : travail et restauration. Actes du colloque de Poitiers, 28-30 sept. 1995. Monographies Instrumentum 6 (Montagnac 1998) 23-27 (notamment la fig. 1); P. Chardon-Picault / M. Pernot, Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun (Saône-et-Loire) : le site du Lycée militaire. Documents d'archéologie française 76 (Paris 1999). La forge d'Étagnières constitue désormais un bon exemple récemment fouillé et bien publié; cf. S. Reymond (dir.) / F. Eschbach / S. Perret, La villa romaine du Buy et sa forge. Dernières découvertes à Cheseaux, Morrens et Étagnières (canton de Vaud, Suisse). Cahiers d'archéologie romande 115 (Lausanne 2009). On verra aussi la structure FS 12 décrite par N. Dieudonné-Glad dans : D. Dumasy / N. Dieudonné-Glad / L. Laüt, Travail de la terre, travail du fer. L'espace rural autour d'Argentomagus (Saint-Marcel, Indre). Ausonius éditions. Mémoires 23 (Bordeaux 2010) 286-287.

² V. Serneels, La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne. Dans : Feugère/Serneels, Méditerranée (note 1) 7-44, notamment 29 et fig. 20-21.

³ Voir H. Wendling, Der Münsterberg bei Breisach in der Spätlatènezeit. Materialhefte zur Archäologie in Baden-Württemberg 94 (Stuttgart 2012) 268-269.



1. Soufflets. 2. Muret de protection. 3. Foyer de forge. 4. Scorie en forme de calotte en place sous le trou de la soufflerie. 5. Dépotoir de scories. 6. Réserve de charbon. 7. Pièces de métal. 8. Enclume en pierre, billot en bois et battitures. 9. Outils : marteau, tranche, poinçon, lime, pierre à aiguiser. 10. Pincettes. 11. Vase enterré, réemployé comme baquet de trempe. 12. Réserve de sable pour la soudure ou le polissage.

Fig. 3.1 Schéma d'organisation théorique d'un atelier (d'après V. Serneels, La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne. Dans : Feuillère/Serneels, Méditerranée [note 1] fig. 20).

Le fond du foyer 309 (fig. 1.22) a livré en son centre un fragment de pierre en forme de creux (n° inv. 99-04). On ne saurait dire s'il s'agit là d'un appareil destiné à une production de bronze, au broyage, à la trempe etc.

Le second atelier fouillé, dans le chantier 20, est moins bien défini spatialement et incomplètement dégagé, les structures de chauffe se trouvant sans doute plus à l'ouest, dans une zone inaccessible car parcourue par une ligne électrique à haute tension. Il n'a donc pas livré les mêmes structures de fours. La présence d'activités métallurgiques est suggérée principalement par les déchets constituant les comblements d'un groupe de fosses situées dans les secteurs orientaux du chantier 20. Quelques horizons rubéfiés ou charbonneux sont observables dans l'emprise d'un ensemble construit. Les ensembles de mobilier étudiés pour le secteur 20 sont issus de prélèvements intégraux dans les structures et US fouillées. Cet atelier a, lui aussi, fonctionné entre l'époque de Tibère/Claude et le début du 2^e siècle, peut-être au-delà, mais les niveaux supérieurs sont très mal préservés.

M. R.

LES DÉCHETS MÉTALLURGIQUES ISSUS DU TRAVAIL DES ALLIAGES CUIVREUX

La fabrication des artefacts en alliages cuivreux se réalise à partir de barre ou lingot obtenus et mis en forme sur les lieux d'extraction du minerai. Tous les alliages cuivreux se refondent et laissent peu de matière dans l'atelier. Dans ces bâtiments, les pièges à mobilier sont peu nombreux. L'outillage, et même la quincaillerie,

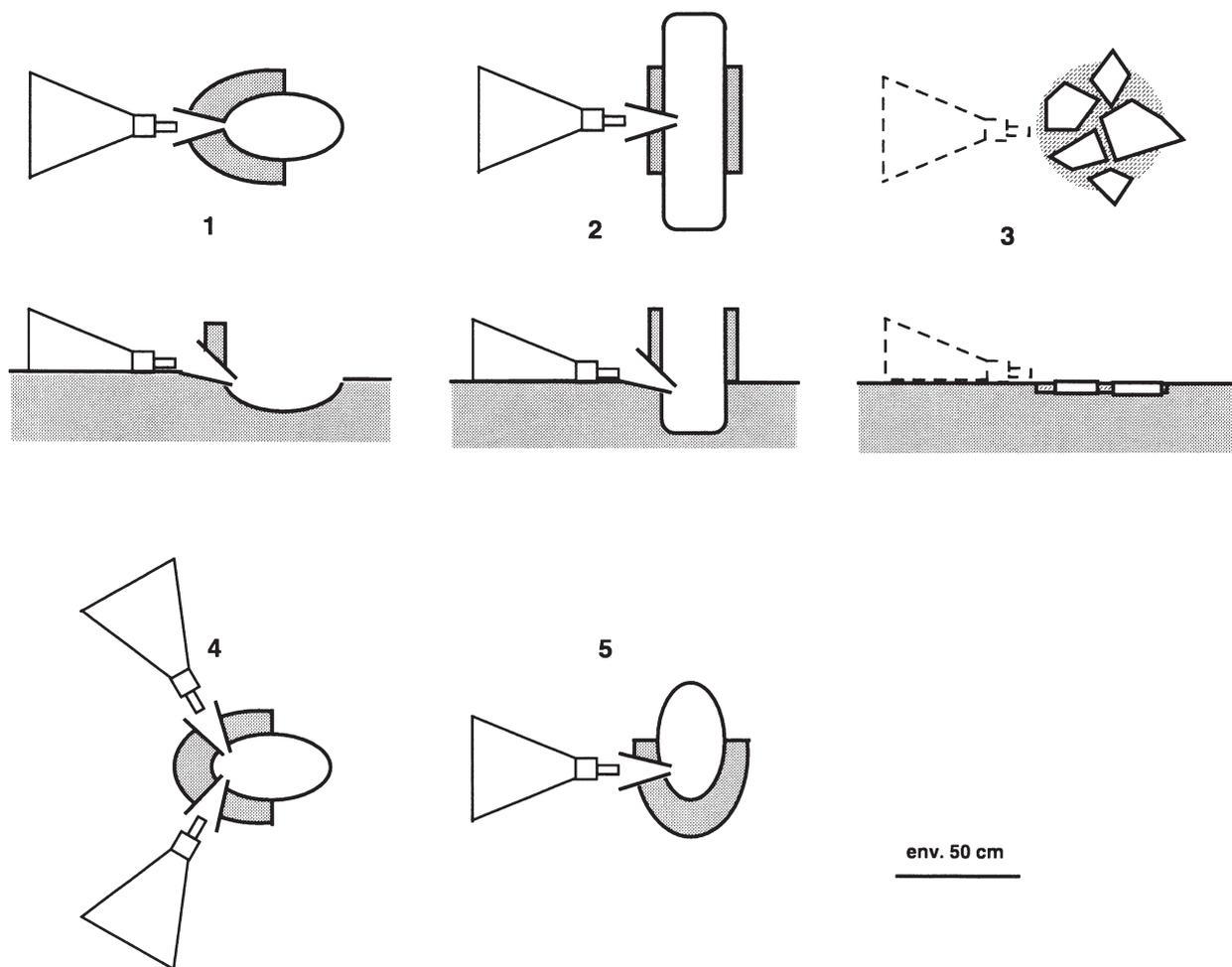


Fig. 3.2 Schéma des différents types de fours en fosse (d'après V. Serneels, La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne. Dans : Feu-gère/Serneels, Méditerranée [note 1] fig. 21).

sont rangés dans des caisses, et les sols sont balayés régulièrement pour des raisons de sécurité. On retrouve des déchets le long des parois, dans les sablières basses, les calages de billots ou établis et dans la partie supérieure des sols. Ici un seul sol (phase a) a gardé sa surface. Ainsi, la plupart du mobilier attribuable au travail des métaux se trouve en position secondaire dans le remplissage de fosses et des zones d'épandage, situées à l'extérieur des espaces de travail.

Pendant la phase a, une activité de fonte et de fabrication de pièces d'équipement militaire, de clous décoratifs et de pendeloques de tablier est bien attestée.

En effet, le sol le plus ancien, rubéfié (214 de la sous-phase 1) n'a livré que des artefacts en alliage cuivreux (fig. 3.3): des gouttes et coulures et des pièces brutes encore liées ensemble comme deux des sept clous décoratifs à tête creuse (n° 2) et comme les appliques rectangulaires de tablier de lanières, à deux tiges de fixation non serties (n° 1). Deux appliques rectangulaires similaires avaient déjà été mises au jour dans les fouilles du camp militaire⁴. Dans le sol de cailloux/gravier compactés (193), une attache de ceinture de

⁴ Oedenburg I, 295 n°s 129-130 et pl. 7.7.

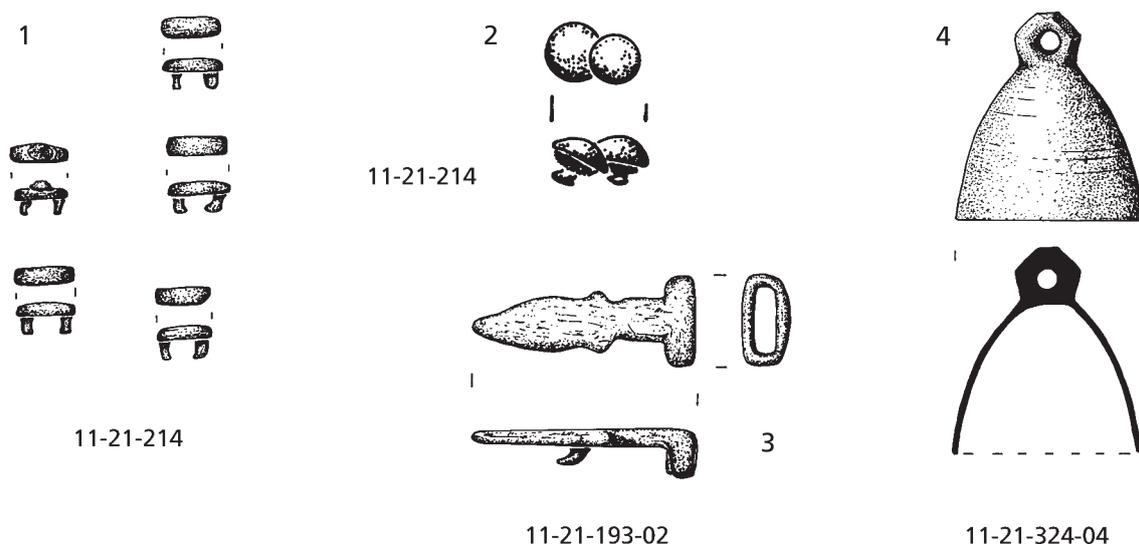


Fig. 3.3 Mobilier d'alliage cuivreux en cours de fabrication dans l'atelier A (dessin Fl. André). Éch. 1:1.

forme triangulaire est munie à l'une de ses extrémités d'un passant rectangulaire destiné à fixer la lanière, et en-dessous l'ardillon destiné à l'extrémité de la ceinture (n°3). Ce type d'attache, à notre connaissance, n'a pas de parallèle exact, mais son mode de fonctionnement et sa forme générale sont en tout point semblables aux attaches de ceinture en forme de palmette, abondantes sur les *oppida* d'Europe Centrale et datées de la fin du 1^{er} siècle avant notre ère⁵.

