La métallurgie du fer à l'âge du Fer dans le bassin versant du Crould : organisation des productions et étude de provenance

Sylvain Bauvais, Alexandre Disser, Philippe Dillmann

▶ **To cite this version:**

Sylvain Bauvais, Alexandre Disser, Philippe Dillmann. La métallurgie du fer à l'âge du Fer dans le bassin versant du Crould : organisation des productions et étude de provenance. Caroline Touquet Laporte-Cassagne. Les sites ruraux du second âge du Fer dans le bassin versant du Crould en Val-d'Oise et ses marges, Revue Archéologique d'Ile-de-France, pp.453-506, 2018, Les sites ruraux du Second âge du Fer dans le bassin versant du Crould en Val-d'Oise et ses marges. hal-02520694

HAL Id: hal-02520694
https://hal.science/hal-02520694

Submitted on 26 Mar 2020

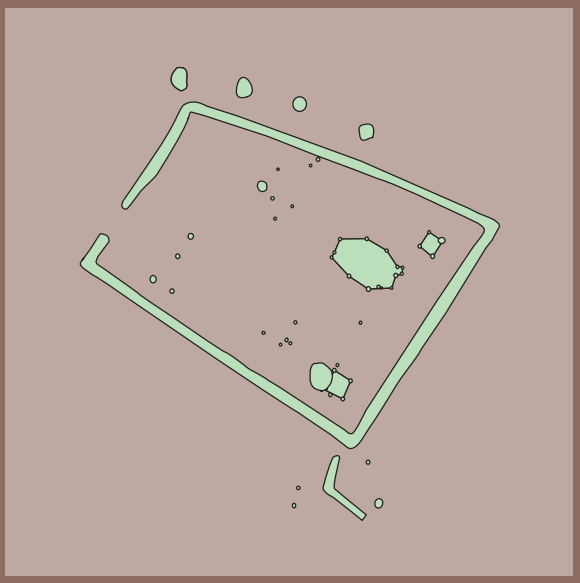
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

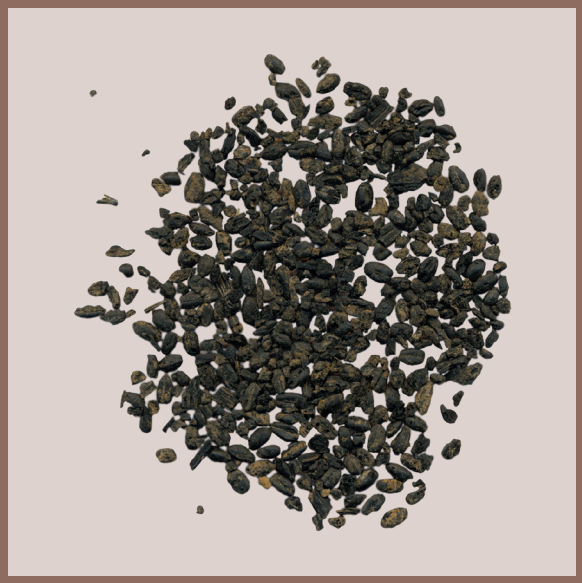
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

REVUE ARCHÉOLOGIQUE D'ÎLE-DE-FRANCE
5e SUPPLÉMENT

LES SITES RURAUX DU SECOND ÂGE DU FER DANS LE BASSIN VERSANT DU CROULD EN VAL-D'OISE ET SES MARGES

sous la direction de
Caroline TOUQUET LAPORTE-CASSAGNE



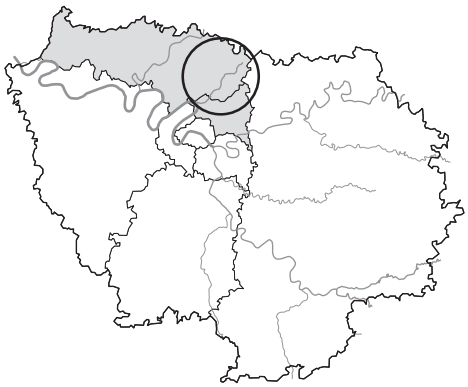


Raif

Sylvain BAUVAIS
Alexandre DISSER
Philippe DILLMANN

LA MÉTALLURGIE DU FER À L'ÂGE DU FER DANS LE BASSIN VERSANT DU CROULD :

organisation des productions et étude de provenance



Résumé

Le secteur de la vallée du Crould est dépourvu de ressources minérales locales permettant la production de fer brut. Néanmoins, le métal circule sous diverses formes et intègre des réseaux commerciaux en fonction de l'organisation socio-économique régionale. Une classification qualitative et quantitative des sites nous permet de mettre en évidence une évolution de l'organisation de ces activités tout au long du second âge du Fer. Les analyses de provenance réalisées sur trois des sites étudiés laissent entrevoir des réseaux d'approvisionnement plutôt restreints. L'étude de l'évolution des activités de forge dans la vallée du Crould montre que même si les réseaux d'échange peuvent permettre de développer des productions locales, l'équilibre reste fragile et la moindre modification des relations de pouvoir peut remettre en question cet acquis.

Mots-clés *Métallurgie du fer, forge, scorie, La Tène, provenance, organisation des productions, Île-de-France, Bassin versant du Crould.*

Abstract

The Crould Valley is lacking in local mineral ore resources for the production of wrought iron. Nevertheless, the metal circulates in different forms and is included in the socio-economic networks of the area. A qualitative and quantitative classification of sites has enabled us to highlight the evolution of how these activities were organised during the Late Iron Age. The analyses of provenance carried out on three sites indicates a geographically limited supply network. The study of the evolution of forging activities in the Crould Valley shows that even if the exchange networks enable the development of local productions, there is a fragile balance and the smallest change in power relations can call into question the benefits gained.

Keywords *Iron metallurgy, forging activities, slag, La Tène, provenance, production organisation, Ile-de-France, Crould Valley.*

Zusammenfassung

Das Tal des Crould weist keine lokalen Lagerstätten auf, die eine Herstellung von Roheisen gestatten. Trotzdem kam das Metall in verschiedenen Formen vor und spielte bei den Handelsbeziehungen im Rahmen der sozioökonomischen Kontakte eine Rolle. Eine Klassifizierung der Fundstellen unter qualitativen und quantitativen Aspekten hat es gestattet, die Entwicklung und Organisation dieser Handelsaktivitäten über die gesamten Latènezeit zu verfolgen. Die Herkunftsanalysen, die an Fundmaterial von drei der untersuchten Fundplätze durchgeführt werden konnten, lassen vermuten, dass die Handelsnetzwerke zur Versorgung mit Eisen eher recht begrenzt waren.

Les sites ruraux du Second âge du Fer dans le bassin versant du Crould en Val-d'Oise et ses marges, 2018, suppl. RAIF, 5, p. 453-506

Die Untersuchungen zur Entwicklung der Schmiedetätigkeiten im Tal des Crould haben ferner zeigen können, dass – selbst wenn es die Handelskontakte eine lokale Herstellung von Eisengerätschaften ermöglicht haben –, die Aktivitäten sich in einem äußert fragilen Gleichgewicht befanden und dass selbst kleinste Veränderungen in den ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen diese Errungenschaft wieder in Frage stellen konnten.

Stichwörter *Eisenverarbeitung, Schmiede, Schlacke, Latènezeit, Herkunftsgebiete, Organisation der Eisenverarbeitung, Île-de-France, Becken des Crould.*

INTRODUCTION

Le nord du Bassin parisien présente une forte disparité dans la répartition des ressources métallifères (BAUVAIS 2008 ; BAUVAIS, FLUZIN 2013). Des zones riches en minerai côtoient d'autres qui en sont dépourvues. À l'échelle de l'Île-de-France, ces contrastes sont d'autant plus forts que plusieurs secteurs sont connus historiquement pour leur production, comme le Sénonais, le Gâtinais, l'Hurepoix, la forêt de Rambouillet et le secteur de Ferrière dans le nord de la Seine-et-Marne, alors que d'autres, essentiellement localisés dans le nord et le nord-ouest, n'ont développé aucune métallurgie primaire (réduction du minerai) à quelque époque que ce soit.

Le secteur de la vallée du Crould fait partie de ces zones dépourvues de ressources locales. En revanche, cette absence de production primaire ne signifie pas qu'aucune activité métallurgique n'ait eu lieu, ni qu'une étude de la métallurgie du fer soit sans intérêt. Au contraire, à toutes périodes, le métal circule sous diverses formes et un secteur totalement dépendant des réseaux commerciaux pour son approvisionnement en fer est un cas d'étude privilégié des formes d'organisation socio-économique régionales et de la provenance des matériaux.

Ce travail fournit une première réflexion sur les formes d'organisation des productions sidérurgiques et sur leur évolution à l'échelle de cette micro-région. Il permet ainsi d'ouvrir des perspectives novatrices sur l'étude de la circulation des produits métalliques. Il complète et s'intègre à plusieurs travaux de recherche sur la métallurgie du fer dans le nord du Bassin parisien et bénéficie des études récentes sur la circulation des produits ferreux aux âges du Fer dans le cadre du programme ANR-DFG CIPIA (BAUVAIS *et alii* 2011 ; DILLMANN *et alii* 2017).

Ainsi, la vallée du Crould est replacée dans son contexte régional et macro-régional et bénéficie des apports récents quant à l'intégration des sites et des régions dans un réseau d'acquisition et de redistribution de la matière première métallique. À l'échelle de cette micro-région, ce qui semble vrai à une échelle plus large reste-t-il valide ? Sommes-nous en présence d'un système proche de celui mis en évidence dans l'Aisne (BAUVAIS *et alii* 2007 ; MALRAIN *et alii* 2010 ; HÉNON *et alii* 2012) ? De plus, pour la première fois, sera posée la question concrète de la provenance du métal travaillé dans les forges de cette micro-région, permettant ainsi de retracer une organisation des productions régionales en lien avec des affinités économiques et politiques.

PRÉSENTATION DES SITES

À l'échelle de la vallée du Crould, 10 sites datés de l'âge du Fer ont livré des restes d'activités sidérurgiques. Il s'agit des sites de Bobigny (Seine-Saint-Denis) « La Vache à l'Aise », « Hôpital Avicenne » et « Le Stade de la Motte » (fouilles Afan, Inrap, Service archéologique de Seine-Saint-Denis – Stéphane Marion / Yves Le Bechennec ; MARION *et alii* 2005), Bonneuil-en-France (Val-d'Oise) « Déviation RD84 » (fouilles Inrap – Stéphane Marion ; BRULEY 2005 ; MARION *et alii* 2016), Fontenay-en-Parisis (Val-d'Oise) « La Lampe » (fouilles Afan – Isabelle Daveau), Le Mesnil-Aubry (Val-d'Oise) « Le Bois Bouchard III » (Diagnostic Sdavo – Aurélien Lefeuvre), Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » (fouilles Sdavo – Caroline Touquet Laporte-Cassagne), Louvres (Val-d'Oise) « Le Vieux Moulin » (fouilles Afan – Diane Casadei), Roissy-en-France (Val-d'Oise) « Le Château » (fouilles Afan – Jean-Marc Séguier) ; SÉGUIER *et alii* 2008) et Villiers-le-Bel (Val-d'Oise) « Rond-Point du Verger » (fouilles Sdavo – Jean-Gabriel Pariat ; **figure 1**). Ils s'échelonnent de La Tène B2 à La Tène D1 avec une majorité de sites datés de La Tène C2 et de La Tène D1 (**figure 2**). Cet état des connaissances, tributaire des découvertes d'archéologie préventive, illustre néanmoins un constat déjà émis pour le reste du nord du Bassin parisien (BAUVAIS 2007).

Bobigny

Il s'agit d'un ensemble de 3 parcelles regroupées sur une vingtaine d'hectares dans la partie ouest de la commune de Bobigny. Ces trois parcelles sont « La Vache à l'Aise » (6 800 m²), « Hôpital Avicenne » (env. 4 900 m²), elle-même divisée en trois secteurs, et « Le Stade de la Motte » (1 100 m²). Les fouilles ont été réalisées entre 1992 et 2003 par les équipes de la Mission Archéologique du Conseil Général de Seine-Saint-Denis et en partenariat avec l'Inrap, sous la direction d'Yves Le Bechennec et de Stéphane Marion. Les parcelles qui le composent sont relativement éloignées les unes des autres (300 à 800 m) mais le chevauchement chronologique, l'homogénéité du mobilier et la similitude de la consommation carnée tendent à laisser voir, dans cet ensemble, un seul et unique site (MARION *et alii* 2005 ; MARION *et alii* 2007). Si cela était le cas, les fouilles représenteraient seulement 0,4 % de l'extension probable de l'occupation (30 ha).

L'analyse du mobilier indique une séquence d'occupation longue, allant de la fin de La Tène B2 à la fin de La Tène D1, soit environ deux siècles, qui peut être divisée en cinq à six phases distinctes, communes à l'ensemble des parcelles.

Le choix a été fait de présenter les trois zones séparément afin de ne pas introduire de biais dans les interprétations et la chronologie. De plus, les secteurs sont suffisamment distants les uns des autres pour que les activités de forge relevées sur chacun d'eux, bien que contemporaines, soient interprétées comme issues d'ateliers distincts.

« La Vache à l'Aise » (LT / C1-LT / D1)

Ce secteur, d'une superficie de 6 800 m², se compose d'un réseau très dense de fossés dont la succession chronologique très rapide a permis un phasage complexe mais précis de l'ensemble (LE BECHENNEC, MARION 1998 ; LE BECHENNEC, MARION 2001). Les indices de bâtiments font défaut mais les rejets attestent d'une vocation au moins en partie domestique du secteur.

L'occupation la plus significative débute au cours du III^e^ siècle. Un enclos fossoyé est aménagé. Large d'à peine 2 m, son comblement naturel intervient rapidement. La richesse du mobilier qu'il renferme est exceptionnelle (ossements animaux, meules, perles en ambre, bracelet en verre, pendant de ceinture féminine). La fin du III^e^ et le début du II^e^ siècle sont marqués par une vaste réorganisation, matérialisée par un enclos de très grande taille dépassant largement les limites du chantier. L'enclos est rapidement redoublé par un

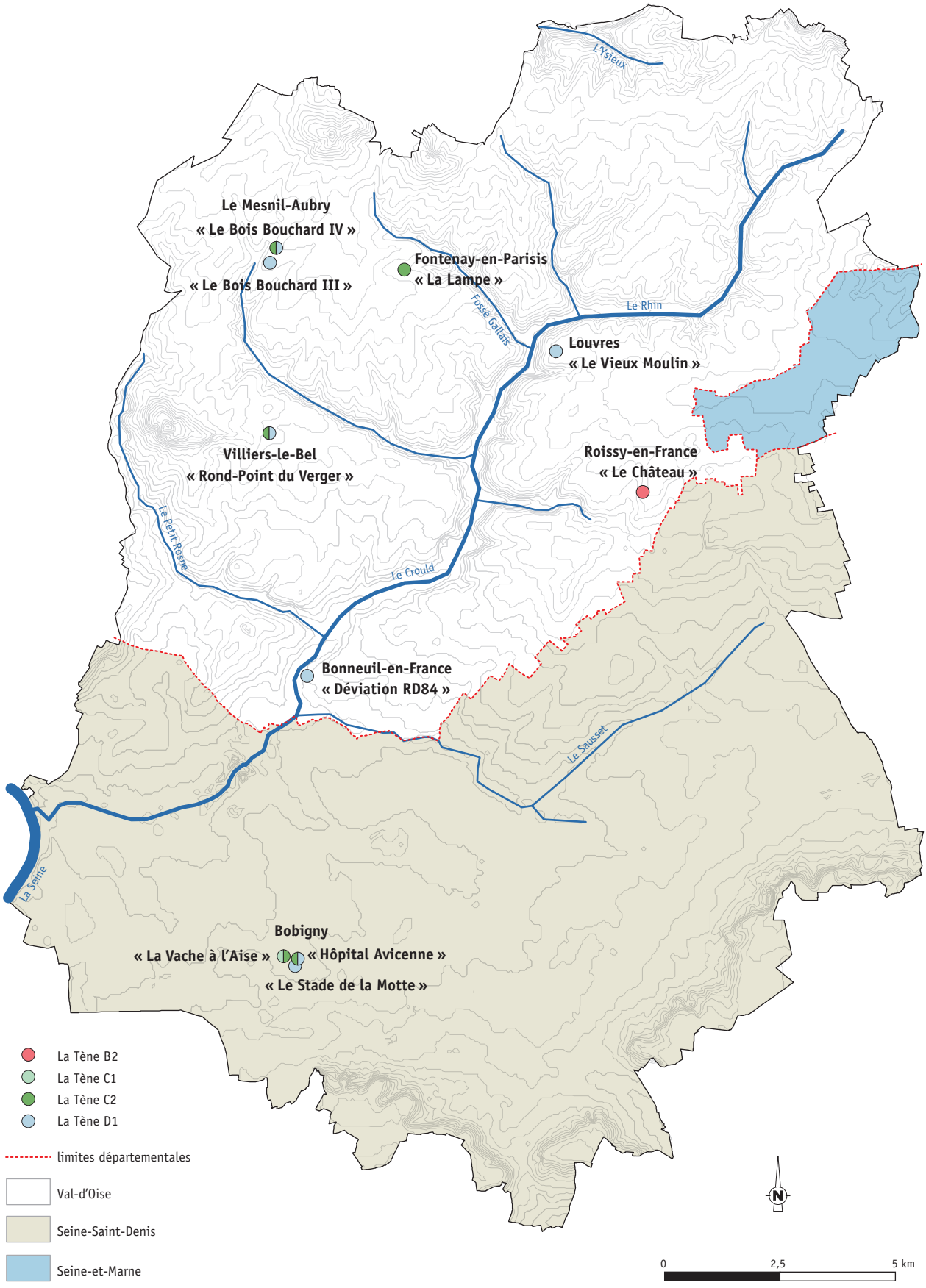


Figure 1 – Localisation des sites ayant livré des indices de métallurgie du fer au sein du bassin versant du Crould.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

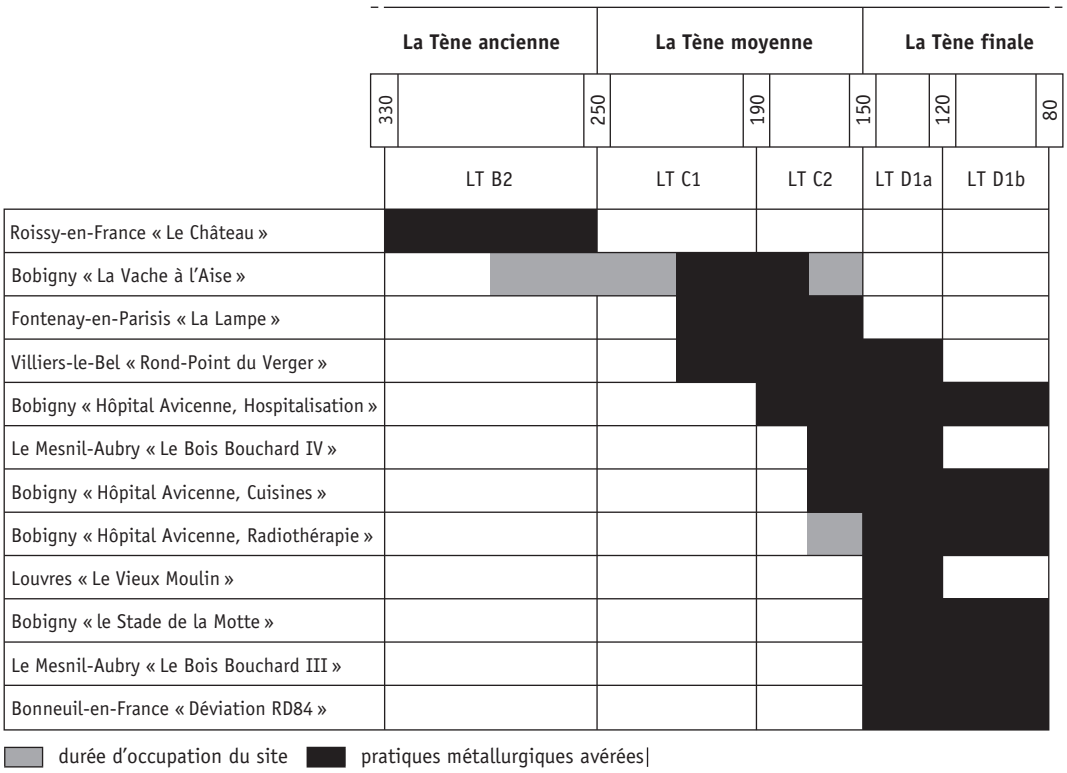


Figure 2 – Tableau chronologique des sites ayant livré des indices de métallurgie du fer au sein du bassin versant du Crould. [© S. Bauvais, CEA/Cnrs]

système de fossés plus larges qui a livré la majeure partie du mobilier du site. Les pièces les plus exceptionnelles sont une statue anthropomorphe en bois de chêne, des squelettes de chiens décapités, plusieurs crânes de chevaux et d'hommes, six bracelets en verre et une importante quantité de tessons de céramique. Il paraît délicat d'attribuer à cet espace une simple fonction agraire. L'existence d'indices récurrents de métallurgie des alliages cuivreux et du fer (14,5 kg de scories de forge) et la présence d'un grenier dans un angle d'enclos illustrent la pluralité des fonctions (**figure 3**).

« Hôpital Avicenne - Les Cuisines » (LT/C2b-LT/D1)

Sur 900 m², les structures, au nombre de 67, ont toutes été fouillées intégralement, sauf les fossés qui n'ont pu être que sondés en raison des délais impartis (MARION *et alii* 2007). Le mobilier permet de les dater en majorité de La Tène C2b / D1. Elles peuvent être séparées en trois ensembles, bien que leur proximité reste un fait non négligeable. Le premier, au sud, se compose de quelques fosses et trous de poteau alignés le long d'un fossé (120) orienté est-ouest qui s'interrompt aux deux tiers de l'espace décapé. Cet ensemble peut être interprété comme une zone domestique grâce au mobilier retrouvé. Plus au nord, un ensemble de fosses « polylobées » atteste une différence d'activité avec la zone sud. Leur vocation n'est pas claire mais l'hypothèse d'une extraction de matériau est vraisemblable. Enfin, une série de petits fossés, tous orientés selon le même axe, sépare clairement en deux ensembles les fosses polylobées précédemment citées.

Le mobilier est relativement abondant et provient du remplissage des fosses profondes. Ces dernières ont livré de nombreuses amphores Dressel 1a et gréco-italiques. Une plane et un ciseau viennent attester une activité de travail du bois et deux fusaïoles montrent qu'un travail de filage a été réalisé. Les déchets de forge viennent compléter les autres pratiques artisanales sur ou dans les environs du secteur exploré. Il s'agit de 2 081 g de scorie ; aucune chute métallique n'a été mise au jour (**figure 4**).

