Produire du fer avec du fer

Identifier les déchets de recyclage du fer dans les ateliers de forgeage

Marc LEROY(1), Paul MERLUZZO(1)

(1) IRAMAT UMR 7065, Ministère de la Culture

DOI : https ://doi.org/10.17184/eac.9893

Résumé : Le recyclage des fers usagés par assemblage-soudage au feu de forge, également appelé agglomération à chaud ou grappage, permet de produire de nouvelles masses de métal brut utilisées de la même manière que celles issues de la réduction du minerai. Des reliquats de cette opération sont fréquemment retrouvés parmi les déchets des ateliers de travail de fer sur les sites archéologiques, pour peu qu'on sache les identifier. Trois types de déchets caractéristiques (agglomérats métalliques, culots métalliques, fragments d'objets avec découpe) peuvent être décrits. Loin d'être une pratique occasionnelle mise en œuvre dans des contextes où la matière ferreuse serait rare, cette méthode de recyclage est probablement plus fréquente qu'on ne le pense. Elle s'inscrit tout autant dans des travaux de façonnage d'objets nouveaux que dans des travaux d'entretien et de réparation du mobilier utilisé. Elle permet aussi de fabriquer du fer aciéré.

Abstract: The recycling of used irons by assembly-welding in a smithing hearth, also called "agglomeration à chaud" or "grappage", makes it possible to produce new masses of raw metal used in the same way as those resulting from the reduction of ore. Remains of this operation are frequently found among the waste from smithing workshops on archaeological sites, if they are appropriately identified. Three types of characteristic waste (metal agglomerates, metal bottoms, fragments of objects with cutting) can be described. Far from being an occasional practice implemented in contexts where iron is rare, it is probably more common than we think. It is a part of smithing practice to produce new objects and also for maintenance and repairing. This technique also makes it possible to produce steel iron.

1 Introduction

Un examen très précis, après enlèvement de leur gangue de corrosion, des déchets et débris métalliques collectés lors de la fouille d'atelier de forgeage du fer, ainsi que le décryptage correct de certains déchets scorifiés riches en parcelles de fer déstructuré (et trop souvent interprétés, de façon erronée, comme résultant de travaux d'épuration de fer brut) conduisent à identifier de plus en plus fréquemment des activités de recyclage de fers usagés, qui visent à fabriquer de nouveau de la matière première par ré-agglomération à chaud et martelage. Certainement loin de représenter une activité marginale, il s'agit d'une façon de produire de petites quantités de fer dans les économies anciennes où la notion de gaspillage n'a pas cours. Pour en identifier la présence et en évaluer l'importance, il faut savoir reconnaître les déchets. Des études récentes en illustrent des exemples.

2 L'agglomération à chaud du fer : définition et processus opératoire

Pour produire une masse de fer destinée à la fabrication de pièces métalliques, il est possible d'assembler sous le feu de forge, à la température du blanc soudant, des morceaux de fer usagés. Cette façon de faire est décrite dans les manuels de forge des XVIII^e^ et XIX^e^ siècles où l'on parle de fabriquer « un pâté » ou « une trousse » (par ex. : Perret 1771, p. 94-95 ; Landrin 1835, p. 151 ; Lagardelle 1921, p. 138), ainsi qu'en forge traditionnelle sous le nom de « grappage » (Kapp *et al.* 1987, p. 68-70 ; Merluzzo et Forrières 1995, p. 77). Le principe est d'amener des petits fragments de fer dans un état proche de la fusion afin qu'ils se soudent par contact (agglomération à chaud) et ne forment plus qu'une seule masse.