Dans l'environnement proche de l'atelier, la fosse (324) contient une clochette, fêlée et sans l'attache du battant (n°4). Dans le comblement d'un trou de poteau (289) de cette première phase de construction et le remplissage de la cave (190) qui fonctionne dès la période A, une dizaine de fragments de tôles et d'objets correspondent à une récupération de pièces brisées destinées à la refonte.

Pour les phases suivantes, le peu de matériel en alliage cuivreux (quelques fragments de tôle, un fil et deux clous décoratifs à tête creuse dans les phases B et C), ne donne pas d'indices suffisants pour affirmer l'existence d'une activité artisanale malgré des structures qui semblent correspondre à cette activité. En effet, il peut s'agir aussi d'artéfacts de l'atelier A, en position secondaire suite à des creusements.

Par les témoins métalliques retrouvés, ces ateliers sont liés à la fabrication d'équipements militaires. Leur taille permet d'envisager plusieurs équipes organisées par spécialité.

J.-P. G.

LES DÉCHETS MÉTALLURGIQUES ISSUS DU TRAVAIL DU FER

Quelques 60 kilogrammes de mobilier métallurgique ont été mis au jour à l'occasion de ces fouilles. Il est difficile d'évaluer, notamment pour l'atelier A, la proportion de déchets situés en dehors de l'emprise des opérations de fouille et d'établir la représentativité du corpus étudié. Néanmoins, l'étude de ce matériel

⁵ J. Werner, Aquileia –Velem – Hrazany. Palmettenförmige Gürtelschließen aus pannonischen und boiischen Oppida. Dans: J. Werner, Spätes Keltentum zwischen Rom und Germanien. Gesammelte Aufsätze zur Spätlatènezeit. Münchner Beiträge zur Vor- und Frühgeschichte 2 (München 1979) 158-164.

permet une première qualification des activités artisanales qui se sont développées au sein des quartiers d'habitat installés sur la butte d'Altkirch.

L'étude présentée ici repose sur l'examen macroscopique des déchets métallurgiques. Le mobilier a été préalablement nettoyé, soit par le biais d'un nettoyeur haute pression, soit par brossage doux sous l'eau pour les individus les plus fragiles. Une description des caractères morphologiques, métrologiques et de la nature des matériaux constituants est ensuite effectuée d'après les critères formalisés par plusieurs travaux de référence⁶. Certaines caractéristiques physiques, telles que la densité ou l'intensité du ferromagnétisme, sont évaluées de manière relative. Une classification typologique largement inspirée des systèmes proposés pour l'étude de la forge de Châbles – Les Saux (canton de Fribourg, Suisse)⁷ a servi de support aux réflexions présentées au fil de cette contribution. Les traits majeurs du *corpus* métallurgique sont exposés dans un premier temps, ce qui autorise une première identification des opérations métallurgiques pratiquées au sein des espaces artisanaux révélés par les fouilles. Les catégories de mobilier sont ensuite décrites et commentées de manière plus précise, afin de qualifier les pratiques qui leur sont associées. Enfin, une évaluation des quantités de métal travaillées et du nombre de séquences opératoires réalisées est proposée afin de discuter l'importance des activités métallurgiques.

Méthodologie d'étude

On distingue généralement, pour les activités métallurgiques, et plus particulièrement le travail du fer, les déchets métalliques et scoriacés. Dans le premier cas, il s'agit de fragments de masses de métal brutes, de chutes issues de la mise en forme, ou d'ébauches. Dans le second, la fusion d'une partie des composantes des systèmes métallurgiques⁸ conduit à la formation de scories, un processus qui dépend de nombreux facteurs⁹. La scorie se révèle être un matériau de composition à la fois complexe et variable. Toutefois les approches paléométallurgiques adoptées depuis plusieurs années¹⁰ ont permis de définir de nombreux types de déchets et résidus produits. Nous définirons ici les critères d'examen à l'échelle macroscopique employés dans le cadre de cette étude.

⁶ Par exemple C. Dunikowski / M. Leroy / P. Merluzzo / A. Ploquin, L'atelier de forge de Naily (Yonne), contribution à l'étude des déchets métallurgiques. *Revue archéologie de l'Est et du Centre-Est* 47, 1996, 97-121 ; L. Eschenlohr / V. Friedli / C. Robert-Charrie Linder / M. Senn, Develier-Courtételle: un habitat rural mérovingien. 2: Métallurgie du fer et mobilier métallique. *Cahiers d'archéologie jurassienne* 14 (Porrentruy 2007); Reymond et al., La villa romaine du Buy (note 1); V. Serneels/S. Perret, Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains. Dans: *Archaeometallurgy in Europe. Proceedings of the International Conference (Milano, September 24-26, 2003)* (Milano 2003) 469-478; V. Serneels / M. Leroy / P. Merluzzo, Les activités de forge: le travail du métal. Dans: M. Mangin (dir.), *Le Fer* (Paris 2004) 81-112.

⁷ T. J. Anderson / C. Agustoni / A. Duvauchelle / V. Serneels / D. Castella, Des artisans à la campagne: carrière de meules, forge et voie gallo-romaines à Châbles (FR). *Archéologie fribourgeoise* 19 (Fribourg 2003).

⁸ Il s'agit de la gangue du minerai dans le cadre strict de la réduction, mais également des ajouts ou des parois de four de manière plus générale.

⁹ Conditions cinétiques et thermodynamiques du système métallurgique, nature des matériaux apportés (minerai, parois, ajouts, ...), pression relative en monoxyde de carbone (atmosphère plus ou moins oxydante ou réductrice).

¹⁰ Anderson et al., Des artisans à la campagne (note 7); C. Le Carlier / M. Leroy / P. Merluzzo, L'apport de l'analyse morphologique, microscopique et chimique des scories en forme de culot à la restitution des activités de forge. *Revue d'archéométrie* 31, 2007, 23-35; Reymond et al., La villa romaine du Buy (note 1); V. Serneels, Les déchets métallurgiques. Dans: C. Schucany (dir.), *Die römische Villa von Biberist-Spitalhof/SO (Grabungen 1982, 1983, 1986-1889). Untersuchungen im Wirtschaftsteil und Überlegungen zum Umland. Ausgrabungen und Forschungen* 4 (Remschalden 2006) 521-533.

Identification des matériaux

Les scories

- La densité apparente des matériaux étudiés est fonction de la densité de leurs composants, ainsi que de leur porosité. La densité apparente des résidus métallurgiques étudiés a été appréciée de façon relative. Dans le cadre de cette étude, cette approche s'est révélée suffisante, étant données les importantes différences de densité des constituants des déchets.
- La minéralogie des scories. Les constituants principaux des résidus métallurgiques peuvent être appréciés par un examen oculaire. Différentes phases minérales sont susceptibles de se former au sein de la scorie en fonction de la nature du produit travaillé, des différents traitements appliqués et partant, de la qualité de l'opération.
- Le magnétisme des résidus métallurgiques a été évalué à l'aide d'un aimant. La réponse des matériaux, variable, permet d'évaluer la proportion des constituants magnétiques au sein du matériau.

– Critères morphologiques

La morphologie des déchets métallurgiques permet, dans certains cas, de les attribuer à une séquence opératoire précise.

- Un certain nombre de scories présentent une forme typique en calotte. Egalement dénommé culot, ce type de déchet résulte de l'accumulation, dans le fond d'un foyer, de différents matériaux plus ou moins fondus, ainsi que d'autres éléments tels que fragments de paroi, ou charbon de bois. Les scories présentent une forme globalement plano-convexe, avec une surface de forme circulaire à elliptique. Le culot conserve la forme du foyer dans lequel il s'est formé.
- D'autres scories peuvent présenter une morphologie en cordons. Cette forme est provoquée par l'accumulation et l'écoulement de scorie à l'état liquide. Ce type de scories est caractéristique de la réduction du minerai de fer au moyen d'un bas-fourneau à scorie écoulee, dans lequel se forme un bain de scorie liquide s'accumulant au fond de la structure, et qui sera par la suite évacué par une ouverture ménagée à la base de la colonne.

– Les faciès pétrographiques principaux

- Les scories argilo-sableuses (SAS) : ces scories présentent une composition hétérogène. Elles adoptent une morphologie irrégulière. De densité apparente faible, les cassures révèlent souvent une structure très poreuse. Des éléments non fondus, tels que des grains de silice, des graviers ou des fragments de terre cuite sont visibles. La surface présente en général des couleurs claires, qui peuvent être vives. On peut également observer localement une vitrification de la surface. Ce type de scorie contient peu de composés ferreux, et ne répond pas à l'aimant. Les matériaux à l'origine de ce type de scorie seraient des éléments de paroi des structures de chauffe, ou d'éventuels ajouts employés lors des séquences de travail à la forge. Ces ajouts sont utilisés afin de protéger d'une oxydation à chaud ou d'une carburation accidentelle les surfaces du métal travaillé. Ce matériau, de faciès argilo-silicaté dominant, contient peu de fer, de l'ordre de 5 à 15 %_{mass}.
- Les scories grises denses (SGD) : elles présentent en général une surface relativement rugueuse, sous la forme d'agglomérats de petits éléments globulaires ou cordés, que l'on pourrait qualifier d'amiboïde. On y distingue parfois également des empreintes de morceaux de charbon de bois. Ce type de scorie affecte une porosité relativement faible, et une densité apparente importante. Le faciès minéralogique dominant de ce type de résidus apparaît comme étant fayalitique (silicate de fer de formule simplifiée Fe_2SiO_4), montrant généralement une coloration grise, avec des nuances localisées vers le rougeâtre ou le verdâtre. Ce

type de scorie peut se révéler faiblement ferromagnétique. Ce faciès est le principal observé en contexte de réduction des minerais de fer, mais il est également généré en contexte de forge. Dans ce cas précis, le bain silicaté se forme dans le foyer à partir de l'oxydation à chaud des surfaces du métal travaillé et d'éléments siliceux ou argileux employés comme ajouts. Dans le cas de l'épuration de métal brut encore poreux, la scorie de réduction, elle aussi de faciès SGD, est en partie expurgée de la masse et participe à la formation du culot. La teneur moyenne en fer de ce matériau varie généralement entre 45 et 55 %_{mass}.