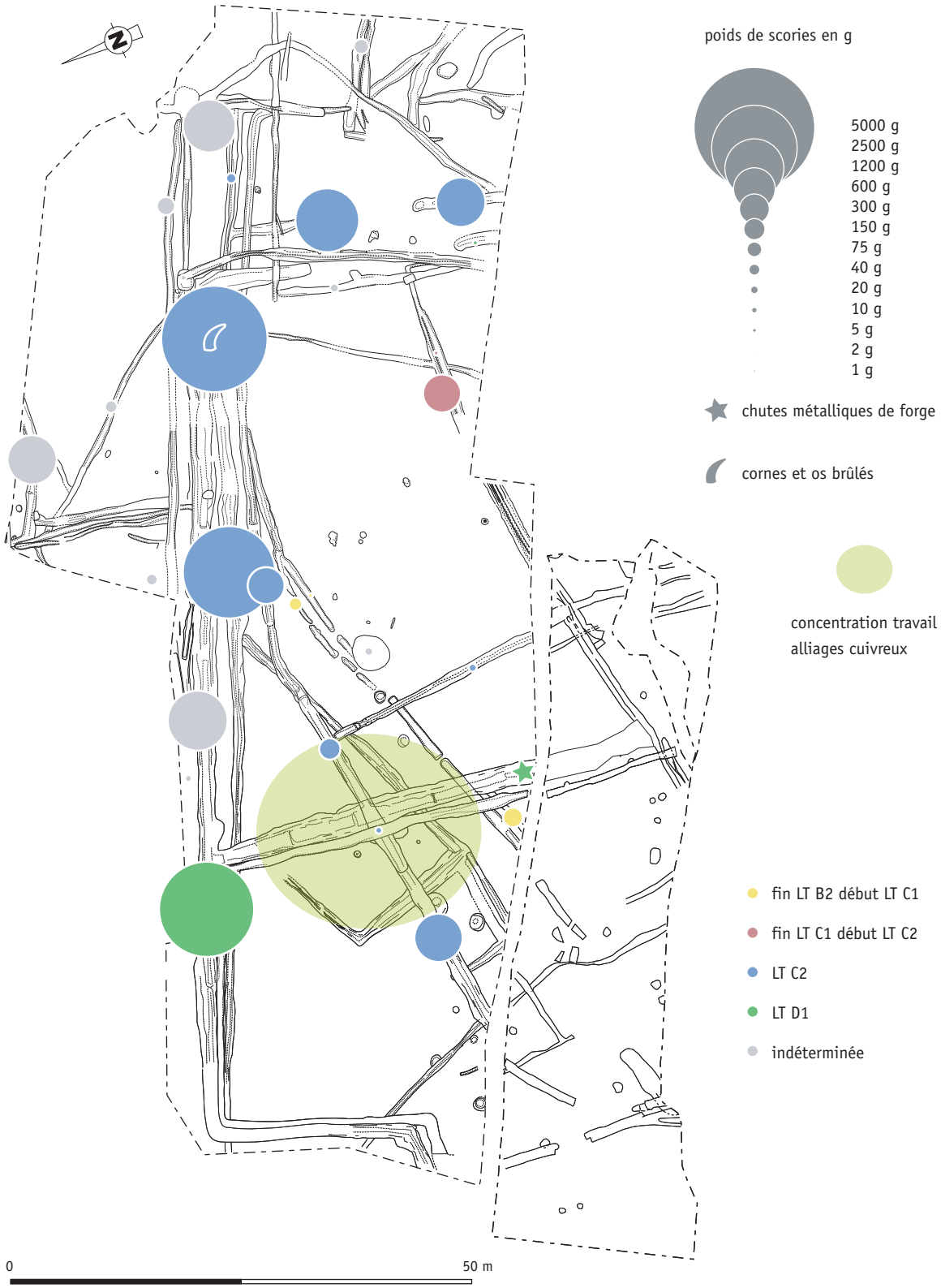


Figure 3 – Bobigny (Seine-Saint-Denis), «La Vache à l'Aise». Plan du site et répartition phasée des déchets liés à la métallurgie du fer. [© Service départemental d'archéologie de Seine-Saint-Denis, modifié par S. Bauvais, CEA/Cnrs]

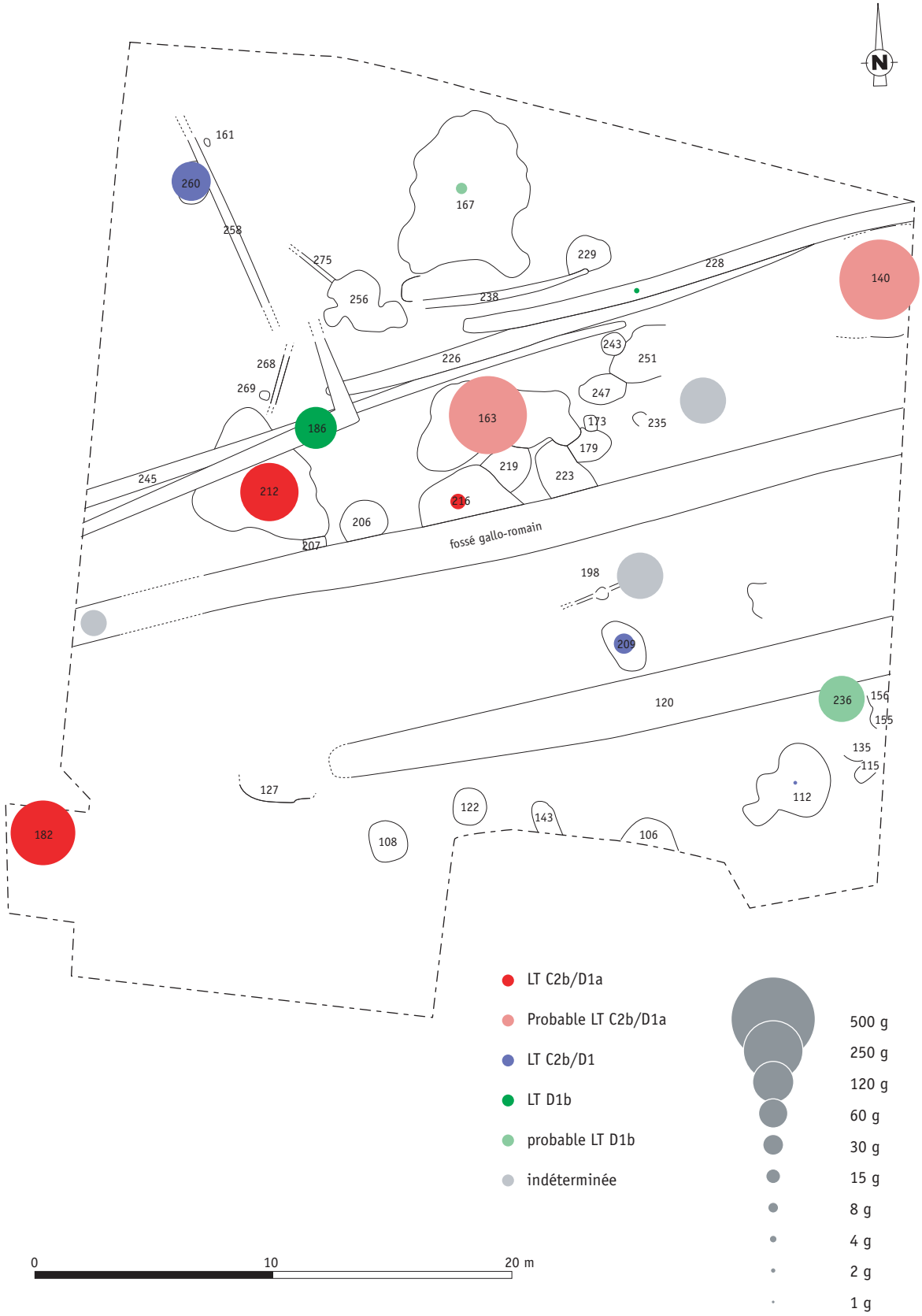


Figure 4 – Bobigny (Seine-Saint-Denis), « Hôpital Avicenne ». Plan du site, secteur Cuisine et répartition phasée des déchets liés à la métallurgie du fer. [© Service départemental d'archéologie de Seine-Saint-Denis, modifié par S. Bauvais, CEA / Cnrs]

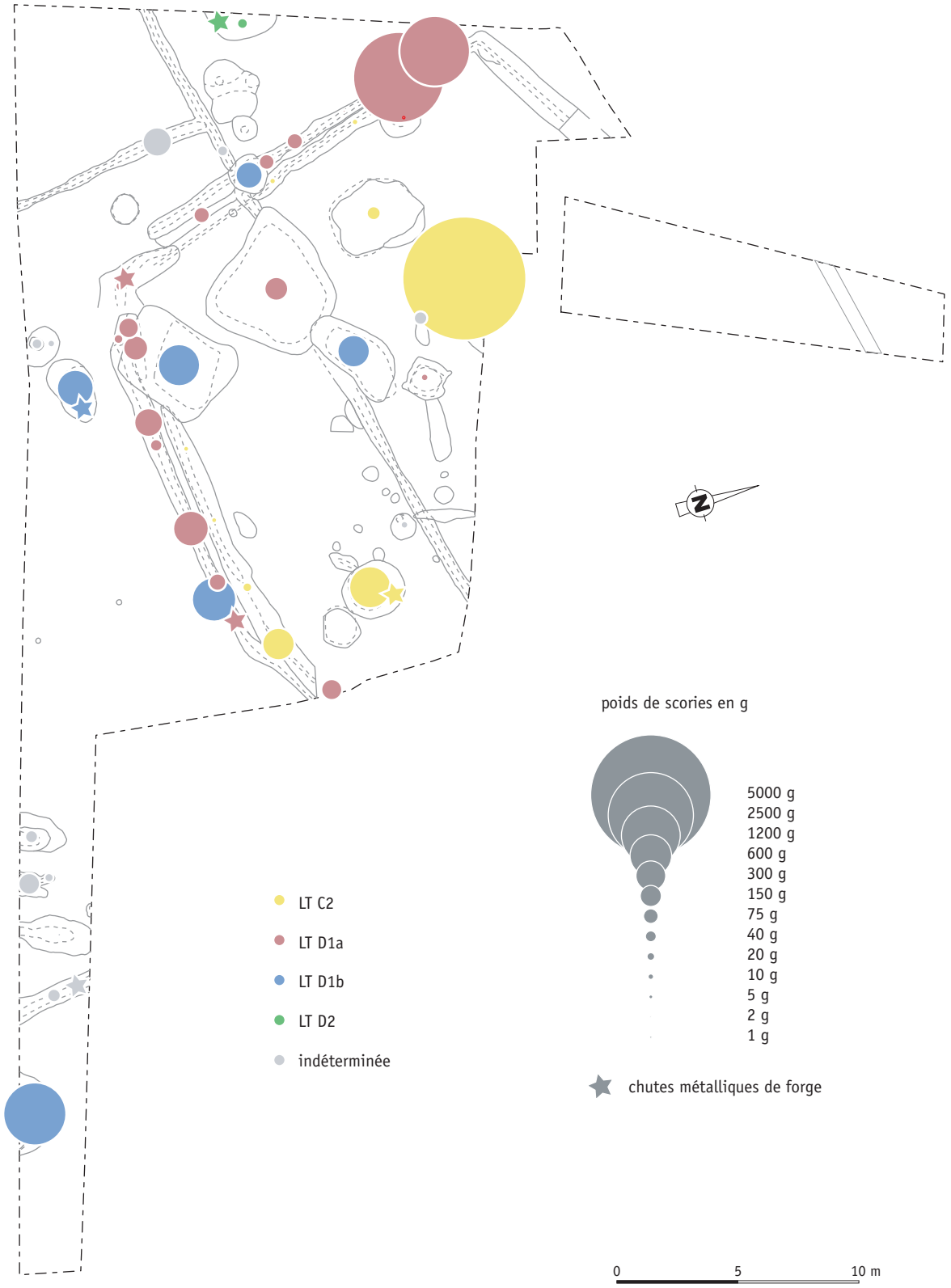


Figure 5 – Bobigny (Seine-Saint-Denis), « Hôpital Avicenne ». Plan du site, secteur Radiothérapie et répartition phasée des déchets liés à la métallurgie du fer. [© Service départemental d'archéologie de Seine-Saint-Denis, modifié par S. Bauvais, CEA / Cnrs]

« Hôpital Avicenne – Radiothérapie » (LT/C2-LT/D2)

Une zone d'habitat s'étend sur une surface décapée de près de 450 m² où les structures sont abondantes et trahissent une occupation dense (MARION *et alii* 2005). Celles-ci s'échelonnent principalement de la fin de La Tène C2 à La Tène D1b, seule une fosse peut être datée de La Tène D2.

La première implantation (phase A) se compose d'un angle de fossé visiblement ouvert, d'un puits et d'une fosse très volumineuse, interprétée comme une cave surmontée par un plancher. Une structure de stockage très profonde complète l'ensemble. Cette implantation peut former une unité domestique, avec son bâtiment et ses annexes. La seconde (phase B) voit se répéter cette forme d'organisation et un plan similaire est établi. Au cours de cette phase, l'ouverture dans l'angle du fossé est condamnée.

La phase C voit disparaître le système fossoyé de la fenêtre décapée. Elle s'articule autour de deux caves quadrangulaires, d'un silo et de quatre fosses à la fonction indéterminée. Enfin, la dernière occupation est pressentie par une fosse partiellement décapée à l'ouest.

L'alimentation carnée de grande qualité, la présence de bracelets en verre et en lignite mais surtout les restes d'activités artisanales s'accordent pour attribuer à ce secteur un statut de haut rang. La métallurgie semble être l'un des éléments principaux avec la présence de deux fragments de moules à alvéoles visiblement utilisés pour les métaux précieux (or). Les activités de forge sont également présentes avec un poids total de déchets scoriacés de 17,5 kg (**figure 5**).

« Hôpital Avicenne – Hospitalisation » (LT/C2-LT/D1b)

L'ouverture de la fenêtre d'exploration représente 3 500 m² et se caractérise par la présence d'une importante nécropole datée de La Tène B2-C1. Viennent ensuite s'implanter des installations domestiques et artisanales datées de La Tène C2 jusqu'au tout début de La Tène D2. Quatre structures excavées peuvent être attribuées à la première phase (A). Il s'agit d'un ensemble de fosses polylobées, qui pourrait être un bâtiment, d'une fosse circulaire et d'une portion de petit fossé. Dès cette phase, les activités artisanales semblent être importantes avec une grande quantité de scories de forge et d'alliage cuivreux, des creusets comportant des traces d'or et des moules à alvéoles. La phase suivante (B) voit l'implantation d'un système de fossés et de quelques fosses qui ne respectent plus les limites de l'espace funéraire. Une fosse polylobée située au nord renferme une grande quantité de déchets d'artisanat métallurgique et atteste la continuité de ces pratiques. La présence de bracelets en verre, et cette fois-ci de céramique tournée et d'amphores, révèle également le statut important de cette implantation. La phase C intervient dans la continuité de la précédente avec une perduration des fossés et des rejets sidérurgiques, et le mobilier céramique confirme une richesse certaine (céramique tournée et peinte). Enfin, la phase D annonce une rupture et une fréquentation beaucoup plus faible de la zone. Aucun déchet de travail du fer n'y est plus attesté (**figure 6**).

« Le Stade de la Motte » (LT/D1)

L'emprise s'étend sur environ 1 100 m², mais la morphologie allongée de l'espace exploré empêche d'avoir une vision réellement cohérente de l'organisation spatiale (LE BECHENNEC, MARION 1999). Toujours est-il qu'au nord, un espace funéraire est partiellement exploré et comporte 5 sépultures reliées à deux enclos. Au sud de la parcelle, un chemin grossièrement empierré est entretenu jusqu'au IIe siècle de notre ère et semble être au moins en activité dès l'implantation des premières structures domestiques et artisanales de La Tène D1b. En effet, suite à l'abandon probable de l'espace funéraire, une

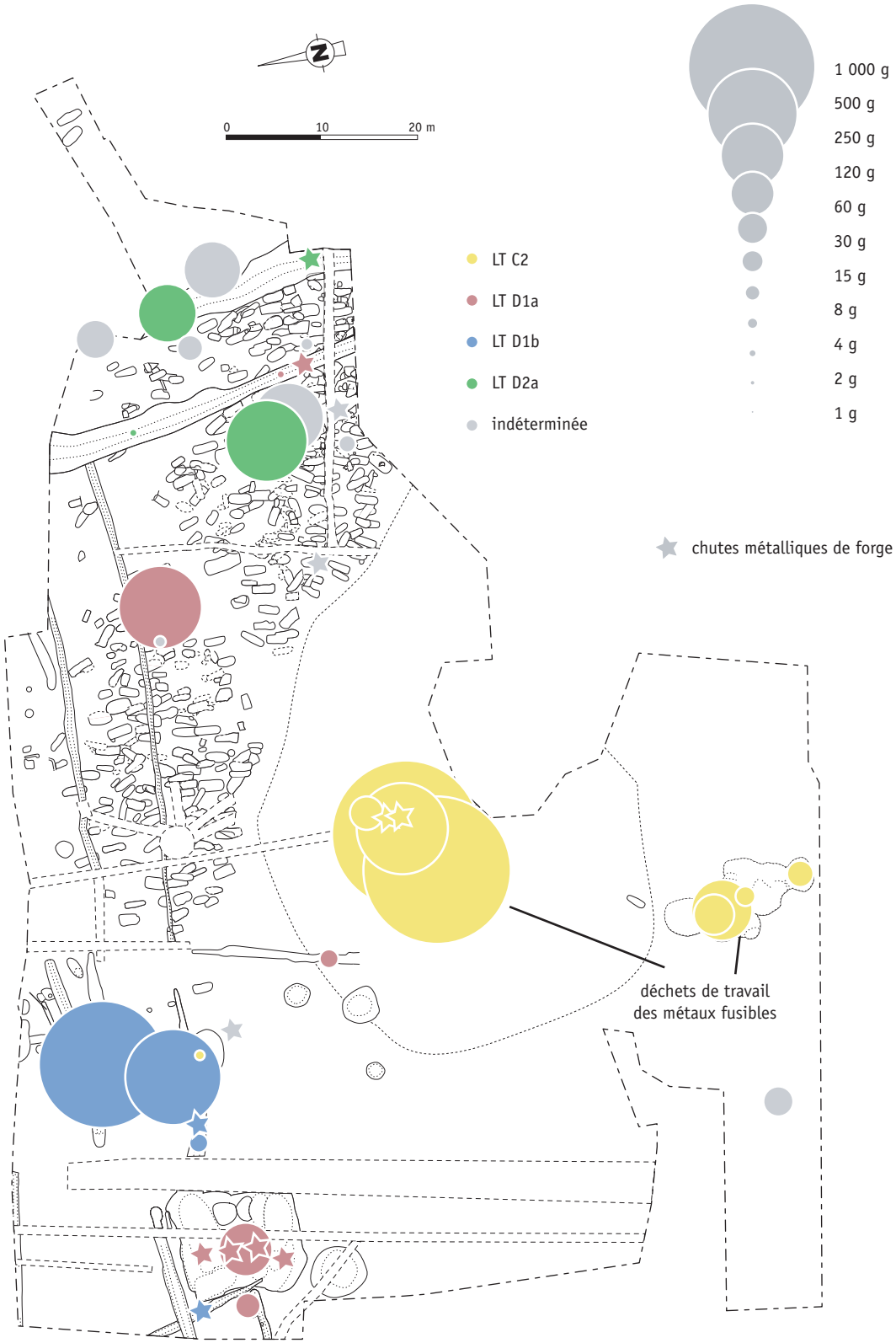


Figure 6 – Bobigny (Seine-Saint-Denis), « Hôpital Avicenne ». Plan du site, secteur Hospitalisation et répartition phasée des déchets liés à la métallurgie du fer. [© Service départemental d'archéologie de Seine-Saint-Denis, modifié par S. Bauvais, CEA / Cnrs]

zone d'habitat s'implante, matérialisée par un grand nombre de fosses de volume important et de fossés. L'enclos s'implante parallèlement à la voie, ce qui semble confirmer leur contemporanéité. Le mobilier est caractéristique d'un espace domestique et certains points dénotent une richesse certaine, avec 11 fragments de bracelets en lignite, 3 fibules en fer et 2 en alliage cuivreux, 11 potins et 3 perles en verre (LE BECHENNEC 2002).

Viennent s'ajouter plusieurs indices d'activités artisanales dont des restes de travail du verre et des alliages cuivreux (deux creusets et des scories). Les activités de forge semblent être les plus importantes avec près de 18 kg de mobilier scoriacé et de nombreuses chutes métalliques de travail à chaud **(figure 7)**.

Bonneuil-en-France « Déviation RD84 » (LT/D1)

Les fouilles du site de Bonneuil-en-France « Déviation RD84 » se sont déroulées sur 3 zones distinctes dénommées respectivement HAB pour habitat, SEP pour zone funéraire et FOR pour zone artisanale de forge (MARION *et alii* 2016). Elles ont livré plusieurs implantations datées du second âge du Fer mais les interactions entre les différentes zones restent difficilement interprétables, tout comme leur succession chronologique.

Le secteur forge se compose d'une dépression humide qui a servi de dépotoir au cours de La Tène D1. De part et d'autre de cette dépression, un mur en terre crue et un alignement de poteaux matérialisent le début des bâtiments la jouxtant. Malheureusement, la prescription s'est réduite à cette zone décrite et l'occupation en elle-même était déjà détruite par l'aménagement de la déviation avant l'intervention archéologique. Cette zone de dépotoir a toutefois livré de nombreux fragments de scorie de forge et deux fragments de barre à douille. L'activité proprement dite devait avoir lieu à proximité.

Fontenay-en-Parisis « La Lampe » (fin LT/C1-LT/C2)

Le site, fouillé en 1995, représente 3 ha décapés et correspond à une bande de 80 m de large sur l'emprise du tracé autoroutier de la Francilienne (DAVEAU, YVINEC 2001). Hormis les restes d'une occupation antique, l'essentiel des vestiges appartient à La Tène moyenne et se compose de deux portions de fossés parallèles et distants de 140 m, de deux bâtiments à 6 poteaux, de deux silos et d'une fosse quadrangulaire. Le mobilier associé est abondant et varié et provient pour sa grande majorité des couches de rejet du fossé 1112.

Les indices mobiliers permettent d'interpréter ce site comme particulier d'une certaine richesse au sein duquel des événements de type banquet ont pu avoir lieu.

La présence d'activités métallurgiques, à la fois des cuivreux et du fer, renforce l'impression de richesse particulière pour la période. Il s'agit en effet de deux creusets destinés au travail des métaux fusibles et de 1 863 g de scories de forge.

Toutefois, la faiblesse des vestiges au sol rend très délicate l'interprétation fonctionnelle de ce site.

Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III » (LT/D1)

Il s'agit d'un établissement rural daté de La Tène D1. Suite à sa découverte en 2007 par Aurélien Lefeuvre (Sdavo), aucune prescription de fouille n'a suivi (LEFEUVRE 2008). L'établissement gaulois était constitué de deux enclos accolés. Le plus petit (1 600 m^2) était à usage d'habitat, associé à des fosses, des silos, des foyers et des trous de poteau ; le second, en forme de trapèze grossier (environ 7 500 m^2) était vide de tout vestige et devait être destiné aux activités agricoles et pastorales.

Les traces d'activité métallurgique sont très réduites et se composent d'un peu plus de 250 g de scorie. Toutefois, chose plus rare, un foyer au sol semble pouvoir être interprété comme un foyer de forge (FR92).

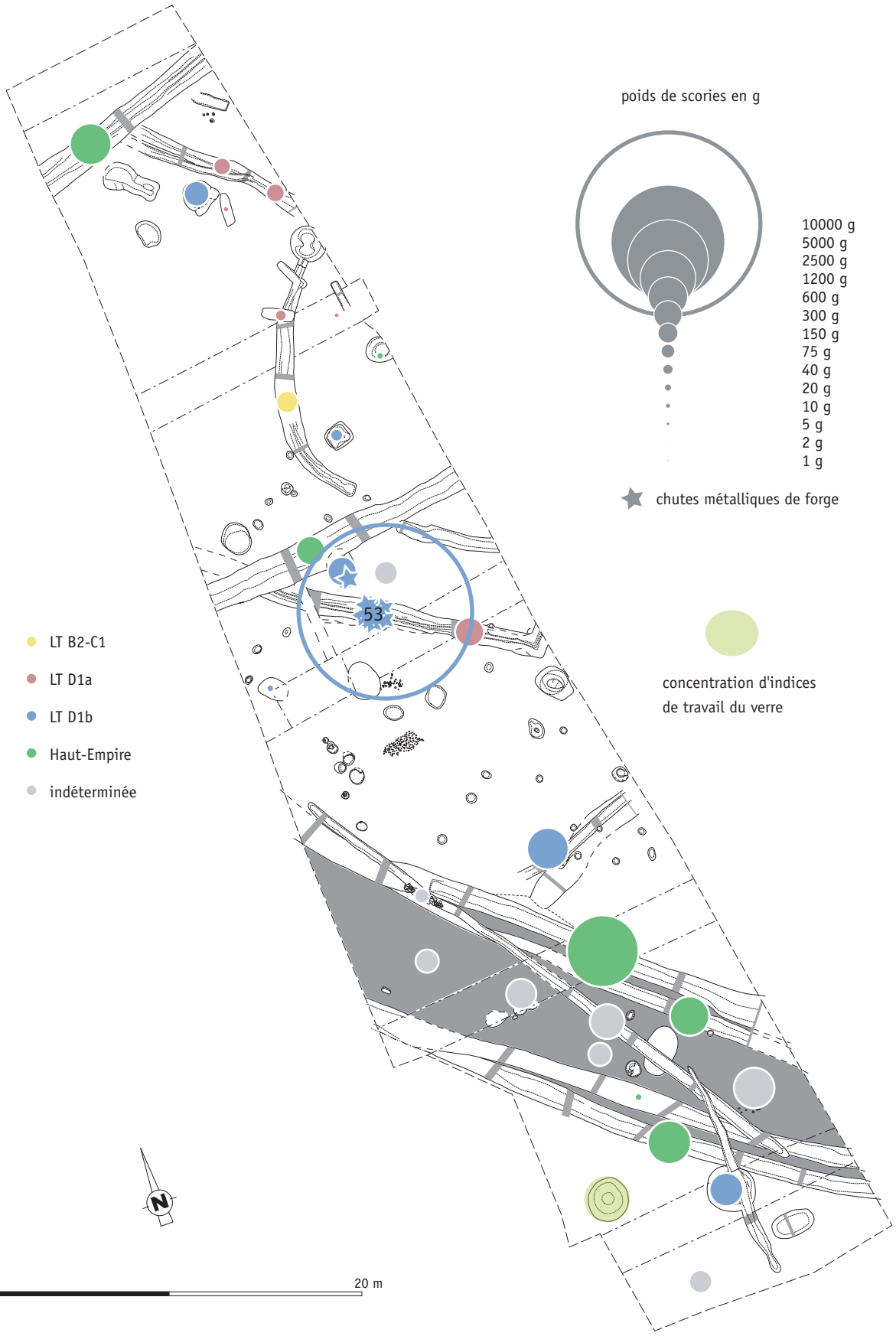


Figure 7 – Bobigny (Seine-Saint-Denis), « Le Stade de la Motte ». Plan du site et répartition phasée des déchets liés à la métallurgie du fer. [© Service départemental d'archéologie de Seine-Saint-Denis, modifié par S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » (fin LT/C2-LT/D1a)

Le site, fouillé en 2011 par Caroline Laporte-Cassagne du Service départemental d'archéologie du Val-d'Oise, s'étend sur une superficie de 2,5 ha qui couvre la surface de deux enclos successifs et leurs abords immédiats (TOUQUET LAPORTE-CASSAGNE, JOUANIN 2012).

Seul le second enclos a livré des restes d'activités sidérurgiques. Il est daté de la fin de La Tène C2 et de La Tène D1a, et se compose d'un double fossé parallèle qui délimite une aire de 6 500 m². De nombreuses structures internes dont trois bâtiments, plusieurs silos et d'autres fosses et trous de poteau viennent compléter l'ensemble.

Le mobilier récolté est abondant et caractéristique d'activités agropastorales et domestiques. Deux fosses attestent cependant des pratiques de repas festifs de type banquet.

Les activités sidérurgiques sont représentées par 1 836 g de déchets scoriacés et par 8 chutes métalliques dont deux fragments de demi-produit (**figure 8**).