Le procédé consiste à charger dans un foyer de forge (aménagé pour l'opération) en plusieurs fois et en alternance avec le charbon de bois, un volume ou une masse déterminée de petites pièces de métal (la charge). La chauffe est poussée pour que sous l'action du feu les pièces montent en température et s'approchent de leur point de fusion (au moins en surface), puis se soudent par contact pour former dans le fond du foyer de forge un bloc unique (le produit final). Durant le processus, les morceaux de fer se déstructurent, perdent totalement leur forme d'origine, et des cavités se forment dans le métal. Le produit final est une masse de métal plus ou moins compacte, contenant des porosités, mais généralement sans inclusion de scorie. Il ressemble visuellement à un produit brut de réduction épuré. Il peut ensuite être travaillé à la forge comme n'importe quel autre morceau de fer brut. Au cours du processus, le forgeron contrôle le degré de carburation du fer. Cette technique est ainsi un moyen efficace de produire des quantités désirées de fer différemment aciéré.

Certaines pièces, qui échappent partiellement au processus, conservent parfois des vestiges de leur forme d'origine. Elles se présentent individuellement ou en petits agglomérats. Leurs surfaces au relief estompé sont formées d'appendices et de creux typiques d'un métal altéré par le feu. De tels artefacts ont été identifiés à plusieurs reprises au sein de lots de déchets de forgeage sur des sites d'habitat, d'époque romaine ou médiévale, où des activités de travail du fer avaient été pratiquées. La présentation de quelques-uns de ces éléments permet d'attirer l'attention sur une pratique probablement plus fréquente qu'on ne le croit.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

3 Les déchets de l'agglomération à chaud : l'exemple des ateliers de forge antiques de Cutry

Situés en vis-à-vis, de part et d'autre de la voie qui traverse l'agglomération antique située sous l'actuel village de Cutry (Meurthe-et-Moselle, France), les deux ateliers de forge mis au jour au lieu-dit « la Hache » sont en activité au cours de l'Antiquité tardive (IV^{e}-début du V^{e} s.). Cent kilogrammes de déchets métallurgiques ont été collectés lors de la fouille très partielle des sols de travail et des zones de dépotoirs. Aussi, cette quantité ne représente qu'une petite partie de la masse de déchets qui était présente dans les couches archéologiques (Leroy et Cabboi 2019, p. 105-113). Tous les déchets collectés se rapportent à la métallurgie du fer. Les catégories typo-morphologiques représentées, qu'il s'agisse des déchets scorifiés ou des déchets métalliques, correspondent exclusivement à des rebuts de forgeage du fer et d'élaboration de produits finis. Les dimensions des chutes métalliques et celles des scories en culot révèlent que les pièces de métal travaillées, et donc par conséquent les produits finis élaborés, sont en grande majorité de petites dimensions, de quelques centaines de millimètres carrés de section. La fabrication de clous est avérée, peut-être aussi celle de boucles de ceinture (ébauches d'ardillon) et d'objets en tôle de fer. Si la matière première ferreuse utilisée se présente sous la forme de barres de petite section, une part non négligeable de celle-ci paraît provenir du recyclage de fragments de fers usagés et de chutes de travail mis au rebut.

Trois catégories d'artefacts illustrent ces activités de recyclage : des agglomérats métalliques constitués en tout ou en partie d'éléments plus ou moins individualisés et dont les surfaces présentent des traces de fusion, des culots entièrement métalliques et des morceaux d'objets présentant des traces de cassure et/ou de sectionnement.

3.1 Les agglomérats métalliques

Il s'agit de pièces de dimensions très variables, à la morphologie irrégulière faite de creux et de bosses (Figure 1). Ces reliefs évoquent les formes d'éléments soudés les uns aux autres, que l'on peut parfois identifier en surface ou sur une section de la pièce. Les éléments constituant ces agglomérats peuvent être différemment affectés par l'action du feu.

Peu altérés, leur forme initiale est diversement estompée et ils sont facilement identifiables : ils documentent ainsi directement la composition de la charge. Des fragments de tige, de clou, de tôle, de fer plat, de petite barre, des rognons ovoïdes sont les éléments constitutifs les plus récurrents. Ils sont généralement de petite taille (moins de 25-30 mm). La présence d'éléments portant les traces d'un revêtement cuivreux témoigne de l'utilisation de fragments d'objets bronzés, en particulier des fragments de tôle de sonnaille.