- Les scories ferreuses rouillées (SFR): elles présentent un aspect terreux de couleur rouille. Ces scories adoptent une morphologie très variable. L'aspect extérieur de ce type de scories est comparable à celui de concrétions issues de la corrosion du fer; la scorie présente généralement des surfaces de texture granuleuse. Constituées de grains de quartz, de fragments de terre cuite, ainsi que de fer métallique présentant diverses formes, ces scories sont hétérogènes du point de vue de leur composition. Le fer est présent à la fois sous forme oxydée et sous forme métallique dans le matériau. La réponse du matériau à l'aimant est généralement forte. La scorie se révèle par ailleurs riche en fer. Les teneurs observées sont de l'ordre de 60 à 70 %_{mass}. La formation de ces calottes est attribuée à l'accumulation dans le foyer de chutes métalliques ou d'oxydes, détachés de la masse principale pendant une phase de chauffe.

La terre cuite

Les éléments en terre cuite sont employés dans la confection des structures de combustion. Ce matériau est employé pour les parois, ainsi que les éléments servant à la ventilation, tels que tuyères et blocs-tuyères. La composition de ces matériaux peut varier. On peut observer par exemple l'utilisation de terre réfractaire, notamment pour les éléments situés à proximité de la zone chaude des foyers, tels que les tuyères. Des revêtements de brasque (mélange d'argile, de charbon de bois et de sable) peuvent également être retrouvés.

Le métal

La découverte de fragments métalliques est courante. Ceux-ci présentent un état d'altération au feu variable. Les chutes et ébauches sont généralement constituées de métal compact, dont la structure est représentative du matériau travaillé. On observe également des fragments métalliques au faciès plus « brut », issus du travail de pièces au degré d'épuration peu avancé. Enfin, des fragments aux surfaces irrégulières, altérées par une oxydation à haute température à l'occasion d'accidents de chauffe, peuvent être par ailleurs rejetés par l'artisan.

Les catégories de mobilier définies

Les catégories suivantes ont été définies en s'inspirant d'études de référence¹¹, et constituent un outil de classification qui permet d'intégrer la majorité des vestiges liés à la métallurgie du fer ancienne.

¹¹ Par exemple Anderson et al., *Des artisans à la campagne* (note 7); Dunikowski et al., *L'atelier de forge de Nailly* (note 6); V. Serneels / A. Ploquin / Ph. Fluzin, *Archéométrie des déchets de production sidérurgique. Moyens et méthodes d'identification*

des différents éléments de la chaîne opératoire directe. *Gallia* 57 (Paris 2001) 101-121; V. Serneels, *Les déchets métallurgiques*. Dans: Schucany, *Die römische Villa von Biberist-Spitalhof* (note 10).

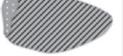
- Fragments de scories indéterminés : les fragments de scorie dont les différents caractères, physiques ou morphologiques, ne permettent pas d'association avec un stade défini de la chaîne opératoire de production du métal sont regroupés dans cette catégorie.
- Scorie coulée : ces individus présentent une morphologie permettant de restituer l'accumulation de cordons de scorie liquide. Les scories coulées sont associées au stade de la réduction du minerai.
- Culots : les scories en calotte, présentant une forme majoritairement plano-convexe, sont exclusivement formées lors des étapes de post-réduction, épuration et forge. Les culots ont été systématiquement conservés, mesurés et décrits. Ces informations permettent de restituer la taille d'une zone chaude au sein d'un foyer, mais également de donner une idée de la qualité du métal travaillé¹². Les culots sont ainsi des marqueurs des opérations effectuées entre deux curages du foyer. Les principales formes de culots, ainsi que les appellations qui seront employées ici sont représentées sur la **figure 3.3**.
- Fragments de culot : cette catégorie regroupe les individus identifiables en tant que culots, mais dont l'état de conservation ne permet pas de restituer la morphologie exacte du culot complet.
- Terre cuite : les éléments d'architecture des structures de combustion, dont la terre a subi une cuisson plus ou moins intense. Cette catégorie concerne presque exclusivement les fragments de paroi.
- Paroi fondue : une part variable des parois de fours et de foyer est altérée par la chaleur et forme des agglomérats d'éléments plus ou moins fondus. Ce type de matériau est relativement peu dense et peut présenter une vitrification.
- Minerai : des fragments de minerai peuvent également être retrouvés en association avec des structures d'activités métallurgiques. Leur morphologie est susceptible de varier fortement d'un cas à l'autre. Les fragments de minerai présentent en général un magnétisme relativement fort.
- Fragments de métal : il s'agit de résidus métalliques plus ou moins informes. Cette catégorie inclut les fragments de métal informes, qui peuvent être des morceaux de masse brute de réduction qui se sont désolidarisés de la masse principale. D'autres fragments informes peuvent être issus de masses de métal agglomérées dans le foyer de forge. Ces masses sont liées à une activité de recyclage du métal. Cette catégorie inclut également les chutes de travail et ébauches de forge. Ce sont typiquement des bouts de barres, de tôles, ou des soies de préhension.
- Indéterminé : cette catégorie regroupe les éléments qui n'ont pu être interprétés en tant que fragments scoriacés ou métalliques. Cette catégorie regroupe majoritairement des concrétions ferrugineuses.

Quantifications

En raison de l'état presque toujours fragmenté des résidus métallurgiques, les quantités de chaque catégorie de mobilier sont exprimées en masse pour chaque structure ou unité stratigraphique ayant fait l'objet de prélèvement. Ces quantifications permettent de déterminer l'importance relative des différents types de vestiges en fonction de leur contexte, mais également de donner une image de la répartition de ces catégories de résidus en vue d'une interprétation des structures associées. Seuls les culots de forge dont l'état de conservation a été jugé suffisant ont fait l'objet d'une pesée individuelle.

¹² S. Bauvais / Ph. Fluzin, *Réflexions sur l'organisation technico-sociale des activités de forge à La Tène finale dans l'Aisne*. Archéosciences 30, 2006, 25-43.

TYPOLOGIES de PROFIL de SECTIONS de CULOT de FORGE
dans l'axe de la tuyère

	Convexe	Convexe tronquée		Bords droits	Aplatie	Irrégulière
Plane						
Concave						
Bombée						
Sur épaisseur centrale						
Sur épaisseur étalée						
Sur épaisseur extrémité						
Composée						Paul MERLUZZO - UMR 5060

1. Plano-convexe
2. Nid d'hirondelle
3. Anguleux
4. Plane
5. Irrégulière
6. Culot double

Fig. 3.4 Typo-morphologie descriptive des scories en calotte (d'après M. Leroy/S. Cabboi, Les formes d'organisation de la production du fer en métallurgie ancienne. Systèmes de production et chaîne opératoire dans les ateliers de l'est du Bassin Parisien, de l'âge du Fer au haut Moyen Age. Collectif de Recherche, Rapport pluriannuel 2007-2009 [2009] fig. 8).

Des activités liées au travail du fer

La chaîne opératoire associée à la métallurgie du fer ancienne peut être déclinée en trois grandes étapes¹³. Premièrement, le minerai de fer est réduit à l'état solide au sein d'une structure de chauffe, le bas-fourneau. Une masse métallique est obtenue à l'issue de l'opération. Celle-ci présente une compacité variable, et comporte des impuretés (charbon de bois, fragments de paroi, scorie) en quantités plus ou moins importantes. Elle est par ailleurs hétérogène du point de vue de la structure du métal (taux de carburation variable). La masse de métal brute est épurée (ou raffinée) afin de la compacter, de la débarrasser des impuretés et d'expurger au mieux la scorie incluse. Des demi-produits plus ou moins élaborés sont obtenus au terme de cette étape¹⁴. Le métal est ensuite mis en forme par une succession de chauffes et de martelages. Des traitements thermiques (trempe, soudure) ou thermo-chimiques (cémentation, nitruration) peuvent également être appliqués afin de modifier les propriétés mécaniques du produit en fonction de sa destination fonctionnelle. Chaque phase opératoire ou pratique génère des déchets, métalliques ou scoriacés, plus ou moins spécifiques. Ceux-ci sont représentés sur la **figure 3.4**. L'interprétation de ces derniers offre ainsi la possibilité de qualifier, dans une certaine mesure, les opérations effectuées.

¹³ Mangin, Le Fer (note 6).

¹⁴ M. Berranger, Le fer, entre matière première et moyen d'échange, en France du VII^e au I^{er} s. av. J.-C. Approches interdisciplinaires [Thèse de doctorat, Université Paris 1, 2009].

Considérons en premier lieu l'opération de réduction du minerai de fer. Cette opération produit généralement des plaques composées de cordons formés par des écoulements successifs de matériaux en fusion hors du bas-fourneau. Des masses de scorie peuvent également se former à l'intérieur de la structure de réduction. Aucun fragment scoriacé composant le corpus étudié ne présente de traits morphologiques attribuables sans ambiguïté à la réduction du minerai. Cette opération n'a sans doute pas été réalisée dans le contexte étudié, ce qui est par ailleurs cohérent avec nos connaissances sur le sujet. La réduction est en effet majoritairement pratiquée, à l'époque gallo-romaine, au sein de complexes métallurgiques tels que la Puisaye, le Morvan-Auxois¹⁵ ou la Montagne Noire¹⁶. Cette organisation, perceptible dès la période tardo-républicaine en Gaule, suggère une volonté de centralisation des activités de réduction du minerai au sein de districts de grande ampleur. Il est en revanche peu fréquent de retrouver des indices de réduction du minerai en contexte rural ou urbain. Les activités de post-réduction, épuration et mise en forme du métal, sont bien représentées dans ces contextes et apparaissent comme une composante artisanale forte dans la structuration des réseaux d'habitat ruraux et urbains¹⁷. À Oedenburg, les scories en forme de calotte, ou culots de forge, constituent la catégorie la mieux représentée au sein de l'ensemble mobilier. Cette morphologie est caractéristique des opérations de post-réduction du fer, c'est-à-dire l'ensemble des actions destinées à épurer et mettre en forme le métal brut afin d'obtenir des demi-produits ou produits finis. Les culots de forge se forment au sein du foyer métallurgique par l'accumulation de matériaux (scorie issue de la réduction du minerai de fer et piégée dans le métal, ajouts de forge, ou fragments de paroi) devenus fluides. Des éléments scoriacés informes ainsi que des fragments de paroi, fondue ou cuite, ont également été mis au jour. Enfin, quelques fragments métalliques pouvant être identifiés comme chutes de travail complètent cet ensemble mobilier. Ces catégories ont été décrites plus précisément *supra*. Ces premiers constats nous amènent à penser que seules des opérations de post-réduction ont été réalisées au sein des deux espaces artisanaux fouillés à Oedenburg. Nous décrirons successivement les vestiges associés à chacun d'eux avant de proposer une synthèse des observations réalisées.

