



HAL
open science

La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions.

Marion Berranger, Michel Aubert, Hervé Laurent, Marc Leroy, Olivier Girardclos, Jean-Charles Méaudre, Paul Merluzzo, Jean Pierre Pietak, Christelle Sanchez, Nicolas Tisserand, et al.

► To cite this version:

Marion Berranger, Michel Aubert, Hervé Laurent, Marc Leroy, Olivier Girardclos, et al.. La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions.. [Rapport de recherche] SRA Bourgogne-Franche-Comté - DRAC. 2020. hal-03123547

HAL Id: hal-03123547

<https://hal.science/hal-03123547v1>

Submitted on 10 Mar 2022

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.



Institut national
de recherches
archéologiques
préventives

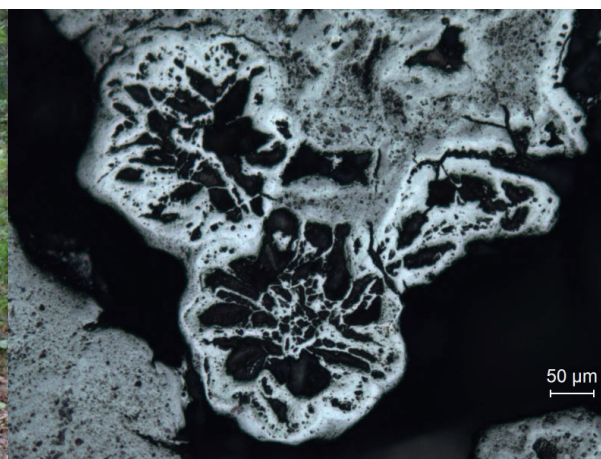


Projet Collectif de Recherche Rapport triennal 2018-2020

La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions



Prospections géophysiques à St Fargeau



Détail d'un minerai de fer de Puisayeu

Sous la direction de Marion Berranger
Laboratoire de «Métallurgies et Cultures» - Université de Technologie Belfort Montbéliard
UMR 5060 - CNRS - Institut de recherche sur les archéomatériaux



Projet Collectif de Recherche
Rapport triennal 2018-2020

La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté
avant le haut fourneau
Organisation et circulation des productions

Sous la direction de Marion Berranger

Par Michel Aubert
Sylvie Coubray
Hervé Laurent
Marc Leroy
Olivier Girardclos
Jean-Charles Méaudre
Paul Merluzzo
Jean-Pierre Piétak
Christelle Sanchez
Nicolas Tisserand
Stéphane Venault
Céline Veysseyre

Autorisation pluri-annuelle SRA Bourgogne-Franche-Comté
Code opération : 043312
SRA axe 12
INRAP axe n°2010-14

Fiche signalétique 2020

Programme collectif de recherche :

La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions.

Localisation :

Jura, Doubs, territoire de Belfort, Haute-Saône, Saône-et-Loire, Nièvre, Côte d'Or, Yonne

Coordinateur :

Marion Berranger, Laboratoire de «Métallurgies et Cultures» - CNRS - UTBM - UMR5060 - Institut de Recherche sur les Archéomatériaux

Intervenants scientifiques :

- *Laboratoire de «Métallurgies et Cultures» - CNRS - UTBM - UMR5060 - Institut de Recherche sur les Archéomatériaux.*

AUBERT Michel, BERRANGER Marion, DILLMANN Philippe, FLUZIN Philippe, LEROY Marc, LEROY Stéphanie, MEAUDRE Jean-Charles, MERLUZZO Paul, PIETAK Jean-Pierre, SANCHEZ Christelle, VEGA Enrique.

- *Institut National de Recherches en Archéologie Préventive*

CABBOI Sandra, VENAULT Stéphane, TISSERAND Nicolas, VEYSSEYRE Céline, VINCENT Ghislain, COUBRAY Sylvie.

- *Service Régional de l'Archéologie Franche-Comté*

LAURENT Hervé, LAURENT-CORSINI Sylvie.

- *Laboratoire Chrono-environnement- UFC-UMR6249*

Olivier GIRARDCLOS, Margaux HERBRICH, Matthieu THIVET.

Financements et moyens :

- Ministère de la Culture et de la Communication DRAC Franche-Comté, Service Régional de l'Archéologie

- Laboratoire de «Métallurgies et Cultures» -CNRS - UTBM - UMR5060 - Institut de recherche sur les archéomatériaux

- Institut National de Recherches en Archéologie Préventive

Sommaire

Fiche signalétique 2020	5
1. Présentation du programme de recherches.	11
1.1. L'archéoméallurgie dans le nord-est de la France : une longue tradition de recherche.	11
1.2. Présentation générale du programme de recherche.	12
1.2.1. <i>Spécificités et objectifs.</i>	
1.2.2. <i>Chronologie.</i>	
1.2.3. <i>Corpus.</i>	
1.3. Bref bilan des travaux engagés dans le cadre de la triennale 2018-2020 et présentation des travaux effectués en 2020.	15
2. Méthodologie.	25
2.1. Approches méthodologiques : l'enregistrement des données.	25
2.1.1. <i>Une base de données des sites sidérurgiques.</i>	
2.1.2. <i>La bibliothèque Zotero du PCR.</i>	
2.2. Approches méthodologiques : la caractérisation des déchets et produits métalliques.	30
2.2.1. <i>Caractérisations macroscopiques : l'inventaire analytique des déchets</i>	
2.2.2. <i>La photomodélisation des pièces archéologiques volumineuses</i>	
2.2.2. <i>Les analyses au microscope optique.</i>	
2.2.3. <i>Les analyses chimiques.</i>	
2.2.4. <i>Les datations radiocarbone par prélèvement du carbone dans la matrice métallique</i>	
3. La chronologie des espaces de réduction	39
3.1. Les districts de l'est	39
3.1.1. <i>Résultats obtenus et datations en cours en 2020 dans le district de Berthelange (Doubs et Jura - fig. 23)</i>	
3.1.2. <i>Le Morvan-Auxois (Côte d'Or)</i>	
3.2. Les district de l'ouest : le Nivernais.	46
3.2.1. <i>La Puisaye nivernaise</i>	
3.2.2. <i>Entrains-sur-Nohain</i>	
3.2.3. <i>Résultats</i>	
3.3. La chronologie à l'échelle de la région	49
3.3.1. <i>Intérêt et limites de la technique du radiocarbone</i>	
3.3.2. <i>Construction d'un graphique à l'échelle de la région (fig. 29-30)</i>	
3.3.3. <i>Ce que montre le graphique</i>	
4. Appréhender la provenance de produits ferreux	59
4.1. La caractérisation chimique des espaces de production.	59
4.2. Etude de la provenance de déchets ferreux issus des forges antique d'Entrains-sur-Nohain et de Chevroches (Nièvre).	61

5. La Puisaye : résultats des travaux 2018-2020	67
Fiche signalétique	67
5.1. Introduction générale	73
5.1.1. <i>Bref état des lieux des travaux effectués en Puisaye avant l'actuel PCR</i>	
5.1.2. <i>Objectifs, méthodologies et résumé des travaux effectués entre 2017 et 2020</i>	
5. 2. Résultats des sondages et prospections pédestres 2020. Organisation spatiale et chronologique des amas de déchets par zone-atelier.	77
5.2.1. <i>Une nouvelle zone atelier à Villiers-Saint-Benoit.</i>	
5.2.2. <i>Saint-Fargeau «Bois de Bailly» : prospections pédestres et sondages.</i>	
5.2.3. <i>Le secteur de Montholon «Bois des Ferriers». Caractéristiques topographiques des sites et datations radiocarbone.</i>	
5.3. Résultats des prospections géophysiques menées sur trois amas de déchets à Saint-Fargeau «Bois de Bailly».	101
5.3.1. <i>Objectifs</i>	
5.3.2. <i>Résultats et interprétations des acquisitions sur les amas 89.344.020 et 040.</i>	
5.3.3. <i>Résultats et interprétations des acquisitions sur l'amas 89.344.014</i>	
5.3.4. <i>Conclusion</i>	
5.4. Typologie, assemblages et chronologie des déchets.	113
5.4.1. <i>Typologie des déchets.</i>	
5.4.1. <i>Assemblage des déchets et types caractéristiques.</i>	
5.4.2. <i>Typo-chronologie des déchets.</i>	
5.5. Premières synthèses des observations effectuées en microscopie optique sur des scories de réduction.	125
5.5.1. <i>Les scories cristallisées denses (type A).</i>	
5.5.2. <i>Les scories cristallisées bulleuses de type B1.</i>	
5.5.3. <i>Les scories vitreuses.</i>	
5.5.4. <i>Les scories piégées (types F).</i>	
5.6. Compositions chimiques des résidus de minerais de fer et des scories prélevés dans les amas de déchets sidérurgiques anciens de Puisaye (état 2020)	137
5.6.1. <i>Les résidus de minerais</i>	
5.6.2. <i>Les scories</i>	
5.6.3. <i>Scories, procédés techniques, chronologie</i>	
5.7. Anthracologie des ferriers 5 et 20 du « Bois de Ferriers » à Montholon, Aillant-sur-Tholon (89)	153
5.7.1. <i>Matériel et méthodes</i>	
5.7.2. <i>Résultats de l'analyse anthracologique</i>	
5.8. Une première tentative de synthèse concernant l'évolution des activités sidérurgiques en Puisaye	163
6. Approche méthodologique de l'étude des forges : l'exemple d'Entrains sur Nohain (58).	173
6.1. Les fouilles du n° 17 de la rue de la Voie romaine	173
6.1.1. <i>Description des unités spatiales par phases</i>	
6.1.2. <i>Catalogue des structures triées par US</i>	
6.2. Les fouilles du 8 de la voie romaine	
6.2.1. <i>Présentation des vestiges par phase.</i>	
6.2.2. <i>Catalogue des structures triées par US</i>	227

7. Perspectives 2021-2023.	241
7.1. Projets pour une future programmation.	241
7.1.1. <i>Axe 1 : la caractérisation des espaces de réduction</i>	
7.1.2. <i>Axe 2 : l'étude des ateliers de forgeage et de la consommation du fer</i>	
7.2. Programmation 2021.	244
8. Bibliographie.	247
9. Liste des figures	253
Annexe 1. Inventaires concernant la Puisaye	261
Inventaire des amas prospectés à Villiers-Saint-Benoit (89.472)	
Photographie et logs des sondages à Villiers-Saint-Benoit (89.472)	
Inventaire des Unités stratigraphiques, commune de Saint-Fargeau 89.344	
Inventaire des mobiliers prélevés à Villiers-Saint-Benoit et Saint-Fargeau en 2020	
Annexe 2. Acquisitions géophysiques	281
Annexe 3. Calcul de volumes d'écoulements individualisés en boudins, à travers la modélisation tridimensionnelle.	289
Annexe 4. Compositions chimiques en éléments majeurs des échantillons de minerais de fer et de scories de réduction des sites étudiés en Puisaye (ICP-MS, SARM-CRPG-CNRS).	291
Annexe 5. Compositions chimiques en éléments traces des échantillons de minerais de fer et de scories de réduction des sites étudiés en Puisaye (ICP-MS, SARM-CRPG-CNRS).	295

1. Présentation du programme de recherches.

Marion Berranger

1.1. L'archéoméallurgie dans le nord-est de la France : une longue tradition de recherche.

Le nord-est de la France a joué un rôle essentiel dès les années 1980 dans les recherches archéoméallurgiques. En Lorraine, un pôle est ainsi constitué autour de Nancy, avec le Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG-CNRS) et le laboratoire d'Archéologie des Métaux (LAM, créé dans les années 1950). En Franche-Comté, ces travaux se sont développés d'abord à partir de l'institut d'archéologie de l'université de Franche-Comté, puis en collaboration avec l'Unité Propre de Recherche A0423 du CNRS basée à l'université de Technologie de Belfort-Montbéliard (UPR créée en 1991, actuel Laboratoire de Métallurgies et cultures – CNRS – UMR5060 – IRAMAT).

En Bourgogne - Franche-Comté, ces recherches intègrent le programme H27 « Mines et métallurgies de l'Antiquité à l'époque moderne dans la France de l'est » et des travaux universitaires dirigés par Michel Mangin, professeur à l'université de Franche-Comté. Dès 1986, ces inventaires à la fois bibliographiques et issus de prospections, ont été couplés à un programme de caractérisation des matériaux. Il s'agit d'analyses chimiques et minéralogiques (programme Artémis paléosidérurgie) des minerais et scories réalisées au CRPG sous la direction d'Alain Ploquin et Claude Forrières. Des analyses métallographiques sont également effectuées à l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard de Sévenans sous la direction de Philippe Fluzin. En ont résulté des synthèses sur les étapes de réduction du minerai de fer, concernant principalement le Morvan (Mangin *et al.* 1992), le Mâconnais (Boukezzoula 1995) et la zone de Berthelange (Laurent 1997). Les activités de forgeage ont également été appréhendées en contexte rural, dans le Haut-Auxois autour d'Alésia (Mangin *et al.* 2000) ainsi que dans certains contextes urbains (Mangin *et al.* 2000b, Benard *et al.* 1994).

Parallèlement, depuis les années 1990, les très nombreuses fouilles archéologiques préventives dans le grand-est de la France ont mis au jour un grand nombre de sites archéoméallurgiques, fournissant une documentation très riche, encore incomplètement traitée. Très récemment, elles ont été la base de deux thèses de doctorat portant sur la métallurgie dans le nord du Bassin-parisien (Bauvais 2007) et en Lorraine (Disser 2014). Un PCR portant sur l'étude des « formes d'organisation de la production en métallurgie ancienne », sous la responsabilité de Marc Leroy (LMC-UMR5060) et de Sandra Cabboi (INRAP-UMR5060), a également eu pour objectif d'étudier le grand nombre d'ateliers qu'il restait à caractériser en Lorraine, dans le sud de l'Île-de-France et dans le nord de l'Yonne. Ce programme s'est achevé en 2012 après plus de six ans d'activité et constitue un modèle de caractérisation des activités sidérurgiques, non plus à l'échelle de petites régions, mais couvrant la surface de macro-régions (Leroy, Cabboi 2019).

Le programme actuel, centré sur le Bourgogne et la Franche-Comté, relève du même objectif d'une caractérisation interdisciplinaire de l'organisation des activités sidérurgiques anciennes. Il a l'avantage de s'ancrer dans une longue tradition d'études archéoméallurgiques locales, dont les résultats pourront être comparés à ceux issus de régions voisines également en cours de caractérisation.

En Bourgogne - Franche-Comté, de nombreux sites livrant des traces de travail du fer ont été fouillés récemment, mais leur documentation est encore incomplètement exploitée. Au-delà des études à l'échelle du site, la possibilité d'étudier plusieurs secteurs métallurgiques dans leur ensemble rend envisageable une restitution fine de l'organisation des productions.

1.2. Présentation générale du programme de recherche.

1.2.1. Spécificités et objectifs.

L'espace pris en compte (fig. 1) présente des spécificités distinctes, spécialement en ce qui concerne les potentialités d'approvisionnement en matière première (disparité dans la répartition des lieux de production de fer brut). De plus, la zone géographique étudiée s'avère suffisamment vaste pour permettre la confrontation entre territoires se distinguant par leur organisation politique (les territoires de plusieurs peuples sont pris en compte), ou encore par les possibilités d'accès aux voies de communication.

Les questionnements portent sur la détermination des chaînes opératoires ainsi que sur leur l'organisation, à différentes échelles : celle du site, micro-régionale ou à l'échelle des peuples concernés. Il s'agit également de déterminer les modifications techniques ou organisationnelles en fonction des positionnements chronologiques

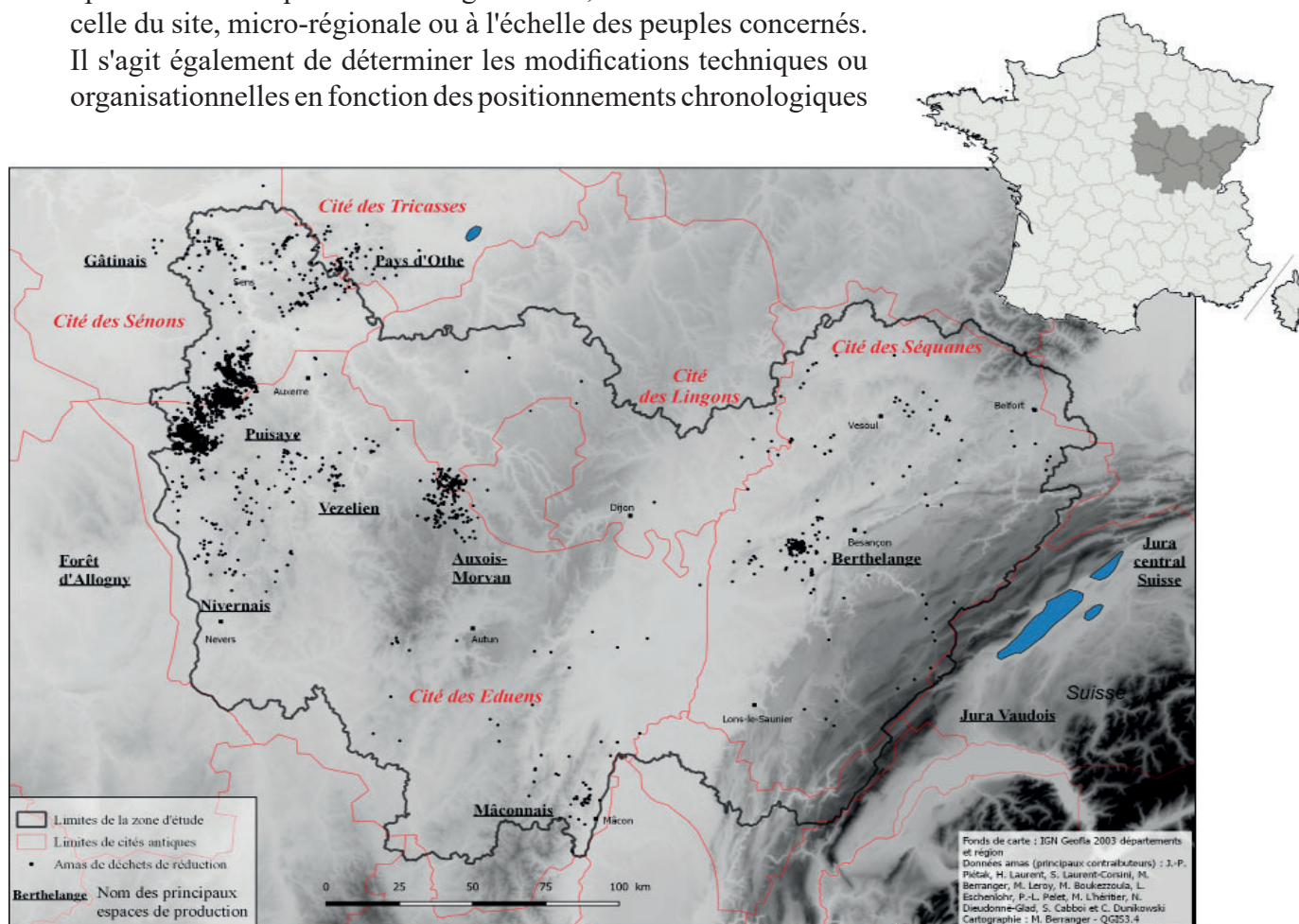


Figure n°1. Localisation des espaces de production connus au sein de la zone d'étude. Matérialisation des limites de cités antiques.

ou géographiques des sites étudiés. Enfin ce programme cherche également à caractériser la circulation des matières premières depuis les sites de productions (réduction), jusqu'à ceux où ils sont transformés (forge) puis consommés (habitats par exemple).

La région Bourgogne-Franche-Comté se caractérise par une documentation riche et renouvelée très récemment, en attente d'une caractérisation interdisciplinaire. Si de grands ensembles d'ateliers ont été réexaminés ces dernières années, dans le cadre du présent PCR, des collections majeures n'ont encore pu être traitées. De plus, l'ouest de la région abrite de grands districts de productions de fer brut anciens, bien connus depuis les années 1980, mais encore mal datés et caractérisés. Plus de 5000 sites de réduction sont ainsi inventoriés, répartis au sein d'une dizaine de districts d'ampleur inégale (fig. 1). L'importance majeure de certains d'entre eux, comme la Puisaye (2500 sites à elle seule), est cependant indéniable au vu des quantités de déchets encore visibles (Piétak *et al.* 2012). La caractérisation chronologique et chimique de ces ensembles a débuté et a connu des acquis importants dans le cadre du PCR «sidérurgie» ces trois dernières années, et constitueront la base de futures synthèses thématiques.

En Bourgogne-Franche-Comté, le potentiel de sites dont le mobilier sidérurgique n'a pas été étudié ou que partiellement, rend nécessaire d'opérer des choix face à un tel volume documentaire. C'est pourquoi l'objectif de ce projet de recherche n'est pas d'entreprendre un inventaire systématique de tous les indices d'ateliers métallurgiques, mais d'étudier des sites bien documentés, susceptibles de répondre aux mieux aux axes de recherche définis.

1.2.2. Chronologie.

Le développement de la métallurgie du fer dans nos régions intervient entre le VIII^e et le V^e s. av. J.-C., période durant laquelle les techniques de réduction connaissent une diffusion et une adoption progressive notamment dans une large moitié nord de la France actuelle. Ces techniques connaissent au cours de cette période, puis durant l'Antiquité et la période médiévale une succession d'innovations majeures. L'alliage métallique fer/carbone est d'abord obtenu sous une forme solide et hétérogène (procédé direct) au sein de fourneaux qui connaissent des modifications structurelles importantes permettant à partir des XIV^e/XV^e s. la production à l'état liquide de fonte, qu'il est nécessaire de décarburer avant d'être forgée (procédé indirect).

Durant les premiers temps de sa production, le fer sert de matière première pour certains biens de prestige. On le retrouve ainsi dans la fabrication des artefacts (épées, parties de chars) accompagnant les défunts des tombes aristocratiques. Pour ces périodes le nombre d'ateliers de réduction connu reste limité. Des productions ponctuelles côtoient de véritables centres productifs (Berranger *et al.* 2017c). Rapidement, l'utilisation de ce matériau croît et son utilisation se généralise pour la fabrication des armes et des outils, jusqu'à toucher toute la sphère des objets quotidiens (parure, quincaillerie, vaisselle) dès la fin de l'âge du Fer et surtout durant l'époque gallo-romaine. Son rôle stratégique et économique est alors indubitable. Dès le III^e s. av. J.-C. les ateliers de production de fer brut (ateliers de réduction) sont alors archéologiquement bien connus et constituent quelques grands centres de production. A partir du haut Moyen âge l'usage de ce matériau semble à nouveau se restreindre à des productions spécifiques, comme l'armement, l'outillage et certaines pièces de parure, mais parallèlement de nombreux districts de production de fer s'implantent sur des territoires où la production du fer étant absente jusqu'alors.

L'objectif de ce programme est ainsi de restituer l'importance de l'exploitation sidérurgique à l'échelle des limites actuelles de la Bourgogne-Franche-Comté, d'un point de vue diachronique des âges du Fer au Moyen âge, en déterminant la localisation des ateliers, la qualité des matériaux exploités, et les flux régionaux et extra-régionaux d'échanges. L'étude de l'origine des matières premières et des chaînes opératoires nous apporte en effet des informations inestimables sur le savoir-faire des sociétés, leur aire de diffusion culturelle et de rayonnement socio-économique.

1.2.3. *Corpus.*

Les sites de réduction.

Un des premiers objectifs du programme vise à déterminer les conditions de production du fer brut. Cela passe par la reconnaissance des lieux où s'est exercée la réduction du métal, ainsi que par la détermination de la chronologie et de l'importance de ces derniers. L'étude des types de techniques pratiquées est centrale. A terme, il s'agit également de déterminer l'origine des matières premières et l'échelle de circulation des matériaux ferreux.

Concernant ces étapes de réduction, le projet de recherche porte sur des régions présentant des situations contrastées d'accès à la matière première métallique brute (fig. 1). La Bourgogne comprend des zones de production de fer brut très importantes : Morvan, Vézélien, Puisaye, forêt d'Othe, livrant plusieurs centaines à milliers d'amas de scories (Leroy *et al.* 2000). Au contraire, en Franche-Comté, les travaux récents d'Hervé Laurent montrent qu'une seule zone de réduction groupée est connue, dans la zone de Berthelange (Laurent *et al.* 2012, Forlin, Laurent 2014).

Dans cette dernière région, la réduction ne débiterait pas avant le haut Moyen Âge. En Bourgogne, la réduction du minerai de fer remonterait au moins à l'Antiquité romaine voire aux âges du Fer, comme le confirment les datations obtenues ces dernières années dans le cadre du PCR, en Puisaye ou en forêt d'Othe (Berranger *et al.* 2018).

L'inventaire, les caractérisations techniques, chimiques et volumétriques, ainsi que la datation de ces « districts sidérurgiques » font l'objet des travaux du présent PCR afin de tenter de saisir les rythmes de la production. Cela constitue un très gros volume de travail, aussi dans le cadre de ce programme, deux approches sont privilégiées. Une approche approfondie est menée à l'échelle d'un nombre obligatoirement réduit d'espaces de production. Elle concerne actuellement la zone de Berthelange (25) et la Puisaye (89) où il s'agit d'appréhender plus précisément les rythmes et les caractéristiques de la production sidérurgique à partir de différentes échelles d'analyses. Une approche plus ponctuelle, concerne les autres espaces et permet d'obtenir des données de comparaisons. On se base alors sur l'exploitation de données déjà existantes ainsi que sur l'acquisition ciblée de nouvelles données afin de répondre à des questionnements précis (par exemple afin d'alimenter la base de données géochimique ou pour appréhender la chronologie de certains sites).

L'acquisition de nouvelles données passe par une importante activité de terrain. Des prospections et des sondages au sein des amas de scories sont ainsi réalisés pour prélever des scories à analyser et des charbons à dater, en stratigraphie.

Forges et demi-produits.

L'étude des lieux où se sont déroulées les activités de forgeage est également centrale. En effet, les ateliers de forge, généralement implantés au sein d'habitats bien datés, se caractérisent par une multiplicité de pratiques qui permettent de déterminer dans toute leur variété les différents degrés de spécialisations, de qualité des matériaux et d'organisation des activités. Il est ainsi possible de déterminer la nature des activités propres à chaque atelier, à l'échelle du site, et de s'interroger sur l'existence d'éventuelles complémentarités entre forges. A l'échelle régionale, il s'agit de préciser le rôle joué par chaque site de production (consommateurs, exportateurs) et de restituer les réseaux d'échanges locaux ou à plus grande distance. Une trentaine d'ateliers implantés au sein d'occupations de natures variées sont ainsi pris en compte.

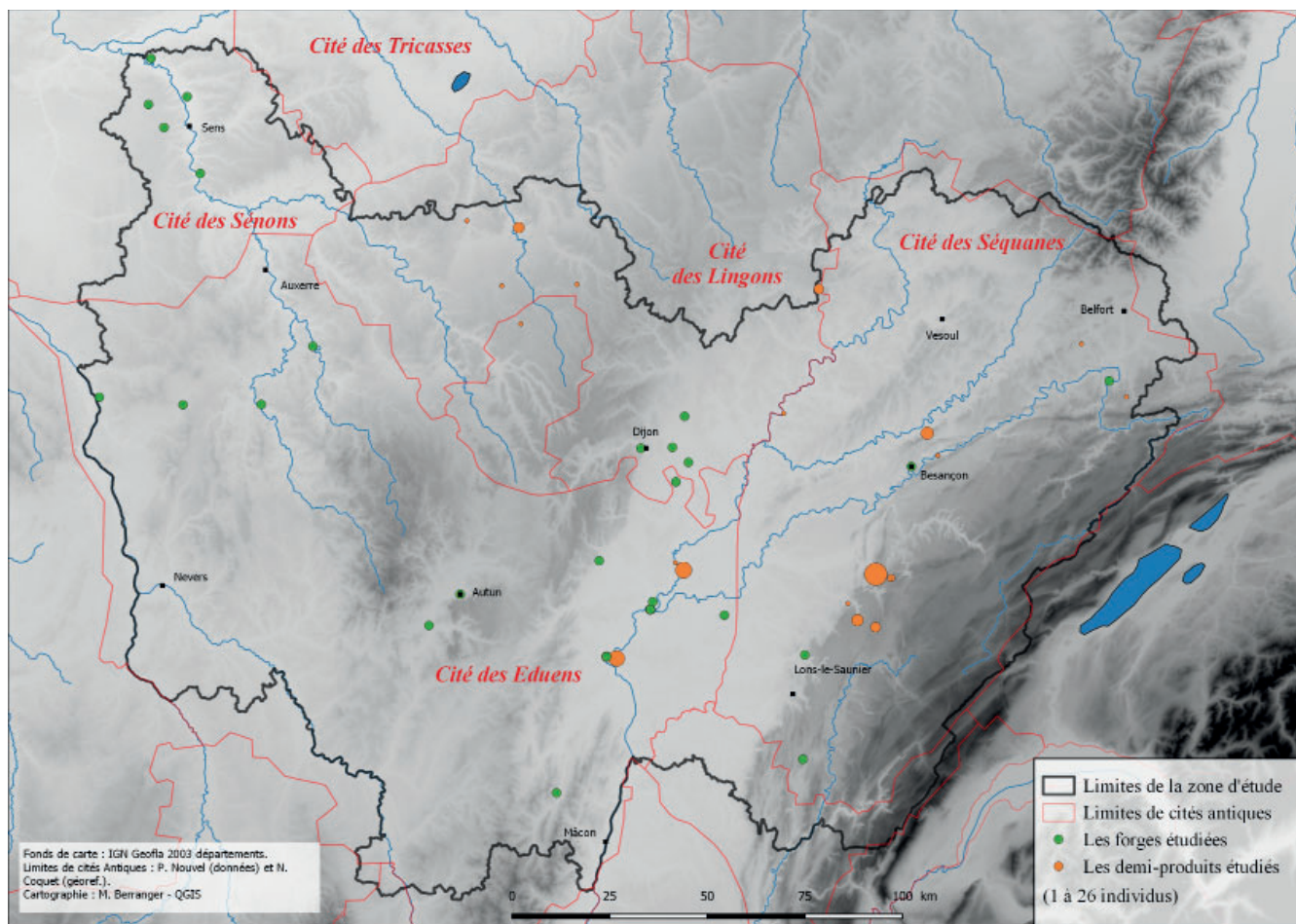


Figure n°2. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits.

Parallèlement, les masses brutes de réduction et demi-produits de fer, retrouvés en contexte d'ateliers ou en dépôts, sont étudiés de manière systématique. Ces objets sont destinés à approvisionner les ateliers de forge, lorsque les activités de production du fer (étape de réduction) et de fabrication d'objet (étape de forgeage) ne sont pas effectuées dans les mêmes lieux. Il s'agit donc de traceurs privilégiés pour étudier les modalités de circulation des matières premières métalliques et pour restituer les réseaux d'échanges. Ce sont également des produits privilégiés afin de déterminer la qualité des matériaux utilisés pour le forgeage et pour appréhender les savoir-faire mis en œuvre dans le traitement du métal. La zone Bourgogne-Franche-Comté présente l'intérêt d'être très riche en demi-produits en nombre total d'objets (une centaine d'objets), et en nombre de contextes de découverte connus (plus d'une vingtaine). Ils font l'objet d'un examen systématique privilégiant les lots et les groupements régionaux (fig. 2).

1.3. Bref bilan des travaux engagés dans le cadre de la triennale 2018-2020 et présentation des travaux effectués en 2020.

De par sa vocation interdisciplinaire (présentation des méthodologies appliquées chap. 2), le programme collectif de recherche rassemble les compétences d'archéologues, de documentalistes et d'archéométallurgistes, étroitement associés aux différents stades de travail. La figure 3 détaille les participants impliqués dans le programme depuis 2018 ainsi que la nature de leur participation.

Intervenant	Organisme de rattachement	Nature de la participation
AUBERT Michel	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Analyses archéométriques, DAO
BARRAL Philippe	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Encadrement d'étudiants
BAUVAIS Sylvain	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
BERRANGER Marion	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Coordination projet, travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
BULLY Aurélia	Artehis UMR5594	Etudes en archives
CABBOI Sandra	INRAP IDF - LMC - UMR5060	Travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
COUBRAY Sylvie	INRAP - MNHM	Etude dendo-anthracologiques
DILLMANN Philippe	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
DISSER Alexandre	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
FLOUEST Jean-Loup	Artehis UMR5594	Etude de Bragny-sur-Saône
FLUZIN Philippe	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
GIRARDCLOS Olivier	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Etude dendo-anthracologiques
HERBRICH Margaux	Univ. Bourgogne	Traitements LiDAR
JEANNOT Rémy	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques, anthracologie
LAURENT Hervé	DRAC-SRA F. Comté-LMC-UMR5060	Inventaire et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
LAURENT-CORSINI Sylvie	DRAC-SRA F. Comté-LMC-UMR5060	Cartographie et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
LEROY Stéphanie	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
LEROY Marc	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
MEAUDRE Jean-Charles	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Photomodélisation 3D
MERLUZZO Paul	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Etude interdisciplinaire des sites métallurgiques
MOUTON-VENAULT Sylvie	INRAP GES - Artéhis UMR5594	Céramologie
PIETAK Jean-Pierre	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Prospections des sites de Puisaye
SANCHEZ Christelle	Contract. LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Acquisitions géophysiques
THIVET Matthieu	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Acquisitions LiDAR
TURE Ingrid	INRAP Centre	DAO
TISSERAND Nicolas	INRAP GES - Artéhis UMR5594	Etude du site d'Entrains-Sur-Nohain
VEGA Enrique	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Analyses MEB-EDS
VENAULT Stéphane	INRAP GES - UMR6249	Travaux de terrain, étude des sites métallurgiques, étude d'Entrains-Sur-Nohain
VEYSSEYRE Céline	INRAP GES - Artéhis UMR5594	Documentation, gestion de la bibliothèque Zotero
VINCENT Ghislain	INRAP MED - ASM - UMR5140	Etude du site d'Entrains-Sur-Nohain

Figure n°3. Liste des participants au PCR entre 2018 et 2020, et détail des activités de chacun.

1.3.1. Les espaces de réduction.

Bilan 2018-2020.

Dans le cadre du présent programme triennal, la priorité a été donnée à la caractérisation des espaces de réduction, plus particulièrement bourguignons. En effet, si en 2018 la cartographie de ces sites était en grande partie connue, nous ne disposions que de données fragmentaires concernant la topographie de ces amas, leur datation et la nature des scories en provenant. Les travaux les plus avancés concernaient l'est de la grande région Bourgogne-Franche-Comté, grâce aux travaux menés depuis plus de 30 ans par Hervé et Sylvie Laurent sur le secteur de Berthelange à l'ouest de Besançon, et sur la Haute-Saône et le Jura. Il était donc nécessaire de rééquilibrer nos connaissances à l'échelle de la grande région Bourgogne-Franche-Comté, en se basant sur une intense activité de terrain, afin de caractériser l'étendue de ces sites et de disposer de prélèvements permettant de les dater et de déterminer les techniques sidérurgiques.

Des prospections systématiques ont ainsi été engagées ces trois dernières années sur trois zones prioritaires :

- en Puisaye, qui a fait l'objet des travaux les plus poussés à partir de trois zones ateliers (voir rapport 2018 p. 43-105, rapport 2019 p. 47-144 et dans ce volume chap. 5) ;

- dans le nord-ouest du Nivernais (résultats détaillés présentés dans le rapport PCR 2018 p. 107-127) ;

- dans le Morvan-Auxois à partir des communes de la Roche-en-Brenil et Saint Germain de Modéon, ainsi que d'une sélection d'amas les plus volumineux (résultats détaillés présentés dans le rapport PCR 2019 p. 145-166).

165 amas de réduction ont ainsi été prospectés ces trois dernières années et une trentaine d'entre-eux ont été sondés (fig. 4).

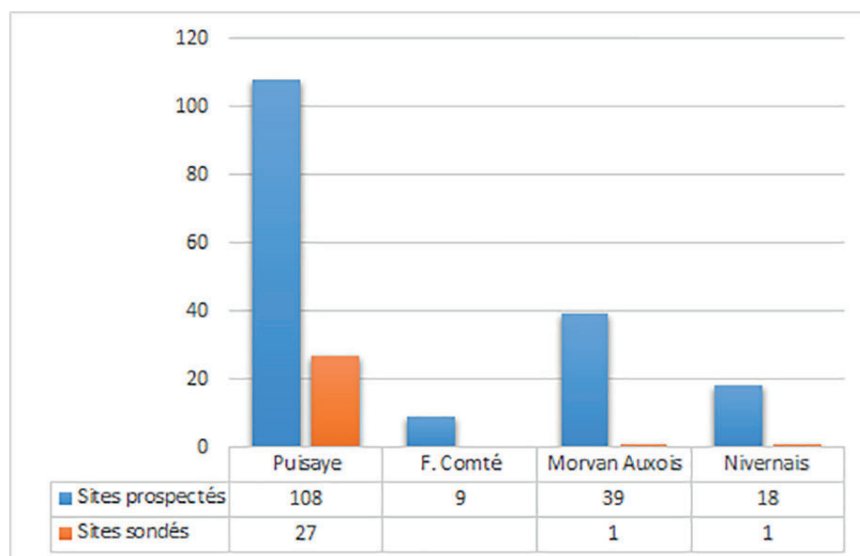


Figure n°4. Nombre de sites de réduction prospectés et sondés entre 2018 et 2020 dans le cadre du PCR.

Parallèlement, les prélèvements de charbons de bois et de déchets métallurgiques (métal, scories, minerais, parois) issus de ces sites ont fait l'objet de datations radiocarbone et d'analyses archéométriques pour étude des techniques de réduction. 94 dates radiocarbone et 247 analyses chimiques (réalisées au CRPG) ont ainsi été effectuées ces trois dernières années.

En prenant en compte les travaux engagés durant les deux triennales du présent PCR, et les travaux "hors PCR" nous disposons à présent de 241 datations exploitables et de 576 analyses chimiques en provenance d'ensembles de production de fer brut régionaux. L'ensemble des espaces de production a été échantillonné (fig. 6 et 8) et nous avons pu commencer à rééquilibrer le déficit de connaissance à l'ouest de la région, tel qu'il apparaissait au début de ce programme triennal (fig. 5 et 7).

Ces résultats permettent à présent de disposer d'une documentation solide afin de travailler sur l'évolution des techniques sidérurgiques, dans leur cadre spatio-temporel. Une des priorités de l'année 2021 sera ainsi consacrée à la rédaction d'un premier article de synthèse concernant la caractérisation chronologique des différents ensembles de réduction étudiés. Ces résultats nous amènent également à formuler des objectifs redéfinis pour un nouveau programme triennal qui débiterait en 2021. Ils sont détaillés en conclusion.

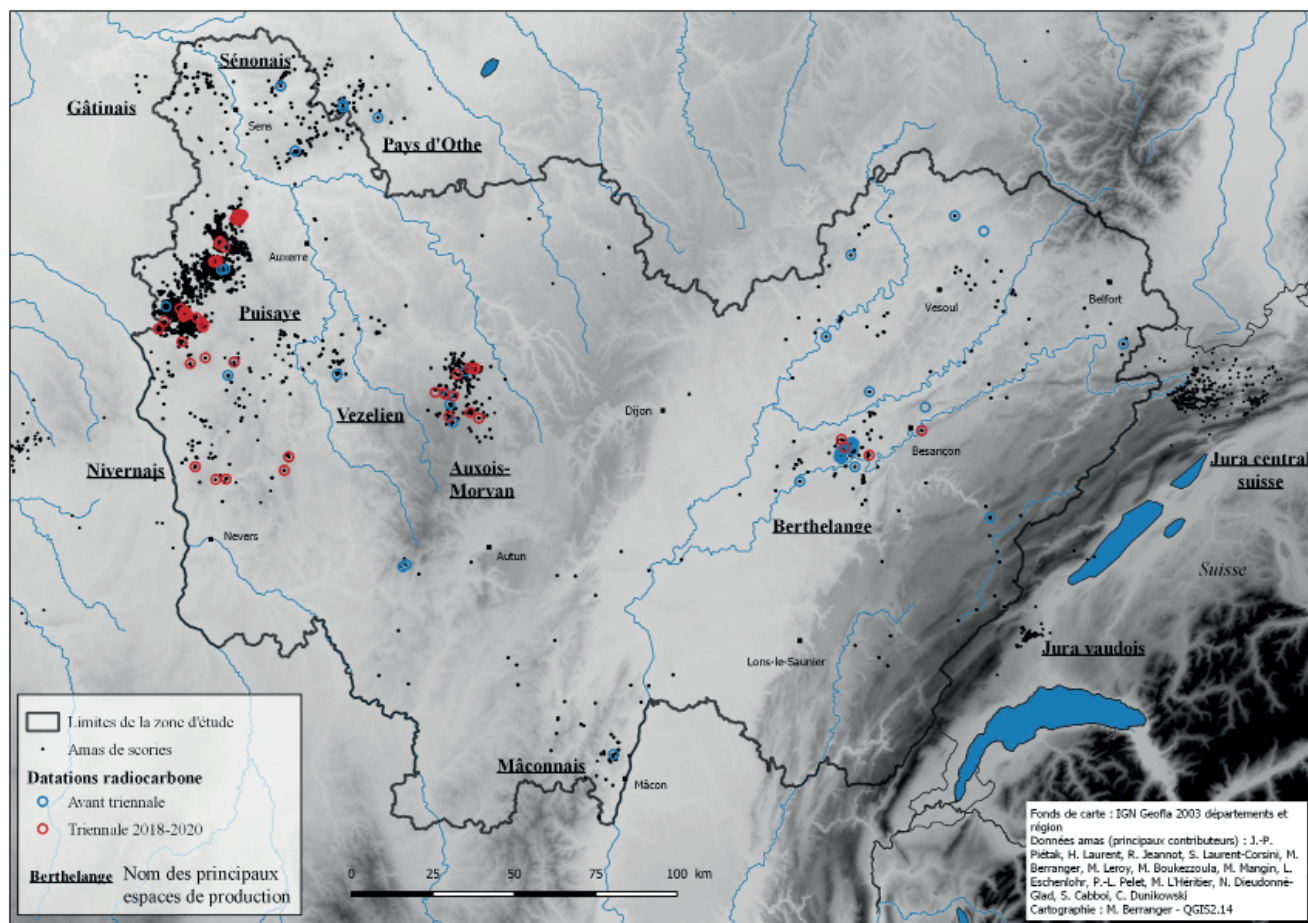


Figure n°5. Répartition des sites datés par radiocarbone en Bourgogne-Franche-Comté. Visualisation des périodes d'obtention des datations (avant et pendant l'actuelle triennale 2018-2020).

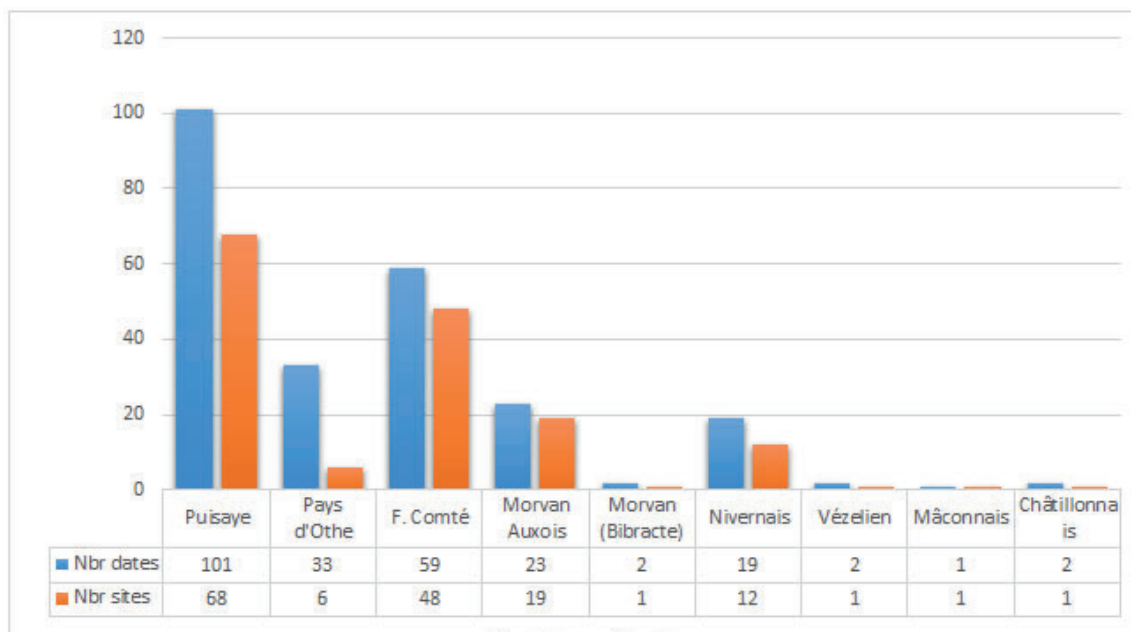


Figure n°6. Nombre de dates radiocarbone disponibles en fonction des zones de production de Bourgogne-Franche-Comté.

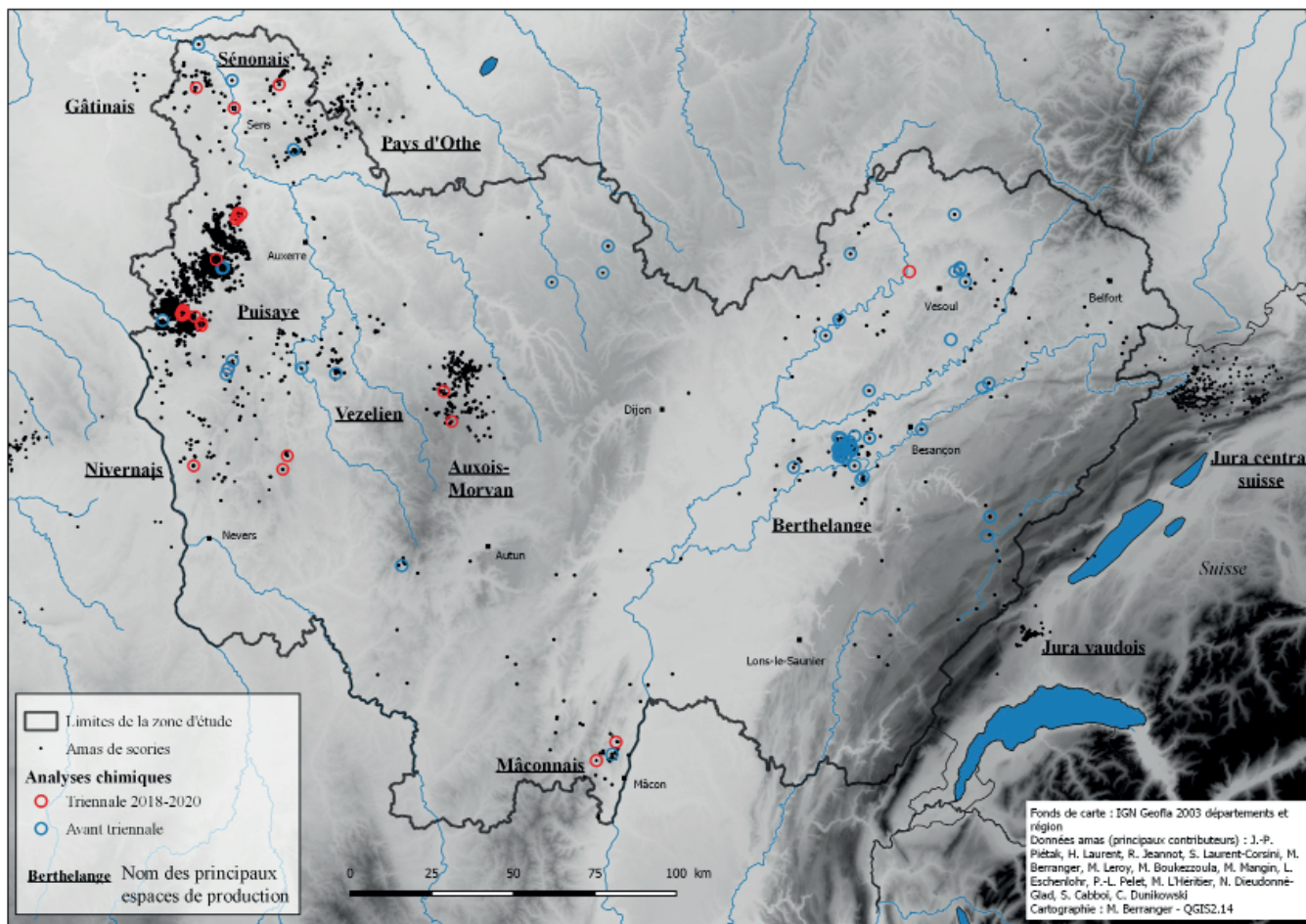


Figure n°7. Répartition des sites ayant fait l'objet d'analyses chimiques (minerais-scories) en Bourgogne-Franche-Comté. Visualisation des période d'obtention des résultats (avant et pendant l'actuelle triennal 2018-2020).

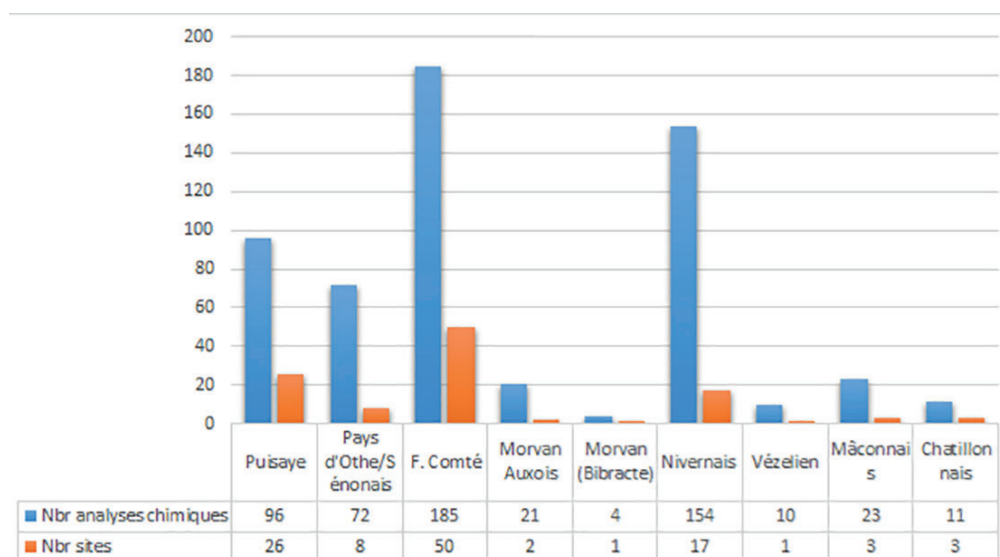


Figure n°8. Répartition des analyses chimiques réalisées sur les scories et minerais en fonction des zones de production de Bourgogne-Franche-Comté.

Travaux effectués en 2020.

La crise sanitaire a induit des modifications dans le programme des campagnes de terrain. Malgré tout, deux campagnes d'une semaine ont pu être réalisées sur les sites de réduction de Puisaye (Bourgogne). La fouille d'un atelier de réduction protohistorique, prévue pour 2020 a cependant dû être repoussée à l'année prochaine.

En Puisaye, ces travaux sont intervenus dans la continuité des campagnes de terrain réalisées depuis 2017. Deux "zones-ateliers" situées au nord (secteur de Montholon) et au sud (Saint-Fargeau) ont ainsi été prospectées et échantillonnées ces quatre dernières années. En 2020, une troisième et dernière "zone-atelier" a été sélectionnée dans la partie centrale de la Puisaye à Villiers-Saint-Benoit (89). La demande de prospection a été cette fois-ci accompagnée d'une autorisation de sondages, ce qui a permis de réaliser des micro-sondages dans tous les amas qui ne livraient pas de scories avec des charbons. 28 amas de déchets sidérurgiques ont été typographiés et décrits. Des scories ont été prélevées et décrites pour chacun de ces sites. Des prélèvements de charbons à des fins de caractérisations chronologiques ont pu être effectués au sein de 22 d'entre-eux (résultats présentés chap. 5).

Une autre semaine de terrain a été réalisée en août sur le secteur de Saint-Fargeau (89), déjà prospecté en 2019. Plusieurs objectifs ont été remplis. Des prélèvements manuels et mécaniques ont été réalisés sur six amas de déchets supplémentaires afin d'acquérir des éléments de datations. Parallèlement une campagne de prospection géophysique a été réalisée sur trois amas de scories en vue de la réalisation de fouilles archéologiques. Il s'agissait de déterminer l'étendue des épandages de déchets et d'éventuellement visualiser l'implantation des fours de réduction afin de déterminer l'implantation de la zone de fouille. Trois méthodes de prospections ont été utilisées : électrique, magnétique et électro-magnétique (résultats présentés chap. 5.3).

Les travaux de master de Margaux Herbrich (Université de Dijon, co-encadrement P. Nouvel, M. Thivet, M. Berranger) portant sur le traitement des données LiDAR acquises en 2018 sur le secteur de Montholon (Puisaye), afin de calculer les volumes de déchets et étudier l'organisation spatiale des sites, se sont poursuivis. Ils devraient être achevés d'ici la fin de l'année 2020 ou le début de l'année 2021.

2020 correspondant à la dernière année d'un programme triennal, nous souhaitons achever ou avancer de manière significative certaines thématiques. Des priorités ont donc été formulées. Ainsi l'accent a été mis cette année sur l'avancement de l'inventaire des sites de réduction afin de compléter la cartographie des zones de réduction à l'échelle de la Bourgogne-Franche-Comté (contrat d'un mois d'un IE pour dépouillement à la carte archéologique). Ce travail d'ampleur devra néanmoins être poursuivi l'année prochaine.

Un effort budgétaire particulier a également été réservé aux datations radiocarbone des sites de réduction. L'objectif était de disposer de datations pour l'ensemble des sites prospectés ces dernières années et qui avaient livré des charbons.

62 datations radiocarbone ont ainsi été effectuées pour cette seule année 2020. 38 ont été financées de manière directe par le PCR et 24 ont été prises en charge via la plateforme ARTEMIS. Aucune nouvelle analyse chimique n'a par compte été effectuée, cependant les travaux menés ces dernières années nous permettent de disposer de données de référence en provenance de l'ensemble des espaces de réduction régionaux (fig. 7 et 8).

Depuis le début du PCR un axe paléoenvironnemental intègre les travaux menés sur la Puisaye. Lors des opérations de sondages réalisées 2017, 2018 et 2019, plusieurs séries de prélèvements ont ainsi été réalisés en stratigraphie sur des amas pour lesquels nous disposons de datations radiocarbone. Dans la continuité des travaux réalisés l'année dernière sur ces corpus, un mois de travail conjoint entre Sylvie Coubray, anthracologue de l'INRAP et Olivier Girardclos, anthracologue du laboratoire chrono-environnement a été effectué afin d'exploiter ces données et de réaliser une première synthèse de ces résultats. Le protocole intègre dès la phase de terrain une démarche innovante dite "dendro-anthracologique" dont les objectifs sont d'étudier la structure de peuplement de la végétation exploitée : d'estimer le calibre des tiges utilisées, d'approcher des notions d'âge à l'exploitation et des caractéristiques de croissance typiques de pratiques de gestion forestière (densité, traitement en taillis). Un chapitre détaillé a été présenté dans le rapport 2019. Cette année aucune nouvelle

1.3.2. Les ateliers de forgeage.

L'étude des ateliers de forgeage n'a pu faire l'objet d'un investissement comparable aux travaux menés sur les espaces de réduction. Une grande partie des travaux menés ces trois dernières années dans le cadre de cet axe a donc été centrée sur l'agglomération romaine d'Entrains-sur-Nohain qui est prioritaire au sein du PCR depuis le début de sa programmation, en raison des séries d'ateliers de forgeage qui y ont été mis jour (voir rapports 2015 à 2017).

Après l'achèvement des inventaires des déchets en 2018, les années 2019 et 2020 ont ainsi été consacrées à la mise en forme d'un premier travail de synthèse concernant l'interprétation des espaces d'ateliers. L'objectif est de comparer les données topographiques concernant les structures métallurgiques avec les résultats des travaux déjà menés sur les macro-déchets (chutes métalliques et scories). Il s'agira ensuite de proposer des plans interprétés des structures métallurgiques et de proposer une analyse spatiale des ateliers en fonction des activités pratiquées. Ce travail est réalisé dans un premier temps à l'échelle d'Entrains-sur-Nohain, mais il vise à inclure d'autres agglomérations romaines bien documentées (Saint Moré par exemple).

Il a été convenu que le premier objectif est la réalisation d'un catalogue des structures métallurgiques (foyers, fosses etc). En 2019 un premier travail de catalogage a été réalisé par G. Vinçent (voir rapport PCR 2019) sous la forme d'un inventaire descriptif et illustré de toutes les structures métallurgiques et annexes présentes dans les forges de la fouille du 16 route d'Etai. Ces travaux ont été menés parallèlement à ceux d'un master achevé en 2020 (S. Lammouchi Univ. Strasbourg – encadrement L. Bernard, M. Berranger, G. Vinçent) qui porte sur la répartition spatiale et typologique des micro-déchets au sein de ces mêmes ateliers.

En 2020 le travail de catalogage a été poursuivi et achevé pour deux autres secteurs fouillés récemment (8 rue de la voir Romaine, fouille 2008, et Rue romaine fouilles 2013 - voir chap. 6).

D'autres travaux sur le terrain et en laboratoire ont également été conduits ces trois dernières années. En 2018, une fouille de deux semaines a ainsi été réalisée à Bibracte sur un atelier métallurgique consacré successivement au travail du fer et des alliages cuivreux. Les résultats de cette opération ont été présentés dans le rapport d'activité de Bibracte (Berranger *et al.* 2018) et intègrent un projet de publication concernant la plateforme PC15, dirigé par Ph. Barral.

L'analyse chimique des inclusions de scories de séries d'objets en fer a également été poursuivie. L'objectif est de retracer les provenances en comparant la signature chimique de ces objets avec

celle des espaces de production déjà caractérisés. Nous disposons à présent de données pour 75 objets datés des âges du Fer et de l'époque romaine (tabl.). Une partie de ces résultats est encore en cours d'exploitation (voir chap. 4), tandis que certains de ces travaux ont déjà été publiés (voir paragraphe suivant).

Site	Nature du site	Type d'objets	Chronologie	Nbr d'objets analysés
Saint-Thiébaud (39)	Dépôt isolé	Demi-produit	2e Age du Fer	9
Salins-les-Bains (39)	Dépôt isolé	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Arbois (39)	Dépôt isolé	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Valempoulières (39)	Dépôt isolé	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Champdivers (39)	Dépôt en milieu humide	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Vix "Mont Lassois" (71)	Dépôt en habitat	Demi-produits et chutes de forgeage	1er Age du Fer	11
Bragny-sur-Saône (71)	Habitat	Métal brut et chutes de forgeage	1er - début 2e âge du fer	7
Saint Marcel (71)	Fleuve	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Seurre (71)	Fleuve	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Pouilly-sur-Saône (71)	Fleuve	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Chalon-sur-Saône (71)	Fleuve	Demi-produit	2e Age du Fer	2
Roches-Les-Blamont (25)	Dépôt isolé	Demi-produit	1er Age du Fer	1
Vaire-Arcier (25)	Dépôt isolé	Demi-produit	1er Age du Fer	1
Aibre (25)	Dépôt isolé	Demi-produit	1er Age du Fer	1
Fontaine-en-Duesmois (21)	Dépôt isolé	Demi-produit	2e Age du Fer	1
Magny-Lambert (21)	Funéraire	Epée	1er Age du Fer	1
Besançon (25)	Agglomération romaine	Fragments de métal brut, chutes de forge, clous de murus gallicus	Antiquité	3
Beaune "Les Perrières" (21)	Station routière	Fragment de métal brut, chutes de forge	Antiquité	6
Entrains-sur-Nohain (58)	Agglomération romaine	Fragment de métal brut, chutes de forge	Haut Empire	19
Chevroches (58)	Agglomération romaine	Fragment de métal brut, chutes de forge	Bas Empire	6
20 sites			Totaux	75

Figure n°9. Inventaire des objets ayant fait l'objet d'une analyse chimique inclusionnaire.

1.3.3. Approches transversales et valorisation.

Plusieurs outils de travail ont également été développés depuis 2018 et sont actuellement opérationnels :

- la mise en place d'une base de données rassemblant l'intégralité des données disponibles pour les sites métallurgique du PCR. L'ensemble des sites étudiés dans le cadre du programme sont ainsi rassemblés dans cette base de données comprenant un inventaire des sites, des datations, des mobiliers associés et des analyses archéométriques réalisées (voir chap. 2.1.1). Plus de 5000 sites intègrent actuellement la base et doivent faire l'objet d'une vérification détaillée pour certaines références.

- une bibliothèque ZOTERO a également été créée par C. Veysseyre (documentaliste INRAP). et rassemble les références utiles au projet. Elle est à présent accessible pour les chercheurs qui le souhaitent (chap. 2.1.2.)

La valorisation de ces travaux a également débuté sous forme de publications (liste ci-dessous) et de communications en colloques :

- BERRANGER (M.), BAUVAIS (S.) 2020 : Changements sociétaux et évolution de l'économie du fer du Hallstatt D à La Tène D dans le nord-est de la France. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, t. 117-4, p. 619-640.

- BERRANGER (M.), DILLMANN (P.), FLUZIN (P.), VEGA (E.), LEROY (S.), AUBERT (M.), DELQUE-KOLIC (E.) 2019 : Du produit d'échange à l'objet symbole : de nouvelles données sur les demi-produits de type currency-bar du Val-de-Saône et l'Arc Jurassien. *Gallia – Archéologie des Gaules*, CNRS Editions, 2019, 76/2, p. 165-189.

- GOGUEY (D.), BENARD (J.) dir., BERRANGER (M.), CHEVIGNY (E.), FOVET (E.), GIOSSA (A.), GRANJON (L.), GUILLAUMET (J.-P.), PAUTRAT (Y.), PILLOT (L.), PETIT (C.), POPOVITCH (L.), SALIGNY (L.), avec la collab. de CORDIER (A.), JOBELIN (G.), VEGA (E.) 2018 : *Structures en pierre du plateau du Châtillonnais (côte d'Or) du Hallstatt à l'Antiquité tardive. L'apport de l'archéologie forestière*. Editions Mergoïl, Dremil-Lafage 2018, Archéologie et histoire romaine, 39

- JEANNOT (R.), BERRANGER (M.), NOUVEL (P.) 2018 - La métallurgie du fer dans l'agglomération antique d'Epomanduodurum (Mandeure-Mathay, 25). Archéologie et archéométrie. *Bulletin de la société d'émulation de Montbéliard*, n°140, 2018, p.23-51

D'autres articles ont été soumis :

- BERRANGER (M.), DILLMANN (P.), FLUZIN (P.), VEGA (E.), LEROY (S.), AUBERT (M.), DELQUE-KOLIC (E.) soumis 2020 : A new understanding of the chronology, circulation and function of Iron Age ferrous semi-products in north-eastern France. *Archaeological and Anthropological Science*.

- BAUVAIS (S.), BERRANGER (M.), DILLMANN (Ph.), DISSER (A.), LEROY (S.), FLUZIN (Ph.) soumis 2020 - Le fer des principautés : l'économie du fer dans le nord-est de la France au Hallstatt D et à La Tène A1. *Actes du colloque de Vix, sous la direction de B. Chaume et P. Brun*.

- VENAULT (S.), TISSERAND (N.), BERRANGER (M.), GAETAN (L.), MOUTON-VENAULT (S.), VINCENT (G.), CABBOI (S.), NOUVEL (P.) soumis - Un quartier de forgerons du Ier-IIe s. ap. J.-C. à Entrains-sur-Nohain /Intaranum (Nièvre). *Actes de la table ronde tenue à la MAE de Nanterre en février 2016 à paraître dans Gallia*.

- Une exposition concernant les fouilles récentes menées par l'INRAP à Entrains-sur-Nohain a également été montée au musée de Clamecy en 2019 (jusqu'en novembre 2020) sous la coordination de S. Venault (INRAP). Les résultats des travaux développés actuellement sur la sidérurgie dans le cadre du PCR ont ainsi fait l'objet d'une première présentation.

2. Méthodologie.

2.1. Approches méthodologiques : l'enregistrement des données.

M. Berranger, N. Zaour, H. Laurent, M. Leroy, P. Merluzzo, S. Bauvais

2.1.1. Une base de données des sites sidérurgiques.

Une base de données est utilisée depuis l'année dernière afin de rassembler l'ensemble des informations acquises sur les sites sidérurgiques étudiés dans le cadre du PCR. Elle a été créée sous Filemaker Pro 11 et est encore en phase de test.

Présentation.

Cette base de données comprend cinq tables :

- Bdd_sites : inventorie par site la description des entités archéologiques ;
- Bd_inv_analytique : inventorie par site le matériel sidérurgique prélevé (scories, objets en métal), mais aussi les charbons datés par méthode radiocarbone.
- Bdd_métallo-métal : rassemble par objet en fer la description des observations faites au microscope métallographique.
- Bdd_métallo-scorie : rassemble par objet scorifié la description des observations faites au microscope métallographique.
- Bdd-micro-métallo : inventorie tous les clichés métallographiques par objet.

Des liens (liens sur le n° de site ou sur le n° d'objet – fig. 10) permettent de naviguer facilement d'une table ou d'un modèle à l'autre. Ils rendent également possible la création automatisée de fiches ou de champs au sein des fiches.

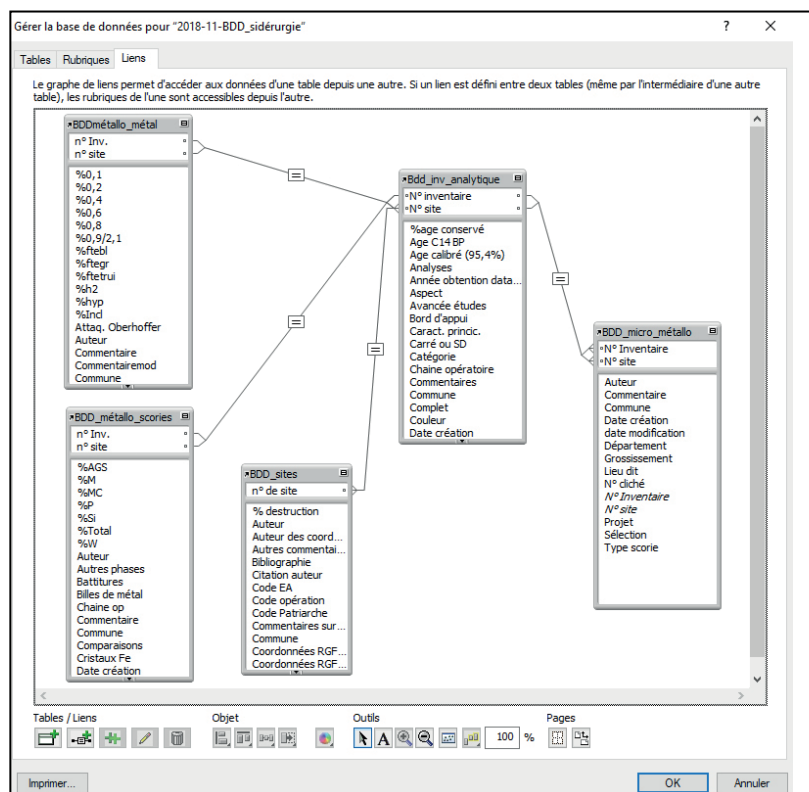


Figure n°10. Liens existants entre les tables créées au sein de la base de données.

Sont présentés ci-dessous des exports des différents modèles de fiches. Les données sont saisies en associant descriptions libres et codage des critères descriptifs sous forme de cases à cocher ou de listes déroulantes. Il n'est pas possible de faire apparaître ici l'ensemble des listes de valeurs. Les cases dont la description est codée apparaissent néanmoins en rouge afin de pouvoir les identifier.

Commune	AILLANT-SUR-THOLON	
Lieu dit	Bois des Ferriers	
Département	Yonne	Surface (m²) 3400
Pays	France	% destruction 70%
Zone géog.	Puisaye	
RO - Inventeur	J.-P. Piétak	
Organisme		
Code site inventeur	Bois des Ferriers 3	

n° de site	89.003.003
n°INSEE	89003
Code Patriarche	
Code opération	
Code EA	
Parcelle cadastrale	0 A-2
Coordonnées RGF93 X	721726
Coordonnées RGF93 Y	6752568
Type de coord.	Calcul SIG
Auteur des coord.	QGIS

Période chronologique	Date inférieure (TPQ)	73 AD
Gallo-romain	Date supérieure (TAQ)	325 AD

Type de site	Ferrier en amas	Occupations associées	
Structure métallurgique	Traitement de l'argile	Traitement du minerai	Traitement du combustible
<input type="checkbox"/> Charbonnière <input type="checkbox"/> Mine <input type="checkbox"/> Traitement de l'argile <input type="checkbox"/> Foyer de cuisson du minerai <input type="checkbox"/> Zone de traitement du minerai <input type="checkbox"/> Bas fourneau <input type="checkbox"/> Foyer de forge <input type="checkbox"/> Autre...	<input type="checkbox"/> Extraction <input type="checkbox"/> Décantation / préparation <input type="checkbox"/> Stockage / réserve d'argile <input type="checkbox"/> Autre...	<input type="checkbox"/> Zone de concassage <input type="checkbox"/> Zone de lavage <input type="checkbox"/> Zone de cuisson <input type="checkbox"/> Stockage <input type="checkbox"/> Autre...	<input type="checkbox"/> Charbonnière en meule <input type="checkbox"/> Charbonnière en fosse <input type="checkbox"/> Stockage charbon de bois <input type="checkbox"/> Stockage charbon de terre <input type="checkbox"/> Autre...
Mine	Structure de réduction	Dim° amas en m.	Polymétallurgie
<input type="checkbox"/> Front de taille <input type="checkbox"/> Fosse <input type="checkbox"/> Puits <input type="checkbox"/> Souterrain - galerie <input type="checkbox"/> Autre...	<input type="checkbox"/> Fourneau à scorie piégée à utilisation unique <input type="checkbox"/> Fourneau à scorie piégée à utilisation multiple <input type="checkbox"/> Fourneau à scorie écoulée <input type="checkbox"/> Bas foyer / fourneau ouvert <input type="checkbox"/> Haut fourneau <input type="checkbox"/> Autre...	H. act. 4 H. supp. Long. (m) 73 Larg. (m) 50	<input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <input type="radio"/> NA
			Structure de forge
			<input type="checkbox"/> Foyer au sol excavé <input type="checkbox"/> Foyer plat au sol <input type="checkbox"/> Foyer surélevé <input type="checkbox"/> Fosse atelier <input type="checkbox"/> Enclume <input type="checkbox"/> Autre...

Description
Ce ferrier se situe à environ 200 m au sud du grand ferrier 1. Les scories sont accumulées sur une dépression aux contours irréguliers, couvrant une centaine de mètres de diamètre. La surface du ferrier s'avère fortement perturbée par des ré-exploitations récentes, particulièrement dans sa partie centrale qui semble évidée. Une couronne d'environ 2 à 4 mètres de haut reste visible. Deux sondages ont été réalisés. Le sondage n°1 a été installé dans la continuité d'un front de taille contemporain. Le sondage n°2 a été aménagé depuis le sommet d'une pente du ferrier.
Mobilier sidérurgique vu
- Scories écoulées grises denses - Scories vitreuses verte en surface
Nature mobilier prélevé
Scories, parois, charbons
Bibliographie
Lieu de dépôt du matériel Sévenans - UTBM
<input checked="" type="checkbox"/> Prospections pédestres <input checked="" type="checkbox"/> Sondages <input type="checkbox"/> Fouilles <input type="checkbox"/> Inventaire macro <input checked="" type="checkbox"/> Chimie <input type="checkbox"/> Prospections géophys. <input type="checkbox"/> Diagnostic <input checked="" type="checkbox"/> Prélèvement mob. <input checked="" type="checkbox"/> Radiocarbone <input checked="" type="checkbox"/> Métallo.

Figure n°11 Exemple de fiche de site.

Les entités archéologiques disposent d'un même système de numérotation en continue par commune soumis au codage suivant :

89.003.001

N°dept - n°commune - n° de site (propre au PCR)

L'inventaire analytique du mobilier se décline en différents modèles (inventaire réduction / inventaire forge / inventaire métal / inventaire C14, fig. 11 à 17) de manière à ce que les critères descriptifs soient adaptés à la nature des objets étudiés. Un modèle permet d'afficher l'ensemble du mobilier issu d'un site.

N° site	N° inventaire	Chaîne op.	Catégorie déchet	Type déchet	Morphologie	Propriétés bulles	Surface sup.	Magnétisme	Indice taille	NR	NMI	Masse (g.)	Long.	Larg.	ép.
89.003.007 SIDEROS - PCR	ALLANT-SUR-THOLON Bois des Ferrrières Yonne 89.003.007.SC2	Réduction	(D) Ecoulement vitreux	(D2) Ecm vitreux, bulleux	En boudin	env. 2/3	Bulleuse	Nul				110			
Poisaye	Fait 7	Carré ou SD	France	US	n° pvt		Dispersées	Charbonneuse	Gris						
Spécific. morpho Répartit° bulles Surf. écoulement Couleur Analyses <input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non <input type="checkbox"/> Métallographie <input type="checkbox"/> EDS <input type="checkbox"/> Radiocarbones <input type="checkbox"/> Chimie - CRPG <input type="checkbox"/> ICP <input type="checkbox"/> Microdreté															
Scories légères très bulleuses et vitreuses. Prélèvement du charbon 4 pour datation.															

Figure n°12. Exemple de fiche d'inventaire de scories de réduction.

N° site	N° inventaire	Chaîne op.	Catégorie	Type déchet	Point d'appui	Forme en plan	Surépaisseur	Caract. princ.	Inclusions	Magnétisme	Usage	NR	NMI	Masse	Long.	Larg.	ép.
21.320.001 INRAP - PCR	Izier Les Argillières Côte d'Or 2001-US1-3	Post-réduction	Culot forge	SGD	Oui	Demi-circulaire	Absente	Granuleux		Faible		1	1	19,4	35	40	11
Dijonnais	Carré ou SD	Fait 2001	France	US	1	n° pvt		1 appui	Plaque	Fissures	Moyenne						
Bord d'appui Forme en coupe Nature surrip. Texture Densité Couleur Types d'analyses <input checked="" type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Métallographie <input type="checkbox"/> EDS <input type="checkbox"/> Radiocarbones <input type="checkbox"/> Chimie - CRPG <input type="checkbox"/> ICP <input type="checkbox"/> Microdreté																	
Petit culot demi-circulaire, plat, aux surfaces lisses constituées de larges goutteliers de scorie fondue. Les surfaces sont homogènes et granuleuses.																	

Figure n°13. Exemple de fiche d'inventaire de scories de forge.

N° site	N° inventaire	Chaîne op.	Catégorie	Type	Trace de transfo.	NR	NMI	Masse (g.)	Long.	Larg.	ép.	Tôle tranchée dans le sens de la plus grande longueur sur un de ses bords.				
21.054.001 INRAP, PCR	Beaune Les Perrières Côte d'Or 22-85	Post-réduction	Chute façonnée	Chute-tôle	Tranche			14,4	39	19	6					
Côte d'Or	Carré ou SD	Fait 22	France	US	1	n° pvt										
Phasage Matériau Fer Types d'analyses <input checked="" type="checkbox"/> Métallographie <input type="checkbox"/> EDS <input type="checkbox"/> Radiocarbones <input type="checkbox"/> Chimie - CRPG <input type="checkbox"/> ICP <input type="checkbox"/> Microdreté																

Figure n°14. Exemple de fiche d'inventaire des objets en métal.

N° site	N° inventaire	Chaîne op.	Catégorie	Type	Trace de transfo.	NR	NMI	Masse (g.)	Long.	Larg.	ép.	Tôle tranchée dans le sens de la plus grande longueur sur un de ses bords.				
21.054.001 INRAP, PCR	Beaune Les Perrières Côte d'Or 22-85	Post-réduction	Chute façonnée	Chute-tôle	Tranche			14,4	39	19	6					
Côte d'Or	Carré ou SD	Fait 22	France	US	1	n° pvt										
Phasage Matériau Fer Types d'analyses <input checked="" type="checkbox"/> Métallographie <input type="checkbox"/> EDS <input type="checkbox"/> Radiocarbones <input type="checkbox"/> Chimie - CRPG <input type="checkbox"/> ICP <input type="checkbox"/> Microdreté																

Figure n°15. Exemple de fiche d'inventaire des datations radiocarbones.

Les échantillons métalliques et scorifiés étudiés en métallographie ont également des fiches dédiées (fig. 16 et 17). Toutes ces fiches sont liées aux fiches de sites par le numéro de site et aux fiches d'inventaire analytique du mobilier par le numéro d'objet.

Pour la fiche scorie, à chaque champ descripteur correspond un codage afin de donner une approximation de la proportion (cases jaunes). Le codage est le suivant :

1 = éparse ; 2 = ponctuel ; 3 = continu ; 4 = abondant ; 5 = majoritaire.

Pour les échantillons scorifiés et métalliques, est récapitulée la quantification des éléments constitutifs, basée sur l'analyse des micro-photographies acquises sur l'ensemble de la section. Ces valeurs sont exprimées en pourcentage (cases bleues) et sont basées sur des décomptes surfaciques de pixels. Sont ainsi quantifiés pour la scorie : les porosités (%P), la matrice base silice (%Si), les oxydes (%Ox), le métal (%métal), le métal corrodé (%M.corrodé), les inclusions argilo-sableux (%AGS).