Plus altérés, ils laissent deviner plus difficilement leur forme d'origine. Celle-ci est partiellement décomposée, hachée par des lacunes. Les surfaces d'origine sont localement ou entièrement boursouflées, verruqueuses, mamelonnées, parfois lisses avec de petites cavités circulaires. Il s'agit d'un faciès de métal surchauffé, dit « brûlé », formé d'un assemblage plus ou moins prononcé d'excroissances et de creux.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

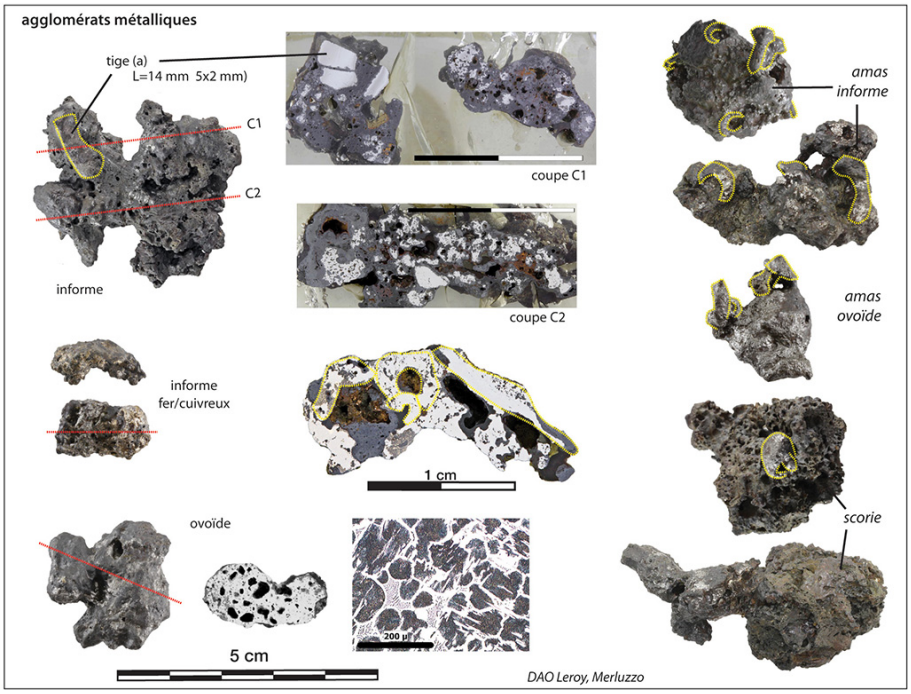


Fig. 1 : Cutry « la Hache », Meurthe-et-Moselle, agglomération antique, IV^{e}-début du V^{e} s. Agglomérats métalliques de différents modules avec les formes estompées des fragments d'objets réutilisés (© Marc Leroy, Paul Merluzzo).

Totalement altérés, ils sont informes ou ont un aspect ovoïde. Ils ont perdu leur forme initiale mais gardent un module proche des éléments d'origine. Les surfaces peuvent être couvertes de scorie.

Des pièces restées individualisées, mais altérées par le feu, sont aussi retrouvées. S'il s'agit d'objets complets, ils proviennent nécessairement d'une opération d'agglomération, car la probabilité qu'ils soient tombés dans le foyer de forge par inadvertance est quasi nulle.

Tous ces éléments concourent à renseigner sur la composition de la charge destinée à l'agglomération (objets manufacturés usagés, entiers, coupés, cassés, chutes de travail, ratés de fabrication…). Ils illustrent aussi les étapes de leur transformation, de la forme manufacturée d'origine à celui d'un rognon informe. Ils permettent enfin d'avoir un regard averti sur les autres artefacts (fragments d'objets et culots métalliques) trouvés dans les mêmes contextes d'ateliers de travail du fer.