Qualification des activités de forge d'Oedenburg

Nous nous concentrerons ici sur l'examen des scories en forme de calotte et des fragments métalliques identifiables comme chutes de travail afin de préciser les opérations de forge effectuées au sein des deux espaces considérés. Une démarche comparative est employée afin de déceler d'éventuelles différences vis-à-vis des opérations pratiquées.

Les culots de forge

Les scories en calotte formées dans le foyer de forge « fossilisent » en partie les séquences opératoires au cours desquelles elles se sont formées. De ce fait, elles constituent un support d'informations essentiel à la

¹⁵ M. Leroy, La production sidérurgique en Gaule : changements et mutations perceptibles entre le Haut Empire et les débuts du haut Moyen Age. Dans : M. Polfer (dir.), L'artisanat romain : évolution, continuités et ruptures (Italie et provinces occidentales). Actes du 2^e colloque d'Erpeldange, 26-28 octobre 2001. Monographies Instrumentum 20 (Montagnac 2001) 79-95.

¹⁶ P.-M. Decombeix / J.-M. Fabre / A. Gorgues / C. Rico / F. Tollon / B. Tournier, Réflexions sur l'organisation de la production du fer à l'époque romaine dans le bassin supérieur de la Dure, au voi-

sinage des Martyrs (Aude). Dans : C. Domergue / M. Leroy (dir.), Mines et métallurgies en Gaule : recherches récentes. Gallia 57 (Paris 2000) 23-36.

¹⁷ M. Mangin / J.-L. Courtaudon / Ph. Fluzin / E. De Laclos, Forgerons et paysans des campagnes d'Alésia (Haut-Auxois, Côte d'Or). La terre, le fer, la route en pays mandubien : I^{er} siècle avant – VIII^e siècle après J.-C. Monographies du Collection de recherches archéologiques 22 (Paris 2000).

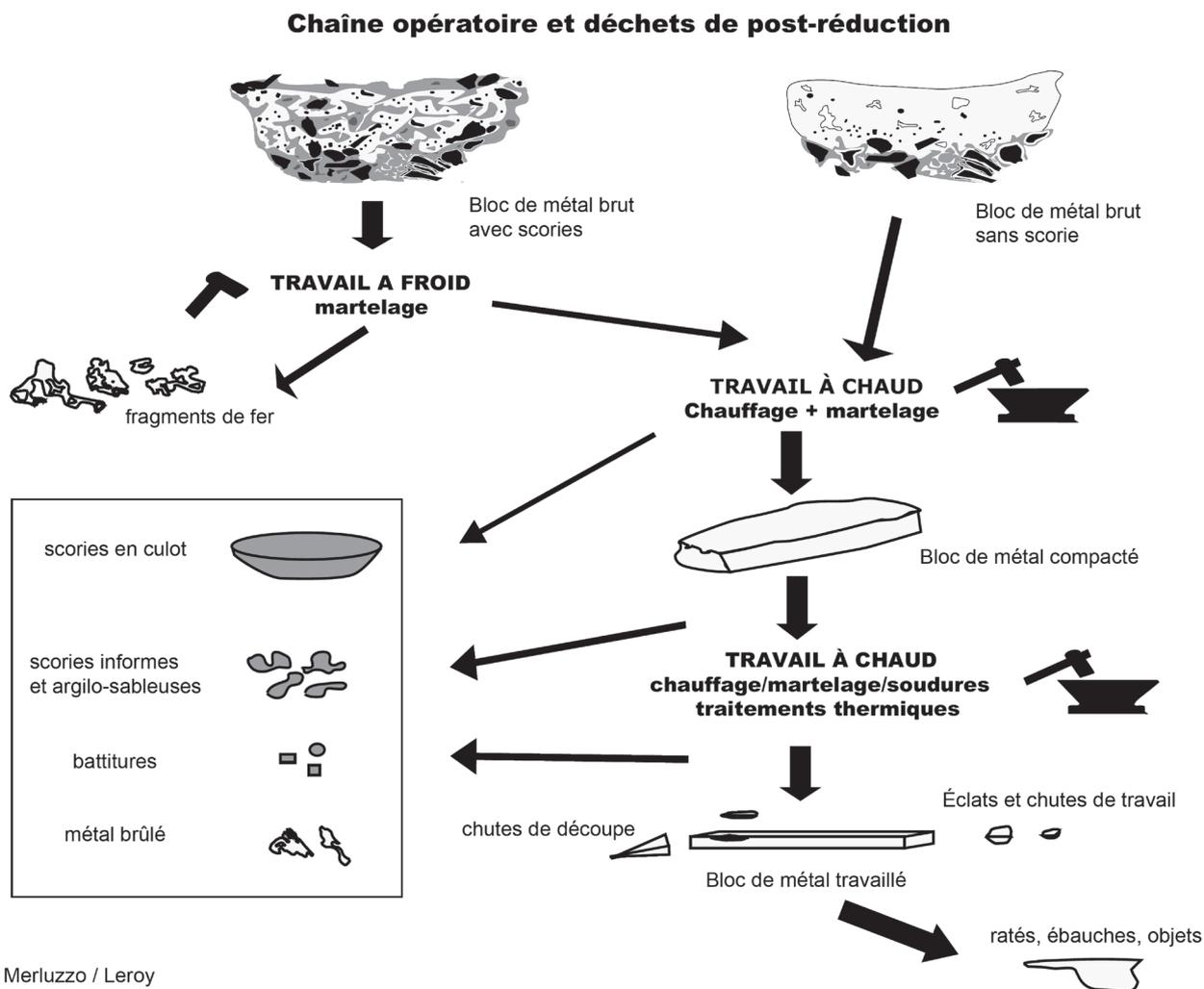


Fig. 3.5 Opérations et déchets caractéristiques de la post-réduction (d'après Leroy/Merluzzo, Les déchets [note 1] fig. 1).

restitution des opérations de forge. Elles représentent, en poids de restes, la catégorie de mobilier la plus importante du corpus étudié (fig. 3.5). La totalité des culots conservés intégralement (soit à plus de 90 %) ont été mesurés individuellement. Dans un but comparatif, les caractères morphométriques et la nature des scories en calottes seront détaillés ici en distinguant les lots issus des deux espaces artisanaux.

La morphologie des culots de forge autorise, dans certains cas, à restituer totalement ou en partie la forme et les dimensions du foyer dans lequel la scorie s'est formée. Les caractéristiques morphologiques de ces scories fournissent également des indications sur la puissance de la soufflerie et l'emplacement de la zone chaude au sein du foyer. Si les culots présentent des traces de la forme des parois ou des traces d'arrachement, cette zone chaude est située directement à la sortie de la tuyère. Certains exemplaires étudiés présentent une forme anguleuse, avec un ou plusieurs côtés rectilignes. Ils se sont ainsi formés contre les parois d'un foyer. Les exemplaires présentant plusieurs côtés rectilignes se sont certainement formés dans des foyers quadrangulaires. Si, en revanche, le culot présente une forme irrégulière, circulaire ou elliptique, le culot s'est préférentiellement formé au centre du foyer. Les proportions de culots présentant une forme anguleuse ou circulaire sont sensiblement comparables dans les deux cas (fig. 3.6). En revanche, les sco-

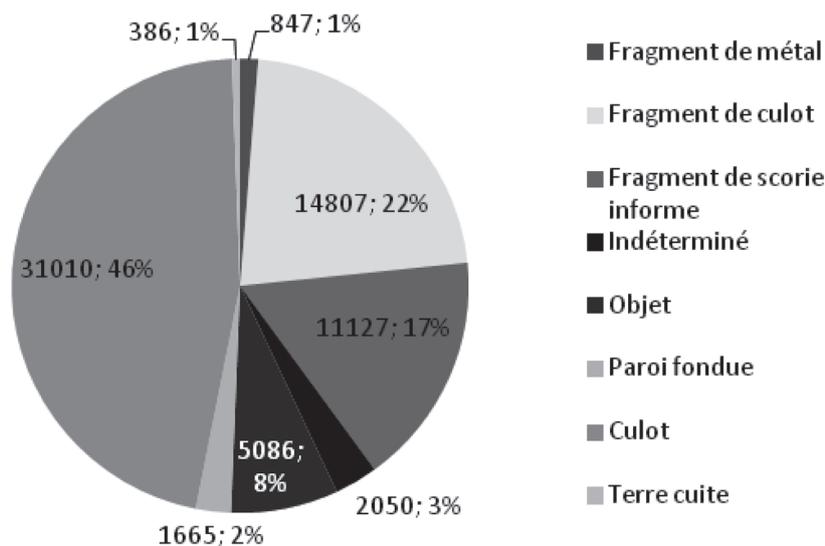


Fig. 3.6 Répartition des catégories de mobilier dans l'ensemble des structures considérées (masses en g) (A. Disser).

ries de formes irrégulières sont beaucoup plus nombreuses pour l'ensemble artisanal du chantier 20. Ceci pourrait traduire une différence dans la configuration des foyers utilisés, notamment du point de vue des dimensions et de la soufflerie.

Dans d'autres cas, c'est la partie inférieure de la scorie qui a épousé la forme du fond du foyer ; les surfaces inférieures du culot présentent alors généralement un aspect relativement lisse. C'est le cas pour une part importante des culots que nous qualifions ici de « plano-convexes ». Une variante de cette catégorie est qualifiée de « nid d'hirondelle ». Alors que les précédents présentent une face supérieure plane, la surface est dans ce cas concave. Cette caractéristique est attribuée à l'action du flux d'air qui déforme la scorie alors que celle-ci présente un état encore plastique. Les profils plans et irréguliers ne présentent en général pas d'indice de contact avec les parois de la structure de chauffe. Le profil plano-convexe domine les deux ensembles étudiés. La représentation forte de cette catégorie est par ailleurs observée dans la plupart des contextes de forge ayant bénéficié de l'étude des scories en calotte¹⁸. Les deux ensembles se distinguent par la proportion de profils irréguliers, beaucoup plus fréquent dans le cas du chantier 20 (fig. 3.7). Cette représentation peut être mise en relation avec l'observation des surfaces, les formes irrégulières étant également plus fréquentes pour le chantier 20.

Enfin, deux culots (issus respectivement du remplissage de la cave S17 et de la fosse S47) se composent en réalité d'une superposition de strates distinctes de scorie. Ces culots multiples, le plus souvent doubles, se sont formés par la succession d'opérations distinctes dans le même foyer, qui n'a pas subi de curage entre ces opérations.