Pour le métal, sont quantifiés la proportion d'inclusions (qualité inclusionnaire) et la surface occupée par les différentes teneurs en carbone : ferrite, les aciers et les fontes entre 0,1 et 2,1%C. La proportion de phosphore est exprimée de manière qualitative. Un inventaire des micrographies est également associé à chaque objet et précise le numéro de cliché, le grossissement et sa description.

Commune	Saint Rémy	n° site	71.475.001	11/10/2018	19/11/2018
Lieu dit	Les Terres de Diane	n° Inv.	156-4	Culot forge	SAS1
Département	Saône-et-Loire	Post-réduction			
Zone géog.		Fait	SD	US	156

Porosités <input type="checkbox"/> Rondes <input checked="" type="checkbox"/> Ovoïdales 4 <input type="checkbox"/> Irrégulières	Matrice <input type="checkbox"/> Maj. vitreuse <input type="checkbox"/> Maj. cristallisée <input checked="" type="checkbox"/> Maj. cristallisée + wüstite 4 <input type="checkbox"/> Saturée en wüstite	Olivines/fayalites <input type="checkbox"/> Non visible <input type="checkbox"/> Fines <input type="checkbox"/> Epaisées <input checked="" type="checkbox"/> En lattes 5 <input type="checkbox"/> En pavés	
Les inclusions <input type="checkbox"/> Grains de quartz (sable) <input type="checkbox"/> AGS centimétrique <input type="checkbox"/> Charbon de terre <input type="checkbox"/> Charbon de bois <input checked="" type="checkbox"/> Métal ferreux 1 <input type="checkbox"/> Métal non ferreux <input type="checkbox"/> Minerai <input type="checkbox"/> Autre...	Oxydes/spinelles <input type="checkbox"/> Angulaires <input type="checkbox"/> Globules <input type="checkbox"/> Dendrites <input checked="" type="checkbox"/> En amas <input type="checkbox"/> Grandes dendrites <input type="checkbox"/> Petites dendrites	Nature du métal perdu <input checked="" type="checkbox"/> Billes 1 <input type="checkbox"/> Filaments <input type="checkbox"/> Chapelets <input checked="" type="checkbox"/> Petits fragments < 5 mm <input type="checkbox"/> Gros fragments > 5 mm	
Les battitures <input type="checkbox"/> Plates <input type="checkbox"/> Globulaires <input type="checkbox"/> Globulaires à tendance plane <input checked="" type="checkbox"/> Forme non définie 1 <input type="checkbox"/> Billes	<input type="checkbox"/> Microm. <input type="checkbox"/> < 5 mm <input type="checkbox"/> > 5 mm <input type="checkbox"/> Absentes	Caract. fragments de métal <input type="checkbox"/> Surfaces déchiquetées <input type="checkbox"/> Surfaces angulaires <input type="checkbox"/> Porosités internes <input type="checkbox"/> Inclusions Si. <input type="checkbox"/> Traces brûlures <input checked="" type="checkbox"/> Caract. non déterminables	
Etat de conservation Bon			Stratification <input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non <input type="radio"/> NA
Commentaire Matrice très homogène avec de la fayalite en lattes et des dendrites de wüstite. Des billes de métal éparses et de petits éclats de métal totalement corrodés sont observés. La partie inférieure comprend une plus grandes proportion de wüstite avec de petites battitures en cours de dissolution.			%P 49% %Si 38% %Ox 12% %Métal %M.corrodé 1% %AGS %Total 100%
Interprétation 			
Comparaisons 			
Récapitulatif Culot forge avec faibles pertes en métal et oxydation à chaud			

Figure n°16. Exemple de fiche descriptive d'échantillon scorifié étudié en métallographie.

Objectifs.

L'objectif est de disposer d'un outil permettant un accès facilité à l'ensemble de la documentation dont nous disposons sur les sites. Il s'agit également de rassembler les données acquises par les différentes personnes investies dans le projet et de pouvoir ensuite les partager. A ce stade nous réfléchissons encore à un moyen de partager cette base de données en ligne et surtout de pouvoir contrôler le dépôt des données.

Cette base de données est bien sûr un outil dont l'objectif est de faciliter les synthèses ultérieures. A partir de l'inventaire des sites, il est possible d'exporter des données vers un logiciel de SIG (en l'occurrence nous utilisons QGIS) et de faciliter les tris et l'affichage des données en fonction des descriptifs codés.

Il est également possible à partir de l'inventaire des déchets scorifiés et métalliques de permettre une approche quantitative voire statistique des corpus par site (voir par ex. chap. 4.5.2.) et de faciliter les comparaisons des faciès de mobiliers entre ensembles de sites. En effet l'identification des activités au sein d'un site sidérurgique repose sur l'analyse de l'assemblage des déchets et sur l'approfondissement de leur caractérisation (à l'échelle microscopique ou chimique) à partir d'échantillons représentatifs.

Commune	Beaune	n° site	21.054.001	14/02/2018	19/11/2018
Lieu dit	Les Perrières	n° Inv.	1002-6		
Département	Côte d'Or	Type	Chute façonnée	Chute-barre	
Périphérie	<input type="checkbox"/> Surf. originelle cons. <input type="checkbox"/> Surchauffe <input type="checkbox"/> Oxydation à chaud <input checked="" type="checkbox"/> Ni scorie ni battitures <input type="checkbox"/> Nappage scorie		Composition alliage Prop° <input checked="" type="checkbox"/> 0,02/0,1%C 94% <input type="checkbox"/> 0,1/0,3%C <input type="checkbox"/> 0,3/0,5%C <input type="checkbox"/> 0,5/0,7%C <input checked="" type="checkbox"/> 0,7/0,9%C 4% <input type="checkbox"/> 0,9/1,5%C <input type="checkbox"/> 1,5/2,1%C		
Nature des inclusions	<input type="checkbox"/> Porosités <input type="checkbox"/> Maj. cristallisées <input type="checkbox"/> Replis <input type="checkbox"/> Maj. cristallisées + wüstite <input checked="" type="checkbox"/> Maj. vitreuses <input type="checkbox"/> Saturées en wüstite		Formes inclusions <input type="checkbox"/> Irrégulières <input checked="" type="checkbox"/> Ecrasées <input type="checkbox"/> Ovoïdales		
Traitements thermo-chimiques	<input type="checkbox"/> Trempe - martensite <input checked="" type="checkbox"/> Carburation <input type="checkbox"/> Trempe - bainite <input type="checkbox"/> Nitruration <input type="checkbox"/> Recuit <input type="checkbox"/> Brûlure <input type="checkbox"/> Globularisation <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Décarburation		Soudures <input type="checkbox"/> De repli <input type="checkbox"/> Disjointes <input type="checkbox"/> D'assemblage <input type="checkbox"/> Périphériques <input checked="" type="checkbox"/> Indéterminées <input type="checkbox"/> Non		<input type="checkbox"/> Sup. 2,1%C - fonte blanche <input type="checkbox"/> Sup. 2,1%C - fonte truitée <input type="checkbox"/> Sup. 2,1%C - fonte grise <input checked="" type="checkbox"/> Phosphore
Déformations mécaniques	<input type="checkbox"/> Fissures <input type="checkbox"/> Mâcles <input type="checkbox"/> Ecouissage		Qualité inclusionnaire Prop° Excellente (5 à 0%) 2%		Local Etat conservation Moyen
Commentaire	Attaq. Oberhoffer Oui <input type="checkbox"/> Matrice métal. non conservée		Peu d'inclusions sont observées. Elles se concentrent sur une face et le long d'une soudure centrale quasiment parfaite, sauf localement où de grosses inclusions subsistent. L'objet est majoritairement ferritique, sauf ponctuellement en périphérie de la soudure où une cémentation est observée.		
Interprétation					

Figure n°17. Exemple de fiche descriptive d'échantillon métallique étudié en métallographie.

2.1.2. La bibliothèque Zotero du PCR.

C. Veysseyre

Dans le cadre de ce travail, une bibliothèque a été créée sous le logiciel libre Zotero. Elle est rattachée, sous la forme d'une bibliothèque de groupe, à la bibliothèque développée avec le même logiciel pour la région Bourgogne-Franche-Comté de l'Inrap. Elle est gérée par la documentaliste de l'institut, Céline Veysseyre et son administration est commune avec Marion Berranger qui pilote ce projet.

Pour rappel, le choix de cet outil a été déterminé, outre en raison de son utilisation courante par le milieu de la recherche, aussi pour la facilité de prise en main et d'utilisation ; la rapidité de rapatriement des références depuis des catalogues de bibliothèque et des sites de ressources documentaires en ligne ; leur classement et conservation sur le long terme ainsi que des documents qui peuvent y être associés.

Elle est gérée par la documentaliste de l'Inrap et son administration est commune avec la responsable du projet. Les nouvelles références sont identifiées par une pastille de couleur rouge pour une durée de 6 mois et l'ensemble des membres du projet y ont accès en « lecture et consultation ». Son statut est public et ouvert à toute personne se rendant sur le site internet.

En cette fin d'année, la bibliothèque affiche 85 références bibliographiques dont 6 nouvelles entrées correspondent à des rapports d'opération d'archéologie préventive rendus en 2020. Pour l'année à venir, un travail de mise à jour de l'indexation par l'harmonisation des mots-clés rattachés à chacune des références en ligne sera effectué. Le thésaurus choisi pour la définition de ces tags est le thésaurus PACTOLS, développé et enrichi régulièrement par le réseau Frantiq.

2.2. Approches méthodologiques : la caractérisation des déchets et produits métalliques.

M. Berranger

L'examen macroscopique de l'intégralité des corpus est la première étape de caractérisation des déchets. Il est suivi par une analyse plus poussée d'un échantillonnage représentatif. Dans le cadre de ce programme trois grands types d'analyses ont été retenues :

- les analyses métallographiques ;
- les analyses chimiques des éléments majeurs et traces ;
- les datations radiocarbone.

2.2.1. Caractérisations macroscopiques : l'inventaire analytique des déchets

Les différentes opérations métallurgiques se déroulent au sein d'installations distinctes et génèrent des déchets spécifiques, dont les caractéristiques permettent de déterminer les types d'activités pratiquées. L'ensemble des déchets scorifiés et métalliques fait donc dans un premier temps l'objet d'une description détaillée codée au sein de la base de donnée (voir *supra*). Les différentes catégories de déchets retenues sont les suivantes :

Déchets de réduction :

- Minerai brut
- Minerai en cours de transformation
- Ecoulement cristallisé dense
- Ecoulement à base cristallisée / partie sup. vitreuse
- Ecoulement vitreux
- Scorie interne (assoc. à écoulement)
- Scorie piégée
- Scorie réduction indéterminée

Déchets de post-réduction :

- Battiture
- Culot forge
- Scorie informe
- Fragment de scorie
- Coulure
- Bac de trempe (agglomérat)
- Scorie de forge indéterminée

Déchets argilo-sableux :

- Paroi scorifiée
- Event
- Orifice de ventilation
- Bloc tuyère
- Paroi sur baguettes
- Pain d'argile

Déchets métalliques :

- Agglomération de métal
- Chute façonnée
- Chute irrégulière facettée
- Coulure de fer
- Débris fer informe
- Ebauche
- Fer informe avec scorie à billes
- Métal indéterminé
- Objet recyclé
- Raté de fabrication

Ces catégories sont subdivisées en types plus précis dont le détail est précisé dans les chapitres dédiés aux sites dont ils proviennent. Pour les scories de réduction sont ainsi distingués les écoulements cristallisés, vitreux, mixtes (associant des faciès cristallisés et vitreux), cordés ou non cordés, les écoulements denses ou bulleux. Les scories de forge sont distinguées en fonction de leurs inclusions majoritaires, selon la typologie proposée par V. Serneels (in Anderson 2003). A ce stade de l'étude, la proportion des constituants, est évaluée par approximation, en fonction des caractéristiques macroscopiques des déchets. Les scories argilo-sableuses (SAS), comprennent des inclusions pouvant provenir d'une altération de la paroi du foyer ou d'ajouts jouant un rôle d'isolant ou de décapant. Les scories grises denses (SGD), sont majoritairement constituées d'un silicate de fer, également appelé fayalite et d'oxydes de fer. Les scories ferreuses rouillées (SFR), incluent une forte proportion de pertes en métal, visibles à partir d'inclusions oxydées occupant une grande part des surfaces.

Une série de caractéristiques secondaires permettent de préciser la détermination typologique des déchets : aspect des surfaces, métrologie, morphologie, densité, magnétisme, couleur etc ces éléments participant à identifier la nature des activités pratiquées.

2.2.2. La photomodélisation des pièces archéologiques volumineuses

Jean-Charles Méaudre

Certaines des pièces archéologiques étudiées sont trop volumineuses pour permettre une étude macroscopique aisée. C'est notamment le cas des scories en boudins canalisés accolés (type A5) mises au jour lors des fouilles à Aillant-sur-Tholon en Puisaye. Ces exemplaires pèsent entre 80 et 100 kg l'unité, ce qui ne permet pas de les manipuler facilement et complexifie donc leur observation. Le choix a été fait de recourir aux outils de modélisation tridimensionnelle, en l'occurrence aux techniques de corrélation dense d'images, plus communément nommées photogrammétrie, afin de faciliter l'observation de ces blocs de scories et d'obtenir volume et dimensions.



Figure n°18. Acquisition des blocs d'image.

La procédure consiste à réaliser une couverture photographique de l'ensemble du sujet sous différents angles avec un très fort recouvrement entre les clichés, de l'ordre de 80%. Afin de permettre des mouvements caméra / sujet paramétrés, les blocs sont disposés sur un plateau tournant selon deux positions. Le recours à un trépied permet pour sa part de modifier la hauteur l'appareil tout en lui assurant une stabilité. Le mobilier est ainsi photographié selon des intervalles de 15° en X et 15 à 25° en Z. Ce travail est réalisé à l'aide d'un Nikon D5000 sur lequel est monté un objectif AF-S DX NIKKOR 18-105 mm f/3.5-5.6G ED VR réglé sur 40 mm. Pour optimiser la profondeur de champ, l'ouverture est de f/22. Les fichiers compressés n'étant pas optimaux, les photos sont enregistrées au format RAW, équivalent du négatif en photographie argentique.

Plus de 150 clichés par blocs ont ainsi été pris à une distance d'environ un mètre. A ceux-ci viennent s'ajouter une dizaine de photos focalisées sur des cibles destinées à la mise à l'échelle du modèle.

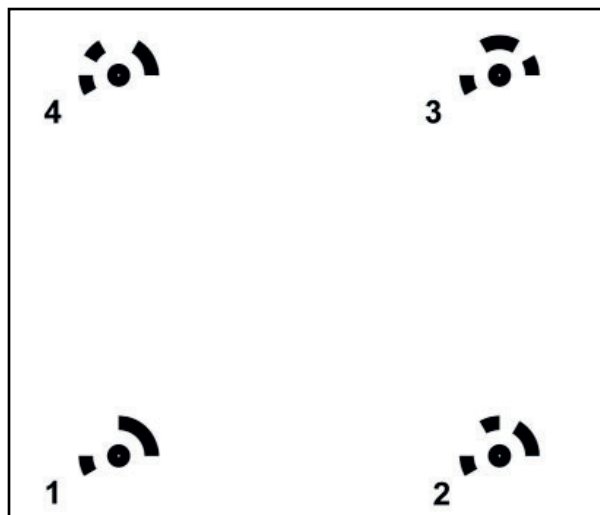


Figure n°19. Exemple de cibles destinées au géoréférencement du photomodèle.

Après conversion des fichiers en TIFF sous CameraRaw®, l'élaboration du photomodèle est réalisée sous Agisoft® PhotoScan® (<http://www.agisoft.com/>). Ce logiciel, qui fonctionne sous un algorithme proche de SIFT, reconstruit la scène à partir de cartes de profondeurs. En résumé, les clichés sont tout d'abord repositionnés dans l'espace par comparaison des pixels remarquables visibles sur les différentes photos. Cette première étape donne naissance à un nuage clairsemé ensuite densifié par mise en relation des cartes de profondeur propres à chaque

cliché (<http://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0>). Ce nuage est finalement maillé, puis texturé.

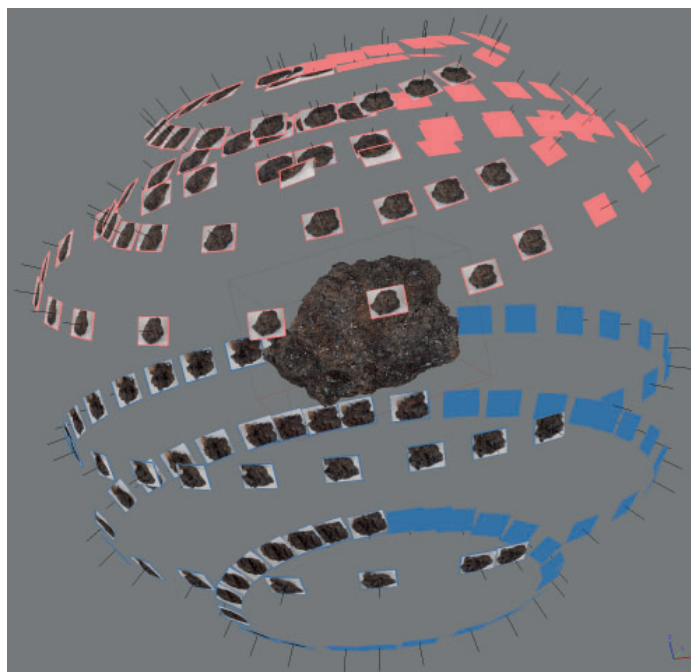


Figure n°20. Alignement des clichés et nuage de points épars (Aillant F1-301-SC19).

Deux types de documents sont finalement édités : des PDF 3D et des modèles texturés (*.ply). La qualité des premiers est abaissée (maillage dégradé à 200.000 facettes), permettant ainsi un visionnage fluide sans disposer de puissances de calcul particulières. Les seconds, conservés en haute définition, sont destinés à un traitement sous CloudCompare, logiciel doté d'une licence publique générale (GNU GPL). Ce programme permet en premier lieu d'optimiser l'observation. Trois modes d'éclairage sont en effet disponibles : sans ombrage (normales désactivées) et ombrage « global » (sun light) ou personnalisé (custom light).

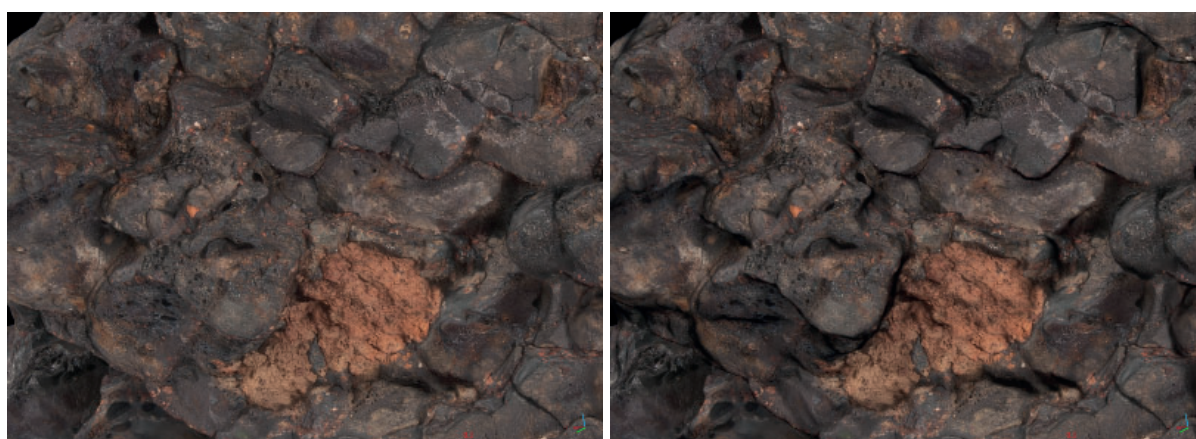


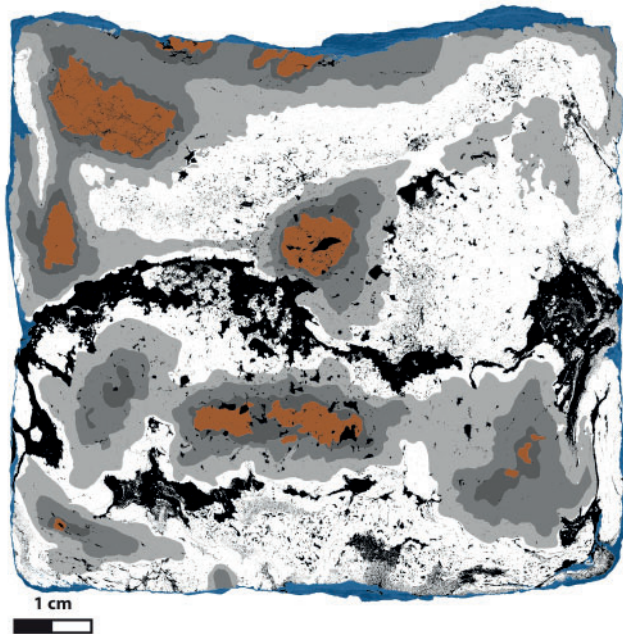
Figure n°21. Aillant F1-301-SC19, maillage texturé, sans ombrage (à gauche) et ombrage global (à droite).

Au-delà de l'observation, l'utilisation de ce programme permet d'obtenir l'ensemble des informations nécessaires à l'étude de ce mobilier, telles que le volume, les dimensions ou encore les sections.

2.2.2. Les analyses au microscope optique.

A la suite des classements effectués à l'échelle macroscopique, un échantillonnage représentatif est sélectionné pour analyses. L'objectif des analyses au microscope optique est, pour le métal, d'établir la qualité des matériaux, d'évaluer de manière qualitative la structure (fer/acier/phosphore) et la texture des produits métalliques travaillés ainsi que de reconnaître les étapes de la chaîne opératoire en présence. Pour les scories, l'étude repose sur la caractérisation de phases, la scorie étant constituée d'un point de vue minéralogique d'une phase vitreuse, et de plusieurs phases minérales (Serneels, Fluzin 2001, Serneels 1993), qui fournissent des informations sur les conditions de cristallisation, et donc sur les températures appliquées et les vitesses de refroidissement. Il s'agit également de déterminer la nature des pertes qui sont complètement, partiellement, ou non, fondues : minerais, fragments métalliques, battitures/oxydes, ajouts argilo-sableux, fragments des parois du foyer, alliages cuivreux... ces éléments pouvant être directement reliés au travail effectué. Les analyses sont déroulées au Laboratoire de «Métallurgies et Cultures», IRAMAT - CNRS - UMR 5060, Université de Technologie de Belfort Montbéliard. Le protocole appliqué est le suivant :

- Etude morpho-métrologique ;
- Prise de vue macrographique ;
- Sélection de l'axe de prélèvement ;
- Tronçonnage ;
- Polissages successifs aux abrasifs de granulométrie 80 à 1 micron ;



- Enregistrement micrographique intégral

Figure n°22. Exemple de traitement d'image permettant de légendiser les sections étudiées en métallographie et de calculer la proportion des phases constitutives (bipyramidé de Vix).

transp	Oxydes
■	Inclusions, porosités
■	Fonte > 2,1%C
■	Acier hypereutectoïde 0,9%C à 2,1%C
■	Acier à 0,7/0,9%C majoritaire
■	Acier à 0,5/0,7%C majoritaire
■	Acier à 0,3/0,5%C majoritaire
■	Acier de 0,1 à 0,3%C majoritaire
■	Ferrite à acier à 0,1%C majoritaire

de la section (= cartographie) ;

- Observation intégrale des sections au microscope métallographique avant et après attaques chimiques (nital 3% et

Oberhoffer) ; prises de vue micrographiques de détail.

Un logiciel de traitement d'image (photoshop@) permet, en dernier lieu, de quantifier la proportion relative (calcul de pixels) des éléments constitutifs (inclusions notamment) au sein de chaque échantillon. Les données doivent être lues en retenant une fourchette numérique de +/- 2%, afin de prendre en compte d'inévitables approximations dans la quantification.

La caractérisation métallographique est indispensable pour les objets en fer avant d'envisager les étapes suivantes d'analyses chimiques et de datations ^{14}C . En effet, l'observation au microscope optique permet d'identifier la répartition des inclusions, leur nature et les éventuels

emplacements de soudures. Ainsi, lorsqu'un objet est formé par soudures de plusieurs éléments, les analyses chimiques portent sur les inclusions de chacune des masses métalliques. L'analyse métallographique permet également de localiser et de caractériser les teneurs en carbone des zones aciérées qui seront prélevées pour les datations radiocarbone.

2.2.3. Les analyses chimiques.

Principe.

Cette méthode repose sur le constat que la composition chimique de la scorie de réduction dépend du type de minerai utilisé et de la préparation qu'il a subi (grillage/concassage = évacuation plus ou moins aboutie de la gangue de stériles), mais également, des éléments exogènes : type de charbon, composition de la paroi, ajouts et conduite des opérations. A l'issue de l'opération de réduction, le métal contient tant en nappage qu'en inclusion, de la scorie de réduction. La caractérisation de la scorie de réduction résiduelle dans le métal peut donc permettre de tracer partiellement un atelier et ses pratiques ou un « système de réduction » (notons que seuls, les éléments majeurs ne permettent pas d'accéder au gisement de minerai). Il s'agit donc de déterminer la composition chimique des inclusions de scories présentes dans le métal.

Cependant, certaines inclusions peuvent livrer des données aberrantes provenant par exemple d'effets de pépite (taille des inclusions trop réduite). Il faut également tenir compte de l'utilisation d'ajouts argilo-sableux durant les étapes de mise en forme, conduisant à la contamination du métal par de nouvelles inclusions, qui ne sont pas significatives de l'origine du produit métallique (Dillmann, L'Héritier 2006). Ces sources d'erreurs peuvent être minimisées, d'une part en multipliant le nombre d'inclusions étudiées par zone d'intérêt, d'autre part en triant les inclusions avant de procéder à l'interprétation. Il existe cependant des cas où la grande hétérogénéité des inclusions en termes de composition chimique ne permet pas de conclure.

Pour les scories de réduction, servant à définir un « ensemble de réduction », les analyses sont effectuées au *Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques (CRPG)*. Les scories sont analysées de manière globale après broyage. L'analyse réalisée par spectrométrie et par ICP-MS permet de doser 54 éléments incluant 11 éléments majeurs et 43 éléments traces.

L'analyse des inclusions de scorie dans le métal est effectuée au Laboratoire « Métallurgies et Culture » et nécessite plusieurs étapes d'analyses.

L'analyse en éléments majeurs (MEB-EDS).

Ces analyses sont effectuées sur notre plateforme analytique mutualisée du CEA à Saclay (LMC -IRAMAT- CNRS-UMR5060 et NIMBE-CEA-CNRS-UMR3685). L'analyse chimique des inclusions de scories est effectuée avec un Spectromètre Dispersif en Energie (EDS) couplé avec un Microscope Electronique à Balayage (MEB). Ce système d'analyse opère en mode « sans standard » mais permet d'accéder à un dosage quantitatif lorsque tous les éléments constitutifs de l'inclusion sont détectés, ce qui est le cas ici (on considère que l'erreur relative de mesure sur les éléments majeurs est de 2%_{mass} ; pour les teneurs comprises entre 0,5 et 1%_{mass} elle est de 10%). Les teneurs sont présentées en pourcentage massique équivalent oxyde. Pour les éléments dits mineurs de concentrations situées entre 0,25% (limite de détection) et 1% massique, l'erreur relative de quantification s'élève à 10%. Pour les autres éléments (teneur supérieure à 1% massique) l'erreur relative est évaluée à 2%.

Les compositions élémentaires sont extraites de cartographies spectrales automatisées dosant l'intégralité d'une zone comportant plusieurs inclusions (un spectre EDS par pixel).

L'analyse chimique des inclusions porte sur la quantification des éléments majeurs Mg, Al, Si, P, K, Ca, Ti, V, Mn, Fe. Le tri des inclusions repose sur l'étude des rapports des NRC (Composés Non Réduits : principalement MgO, Al₂O₃, SiO₂, K₂O et CaO) qui, pris deux à deux, doivent être constants en absence de contamination (Dillmann, L'Héritier 2006). Ces rapports sont étudiés d'une part à partir des représentations bivariées, d'autre part grâce à un traitement statistique multivarié de type Analyse en Composante Principale (ACP). L'objectif est de discriminer les inclusions subsistant de la réduction, des ajouts issus des opérations de forge, puisqu'il s'agit d'éliminer de l'analyse ces dernières. Le traitement statistique nécessite une mise en forme des données pour permettre de prendre en compte l'influence de toutes les variables, indépendamment de l'échelle de leur variation. Cette mise en forme des données suit le modèle des rapports logarithmiques, dits Log-ratio (Leroy *et al.* 2012) où N est le nombre total d'éléments retenus et E_k la teneur en élément k .

$$X_E = \log([E]) - \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \log([E_k])$$

L'objectif de cette première étape d'analyse chimique est double :

- discriminer les inclusions issues de la réduction, de celles issues d'ajouts inhérents aux processus de forgeage ;
- permettre une première caractérisation de la signature chimique d'un objet.

L'analyse en éléments traces porte ensuite uniquement sur les inclusions héritées du processus de réduction.

L'analyse en éléments traces.

L'analyse des éléments traces des inclusions de scories dans le métal est effectuée par ICP-MS par ablation laser au Centre Ernest Babelon à Orléans (IRAMAT-CNRS-UMR5060) et porte sur une sélection de 10 à 20 inclusions issues de la réduction par objet (voir paragraphe précédent). Les teneurs des éléments dosés sont inférieures au pourcent (elles sont exprimées en ppm).

L'appareillage utilisé est un VG Plasma Quad PQXS couplé avec un laser du type Nd:YAG à fréquence quadruplée de longueur d'onde de 266 nm. Le laser dont le diamètre peut être ajusté à l'aide d'un ensemble de collimateur et d'objectif (20-200µm) est dévié vers l'échantillon à l'aide d'un miroir incliné de 45°. La taille de l'ablation est souvent du même ordre de grandeur que celle de l'inclusion ou suffisamment représentative par rapport à l'échelle des phases constituant l'inclusion. L'analyse est ainsi « globale » et le volume du prélèvement permet d'obtenir des données représentatives de l'inclusion dans son ensemble. L'analyse obtenue est donc moyennée.

Au total, 39 éléments chimiques incluant la série des Terres Rares sont mesurés pendant l'analyse. En raison d'interférences causées par la recombinaison des éléments majeurs (par ex. O, Si, Fe) ou de l'argon pendant l'analyse, les éléments les plus légers comme le Sc sont très difficilement détectables avec cette méthode. En fonction de la taille de l'inclusion et de sa teneur en Si, et dans les conditions expérimentales adoptées, les limites de détection atteintes varient entre quelques ppb et 15 ppm pour tous les éléments à l'exception du Ti (lod = 130 ppm). L'erreur relative de la mesure pour les éléments traces est comprise entre 5 et 10%.

Le traitement des données

Nous renvoyons à la bibliographie pour plus de détail sur le traitement des données. Nous précisons simplement que la comparaison de ces données passe par une approche statistique multivariée supervisée ou non (Disser *et al.* 2016, Disser *et al.* 2017, Dillmann *et al.* 2017,

Hendrickson, Leroy *et al.* 2020). Elle repose sur l'analyse d'éléments traces lithophiles (Ce, Eu, Gd, Hf, La, Nb, Nd, Pr, Sm, Ta, Tb, Th, U, Y, Yb). Ces derniers subissent au préalable une normalisation en log-ratio décrite ci-dessus. La même méthodologie est adoptée pour la comparaison des caractéristiques chimiques des inclusions des objets et des scories. Les traitements statistiques sont été effectués à partir du logiciel XLSTAT Version 2016.01.26779 de la société ADDINSOFT.

2.2.4. Les datations radiocarbone par prélèvement du carbone dans la matrice métallique

Certains des objets étudiés ne peuvent être datés par leur contexte de découverte. Il s'agit principalement de demi-produits retrouvés au sein de dépôts isolés de toute occupation humaine ou lors de prospections. Certains d'entre-eux peuvent bénéficier des méthodologies de datation du carbone piégé dans la matrice métallique, récemment développées dans le cadre d'une collaboration entre le laboratoire Archéomatériaux et Prévision de l'Altération (LAPA) et le laboratoire de mesure du carbone 14 (LMC14-ARTEMIS) (Leroy *et al.* 2015a et Leroy *et al.* 2015b).

De 1 g à quelques mg de métal (en fonction de la teneur de l'acier) sont ainsi prélevés au moyen d'un forêt de diamètre millimétrique (\varnothing 2 mm, \varnothing 3,5 mm, \varnothing 4 mm) au sein même de la matrice métallique. Ces prélèvements sont effectués à l'issue des analyses métallographique et inclusionnaire qui permettent de déterminer les zones les plus pertinentes (les plus carburées), mais aussi de détecter les cas de recyclage du métal ou l'assemblage de masses de métal d'origines distinctes.

Pour chaque masse de métal, deux dates sont effectuées à partir de prélèvements effectués dans deux zones distinctes. Cela permet de tester la cohérence des dates obtenues. Après extraction du carbone du métal, l'analyse est effectuée au LMC14, au moyen d'un spectromètre de masse par accélérateur (AMS) dédié à la mesure du ^{14}C .

Dans le cadre de ce programme nous avons également recours aux datations radiocarbone de fragments de charbons de bois, afin d'affiner la chronologie des ferriers, souvent mal voire non datés. Les charbons de bois sont issus soit des amas soit des scories de réduction elles-mêmes. Les datations sont effectuées en prestation par le laboratoire de mesure du carbone 14 (LMC14-ARTEMIS) de Saclay et le laboratoire de Poznan (Poznan Radiocarbon Laboratory, Pologne).

3. La chronologie des espaces de réduction

Hervé Laurent

3.1. Les districts de l'est

3.1.1. Résultats obtenus et datations en cours en 2020 dans le district de Berthelange (Doubs et Jura - fig. 23)

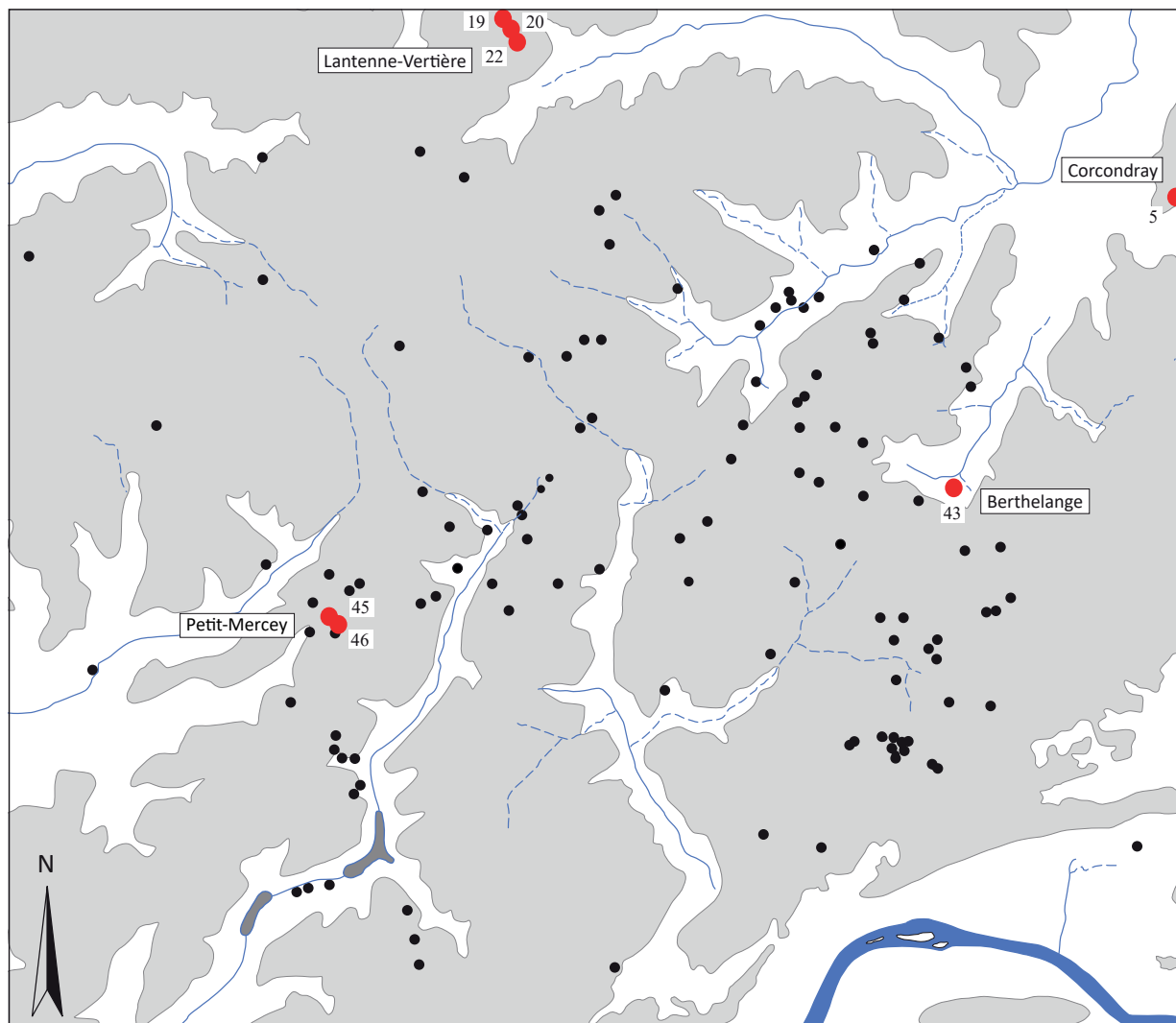


Figure n°23. Carte des sites de réduction découverts entre 2018 et 2020 dans la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange (Routelle est hors carte, légèrement à l'est)

Le district de Berthelange a été identifié à partir des années 1980. Contrairement à d'autres, il n'était pas connu par les publications des érudits du XIX^e siècle. Dès le départ, les prospections se sont intéressées non seulement aux ressources en minerais et aux sites de réduction du fer, mais aussi aux habitats, principalement antiques, qu'on pensait pouvoir leur associer. C'est la succession des dates radiocarbone qui, toutes renvoyaient à des périodes plus tardives, qui a eu raison de ce schéma de pensée. A partir des années 2010, on y a reconnu des déchets très différents de ceux qui étaient majoritairement rencontrés sur les ferriers mérovingiens : pas de tuiles romaines collées entre elles pour édifier les fourneaux, mais des fragments de parois en

argile modelée (aucun « pain » ni aucune brique crue ne sont connus) ; pas de scories écoulées à l'état fluide en cordons formant des plaques plus ou moins épaisses, mais des scories plutôt petites, accumulées sous forme de petites coulures et parfois affectées d'un effet de paroi ou marquées d'empreintes de brindilles et de petites branches.

Pour la partie terrain, la priorité qui continue d'être donnée aux labours permet d'une part d'avoir accès à des "épandages" de déchets très discrets et d'autre part d'observer plus facilement les affleurements de minerai. Un investissement plus important que les années précédentes était prévu pour 2020. Les prospections commençaient à donner des résultats prometteurs lorsqu'elles ont été interrompues par l'interdiction de se déplacer en raison de la pandémie de l'hiver 2019-2020. Les quelques parcelles visitées ont pourtant apporté des données nouvelles. Pour la partie analyses, plusieurs résultats arriveront en 2021.

Selon la période concernée, la problématique est différente.

La Protohistoire

En 2018, le site de réduction de Petit-Mercey 36 "aux Vernes", dans le Jura, découvert en 2015, avait été définitivement daté de la Protohistoire, grâce à un fragment de petite branche récolté en sondage : 2230 ± 30 BP, soit -386/-204 cal. BC¹ Cette datation certaine avait démontré pour la première fois l'existence d'une production antérieure à l'époque romaine dans le district. On est en présence d'une tache sur laquelle, on retrouve en majorité des fragments de parois en argile, mais pas les habituelles tuiles romaines. Elle forme un épandage d'environ 30 m x 15 m sur un terrain quasiment plat, ce qui le distingue de la plupart des sites à scories qui sont répertoriés dans le district. Les scories à coulures sont dispersées sans forme de véritable couche. Dans la foulée, les fragments de charbon de bois, prélevés à l'intérieur de scories internes provenant des sites de Petit-Mercey 32 "Aux Saucys" (Jura) et d'Étrabonne 11 "les Grandes Vènes" (Doubs) ont été datés respectivement de 712/391 cal. BC et 541/389 cal. BC.



Figure n°24. Scories de réduction typiques de la Protohistoire : Lantenne-Vertière « Les Longues Raies » (district de Berthelange)

En 2020, dans le prolongement de cette première datation, on a tenté de dater un petit fragment de bois de cœur prélevé dans une grosse scorie accumulée, présentant des petites coulures marginales, en provenance de Lantenne-Vertière 4 "Beauregard". Cette scorie a été récoltée en 1987 sur une petite concentration de déchets de réduction visible dans les labours (Laurent, Raïssouni 1987, p. 17). La concentration de quelques mètres carrés a ensuite été décapée et uniquement photographiée et relevée en 1990 – mais non étudiée – à l'occasion de la fouille d'un

1 La datation Artémis de 2018 faisait suite à un premier essai de 2017 à Poznan sur un charbon quelconque adhérent à une scorie et qui avait fourni une date plus ancienne : 2330 ± 30 BP ; -512/-233 cal. BC

sanctuaire antique qui semble avoir été actif du I^{er} au V^e siècle (Barbet 2003, p. 317-321²). Les quelques scories issues de la prospection des années 1980, conservées au dépôt de fouille de la Citadelle de Besançon, ont une physionomie qui rappelle celle des scories protohistoriques (fig. 24). Le prélèvement a été effectué dans la scorie accumulée, car des fragments de charbon de bois apparaissaient dans la coupe réalisée au CRPG au cours des années 1980. Malheureusement, l'analyse radiocarbone a fourni une date ancienne, le charbon de bois étant manifestement résiduel. Une deuxième tentative sur un matériau poudreux occupant une alvéole n'a pas révélé la présence de carbone.

Du site de Routelle 1 "au Bas Châtey", un fragment de charbon de bois formé d'aubier sans zone cambiale a été prélevé au sein d'une scorie interne. Là encore, la découverte est assez ancienne : le site a été identifié en 1984 par P. Moutel (fiche de déclaration de site déposée à la DRAC de Bourgogne-Franche-Comté : « nombreuses scories de réduction directe dispersées et minerai de fer en grains »)³. C'est à nouveau le réexamen du lot conservé dans le dépôt de la Citadelle qui a incité à procéder à une analyse radiocarbone dont le résultat confirme l'ancienneté du site de réduction : 537/581 cal. BC.

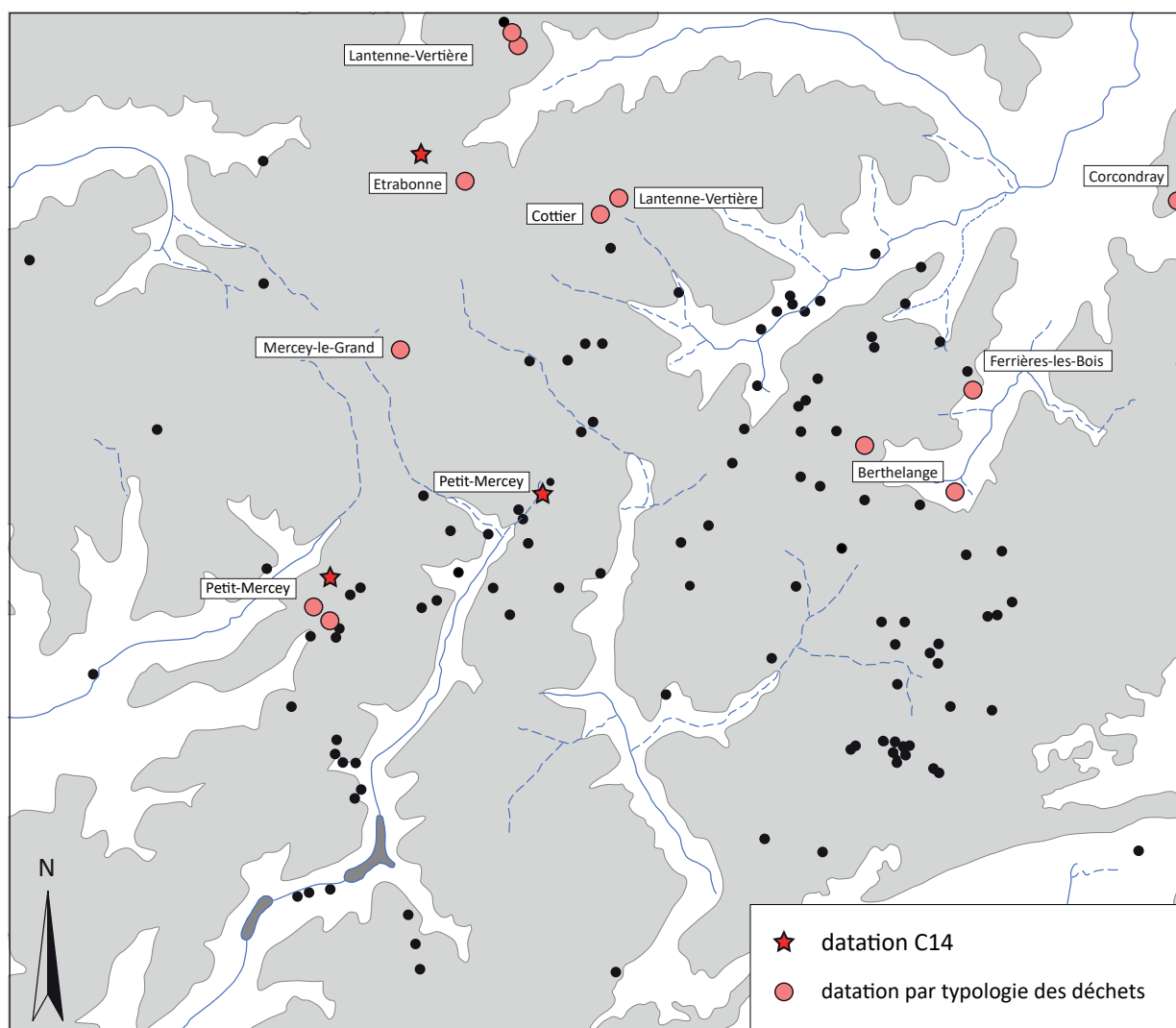


Figure n°25. Carte des sites de réduction protohistoriques de la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange

2 La publication n'évoque pas la présence de déchets sidérurgiques à cet emplacement.

3 Bien que situé dans le district de Berthelange, le site est hors du cadre de la carte (côté est).

Désormais, il y a 16 ateliers de réduction dans le district de Berthelange qui pourraient remonter au II^e âge du Fer (fig. 25). Parmi eux, 4 sont datés avec certitude grâce à des analyses radiocarbone. Il ne fait aucun doute que leur nombre réel est bien supérieur à ce qui est connu actuellement. Plusieurs arguments militent en faveur de cet optimisme. On a vu que la typologie des déchets est un très bon indicateur chronologique (4 sites confirmés par le radiocarbone sur 5 testés, « l'échec » de Lantenne-Vertière "Beauregard" étant imputable à un charbon résiduel). Formellement datés ou non, les dépôts de scories occupent un espace identique ou en tout cas similaire à celui sur lequel s'étendent ceux du moyen Âge. En plus des déchets stockés depuis les années 1980 dans le dépôt de fouille de la Citadelle de Besançon et parmi lesquels figurent ceux de Routelle "Au bas Châtey" daté en 2020, il y a sur le terrain de toutes petites concentrations et des épandages très lâches de scories et de parois dont on a parfois seulement noté l'emplacement sans les décrire et sans en prélever. Cette modestie apparente et cet état de destruction ou de recouvrement par les colluvions ne sont peut-être que le reflet de leur ancienneté.

Le Bas-Empire (?) et le haut moyen Âge

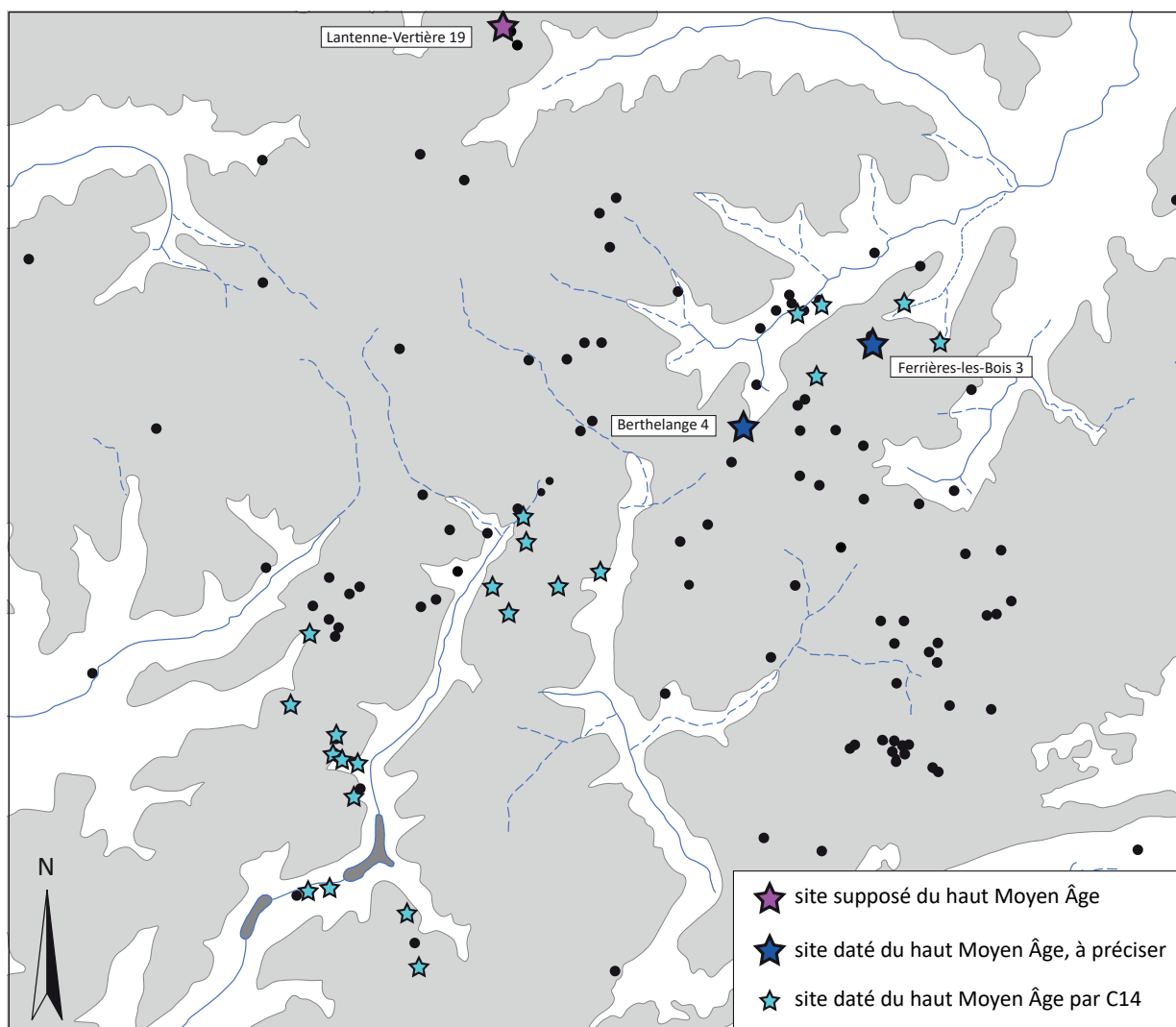


Figure n°26. Carte des sites datés du haut Moyen Âge par le C14 dans la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange

Plusieurs habitats antiques ou d'aspect antique (c'est-à-dire utilisant des moellons pour les murs et des tuiles romaines pour les toitures) sont jonchés de scories de réduction écoullées avec des cordons. Ces déchets ne sont jamais très abondants et on ne retrouve pratiquement pas de parois de fourneaux. Avant les datations radiocarbone qui sont venues bousculer la chronologie supposée de la réduction du fer dans le district, il paraissait naturel d'imaginer de petits ateliers fonctionnant au cœur des domaines. Depuis qu'on sait que le district est inactif pendant le Haut-Empire, on cherche à savoir quand il se met en place : le coup d'envoi est-il donné au IV^e siècle par exemple, comme certaines dates radiocarbone autorisent à le penser ? Sinon, a-t-on affaire à une petite production du haut Moyen Âge, voire plus tardive, dont les artisans continuent à occuper des bâtiments de l'Antiquité encore en élévation ou bien se servent de leurs toitures effondrées pour construire leurs fourneaux ? Auparavant, aucun de ces sites n'avait livré de scories de réduction contenant des charbons. Sur l'un des bâtiments de Lantenne-Vertière "Le Châtaignier", découvert en 2019, on a enfin pu extraire un échantillon à analyser dans le cadre d'Artemis. S'agissant d'un fragment de chêne sans thylle, donc d'aubier, il devrait fournir en 2021 une date exempte d'effet vieux bois⁴.

Nous avons également souhaité obtenir des dates plus précises et surtout plus assurées sur les deux sites « historiques » du district, les seuls à avoir fait l'objet de fouilles à la fin des années 1980 et au début des années 1990. A Berthelange "A la Vau", l'atelier de réduction est équipé d'un fourneau dont la cuve en tuiles romaines maçonnées à l'argile est entourée d'une ceinture en moellons bruts. La datation a été effectuée en 2005 sur de petits charbons quelconques issus d'une couche riche en minerai grillé, dont la position stratigraphique est incertaine (411/584 cal. AD). Une nouvelle datation Artemis est en cours. L'échantillon provient de fragments du fond du fourneau, retrouvés en 2020. Il a été nécessaire d'en prélever toute une série dans laquelle O. Girardclos a identifié de l'aubier de chêne.

A Ferrières-les-Bois "Pré Fergeux", on est en présence d'un fourneau de même typologie qu'à Berthelange. La sole d'un foyer rectangulaire a livré une certaine quantité de gros charbons dont trois ont été étudiés par C. Lavier, dendrochronologue (Lavier 1995). La date de 592 pour le dernier cerne conservé est proposée sur la base de référentiels qui ont été considérablement étoffés depuis. La datation C¹⁴, réalisée à partir d'un des trois fragments, est étirée en raison de l'incertitude importante (432/655 cal. AD). Dans le lot de charbons restants, O. Girardclos a pu sélectionner une petite branche.

3.1.2. Le Morvan-Auxois (Côte d'Or)

Les progrès dans la connaissance de la chronologie enregistrés dans le Morvan-Auxois sont considérables, puisque sur les 14 dates C¹⁴ disponibles, 11 ont été obtenues en 2020 (fig. 30). En fait, on y suit le même cheminement que dans celui de Berthelange : la période romaine, qui était soutenue par des arguments valables au début des années 1990 perd du terrain au profit du haut moyen Âge.

Les recherches des années 1980-1990

Identifié au XIX^e siècle par le maître mineur J.-M. Gueux (Gueux 1872), le district du Morvan-Auxois a été étudié de manière très approfondie à la fin des années 1980 et au début des années 1990 par M. Mangin et son équipe (Mangin et al. 1992). Il était considéré comme majoritairement romain sur la base de l'association souvent constatée : habitat antique/déchets de réduction directe. Il ne s'agissait pas d'une simple juxtaposition de données. Dans certains cas, comme à Villargoix "les Grands Champs", les déchets de réduction situés dans une enceinte rectangulaire autorisaient à envisager l'existence d'un complexe domanial associant une villa prestigieuse et un grand atelier (Mangin et al. 1992, p. 194). Au moment où les recherches de

terrain avaient lieu, cette interprétation était couramment acceptée, notamment pour la Bretagne romaine, comme le soulignent les auteurs qui citent l'exemple de Ely dans la région de Cardiff « dont il est admis qu'il s'agissait d'un établissement qui était presque certainement basé sur la production du fer » (Mangin et al. 1992, p. 235).

Par ailleurs, les interprétations issues de la prospection étaient confortées par une datation radiocarbone obtenue sur un charbon de bois prélevé en fouille. À Thoste « la Comme Philippe », la base d'un remblai bien calé dans la stratification fournissait la date calibrée 90-340 ap. J.-C. (Mangin et al. 1992, p. 55). Il n'y avait donc aucune raison de douter de la chronologie. Mais les modifications successives de la courbe de calibration ont très fortement dilaté la plage de datation, actuellement : 9/533 cal. AD Si un fonctionnement de cet atelier de taille modeste pendant l'Antiquité n'est pas formellement exclu, il faut en revanche admettre que l'argument a beaucoup perdu de sa vigueur.

Déjà, au moment de la publication, M. Mangin et ses co-auteurs ne prétendaient pas que l'activité était seulement circonscrite à l'époque romaine : « Une seconde phase d'activité est attestée dans le district au cours du Moyen-Âge classique » (Mangin et al. 1992, p. 238). Elle aurait, certes, été limitée à certains secteurs (Courcelles-Frémy, Montlay et La-Roche-en-Brenil).

La reprise du terrain à partir de 2015

La multiplication des dates "tardives" dans l'est de la France et en particulier dans le district de Berthelange ont conduit M. Mangin à repartir de ses données pour entreprendre une série de datations radiocarbone afin de vérifier ses hypothèses des années 1990. En 2015, des charbons avaient été prélevés sur 4 ferriers aux caractéristiques différentes⁵. Si deux d'entre eux s'avéraient sans surprise du bas Moyen Âge (Saint-Germain-de-Modéon « Le Bonjan » et La-Roche-en-Brenil "Lécussy"), deux autres fournissaient des résultats plus inattendus : Saint-Germain-de-Modéon "Les Courtils", (époque romaine) et Champeau "Le Bas de la Fiotte" (période mérovingienne).

- Saint-Germain-de-Modéon "Le Gué du Piéché"

Ce ferrier inédit a été découvert par hasard lors de la recherche d'un groupe de ferriers repérés par l'équipe de M. Mangin et qui eux n'ont pas été retrouvés pour l'instant. Implanté sur une pente à 40 m environ d'un ruisseau, il a été en grande partie bouleversé anciennement par la construction d'un chemin d'exploitation qui le traverse de part en part. De nombreux fragments de tuiles utilisés pour la construction des parois des fourneaux sont visibles. Certains fragments de roche pourraient être du minerai. La datation reçue en 2020 est très resserrée : 584/658 cal. AD.

- Montlay "En Nicerteau" (Mangin et al. 1992, p. 273)

Le ferrier d' "En Nicerau", l'un des plus grands du district a été visité en 2018. Dans l'ouvrage de 1992, il fait l'objet d'une description très succincte. Typologiquement, les auteurs le rapprochent du ferrier Lécussy à La Roche-en-Brenil (daté du bas Moyen-Âge). Situé dans une forêt de feuillus et encore intact à la fin des années 1980, il est actuellement occupé par des résineux dont la plantation l'a aplani mais pas détruit de fond en comble. Les dimensions estimées sur place correspondent bien à celles données par les auteurs (60 m x 25 m). Les ornières provoquées par un récent défrichage des lignes donnent accès à une partie de sa stratigraphie. Là encore, les fragments de matériaux en terre cuite d'époque romaine (tuiles et briques) sont particulièrement nombreux. Là encore, la datation reçue en 2020 relève d'une période où la courbe de calibration

5 Sur place, l'équipe continue à bénéficier de la préparation de V. Loisier, maire de Saint-Germain-de-Modéon (21). Sa très bonne connaissance du terrain et de ses habitants et ses repérages préalables sont une aide très appréciée.

fournit des résultats particulièrement précis (595/662 cal. AD). Pour l'instant, il s'agit du plus grand ferrier mérovingien connu dans la région.

- Saint-Germain-de-Modéon « Les Courtils »

Le cas de Saint-Germain-de-Modéon (Morvan-Auxois, Mangin et al. 1992, p. 280, site n° 21.548.01) montre tout l'intérêt qu'il y a à prélever des charbons dont la position stratigraphique est certaine et à les observer avant envoi au laboratoire.



Figure n°27. Paroi de fourneau en tuiles romaines de Saint-Germain-de Modéon « Les Courtils » (Morvan-Auxois)

Le ferrier, en prairie, est bordé par une forêt du côté amont. Les déchets sont visibles dans les taupinières et à la lisière de la forêt où certains fragments de grande dimension figurent parmi les matériaux d'un murger qui fait fonction de limite de parcelle. En raison de la faible visibilité au sol et en l'absence de relief marquant le dépôt de déchets, il n'est pas possible de donner son extension précise, mais elle est, de toute façon, de plusieurs dizaines de mètres. Avant la triennale, en 2015 et 2016, les deux dates obtenues sur des fragments de charbon de bois dont le lien avec l'activité sidérurgique était probable mais pas formellement établi renvoyaient à la période romaine et au premier Moyen Âge : respectivement 206/353 cal. AD et 257/531 cal. AD. Une nouvelle visite a eu lieu en 2018. L'examen attentif des déchets présents en surface montre que des tuiles romaines ont dû être utilisées en grand nombre pour la construction des parois des fourneaux, ce qui n'avait pas été observé auparavant. Plusieurs scories bulleuses et de forme « tourmentée » ont été cassées sur place pour en extraire des fragments de charbon de bois piégés au moment de l'écoulement et donc sûrement en relation avec l'activité sidérurgique. Le résultat d'une troisième analyse, annoncée en 2019, aura été nécessaire pour que le ferrier soit finalement daté formellement de la période mérovingienne (545/642 cal. AD) grâce aux derniers cernes d'un fragment de petite branche prélevé dans l'une des scories.

Un district au développement tardif

Ces quelques dates centrées sur la période mérovingienne intriguent : si le district du Morvan-Auxois ne soutient pas – et de loin – la comparaison avec celui de la Puisaye, en revanche il recèle des sites à scories parfois dispersées sur de vastes surfaces. 4 épandages de déchets atteignent 1 ha, 2 couvrent 4 ha et 1 s'étend sur une vingtaine d'hectares. La taille de certains ferriers intacts est également importante dans certains cas. 5 dépassent 1 000 m². Le plus grand

mesure 80 x 30 m et couvre donc 2 400 m² (Montlay-en-Auxois "Bois d'Éguilly"). Et pourtant, une autre série de 8 charbons datés en 2020 grâce aux prélèvements de R. Jeannot en 2019 montre que le *floruit* du district (si ce n'est sa création) date du haut Moyen Âge. Même le "gros" ferrier du "Bois d'Eguilly" est à rattacher à cette période et pas à l'époque romaine. Repérée à la charnière Bas-Empire/haut moyen Âge, la production est vigoureuse pendant la période mérovingienne. Elle semble le rester entre 700 et l'an Mil, naguère encore très peu représentée dans la région. Bien des caractères donnent au Morvan-Auxois un profil qui l'apparente aux districts « de l'Est » : ferriers majoritairement de dimension modeste dont les groupements se comptent en centaines et pas en milliers, absence de réduction du fer pendant le haut-Empire, multiplication des ateliers pendant la période mérovingienne (avec des tuiles romaines utilisées pour les cuves des fourneaux). Les 14 dates radiocarbone disponibles font du Morvan-Auxois un "concurrent" potentiel du district de Berthelange qui était sans équivalent jusqu'à présent. Si elles peuvent se multiplier dans les années à venir, elles devraient lui permettre d'accéder à la première place des districts du haut moyen Âge dans la région.

Pour autant, il n'est pas téméraire d'imaginer une éventuelle production protohistorique. D'abord parce que l'exemple de Berthelange montre que c'est tout à fait possible (cf ; *infra*). Ensuite parce que dans le Morvan-Auxois, la prédominance des prairies et des forêts peut masquer de multiples dépôts de scories que leur absence de relief rend parfois indétectables.

3.2. Les district de l'ouest : le Nivernais.

Les résultats des datations concernant la Puisaye seront présentés dans le prochain chapitre. Nous nous concentrerons donc ici seulement sur le Nivernais pour lequel nous disposons d'une série de nouvelles dates radiocarbone. Le Nivernais constitue une zone de production dont l'importance a été mise en avant dès les années 1980 grâce aux travaux d'Alain Bouthier. La production de ce secteur est alors exclusivement attribuée à la période romaine, jusqu'au IV^e s. ap. J.-C., sur la base des découvertes de trésors monétaires ou de céramiques collectées sur ou à proximité des amas (Bouthier 1982, 1995). Quelques ferriers isolés et situés à proximité immédiate de villae romaines sont également attribués à cette même période.

L'inventaire réalisé par Alain Bouthier lui a permis de distinguer quatre grandes zones de concentration de ferriers (Bouthier 1987) :

- Sur la rive gauche de la Loire, dans le Loiret ;
- En Puisaye Nivernaise autour de Saint-Amand-en-Puisaye ;
- Dans le Haut Nivernais autour d'Entrains-sur-Nohain ;
- Dans la forêt des Bertranges.

Les nouvelles recherches engagées dans le cadre du PCR se sont concrétisées par deux campagnes de prospections et sondages. En 2016 deux amas de scories ont ainsi été sondés par Rémy Jeannot à Entrains-sur-Nohain (Jeannot 2016). En 2018, une campagne de prospections et de sondages plus ambitieuse a été menée par R. Jeannot (Jeannot 2018), sur une vingtaine de sites. Nous disposons ainsi de vingt dates (quinze acquises durant cette triennale) en provenance des trois derniers secteurs individualisés par A. Bouthier.

3.2.1. La Puisaye nivernaise

Deux nouvelles datations radiocarbone ont été acquises sur des amas de scories situés dans le prolongement de l'importante concentration de sites de réduction connus en Puisaye. Il s'agit d'une part du site d'Alligny-Cosne "Les Reboulots" qui correspondrait à une ancienne

minière transformée en mare et qui livre des concentrations de scories. Le charbon prélevé dans l'une d'entre-elle livre une fourchette chronologique de 121 - 311 Cal. AD. L'autre site, de Bouhy "La Vallée Saint Pélerin" correspond à une modeste concentration de scories juxtaposée à une villa romaine. Les fouilles menées par A. Bouthier (Bouthier 1985) sur ce site romain permettraient de dater l'occupation de l'habitat aux I^{er}-II^e s. La datation radiocarbone d'un charbon piégée dans une scorie fournit une date postérieure à cette occupation, entre 242 et 401 Cal. AD.

Entrains-sur-Nohain

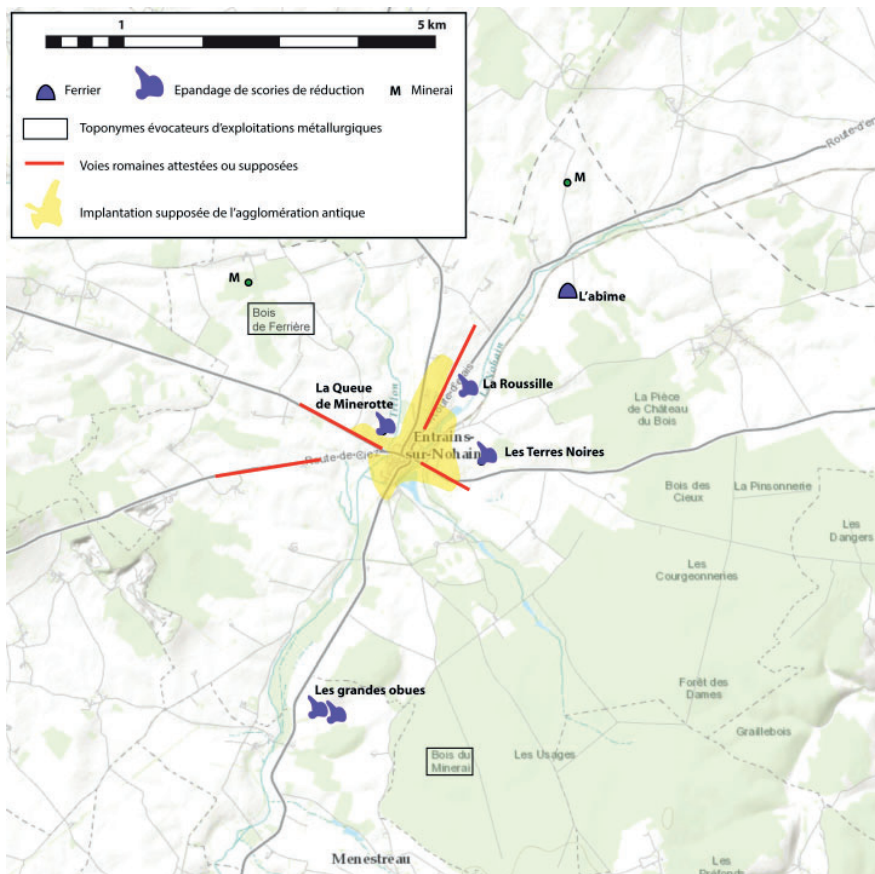


Figure n°28. Entrains-Sur-Nohain, localisation des limites supposées de l'agglomération antique et des indices de réduction en périphérie

Le secteur d'Entrains-sur-Nohain est surtout connu pour son importante agglomération romaine. Les fouilles menées depuis les années 1960 et surtout les fouilles récentes menées par l'INRAP ont permis la mise au jour d'une série de forges, particulièrement actives dans le courant du I^{er} et II^e s. ap. J.-C. et perdurant à une échelle plus réduite jusqu'au IV^e s. ap. J.-C.

Dans le cadre du présent PCR, des sondages se sont portés sur deux amas situés à la périphérie immédiate de l'agglomération romaine (fig. 28). En effet se posait la question de la contemporanéité de la production de fer brut et des activités de forgeage.

Plusieurs datations ont été réalisées sur des charbons prélevés au sein de plusieurs couches stratigraphiques sur le ferrier des "Abîmes", situé au nord de l'agglomération romaine, le long d'un axe de communication principal. Elles confirment la contemporanéité entre les activités de forge menées intra-muros et la production de fer brut, située hors de l'espace bâti. Les datations obtenues couvrent ainsi une période maximale comprise entre 51 Cal. BC et 311 Cal. AD (51 Cal. BC – 116 Cal. AD / 41 Cal BC -124 Cal. AD / 81 – 236 Cal. AD / 121 – 311 Cal. AD). Ces

sondages ont également mis en évidence la réoccupation de ce même emplacement aux XIII^e – XV^e (129 - 1401 Cal. AD) se matérialisant par un nouveau tas de scories de réduction.

Au sud de l'agglomération, à Menestreau "Les Grandes Obues" un prélèvement de charbon au sein d'un épandage de scories livre une nouvelle date cohérente avec celles déjà obtenues (210 – 353 Cal. AD).

3.2.2. La Forêt des Bertranges et l'agglomération romaine de Compièrre

Une grande partie des nouvelles dates acquises provient de ce secteur.

Une configuration comparable à celle d'Enrains-sur-Nohain est constatée, avec la présence d'amas de scories de réduction situés à proximité immédiate d'une agglomération romaine concentrant des activités de forgeage. Plusieurs sondages ont ainsi été réalisés sur un gros amas de scories situé à moins d'un kilomètre de l'agglomération romaine de Compièrre, occupée entre le I^{er} s. av. J.-C. et le X^e s. ap. (maison forte médiévale), avec une période de floruit au II^e s. (Venault, Nouvel 2016). Une première date radiocarbone avait été réalisé sur cet amas de scorie en 2009, par A. Bouthier, qui fournissait une date de 213 – 361 Cal. AD.

Les quatre dates obtenues à différents niveaux en stratigraphie confirment une activité se développant durant l'antiquité, entre 84 et 320 Cal. AD soit de manière contemporaine à l'occupation de l'agglomération.

Les autres datations disponibles proviennent toutes de charbons prélevés au sein de scories issues de différents amas de réduction. Elles peuvent toutes être attribuées à l'Antiquité. Deux sites ont été datés à Raveau "Fontaine des Burgers n°4 et 6" et ils couvrent des périodes successives 84 -239 Cal. AD et 230 (site 4) – 380 Cal. AD (site 6). Les fourchettes de datation obtenues à Saint-Aubin-Les-Forges "Les Rondelles" et Saint-Franchy "Fontaine du Laitier", sont identiques 83 – 327 Cal. AD, ainsi que pour Poiseux "Les Péchats" qui livre néanmoins une date un peu plus précise entre 84 – 239 Cal. AD.

Un seul site livre une datation plus tardive, à Moussy "Fontaine du Laitier" avec une période comprise entre 563 – 659 Cal. AD.

3.2.3. Résultats

Les datations obtenues ces dernières années confirment ainsi l'importance de la production de fer dans ce secteur du Nivernais qui semble avec la Puisaye constituer une zone de production majeure durant l'Antiquité.

Un des acquis majeurs de ces derniers travaux est la mise en évidence, de manière inédite, de l'association entre des agglomérations romaines accueillant des forges et l'implantation d'ateliers de réduction de fer brut en périphérie immédiate de ces agglomérations.

Ces nouvelles dates ont également permis de pointer l'existence d'une production de fer brute plus tardive, durant les VI^e-VIII^e et XIII^e – XV^e, insoupçonnée jusqu'à présent et dont l'importance reste à déterminer.

3.3. La chronologie à l'échelle de la région

3.3.1. Intérêt et limites de la technique du radiocarbone

Même avec une incertitude réduite au minimum sur lequel les laboratoires s'accordent (± 30 ans BP), la précision des dates calibrées varie fortement sur l'échelle du temps : entre les deux dates BP extrêmes rencontrées dans le cadre de ces recherches (2410 BP et 300 BP), la plage calibrée la plus courte est de 48 ans (475 et 490 BP) ; la plus longue dure 344 ans (2410 BP). On évoque souvent le plateau du I^{er} âge du Fer, qui se termine brutalement avec la date 2375 BP et dont les plages calibrées sont d'une amplitude supérieure à 300 ans. Cependant, il existe d'autres plateaux, moins "catastrophiques" mais bien présents. Pour le II^e âge du Fer, à 2335 BP et 2330 BP, les plages calibrées sont d'environ 280 ans ; entre 2175 BP et 2100 BP, elles varient entre un peu plus de 250 ans et presque 300 ans. A la charnière du Bas-Empire et du premier Moyen Âge, entre 1675 BP et 1645 BP, on dépasse 270 ans d'amplitude. Par le flou qu'ils introduisent, ces plateaux perturbent l'analyse chronologique : plus les dates calibrées sont imprécises, plus elles occupent d'espace quand on les représente. Il est alors tentant de les utiliser comme des « chaînons manquants » entre deux séries de dates.

Il est nécessaire de réfléchir au degré de précision "acceptable", c'est-à-dire à l'amplitude de la plage de calibration au-delà de laquelle une date ne peut plus être considérée comme utilisable. Dans l'absolu, le fait qu'une date calibrée soit imprécise n'empêche pas de l'utiliser. Après tout, en l'absence de textes, l'approximation chronologique est le lot quotidien de l'archéologue. En revanche, les représentations graphiques s'accommodent mal des données floues. En vertu de ce principe, et tout en étant conservées dans la base de données, les dates calibrées qui s'éloignent trop de la plage générée par une datation BP à ± 30 ans ne sont pas prises en compte. Il faut pour cela les examiner individuellement. Pour certaines périodes, une datation BP à ± 50 ans fournit une date calibrée presque aussi précise que celle à ± 30 ans ; pour d'autres périodes au contraire, la date calibrée qui en est issue n'est pas "acceptable".

Un biais supplémentaire est introduit par les différences de qualité des charbons de bois envoyés à l'analyse. Désormais, tous les échantillons sont observés conjointement avec O. Girardclos, anthracologue qui, lorsque c'est possible, détermine l'essence et surtout la position dans l'arbre des cernes conservés. Cela n'était pas le cas il y a encore quelques années et ce n'est pas toujours possible lorsque le charbon est présent dans les scories sous forme de poudre. La certitude de dater les derniers cernes rapproche considérablement de la date « juste ». Au contraire, l'absence d'observation préalable au microscope fait planer un doute en raison de l'effet « vieux bois ». Il faut alors admettre que toutes les dates n'ont pas la même valeur.

Autre inconvénient, et qui n'est pas des moindres, la courbe de calibration du C14 évolue, ce qui a été le cas entre 2019 et 2020. Certaines plages calibrées rejoignent des plateaux ou connaissent un allongement significatif ; d'autres quittent au contraire un plateau ou deviennent très précises ; d'autres encore, tout en conservant une durée comparable à celle de la calibration précédente, voient leurs bornes glisser, parfois de trois quarts de siècle.

Enfin, malgré leur nom, les dates radiocarbone calibrées à 2σ ne sont pas des *dates* dans le sens propre du terme, mais des intervalles de temps à l'intérieur desquels la date vraie (celle de la mort de l'organisme) a une très forte probabilité de se trouver (à condition qu'on ait effectivement prélevé les derniers cernes d'un arbre ou bien des végétaux à cycle de vie très court).

Il y a donc un ensemble de "handicaps" qui gênent l'analyse de la chronologie. De plus, il est très difficile d'exprimer les constats sous forme de texte. On doit sans cesse choisir entre les approximations, les abus de langage et l'emploi de périphrases. Malgré ces limites propres à la technique et les difficultés d'interprétation, le radiocarbone demeure un instrument irremplaçable pour la datation des sites de réduction.

3.3.2. Construction d'un graphique à l'échelle de la région (fig. 29-30)

Par leur nombre et leur contenu, les données de 2020 complètent et précisent de façon spectaculaire la chronologie des exploitations. Les progrès concernent toutes les périodes et des espaces géographiques variés.