3.2 Les fragments d'objets et autres morceaux de fer

Dans les couches de rejet associées aux deux ateliers, les objets façonnés sont nombreux : clous usagés complets, petits clous de sandale, clous débités en têtes et tiges, bouts de tôle fine (certaines repliées ou enroulées), bouts de tôle épaisse, fragments de sonnaille et d'objets divers. Une grande partie de ces pièces portent des traces de coupe

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

(Figure 2). Les modules sont comparables aux morceaux identifiés dans les agglomérats métalliques. Au vu du contexte de découverte, on peut légitimement considérer que ces pièces sont collectées pour être recyclées. Le fait qu'elles soient débitées volontairement en petits fragments traduit une volonté de préparer des petits bouts de quelques centimètres et de quelques grammes seulement, ce qui est conforme avec les pratiques de forge traditionnelles qui conseillent, pour le recyclage par agglomération à chaud, de privilégier un calibre de la grosseur d'une noisette (10x10 mm) ou une longueur ne dépassant pas 20 à 30 mm pour des éléments longs. La présence d'éléments débités de plus gros modules signifierait une volonté de préparer des charges de calibre différent pour obtenir des résultats différents.

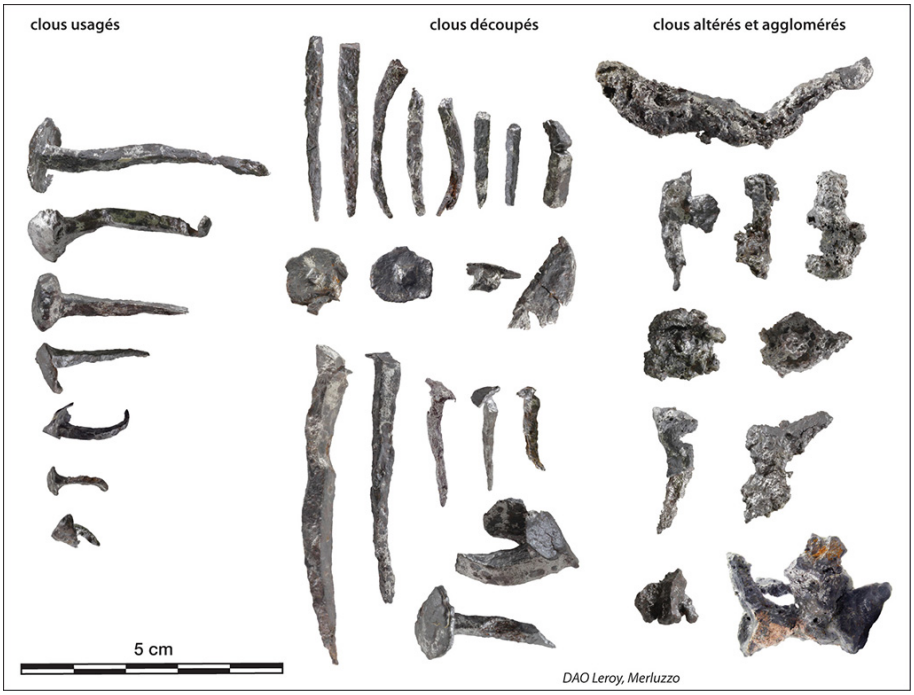


Fig. 2 : Cutry « la Hache », Meurthe-et-Moselle, agglomération antique, IV^{e}-début du V^{e} s. Fragments de clous usagés (à gauche) avec traces de coupe (au centre) ; fragments de clous altérés au feu et en cours d'agglomération (à droite), (© Marc Leroy, Paul Merluzzo).