Louvres « Le Vieux Moulin » (LT/D1a)

Le site, fouillé en 1997 par Diane Casadei (Afan), est un vaste établissement de plus de 15 000 m² composé de deux enclos principaux emboîtés et reliés par des fossés annexes (CASADEI, LECONTE 2000). Le reste des structures d'habitat se compose de fosses, de silos et de bâtiments sur poteaux, répartis à la fois à l'intérieur et à l'extérieur des enclos. L'occupation du site semble relativement courte sur la durée d'une génération à La Tène D1a. La structuration du site et le mobilier découvert attestent une certaine aisance des occupants de cette ferme.

La présence d'un seul et unique culot de forge pesant 148 g et provenant du comblement du fossé de l'enclos central atteste une activité de forge, mais son caractère unique ne permet d'envisager au mieux que la présence d'un artisan de façon momentanée.

Roissy-en-France « Le Château » (LT/B2)

L'occupation datée de La Tène B2 de Roissy-en-France n'est illustrée que par 5 silos répartis sur une superficie décapée de moins de 1 600 m² (SÉGUIER *et alii* 2008). Malgré la grande modestie de l'ensemble, les informations issues de ces fouilles sont remarquables et apportent une documentation inédite sur la transition entre le IVe et le IIIe siècle en Plaine de France, notamment concernant les habitats des élites sociales qui se sont fait inhumer dans les tombes fastueuses de Roissy ou du Plessis-Gassot. En effet, la richesse et la diversité du mobilier illustrent un établissement prospère aux activités diversifiées. Même si l'activité est principalement orientée vers l'agriculture et l'élevage, des restes illustrent également les productions quotidiennes (textile, cuir) tandis que d'autres attestent de productions plus spécialisées. La présence d'armement et des restes de pratiques rituelles viennent illustrer la composante guerrière et religieuse de cette communauté.

Le mobilier lié à la métallurgie du fer est très réduit mais atteste tout de même la présence de cette activité à proximité à cette période, en lien avec le travail des alliages cuivreux. Il s'agit de deux fragments de parois scorifiées (46 g) et de deux fragments de culot de forge (64 g).

Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger » (LT/C1-LT/D1)

Le site de Villiers-le-Bel, faisant par ailleurs l'objet d'un article monographique dans ce volume, englobe une surface de 16 500 m² et est occupé dès La Tène ancienne et jusqu'au début de La Tène finale. Pour La Tène ancienne, le site est caractérisé par la présence de silos disséminés sur la surface du décapage. À la transition entre La Tène ancienne et moyenne, l'occupation n'est pas plus dense et se réduit à quelques fosses

Figure 8 – Le Mesnil-Aubry (Val-d'Oise), « Le Bois Bouchard IV ». Plan du site et répartition phasée des déchets liés à la métallurgie du fer. [© Sdavo, modifié par S. Bauvais, CEA / Cnrs]

détritiques dont le mobilier semble lié à une occupation domestique. À la fin de La Tène C1, un enclos trapézoïdal s'implante et semble durer jusqu'à La Tène D1. Des pratiques de consommation collective et de dépôts à caractère symbolique suggèrent que cet habitat revêt un statut particulier. Les activités de forge sont attestées au cours de cette occupation par 2 042 g de scories (131 fragments) et quelques chutes métalliques (**figure 9**).

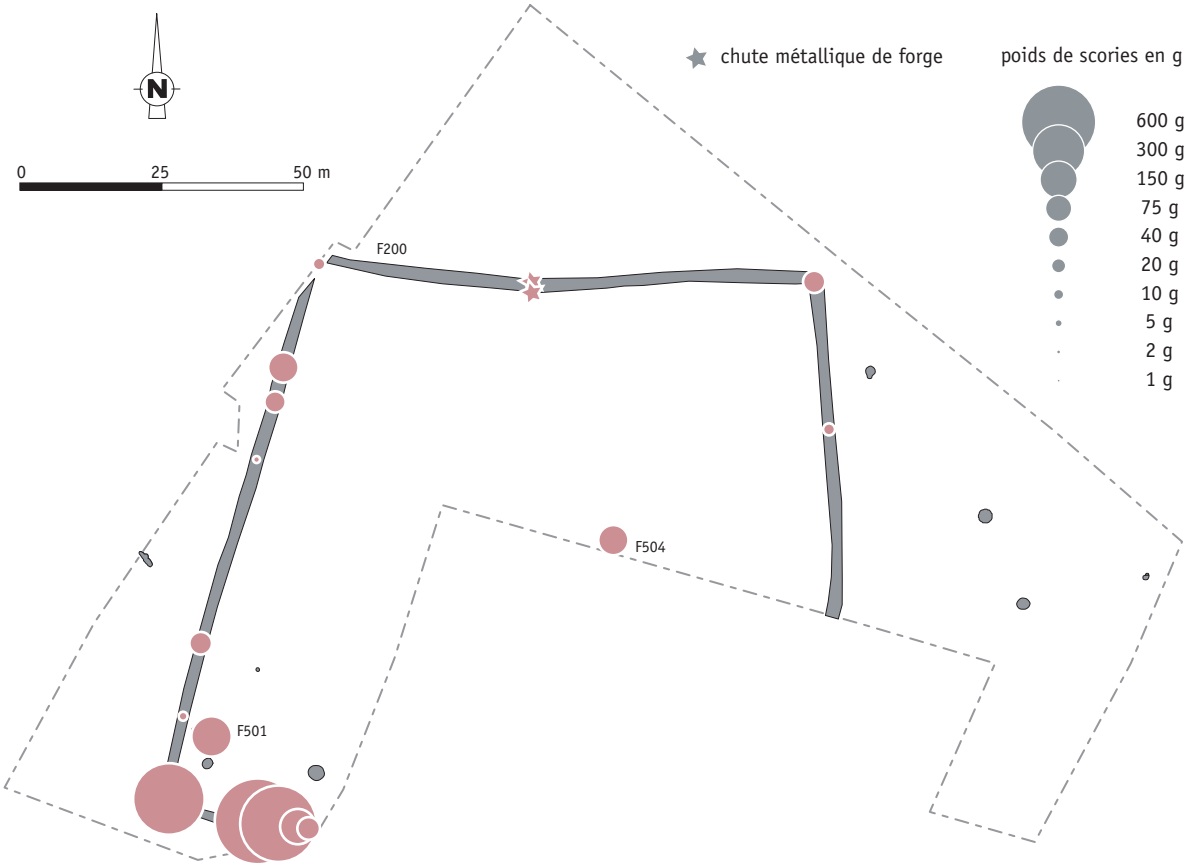


Figure 9 – Villiers-le-Bel (Val-d'Oise), « Rond-Point du Verger ». Plan du site et répartition phasée des déchets liés à la métallurgie du fer. [© Sdavo, modifié par S. Bauvais, CEA / Cnrs]

INTERPRÉTATION ET CLASSIFICATION DES PRODUCTIONS

Cet article propose d'aborder trois points fondamentaux dans l'interprétation des activités sidérurgiques d'un site de post-réduction à l'âge du Fer.

Les deux premiers sont d'ordre qualitatif. Il s'agit de caractériser la production à travers des études paléométallurgiques et de déchiffrer l'organisation et la spécialisation de cette production à l'échelle du site archéologique (présence d'atelier ou d'outils spécialisés, organisation spatiale). L'aspect quantitatif est également primordial à travers l'évaluation de l'intensité du travail réalisé sur chacun des sites.

Les études paléométallurgiques

Tout d'abord, comme la présentation des sites a pu le montrer, les seules activités sidérurgiques présentes dans ce secteur sont liées à la mise en forme du métal en forge (post-réduction). Aucune activité de production primaire du fer à partir du minerai n'est

attestée (réduction). Pour ce qui est de la présentation des différentes étapes de la chaîne opératoire et de leurs déchets caractéristiques, nous renvoyons à l'importante bibliographie sur le sujet (FLUZIN *et alii* 2000 ; SERNEELS, PERRET 2003 ; MANGIN 2004 ; BAUVAIS 2008).

Ainsi, seules des activités de forge sont présentes. Le métal parvient aux établissements sous la forme de demi-produits plus ou moins compacts. C'est justement la forme sous laquelle le métal est acquis qui va ici nous permettre de replacer le site dans un réseau d'acquisition / redistribution du métal. La séparation habituelle entre les activités d'épuration-compactage de produits métalliques bruts et celles d'élaboration de produits finis n'a de sens que dans un schéma technique simplifié. En réalité, cette chaîne opératoire est beaucoup plus morcelée. Les interruptions de séquences peuvent intervenir à différents stades, matérialisés par des produits intermédiaires : les demi-produits. Un demi-produit peut circuler sous une forme encore grossière (épuration incomplète) et n'être mieux épuré qu'au cours d'une séquence de travail plus avancée, sur le lieu d'élaboration d'un objet. De la même manière, une épuration peut se prolonger jusqu'à l'obtention d'une ébauche d'objet qui sera acheminée vers un autre lieu pour ses finitions... Les demi-produits peuvent donc circuler sous de multiples états morphologiques et structuraux (qualité). Les artisans acquièrent ces produits suivant leurs besoins, et bien entendu leurs moyens. C'est sur ce point que l'on peut aborder l'organisation d'une production à une échelle régionale. Bien sûr, il est peu commun de retrouver ces demi-produits en contexte d'atelier hormis dans de très rares cas, et généralement sous une forme fragmentaire. Ces états morphologiques et structuraux peuvent alors être abordés grâce aux différentes chutes métalliques d'élaboration (qui ont elles-mêmes subi une mise en forme et donc une nouvelle compaction), mais aussi grâce aux pertes métalliques retrouvées (ou non) dans les scories de forge (BAUVAIS *et alii* 2007). C'est ainsi l'assemblage des déchets qui permet d'attribuer à un site un type d'activité.

Étude macrographique des déchets de post-réduction

Ici encore, nous renvoyons à la littérature abondante quant aux détails de la typologie des déchets de post-réduction.

Nous rappellerons tout de même que, schématiquement, quatre types de déchet peuvent être engendrés lors d'une activité de post-réduction. Les battitures, les déchets métalliques, les déchets scoriacés et les scories magnétiques, ces dernières étant composées en partie de métal et en partie de scorie.

La scorie de forge peut être composée de trois types de matériaux, indépendamment des catégories morphologiques (ANDERSON *et alii* 2003). Une première catégorie de matériau est nommée SAS pour Scorie Argilo-Sableuse (contient environ 15 % d'oxyde de fer). Une deuxième catégorie est appelée SGD pour Scorie Grise Dense (contient environ 45 % d'oxyde de fer). Et enfin une troisième catégorie est nommée SFR pour Scorie Ferreuse Rouillée (contient environ 60 % d'oxyde de fer).

Ensuite, suivant le type de perte de matériau et les conditions de formation de la scorie dans le foyer, plusieurs catégories morphologiques de scorie peuvent se former.

Les culots sont les déchets scoriacés les plus caractéristiques d'une activité de forge. Un culot est une scorie de section plano-convexe qui se forme, sous l'arrivée d'air, au point le plus chaud du foyer de forge (SERNEELS, PERRET 2003 ; MALRAIN *et alii* 2010).

Les culots résultent des activités de forge réalisées soit en une seule séquence de chauffe du foyer, soit entre deux curages, qui deviennent nécessaires quand le forgeron est gêné dans la conduite de son travail. Ainsi, ces culots contiennent tous les éléments introduits au cours d'une durée maximale d'une journée.

Toutefois, certains petits nodules de scorie (quelques cm^3) peuvent se former en périphérie du culot et ne pas s'agglomérer à celui-ci. Il s'agit des scories informes. Elles ne sont pas agrégées, soit du fait de la faible quantité de pertes lors de l'activité, soit parce

qu'elles se trouvent trop éloignées du culot en formation. Leur petite taille, leur aspect fragmentaire ainsi que les conditions périphériques et sporadiques de leur formation n'en font pas des éléments pertinents pour l'analyse de la chaîne opératoire. Leur proportion peut tout de même apporter des indications importantes sur l'intensité des activités réalisées.

Enfin, au cours de chacune des étapes de post-réduction, des chutes métalliques sont engendrées, volontairement ou non, et permettent d'informer directement le degré de compaction du métal mais aussi la morphologie, voire le type d'objet travaillé. Malheureusement, lors de l'activité d'un forgeron, les pertes vont être les plus réduites possibles et, pour l'âge du Fer, les chutes métalliques sont extrêmement rares.

La **figure 10** fait la synthèse des déchets sidérurgiques retrouvés sur les sites inventoriés. Une très grande différence existe entre les sites. Les quantités de scories vont de quelques culots à plus d'une centaine, et de quelques dizaines de grammes à presque 20 kg. Ces différences quantitatives sont assurément issues de différences de pratiques et d'intensité d'activité.

COMMUNE / SITE	PAROIS		CULOTS		SCORIES INFORMES		ROGNONS MAGNÉTIQUES		CHUTES MÉTALLIQUES		TOTAL	
	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)
Bobigny « Hôpital Avicenne, Radiothérapie »	115	1034	92	14028	639	2541	1	32	6	73	**853**	**17708**
Bobigny « La Vache à l'Aise »	63	386	50	12691	200	1222	2	32	0	0	**315**	**14331**
Bobigny « Le Stade de la Motte »	52	249	130	12251	1437	5069	9	72	56	477	**1684**	**18118**
Bobigny « Hôpital Avicenne, Hospitalisation »	5	8	45	8192	240	1027	0	0	14	232	**304**	**9459**
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	83	242	11	1184	172	410	0	0	8	553	**274**	**2389**
Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger »	11	63	12	1544	64	287	2	80	3	68	**92**	**2042**
Bobigny « Hôpital Avicenne, Cuisines »	6	42	12	1968	12	42	2	29	0	0	**32**	**2081**
Fontenay-en-Parisis « La Lampe »	52	622	9	853	37	362	1	26	0	0	**99**	**1863**
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III »	0	0	2	221	2	36	0	0	0	0	**4**	**257**
Louvres « Le Vieux Moulin »	0	0	1	148	0	0	0	0	0	0	**1**	**148**
Roissy-en-France « Le Château »	2	46	2	64	0	0	0	0	0	0	**4**	**110**

Figure 10 – Synthèse des déchets sidérurgiques retrouvés sur les sites inventoriés.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Les analyses métallographiques

Les analyses métallographiques consistent à étudier, à l'aide d'un microscope optique, une section polie réalisée au sein de déchets métallurgiques sélectionnés à l'issue de l'examen macroscopique.

Les scories et les objets métalliques ne suivent pas exactement le même protocole d'étude.

Pour les scories, la méthode d'analyse métallographique des scories employée dans cette étude exploite les lois de la thermodynamique (BAUVAIS 2007). Elle permet d'identifier la nature (chimique et minéralogique) et la morphologie des phases constitutives de la scorie (cristallines ou amorphes) dont la texture illustre les conditions de formation. Elle informe sur les éléments employés lors de sa formation et en partie perdus dans le foyer lors de l'activité qui l'a engendrée (perte en métal – fragments, billes ou filaments –, scorie, oxydes, sable, battitures, argile, charbon de bois, cendres, adjuvants, etc.) et sur la conduite des procédés pratiqués par le forgeron (rapport oxydation / réduction, températures et durée de chauffe ; FLUZIN 2002). Les culots sont les scories de forge analysées en priorité car ils contiennent tous les éléments perdus successivement dans un foyer de forge entre deux curages. Ces pertes caractérisent une succession cohérente de séquences techniques qui permet de restituer les grandes lignes de la chaîne opératoire.

Pour les chutes et objets métalliques, l'objectif est ici d'établir la qualité des matériaux, d'évaluer de manière qualitative la composition chimique (fer / carbone / phosphore) ainsi que de reconnaître les techniques de fabrication employées lors de sa mise en forme (mise en évidence de soudures etc. ; GALILI *et alii* 2015).

Échantillonnage

L'échantillonnage des déchets ou objets analysés dépend de la composition et du degré d'homogénéité de chaque corpus. Pour les culots de forge, un grand nombre de critères descriptifs ont été utilisés afin de créer une typologie propre intégrant les particularités de chaque site, et rendant compte d'une disparité ou d'une standardisation dans la production de déchets. Ainsi, un système s'appuyant sur des familles morphologiques a été privilégié en prenant en compte les convergences de critères. Les critères retenus pour la description macrographique se répartissent en cinq catégories : la morphologie générale, le matériau, l'aspect et la texture des surfaces, les inclusions et les nuances de couleur.

Les chutes métalliques étant rares dans ce cas, le parti a été pris d'en étudier le plus grand nombre possible. La **figure 11** présente les choix opérés sur chacun des sites. Il s'agit au final de 33 échantillons de scorie et 8 métalliques.

COMMUNE	SITE	NB DE FAMILLES DE CULOT	ÉCHANTILLONNAGE	
			Culot	Métal
Bobigny	« Hôpital Avicenne, Cuisines »	1	0	0
Bobigny	« Hôpital Avicenne, Hospitalisation »	4	4	1
Bobigny	« Hôpital Avicenne, Radiothérapie »	3	5	4
Bobigny	« La Vache à l'Aise »	6	6	0
Bobigny	« Le Stade de la Motte »	5	8	0
Bonneuil-en-France	« Déviation RD84 »	/	/	0
Fontenay-en-Parisis	« La Lampe »	2	2	0
Le Mesnil-Aubry	« Le Bois Bouchard III »	4	4	3
Le Mesnil-Aubry	« Le Bois Bouchard IV »	1	0	0
Louvres	« Le Vieux Moulin »	1	1	0
Roissy-en-France	« Le Château »	1	0	0
Villiers-le-Bel	« Rond-Point du Verger »	4	3	0
		Total	***33***	***8***

Figure 11 – Récapitulatif des échantillonnages opérés sur chacun des sites.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Présentation des résultats

Afin de synthétiser au mieux les résultats des analyses métallographiques, ceux-ci seront présentés sous la forme de tableaux (**figures 12-13**).

Bobigny « La Vache à l'Aise »

En l'absence d'indice métallique de travail en forge, seules les scories peuvent apporter des données sur le métal travaillé. Aucun fragment métallique n'est attesté dans les culots ; il ne s'agit que de petites billes sous la forme de chapelets ou même de filaments. Il est donc possible d'avancer l'interprétation d'un travail de métal bien compacté et composé au moins en partie d'acier.

Les indices issus des examens métallographiques révèlent qu'une partie des activités de ce site était orientée vers la production d'objets de grande taille (masse exceptionnelle des culots, présence de nombreuses et larges battitures globulaires et plates, chauffes intenses et oxydantes).

Deux des culots analysés présentent une forte proportion de scorie argilo-sableuse. Dans ces cas, les ajouts seraient davantage une protection des pièces contre la réoxydation à chaud et les pertes. Pour deux autres culots, la présence d'argilo-sableux est liée à des indices d'activité de soudure.

Enfin, la présence, dans un même rejet de scories de forge, de charbons, de cendres, d'os brûlés et de chevilles osseuses de cornes de bovidés est un indice possible d'activités de cémentation (durcissement volontaire du métal par diffusion du carbone dans la masse).

Bobigny « Hôpital Avicenne » secteur Radiothérapie

Les pertes métalliques contenues dans les culots sont réduites et uniquement composées de petites billes et de chapelets liés à un métal qui a brûlé (chauffe trop intense du métal qui fait brûler le carbone de l'acier et disloque sa surface). De plus, les chutes métalliques analysées possèdent une qualité inclusionnaire de bonne à excellente. Ainsi, le métal travaillé semble avoir été d'une propreté inclusionnaire initiale relativement bonne (barre à douille notamment).

La microstructure des pertes de billes et de filaments de ferrite dans les culots tend à interpréter le métal travaillé comme étant au moins en partie aciéré. Pour la barre à douille AVI 568/4, il s'agit de l'hétérogénéité initiale de la masse brute de fer qu'un intense corroyage a structurée en plages successives. Pour AVI 604/10, au moins un repli du métal sur lui-même a achevé d'homogénéiser la structure. Enfin, la chute de découpe de barre AVI 477/18 possède une composition plus aciérée en périphérie qui diminue jusqu'à de la ferrite au centre et pourrait être liée à une cémentation volontaire. Le métal est compact dans les trois cas ; seule la scorie magnétique AVI 701-SM comporte de nombreuses porosités et des replis. Néanmoins, sa forte réoxydation périphérique et l'absence de scories dans ses porosités semblent indiquer qu'il s'agissait initialement d'une pièce métallique mise en forme mais qui s'est déstructurée dans le foyer de forge.

Les culots offrent une forte disparité dans la complexité des chaînes opératoires réalisées. Ils se caractérisent par une forte proportion d'ajout argilo-sableux, et pour certains, la présence de battitures billes dans leur matrice peut signifier qu'ils ont été partiellement formés lors d'une activité de soudure.

Bobigny « Hôpital Avicenne » secteur Hospitalisation

Seules de petites pertes métalliques en forme de billes et filaments sont présentes dans les culots et se composent naturellement de ferrite. Il est très probable qu'il s'agisse de fragments d'acier qui se sont décarburée en tombant dans le foyer. Ainsi, une partie du métal peut avoir été au moins légèrement carburée.

L'échantillon métallique AVI 1999-2 est de composition hétérogène et atteste le travail d'un métal à la fois ferritique et légèrement aciéré. Sa structure révèle un litage entrecoupé de lignes d'inclusions issues de son homogénéisation par corroyage, et son

N° INV	TYPE	COMPOSITION MACRO DE COUPE (%)						BATTITURES			LE MÉTAL		
		Fay.	A.S.	Métal	Por.	Batt.	Roche	Billes	Glob.	Plates	Morphologie	Composition	Propreté inclus.
AVI Hospi 030	Culot entier	79	6	0	15	0	0	/	***	/	Rares petits frgts et billes	Ferrite	/
AVI Hospi 049	Culot entier	61	16	0	22	0	1	*	**	/	Rares très petites billes	Ferrite	/
AVI Hospi 051	Culot entier	71	13	0	16	0	0	/	**	/	Fragments et filaments épars réoxydés	Ferrite	/
AVI Hospi 053	Culot entier	45	37	0	10	1	7	*	***	*	Billes réoxydées	Ferrite	/
AVI Radio 002	Culot entier	75	0	6	15	3	1	/	*	*	Petits fragments et billes	Ferrite	/
AVI Radio 012	Culot entier	50	31	0	14	0	5	*	***	/	/	/	/
AVI Radio 014	Culot entier	65	22	0	13	0	1	/	*	*	Nombreuses billes et fragments	Ferrite	/
AVI Radio 017	Culot entier	49	41	0	7	0	3	*	***	/	Fragments	Ferrite	/
AVI Radio 034	Culot entier	75	15	0	10	0	0	/	/	*	Chapelets de billes	Ferrite	/
AVI Radio 701	Scorie magn.	/	/	/	/	/	/	/	*	/	Billes et gros fragment hétérogène	0,5-0,8 % C	> 25 %
SDM 004	Culot entier	63	27	0	10	0	0	/	**	*	Chapelets de billes non réoxydées	Ferrite	/
SDM 007	Culot entier	77	4	0	13	0	6	/	***	***	Billes et chapelets de billes	Ferrite	/
SDM 015	Culot entier	72	14	2	11	0	1	/	**	*	Chapelets oxydés et corrodés	Ferrite	/
SDM 016	Culot entier	49	13	29	9	0	0	**	***	*	Fragments et billes	0,02-6,67 % C	Variable
SDM 022	Culot entier	69	15	0	16	0	0	/	**	*	Petites billes	Ferrite	/
SDM 042	Culot entier	86	0	0	10	0	3	**	***	***	Fragmens parfois brûlés et billes	0,02-0,1 % C	5 à 10 %
SDM 047	Culot entier	71	14	0	8	0	8	*	*	***	Petits chapelets	Ferrite	/
SDM 048	Culot entier	48	37	0	14	0	1	/	*	**	Chapelets et billes corrodées	Ferrite	/
VAC 009	Culot entier	64	22	0	9	0	5	/	**	***	Quelques semis épars	Ferrite	/
VAC 011	Culot entier	87	4	0	8	0	1	/	**	**	Petits semis	Ferrite	/
VAC 012	Culot entier	54	28	0	8	0	10	**	**	**	Petites billes	Ferrite	/
VAC 015	Culot entier	76	8	0	10	3	3	**	**	/	Billes, filaments et semis	Ferrite	/
VAC 019	Culot entier	72	0	0	28	0	0	/	***	/	Très petites billes	Ferrite	/
VAC 027	Culot entier	78	7	0	15	0	0	/	***	/	Chapelets oxydés et corrodés	Ferrite	/
FLL 002	Culot entier	27	46	0	16	11	0	/	***	***	/	/	/
FLL 005	Culot entier	23	24	0	39	14	0	/	**	*	/	/	/
LMA 001	Culot entier	53	19	0	24	4	0	*	**	*	Chapelets oxydés et corrodés	Ferrite	/
LMA 004	Culot entier	45	3	2	44	7	0	*	**	*	Chapelets oxydés et corrodés	Ferrite	/
LMA 005	Culot entier	30	44	0	25	2	0	/	*	*	/	/	/
LMA 007	Culot entier	39	34	0	21	4	0	*	**	*	Chapelets de billes non réoxydées	Ferrite	/
LMA 2007	Culot entier	39	22	1	25	12	0	/	**	*	Chapelets et billes corrodés	Ferrite	/
LVM 001	Culot entier	52	31	0	14	2	0	*	**	*	Chapelets oxydés et corrodés	Ferrite	/
VLB 003	Culot entier	31	47	3	31	4	0	/	*	/	Fragments, billes et filaments	Ferrite	10 à 15 %
VLB 006	Culot entier	36	0	1	27	37	0	*	***	**	Billes et filaments épars	Ferrite	/
VLB 008	Culot entier	25	54	0	21	1	0	/	*	/	/	Ferrite	/