Les dimensions des culots sont relativement comparables, bien que les individus issus du chantier 20 présentent des longueurs et largeurs légèrement inférieures à ceux mis au jour dans le chantier 21 (fig. 3.8). Les longueurs moyennes s'établissent à 9 cm (chantier 20) et 9,6 cm (chantier 21), pour des largeurs moyennes de 7,1 cm (chantier 20) et 7,6 cm. L'épaisseur moyenne des scories du chantier 20 (4,1 cm) est quant à elle identique à celle des culots du chantier 21 (4 cm). La distribution des valeurs, quasi-normale dans la plupart des cas, suggère une certaine régularité dans les conditions de formation des culots de forge.

¹⁸ Anderson et al., *Des artisans à la campagne* (note 7) ; Dunikowski et al., *L'atelier de forge de Nailly* (note 6) ; Eschenlohr et al., *Develier-Courtételle* (note 6) ; Raymond et al., *La villa romaine du Buy* (note 1) ; Serneels/Perret, *Quantification* (note 6).

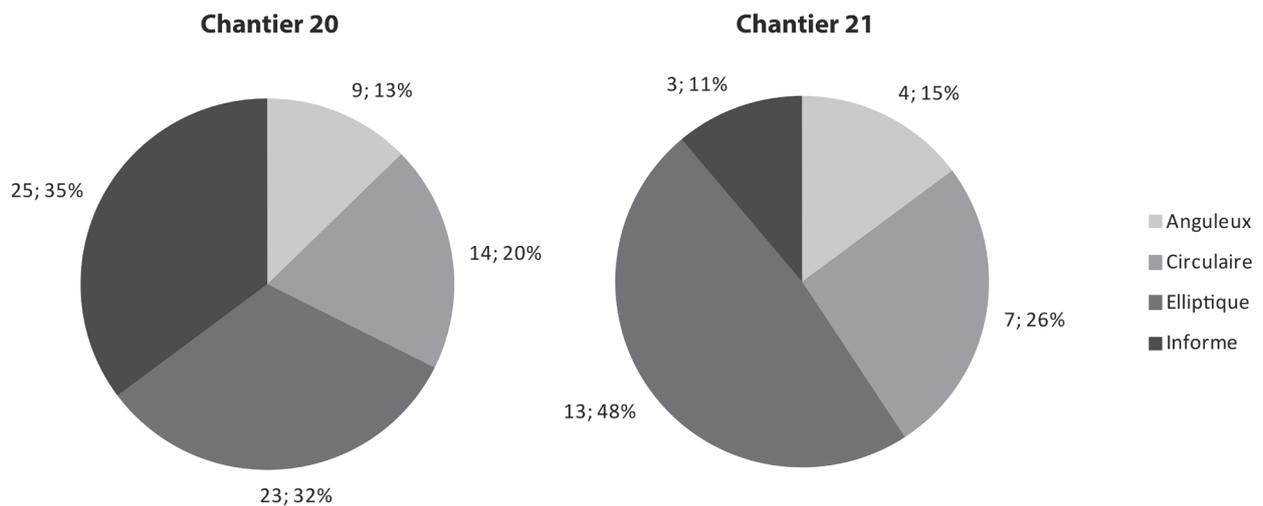


Fig. 3.7 Proportions des formes de scories en calotte (A. Dissler).

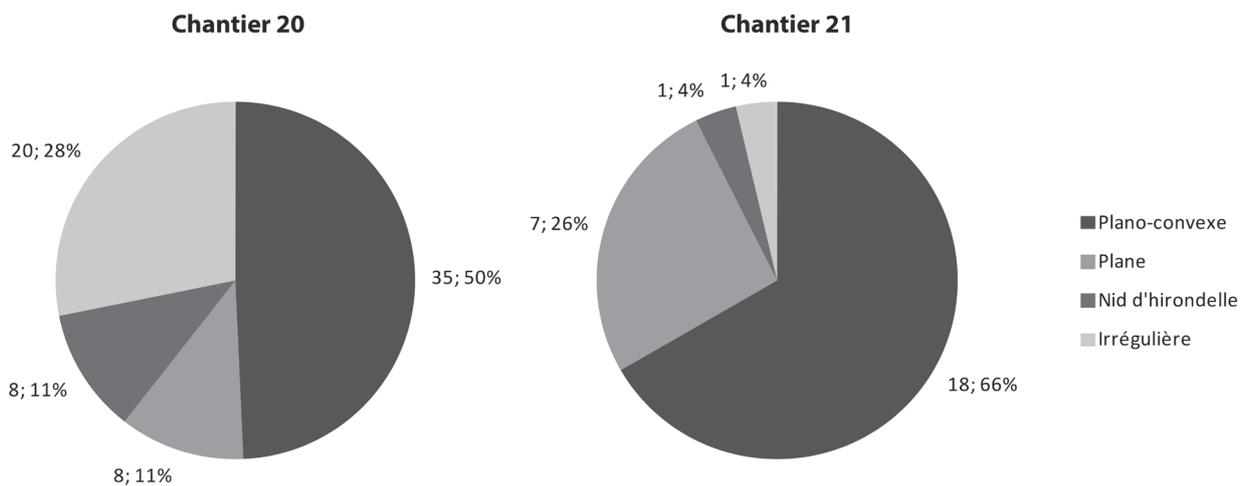


Fig. 3.8 Proportions des sections de scories en calotte (A. Dissler).

Les masses des scories en calotte ne présentent pas, contrairement aux dimensions, de distribution normale (fig. 3.9). Cette dispersion n'est toutefois pas surprenante, étant donné l'hétérogénéité de composition du matériau. Deux modes semblent se détacher de cette distribution. Le premier, entre 140 et 230 grammes, comporte le quart du corpus complet de scories en calotte, soit environ 25 individus. Le second, compris entre 280 et 420 grammes, rassemble lui aussi le quart du corpus. La masse moyenne de la série est de 320 grammes; la valeur modale est quant à elle de 279 grammes.

Les calottes ont par ailleurs été classifiées en fonction des matériaux qui les constituent. Les résultats de ce travail sont présentés en figure 3.10. Rappelons en premier lieu qu'il n'a pas été possible, à la fouille, de réaliser un prélèvement exhaustif des rejets de l'atelier A (chantier 21), puisque des quantités non négligeables de déchets se sont trouvées scellées par les recharges successives de la voie d'Horbourg-Wihr. Bien que la représentativité des résultats soit de ce fait sujette à caution, il reste possible de formuler plusieurs remarques basées sur la comparaison des ensembles issus des chantiers 20 et 21.

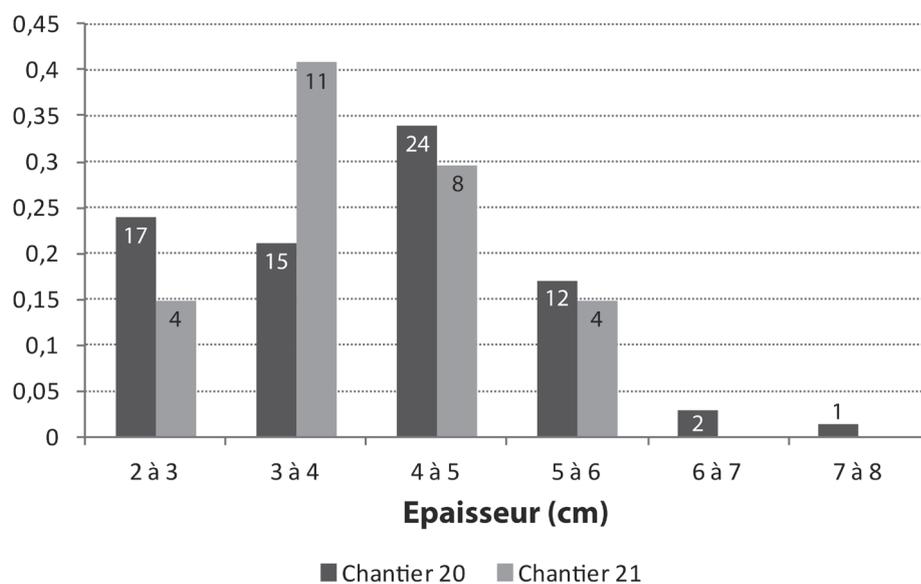
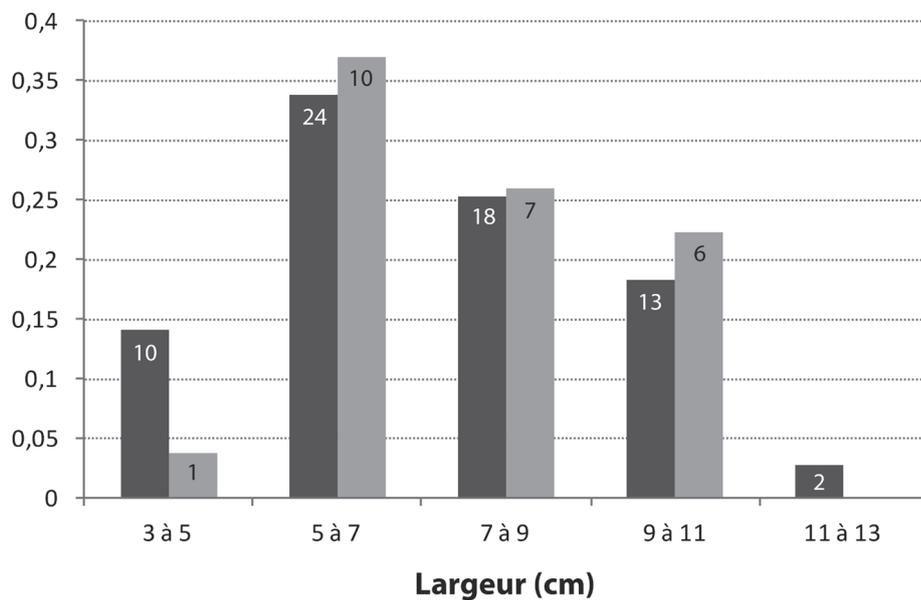
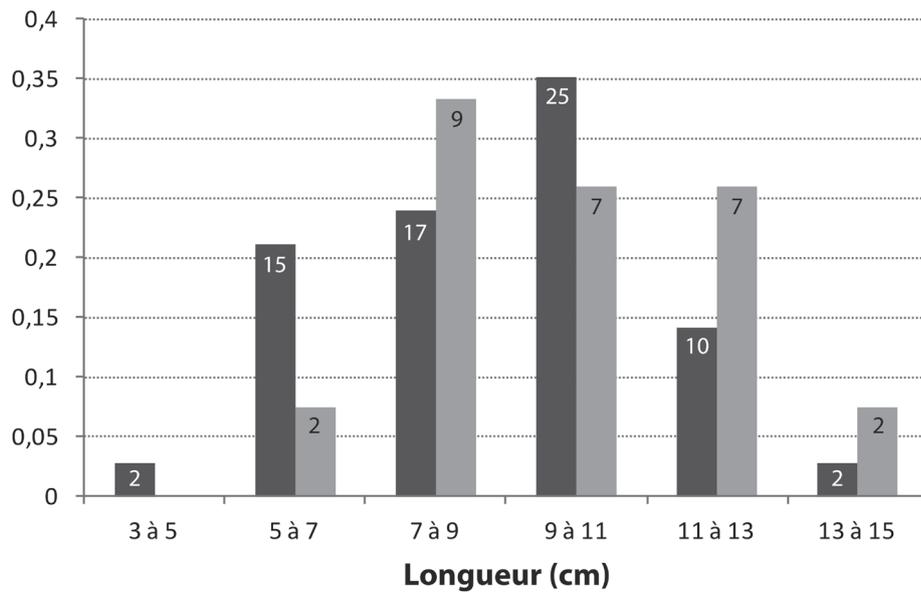


Fig. 3.9 Distribution en fréquence des dimensions de scories en calotte (les chiffres surimposés aux barres des histogrammes indiquent les effectifs) (A. Dissier).