Dans le courant de l'année 2020, 46 dates utilisables graphiquement, ont été obtenues. Avec les 69 acquises en 2018 et 2019, on atteint 115 nouvelles dates pour la triennale 2018-2020. Fin 2020, sur l'ensemble de la Bourgogne-Franche-Comté, après élimination des résultats intrinsèquement aberrants (charbons résiduels, dates incohérentes entre elles dans un même niveau archéologique, charbons de mine datés par erreur...). 184 dates C^{14} provenant de 141 sites de réduction sont disponibles pour une représentation graphique.

En raison de leur nombre, les dates sont figurées dans le graphique chacune par une barrette qui est fonction de la totalité de la plage de calibration à 2σ , sans représentation de la courbe de probabilité. Il est convenu que ce graphique n'est pas la représentation exacte de l'activité sidérurgique de la région étudiée au cours des 2 300 ans qu'il prend en compte. Il faudrait pour cela que chaque charbon analysé concerne une quantité connue de déchets et que l'ensemble de leur tonnage soit mesuré, chiffres qui sont par nature hors de portée. Mais il permet de dégager de grandes tendances et, par le jeu du présence/absence, d'émettre des hypothèses sur les rythmes de la production.

3.3.3. Ce que montre le graphique

Le II^e âge du Fer et l'époque romaine

Nous n'avons pas de preuve formelle de l'existence d'une activité de réduction pendant le I^{er} âge du Fer. Les quatre datent situées sur le "plateau du Hallstatt" ont leur borne calibrée la plus récente qui se situe vers 400 av. J.-C. Les chevauchements de plages calibrées n'autorisent pas à affirmer que ces sites sont réellement les plus anciens. D'autant que, moyennant un risque d'erreur minime, les plages de calibration peuvent être fortement resserrées pour deux d'entre elles. Pour Treigny "Les Gâtines Beauchet" (Yonne), l'intervalle 542/393 cal. BC est probable à 93,9 % (717/393 cal. BC 2σ) ; pour Petit-Mercey 32 "Au Saucy" (Jura), l'intervalle -542/-391 cal. BC est probable à 95 % (712/391 cal. BC σ).

Sur les 33 dates qui ne dépassent pas le changement d'ère, 31 ont été acquises pendant la triennale, dont 13 pendant la seule année 2020. La série n'est pas encore suffisamment étoffée pour qu'on en tire des conclusions "définitives" sur le dynamisme de l'artisanat du fer gaulois. Pour l'instant, il n'y a pas de réelle continuité entre les dates les plus anciennes et l'époque romaine. Entre les n° 27 (Villiers-Saint-Benoît "Bois Fendu n° 7", 371/376 cal. BC) et le n° 34 (Aillant-sur-Tholon "Bois des ferriers 8", 172/82 cal. BC), 6 dates occupent le plateau de La Tène, avec des plages calibrées dépassant parfois 300 ans d'amplitude. Entre la date n° 34 et la date n° 35, il y a 13 « pas » d'écart, soit 65 ans (les dates BP sont données avec un "pas" tous les 5 ans). Cette lacune se traduit par un seuil bien visible sur le graphique. Sans doute ce vide sera-t-il comblé avec de futures analyses radiocarbone.

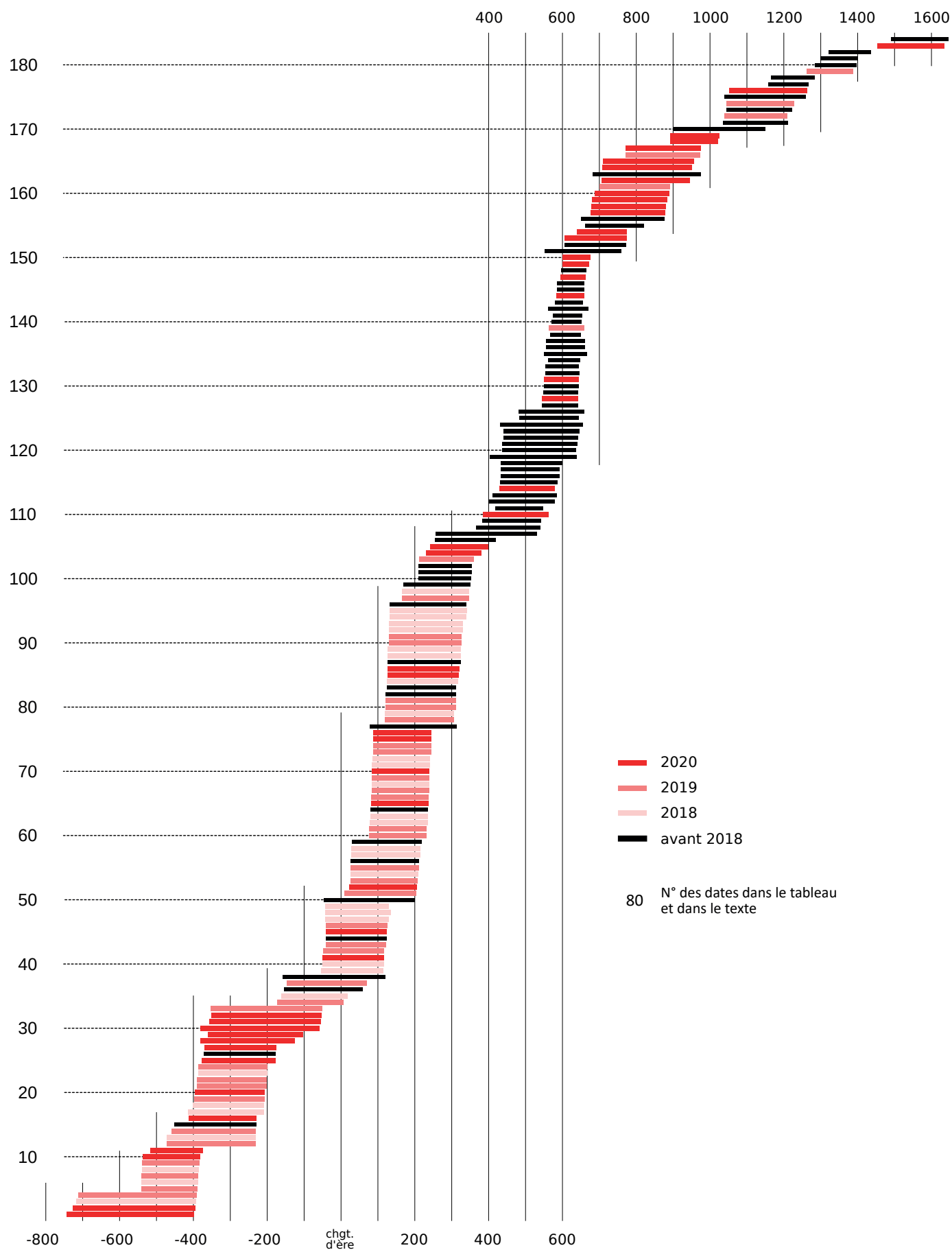


Figure n°29. Graphique des 184 dates radiocarbone en fonction des années d'acquisition

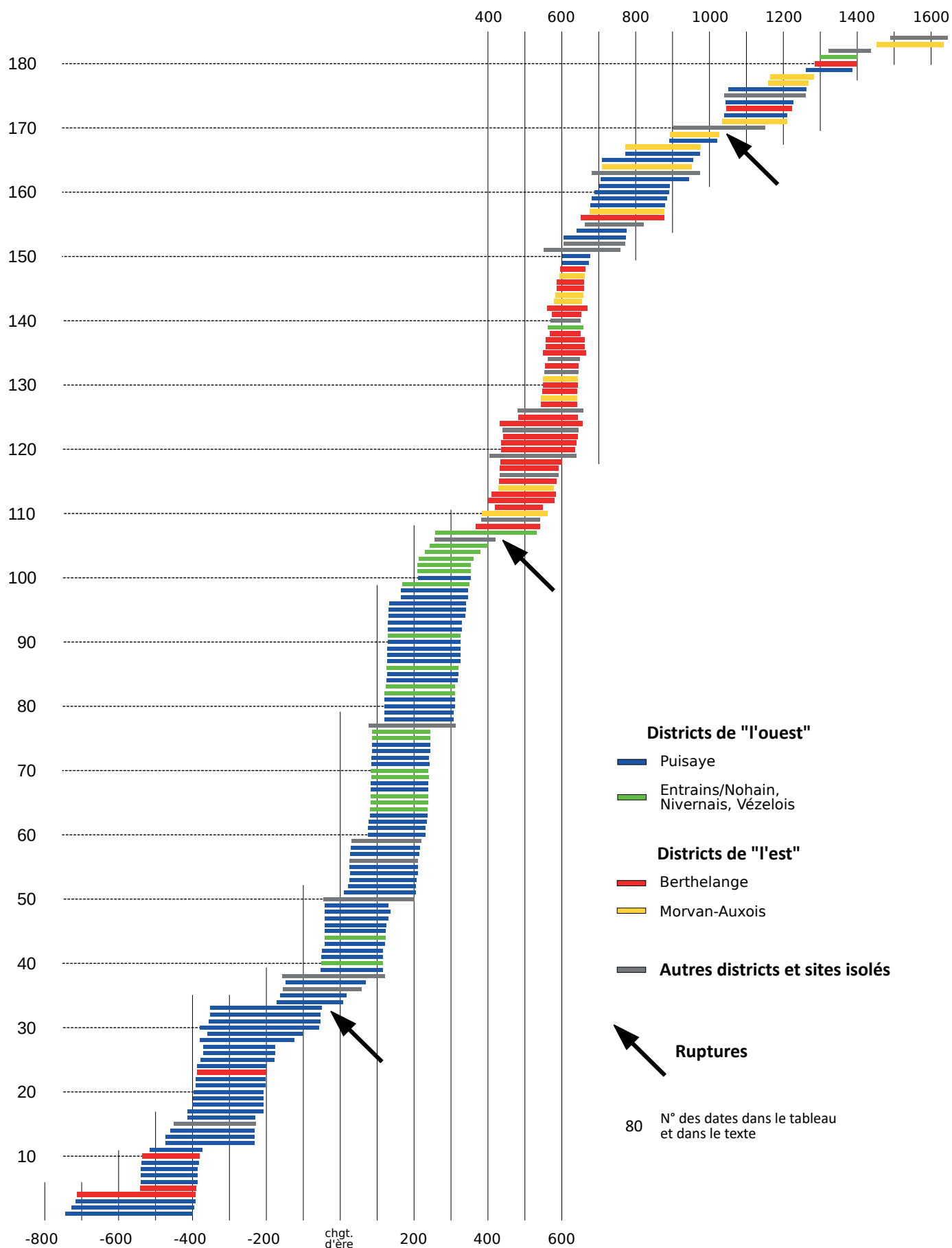


Figure n°30. Graphique des 184 dates radiocarbone en fonction de leur provenance

En tout cas, une première étape importante est franchie. La production du II^e âge du Fer, longtemps connue uniquement à travers la fouille des Clérimois dans le pays d'Othe (dont très peu de dates peuvent encore servir aujourd'hui), est maintenant évidente. En Puisaye, la métallurgie protohistorique occupe des secteurs à proximité desquels la production de masse de l'époque romaine viendra prendre place.

Dans la zone de Berthelange, avoir prouvé que l'exploitation débute à l'âge du Fer est une chose ; en connaître l'importance, l'étendue géographique et la chronologie précise en est une autre. La question de la part prise par chaque peuple gaulois de la fin de l'Indépendance puis par chaque cité du Haut-Empire dans la production du fer continue à se poser depuis les années 1990. Disposant à ce moment-là d'une très courte série de datations radiocarbone et des résultats des fouilles des Clérimois, M. Mangin avait mis en lumière une partition « *entre deux groupes de peuples gaulois, sensible dès la fin de la Protohistoire et éclatante à l'époque romaine [...]* » (Mangin et al. 1994, p. 81). Avec la date la plus récente du district de Berthelange, on "bute" sur la fin du II^e siècle av. J.-C. et précisément sur -200. Puisqu'il n'y a pas continuité de l'exploitation du fer chez les Séquanes après la conquête, à quel moment précis cesse-t-elle ?

La rupture de 400 ap. J.-C.

On décrivait précédemment une rupture intervenant au tournant des III^e-IV^e siècles, en tout cas avant la fin de l'époque romaine. D'abord avancée de manière intuitive dans les années 1990 (Mangin et al. 1995), elle s'est matérialisée au fur et à mesure de l'accumulation des dates radiocarbone jusqu'en 2019. Il faut revenir sur cette affirmation ou plutôt sur la période à laquelle le phénomène est visible. C'est désormais la fin du IV^e ou le début du V^e siècle qui semble marquer cette rupture, l'axe de l'année 400 séparant nettement la pile de dates de l'Antiquité et celle qui annonce le haut moyen Âge. Il y a deux raisons à ce changement :

Tout d'abord, il faut savoir renoncer à des dates si elles comportent trop d'incertitudes. Les années passées, nous avons conservé plusieurs dates dont l'intérêt est en fait limité et qui en définitive perturbent la lecture du graphique.

Le ferrier de Briaucourt "En Faivorge" (Haute-Saône) a bénéficié de trois datations, la première en 1994, à partir d'un micro-sondage et les deux autres en 2017, après prélèvement dans une couche riche en charbons, à l'occasion d'un sondage de plusieurs mètres carrés. Aucun des trois fragments n'a été observé au microscope avant son analyse. Les deux témoins de 2017 ont été vérifiés *a posteriori* par O. Girardclos : les rayons ont été confondus avec les cernes au moins dans l'un des deux. Sans être aberrants, les résultats ne sont pas suffisamment cohérents pour qu'on en tire une conclusion valable : avec des bornes extrêmes allant de 262 à 545⁶ cal. AD, la date de fonctionnement de cet atelier se situe quelque part entre le Haut-Empire et le premier Moyen Âge, même si la petite taille du site et la typologie des déchets incitent à privilégier la plus récente des deux périodes. Mais on ne peut pas aller plus loin, ni traduire cette tendance graphiquement.

Deux dates obtenues sur le ferrier 3b des Clérimois "Les Fouetteries" (Pays d'Othe), présentent des plages de calibration d'une amplitude proche de 300 ans : respectivement 255-564 cal. AD et 261-557 cal. AD. Avec une incertitude ± 30 ans, l'amplitude des plages calibrées serait très inférieure à deux siècles.

Pour finir, deux dates de Saint-Germain-de-Modéon "Les Courtils" ont été éliminées (cf. *supra* le Morvan-Auxois).

6 Datation de 1994 : 1460 \pm 50 BP, 441/664 cal. AD ; datations de 2017 : 1650 \pm 30 BP, 262/537 cal. AD et 1600 \pm 30 BP, 416/545 cal. AD).

En résumé, 7 dates qui occupaient "l'espace charnière" du III^e au VI^e siècle ont été sorties du graphique.

Ensuite, dans le corpus ayant servi à établir le graphique de 2020, il faut s'attarder sur les dates n° 97 à 109, réparties en deux séries.

→ première série : comme indiqué *supra*, la courbe de calibration de 2020 a fait "glisser" les bornes de début et de fin de certaines dates. Du n° 97 au n° 103 (de 1800 ± 30 BP à 1780 ± 30 BP) les bornes terminales des dates calibrées, qui allaient de 326 à 335, vont désormais de 346 à 361. On trouve ensuite deux dates acquises en 2020, n° 104 et 105 dans un "espace" très peu occupé jusque-là, qui va jusqu'à la fin du IV^e siècle (Raveau, 230/380 cal. AD, Bouhy "la Vallée Saint Pélerin", 242/401 cal. AD) et une, obtenue en 2014, n° 106, qui "mord" sur le début du V^e siècle Goux-les-Usiers 2 "Combe de Ferrière", dans le haut Doubs, 255-412 cal. AD) et que nous conservons faute d'être en mesure, pour l'instant, de démontrer un éventuel effet "vieux bois"⁷.

→ deuxième série : pour les n° 108 et 109 (1635 ± 30 BP et 1630 ± 30 BP), ce sont les bornes initiales qui ont été rajeunies, passant de 340 à 367 et de 346 à 382.

Ces deux ensembles de dates calibrées ne se recoupent pratiquement plus alors que c'était le cas avec la calibration Intcal13. La date n° 107 les unit, mais seulement de façon apparente, du seul fait que sa plage de calibration, supérieure à 270 ans d'amplitude, se situe sur le plateau Bas-Empire/haut Moyen Âge. Elle a été relevée dans la bibliographie (Larochemillay "les Corseries sud/la Ruchette", 287/531 cal. AD).

Que signifie cette rupture ?

Elle pourrait être d'ordre historique. C'est-à-dire que la production cesserait pendant un certain temps. S'engager dans la démonstration de cette hypothèse est risqué, car l'archéologie progresse par accumulation de données. Si une production de fer existe au cours d'une période donnée, il suffit d'en découvrir les ateliers pour le prouver. C'est possible et même assez facile, car c'est une question de temps. A l'inverse, si une production de fer n'existe pas au cours d'une autre période, il ne suffit pas de ne pas en découvrir les ateliers pour le prouver, et le temps rend la chose tout juste plausible⁸.

La rupture est plus probablement d'ordre documentaire. C'est-à-dire que les ateliers qui « manquent » peuvent se trouver dans des secteurs où il y a eu peu ou pas de prospections et de datations pour l'instant. Le district de Puisaye, sur lequel a porté une grande partie du programme de datations ces dernières années, monopolise 75 des 100 premières dates du graphique. C'est d'un ferrier de ce district que provient la date n° 100 (Dracy "Ferrier des Noirs", 210/353 cal. AD). Parmi les 7 dates suivantes (n° 101 à 107), le Nivernais est présent 4 fois, et Entrains-sur-Nohain 1 fois. La Puisaye semble avoir passé le relais aux districts les plus proches au moment où on se met à travailler dans des ateliers de moindre dimension qu'au Haut-Empire.

7 Le site fait partie d'un groupe de quatre ferriers très rapprochés et dont les trois autres, de même typologie que lui, sont franchement mérovingiens. Le fragment de charbon analysé provient d'un micro-sondage dans l'épaisseur du ferrier. Il a un aspect de « loupe » et ne présente pas de cerne.

8 Les trois campagnes de datations de 2018 à 2020 en particulier ont montré que, sans indice chronologique immédiatement perceptible sur le terrain, une série de prélèvements peut faire émerger une période dont on ne connaissait pratiquement pas de sites jusqu'alors. Le cas du district de Berthelange illustre bien cette difficulté. Après avoir daté les ferriers de la période romaine – sans analyse radiocarbone – nous avons fixé les débuts de l'exploitation à la charnière Bas-Empire/haut Moyen Âge sur la base d'une série de datations bien étoffée. Nous savons désormais que cette exploitation commence à l'époque gauloise.

Ensuite, débute la "pile" des dates du haut Moyen Âge surtout occupée par Berthelange et le Morvan-Auxois qui se termine au n° 148. Absente pendant une série de 48 dates, la Puisaye ne réapparaît qu'avec la date 149 qui est la première sûrement postérieure au VI^e siècle. Tout en continuant à produire de façon groupée, on passe brutalement à des ateliers de petites dimensions dont beaucoup s'implantent dans des secteurs où la réduction du Haut-Empire était absente.

Les dates sûrement postérieures à 600

La période qui court entre 1390 BP et 1165 BP (dont les dates calibrées ont des bornes qui vont de 600 environ à 975 environ) est longtemps apparue comme "obscur". Les analyses de 2020 montrent que pour cet intervalle allant du début du VII^e siècle jusqu'au troisième quart du X^e siècle, c'est notamment en Puisaye, dans les secteurs libres de grands ferriers antiques, qu'il faut aller chercher les ateliers, mais également dans le Morvan-Auxois (n° 149 à 167 du graphique). Les sites de cette période ont en grande partie été identifiés pendant la triennale. Les nombreuses lacunes qui subsistent (beaucoup de dates BP manquantes) devraient être comblées dans les années qui viennent.

Il semble que dès l'origine et jusqu'assez tard, les ateliers soient groupés dans ce que nous appelons des "districts" par commodité. Seule la répartition des sites du bas Moyen Âge paraît échapper à toute règle, en tout cas dans l'état de nos connaissances actuelles. Symboliquement, l'an Mil marque un tournant. Après une dernière date "charnière" de 248 ans obtenue dans le Pays d'Othe à Bussy-en-Othe ("Bois de Migennes", 902-1150 cal. AD, n° 107 du graphique) les découvertes de terrain se raréfient dans toute la région (seulement 14 dates postérieures à 1025 BP, n° 171 à 184 du graphique). Pourtant, c'est peu près à ce moment-là qu'on commence à avoir des textes qui montrent la vigueur de la production. Faut-il y voir la preuve que les nombreux ateliers aux mains des seigneurs ou des moines ne forment plus de concentrations bien nettes et sont de ce fait plus difficiles à repérer ?

Communes et n° sites	Dpt	Lieux-dits	N° échantillons	N° dans graph.	Références analyses	Âges BP	Dates cal. IntCal20	Années résultats
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 1	F1-S2-201	67	Poz-108559	1870 ± 30	84/239	2019
			F1-S3-US301-13	47	Poz-98004	1960 ± 30	-42/130	2018
			F1-S3-US302-pvt3	49	SacA-52868	1960 ± 30	-42/130	2018
			F1-S3-US307-C1	48	SacA-52869	1960 ± 30	-42/130	2018
			F1-S3-US309-p10	63	SacA-52870	1880 ± 30	81/236	2018
			F1-S4--C2	57	SacA-52872	1910 ± 30	28/215	2018
			F1-S4-US 402	84	SacA-52871	1835 ± 30	125/318	2018
			F1-S4-US 401	87	Poz-97980	1825 ± 30	127/325	2018
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 2	F1-S4-C1	54	Poz-98007	1920 ± 30	26/210	2018
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 2	89-003-002-C1	97	SacA-56233	1800 ± 30	165/346	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 3	F3-S1-US 101	92	SacA-52873	1815 ± 30	130/330	2018
			F3-S2-US 203	68	SacA-52875	1870 ± 30	84/239	2018
			F3-S2-US 205-C14	79	SacA-52876	1850 ± 30	120/306	2018
			F3-S2-US 207-C12	71	Poz-98005	1865 ± 30	85/241	2018
			F3-S1-US 103-C2	94	Poz-98006	1805 ± 30	132/340	2018
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 4	89-003-004-C1	60	SacA-56234	1890 ± 30	76/231	2019
			89-003-004-C3	73	Poz-108912	1860 ± 30	87/244	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 5	F5-103-C1	74	SacA-56235	1860 ± 30	87/244	2019
			F5-108-C3	51	Poz-108336	1940 ± 30	10/204	2019
			F5-111-C7	53	SacA-56236	1925 ± 30	25/207	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 6	89-003-006-C1	90	SacA-56237	1820 ± 30	130/326	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 7	89-003-007-C1	80	SacA-56238	1845 ± 30	121/311	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 8	89-003-008-C1	34	SacA-56239	2075 ± 30	-172/8	2019
			89-003-008-C4	32	SacA-59881	2145 ± 30	-351/-53	2020
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 9	F9-S1-US 101	95	SacA-52877	1805 ± 30	132/340	2018
			F9-S1-US 113	72	SacA-53478	1865 ± 30	85/241	2018
			F9-S1.-US 115-7	62	Poz-98003	1885 ± 30	78/234	2018
			F9-S1-US 104-C4	88	SacA-53063	1825 ± 30	127/325	2018
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 10	F10-101-C1	174	SacA-56240	880 ± 30	1045/1228	2019
			F10-109-C2	172	SacA-56241	915 ± 30	1039/1210	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 20	F20-113-C7	46	Poz-108259	1965 ± 35	-41/126	2019
			F20-101-C5	37	SacA-56242	2030 ± 30	-147/69	2019
			F20-109-C6	43	SacA-56243	1975 ± 30	-41/122	2019
			F20-204-C4	55	SacA-56244	1920 ± 30	26/210	2019
			F20-207-C1	42	SacA-56245	1995 ± 30	-48/116	2019
			F20-219-C3	78	Poz-108418	1850 ± 30	120/306	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Les Boulasseaux 2	89-003-023-C1	21	SacA-56246	2240 ± 30	-390/-202	2019
			89-003-023-C2	12	Poz-108438	2325 ± 30	-472/-232	2019
Alligny-Cosne	58	Les Reboulots	58.002.001.C1	81	Poz-108555	1845 ± 30	121/311	2019
Berthelange	25	À la Vau	25.055.004.C15	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Bouhy	58	La Vallée St-Pélerin	58.036.001.C2	105	Poz-125295	1745 ± 30	242/401	2020
Clérimois (Les),	89	Les Fouetteries	89.111.604.C1	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Courcelles-Frémy	21	Chaume de Montforgeon	21.203.001.C5	167	Poz-125296	1165 ± 30	772/976	2020
Courcelles-Frémy	21	Civral Pendant de Bèze	21.203.016.C1	/	Poznan	/	/	attendu 2021
Dracy	89	La Grande Pâture	89.147.010.C4	6	Poz-102416	2365 ± 30	-540/-387	2018
Entrains-sur-Nohain	58	L'Abîme	US 104.S1.C5	40	SacA-52752	2000 ± 30	-51/116	2018
Étrabonne	39	Les Grandes Vènes	25.225.11.C1	5	Poz-108417	2370 ± 30	-541/-389	2019
Faverelles	45	Bois des Beurtes	45.141.001.C5	17	Poz-101974	2305 ± 35	-414/-208	2018
Faverelles	45	Bois des Beurtes	45.141.002.C11/1	8	Poz-102486	2360 ± 30	-540/-386	2018
Ferrières-les-Bois	25	Pré Fergeux	25.235.003.C15	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Ferté-Loupière (La)	89	La Bernière /Ferrier	89.163.002.C3	35	Poz-102197	2060 ± 30	-162/17	2018
Goux-les-Usiers	25	Montmatigni	25.282.001.C10	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Goux-les-Usiers	25	Combe de Ferrière	25.282.003.C9	/	Artemis	/	/	attendu 2021

Communes et n° sites	Dpt	Lieux-dits	N° échantillons	N° dans graph.	Références analyses	Âges BP	Dates cal. IntCal20	Années résultats
Lantenne-Vertière	25	Le Châtaignier	25.326.019.C1	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Lavau	89	La Coutelée	89.220.001.C1	1	Poz-129264	2410 ± 30	-743/-399	2020
Montlay-en-Auxois	21	En Nicerteau	21.434.002.C1	147	SacA-57840	1415 ± 30	595/662	2020
Montlay-en-Auxois	21	Le Bois d'Éguilly	21.434.006.C2	6	Poz-125297	1245 ± 30	677/878	2020
Moussy	58	Fontaine du Laitier	58.184.001.C1	139	Poz-108560	1440 ± 40	563/659	2019
Petit-Mercey (Le)	39	Au Saucy	39.414.32.C1	4	Poz-108557	2375 ± 30	-712/-391	2019
Petit-Mercey (Le)	39	Aux Vernes	39.414.36.C05	23	Lyon-14725	2230 ± 30	-387/-200	2018
Poiseux	58	Les Péchats	58.212.001.C1	91	Poz-108556	1820 ± 30	130/326	2019
Raveau	58	Fontaine Burgers	58.220.004.C2	69	Poz-108795	1870 ± 30	84/239	2019
Raveau	58	Fontaine Burgers	58.220.006.C2	104	Poz-125871	1765 ± 30	230/380	2020
Roche-en-Brenil (La)	21	Les Loppées	21.525.023.C7	164	Poz-125870	1190 ± 30	709/952	2020
Roche-en-Brenil (La)	21	En Léculsy	21.525.037.C1	/	Poznan	/	/	attendu 2021
Routelle	25	Au Bas Châtey	25.509.001.C1	10	SacA-57841	2350 ± 30	-537/-381	2020
St-Amand-en-Puisaye	58	La Forge, La Charmille	58.227.1.SC5	58	SacA-52751	1910 ± 30	28/215	2018
St-Aubin-des-Forges	58	Les Rondelles	58.231.004.C2	65	Poz-125160	1875 ± 30	83/237	2020
Saint-Didier	21	Chaume Guillemain	21.546.008.C9	169	Poz-125299	1070 ± 30	893/1026	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.001.C4	33	Poz-116063	2140 ± 35	-352/-51	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.003.C2	11	SacA-59876	2345 ± 30	-516/-374	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.003.C3	45	Poz-129136	1970 ± 30	-41/124	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.004.C1	158	Poz-129270	1240 ± 30	679/880	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.005.C1	24	Poz-115987	2230 ± 30	-387/-200	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.006.C1	52	Poz-125307	1930 ± 30	22/206	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.006.C2	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.008.C1	29	SacA-59875	2170 ± 30	-360/-103	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.009.C1	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.010.C1	/	Poznan	/	/	attendu 2021
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.011.C2	160	Poz-129137	1215 ± 30	689/890	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.012A.C2	179	Poz-115990	710 ± 30	1262/1387	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.013.C1	2	Poz-129179	2395 ± 30	-727/-396	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.013.C2	/	Poznan	/	/	attendu 2021
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.014.C1	162	Poz-129180	1200 ± 30	706/945	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.018.C1	166	Poz-115989	1170 ± 30	772/974	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.023.C1	16	SacA-59879	2310 ± 30	-413/-229	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.026.C1	9	Poz-116064	2355 ± 30	-538/-383	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.027.C1	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.028.C1	/	Artemis	/	/	attendu 2021
Saint-Fargeau	89	Bois du Parc 31	89.344.031.C1	13	Poz-102193	2325 ± 30	-472/-232	2018
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.031.C3	14	SacA-56247	2320 ± 30	-459/-231	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.033.C1	22	Poz-116061	2240 ± 30	-390/-202	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.034.C1	161	Poz-115985	1210 ± 30	702/892	2019
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.036.C2	30	Poz-125873	2180 ± 50	-381/-58	2020
Saint-Fargeau	89	Bois de Bailly	89.344.040.C2	19	Poz-116065	2270 ± 30	-398/-208	2019
Saint-Fargeau	89	Les Colas	89.344.041.C1	85	SacA-59880	1830 ± 30	127/320	2020
Saint-Fargeau	89	Réservoir Bourdon	89.344.043.C1	28	Poz-129181	2190 ± 35	-380/-125	2020
Saint-Franchy	58	Fontaine du Laitier	58.240.001.C1	66	Poz-108415	1875 ± 30	83/237	2019
St-Germain-de-Mod.	21	Les Courtils	21.548.001.C57	128	SacA-57843	1490 ± 30	545/642	2020
St-Germain-de-Mod.	21	Gué des Beaumes	21.548.010.C2	183	Poz-125872	365 ± 30	1453/1635	2020
St-Germain-de-Mod.	21	La Charmée	21.548.013.C1	/	Artemis	/	/	attendu 2021
St-Germain-de-Mod.	21	Le Gué du Piéché	21.548.014.C1	144	SacA-57842	1430 ± 30	584/658	2020
Saint-Révérien	58	Forêt de Saint-Révérien	S1.US103.C1	75	SacA-57844	1860 ± 30	87/244	2020
Saint-Révérien	58	Forêt de Saint-Révérien	S1.US105.C13	86	SacA-57845	1830 ± 30	127/320	2020
Saint-Révérien	58	Forêt de Saint-Révérien	S2.US203.C5	76	SacA-57846	1860 ± 30	87/244	2020
Saint-Révérien	58	Forêt de Saint-Révérien	S3.US303.C4	70	SacA-57847	1870 ± 30	84/239	2020
Thoste	21	Bois Champ Rouge	21.635.002.C7	110	Poz-129917	1610 ± 40	384/562	2020

Communes et n° sites	Dpt	Lieux-dits	N° échantillons	N° dans	Références analyses	Âges BP	Dates cal. IntCal20	Années résultats
Treigny		Gâtines Beauchet/ Usages	89.420.001.SC.16	3	SacA-53061	2380 ± 30	-717/-393	2018
Treigny	89	Bois des Châtaigners	89.420.002.C1 89.420.002.SC.10	18 39	Poz-102133 SacA-53062	2280 ± 30 2005 ± 30	-401/-208 -53/115	2018 2018
Treigny	89	Bois Belle Fontaine (parc Boutissaint)	89.420.003.C4	7	Poz-115986	2365 ± 30	-540/-387	2019
Vic-de-Chassenay	21	La Forêt	21.676.001.C1	114	Poz-125877	1555 ± 30	429/579	2020
Vic-de-Chassenay	21	Combe du Four	21.676.007.C1	131	Poz-125159	1480 ± 30	550/644	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 2	89.472.002.C1	/	Poznan	/	/	attendu 2021
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 4	89.472.004.C1	20	Poz-129122	2265 ± 30	-396/-207	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 6	89.472.006.C1 89.472.006.C2	25 /	Poz-129121 Poznan	2210 ± 30 /	-377/-178 /	2020 attendu 2021
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 12	89.472.012.C1	165	Poz-129115	1185 ± 30	710/957	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 13	89.472.013.C1	153	Poz-129265	1365 ± 30	606/774	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 14	89.472.014.C1	154	Poz-129269	1350 ± 30	641/775	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 15	89.472.015.C1 89.472.015.C2	/ 41	Poznan Poz-129351	/ 2000 ± 30	/ -51/116	attendu 2021 2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Grands Usages 16	89.472.016.C1	159	Poz-129118	1230 ± 30	681/885	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Bois des Usages 2	89.472.019.C1	150	Poz-129135	1385 ± 30	601/676	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Bois des Usages 3	89.472.020.C1	149	Poz-129267	1390 ± 30	601/673	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Bois des Usages 7, La Grilloterie	89.472.024.C1	168	Poz-129116	1085 ± 30	892/1021	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Bois des Usages 8	89.472.025.C1	31	Poz-129190	2155 ± 35	-356/-54	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Bois des Usages 10	89.472.027.C1	176	Poz-129268	860 ± 30	1052/1263	2020
Villiers-Saint-Benoît	89	Bois Fendu n° 7	89.472.041.C1 89.472.041.C2	/ 27	Poznan Poz-129119	/ 2205 ± 30	/ -371/-176	attendu 2021 2020
Villiers-sur-Tholon	89	La Prée Murée 1	89.473.001.C3	98	Poz-102195	1800 ± 30	165/346	2018
Villiers-sur-Tholon	89	La Prée Murée 3	89.473.003.C3	93	Poz-102196	1815 ± 30	130/330	2018
Villiers-sur-Tholon	89	Les Écoulois	89.473.004.C1	61	SacA-56248	1890 ± 30	76/231	2019

Figure n°31. Tableau des dates C14 obtenues en 2018-2020 et attendues pour 2021

4. Appréhender la provenance de produits ferreux

Marion Berranger

4.1. La caractérisation chimique des espaces de production.

Comme indiqué en introduction nous disposons actuellement de 576 analyses chimiques sur des déchets métallurgiques : scories de réduction, scories de forgeage, parois et minerais. Il s'agit d'analyses globales effectuées au Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG) permettant de déterminer la composition en 10 éléments majeurs et en 43 éléments traces. Ces analyses ont pour vocation à enrichir différentes thématiques : la restitution des techniques de réduction (voir aussi chap. 5.6), la mise en évidence de filiations ponctuelles minerais-scories de réduction-scories de forgeage ou encore le développement d'études de provenance. L'objet de ce chapitre est de présenter les données de référence acquises dans ce dernier domaine spécifique aux études de provenance.

L'identification d'espaces de production régionaux repose sur la mise en évidence de systèmes de productions cohérents définis par l'utilisation de matières premières et des conduites de procédés qui leur sont communs. Cela nécessite dans un premier temps de caractériser la signature chimiques des déchets en provenant (minerais et déchets scorifiés)

Si des analyses chimiques ont été effectuées sur les déchets métallurgiques de Bourgogne et de Franche-Comté depuis les années 1990, seules les plus récentes, prenant en compte un grand nombre d'éléments chimiques, peuvent être utilisées.

Dans le cadre spécifique des travaux sur la provenance, seuls les sites de réduction directe ont été pris en compte pour l'étude (fig. 36). Les scories de réduction rejetées dans certaines agglomérations antiques (comme à Sens, Seveux, Chevroches etc) n'ont pas été retenues. Les données issues des seuls affleurements de minerais (principalement franc-comtois) n'ont pas non plus été intégrées, en l'absence d'indices clairs de leur exploitation dans le cadre des productions sidérurgiques anciennes. Certains sites insuffisamment caractérisés ont également été mis de côté à ce stade.

La présente étude repose donc sur 328 analyses de minerais et scories issus de 60 sites répartis sur l'ensemble de la Bourgogne-Franche-Comté. Le traitement des données intègre une approche statistique multivariée. Seuls les éléments traces suivants ont été retenus pour cette étude : Ce, Eu, Gd, Hf, La, Nb, Nd, Pr, Sm, Ta, Tb, Th, U, Y, Yb après une transformation des données en rapports logarithmiques détaillée dans Leroy *et al.* 2012 (voir chap. 2 méthodologie). Celle-ci permet de s'affranchir des effets d'enrichissement inhérents à l'étape de réduction (diminution de la part de fer dans la scorie par rapport à la proportion de fer dans le minerai).

Afin de comparer les analyses issues de l'ensemble de ce corpus, une approche supervisée de type AFD a été retenue (Leroy *et al.* 2012). Les variables qualitatives correspondent aux espaces de production définis sur la base des données archéologiques: le secteur de Berthelange (Forlin, Laurent 2014), plusieurs petits sites de production de Haute-Saône (Laurent-Corsini, Laurent 2016), le Mâconnais (Boukezzoula 1995), la Puisaye (Piétak. *et al.* 2012), le Morvan (Mangin et al. 1992), le Nivernais (Bouthier 1987), le Sénonais et le Pays d'Othe (Dunikowski, Cabboi 1995).

Le secteur du Morvan, le Mâconnais ainsi que le site de Briaucourt en Haute-Saône sont bien individualisés sur les axes F1 et F2 qui cumulent 62,38% de la variabilité. Quatre grands groupes, plus rassemblés, sont également visibles :

- un groupe correspondant à la Puisaye, partiellement superposé avec le groupe suivant,
- un groupe rassemblant le Sénonais et le Pays d'Othe ;
- un groupe correspondant au secteur de Berthelange qui se mélange en partie avec le dernier groupe ;
- un groupe rassemblent le Nivernais et des sites de production de Haute-Saône.

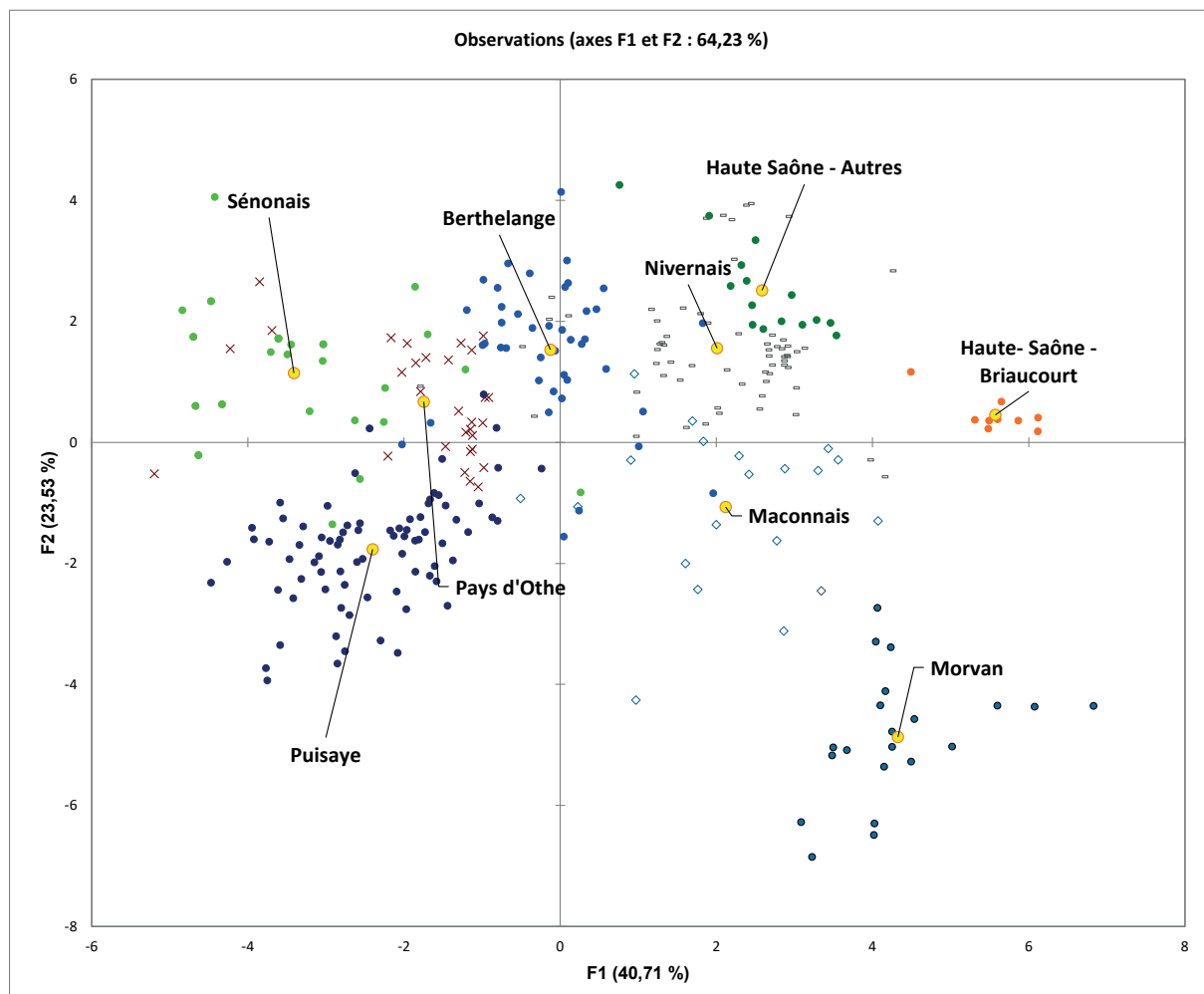


Figure n°32. Analyse Factorielle Discriminante (AFD), axes F1 et F2, sur les logs ratio des déchets issus des espaces de production régionaux. Indication des barycentres en jaune.

A cette échelle d'observation quelques espaces de production bien différenciés sur le plan archéologique apparaissent très proches d'un point de vue chimique. C'est d'une part le cas du Nivernais, de certains ateliers de Haute-Saône, et dans une moindre mesure du secteur de Berthelange. C'est également le cas d'autre part pour la Puisaye, le Pays d'Othe et le Sénonais. Néanmoins, lorsque les caractéristiques chimiques de ces ensembles de production sont appréhendées à leur seule échelle, il est possible de les différencier les uns des autres (fig. 33).

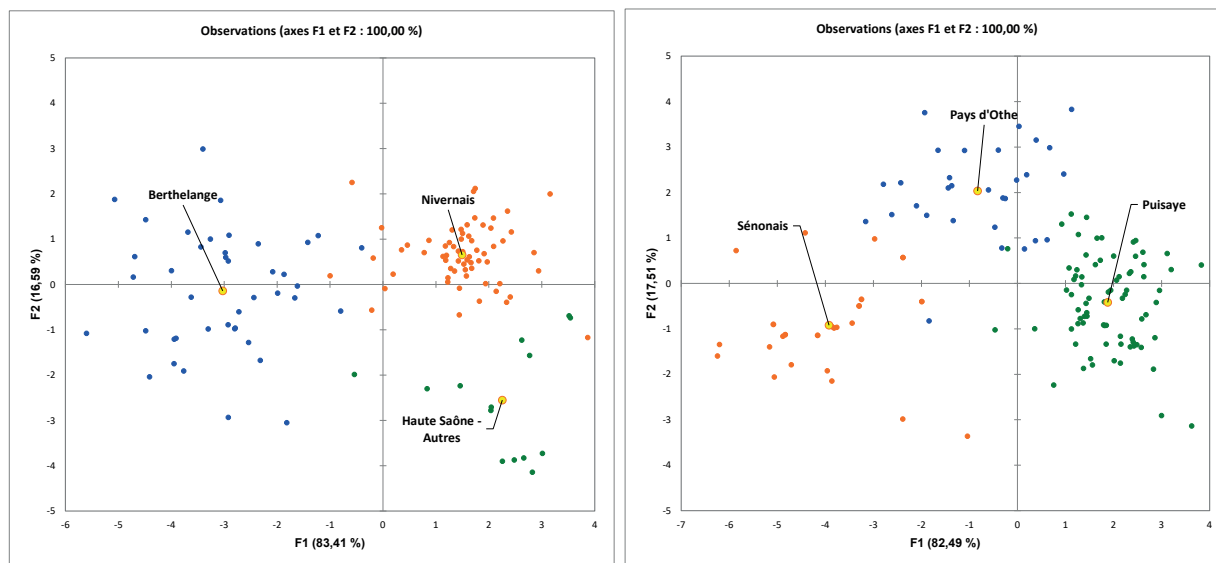


Figure n°33. Analyse Factorielle Discriminante (AFD), axes F1 et F2, sur les logs ratio des déchets issus des espaces de production régionaux rapprochés sur la figure 32. Indication des barycentres en jaune.

On constate que pour plusieurs espaces de production, la signature chimique est conservée quelle que soit la chronologie. C'est le cas pour la Puisaye, ou encore la zone de Berthelange qui livrent des ateliers datés entre les âges du Fer et le Moyen âge (fig. 36).

Les analyses chimiques acquises ces dernières années fournissent ainsi la base d'un référentiel qui permettra de tester des hypothèses de provenance. Les travaux menés ces trois dernières années ont fourni des analyses issues d'espaces de réduction encore très peu ou non documentés, tels le Mâconnais, le Nivernais, la Puisaye ou encore le Morvan. Pour ce dernier espace de nouvelles analyses sont prévues, afin d'enrichir la base de données. L'ensemble des grands espaces de production régionaux étant à présent représenté, les futurs travaux seront centrés sur l'analyse chimique inclusionnaire d'objets afin de tester des hypothèses de provenance. Les analyses chimiques globales sur les déchets métallurgiques seront également poursuivies, mais de manière plus ponctuelle, afin de documenter des sites encore inédits ou dans le cadre des travaux liés à la caractérisation des techniques de réduction, tel que présenté chap. 5.6.

4.2. Etude de la provenance de déchets ferreux issus des forges antique d'Entrains-sur-Nohain et de Chevroches (Nièvre).

Marion Berranger, Cyprien de Salve Villedieu

Une étude de provenance basée sur la comparaison entre la signature chimique des espaces de production et la signature chimique inclusionnaire d'objets en fer a été entreprise. Elle concerne une sélection de chutes de travail du fer issus des forges romaines d'Entrains-sur-Nohain et de Chevroches, situées à une quarantaine de kilomètres de distance, dans la Nièvre, au coeur des zones de production du Nivernais, et à proximité des zones de réduction de Puisaye, du Sénonais et du Pays d'Othe. A ce stade les signatures chimiques inclusionnaire de 21 objets ont été comparées à la signature chimique des scories issues du Nivernais, de Puisaye, du Sénonais et du Pays d'Othe (204 analyses de scories ont été prises en compte). Ces travaux ont été menés dans le cadre d'un stage de Licence 3 réalisé durant un mois. Sont présentés ici les résultats préliminaires.

Les éléments suivants ont été pris en compte pour l'ensemble du corpus de scories et d'objets : Ce, Eu, Gd, Hf, La, Nb, Nd, Pr, Sm, Tb, Th, U, Y, Yb, après normalisation en rapports logarithmiques (le Ta, mal dosé au sein des inclusions dans le métal n'a pas été retenu ici).

Une AFD a été réalisée dans un premier temps. La figure 34 illustre les axes F1 et F2 qui expriment 55% de la variabilité. Elle met en évidence les différences de signatures chimiques entre d'une part un groupe du Nivernais, et d'autre part un groupe qui à cette échelle rassemble la Puisaye, le Pays d'Othe et le Sénonais. A cette échelle d'observation, certains objets sont très écartés sur les axes de l'AFD et ne proviennent pas des espaces de réduction de Bourgogne de l'ouest : c'est notamment le cas par exemple des objets ESN 16 route d'Étais 2631.662 ou de ESN romaine 2013 2001-63.

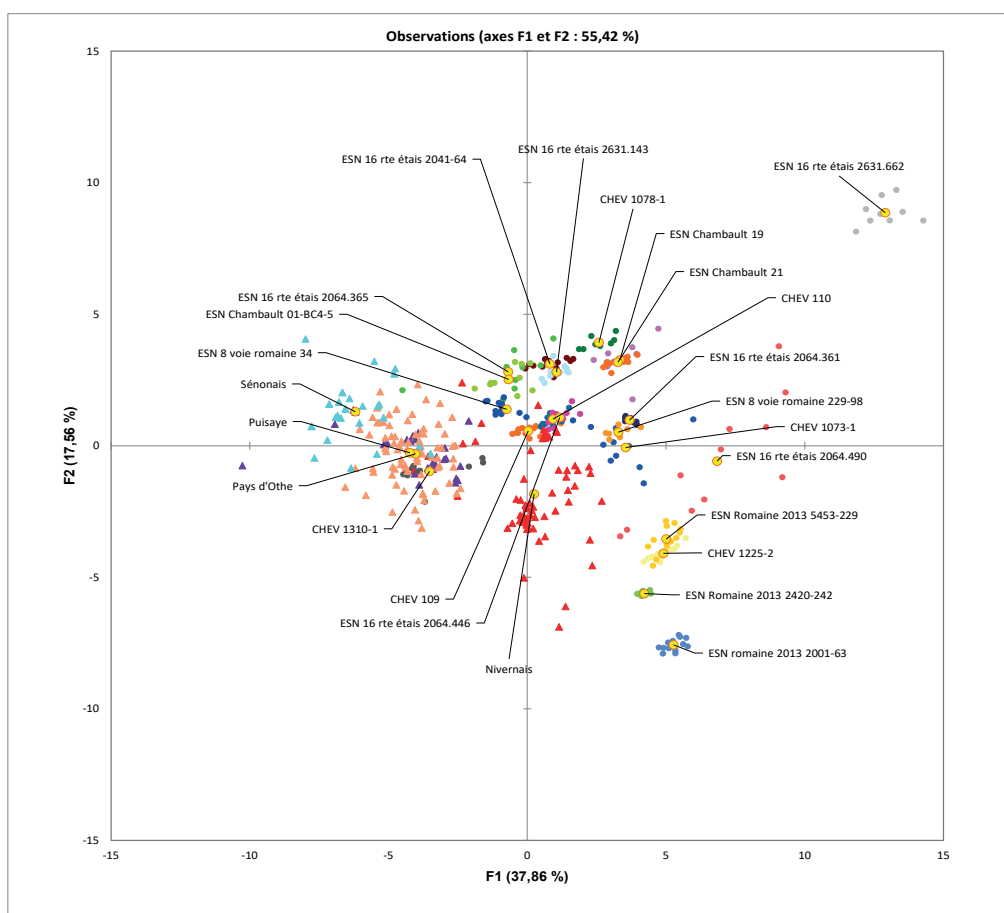


Figure n°34. Analyse Factorielle Discriminante (AFD), axes F1/F2 cumulant 55% de la variabilité, réalisée sur les log-ratio des inclusions de scories d'objets provenant des forges antiques d'Entrains-sur-Nohain et Chevroches, et sur les scories de réduction provenant du Nivernais, Puisaye, Pays d'Othe et Sénonais.

Une CAH (fig. 35) a été réalisée dans un second temps sur les coordonnées des barycentres de l'ensemble des axes de l'AFD (qui cumulent donc 100% de la variabilité). Le diagramme des niveaux permet de reconnaître un saut d'inertie entre le 5e et 6e niveau, ce qui permet d'isoler cinq clusters. A ce stade de l'étude les résultats de cette approche permettent d'identifier cinq objets sans provenance. 1 objet (CHEV 1310-1) semble provenir du groupe Puisaye-Pays d'Othe-Sénonais. Le reste du corpus d'objets en métal proviendrait du Nivernais.

Les résultats de ces travaux semblent donc indiquer qu'un approvisionnement très local a été privilégié pour la majorité des chutes de forge travaillées dans les forges antiques d'Entrains-sur-Nohain et de Chevroches. Des importations plus lointaines, en provenance de Puisaye-Pays

d'Othe-Sénonais ont pu intervenir de manière ponctuelle. Ces caractérisations ont vocation à se poursuivre et à intégrer un corpus étoffé d'objets issus de différentes forges antique réparties sur l'ensemble de la région Bourgogne-Franche-Comté (fig. 9).

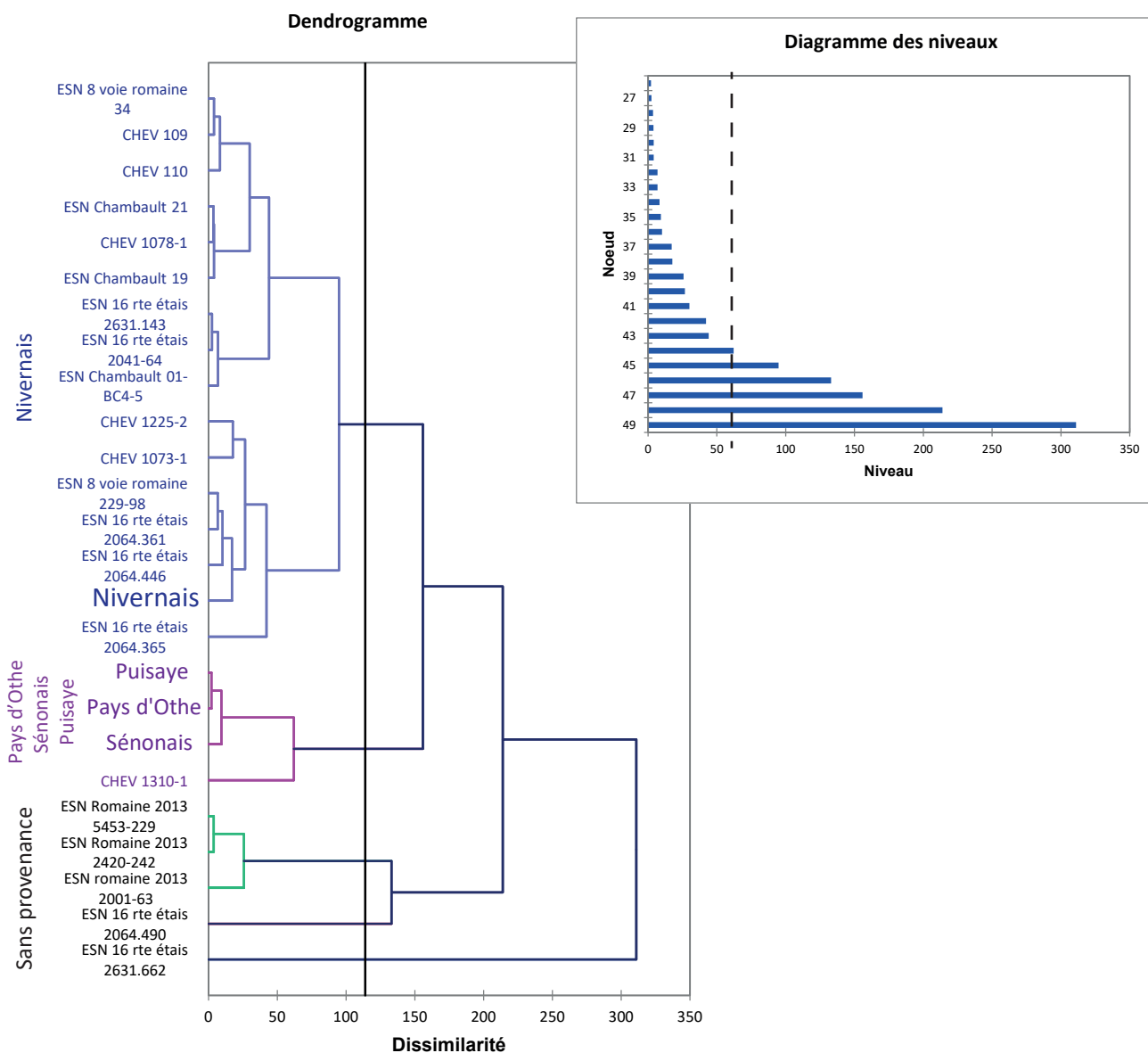


Figure n°35. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur les barycentres des différents axes de l'AFD (100% de la variabilité). Le saut d'inertie permet d'isoler 5 clusters.

Commune	Site	Département	Nature du site	Minerais	Notes de réduction	Chronologie	Référent et/ou publication	Espace de production
Berthelange 36	La Grande Gruie	Doubs	Affleurement	2			H. Laurent	
Berthelange 40	Champs du Verger	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Berthelange 42	Champs du Verger	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Calmoutier 13	Village	Haute Saône	Affleurement	1			S. Laurent	
Corcelles-Ferrières 1	la Corvée du Fou	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Eirabonne 13	Les Breuroyes	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Eirabonne 16	Grandes Vènes	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Evans 6	Bois de la Grande Combe	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Lantenne-Vertière 18	Ruisseau de Cottier	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Mercey le Grand 22	Au Saucy	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Mercey le Grand 23	Age des Verdots	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 15	Aux Vernes	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 33	Bretin	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 35	Aux Vernes	Doubs	Affleurement	2			H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 38	Aux Vernes	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 41	Cornes du Ranchot	Doubs	Affleurement	3			H. Laurent	
Roche-sur-Linotte 1	en Faverge	Haute Saône	Affleurement	1			S. Laurent	
Saulx 3	la Grande Raie	Haute Saône	Affleurement	1			S. Laurent	
Villers-Buzon 1	Cervolle	Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Vuillecin 2	Vuillecin	Haut Doubs	Affleurement	1			H. Laurent	
Antorpe 22	Au Bois Munier ouest	Doubs	Amas de scories de réduction	1		Moyen âge	H. Laurent	
Antorpe 9	Au Bois Munier ouest	Doubs	Amas de scories de réduction	1	5	Moyen âge	H. Laurent	
Berthelange 4	A la Vau	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	1		Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Dampierre 15	Forêt communale parcelle 12	Doubs	Amas de scories de réduction	1	2	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Dampierre 16	le Chemin des Crasses	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	2	5	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Dampierre 19	Bois de Dampierre	Doubs	Amas de scories de réduction	1	3	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Evans 14	le Grand Verger	Doubs	Amas de scories de réduction	4		Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 25	Aux Saucys	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	4		Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 34	Aux Vernes	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	1			H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 43	Cornes du Ranchot	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	4			H. Laurent	
Petit-Mercey (le) 6	les Foules	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	1		Moyen âge (datation douteuse)	H. Laurent	
La Roche Vineuse/Laizé	La Teppe Druie 11a	Saône-et-Loire	Amas de scories de réduction étalé	1	7		M. Berranger, M. Boukezouli	
La Roche-Vineuse	Bois de Nancelle	Saône-et-Loire	Amas de scories de réduction étalé	1	10		M. Berranger, M. Boukezouli	Mâconnais
Laizé 11	la Teppe Druie	Saône-et-Loire	Amas de scories de réduction étalé	5		Haut Moyen Âge	M. Boukezouli	
Champpeau	Le Bas de la Fiotte	Morvan	Amas de scories de réduction	10	10	Haut Moyen Âge	H. Laurent	Morvan
Saint-Germain-de-Modéon	Les Courtils	Morvan	Amas de scories de réduction	11	11	Haut Moyen Âge	H. Laurent	Morvan
Entrains sur Nohain	L'abime	Nièvre	Amas de scories de réduction	9		Antiquité	M. Berranger, R. Jeannot	
Entrains sur Nohain	L'abime	Nièvre	Amas de scories de réduction	5		Moyen âge	M. Berranger, R. Jeannot	
Menestreau	Les grandes obues	Nièvre	Amas de scories de réduction étalé	2	11	Antiquité	M. Berranger, R. Jeannot	Nivernais
Moussy	Fontaine du Laitier	Nièvre	Amas de scories de réduction étalé	10	10	Haut Moyen Âge	Berranger, Jeannot	
Raveau	Fontaine des Burgers	Nièvre	Amas de scories de réduction	5	5	Haut Moyen Âge	Berranger, Jeannot	
Saint-Révérien	Forêt de Saint Révérien	Nièvre	Amas de scories de réduction	10	10	Antiquité	Berranger, Jeannot	
Fontenay-Près-Vezelay 1	Le Croit au Port	Yonne	Amas de scories de réduction	10		Antiquité	M. Berranger, H. Laurent	

Bussy-en-Othe 1	Etang Saint Ange - Le bois de Migennes	Yonne	Amas de scories de réduction	7	Âges du Fer	M. Berranger, H. Laurent	Pays d'Othe
Bussy-en-Othe 2	Etang Saint Ange - Le bois de Migennes	Yonne	Amas de scories de réduction	9	Antiquité	M. Berranger, H. Laurent	
Les Clermoult	Les Foucleries	Yonne	Amas de scories de réduction	14	Âges du Fer à HMA	C. Dmickowski, S. Cabboï 1995	
Alliant-sur-Tholon	Bois des Ferriers 20	Yonne	Amas de scories de réduction	1	Antiquité	M. Berranger	
Alliant-sur-Tholon	Bois des Ferriers 5	Yonne	Amas de scories de réduction	1	Antiquité	M. Berranger	
Alliant-sur-Tholon	Bois des Ferriers 1	Yonne	Amas de scories de réduction	2	Antiquité	M. Berranger	
Alliant-sur-Tholon	Bois des Ferriers 3	Yonne	Amas de scories de réduction	4	Antiquité	M. Berranger	
Alliant-sur-Tholon	Bois des Ferriers 7	Yonne	Amas de scories de réduction	2	Antiquité	M. Berranger	
Alliant-sur-Tholon	Bois des Ferriers 9	Yonne	Amas de scories de réduction	5	Âges du Fer	M. Berranger	
Alliant-sur-Tholon	Les Boulasses	Yonne	Amas de scories de réduction	4	Âges du Fer	M. Berranger	
Dracy	Bois Gaillon 1	Yonne	Amas de scories de réduction	2	Antiquité	M. Leroy	
Dracy	La Grande Pature 10	Yonne	Amas de scories de réduction	4	Âges du Fer	M. Berranger	
La Van	Jubin	Yonne	Amas de scories de réduction	1		Pietak et al. 2012	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 1	Yonne	Amas de scories de réduction	5		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 11	Yonne	Amas de scories de réduction	5		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 12	Yonne	Amas de scories de réduction	4		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 18	Yonne	Amas de scories de réduction	5		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 2	Yonne	Amas de scories de réduction	2		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 26	Yonne	Amas de scories de réduction	5		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 3	Yonne	Amas de scories de réduction	2		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly 33	Yonne	Amas de scories de réduction	5		M. Berranger	
Saint-Fargeau	Les Colas	Yonne	Amas de scories de réduction	3	Antiquité	M. Berranger	
Treigny	Bois des Chataigniers 2	Yonne	Amas de scories de réduction	2	Âges du Fer	M. Berranger	
Treigny	Les Gâtines Beauchet 1	Yonne	Amas de scories de réduction	2	Âges du Fer	M. Berranger	
Treigny	Les Gâtines Beauchet 2	Yonne	Amas de scories de réduction	2	Âges du Fer	M. Berranger	
Villiers-Sur-Tholon	La Prée Murée 1	Yonne	Amas de scories de réduction	1	Antiquité	M. Berranger	
Villiers-Sur-Tholon	La Prée Murée 3	Yonne	Amas de scories de réduction	3	Antiquité	M. Berranger	
Villiers-sur-Seine	Defendable	Seine-et-Marne	Habitat avec rejets métallurgiques	11	Âges du Fer	S. Bauvais	Sénonais
Vineuf	Le Chatelot	Yonne	Habitat avec rejets métallurgiques	6	Âges du Fer	M. Berranger, F. Sarreste	
Mein 1	La Rochele	Haute Saône	Amas de scories de réduction	5	Haut Moyen Âge	S. Laurent	Haute-Saône - Autres
Beujeu 1	Les Patis	Haute Saône	Amas de scories de réduction étalé	5	Haut Moyen Âge	S. Laurent	
Colombier	En Quevetiez	Haute Saône	Amas de scories de réduction étalé	5		S. Laurent	
Braucourt 1	En Farvoerge	Haute-Saône	Amas de scories de réduction	3	Antiquité tardive	S. Laurent	Haute-Saône - Braucourt
Baume Les Dames 1	Chemin des Combes	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	2	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Byans sur Doubs 11	Levé de Jules César	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	3	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Champvaux-les-Baume 1	Champs Brète	Doubs	Amas de scories de réduction étalé	1		H. Laurent	
Courfontaine 1	Forêt communale de Salans, parcelle 3	Doubs	Amas de scories de réduction	1	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Fourg 4	Près d'Orviaux	Doubs	Amas de scories de réduction	2		H. Laurent	
Montfalcon 1	Nœra	Doubs	Scories dispersées	7	Âges du Fer	M. Berranger, H. Laurent	
Vandoncourt	Pont Sarassin	Doubs	Amas de scories de réduction	10		H. Laurent	
Goux-les-Usiers 1	Montnatié	Haut Doubs	Amas de scories de réduction	2	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Goux-les-Usiers 3	Combe de Ferrière	Haut Doubs	Amas de scories de réduction	4	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Goux-les-Usiers 4	Montnatié	Haut Doubs	Amas de scories de réduction	3	Haut Moyen Âge	H. Laurent	
Pin 1	Grands Bois de Pin	Haute Saône	Amas de scories de réduction	5	Haut Moyen Âge	S. Laurent	
Port-sur-Saône	La Côte de Breuil	Haute-Saône	Eparillage scories de réduction	29	Âges du Fer	F. Sarreste	Sites de réduction non retenus pour la définition des espaces de réduction
Châtenois 5	les Chasseaux	Jura	Amas de scories de réduction enfoui	2		L. Jacotey	

Moitron	Côteau Guénard 3	Côte d'Or	Scories de réduction dispersées	2			M. Berranger
Essarois	Chanoi	Côte d'Or	Habitat rural	1	Antiquité		M. Berranger
Essarois	Combe Messire Gond	Côte d'Or	Prospection	3	Moyen âge classique		M. Berranger
Magny-Lambert	Bois la Haut	Côte d'Or	Voirie	5			M. Berranger
Saulx 1	Près Violot	Haute Saône	Scories sur habitat	2	Haut Moyen Âge		S. Laurent
Seveux	les Chenevières	Haute Saône	Agglomération romaine	2	Antiquité		M. Leroy
Chevroches	Domaine de Noé	Nièvre	Ateliers d'une agglomération	4	Antiquité		M. Berranger, C. Dunikowski
Entrains sur Nohain	14 Route d'Etrais	Nièvre	Ateliers d'une agglomération	12	Antiquité		M. Berranger, S. Venault
Entrains sur Nohain	16 Route d'Etrais	Nièvre	Ateliers d'une agglomération	4	Antiquité		M. Berranger, C. Dunikowski
Entrains sur Nohain	8 Voie Romaine	Nièvre	Ateliers d'une agglomération	3	Antiquité		M. Berranger, C. Dunikowski
Entrains sur Nohain	Bois de Ferrière	Nièvre	prospection	2			M. Berranger, L. Gaëtan
Entrains sur Nohain	La Bretonnière	Nièvre	prospection	2			M. Berranger, L. Gaëtan
Entrains sur Nohain	La queue Minerotte	Nièvre	prospection	2			M. Berranger, L. Gaëtan
Entrains sur Nohain	La Roussille	Nièvre	prospection	1			M. Berranger, L. Gaëtan
Entrains sur Nohain	Les terres noires sud-o	Nièvre	prospection	2			M. Berranger, L. Gaëtan
Entrains sur Nohain	Quartier Chambault	Nièvre	Ateliers d'une agglomération	3	Antiquité		M. Berranger
Entrains sur Nohain	Route d'Etrais - prospections	Nièvre	prospection	4			M. Berranger, L. Gaëtan
Entrains sur Nohain	rue romaine 2013	Nièvre	Ateliers d'une agglomération	3	8 Antiquité		M. Berranger, S. Cabboi
Entrains sur Nohain	Scierie Tissier	Nièvre	Ateliers d'une agglomération	7	Antiquité		M. Berranger
Cuy	Noslon	Yonne	Habitat avec rejets métallurgiques	2	Âges du Fer		S. Cabboi, C. Dunikowski
Saint-Valérien	Rue du Gafinais	Yonne	Rejets en agglomération	5	Antiquité		M. Berranger, S. Venault
Sens	Espace du Tau	Yonne	Rejets en agglomération	6	Antiquité		M. Berranger, C. Dunikowski

Sites non pris en compte pour la définition des espaces de réduction (rejets hors ateliers)

Figure n°36. Inventaire des sites dont les déchets ont subi des analyses chimiques globales (CRPG). En rouge, sites analysés dans le cadre de la triennale 2018-2020.

5. La Puisaye : résultats des travaux 2018-2020

Fiche signalétique

Localisation des opérations

Région : Bourgogne-Franche-Comté

Département : Yonne (89)

Communes concernées par des sondages : Saint-Fargeau "Bois de Bailly", Villiers-Saint-Benoit "Les Grands Usages", "Bois des Usages", "Bois Fendu", "L'Usage des Souches"

Communes concernées par les prospections : Saint-Fargeau "Bois de Bailly", Villiers-Saint-Benoit "Les Grands Usages", "Bois des Usages", "Bois Fendu", "L'Usage des Souches"

Références cadastrales des parcelles étudiées

Commune : Saint-Fargeau

Section et parcelle : F17 et 19

Commune : Villiers-Saint-Benoit

Section et parcelle : A62 à 85, A53, 113 à 118, B8 à 12, 213, 237, 342, 344, D101, 102, 104, 105, 267, 268, 269, 271, 272

Propriétaire des terrains

Mairie de Saint Fargeau
4 avenue du Général Leclerc
89170 Saint Fargeau

Mairie de Villiers-Saint-Benoit
17, rue Marie Guillemot
89130 Villiers-Saint-Benoît

Références des opérations

Numéro d'arrêté d'autorisation de prospections et sondages : 2019-215 du 8 mars 2019 et 2019-368 du 28 juin 2019

Responsable scientifique de l'opération

Marion Berranger

Organisme de rattachement

Laboratoire Métallurgies et Cultures,
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
90010 Belfort Cedex

Dates d'intervention

06 au 10 juillet 2020 et 17 au 21 août 2020

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologiques

Laboratoire Métallurgies et Cultures,
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
90010 Belfort Cedex

Mots-clefs des thésaurus

Chronologie : Périodes multiples

Sujets et thèmes : Artisanat

Mobilier : Scorie, parois de four

Intervenants

Préparation de l'opération : Marion Berranger, Jean-Pierre Piétak

Prospections, sondages : Marion Berranger, Marc Leroy, Hervé Laurent, Sylvie Laurent-Corsini, Jean-Pierre Piétak, Stéphane Venault, François Magar

Prospections géophysiques : Christelle Sanchez

Levés topographiques : P. Noguès (INRAP)

Études et rédaction du rapport : Marion Berranger, Marc Leroy, Paul Merluzzo, Olivier Girardclos, Christelle Sanchez

- AUTORISATION D'OPERATIONS ARCHEOLOGIQUES -


Je soussigné M. Le Maire de Villiers-Saint-Benoît, Patrick BÜTTNER


Adresse : 17, rue Marie Guillemot – 89130 Villiers-Saint-Benoît

Autorise Marion Berranger, archéométreuse au laboratoire Métallurgies et Cultures (IRAMAT-CNRS) à l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard, ainsi que son équipe, à réaliser des prospections et sondages archéologiques sur la commune de Villiers-Saint-Benoît (89) aux lieux dits « L'Usage », « L'usage des Souches », « Bois de la Billaude », « Bois Fendu », « Bois des Usages » parcelles A 62 à 85, A53, 113 à 118, B8 à 12, 213, 237, 342, 344, D101, 102, 104, 105, 271, 272, 276, 267, 268 et 269.

Cette autorisation est valable pour les années 2020 et 2021.

Fait à Villiers-Saint-Benoît, le 28/10/2019.


P. BÜTTNER



- AUTORISATION DE SONDAGES ARCHEOLOGIQUES -

Je soussigné M. Le Maire de Saint Fargeau

Adresse : 4, avenue du Général Leclerc, 89170 Saint Fargeau

Autorise Marion Berranger, archéométallurgiste au laboratoire Métallurgies et Cultures (IRAMAT-CNRS) à l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard, ainsi que son équipe, à réaliser des sondages archéologiques sur la commune de Saint Fargeau « Bois de Bailly » parcelles F17 et 19.

Cette autorisation est valable pour les années 2019 et 2020.

Fait à Saint-Fargeau , le 3 juin 2019

Le Maire,
Jean JOURNIER





Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

PRÉFET DE LA RÉGION BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

Arrêté n° 2020/286 du 30 juin 2020

portant autorisation de sondages

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté préfectoral n°20-15 BAG du 8 janvier 2020, portant délégation de signature à Madame Anne MATHERON, directrice régionale des affaires culturelles ;

Vu l'arrêté publié le 10 février 2020, portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier de demande d'opération archéologique, arrivé le 24 juin 2020

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERRANGER est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de sondages à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2020, sise en :

RÉGION : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE

DEPARTEMENT : YONNE

COMMUNE : SAINT-FARGEAU

Lieudit : Bois de Bailly

Cadastre : section : F, parcelles n° 17 et 19

Intitulé de l'opération : Sondages

Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.

Code de l'opération : **043713**

La présente opération entre dans le cadre du Projet collectif de recherche (PCR) « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions » dirigé par Marion BERRANGER.

Article 2 - prescriptions générales

Les recherches sont effectuées sous la surveillance du conservateur régional de l'archéologie territorialement compétent et conformément aux prescriptions imposées pour assurer le bon déroulement scientifique de l'opération.

Le responsable scientifique de l'opération informe régulièrement le conservateur régional de l'archéologie de ses travaux et découvertes. Il lui signale immédiatement toute découverte importante de caractère mobilier ou immobilier. Il revient au préfet de région de statuer sur les mesures définitives à prendre à l'égard des découvertes.

À la fin de l'année civile, le responsable scientifique de l'opération adresse au conservateur régional de l'archéologie, en triple exemplaire papier plus un exemplaire au format pdf, un rapport accompagné des plans et coupes précis des structures découvertes et des photographies nécessaires à la compréhension du texte. L'inventaire de l'ensemble du mobilier recueilli est annexé au rapport d'opération. Il signale les objets d'importance notable. Il indique les études complémentaires envisagées et, le cas échéant, le délai prévu pour la publication.

Article 3 - destination du matériel archéologique découvert

Le responsable prend les dispositions nécessaires à la sécurité des objets mobiliers. Le mobilier archéologique est mis en état pour étude, classé, marqué et inventorié. Son conditionnement est adapté par type de matériaux et organisé en fonction des unités d'enregistrement. Le statut juridique et le lieu de dépôt du matériel archéologique découvert au cours de l'opération sont fixés conformément aux dispositions légales et réglementaires et aux termes des conventions passées avec les propriétaires des terrains concernés.

Article 4 - versement des archives de fouilles

L'intégralité des archives accompagnée d'une notice explicitant son mode de classement et de conditionnement et fournissant la liste des codes utilisés avec leur signification, fait l'objet de la part du responsable de l'opération d'un versement unique. Ce versement est détaillé sur un bordereau récapitulatif établi par le responsable de l'opération, dont le visa par le préfet de région vaut acceptation et décharge. Le lieu de conservation est désigné par le préfet de région.

Article 5 - prescriptions particulières

L'objectif de l'opération est de réaliser des sondages ponctuels en complément des prospections géophysiques afin de compléter la documentation chronologique de l'ensemble des sites prospectés à Saint-Fargeau, « Bois de Bailly ». Ces interventions limitées permettront de prélever des charbons et scories en stratigraphie et de déterminer le degré de conservation des amas.

Article 6 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Marion BERRANGER.

Fait à Besançon, le 30 juin 2020

Pour le Préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté,
et par délégation,
Pour la Directrice régionale des affaires culturelles,
et par délégation,
Le Conservateur régional adjoint de l'archéologie,

Hervé LAURENT

5.1. Introduction générale

Marion Berranger

La Puisaye est une région naturelle de bas plateaux localisée au sud-ouest du département de l'Yonne, au nord-ouest de la Nièvre et à l'extrémité sud-ouest du département du Loiret (fig. 69). Plus précisément elle se situe entre Joigny au nord, Auxerre à l'est et la vallée de la Loire au sud-ouest. Cette région se caractérise par une importante concentration d'amas de scories anciennes reconnus depuis le XIX^e s. et le début du XX^e s., périodes durant lesquels ils ont été intensément exploités. En effet, plusieurs centaines de milliers de mètres cubes de scories de Puisaye ont été extraits et transportés en Lorraine, Belgique, Allemagne et Luxembourg afin d'alimenter les hauts fourneaux. Pour l'ensemble du département de l'Yonne ce seraient près de 500 000 t. de scories qui auraient été extraites dans les seules années 1925-1929 (Goudard 1936). A. Bouthier (2002 p. 122) estime quant à lui à 1 million de tonnes la masse de scories présentes en Puisaye. Ce dernier souligne l'intense destruction dont on fait l'objet certains de ces amas, dont un grand nombre a totalement ou en grand partie disparu. Ont subsisté ceux trop éloignés des voies d'accès ou dont l'exploitation s'avérait trop peu rentable. L'exploitation des amas se poursuit encore actuellement dans une moindre mesure, notamment en tant que source de tout venant pour le remblaiement.

5.1.1. Bref état des lieux des travaux effectués en Puisaye avant l'actuel PCR

Les premiers travaux portant sur les amas de scories de Puisaye consistent en recensements intervenus dès la première moitié du XIX^e s., puis dans le courant du XX^e s. : il s'agit alors de dénombrement menés dans le cadre de leur réexploitation (bibliographie dans Piétak *et al.* 2012).