Figure 12 – Synthèse des résultats des analyses métallographiques réalisées sur les scories des sites étudiés.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

LES OXYDES DE FER			LA SCORIE			PHASE DE LA CHAÎNE OPÉRATOIRE					STRATIFIÉ
Glob. de wust.	Dend. de wust.	Herc	Amorphe	Fay. en lattes	Fay. pav.	1re épur.	2nd épur.	Elab.	Finit°	Recyc.	
**	**	/	/	*	/	/	/	*	*	/	/
**	**	/	/	/	*	/	/	**	*	/	**
****	*	/	/	*	*	/	/	**	*	/	**
/	**	*	*	**	/	/	/	**	*	/	*
**	**	/	/	/	**	/	/	*	*	/	/
/	/	/	/	**	*	/	/	**	*	/	**
*	**	/	/	*	*	/	/	*	*	/	/
/	**	*	/	**	/	/	/	**	*	/	**
/	/	/	/	***	/	/	/	/	*	/	*
**	/	/	*	**	/	/	*?	**	/	*?	/
*	***	/	/	*	**	/	/	*	*	/	/
**	**	/	/	**	/	/	/	**	*	/	**
*	***	/	/	/	**	/	/	**	*	/	**
***	*	/	***	/	*	/	*?	**	/	*?	*
*	*	/	/	**	*	/	/	*	*	/	/
***	**	*	*	**	*	/	/	**	*	/	**
*	*	/	/	**	*	/	/	*	*	/	**
*	*	/	/	*	*	/	/	*	**	/	/
**	/	**	/	*	*	/	/	*	*	/	*
**	*	/	/	*	*	/	/	**	*	/	*
*	**	/	/	*	*	/	/	*	*	/	*
*	*	/	/	**	/	/	/	*	*	/	*
****	*	/	/	*	/	/	/	**	*	/	/
**	**	/	/	*	**	/	/	**	*	/	**
***	/	/	/	/	**	/	/	*	*	/	*
**	*	/	*	*	**	/	/	*	**	/	*
**	*	/	*	**	**	/	/	**	*	/	***
**	*	/	*	**	*	/	/	**	*	/	/
*	*	/	**	**	/	/	/	*	*	/	/
**	*	/	*	**	*	/	/	**	*	/	*
**	*	/	*	***	**	/	/	**	*	/	**
*	**	/	/	**	*	/	/	**	*	/	**
*	*	/	*	*	*	/	*?	*	**	*?	*
***	*	/	/	*	*	/	/	**	*	/	/
*	*	/	**	**	*	/	/	*	**	/	/

N° INV	TYPE	MORPHO.	COMPOSITION EN % DE SURFACE					TAUX DE CARBONE MOYEN	ÉCART TYPE	PROPRETÉ INCLUSIONNAIRE EN %	STRUCTURES FANTÔME DE P	CORROYAGE		SOUDURE			ÉCROUISSAGE	CÉMENTATION
			de 0,02 à 0,1 % de c	de 0,1 à 0,3 % de c	de 0,3 à 0,5 % de c	de 0,5 à 0,7 % de c	de 0,7 à 0,9 % de c					de martelage	par replis successifs	présence	ajout siliceux	soudures cémentées		
AVI Hospi 1999-2	Chute métal	Découpe de barre	34	18	22	17	9	0,32	0,43	7		■		■	■	■		
AVI Radio 477-18	Chute métal	Découpe de barre	9	33	13	33	11	0,42	0,26	1		■		■				
AVI Radio 568-4	Demi-produit	Découpe de barre à douille	72	18	10	0	0	0,12	0,11	2		■						
AVI Radio 604-10	Chute métal	Découpe de barre	10	37	30	23	0	0,34	0,18	2		■	■	■				
FLL 2116	Chute métal	Découpe de barre	100	0	0	0	0	0,06	0,00	4		■	■	■				
LMA 008 SD3	Chute métal	Découpe de barre	97	2	1	0	0	0,07	0,05	3		■	■	■				
LMA 144	Chute métal	Découpe de fer plat	100	0	0	0	0	0,06	0,00	4		■						
LMA 008 SD49	Chute métal	Soie de préhension	66	26	6	2	0	0,13	0,11	1		■	■	■				
LMA 125	Chute métal	Soie de préhension	70	7	11	10	3	0,18	0,21	1		■	■	■		■		
VLB 1518	Chute métal	Éclat	65	35	0	0	0	0,11	0,07	1		■						

Figure 13 – Synthèse des résultats des analyses métallographiques réalisées sur les chutes métalliques de forge des sites étudiés. [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

hétérogénéité de composition est liée à la masse de métal brut initiale. La qualité du métal peut également être abordée à travers la présence d'une barre à douille en général de très bonne propreté inclusionnaire.

Les activités d'élaboration d'objet réalisées sur le site semblent être très variables. L'examen des culots révèle à la fois un travail complexe d'enchaînement de procédés et un travail plus simple, constant, homogène, et réalisé à une température identique, relativement faible.

Certains culots révèlent également le travail plus particulier de gros objets avec de nombreuses pertes d'oxyde au feu.

Les culots de ce site présentent tous une petite part de matériaux argilo-sableux indiquant leur utilisation presque systématique (de 6 à 37 % dans les culots analysés). L'emploi d'ajout siliceux est également attesté par les inclusions amorphes de la ligne de soudure de la chute de barre AVI 1999-2.

Bobigny « Le Stade de la Motte »

Étant donné que les quelques fragments métalliques accessibles pour analyses étaient entièrement corrodés, seuls des éléments perdus dans les culots peuvent nous renseigner quant à la qualité du métal travaillé sur le site. La majorité des culots révèle des pertes faibles, sous la forme de billes et de filaments. Elles sont ferritiques mais doivent résulter de la brûlure d'un acier. Ainsi, le métal devait être au moins en partie aciéré. De plus, le métal devait être d'une qualité inclusionnaire au moins de moyenne à bonne pour qu'il n'ait pas engendré de pertes plus volumineuses au cours de son compactage.

Le culot SDM 016 comporte quant à lui de nombreuses pertes sous forme de gros fragments et de petites billes et filaments (29 % de la coupe). La présence, sur plusieurs

fragments, de stigmates de martelage, avec des plans de frappe encore visibles et la très forte hétérogénéité de l'ensemble des fragments indiquent qu'ils sont plus vraisemblablement issus d'un travail de récupération de métal déjà travaillé. Des plages de fonte grise sont localement observables. Ceci peut être interprété comme résultant d'un accident au cours d'une agglomération à chaud de fragments de métal ; la température de liquéfaction aurait été alors localement dépassée.

La qualité du métal travaillé dans ce contexte semble alors initialement bonne à très bonne mais une partie, issue d'un recyclage, peut être de qualité inférieure.

Cette activité de recyclage est également attestée par la récupération d'objets destinés à servir de nouvelle « matière première ». C'est le cas d'une lame qui a servi, au même titre que d'autres demi-produits, à l'obtention de petites tiges. Ce recyclage est peut-être à relier aux fragments de fourreau de La Tène B2.

Une proportion importante des culots possède une très forte stratification interne attestant un enchaînement complexe d'activités.

L'hypothèse d'une production d'épées et de fourreaux peut également être avancée et découle de plusieurs constats, dont certains viennent d'être énoncés.

Le principal est la présence, dans un même ensemble, à la fois de chutes de découpes de tôle aux formes explicites mais aussi de petites découpes de tige. Ces éléments sont de plus liés à des déchets d'armes plus anciennes (tôle de fourreau LT / B2), et à un fabricat de pontet.

Dans cette même optique, la présence d'un raté de fabrication de fibule peut indiquer la production d'éléments de petite taille à partir d'un demi-produit de type barre à douille. Une partie des petits culots peut alors être attribuée à cette activité.

Fontenay-en-Parisis « La Lampe »

L'activité de forge du site n'est représentée que par deux culots et une chute métallique. Les culots sont totalement dépourvus de pertes métalliques : le fer n'est présent que sous la forme d'oxyde en de nombreux globules de wüstite. La structure de la chute de barre indique également que le métal travaillé est faiblement carburé.

Les culots sont riches en scorie argilo-sableuse, plaçant cette activité plutôt en phase finale d'élaboration. Néanmoins, la présence de soudures et d'un travail d'homogénéisation du métal par replis successifs dans la chute de barre pourraient indiquer que l'emploi d'ajout est associé à une activité de soudure.

Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III »

Seul un culot atteste la présence d'activité métallurgique sur ce site. Sa composition indique qu'il a été engendré par le travail en forge d'un métal plutôt aciéré (pertes de billes et de filaments métalliques) et d'une bonne propreté inclusionnaire. Les températures atteintes restent relativement faibles et maîtrisées (forte proportion de porosités) et l'emploi d'ajout est important. Cela se traduit par une scorie fayalitique comportant relativement peu de wüstite.

Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »

Les quatre culots et les quatre chutes métalliques étudiés mettent en évidence la pratique d'une large gamme d'activités. Globalement, le métal travaillé sur le site semble essentiellement ferritique et d'une excellente propreté inclusionnaire, si l'on en juge par les chutes métalliques. Néanmoins, certaines de ces découpes de barre révèlent des taux de carbone pouvant aller jusqu'à 0,3 %. De plus, les pertes métalliques dans les culots sous la forme de billes et de filaments indiquent qu'un acier plus carburé a brûlé au feu.

Les chutes métalliques indiquent également qu'une pratique de soudure est présente voire même celle d'un « pétrissage » du métal pour homogénéisation (succession d'étirements et de replis).

Parmi les culots de forge, certains révèlent une forte stratification indiquant un travail complexe tandis que d'autres sont très homogènes et riches en scorie argilo-sableuse.

Il semble ainsi que les activités pratiquées sur ce site soient variées.

Louvres « Le Vieux Moulin »

Un unique culot illustre l'activité de ce site. Il se caractérise par une stratification interne avec quelques pertes de métal sous la forme de billes et de filaments. Il se compose d'une première couche riche en oxydes de fer (wüstite) indiquant une oxydation plus forte du métal en début d'activité. Lui succède un niveau au faciès plus fayalitique dont la partie supérieure comporte quelques pertes de métal. Ce niveau est recouvert de scorie argilo-sableuse. Cette succession est typique du travail d'une pièce de métal de taille plutôt importante, depuis sa chauffe initiale, son travail en forge et la protection de l'objet fabriqué pour ses finitions.

Villiers-le-Bel « Le Rond-Point du Verger »

Les déchets d'activité de forge de ce site sont caractérisés par la forte proportion des pertes en fer, sous sa forme métallique et sous la forme d'oxydes. L'un des culots est très riche en pertes de métal très déstructuré avec d'importantes cavités et des replis. Cette structure hétérogène aurait pu être interprétée comme les résidus d'une activité de compactage d'une masse plus ou moins brute si les restes de surfaces rectilignes n'avaient pas été conservés en périphérie. Cela indique que la pièce métallique était déjà mise en forme avant de se disloquer dans le foyer de forge.

Les autres culots présentent de très larges plages de globules de wüstite, indiquant un travail de masse métallique plutôt important, avec une chauffe intense.

La chute métallique présente une microstructure faiblement aciérée associée à une propreté inclusionnaire excellente.

Approche qualitative des activités

La masse totale des résidus d'activités recueillie sur l'ensemble des sites du Bassin versant du Crould ne peut représenter fidèlement l'intensité des travaux de forge réellement exécutés sur la profondeur temporelle des occupations. Néanmoins, une méthode de classification des sites de forge, proposée pour le nord du Bassin parisien au second âge du Fer, permet de caractériser plus facilement la fonction d'un site (BAUVAIS 2007). Cette méthode se base sur la comparaison des assemblages métallurgiques caractérisant les sites, et sur l'intégration d'autres critères qualitatifs.

Les indices mobiliers

Le premier critère de cette typologie est basé sur des indices mobiliers, d'un point de vue qualitatif. Il prend en compte la présence d'éléments spécialisés au sein d'un atelier ou d'un site. Il s'agit des foyers et de leur typologie, des divers outils spécialisés et des formes d'organisation mis en évidence.

Les formes d'organisation interne que peuvent revêtir les activités d'un atelier de post-réduction ou d'un site producteur peuvent être multiples suivant leur intensité et leur vocation (spécialisation de la production et des individus, spécialisation du site et agglomération des activités). Ces critères vont impliquer une organisation spatiale particulière

qu'il est possible d'aborder à travers la répartition spatiale du mobilier sidérurgique et des structures d'atelier.

Dans l'ensemble, trois formes d'aménagement de l'espace artisanal se dégagent pour le nord du Bassin parisien au second âge du Fer :

- la première est caractérisée par une absence apparente d'organisation. La répartition des déchets sur le site est lâche, ne traduit pas de concentrations et l'absence de bâtiments alloués à la forge laisse davantage penser à des activités momentanées pouvant se répéter dans le temps et dans des lieux différents. Il faut avoir conscience qu'une activité de forge domestique et momentanée, liée par exemple à l'activité agricole d'une ferme, ne se déroule pas de façon constante et régulière à l'échelle d'une année. On y a recours lorsque la quantité de travail à réaliser est suffisamment importante pour justifier l'allumage d'un foyer et sa mise en température, action particulièrement coûteuse en charbon de bois. De plus, la présence d'un atelier construit, alloué à une activité domestique sporadique, est très rarement attestée. Cette phase de travail est donc plutôt « saisonnière » et peut se dérouler à divers emplacements à l'intérieur de l'espace habité ou même à distance de celui-ci, suivant les divers aménagements de l'espace qui ont été effectués entre deux périodes d'activité métallurgique. Les vestiges que ces activités laissent sont par conséquent très lâches. Le scenario impliquant le travail d'un artisan « itinérant » ou venant d'un autre habitat pour fournir ses services se traduit matériellement de la même façon ;
- la seconde est marquée par la présence d'une concentration particulière de mobilier ou par celle d'un bâtiment destiné à la forge. Cela indique la présence d'un espace de production particulier et durable. En effet, dans le cas d'une activité régulière, un atelier spécialisé est nécessaire afin de conserver le foyer et les ustensiles à l'abri des intempéries. L'activité va donc être circonscrite à un espace alloué ;
- la troisième représente une forme d'aboutissement de l'organisation, avec la mise en place de quartiers artisanaux, aux activités et aux localisations plus ou moins spécialisées.

Ainsi, il est possible de former trois groupes à partir de la présence ou de l'absence de ces critères sur les sites pris en compte (**figure 14**).

SITES	STRUCTURATION					POLYMÉTALLURGIE	FOYER DE FORGE	DEMI-PRODUIT	OUTIL SPÉCIALISÉ	CHUTES STANDARDISÉES	GROUPES
	Bâtiment spécialisé	Quartier artisanal	Multiple	Diffuse	Indéterminée						
Bobigny « Le Stade de la Motte »		?	X					1	1	X	1
Bobigny « Hôpital Avicenne, Radiothérapie »	?	?	X			X				X	
Bobigny « Hôpital Avicenne, Hospitalisation »		?	X					1			
Bobigny « Hôpital Avicenne, Cuisines »		?	X					1			
Bobigny « La Vache à l'Aise »		?	X					2			
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III »	?			X			1				2
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »				X				2			
Roissy-en-France « Le Château »				X		X					3
Fontenay-en-Parisis « La Lampe »				X		X					
Louvres « Le Vieux Moulin »				X							
Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger »				X							
Bonneuil-en-France « Déviation RD84 »					X			2	1		ind.

Figure 14 – Récapitulatif des indices mobiliers et immobiliers présents sur les sites.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Figure 15 – Bobigny (Seine-Saint-Denis), « le Stade de la Motte ». Déchets métalliques standardisés de mise en forme en forge. [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Le premier groupe, associé à la troisième forme d'aménagement, est représenté par les diverses fouilles réalisées au sein de l'agglomération de Bobigny. Le fait que l'ensemble des secteurs fouillés soit regroupé au sein d'un seul groupe renforce l'impression d'homogénéité du site mais aussi sa vocation métallurgique certaine. Pour ce groupe, c'est l'omniprésence des activités de forge et ainsi la possible présence de quartiers artisanaux spécialisés qui en font un cas particulier au sein du corpus. La présence de chutes standardisées au « Stade de la Motte » et à « Hôpital Avicenne » renforce l'impression de spécialisation des divers ateliers du site et par là même la forte structuration de l'ensemble (**figure 15**).

Le deuxième groupe se compose des deux sites du Mesnil-Aubry (« Le Bois-Bouchard III et IV »). L'un présente un foyer de forge, l'autre se caractérise par la présence de deux fragments de demi-produit (**figure 16**). Ces indices laissent envisager une activité plus pérenne, caractéristique de la seconde forme d'organisation.

Enfin, le troisième groupe se compose des sites de Roissy-en-France, Fontenay-en-Parisis, Louvres et Villiers-le-Bel. Il regroupe des sites à la structuration diffuse et pour lesquels aucun autre élément paléométallurgique autre que des scories n'est présent (première forme d'aménagement).

Le site de Bonneuil-en-France n'est pas classable en raison du manque de données sur sa structuration. En revanche, il semblerait appartenir au deuxième groupe si l'on considère la présence d'accumulation de scorie comme étant le rejet privilégié d'un atelier à proximité.

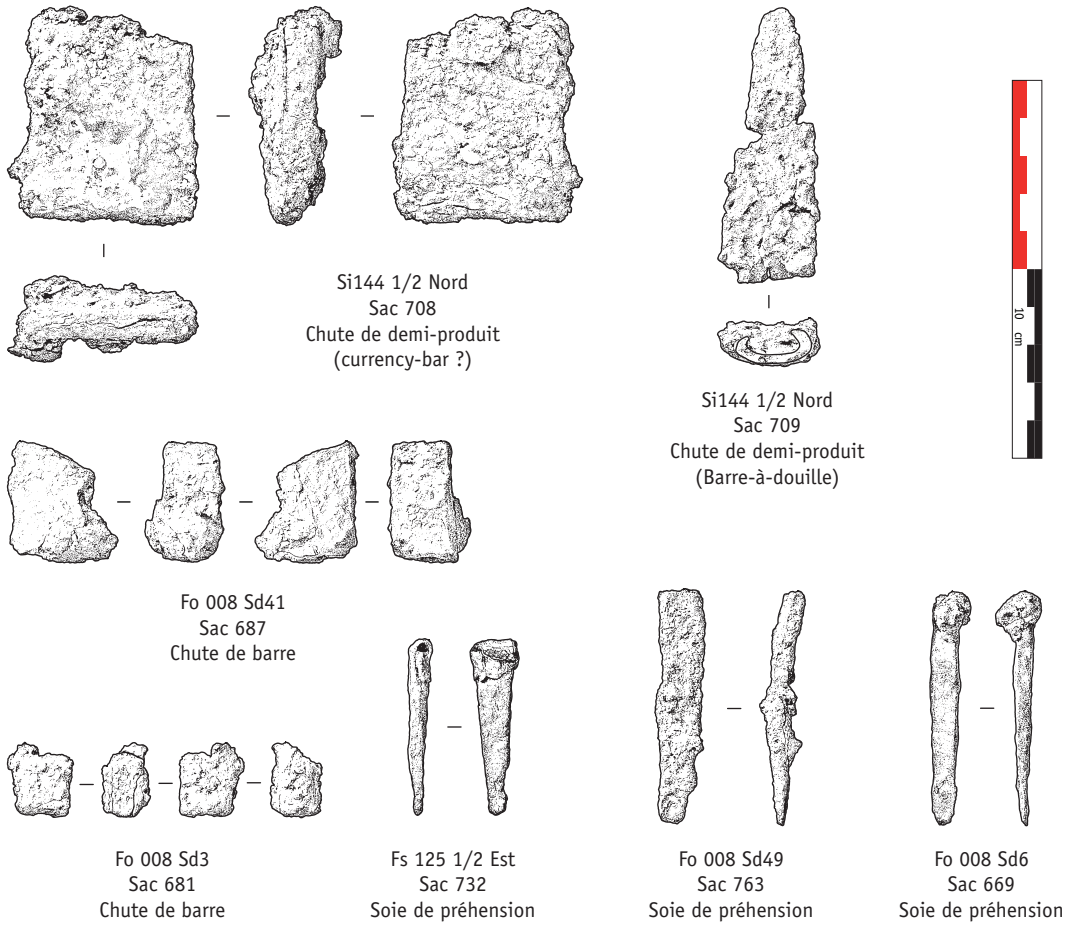


Figure 16 – Le Mesnil-Aubry (Val-d'Oise), « Le Bois Bouchard IV ». Déchets métalliques de forge.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Les indices technologiques : savoir-faire et apprentissage

Le deuxième critère s'appuie sur les données recueillies lors des examens métallographiques. L'ensemble des procédés qu'un forgeron peut détenir dans son « stock de connaissances » forme les composantes nécessaires à la mise en place de processus (enchaînement de procédés) de production. Chaque procédé ne réclame pas le même apprentissage, ni le même savoir-faire, ni la même pratique. Radomir Pleiner divise ces procédés en trois groupes (PLEINER 2006) :

- le premier qui regroupe ceux qu'il qualifie de simples et qui se caractérisent par un travail de forge à partir d'une pièce de métal unique (sans soudures), qu'elle soit de teneur plus ou moins importante en carbone ou de composition hétérogène. Il faut noter ici qu'une nuance peut être apportée en intégrant la difficulté du travail des aciers fortement carburés mais aussi celle d'une masse à la carburation fortement hétérogène. Il regroupe également dans cette catégorie les soudures simples d'acier à faible teneur en carbone. Ici encore, il est possible d'introduire une subdivision séparant ce procédé de ceux, plus simples, de mise en forme par martelage à chaud ;
- le second groupe représente les techniques dites avancées. Il s'agit des procédés thermochimiques (cémentation et carbonitruration) et les soudures fer / acier ;
- le troisième correspond à ceux qui, pour lui, sont dignes d'experts. Il s'agit davantage d'une complexité dans les enchaînements de procédés de natures variées, comme pour la fabrication de lames d'épées par damas d'assemblage.

À travers ces constats et diverses études ethnologiques, et en prenant en compte la pratique et la durée d'apprentissage, il est possible de présenter un tableau synthétique des différents procédés de forge en intégrant les savoir-faire nécessaires (**figure 17**). Ces derniers réclament également une certaine régularité dans leur mise en œuvre, afin de conserver l'adéquation entre connaissance et pratique, en un mot le savoir-faire.

En résumé, certains procédés demandent un ensemble important de connaissances issues d'un apprentissage long et perfectionnées à travers une activité très régulière. Celles-ci sont difficilement envisageables dans un contexte autre que celui d'un artisanat spécialisé. D'autres, plus « rudimentaires », peuvent être réalisés par des pratiquants occasionnels et ne peuvent être retenus comme le signe d'une spécialisation.

En confrontant les premiers résultats obtenus, neuf des sites étudiés peuvent être classés selon trois groupes de « savoir-faire et apprentissage » (**figure 18**). Le premier groupe ne comporte qu'un seul site, Bobigny « Le Stade de la Motte », au sein duquel sont développées des activités complexes de mise en forme de tôle et très probablement d'épée. Le deuxième groupe rassemble les sites mettant en place des techniques de soudures plus ou moins complexes, une homogénéisation du métal par replis successifs (pétrissage) et d'autres techniques plus spécifiques comme les traitements thermochimiques. Le troisième groupe rassemble les sites ne présentant que des activités de forge simples.

Le degré d'intégration dans le réseau d'acquisition / redistribution de la matière première

Le dernier critère est employé à replacer le site dans un réseau commercial qui sous-tend des relations de dépendances. La quantification et la qualité inclusionnaire des pertes de métal, en partie retrouvées dans les culots de forge ou sous la forme de chutes métalliques, corrélées à celles des demi-produits et des objets produits, peuvent donner une idée de la qualité du métal travaillé dans un atelier. Par conséquent, la qualité médiocre de certaines chutes métalliques reflète celle d'une partie des produits intermédiaires que les sites importent. En revanche les fragments de qualité supérieure ne sont pas forcément représentatives du métal acquis par l'atelier pratiquant la mise en forme des objets, car ce produit intermédiaire peut faire l'objet d'une épuration plus poussée au

sein de cet atelier. La qualité des demi-produits retrouvés est au contraire directement interprétable, sauf s'ils sont produits localement. Ceci peut être déterminé par l'examen des culots de forge. Ainsi, l'absence de pertes métalliques dans les culots de forge peut révéler un travail de métal déjà au moins grossièrement compacté et que nous considérerons comme une qualité inclusionnaire bonne (BAUVAIS, FLUZIN 2006).

Sachant que chaque qualité de demi-produit est le résultat d'une compaction réalisée précédemment, une qualité donnée de métal acquis par un site le place à l'intérieur d'un système d'acquisition / transformation / redistribution. Il est ensuite possible de donner une idée de la nature du métal qui circule et des différents degrés d'intégration des sites dans ce réseau. Quatre niveaux de sites se dégagent alors (**figure 19**) :

- Niveau 1 : les sites qui produisent ou importent des masses brutes de réduction et qui les épurent. Ils sont alors les producteurs d'autres demi-produits davantage transformés ou de produits manufacturés ;
- Niveau 2 : les sites importateurs de matière sous forme de demi-produits grossièrement compactés et qui les transforment ;
- Niveau 3 : les sites qui acquièrent la matière sous forme de demi-produits transformés pour une élaboration d'objet ;
- Niveau 4 : les sites consommateurs d'objets en fer.

L'ensemble des sites examinés dans le cadre de cette étude livre des indices de travail du fer à partir de demi-produits déjà bien compactés. Ainsi, ils interviennent tous au Niveau 3 (**figure 20**). Les propretés inclusionnaires supérieures à 10 % sont systématiquement liées à des accidents ou à des pratiques de recyclage.

