



HAL
open science

La forge hallstattienne de Weyersheim (Bas-Rhin, France) -Hallstatt D3/La Tène ancienne

Michler Matthieu, Jodry Florent, Sylvain Badey, Clerc Patrick, Marion Berranger, Cabboï Luisella, Van Es Marieke

► To cite this version:

Michler Matthieu, Jodry Florent, Sylvain Badey, Clerc Patrick, Marion Berranger, et al.. La forge hallstattienne de Weyersheim (Bas-Rhin, France) -Hallstatt D3/La Tène ancienne. Linda Boutoille, Rebecca Peake. *Metalworkers and their Tools: Symbolism, Function, and Technology in the Bronze and Iron Ages*, Archeopress, pp.123-142, 2023, 978-1-80327-625-0. 10.32028/9781803276243. hal-04384394

HAL Id: hal-04384394

<https://hal.science/hal-04384394v1>

Submitted on 10 Jan 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

La forge hallstattienne de Weyersheim (Bas-Rhin, France) - Hallstatt D3/La Tène ancienne

Michler Matthieu¹, Jodry Florent², Badey Sylvain³, Clerc Patrick⁴,
Avec la collaboration de Béranger Marion⁵, Cabboï Luisella⁶,
Van ES Marieke⁷

Abstract

In Weyersheim (Bas-Rhin), a developer-driven archaeological dig led by Inrap in 2014 (future “Les Hauts de la Zorn” housing estate) revealed for the first time in Alsace the remains of a forge, on a site occupied by Late Hallstatt and Early La Tène.

In the south-western part of the site, two structures (silo 1003 and pit 1014) stand out for the impressive quantity of metallurgical waste discovered (nearly 280 pellets).

A total of 16 anvils could be studied. These granite striking platforms have surfaces that bear the physical traces of use probably linked to forging (impact marks, polish). Many variations of the superficial colorations (grey, ocher, or rusty) are visible as iron incrustations. A statistical study of these surfaces is presented here.

The lithic tools (21 artefacts studied) also consist of hammerstones, querns, polishers, and smoothers/sharpeners.

Keywords

IRON AGE, FORGE, ANVILS, STONE TOOLS, SLAGS

Résumé

À Weyersheim (Bas-Rhin), une fouille archéologique préventive dirigée par l’Inrap en 2014 (futur lotissement *Les Hauts de la Zorn*) a livré pour la première fois en Alsace les restes d’un atelier de forge, sur un site occupé de la fin du Hallstatt et du début de La Tène ancienne.

Au sud-ouest de l’emprise, deux structures (silo 1003 et fosse 1014) se singularisent par la quantité impressionnante de déchets métallurgiques découverte (près de 280 culots).

Au total, 16 enclumes ont pu être étudiées. Ces supports de frappe en granite possèdent des surfaces qui portent les stigmates physiques d’une utilisation probablement liée à la forge (impacts, polis). De nombreuses variations des colorations superficielles (grise, ocre ou rouillée) sont visibles comme des incrustations ferreuses. Une étude statistique de ces surfaces est présentée ici.

L’outillage lithique (21 artefacts étudiés) se compose également de percuteurs, de molette, de polissoirs et de lissoirs/aiguillonniers.

Mots clés

ÂGE DU FER, FORGE, ENCLUMES, OUTILS LITHIQUES, SCORIES

Un document supplémentaire concernant l’étude statistique est disponible à cette adresse :
<https://hal.science/halshs-01436440v1>

¹ Inrap GES, UMR 7044 Strasbourg

² Inrap GES, UMR 7044 Strasbourg

³ Inrap CIF, UMR 7324, Tours

⁴ Inrap GES, UMR 5060 – IRAMAT Belfort

⁵ UMR 5060 – IRAMAT-LMC Belfort

⁶ Inrap GES, UMR 5060 – IRAMAT Belfort

⁷ Inrap GES



Figure 1. Localisation du site de Weyersheim dans le Bas-Rhin et des autres sites contemporains ayant livré des traces d'artisanat du fer :

1 - Rosheim ; 2 - Bischoffsheim ; 3 - Wolfisheim ; 4 - Holtzheim ; 5 - Entzheim ; 6 - Souffelweyersheim ; 7 - Duntzenheim ; 8 - Gougenheim ; 9 - Mittelhausen ; 10 - Mittelshaeffolsheim ; 11 - Olwisheim ; 12 - Eckwersheim ; 13 - Reichstett MS ; 14 - Pfulgiesheim ; 15 - Brumath ; 16 - Geispolsheim ; 17 - Ettendorf ; 18 - Weyersheim (numéro en rouge sur la carte) ; 19 - Kurtzenhouse. © Matthieu Michler, Inrap

Introduction

Cet article fait suite à la découverte et l'étude du site de Weyersheim *Les Hauts de la Zorn* (Bas-Rhin), fouillé fin 2014 par l'Inrap (Michler 2017 ; Michler *et al.* 2018). Une partie des structures (silos, fosses) avait été mise en évidence lors d'un diagnostic archéologique dirigé par P. Dabek l'année précédente (Dabek 2013).

Situé dans la plaine rhénane à 15 km au nord de Strasbourg le village de Weyersheim (Bas-Rhin), chevauche plusieurs unités géographiques, comme les collines de Brumath au nord-ouest, la vallée de la Zorn au sud et la vallée du Rhin à l'est (Figure 1). L'emprise de fouille de près de 1 ha (emprise totale du projet 6,2 ha) se situe à l'ouest de la commune.

La découverte la plus originale est celle d'un atelier de forge (str. 1014) contemporain des structures de stockage, qui pour certaines, en particulier le silo 1003, ont servi de fosse de rejet pour des scories et culots. Lors du diagnostic, de pareils éléments avaient également été découverts dans certaines structures (str. 19, 32, 40 et 45), mais les traces d'un artisanat du métal étaient illustrées par une seule fosse de combustion de taille réduite et mal datée (str. 07, plus à l'est, secteur non prescrit). Ces vestiges d'activité métallurgique ont par conséquent fait l'objet d'analyses poussées qui ont permis, entre autres de situer les limites de l'occupation en dehors de l'emprise (pour ce qui est de l'activité métallurgique). Cette découverte majeure, encore inconnue régionalement, illustre une vocation particulière du site, même si elle s'intègre dans un contexte d'ensilage bien identifié comme c'est le cas pour d'autres sites alsaciens contemporains.

La nouveauté réside également dans la mise au jour d'enclumes en pierre au niveau de l'atelier et en dehors. Ces supports de frappe en granite régional (gros galets roulés) ont pu servir pour le forgeage d'objets, comme le montrent les nombreux stigmates qui illustrent une activité de martelage.



Figure 2. Plan phasé du site avec les structures ayant livrés des objets en fer ou en alliage cuivreux, ainsi que des restes liés à l'artisanat du métal. Plan : Matthieu Michler, Jean-Luc Wuttmann, P.Girard

Le site et ses occupations

À l'issue du décapage nous avons comptabilisé 109 structures majoritairement en creux (Figure 2).