Dans les années 1980 et 1990 Alain Bouthier, historien des techniques, a été le premier à s'intéresser à la chronologie de ces amas et aux techniques sidérurgiques dont ils témoignent. Ses travaux sur la Puisaye s'inscrivent dans un cadre plus large englobant le nord-ouest du Nivernais et incluent également d'autres zones de production importantes : forêt des Bertranges, Vézélien notamment. En résultent plusieurs inventaires et synthèses fournissant un bilan des données chronologiques disponibles et une première approche typologique et archéométrique des déchets sidérurgiques (Bouthier 1982, Bouthier *et al.* 1987, Bouthier 1995).

Dans les années 1990, l'inventaire, le géoréférencement et la superficie des ferriers encore visibles ont été réalisés de manière plus systématique par Jean-Pierre Piétak dans le cadre d'une prospection inventaire. Ce programme est alors soutenu financièrement par la DRAC/SRA Bourgogne et scientifiquement par Marc Leroy, Cécile Le Carlier et Paul Merluzzo du Laboratoire Métallurgies et Cultures (LMC-IRAMAT-CNRS). Ces travaux menés sur plus de 10 ans au début des années 2000, ont permis le recensement d'environ 2300 amas et abouti à la publication d'un article de synthèse dans la Revue Archéologique de l'Est (Piétak *et al.* 2012). Ils ont depuis été complétés par de nouvelles prospections réalisées par Jean-Pierre Piétak, et actuellement plus de 2500 amas sont connus (Piétak 2019). Ces données quantitatives confirment l'importance de cet espace, que l'on peut classer parmi les plus grosses zones de production à l'échelle au moins nationale (Mangin 2004 fig. 3).

Nombre de ces amas de scories sont encore bien visibles, même s'ils sont le plus souvent au moins partiellement détruits (seuls 25% seraient encore intacts). Leur répartition privilégiée dans les forêts actuelles s'explique probablement par des conditions de conservation plus favorables. Ils se présentent en monticules de tailles variables, allant de 10 à 100 m de diamètre et des hauteurs

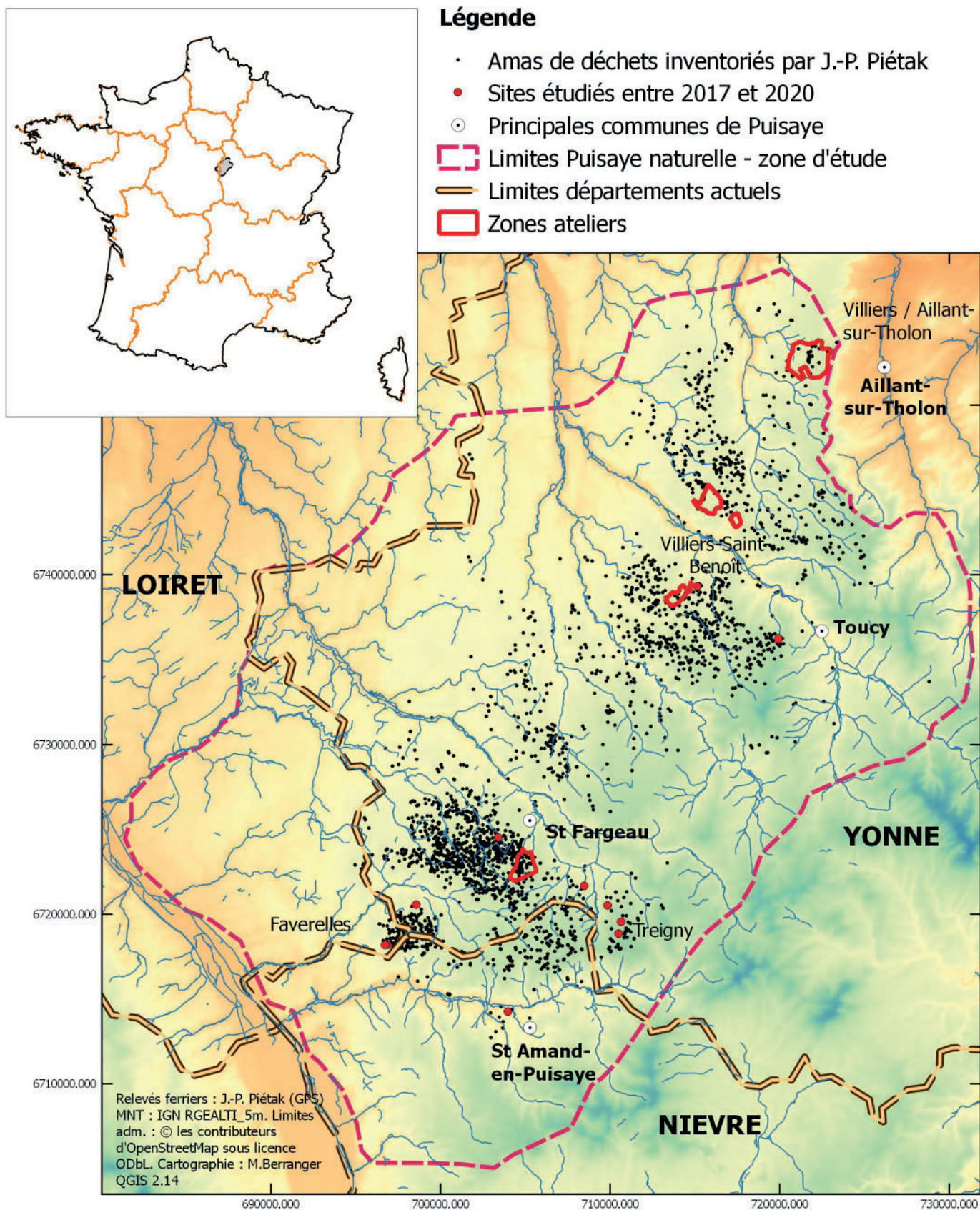


Figure n°69. La Puisaye : répartition des amas de scories connus en prospections pedestres (J.-P. Piétak), localisation des sites et des zones-ateliers étudiées.

comprises entre 1,50 m et 5 m. De très gros amas pouvant couvrir plusieurs hectares et dépasser la dizaine de mètres de haut sont également connus bien que souvent au moins partiellement détruits.

Les éléments de datation disponibles se rapportent essentiellement à la période romaine. A. Bouthier (1995) recense ainsi une vingtaine de sites livrant des dépôts monétaires et de la céramique dont les datations s'échelonnent entre les I^{er} s. et IV^e s. ap. J.-C. et plus fréquemment entre les II^e-III^e s. Trois datations radiocarbone de charbons de bois issus de trois ferriers ont été publiées plus récemment (Piétak *et al.* 2012, tabl. 1) et concernent également le Haut-Empire. Ces différents éléments de datation concernent néanmoins essentiellement de gros amas touchés par les exploitations récentes.

Les travaux menés par A. Bouthier dans les années 1980 et 1990 ont mis en évidence une certaine variété dans la typologie et la structure interne des scories, distingués en quatre types principaux (Bouthier *et al.* 1987, Bouthier 1995). Une première caractérisation pétrographique et chimique des scories issues des prospections menées plus récemment (Piétak *et al.* 2012) a mis en évidence plusieurs faciès minéralogiques bien distincts ainsi que des déchets romains s'apparentant à des laitiers de haut fourneau (technologie postérieure au XV^e s.). La teneur élevée en manganèse a également été notée de manière récurrente et serait à rapprocher de spécificités héritées des minerais employés.

5.1.2. Objectifs, méthodologies et résumé des travaux effectués entre 2017 et 2020

Les travaux actuels sur la Puisaye ont débuté en 2017 et cette région a concentré une grande part des activités développées dans le cadre du PCR ces trois dernières années. L'objectif fixé dans un premier temps était de mieux appréhender la chronologie des amas de déchets métallurgiques ainsi que les technologies de réduction mises en œuvre. Pour ce faire, des charbons de bois à dater (par méthode radiocarbone) et des déchets sidérurgiques à caractériser ont été collectés sur une sélection d'amas de déchets sidérurgiques. Une double approche a été privilégiée.

Les recherches sont organisées d'une part à partir de "zones ateliers" au sein desquelles les amas de scories sont étudiés de manière systématique. En 2017 et 2018 une première zone-atelier correspondant à un espace de 2 km sur 2 km a été étudiée. Elle est circonscrite au "Bois des Ferriers" et à sa périphérie sur la commune de Montholon (incluant Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon notamment). Trente entités archéologiques ont ainsi été enregistrées. En 2019 une nouvelle zone-atelier, située dans le sud de la Puisaye à Saint-Fargeau "Bois de Bailly", a été étudiée. Trente-neuf nouveaux amas ont été considérés. En 2020, une troisième atelier, située cette fois-ci en partie centrale de la zone d'étude a été sélectionnée. Vingt-six amas répartis en deux secteurs ont été étudiés.

Parallèlement, une caractérisation de sites choisis en fonction de la typologie des scories a été effectuée à l'échelle de la Puisaye. Cet aspect a été centré sur la caractérisation d'amas livrant des gros blocs de scories piégées potentiellement protohistoriques. Nous souhaitons dans un premier temps nous assurer de la chronologie de ces sites et tester leur éventuelle ancienneté. Sept sites livrant de gros blocs de scories ont été prospectés en 2017, 2018 et 2019.

Lors des prospections, les amas font l'objet d'un enregistrement topographique sommaire. Les contours sont relevés au GPS et les longueurs et largeurs maximales sont mesurées au moyen d'un décimètre. La hauteur est relevée au moyen d'un altimètre de terrain en prenant le sol

actuel comme référence. Les relevés au GPS permettent de calculer les surfaces grâce à un logiciel de SIG (QGIS). Les dimensions relevées sont destinées à calculer une approximation de volume d'amas (et non de déchets). Pour ce faire nous avons utilisé le calcul proposé par P.-M. Decombeix (Decombeix in Mangin 2004, p. 192-198) lors des prospections menées sur les amas de scories dans l'Aude ($0,4 \times \text{longueur} \times \text{Largeur} \times \text{hauteur}$). Bien qu'il s'agisse d'une approximation, l'utilisation de cette méthode permet une première comparaison des sites en prenant en compte les mêmes critères. L'enregistrement des différentes familles de scories visibles en surface est réalisé en prospection. Des scories représentatives sont également sélectionnées pour analyses et pour prélèvements de charbons à des fins de datation.

Des acquisitions LIDAR ponctuelles par drone ont été effectuées sur certains de ces sites et permettront de préciser leurs volumes. Le traitement de ces données est encore en cours et fait l'objet d'un mémoire de master de l'Université de Dijon par Margaux Herbrich (co-encadrement P. Nouvel, M. Thivet, M. Berranger).

Des sondages ont été réalisés sur une sélection d'amas en vue de prélèvements d'éléments de caractérisation. Sur certains amas étendus et épais, des coupes de plusieurs mètres de large ont été effectuées à la pelle mécanique, afin d'appréhender l'épaisseur et effectuer des prélèvements en stratigraphie. A Montholon, six amas ont été étudiés par l'intermédiaire de coupes ponctuelles (Berranger dir. 2017 et 2018), à Saint-Fargeau quatre autres amas ont fait l'objet de tels sondages (Berranger dir. 2019 et pages suivantes). En 2020 nous avons fait le choix de réaliser des micro-sondages (maximum 1 m de côté) de manière systématique sur les petits amas qui ne livraient pas de charbons dans les scories de surface. Cette approche nous a semblé la plus simple et efficace afin de collecter des éléments de datations, notamment sur les amas peu épais et peu étendus. En 2020 nous avons ainsi réalisé des micro-sondages sur quatorze amas sur les vingt-six amas prospectés à Villiers-Saint-Benoît. Trois autres micro-sondages ont été réalisés à Saint-Fargeau, sur des amas qui n'avaient pas livré de charbons lors des prospections de 2019.

En 2020, des prospections géophysiques, utilisant la méthode magnétique et électro-magnétique, ont été appliquées à trois amas de la forêt de Saint-Fargeau (voir chap. 5.3). Il s'agissait pour le site double 89.344.020/040 d'aider à l'implantation des zones de fouilles prévues pour 2021. Pour le troisième site 89.344.014 il s'agissait de percevoir les différences de signal sur un amas se différenciant par la présence d'une bien plus grande densité de scories et par sa taille plus réduite.

Parallèlement un premier travail de catalogage et dépouillement de documents d'archives a été réalisé en 2018 par Aurélia Bully, archiviste (voir Bully in Berranger dir. 2018). Le temps consacré à cette étude est resté modeste (1 mois) et ce travail devra être poursuivi, notamment à partir des archives de la seigneurie de Saint-Fargeau qui semble offrir des données complémentaires à celles déjà recueillies. A ce stade, ce travail a permis d'attester l'existence d'établissements sidérurgiques, correspondant probablement principalement à des forges hydrauliques, datées entre les XIV^e et XVI^e s. et jusqu'au XVIII^e s. Il complète notre vision de l'histoire récente de la production sidérurgique en Puisaye, non documentée sur le plan archéologique. Ces sites sont cartographiés et pourront faire l'objet de vérification sur le terrain lors de travaux ultérieurs.

Il faut souligner l'aide précieuse apportée par Jean-Pierre Piétak dans le cadre de ces différentes approches. C'est grâce à son intervention qu'il est possible de sélectionner des sites en fonction de la typologie des scories. Il assure également au préalable un travail de préparation et de repérage des sites permettant de mener avec une grande efficacité les campagnes de terrain. En 2020 sa

présence s'est de nouveau avérée particulièrement précieuse durant les phases de préparation du terrain en vue des prospections géophysiques, afin de débiter les souches et troncs présents sur les parcelles à prospector.

Nous renvoyons aux rapports de ces dernières années pour accéder à la présentation de détail des résultats des travaux menés depuis trois ans. Les pages suivantes présentent les activités de terrain développées en 2020, ainsi que de premières synthèses thématiques.

5. 2. Résultats des sondages et prospections pédestres 2020. Organisation spatiale et chronologique des amas de déchets par zone-atelier.

5.2.1. Une nouvelle zone atelier à Villiers-Saint-Benoit.

Les prospections ont concerné deux zones, réparties au nord et au sud du cœur du village de Villiers-Saint-Benoit. Au nord aux lieux-dits "Les Grands Usages" (14 amas étudiés), "l'Usage des Souches" (1 amas étudié) et "Bois Fendu" (1 amas étudié), une grande parcelle d'environ 1,3 km² et une autre de 0,28 km² ont été prospectées. Au sud, c'est une parcelle d'un peu moins de 1 km² qui a été étudiée au "Bois des Usages" (10 amas étudiés). Ces secteurs avaient déjà été prospectés dans les années 2000 par Jean-Pierre Piétak. Ce dernier les a à nouveau parcourues de manière systématique durant l'hiver 2020, afin de préparer la campagne de relevés et prélèvements qui est intervenue en juillet 2020.

Description des sites prospectés.

Vingt-six sites ont été topographiés et enregistrés (fig. 70). Les descriptions détaillées de ces derniers sont reportées en fin de rapport en annexe. Nous présentons ici une synthèse de leurs caractéristiques, les résultats des sondages et les datations radiocarbone obtenues.

Caractéristiques topographiques des amas.

Les travaux menés ces dernières années ont mis en évidence trois groupes de sites se différenciant par leur topographie, leurs dimensions ou les densités de scories visibles en surface. Les critères d'individualisation des groupes (petits amas / gros amas / amas discrets) décrits à partir des sites de Saint-Fargeau "Bois de Bailly" peuvent être réutilisés (Berranger 2019 p. 66-67) pour les sites de Villiers-Saint-Benoit.

Le groupe des "petits amas" correspond ici à des sites couvrant des surfaces comprises entre 20 et 400 m², et caractérisés par de faibles élévations (maxi. 0,80 m). Comme à Saint-Fargeau, leur sédiment est foncé, de marron à noir et ils délivrent de fortes concentrations de scories. Huit sites partagent ces caractéristiques (89.472.010, 013, 014, 016, 018, 019, 020, 027). Le site 89.472.024 intègre peut-être ce groupe, mais situé dans un champs, il est très arasé ce qui n'a permis qu'un enregistrement partiel de ses caractéristiques.

Le deuxième groupe rassemble les "gros" ou "grands" amas, s'étendant sur plus de 750 m² (jusqu'à 15 000 m² pour le site 89.472.001). Les élévations ne sont pas toujours bien perceptibles, mais certains sont formés de plusieurs monticules dont les hauteurs peuvent atteindre voire dépasser le mètre. Au sein des amas les densités de scories peuvent être élevées, mais en surface elles sont plus faibles. La coloration du sédiment présente une certaine variabilité, mais la couleur rougeâtre semble ici prédominante. Comme à Saint-Fargeau, mais aussi à Montholon, ce sont ces sites qui ont fait l'objet d'intenses travaux de ré-exploitation, et qui sont traversés de trous

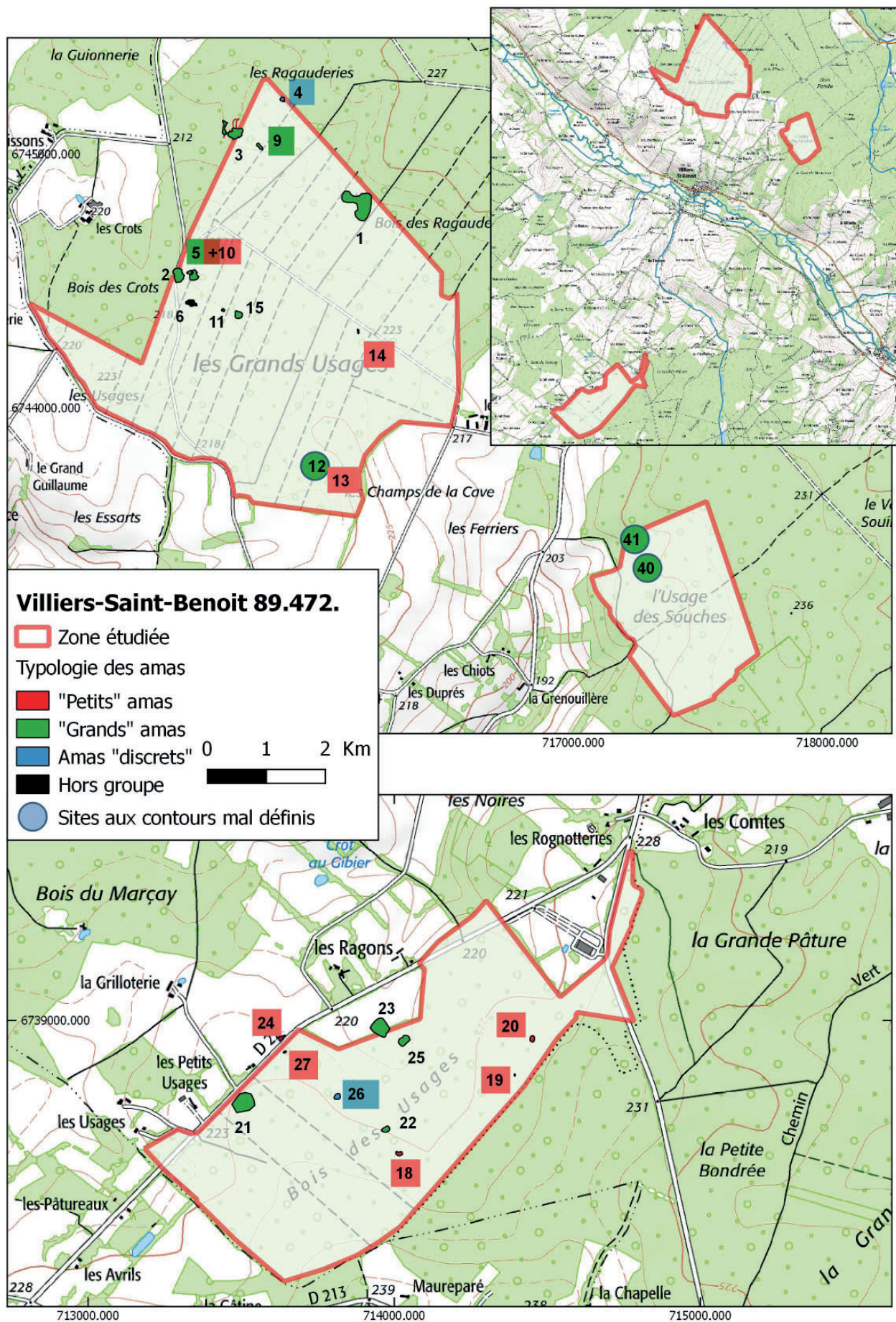


Figure n°70. Villiers-Saint-Benoît : localisation des amas de scories prospectés en 2020.

voire de tranchées d'exploitation. Certains sites, comme les n°001 et 003 ne subsistent plus qu'à partir de portions d'amas localisés ou d'un bourrelet périphérique intact mais discontinu. Douze amas peuvent être intégrés à ce groupe (89.472.001, 002, 003, 004, 005, 012, 015, 021, 022, 025, 026, 041).

Trois amas s'apparentent au groupe des sites "discrets", ne livrant que de très faibles concentrations de scories en surface, de faibles épaisseurs (inférieures à 0,70 m) et n'occupant que des surfaces limitées, comprises ici entre 250 et 750 m².

Un seul site (89.472.006) n'a pu être classé dans un de ces groupes. Il s'agit d'un amas épais de 2,5 m de hauteur, étendu (2600 m²), constitué d'un sédiment très noir et d'une très forte densité de scorie.

Un dernier site 89.472.011 s'est avéré être non métallurgique. Il a été distingué en raison de son sédiment de couleur rougeâtre qui évoquait une zone de traitement de minerai ou d'altération de paroi de four. Un sondage de faible profondeur n'a cependant révélé aucun déchet et a permis de décrire le sédiment comme un limon très fin rouge, ressemblant à de la terre non remaniée. Il pourrait s'agir d'ocre naturelle, mais cette hypothèse reste à vérifier par un géologue. Ce type de sédiment a été observé à plusieurs reprises à proximité ou en partie sous les amas. Il reste à déterminer quelle est la part de sédiment naturel, de celle des éléments rapportés.

Caractéristiques stratigraphiques des amas.

Quatorze amas ont fait l'objet de sondages très ponctuels de moins d'1 mètre de côté. Les sondages ont été systématisés sur les amas qui ne livraient pas de charbon dans les scories de surface. Nous avons aussi privilégié des prélèvements en stratigraphie sur les petits amas, peu remaniés. Des charbons ont ainsi pu être prélevés sur 22 des 26 amas visités. Le détail des stratigraphies est présenté en annexe, par site. Rappelons que l'objectif de ces micro-sondages était d'acquérir des éléments de datations et non pas de caractériser de manière représentative la stratigraphie de ces sites. Dans quasiment tous les cas seul un niveau archéologique a été mis en évidence.

Huit amas parmi le groupe des "petits" sites ont été sondés (89.472.010, 013, 014, 016, 018, 019, 020, 027). L'implantation de ces sondages a été généralement effectuée sur un pan de l'amas, sans intégrer la partie sommitale afin de limiter la profondeur de l'excavation manuelle. Les sondages ont été conduits jusqu'au terrain naturel pour cinq d'entre-eux, ce dernier ayant été atteint à généralement 40 à 50 cm de profondeur. Le sol naturel n'a pas été atteint pour le site 20, malgré un sondage mené jusque 80 cm de profondeur. Les sites 10 et 13 présentent la particularité d'avoir été implantés sur des amas antérieurs, classés dans la catégorie des "grands" sites.

Des sondages ont été menés sur quatre "grands" sites (89.472.009, 012, 015, 023). Rappelons que dans cette zone-atelier ces sites étendus présentent de faibles, voire pas, d'élévation. Le terrain naturel a été atteint dans deux sondages (sites 09 et 12) à 45 cm de profondeur. Le sondage du site 15 a été conduit jusqu'à la mise au jour d'une couche de destruction de parois de four à 60 cm de profondeur et il a été interrompu sur ce niveau. Pour le site 23, le sondage a été interrompu à 35 cm de profondeur sur ce qui a été interprété comme un niveau de sol, constitué de silex brûlés. Les sondages déjà menés sur ces catégories de sites, dans le secteur de Montholon notamment, ont révélé des accumulations de déchets pouvant être très importantes et s'élevant sur plusieurs mètres. Elles correspondent à une alternance de parois de four et de rejets de déchets scoriacés (Berranger dir. 2017, 2018). A Saint-Fargeau le site 89.344.006 qui peut être classé dans la même catégorie, livrait un faible relief (Berranger dir. 2019) mais s'est avéré, à l'ouverture d'un sondage

mécanisé, caractérisé par une épaisseur de stratigraphie de 0,80 à 1 m d'épaisseur, correspondant à une alternance entre une couche de rejets de scories et une couche de destruction de parois de fours. A Villiers-Saint-Benoit le site 15 semble illustrer cette même superposition de couches de scories et de destruction de four. Dans les autres cas nous semblons avoir touché des zones caractérisées par de faibles accumulations de déchets.

Deux sites du groupe des amas "discrets" ont été sondés (89.472.004 et 026). Les épaisseurs de stratigraphie sont comparables : 50 cm pour l'un, 45 cm pour l'autre. On constate pour ces sites peu visibles en surface, une augmentation de la concentration des déchets au-delà des 25 centimètres superficiels, et la présence ponctuelle de gros blocs décimétriques de scories en partie inférieure du sondage. Cette caractéristique pourrait s'expliquer par la technologie de réduction employée, recourant à des fours dont la scorie reste piégée dans la cuve du bas fourneau.

n° de site	Lieu-dit	Type de site métallurgique	Destructions	Couleur sédiment	Concentration scories	Volume estimé	Surface relevée	H. actuelle	Long.	Larg.	Typo. par caract. topo.	Date C14 cal.
89.472.001	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Brun-rouge	Forte	20160	15000	3	160	105	Grand amas	132 AD - 340 AD
89.472.002	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron-gris	Peu visibles en surface, forte en profondeur	960	2400	1	60	40	Grand amas	756 BC - 208 AD
89.472.003	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Terre noire et rouge	Fréquentes	3300	5000	1,5	110	50	Grand amas	
89.472.004	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Intact	Marron-rouge	Eparses	231	750	0,7	33	25	Amas discret	396 BC - 207 BC
89.472.005	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Gris-brun	Eparses	1120	2400	2	40	35	Grand amas	
89.472.006	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noir	Très forte	3300	2600	2,5	60	55	Hors groupe	377 BC - 178 BC
89.472.009	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron-rouge	Peu visibles en surface, forte en profondeur	192	1200	0,3	40	40	Grand amas	
89.472.010	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Intact	Noire	Forte	32	80	0,8	10	10	Petit amas	338 BC - 70 AD
89.472.011	Les Grands Usages	Site non métallurgique					1100	0,7	40	35		
89.472.012	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Rouge	Eparses	72	750	0,2	30	30	Grand amas	710 AD - 957 AD
89.472.013	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron-foncé à noir	Fréquentes	32	80	0,8	10	10	Petit amas	606 AD - 774 AD
89.472.014	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron-foncé	Forte	10	40	0,5	10	5	Petit amas	641 AD - 775 AD
89.472.015	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron clair à rougeâtre	Fréquentes à éparses	735	1000	1,5	35	35	Grand amas	51 BC - 116 AD
89.472.016	Les Grands Usages	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Marron-foncé	Forte	3,6	30	0,25	6	6	Petit amas	681 AD - 885 AD
89.472.018	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noire	Forte	168	400	0,7	30	20	Petit amas	
89.472.019	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Intact	Gris-noir	Forte	6,4	20	0,8	5	4	Petit amas	601 AD - 676 AD
89.472.020	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Intact	Brune	Forte	72	250	0,6	20	15	Petit amas	601 AD - 673 AD
89.472.021	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron-gris clair	Eparses	2880	3800	1,5	80	60	Grand amas	
89.472.022	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Gris clair	Eparses	75	300	0,5	25	15	Amas discret	
89.472.023	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Gris rouge	Fréquentes	1960	5000	0,7	100	70	Grand amas	
89.472.024	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Très remanié	En champs, non visible	En champs, non visible	1050	3000	0,7	75	50	Petit amas	892 AD - 1021 AD
89.472.025	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Gris foncé	Forte	320	2000	0,8	40	25	Grand amas	356 BC - 54 BC
89.472.026	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Brun clair	Eparses	38,4	260	0,3	20	16	Amas discret	
89.472.027	Bois des Usages	Amas de déchets de réduction	Intact	Noire foncée	Fréquentes	17,64	A calculer	0,7	9	7	Petit amas	1052 AD - 1263 AD
89.472.040	L'Usage des Souches	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Rougeâtre	Eparses à fréquentes	672	2300	0,6	70	40	Grand amas	
89.472.041	Bois fendu	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Gris noir	Fréquentes	9360	7000	3	130	60	Grand amas	371 BC - 176 BC

Figure n°37. Villiers-Saint-Benoît, caractéristiques des amas prospectés en 2020 (dimensions en m, m² et m³)

Les datations radiocarbone.

Nous disposons de 16 dates radiocarbone provenant de 16 sites distincts, ce qui signifie que les 2/3 des sites prospectés sont datés (fig. 37-38). Une date provenant du site 002 fournit un intervalle très large situé entre 756 Cal. BC et 208 Cal AD, étant donné la faible quantité de carbone analysée, elle reste néanmoins exploitable, malgré son imprécision. Seule une date a été réalisée sur un site du groupe discret.

Dans ce secteur, les débuts de l'exploitation métallurgique sont à situer entre le IV^e et le III^e s. av. J.-C., avec trois amas précisément datés dans cet intervalle chronologique, et trois autres dont les datations recouvrent en partie cette période. La période antique, entre le début du I^{er} s. ap. J.-C. et le milieu du IV^e s. est représentée par deux sites qui se succèdent, voire par quatre amas si l'on retient les intervalles de calibration les plus larges. Un hiatus est constaté entre le milieu du IV^e s. ap. J.-C. et le début du VII^e s.

La période chronologique la plus représentée correspond aux VII-VIII^e s. ap. J.-C. avec quatre, voire six amas. L'activité sidérurgique se poursuit ensuite jusqu'au XIII^e s. avec trois amas dont les périodes d'activité se succèdent.

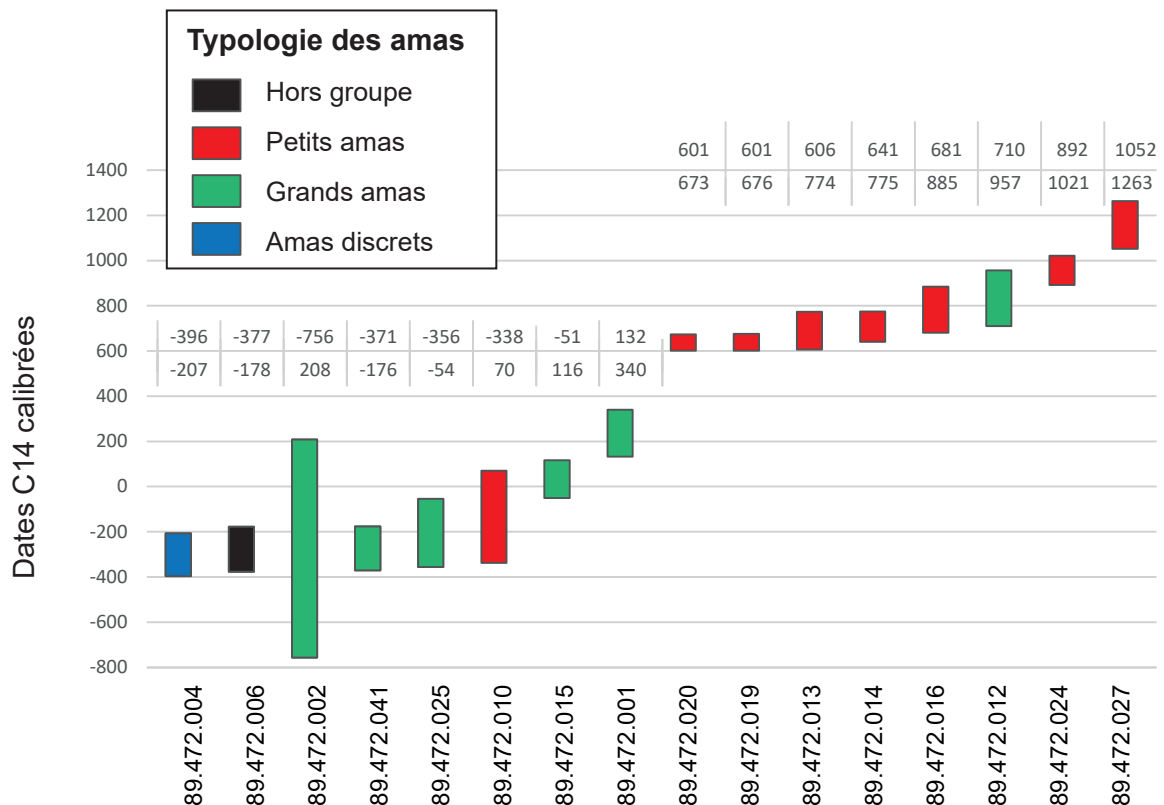


Figure n°38. Villiers-Saint-Benoît, dates radiocarbone calibrées des amas, par groupe.

La prise en compte des groupes typologiques reconnus à partir des caractéristiques topographiques des amas permet de mettre en évidence la plus grande ancienneté des grands amas et des amas discrets et le caractère plus récent des sites du groupe des petits amas.

5.2.2. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" : prospections pédestres et sondages.

Deux types de travaux ont été menés cette année à Saint-Fargeau. Un des objectifs prioritaires incluait la réalisation de prospections géophysiques afin de préparer l'implantation d'une fouille

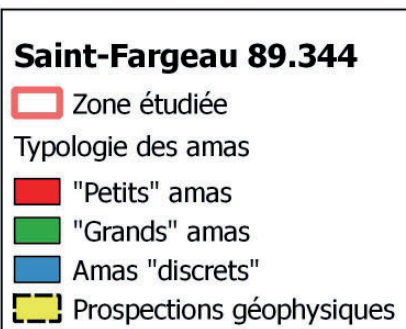
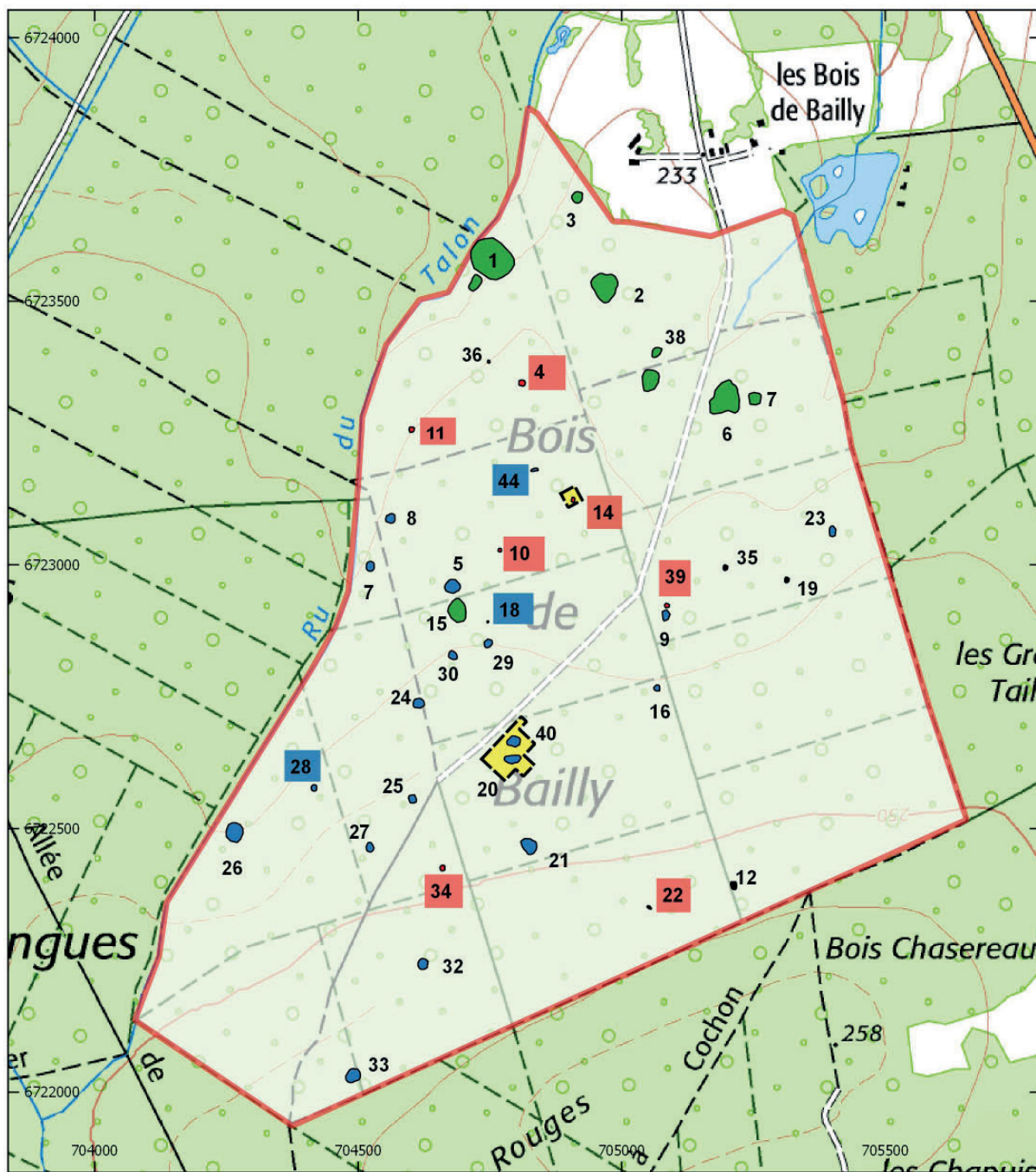


Figure n°71. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation des amas de scories prospectés en 2019 et 2020, emprise des prospections géophysiques 2020.

sur l'amas 89.344.040 daté entre 398 et 208 BC et incluant également l'amas 020. Les résultats seront présentés dans le chapitre suivant. Le deuxième objectif de cette campagne de terrain était la réalisation de sondages afin d'acquérir des éléments de datation sur certains amas pour lesquels nous ne disposons pas de charbons.

Identification d'un nouvel amas de déchets.

Les prospections réalisées en 2019 avaient permis de cartographier et de prospector 30 amas. Un 31^e amas a été identifié cette année par J.-P. Piétak lors des travaux effectués dans les environs du site 89.344.014.

Ce nouveau site numéroté 89.344.044 correspond à une zone de concentration éparse de scories piégées fragmentées, prises dans un sédiment de couleur marron-brun. Il est de forme ovale, et mesure 14 sur 5 m de côté. Aucun relief n'est perceptible et cette concentration est recoupée par un layon l'ayant en partie perturbé. Ces caractéristiques permettent de le rattacher à la catégorie des sites dits discrets, les plus fréquemment représentés dans cette zone-atelier.

Caractéristiques stratigraphiques de six amas sondés en 2020.

Sur la base de la classification des sites en fonction de trois groupes (petits, grands, discrets) proposées en 2019 (voir supra et Berranger dir. 2019 p. 64-68) il s'est avéré que nous disposions de peu de dates pour les sites "petits" et "grands". Des sondages complémentaires ont donc été réalisés cette année afin de réaliser de nouveaux prélèvements de charbon dans ces groupes de sites. Aucun nouveau prélèvement n'a par contre été effectué pour les sites de la catégorie "discret" étant donné que plus de la moitié d'entre eux a pu être datée.

Six sites sont classés dans la catégorie des petits amas. Deux d'entre-eux ont été datés à partir des travaux menés en 2019 (n°18 et 19) de la même période du haut Moyen âge, à savoir entre le VIII^e s. et le X^e s. ap. J.-C. Trois autres amas de cette catégorie ont fait l'objet d'un sondage en 2020 Des prospections géophysiques ont également été effectuées sur le site 014.

89.344.010.



Figure n°39. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation du sondage dans l'amas 89.344.010.

Il s'agit d'un petit amas de forme ovale, constituant une petite butte bien bombée. Le sédiment visible en surface est très noir et très charbonneux et comprend une forte densité de petites scories.

Ce site a été appréhendé à partir d'un sondage ponctuel de 70 sur 90 cm de côté. Il a été poursuivi jusque 50 cm de profondeur, jusqu'à la terre naturelle constituée d'un sédiment de limon blanc. De la surface supérieure à - 8 cm il s'agit d'une couche d'humus comprenant de nombreuses racines prises dans une terre brun noir avec des fragments de scories centimétriques (1). De - 8 cm à - 35 cm le sédiment est toujours de la terre brun foncé incluant de très nombreux fragments de scories centimétriques à pluridécimétriques (2). De - 35 cm à - 47 cm, les caractéristiques sont identiques mais le sédiment est de couleur plus claire (3). De - 37 à - 50 correspond à un sédiment de limon blanc comprenant des plaques de scories écoullées au sein duquel des charbons ont été prélevés (4). Le terrain naturel, un limon sableux blanc a été atteint à - 50 cm.

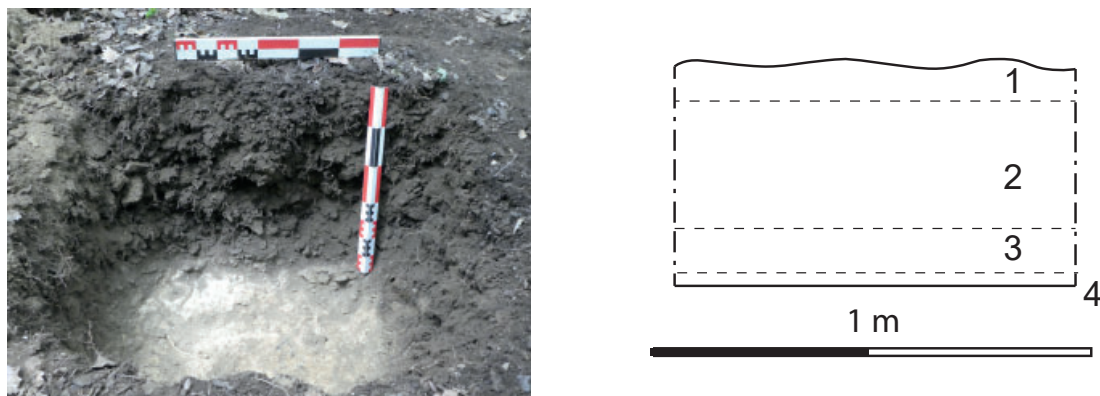


Figure n°40. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.010, détail de la coupe.

89.344.011

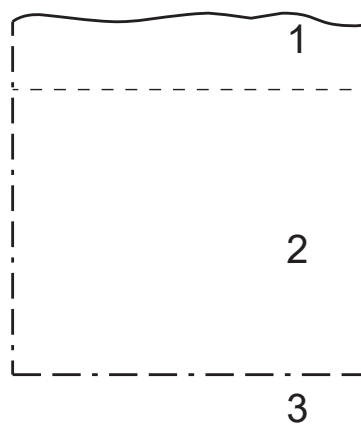


Figure n°41. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation du sondage dans l'amas 89.344.011.

Il s'agit d'un petit amas circulaire au sommet aplati. En surface, il apparaît constitué de terre noire, comprenant une forte densité de petits fragments de scories. Plusieurs trous d'extraction ovoïdes le transpercent. Le site est assez difficile à percevoir dans un terrain bosselé par des trous d'extraction et des tas de déblais divers.

Un sondage manuel de 70 x 70 cm sur 55 cm de profondeur a été réalisé. L'humus occupe une épaisseur d'environ 12 cm (1). Il est constitué de terre marron foncée avec de nombreuses racines et des fragments de scories de taille centimétrique. De - 12 à - 55 cm il s'agit d'un

niveau homogène de sédiment terreux marron foncé incluant une forte proportion de scories centimétriques à décimétriques (2). A - 55 cm nous avons atteint une couche d'argile jaune avec des inclusions de plaques de scories et des nodules de terre cuite qui pourrait correspondre aux vestiges d'un sol d'atelier (3). Le terrain naturel n'a pas été atteint. Des charbons ont été prélevés à 45 cm de profondeur.



1 m

Figure n°42. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.011, détail de la coupe

89.344.014

Petit amas ovalaire semblant très érodé. Il comprend une forte densité de petite scories écouées, prises dans un sédiment très noir. Il a été en grande partie détruit par les exploitations récentes visibles sous la forme de dépressions bordées de déblais.

En 2020, une prospection géophysique (magnétique) a été réalisée sur un carré de 30 m x 30 m, centré sur l'amas. Un sondage manuel a été réalisé, sur 70 x 80 cm, et jusqu'à une profondeur de 26 cm. Il a été mené jusqu'au terrain naturel d'argile jaune à silex. Une seule couche a été observée. Elle est majoritairement constituée de scories écouées de taille décimétrique, prises dans un sédiment terreux gris foncé. Des charbons ont été prélevés dans la partie inférieure.



Figure n°43. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation du sondage dans l'amas 89.344.011.



Figure n°44. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.014, détail de la coupe

89.344.004.

Ce site était classé comme hors groupe sur la base des prospections de surface, étant donné la couleur très rougeâtre de son sédiment. Néanmoins après les investigations menées en 2020, il est possible de l'intégrer à la catégorie des petits sites.

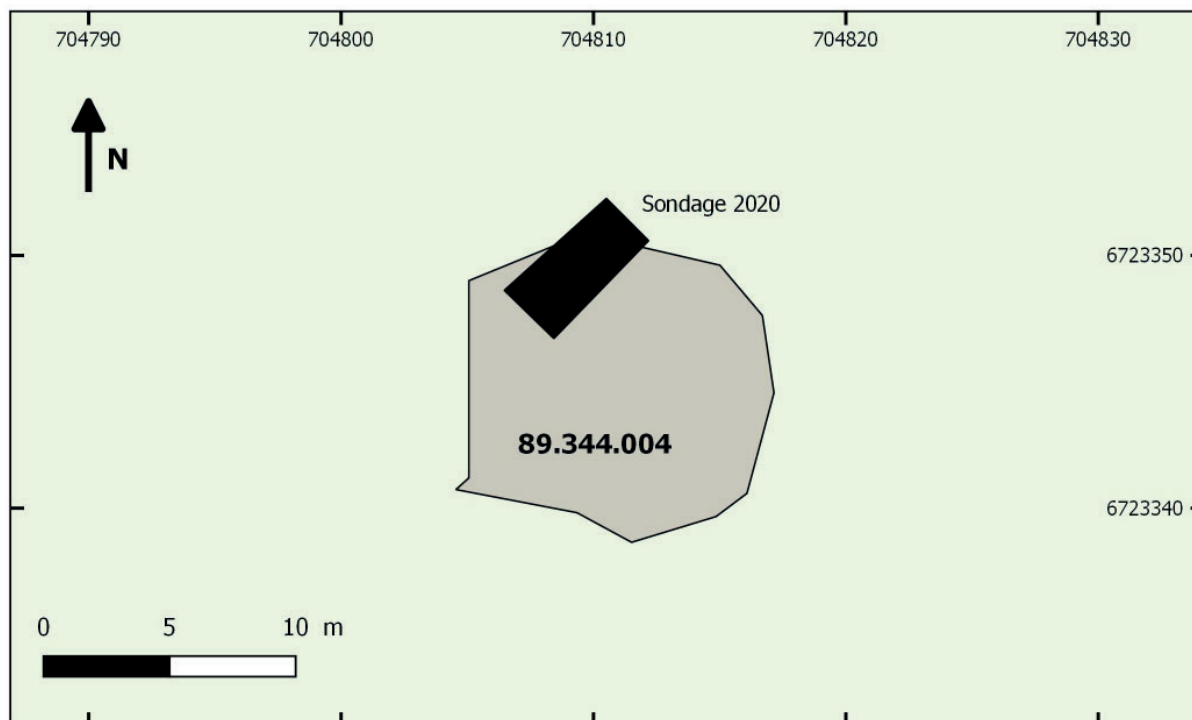


Figure n°45. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan de l'amas 89.344.004 et localisation du sondage.

Il s'agit d'un amas ovale, à la surface en légère pente douce vers l'ouest. En surface l'encaissant apparaît comme constitué d'un sédiment pulvérulent de couleur rougeâtre. La densité de scories est élevée en surface. De nombreux petits fragments de terre cuite rouge sont également visibles. Un sondage de 5,30 de long sur 3,10 de large a été implanté sur la périphérie nord de l'amas, à partir du sommet. Il a été mené à la pelle mécanique jusqu'au terrain naturel, de l'argile blanche. La coupe ouest révèle une seule couche archéologique [101] constituée de scories, de parois de four très fragmentées, voire désagrégées, ce qui confère au sédiment enrobant une couleur rouge-orangée. La densité de scorie est forte et les plus gros fragments se situent vers le fond. Elle est surmontée par une couche d'humus [103]. La coupe sud met en évidence l'implantation de cet amas sur un micro-relief bombé, et l'étalement des scories dans la cuvette située à l'avant de

l'amas [102]. L'aspect bien bombé de cet amas ne tient finalement pas à l'accumulation de scories, mais au micro-relief sous-jacent. Des charbons ont été prélevés à différentes profondeurs.



Figure n°46. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" vue générale du sondage dans l'amas 89.344.004.



Figure n°47. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.004, détail des coupes.

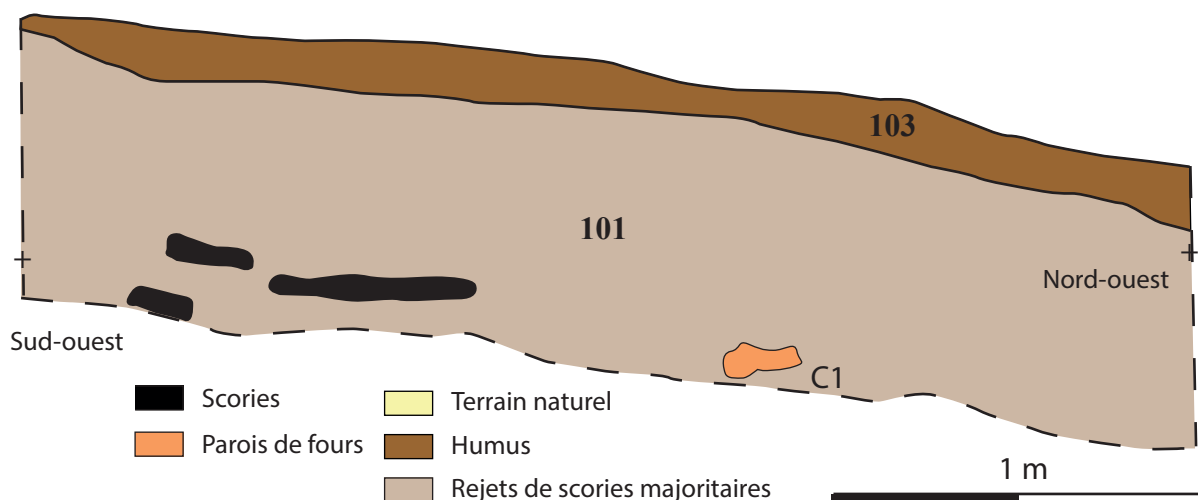


Figure n°48. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.004, relevé de coupe ouest.

Six sites peuvent être classés dans la catégorie des "grands" amas. Nous disposons de trois dates sur la base des prélèvements effectués en 2019. Nous avons cependant remarqué ce qui nous semblait être une incohérence entre les dates provenant de charbons issues de scories interne prélevées de manière ponctuelle en surface des amas (datations entre le VI^e s. av. J.-C. et le I^{er} s. av. J.-C., pour les sites 1 et 3) et la date issue d'un charbon prélevé en stratigraphie (site n°6, daté entre I^{er} s. ap. J.-C. et III^e s. ap. J.-C.). Cette année, deux sondages ont donc été effectués à la pelle mécanique sur deux sites (89.344.003 et 013) afin de disposer de charbons prélevés en stratigraphie.

89.344.003

Il s'agit d'un amas de forme ovale-rond orienté nord-sud. Il est très remanié en partie centrale, et comprend une couronne de scories écoulees rejetées en périphérie. L'excavation centrale semble avoir été menée jusqu'au terrain naturel. Certains monticules périphériques se répartissent en bordure et ne contiennent pas forcément de déchets.

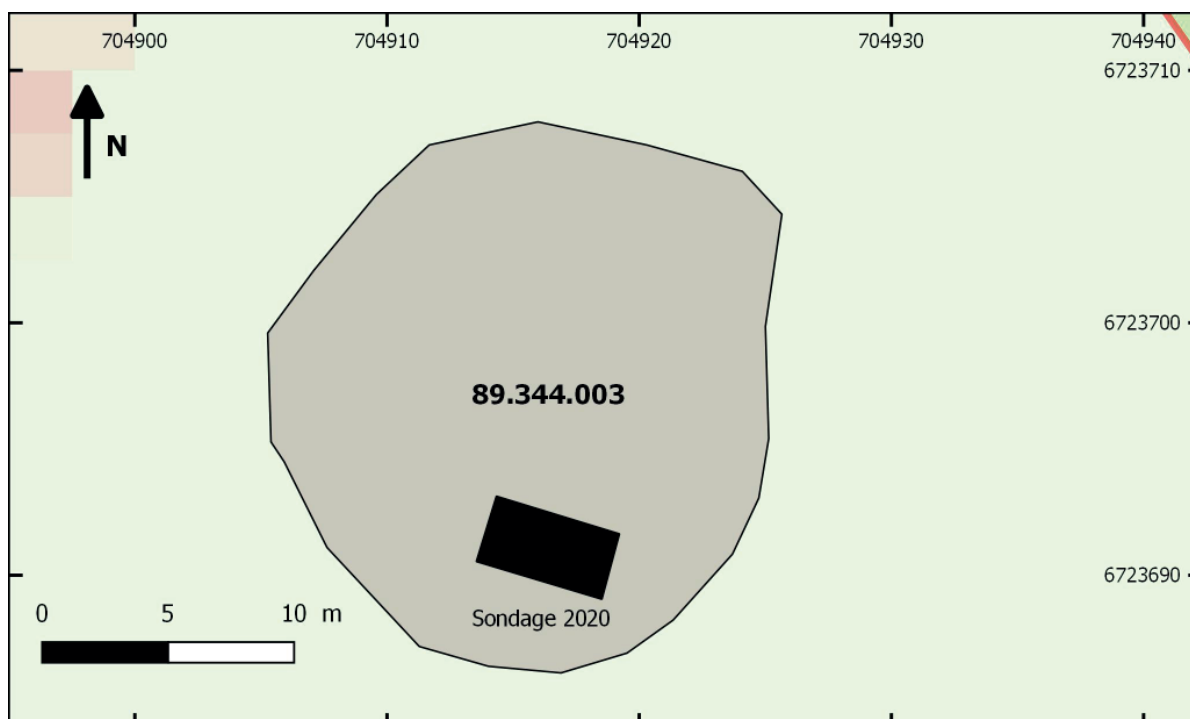


Figure n°49. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan de l'amas 89.344.003 et localisation du sondage.

Un sondage de 4,5 m sur 2 m a été ouvert à la pelle mécanique sur sa bordure sud et a été mené sur 0,80 m jusqu'au sol naturel correspondant à un limon argileux jaune avec quelques rognons de silex. Dans ce secteur l'amas de déchets est en grande partie détruit ou remanié. En effet, seul un lambeau de niveau non perturbé (101), situé immédiatement sur le sol naturel est conservé sur une dizaine de centimètres d'épaisseurs et sur environ 3 m de long sur 1,5 m de large. Il s'agit d'un horizon plus ou moins discontinu de sédiment limoneux comparable par sa nature au sol naturel incluant des fragments de charbons de bois, des parois de fours et des plages de couleur rouille évoquant des oxydes de fer. Il pourrait s'agir d'un niveau d'occupation intact.



Figure n°50. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" vue générale du sondage dans l'amas 89.344.003.



Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.003, coupe nord.

Le reste de la stratigraphie correspond à des niveaux superposés de fragments de scories emballées dans un sédiment terreux, correspondant très probablement à des couches de déchets remaniés. Un large creusement [107] comblé de scories prises dans un sédiment brun gris occupe d'ailleurs les deux tiers de la stratigraphie étudiée et perce le sol naturel. Ce creusement semble transpercer la couche d'humus ce qui pourrait indiquer un rebouchage récent.

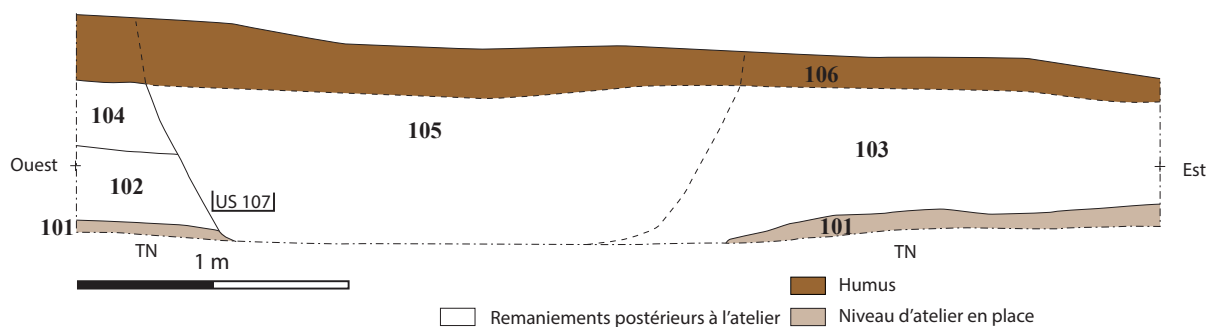


Figure n°51. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", 89.344.003, relevé de coupe nord.

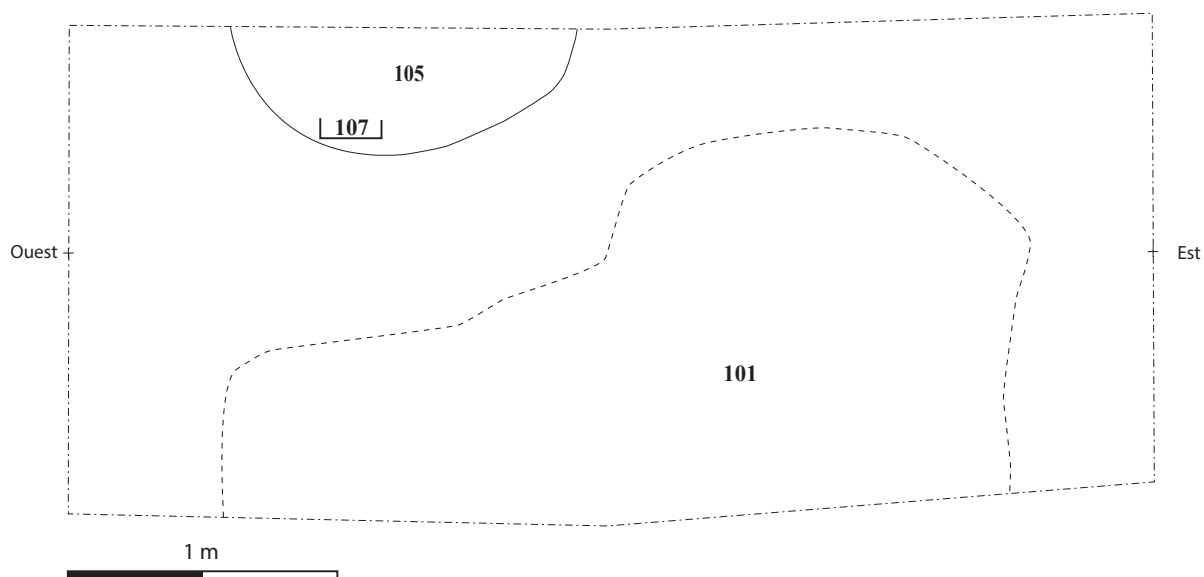


Figure n°52. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", 89.344.003, plan général du sondage.

89.344.013

Cet amas de plan irrégulier est assez vaste et étalé. Il prend la forme d'une large bosse aux contours incertains. Il est très endommagé par des trous d'extraction, et est notamment traversé par un chemin dans sa partie nord, qui le divise en deux parties. Le site 89.344.038, situé à proximité immédiate pourrait appartenir au même ensemble ou correspondre à une aire de rejet ponctuelle en lien avec l'exploitation du site 013.

Deux sondages à la pelle mécanique ont été ouverts au nord-ouest et au sud-ouest de l'amas. Le sondage 1 mesure 9 m de long sur 1,80 m de large. Il a été conduit jusqu'à environ 70 cm et surcreuse par endroit le sol naturel, d'argile jaune à silex, de surface irrégulière. L'amas est quasiment intégralement détruit dans ce secteur. Seul subsiste un lambeau conservé dans une cuvette entaillant le sol naturel (US 101) et incluant une très forte densité de fragments de scories et de parois de four en très grande proportion. Les niveaux supérieurs incluent des déchets répartis de manière plus aérée dans un sédiment plus abondant (US 103), caractéristiques qui évoquent des niveaux remaniés. Un creusement postérieur [US 106] s'interrompt sur le sol naturel et est comblé de déchets métallurgiques.

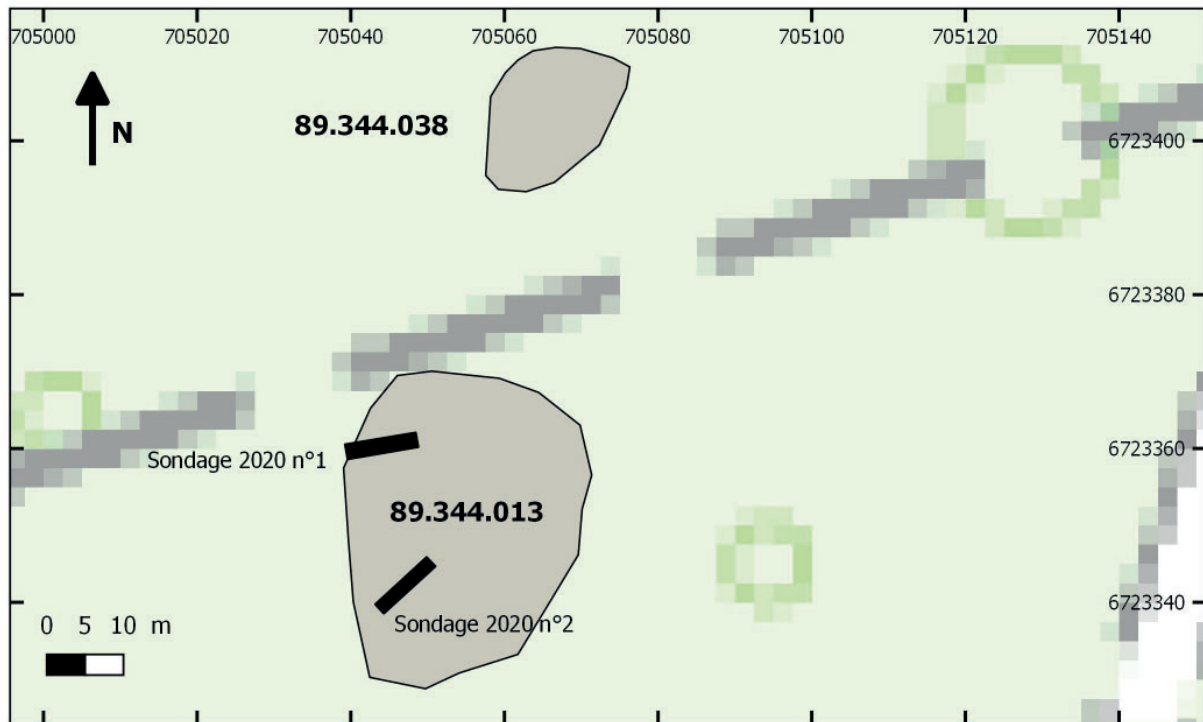


Figure n°53. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan de l'amas 89.344.013 et localisation des sondages.



Figure n°54. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", 89.344.013, vue générale du sondage 1 et détail de l'US 101.

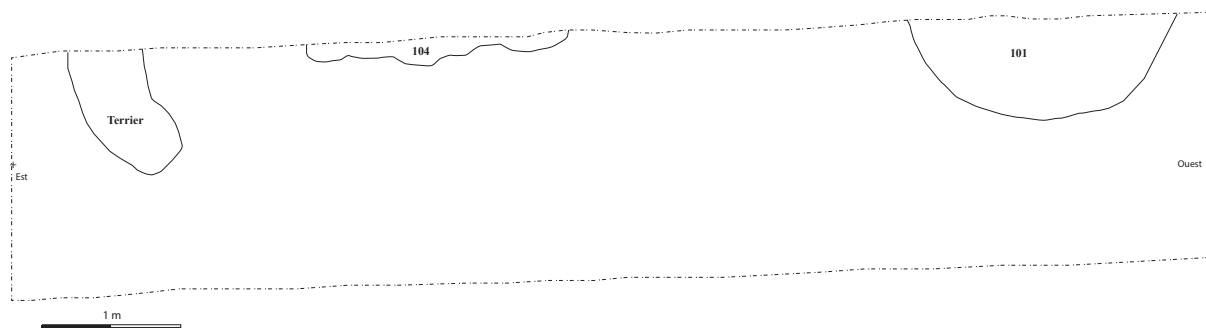


Figure n°55. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan général du sondage 1 de l'amas 89.344.013.

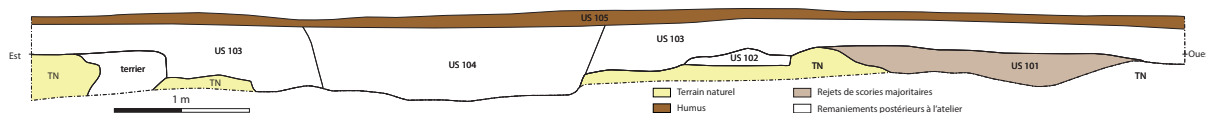


Figure n°56. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", relevé de la coupe nord du sondage 1, amas 89.344.013.



Figure n°57. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", vue de la coupe nord du sondage 1, amas 89.344.013.

Le sondage 2 a été ouvert sur 5 m de long et 1,80 m de large et sur une épaisseur de 50 cm sous le niveau actuel. Le terrain naturel a été atteint et légèrement surcreusé dans la partie nord-est. Les niveaux archéologiques sont conservés partiellement dans ce sondage. Une partie de l'accumulation de déchets est ainsi conservée (US 203), au sud-ouest sur environ 2 m de long et sur l'intégralité de l'épaisseur sondée. Il s'agit d'une couche très compacte incluant une très forte proportion de fragments de scories prises dans un fin sédiment gris marron-foncé. La base de ce niveau d'accumulation de déchets a été atteint par un sondage ponctuel manuel, mené jusqu'au sol naturel. L'épaisseur maximale de la couche de déchet est dans ce secteur d'une quarantaine de centimètres.

Un lambeau de couche d'occupation est également conservé sur le sol naturel, en limite d'ouverture du sondage au nord-est (US 205). Il s'agit d'une couche indurée constituée de cailloux rougeâtre évoquant du minerai grillé, pris dans le sol naturel. Il pourrait s'agir des vestiges d'une aire de grillage de minerai. Le reste de l'épaisseur du sondage (US 202) correspond à un niveau de limon comprenant de rares fragments de parois, et quelques silex, et correspondant à des remaniements postérieurs à l'activité métallurgique.



Figure n°58. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", vue de la coupe sud-est du sondage 2, amas 89.344.013.

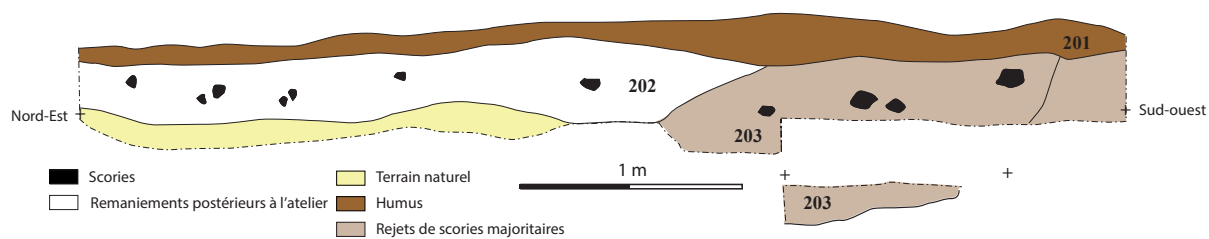


Figure n°59. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", relevé de la coupe sud-est du sondage 2, amas 89.344.013.

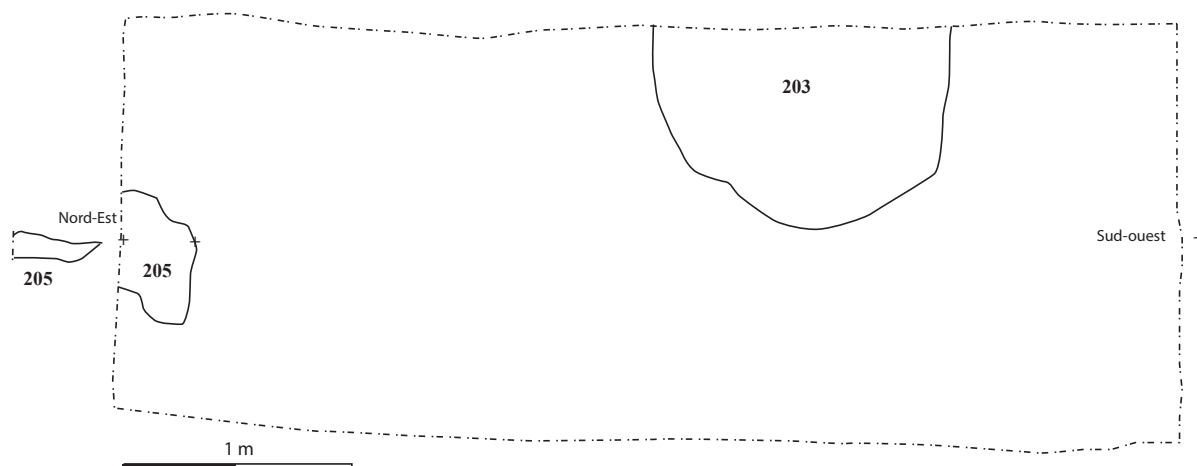


Figure n°60. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan général du sondage 2 de l'amas 89.344.013.



Figure n°61. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.013, US 203 avant et après fouille.



Figure n°62. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.013, US 205 avant et après fouille.

Les datations radiocarbone.

Nous disposons actuellement de 20 dates radiocarbone (fig. 63), en provenance de 19 sites (deux dates pour le site 003). Six charbons sont encore en cours de datation. La date provenant du site 016, qui fournit un intervalle de temps entre 1649 et 2020 ne doit probablement pas être retenue. Il s'agit très certainement d'une pollution par un charbon récent.

Les résultats mettent en évidence trois grandes phases chronologiques, distinctes et cohérentes. Dans ce secteur les plus anciens indices de production sidérurgique sont à dater entre le VIII^e et le V^e s. av. J.-C. Deux voire trois sites se situent dans cette fourchette chronologique. Le plus grand nombre d'amas est daté de la période suivante, comprise entre les V^e et le III^e s. voire le milieu du I^{er} s. av. J.-C. Un seul site est daté de la période antique, entre le I^{er} et le début du III^e s. ap. J.-C. Un hiatus est constaté entre le début du III^e s. et la fin du VII^e s. ap. J.-C.

Une autre période d'activité correspond à la fin du VII^e s. et à la fin du X^e s. ap. J.-C. avec cinq sites datés durant cet intervalle de temps. Une dernière phase chronologique documentée correspond aux XIII^e-XIV^e s. avec un seul amas de déchets.

La prise en compte des groupes typologiques reconnus à partir des caractéristiques typologiques des amas met en évidence la plus grande ancienneté des sites appartenant aux grands amas et amas discrets et le caractère plus récent des sites du groupe des petits amas.

n° de site	Type de site métallurgique	Destructions	Couleur sédiment	Concentration scories	Volume estimé	Surface relevée	H. actuelle	Long.	Larg.	Typo. par caract. topo.	Dates C14 cal.
89.344.001	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Variable	Fréquentes	3960	5689	1,8	110	50	"Grand" amas	352 BC - 51 BC
89.344.002	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Noir	Fortes	924	1997	1,4	55	30	"Grand" amas	
89.344.003	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Variable	Fréquentes	161,28	343	1,2	24	14	"Grand" amas	516 BC - 374 BC et 41 BC - 124 AD
89.344.004	Amas de déchets de réduction	Intact	Rougeâtre	Fréquentes	38,4	118	0,8	12	10	"Petit" amas	679 AD - 880 AD
89.344.005	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun-gris	Fréquentes	291,2	576	1	28	26	Amas "discrets"	387 BC - 200 BC
89.344.006	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Variable	Fréquentes	1815	2671	1,5	55	55	"Grand" amas	22 AD - 206 AD
89.344.007	Concentration de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron	Fréquentes	/	451	0,3	25	25	Identique à 89.344.006 ?	
89.344.008	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun foncé	Eparses	48	253	0,3	20	20	Amas "discrets"	360 BC - 103 BC
89.344.009	Amas de déchets de réduction	Intact	Gris beige	Eparses	34,2	214	0,3	19	15	Amas "discrets"	
89.344.010	Amas de déchets de réduction	Intact	Noir	Fortes	7,84	38	0,4	7	7	"Petit" amas	
89.344.011	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noir	Fortes	14,4	84	0,4	10	9	"Petit" amas	689 AD - 890 AD
89.344.012	Amas de déchets de réduction	Intact	Noir	Fortes	24	144	0,5	10	12	Hors Groupe	1262 AD - 1387 AD
89.344.013	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Foncé	Fortes	936	1036	1,2	65	30	"Grand" amas	727 BC - 396 BC
89.344.014	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Noir	Fortes	14,4	51	0,6	10	6	"Petit" amas	706 AD - 945 AD
89.344.015	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Eparses	480	1145	0,75	40	40	"Grand" amas	
89.344.016	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron-brun	Eparses	20	105	0,5	10	10	Amas "discrets"	1646 AD - 2020 AD (=pollution charbon intrusif)
89.344.017	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun sombre	Eparses	89,6	231	0,7	20	16	Amas "discrets"	
89.344.018	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noir	Fortes	0,9	11	0,15	5	3	"Petit" amas	772 AD - 974 AD
89.344.019	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Brun	Eparses	17	73	0,5	10	8,5	Hors Groupe	
89.344.020	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Brun-clair	Eparses	69,6	385	0,3	29	20	Amas "discrets"	
89.344.021	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Brun	Eparses	172,8	655	0,6	30	24	Amas "discrets"	
89.344.022	Déchets de réduction remaniés ou déplacés	/			/	34	0,5	8	3		
89.344.023	Concentration de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron	Eparses	19,2	200	0,2	20	12	Amas "discrets"	413 BC - 229 BC
89.344.024	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Brun-ocre	Eparses	29,92	313	0,2	22	17	Amas "discrets"	
89.344.025	Concentration de déchets de réduction	Intact	Brun	Eparses	27	187	0,3	15	15	Amas "discrets"	
89.344.026	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun	Fréquentes	294	927	0,7	30	35	Amas "discrets"	538 BC - 383 BC
89.344.027	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun-rouge	Eparses	23,04	196	0,2	18	16	Amas "discrets"	
89.344.028	Concentration de déchets de réduction	Intact	Brun	Eparses	8	94	0,2	10	10	Amas "discrets"	
89.344.029	Amas de déchets de réduction	Intact	Marron	Eparses	32,64	187	0,3	17	16	Amas "discrets"	
89.344.030	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun-gris	Eparses	28,8	203	0,25	18	16	Amas "discrets"	
89.344.032	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Marron-jaune	Fréquentes	16	312	0,1	20	20	Hors Groupe	
89.344.033	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Marron-rouge	Eparses	158,4	563	0,6	30	22	Amas "discrets"	390 BC - 202 BC
89.344.034	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noir	Fortes	12	83	0,5	8	7,5	"Petit" amas	702 AD - 892 AD
89.344.035	Amas de déchets de réduction	Intact	Limon jaune	Fréquentes	7,68	73	0,3	8	8	Hors Groupe	
89.344.036	Concentration de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Brun-clair	Eparses	2,88	21	0,2	6	6	Amas "discrets"	381 BC - 58 BC
89.344.037	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Fréquentes	/	480				Identique à 89.344.001 ?	
89.344.038	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)		Fréquentes	/	254				Identique à 89.344.013 ?	
89.344.039	Amas de déchets de réduction	Intact	Noir	Fortes	6,48	60	0,3	9	6	"Petit" amas	
89.344.040	Concentration de déchets de réduction	Intact	Brun-rougeâtre	Eparses	92	390	0,5	23	20	Amas "discrets"	398 BC - 208 BC
89.344.044	Concentration de déchets de réduction	Intact	Brun-marron	Eparses	14	61	0,5	14	5	Amas "discrets"	

Figure n°63. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", caractéristiques des amas prospectés en 2020 (dimensions en m, m² et m³).