Approche quantitative des activités

Comment apprécier les quantités de métal mises en forme dans un contexte donné ? Les conditions taphonomiques (conservation des niveaux d'occupation et des dépotoirs), différentes pour chaque site, empêchent l'application d'une démarche comparative reposant strictement sur des quantités absolues globales. Toutefois, une approche quantitative restreinte peut être développée sur les échantillons que constituent les assemblages des déchets scoriacés, ou les catégories de déchets comme les culots de forge. Si l'étude de ces assemblages ne permet pas de comparer les quantités de métal produites au cours de la durée totale d'activité de chaque atelier, elle offre néanmoins la possibilité de comparer des phases de cette activité. Enfin, il est possible d'émettre des hypothèses quantitatives en fonction des déchets retrouvés. Cette démarche, bien que fondée sur un corpus souvent partiel, est utilisée pour déterminer une quantité minimale de production.

Les indices d'intensité des séquences de travail

Ces indices informent sur l'intensité de l'activité au cours d'une séquence de travail. Cette intensité est liée à la quantité de pertes qu'elle engendre. Cette quantité de pertes est elle-même liée à la phase de la chaîne opératoire et à la durée de travail formant cette séquence (cette durée étant au maximum d'une journée, entre l'allumage et l'extinction du foyer de forge). Nous avons pu voir précédemment que le métal travaillé sur l'ensemble des sites étudiés est de compaction relativement identique (taux de compaction plutôt bon). Seules deux parcelles de Bobigny peuvent avoir accueilli des activités de travail de masses de métal moins compactées, engendrant donc des masses de scorie plus importantes.

Composition des assemblages

La composition des assemblages peut révéler diverses activités en fonction de la proportion entre culots et scories informes (**figure 21**). Il faut noter que le type de scorie le plus

TYPE D'ACTIVITÉ		SÉQUENCE DE TRAVAIL	SAVOIR-FAIRE ET APPRENTISSAGE NÉCESSAIRE		PÉRIODICITÉ
Épuration		De masse brute de fer	Moyenne à élevée	Proportionnel à la qualité d'épuration initiale de la masse. La composition fer/carbone joue également un rôle important	Moyenne
		De lopin grossièrement compacté	Moyenne à élevée		Moyenne
		Corroyage par replis successifs	Très élevée		Très régulière
Élaboration d'objets	Simple	Chauffe et martelage, découpe, polissage, affûtage…	Faible	Le savoir-faire va être fonction de l'épaisseur du métal travaillé, de sa compaction et de l'alliage fer/carbone	Faible
	Complexe	Chauffe et martelage, soudure, polissage, affûtage…	Moyenne		Moyenne
		Traitement thermique	Moyenne		Moyenne
	Experte	Chauffe et martelage, soudure fer/acier, polissage, affûtage…	Élevée à très élevée		Régulière à très régulière
		Traitement thermochimique	Élevée à très élevée		Régulière à très régulière
Entretien et recyclage	Entretien des outils (agricoles et domestiques)	Chauffe et martelage, polissage, affûtage	Faible		Faible
	Réparation et recyclage sommaire	Chauffe et martelage, découpe, polissage, affûtage	Faible		Faible
	Réparation complexe	Chauffe et martelage, découpe, soudure, polissage, affûtage	Moyenne à élevée		Moyenne à régulière
	Recyclage complexe	Agglométation du métal, corroyage en trousse	Élevée	Élevée	Moyenne à régulière

activité qui réclame de façon intrinséque une spécialisation
activité pouvant faire l'objet d'une spécialisation en fonction de l'intensité
activité de l'ordre du domestique (peut tout de même faire l'objet d'une spécialisation)

Figure 17 – Tableau synthétique des savoir-faire, de l'apprentissage et de la fréquence de travail nécessaires pour chaque activité. Sont également ajoutés les outils et les structures spécialisées *a minima* réclamées et les déchets associés. [© S. Bauvais, CEA/Cnrs]

DÉCHET D'ACTIVITÉ	OUTILLAGE MINIMUM	STRUCTURE D'ACTIVITÉ
Scories en culots comportant de nombreux fragments métalliques, scories en canal, petites scories coulées, « gromps », battitures billes	Maillet et billot de bois. Système de ventilation performant	Fourneau de réduction réutilisé ou foyer spécifique
Scories en culots avec quelque fragments métalliques, battitures billes et battitures plates	Pierres comportant des traces de percussions lancées et passives. Système de ventilation performant	Foyer spécifique ou polyvalent
Scorie en culot (forte proportion d'argilo-sableux : ajouts pour soudures), battitures billes, battitures plates	Outils de martelage et enclume performants afin d'obtenir des plats (marteau métallique, et enclume en pierre travaillée ou métal), tenailles métalliques, outils de découpe en métal avant replis (tranche). Système de ventilation performant	
Produit peu de déchets (battitures, chutes de découpes, scories informes, culots non systématiques)	Pierres comportants des traces de percussions lancées et passives, polissoirs et éguisoirs en pierre. Outils de découpe en métal (tranche), système de ventilation sommaire.	Ne réclame pas nécessairement de lieu ni de foyers spécifiques
Scorie en culot de types différents en fonction de la production (ajouts), chutes métalliques, battitures billes, battitures plates	Outils de martelage et enclume performants afin d'obtenir les formes nécessaires (marteau métallique, et enclume en pierre travaillée ou métal), tenailles métalliques, polissoirs et éguisoirs en pierre. Outils de découpe en métal (tranche). Système de ventilation performant	Foyer de forge polyvalent ou spécialisé
Battiture, argile cuite…	Bac de trempe	Foyer de forge
Scorie en culot de types différents en fonction de la production (ajouts), chutes métalliques, battitures billes, battitures plates	Outils de martelage et enclume performants afin d'obtenir les formes nécessaires (marteau métallique, et enclume en pierre travaillée ou métal), tenailles métalliques, polissoirs et éguisoirs en pierre. Outils de découpe en métal (tranche).Système de ventilation performant	Foyer de forge polyvalent ou spécialisé
Scories spécifiques (traces d'ajout et de mixtures), os et cornes brulées…	Système de ventilation performant	Foyer spécifique, « caisse »
Produit très peu de déchets (battitures et scories suivant l'intensité)	Pierres comportants des traces de percussions lancées et passives, polissoirs et éguisoirs en pierre, système de ventilation sommaire.	Ne réclame pas nécessairement de lieu ni de foyers spécifiques
Produit peu de déchets (battitures, chutes de découpes, éventuellement scories informes, culot suivant l'intensité)	Pierres comportants des traces de percussions lancées et passives, polissoirs et éguisoirs en pierre. Outils de découpe en métal (tranche), système de ventilation sommaire.	
Scorie en culot (forte proportion d'argilo-sableux : ajouts pour soudures), chutes de découpes, battitures billes, battitures plates	Outils de martelage et enclume performants (marteau métallique, et enclume en pierre travaillée ou métal), tenailles métalliques, polissoirs et éguisoirs en pierre. Outils de découpe en métal (tranche), système de ventilation performant	Foyer de forge
Scorie de fond de foyer très métallique et très oxydée	Système de ventilation performant	Foyer de forge adapté, foyer spécifique

COMMUNE / SITE	PHASES DE LA CO						POLYMÉTALLURGIE	CORROYAGE		SOUDURE			TÔLE	AJOUTS	CYCLAGE THERMIQUE	TREMPE	TRAITEMENT THERMO-CHIMIQUES	STRATIFICATION DES CULOTS	INTERPRÉTATION DE LA PRODUCTION
	Épuration 1	Épuration 2	Élaboration	Finition	Entretien	Recyclage		Par replis	En trousse	Simples	Fer / acier	Cémentée							
Savoir-faire et apprentissage : 1 - Élevée																			
Bobigny « Le Stade de la Motte »			■	■	■	■				■			■	■	■			■	Production d'objets variés. Possiblement épées et tôles de fourreaux
Savoir-faire et apprentissage : 2 - Moyen																			
Bobigny « La Vache à l'Aise »			■	■	■		■			■					■		■	■	Production de pièces plutôt volumineuse et cémentation
Bobigny « Hôpital Avicenne, Radiothérapie »			■	■	■		■	■		■	■			■	■			■	Production d'objets variés
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »			■	■	■			■		■		■		■	■			■	Production d'objets variés
Fontenay-en-Parisis « La Lampe »			■	■	■		■	■		■									Production d'objets variés
Savoir-faire et apprentissage : 3 - Faible																			
Bobigny « Hôpital Avicenne, Hospitalisation »			■	■	■	■				■				■				■	Production d'objets variés
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III »			■	■	■					■					■			■	Production d'objets variés
Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger »			■	■	■	■								■					Production d'objets variés dont des objets volumineux et recyclage
Louvres « Le Vieux Moulin »			■	■	■										■			■	Production d'objets variés

Figure 18 – Tableau synthétique des processus mis en œuvre sur les sites étudiés. Trois catégories de sites se dégagent, suivant le savoir-faire nécessaire aux activités réalisées. [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

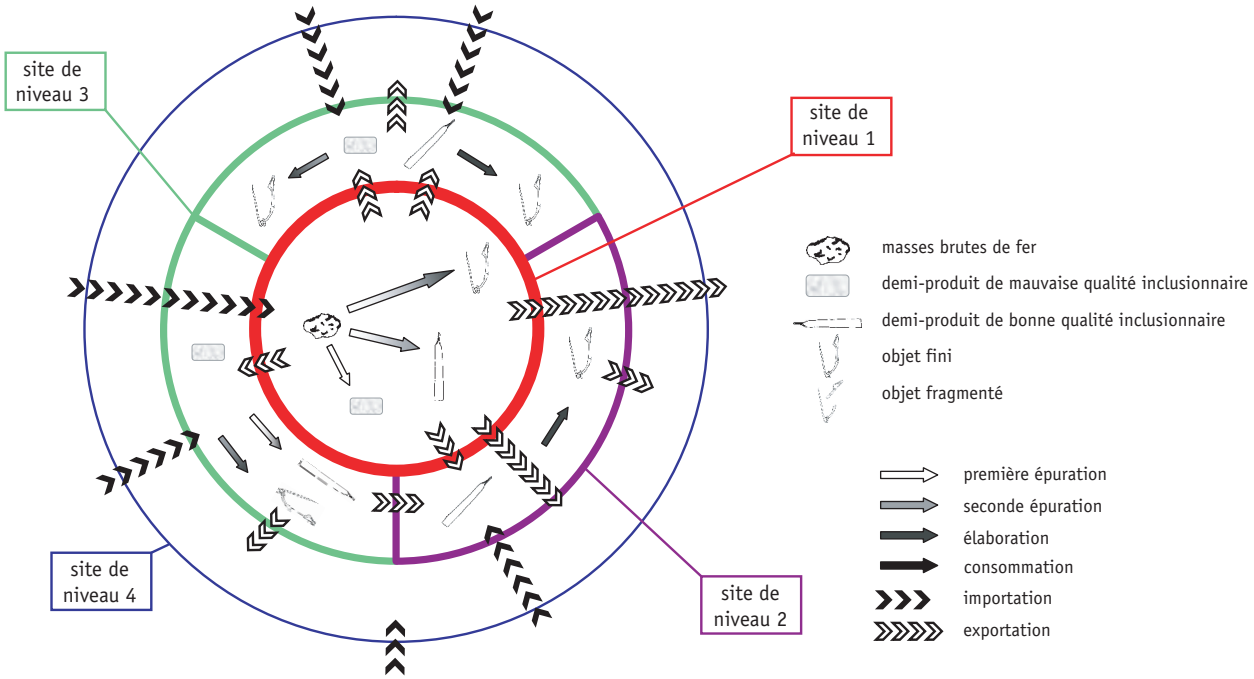


Figure 19 – Niveaux d'intégration dans les réseaux d'acquisition / redistribution du métal : représentation schématique des relations possibles entre chacun des niveaux à l'intérieur d'une microrégion. [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

COMMUNE / SITE	COMPOSITION			QUALITÉ INCLUSIONNAIRE					NIVEAU
	Fer	Acier doux	Acier	> 25 %	15-25 %	10-15 %	5-0 %	0-5 %	
Bobigny « Le Stade de la Motte »								?	3
Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger »		?							
Bobigny « La Vache à l'Aise »			?			?		?	
Bobigny « Hôpital Avicenne, Hospitalisation »						?		?	
Bobigny « Hôpital Avicenne, Radiothérapie »						?			
Fontenay-en-Parisis « La Lampe »		?					?		
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »							?		
Louvres « Le Vieux Moulin »		?					?		

Figure 20 – Classement des sites étudiés au sein des réseaux d'acquisition/redistribution du métal en fonction de la qualité inclusionnaire du métal travaillé. [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

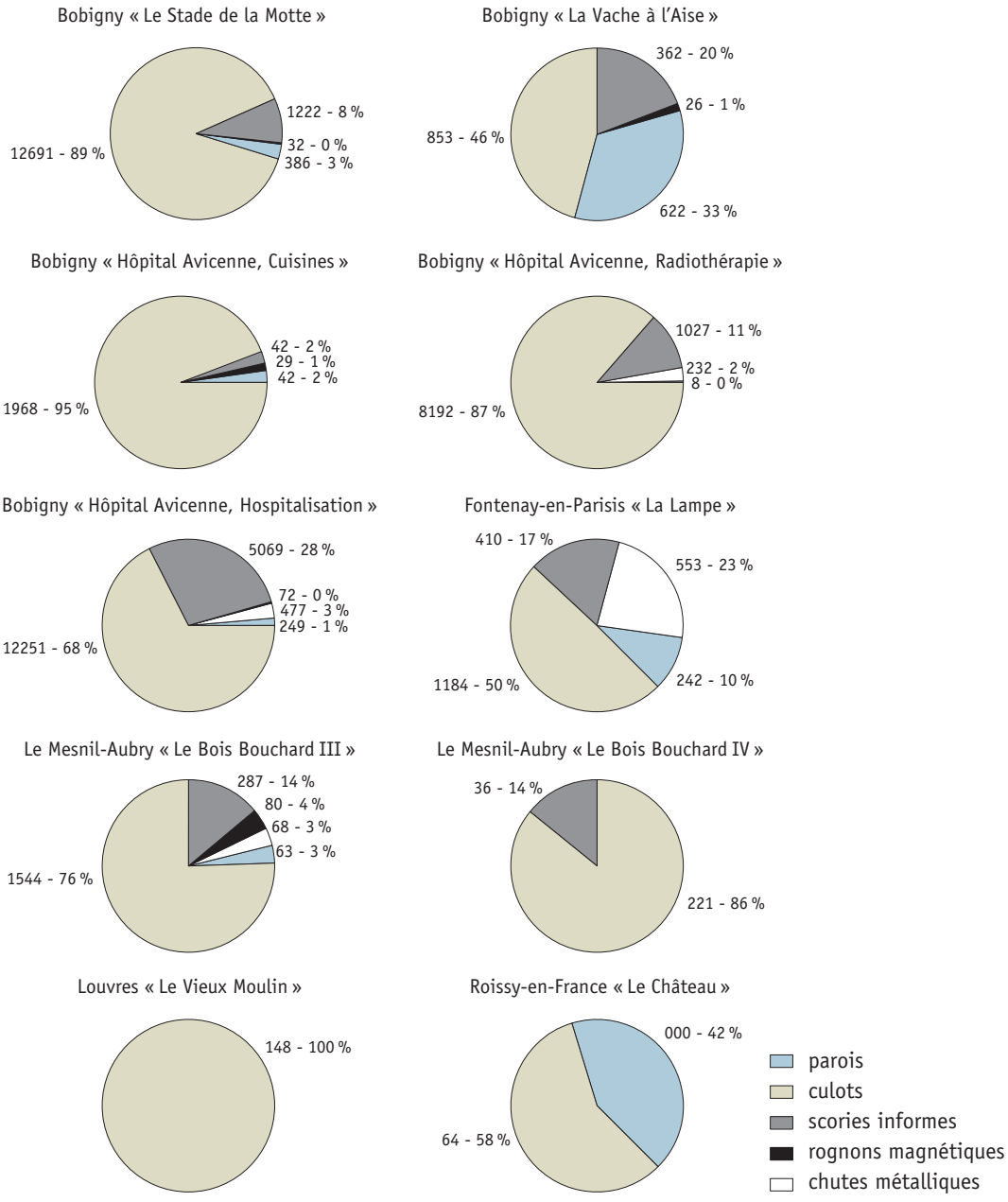


Figure 21 – Composition des assemblages de scorie au sein des sites étudiés.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

présent est le culot de forge, indiquant que, dans la plupart des cas, l'activité a été suffisamment intense pour produire une scorie plano-convexe sous l'arrivée d'air. Toutefois, sur certains sites comme Bobigny « Hospitalisation », « La Vache à l'Aise » et Fontenay-en-Parisis « La Lampe », la proportion de scories informes est plus importante, indiquant qu'une certaine proportion des activités de ces sites a été moins productrice de déchets.

Le poids des culots

Le poids moyen des culots est un paramètre important pour caractériser l'intensité des séquences de travail réalisées sur un site. Toutefois, la moyenne ne rend pas compte des dissymétries de dispersions et reste donc particulièrement influencée par les valeurs extrêmes. Ainsi il est préférable d'utiliser une représentation graphique dite de « boîte à moustache » ou « Box Plot » (**figure 22**). Cette dernière fournit la valeur médiane des corpus, et les deux quartiles qui l'encadrent (la « boîte » en elle-même) représentent 75 % des observations. Les moustaches recouvrent, quant à elles, 99 % des valeurs lorsque la dispersion est constante et régulière (valeurs adjacentes), les valeurs extérieures pouvant être considérées comme excentriques et atypiques.

La première remarque sur cette représentation graphique de l'ensemble des corpus de culots analysés est que, pour la majorité des sites, la moyenne est plus élevée que la médiane, ce qui indique une concentration plus forte des observations dans les valeurs inférieures et donc que les petits culots sont, en proportion, plus nombreux que ceux de masse importante. Cela est vrai sauf pour le site du Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » et de Fontenay « La Lampe ».

En revanche, les poids des culots sont tout à fait dans la moyenne des sites du nord du Bassin parisien à l'âge du Fer (BAUVAIS 2007). Pour la majorité des sites, malgré des valeurs extrêmes parfois très élevées, les culots sont compris entre 50 et 350 g ce qui semble représenter un « standard » avec une moyenne à 150 g. Seule la parcelle de Bobigny « La Vache à l'Aise » présente une forte disparité dans le poids de ses culots.

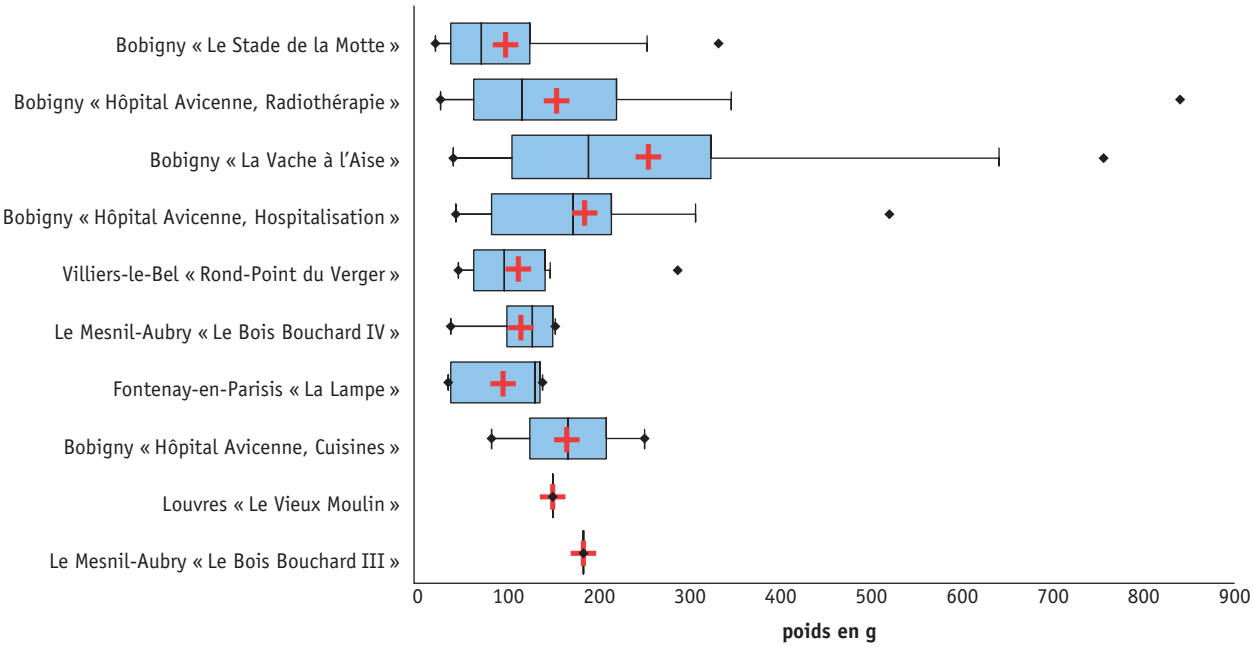


Figure 22 – Représentation graphique en « Box Plot » de la dispersion des poids de culot des sites étudiés. Les moyennes sont représentées par une croix rouge. La « boîte » représente 75 % des individus, et la médiane est représentée par le segment la séparant en deux. Les « moustaches » représentent les valeurs adjacentes et recouvrent la plus grande majorité des valeurs. Les points noirs représentent les valeurs extrêmes. [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Quatre catégories de sites ont été définies à l'échelle du nord du Bassin parisien aux âges du Fer en fonction de ces critères (groupes de dispersion). Les sites étudiés intègrent trois d'entre elles :

- la première regroupe les sites de Bobigny « Le Stade de la Motte », Villiers-le-Bel « Le Rond-Point du Verger », Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » et Fontenay « La Lampe ». Ils présentent des activités d'intensité majoritairement faible bien qu'occasionnellement certaines puissent être plus intenses ;
- la seconde correspond aux sites de Bobigny « Hôpital Avicenne - Radiothérapie et Hospitalisation ». Ils correspondent à des séquences d'activités d'intensité moyenne, avec parfois des variations vers un seuil plus faible ou plus important ;
- la troisième est composée du site de Bobigny « La Vache à l'Aise ». Ce site possède une intensité de séquences d'activités très larges, de faibles à très fortes.

La quatrième catégorie n'est pas représentée dans ce cadre. Il s'agit des sites aux séquences d'activités d'intensité plutôt forte voire très forte. Enfin, les sites de Bobigny « Hôpital Avicenne – Cuisines », Louvres et Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III » n'ont pas livré suffisamment de culots pour pouvoir être interprétés.

Quantification des productions

Comme cela a été dit précédemment, la quantité de déchets sidérurgiques étudiée ne représente qu'une infime partie de celle réellement produite au cours de l'activité d'un site. Toutefois, une série de calculs permet d'avoir un ordre d'idée de la production minimale de chaque site.

Rappelons qu'une partie du métal travaillé en forge est perdue au cours de la séquence opératoire. Ces pertes sont principalement fonction des qualités du métal, de la nature des opérations et de l'habileté du forgeron. Les quantités de fer présentes dans les scories de forge sont ainsi dans une certaine mesure représentatives des quantités de métal travaillé. De nombreuses études physico-chimiques, expérimentales et ethnographiques ont été réalisées pour déterminer la composition chimique des principaux constituants des scories de forge, ainsi qu'une évaluation de la perte en métal au cours des opérations. Selon les travaux de Vincent Serneels, la quantité d'oxyde de fer contenue dans les trois catégories de matériau composant la scorie peut être évaluée. Ainsi, la scorie argilo-sableuse (SAS) peut être évaluée à 15 %, la scorie grise dense (SGD) à 45 % et la scorie ferreuse rouillée (SFR) à 60 % (SERNEELS, PERRET 2003). L'expérimentation montre que lors d'un travail d'élaboration d'objet à partir de demi-produits de qualité inclusionnaire de bonne à moyenne comme ceci semble être le cas sur les sites étudiés ici, les pertes de fer sous la forme d'oxyde et de métal sont de l'ordre de 10 à 20 % (CREW 1991 ; CREW, CREW 1994 ; DILLMANN *et alii* 1997 ; LEROY *et alii* 2000 ; LEBLANC 2002). Sur l'ensemble de ces pertes, une part intervient sous la forme de battitures et l'autre part est perdue dans le culot lors des chauffes successives. Lors d'un travail simple, ne réclamant que peu de chauffes, la proportion de battiture est beaucoup plus importante comparée aux pertes dans le foyer de forge. En revanche, lors du travail d'une pièce complexe et volumineuse, les pertes au feu sont beaucoup plus importantes et le rapport battiture / scorie s'inverse. Étant donnée l'apparente variété de la qualité et de la taille des objets travaillés, ce rapport peut être arbitrairement évalué à 1 pour 1.

Le **figure 23** présente les résultats quantitatifs pour chacun des sites avec une évaluation haute (10 % de pertes métalliques) et une évaluation basse (20 % de pertes métalliques). Il s'agit dans les deux cas d'une évaluation minimale basée sur les déchets retrouvés qui ne correspondent qu'à une part de ceux produits. Toutefois, cela montre qu'avec une très faible quantité de déchets, le nombre d'objets potentiellement produits peut être élevé.