Trois phases principales se dégagent : la phase médiane du Bronze final pour le dépôt de crémation 1060, le Hallstatt D3/La Tène ancienne pour la majorité des structures (soixante-douze faits : silos, fosses d'extraction, atelier de forge, rares trous de poteau), la période moderne et/ou contemporaine pour une seconde structure de chauffe et un silo à betterave. Quelques structures oblongues non datées s'apparentent aux fosses à profils en V ou Y.

Le Bronze final

Un dépôt de crémation secondaire en fosse ajustée, probablement isolé, a été fouillé dans la partie médiane de l'emprise à l'est (1060). Très arasé, il ne restait que le fond du vase où était disposé l'amas osseux. La finesse du sédiment suggère la présence d'un couvercle sur le vase. Outre les os humains brûlés, de rares portions d'os de faune et deux éléments métalliques (un fragment

de parure en or et un fragment de bronze) également carbonisés constituent des offrandes. Une datation sur os a fourni l'intervalle 1257 et 1019 BC à deux sigmas, en adéquation avec les pratiques funéraires et le mobilier connu du Bronze D1 (Bronze final I) à la fin du Ha B1 ancien (Bronze final IIb).

L'occupation principale du Hallstatt D3-La Tène ancienne

Durant la seconde phase d'occupation, le site est majoritairement occupé par au moins deux zones d'ensilage (partie nord et sud de l'emprise). Les rares fosses d'implantation de poteaux conservées au nord dessinent un bâtiment à une ou deux nefs de moins de 20 m². La datation par radiocarbone sur charbon tombe dans le plateau du Hallstatt, mais oriente vers la phase de transition premier-second âge du Fer. Près de soixante-douze structures, dont cinquante silos, des fosses en cuvettes ou de restes de fossés peu fournis contenaient des rejets domestiques, comme de la poterie, des éléments de parure, de la faune, du torchis, des outils macrolithiques.

Outre les vestiges d'activités artisanales liés à la fabrication d'objet en alliage cuivreux (petits fragments de moules ou creusets), la principale activité mise au jour sur le site est celle de post-réduction du fer. Avec ses 92 culots complets (25,5 kg), le silo 1003, situé en bordure d'emprise signale l'épuration primaire de masses brutes de réduction. Quant à l'atelier illustré par les structures 1013 et 1014, il reste exceptionnel à plus d'un titre avec ses 188 culots complets (41,8 kg). Il a également livré des chutes métalliques (battitures, barres, Figure 7) qui résultent quant à eux des étapes de mise en forme d'objets, en fonction de procédés fortement oxydants.

Le mobilier céramique provenant d'une quarantaine de structures oriente la datation à la fin du Hallstatt soit le Ha D3 et le tout du début de La Tène ancienne. Les silos 1077 et 1089 ont livré les plus gros ensembles. Les formes basses ouvertes à profil sinueux sont nombreuses. Quelques tessons présentent des dépôts blancs internes. On retrouve aussi des poignées de couvercle ou bien de couvre-feu ici, étant donné le gabarit.

Le corpus est comparable à celui découvert sur le site d'Entzheim-Geispolsheim « Aéroparc » (Bas-Rhin) (Landolt *et al.* 2008), notons l'absence dans notre corpus de céramique tournée. Aucun véritable stigmatisme en lien avec l'activité métallurgique n'a été observé.

Les neuf objets en fer (herminette, ciseau, lance) et en alliage cuivreux (fibules à pied décoré par exemple) trouvent des comparaisons dans le domaine hallstattien centre-occidental (Dubreucq 2007) comme le site champenois de Vrigny dans la Marne (Bocquillon *et al.* 2009).

Enfin, l'étude du matériel faunique souligne une consommation de viande essentiellement fournie par des abattages de bœufs et de porcs, avec une diversification centrée sur les caprinés. La chasse aux grands gibiers et la collecte de bois de mues ont été mises en évidence. La présence de dépôts particuliers, d'un cadavre de chien et de ramures de cerfs, renvoie à d'autres exemples régionaux de possibles pratiques rituelles domestiques.

Répartition spatiale des activités métallurgiques et des objets manufacturés (alliage cuivreux et fer)

La figure 2 illustre également la répartition dispersée de ces artefacts sur l'emprise. Les deux bracelets fins en bronze proviennent de structures proches (str. 1071, 1077), comme les éléments de fibules, proches du fossé 1063 d'où proviennent des restes de creusets ou moules en terre cuite (hypothèse d'un petit atelier de bronzier dans cette zone) et du silo 1061. On ne les retrouve plus à l'ouest dans le secteur de l'atelier de forge. Les objets en fer se trouvaient dans des fosses et silos situés à trois extrémités du site. L'herminette était associée avec un lot important de céramique dans le fond du silo 1089. Le colmatage rapide et cette disposition particulière nous laissent supposer qu'il s'agit d'un dépôt et non pas d'un simple rejet domestique.



Figure 3. Vue vers l'ouest du silo St.1003, utilisé entre autres comme dépotoir de l'atelier de forge. Seule la moitié est a été fouillée, l'autre moitié est située hors emprise. © cliché P. Clerc, Inrap

Pour l'artisanat du fer, les culots et se trouvent dans des silos parfois à plus de 70 m de l'atelier, mais en grande majorité dans la partie ouest de l'emprise.

L'artisanat du fer (forge et structures associées)

Le silo 1003 et la fosse 1014, distante de quelques mètres, concentrent les vestiges d'un atelier de forge abandonné il y a près de 2500 ans.

Le silo 1003 (Figure 3)

De plan circulaire (diam. 1,40 m) et de profil tronconique, ce silo n'est conservé que sur 1 m d'épaisseur. À cheval sur la limite d'emprise, seule une moitié a été fouillée et a livré plus de 23 kg de scories et plusieurs boules de terre cuite en position de rejet. La céramique découverte (formes basses et moyennes à profil sinueux, pots...) permet de dater le comblement Hallstatt D3/La Tène ancienne.

La fosse 1014 (Figure 4 et 5)

Cette fosse semble fonctionner avec une structure voisine très arasée (St 1013) et a également livré un matériel archéo-métallurgique exceptionnel, tant par sa quantité que par la diversité des éléments. La fouille fine a mis en évidence trois phases bien distinctes :

- la phase de fonctionnement de la structure comme fosse dépotoir liée à l'activité sidérurgique, avec un fond riche en mobilier
- la phase de comblement de la fosse par des matériaux issus du démantèlement du (ou des) foyer(s) et d'une bonne partie de l'atelier (enclumes) suite à l'arrêt de son fonctionnement.
- la phase d'abandon et de recouvrement de la fosse.

Les datations C14 réalisées sur des charbons de bois des niveaux de comblement et de fonctionnement proposent respectivement 2430 ± 30 BP et 2465 ± 30 BP (problème du plateau hallstattien entre le huitième et le cinquième siècle av. J.-C.)