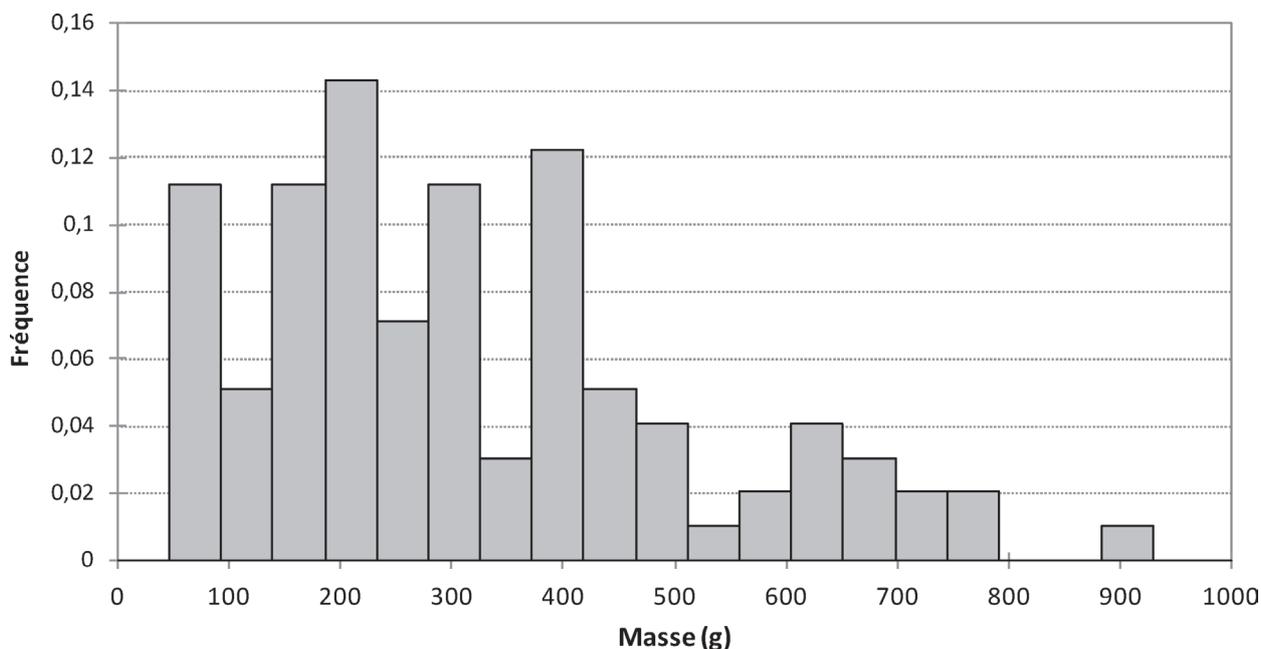


Fig. 3.10 Distribution de la masse des scories en calotte étudiées (A. Dissler).

Les culots mixtes SGD/SAS constituent la catégorie la mieux représentée au sein du corpus, à hauteur d'un tiers pour le chantier 20 (N=22), et d'un quart pour le chantier 21 (N=7). Celles-ci se composent de deux couches distinctes. La partie argilo-sableuse est très majoritairement située sur la partie fayalitique (SGD). Cette superposition apparaît liée au déroulement d'une séquence opératoire impliquant dans un premier temps une mise en forme plus grossière, au cours de laquelle les pertes de métal dues à l'oxydation sont plus importantes. Il est raisonnable de mettre ce faciès en relation avec une séquence impliquant à la fois une mise en forme plus grossière du métal suivie par un travail plus précis et des finitions. Ce type de scorie a été attribué dans d'autres contextes à la mise en forme d'un objet unique¹⁹, mais il est probable qu'il puisse également figurer la réalisation d'une série de petits objets.

Alors qu'elles constituent près de 15 % de l'ensemble du chantier 20, les scories argilo-sableuses sont quasiment absentes du lot associé au chantier 21. Ce faciès est obtenu par un apport important de matériaux sableux ou argileux et est, par conséquent, associé à l'utilisation de quantités d'ajouts importantes. Ce geste peut être notamment motivé par la nécessité de protéger au mieux le métal de l'oxydation à chaud, lors des opérations de mise en forme les plus délicates. Le faciès argilo-sableux peut être dans ce cas mis en relation avec les phases les plus abouties de la chaîne opératoire.

Les calottes présentant un faciès SGD sont plus fréquentes dans le contexte de l'atelier A (25 %) que dans celui du chantier 20 (18 %). Ces culots sont, rappelons-le, formées en partie par l'apport d'ajouts sablo-limoneux réagissant avec les oxydes formés à chaud à la surface du métal travaillé. La scorie de réduction piégée dans le métal brut peut également contribuer à la formation du matériau, puisqu'elle peut « suer », sous l'effet de la chaleur, d'un métal encore relativement poreux. Ce type de calotte est attribué à des travaux de mise en forme peu complexes.

¹⁹ V. Serneels / S. Perret, Les scories de forge de la Tène finale. Dans : T. J. Anderson / D. Castella, Une ferme gauloise à Courgevoux (Fribourg, Suisse). Archéologie fribourgeoise 21 (Fribourg 2007)135-152; Reymond et al., La villa romaine du Buy (note 1).

Plus fréquentes également dans le cas de l'atelier A (25 % contre 15 % pour le chantier 20), les culots SFR mixtes (SFR-M) sont composées à la fois de scorie ferreuse rouillée et de scorie argilo-sableuse. Ce faciès, tout comme le type SGD-M²⁰, peut être mis en relation avec des séquences opératoires peu complexes. Les différences de faciès observées sont liées à un apport plus ou moins important de fer, à l'état métallique ou oxydé, due à des pertes de fragments de métal ou cours de l'opération. Ces pertes peuvent résulter de l'épuration de métal relativement brut, ou de phases de chauffe assez poussées.

Enfin, les culots présentant un faciès strictement SFR sont relativement rares dans les deux contextes (moins de 5 %). Ces déchets sont formés presque exclusivement de métal. Les pertes importantes de métal à l'origine de la formation de ces calottes sont attribuées au travail d'une matière première de qualité médiocre²¹. Par ailleurs, il paraît pertinent à notre sens d'envisager la pratique de certaines opérations spécifiques, telles que l'agglomération de métal à chaud. Des fragments métalliques (débris de masses de métal brut perdues au cours l'épuration, chutes détachées au cours de la mise en forme, ou fragments de métal usagé) sont disposés dans le foyer de forge et portées à une température suffisamment importante pour permettre leur agglomération. Une masse de métal brut, similaire au produit de la réduction du minerai est obtenue, qui peut être épurée et mise en forme. Cette pratique est notamment perçue sur le site de Messein – Les Noires Terres (Meurthe-et-Moselle)²², à travers des culots majoritairement métalliques au sein desquels des débris aux formes caractéristiques (tels que des tiges de clous) sont encore perceptibles. Cependant, nous manquons encore à l'heure actuelle de référentiels archéologiques ou expérimentaux suffisants pour bien caractériser cette pratique encore mal appréhendée.

Sous réserve de la représentativité des déchets métallurgiques mis au jour à l'occasion des chantiers 20 et 21, les observations dont il est fait état *supra* autorisent à formuler quelques remarques quant aux types d'opérations dont le mobilier étudié est caractéristique. Les ensembles présentent plusieurs traits communs, notamment la représentation des catégories SFR, SGD/SAS et SGD-M, associées à des séquences de travail complètes et à des opérations de mise en forme peu complexes. En revanche les opérations plus fines, caractérisées par un emploi important d'ajouts et de faibles pertes de métal sous forme d'oxydation à chaud, semblent occuper une place plus importante dans l'espace artisanal du chantier 20. Inversement, les opérations de mise en forme moins complexes sont mieux représentées au sein des rejets de l'atelier A. Les deux ateliers pratiquent des opérations similaires, même si de légères tendances relatives au degré d'élaboration sont perceptibles à travers l'étude du corpus de scories en calottes.

Les déchets métalliques

Les déchets métalliques offrent, à l'instar des scories en calotte, un potentiel informatif important pour l'étude des activités de forge²³. Le degré d'élaboration qu'ils présentent, des fragments informes jusqu'aux ébauches, permet d'établir la nature des opérations pratiquées (épuration ou mise en forme plus ou moins

²⁰ Composé majoritairement de SGD, mais avec une contribution importante de SFR et, dans une moindre mesure, de SAS.

²¹ Reymond et al., La villa romaine du Buy (note 1).

²² M. Leroy / M. Prevot, Messein «Les Noires Terres» (54): production métallurgique en contexte agricole et domestique? (VI^e-VII^e s.). Dans: L'Austrasie. Sociétés, économies, territoires, christianisation. Actes des XXXVI^e journées internationales d'archéologie mérovingienne, Nancy, 22-25 septembre 2005. Association française d'archéologie mérovingienne: Mémoires 19 (Nancy 2008) 171-176.

²³ Ces catégories de déchets ont fait l'objet d'études précises par A. Duvauchelle pour Châbles (Dans: Anderson et al., Des artisans à la campagne [note 7]) et par C. Riquier-Boucllet, Caractérisation du travail du forgeron au Haut Moyen-Age à travers l'étude des déchets métalliques de forges archéologiques [Mémoire de Master, Université de Nancy 2, 2006] pour Villeroy-La Plaine d'Herbier.