COMMUNE		BOBIGNY		BOBIGNY		BOBIGNY		BOBIGNY		LE MESNIL-AUBRY		VILLIERS-LE-BEL		BOBIGNY		FONTENAY-EN-PARISIS		LE MESNIL-AUBRY		LOUVRES		ROISSY-EN-FRANCE	
Site		Avicenne Radiothérapie		La Vache à l'Aise		Le Stade de la Motte		Avicenne Hospitalisation		Le Bois Bouchard IV		Rond-Point du Verger		Avicenne Cuisines		La Lampe		Le Bois Bouchard III		Le Vieux Moulin		Le Château	
		Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI	Poids (g)	NMI
Parois		115	1034	63	386	52	249	5	8	83	242	11	63	6	42	52	622	0	0	0	0	2	46
Culots		92	14028	50	12691	130	12251	45	8192	11	1184	12	1544	12	1968	9	853	2	221	1	148	2	64
Scories informes		639	2541	200	1222	1437	5069	240	1027	172	410	64	287	12	42	37	362	2	36	0	0	0	0
Rognons magnétiques		1	32	2	32	9	72	0	0	0	0	2	80	2	29	1	26	0	0	0	0	0	0
Chutes métalliques		6	73	0	0	56	477	14	232	8	553	3	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		***853***	***17708***	***315***	***14331***	***1684***	***18118***	***304***	***9459***	***274***	***2389***	***92***	***2042***	***32***	***2081***	***99***	***1863***	***4***	***257***	***1***	***148***	***4***	***110***
SAS (15 % de fer)			4727		751		4020		1341		444		289		634		174		18		22		0
SGD (45 % de fer)			8811		11108		8898		6547		160		883		510		666		210		126		64
SFR (60 % de fer)			3031		2054		4403		1331		990		659		896		375		29		0		0
Fer (100 % de fer)			105		32		549		232		553		148		0		26		0		0		0
Total pertes en fer			***6598***		***6376***		***5604***		***4179***		***1285***		***984***		***862***		***577***		***115***		***60***		***29***
Métal travaillé	*éval. h^{te} 10 %*		65977		63756		56040		41789		12855		9843		8618		5770		1146		599		288
	éval. b^{se} 20 %		32989		31878		28020		20895		6427		4921		4309		2885		573		300		144

Figure 23 – Estimation quantitative des productions en fonction des restes métallurgiques retrouvés sur les sites. [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Trois groupes peuvent être définis d'après ces quantifications (**figure 24**) :

- un premier groupe ayant livré des scories pouvant être issues du travail d'une quantité de métal allant de 20 à 60 kg. Il s'agit des parcelles « Hôpital Avicenne - Radiothérapie et Hospitalisation », « La Vache à l'Aise », « Le Stade de la Motte » du site de Bobigny ;
- un deuxième groupe de sites pour lesquels la quantité de métal travaillée peut être comprise entre 3 et 12 kg. C'est le cas pour les sites du Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV », Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger », Bobigny « Hôpital Avicenne – Cuisines » et Fontenay-en-Parisis « La Lampe » ;
- enfin, un troisième groupe de sites pour lesquels cette évaluation est comprise entre 150 g et un peu plus de 1 kg.

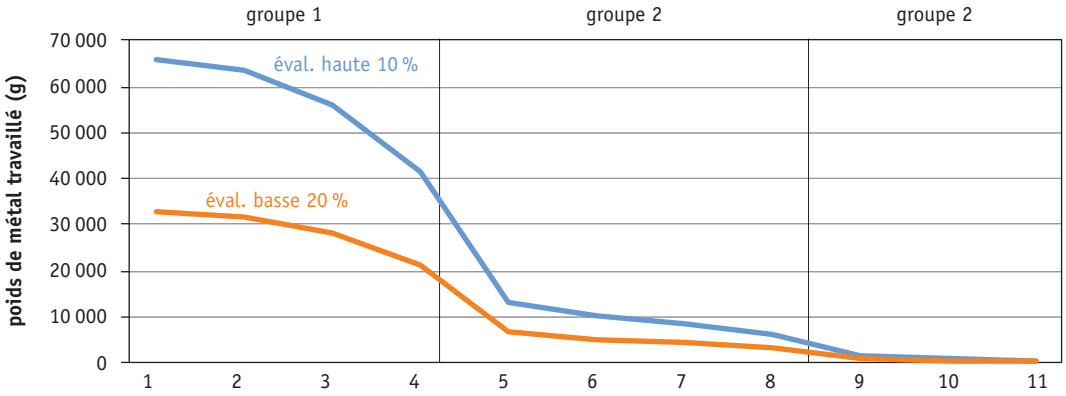


Figure 24 – Classification des sites en fonction de l'intensité de leur production calculée à partir des déchets retrouvés. 1 : Bobigny « Hôpital Avicenne, Radiothérapie » ; 2 : Bobigny « La Vache à l'Aise » ; 3 : Bobigny « Le Stade de la Motte » ; 4 : Bobigny « Hôpital Avicenne, Hospitalisation » ; 5 : Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » ; 6 : Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger » ; 7 : Bobigny « Hôpital Avicenne, Cuisines » ; 8 : Fontenay-en-Parisis « La Lampe » ; 9 : Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III » ; 10 : Louvres « Le Vieux Moulin » ; 11 : Roissy-en-France « Le Château » [© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Classification des sites

La **figure 25** fait la synthèse des critères descriptifs qualitatifs et quantitatifs obtenus sur les sites étudiés. Trois groupes peuvent ainsi être séparés. Le premier regroupe l'ensemble des parcelles de l'agglomération de Bobigny. Les restes se caractérisent tous par des indices matériels plus concrets, un savoir-faire plutôt élevé et par une intensité plus importante des activités. Nous sommes ici dans le cas d'ateliers de forge pérennes, avec des spécialités différentes, opérant au sein d'une même agglomération. Ni l'organisation en quartiers artisanaux, ni l'interdépendance des activités ne sont cependant visibles.

COMMUNE / SITE	GROUPE MOBILIER	SAVOIR-FAIRE ET APPRENTISSAGE	NIVEAU D'INTÉGRATION	GROUPE INTENSITÉ	INTERPRÉTATION DE L'ACTIVITÉ
Bobigny « Le Stade de la Motte »	1	1	3	1	Ateliers installés à demeure au sein d'une agglomération. Compétences et productions diverses avec structuration lâche.
Bobigny « Hôpital Avicenne, Radiothérapie »	1	2	3	1	
Bobigny « La Vache à l'Aise »	1	2	3	1	
Bobigny « Hôpital Avicenne, Hospitalisation »	1	3	3	1	
Bobigny « Hôpital Avicenne, Cuisines »	1	ind.	ind.	2	
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	2	2	3	2	Ateliers installés à demeure au sein d'établissements ruraux. Productions faibles et savoir-faire réduits. Production nécessaire à une ferme.
Fontenay-en-Parisis « La Lampe »	3	2	3	2	
Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger »	3	3	3	2	
Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III »	2	3	ind.	3	Activités de forge occasionnelles. Productions simples, entretien d'objets, commandes…
Louvres « Le Vieux Moulin »	3	3	3	3	
Roissy-en-France « Le Château »	3	ind.	ind.	3	

Figure 25 – Classification des sites en fonction des critères descriptifs qualitatifs et quantitatifs.
[© S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Le deuxième groupe se compose des sites du Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV », de Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger » et de Fontenay-en-Parisis « La Lampe ». Ils se caractérisent par relativement peu d'indices mobiliers outre les déchets scoriacés, un savoir-faire moyen et une intensité de production plus faible. Ils peuvent être interprétés comme des ateliers installés à demeure au sein d'un établissement rural afin de produire et d'entretenir *in situ* le matériel nécessaire à une ferme.

Enfin, le troisième groupe se compose du Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III », Louvres « Le Vieux Moulin » et Roissy-en-France « Le Château ». L'interprétation de ces sites est plus délicate car le peu de déchets de scorie peut également être lié à la gestion des déchets au sein du site ou à des artefacts de fouille. Toujours est-il qu'il n'est pas possible, dans la limite de nos connaissances de ces sites, de les voir comme des ateliers de forge implantés à demeure. Il faut davantage les considérer comme des lieux d'activités de forge occasionnelles pour des travaux d'entretien d'objets ou pour la réalisation de commandes d'un forgeron « étranger » au site. Cette interprétation doit être remise en contexte chronologique pour être statuée.

PREMIERS RÉSULTATS SUR LES ÉTUDES DE PROVENANCE

Méthodologie

Principe général de la démarche

L'opération de réduction du minerai de fer en bas fourneau engendre deux produits. Le premier est une masse métallique plus ou moins compacte qui doit faire l'objet d'une épuration afin d'obtenir un demi-produit forgeable. Le second est un déchet scoriacé formé par les éléments du système de réduction qui n'ont pas été réduits à l'état métallique lors de l'opération.

La signature chimique des déchets scoriacés peut être considérée comme caractéristique d'un système technique impliquant le choix des matériaux et la conduite de l'opération. La scorie de réduction présente par conséquent une composition chimique caractéristique d'un système de réduction dont les composantes matérielles sont le minerai de fer réduit, le charbon de bois, les parois de la structure de réduction, ainsi que d'éventuels ajouts destinés à améliorer l'opération (DILLMANN, L'HÉRITIER 2007). Le minerai de fer utilisé étant le contributeur chimique majoritaire, des ateliers réduisant un même minerai d'une manière analogue produisent une scorie métallurgique de composition chimique homogène. Ces groupes d'ateliers composent une entité chimique qualifiée d'*ensemble géochimique de production.* En fonction des minerais utilisés, ces ensembles présentent une relative adéquation avec des régions géologiques, ce qui permet de déterminer, avec plus ou moins de précision, l'origine géographique du métal étudié.

Bien que la scorie soit partiellement expurgée lors de l'épuration, une partie reste piégée au sein du métal tout au long de la chaîne opératoire, jusqu'à l'objet final. Ces inclusions, reliques du système de réduction, présentent une signature chimique permettant d'identifier l'ensemble de production au sein duquel le métal a été produit. Une caractérisation chimique adéquate des inclusions permet ainsi de déterminer l'origine du métal en circulation, et d'appréhender les réseaux d'échange constitués dans un contexte socio-économique donné.

Considérations thermodynamiques et opératoires

La scorie de réduction comporte près d'une soixantaine d'éléments chimiques pouvant être dosés, de façon relativement aisée, au moyen des dispositifs analytiques actuellement employés (notamment la spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif – ICP-MS). Toutefois, seule une partie de ces éléments peut être employée de manière pertinente dans une démarche visant à établir une compatibilité chimique entre ensembles de production et inclusions de scorie dans le métal.

Plusieurs travaux (SERNEELS 1993 ; BUCHWALD, WIVEL 1998 ; CREW 2000 ; SERNEELS 2002 ; SERNEELS *et alii* 2002 ; DESAULTY *et alii* 2008 ; 2009) se sont appliqués à déterminer le comportement des éléments chimiques au cours de la réduction. Trois catégories sont à distinguer : les éléments chimiques migrant exclusivement vers le métal (sidérophiles), ceux qui se partitionnent entre le métal et la scorie, et enfin ceux qui migrent exclusivement vers la scorie (lithophiles). Notre support d'étude invalide de fait la première catégorie. Les éléments appartenant à la seconde catégorie doivent également être écartés. Les conditions thermodynamiques de la réduction en bas fourneau n'étant pas stables, les coefficients de partage des éléments chimiques peuvent fortement varier entre deux opérations de réduction, voire même au cours d'une même opération. Ainsi, seuls les éléments lithophiles s'avèrent pertinents dans notre cadre de réflexion.

Certains éléments chimiques font par ailleurs l'objet de pollutions au fil de l'élaboration du métal. Les principales sources de pollutions sont le charbon de bois et les parois des structures de chauffe. Les éléments particulièrement sujets à pollution ont été identifiés à travers l'étude de produits issus de plusieurs campagnes d'expérimentation archéologique (CREW 2000 ; SERNEELS 2002 ; DESAULTY 2008 ; LEROY 2010 ; DISSER 2014), ainsi que de matériel archéologique (LEROY 1997 ; KRONZ 2003). Ces éléments chimiques sont également écartés dans le cadre d'une étude de provenance.

Au total, près d'une trentaine d'éléments chimiques remplissent les deux conditions décrites. Dans le cadre de cette étude, nous utiliserons les éléments employés dans le cadre de recherche sur les réseaux d'échanges et pratiques d'acquisition du fer développés aux époques anciennes en Lorraine, à savoir cinq éléments majeurs (Mg, Al, Si, Ca, Mn) et dix éléments traces (Y, La, Ce, Sm, Eu, Gd, Pr, Nd, Th, U) (DISSER 2014 ; DILLMANN *et alii* 2017).

Principe d'établissement d'une compatibilité entre ensembles de production et produits sidérurgiques

Nous décrirons désormais la manière dont la compatibilité chimique entre ensembles de production et inclusions de scorie doit être formalisée. En premier lieu, la réduction des oxydes de fer constituant le minerai n'est jamais complète. La scorie de réduction comporte par conséquent des oxydes de fer en quantités plus ou moins importantes (de quelques pourcents à plusieurs dizaines de pourcents). Les teneurs absolues des éléments employés à la compatibilité varient en conséquence et ne peuvent ainsi pas être considérées en tant que telles. Il est donc nécessaire de considérer les rapports élémentaires d'éléments lithophiles qui ne sont pas influencés par les teneurs en oxydes de fer (COUSTURES *et alii* 2003).

En revanche, certains chercheurs ont démontré qu'un seul rapport élémentaire compatible s'avérait insuffisant pour établir une compatibilité chimique (DESAULTY *et alii* 2009 ; LEROY *et alii* 2012). Il est nécessaire de considérer simultanément un grand nombre de rapports élémentaires pour valider ou infirmer une hypothèse de provenance. Des analyses statistiques multivariées ont ainsi été employées afin d'étudier l'information exprimée par un grand nombre de rapports élémentaires. Plusieurs méthodologies de traitement de l'information chimique ont été développées récemment, adaptées à des problématiques archéométallurgiques spécifiques (CHARLTON *et alii* 2010 ; LEROY *et alii* 2012 ; DILLMANN *et alii* 2012 ; 2017 ; DISSER *et alii* 2014). Nous présenterons, dans cette contribution, une démarche reposant sur l'emploi de deux analyses multivariées couramment utilisées dans le domaine de l'archéologie, l'Analyse en Composantes Principales et la Classification Ascendante Hiérarchique, dans l'optique de déterminer la provenance des chutes de forge étudiées. Ces méthodes multivariées étant appliquées ici à une analyse de la variance des données chimiques, une transformation préalable des données est indispensable. Les motifs de cette transformation sont discutés précisément dans d'autres publications (AITCHISON *et alii* 2002 ; BAXTER, FREESTONE 2006 ; CHARLTON *et alii* 2012 ; LEROY *et alii* 2012 ; DISSER *et alii* 2017). La méthode employée ici est celle des rapports logarithmiques, ou log-ratios.

Application

Présentation du référentiel géochimique

La présence d'activités de forge au sein de ces sites, alors qu'aucun atelier de réduction du minerai de fer daté de La Tène moyenne / finale n'est connu à ce jour pour les vallées de l'Aisne et de l'Oise, amène à s'interroger sur les réseaux d'échange de matériaux constitués à cette époque. Trois secteurs sidérurgiques proches constituent à notre sens des sources probables pour le métal travaillé.

Le premier est le Sénonais-Pays d'Othe, au sein de la *civitas* des Sénons, dont l'importance de la production primaire de fer est soulignée par les travaux de recherche menés par Christophe Dunikowski et Sandra Cabboi (DUNIKOWSKI *et alii* 2007). Le domaine chimique de cet ensemble de production est à l'heure actuelle défini par quinze échantillons de scorie de réduction. Ils sont issus des sites de Villiers-sur-Seine « Défendable » en Seine-et-Marne, de Cuy « Noslon », et des Clérimois « Les Fouetteries » dans l'Yonne. Le corpus analysé représente un intervalle chronologique se développant entre le Hallstatt final et La Tène finale.

L'ensemble du Gâtinais, définissant une aire géographique à situer à l'ouest de l'ensemble précédent, est défini chimiquement par les analyses de douze scories de réduction provenant de trois sites : Écuelles « Charmoy », Varennes-sur-Seine « Le Marais du Pont » et Villemer « Le Mâchefer » en Seine-et-Marne. Cet ensemble de production couvre actuellement un intervalle chronologique se développant entre le Hallstatt final et l'époque gallo-romaine.

Le troisième ensemble de production, dénommé Hurepoix, est défini chimiquement par l'analyse de seize scories de réduction et un fragment de minerai. Le mobilier provient de deux sites : Dourdan « 6 rue Fortin » en Essonne et Saint-Martin-de-Bréthencourt « Les Terres Salées » dans les Yvelines. Ces sites sont localisés dans une zone géographique couvrant le sud / sud-ouest de l'Île-de-France. L'activité de ces sites couvre un horizon chronologique postérieur à l'occupation des ateliers de forge considérés dans le cadre de cette étude, à savoir l'époque gallo-romaine et le haut Moyen Âge. Cet ensemble est toutefois considéré comme une source potentielle de métal, puisqu'une structure de réduction pouvant être attribuée à une période plus précoce a été mise au jour à Saint-Chéron. D'autre part, les travaux archéométriques menés récemment en Lorraine (DISSER 2014) montrent que les ensembles géochimiques de production transcendent les systèmes chronologiques historiques. Ainsi, les activités de réduction ayant pris place dans ce cadre au cours de la période gallo-romaine ont généré des déchets chimiquement identiques aux activités de production primaire de la fin du Moyen Âge (XIII^e^-XIV^e^ siècles). L'ensemble de production de l'Hurepoix, tel qu'il est défini à l'heure actuelle, peut être considéré comme un palimpseste des activités de production primaire qui ont pu s'y dérouler plus précocement, et être intégré à notre raisonnement.

Échantillonnage

Les produits sidérurgiques étudiés sont issus des trois contextes ayant livré des chutes métalliques. Pour le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV », trois chutes ont fait l'objet d'une étude de provenance (LMA 005, LMA SI 144 et LMA 125-2), pour le site de Fontenay-en-Parisis « La Lampe », un fragment métallique a été étudié (FLL 2116-1), et enfin trois produits sidérurgiques (AVI 604, AVI 1999, AVI 568-4) issus du site de « Hôpital Avicenne » à Bobigny ont été étudiés.

Démarche statistique inférentielle

Afin d'établir une éventuelle relation chimique entre les ensembles de production définis et les chutes de forge étudiées, une réflexion structurée en plusieurs étapes est développée (DISSER 2014). L'application de cette méthodologie est présentée ici de manière synthétique :

1.a) Dans un premier temps, il est nécessaire de déterminer si les ensembles de production peuvent être distingués chimiquement. L'information chimique caractérisant le corpus (44 individus, 15 log-ratios considérés) a fait l'objet d'une analyse statistique multivariée descriptive en composantes principales (ACP). Un des principaux attraits de cette méthode

est sa composante graphique qui permet de synthétiser une information multidimensionnelle par projection sur un plan (ici le plan représenté par les deux premières composantes principales de l'analyse). En d'autres termes, le nuage de points représenté en A) de la **figure 26** permet d'apprécier l'information chimique impliquant les quinze éléments considérés. Elle permet également d'établir quels sont les éléments les plus spécifiques pour la définition des domaines chimiques des ensembles de production par le biais du cercle de corrélation présenté en B).

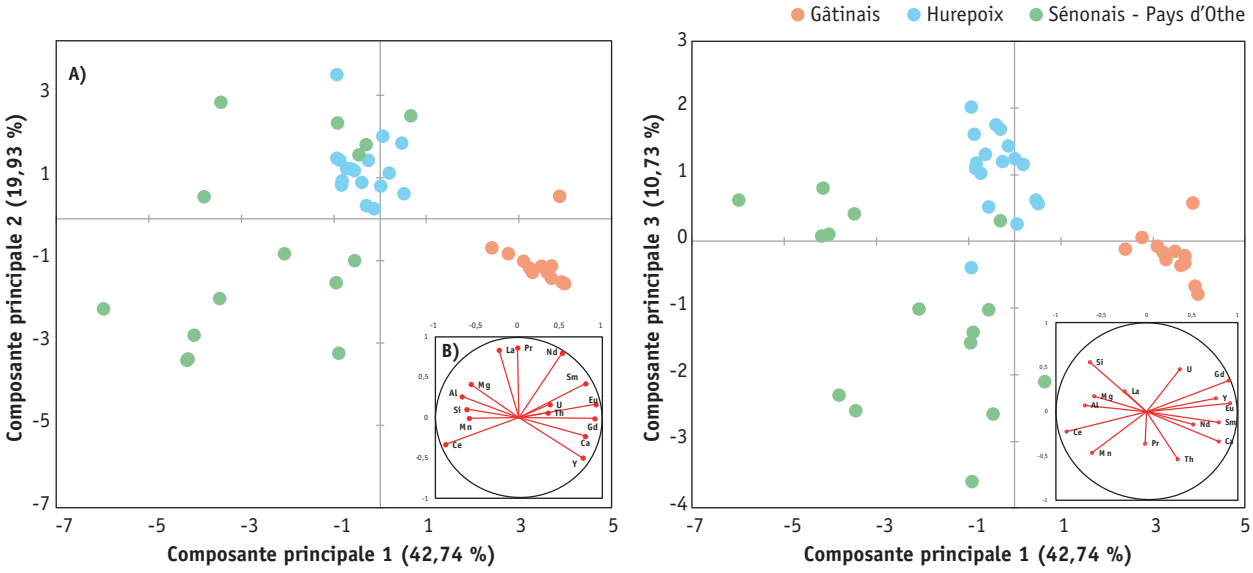


Figure 26 – Plan de plus grande variance (composantes principales 1 et 2) de l'Analyse en Composantes Principales réalisée sur le référentiel géochimique, comportant 44 analyses de scories de réduction et fragments de minerai, et intégré à trois ensembles de production. [© A. Disser, S. Bauvais, CEA / Cnrs]

La représentation obtenue montre que le Gâtinais et l'Hurepoix sont marqués par une faible dispersion chimique, et sont bien distingués l'un de l'autre. En revanche, le domaine chimique du Sénonais – Pays d'Othe apparaît plus dispersé. Certains des échantillons caractérisant cet ensemble se mêlent à ceux de l'Hurepoix. Les deux ensembles de production ne peuvent être distingués efficacement sur le plan présenté. Toutefois, employée en guise d'approche préliminaire, cette représentation synthétique ne permet de représenter qu'une part plus ou moins importante de l'information chimique, ici 62,67 %.

Afin de mieux apprécier les différences chimiques entre ensembles de productions, mais également de prendre en compte une part plus importante de l'information, une Classification Ascendante Hiérarchique est réalisée sur les résultats de l'ACP (de manière plus précise, la classification est réalisée sur les coordonnées des individus sur chaque composante principale). Les individus sont classés en fonction des distances qui les séparent sur les différents plans de l'ACP. Les plus proches sont regroupés puis, par agglomérations successives, un dendrogramme est constitué qui révèle la structure de l'information chimique. Pour toutes les classifications réalisées dans le cadre de cette étude, l'algorithme de classification utilisé est celui du critère de Ward, et la métrique employée est celle des distances euclidiennes. Le nombre de composantes de l'ACP sur lesquelles la classification est réalisée est déterminé de façon à ce que la variance cumulée exprimée par ces composantes soit supérieure à 95 % de la variance totale de l'ACP. Les résultats de cette seconde analyse, représentés sur la **figure 27**, sont plus discriminants puisque seuls deux échantillons appartenant au Sénonais – Pays d'Othe sont confondus avec ceux de l'Hurepoix. Les scories de réduction du Gâtinais sont quant à eux distingués des deux autres ensembles de production, et ce sans ambiguïté.

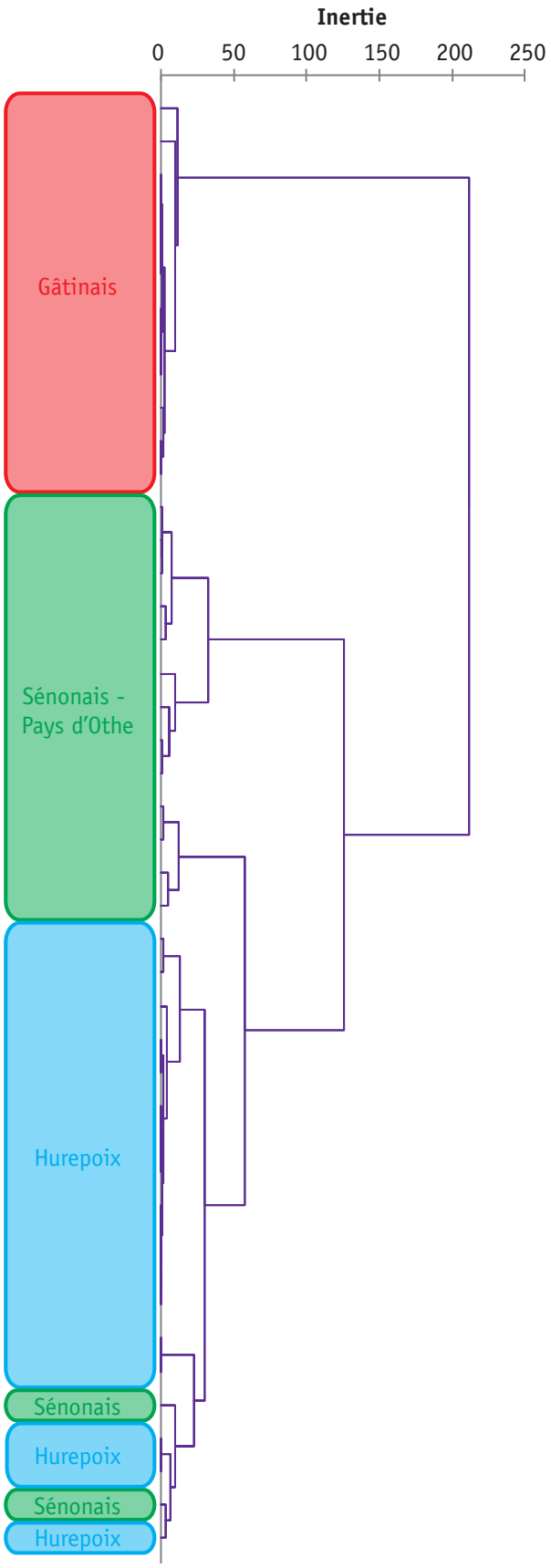


Figure 27 – Dendrogramme présentant les résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée sur les résultats de l'ACP présentée en figure 26. [© A. Disser, S. Bauvais, CEA / Cnrs]

1.b) Ces analyses préliminaires montrent que les ensembles de production, sources de métal candidates, peuvent être distingués de manière relativement satisfaisante sur la base des variables considérées. La signature chimique des chutes de forge est ensuite intégrée à cette représentation, afin de déterminer s'ils sont chimiquement proches d'un des ensembles. Une douzaine d'inclusions sont caractérisées chimiquement par ICP-MS pour chaque produit sidérurgique. Puisqu'il est nécessaire dans ce cas d'effectuer des prélèvements ciblés au sein des échantillons métalliques, un dispositif d'ablation laser est employé (GRATUZE *et alii* 2001 ; LEROY *et alii* 2012). Celles qui présentent une composition chimique aberrante sont éliminées au préalable.