Figure 4. Vue du début de la fouille de la fosse 1014. En haut : mise au jour des premiers grands fragments de terre cuite et des blocs de granite. En bas : dégagement des niveaux superficiels (US.4, US.12 et US.13).
© clichés P. Clerc, Inrap

L'abandon

Les niveaux supérieurs de la fosse contiennent et recouvrent les blocs évoqués plus bas. Ils sont pauvres en artefact et scellent les couches sous-jacentes.

Un lot exceptionnel d'enclumes abandonnées (Figure 6)

La fouille a livré une série impressionnante de seize blocs granitiques en position secondaire groupés au centre de la structure et reposant sur une couche particulièrement riche en matériaux archéo-métallurgique. Il s'agit exclusivement de gros fragments de blocs granitiques arrondis importés sur le site dont l'analyse des surfaces est présentée plus bas.

Certains blocs, dépassant parfois les 40 kg sont intacts, alors que d'autres montrent des cassures relativement fraîches situées précisément sur des zones actives. Ce lot est exceptionnel pour cette période chronologique en Europe et illustre les supports de frappe d'un atelier sidérurgique.

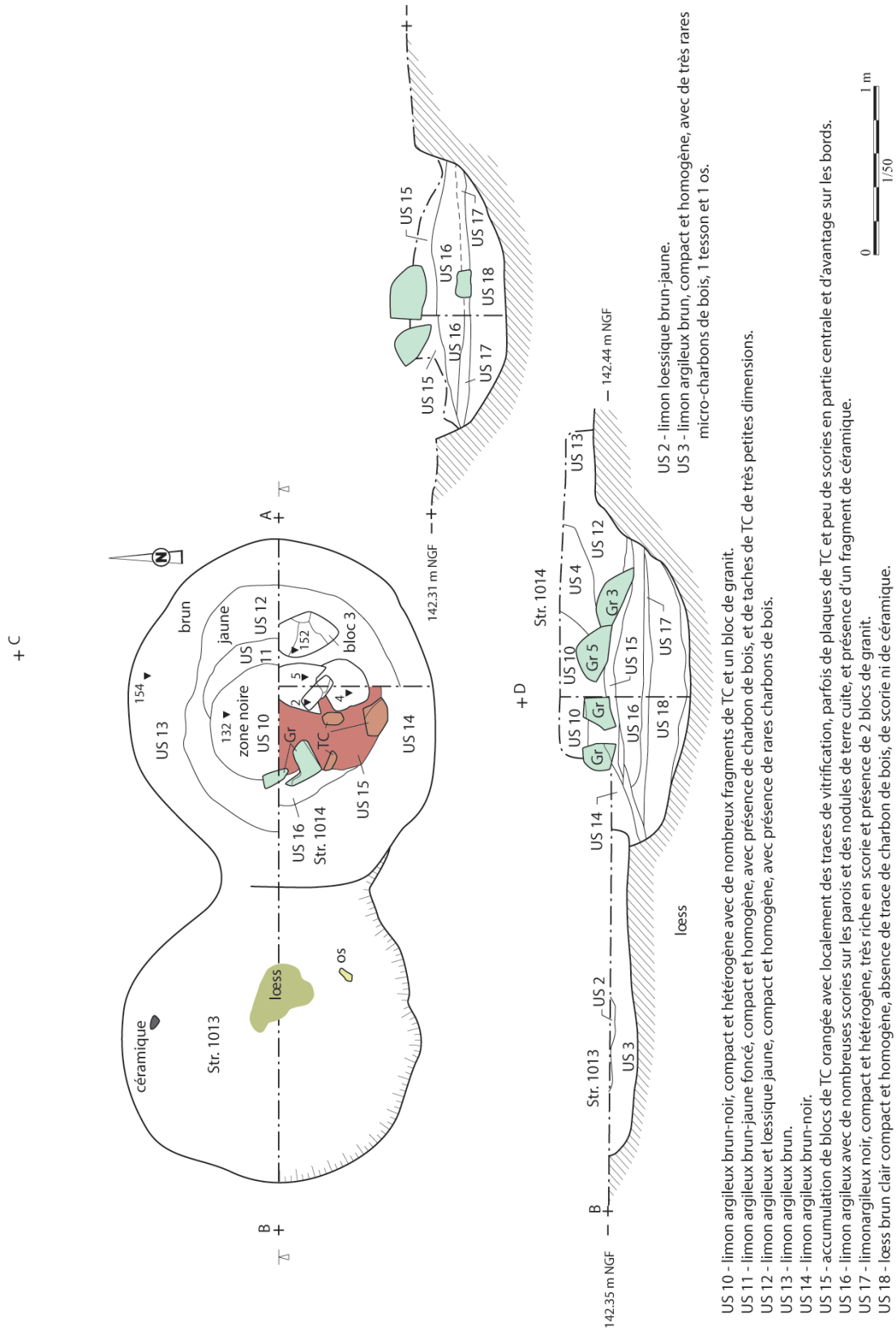


Figure 5. Relevé des faits 1013 et 1014. © P. Clerc, P. Girard, M. Michler



Figure 6. Vue des premiers blocs de granite découverts dans le comblement de la fosse 1014. © cliché P. Clerc, Inrap



Figure 7. Refus de tamis d'un litre de sédiment prélevé dans l'US.16 dans la fosse St.1014. Parfois jusqu'à 180 gr de battitures par litre. © cliché P. Clerc, Inrap

Plusieurs foyers démantelés sur place

Plus de 26 kg de terre cuite ont été prélevés : parois de foyer de différentes tailles, fragments de tuyères avec conduit de ventilation, bouchons, etc.. Les éléments de comparaison sont rares.

Le dénombrement du nombre de foyers reste à faire. Ces derniers sont illustrés par des éléments de parois vitrifiées sur près de 2 cm d'épaisseur. Le plus grand fragment est globalement de forme carrée de 20 cm de côté et possède un évent.

Ce niveau correspond donc à une seule et même phase de comblement, comprenant les résidus de forges et le lot d'enclumes. Un seul fragment de céramique grossière ubiquiste provient de cette couche

Un niveau de fonctionnement et des battitures en quantité (Figure 7)

Les niveaux sous-jacents semblent correspondre au fonctionnement de l'atelier, car composés exclusivement de résidus de forges : scories, petits fragments de terre cuite et de parois de foyer, rares, petits blocs granitiques. L'échantillonnage systématique et le tamisage nous ont permis de quantifier les résidus archéo-métallurgique dont des battitures (30 kg en tout) de toutes sortes et toutes les tailles (granulaires, globulaires, lamellaires, billes, etc.) mêlées aux scories. Ces résidus proviennent probablement du nettoyage du niveau de sol de l'atelier (non conservé) en périphérie des enclumes. Les chutes de métal restent rares.



Figure 8. Exemple d'une scorie complète de type SFR 2, issue du silo 1003 (Us.06-5).
On distingue de nombreuses empreintes de charbon de bois.

© cliché P. Clerc, Inrap

Analyses macroscopiques des résidus de la forge (Figure 8)

La fosse 1014 totalise à elle seule 42,870 kg de scories et plus de 26 kg de fragments de paroi de foyer et de terre cuite. Au total, ce sont plus de 67 kg de scorie de type ferreuse pour la plupart qui ont été récoltés lors de cette opération.