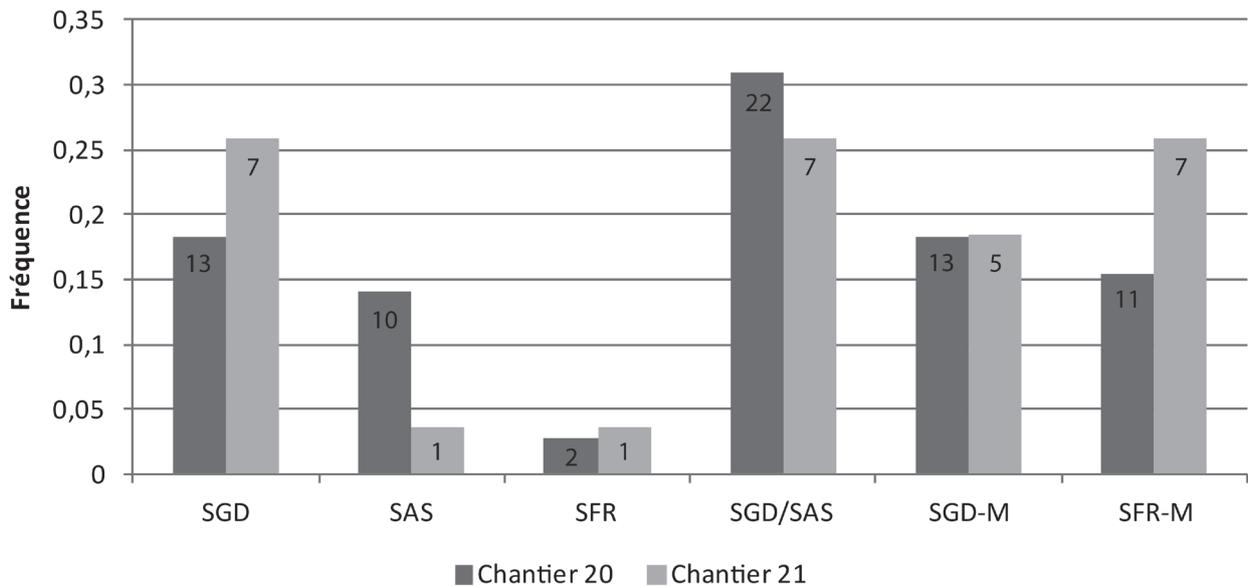


Fig. 3.11 Représentation des différents faciès de scorie au sein du corpus de culots de forge (A. Dissler).

poussée). Les chutes métalliques apportent des informations sur la forme (par exemple barre, bande ou tôle) et les dimensions du métal travaillé. La présence d'autres catégories de déchets, telles que les pastilles de perçage, mettent en évidence des pratiques particulières. Enfin, les déchets élaborés, tels que les ratés de fabrication ou les ébauches, permettent d'identifier précisément la nature des objets produits.

Les déchets métalliques constituent une faible part des rejets d'activités métallurgiques collectés au cours des chantiers 20 et 21 (PR=847g, soit 1,3% du corpus; NR=30). Cette faible représentation n'a rien d'étonnant dès lors qu'on envisage la récupération systématique des fragments métalliques en vue de les recycler. Aucun déchet informel ou présentant de trace de compactage n'a été collecté. Cette absence n'exclut toutefois pas d'envisager la pratique de l'épuration au sein des espaces artisanaux, puisque les culots attribués à certains types présentés *supra* peuvent être produits par cette opération.

Les chutes sont les déchets métalliques les mieux représentés (NR=18). Celles-ci appartiennent à trois des catégories définies par A. Duvauchelle pour l'étude de Châbles – *Les Saux* (fig. 3.11). Ces chutes suggèrent la confection de petits objets, peut-être de la quincaillerie. Toutefois, l'absence de déchets métalliques plus élaborés, tels qu'ébauches ou ratés de fabrication, empêche une définition plus précise des types d'objets produits.

Les matières dures animales

L'une des particularités de l'atelier A est la présence d'une concentration de cornes de bovidés sciées au sud du foyer 277 (fig. 1.26). S'y ajoutent quelques chevilles osseuses de mouton.

L'exploitation de la corne est bien connue dès l'époque gauloise et donnait lieu à un artisanat spécifique²⁴. Différents cas de présence de corne sont aussi connus dans des ateliers d'époque romaine, notamment à

²⁴ Voir par exemple S. Krausz, L'exploitation artisanale de la corne de bovidés à l'époque gauloise: le témoignage des chevilles osseuses de corne de Levroux (Indre) / The use of cattle horn

in the Gaulish period: the evidence of horn cores from Levroux (Indre). *Revue archéologique du Centre de la France* 31, 1992, 41-55.

Autun, et on a postulé la présence, au Lycée militaire, d'un cornetier associé aux bronziers, la chaleur des fours servant à dérouler et aplatir l'enveloppe de la corne. Sur le site de l'Institution Saint-Lazare, on a émis l'hypothèse d'un artisanat impliquant l'usage des deux matériaux, par exemple pour la confection de couteaux ou pour la décoration de meubles²⁵.

Les matières dures animales peuvent également être utilisées dans le cadre de traitements thermo-chimiques des alliages ferreux. Ces opérations chimiques reposent sur la diffusion de certains éléments (principalement le carbone) dans les couches superficielles du métal. Ceci permet notamment d'obtenir des produits composites aux propriétés mécaniques différentes d'un produit pur. Une des applications les plus courantes de ce procédé concerne le tranchant des lames. La diffusion (appelée cémentation dans le cas du carbone) peut également se faire à cœur. De façon pratique, la matière dure animale est réduite à l'état de poudre et mélangée à du charbon de bois afin d'obtenir un ciment. Celui-ci est destiné à enrober le métal qui est mis au feu pendant un temps relativement long, jusqu'à plusieurs heures. Le procédé est décrit précisément par V. Forest et M. Bois²⁶. Les vestiges archéologiques relatifs à cette pratique sont rares. Seules les études traitant des structures artisanales de Saint-Paul-Trois-Châteaux (14^e s., Drôme)²⁷, Courrendlin (1^{er}-4^e s., canton du Jura, Suisse)²⁸ et Chevenez – Combe Ronde (second âge du Fer, canton du Jura, Suisse)²⁹ nous sont connues.

Nous ne disposons malheureusement pas à l'heure actuelle d'argument qui permette de confirmer l'une ou l'autre de ces hypothèses. L'examen métallographique d'objets susceptibles d'avoir subi une cémentation (par exemple des objets tranchants) permettrait toutefois de mettre en évidence le recours éventuel à cette pratique.

Estimation des quantités de métal travaillé et du nombre de séquences opératoires

Outre la qualification des opérations métallurgiques pratiquées au sein des deux espaces artisanaux considérés, l'étude du mobilier scoriacé et métallique offre la possibilité d'estimer les quantités de métal travaillé, ainsi que le nombre de séquences de travail réalisées. Compte tenu des possibilités de collecte offertes par le contexte archéologique (notamment l'impossibilité de fouiller entièrement les rejets de l'atelier A recouverts par les recharges successives de la voie d'Horbourg-Wihr), cette approche ne peut être exhaustive. Nous nous contenterons d'évaluer, avec toute la réserve imposée dans ce contexte, les quantités de métal perdues dans le mobilier scoriacé. Nous avons également évoqué auparavant le fait qu'une scorie en calotte correspond à une séquence de travail. Nous proposerons, à partir du comptage des individus complets mais également des fragments de culots, le nombre de séquences opératoire représenté par le corpus étudié. Ces évaluations s'appuient sur l'étude des déchets métallurgiques du site de Châbles – Les Saux et de la villa de Buy³⁰.

²⁵ P. Chardron-Picault / I. Rodet-Belarbi, L'exploitation de la corne dans l'Antiquité, à Autun, d'après les exemples des sites d'« l'Institution Saint-Lazare » et du « Lycée militaire ». Dans : J.-C. Béal / J.-Cl. Goyon, Des Ivoires et des Cornes dans les mondes anciens (Orient-Occident) (Lyon 2000) 33-42.

²⁶ V. Forest / M. Bois, La corne et le fer : éléments d'enquête. Dans : Béal / Goyon, Des ivoires et des cornes (note 25) 55-61.

²⁷ Forest/Bois, La corne (note 26).

²⁸ J.-D. Demarez / M. Guelat / P.-A. Borgeaud (dir.), Voie romaine structures artisanales et travail du fer du I^{er} au IV^e siècle à Courrendlin (Jura, Suisse). Cahiers d'archéologie jurassienne 30 (Porrentruy 2011) 67-81.

²⁹ O. Putelat, Archéozoologie. Dans : C. Deslex / E. Evequoz / C. Belet-Gonda / S. Saltel, Occupations protohistoriques à Chevenez : de l'âge du Bronze à la fin de l'âge du Fer. Cahiers d'archéologie jurassienne 26 (Porrentruy 2010).

³⁰ Anderson et al., Des artisans à la campagne (note 7) ; Raymond et al., La villa romaine du Buy (note 1).

Chantier Type de chute	21 (Atelier A)	20
Chute-tôle 	0	5
Chute-bande 	6	3
Chute-tige 	1	3

Fig. 3.12 Comptage (en NR) des différentes catégories de chutes métalliques du corpus (d'après Anderson et al., Des artisans à la campagne [note 7]).

Approximation des quantités de métal travaillées

Un produit métallique est, rappelons-le, mis en forme par une succession de chauffes et de martelages. Au cours de ce processus, une part du métal est perdue par oxydation à chaud. Il participe principalement à la formation des scories en calotte. Une partie du métal est également perdue à travers la formation de battitures, qui se détachent de la masse principale au cours du martelage.

Sur la base des quantifications dont il est fait état *supra* et des faciès pétrographiques reconnus, il est possible d'évaluer la quantité de fer perdue dans les culots de forge. Les proportions de fer entrant dans la composition chimique de chacun des faciès principaux (SAS, SGD et SFR) ont été quantifiées, dans le cadre de l'étude de Châbles, par fluorescence des rayons X, et sont présentées dans le **tableau 3.12**.

Ces proportions sont relativement constantes en fonction du faciès matériel considéré, l'intervalle de variation étant de l'ordre de 10 %_{mass}. Les teneurs moyennes proposées, basées sur l'analyse de 22 individus³¹, sont considérées comme suffisamment représentatives pour être reprises en tant que référence dans le contexte des espaces artisanaux de la butte d'Altkirch.

Tenant compte de ces teneurs moyennes, il est possible d'évaluer les pertes en fer dans les rejets scoriacés des deux ensembles considérés. Il est en premier lieu nécessaire de déterminer les quantités respectives de chacun des trois faciès matériels parmi le mobilier collecté. Il est délicat d'évaluer précisément les proportions relatives de chacun de ces faciès au sein de chaque scorie en calotte. Il est ainsi préférable de s'appuyer sur un large corpus pour établir des profils moyens. Les proportions définies par l'étude de Châbles sont par conséquent reprises ici (**fig. 3.12**)

³¹ Anderson et al., Des artisans à la campagne (note 7) 362-363.