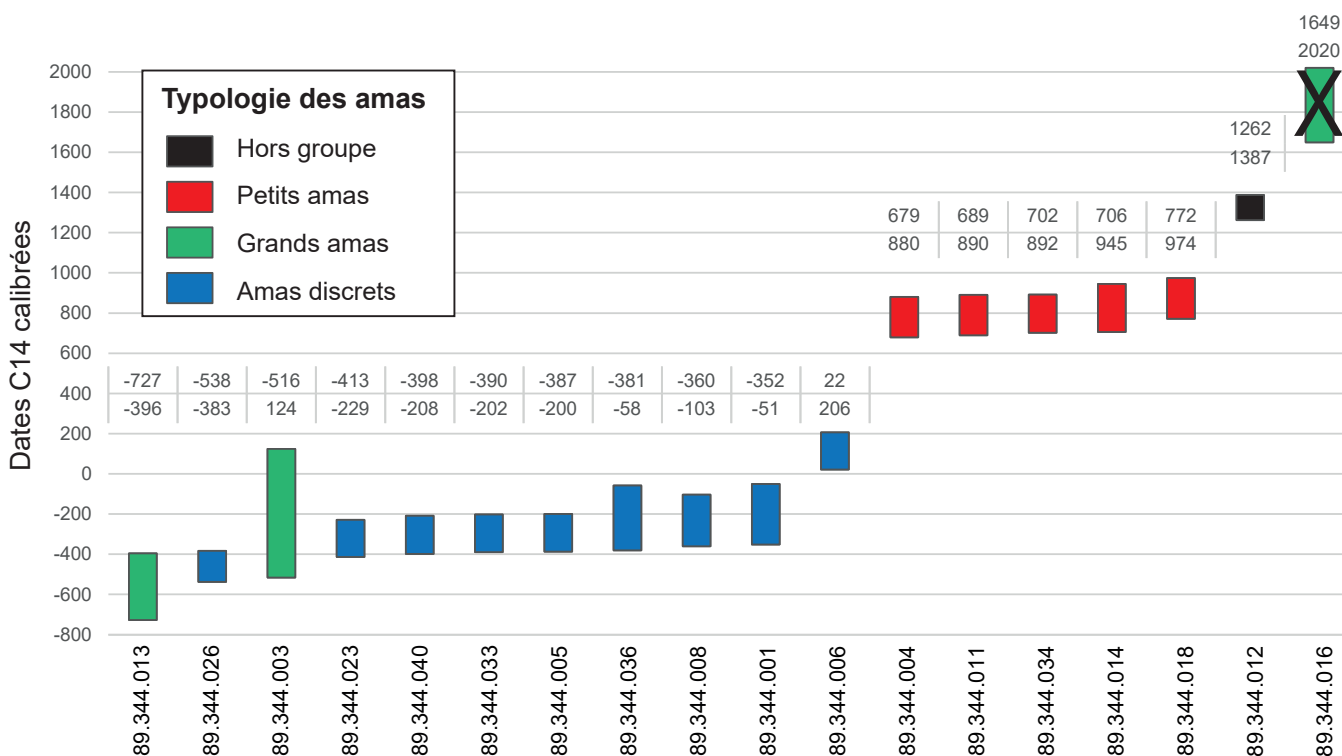


Figure n°64. Saint Fargeau "Bois de Bailly", dates radiocarbone calibrées des amas, par groupe.

5.2.3. Le secteur de Montholon "Bois des Ferriers". Caractéristiques topographiques des sites et datations radiocarbone.

Aucune nouvelle activité de terrain n'a été engagée en 2020, après trois années de prospections et sondages sur cette seule zone. Pour rappel ce secteur de 4 km², situé sur trois communes, comprend 24 amas de déchets sidérurgiques, documentés par des prospections au sol ou par LiDAR (fig. 65). 17 de ces sites ont été datés à partir de datations radiocarbone (fig. 66). Pour six de ces amas, les prélèvements ont été effectués en stratigraphie lors de la réalisation de sondages dont les résultats ont été présentés dans les rapports de ces dernières années (Berranger *et al.* 2017 et 2018). Nous disposons ainsi pour ce seul secteur de 44 dates radiocarbone (dont une date non présentée ici, car antérieure à l'activité métallurgique).

Les caractéristiques topographiques des amas de déchets de ce secteur permettent de les intégrer à la typologie déjà existante.

Trois amas (89.003.008, 014 et 023) peuvent être rattachés au groupe des amas discrets. Deux autres directement juxtaposés, et aux caractéristiques similaires, appartiennent au groupe des petits amas (89.003.010 et 011).

Un site 89.003.009 est atypique et ne peut être classé dans un groupe existant. Il correspond à un mélange de différents types de déchets directement installé sur des niveaux de sols antique. Il pourrait s'agir d'un dépôt secondaire lié aux exploitations ultérieures des amas.

L'intégralité des autres sites est à rattacher à la catégorie des "grands sites", s'étendant sur des surface conséquentes supérieures ici à 1500 m². Dans ce secteur sont documentés des types

d'amas absents des autres zones-ateliers. Il s'agit d'amas particulièrement vastes et présentant des élévations importantes. Certains amas dépassent ainsi la dizaine de mètres de hauteur. Il ne s'agit cependant pas de vestiges exceptionnels en Puisaye, où des amas de tailles comparables sont bien identifiés depuis le XIX^e s. et ont été intensément réexploités (Piétak et al. 2012). Les impressionnants vestiges situés à Tannerre-en-Puisaye, Toucy, La Vilotte ou encore Saint-Amand-en-Puisaye, pour ne citer que quelques exemples, témoignent de l'existence d'amas comparables sur l'ensemble du secteur étudié.

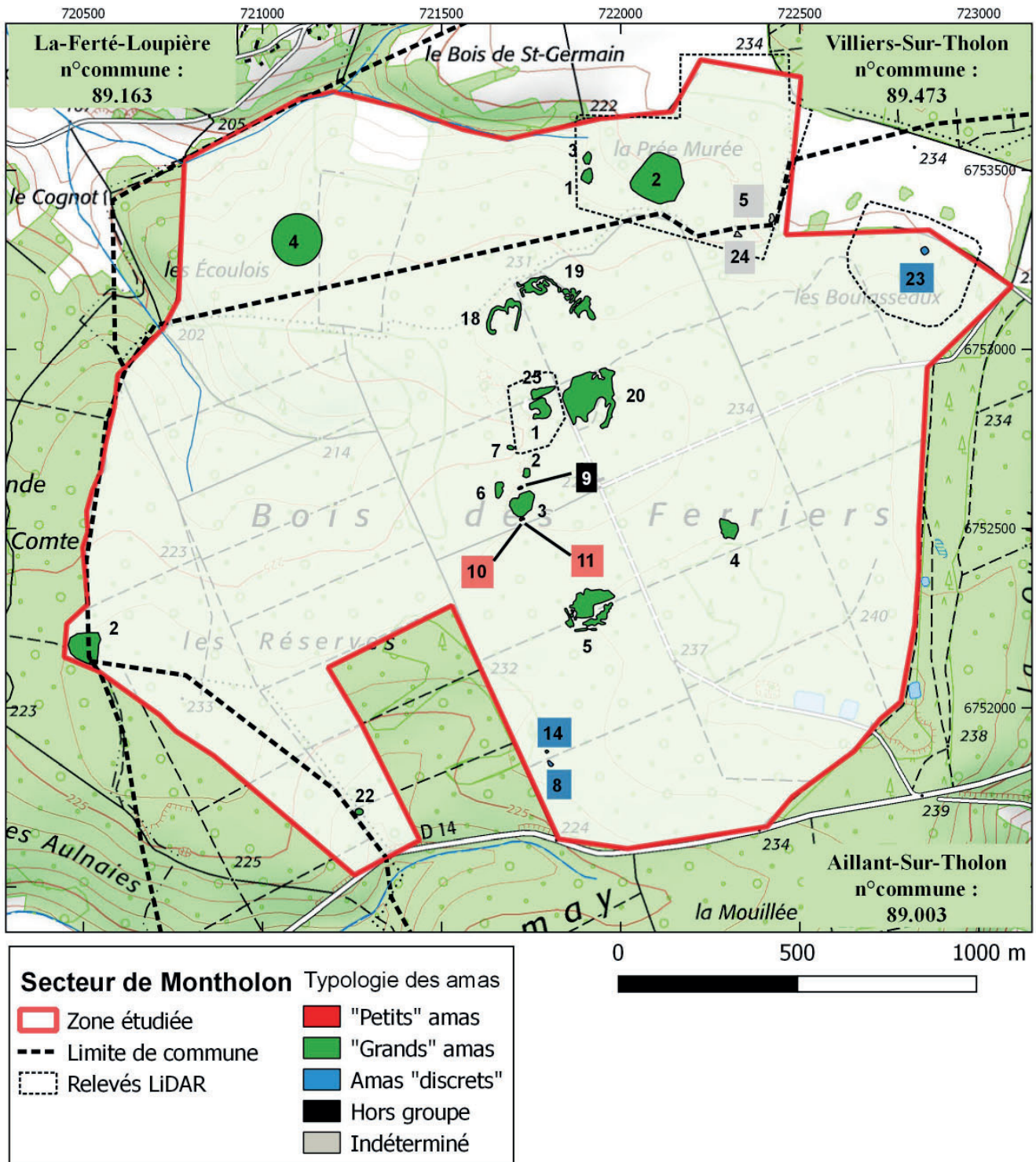


Figure n°65. Secteur de Montholon "Bois des Ferriers", localisation par type des amas de scories prospectés en 2017 et 2018, localisation des prospections LiDAR.

A Montholon, trois des amas présentant d'importantes épaisseurs de stratigraphie ont été sondés : les sites 89.003.001, 005 et 020 (fig. 67). Leurs périodes de fonctionnement sont comparables et couvrent une période comprise entre le I^{er} et le début du IV^e s. ap. J.-C. L'exploitation du site 020 débute même dans le courant du I^{er} s. av. J.-C. Ces résultats permettent de déterminer que l'accumulation d'une quantité considérable de déchets a été effectuée durant un temps relativement restreint et cohérent, couvrant l'intégralité du Haut Empire. Cette période peut ainsi être reconnue comme une phase de production majeure dans ce secteur, et plus largement en Puisaye.

n° de site	Type de site métallurgique	Destructions	Couleur sédiment	Concentration scorées	Volume estimé	Surface relevée	H. actuelle	Long.	Larg.	Typo. par caract. topo.	Dates C14 cal.
89.003.001	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Forte	28028	4680	11	70	91	"Grand" amas"	40 BC - 317 AD
89.003.002	Amas de déchets de réduction	Intact	Rougeâtre	Forte	1598,4	400	6	37	18	"Grand" amas"	131 AD - 326 AD
89.003.003	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Rougeâtre	Forte	5840	3400	4	73	50	"Grand" amas"	73 AD - 325 AD
89.003.004	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Rougeâtre	Forte	3500	1800	2,5	70	50	"Grand" amas"	56 AD -231 AD
89.003.005	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Rougeâtre	Forte	31200	10000	4	150	130	"Grand" amas"	20 BC - 231 AD
89.003.006	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Rougeâtre	Forte	4540,8	850	12	43	22	"Grand" amas"	90 AD -231 AD
89.003.007	Amas de déchets de réduction	Intact	Rougeâtre	Forte	261,63	sup. à 200	1,5	28,5	15,3	"Grand" amas"	58 AD -239 AD
89.003.008	Amas de déchets de réduction	Intact	Marron-rouge	Faible	105,6	150	1	16,5	16	Amas "discret"	181 BC - 1 BC
89.003.009	Amas de déchets de réduction	Intact	Noire	Forte	103,68	100	0,8	18	18	Hors groupe	60 AD - 325 AD
89.003.010	Amas de déchets de réduction	Intact	Noire	Forte	7,2	36	0,5	6	6	"Petit" amas	1030 AD - 1222 AD
89.003.011	Amas de déchets de réduction	Intact	Noire	Forte	7,2	36	0,5	6	6	"Petit" amas	
89.003.014	Concentration de déchets de réduction	Intact	Marron-rouge	Faible	160	60	1	20	20	Amas "discret"	
89.003.018	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Forte	48000	6000	4	200	150	"Grand" amas"	
89.003.019	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Forte	48000	6000	4	200	150	"Grand" amas"	
89.003.020	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Forte	44336	15000	4	170	163	"Grand" amas"	156 BC - 235 AD
89.003.022	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Rougeâtre	Forte	240	sup. à 250	1	30	20	"Grand" amas"	9 AD - 382 AD
89.003.023	Amas de déchets de réduction	Intact	Rougeâtre	Faible	128	324	0,8	20	20	Amas "discret"	481 BC - 257 BC
89.003.024	Amas de déchets de réduction	Relevé par LiDAR, sans vérif. au sol				194					
89.163.002	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Rougeâtre	Forte	15984	6000	4	111	90	"Grand" amas"	170 BC - 4 AD
89.473.001	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Rougeâtre	Forte	4265,6	1000	8	43	31	"Grand" amas"	165 AD - 346 AD
89.473.002	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Rouge à noire	Forte	200000		10	200	250	"Grand" amas"	
89.473.003	Amas de déchets de réduction	Intact	Rougeâtre	Forte	1400	600	4	35	25	"Grand" amas"	126 AD - 322 AD
89.473.004	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Rougeâtre	Forte	26400	10000	6	110	100	"Grand" amas"	56 AD - 217 AD
89.473.005	Amas de déchets de réduction	Relevé par LiDAR, sans vérif. au sol				263					

Figure n°66. Secteur de Montholon "Bois des Ferriers", caractéristiques des amas prospectés depuis 2017 (dimensions en m, m² et m³).

Les données chronologiques issues des autres amas fouillés et prospectés, démontrent que la plupart des sites de cette zone-atelier se rattachent à la période antique (fig. 68). Elle semble prendre la suite d'une production sidérurgique débutée à cet endroit entre le IV^e et le II^e av. J.-C. L'activité s'interrompt à la fin du IV^e s. ap. J.-C. et ne reprend que près de six siècles plus tard, aux X-XIII^e s. dans un secteur organisé très probablement autour de deux amas "jumeaux".

Comme constaté à partir des autres zones-ateliers, les typologies des amas semblent ici encore pouvoir être corrélées avec la chronologie.

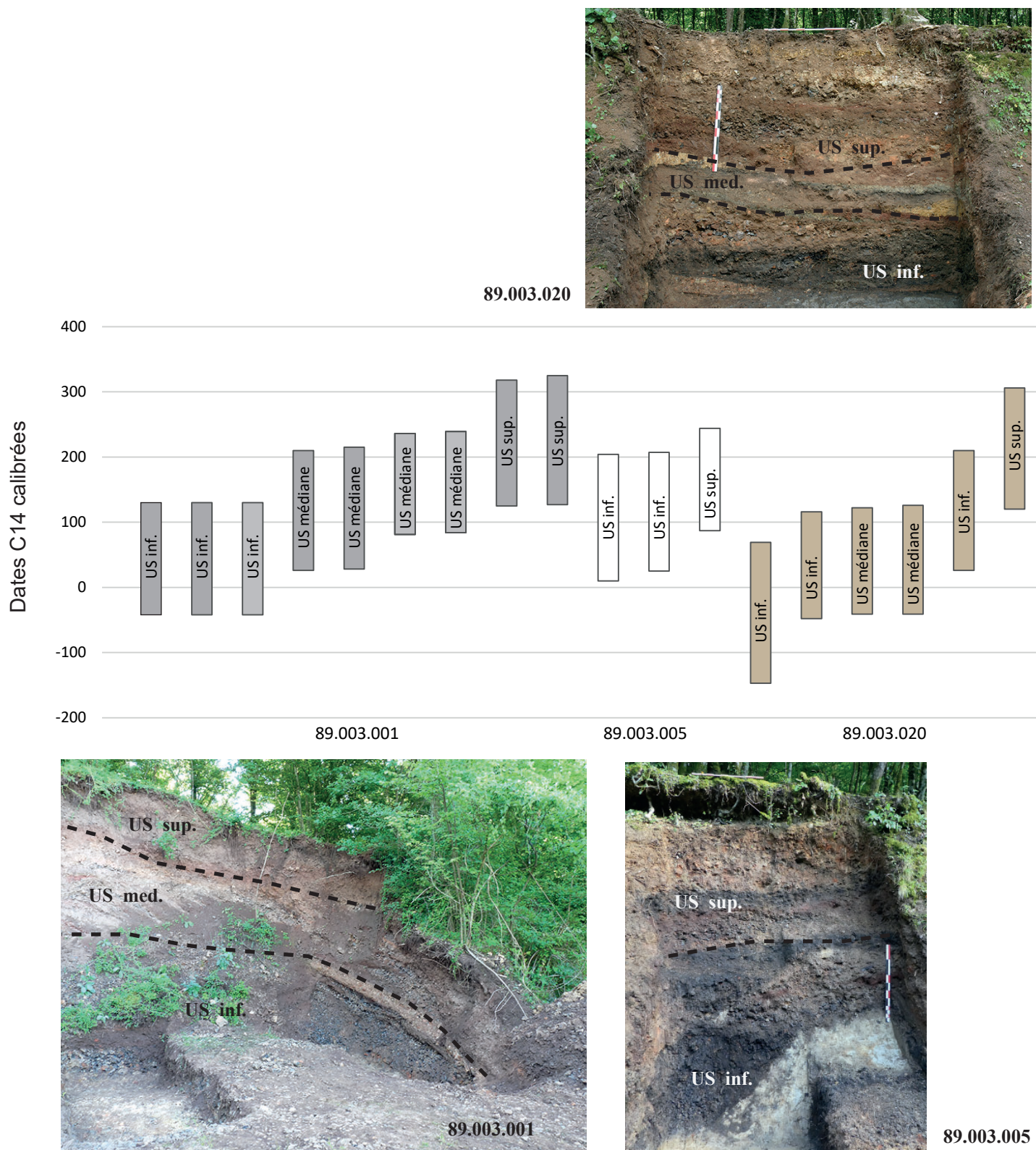


Figure n°67. Montholon "Bois des Ferriers", dates radiocarbone calibrées disponibles pour les sites 001, 005 et 020, obtenues en stratigraphie.

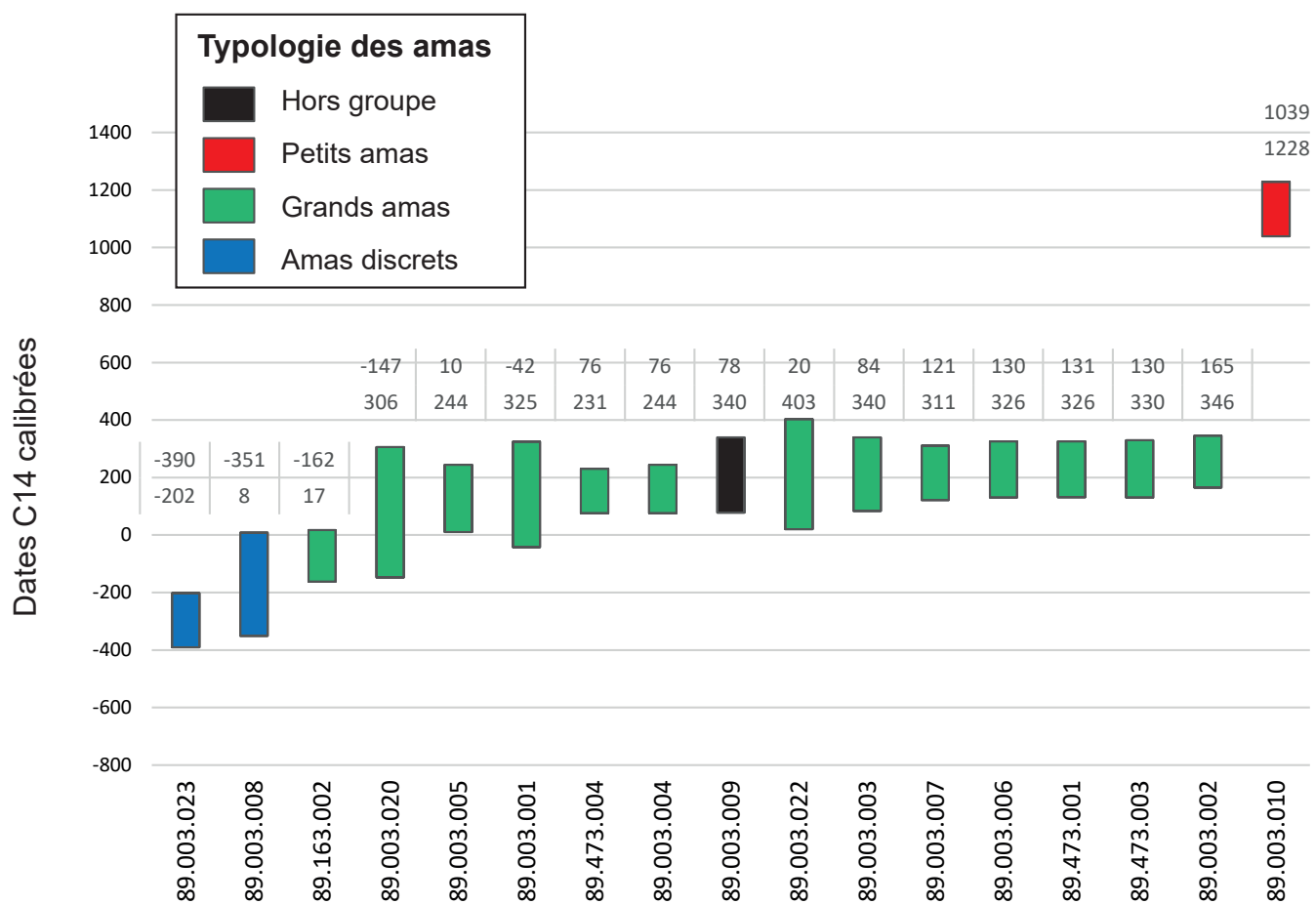


Figure n°68. Montholon "Bois des Ferriers", dates radiocarbone calibrées des amas, par groupe.

5.3. Résultats des prospections géophysiques menées sur trois amas de déchets à Saint-Fargeau "Bois de Bailly".

Christelle Sanchez

5.3.1. Objectifs

Lors de cette campagne 2020, plusieurs méthodes de prospections géophysique ont été mises en place afin de caractériser trois amas de scories détectés lors de prospections de surface (fig. 71). Bien que la spatialisation des différents épandages de mobilier soit bien documentée, la structure même de ces ferriers était mal connue sans la mise en place de sondage de fouille.

Par conséquent, l'application de méthodes géophysiques pour ce type de structure revêtait plusieurs objectifs. Le premier consistait en une cartographie planimétrique des vestiges présents en sous-sol, et de tenter de déterminer ou tout du moins d'aborder la question des restitutions 3D du sous-sol. Le second consistait à permettre de mieux cibler le projet d'une fouille extensive pour la campagne 2021 sur les ferriers étudiés. Par conséquent, afin de répondre à ces deux questions nous avons mis en place des prospections magnétiques et électromagnétique.

La méthode magnétique a été choisie en raison de sa très grande efficacité dans la détection de vestiges liés aux arts du feu. Ce type de prospection est particulièrement bien adapté pour une première délimitation des vestiges paléométallurgiques et paléosidérurgiques en raison de la présence de magnétite dans les restes tels que les scories, fours etc. La prospection électromagnétique quant à elle permet de renseigner, via la conductivité électrique, la présence de zones non conductrices. Ces dernières peuvent varier pour des raisons géologiques, pédologiques, mais signalent également la présence de structures en dur (murs par exemple). La mise en place d'une prospection électromagnétique permet aussi de documenter via la susceptibilité magnétique la présence de changements granulométriques du sédiment ainsi des traces de pollutions (plomb, cadmium et zinc entre autre). La principale raison de son emploi pour notre démarche sur les amas de scories est de détecter plus finement les zones d'accumulations (qui se manifesteront avec une susceptibilité magnétique élevée). Cette démarche a été effectuée sur deux ferriers protohistorique (sites discrets). Nous avons également effectué des mesures magnétiques sur un ferrier de plus faible ampleur (petit site) afin de permettre des comparaisons morphologiques entre les différentes structures.

Principe des méthodes géophysiques employées

La prospection géophysique en archéologie est basée sur un principe très simple. À une structure archéologique correspond un contraste dans les propriétés physiques entre cette structure et le milieu (Kvamme 2001). Ce contraste peut parfois être suffisant pour affecter le comportement d'une grandeur physique que l'on mesure à la surface (en prenant évidemment en compte le contexte d'utilisation des méthodes) (Hesse 1979). L'application de ces méthodes géophysiques permet d'obtenir rapidement et de manière non destructive des informations sur la nature des éléments en sous-sol.

Principe de la méthode magnétique

Les prospections magnétiques mesurent les valeurs de l'amplitude du champ magnétique terrestre ou de ses composantes (Scollar *et al.* 1990, Aspinall *et al.* 2008). Les variations d'amplitude du champ magnétique à la surface de la Terre possèdent trois origines (Blakely 1996) :

- Le champ magnétique interne assimilable à un champ dipolaire aussi appelé champ de Gauss (actuellement, le moment dipolaire de ce champ est caractérisé par une orientation décalée de $11,5^\circ$ par rapport à l'axe de rotation de la Terre). C'est celui dont on parle dans le cadre des inversions du champ magnétique, il est stable dans le temps et dans l'espace à l'échelle d'une prospection. Du fait de sa nature dipolaire, l'amplitude du champ à la surface terrestre peut varier de 20 000 à 60 000 nT.

- le champ magnétique externe, conséquence des interactions entre l'ionosphère et les vents solaires. Il est notamment à l'origine des orages magnétiques qui peuvent conduire à des fluctuations erratiques et importantes du champ magnétique local, rendant l'interprétation des mesures difficiles (variations rapides, jusqu'à 1000 nT durant quelques minutes).

- les anomalies du champ magnétique liées aux contrastes d'aimantations présents localement, et dont les structures archéologiques sont des exemples. Ce sont ceux que l'on veut mettre en évidence par la prospection, leur amplitude varie entre quelques dixièmes et quelques centaines de nanoteslas. Cette méthode est capable de mettre en évidence des vestiges de nature très différente. Il est possible de distinguer grâce aux caractéristiques des anomalies plusieurs types de structure enfouies, construites (murs, sols dallés...) ou en creux (fossés, fosses, trous de poteaux...). Cette méthode permet également de détecter des amas de terres cuites (tuiles et de briques) et les fours qui possèdent une aimantation thermorémanente (ATR) de forte intensité. Le principal inconvénient de la méthode est sa sensibilité à de nombreuses causes de perturbations statiques (ferrailles erratiques, clôtures métalliques) ou variables (environnements urbains et industriels). Par ailleurs, les dimensions d'une structure ne peuvent pas être directement extrapolées de celles de l'anomalie qu'elle génère : la profondeur d'enfouissement affecte en effet l'extension spatiale des anomalies (Ernenwein, Hargrave 2009).

Principe de la méthodes électromagnétique basse fréquence.

Il existe deux grands types de méthodes électromagnétiques suivant les fréquences f de variation du champ électromagnétique :

- Les méthodes électromagnétiques en basses fréquences ayant pour objectif de déterminer la répartition des matériaux au sol à travers la variation de leur résistivité

- Les méthodes électromagnétiques en hautes fréquences ayant pour objectif de déterminer la répartition des matériaux du terrain principalement à travers les variations de la permittivité (Lagabrielle 2007).

Le terme électromagnétique désigne un phénomène qui met en évidence des variations dans le temps et combine l'étude des champs magnétiques et électriques. Tous ces phénomènes sont décrits dans les équations de Maxwell et Lorenz (Aspinal *et al.* 2008, Kapustin *et* Witten 2007, Witten 2017).

La prospection électromagnétique basse fréquence

La méthode électromagnétique basse fréquence permet de mesurer simultanément les propriétés électriques et magnétique des sols en mesurant la conductivité apparente (en mS / m) et la susceptibilité magnétique (en ppt) (Tabbagh, 1986).

Les données de conductivité électrique traduisent les hétérogénéités et les variations de faciès du proche sous-sol. Le système de mesure, appelé conductivimètre, comprend deux transducteurs (dipôles magnétiques constitués d'une boucle de courant) reliés au boîtier de contrôle. La source génère un champ magnétique primaire à une fréquence donnée. Lorsque le champ primaire rencontre dans le sol un milieu conducteur, un champ secondaire est généré et détecté par le système de mesure. Le rapport de la composante verticale du champ secondaire en quadrature par rapport au champ primaire est proportionnel à la conductivité apparente σ dont l'unité est

le Siemens/mètre. La conductivité apparente est l'inverse de la résistivité apparente ρ exprimée en ohm/mètre (Scollar et *al.* 1990).

La susceptibilité magnétique est une propriété du sol dont les variations peuvent avoir une origine naturelle, pédologique ou géologique. Celle-ci est particulièrement intéressante car elle constitue un marqueur anthropique qui peut mettre en évidence une occupation humaine dont l'activité aurait amplifié les propriétés magnétiques du sol et peut donc faciliter l'interprétation en faisant la différence entre les structures géologiques vues grâce à la conductivité apparente et les structures anthropiques.

Matériel employé, protocole et enregistrement des données de terrain

Les acquisitions magnétiques ont été réalisées à l'aide d'un Grad 601 de chez Bartington (UMR6249 Chrono-environnement). La méthode électromagnétique basse fréquence a été quant à elle réalisée avec un mini CMD explorer de chez GF instrument (UMR5133 ArchéOrient).

Les relevés géophysiques ont été précédés par un nettoyage de l'ensemble des parcelles prospectées à savoir plus de 6000 m², des troncs et souches tombés au sol. Cela a mobilisé l'ensemble de l'équipe soit 7 personnes durant 2 jours. Les relevés ont ensuite été effectués avec le concours de Hervé Laurent, Sylvie Laurent, François Magar et Jean-Pierre Piétak. L'implantation topographique des rectangles et carrés d'intervention pour la prospection géophysique ont été mis en place par Patrick Nogues de l'INRAP.

Les protocoles d'acquisitions ont été documentés de manière synthétique via des fiches de prospections divisées en quatre parties concernant (Sanchez *et al.* 2020) :

- la localisation de l'intervention
- l'enregistrement topographique
- les informations de terrain
- les traitements, les logiciels employés et les fichiers générés.

Des fiches croquis, associées à chaque fiche protocole, viennent compléter l'enregistrement des différents blocs, mais permettre aussi des remarques liées à l'environnement de l'acquisition (Annexe 2).

5.3.2. Résultats et interprétations des acquisitions sur les amas 89.344.020 et 040.

Plusieurs méthodes géophysiques ont été employées pour ce secteur. Il s'agit des méthodes magnétique et électromagnétique. La prospection magnétique a été effectuée sur une surface de 6150 m² et la prospection électromagnétique couvre une surface de 1950 m² (fig. 1). Les deux méthodes se superposent sur les secteurs d'intérêt. En effet, les résultats de la prospection magnétique ont permis de guider l'implantation de la prospection électromagnétique.

Les résultats de la prospection magnétique

L'interprétation des cartes produites peut se faire en deux phases, la première étant strictement géophysique (description des anomalies physiques), la deuxième consistant à tirer une interprétation archéologique des résultats. Les résultats de la prospection magnétique (fig.2) permettent de distinguer 3 types d'anomalies.

Les premières correspondent aux anomalies dipolaires fortes concentrées représentées sous la forme de polygones aux morphologie variées. Les deuxièmes se rapporte à une série d'anomalies dipolaires au contraste positif et enfin les troisièmes à des anomalies dipolaires au contraste négatif (fig. 72).

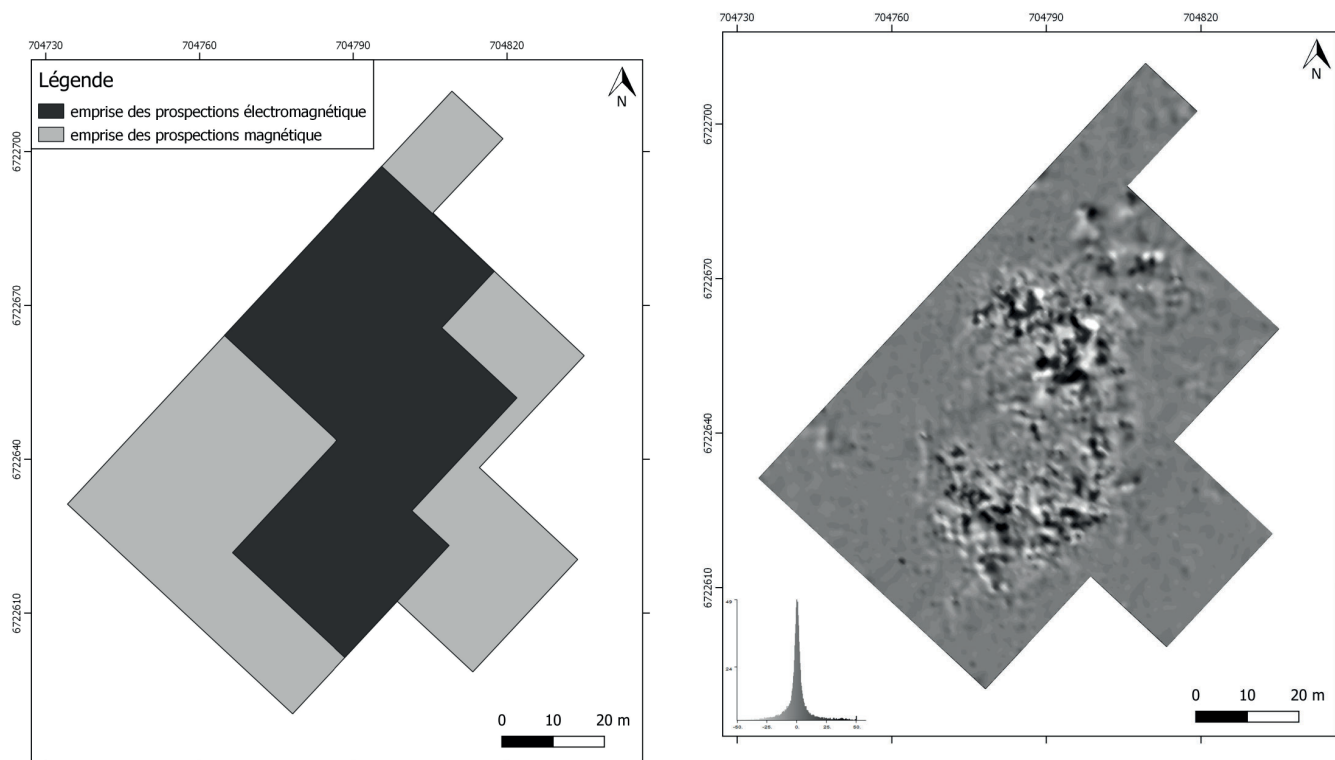


Figure n°72. Emprises des prospections magnétique et électromagnétique réalisées sur les ferriers 89.344.020-040 (gauche), et résultats de la prospection magnétique (droite).

Les anomalies dipolaires forte A1 sont les éléments se rattachant directement à une activité artisanale (fig. 73). En effet, ce type d'anomalie est souvent associé à des structures de combustion et/ou une accumulation de mobilier magnétique. Nous interprétons ces concentrations d'anomalies comme étant de potentiels amas. Concernant les anomalies ponctuelles annexes A2 (fig. 73) ; il pourrait s'agir de fosses de rejet.

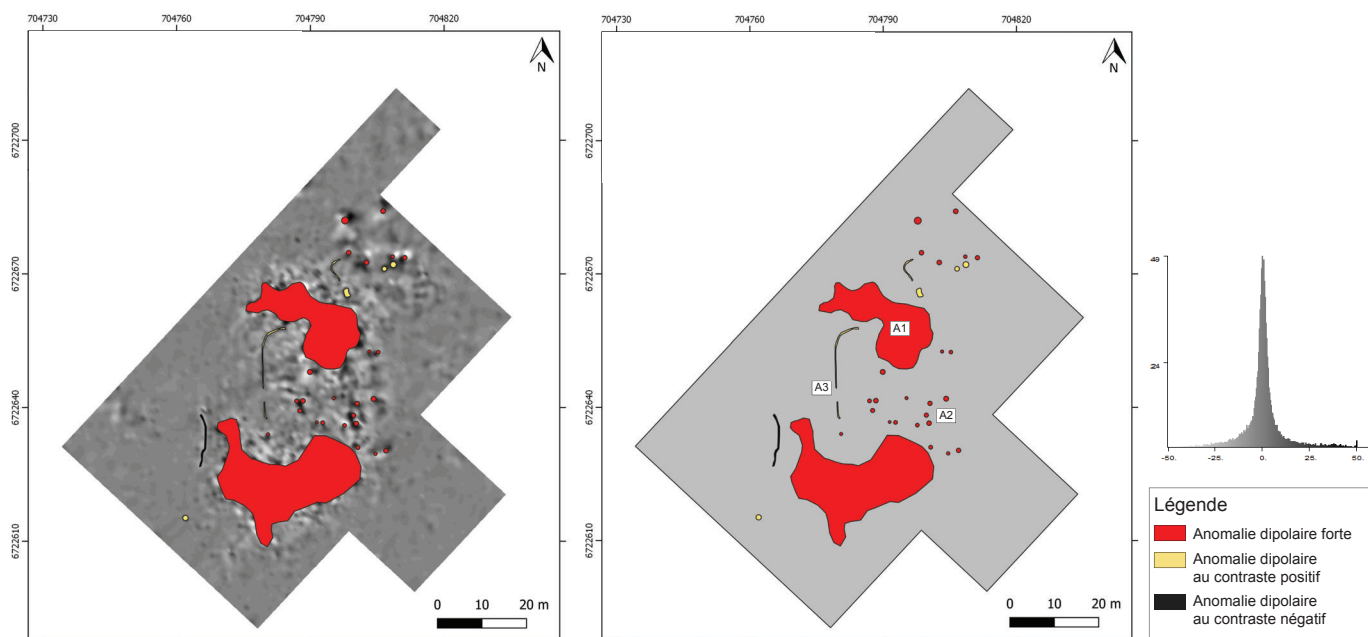


Figure n°73. Interprétation de la prospection magnétique

Des anomalies linéaires A3 (dipolaire au contraste négatif et positif) (fig.73) pourraient laisser penser la présence d'éléments structurant l'espace des ferriers tels que des chemins ou encore des limites de type enclos.

La cartographie magnétique met en évidence une zonation particulière donnant de premier indices quant à l'emprise des amas issus de l'activité sidérurgique. Les résultats révèlent des zones bien distinctes qui pourraient fonctionner au même moment et être reliées par des structures linéaires (chemin ?). Des anomalies dipolaires forte et ponctuelles semblent se trouver en marge des zones les plus denses en anomalies. Peut-être avons-nous ici la localisation des amas et à leur périphérie la trace d'autres activités ? Cependant, si les données de prospection magnétique renseignent de manière générale assez bien sur l'organisation des espaces de production du fer elles ne peuvent s'employer seules pour caractériser les différentes structures (Bonnamour et al. 2007)

Les résultats de la prospection électromagnétique

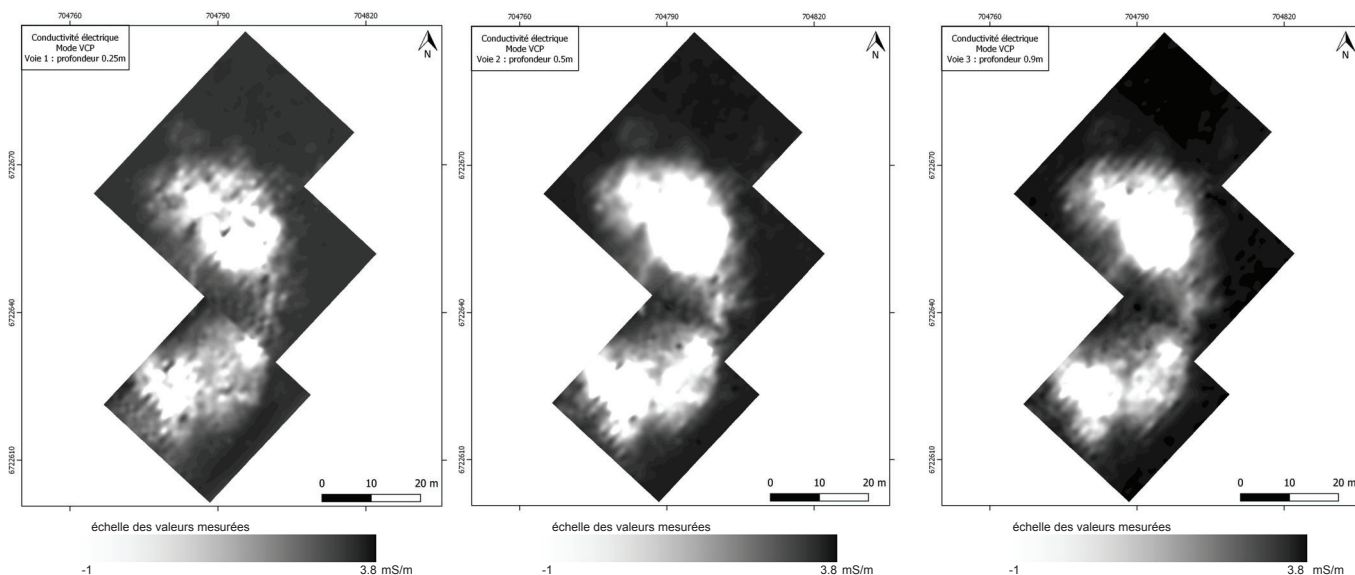


Figure n°74. Cartes de conductivités sur 3 profondeurs - prospection électromagnétique

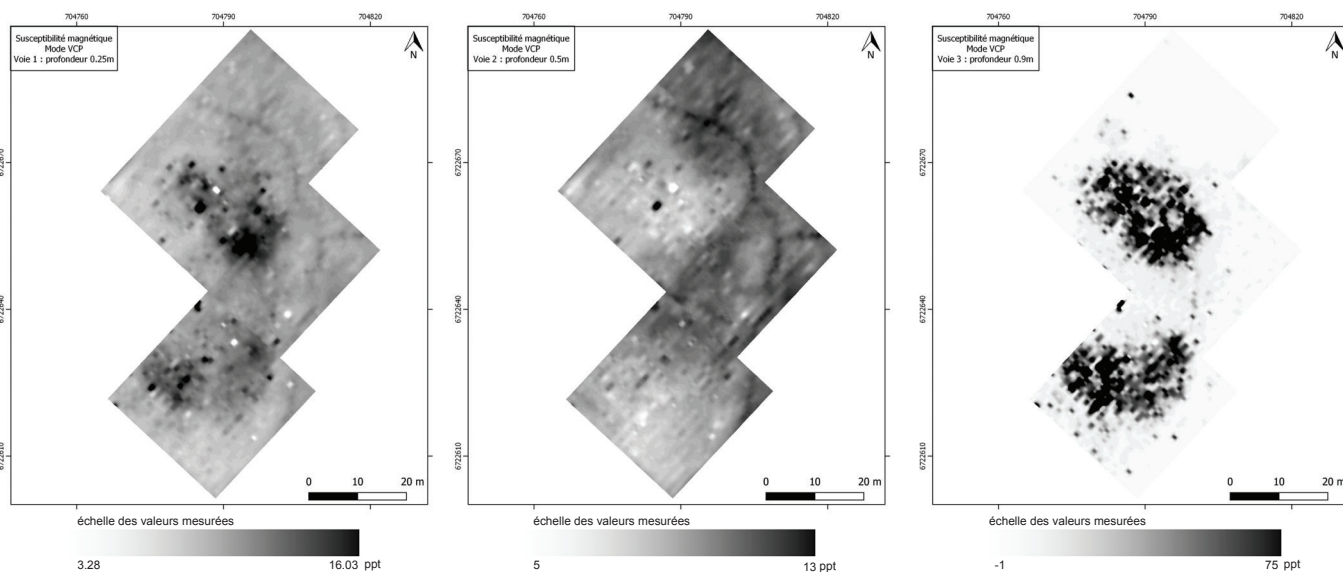


Figure n°75. Cartes de conductivités sur 3 profondeurs - prospection électromagnétique

Les résultats de la prospection électromagnétique permettent d'éditer à la fois des cartes de conductivité électrique (fig. 74), mais aussi de susceptibilité magnétique (fig. 75) sur 3 profondeurs estimées. Chacune d'entre elle a fait l'objet d'une interprétation individuelle.

La conductivité électrique

Sur les cartes de conductivité, il est possible de distinguer la présence de 3 zones non conductrices B1-B2-B3 (fig. 76-77-78) Celles-ci ne semblent pas s'interrompre sur les dernières profondeurs mesurées et pourraient donc se poursuivre au-delà de 90 cm de profondeur. En effet, les cartes électromagnétiques générées avec notre appareil permettent d'avoir une notion de profondeur mais ne présentent pas de résultats en « tranches » comme pourrait le faire le radar-sol. Les éléments mesurés en profondeur prennent en compte les anomalies mesurées précédemment. Ainsi, le volume d'anomalie estimé pour la voie trois correspond aux anomalies présentes entre 0 et -90 cm.

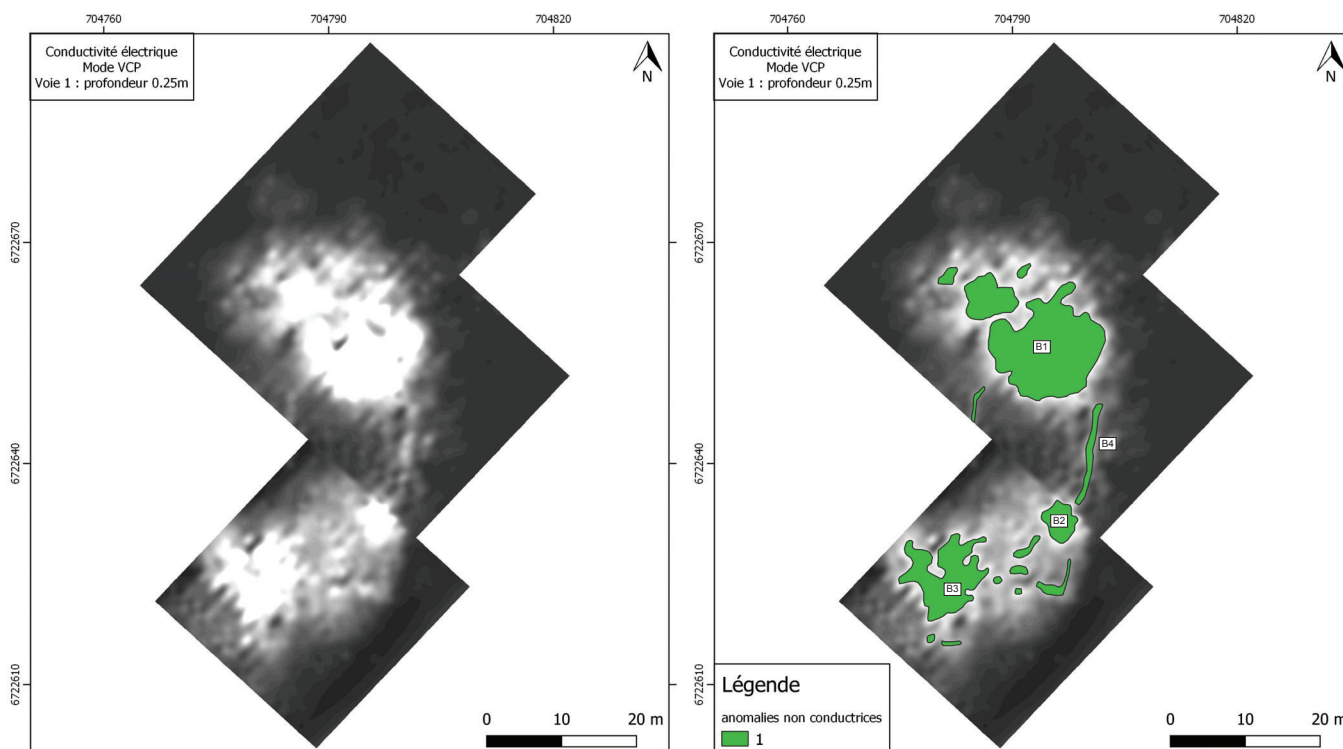


Figure n°76. Cartes de susceptibilité sur 3 profondeurs - prospection électromagnétique

Néanmoins, il est possible d'apporter de premiers éléments sur la morphologie et la nature des anomalies mesurées. Les zones B1, B2 et B3 semblent correspondre à des amas de scories dont les pourtours sont irréguliers. Ces derniers apparaissent comme étant non conducteur en raison des propriétés drainantes de l'amas. Ce type de matériaux laisse passer l'eau plus en profondeur permettant de mettre en évidence ce contraste entre des zones plus humides liées au sédiment et les zones d'amas bien moins humides. L'amas B1 semble plus magnétique que ceux présents au sud. Sa fonction ou tout du moins la concentration ou la nature des déchets pourraient être différentes.

Ces ensembles semblent être reliés entre eux par des anomalies linéaires B4 (fig. 76-77). Celles-ci pourraient matérialiser une emprise quadrangulaire d'environ 15 m par 26 m. Il pourrait s'agir d'un enclos délimitant un espace particulier. Cependant, ces anomalies pourraient également correspondre à un système de chemins liant là encore les espaces entre eux comme la prospection magnétique le laisse supposer.

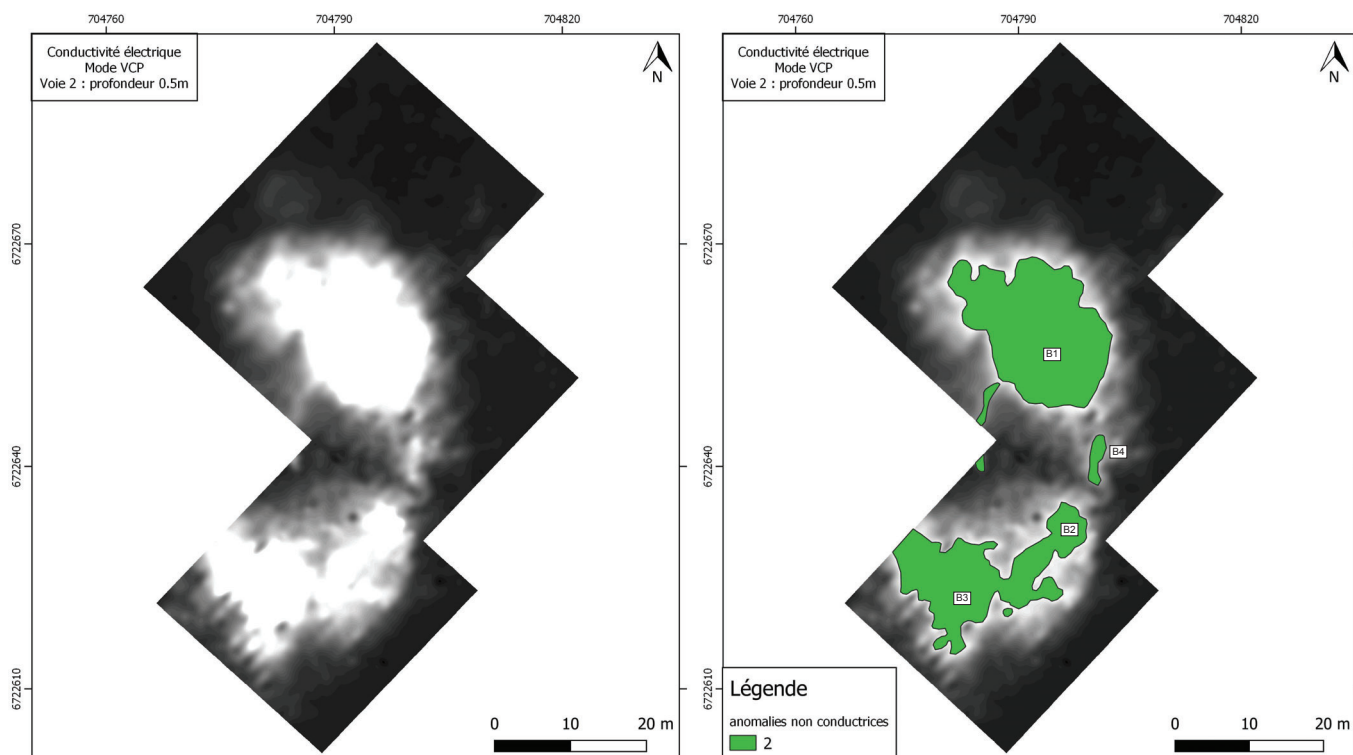


Figure n°77. Interprétation de la carte de conductivité entre 0 et 25 cm de profondeur.

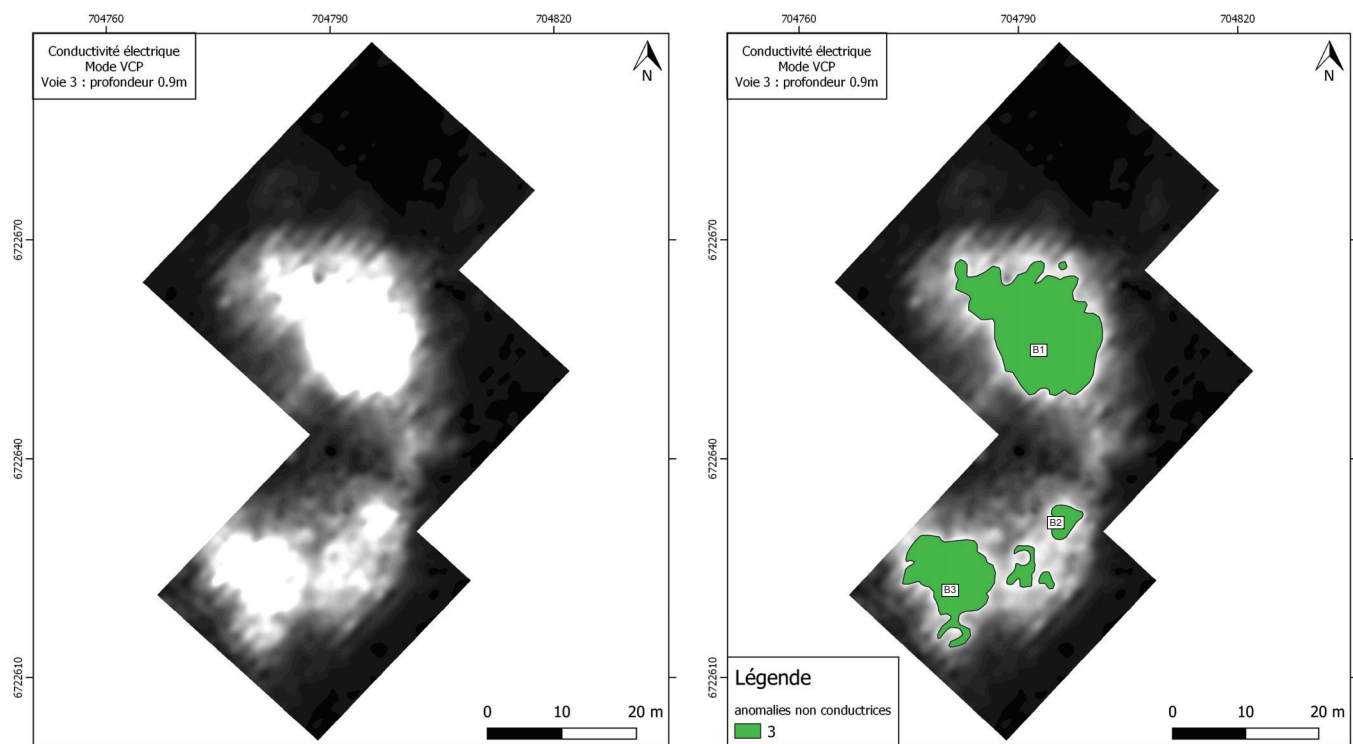


Figure n°78. Interprétation de la carte de conductivité entre 25 et 50 cm de profondeur.

L'apport de la prospection électromagnétique pour estimer les volumes approximatifs des amas de scorie semble être viable, mais nécessite encore l'apport de données mais aussi et surtout la poursuite de cette approche intégrée. La méthode électromagnétique permet ainsi d'avoir un bon degré de précision pour la cartographie de ces volumes du point de vue planimétrique sur de faibles profondeurs. Néanmoins, il faut rester vigilant lors des estimations de volume et prendre en compte l'hétérogénéité des éléments pouvant être présents dans ces amas.

De plus, si l'on part du principe que pour calculer le volume de scorie il convient de calculer le volume compris entre la surface et la base des scories (Florsh *et al.* 2012, Florsh *et al.* 2017), nous ne pouvons pas encore répondre à cette question pour cette année. En effet, il nous manque encore la base des scories pour pouvoir initier les calculs. Il conviendrait donc de revenir étoffer les estimations de profondeur en mettant en place des sondages électriques (ERT) de manière systématique afin de confronter les deux types de données. La méthode radar pourrait aussi être efficace en fonction de l'antenne de mesure choisi et permettrait d'affiner encore la précision de nos données.

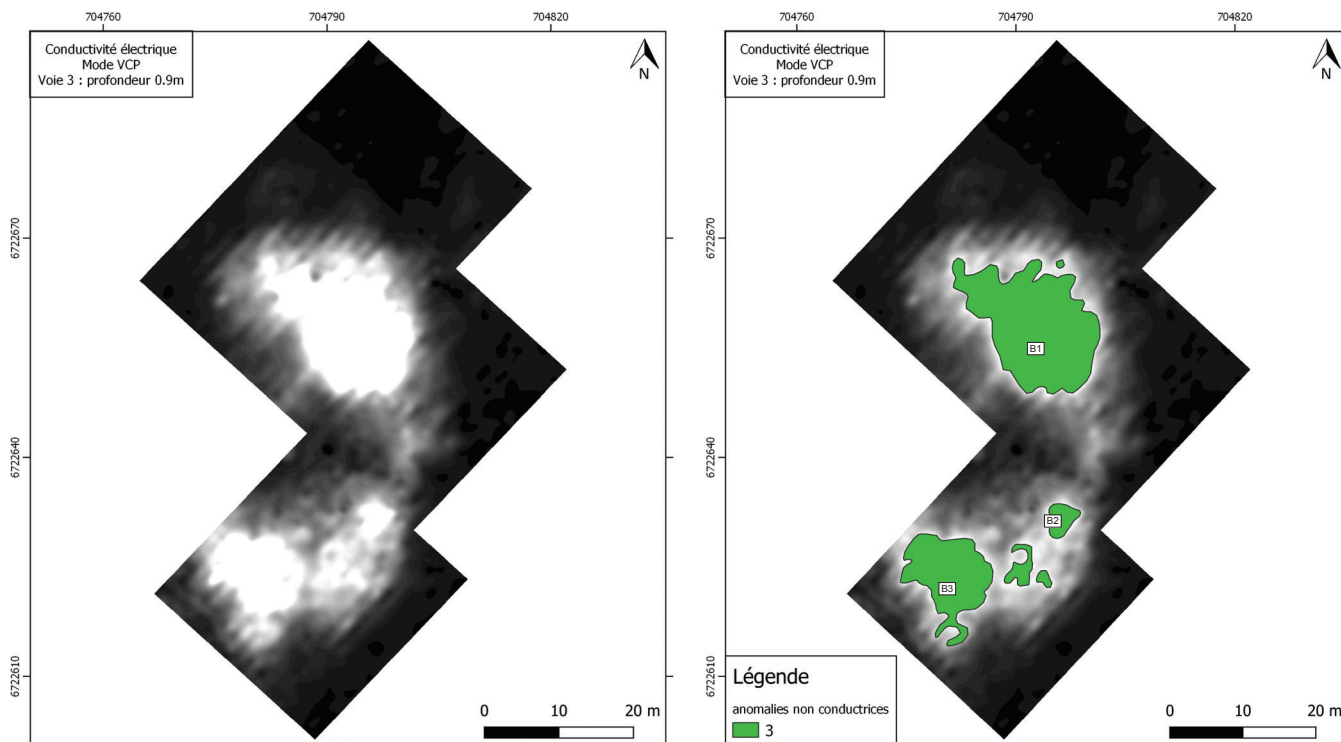


Figure n°79. Interprétation de la carte de conductivité entre 50 et 90 cm de profondeur.

La susceptibilité magnétique

Les résultats de la susceptibilité magnétique permettent d'ajouter des éléments de contexte à notre acquisition. Trois types d'anomalies ont pu être mises en évidence : les anomalies présentant une susceptibilité magnétique élevée, les anomalies de susceptibilité magnétique avec un signal diffus et les anomalies avec une susceptibilité magnétique faible. Seules deux cartes de profondeurs estimée sont retenues pour la susceptibilité magnétique et concernent les deux premières profondeurs (fig. 79 -80).

Les anomalies au signal diffus C1 correspondent à un des changements topographiques actuels (fig. 79 -80). En effet, l'ensemble de la zone prospectée est quadrillée de manière irrégulière par des fossés de drainage qu'il a fallu franchir lors des acquisitions de terrain.

Plusieurs types d'anomalies semblent corrélés avec les zones d'amas détectée en prospection magnétique. Certaines, comme les anomalies ponctuelles à la susceptibilité magnétique forte C2, se retrouvent également dans ces zones d'amas. D'autres anomalies ponctuelles à la susceptibilité magnétique faible C3 se retrouvent toujours légèrement en périphérie des zones d'amas de scories

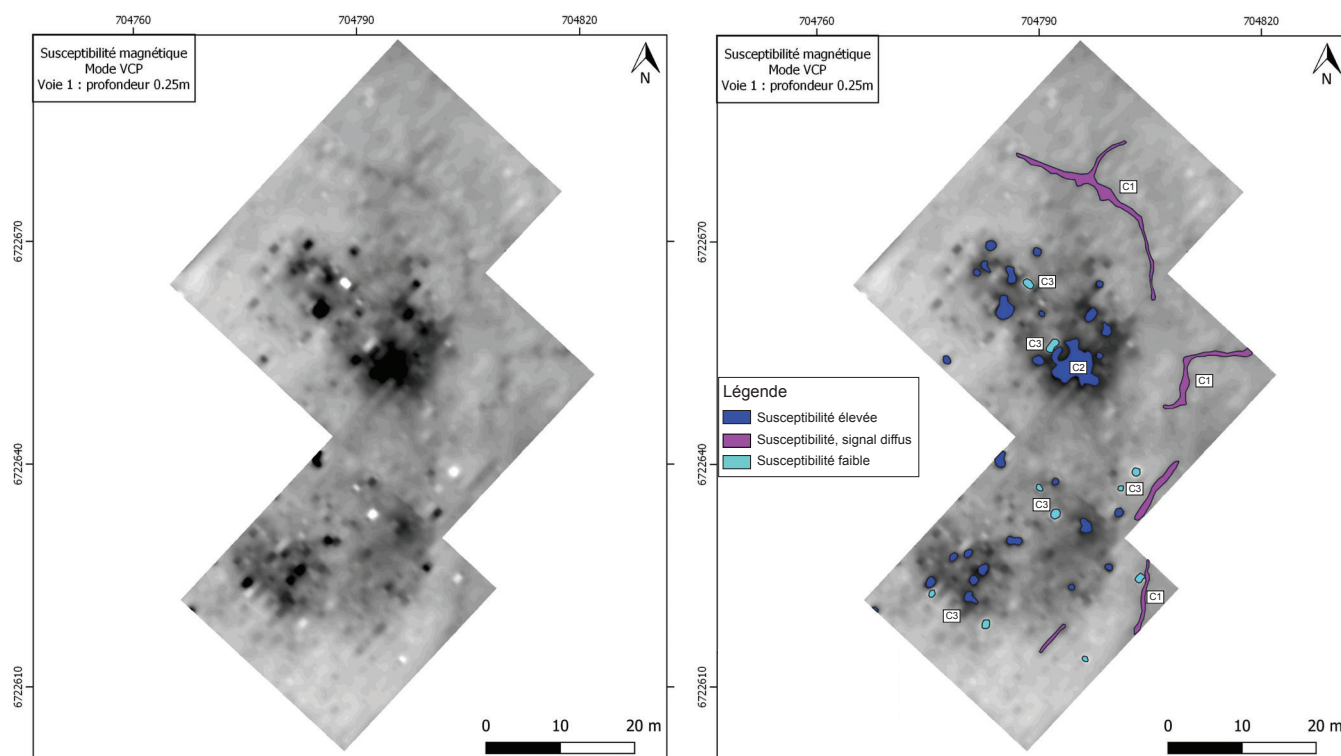


Figure n°80. Interprétation de la carte de susceptibilité entre 0 et 25 cm de profondeur.

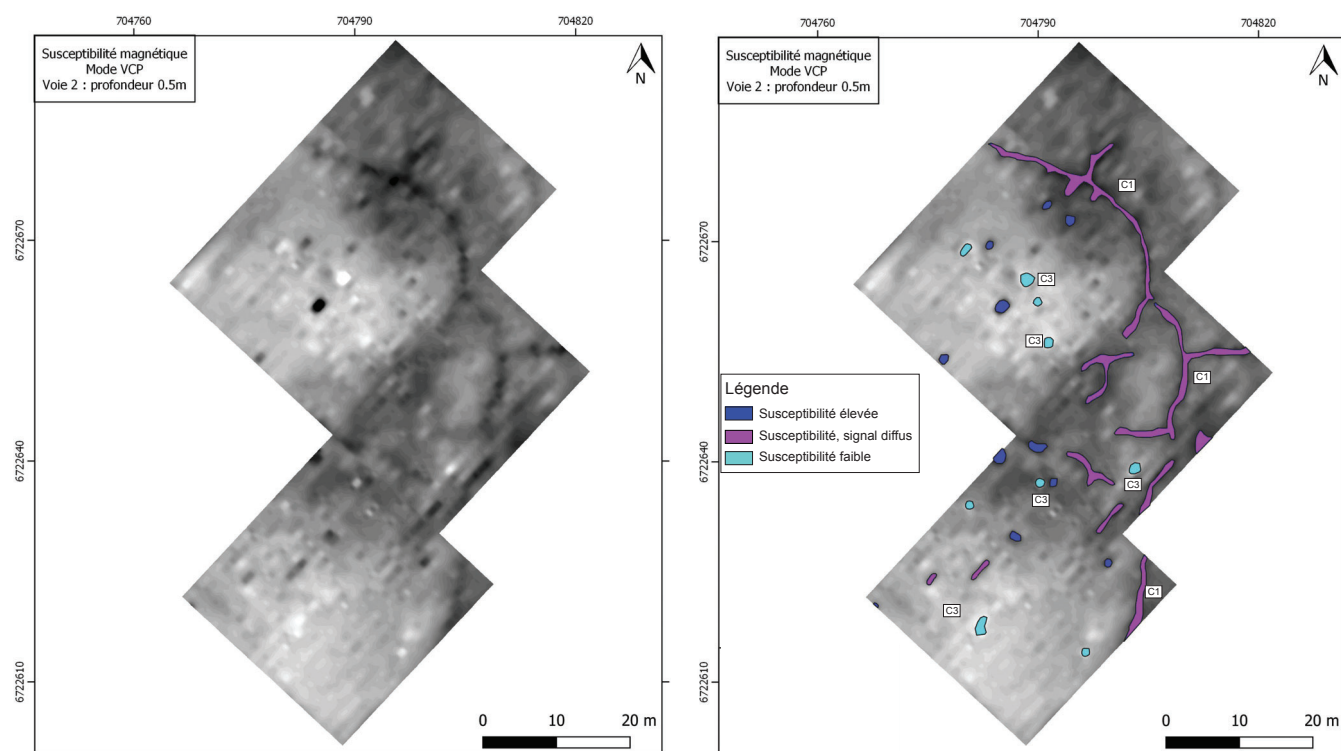


Figure n°81. Interprétation de la carte de susceptibilité entre 25 et 50 cm de profondeur.

Les anomalies C2 semblent bien correspondre avec les anomalies dipolaires fortes et attesteraient la présence d'accumulations de mobilier de type scories (fig. 79).

Les anomalies C3 posent question en raison de leur positionnement en marge (fig. 79 -80). En effet, les fours peuvent se retrouver en marge des zones de rejet.

On sait que la susceptibilité magnétique est l'expression de l'aimantation transmise par le substrat, qui est influencée par le champ magnétique (Hulin et al. 2012, Petronille 2009). De plus, la susceptibilité magnétique est sensible, entre autre à la température (Marmet et Bina, 1999). Ainsi, plus un matériaux (tel que par exemple du fer) va être chauffé, plus sa susceptibilité magnétique va augmenter jusqu'à atteindre le point de Curie. D'un point de vue physique le point de Curie ferromagnétique correspond à la température où l'aimantation spontanée va progressivement tendre vers zéro. Nous assistons alors à des valeurs de susceptibilité magnétique qui diminuent progressivement.

Si nous supposons que les anomalies ponctuelles avec des valeurs faibles de susceptibilité magnétique C3 sont à rattacher à de potentiels fours, nous pourrions envisager que ces derniers aient fourni une chauffe assez importante pour atteindre le point de Curie et perdre ainsi l'aimantation des différents matériaux ferromagnétiques. En effet, les valeurs de susceptibilité magnétique augmentent lentement jusqu'à 400°C, et plus rapidement jusqu'à 600°C (pic de Hopkinson : Le Borgne, 1960). Dans un contexte d'oxydation, la valeur de susceptibilité magnétique pourrait diminuer. Cette diminution pourrait être due à la transformation de la maghémite ou de la magnétite en hématite, qui est moins magnétique que l'ancien oxyde de fer (Marmet, 2000 ; Petronille, 2009).

Cependant, cette hypothèse pour discriminer la présence des fours ne pourra se confirmer que par la mise en place de prélèvements sédimentaires et d'analyses solides mais aussi et surtout par la fouille.

5.3.3. Résultats et interprétations des acquisitions sur l'amas 89.344.014

Les résultats de la prospection magnétique

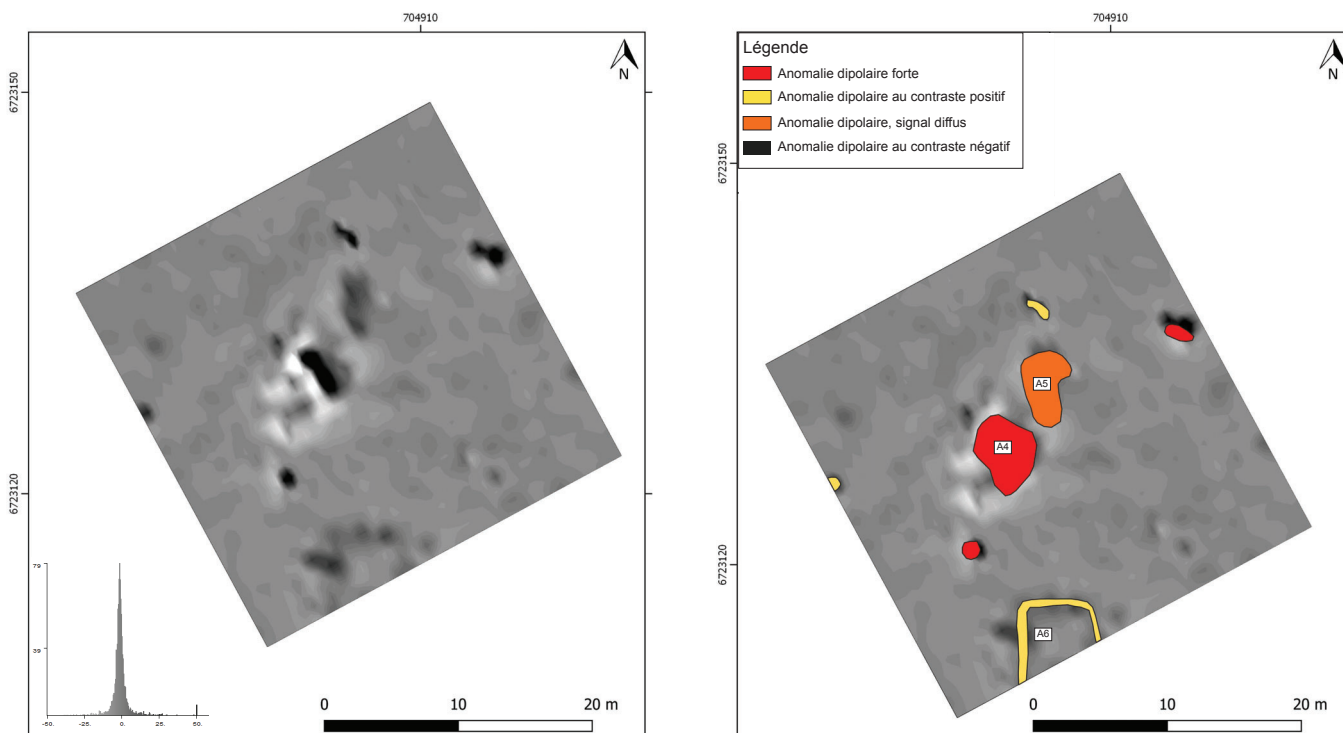


Figure n°82. Résultats et interprétation des mesures issues de la prospection magnétique du ferrier 89.344.014.

Uniquement prospecté avec la méthode magnétique, ce dernier est de plus faible envergure que le double ferrier 89.344.020 et -040 (fig.82). L'amas 014 a été prospecté sur une surface de 900 m². Sa morphologie plus simple permet d'avancer plus en profondeur dans les interprétations. En effet, comme précédemment nous sommes en présence d'anomalies dipolaires fortes, d'anomalies dipolaires au contraste positif mais aussi d'anomalies dipolaires diffuses. Comme pour les précédent ferriers l'emplacement des amas de scories semblerait se situer à l'emplacement des anomalies dipolaires fortes A4 (fig. 82).

Des anomalies magnétiques de natures différentes permettent de proposer plusieurs hypothèses d'aménagements périphériques. Ainsi nous pourrions envisager la présence d'une fosse A5 dont le comblement serait exempt de mobilier magnétique. De plus, nous pourrions voir en bordure sud du carré prospecté une anomalie au contraste positif A6 matérialisant peut-être une structure légère et quadrangulaire. Il est à noter que la morphologie du ferrier 89.344.014 est très différente de l'ensemble complexe du ferrier 89.344.020-040.

5.3.4. Conclusion

L'apport des différentes méthodes géophysiques propose des informations inédites sur l'emprise spatiale des ferriers cartographiés pour le secteur de St Fargeau. Plusieurs amas ont pu être délimités mais aussi documentés d'un point de vue morphologique sur plusieurs profondeurs. Des hypothèses d'aménagements périphériques sont envisagées mais restent ténues. La poursuite d'investigations et de croisement de méthodes devrait permettre d'avancer sur la localisation des fours associés à ces amas. L'usage de la prospection électrique permettrait de documenter la base de ces amas afin d'en restituer le volume. L'apport de la méthode radar-sol pourrait aussi être préconisée mais le terrain forestier rend la démarche ardue.

5.4. Typologie, assemblages et chronologie des déchets.

Marion Berranger, Marc Leroy, Paul Merluzzo

5.4.1. Typologie des déchets.

A partir des déchets collectés sur l'ensemble de la Puisaye cinq grandes catégories de scories ont été distinguées :

- A : écoulements cristallisés denses,
- B : écoulement cristallisés bulleux,
- C : écoulements à base cristallisée, partie supérieure vitreuse
- D : écoulements vitreux,
- E : scories internes,
- F : scories de fond de four (piégées).

Ces grandes catégories sont subdivisées en sous-types.

Les écoulements cristallisés denses. Scories de type A (fig. 83).

L'ensemble des scories de type A sont cristallisées, de couleur gris mat à gris foncé.

Les scories A1 et A2, sont constituées d'écoulements cordés (ou en cordons), individualisés ou en accumulations plus ou moins épaisses (jusqu'à plusieurs centimètres d'épaisseur), de section circulaire ou légèrement ovale. Plusieurs niveaux d'écoulements cordés plus ou moins enchevêtrés peuvent être superposés et peuvent former des plaques de dimensions pluri-décimétriques. La structure interne est dense, avec peu de vacuoles visibles. Une fine strate de bulles infra-millimétrique est parfois présente sous la surface supérieure.

A1. Ecoulements cordés dont les limites sont marquées en surface et dans la masse.

Le critère de caractérisation essentielle de ces scories est l'individualisation très nette des cordons en surface et en section, ces limites étant marquées par des vides (bulles) de taille millimétrique à centimétrique.

A2. Ecoulements cordés dont les limites sont visibles en surface mais estompées dans la masse.

Contrairement au type précédent, les écoulements cordés (ou en cordons) ont des limites qui ne sont visibles qu'en surface supérieure, mais ne s'observent plus à l'échelle macroscopique dans la masse.

Les écoulements A3 et A4 ne présentent pas de cordons visibles. Les surfaces supérieures sont lisses, parfois faiblement ondulées ou ridées. Les surfaces inférieures semblent mouler le fond d'une cuvette.

A3. Ecoulements non cordés avec grande cavité centrale.

Ce type est caractérisé par une structure interne dense qui contient des cavités, et plus particulièrement une grande cavité horizontale de dimension pluri-centimétrique qui paraît située au cœur de l'écoulement : de fait, une grande partie des fragments se présentent sous la forme de plaquettes d'épaisseur centimétrique, avec une face légèrement concave à surface lisse correspondant à la paroi interne de la grande cavité.

A4. Ecoulements non cordés sans cavité centrale.

Les écoulements les plus complets semblent canalisés en boudins ovale plat de largeur décimétrique. On observe parfois un écoulement cordé fin juxtaposé à l'écoulement en boudin. Certains exemplaires présentent une stratification. Ils ont d'abord été formés par un écoulement

en U, ce dernier ayant été rempli seulement de manière partielle dans un second temps ce qui confère à ces pièces un profil en vagues assez marquées.

La structure interne est dense, de couleur gris foncé. Certaines sections contiennent des cavités arrondies plus ou moins allongées réparties dans la masse paraissant séparer des limites estompées d'écoulements. D'autres sections sont totalement denses sans cavité macroscopique. Parfois une strate noire vitreuse, d'épaisseur millimétrique à pluri-millimétrique, apparaît sous la surface supérieure, notamment lorsque celle-ci à une morphologie ridée.