En définitive, la masse totale de résidus de forges retrouvée dans les deux structures 1003 et 1014 (scories et battitures) approche donc 110 kg (106,390 kg) à laquelle on pourrait ajouter les éléments contenus dans la seconde moitié du silo, c'est-à-dire 23 kg : en fin de compte une estimation totale de 130 kg. Ces valeurs placent le site parmi les plus riches en données pour l'Europe (site de Sévaz en Suisse : 120 kg ; Bragny-sur-Saône, Saône-et-Loire : 400 kg ; Lyon-Vaise, Rhône: 139 kg, d'après Filippini 2015 : 180-181).

Les analyses métallographiques

Les résultats permettent de reconnaître l'intégralité de la chaîne opératoire de post-réduction.

D'un côté les culots étudiés provenant du silo 1003 sont caractéristiques d'une phase d'épuration primaire de masses brutes de réduction. Ils présentent un grand nombre de porosités et de replis non ou peu déformés et peuvent inclure de gros fragments de métal mesurant plusieurs centimètres de côté, aux surfaces irrégulières, détachées d'une masse de métal brut. La proportion de métal perdu est très importante.

Du côté de la fosse 1014, l'étude des scories témoigne des étapes de compactage à un stade ultérieur, mais portant toujours sur une matière première «sale». Des culots comprennent des éclats de métal de taille centimétrique aux surfaces cette fois-ci légèrement déformées, ce qui indique la formation probable de battitures. Les fragments de métal perdus avaient une teneur en carbone qui en faisait des éléments tout à fait déformables en forge.

L'étude d'un échantillonnage représentatif de scories provenant des structures 1003 et 1014 permet de reconnaître le travail d'artisan(s) réalisant des tâches récurrentes et probablement spécialisées, et de mettre en évidence deux types d'activités distinctes, spatialement séparées.

Ainsi, les culots de la fosse 1003 (Figure 8) se rapportent aux premières étapes de la chaîne opératoire de post-réduction, d'épuration-compactage d'une matière première brute à peu près épurée, alors que les culots de la fosse 1014 (type gris dense et ferreux notamment) résultent quant à eux des étapes de mise en forme d'objets. Plusieurs culots se caractérisent par une stratification correspondant à des séquences distinctes d'une même opération technique (différences dans les cycles thermiques par exemple).

D'après le mobilier archéologique, l'environnement proche et les dates radiocarbone, la contemporanéité de ces activités est fort probable.

L'outillage en pierre

L'outillage en pierre découvert sur le site est composé d'un aiguiseur (st 1092), d'une molette (st 1063), de trois polissoirs (1053 et 1081), de six percuteurs (st 1058, 1077, 1085, 1089 et 1107) et de sept lissoirs (st 1006, 1053, 1063, 1085). Deux galets oblongs en grès fin, l'un de 12cm de longueur (st 1065) et le second de 18cm de longueur (st 1077) peuvent être ajoutés à cet inventaire. Exempts de trace, ces deux pièces semblent correspondre à un stock d'outils d'aiguillage.

Les seize fragments d'enclumes viennent compléter cette liste, dont deux découverts dans la structure 1074 et quatorze dans la structure 1014 (Figure 6). Une démarche d'assemblage des blocs

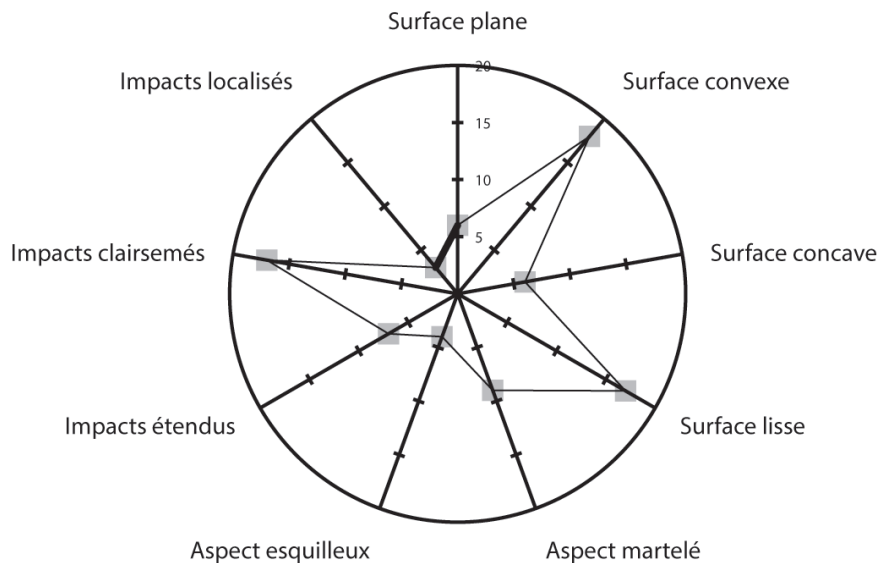


Figure 9. Dénombrement (graphique radar) des types de surfaces actives, des types d'impacts et des aspects de surfaces présents sur les enclumes découvertes.
© Matthieu Michler, Inrap

a été tentée, mais n'a pas été concluante en raison notamment de la masse de certains blocs dont les plus pondéreux atteignent 31 kilogrammes.

Les outils liés à la sphère métallurgique

Les enclumes

Ce lot de 16 blocs de granite, totalisant 206,9 kilogrammes⁸, a été choisi vraisemblablement parmi de gros galets roulés (Figure 9). Ils sont tous brisés et ne portent a priori aucune trace de mise au feu, ce qui nous conduit à penser que la force cinétique (volontaire ou non) est à l'origine de ces fractures.

La pluralité des stigmates, sur les faces et les arêtes, suppose différentes étapes de traitement et une utilisation de différents outils à percussion lancée plurifonctionnels⁹ (Figure 10 et 11). Les enclumes connues pour cette période du tout début de La Tène ancienne ne sont pas nombreuses.

Citons celle de Sévaz/Tudinges en Suisse (illustrée dans Bauvais 2008) trouvée dans un contexte similaire, sur laquelle est bien visible une cupule thermo-mécanique s'approchant de nos surfaces concaves. Pour le IIe siècle av. J.-C. citons celle de la forge de Paule en Côte d'Armor (Menez *et al.* 2007 : 224, 231). Les exemplaires ne sont guère plus nombreux pour La Tène finale (enclume de Rochères dans l'Aisne, *ibid.* ou de Neuville-sur-Sarthe, Sarthe, Jodry 2015).