3.3 Les culots métalliques

Une dizaine de pièces entièrement métalliques sont morphologiquement semblables à des culots de forge (forme plano-convexe, bord d'appui subvertical, bourrelets et/ou dépression sur la face supérieure). Cette similitude, ainsi que le fait qu'ils soient associés aux autres catégories de déchets de forgeage, amènent à conclure que ces pièces se forment dans le fond du foyer de forge. Mais il est peu probable, du fait de leur poids (entre 40 et 60 g pour les plus petits retrouvés et jusqu'à 200 ou 400 g pour les plus gros), que ces culots procèdent d'une perte de métal durant les chauffes, car cela signifierait un certain manque de maîtrise du forgeron. Or les surfaces de

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

ces culots faites de reliefs mamelonnés aux contours arrondis suggèrent clairement un assemblage d'éléments de petits modules (Figure 3). Sur deux d'entre eux, se reconnaissent clairement des fragments de tôle, de tige à section circulaire ou de petit barreau d'un ou deux centimètres de longueur et de quelques millimètres d'épaisseur. Une facette sur l'une des surfaces évoquant l'impact d'un marteau témoigne du début d'un compactage. Ces culots métalliques sont donc plutôt à considérer comme des produits de l'opération de recyclage. Pour une raison inconnue, ces pièces n'ont pas été utilisées.

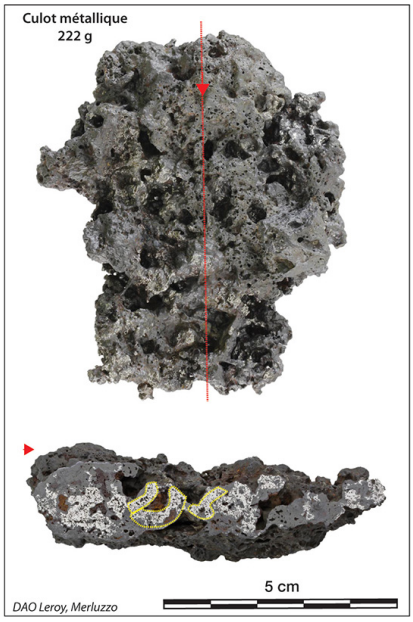


Fig. 3 : Cutry « la Hache », Meurthe-et-Moselle, agglomération antique, IV^{e}-début du V^{e} s. Exemple de culot entièrement métallique dans lequel se reconnaissent des formes de fragments d'objets (© Marc Leroy, Paul Merluzzo).

4 Une présence récurrente parmi les déchets de forgeage

Dans les lots de déchets d'activités de travail du fer que nous avons été amenés à étudier, des artefacts similaires ont été régulièrement observés, et ce quelle que soit la période chronologique ou la nature du site dans lequel était installé l'atelier de forge. Des exemples probants sont les agglomérats d'éléments métalliques « ouvragés » identifiés dans les zones d'activités artisanales associés à des habitats du premier Moyen Âge de la Plaine d'Alsace, à Sermersheim « Hintere Buen » et à Marlenheim « Hoffstatt » et « Appredéris », ces deux derniers faisant probablement partie du domaine d'une résidence royale (Bas-Rhin, France : Peytremann dir. 2018, p. 201-217 ; Châtelet dir., à paraître). Dans l'un des agglomérats provenant de Sermersheim, les bords des éléments métalliques présents sont entourés d'un filet d'alliage cuivreux indiquant qu'une partie des fragments d'objets récupérés pour l'agglomération était initialement bronzés. Cette constatation amène à penser que les fragments de sonnaille

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

pliés retrouvés sur le site, pour certains dans les mêmes unités stratigraphiques que les déchets métallurgiques, pouvaient aussi être destinés à cette activité de récupération.

À Marlenheim, un culot plano-convexe métallique, dont les reliefs mamelonnés rappellent vaguement pour certains des morceaux de tiges, montre aussi des traces d'aplatissement consécutif à un martelage. De plus, sur chacune de ces faces est imprimée une dépression de forme ovale (9x7 mm pour 10 mm de profondeur sur la face supérieure ; 13x9 mm pour 6 mm de profondeur sur la face inférieure), qui paraissent être les empreintes laissées par les becs d'une pince de forge ayant servi à maintenir ce petit bloc de fer en sortie du feu et lors de la frappe. Le métal présente un aspect continu et une structure compacte contenant quelques vacuoles pseudo-circulaires millimétriques et centimétriques. Il est très carburé : il s'agit d'une fonte blanche phosphoreuse avec des poches d'acier (structure perlitique avec aiguilles de cémentite). Pour d'autres agglomérats, le métal montre des degrés de carburation variable, depuis des structures ferrito-perlitiques à bas pourcentage de carbone (environ 0,2 %) jusqu'à des structures perlito-ferritiques (environ 0,8 % de carbone).