Type A1 : écoulements cordés marqués



Type A2 : écoulements cordés estompés



Type A3 : écoulements non cordés et grande cavité centrale



Type A4 : écoulements non cordés et sans cavité centrale



Type A5 : empilement d'écoulements en boudins canalisés

Figure n°83. Typologie des écoulements cristallisés denses. Type A.

A5. Écoulements en boudins canalisés cristallisés denses.

Il s'agit de blocs de scories de dimensions décimétriques à pluri-décimétriques, constitués d'un empilement d'écoulements en forme de boudins de section circulaire à ovale d'environ 50 mm de diamètre, accolés les uns aux autres, et empilés sur plusieurs niveaux. La surface de certains de ces boudins est parfois constituée d'écoulements cordés.

Sur les pièces les plus complètes, les écoulements sont empilés horizontalement à partir d'une cuvette légèrement incurvée. Les plus gros blocs ont la forme d'un rectangle irrégulier. Un des larges côtés présente une « peau » lisse, d'aspect irrégulier et vacuolaire, pouvant encore renfermer des fragments de charbon de bois. Il s'agit probablement d'une partie constituée dans le fourneau. Les boudins sont visibles sur la face opposée et sont tous fragmentaires. La face supérieure est constituée de boudins accolés formant une face plutôt plane.

Des portions d'écoulement en boudin individualisé sont également parfois retrouvées. On peut se demander si les scories canalisées de type A4 ne sont d'ailleurs pas issues de ces gros blocs. Les boudins présentent une structure dense, parfois bulleuse ou micro-bulleuse sous la surface supérieure. Une strate noire vitreuse, d'épaisseur millimétrique à centimétrique est parfois visible sous la surface supérieure et correspond généralement à la partie la plus bulleuse de la section.

Il s'agit de pièces de grande dimensions, et lourdes : la pièce la plus lourde pèse 95 kg et la majorité des fragments pèsent généralement entre 15 et 30 kg. Pour les pièces les plus grandes il a été possible de mesurer sur les sections complètes une largeur comprise entre 55 et 60 cm, une hauteur de 35 cm et une épaisseur voisine de 40 cm.

Deux des pièces les plus complètes ont fait l'objet d'une photo-modélisation (voir chap. 2.2.2). La numérisation des blocs de scorie, et en particulier l'édition de pdf-3D, facilite en premier lieu la lecture des artefacts. A travers une interface dynamique, ces photomodèles dégradés permettent de manipuler des blocs, opération difficilement envisageable dans la réalité au vue de leur masse. La seconde application est ici d'ordre métrologique : quantifier les volumes, qu'il s'agisse des blocs ou de cordons isolés. Les deux blocs mesurent ainsi respectivement 31,2L (Aillant F1.301.SC19) et 23,3L (Aillant F1.301.SC20). Au regard du nombre minimum de cordons par blocs (≥ 47 et > 49), les volumes moyens par cordon sont ainsi de 0,66L et 0,52L (voir annexe XX).

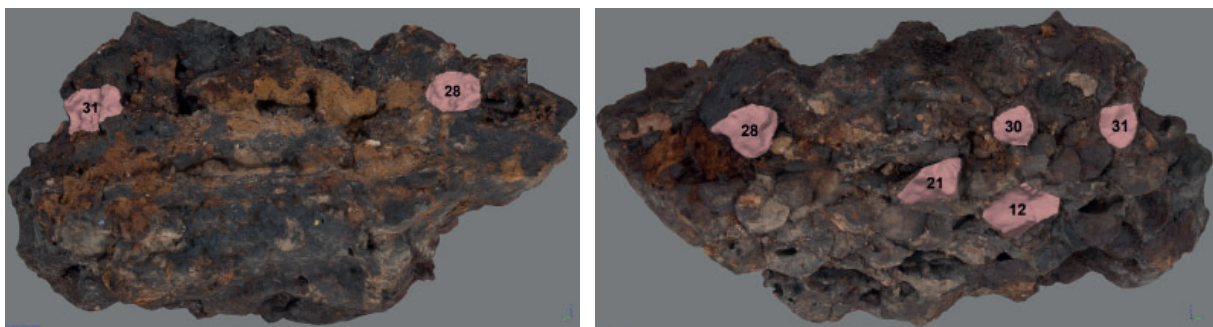


Figure n°84. Aillant-sur-Tholon F1.301.SC20. Localisation des boudins détourés (J.-C. Méaudre)

Les extrémités de cinq cordons ont pu être détourées (Fig. 84 et annexe XX). Le principe étant ici de multiplier la surface d'une des extrémités, ou la moyenne des deux, par la distance séparant ces deux facettes, c'est-à-dire la longueur du cordon. Afin d'obtenir des données significatives, seules les cassures perpendiculaires au cordon ont été prises en compte. Certaines facettes présentent en effet des surfaces accidentées formant une aire totale anormalement élevée. A l'inverse,

certaines éléments, partiellement recouverts par les cordons alentours, présentent des surfaces relativement faibles. Afin de faciliter la lecture du tableau qui suit, les données significatives sont fournies en bleu (Figure 3).

En dernier lieu, cinq tranches isolées ont été détournées. Elles permettent de souligner l'amplitude des sections des cordons. Ce delta, qui va du simple au triple, est assez similaire pour les deux blocs. Bien que les valeurs hautes et basses soient assez similaires sur les deux blocs, les sections semblent de taille beaucoup plus standards sur le bloc Sc20.

A6. Écoulements en fin tuyau cristallisé dense.

Écoulement individuel de section circulaire centimétrique à double centimétrique. La surface de ces écoulements est lisse à faiblement ridée. Ils présentent une structure dense à faiblement bulleuse. Une bulle millimétrique est généralement observée en partie centrale de la section accompagnée par des bulles plus petites dispersées. Ces écoulements sont généralement cassés aux deux extrémités.

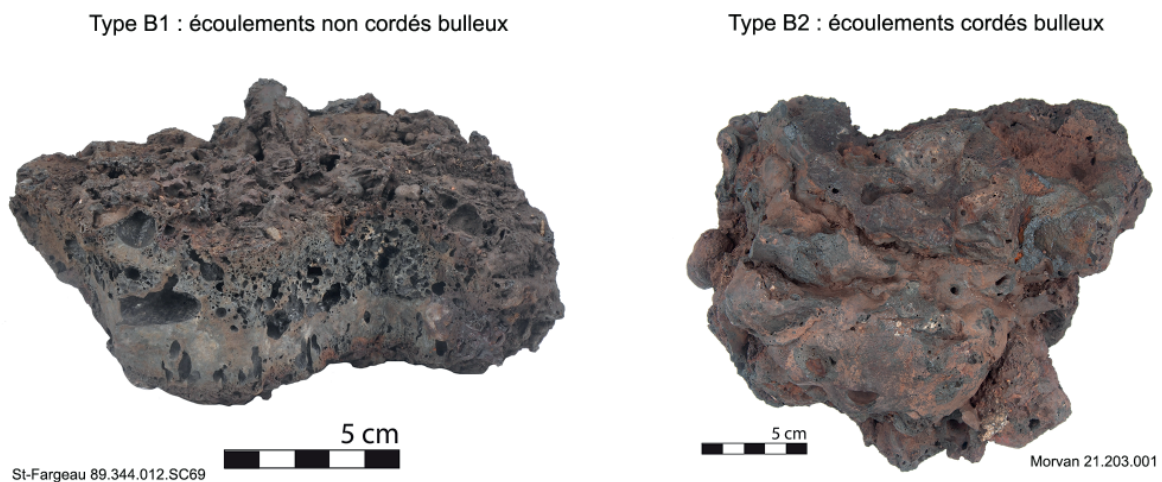


Figure n°85. Typologie des écoulements bulleux (type B)

B. Les scories cristallisées bulleuses. Type B (fig. 85).

Ces scories sont cristallisées de couleur gris clair à rouille. Leur caractéristique commune principale est la forte proportion de bulles qui parcourent les sections. Elles se subdivisent en un type constitué d'écoulements non cordés (B1) et cordés (B2).

B1. Écoulements non cordés bulleux.

Ces déchets correspondent à des accumulations d'écoulements formant un agglomérat de section plano-convexe et de forme générale circulaire. La surface supérieure est lisse ou constituée d'un enchevêtrement de gouttelettes plus ou moins individualisées ou complètement parcourue de bulles aux surfaces desquamées. La surface inférieure convexe est assez dense, et ne comprend qu'une faible proportion de porosités ovoïdales de taille millimétrique. Les deux phases, d'épaisseur similaire, peuvent être séparées par une très large cavité pluri-centimétrique ou par une concentration de bulles centimétriques.

B2. Écoulements cordés bulleux.

Ces scories sont constituées d'écoulements en cordons individualisés, mesurant de 1 à 5 cm de diamètre, isolés ou empilés. Les sections sont parcourues de très nombreuses bulles millimétriques, rondes ou légèrement écrasées. Localement certaines phases sont néanmoins

plus denses et comprennent des bulles plus grosses mais moins nombreuses. Ces scories sont en grande partie cristallisées, mais peuvent s'avérer localement vitreuses.

C. Scories écoulées à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (fig. 86).

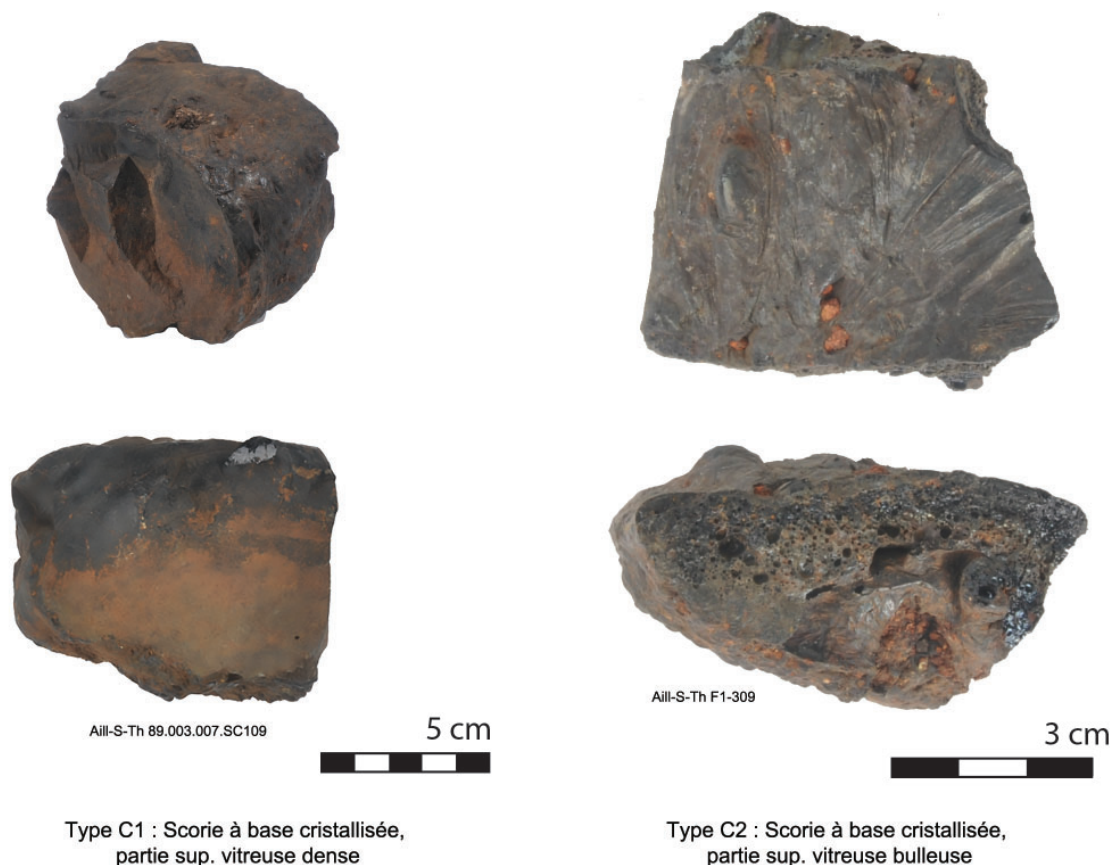


Figure n°86. Typologie des écoulements à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (type C)

Ces scories ont la forme d'écoulement(s) en boudin(s) large(s) et épais, à structure dense sans vacuole macroscopique. Les 2/3 à 3/4 inférieurs sont cristallisés, de couleur grise, et le quart ou le tiers supérieur est vitreux. Les formes évoquent soit des écoulements de section ovale, de largeur et d'épaisseur pluri-centimétriques (largeur mesurées 5 à 10 cm ; épaisseurs mesurées 3 à 6 cm), soit des écoulements plus épais et plus larges (largeur > 8 cm, épaisseur > 6 cm) avec une bordure latérale sub-verticale comme canalisée dans un réceptacle. Certains reliefs évoquent aussi des juxtapositions de plusieurs écoulements en boudins ou en gros cordons. Les surfaces supérieures sont généralement lisses ou légèrement ridées. Les couleurs sont généralement noires à gris brillant.

Une subdivision en deux types repose sur la proportion et la répartition des vacuoles.

C1. Structure vitreuse dense.

C2. Structure vitreuse bulleuse. Les porosités sont généralement réparties en surface supérieure et représentent moins du tiers de la section.



Figure n°87. Typologie des écoulements vitreux (type D)

D. Scories écoulées boudinées vitreuses (fig. 87).

Ces écoulements ont l'aspect de gros boudins de section pluri-centimétrique à décimétrique. Certains semblent canalisés et ont la forme d'ovales plats décimétriques. La matrice est vitreuse, de couleur majoritairement noire, et plus rarement verdâtre et bleuâtre-verdâtre. La section

est souvent constituée d'un litage clair /foncé. Les surfaces montrent des reliefs lobés en forme d'écoulements boudinés, unique ou juxtaposés. De petits graviers blancs de taille millimétrique à centimétrique sont inclus dans la scorie ou adhérent aux surfaces.

Une subdivision entre trois types repose sur la proportion et la répartition des vacuoles.

D1. Structure vitreuse dense à faiblement bulleuse

La structure de ces scories est à la fois dense ou faiblement bulleuse (vacuoles en répartition et densité variées, mais inférieure à 1/3 de la section).

D2. Structure vitreuse bulleuses.

La structure est très bulleuse, avec des porosités ovoïdales dispersées dans toute la section (occupant au moins 50% de la surface). Les surfaces montrent des reliefs lobés à peau plissée et sont le plus souvent gonflées.

D3. Structure vitreuse à base dense et partie supérieure bulleuse

La structure de ces écoulements est dense dans la moitié inférieure et bulleuse dans la moitié supérieure.

E. Scories internes de fourneau à écoulement externe.

Ces écoulements sont souvent fragmentés, ce qui ne permet généralement pas d'en restituer les caractéristiques morphologiques. Il s'agit d'une scorie cristallisée, présentant des surfaces fortement hydroxydées, de couleur noir-rouge à marron foncé. La scorie s'est généralement écoulee sur d'anciens fragments de charbons de bois de taille centimétrique à pluri-centimétrique. Certains conservent encore une partie de la paroi contre laquelle ils se sont formés dans la cuve du bas fourneau.

Une distinction en deux types est effectuée.

E1. Structure compacte

E2. Structure non compacte, comportant de nombreuses inclusions de charbons de bois de tailles centimétriques à pluri-centimétriques au sein de la matrice scorifiée.

F. Scories piégées à la base du fourneau (fig. 88).

Ces écoulements cristallisés, gris denses, se sont accumulés dans une cuve spécifiquement aménagée dans le fond du bas fourneau. Ils constituent généralement des blocs de diamètre et épaisseur pluri-décimétriques. Leur surface inférieure est fréquemment constituée de gouttelettes infiltrées entre de gros fragments de charbons disparus. La surface supérieure peut être lisse à très découpée par une forte porosité.

Trois types ont été différenciés, en fonction de leur compacité. Ils correspondent à des pièces volumineuses, résultant d'une réduction.

F1. Fond de four compact.

F2. Fond de four non compact (forte proportion de porosités vides).

F3. Fond de four riche en charbons.

Quatre sous-types correspondant à des fragments de fonds de four ont été individualisés. Leurs caractéristiques morphologiques différentes s'expliquent par leur fragmentation depuis des emplacements distincts des scories de type F complètes.

F4. Ecoulements individualisés tortueux

F5. Accumulation d'écoulement individualisés tortueux.

F6. Scorie grise rouillée alvéolaire

F7. Scorie grise et rouillée dense

Type F1 : fond de four compact



Dracy 89.147.010.SC1

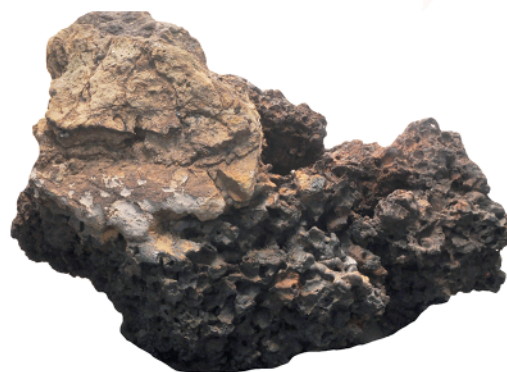


5 cm

Type F2 : fond de four non compact

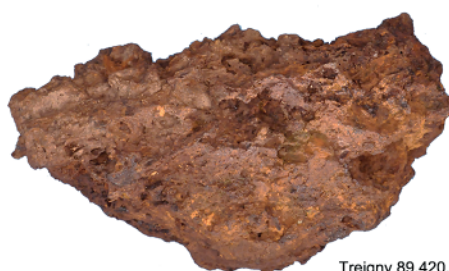


Treigny 89.420.002.SC20



5 cm

Type F3 : fond de four riche en charbon



Treigny 89.420.002.SC20



5 cm

Figure n°88. Typologie des scories piégées (type F)

5.4.1. Assemblage des déchets et types caractéristiques.

Dans le secteur de Montholon (89.003), des prélèvements "en vrac" ont été effectués par seaux de 10 l. (soit entre 1,8 et 25 kg de déchets, et en moyenne 12,6 kg de déchets par prélèvement) au sein des unités stratigraphiques afin d'étudier les assemblages de déchets dans les différentes strates. A l'issue des deux années de sondages menées en 2017 et 2018, 28 prélèvements de 10 litres en provenance de 26 strates (les US 302 et 309 du ferrier 1 ont été échantillonnées à deux reprises) et de 6 amas ont été étudiés (8 sondages distincts).

Etant donné le grand nombre de prélèvements étudiés et la diversité des types et sous-types rencontrés (12 types), une étude statistique multivariée a été réalisée afin d'appréhender la structuration des données, et notamment afin de déterminer les assemblages typologiques récurrents.

Pour ce faire une classification ascendante hiérarchique a été réalisée en prenant en compte les masses de déchets par type et prélèvement (24 pris en compte). Les parois et les minerais, non pertinents typologiquement à ce stade n'ont pas été retenus. Les scories de type A5 en boudins accolés étaient trop lourdes pour être prises en compte. L'étude repose donc sur les seules scories. Le site n°89.003.009, atypique, n'a pas non plus été retenu.

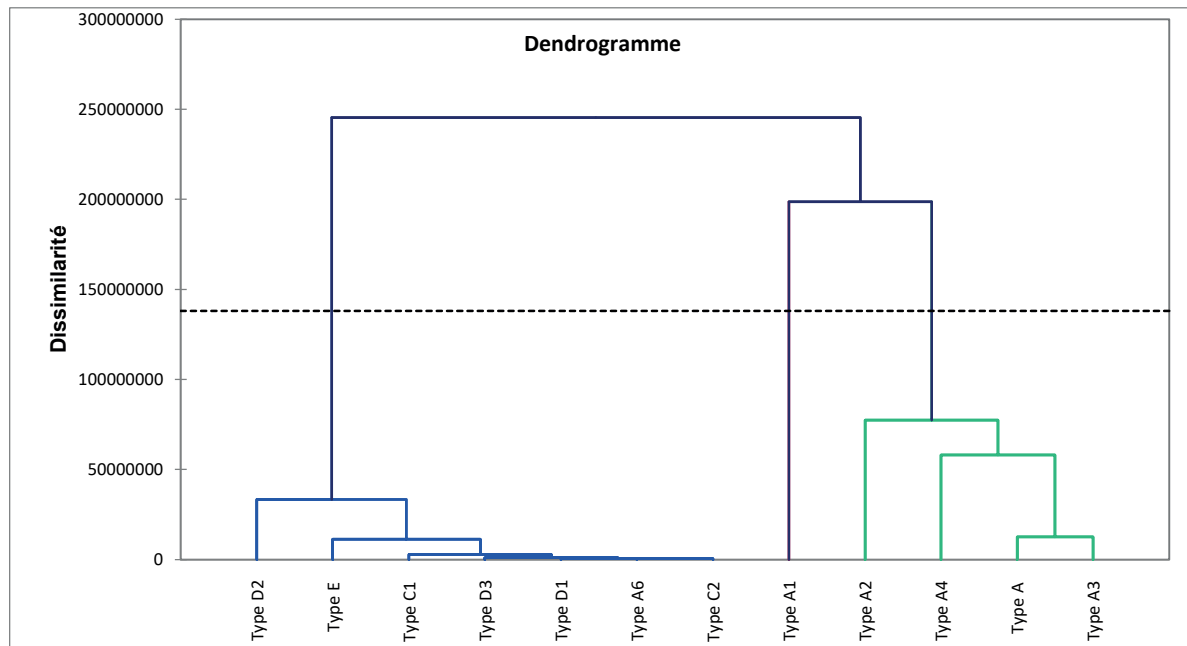


Figure n°89. Classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisée sur les masses de scories par type et par prélèvement effectué en stratigraphie (méthode de ward). 24 prélèvements effectués sur les sites 001, 003, 020 et 005 à Montholon (89.003) ont été pris en compte.

Trois grandes familles d'assemblage de déchets peuvent être individualisées sur cette base :

- les scories de type A2-A3 et A4 sont très fréquemment associées et forment un premier ensemble de déchets cohérent au sein du groupe des scories cristallisées (le type A correspond aux scories non rattachées à un sous-type).
- Les scories de type A1 constituent un groupe typologique bien différencié.
- Les scories vitreuses de type C et D, associées aux types cristallisés E et A6, constituent un autre groupe différencié. Les types E et A6 sont cependant peu représentés et à ce stade assez peu caractéristiques.

Afin de comparer l'ensemble des sites étudiés, que l'on dispose de prélèvements en vrac ou de prélèvements ponctuels, un tableau en présence absence en fonction des types de déchets a été réalisé. Le tableau 90 synthétise, pour l'ensemble des sites étudiés (sondés ou prospectés) les types de déchets rencontrés. Les déchets ont été appréhendés en reprenant les regroupements mis en évidence par la CAH (fig. 89).

n° site	Commune	Lieu-dit	(F) Scories piégées	A5 (scories en boudins accolés)	(A2, A3, A4) Ecmts cristallisés cordés à limites non visibles et non cordés	(C et D) Ecmts ma. vitreux	(A1) Ecmts cordés à limites visibles	(B2) Ecoulement bulleux cordés	(B1) Ecoulement bulleux non cordés	Interprétation
45.141.002	Faverelles	Champs des Beurtes								Amas à scories piégées
45.141.002	Faverelles	Bois des Beurtes								
89.003.022	Aillant-sur-Tholon	Les Reserves								
89.003.023	Aillant-sur-Tholon	Les Boulasseaux								
89.147.010	Dracy	La grande Pâture								
89.220.001	Lavau	La Coutelée								
89.344.005	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.008	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.009	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.016	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.017	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.020	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.021	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.023	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.024	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.025	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.026	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.027	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.028	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.029	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.030	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.031	Saint-Fargeau	Bois du parc								
89.344.033	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.036	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.040	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.043	Saint-Fargeau	Reservoir du Bourdon								
89.344.044	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.420.001	Treigny	Les Gâtines Beauchet, Les Usages								
89.420.002	Treigny	Bois des Chataigniers								
89.420.003	Treigny	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)								
89.472.004	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.022	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.472.026	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.472.006	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.344.041	Saint-Fargeau	Les Colas								
89.003.001 - us sup.	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.147.002	Dracy	Le Ferrier Guillou								
89.147.003	Dracy	Ferrier des Noirs								
89.003.003	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.473.003	Villiers-sur-Tholon	La Prêe Murée								
58.227.001	Saint-Amand-en-Puisaye	La Forge, La Charmille, Champ de la Croix								
89.003.006	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.472.021	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.473.001	Villiers-sur-Tholon	La Prêe Murée								
89.003.002	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.003.004	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.003.007	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.003.020	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.473.004	Villiers-sur-Tholon	Les Ecoulois								
89.003.001 - us inf.	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.003.005	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.344.001	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.003	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.006	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.013	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.015	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.019	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.035	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.037	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.038	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.472.002	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.041	Villiers-Saint-Benoit	Bois Fendu								
89.472.015	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.001	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.005	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.009	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.023	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.472.040	Villiers-Saint-Benoit	Usage des Souches								
89.472.012	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.344.002	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.003.008	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.163.002	La Ferté-Loupière	La Bernière / Ferrier des 3 communes								
89.472.003	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.025	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.344.034	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.032	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.004	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.003.009	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.003.010	Aillant-sur-Tholon	Bois des Ferriers								
89.344.010	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.011	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.014	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.344.018	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.472.010	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.019	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.472.020	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.472.013	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.016	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.472.024	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.472.014	Villiers-Saint-Benoit	Les Grands Usages								
89.344.039	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								
89.472.027	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.472.018	Villiers-Saint-Benoit	Bois des Usages								
89.344.012	Saint-Fargeau	Bois de Bailly								

Figure n°90. Etude des assemblages de déchets (présence/absence) sur les amas prospectés entre 2017 et 2020 (94 sites). En couleur claire sont représentés les types de scories les moins représentées.

94 sites ont ainsi pu être pris en compte, en prenant en compte les résultats des prospections effectuées ces quatre dernières années ainsi que les trois sites publiés précédemment dans l'article Piétak *et al.* 2012. Six grands types d'assemblages de déchets peuvent être individualisés, sur la base des types de déchets les plus représentés. Certains assemblages sont caractérisés par la

présence d'un seul type de scories. D'autres sites sont caractérisés par des associations entre plusieurs familles de scories, ce qui pourrait traduire des pratiques sidérurgiques différentes voire des périodes chronologiques successives en un même lieu.

On distingue :

- des amas (33) livrant principalement des scories piégées (scories de type F).
- des amas livrant uniquement des scories vitreuses de type C et D. C'est le cas de 3 sites et du niveau supérieur du site 89.003.001.
- des amas (26) comprenant des scories cristallisées de type A2 (écoulement cordés à limites visibles) - A3 (écoulement à cavité centrale) - A4 (écoulement non cordé, dense), voire A5 (scories en boudins accolés). La présence ponctuelle de scories de type A1 s'explique probablement par une mauvaise attribution typologique de scories de type A un peu différentes.
- des amas (9) au sein desquels sont associées des scories cristallisées de types A2-A3-A4, voire A5 avec des scories vitreuses de type C et D. Les sondages menés dans l'amas 89.003.001 ont permis de montrer que si ces déchets peuvent être présents sur un même site, les types A2-A3-A4-A5 se trouvent cependant dans des couches archéologiques distinctes (et en-dessous)
- des amas (17) comprenant principalement des scories cristallisées de type A1 (écoulements cordés à limites marquées), associés dans trois cas à une petite proportion de scories bulleuses cordées B1.
- un amas comprenant uniquement des scories bulleuses cordées B1.
- un amas comprenant uniquement des scories bulleuses non cordées B2.

Trois amas livrent en égale proportion des types de déchets qui ne sont généralement pas associés. Ils sont à ce stade peu caractéristiques et nécessiteront des vérifications ultérieures (ils sont notés dans le tableau "types multiples).

Nous disposons de dates radiocarbone pour 63 de ces sites ce qui permet de tenter d'appréhender la datation de ces déchets.

5.4.2. Typo-chronologie des déchets (fig. 91).

Les datations radiocarbone des types de déchets sont très cohérentes pour chacun des types.

Les scories piégées de type F sont attestées pour les périodes les plus anciennes. Elles couvrent au plus large, une période comprise entre 750 Cal. BC et 100 Cal. AD. Néanmoins la quasi-intégralité des dates obtenues (à 2 exceptions près sur 20 dates) est antérieure à 100 Cal. B.-C.

Les datations issues des amas livrant des assemblages de scories A2-A3-A4 couvrent une période comprise entre 370 Cal. BC et 340 AD. Un seul site, à Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.013 livre une date très précoce comprise entre 727 Cal BC. et 396 Cal. BC, une nouvelle date devra être réalisée pour la confirmer car le charbon provient d'une aire de grillage de minerais et n'était pas directement associé aux scories. La datation de Villiers-Saint-Benoit 89.472.022 est trop large pour être véritablement pertinente, mais reste toutefois cohérente avec les autres dates obtenues. Un dernier site, Villiers-Saint-Benoît 89.472.012 livre une datation isolée située dans le Haut Moyen âge. Nous avons probablement daté ici un charbon intrusif. Un autre amas n° 013 livrant des scories de type A1 est cependant en partie installé au-dessus et le charbon pourrait être plutôt associé ce dernier site.

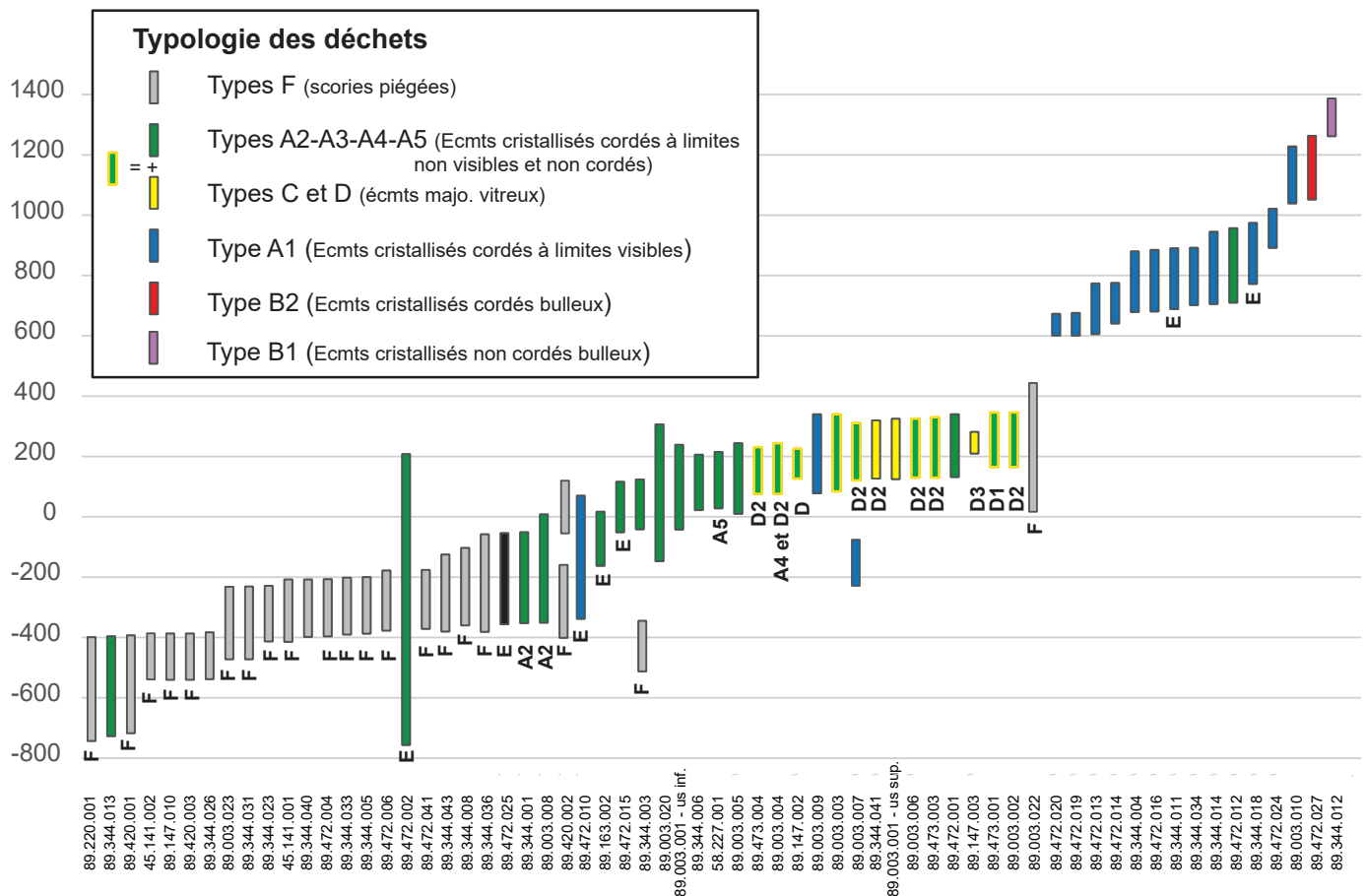


Figure n°91. Dates radiocarbone calibrées par site, et par types de déchets. Les lettres associées aux dates calibrées renvoient au type de scorie au sein de laquelle le charbon daté a été prélevé. L'absence de lettre indique que le charbon date a été prélevé en stratigraphie.

Les scories vitreuses de type C et D couvrent une période plus restreinte et très cohérente comprise entre 70 Cal. AD et 350 Cal AD.

Un hiatus chronologique est constaté entre 350 Cal. AD et 600 Cal. AD.

Après ce hiatus sont attestés des amas livrant des scories de type A1 (à écoulement marqué) dont la chronologie s'étale entre 600 cal. AD et 1230 Cal. AD, voire jusque 1000 Cal. AD pour 12 des 13 sites datés. Le seul site livrant des scories de type B2 (bulleuses cordées), se rattache à cette même phase chronologique, durant une phase assez tardive (XII-XIII^e).

Deux sites, à Villiers-Saint-Benoit 89.472.010 et à Aillant-Sur-Tholon 89.003.009 livrent des scories de type A1, mais sont néanmoins datés durant l'Antiquité. Dans les deux cas les charbons semblent intrusifs par rapport au lot de scories de type A1. En effet l'amas 010 de Villiers-Sur-Tholon est installé au dessus d'un site caractérisé par des scories de type A2-A3-A4. Le charbon est donc plus probablement en rapport avec ce dernier site. Les scories du site 009 d'Aillant-sur-Tholon sont quant à elles disposées sur des niveaux de sol antiques auquel appartient plus probablement le charbon.

Enfin le seul site livrant des scories bulleuses non cordées (B1) se rattache à une dernière phase plus tardive du Moyen âge comprise entre 1262 Cal AD et 1387 Cal AD.

5.5. Premières synthèses des observations effectuées en microscopie optique sur des scories de réduction.

Marion Berranger, Marc Leroy, Paul Merluzzo

30 scories de réduction ont fait l'objet d'une analyse au microscope optique. Le tableau 92 récapitule l'échantillonnage. A ce premier stade de caractérisation, des échantillons ont été sélectionnés dans toutes les catégories de déchets. Les scories proviennent principalement de la zone nord de la Puisaye, du secteur de Montholon : Aillant-sur-Tholon (20 scories analysées) et de la commune voisine, Villiers-Sur-Tholon (4 scories). Quelques échantillons proviennent de Saint-Fargeau (4 scories) et de Dracy (2 scories) situées plus au sud. Cet échantillonnage a ainsi vocation à être complété.

A ce stade, l'identification des phases vitreuses et minérales a été réalisée au microscope optique. Leur détermination définitive devra cependant être précisée après analyse chimique (EDS) voire diffraction des rayons X. Nous ne présentons donc ici qu'une première étape de travail en récapitulant les observations effectuées par type de scories.

n° site	Commune	Catégorie	Type	n° Inv.
89344018	Saint-Fargeau	A	A1	89.344.018.SC55
89344018				89.344.018.SC56
89003009	Montholon		A2	F9-S1-101-SC2
89003001				F1-S3-309-SC4
89003001				F1-S3-302-SC5
89003005			A3	F5.108.SC106
89003001			A4	F1-S3-302-SC42
89003001			A5	F1-S3-301-SC13
89003001				F1-S3-301-SC14
89003001				F1-S3-302-Pvt1-SC6
89344012	Saint-Fargeau	B	B1	89.344.012.SC68
89344012				89.344.012.SC69
89003003	Montholon	C	C1	F3-S1-103-SC10
89003001				F1-311-SC50
89003002				89.003.002.SC110
89003007				89.003.007.SC109
89473003	Villiers-Sur-Tholon	D	D1	89.473.003.SC6
89473003				89.473.003.SC7
89003001	Montholon		D2	F1-S4-402-SC11
89003001				F1-S4-402-SC12
89003003				F3-S1-103-SC9
89003003	Villiers-Sur-Tholon		D3	F3-S1-103-SC8
89473003				89.473.003.SC5
89003005	Montholon		D3	89.473.001.SC5
89003003				F3-S1-103-SC23
89473001				F5-108-SC108
89147010	Dracy	F	F1	89.147.10.SC5
89147010				89.147.10.SC6
89003023	Montholon		F5	89.003.023.SC156
89003023			F7	89.003.023.SC154

Figure n°92. Inventaire des déchets analysés au microscope optique.

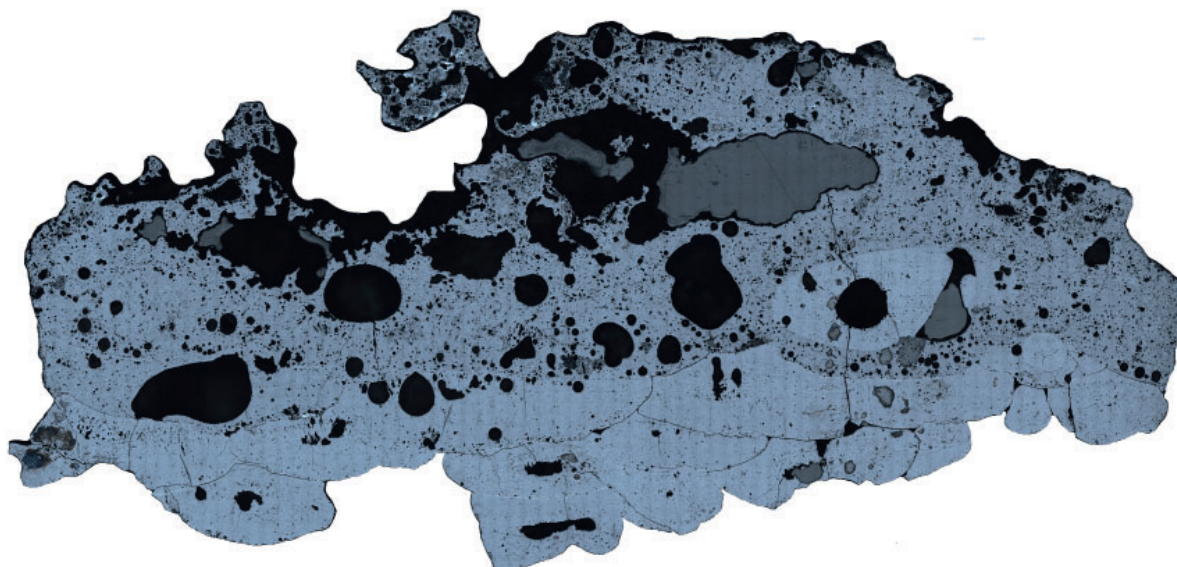
5.5.1. Les scories cristallisées denses (type A).

Type A1. 3 individus ont été étudiés.

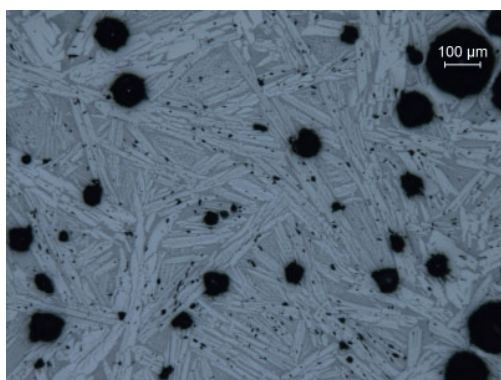
- Longues lattes d'olivine désorganisées dans la masse, orientées dans le sens du refroidissement en surface, avec un verre interstitiel constituant la matrice.
- Présence de stratifications correspondant à des superpositions d'écoulements. La surface supérieure de ces derniers est marquée par un liseré d'hématite. On observe une continuité vers l'intérieur sous forme de dendrites en aiguilles à forme anguleuse.
- De fréquents cristaux de spinelles polygonaux sont visibles.
- De petites billes de métal de

taille micrométrique sont présentes de manière ponctuelle.

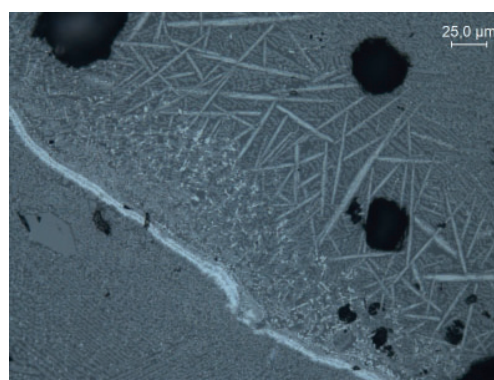
- Très localement, des parcelles de nature argilo-sableuse et/ou des grains de quartz (?) sont en cours de dissolution



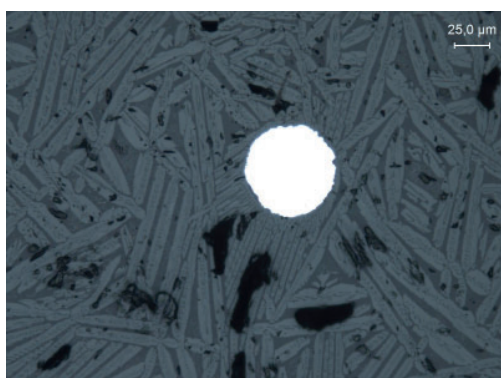
Aillant-Sur-Tholon / Montholon F9.101.SC2



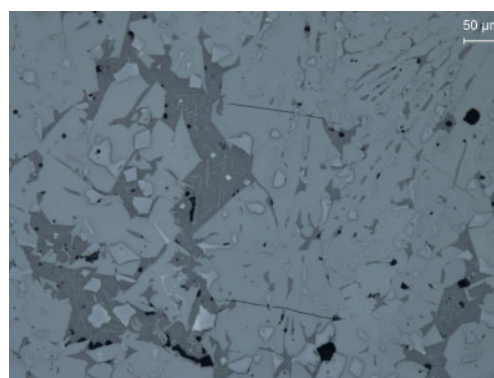
Lattes d'olivines désorganisées



Liseré de magnétite en surface supérieure des écoulements



Bille de métal



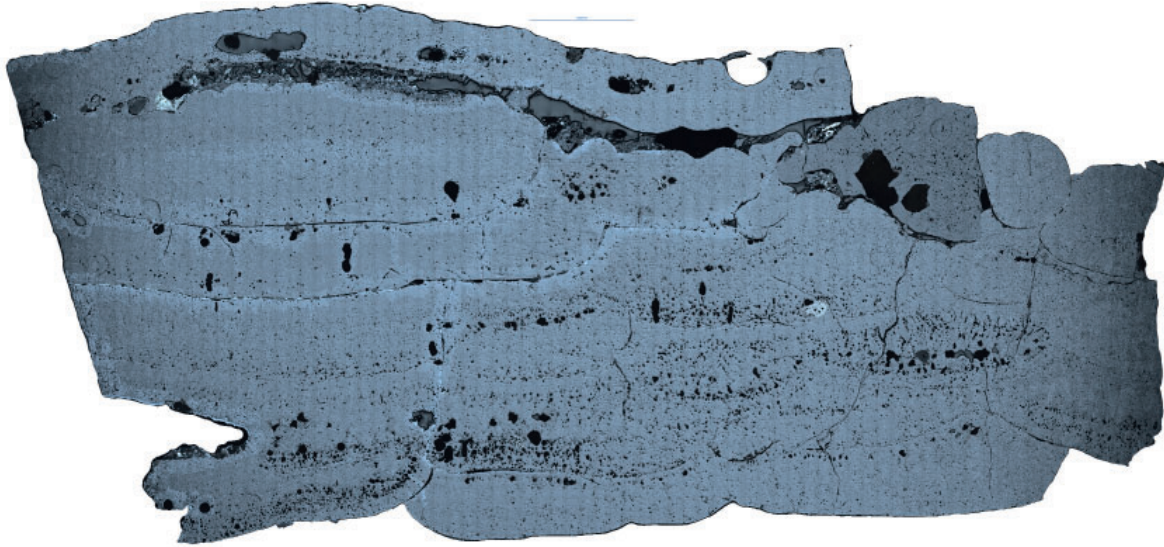
Cristaux polygonaux de spinelles

Figure n°93. Exemple d'une section de scorie de type A1 et sélection de micro-photographies caractéristiques

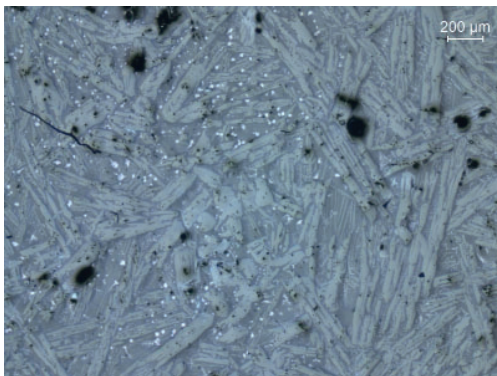
Type A2. 2 individus ont été étudiés.

- Longues lattes d'olivine, désorganisées dans la masse, orientées dans le sens du refroidissement en surface. Leur taille a tendance à croître vers l'intérieur (refroidissement plus lent). Présence d'un verre interstitiel constituant la matrice.
- Présence de stratifications correspondant à des superpositions d'écoulements. La surface supérieure de ces derniers est marquée par un liseré d'hématite. On observe une continuité vers l'intérieur sous forme de dendrite en aiguilles à forme anguleuse.

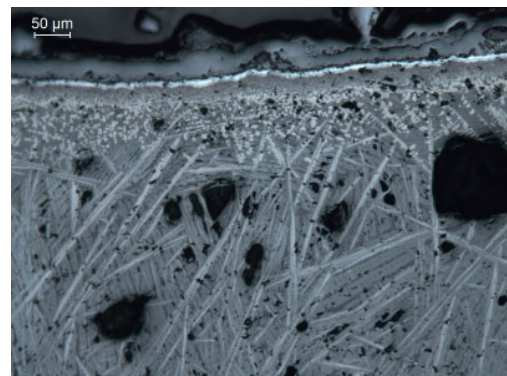
- Grains de minerais incomplètement réduits répartis de manière ponctuelle – certains, en surface, peuvent être intrusifs
- Cristaux polygonaux et en bâtonnets (?) de spinelle, plus ou moins nombreux
- Rares dendrites de wustite dans le cœur des écoulements cordés



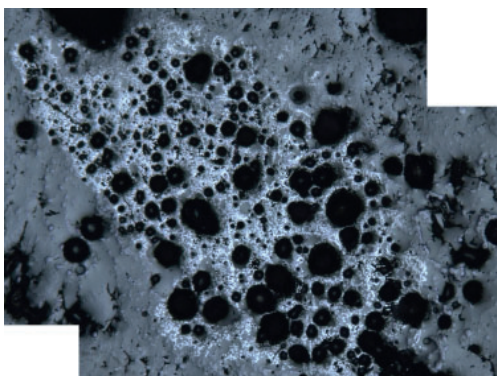
Aillant-Sur-Tholon / Montholon F1.S3.302.SC5



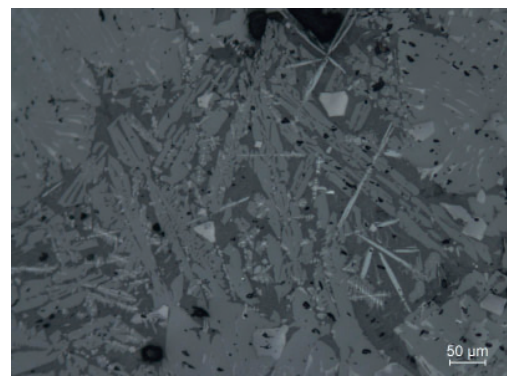
Lattes d'olivines désorganisées



Liseré de magnétite en surface supérieure des écoulements

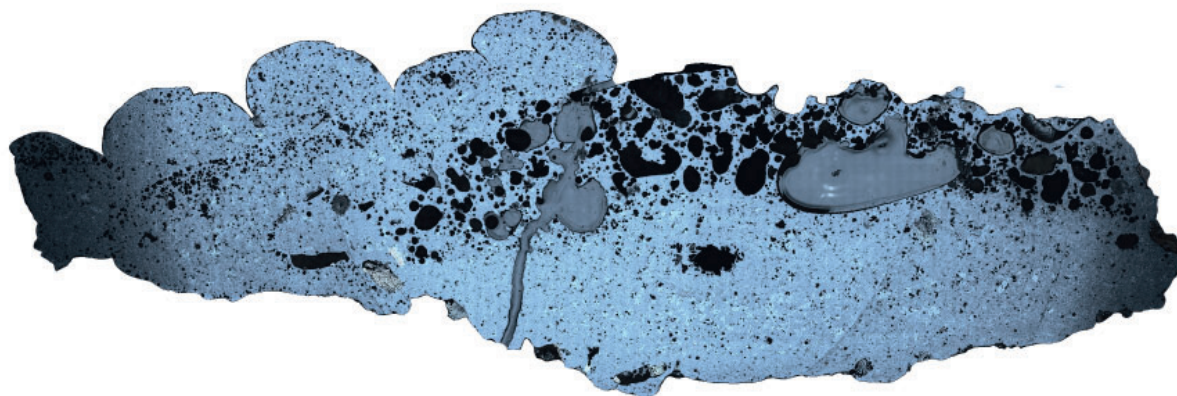


Grain de minerai incomplètement réduit

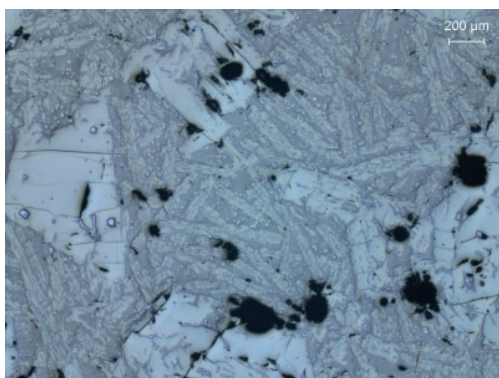


Cristaux polygonaux de spinelles

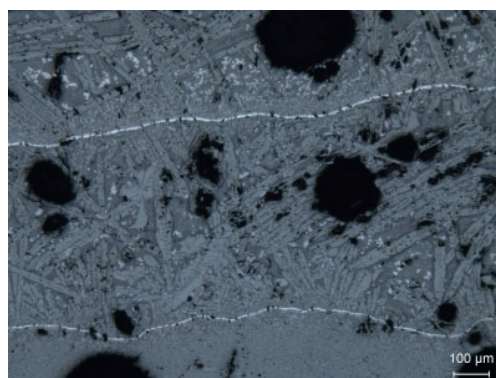
Figure n°94. Exemple d'une section de scorie de type A2 et sélection de micro-photographies caractéristiques



Aillant-Sur-Tholon / Montholon F5.108.SC106



Lattes d'olivines désorganisées



Liseré de magnétite en surface supérieure des écoulements

Figure n°95. Exemple d'une section de scorie de type A3 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Type A3. 1 individu a été étudié.

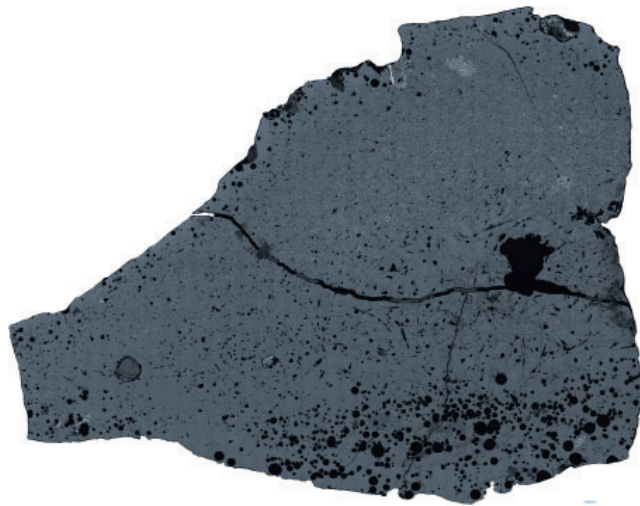
- Longues lattes d'olivine, désorganisées dans la masse, orientées dans le sens du refroidissement en surface. Taille qui a tendance à croître vers l'intérieur (refroidissement plus lent). Présence d'un verre interstitiel constituant la matrice.
- Stratification avec superposition d'écoulements. La surface supérieure de ces derniers est marquée par un liseré d'hématite. On observe une continuité vers l'intérieur sous forme de dendrites en aiguilles à forme anguleuse.
- Cristaux polygonaux de spinelle, plus ou moins nombreux, plutôt de petites tailles et sous forme de semis ; certains cristaux paraissent biphasés (hercynite + magnétite ?)
- Petites billes de métal de taille micrométrique réparties de manière ponctuelle
- Très rares dendrites de wustite, fines et petites.

Type A4. 1 individu étudié.

- Stratification en 5 phases principales, sans cordons mais phases écoulées homogènes
- Base = fine strate vitreuse ou microcristallisée évoquant de fines lattes d'olivine
- Cœur = lattes d'olivine de différentes dimensions et orientations, avec verre interstitiel constituant la matrice ; peut-être deux générations ; les lattes présentent par endroit une organisation en forme de damier + cristaux polygonaux de spinelle dont certains sont biphasés + fines dendrites anguleuses de wustite/magnétite dans le verre interstitiel
- Sup. = strate vitreuse ou microcristallisée (parcelles micrométriques de fer métal)

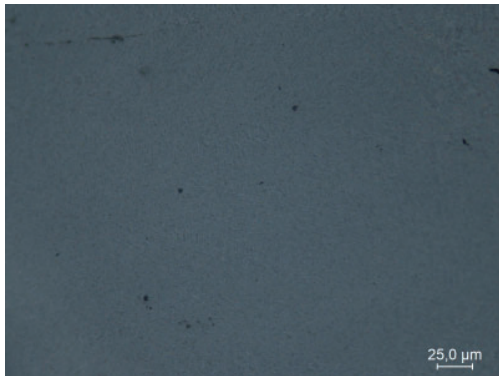
Type A5- 3 individus étudiés

- Lattes d'olivine de différentes dimensions, inorganisées ou organisées en damier ; peut-être 2 ou 3 générations

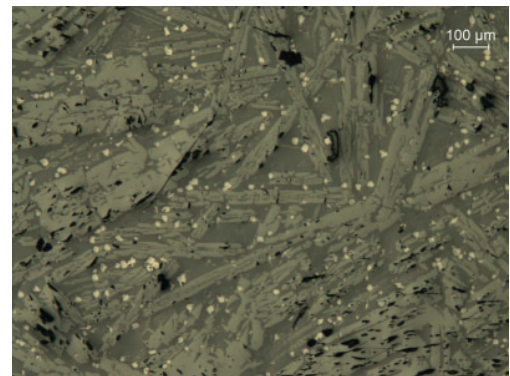


Strate vitreuse inférieure

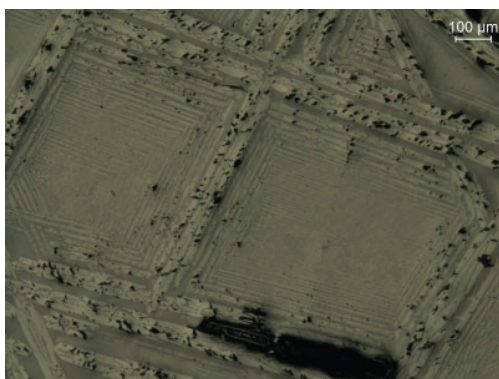
Aillant-Sur-Tholon / Montholon F1.S3.302.SC42



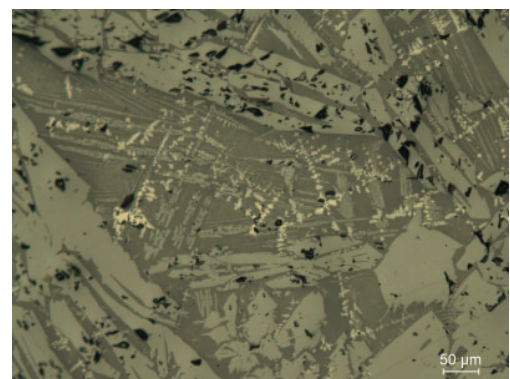
Strate vitreuse inférieure



Lattes d'olivines désorganisées et cristaux de spinelles



Lattes d'olivines en pavés



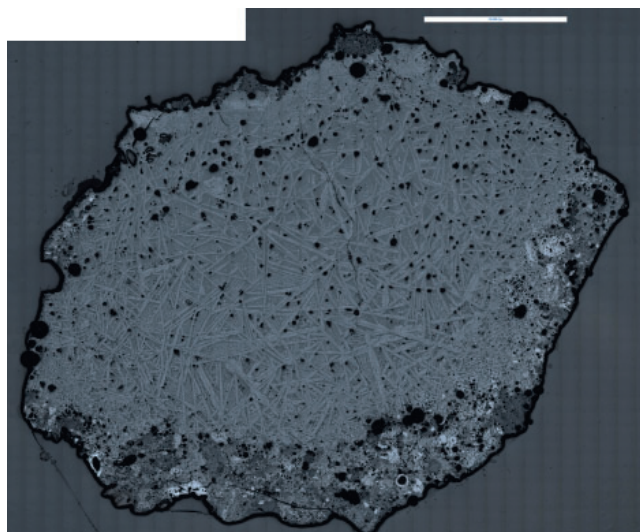
Lattes d'olivines de différentes tailles

Figure n°96. Exemple d'une section de scorie de type A4 et sélection de micro-photographies caractéristiques

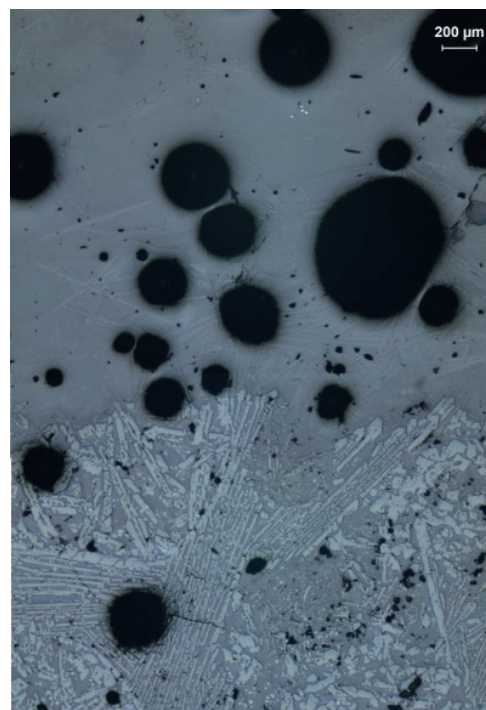
- Semis de cristaux polygonaux de spinelle, plus ou moins denses et cristaux en bâtonnets dont la réflectance évoque aussi un spinelle. Dans les 2 cas, une différence de réflectance interne évoque un biphasage (hercynite/magnétite ?).
- La wüstite et le métal sont quasiment absents.
- En surface, matrice vitreuse avec billes ou microcristallisée (refroidissement rapide au contact de l'air).

- Cristaux de cristobalite (?) indiquant la transformation de grains de quartz à des températures élevées.

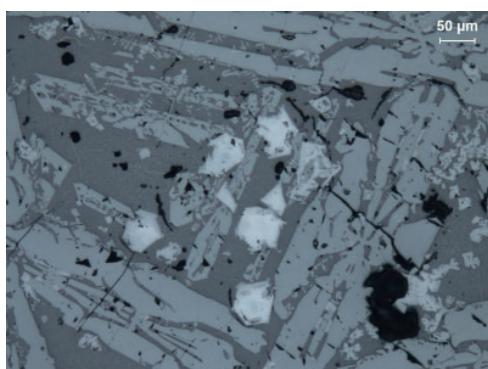
Au vu de la composition chimique ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO} > 90\%$), l'olivine doit être de la fayalite et les spinelles de la hercynite.



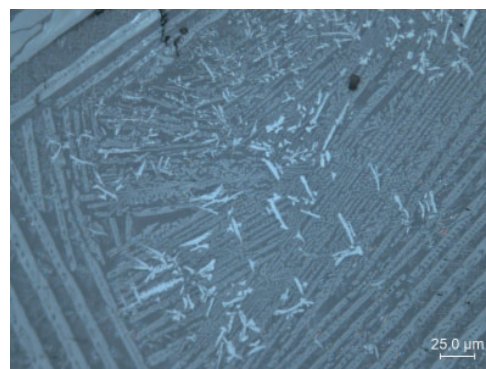
Aillant-Sur-Tholon / Montholon F1.S3.302.SC6



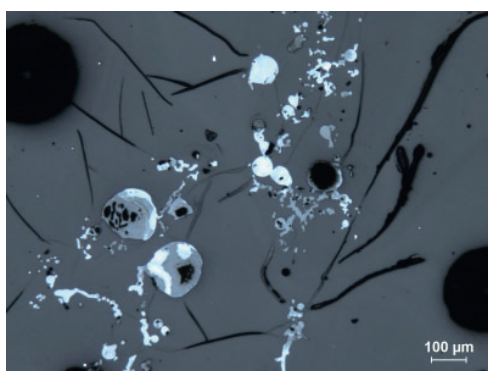
Transition entre une phase cristallisée et une phase vitreuse



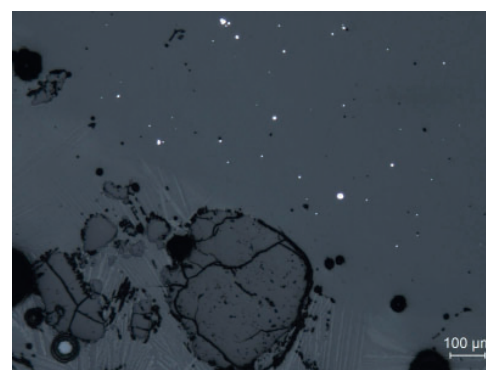
Lattes d'olivines désorganisées et cristaux de spinelles biphasés



Cristaux en bâtonnets



Billes / chapelets de métal dans une matrice vitreuse



Cristobalite en périphérie des grains siliceux ?

Figure n°97. Exemple d'une section de scorie de type A5 et sélection de micro-photographies caractéristiques

5.5.2. Les scories cristallisées bulleuses de type B1.

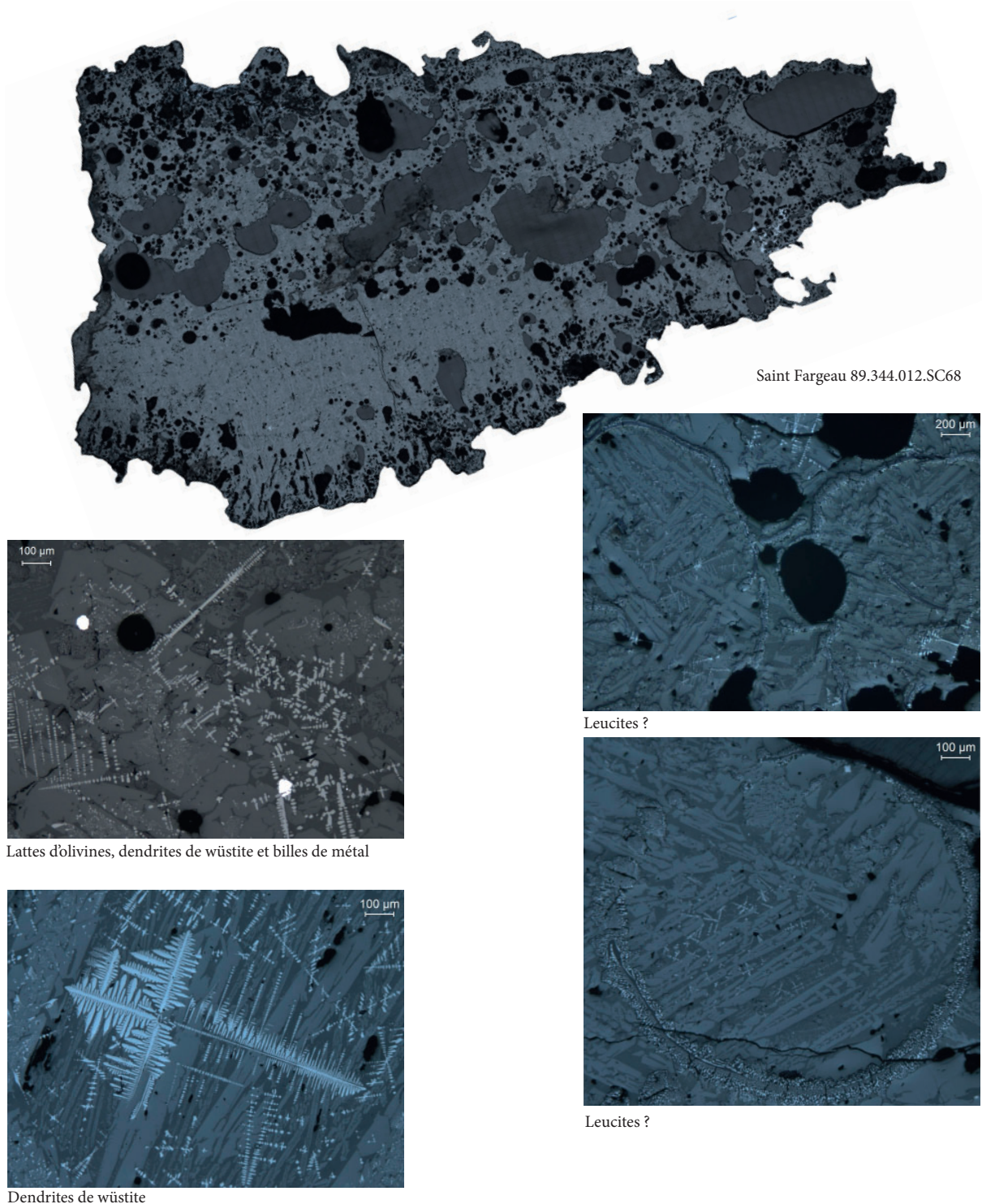


Figure n°98. Exemple d'une section de scorie de type B1 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Type B1 - 2 individus étudiés

- Lattes d'olivine de différentes tailles mais globalement assez grosses.
- Dendrites de wüstite plus ou moins fines et allongées omniprésentes.
- Cristaux sombre ou avec de fines dendrites de wüstite en complexe myrmékitique ?
- Pas de cristaux de spinelle.
- Liseré de magnétite en limite supérieure des écoulements.

- Verre interstitiel : peut-être deux verres différents dont un avec et l'autre sans petits globules de wüstite.
- Quelques parcelles ou billes de fer micrométrique éparses
- Présence de cristaux de cristobalite (? – à vérifier par diff. X).
- Présence de leucites ? A vérifier par EDS.

La composition chimique (SiO_2 27-32%, Al_2O_3 5-6%, Fe_2O_3 60-65%, CaO 4-5%) de ces scories est moins riche en Al que les scories de types A, ce qui pourrait expliquer l'absence de spinelles. Elles sont aussi plus riches en Ca ce qui pourrait expliquer la présence d'un deuxième verre résiduel avec de la wüstite. Ce type est caractérisé par une forte proportion de lattes d'olivines en association avec des dendrites de wüstite.

5.5.3. Les scories vitreuses.

Type C1 (base cristallisée / vitreux dense) - 4 individus étudiés

- Stratification entre une phase vitreuse supérieure et cristallisée inférieure, d'importance quasiment identique.

Dans la phase cristallisée :

- Fines lattes d'olivines inorganisées, en forme de « plume » pour certaines. Présence de verre interstitiel.
- Cristaux polygonaux de spinelle (dont formes très anguleuses évoquant la magnétite)
- Cristaux en bâtonnet (spinelle ?)
- Reliques de grains de minerai en cours de dissolution

Dans la phase vitreuse ou microcristallisée :

- Reliques de grains de minerai en cours de dissolution
- Chapelets de globules de fer métallique
- Présence de cristaux de cristobalite (? – à vérifier par diff. X).

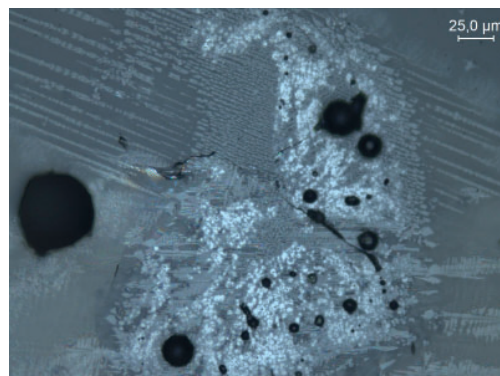
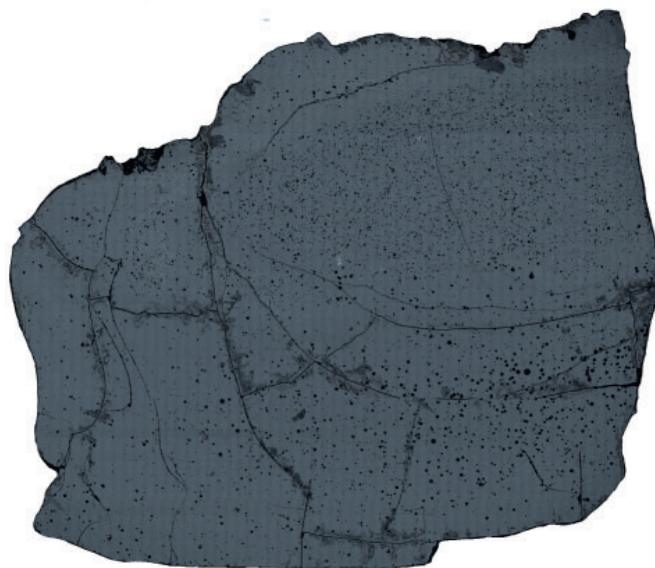
Le faciès cristallisé de la moitié inférieure est très proche de celui des scories de type A. Le faciès vitreux de la moitié supérieure est très proche de celui des scories de type D. La composition chimique globale (SiO_2 40-45%, Al_2O_3 11-14%) est nettement plus élevée en Al que pour les scories A et scories B, avec Fe_2O_3 35-45% moins élevé.

Type D - 10 individus étudiés

Le faciès minéralogique des scories de type D1, D2 et D3 est identique.

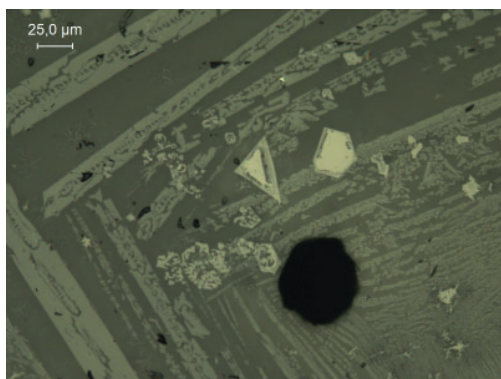
- Présence majoritaire d'un verre contenant des billes de fer plus ou moins carburé (parfois proche de la fonte)
- Quelques zones cristallisées ou microcristallisées avec des lattes d'olivines + parfois de fines dendrites de wüstite + présence de globules de fer + liseré d'hématite en bordure des écoulements
- Nombreux grains de quartz (?) en cours de dissolution avec en périphérie des formes évoquant de la cristobalite (? – à vérifier par diff. X).

La composition chimique SiO_2 40-50%, Al_2O_3 11-17%, CaO 2-2,5%, MnO 2,5-6,5%, Fe_2O_3 20-45% est proche de celle de laitiers non calciques. Ces scories sont situées sur le diagramme de phases SAF sur une échelle de température > 1400°C.

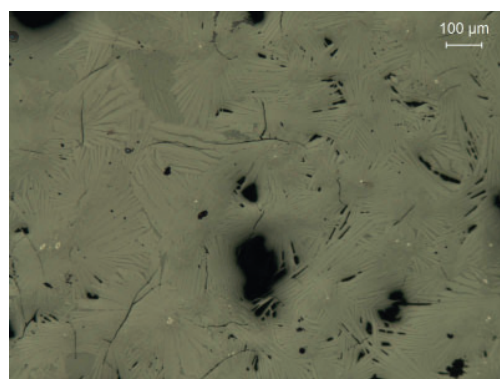


Reliques de minerai

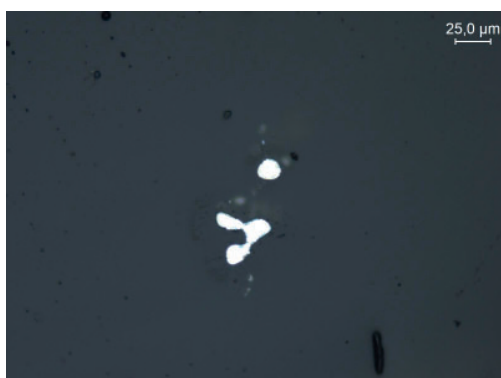
Aillant-Sur-Tholon / Montholon 89.003.007.SC109



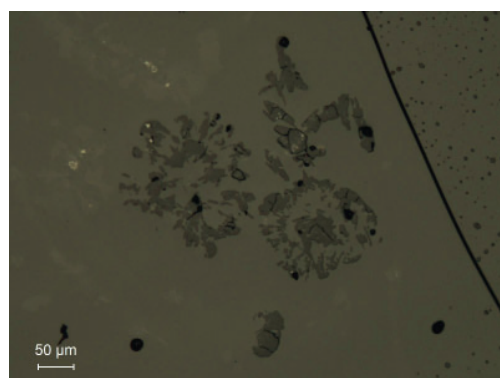
Cristaux anguleux de spinelles



Lattes d'olivines en «plumes»

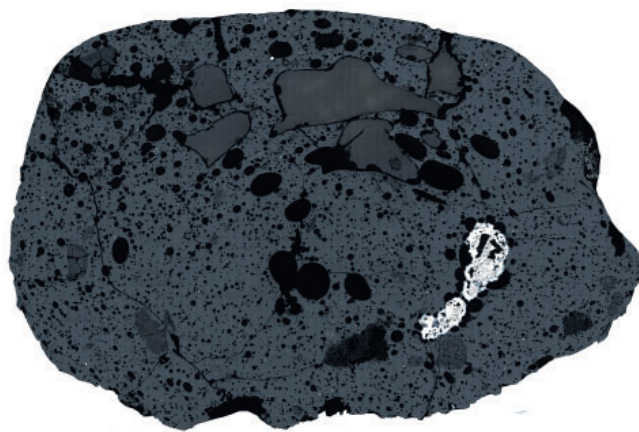


Chapelets de métal dans la phase vitreuse

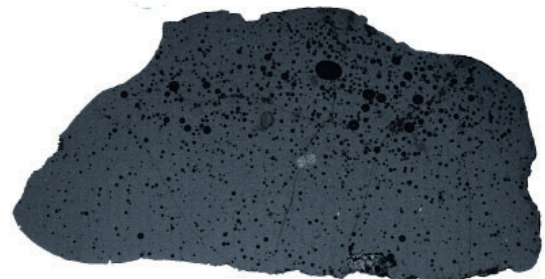


Cristaux de cristobalite ?

Figure n°99. Exemple d'une section de scorie de type C1 et sélection de micro-photographies caractéristiques



Villiers-Sur-Tholon 89.473.001.SC5 (type D3)



Villiers-Sur-Tholon 89.473.003.SC7 (type D1)



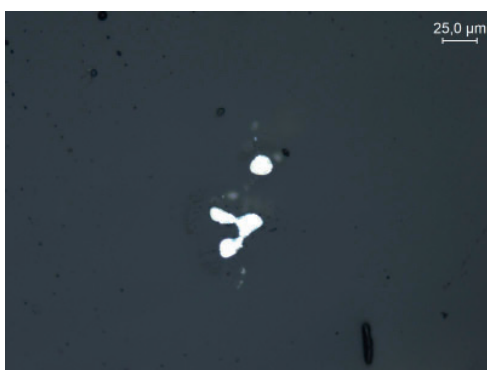
Aillant-Sur-Tholon/Montholon F1.S4.402.SC12 (type D2)



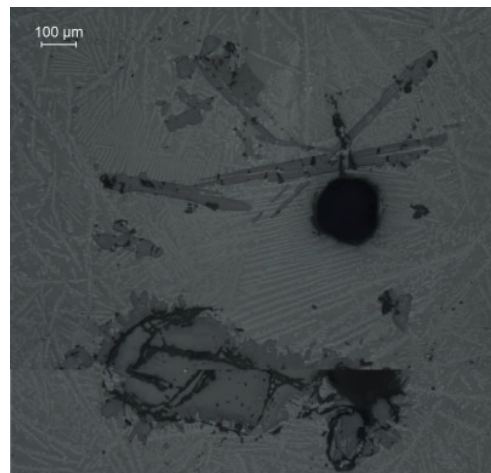
Matrice microcristallisée avec bille de fer



Matrice vitreuse avec billes de fer



Chapelets de métal dans la phase vitreuse



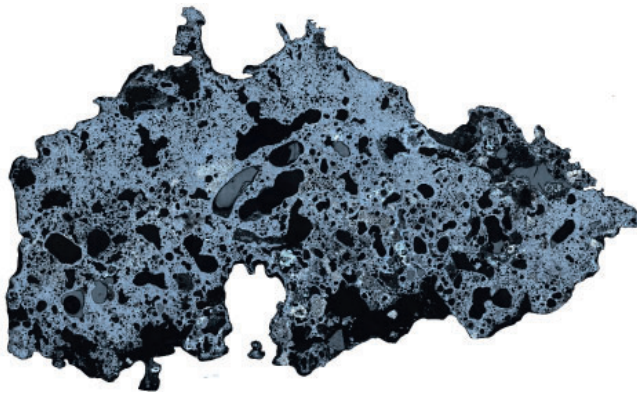
Cristaux de cristobalite en périphérie des grains de quartz ?