Le granite, « un voyage inattendu »

Les pièces en grès et les galets de quartzite ont été prélevés sur la base d'un ramassage opportuniste probablement dans le lit rhénan proche ou les rivières vosgiennes. Toutefois la rhyolite de type La Salle et le gneiss relèvent probablement d'un ramassage plus organisé ou de la transformation d'outils déjà présents sur le site. Toutefois, le cas du granite est *a priori* plus complexe puisqu'il

⁸ Nous pouvons ajouter à ce lot 73 fragments indéterminés de granite, d'une masse totale de 17,6 kilogrammes, extraits des structures 1003 et 1014. Tandis que la structure 1003 a livré 9 blocs (2,1 kilogrammes), la structure 1014 en a livré 64 pour une masse totale de 15,5 kilogrammes.

⁹ Outil à plusieurs surfaces actives destinées à des fonctions et opérations différentes



Figure 10. Bloc 1 de la fosse 1014. Cette enclume porte une vaste surface active plane, mais interrompue par une cassure. © cliché P. Clerc, retouche M. Michler, Inrap

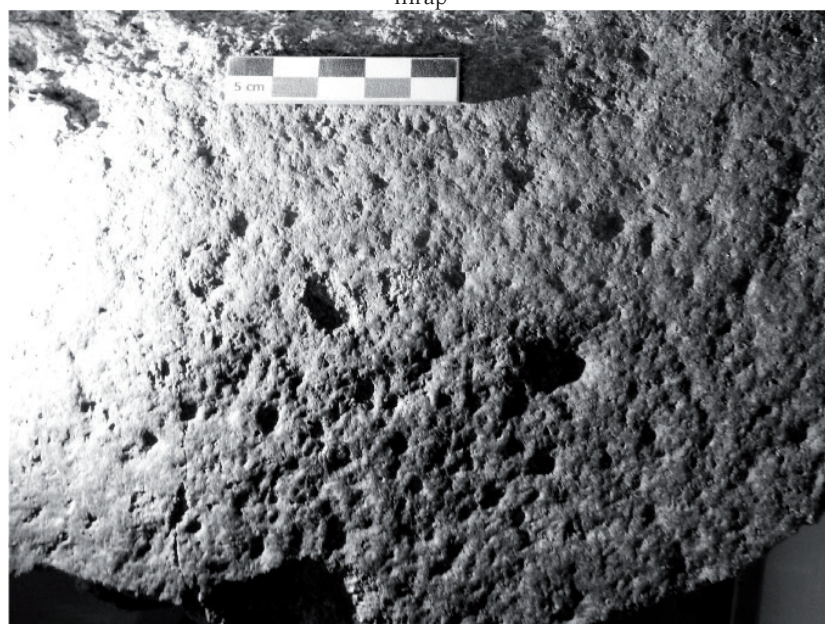


Figure 11. Bloc 1 de la fosse 1014. Vue avec lumière rasante de la surface active et des impacts nombreux © cliché P. Clerc retouche M. Michler, Inrap

semble avoir été choisi pour ses propriétés mécaniques. En effet, plus la texture d'une roche est cohérente et par conséquent tenace, plus elle est résistante à la propagation d'une fissure (Fronteau, Boyer 2011 : 113). Le choix de galets n'est certainement pas le fait du hasard, vu la forte proportion de surfaces actives de formes convexes.

C'est dans l'environnement de Gunsbach¹⁰, dans la vallée de la *Fecht*, à environ 100 kilomètres au sud-ouest du site de Weyersheim qu'ont sans doute été prélevés les blocs. En effet, les flancs de cette vallée sont des sources potentielles d'approvisionnement facilement accessibles (Figure 12).

¹⁰ Communication orale de Pierre Fluck, professeur à l'Université de Haute-Alsace.

Analyses statistiques

L'analyse que nous proposons est pour le moment unique, les surfaces actives des enclumes connues n'ont pas bénéficié de descriptions qualitatives très poussées ou celles-ci n'ont pas été publiées. Un tableau descriptif complet est présent dans le rapport de fouille avec les dimensions des surfaces.

Le granite utilisé à Weyersheim est une réponse intéressante pour la réalisation d'outils massifs, car l'inertie de tels éléments, leur capacité à renvoyer l'énergie de la percussion, dépend de la masse (Pieters 2013 : 9). Les cassures témoignent très certainement de cette énergie cinétique. Il s'agit ici d'une première approche qu'il serait nécessaire d'élargir à d'autres enclumes du domaine hallstattien et à confronter avec des essais d'archéologie expérimentale réalisés par des artisans forgerons. Pour le moment, seules des informations orales ont été collectées. La morphologie des surfaces actives associée aux types de traces signale probablement deux méthodes de forge à l'instar de celles déterminées par les deux grands types de culots découverts sur le site. D'une part, la forge d'épuration avec une percussion caractérisée par des coups secs qui nécessitent des plages actives vastes, et d'autre part une forge d'élaboration où les chocs sont plus puissants et les surfaces actives plus réduites. Ceci reste une proposition que seules des analyses plus détaillées pourraient attester.

Nous avons tout d'abord créé un tableau de synthèse récapitulant toutes les caractéristiques des surfaces par blocs (tableau de contingence) qui a été converti dans un modèle de forme binaire (tableau disjonctif complet de présence/absence), permettant de réaliser une sériation automatique (logiciel *Le Sériographe*), ainsi qu'une Analyse en Composantes Multiples (ACM) et une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Ce travail entamé lors de la phase du rapport a été testé sur toutes les variables sauf la couleur alors que l'analyse présentée ici est plus complète et récente. Elle a été réalisée grâce à Sylvain Badey, avec le logiciel R. Le développement complet de ce travail est disponible en téléchargement sur la plateforme HAL (<https://hal.science/halshs-01436440v1>).

Près de 30 surfaces actives ont été observées sur les galets (Figure 9). Ainsi 4 blocs possèdent 3 surfaces actives, 6 blocs en possèdent 2 et 6 blocs, une seule. Ces surfaces sont de trois formes : plane, convexe (le plus répandu) et concave, et présentent trois aspects différents: lisse (le plus répandu), martelé et esquilleux (Figure 9). Quant aux impacts, ils sont soit couvrant (ils marquent la totalité de la surface active), soit clairsemés, soit localisés sur de petites zones de frappe, soit absents. L'absence d'impact ne signifie pas l'absence d'utilisation. En effet la percussion de tôles ne laisse pas forcément de traces sur la pierre, même si la répétition des chocs fragilise les blocs de granite. Une coloration rougeâtre et rosée, peut-être induite par le travail de forge, marque également certaines surfaces. Des recherches plus poussées (observations microscopiques, prélèvement de résidus, etc.) permettraient de préciser l'origine de ces différentes colorations.

Pour résumer, nous avons quatre variables qui sont la morphologie de la surface, son aspect, le type d'impact et la couleur. Dans un premier temps, l'analyse statistique univariée des variables permet de se rendre compte que les surfaces sont le plus souvent convexes à 60%, et d'aspect lisse à 56,67%. Quant à aux impacts, ils sont clairsemés à 56,67%, et le gris clair est la couleur prédominante.