Fragments d'objets découpés et agglomérats métalliques ont aussi été observés dans des déchets d'atelier de forgeage d'habitat ruraux de la fin de l'âge du Fer comme de la période romaine (par exemple : à Perpezac-le-Noir « le Puy-de-Grâce », Corrèze, fin IIe - début Ier s. av. J.-C., Leroy et Merluzzo 2014 ; à Nailly « Les Bordes », Yonne, fin Ier - milieu IIe s. apr. J.-C., Dunikowski *et al.* 1996). Dans la petite agglomération antique de *Caranusca* (Hettange-Grande, Moselle, France), sur la voie Metz-Trèves, un cul d'amphore plein de broutilles de fer (clous usagés et fragmentés, fragments de tiges, d'anneaux, de tôles...) semble clairement illustrer cette activité de récupération et de recyclage : il s'agit probablement d'un stock dans un atelier (Leroy et Cabboi 2019, p. 102-103, fig. 58). Il en est peut-être de même des accumulations de clous « *au faciès " brûlé"* » retrouvés dans le secteur des ateliers de forge de la bourgade de Bliesbruck (Moselle, France : Forrières *et al.* 1987 ; Petit et Brunella 2005, p. 120-123). Dans les deux cas, des petits agglomérats métalliques ont aussi été identifiés.

5 Le recyclage des vieux fers : une activité probablement régulière

Le recyclage des fers usagés par assemblage-soudage au feu de forge permet de produire de nouvelles masses de métal brut exploité de la même manière que des masses brutes de réduction du minerai. Tous types de fragments métalliques, objets cassés et usagés, y compris les chutes de travail, peuvent être réutilisés pour l'agglomération à chaud. En fonction de la quantité d'éléments introduits, les culots métalliques qui en résultent, en s'agglomérant dans le fond du foyer de forge, atteignent quelques dizaines à plusieurs centaines de grammes.

La mise en évidence de cette pratique passe par l'identification et la reconnaissance des types de déchets qui la caractérisent. Elle demande que l'ensemble des artéfacts métallurgiques d'un atelier soit consciencieusement observé et étudié et, qu'au préalable, la couche de corrosion qui cache les surfaces et empêche leur lecture ait été correctement enlevée.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Il est certain qu'une attention plus soutenue à l'ensemble des artefacts présents dans les ateliers ou dans leurs dépotoirs, notamment la présence récurrente d'objets cassés parfois rassemblés de manière à former un stock, et une relecture plus fine des ensembles qui ont déjà été étudiés, devraient conduire à l'identifier plus fréquemment sur les sites archéologiques. Ainsi, une partie des déchets scorifiés riches en inclusions de parcelles ferreuses pourrait résulter de cette opération, notamment ceux qualifiés de SFR. En effet, ce type de déchets est produit à chaud dans le foyer de forge lors de travaux au cours desquels le forgeron perd du fer sous forme métallique (par exemple l'épuration du fer brut). Il n'est donc pas aberrant de penser que ces déchets puissent être aussi produits pendant des travaux d'agglomération à chaud de fers de récupération. Au cours de ces opérations, des fragments isolés peuvent tomber dans le fond du foyer, où ils sont emprisonnés dans la scorie qui s'y dépose.