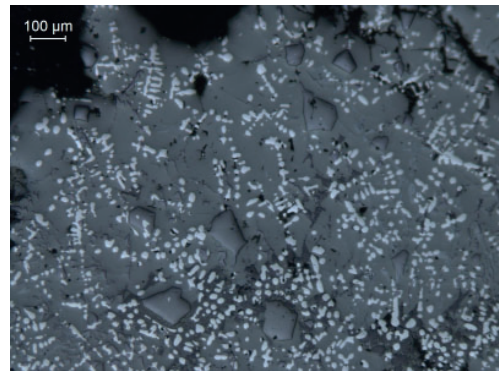
Cristaux de cristobalite ?

Figure n°100. Exemple de sections de scories de type D et sélections de micro-photographies caractéristiques

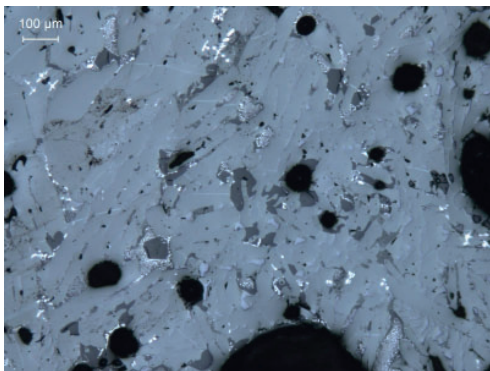
5.5.4. Les scories piégées (types F).



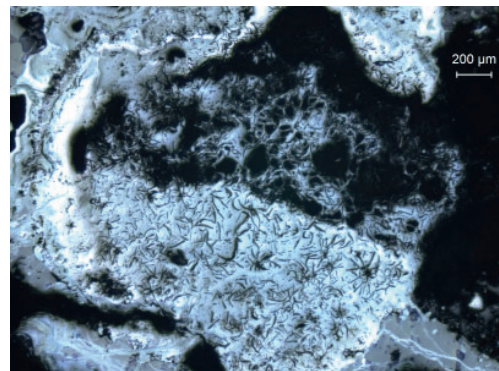
Dracy 89.147.010.SC5 (type F1)



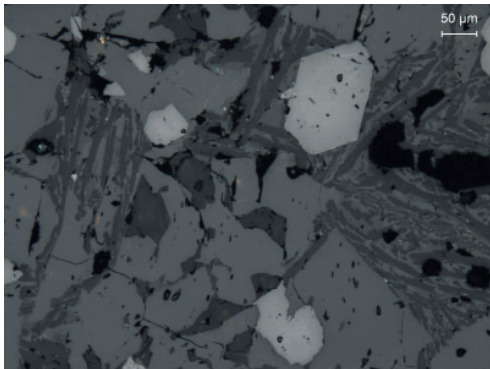
Dendrites de wüstite et spinelles angulaires



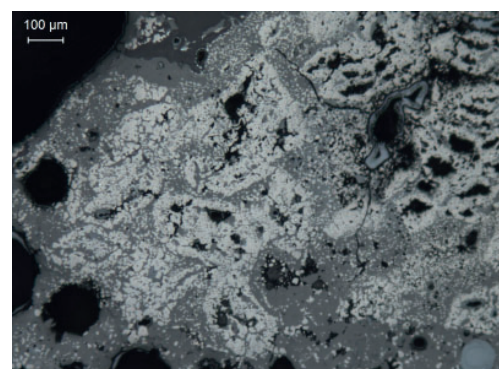
Leucites ?



Parcelles de métal corrodé. Fonte gris (sup. 2,1%C)



Verre interstitiel et cristaux de spinelles



Grains de minerais en cours de transformation

Figure n°101. Exemple d'une section de scorie de type f et sélection de micro-photographies caractéristiques

Type F - 4 individus étudiés

- Lattes d'olivine de différentes dimensions et orientations soulignant des écoulements qui s'entremêlent. Les lattes sont serrées.
- Cristaux de spinelle présents mais pas abondants.
- Localement dendrites de wüstite.
- Verre interstitiel riche en potassium (peut-être de composition leucitique) + peut-être des cristaux de leucite (à vérifier), ce qui serait en rapport avec la forte présence de charbons de bois dans ce type de fonctionnement de fourneau.
- Zones avec parcelles et filaments de fer métal
- Grains de minerais à différents stades de transformation

Le faciès minéralogique de ces scories est globalement proche voire similaire à celui des scories A1 et B1. La composition chimique (SiO_2 20-30%, Al_2O_3 4-5%, Fe_2O_3 65-75%) est compatible avec l'identification des lattes d'olivine en tant que fayalite et des spinelles comme de la hercynite. C'est le type de scories le plus riche en fer en concordance avec la présence de wüstite.

5.6. Compositions chimiques des résidus de minerais de fer et des scories prélevés dans les amas de déchets sidérurgiques anciens de Puisaye (état 2020)

Marc Leroy

Une centaine d'échantillons de déchets de production du fer brut prélevés au cours des campagnes de prospection et de sondages archéologiques réalisées en 2017, 2018 et 2019 ont fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES (Voir Annexe 4 et 5) au Service d'Analyse des Roches et Minéraux du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques du CNRS à Vandœuvre-lès-Nancy, suivant les protocoles standards utilisés en géochimie (www.crbg.cnrs-nancy.fr/SARM).

Ces échantillons proviennent des prélèvements effectués sur l'ensemble des secteurs prospectés dans les parties nord, centre et sud de la Puisaye, à savoir :

- dans les amas de déchets du Bois des Ferriers et secteurs adjacents (les Réserves, les Boulasseaux, la Prée Murée) sur les communes d'Aillant-sur-Tholon (Montholon) et de Villiers-sur-Tholon (48 échantillons),
- dans les amas de déchets du Bois de Bailly sur la commune de Saint-Fargeau (36 échantillons),
- sur les sites ou amas de déchets prospectés sur les communes de Dracy (5 échantillons), Treigny (6 échantillons) et Lavau (1 échantillon).

Ils proviennent de 26 sites différents dont la moitié ont été datés par ^{14}C : 6 sites de l'âge du Fer, 5 sites de l'Antiquité romaine, 1 site du premier Moyen Âge et 1 site du second Moyen Âge.

Ils se répartissent entre 13 résidus identifiés comme pouvant être des morceaux de minerais de fer (9 pour le Bois des Ferriers et 4 pour le Bois de Bailly), 80 scories de réduction (36 pour le Bois des Ferriers, 32 pour le Bois de Bailly, 12 provenant de sites sur les communes de Dracy, Lavau et Treigny), ainsi que 3 fragments de paroi de four provenant d'un amas de scories du Bois des Ferriers.

Les scories ont été sélectionnées de façon à ce que les différents faciès typologiques identifiés soient représentés.

5.6.1. Les résidus de minerais

Aillant-Sur-Tholon/Montholon "Bois des Ferriers" (89.003.)

Les neuf échantillons de résidus de roche évoquant des faciès de minerais de fer provenant du Bois des Ferriers ont été collectés sur quatre amas de déchets différents : les amas n°001 (3 échantillons), n° 8002 (2 échantillons), n° 009 (2 échantillons) et n°020 (1 échantillon), auxquels s'ajoute un échantillon collecté hors amas.

Les trois pièces provenant de l'amas n° 001 et les deux provenant de l'amas n°002, ainsi que l'échantillon hors amas, présentent un faciès similaire : leur morphologie évoque la forme d'une géode paraissant constituées de veines compactes, d'épaisseur pluri-millimétrique superposées et organisées de manière concentrique, parfois développées autour d'une cavité centrale. Ces veines se traduisent par un aspect feuilleté en surface. La coloration rouge vif à rouge sombre révèle qu'ils ont probablement été chauffés (*i.e.* grillés) en préalable à leur utilisation. Ce faciès morphologique définit le type 1 (fig. 102).

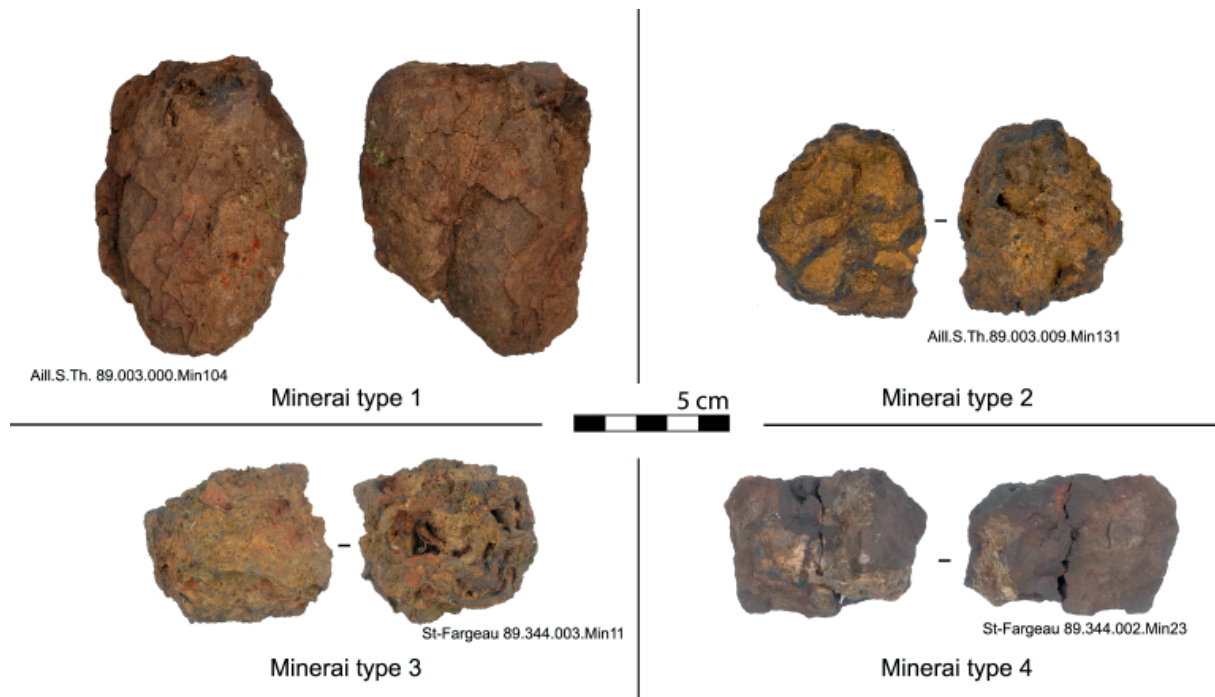


Figure n°102. Typologie provisoire des minerais de fer de Puisaye (échantillons provenant d'Aillant-sur-Tholon et de Saint-Fargeau).

Les deux pièces provenant de l'amas n° 009 et celle provenant de l'amas n°020 sont des fragments de roche présentant des surfaces irrégulières, constituées d'une superposition de strates sombres à claires, de couleur gris-violacé à marron-jaune, formant des circonvolutions. Des cavités millimétriques à pluri-millimétriques peuvent être présentes, mais aucune cavité centimétrique n'est observée. Des colorations rouges révèlent des traces de passage au feu. Ce faciès morphologique définit le type 2 (fig. 30).

Saint-Fargeau "Bois de Bailly" (89.344)

Les quatre échantillons de résidus de roche évoquant des faciès de minerais de fer provenant du Bois de Bailly ont été collectés sur deux amas de déchets différents : l'amas n°002 (2 échantillons) et l'amas n°003 (2 échantillons).

Les deux pièces de l'amas n°003 possèdent des surfaces rugueuses. La structure interne est constituée par des veines plus ou moins épaisses et denses paraissant s'organiser de manière concentrique autour d'alvéoles de taille infra-centimétrique réparties de manière irrégulière. Ce faciès morphologique définit le type 3 (fig. 102).

Les deux pièces de l'amas n°002 montrent une structure compacte et des cassures anguleuses. Une coloration violacée est observée dans les zones de fracture fraîche. Des minéraux de taille centimétrique sont pris dans cette masse. Ce faciès morphologique définit le type 4 (fig. 102).

Compositions chimiques

Tous les échantillons, à l'exception d'un des deux prélevés dans l'amas n°002 du Bois de Bailly (type 4), présentent des compositions totalement compatibles avec celles de minerai de fer, riche, à gangue silico-alumineuse.

Les échantillons du type 1 possèdent des teneurs en oxydes de fer (Fe_2O_3 total) qui s'échelonnent entre 76 et 92,5 %, soit une teneur en fer (Fe) comprise entre 53 à 65 % (Annexe 5). Les taux de perte au feu à l'analyse compris, pour cinq des six échantillons, entre 1,4 et 3,7 % et les diffraction RX réalisées (fig. 103) révèlent que ces oxydes de fer sont principalement, voire exclusivement,

sous forme d'hématite. Dans le sixième, pour lequel la perte au feu à l'analyse est plus élevée (14,7 %), les oxydes de fer sont sous forme de goethite (diffraction RX). Les teneurs en silice (SiO_2) varient de 1,8 à 13,3 % et celles en alumine (Al_2O_3) de 0,2 à 5 %. Tous les autres éléments présentent des teneurs inférieures à 0,6 %, parmi lesquels l'oxyde de manganèse (MnO : 0,25 à 0,6 %) et l'oxyde de calcium (CaO : 0,11 à 0,48 %) sont les plus présents.

Minerais type 1	n° CRPG	Hématite	Magnétite	Goethite	Quartz	Al ₂ SiO ₅	I/Ic	
Aillant BDF1	1809094	150			14,6	2	2,4	Hématite
F1-S4-US401-Min36	%	90,085			6,171	3,74379	2,7	Goethite
Aillant BDF1	1809095	175			12,6		4,9	Magnétite
F1-S3-305-Min31	%	95,177			4,823		3,6	Sidérite
Aillant BDF1	1809110	158	7,3		3,6		0,8	Orthoclase - KAlSi ₃ O ₈
89-003-001-Min101	%	96,2773	2,178737969		1,544		1,51	Fayalite
Aillant BDF2	1809098	100	3,55		14,7	1,24	3,41	Quartz
89-003-002-Min103	%	86,2443	1,499593993		8,923	3,33328	5	Wuestite
Aillant BDF3	1809096			67			1,14	Vatérite
89-003-003-Min102	%			100			0,77	Al ₂ SiO ₅
Aillant BDF	1809099	152			3		1,2	Lépidocrocite
89-003-000-Min104	%	98,6299			1,37			

Figure n°103. Identification par diffraction X des phases minérales présentes dans les minerais de fer étudiés provenant de Montholon "Bois des Ferriers" (type 1).

Les échantillons de type 2 et de type 3 possèdent une gamme de composition similaire, peut-être un peu moins riche en oxydes de fer : 65 à 81 % de Fe_2O_3 total pour le type 2, 71 à 79 % de Fe_2O_3 total pour le type 3, différence peut-être due au nombre plus faible d'échantillons analysés. Les pertes au feu à l'analyse fortement positives, autour de 13 à 14 %, indiquant la présence de goethite. Silice (SiO_2) et alumine (Al_2O_3) sont présents dans des gammes de teneurs similaires au type 1, tout comme MnO et CaO pour le type 2, ces deux oxydes étant en teneurs plus faibles dans les deux échantillons du type 3.

Seul un des deux échantillons du type 4 possède des teneurs compatibles avec celle d'un minerai de fer, teneurs similaires à celles des types 1, 2 et 3 : 87 % de Fe_2O_3 total, 6,2 % de SiO_2 , 3,2 % de Al_2O_3 , 0,4 % de MnO , 0,12 % de CaO , avec une perte au feu à l'analyse de 3 % indiquant la présence d'hématite. L'autre échantillon ne contient que 13 % d'oxydes de fer ; il est surtout composé de silice (85 % de SiO_2) : on peut penser qu'il s'agit plutôt d'un déchet de tri riche en grains de quartz.

Du point de vue des teneurs dans les éléments majeurs, on ne remarque donc pas à ce stade des observations de différences significatives entre les quatre types de faciès identifiés. Mais ceci devra être vérifié sur un nombre plus grand d'analyses chimiques de chacun des types.

Parmi les éléments présents sous forme de traces (Annexe 6), seuls l'yttrium (Y) et le zinc (Zn) montrent dans certains des échantillons des teneurs qui peuvent atteindre plusieurs centaines de ppm (jusqu'à 500 ppm pour Y et 300 ppm pour Zn), mais les teneurs varient d'un facteur dix d'un échantillon à l'autre, ce qui ne permet pas d'affirmer qu'elles sont significatives. Sur certains échantillons de chaque type, les teneurs en cobalt (Co) et en nickel (Ni) peuvent dépasser 100 ppm.

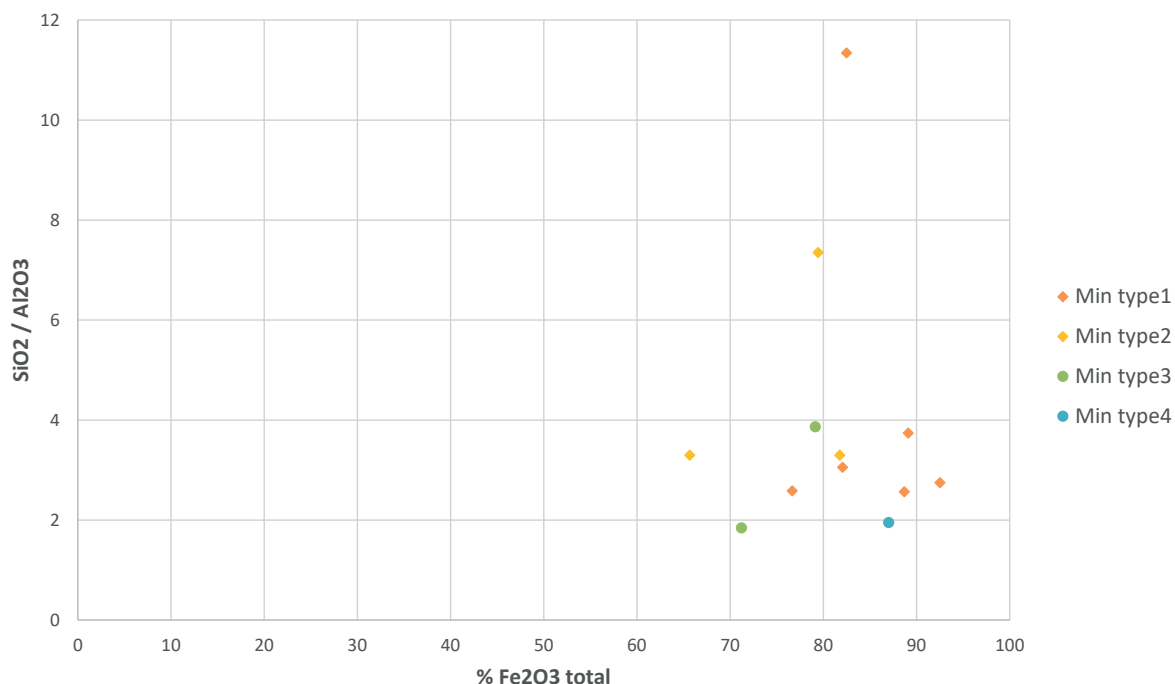


Figure n°104.4 - Teneurs en oxydes de fer versus rapport silice/alumine des minerais de fer analysés provenant d'Aillant-sur-Tholon et de Saint-Fargeau.

5.6.2. Les scories

Les scories de d'Aillant-sur-Tholon/Montholon "Bois des Ferriers" (89.003.)

Les 36 échantillons de scories de réduction analysés provenant du secteur du Bois des Ferriers ont été prélevés sur 10 sites différents (annexe fig. 1). Six n'ont été reconnus qu'en surface (Aillant-sur-Tholon "Bois des Ferriers" 89.003.002 et 007, les Réserves 89.003.022, les Boulasseaux 89.003.023, Villiers-sur-Tholon "La Prée Murée" 89.473.001 et 003). Les quatre autres ont fait l'objet d'un sondage archéologique et les scories ont été prélevées en stratigraphie dans différentes couches (89.003.001, 003, 005, 007). Les échantillons sélectionnés couvrent l'ensemble des types de scories observés.

- Deux scories de type A2 proviennent du site Bois des Ferriers n°001 (US 302 et US 309).
- Une scorie de type A3 provient du site Bois des Ferriers n°005 (US 108).
- Deux scories de type A4 proviennent du site Bois des Ferriers n°001 (US 302).
- Six scories de type A5 proviennent du site Bois des Ferriers n°001 (US 201, US 301 et US 302).
- Deux scories dont l'attribution aux types A1 ou A2 n'est pas tranchée proviennent du site Bois des Ferriers n°009 (US 101).
- Quatre scories de type C proviennent des sites n°001 (US 311), n°002 (surface), n°003 (US 103) et n°007 du Bois des Ferriers. La scorie du site n°007 a fait l'objet de deux analyses : sa partie inférieure de texture cristallisée et sa partie supérieure de texture vitreuse.
- Neuf scories de type D proviennent des sites du Bois des Ferriers n°001 (US 402), n°003 (US 103) et des sites la Prée Murée 89.473.001 et 003 (surface).
- Huit scories de type F proviennent des ramassages de surface sur les sites "Les Réserves" 89.003.022 et "Les Boulasseaux" 89.003.0023.

L'un des deux sites ayant livré des scories de type F est daté du Premier âge du Fer (« les Réserves 89.003.022, entre le début du V^e s. av. J.C. et la fin du III^e s. av. J.C.)). Les sites qui ont livré des

scories de types A, C et D sont datés entre la fin de l'âge du Fer (II^e - I^{er} s. av. J.C.) et la fin de l'Antiquité romaine (III^e - IV^e s. J.C.).

Plusieurs groupes de composition chimiques

Sur le diagramme paramétrique [Al - (Na + K + 2Ca) vs. Si - Fe] utilisé en géochimie, dans lequel les éléments chimiques sont représentés en milliatomes grammes dans 100 g d'échantillon (fig. 105), et sur le diagramme ternaire [SiO₂-Al₂O₃-FeO] dans lequel, sont représentés les teneurs dans les trois principaux éléments chimiques (fig. 7), s'individualisent bien au moins trois ensembles de scories différenciés par leurs teneurs en fer et en silice :

- un groupe composé des scories de type F et des scories de type A2, pour lequel les teneurs en oxydes de fer sont comprises entre 60 % et 75 % (soit entre 40 et 55 % de Fe), avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 20 et 30 % et en Al₂O₃ entre 4 et 8 %.
- un groupe composé des scories de types A3, A4 et A5, pour lequel les teneurs en oxydes de fer sont comprises entre 52 et 62 % (soit entre 36 et 43 % de Fe), avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 30 et 38 % et en Al₂O₃ entre 7,5 et 9,5 %.
- un groupe composé des scories de types C et D, pour lequel les teneurs en oxydes de fer sont comprises entre 18 et 46 % (soit entre 12 et 32 % de Fe), avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 40 et 51 % et en Al₂O₃ entre 10 et 17 %.

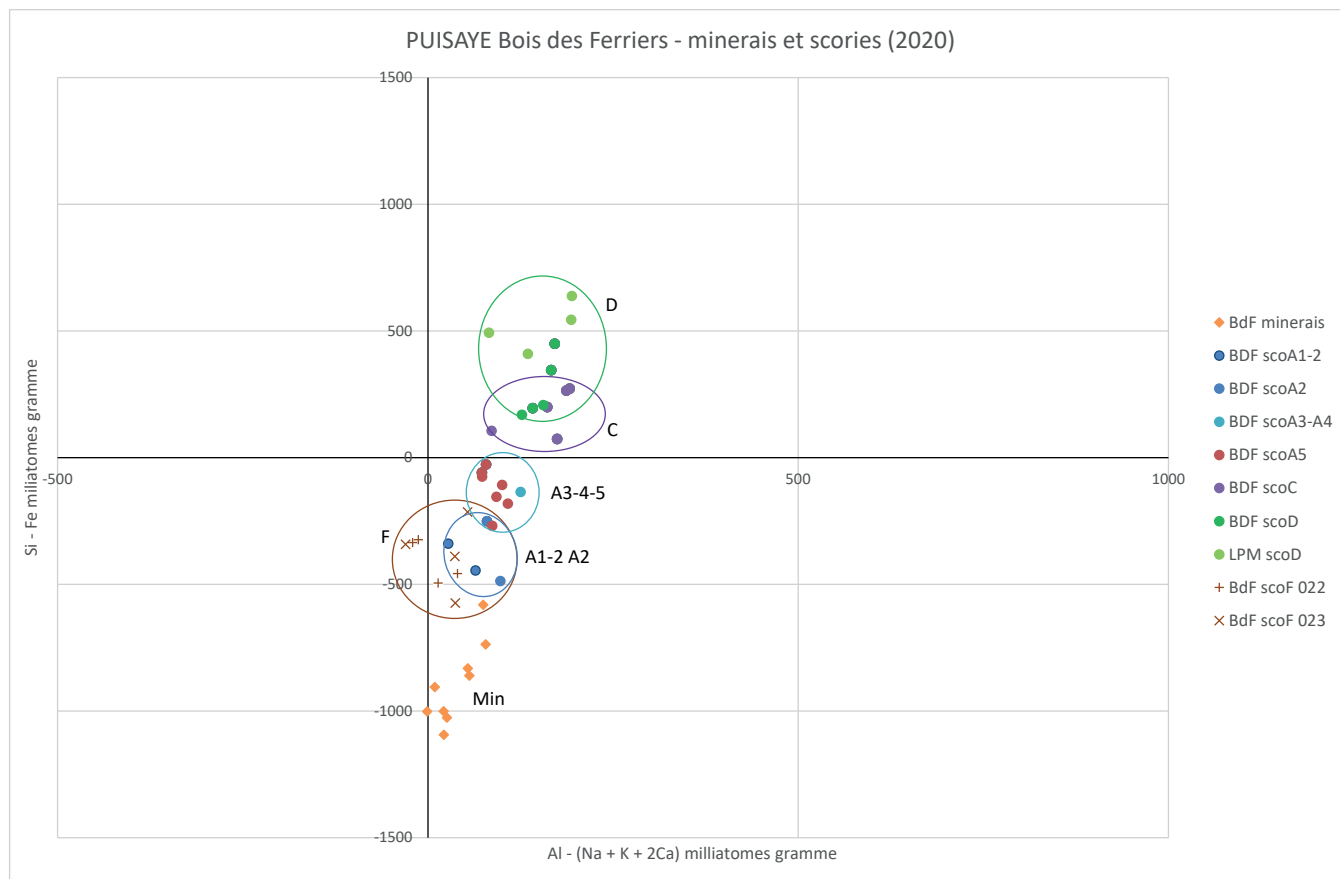


Figure n°105. Diagramme paramétrique représentant la composition chimique dans les principaux éléments majeurs des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

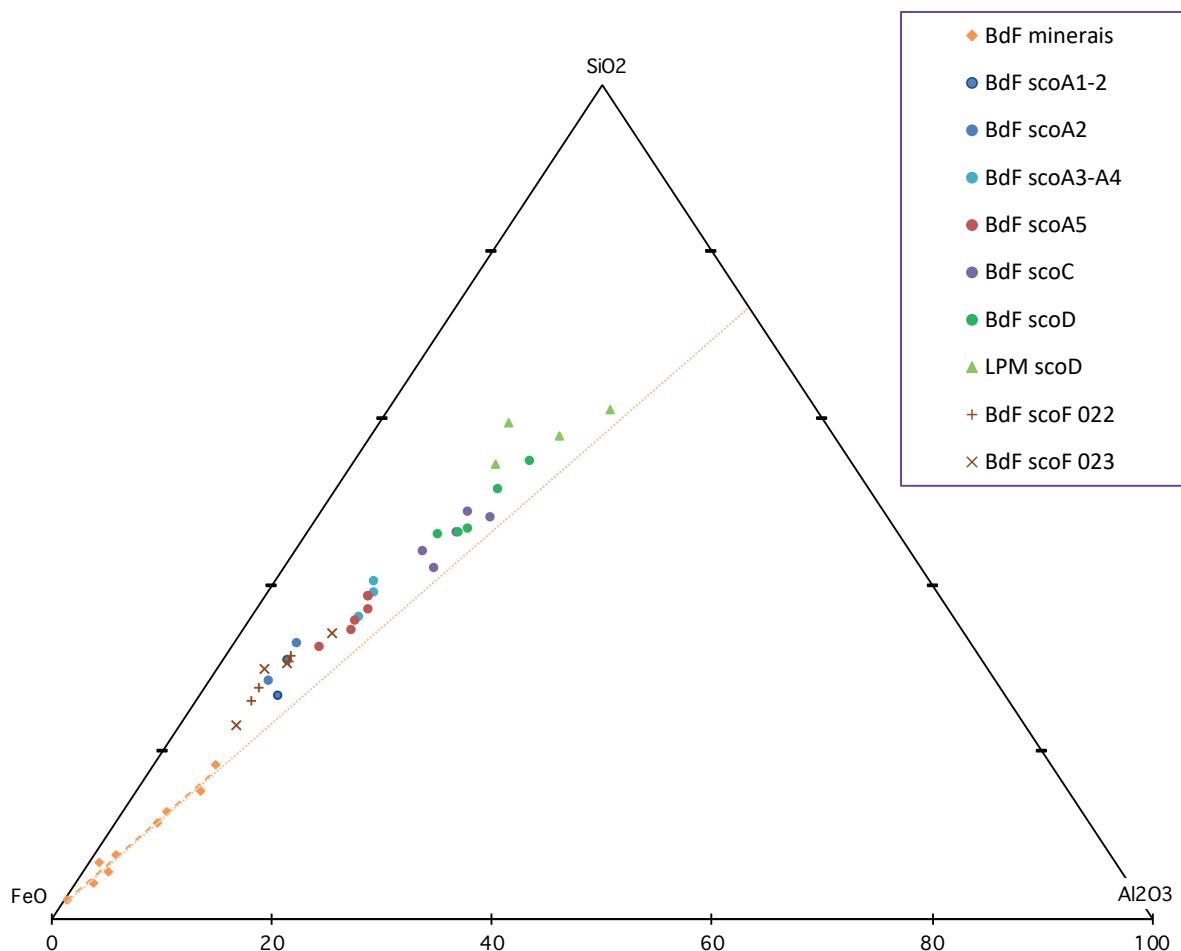


Figure n°106. 7Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans les trois principaux éléments majeurs (silice, alumine et oxydes de fer) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Une apparente filiation minerais - scories

Sur ces deux mêmes diagrammes, les trois groupes de scories paraissent de situer dans un alignement orienté à partir du pôle FeO avec le groupe constitué des échantillons de minerai, ce qui paraît souligner une filiation chimique générique entre les minerais et les scories. Toutefois la position des groupes de scories apparaît un peu décalée par rapport à un alignement strict qui correspondrait à un rapport constant SiO_2/Al_2O_3 . Ce petit décalage peut révéler un léger enrichissement en silice des scories par rapport aux minerais, indice peut-être d'une contamination du liquide formant la scorie par la fusion partielle du revêtement interne de la cuve. Les trois échantillons de parois analysés, qui proviennent toutes du site d'Aillant-sur-Tholon "Bois des Ferriers" n°003, ont en effet une composition chimique nettement plus siliceuse qu'alumineuse (80 % SiO_2 vs. 5 % Al_2O_3 pour deux d'entre elles, 63 % SiO_2 vs. 8 % Al_2O_3 pour la troisième) : leur fusion contaminerait donc le bain de scorie plus nettement en silice qu'en alumine.

Sur le diagramme ternaire $[SiO_2-Al_2O_3-CaO]$, qui permet de représenter la composition des échantillons en s'affranchissant des teneurs en oxydes de fer (fig. 107), tous les points figurant les compositions des scories de types A, C et D sont bien groupés et sont accolés aux groupes des minerais, ce qui caractérise bien une filiation chimique générique entre les deux. Là aussi, le léger décalage observé peut traduire une petite contamination du liquide formant la scorie par un matériau plus siliceux comme la paroi du four. Les scories de type F s'écartent en revanche

un peu de l'ensemble formé par les autres types de scories (le rapport $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y est un peu plus élevé) et elles s'écartent d'avantage du groupe formé par les minerais, ce qui n'apparaissait pas aussi nettement sur le diagramme $[\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{FeO}]$. Ceci peut traduire une composition de charge un peu différente relative à l'utilisation d'un minerai de composition légèrement différente (plus siliceux) ou bien une contamination plus importante par la paroi du fourneau ou encore une contamination par une paroi de composition plus siliceuse. Une autre explication est aussi possible : on remarquera que les points représentant les minerais forment en fait deux groupes bien distincts, l'un composé de deux échantillons beaucoup plus siliceux que les autres, ce qui illustrent une certaine hétérogénéité dans la composition des minerais et pourrait donc engendrer des variations dans la composition des charges des fourneaux et donc au final des scories formées.

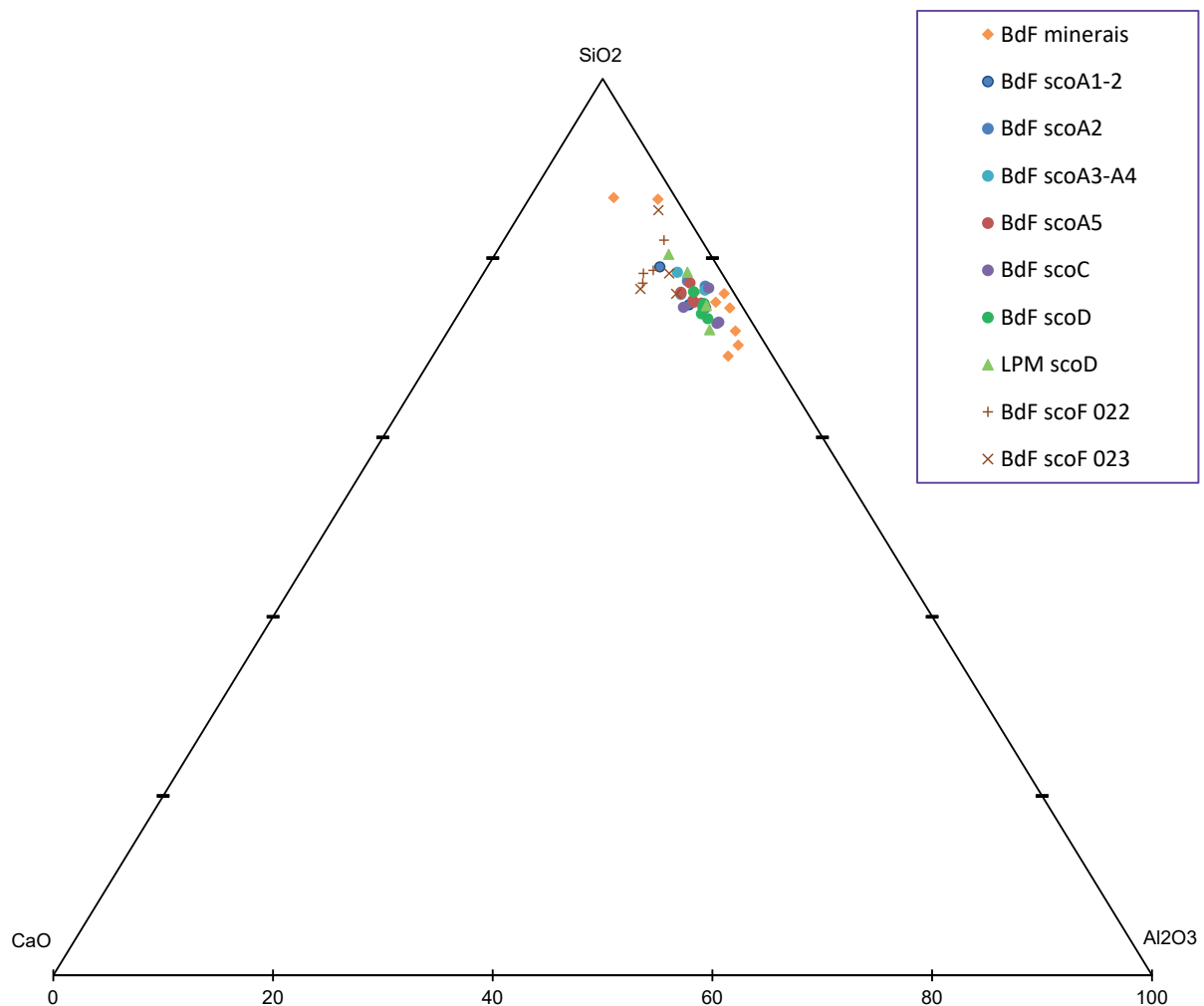


Figure n°107. Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans trois des principaux éléments majeurs (silice, alumine et chaux) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Le décalage entre minerais et scories correspondant à un léger enrichissement en silice des secondes par rapport aux premiers s'observe aussi clairement sur le diagramme $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ vs. } \text{SiO}_2]$ (fig. 108), où tous les groupes de scories sont parfaitement alignés dans le sens d'une augmentation de la teneur en SiO_2 corrélée à la baisse de la teneur en Fe_2O_3 , mais pas avec le groupe des minerais. En revanche cet alignement minerais - scories est bien plus net sur les diagrammes $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ vs. } \text{Al}_2\text{O}_3]$ (fig. 108), $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ vs. } \text{MgO}]$ (fig. 11) et $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ vs. } \text{TiO}_2]$, ainsi que dans une moindre mesure $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ vs. } \text{MnO}]$ (fig. 12) et $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ vs. } \text{V}]$, soulignant que ces scories semblent bien issues de la fusion de ces types de minerais (types 1 et 2).

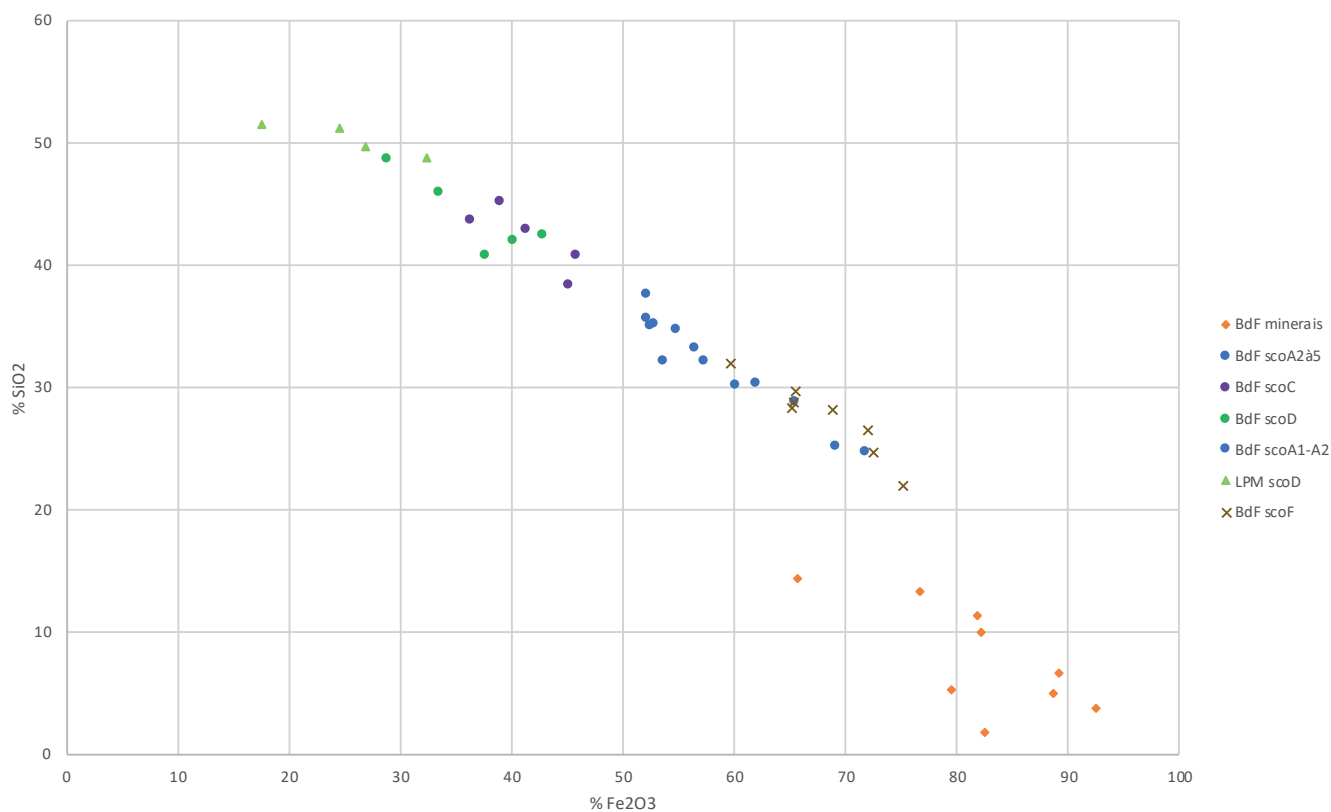


Tableau n°108. Teneurs en oxydes de fer et en silice des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

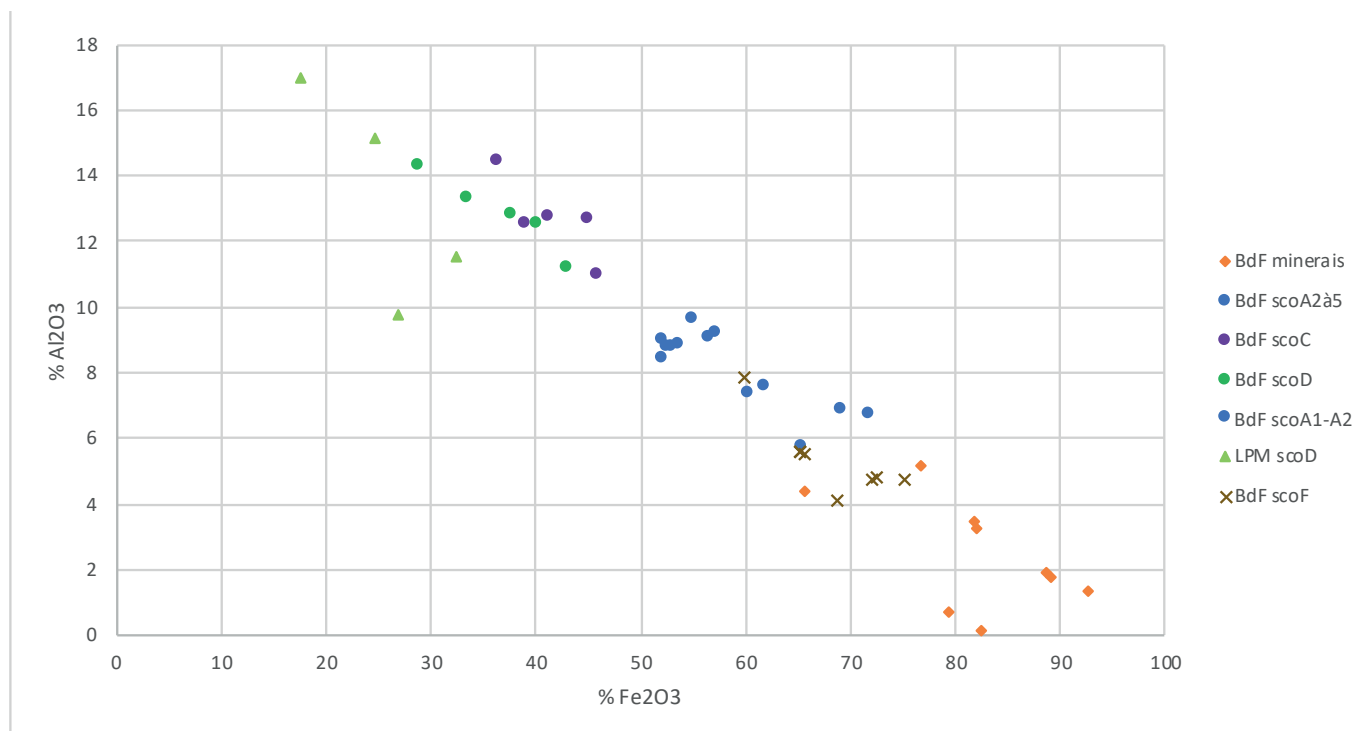


Figure n°109. 10Teneurs en oxydes de fer et en alumine des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

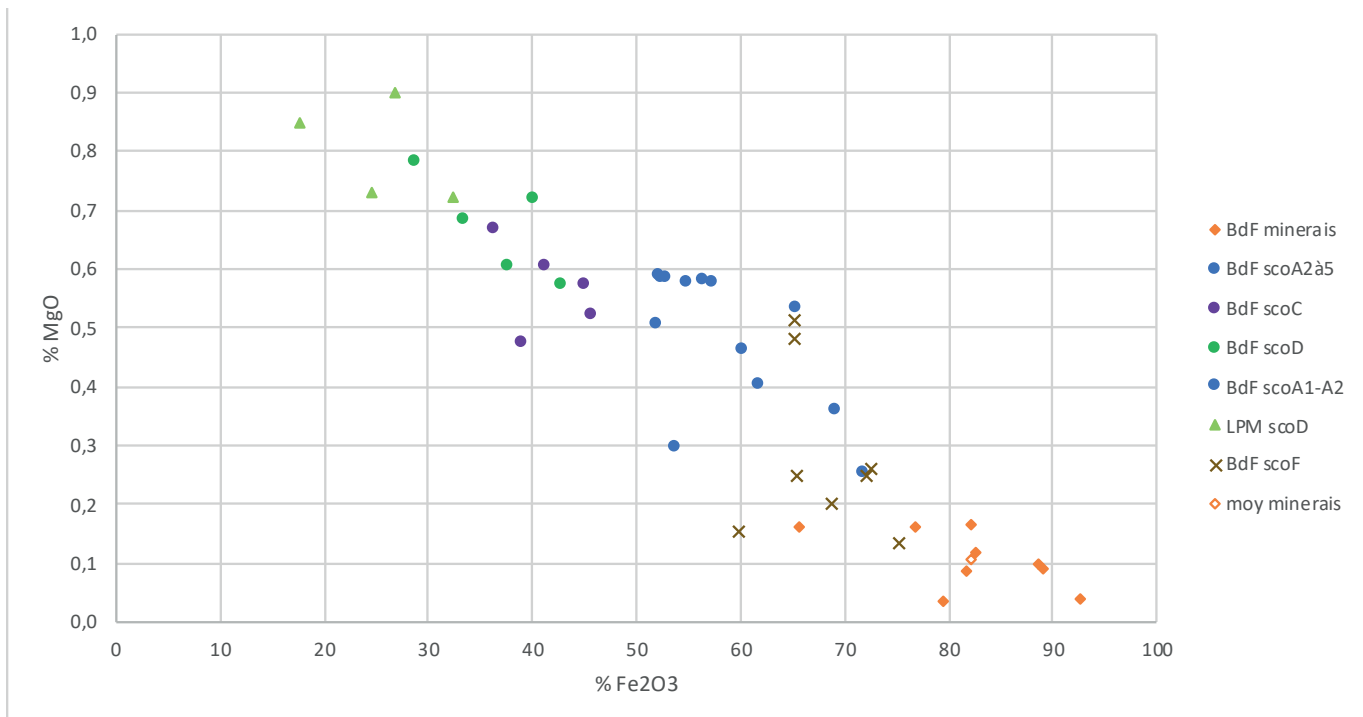


Figure n°110. 11Teneurs en oxydes de fer et en oxyde de magnésium des échantillons de minera is et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Composition chimique et typologie des scories

- Les groupes de scories de type F et A2 (et A1-A2) ne se démarquent pas l'un de l'autre et sont différenciées des scories de types A3, A4, A5 qui sont moins riches en fer et donc légèrement plus riches en silice et en alumine.

- Les scories de type A3, A4 et A5 paraissent de composition similaire, ce qui est cohérent avec leur présence dans les mêmes US (cf. chap. 5.4.) ; cela pourrait accréditer l'hypothèse que ces trois types de scorie sont produits dans les mêmes types de fourneaux et peut-être au cours des mêmes opérations (hypothèses qui restent encore largement à étayer par des observations *in situ*).

- Les scories de types C et D sont de composition proche et se démarquent nettement des compositions des scories de types A3, A4, A5 et encore plus des compositions des scories de type F et A2, avec des teneurs en fer beaucoup plus basses et des teneurs en silice et en alumine plus élevées. On notera que sur les cinq analyses de scories de type C, trois représentent une composition globale mêlant les deux textures superposées observées, alors que les deux autres analyses représentent l'une la partie vitreuse et l'autre la partie cristallisée du même échantillon (annexe 5). Or la composition de la partie cristallisée est la plus riche en fer des cinq analyses et la partie vitreuse est la moins riche en fer des cinq analyses. La différence de positionnement de ces deux analyses sur les diagrammes paraît montrer que le faciès vitreux est de composition similaire à celui des scories de type D, alors que le faciès cristallisé est de composition plus proche de celle des scories de types A3, A4, A5. On pourrait donc penser que si on multipliait les analyses séparées des deux faciès de texture, on aurait pour ces scories de type C deux sous-groupe de composition : un groupe de composition pour la partie cristallisée séparé du groupe de composition pour la partie vitreuse, chacun de ces deux groupes étant très proches des groupes de scories A3-A4-A5 d'une part et D d'autre part. La présence de ces deux faciès de composition différents au sein des mêmes écoulements, mais séparés, placés l'un au-dessus de l'autre et toujours dans le même ordre de superposition, est encore totalement à expliquer.

- Parmi les scories de type D, celles provenant des deux ferriers de la Prée Murée sont globalement nettement moins riches en fer que les scories provenant des ferriers n°001 et 003 du Bois des Ferriers. Les teneurs en oxydes de fer (Fe_2O_3) sont inférieures à 25 % pour deux d'entre elles et même à 20 % pour la troisième, soit moins de 18 % de Fe. Ces scories paraissent donc issues d'un processus physico-chimique au cours duquel l'extraction du fer atteint un taux très élevé proche de ce qu'on observe dans les scories issues du procédé indirect au début de l'époque moderne. Ces scories de type D sont celles qui contiennent aussi des teneurs significativement élevées de MnO, comprises entre 2,5 et 6 % pour les échantillons des ferriers n°001 et 003 du Bois des Ferriers et entre 5 et 10 % pour les échantillons des ferriers n°001 et 003 de la Prée Murée. Pour ces derniers, les teneurs paraissent proportionnellement plus élevées que l'augmentation engendrée par le simple effet de la diminution des teneurs en fer (diagramme $[\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ vs. MnO}]$ fig. 111).

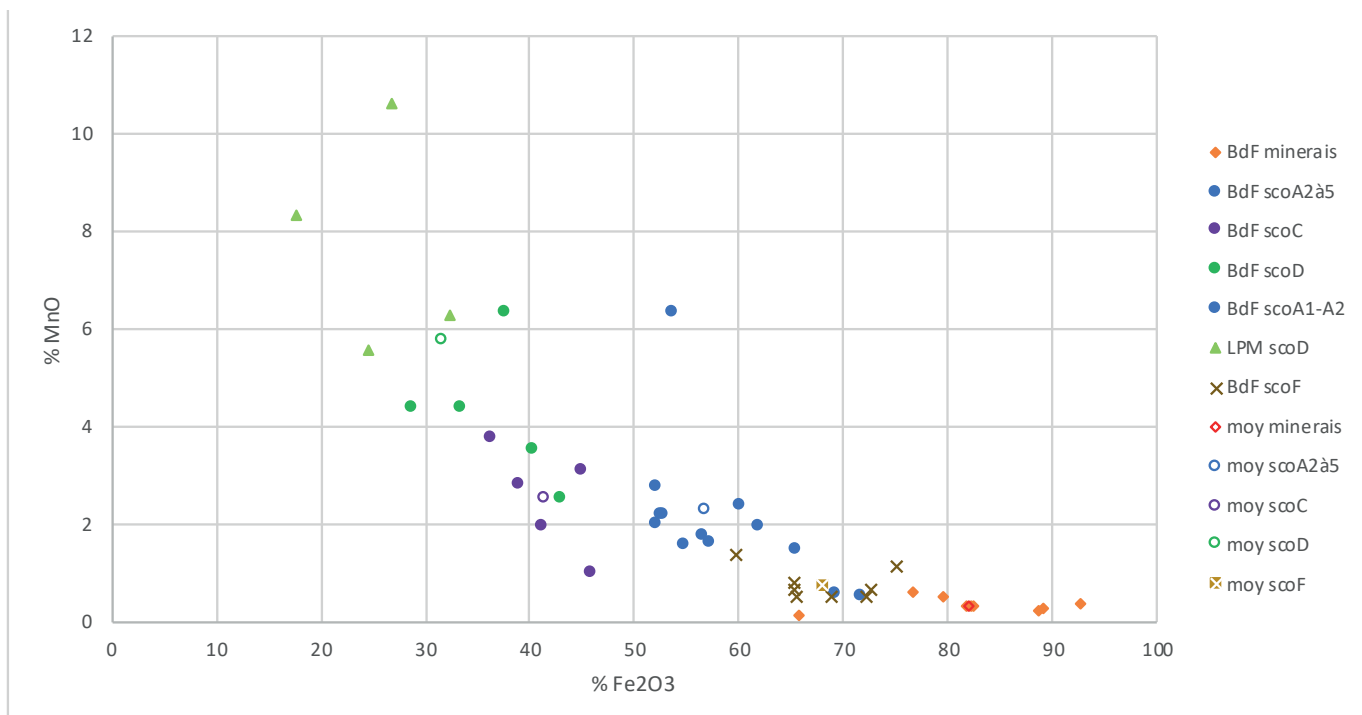


Figure n°111. Teneurs en oxydes de fer et en oxyde de manganèse des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Compositions et températures

Les teneurs dans les trois principaux composés chimiques, FeO , SiO_2 et Al_2O_3 , représentant plus de 90 % du poids des scories, il est possible d'approcher les seuils de températures à partir desquels ces types de composition sont fluides (donc une température minimale d'écoulement des scories), en remplaçant les points représentant les compositions des scories dans ces trois oxydes sur un diagramme ternaire de phases (fig. 112).

Les scories de type A et F sont situées dans le domaine de cristallisation de la fayalite avec des minima thermiques situés entre 1150°C et 1200°C. Vu le positionnement respectif des groupes typologiques, il paraît même possible que les scories de types A3, A4, A5 soient situées dans un domaine de fluidité inférieur à 1150°C, donc fluides à plus basses températures que les scories de type F et A1.

Les scories de types C et D sont situées hors du domaine de composition de la fayalite et dans des domaines de composition où la fluidité nécessite des températures plus élevées : supérieures à 1200°C, voire même à 1400°C pour une partie des scories de type D.

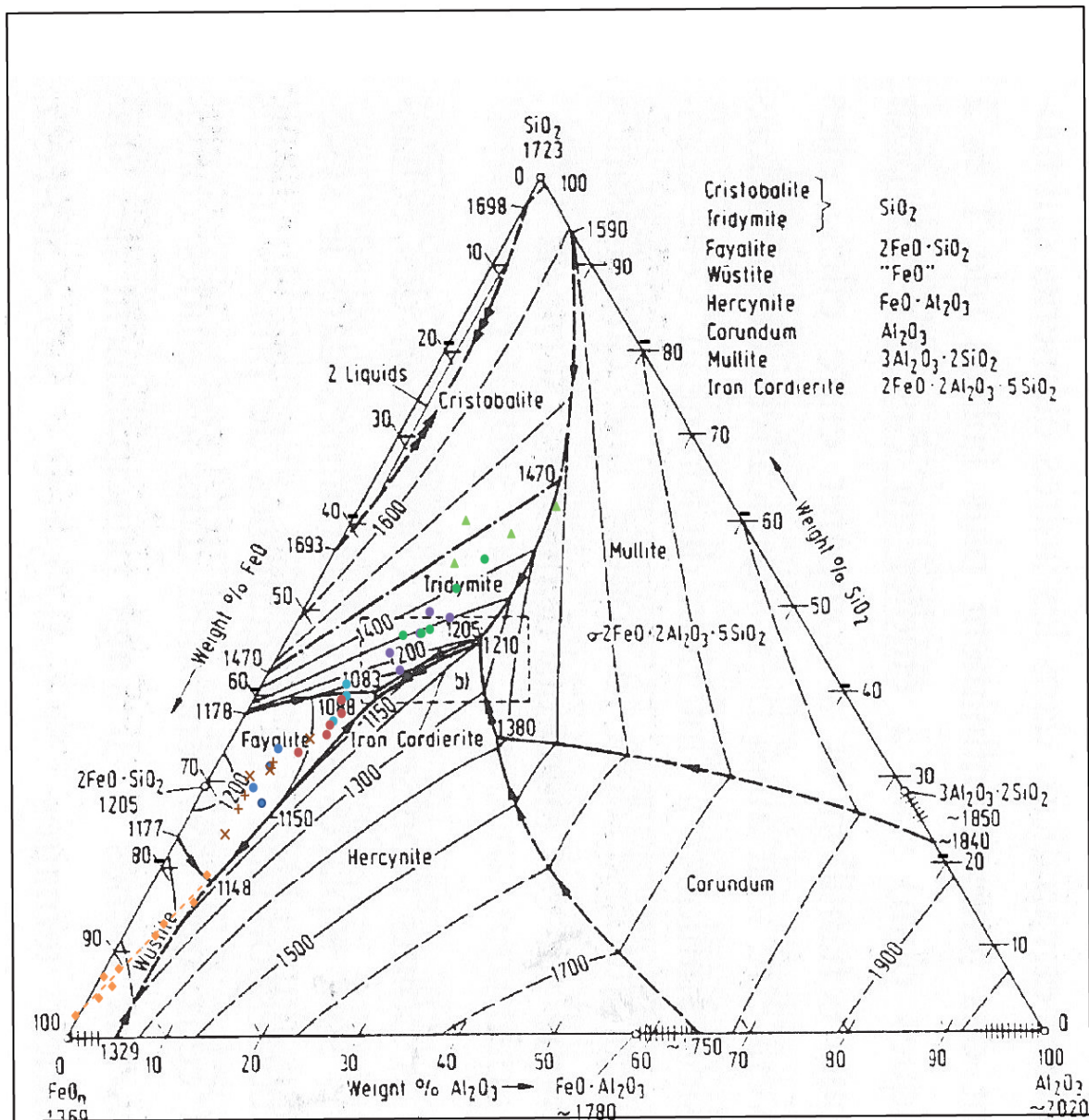


Figure n°112. Position des points représentant la composition des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers". dans le diagramme de phases SiO₂-Al₂O₃-FeO.

Les scories de Saint-Fargeau "Bois de Bailly" (89.344) et zones environnantes (Treigny 89.420)

Les 32 échantillons de scories de réduction analysés provenant du "Bois de Bailly" à Saint-Fargeau et les 6 échantillons de scories prélevées sur des sites de la commune de Treigny ont été prélevés sur 10 sites différents, tous reconnus uniquement en surface (Bois de Bailly 89.344.001, 011, 012, 018, 026, 033, 041 ; Bois des Châtaigniers (89.420.002), Les Gâtines Beauchet (89.420.001). Les échantillons sélectionnés couvrent l'ensemble des types de scories observés.

- Des scories de type F provenant des sites du Bois des Châtaigniers (2 scories), des Gâtines Beauchet (4 scories) à Treigny, du Bois de Bailly 026 (5 scories) et 033 (5 scories). Trois de ces sites sont datés par ¹⁴C de l'âge du Fer.

- Des scories de type A1 provenant des amas 011 (5 scories) et 018 (5 scories) du Bois de Bailly. L'amas 018 est daté par ¹⁴C du premier Moyen Âge.

- Des scories de type A2 provenant de l'amas 001 du Bois de Bailly (5 scories), daté du second âge du Fer.

- Des scories de type B (écoulements à morphologie boudinée et structure bulleuse) provenant de l'amas 012 du Bois de Bailly (4 scories) daté par ^{14}C du second Moyen Âge.
- Des scories de type D provenant de l'amas 041 du Bois de Bailly (3 scories), site non daté.

Plusieurs groupes de compositions chimiques

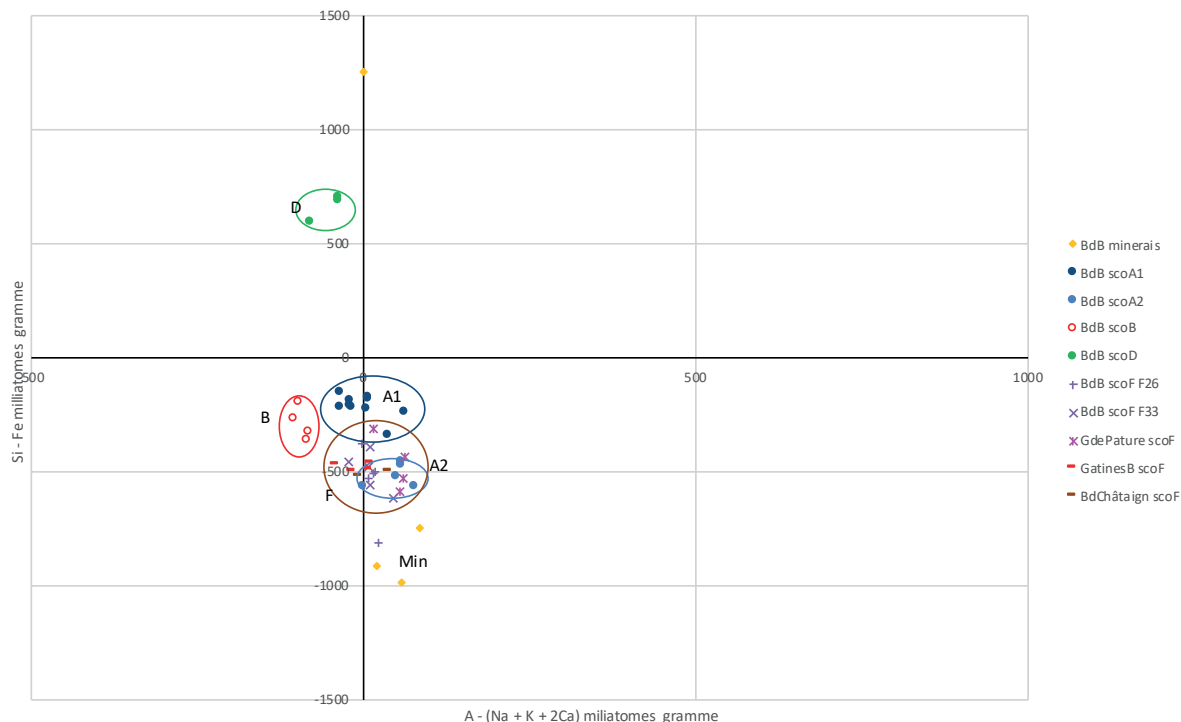


Figure n°113. Diagramme paramétrique représentant la composition chimique dans les principaux éléments majeurs des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant de Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents.

Sur le diagramme paramétrique [Al - (Na + K + 2Ca) vs. Si - Fe] (fig. 113) s'individualisent quatre ensembles de scories différenciés par leurs teneurs en fer ou leurs teneurs en calcium :

- Un groupe composé des scories de type F et de type A2 dont les teneurs en oxydes de fer (Fe_2O_3) sont comprises entre 68 et 84 %, soit entre 48 et 58 % de Fe, avec des teneurs en SiO_2 comprises entre 20 et 30 % et des teneurs en Al_2O_3 comprises entre 2,5 et 6 %. Parmi les autres éléments, seules les teneurs en CaO dépassent 1 %, ainsi que pour certains échantillons celles en MnO.
- Un groupe composé des scories de type A1 dont les teneurs en oxyde de fer sont comprises entre 58 et 61 %, soit autour de 40-42 % de Fe, avec des teneurs en SiO_2 comprises entre 30 et 34 % et des teneurs en Al_2O_3 comprises entre 5 et 7 %. Les teneurs en CaO sont comprises entre 1,35 et 3,4 % et celles en MnO entre 1 et 2 %. Les teneurs en K_2O dépassent aussi 1 %.
- Un groupe composé des scories de type B dont les teneurs en oxydes de fer, en SiO_2 et en Al_2O_3 sont du même ordre que celles des scories de type A1, mais dont les teneurs en CaO sont légèrement plus élevées (entre 4 et 5 %), ainsi que celles de K_2O (entre 1,5 et 2 %). En revanche, les teneurs en MnO sont du même ordre (autour de 1 %).
- Un groupe composé des scories de type D avec des teneurs en oxydes de fer (20 % de Fe_2O_3 , soit moins de 15 % de Fe), en SiO_2 (50 à 55 %) et en Al_2O_3 (10 à 11 %) similaires à celles des scories de même type collectées dans le Bois des Ferriers, mais un peu plus riches en CaO (autour de 6 %).

Au total, les groupes de scories de types F et A2 d'une part, de types A1 et B d'autre part, et de type D se différencient par leurs teneurs en oxydes de fer (différenciation que l'on peut observer sur le diagramme ternaire $[\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}]$, fig. 114), mais les scories de type B se différencient aussi des scories de types F et A2 et des scories de type A1 par leurs teneurs en calcium plus élevées (différenciation observable sur le diagramme ternaire $[\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}]$, fig. 16). Comme pour le Bois des Ferriers, les scories de type D se différencient nettement des autres groupes de scories. Toutefois, leur alignement sur le diagramme ternaire $[\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}]$ avec les autres groupes de scories par rapport au pôle FeO (fig. 114) paraît indiquer qu'elles sont issues de la réduction du même type générique de minerai.

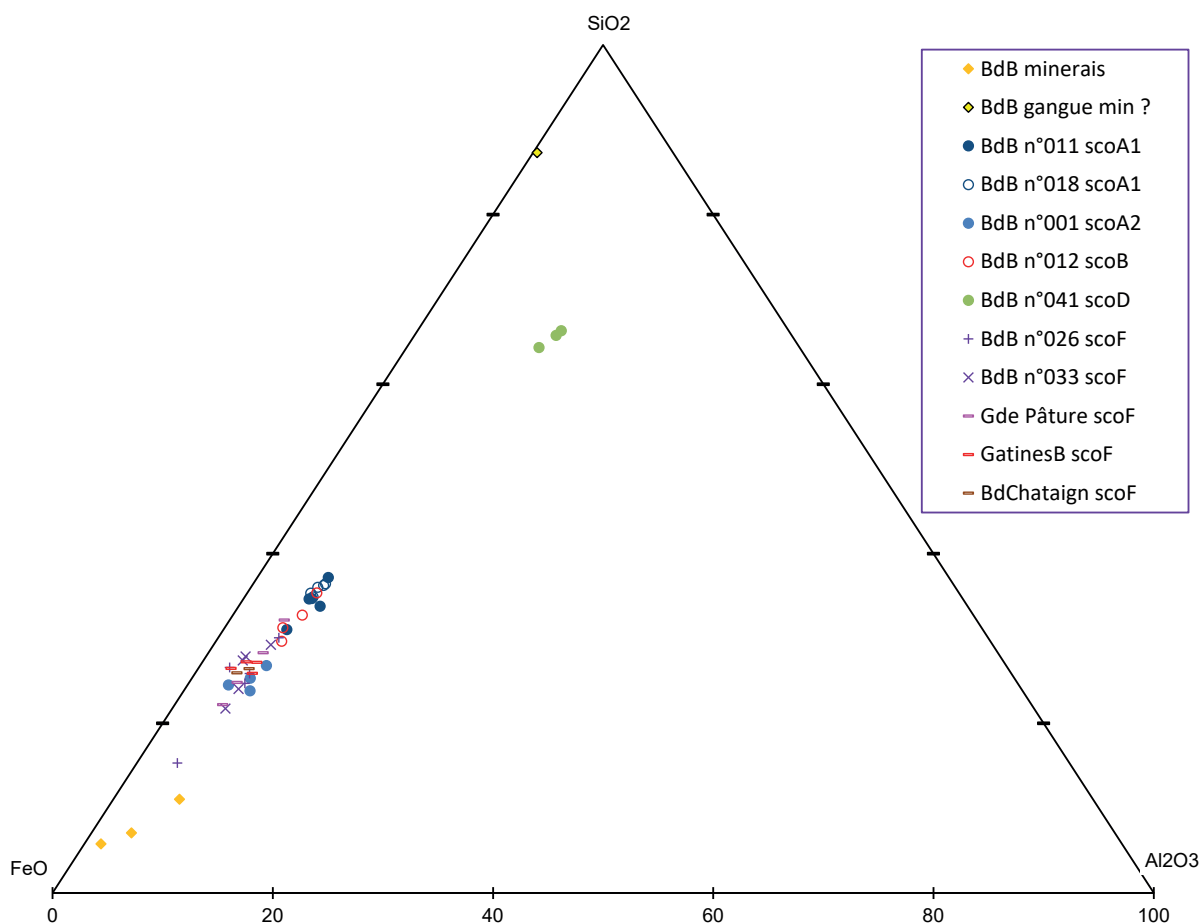


Figure n°114. Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans les trois principaux éléments majeurs (silice, alumine et oxydes de fer) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents.

Une filiation minerais - scories en question

Sur le diagramme $[\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}]$, les groupes de scories, bien alignés entre eux, ne paraissent pas en revanche se situer dans un alignement avec les trois échantillons de minerais analysés (fig. 114). Cette dissociation entre minerais et scories est encore plus nette sur le diagramme $[\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO}]$: on observe même que deux des échantillons de minerais ont une composition fortement différenciée de celles des différents groupes de scories (fig. 115). Il s'agit à la fois d'un minerai de type 3 et d'un minerai de type 4. En revanche, l'autre minerai de type 3 est bien plus proche de la composition des groupes de scories ; il s'en différencie toutefois par une teneur en calcium nettement plus basse. Ces différences illustrent probablement la grande hétérogénéité de composition des minerais de fer potentiels. La caractérisation chimique des minerais utilisés est donc encore à préciser. Par ailleurs, la différence de teneurs en calcium des scories de type B

par rapport aux scories de types A1, A2 et F, pourrait aussi s'expliquer par l'utilisation de minerai de composition (et donc de nature) différente.

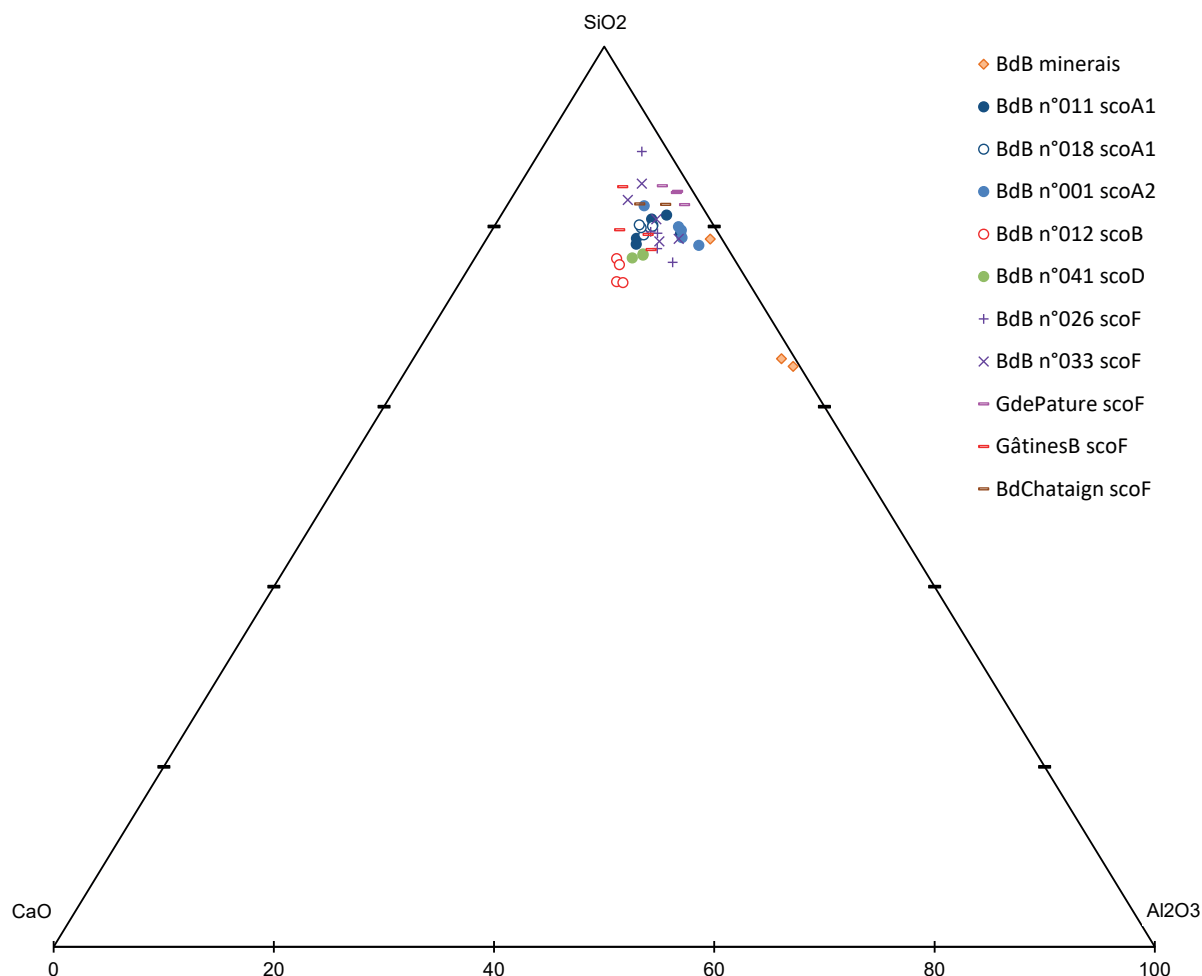


Figure n°115. Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans trois des principaux éléments majeurs (silice, alumine et chaux) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents.

Comparaison avec les scories de "Montholon" Bois des Ferriers

Les différenciations de composition chimique entre les différents groupes de scories (F, A2, A3-A4-A5, C et D) apparaissent similaires entre les deux secteurs géographiques. Les scories de type B du Bois de Bailly datées du second Moyen Âge sont pour leur part de composition plus calcique que les scories de type A du Bois des Ferriers.

D'une manière générale, les scories du Bois de Bailly paraissent légèrement plus riches en CaO que celles du Bois des Ferriers. Ce caractère plus calcique est même plus accentué pour les scories de type D du Bois de Bailly par rapport à celles du Bois des Ferriers. Ce fait pourrait être au moins en partie lié à la composition du ou des minerais utilisés. Dans ce cas, les échantillons de minerai analysés ne seraient pas représentatifs.

5.6.3. Scories, procédés techniques, chronologie

Les scories de type F caractérisent un mode de fonctionnement des fourneaux au cours duquel les éléments fusibles de la gangue du minerai s'écoulent dans le fond de la cuve et/ou dans une fosse aménagée sous celle-ci. Tous les sites ayant livré ce type de scories et qui ont pu être datés

par ^{14}C sont situés dans une tranche chronologique correspondant au premier âge du Fer et au début du second, soit entre le VIII^e-VII^e et le III^e-II^e s. av. J.-C. Ce sont les scories les plus riches en fer.

Les scories de type A caractérisent un mode de fonctionnement des fourneaux au cours duquel les éléments fusibles de la gangue du minerai s'écoulent à l'extérieur de la cuve dans une cuvette ou un canal réceptacle. Les sites ayant livré des scories de type A2, A3, A4 et A5 sont actuellement datés dans une tranche chronologique correspondant au second âge du Fer (postérieur au III^e s. av. J.-C.) et à l'Antiquité romaine (jusqu'au III^e s. ap. J.-C.).

Les scories du Bois des Ferriers montrent une différence de composition entre ces deux ensembles, illustrée par leur séparation sur les diagrammes, qui correspond principalement à une différence de teneur en fer : les scories de type A2, A3, A4, A5 sont moins riches en fer que les scories de type F, ce qui indique un meilleur rendement de l'opération métallurgique.

Dans le Bois de Bailly, les scories de type A1 proviennent de deux sites datés du premier Moyen Âge, entre le milieu du VIII^e et le milieu du X^e s. ap. J.-C. Ces scories sont moins riches en fer que les scories de type F, mais elles possèdent des gammes de teneur en fer similaires à celles des scories de type A3, A4, A5, d'époque romaine du Bois des Ferriers.

Les scories de type B du Bois de Bailly, provenant d'un site daté du second Moyen Âge (XIII^e - XIV^e s. ap. J.-C.) correspondent aussi à des écoulements hors de la cuve dans une cuvette ou un canal réceptacle, mais leur morphologie est spécifique (gros écoulements boudinés à structure bulleuse surmontant une base dense) et leur composition se démarque des scories de type A2, A3, A4, A5 d'époque antique et de type A1 du premier Moyen Âge, par un caractère plus calcique mais avec des gammes de teneurs en fer équivalentes, donc paraissant correspondre à un rendement en fer du même ordre, sous réserve que le minerai utilisé présente une composition similaire, ce qui n'est pas forcément le cas, une différence de composition du minerai ou de la charge pouvant expliquer ce caractère plus calcique des scories (dans ce cas la connaissance de la composition du minerai est nécessaire pour apprécier réellement le rendement de l'opération de réduction).