L'étape suivante consiste à analyser les variables deux à deux afin de mettre en évidence l'existence ou *a contrario* l'absence de relation entre les variables (analyse statistique bivariée) et ce pour chaque couple de variables (morphologie de la surface active/aspect de la surface ; morphologie de la surface/type d'impact ; morphologie de la surface/couleur ; aspect de la surface/ type d'impact ; aspect de la surface/couleur ; type d'impact/couleur), en suivant les mêmes étapes. Pour le développement complet nous conseillons de se reporter au rapport complet de Sylvain Badey évoqué plus haut (Badey 2016). Ainsi les tableaux de distribution des fréquences indiquent déjà que 40% des enclumes ont une surface lisse et convexe. Suivent des tableaux de distributions conditionnelles par ligne et colonnes. On observe par exemple pour le premier couple de variables



Figure 12. Wolmsa, *Vue champêtre de la vallée de la Wormsa*. Blocs roulés en fond de vallée. © F.-X. Saile, 1901. Coll. Bibliothèque nationale et universitaire de Strasbourg, NIM04988

(morphologie de la surface x aspect de la surface), grâce au tableau des profils-lignes de distribution conditionnelles que si une enclume porte une surface concave il y a 66.7% de chance qu'elle soit lisse. Sur le tableau de profils-colonnes on remarque que si une surface active d'enclume est lisse, il y a 70.6% de chance qu'elle soit convexe.

Analyse bivariée, résultats

L'analyse bivariée des différentes variables qualitatives deux à deux n'a permis de rejeter clairement l'hypothèse d'indépendance seulement pour le couple de variables « aspect_surf x couleur » et dans une moindre mesure pour le couple « surf_morph x aspect_surf ». Seules les relations d'association/opposition entre ces variables peuvent être étudiées sans "risquer" le fait que les résultats soient le fait du hasard.

Ces limites sont probablement dues à l'effectif limité des individus (30 surfaces actives enregistrées sur 16 fragments d'enclumes) et sont inhérentes aux méthodes statistiques. Cependant, ces premières étapes de l'analyse permettent néanmoins d'approcher des relations entre les modalités des différentes caractéristiques enregistrées sur les surfaces actives des enclumes. Celles-ci auraient pu être mises en évidence par des méthodes plus simples de tris, mais l'analyse statistique permet de quantifier ces phénomènes (grâce aux tableaux de fréquences et de distributions conditionnelles), mais aussi de les pondérer (calculs des écarts à l'indépendance du khi-deux et des résidus de Pearson) et enfin de les mettre en évidence graphiquement (à l'aide du diagramme des écarts à l'indépendance et de l'analyse factorielle de correspondance).

Parmi les associations fortes, citons celle des surfaces actives d'enclumes concaves et d'aspect esquilleux ; celle, très forte, entre surface convexe et type d'impact étendu ; celle entre surfaces concaves et une coloration rouge du granite ; et enfin entre la couleur naturelle et les aspects de surface active esquilleux et martelé. Ainsi si une surface active d'enclume est martelée ou esquilleuse, elle a respectivement 75% et 66,7% de chances d'être de couleur naturelle.

	gris_foncé	lisse	gris_clair	convexe	rouge	clairsemé	étendu	concave	localisé	rosé	esquilleux	sans	plane	naturelle	martelé	
1014_3_2																4,25
1014_13_1																4,25
1014_11_2																4,5
1014_4_1																4,75
1014_5_2																4,75
1014_10_2																4,75
1014_12_1																4,75
1014_1_1																5
1014_7_1																5
1014_14_2																5,25
1014_7_2																5,75
1074_2_1																6,25
1014_12_2																7
1014_14_1																7,75
1014_16_1																7,75
1014_8_1																7,75
1014_3_3																8
1014_11_3																8
1014_11_1																8,75
1014_4_2																9,5
1014_3_1																10,25
1014_6_1																10,25
1014_5_1																10,75
1014_4_3																10,75
1074_1_1																11
1014_14_3																11,75
1014_13_2																12
1014_10_1																13
1014_16_2																13
1014_15_1																13,75
	3	10	12	13	13	15	16	19	19	20	22	23	25	26	26	

Figure 13. Sériation automatique réalisée sous le logiciel *Le Sériographe*. Les lignes correspondent aux surfaces actives présentes sur les enclumes, les colonnes aux critères retenus (couleurs, type d'impacts, forme, aspect)

Analyse statistique multivariée, résultats

Toutes les variables peuvent être étudiées ensemble à l'aide d'une analyse statistique multivariée qui consiste finalement à chercher des associations/oppositions entre elles, et entre elles et les individus (ACM), puis à chercher des agrégats d'individus ayant des ressemblances (CAH).

La sériation automatique est une première étape qui permet déjà de visualiser des groupes (Figure 13), mais les associations sont plus lisibles sur le graphique issu de l'analyse des correspondances multiples, Figure 14). Dans notre cas, c'est le résultat de la Classification Ascendante Hiérarchique utilisée en complément de l'ACM qui peut nous orienter vers la définition d'une typologie des individus et des variables. Cinq classes (ou cluster) ont été retenues afin de sectionner le dendrogramme proposé par la CAH.

Si on reporte les 5 groupes dans le tableau de contingence de départ, on peut caractériser les 5 groupes de surfaces d'enclumes ainsi (par ordre décroissant du nombre d'individus dans le groupe) :

- Cluster 1 : (10 individus) Les surfaces actives sont toutes d'aspect lisse et de couleur grise (clair ou foncé). En outre elles ont une morphologie convexe (sauf une) et des impacts clairsemés pour la majorité d'entre elles (sauf 3). Ces critères nous conduisent à penser que les pièces lithiques ont été employées dans le cadre d'une phase d'élaboration, peut-être pour l'emboutissage de plaques métalliques.