Catégorie	Proportion par matériau (en %)		
	SAS	SGD	SFR
SAS	100	0	0
SGD	0	100	0
SFR	0	0	100
SGD/SAS	50	50	0
SGD-M	10	70	20
SFR-M	20	10	70

Fig. 3.13 Contribution de chaque faciès matériel aux différentes catégories de scorie en calotte reconnues (d'après Anderson et al., Des artisans à la campagne [note 7]).

Catégorie		Chantier 20				Chantier 21			
		Masse (g)	SGD	SAS	SFR	Masse (g)	SGD	SAS	SFR
Fragment de culot	SGD	163	163	0	0	716	716	0	0
	SAS	86	0	86	0	875	0	875	0
	SFR	0	0	0	0	0	0	0	0
	SGD/SAS	7474	3737	3737	0	1733	866,5	866,5	0
	SGD-M	0	0	0	0	1010	707	101	202
	SFR-M	2455	245,5	491	1718,5	295	29,5	59	206,5
Scories en calotte	SGD	3738	3738	0	0	3739	3739	0	0
	SAS	1697	0	1697	0	74	0	74	0
	SFR	424	0	0	424	207	0	0	207
	SGD/SAS	6846	3423	3423	0	2947	1473,5	1473,5	0
	SGD-M	4944	3460,8	494,4	988,8	1319	923,3	131,9	263,8
	SFR-M	3745	374,5	749	2621,5	1728	172,8	345,6	1209,6
Fragments de scorie informes	SGD	4557	4557	0	0	401	401	0	0
	SAS	4439	0	4439	0	664	0	664	0
	SFR	753	0	0	753	163	0	0	163
Total		41321	19698,8	15116,4	6505,8	15871	9028,6	4590,5	2251,9

Fig. 3.14 Quantités, calculées d'après les proportions présentées dans le **tab. 3.13**, des principaux faciès matériels composant le mobilier scoriacé des chantiers 20 et 21.

Bien que l'on s'expose à une certaine imprécision lorsque l'on considère une population restreinte, la série étudiée ici (une centaine d'individus) apparaît suffisamment importante pour assurer une estimation fiable de ces profils. Les quantités de chaque faciès constituant les scories en calottes (entières et fragmentaires) ainsi que les éléments scoriacés informes ont été calculées en fonction de ce modèle, en distinguant les rejets des deux espaces artisanaux. Dans les deux cas, la scorie grise est majoritaire (47 % pour le chantier 20; 56 % pour le chantier 21), tandis que la scorie argilo-sableuse représente environ le tiers de la masse (37 % pour le chantier 20; 29 % pour le chantier 21). La scorie ferreuse rouillée est le faciès le moins représenté (16 % pour le chantier 20; 14 % pour le chantier 21) (**fig. 3.13**).

On est en mesure, d'après les quantités respectives (**fig. 3.13**) et les teneurs en fer moyenne de chaque faciès, de déterminer la quantité de fer contenue dans le mobilier scoriacé collecté (**fig. 3.14**). La perte de métal peut être évaluée en moyenne à 15,6 kg pour le chantier 20, et 6,4 kg pour le chantier 21, soit un total de 22 kg pour l'ensemble du mobilier étudié (**fig. 3.14**). Il est possible d'estimer, à partir de cette information, la masse de produits finis exécutés par ces deux espaces artisanaux. La quantité de métal perdue par oxydation à chaud au cours de la mise en forme est variable. Celle-ci dépend entre autres de la qualité de la matière travaillée, des opérations effectuées et de la maîtrise de l'artisan. Les réflexions menées à ce sujet suggèrent qu'en mettant en forme des objets à partir de produits semi-finis tels que tiges ou barres,

Chantier	Matériau	Teneur en fer (%)			Masse (g)	Perte en fer (g)		
		Minimale	Moyenne	Maximale		Minimale	Moyenne	Maximale
20	SAS	5	10	15	15116,4	755,8	1511,6	2267,5
	SGD	45	50	55	19698,8	8864,5	9849,4	10834,3
	SFR	60	65	70	6505,8	3903,5	4228,8	4554
	Total				41321,0	13523,8	15589,8	17655,9
21	SAS	5	10	15	4590,5	229,5	459,1	688,6
	SGD	45	50	55	9028,6	4062,9	4514,3	4965,7
	SFR	60	65	70	2251,9	1351,1	1463,7	1576,3
	Total				15871,0	5643,5	6437,1	7230,6

Fig. 3.15 Estimation de la masse de fer contenue dans le mobilier scoriacé des chantiers 20 et 21 du site de Biesheim-Kunheim, d'après les teneurs moyennes en fer par faciès matériel établies (d'après Anderson et al., Des artisans à la campagne [note 7]).

Chantier	Masse de métal perdue (g)	Masse de métal travaillée (kg)		Masse d'objets produite (kg)	
		Perte de 10 %	Perte de 25 %	Perte de 10 %	Perte de 25 %
20	15589,8	155,9	62,36	140,31	46,79
21	6437,1	64,37	25,75	57,93	19,31
Total	22026,9	220,27	88,11	198,24	66,1

Fig. 3.16 Estimation des masses de métal travaillées et d'objets produits par les deux espaces artisanaux de la butte d'Altkirch (A. Disser).

la perte en métal peut être estimée entre 10 et 25 % de la masse travaillée³². Le corpus étudié pour le chantier 20 représente le travail d'une quantité de métal évaluée entre 62,36 kg et 155,90 kg selon le taux de perte considéré, ce qui correspond à la mise en forme de 46,78 kg à 140,31 kg de produits finis. Dans le cas de l'atelier A, le mobilier scoriacé représente le travail de 25,75 kg à 64,37 kg de métal, pour l'obtention de 19,31 kg à 57,93 kg (fig. 3.15). Compte tenu du caractère lacunaire du corpus étudié, et du fait qu'il soit impossible d'évaluer les pertes de métal sous la forme de battitures, il apparaît raisonnable d'estimer que les ateliers ont réalisé quelques centaines de kilogrammes de produits finis. La production totale est certainement inférieure à une tonne.

En se basant sur la masse estimée de plusieurs catégories d'objets³³, il est possible d'évaluer l'importance des activités de forge réalisées dans les deux espaces artisanaux considérés (fig. 3.16). Par exemple, plusieurs milliers de couteaux ou plusieurs centaines d'outils ont pu être produits. Cette proposition permet d'estimer plus aisément quel est la participation de ces ateliers à une économie du fer locale. Bien qu'il s'agisse d'un apport non négligeable, l'agglomération a certainement bénéficié d'autres sources d'approvisionnement en produits ferreux finis.

³² Anderson et al., Des artisans à la campagne (note 7); Reymond et al., La villa romaine du Buy (note 1).

³³ M. Leroy, Les modes de production du fer au haut Moyen Age. L'exemple des ateliers sidérurgiques de Austrasie Lorraine centrale. Dans: L'Austrasie. Sociétés, économies, territoires,

christianisation. Actes des XXXVI^e journées internationales d'archéologie mérovingienne, Nancy, 22-25 septembre 2005. Association française d'archéologie mérovingienne: Mémoires 19 (Nancy 2008) 177-188.

Catégorie d'objet	198 kg d'objets produits	66 kg d'objets produits
Clou de menuiserie (5 à 15 g)	13200 à 39600	4400 à 13200
Couteau (50 à 100 g)	1980 à 3960	660 à 1320
Ciseau, gouge (250 à 300 g)	660 à 792	220 à 264
Hache, pioche (500 à 1000 g)	198 à 396	66 à 132
Soc de charrue (2000 à 5000 g)	40 à 99	13 à 33

Fig. 3.17 Evaluation des quantités produites pour différentes catégories d'objets (A. Disser).

Évaluation du nombre de séquences de travail réalisées

La masse moyenne d'une scorie en calotte, toutes catégories confondues, est estimée à 371 grammes pour l'atelier A et à 301 grammes pour l'espace artisanal du chantier 20. Les fragments recueillis à l'occasion du chantier 21 pesant au total 4629 grammes, on peut estimer qu'elles représentent l'équivalent de 12 culots de forge. L'équivalent de 39 scories en calotte ont été mises au jour dans ce cas. Un total de 10178 grammes de fragments de culot a été prélevé au cours du chantier 20. Ceci équivaudrait à environ 33 individus entiers. En comptant les deux scories en calotte doubles, le mobilier scoriacé représenterait 106 séquences de travail.

Si l'on estime qu'une calotte représente une journée de travail, le mobilier collecté lors du chantier 21 caractériserait environ un mois et demi de travail, tandis que les culots issus du chantier 20 suggèrent environ quatre mois d'activité. Le nombre de séquences de travail suggéré par le décompte de scories en calotte apparaît par conséquent bien faible compte tenu de la durée d'activité de ces ateliers, estimée à plusieurs décennies. Il est plus que probable que la grande majorité des rejets n'ait pas été appréhendée par les opérations de fouille.

Les calculs effectués précédemment (**fig. 3.15**), combinés aux décomptes de scories en calotte, permettent d'évaluer la masse moyenne d'objets produite au cours de chaque séquence de travail. Si on considère une activité centrée autour d'un seul foyer, la masse moyenne d'objets produite quotidiennement serait comprise entre 0,44 et 1,32 kg pour l'espace artisanal du chantier 20 et entre 0,49 kg et 1,48 kg pour l'atelier A.

L'étude du mobilier issu des fouilles réalisées lors des chantiers 20 et 21 permet de caractériser en partie les activités métallurgiques pratiquées au sein de l'habitat de la butte d'Altkirch. Le mobilier traité ici révèle des opérations liées uniquement au travail du fer, bien que d'autres indices suggèrent par ailleurs une pratique de la métallurgie des alliages cuivreux. Seules les séquences de post-réduction, et plus particulièrement la mise en forme du métal, sont mises en évidence. D'après l'étude des scories en calotte, principaux vestiges de ces activités, les deux espaces artisanaux auraient effectué des travaux de nature similaire, mais présentant toutefois quelques différences. Les estimations relatives aux quantités de métal travaillé et d'objets produits suggèrent une production ne dépassant guère quelques centaines de kilogrammes. Toutefois, plusieurs indices laissent à penser que seule une part restreinte des rejets de ces espaces artisanaux a été appréhendée par la fouille. Compte tenu du caractère lacunaire du corpus, il est délicat d'estimer l'intensité des travaux réalisés au sein des espaces artisanaux considérés. Cette étude a en revanche permis d'évaluer la masse moyenne d'objets produite à l'issue d'une séquence opératoire. Il est par ailleurs nécessaire de s'interroger sur la présence de matières dures animales dans l'atelier A, qui pourrait être liée à l'exécution de traitements thermo-chimiques. Des examens métallographiques réalisés sur les catégories de mobilier ferreux les plus susceptibles d'avoir bénéficié de ces traitements, c'est-à-dire les objets tranchants, pourraient confirmer cette hypothèse.

A. D.