Les exemples présentés montrent que cette pratique n'est pas uniquement mise en œuvre dans de modestes forges villageoises où la matière ferreuse viendrait à manquer ou serait rare, puisqu'on en décèle les traces aussi bien dans les ateliers des agglomérations antiques, que dans les habitats ruraux médiévaux d'un certain statut. Bien sûr, dans le cadre d'une activité villageoise occasionnelle, elle est une source d'accès à une matière première, de fer ou d'acier, peu onéreuse et toujours présente. Il est donc plausible qu'il ne s'agisse pas d'une activité marginale. Cette pratique peut tout autant s'inscrire dans des travaux de façonnage d'objets nouveaux que dans des travaux d'entretien et de réparation du mobilier utilisé. Produire du fer de cette manière n'exclut donc pas que, dans les mêmes ateliers, du fer soit aussi façonné à partir d'une matière première épurée provenant de demi-produits élaborés à partir de fer brut de réduction.

Bibliographie

Châtelet, M., (dir.) à paraître. *Dans l'environnement d'une résidence royale : Marlenheim et son territoire aux époques mérovingienne et carolingienne*. supplément Revue Archéologique de l'Est.

Dunikowski, Chr., Leroy, M., Merluzzo, P., Ploquin, A., 1996. L'atelier de forge de Nailly (Yonne), contribution à l'étude des déchets métallurgiques. *Revue Archéologique de l'Est et du Centre-Est,* 47 : 97-121.

Forrières, Cl., Petit, J.-P., Schaub, J., 1987. *La métallurgie du fer du vicus de Bliesbruck*. éd. CNRS, Valbonne, 1987 (Notes et monographies techniques, 22).

Kapp, L., Kapp, H., Yoshihara, Y., 1987. *The craft of the Japanese sword*. Tokyo, New York : Kodansha International.

Lagardelle, G., 1921. *Manuel du forgeron*, bibliothèque professionnelle, Baillière et fils, Paris.

Landrin, M.-H., 1835. *Manuel du coutelier ou Traité théorique et pratique de l'art de faire tous les ouvrages de coutellerie*, (réédition Léonce Laget, Paris, 1978).

Leroy, M., Merluzzo, P., 2014. L'atelier métallurgique du Puy-de-Grâce (Perpezac-le-Noir, Corrèze), la Tène finale ; identification des types d'activités d'après le panel de déchets conservés. In M. Berranger, A. Duval, V. Serneels (dir.), *L'organisation spatiale des ateliers de travail du fer (VIIe-Ier ap. J.-C.), Actes des Journées d'étude Bibracte*, *Centre archéologique européen, Glux-en-Glenne, 2 et 3 avril 2009,* Études sur Bibracte - 2, Bibracte 24, Glux-en-Glenne : 294-295.

Leroy, M., Cabboi, L. (dir.), 2019. *Produire et travailler le fer. Les ateliers de l'est du Bassin parisien du V^e siècle av. J.-C. au X^e siècle apr. J.-C.*, Recherches Archéologiques, 16, Inrap-CNRS Editions, Paris.

Merluzzo, P., Forrières, Cl., 1995. Les premières étapes du travail du fer en foyer de forge selon des procédés traditionnels japonais. In P. Benoit et Ph. Fluzin, *Paléométallurgie du fer et Cultures, Symposium international du CSA, Belfort 1990*, éd. Vulcain, Paris.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984

Perret, J.-J., 1771. *L'art du coutelier*, Académie royale des sciences, Paris.

Petit, J.-P., Brunella, Ph., 2005. *Bliesbruck-Reinheim. Celtes et Gallo-Romains en Moselle et en Sarre*, éd. errance, Paris.

Peytremann, E. (dir.), 2018. *En marge du village. La zone d'activités spécifiques et les groupes funéraires de Sermersheim (Bas –Rhin) du VI^e au XII^e siècle*, Revue archéologique de l'Est, supplément n° 45, Dijon.

Published in : BERRANGER, Marion ; SARAH, Guillaume ; TÉREYGEOL, Florian (dir.), *Paléométallurgie, archéométrie et archéologie. Recueil en hommage à Philippe Fluzin*, Editions des archives contemporaines, ISBN : 9782813005984, doi : 10.17184/eac.9782813005984