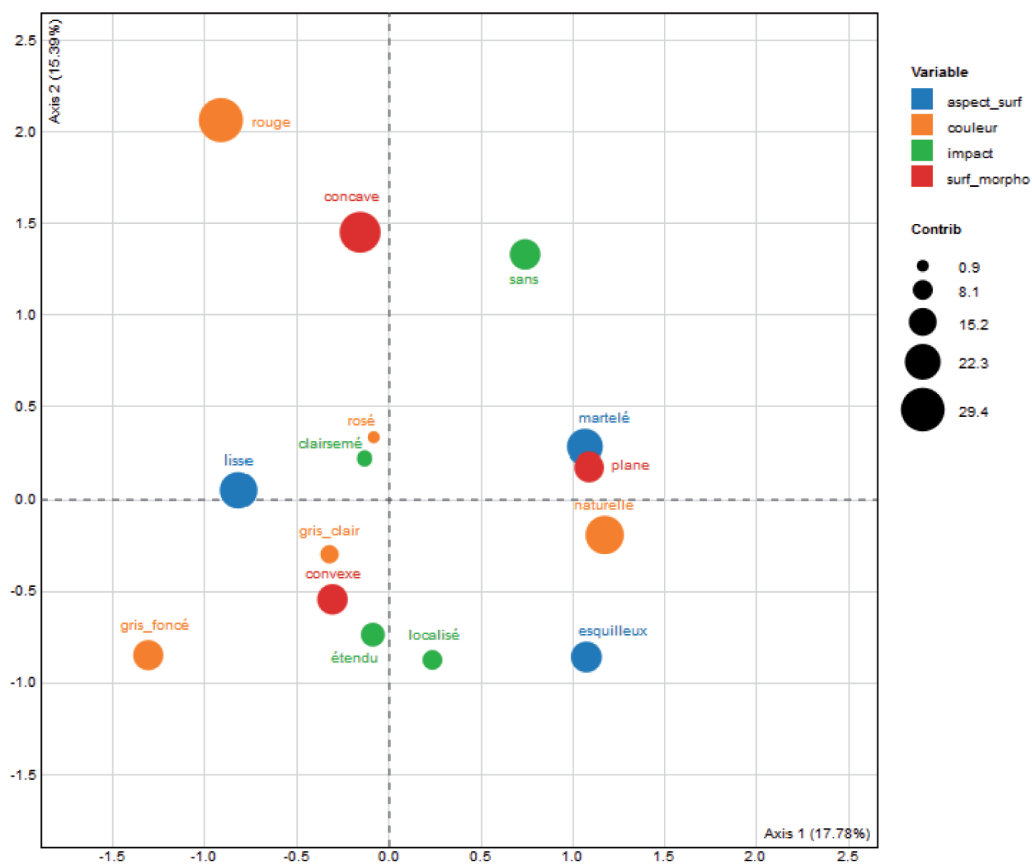


Figure 14. Graphique des variables issues de l'analyse des correspondances multiples. © S. Badey, Inrap

- Cluster 4 : (9 individus) Les surfaces actives sont martelées (sauf une) et présentent des impacts clairsemés (sauf 2). Elles sont soit de couleur naturelle ou gris clair. Par contre elles peuvent présenter une morphologie plane (4) convexe (3), ou concave (2). L'aspect martelé et polymorphe des surfaces actives suggère l'emploi de ces enclumes dans la phase d'épuration. Remarquons également qu'aucune coloration ne teinte la roche.
- Cluster 3 : (5 individus) Les surfaces actives sont lisses (sauf une) et de couleur rosée. Par contre elles sont soit planes (2), concaves (1) ou convexes (2) et peuvent présenter tous les types d'impact.
- Cluster 5 : (3 individus) Les surfaces actives sont convexes, d'aspect esquilleux et de couleur naturelle. Elles comportent des impacts localisés, étendus ou absents.
- Cluster 2 : (3 individus) Les surfaces actives sont lisses et de couleur rouge. De plus elles peuvent être concaves ou convexes et présenter des impacts clairsemés ou absents.

L'observation attentive des critères regroupés dans les clusters 3, 5 et 2 permet de nuancer l'organisation de la phase d'élaboration. Tandis que le cluster 5 enregistre des marques esquilleuses sur un support plutôt convexe de couleur naturelle, indiquant une frappe plus violente, les deux autres clusters présentent des stigmates presque identiques : impacts variés sur un support lisse et polymorphe. Seule la coloration de la surface –rosé et rouge nous indique une légère nuance de chauffe.

Les outils de frappe : les percuteurs

L'observation des différentes surfaces d'outils en pierre destinés au polissage ou à la mouture permet de signaler des traitements particuliers. Que cela soit pour l'opération d'épannelage, de mise en

Figure 15. Percuteur-boucharde
provenant du fait 1077-03



Figure 16. Percuteur-aiguisoir
provenant du fait 1058. © F. Jodry
(Inrap)



Figure 17. Brunissoir provenant du fait
1085. © F. Jodry (Inrap)



forme ou d'entretien, ces étapes se font à l'aide de percuteurs. Ces outils solides et maniables (masse médiane de 430 grammes), pour la plupart en quartzite ou rhyolite, sont reconnaissables grâce à leurs surfaces actives biseautées à l'aspect esquilleux ou écrasé (Figure 15, 1077-3). Cette première interprétation fonctionnelle, bien que tout à fait admissible, doit être nuancée, car l'utilisation de percuteurs peut s'étendre à d'autres fonctions notamment celles du martelage de surfaces dures entrant dans des opérations de façonnage de pièces métalliques (Hamon, Blanchet 2015).

L'emploi de pièces de percussion réalisées dans des matériaux moins résistants nous engage à examiner la possibilité d'étapes supplémentaires dans ces opérations de modelage. C'est le cas notamment des deux percuteurs en grès fin et en particulier l'exemplaire 1058-1 (Figure 16, 1058-1), entièrement conservé, dont la fonction rappelle celle des « pièces intermédiaires » (Hamon, Blanchet 2015 : 75). Potentiellement emmanché comme l'indique la plage centrale émoussée l'extrémité impactée de cette pièce oblongue est probablement associée au traitement de zones ponctuelles et précises de pièces métalliques comme le planage des tôles (Boutoille 2012; 2015). Ce type d'outil de frappe fait écho aux deux galets oblongs de grès fin, 1065-1 et 1077-2, considérés comme un stock potentiel.

Les outils d'abrasion : polissoir, aiguiseur

Trois polissoirs dont une pièce dormante et un aiguiseur entrent dans la sélection des outils d'abrasion pour la ou les phases de finition (ébarbage, ponçage...). Les matériaux sélectionnés pour ces outils induisent une qualité particulière et probablement une fonction particulière. Cependant la variation de la texture de la roche au sein d'une même famille autorise une étendue fonctionnelle. Ainsi deux roches ont été choisies : le grès fin pour les polissoirs et le quartzite pour l'aiguiseur. Le grès fin offre la possibilité d'une exécution « universelle » puisqu'il permet de travailler de nombreux métaux. Par conséquent cette roche sédimentaire n'est pas une roche caractéristique. Quant au quartzite, plus rarement utilisé, ce dernier semble plus lié au travail des cupro-alliages (Pieters 2013 : 91).

Les autres outils de la sphère artisanale et de la sphère alimentaire : lissoirs, molette

Sept petits galets de quartzite, de gneiss et de grès fin (dont la masse médiane est de 143 grammes) ont été inventoriés dans le lot des outils lithiques. Leurs surfaces actives sont planes ou convexes, d'aspect poli et marqué par quelques impacts et traces noires de frottement. La combinaison des traces et leur disposition associée à la morphologie des pièces nous indiquent une utilisation dans le cadre de la mise en forme de céramiques et le lissage de celles-ci (Leuvrey 1999). Tandis qu'aux petits lissoirs (entre 3 et 5 cm de longueur) est attribué un rôle dans le lissage des cannelures, des lèvres et décors des céramiques, aux grands lissoirs (entre 5 et 9 cm de longueur) est associée une fonction dans le traitement de lissage des panses des grands vases. Cette activité semble évidente cependant d'autres auteurs préfèrent voir dans ces petits ustensiles des brunissoirs pour le métal (Pieters 2013 : 82). C'est le cas notamment de la pièce 1085-2, sans doute la plus représentative, puisqu'il s'agit d'un petit galet noir, dont la surface active lisse est marquée de microstries et de traces cuivrées (Figure 17).