Une ACP est ainsi réalisée sur les 44 échantillons de scorie de réduction et fragments de minerai définissant les ensembles de production, ainsi que sur les inclusions des produits sidérurgiques. Une CAH est effectuée sur les résultats de l'analyse, dont les résultats sont présentés dans la **figure 28**.

Deux chutes métalliques, FLL 2116 1 et LMA SI 144 sont distinguées sans ambiguïté des trois ensembles de production (branche A). Le métal ne provient ainsi d'aucune des trois sources envisagées, telles qu'elles sont définies à l'heure actuelle. En revanche, LMA 125-2 présente une signature chimique similaire au domaine de l'ensemble du Gâtinais (branche B). De la même manière, les chutes AVI 1999, AVI 568-4 et AVI 604 sont chimiquement proches de l'ensemble du Sénonais – Pays d'Othe (branche D). La chute LMA 005 est quant à elle chimiquement proche de l'ensemble de l'Hurepoix, mais également d'une scorie appartenant à l'ensemble du Sénonais – Pays d'Othe (branche C). Rappelons que cette première étape permet d'identifier, au sein du référentiel, les sources de métal les plus probables, mais ne permet pas de valider la provenance du métal. Les résultats de cette étape initiale sont synthétisés dans la **figure 29**.

2) L'étape finale de la démarche inférentielle consiste à confronter directement la signature chimique de chaque chute de forge au domaine chimique de l'ensemble identifié comme la source la plus probable. Une ACP est par conséquent réalisée sur les quinze variables qui caractérisent chimiquement les scories et minerais composant l'ensemble-candidat et les inclusions de la chute métallique. La **figure 30** présente les résultats de l'analyse réalisée sur les chutes AVI 1999, AVI 568-4 et AVI 604.

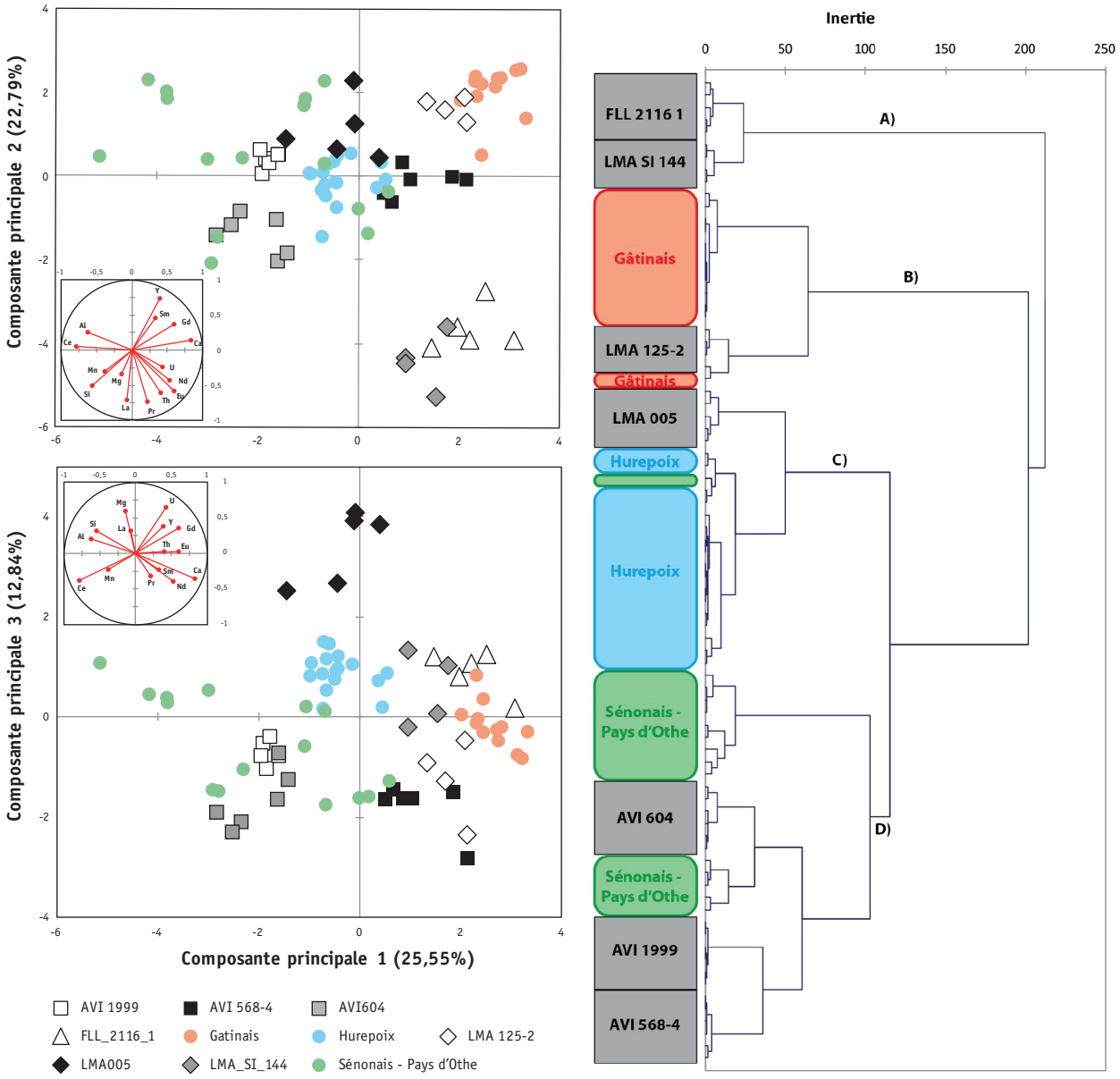


Figure 28 – Dendrogramme présentant les résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée sur les résultats d'une ACP portant à la fois sur le référentiel géochimique et les inclusions de scorie dans les chutes de forge. [© A. Disser, S. Bauvais, CEA/Cnrs]

ÉCHANTILLON	SITE	SOURCE POTENTIELLE
LMA 005	Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	Hurepoix/Sénonais - Pays d'Othe
LMA125-2	Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	Gâtinais
LMA SI 144	Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	Indéterminée
FLL 2116 1	Fontenay-en-Parisis « La Lampe »	Indéterminée
AVI 604-1	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe
AVI 604-2	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe
AVI 1999	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe
AVI 569-4	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe

Figure 29 – Synthèse des résultats obtenus à l'issue de l'étape 1 du raisonnement inférentiel.
[© A. Disser, S. Bauvais, CEA/Cnrs]

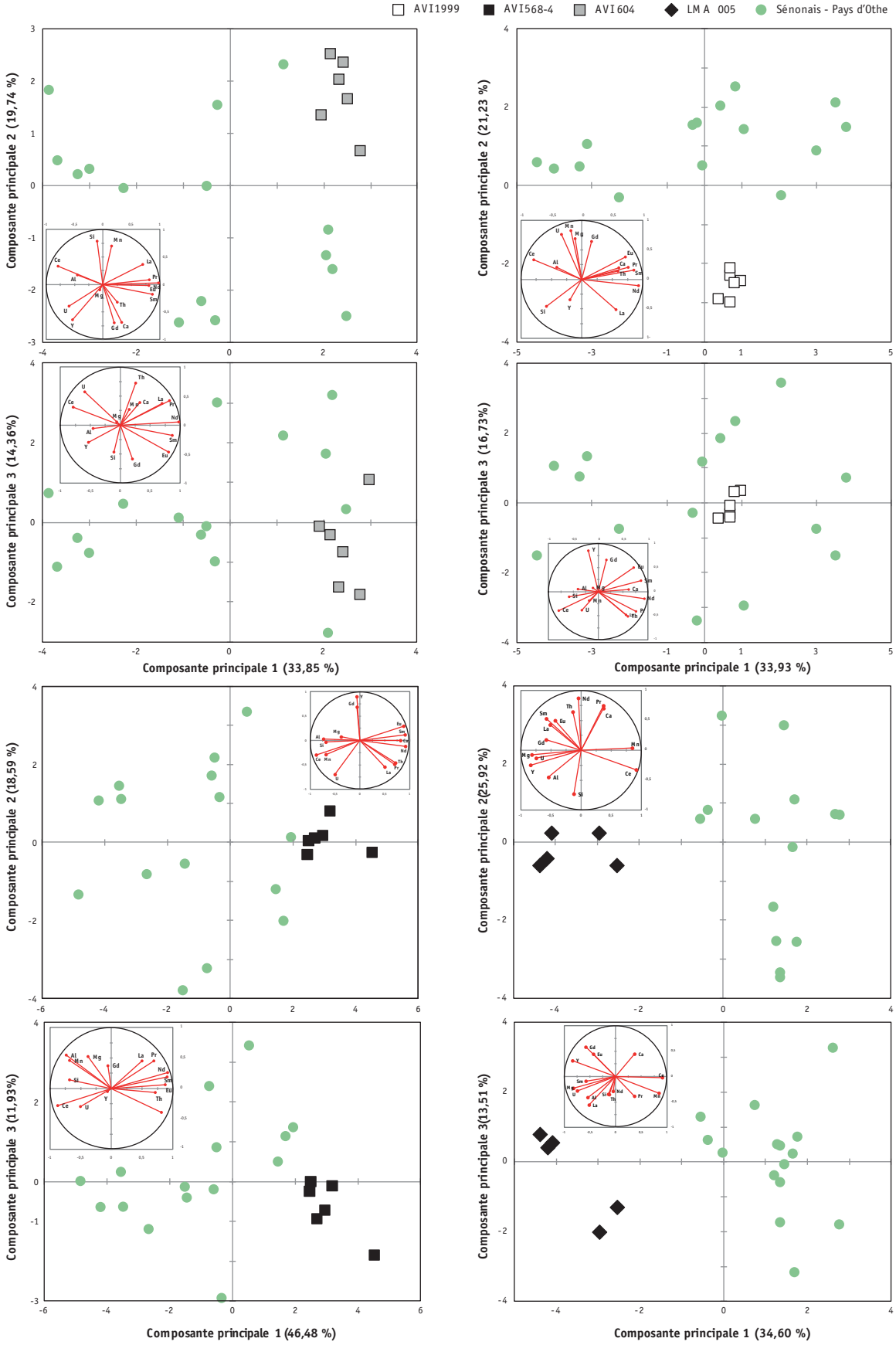


Figure 30 – Plan de plus grande variance (composantes principales 1 et 2) de l'Analyse en Composantes Principales réalisée sur le seul ensemble de production du Sénonais – Pays d'Othe (15 scories) et les inclusions de la chute AVI 568-4. [© A. Disser, S. Bauvais, CEA / Cnrs]

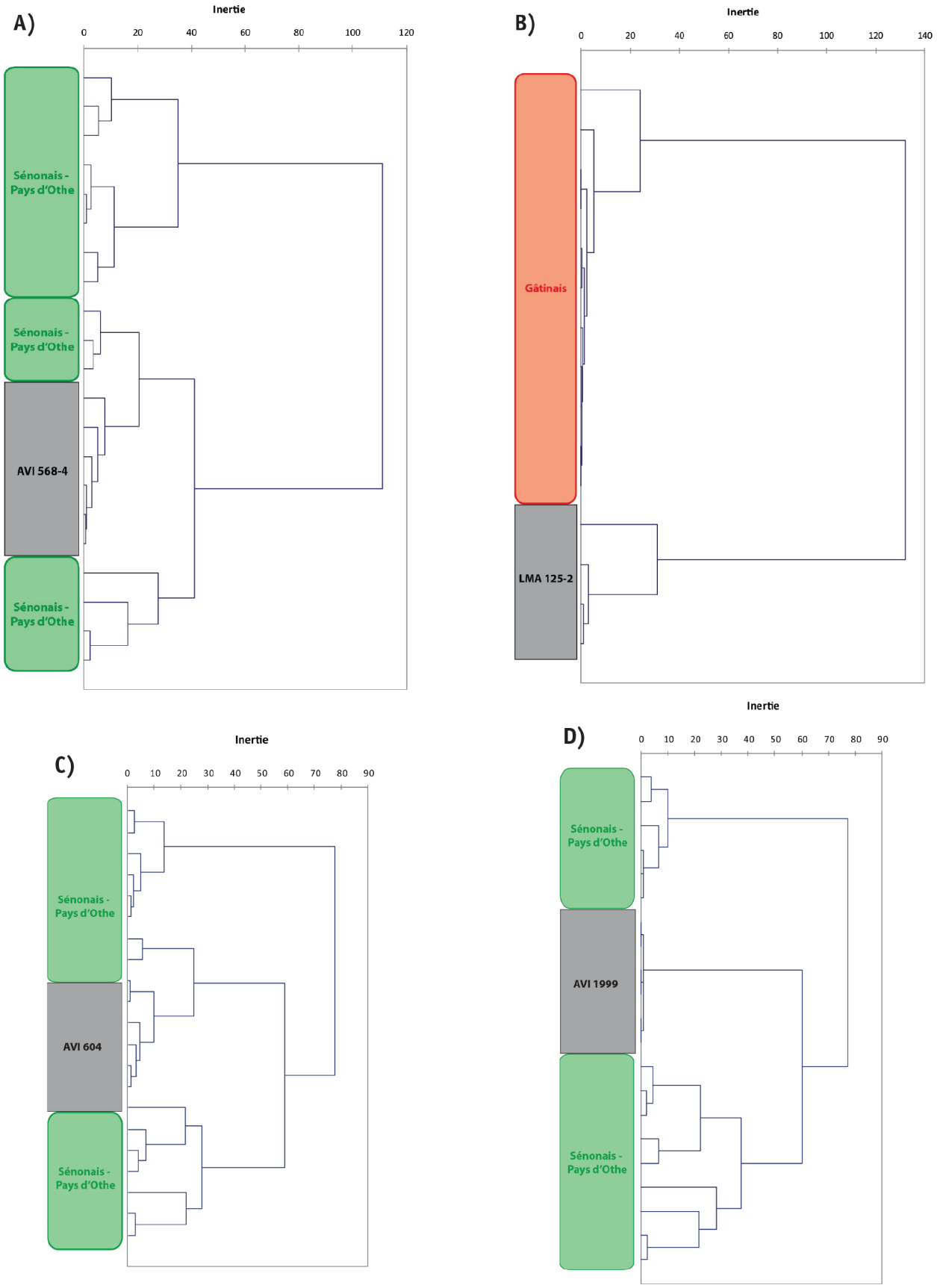


Figure 31 – A) dendrogramme présentant les résultats finaux de la démarche inférentielle pour la chute AVI 568-4, confrontée à l'ensemble géochimique du Sénonais – Pays d'Othe ; B) dendrogramme présentant les résultats finaux de la démarche inférentielle pour la chute LMA 125-2, confrontée à l'ensemble géochimique du Gâtinais. [© A. Disser, S. Bauvais, CEA / Cnrs]

La projection des inclusions sur le plan de plus grande variance (PC1-PC2) montre, qu'à cette échelle, les signatures chimiques des 3 chutes métalliques restent très proches du domaine chimique de l'ensemble du Sénonais – Pays d'Othe, mais ne l'intègrent pas tout à fait. En revanche, si l'on prend l'exemple de la confrontation de LMA 005 avec l'ensemble du Sénonais – Pays d'Othe, il est particulièrement visible que les différences entre espaces et objets peuvent être très importantes. La proximité entre les trois objets de Bobigny et l'ensemble du Sénonais – Pays d'Othe ne peut pas être affirmée mais celui-ci reste un candidat crédible si l'on prend en compte la maigre connaissance de l'extension du domaine chimique de l'ensemble. De plus, les inclusions des trois chutes métalliques ne peuvent être distinguées chimiquement des scories constituant l'ensemble de production au sein du dendrogramme figurant les résultats de la classification effectuée sur les résultats de l'ACP (**figure 31**[A, C-D]). Les chutes métalliques de Bobigny apparaissent par conséquent potentiellement compatibles chimiquement avec la source supposée même si l'ACP ne permet pas de l'affirmer de façon certaine.

À titre de comparaison, les résultats obtenus à l'issue de cette étape dans le cas de la chute LMA 125-2 sont présentés par la **figure 31**[B]. Dans ce cas, les inclusions sont sans aucun doute distinguées chimiquement de l'ensemble-candidat, à savoir le Gâtinais. Le métal ne provient donc pas de cet ensemble de production. Une opération similaire a été effectuée pour chacune des chutes de forge apparaissant comme chimiquement proche d'un ensemble de production à l'issue de l'étape 1.b). Les résultats obtenus sont synthétisés par la **figure 32**.

ÉCHANTILLON	SITE	SOURCE
LMA 005	Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	Indéterminée
LMA 125-2	Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	Indéterminée
LMA SI 144	Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV »	Indéterminée
FLL 2116 1	Fontenay-en-Parisis « La Lampe »	Indéterminée
AVI 604-1	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe
AVI 604-2	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe
AVI 1999	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe
AVI 569-4	Bobigny « Hôpital Avicenne »	Sénonais - Pays d'Othe

Figure 32 – Synthèse des résultats obtenus à l'issue de l'étape finale du raisonnement inférentiel.
[© A. Disser, S. Bauvais, CEA / Cnrs]

Bilan

L'étude de provenance menée ici a permis d'identifier une source potentielle alimentant les réseaux d'échange de matériaux dont les ateliers de forge du Bassin versant du Crould peuvent constituer l'un des maillons. Cette source est l'ensemble du Sénonais – Pays d'Othe qui caractérise notamment une partie de la production sidérurgique primaire qui se déroule au sein de la *civitas* des Sénons. De manière plus précise, il est intéressant de constater que les trois chutes métalliques dont l'origine potentielle a pu être déterminée ont été mises au jour lors des fouilles de « Hôpital Avicenne ». Les signatures chimiques des chutes mises au jour au Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » suggèrent quant à elle un approvisionnement assuré par plusieurs sources. Enfin, les chutes LMA SI 144 et FLL 2116 1 présentent des signatures chimiques qui apparaissent similaires à travers la démarche inférentielle développée ici. Les ateliers ayant fonctionné au sein des sites du Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » et de Fontenay-en-Parisis « La Lampe » ont pu bénéficier de sources d'approvisionnement intégrées à un même ensemble de production, encore inconnu à l'heure actuelle.

SYNTHÈSE

Synthèse chronologique

Dans le nord du Bassin parisien, le développement et l'organisation de la métallurgie du fer peuvent être divisés en trois grandes étapes chronologiques (BAUVAIS 2007). Les activités de forge réalisées sur les sites du Bassin versant du Crould vont intégrer à présent cette organisation générale. Cette remise en contexte permet de comprendre plus distinctement les mécanismes à l'œuvre alors que des hiatus locaux ne permettent pas de les appréhender dans leur globalité.

Première phase (Ha D3/LT B2 – 500/250 BC)

Il n'est pas anodin que les seules traces de métallurgie du fer de cette période charnière soient justement découvertes sur le seul site de cette haute importance hiérarchique mis au jour dans le secteur. Ce constat a déjà été fait pour d'autres sites localisés en Basse-Normandie, en moyenne vallée de l'Oise, dans l'Aisne ou dans le Nord (Mosle « La Pièce du Pressoir », Fierville-les-Parcs « Le Pré de la Val », Verberie « Les Moulins », Vermand « Le Champs des Lavoirs », Dourges « Les Marais de Dourges ») pour des quantités de déchets scoriacés du même ordre (BAUVAIS 2007 ; ZAOUR *et alii* 2014).

Pour replacer le site de Roissy-en-France dans le contexte du nord de la France, il faut savoir que les premières traces d'activités sidérurgiques remontent au Hallstatt D.

Dans le nord de la France, les sites de réduction de cette période forment l'ensemble le plus homogène et le mieux documenté d'Europe. Les structures utilisées sont des fourneaux à scories piégées et à utilisation unique (*slag-pit furnace*) qui semblent coexister à partir de La Tène A avec un autre type de four plus complexe, à utilisations multiples (CABBOI *et alii* 2007 ; BERRANGER *et alii* 2017). L'ensemble des régions semble produire du métal grâce à l'exploitation de petites sources de minerai, adaptées à l'échelle réduite des productions.

Sur la majorité des sites d'habitats ayant livré des indices de réduction, ces derniers sont accompagnés de déchets liés à la mise en forme du métal. Par conséquent, il ne semble pas y avoir de séparation entre l'activité de produire le métal et celle de le transformer en objet fini (BAUVAIS 2007 ; 2008). De ce fait, les activités d'épuration se déroulent au sein de l'habitat auquel est liée l'activité de réduction.

Les sites d'habitat n'ayant livré que des indices de forge comme Roissy-en-France sont délicats à interpréter pour cette période car ils ne livrent en général que très peu de déchets de post-réduction. Du fait de la faible intégration du fer dans la société (absence d'outils agricoles et artisanaux en fer et prépondérance des objets de prestige), il est vraisemblable qu'il s'agisse du travail d'un forgeron itinérant opérant son activité pour la réalisation de biens de prestiges destinés aux élites sur leur lieu d'habitation. Cette interprétation permet de résoudre le problème posé par la contradiction entre le savoir-faire et la spécialisation réclamée par une telle activité (réduction/forge), la faiblesse des déchets de forge retrouvés par site et la faible quantité des objets consommés. Dans ce cas, les activités domestiques d'élaboration seraient exclues des formes de travail du fer à cette période.

Deuxième phase (LT C1/LT D1a – 250/120 BC)

C'est au cours de cette période que les activités de forge semblent pleinement se développer dans le bassin du Crould et c'est justement le cas sur l'ensemble du nord du Bassin parisien.

Le nombre de sites de réduction datés de cette période est plus faible, et un phénomène de concentration semble s'opérer vers des espaces de production régionaux. C'est principalement le cas de la région du Mans (BERRANGER *et alii* 2017) et du Sénonais. De leur côté, les activités de forge se développent en même temps que la consommation grandissante du fer (plus grande intégration du fer dans la société). Elles semblent se diversifier dans leur vocation et leur intensité. Plusieurs niveaux d'intensités semblent se mettre en place avec des sites fonctionnellement proches de ce qui est perçu pour la première phase, et d'autres renfermant davantage de déchets (plusieurs kg), qui semblent avoir une activité plus proche d'une production à demeure.

Il s'agit principalement des agglomérations ouvertes qui se mettent en place à cette période et dont Bobigny est un exemple particulièrement parlant et représentatif de l'ensemble du nord du Bassin parisien.

Mis à part ces agglomérations, il n'est à l'heure actuelle pas facile de déterminer avec précision le rattachement des sites à une forme d'organisation particulière, mais il semble clair que certains d'entre eux, notamment les fermes aristocratiques, deviennent les sièges d'activités spécialisées d'intensité encore jamais vue (BAUVAIS 2007 ; 2008). Ils correspondent à ces fermes dites « productrices » dont les activités dépassent largement l'exploitation agropastorale. C'est le cas des sites de Mesnil-Aubry « Le Bois-Bouchard IV », Villiers-le-Bel « Rond-Point du Verger » et Fontenay-en-Parisis « La Lampe ». Les autres sites, dont les indices de production sont plus réduits, laissent envisager les premières formes d'activités domestiques d'entretien des objets et outils. De plus, l'activité itinérante reste possible et vient compliquer encore la situation.

Toujours est-il que le statut des artisans ne semble pas particulièrement changer, même si l'intensité de leur production augmente et leurs productions se diversifient. Cette augmentation semble en effet être proportionnelle à celle de la consommation des objets. Leur diffusion, dans une part plus large de la société, indique également que les débouchés sont moins assujettis à la domination des élites. L'activité artisanale des fermes « productrices » qui émergent peut indiquer que la place des artisans reste importante même si le pouvoir aristocratique continue à encadrer les productions les plus importantes.

Le métal en circulation, connu dans les nombreux sanctuaires du nord du Bassin parisien, se caractérise par sa forme de barre à extrémité enroulée nommée *currency-bar* et leur variante régionale de plus petite taille, les barres à douilles (BAUVAIS, FLUZIN 2006). Sur ce point, il est important de souligner que, pour cette période, les activités de réduction semblent se resserrer autour de deux principales régions : Sarthe et Sénonais. C'est justement le Sénonais qui apparaît dans les études de provenance comme l'origine potentielle du métal analysé provenant de Bobigny. De plus, les demi-produits retrouvés sur les sites du Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » et de Bobigny sont tous des barres à douille, produit régional de grande qualité.

Troisième phase (LT D1b/LT D2 – 120/25 BC)

Pour cette troisième phase, aucun nouveau site n'apparaît dans le secteur étudié. Il ne s'agit que de sites occupés antérieurement, au cours des phases 1 et 2 (Bobigny et Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard III »). En revanche, beaucoup de sites ne sont plus occupés.