Pour terminer, la sphère alimentaire est représentée par une seule pièce en grès grossier (1063-1). Il s'agit d'un fragment de molette au dos bombé et aux bords mis en forme par martelage. Sa surface active est lisse et polie.

Conclusion

Pour conclure, nous pouvons souligner que d'ores et déjà, le site de Weyersheim (Bas-Rhin) constitue un site de référence étant donné la quantité de scories mise au jour (environ 130 kg) et par la présence commune d'un atelier d'élaboration et de traces du travail d'épuration comme

sur le site d'Écuellles *Charmois* (Seine-et-Marne) par exemple (Filippini 2015). La question d'un ou plusieurs ateliers reste pour le moment en suspens. Une prospection géophysique en dehors des limites de l'emprise permettrait d'en avoir la certitude. Soulignons l'absence d'outils actifs du forgeron comme (marteau, tenaille, lime...).

Cet article avait surtout pour vocation de présenter nos réflexions sur les outils lithiques et en particulier les enclumes, dont les surfaces actives ont bénéficié d'une approche statistique. Le granite employé a clairement été privilégié pour ses qualités de dureté et de cohésion. Il s'agit de supports de frappe spécialisés, mais aussi plurifonctionnels (parfois trois surfaces actives sur une même enclume). Les groupes identifiés pourraient correspondre à différentes phases de la chaîne opératoire proches de celles identifiées à partir de l'analyse des culots découverts, à savoir l'épuration de masse brute, le travail à froid et à chaud pour l'élaboration d'objets ou de tôle avec différents types de chauffe probablement.

En Alsace quelques sites ont livré des déchets liés à la métallurgie du fer (Figure 1, carte), mais de manière limitée, comparés à Weyersheim où les données sont abondantes. Ces dernières renouvellent par conséquent notre vision de l'artisanat hallstattien.

Bibliographie

- BADEY, S. (2016) – *Analyse statistique des surfaces actives d'enclumes de Weyersheim. Rapport de recherche.* Metz : Inrap Ges
- BAUVAIS, S. (2008) – Du prestige à la proto-industrie : évolution des pratiques sidérurgiques au second-âge du Fer dans le Nord du Bassin Parisien. *The Arkeotek Journal*, vol. 2, 4 ; www.thearkeotekjournal.org
- BOCQUILLON, H.; SAUREL, M.; DUNIKOWSKI, C.; YVINEC, J.-H. (2009) – Habitats et zones d'activités à Vrigny (Marne) à la fin du premier âge du Fer. In *Le bassin de la Vesle du Bronze final au Moyen Age.* Reims : Société archéologique champenoise, pp. 82-152 (Bulletin de la société archéologique champenoise, 102)
- BOUTOILLE, L. (2012) – L'outillage lithique utilisé dans le cadre de la déformation plastique des métaux. Premier aperçu des découvertes françaises. *Bulletin de l'APRAB*, pp. 95-98
- BOUTOILLE, L. (2015) – Les techniques du dinandier de l'âge du Bronze : l'outillage en pierre spécifique à la déformation plastique des métaux. In BOULUD-GAZO, S. ; NICOLAS, T. (eds.) – *Artisanats et productions de l'âge du Bronze.* Paris : Société Préhistorique française, pp. 83-96 (Séance de la Société Préhistorique Française, 4)
- DABEK, P. (2013) – *Weyersheim (Bas-Rhin), Rue de la Gare, lotissement « les Hauts de la Zorn », Indices de l'âge du Bronze et occupation du Hallstatt final/La Tène ancienne. Rapport de diagnostic.* Metz : Inrap Ges
- DUBREUCQ, E. (2007) – *Les mobiliers métalliques découverts sur les habitats du Ha à LTA: approches qualitative et quantitative proposées pour quelques sites de l'Allemagne du Sud-Ouest à la France centrale.* Thèse de doctorat. Dijon : Université de Bourgogne
- FILIPPINI, A. (2015) – *La métallurgie du fer dans le centre-est de la France au Ve siècle avant J.-C. Approches historique, archéologique et archéométrique.* Tours, Bourges: Feracf, Édition de Bourges plus, Service d'archéologie préventive
- FRONTEAU, G.; BOYER, F. (2011) – Roches meulières : de la classification pétrographique à la classification texturale d'un potentiel « mécanique ». In BUCHSENSCHUTZ, O.; JACCOTTEY, L.; JODRY, FL.; BLANCHARD, J.-L. (eds.) – *Évolution typologique et technique des meules du Néolithique à l'an mille sur le territoire français.* Bordeaux : Aquitania, pp. 111-120
- HAMON, C.; BLANCHET S. (2015) – Le macro-outillage lithique sur les sites de l'âge du Bronze armoricain : quelques hypothèses fonctionnelles pour aborder la notion d'artisanat. In BOULUD-GAZO, S. ; NICOLAS, T. (eds.) – *Artisanats et productions de l'âge du Bronze.* Paris : Société Préhistorique française, pp. 63-82 (Séance de la Société Préhistorique Française, 4)
- JODRY, FL. (2015) – Étude des enclumes de Neuville-sur-Sarthe-La Chataigneraie, in LANGLOIS J.-Y. – *Le bassin sidérurgique du nord du Mans de l'âge du Fer au Moyen âge. Rapport de fouille.* Cesson-Sevigne : Inrap Grand-Ouest

- LANDOLT, M.; VAN ES, M.; PUTELAT, O.; BOUQUIN, D.; SCHAAL, C.; BOËS, E. (2008) – *Entzheim-Geispolsheim (67) : Aéroparc (Lidl-CUS), les occupations protohistoriques. Rapport de fouille*. Sélestat: PAIR
- LEUVREY, J.-M. (1999) – *Hauterive-Champréveyres. 12, L'industrie lithique du Bronze final, étude typotechnologique*. Neuchâtel : Musée cantonal d'archéologie, (Archéologie neuchâteloise 24)
- MENEZ, Y.; VIVER, J.-B.; CHANSON, K.; DUPRE, M. (2007) – La forge de Paule (Côtes-d'Armor). In MILCENT, P.-Y. (éd.) – *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*. Pessac : Fédération Aquitania, pp. 213-237
- MICHLER, M. (2017) – *Ensilage et artisanat du fer au Hallstatt D3/La Tène ancienne à Weyersheim. Rapport de fouille*. Metz : Inrap Ges
- MICHLER, M.; BADEY S.; BERRANGER M.; CABBOÏ, L.; CLERC, P.; JODRY, F. ; PUTELAT, O. ; VAN ES, M. (2018) – Ensilage et artisanat du fer entre le Hallstatt D3 et La Tène ancienne à Weyersheim (Bas-Rhin). Premiers résultats. *Archimède Varia*, 5, p. 202-229, <https://hal.science/halshs-01826474v1>
- PIETERS, M. (2013) – *Les outils comme traceurs des activités de transformation des métaux ? Supports de frappe, abrasifs et brunissoirs, outils d'aiguisage et outils de broyage*. Thèse de doctorat. Dijon: Université de Bourgogne