Dans le reste du nord du Bassin parisien, le nombre de sites de réduction diminue également et se concentre encore davantage dans les deux régions qui se sont spécialisées à la phase précédente. Les sites de réduction contiennent à présent des bas fourneaux à scorie écoulée qui matérialisent une véritable révolution sidérurgique avec des potentiels productifs décuplés (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 ; BERRANGER *et alii* 2017). De plus,

il s'agit de sites spécialisés, avec une organisation en batterie, destinée à une production de masse. Pour exemple, près de 21 tonnes de fer ont été produites annuellement par l'atelier des Clérimois dans l'Yonne au cours du premier siècle avant notre ère. Cette quantité implique la fabrication de 57 kg de métal en moyenne par jour, offrant toutes les évidences d'une activité spécialisée et rationalisée dont le rendement n'a aucun équivalent dans les périodes précédentes.

Dans la même région, cet état de fait est similaire pour les activités de post-réduction qui se déroulent sur l'agglomération ouverte de Varennes-sur-Seine « Le Marais du Pont » où 500 kg de scories de forge ont été découvertes, parmi lesquelles l'activité d'épuration de métal brut prend une part importante (DUNIKOWSKI *et alii* 2007). Il est certain que la production gravit ici un nouvel échelon, même si l'on intègre l'augmentation générale de la consommation du fer. Elle n'est plus seulement destinée à une consommation locale, ni même régionale, mais à une exportation à plus longue distance (BAUVAIS 2007 ; 2008).

À partir de La Tène D1b, le rôle centralisateur des agglomérations (biens de prestige, productions agricoles et autres produits manufacturés) a été démontré à diverses reprises et constitue aujourd'hui une de leurs caractéristiques principales comme « place centrale ». Ces lieux constituent également une concentration d'ateliers artisanaux encore jamais vue (BAUVAIS 2007 ; 2008). Pour la métallurgie du fer, ils représentent des espaces centralisateurs de la matière première et redistributeurs de demi-produits ou de produits manufacturés. Ils semblent dominer l'ensemble des réseaux d'échange et des phases amont de la chaîne opératoire. C'est certainement la raison pour laquelle les activités de forge semblent déserter le bassin versant du Crould à cette période. Les activités artisanales semblent en effet se concentrer ailleurs, dans les quartiers artisanaux des *oppida*, dans notre cas celui de Gouvieux ou encore celui des *Parisii* à ce jour non documenté.

Un espace de production dépendant

Le fait que le secteur soit particulièrement dépourvu de ressources minérales est très certainement l'explication la plus probable de l'apparition tardive des activités sidérurgiques. Néanmoins, dès La Tène ancienne, des artisans semblent se déplacer localement pour réaliser des commandes destinées aux élites. Les activités d'élaboration d'objets et d'entretien se développent à La Tène moyenne et au début de La Tène finale. Des ateliers aux productions importantes et aux artisans fortement spécialisés se développent même au sein de l'agglomération de Bobigny. Ce développement est rendu possible grâce à l'essor des réseaux d'échange et au dynamisme de secteurs de production primaire dont les produits circulent à moyenne et longue distance. Toutefois, à la fondation des *oppida*, les réseaux d'échange semblent se modifier et les petites productions des fermes aristocratiques semblent disparaître au profit des quartiers artisanaux des *oppida*.

Ainsi, même si les réseaux d'échange peuvent permettre le développement de productions locales dans des secteurs dépendant de la matière première, l'équilibre reste fragile et la moindre modification des relations de pouvoir peut remettre en question cet acquis.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier les collègues archéologues qui m'ont laissé étudier le mobilier issu de leurs fouilles ainsi qu'aux conservatrices et conservateurs de musée et responsables de collection de m'avoir permis de découper les quelques restes archéologiques patiemment accumulés et inventoriés. Je tiens particulièrement à remercier la patience de ceux qui attendent ces études depuis déjà bien longtemps.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AITCHISON J., BARCELO-VIDAL C., PAWLOWSKY-GLAHN V. (2002) – Some comments on compositional data analysis in archaeometry, in particular the fallacies in Tangri and Wright's dismissal of logratio analysis, *Archaeometry*, 44-2, p. 295-304.

ANDERSON T.-J., AUGUSTONI C., DUVAUCHELLE A., SERNEELS V., CASTELLA D. (2003) – *Des artisans à la campagne. Carrière de meules, forge et voie romaine à Châbles (FR)*, Fribourg, Academic Press Fribourg, 390 p. (Archéologie fribourgeoise, 19).

BAUVAIS S. (2007) – *Évolution de l'organisation des activités de post-réduction dans le nord du Bassin Parisien au 2nd âge du Fer : études multidisciplinaires de la chaîne opératoire en métallurgie du fer*, Philosophiæ doctor, Histoire Sociale et Archéologie, Université de Technologie de Belfort Montbéliard, Université de Besançon, 1369 p.

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*, 2-4.

BAUVAIS S., FLUZIN P. (2006) – Réflexion sur l'organisation technico-sociale des activités de forge à La Tène finale dans l'Aisne (02), *Revue d'archéométrie*, 30, p. 25-43.

BAUVAIS S., FLUZIN P. (2013) – Acquisition and Circulation of Iron Raw Material during Iron Age II in the North of the Paris Basin (France), dans : VELDHUIJZEN A., HUMPHRIS J. (dir.), *World of Iron Conference*, Actes du colloque de Londres, 16-20 février 2009, Londres, Archetype Publications, p. 322-328.

BAUVAIS S., GAUDEFROY S., GRANSAR F., MALRAIN F., FLUZIN P. (2007) – Premières réflexions sur l'organisation des activités de forge en contexte rural à La Tène finale en Picardie, dans : MILCENT P.-Y. (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*, Actes du XXVIIIe colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Toulouse, 20-23 mai 2004, Bordeaux, Aquitania, p. 239-261.

BAUVAIS S., SCHWAB R., BRAUNS M., DILLMANN P. (2011) – Circulation of iron products in the Iron Age of Eastern France and Southern Germany : multidisciplinary and methodological approaches towards the provenance of ancient iron, *Metalla Sonderheft*, 4, p. 95-96.

BAXTER M.J., FREESTONE I.C. (2006) – Log-ratio Compositional Data Analysis in Archaeometry, *Archaeometry*, 48-3, p. 511–531.

BERRANGER M., ZAOUR N., LEROY M., BAUVAIS S., CABBOI S., DUNIKOWSKI C., FLUZIN P. (2017) – Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VIIe-Ier s. a.c.) : de la réduction du métal à l'élaboration des demi-produits, dans : MARION S., DEFFRESSIGNE S., KAURIN J., BATAILLE G. (dir.), *Production et Proto-Industrialisation aux âges du Fer - Perspectives Sociales et Environnementales*, Actes du XXXIXe Colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Nancy, 14-17 mai 2015, Bordeaux, Éditions Ausonius, p. 301-334.

BRULEY G. (2005) – *Bonneuil-en-France / Garges-les-Gonesse (Val-d'Oise - Île-de-France), Déviation RD84, section BIP-RD 125*, Rapport de diagnostic archéologique, dates d'interventions : 5 juillet au 19 août 2005, Pantin, Sra Île-de-France / Inrap CIF, 66 p.

BUCHWALD V.F., WIVEL H. (1998) – Slag analysis as a method for the characterization and provenancing of ancient iron objects, *Materials Characterization*, 40-2, p. 73-96.

CABBOI S., DUNIKOWSKI C., LEROY M., MERLUZZO P. (2007) – Les systèmes de production sidérurgiques chez les Celtes au nord de la France, dans : MILCENT P.-Y. (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*, Actes du XXVIIIe colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Toulouse, 20-23 mai 2004, Bordeaux, Aquitania, p. 35-62.

CASADEI D., LECONTE L. (2000) – Analyse spatiale d'un établissement rural de La Tène D1 : Louvres / Le Vieux Moulin (Val-d'Oise), dans : MARION S., BLANCQUAERT G. (dir.), *Les installations agricoles de l'âge du Fer en France septentrionale*, Actes du colloque tenu à l'École normale supérieure, 29-30 novembre 1997, Paris, Presses de l'École normale supérieure, p. 299-311 (Études d'Histoire et d'Archéologie, 6).

CHARLTON M., BLAKELOCK E., MARTINÓN-TORRES M., YOUNG T. (2012) – Investigating the production provenance of iron artifacts with multivariate methods, *Journal of Archaeological Science*, 39, p. 2280–2293.

CHARLTON M. F., CREW P., REHREN T., SHENNAN S. J. (2010) – Explaining the evolution of ironmaking recipes - An example from northwest Wales, *Journal of Anthropological Archaeology*, 29-3, p. 352-367.

COUSTURES M. P., BÉZIAT D., TOLLON F., DOMERGUE C., LONG L., REBISCOUL A. (2003) – The use of trace element analysis of entrapped slag inclusions to establish ore - Bar iron links: examples from two Gallo-Roman iron-making sites in France (Les Martys, Montagne noire, and les Ferrys, Loiret), *Archaeometry*, 45-4, p. 599-613.

CREW P. (1991) – The experimental production of prehistoric bar iron, *Journal of Historical Metallurgy Society*, 25, p. 21-36.

CREW P. (2000) – The influence of clay and charcoal ash on bloomery slags, dans : TIZZONI C. C., TIZZONI M. (dir.), *Il Ferro nelle Alpi, Atti del Convegno / Iron in the Alps*, Proceedings of the Conference, p. 38-48.

CREW P., CREW S. (1994) – The expérimental production of bar iron, dans : MANGIN M. (dir.), *La sidérurgie ancienne de l'Est la France dans son contexte européen. Archéologie, archéométrie*, Actes du colloque de Besançon, 10-13 novembre 1993, Paris, Les Belles Lettres, p. 346-350 (Annales littéraires de l'université de Besançon, 536 ; Série archéologie, 40).

DAVEAU I., YVINEC J.-H. (2001) – L'occupation protohistorique du site de Fontenay-en-Parisis « La Lampe » (Val-d'Oise) : un lieu de consommation collective à La Tène C1 / C2, *Revue archéologique du Centre de la France*, 40, p. 69-102.

DESAULTY A.-M. (2008) – *Apport des analyses chimiques multi technique à la compréhension du comportement des éléments traces dans les filières sidérurgiques anciennes. Application aux études de provenance et à la distinction des procédés. Le cas du Pays de Bray normand*, Université de Technologie de Belfort Montbéliard, 300 p.

DESAULTY A.-M., DILLMANN P., L'HÉRITIER M., MARIET C., GRATUZE B., JORON J.-L., FLUZIN P. (2009) – Does it come from the Pays de Bray? Examination of an origin hypothesis for the ferrous reinforcements used in French medieval churches using major and trace element analyses, *Journal of Archaeological Science*, 36-10, p. 2445-2462.

DESAULTY A.-M., MARIET C., DILLMANN P., JORON J.-L., FLUZIN P. (2008) – A provenance study of iron archaeological artefacts by Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry multi-elemental analysis. *Spectrochimica Acta Part B-Atomic Spectroscopy*, 63, p. 1253-1262.

DILLMANN P., FLUZIN P., URTEAGA M. (1997) – Refining of an experimental biscaïan bloom from Agorregi, dans : CREW P., CREW S. (dir.), *Early Ironworking in Europe, Archaeology and Experiment*, International Conference, CSA-UISPP, Snowdonia national park, Plas Tan Bwlch, p. 73-75.

DILLMANN P., L'HÉRITIER M. (2007) – Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings : supply of materials and diffusion of smelting processes, *Journal of Archaeological Science*, 34-11, p. 1810-1823.

DILLMANN P., SCHWAB R., BAUVAIS S., BRAUNS M., DISSER A., LEROY S., GASSMANN G., FLUZIN P. (2017) – Circulation of iron products in the North-Alpine area during the end of the first Iron Age (6th-5th c. BC): a combination of chemical and isotopic approaches, *Journal of Archaeological Science*, 87, p. 108-124.

DISSER A. (2014) – *Production et circulation du fer en Lorraine (VIe s. av. J.-C. - XVe s. ap. J.-C.)*, Philosophiæ doctor, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 1038 p.

DISSER A., DILLMANN P., BOURGAIN C., L'HÉRITIER M., VEGA E., BAUVAIS S., LEROY M. (2014) – Iron reinforcements in Beauvais and Metz Cathedrals: from bloomery or finery? The use of logistic regression for differentiating smelting processes, *Journal of archaeological science*, 42-1, p. 315-333.

DISSER A., L'HÉRITIER M., DILLMANN P., ARLES A. (2017) – Le chantier de la tour de Mutte à Metz : regards sur la production du fer en Lorraine à la fin du Moyen Âge. Fouille de données, analyses prédictives et traitement spatial des données, *Journal de la Société française de Statistique*, 158-2, p. 13-39.

DUNIKOWSKI C., CABBOI S. (1995) – *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, Paris, Maison des Sciences de l'Homme, 186 p. (Documents d'archéologie française, 51).

DUNIKOWSKI C., SÉGUIER J.-M., CABBOI S. (2007) – La production du fer protohistorique au sud-est du Bassin parisien, dans : MILCENT P.-Y. (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*, Actes du XXVIIIe colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Toulouse, 20-23 mai 2004, Bordeaux, Aquitania, p. 279–289.

FLUZIN P. (2002) – La chaîne opératoire en sidérurgie : matériaux archéologiques et procédés. Apport des études métallographiques, dans : BOCOUM H. (dir.), *Aux origines de la métallurgie du fer en Afrique. Une ancienneté méconnue*, Paris, Unesco, p. 59-91.

FLUZIN P., PLOQUIN A., SERNEELS V. (2000) – Archéométrie des déchets de production sidérurgique. Moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe, *Gallia*, 57, p. 1-158.

GALILI E., BAUVAIS S., ROSEN B., DILLMANN P. (2015) - Cargoes of iron semi-products recovered from shipwrecks off the carmel coast, Israel, *Archaeometry*, 57-3, p. 505-535.

GRATUZE B., BLET-LEMARQUAND M., BARRANDON J.-N. (2001) – Mass spectrometry with laser sampling: a new tool to characterize archaeological materials, *Journal of Radionalytical and Nuclear Chemistry*, 247-3, p. 645-656.

HÉNON B., AUXIETTE G., BAUVAIS S., GRANSAR F., LEGROS V., MONCHABLON C., PISSOT V. (2012) – Villeneuve-Saint-Germain (Aisne), « les Étomelles », huit siècles d'occupation (IVe s. avant J.-C. - IVe s. après J.-C.), *Revue archéologique de Picardie*, 3-4, p. 47-205.

KRONZ A. (2003) – Ancient iron production compared to medieval techniques in Germany. Fayalitic slags and elemental mass balances, dans : *Archaeometallurgy in Europe*, Milano, Associazione Italiana di Metallurgia, p. 555-564.

LE BECHENNEC Y. (2002) – Bobigny, une bourgade protohistorique en banlieue, *Dossiers d'Archéologie*, 273, p. 30-33.

LE BECHENNEC Y., MARION S. (1998) – *Bobigny (Seine-Saint-Denis - Île-de-France), La Vache à l'Aise, 93 07 008 DFS de sauvetage (10/10/1995 - 30/09/1997)*, Document final de synthèse, Bobigny / Saint-Denis, Département de la Seine-Saint-Denis, Mission archéologie, Sra Île-de-France, 330 p.

LE BECHENNEC Y., MARION S. (1999) – *Bobigny (Seine-Saint-Denis - Île-de-France), le Stade de la Motte*, Document final de synthèse, Épinay-sur-Seine, Mission Archéologique de Seine-Saint-Denis, Sra Île-de-France.

LE BECHENNEC Y., MARION S. (2001) - *Bobigny (Seine-Saint-Denis - Île-de-France), La Vache à l'Aise, 93 07 008*, Document final de synthèse, Épinay-sur-Seine, Saint-Denis, Département de la Seine-Saint-Denis, Mission archéologie, Sra Île-de-France, 90 p.

LEBLANC J.-C. (2002) – *Sur l'identification de la chaîne opératoire de forgeage du fer antique, associée à l'archéométrie des battitures*, Philosophiæ doctor, Université Paul Sabatier, Toulouse.

LEFEUVRE A. (2008) – *Le Mesnil-Aubry / Le Plessis-Gassot (Val-d'Oise - Île-de-France), Le Bois Bouchard III, Phase 1*, Rapport de diagnostic archéologique, Saint-Denis / Saint-Ouen-l'Aumône, Sra d'Île-de-France / Sdavo.

LEROY M. (1997) – *La Sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau. L'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction direct*, Paris, Cnrs, 306 p. (Monographies du CRA, 18).

LEROY S. (2010) – *Circulation au Moyen Âge des matériaux ferreux issus des Pyrénées ariégeoises et de la Lombardie. Apport du couplage des analyses en éléments traces et multivariées*, Philosophiæ doctor, Sciences pour l'Ingénieur, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, 390 p.

LEROY S., COHEN S. X., VERNA C., GRATUZE B., TÉREYGEOL F., FLUZIN P., BERTRAND L., DILLMANN P. (2012) – The medieval iron market in Ariège (France). Multidisciplinary analytical approach and multivariate analyses, *Journal of archaeological science*, 39-4, p. 1080-1093.

LEROY M., MERLUZZO P., FLUZIN P., LECLERE D., AUBERT M., PLOQUIN A. (2000) – La restitution des savoir-faire pour comprendre un procédé technique : l'apport de l'expérimentation en archéologie du fer, dans : PÉTREQUIN P., FLUZIN P., THIRIOT J., BENOIT P. (dir.), *Arts du feu et productions artisanales*, Actes des XX[e] Rencontres Internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, 21-23 octobre 1999, Juan-les-Pins, Association pour la promotion et la diffusion des connaissances archéologiques, p. 37-51.

MALRAIN F., BAUVAIS S., HÉNON B., LEGROS V., SAUREL M., PISSOT V. (2010) – Le site artisanal de la Tène finale et du gallo-Romain de Ronchères (Aisne) « Le Bois de la Forge », *Revue Archéologique de Picardie*, 1-2, p. 37-161.

MANGIN M. (2004) – *Le Fer*, Paris, Errance, 237 p. (Collection Archéologiques).

MARION S., LE BÉCHENNEC Y., LE FORESTIER C. (2005) – *Bobigny (Seine-Saint-Denis). Bâtiment Hospitalisation. Bâtiment Radiothérapie*, Rapport final d'opération, Épinay-sur-Seine / Ville de Bobigny, Département de Seine-Saint-Denis, Inrap / Sra Île de France, 336 p.

MARION S., LE BECHENNEC Y., LE FORESTIER C. (2007) – Nécropole et bourgade d'artisans : l'évolution des sites de Bobigny (Seine-Saint-Denis), entre La Tène B et La Tène D, *Revue archéologique du centre de la France*, 45-46, p. e-publication.

MARION S., LE FORESTIER C., BAUVAIS S., DURGEAU S., FRÈRE S. (2016) – *Bonneuil-en-France (Val-d'Oise), Déviation RD 84*, Rapport de fouille, Pantin, Inrap CIF, 373 p.

MARION S., METROT P., LE BÉCHENNEC Y. (2005) – L'occupation protohistorique de Bobigny (Seine-Saint-Denis), dans : BUCHSENSCHUTZ O., BULARD A., LEJARS T. (dir.), *L'âge du fer en Île-de-France*, Actes du XXVI[e] colloque de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, Paris / Saint-Denis, 9-12 mai 2002, Tours, p. 97-126.

PLEINER R. (2006) – *Iron in Archaeology. Early European Blacksmiths*. Prague, Archeologický ústav AV ČR, 384 p.

SÉGUIER J.-M., GINOUX N., MÉNIEL P. (2008) – L'habitat de La Tène ancienne du Château à Roissy-en-France (Val-d'Oise), *RAIF*, 1, p. 169-190.

SERNEELS V. (1993) – *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*, Lausanne, 240 p. (Cahiers d'archéologie romande).

SERNEELS V. (2002) – Apport des analyses chimiques à l'étude des vestiges sidérurgiques, dans : *L'obtentcio del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*. Actes del 6é curs d'arqueologia d'Andorra, 2 au 5 octobre 2000, Andorre, Govern D'Andorra, Ministeri de Cultura, p. 268-288.

SERNEELS V., CREW P., CREW S., DILLMANN P., FLUZIN P., HERBACH R., SIMON J., URTEAGA M.M. (2002) – Analyses chimiques des matières premières et des produits de l'opération de réduction dans le four basque d'Agorregi, dans : URTEAGA M.M. (dir.), *La ferreria y los molinos de Agorregi-Aia,Gipuzkoa*, San Sebastian, Diputación Foral de Gipuzkoa, Departemento de cultura, Euskera, Juventud y Deportes - European comunity, vol. II - Arqueologia experimental, p. 93-121.

SERNEELS V., PERRET S. (2003) – Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains, dans : *Archaeometallurgy in Europe*. Proceedings of the International Conference, Milano, Associazione Italiana di Metallurgia, p. 469-478.

TOUQUET LAPORTE-CASSAGNE C., JOUANIN G. (2012) – Le Mesnil-Aubry « Le Bois Bouchard IV » (Val-d'Oise) : fouille de deux nouveaux établissements laténiens et présentation d'un dépôt particulier en silo, dans : *Actes des Journées archéologiques d'Île-de-France 2004-2005-2009-2010-2011*, Paris / Yvelines / Essonne / Hauts-de-Seine / Seine-Saint-Denis / Val-de-Marne / Val-d'Oise, Sra / Drac Île-de-France, vol. 2, p. 357-362.

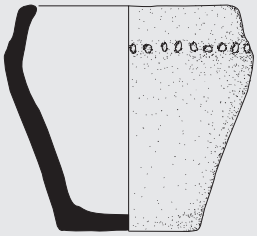
ZAOUR N., LEPAUMIER H., BERRANGER M., FLUZIN P. (2014) – Les activités métallurgiques dans les établissements ruraux enclos du second âge du Fer en Basse-Normandie : l'exemple du site des « Pleines » à Orval (Manche), *Archéosciences*, 38, p. 165-181.

Sylvain BAUVAIS
Cnrs, Umr 5060 – IRAMAT, LMC
CEA / Cnrs, Umr 3685 – NIMBE, LAPA
Université Paris-Saclay
sylvain.bauvais@cea.fr

Alexandre DISSER
Cnrs, Umr 5060 – IRAMAT, LMC
CEA / Cnrs, Umr 3685 – NIMBE, LAPA
Université Paris-Saclay
alexandre.disser@cea.fr

Philippe DILLMANN
Cnrs, Umr 5060 – IRAMAT, LMC
CEA / Cnrs, Umr 3685 – NIMBE, LAPA
Université Paris-Saclay
philippe.dillmann@cea.fr

Pour citer cet article
BAUVAIS S., DISSER A., DILLMANN P., 2018 - La métallurgie du fer à l'âge du Fer dans le Bassin versant du Crould : organisation des productions et étude de provenance, *RAIF*, Supplément 5, p. 453-506.



Le développement de l'archéologie préventive ces 20 dernières années a généré d'importantes découvertes sur l'occupation laténienne (Ve / Ier siècle av. J.-C.) du Bassin versant du Crould, espace nord-oriental du territoire des *Parisii*. Les grands projets d'aménagements tels que des infrastructures routières, l'extension de carrière, des créations de Zones d'Aménagements Concertés et les travaux engagés autour de l'Aéroport de Roissy-Charles de Gaulle ont ainsi permis de mettre au jours près d'une soixantaine de sites ruraux sur ce secteur, enrichissant considérablement les données sur l'organisation de la société du Second âge du Fer au nord de l'Île-de-France. À l'heure où de nombreux programmes de recherche nationaux relatifs à l'organisation des territoires et des implantations humaines sont développés pour ces périodes, il est apparu nécessaire de publier les résultats de ces découvertes sous forme d'une synthèse des sites associés à la culture matérielle. 36 auteurs issus de sept institutions investies dans la recherche archéologique participent à ce projet. Cette publication inter institutionnelle propose ainsi un regard actualisé sur la structuration des campagnes, les modalités d'appropriation de l'espace par l'Homme mais aussi sur les mutations socio-économiques de cette période charnière de l'Histoire.

Over the last twenty years, the development of preventive archaeology has led to important discoveries dating to the Late Iron Age (5th-1st century BC) in the Crould Basin, an area to the northeast of the Parisii territory. The large-scale development of this area including the building of roads and industrial parks, open cast mining, and the ongoing development around Roissy-Charles de Gaulle airport has led to the discovery of 60 or so rural sites that have considerably enriched our knowledge on how society was organised during the Late Iron Age in the north of Île-de-France.With the many research projects about land organisation and population growth during this period currently in place, it has become necessary to publish discoveries made in this area in the form of overviews of sites and their finds. 36 authors from seven bodies involved in archaeological research have participated in this project. This cross-institutional publication sheds new light on land management and on the social and economic mutations of this transition period of History.

Caroline TOUQUET LAPORTE-CASSAGNE
Responsable d'opération et céramologue protohistorienne au service départemental d'archéologie du Val-d'Oise (Sdavo) depuis 2009, et considérant la recherche scientifique comme partie intégrante de l'archéologie préventive, Caroline Touquet Laporte-Cassagne mène conjointement à son activité de terrain, des recherches sur la production matérielle et les modalités d'occupation du territoire à l'âge du Fer dans le Val-d'Oise. Ses missions de service public l'amènent également à effectuer nombre d'actions de médiations portant sur le Second âge du Fer auprès d'un large public (visite de sites, conférences, montages d'exposition et de renouvellements muséographiques).

ISSN 2101-3608
ISBN 978-2-9552594-2-9

PRIX : 35 €

9 782955 259429