Les scories de types C et D se différencient nettement des groupes typologiques précédents, à la fois par leur aspect morphologique et leurs faciès structural et textural, mais aussi (et surtout) par leur composition chimique et leur faciès minéralogique. Il s'agit d'écoulements boudinés, de grosses dimensions, partiellement (type C) ou totalement (type D) vitreux. Leur composition chimique se démarque nettement des scories de types A, B et F, notamment du point de vue des teneurs en fer inférieures à 30 % pour les scories de type C (moins de 50 % d'oxydes de fer), et même inférieures à 20 % pour les scories de type D, et donc avec en corollaire des teneurs en SiO_2 et en Al_2O_3 notablement plus élevées (ces scories contiennent jusqu'à deux fois plus de silice que d'oxydes de fer). La formation de ces scories traduit probablement des conditions de formation et d'écoulement très différentes de celles qui conduisent aux écoulements de type A ou B. La texture vitreuse traduit sans doute des conditions de température plus élevées pour obtenir un état de fluidité suffisant, ce que semble montrer la position des points sur le diagramme de phases $[\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO}]$ (fig. 112 : 1300 à 1400°C), même si les teneurs plus élevées en MnO qu'on y observe peuvent avoir joué un rôle dans le maintien d'un état de fluidité à des températures plus basses. Toutefois, la présence de billes de fer carburé dans ces scories vitreuses de type D, ainsi que de grains de quartz en cours de transformation en cristobalite, sont deux autres indices pour envisager des niveaux de températures assez élevées. Par l'ensemble de ces caractéristiques, ces scories ressemblent fortement à des scories de hauts fourneaux anciens (fig. 116 et 117). Pour autant, l'état des investigations ne permet pas de prétendre que ces scories résultent d'un procédé de production de type indirect avec production de fonte, d'autant que les sites d'où

elles proviennent sont datés de la période romaine, entre le II^e et le IV^e s. ap. J.-C., soit dans un intervalle qui recoupe celui des sites ayant livré des scories de types A2-A3-A4-A5. La caractérisation du processus conduisant à la formation des scories de type C et D est donc un axe de recherche particulièrement important, qui touche aussi à l'histoire des techniques sidérurgiques.

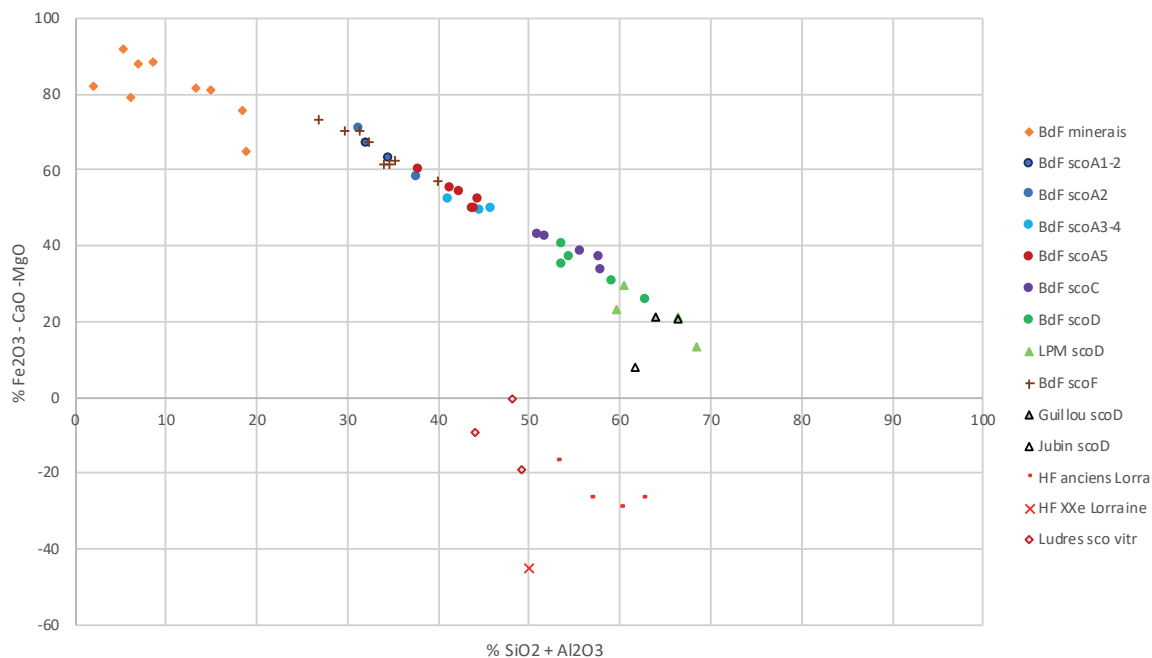


Figure n°116. Diagramme paramétrique $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ versus $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO}$ permettant de comparer les groupes de compositions chimiques de scories provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois des Ferriers" entre eux et avec des scories issues du procédé indirect.

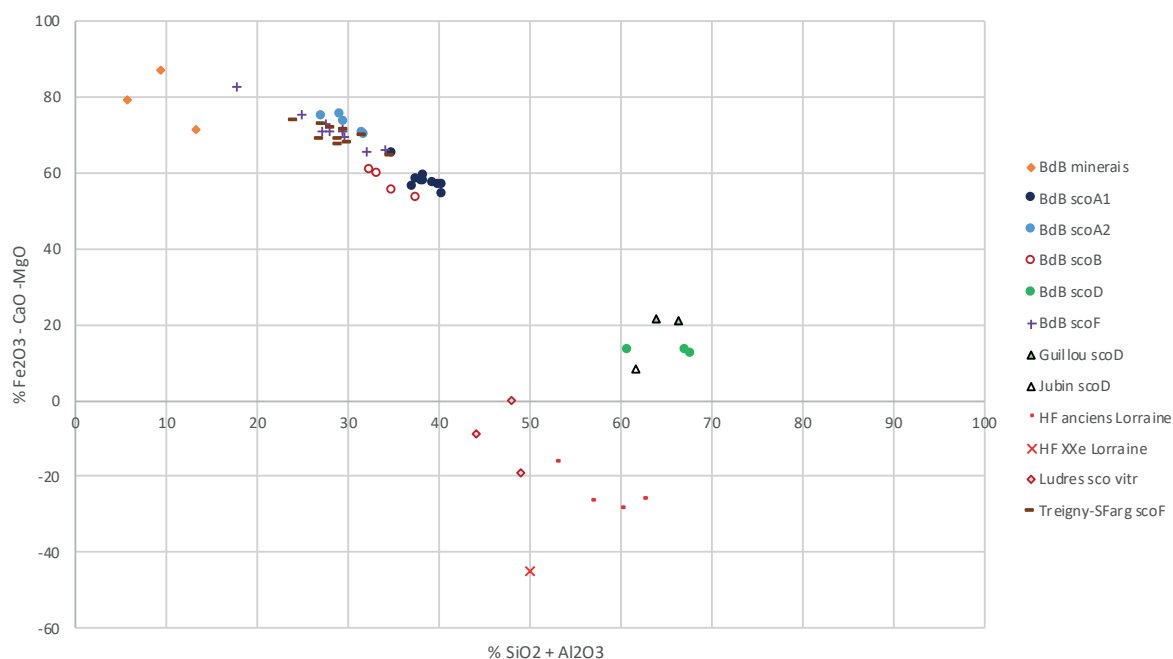


Figure n°117. Diagramme paramétrique $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ versus $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{MgO}$ permettant de comparer les groupes de compositions chimiques de scories provenant de Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents entre eux et avec des scories issues du procédé indirect.

5.7. Anthracologie des ferriers 5 et 20 du « Bois de Ferriers » à Montholon, Aillant-sur-Tholon (89)

Sylvie Coubray, Olivier Girardclos

5.7.1. Matériel et méthodes

Corpus d'étude

L'analyse anthracologique des ferriers 5 et 20 vient en complément de l'étude des charbons des ferriers 1, 9 et 10 de la même zone réalisée en 2019 (Girardclos et Jeannot). Elle a été conduite sur 13 prélèvements provenant de 9 US différentes. Par ailleurs, cette opération a permis de sélectionner une série de charbons de chêne (n=130) et de hêtre (n=113) aptes à l'application d'une analyse anthraco-typologique qui permettra, grâce à l'application d'outils dendrométriques aux charbons de bois, de répondre plus précisément aux hypothèses sur les modalités d'exploitations du bois, sur les dynamiques de croissance, et plus largement sur l'impact des exploitations du bois sur le paysage.

Méthodes d'identification des taxons

L'identification des taxons nécessite un examen au microscope. Tout ligneux produit un bois particulier, spécifique et héréditaire, qui présente une organisation particulière de ses tissus. Sur les charbons de bois, l'observation se fait au microscope photonique à réflexion fond clair - fond noir (*Nikon Eclipse ME 600L*). L'utilisation de ce type de microscope permet l'observation directe de la structure du bois carbonisé, pas ou peu, endommagée par la combustion. La détermination des taxons est faite à l'aide d'ouvrages spécialisés sur l'anatomie du bois (Schweingrüber, 1990) et de la collection de référence de bois actuels carbonisés de l'UMR 7209 du CNRS (Muséum national d'Histoire naturelle de Paris). L'observation est effectuée sur les trois plans anatomiques du bois: le plan transversal, le plan longitudinal radial et le plan longitudinal tangentiel à des grossissements de 50, 100, 200, 500 fois.

Méthode dendro-anthracologique

Elle sera appliquée sur les charbons de bois sélectionnés dans l'assemblage anthracologique selon les critères suivants: dimensions supérieures à 4mm et présentant au moins deux cernes entiers de croissance. Chaque fragment de charbon sera caractérisé par 3 paramètres, i) largeur de cerne, ii) distance charbon-moelle, iii) estimation de l'âge, à l'aide d'un macroscopie (Nikon AZ100) couplé à une caméra et un logiciel d'analyse d'image (NISelement)¹.

i) Mesures de largeurs de cernes

Les largeurs de cernes sont couramment utilisées en dendro-anthracologie et apportent des informations sur les conditions de croissance des arbres (cernes fins pour des conditions de croissance contrainte, et cernes larges pour des conditions de croissances favorables) (Marguerie et Hunot, 2007). La largeur de chaque cerne est mesurée pour chacun des fragments, puis une moyenne est calculée par charbon. À cette valeur moyenne, une correction de (+ 20 %) est appliquée pour rendre compte du retrait du bois lors de la carbonisation (Paradis-Grenouillet & Dufraisse, 2018).

Toutefois, les largeurs de cerne enregistrent la dynamique de croissance de l'arbre en fonction de son âge - phases juvénile, mature, sénescence - et des organes - branches, troncs. En outre, les pratiques de tailles ne vont pas impacter les mêmes phases de croissance ; par exemple, l'exploitation de rejets de souches sera enregistrée pendant la phase juvénile (Girardclos et al., 2018). A cela s'ajoutent des événements climatiques ou environnementaux qui peuvent affecter la croissance tout au long de la vie de l'arbre. Par conséquent, différents patrons de croissance

peuvent être observés : i) des cernes étroits suivis de cernes larges traduisant une diminution des contraintes de croissance, par exemple suite à une ouverture du milieu (noté REL-type), ii) des cernes larges suivis de cernes étroits traduisant des conditions de croissance de plus en plus difficiles (noté SUPP-type), iii) des séries particulières de cernes, par exemple des cernes larges suivis de 3-5 cernes étroits puis retour à des cernes larges, pouvant traduire des pratiques de taille particulière (noté LOC-type). Les types sont attribués selon la nomenclature de N. Bleicher (2014).

Pour une meilleure interprétation des largeurs de cernes et des taux de croissance, les fragments de charbons sont ensuite repositionnés dans la section transversale de la tige par le calcul de la distance moelle-charbon.

ii) Calcul de la distance moelle-charbon

Le calcul de la distance entre le fragment de charbon de bois et le centre de la tige (absent dans la grande majorité des cas) est réalisé avec l'outil trigonométrique basé sur les mesures de l'angle et de distance entre deux rayons ligneux (Dufraisse & Garcia Martinez, 2011). Cet outil a été évalué, expérimentalement, sur des rondelles de bois frais et carbonisés de 7 taxons, notamment le chêne et le hêtre. Ce travail a permis de proposer des critères exclusifs pour l'application à des assemblages archéologiques et d'établir des facteurs de correction liés à l'outil trigonométrique lui-même (sous-estimation de la distance pour des valeurs comprises entre 5 et 10 cm) et au retrait du bois qui se produit pendant la carbonisation. Le référentiel a également permis de montrer qu'il n'y a pas de mesures fiables pour des distances supérieures à 12.5 cm, soit un diamètre de 25 cm (Dufraisse & Garcia-Martinez, 2011; Garcia-Martinez & Dufraisse, 2012).

Les calculs des distances moelle-charbon sont réalisés à partir des mesures de distances et d'angles entre deux rayons ligneux, opération répétée 5 fois par charbon. Une distance moyenne est ensuite calculée sur 3 valeurs, après élimination des deux extrêmes. Deux types de correction sont ensuite appliquées, celle de l'outil trigonométrique pour les valeurs de distance comprises entre 5 et 10 cm (+ 20 %), et celle liée au retrait du bois lors de la carbonisation sur toutes les valeurs (+ 20 % au minimum). Les valeurs de distance sont ensuite projetées en diamètre (valeurs de distance x2) puis rangées dans des classes de diamètre. Pour les feuillus, les coupes de bois conventionnelles sont de 4 cm, 7 cm, 20 cm, etc. Deux niveaux de coupes supplémentaires ont été ajoutées, à 2 et 10 cm, pour une interprétation plus précise des données anthracologiques, soient les classes de diamètre suivantes :]0-2] cm,]2-4] cm,]4-7] cm,]7-10] cm,]10-20] et > 20 cm.

Effets de la carbonisation : une étude de Paradis-Grenouillet et Dufraisse (2018) sur le chêne et le châtaignier à différentes températures soutient que l'intensité du retrait dépend des taxons mais aussi du mode de croissance, du bois de cœur et de l'aubier, et de la taille des billes. En attendant de compléter ce référentiel de «carbonisation» sur les autres taxons, à l'état de l'art, on estime le retrait moyen de 20% dans un foyer domestique ouvert. Cette valeur peut atteindre 40 % dans les charbonnières. Ces valeurs de retrait doivent être ajoutées à la largeur des cernes de croissance et aux distances entre les charbons et la moelle.

iii) Estimation de l'âge

Chez les chênes à feuillage caduc (chêne sessile, pédonculé, pubescent), un phénomène de duraminisation (formation de bois de cœur, tissu dont les cellules ne sont plus vivantes et imputrescible) se produit vers l'âge de 20 - 25 ans, par conséquent, dans les assemblages anthracologiques, l'absence de bois de cœur dans le chêne est une indication de l'exploitation de jeunes bois (trunks ou branches).

Sur bois frais, ce processus se traduit par la coloration du bois de cœur due au dépôt de lignines et de polyphénols. Le processus de carbonisation rend cette caractéristique inutilisable en anthracologie. Toutefois, la formation de thylles (expansion des parois de cellulose) dans les vaisseaux du bois initial (bois de printemps) permet de caractériser la formation de duramen. Diverses études ont néanmoins montré que la formation de thylles se produit également dans l'aubier - partie périphérique et vivante du bois -. Le nombre de vaisseaux obstrués par des thylles varie donc de 0 % dans l'aubier à 100 % dans le bois de cœur mais aucune quantification n'avait été réalisée jusqu'alors. Un référentiel a donc été créé sur des chênes à feuillage caduc afin d'établir des seuils de discrimination entre aubier et duramen applicables à l'anthracologie et un protocole d'analyse a été proposé (Dufraisse et al., 2018a). Ainsi, des fragments présentant moins de 65 % de vaisseaux obstrués par des thylles appartiennent à de l'aubier ; des fragments avec plus de 85 % des vaisseaux obstrués par des thylles sont attribuables au duramen. Les pourcentages compris entre 65 et 85 % ne peuvent être attribués à l'aubier ou au duramen avec certitude ; les fragments concernés ne sont donc pas intégrés à l'analyse.

Selon les taxons, les thylles ne sont pas systématiquement corrélées à l'âge, c'est le cas pour le hêtre. Actuellement, aucun critère morpho-anatomique n'a encore pu être mis en évidence pour ce taxon pour ce paramètre.

iv) Elaboration des anthraco-groupes

Une fois les 3 paramètres mesurés, les charbons de bois sont triés en groupes anthraco-typologiques selon une clé de lecture basée sur les paramètres dendro-anthracologiques. La combinaison de paramètres permet de proposer 8 anthraco-groupes pour les taxons dont on peut estimer l'âge (fig. 118) selon la méthode présentée dans Dufraisse et al. (2018b), tandis que la clé de lecture des taxons caractérisés par 2 paramètres seulement repose sur 4 anthraco-groupes.

Les distances charbon-moelle sont divisées en deux groupes, inférieur ou supérieur à 3.5 cm, ce qui correspond à un diamètre projeté de 7 cm, une valeur qui représente pour les forestiers un seuil de distinction entre tronc et branches. Pour ce qui est des largeurs de cernes, celles inférieures à 1 mm par an sont considérées comme le reflet de conditions de croissance contraintes tandis que les valeurs supérieures à 1 mm représentent des conditions de croissance favorables (Bernard, 1998). Les charbons de bois présentant des patrons de croissance irréguliers sont traités séparément. Les données sont représentées sous forme de graphe avec les anthraco-groupes en abscisse, le pourcentage du nombre de fragments de chaque groupe en ordonnée (fig. 119).

Chez le chêne, les anthraco-groupes 1 et 2 représentent des charbons issus de jeunes bois (aubier proche du centre de la tige, donc sans duramen) dont le diamètre projeté permet une estimation des calibres de bois utilisés. Les anthraco-groupes 3-4 représentent des fragments de duramen très proche de la moelle (< 7 cm de diamètre), tandis que les anthraco-groupes 7-8 représentent des fragments de duramen plutôt médians (>7 cm). Enfin, les anthraco-groupes 5 et 6 correspondent à l'aubier périphérique (qualifié ainsi par opposition à des jeunes bois où l'aubier occupe toute la section). Le diamètre projeté de ces fragments permet une estimation de la taille minimale des gros calibres exploités. L'analyse est simplifiée pour les taxons pour lesquels on ne peut former que 4 anthraco-groupes.

Les mesures sur les charbons sélectionnés de chêne et de hêtre seront faites au cours de l'année 2021 et comparées aux résultats dendro-anthracologiques obtenus par O. Girardclos et R. Jeannot en 2019 (Girardclos, Jeannot 2019).

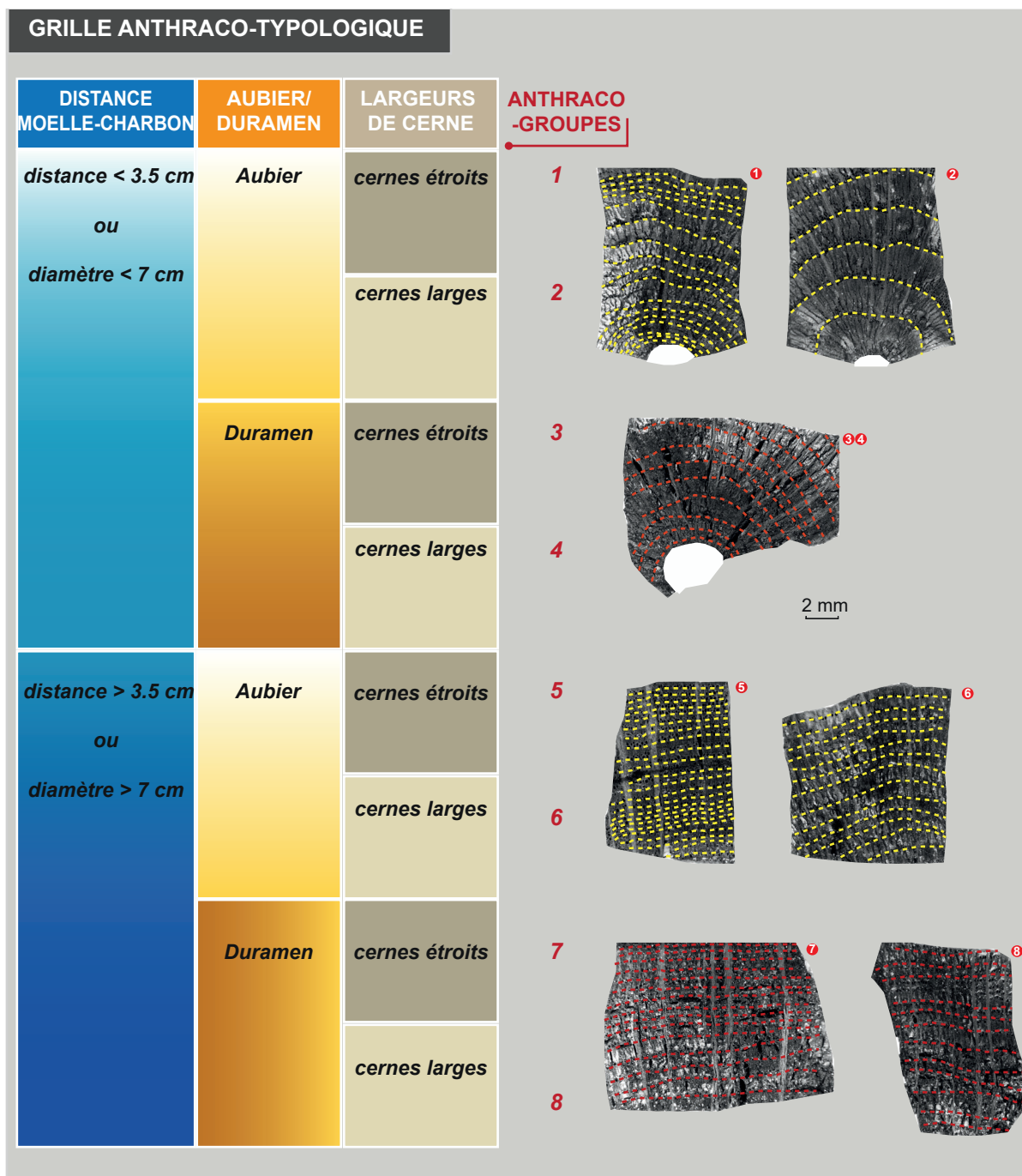


Figure n°118. Anthraco-typologie du chêne (d'après la méthode présentée dans Dufraisse et al. 2018b).

5.7.2. Résultats de l'analyse anthracologique

Ferriers 5 et 20

Toutes structures confondues, 504 charbons ont été déterminés, 1 seul charbon est indéterminable, on a noté la présence de restes d'écorce, non déterminés, dans la majorité des US à l'exception des US 101, 113 et 207 du ferrier 20. Au total, au moins 6 taxons ont été identifiés: *Quercus* sp. fc, *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus*, *Acer* cf. *campestre*, *Populus* et/ou *Salix*, *Evonymus europaeus*, Angiospermae indéterminable (fig. 120-121). La précision de l'identification du taxon est souvent l'espèce. Toutefois, les incertitudes dans le travail d'identification sont notées comme suit :

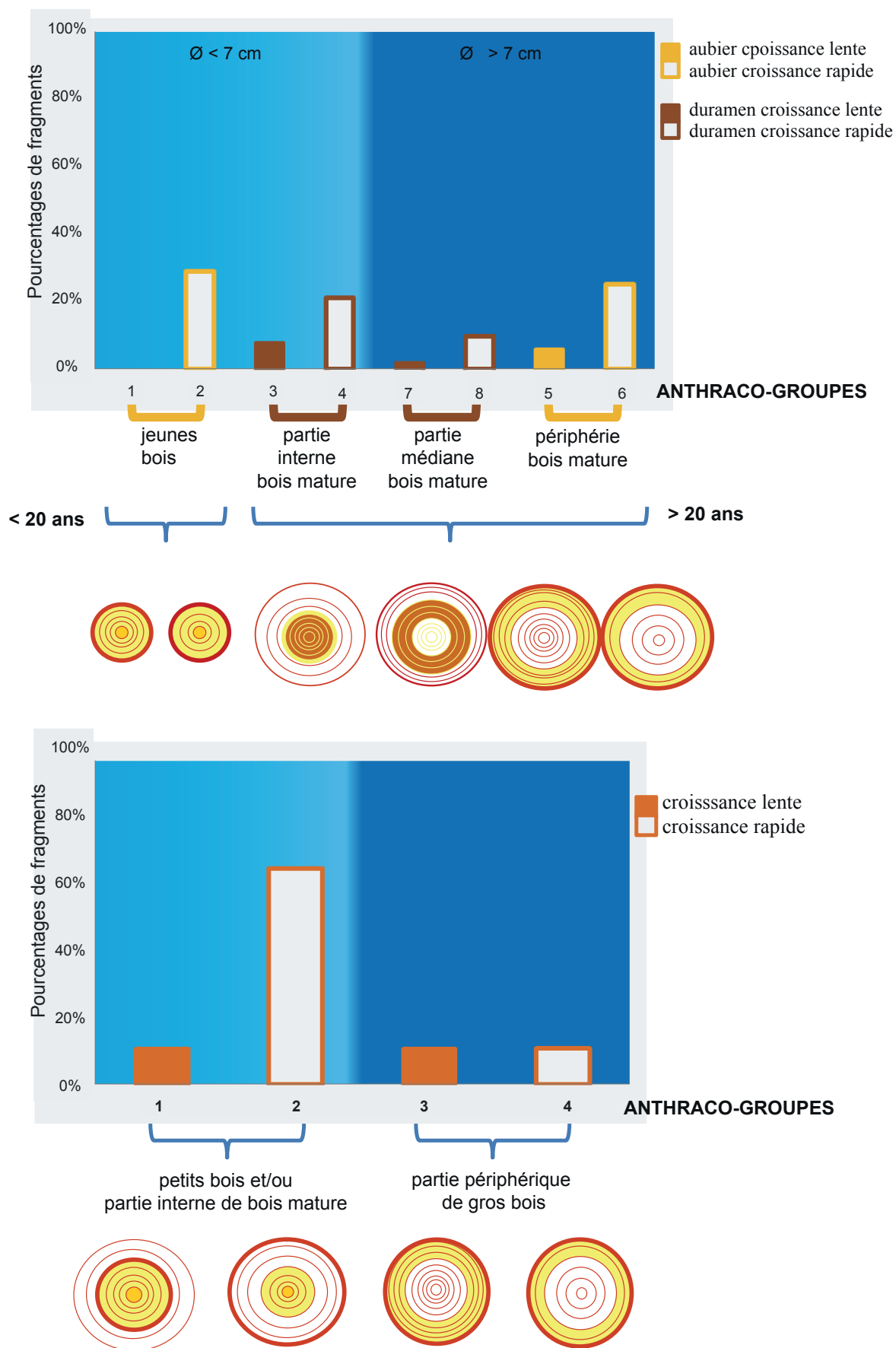


Figure n°119. Graphe anthraco-typologique à 3 paramètres utilisés pour le chêne et à 2 paramètres utilisés pour le hêtre (d'après la méthode présentée dans Dufraisse et al. 2018b).

- les chênes à feuillage caduc: l'impossibilité de distinguer les diverses espèces possibles nous oblige à utiliser l'appellation « *Quercus* sp. fc. (feuillage caduc). Les caractères anatomiques sembleraient se rapporter plutôt aux espèces *Quercus robur* - *Quercus petraea* (chêne pédonculé-chêne sessile);

- la mention 'cf' indique que les caractères anatomiques observés ne sont pas suffisants pour exclure une autre espèce proche (ex : *Alnus cf. glutinosa*);

- les fragments de bois détériorés, soit par la combustion soit par l'action des agents naturels, ne sont pas pris en compte dans les fréquences relatives, ils sont notés «indéterminables»; les fragments « écorce et/ou nœuds » ne sont pas pris en compte dans les fréquences.

Le chêne et le hêtre sont les taxons dominants dans les 3 US du ferrier 5. Seule l'US 104 a une richesse spécifique de 6 tandis que seuls le chêne et le hêtre sont présents dans les US 108 et 111.

dates calibrées	<80AD-231 AD	20BC-130AD	4AD-134AD	156BC-53AD	<45BC-80AD	14BC-122AD	52BC-72AD	>52BC-72AD	<85AD-235AD									
AILLANT	Ferrier 5						Ferrier 20											
TAXONS	US104		US108		US111		US101		US107		US113		US207		US213		US217	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
<i>Quercus</i> sp f.c.	44	44	29	59	63	86	12	100	10	26	20	48	40	36	21	54	4	10
<i>Fagus sylvatica</i>	33	33	20	41	10	14			29	74	22	52	65	59	18	46	36	90
<i>Carpinus betulus</i>	5	5											3	3				
<i>Populus/Salix</i>	14	14																
<i>Acer cf. campestre</i>													2	2				
<i>Evonymus europaeus</i>	2	2																
<i>Alnus cf. glutinosa</i>	2	2																
Total	100		49		73		12		39		42		110		39		40	
Indét. Angiospermae			1															
nœud	X																	
écorce	X		X		X				X				X		X			

Figure n°120. Résultats de l'analyse anthracologique des échantillons provenant des ferriers 5 et 20 - fréquences absolues(n) et relatives(%).

Le chêne et le hêtre sont les taxons dominants dans toutes les US des deux ferriers à l'exception de l'US 101 du ferrier 5 où le chêne est la seule espèce présente, toutefois le faible nombre de charbons identifiés est probablement la cause de ce résultat. L'US 104 du ferrier 5 a la plus importante richesse spécifique puisqu'elle regroupe tous les taxons identifiés. L'US 207 du ferrier 20 a une richesse spécifique de 4 tandis que seuls le chêne et le hêtre sont identifiés dans les US 217, 213, 113 et 107 du ferrier 20. Le charme (*Carpinus betulus*) et l'érable (*Acer cf. campestre*) sont identifiés dans les 2 ferriers tandis que le peuplier/saule, l'aulne (*Alnus cf. glutinosa*) et le fusain (*Evonymus europaeus*) sont présents uniquement dans le ferrier 5. Par contre, les Pomoïdées, Prunoïdées et le noisetier, identifiés dans les ferriers 1, 9 et 10, sont totalement absents du corpus des ferriers 5 et 20.

Comparaison des taxons par périodes chronologiques

Pour caractériser les ressources ligneuses mobilisées sur le site de réduction du fer du « bois des Ferriers » à Aillant-sur-Thollon nous disposons des identifications taxonomiques d'un total de 316 et 504 fragments de charbon issus de 16 US et 5 ferriers. La chronologie repose sur la datation radiocarbone directe de 8 de ces US et leur situation stratigraphique dans chaque amas. Dans diagramme figure 122 le signe > ou < est ajouté au résultat de la calibration à deux écarts types de la mesure d'âge radiocarbone lorsque l'US est respectivement juste au-dessus de celle datée ou juste en-dessous. Les US sont ordonnées chronologiquement à partir des bornes des dates calibrées en tenant compte de la contrainte stratigraphique lorsqu'elles font partie du même sondage.

La richesse taxonomique totale est de 10 taxons alors que le saule et le peuplier ainsi que les Maloïdées (Pomoïdées) et les érables n'ont pas été distingués (données présentées figure 122). Elle atteint 13 taxons sur une partie du corpus en tenant compte de ces distinctions. Ce nombre

peut paraître inférieur à la diversité potentielle de la végétation ligneuse. Le site est localisé dans des peuplements forestiers rattachés aujourd'hui à la frange est des chênaies types du secteur ligérien, le hêtre affirmant sa domination sur le chêne plus à l'est. Des données palynologiques en cours d'interprétation permettront de comparer les listes taxonomiques à la période gallo-romaine. Plus d'une vingtaine de taxons pourraient certainement être récoltés.

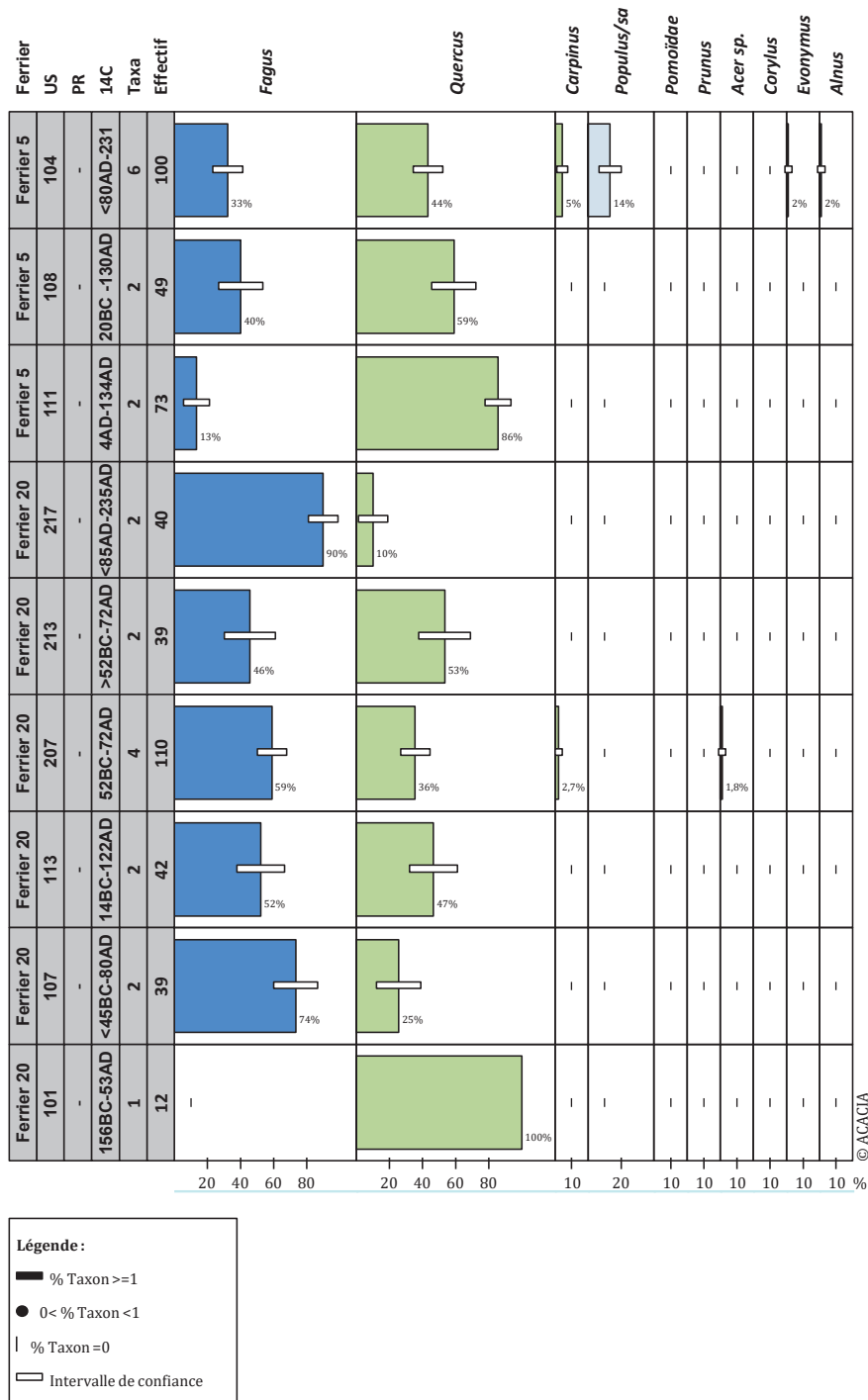


Figure n°121. Diagramme anthracologique des ferriers 5 et 20

Les spectres par US sont surtout largement dominés par deux taxons, le chêne et le hêtre (n= 368 et n= 370 pour 800 fragments soit 92%). Même si la végétation ligneuse potentielle est diversifiée, en volume ou en biomasse de bois disponible, les peuplements actuels sont largement dominés par le chêne et viendrait ensuite le charme, alors qu'il n'est qu'à la marge des spectres

par US. Les taxons qui accompagnent le chêne et le hêtre : peuplier/saule, érables, merisier, noisetier et fusain, pris dans leur ensemble ne dépassent pas 10%, ce qui paraît peu par rapport au potentiel.

Sur une partie des données, l'évolution en fonction du nombre de fragments analysés des fréquences relatives de hêtre et de chêne a pu être jugée stable à partir de 20-30 fragments environ (Girardclos et Jeannot 2019). Parmi les 16 US, seules F20-US101 et F1-US305 ne seraient donc pas suffisamment documentées pour être interprétées (fig. 122). Dans le ferrier 1, les proportions de chêne et hêtre varient fortement à l'intérieur même de l'US302 entre le PR1 70%-18% et le PR4 où le chêne est un peu moins abondant que le hêtre 42%-46%, alors qu'il reste majoritaire dans les US305 et US305-306 immédiatement sus-jacentes. Les différences entre US sont également importantes ; dans le ferrier 20 : US217 10%-90% dominée par le hêtre et US213 53%-46% équilibrée ou le ferrier 5 : US111 dominée par le chêne 86%-13%, US108 équilibrée 59%-40% (fig. 121).

La chronologie ne permet pas de nettement discriminer les différences de proportion. Le hêtre est bien le plus dominant, 80 à 90%, dans le seul ferrier analysé du Moyen-âge, mais sa représentativité peut être mise en doute pour la période. Les 3 US rattachées à la période du Ier au IIIe s. après J. C. par leur datation sont particulièrement diversifiées, dominées à 90% par le hêtre (F20-US217) ou à 70% par le chêne (F9-US115). La variabilité des US plus à la base des stratigraphies, datées entre le Ier s. av. J.-C. et le IIe s. après, est presque aussi élevée. Leur plus grand nombre permet alors de mieux percevoir que, globalement, les ressources reposent en fait sur des proportions équivalentes des deux taxons, mais dont la répartition subit dans le détail un caractère aléatoire assez prononcé.

De la même façon, la présence de taxons secondaires d'aucun (ex F5-US111 et US118, F20-US217) à 5 taxons (F1-US302) est variable sans présenter d'organisation stratigraphique et chronologique.

Une part de ce caractère aléatoire trouve son origine dans le nombre de fragments récoltés et analysés ou dans les processus de fragmentation, mais il reflète aussi probablement le caractère hétérogène des dépôts de déchets dans les amas - peut-être en provenance de structures de réduction différentes et/ou d'étapes dans les processus – s'ajoute enfin un caractère aléatoire des approvisionnements dans les deux taxons.

Le catalogue des types de stations forestières actuelles ne laisse pas beaucoup de place au hêtre, qui n'est pas - ou plus - considéré comme une essence objectif de la sylviculture. Il sera alors très intéressant de comparer les variables dendro-anthracologiques qui tentent de caractériser les structures de peuplement qui ont pu fournir ces proportions de chêne et de hêtre aussi variées, alors que, dans son ensemble, l'approvisionnement repose sur ces deux taxons.

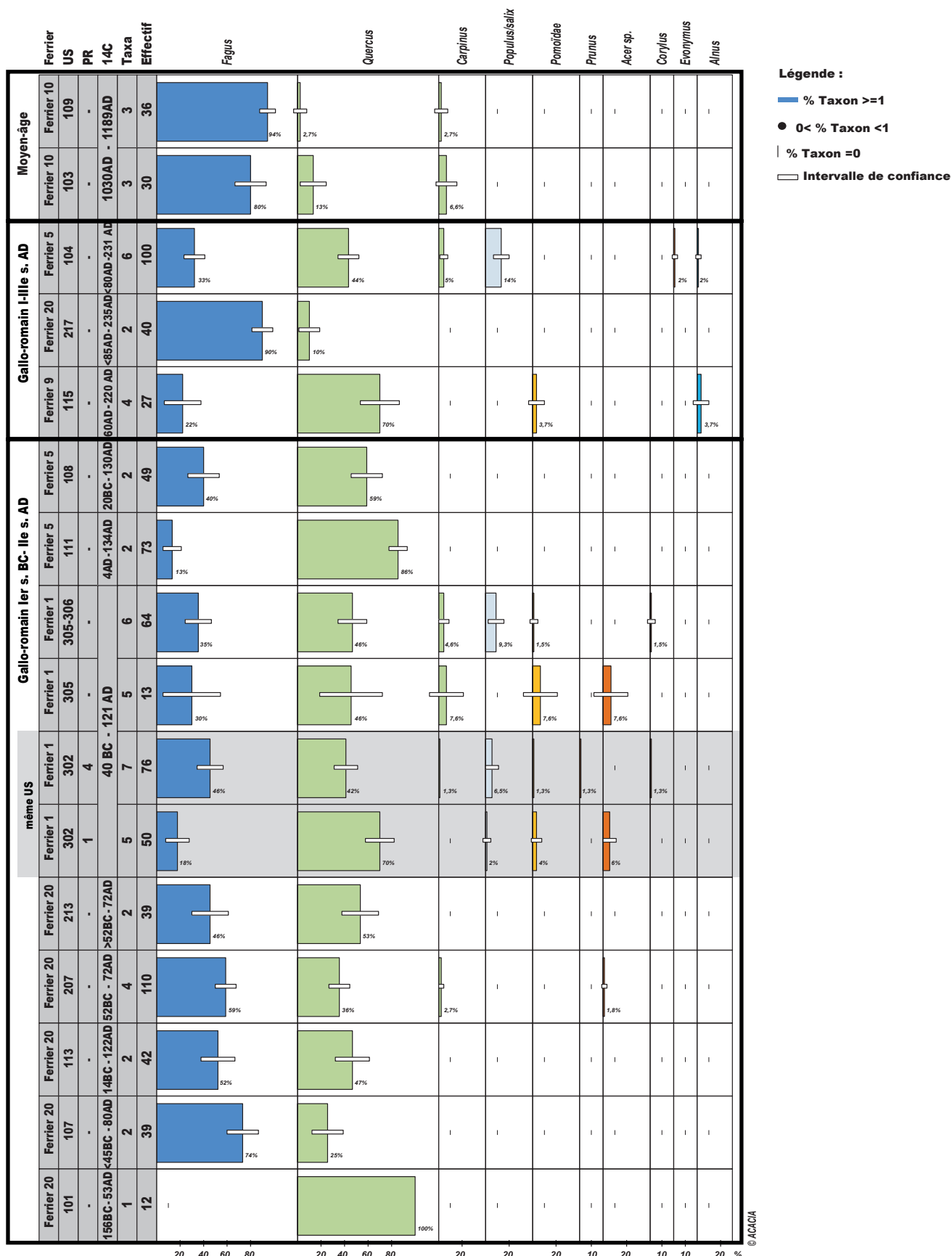


Figure n°122. Diagramme anthracologique des US des ferriers du bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon ordonnés chronologiquement

5.8. Une première tentative de synthèse concernant l'évolution des activités sidérurgiques en Puisaye

Marion Berranger

Les travaux de prospections et sondages réalisés depuis 2017 nous ont permis d'échantillonner 93 amas et d'en dater 61 par méthode radiocarbone. Il faut ajouter à ces nouvelles données, celles qui étaient déjà disponibles pour trois sites prospectés et datés dans les années 2000 (Piétak *et al.* 2012).

Ces résultats combinent une caractérisation à partir de "zones-ateliers" d'environ 4 km carré et livrant chacun entre 30 et 40 sites, et des prospections ponctuelles sur des sites isolés, choisis en fonction de caractéristiques précises (présence de scories piégées ou de scories vitreuses principalement). Cette approche nous a permis de travailler à l'échelle de la Puisaye entière et d'échantillonner des sites répartis tant au nord de la zone, qu'en partie centrale et au sud.

Le nombre d'amas de déchets caractérisé avec cette précision (presque une centaine) est exceptionnel à l'échelle d'un ensemble de production. Ils représentent cependant moins de 0,05% des sites inventoriés par Jean-Pierre Piétak (pour rappel 2500 amas cartographiés) pour cet espace de réduction majeur que constitue la Puisaye. Même si énormément de travail reste encore à réaliser, les travaux engagés ces dernières années permettent de dresser les premiers traits d'une classification des sites en fonction de leurs caractéristiques topographiques, de leur volume ou de la nature du sédiment dont ils sont constitués (chap. 5.2). Une typologie des déchets de réduction a également pu être proposée et semble valable à l'échelle du secteur étudié (chap. 5.4). Elle reflète des changements technologiques corrélés à une évolution chronologique. Les résultats des premières analyses archéométriques (en microscopie optique-chap. 5.5 et chimie – chap. 5.6) mettent en évidence des particularités techniques, et notamment la conduite probable d'opérations de réduction à hautes températures (autour de 1300-1400°C) proches du procédé indirect, dès la période antique. Ces caractérisations restent cependant à poursuivre et constitueront un axe de recherche particulièrement important dans la suite des travaux à entreprendre.

Les résultats de l'ensemble de ces caractérisations permettent de tenter une première esquisse de l'évolution des activités de réduction en Puisaye.

Les débuts de l'exploitation sidérurgique : une technologie basée sur des bas fourneaux à scories piégées

Les datations radiocarbone permettent de déterminer l'ancienneté de l'exploitation sidérurgique dans le secteur, insoupçonnée avant les présents travaux. Cette dernière débute ainsi durant une période comprise entre le milieu du VIII^e-V^e s. av. J.-C. Il n'est pas possible d'être plus précis en raison de la courbe de calibration du carbone 14 qui est relativement plate durant cette période d'ailleurs qualifiée de "plateau du Hallstatt".

Les scories datées de ces périodes appartiennent au type des scories piégées de type (F). La typologie de ces déchets est à rapprocher des bas fourneaux à scorie piégée à utilisation unique ou multiple attestés durant ces mêmes phases chronologiques à l'échelle d'un large moitié nord de la France (Cabboi *et al.* 2007, Berranger *et al.* 2017, Berranger, Bauvais 2020). Les quelques analyses archéométriques déjà réalisées sur les scories F prélevées au sein des amas prospectés révèlent qu'il s'agit des individus les plus riches en oxydes de fer. Les oxydes sont présents dans la matrice des scories sous la forme de fréquentes lattes d'olivine correspondant

probablement à de la fayalite, et sous la forme de wüstite (chap. 5.5). Les analyses chimiques globales révèlent une teneur totale en fer comprise entre 65 et 75%.

Ces types de déchets sont fréquent jusqu'au milieu du I^{er} s. av. J.-C. Deux sites, à Montholon / Aillant-sur-Tholon (89.003.022) et à Treigny (89.420.002) pourraient indiquer le maintien de ce type de technologie jusque durant la période antique.

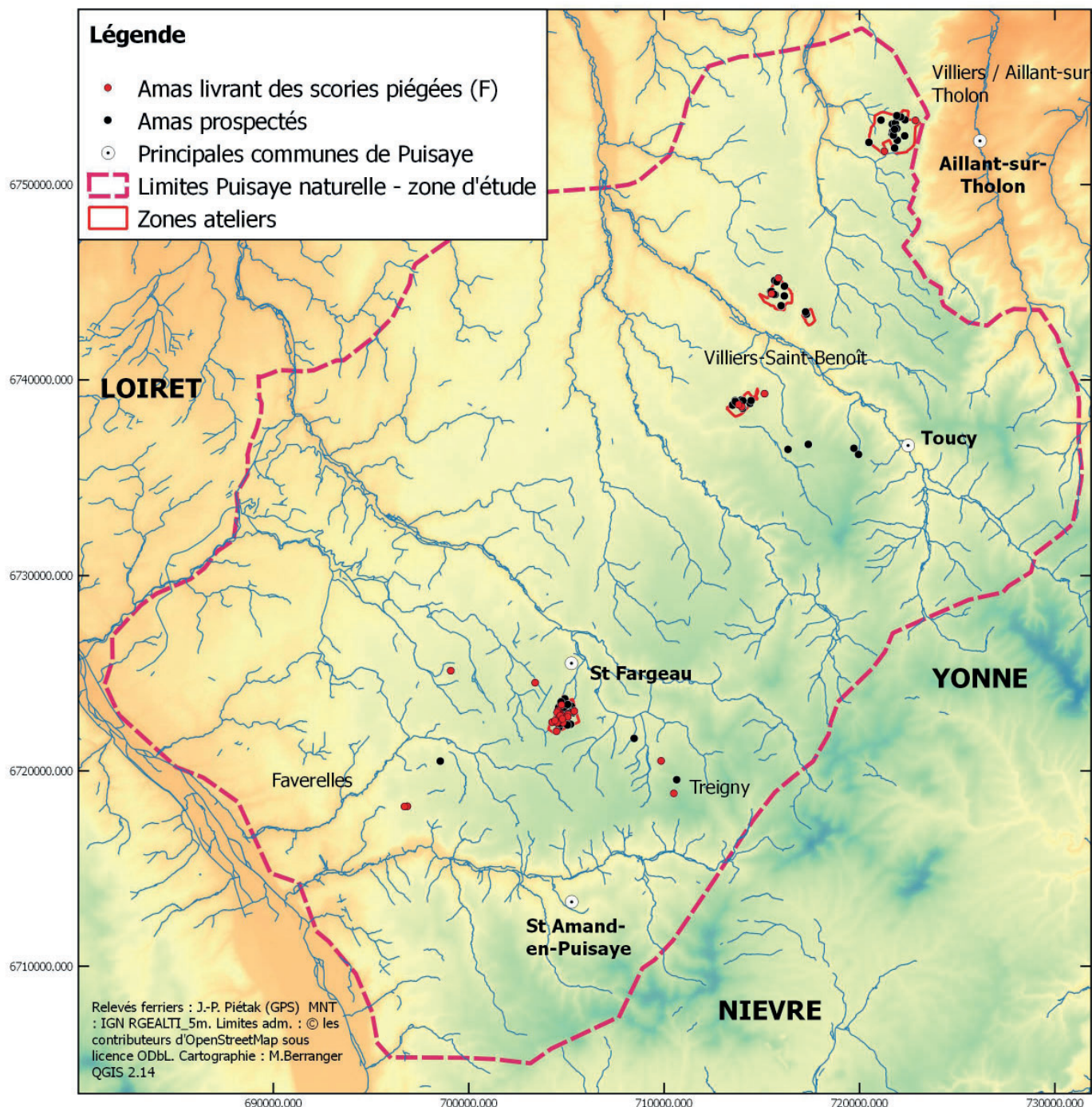


Figure n°123. Répartition des sites livrant des sites à scories piégées par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Les amas de cette période présentent des caractéristiques similaires et intègrent le groupe des amas dits "discrets" en raison de leur très faible visibilité en prospection. En effet, les scories sont peu visibles en surface, car elles restent enfouies en profondeur de l'amas. On constate

qu'elles sont le plus souvent prises dans un sédiment brun à rougeâtre, cette coloration pouvant peut-être venir de la désagrégation des parois de four. Il s'agit de sites de taille modeste (surface majoritairement inférieure à 1000 m², et volumes inférieurs à 300 m³), dépassant rarement une élévation supérieure à 50 cm. L'usage de fours piégeant la scorie et générant des volumes limités de déchets pourraient expliquer la discrétion de ces sites.

A partir de l'échantillonnage des sites prospectés, il est possible de constater une plus grande concentration de ces sites dans la partie sud de la Puisaye (fig. 123). Il faudra cependant déterminer ultérieurement s'il ne s'agit pas d'un biais induit par notre échantillonnage. On constate néanmoins une véritable concentration de ces sites au sein de la zone-atelier de Saint-Fargeau "Bois de Bailly" où plus de la moitié des amas prospectés livrent des scories piégées. L'incertitude de la calibration radiocarbone ne permet pas à ce stade de déterminer si les ateliers ont fonctionné de manière contemporaine ou s'ils se sont succédés dans le temps, même de manière chronologiquement rapprochée.

Un premier changement technique : l'évacuation de la scorie hors de la cuve des fours

Un changement de technologie semble intervenir à partir du II^e s. av. J.-C. et peut-être dès le IV^e s. av. J.-C. Cette nouvelle technique de production se caractérise par l'association de différents types de scories denses cristallisées en cordons (A2) ou en différents types d'écoulements (A3 et A4). Il s'agit dans tous les cas de scories s'écoulant à l'extérieur du bas fourneau, ce qui implique un premier changement technique majeur. Les datations radiocarbone issues des amas livrant des assemblages de scories A2-A3-A4 couvrent une période comprise entre 370 Cal. BC et 340 AD. Un plus grand nombre de ces sites est documenté à partir de la fin du I^{er} s. av. J.-C.

Certains de ces amas comprennent également des scories de type A5, constitués d'écoulements de boudins accolés, hors de la cuve du four, qui correspondent à des déchets exceptionnels tant par leur masse (pouvant atteindre 100 kg) que par leur volume. Deux charbons ont été prélevés sur des scories de ce type, à Aillant-sur-Tholon (site 89.003.001) et à Saint-Amand-en-Puisaye (58.227.001) et livrent des datations cohérentes qui permettent de les attribuer à une période comprise entre le milieu du I^{er} s. av. J.-C. et le début du III^e s. ap. J.-C.

Les analyses archéométriques déjà réalisées sur les scories de type A2-A3-A4 et A5 montrent qu'elles sont moins riches en fer que les scories piégées de type F, ce qui indique à ce stade un meilleur rendement dans la conduite des opérations métallurgiques. Les observations effectuées au microscope optique révèlent également que l'ensemble de ces déchets de type A résulte de modes de formation très proches, et ont donc pu être produits durant les mêmes opérations de réduction. Seules les scories de type A5 se différencient par la présence de phases vitreuses en surface des boudins écoulés, ainsi que par la présence éventuelle de cristaux de cristobalite qui pourraient indiquer l'application de températures très élevées.

Les sites sur lesquels ces scories sont mises au jour présentent certaines caractéristiques communes permettant de les regrouper dans la catégorie des "grands" amas. Ces derniers couvrent des surfaces généralement supérieures à 400 m² et voire plusieurs dizaines de milliers de m². Certains de ces sites présentent des élévations conséquentes, pouvant dépasser dans certains cas la dizaine de mètres de hauteur (dans le secteur de Montholon : site 89.003.001, 89.473.002). La densité en scories de ces amas est irrégulière, car ces déchets ne sont pas également répartis dans les strates. Les sondages réalisés dans plusieurs de ces sites révèlent en effet l'alternance de couches de rejets majoritairement constituées de scories, ou de parois de four, ou parfois encore de charbons. Ces sites sont souvent très remaniés, du fait de leur exploitation intensive à la fin du XIX^e et début du XX^e s.

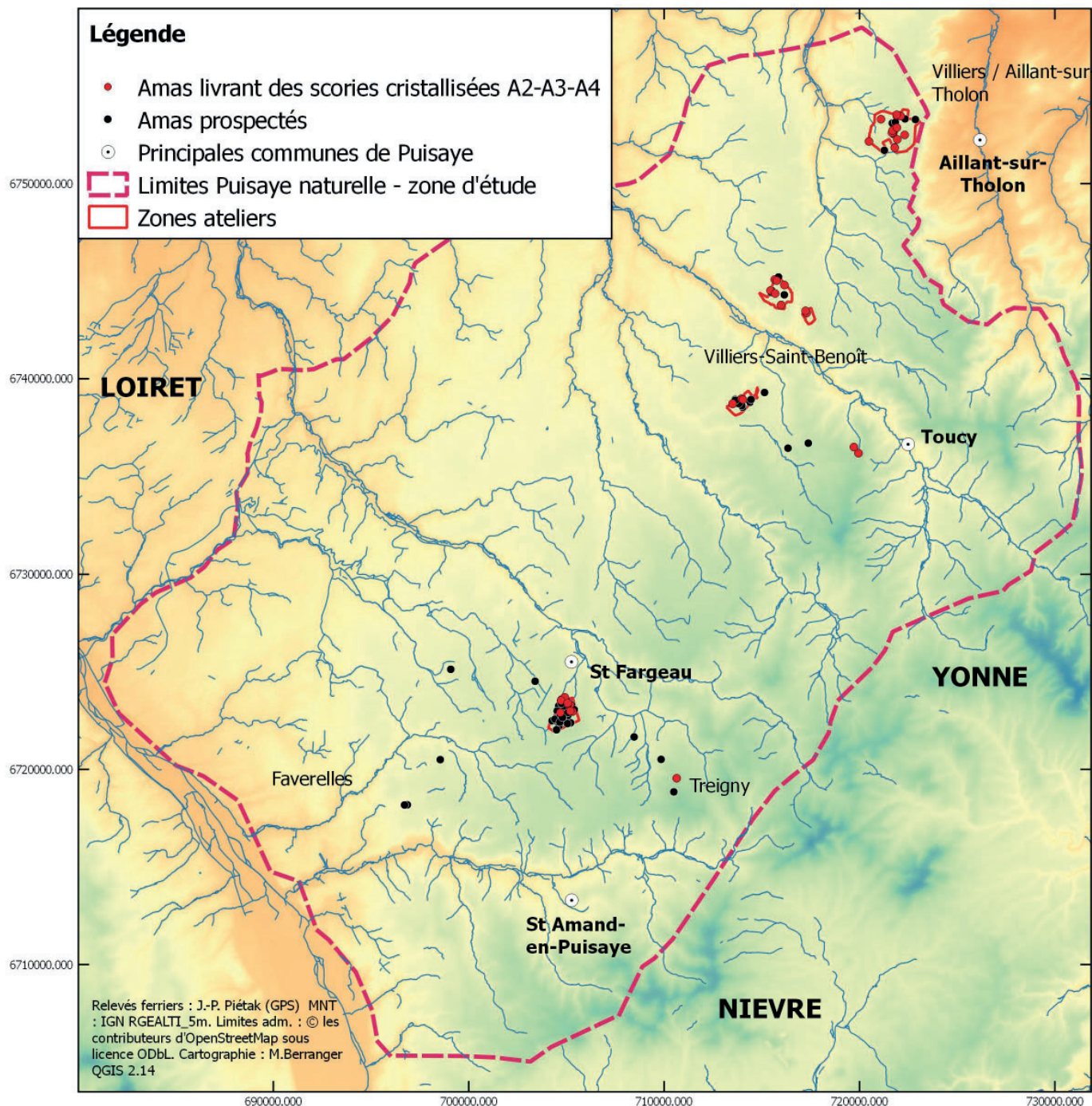


Figure n°124. Répartition des sites livrant des sites à scories A2-A3-A4 par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Les déchets en boudins accolés de type A5, très particuliers, ont été identifiés dès les années 1980 sur les ferriers de l'Yonne et de la Nièvre, en association avec des scories cristallisées cordées. Ils sont jusqu'à présent seulement connus sur des ateliers de réduction gallo-romains datés des I^{er}-III^e s. tels aux Clérimois "Les Fouetteries" en forêt d'Othe (Dunikowski, Cabboi 1998, p. 154), à Pezé-le-Robert "Roche-Brune 1" dans le Bas-Maine (Sarreste 2011, p. 84), ou encore à Saint-Evroux-de-Montfort "Le Buisson" dans l'Orne (Langlois et al. 2004, p. 102-103). En prospections, des exemplaires ont également été observés par A. Bouthier (Bouthier 1982) dans la Nièvre à Alligny-Cosne "Les Reboulots – Les Cornijons" associés à de la céramique datée des II^e-III^e s. ap. J.-C. Une date radiocarbone a été réalisée sur ce site suite aux nouvelles

prospections effectuées par R. Jeannot en 2018 (Jeannot, Berranger 2018), elle fournit un intervalle cohérent avec les données précédentes, soit 85 – 239 CalAD.

Le temps des productions de scories majoritairement vitreuses

Une troisième phase de production, comprise entre la deuxième moitié du I^{er} s. ap. J.-C. et le milieu du IV^e s. ap. J.-C. est caractérisée par la prédominance de scories vitreuses (type D) ou à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (type C). Ces scories vitreuses correspondent ici encore à des déchets évacués hors de la cuve du bas fourneau. Les analyses archéométriques montrent que ces déchets se différencient nettement des scories de type A. Les scories vitreuses de type D sont ainsi constituées d'un verre contenant de nombreuses billes de verre, et les phases cristallisées ou microcristallisées sont très peu étendues. Elles comprennent également de nombreux grains de sable ou de quartz qui semblent en cours de dissolution sous forme de cristaux de cristobalite (?). Les scories mixtes de type C, semblent se situer comme des intermédiaires entre ces scories de type D et les scories cristallisées de type A. La teneur en fer de ces déchets vitreux est également bien plus faible que dans les scories de type F et A, avec des teneurs en fer inférieures à 30% pour les types C, et même en dessous de 20% pour les types D. L'ensemble de ces éléments semble indiquer l'application de niveaux de températures assez élevées (au moins 1300-1400°C sur le diagramme de phase fig. 112) et évoquent des caractéristiques déjà constatées pour des scories de haut fourneau. Les scories vitreuses de Puisaye sont cependant attribuées à la période antique, alors que le procédé indirect apparaîtrait pas avant le courant du XIV^e s. La caractérisation du processus ayant conduit à la formation de ces scories particulières fera ainsi l'objet d'un axe de recherche spécifique dans le cadre de nos futurs travaux.

Ces déchets sont fréquemment identifiés sur les sites livrant déjà des scories cristallisées A2-A3-A4. Les sondages réalisés dans le secteur d'Aillant-sur-Tholon/ Montholon sur les sites 89.003.001 et 89.003.003 ont permis de constater que les scories vitreuses sont cependant présentes dans des strates différenciées, plus tardives. Les deux catégories de scories se succèdent dans le temps, même si les ateliers qui les ont produites sont installés aux mêmes endroits. L'imprécision de la méthode radiocarbone ne permet néanmoins pas de déterminer si à l'échelle de la Puisaye ces deux techniques se sont succédées rapidement dans le temps ou ont été utilisées de manière conjointe sur une longue durée.

Les sites livrant ces scories vitreuses se rattachent également au groupe des grands amas. Les amas qui présentent des élévations particulièrement importantes (supérieures à 8 m) livrent tous des scories de ce type. C'est le cas notamment dans le secteur de Montholon pour les sites 89.003.001, 006, 89.147.002, et à Villiers-Sur-Tholon 89.473.002, à Dracy "Ferrier des Noirs" 89.147.003 et Toucy "Bois des Cornillats" 89.419.001. Il est impossible pour l'instant d'en évaluer les proportions respectives au sein de ces gros amas. La place et la nature des ateliers produisant ce type de déchets vitreux devront faire partie des questionnements à intégrer à de futurs travaux.

La répartition des amas livrant des scories cristallisées de type A2-A3-A4 semble plus ubiquiste à l'échelle de la Puisaye (fig. 124) par rapport à ce que nous avons pu constater pour les scories piégées. Les informations issues des prospections de Jean-Piétak, enregistrées dans une base de données spécifique, permettent de cartographier la répartition des sites pour lesquels il mentionne la présence de laitier, et qui pourraient correspondre aux scories vitreuses de type C et D. On constate leur répartition sur l'ensemble de la Puisaye, parfois en petits regroupements qui pourraient correspondre à des centres de production (fig. 125).

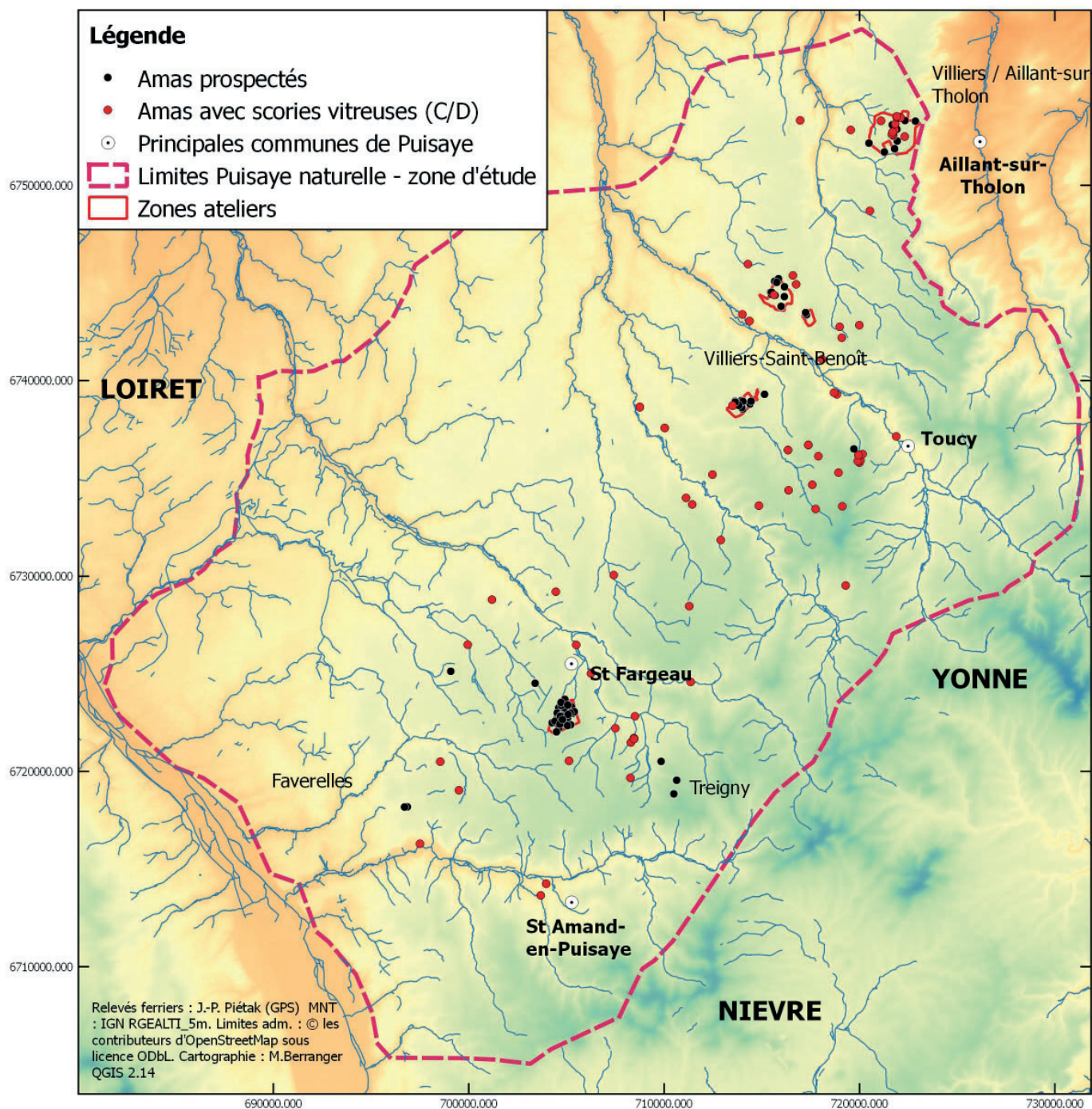


Figure n°125. Répartition des sites livrant des sites à scories C et D identifiés par prospections et dans la base de données de J.-P. Piétak, par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Le secteur d'Aillant-sur-Tholon/Montholon correspond à une concentration remarquable de ces sites à scories vitreuses. Dans ce secteur la production sidérurgique connaît un développement particulièrement important durant la période antique avec une multiplication des lieux de production. La longue durée d'utilisation des "grands" amas pour lesquels nous disposons de datations en stratigraphie permet cette fois-ci d'envisager un fonctionnement contemporain de plusieurs de ces zones d'activité. Trois amas (89.003.001, 89.003.005, 89.003.020) se caractérisent ainsi par des stratigraphies couvrant les I^{er} - III^e s. bien que l'un soit légèrement plus précoce (89.003.020) et qu'un autre (89.003.001) perdure un peu plus tardivement jusqu'au IV^e s. ap. J.-C.

Dans ce même secteur, on constate des regroupements d'amas (89.003.001, 89.003.0018, 89.003.019 et 89.003.020) qui ne semblent pas aléatoires mais qui se conformeraient à une organisation régulière. Ils paraissent en effet délimiter une vaste zone centrale qui aurait pu servir de zone de travail et accueillir par exemple les fours. Seules des investigations plus poussées permettraient de préciser ces hypothèses. C'est dans cette zone centrale, légèrement décalée vers l'ouest (entre les amas 89.003.001 et 89.003.018) qu'ont été mis au jour en 2018 des niveaux de remblais témoignant de la présence proche d'un lieu de vie (Venault, Mouton-Venault in Berranger 2018 dir. p. 82-89). Les éléments de datation céramique nous situent entre 170/175 et 250 ap. J.-C. soit durant la période de plus grand dynamisme de l'activité sidérurgique.

Un autre pôle majeur de production s'organise autour de trois amas (89.473.001, 89.473.002 et 89.473.003) situés quelques centaines de mètres plus au nord. Son fonctionnement semble couvrir une période légèrement plus tardive, étant donné que les datations issues de scories ramassées en surface sont comprises entre le II^e et le début du IV^e s. ap. J.-C. L'absence de sondages ne permet pas de situer plus précisément le début de l'activité dans ce secteur.

Le haut Moyen âge : une interruption de la production sidérurgique et l'abandon de la réduction à hautes températures

En l'état de la documentation, un hiatus entre la fin de l'Antiquité au début du IV^e, et le début de l'époque carolingienne au VII^e s. est constatée. Il faudra déterminer ultérieurement si ce hiatus est bien réel ou s'il reflète un état de la documentation.

La production sidérurgique semble reprendre durant une période comprise entre 600 et 680 ap. J.-C. Les scories majoritairement documentées durant cette période illustrent un nouveau changement de procédé technique qui perdurerait jusqu'au XIII^e s. Les déchets générés sont de nouveau cristallisés, écoulés hors de la cuve sous forme de cordons constituant des plaques au sein desquels les écoulements restent bien visibles (scories type A1). Certains de ces écoulements en cordons sont plus bulleux que d'autres et sont classés en scories bulleuses cordées (B2).

Les analyses archéométriques disponibles pour les scories de type A1 révèlent une structure cristallisée proche de celles déjà documentée pour les scories de type A des âges du Fer et de l'Antiquité (voir chap. 5.5). Elles sont également proches d'un point de vue de leur composition chimique (chap. 5.6). Ces scories illustrent ainsi l'abandon des techniques apparues à la fin de la période antique, et un rendement probablement moindre.

Les amas de cette période présentent des caractéristiques très homogènes, ce qui les rend assez facilement reconnaissables en prospections. Ils sont caractérisés par des surfaces (11 à 400 m²) et un volume réduits (inf. à 200 m³), par un sédiment très noir dans lequel se répartissent de très fortes concentrations de scories. Contrairement à la période antique la production semble donc s'organiser à partir de petites unités productives. La répartition des sites étudiés montre leur présence au sein des trois zones-ateliers étudiées, bien qu'ils soient plus nombreux dans le secteur de Saint-Fargeau (fig. 126). Si à Aillant-sur-Tholon/Montholon deux amas livrant des scories de ce type sont immédiatement associés, la répartition de ces sites dans les autres zones-ateliers où ils sont plus nombreux n'a permis de constater aucun regroupement particulier.

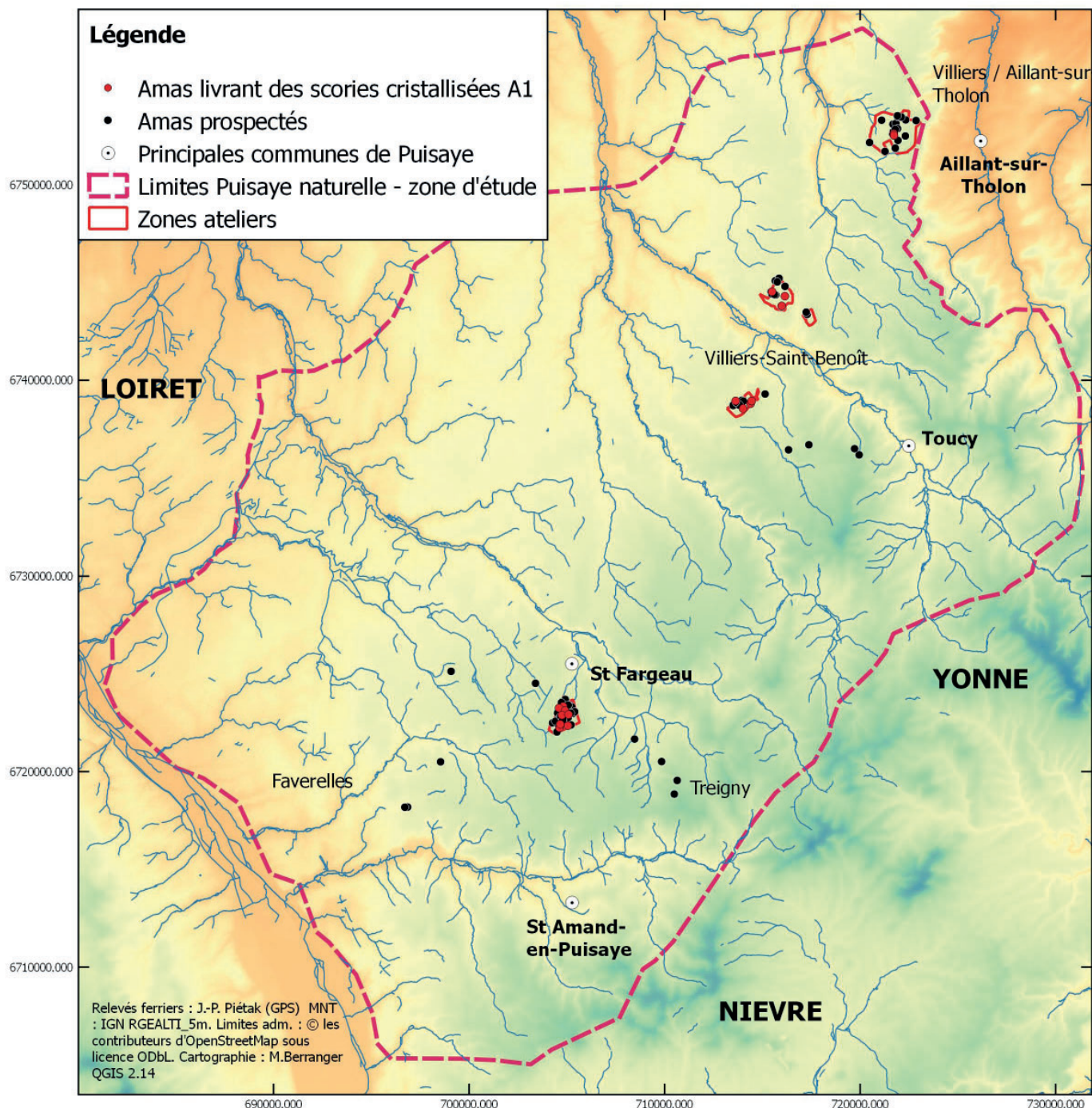


Figure n°126. Répartition des sites livrant des sites à scories A1 par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Des scories très bulleuses non cordées durant le Moyen âge classique

Un seul site (Saint-Fargeau 89.344.012) est à ce stade de nos travaux rattaché au Moyen âge classique, aux XIII-XIV^e. Il livre un nouveau type de déchets, très bulleux, correspondant à des écoulements externes, plano-convexe, à la base dense et à la partie supérieure non cordée et bulleuse (type B1). Les analyses archéométriques démontrent qu'ils se démarquent encore de l'ensemble des types précédents, ce qui traduit un nouveau changement technique. Il s'agit d'écoulements cristallisés, comprenant une forte proportion de lattes d'olivine, probablement de fayalite, et intégrant des dendrites de wüstite et des billes de fer. Les analyses chimiques

révèlent leur plus forte teneur en calcium, et de moins fortes teneurs en aluminium. Les teneurs en fer sont cependant équivalentes ce qui indiquerait un rendement en fer du même ordre, à condition que les minerais utilisés aient été identiques.

Il s'agit d'un amas présentant des caractéristiques proches de celles déjà connues pour les périodes précédentes : surface modeste de 145 m², et sédiment très noir intégrant une forte proportion de scories.

La production sidérurgique à partir du XIV^e s. nous est également connue de manière partielle à partir de l'enquête effectuée en 2018 par Aurélia Bully (Bully 2018) dans les archives. La plupart des documents consultés se rapportent à une période couvrant le XIV^e au XVI^e s. Elle a pu noter que l'essentiel des installations qu'il était possible de positionner sur une carte se trouvent à proximité de cours d'eau ou d'étangs, qui pourraient ainsi correspondre à des aménagements hydrauliques. Cette particularité permettrait de comprendre l'absence quasi générale de sites de cette période dans le corpus des amas étudiés ces dernières années. En effet, nous n'avons prospecté qu'en forêt, jamais le long de cours d'eau. Les documents d'archives ne permettent que rarement de déterminer avec précision la nature des activités pratiquées dans ces établissements hydrauliques : production du métal brut ou activités de mise en forme ?

Conclusion

Au moins cinq grands phases techniques et chronologiques peuvent ainsi être distinguées entre le VIII^e s. av. J.-C. et le XV^e s. ap. J.-C. La suite de nos travaux aura notamment pour but de mieux déterminer, pour chaque période, les techniques de réduction employées, leurs éventuels points-communs et différences, et les volumes de matière première et de métal en jeu. Cette étape passe par une étude des déchets, macroscopique mais aussi archéométrique (pétrographique et chimique) qui a déjà débuté mais qui doit encore être poursuivie.

6. Approche méthodologique de l'étude des forges : l'exemple d'Entrains sur Nohain (58).

6.1. Les fouilles du n° 17 de la rue de la Voie romaine

Stéphane Venault

Ce chapitre consacré aux forges mises au jour au n° 17 de la rue de la Voie romaine à Entrains-sur-Nohain s'inscrit dans prolongement d'une action engagée dans le cadre du PCR visant à analyser les ateliers de production d'objets en fer à travers une approche comparative inter-sites, la confrontation objective des données étant fondée sur un classement rationnel et normalisé des structures mises au jour. Cette démarche a été initiée en 2019 avec la présentation par Gh. Vincent des résultats de la fouille du site au no 16 route d'Etai à Entrains-sur-Nohain, à l'issue de laquelle a été produit un catalogue des structures intervenant dans la chaîne opératoire du travail du fer (Berranger et al. 2019, p. 169-196). Selon le principe méthodologique défini, les vestiges objets du présent exposé ont été passés au crible de la typologie déterminée en 2019 qui a été augmentée de quelques types spécifiques aux cas rencontrés rue de la voie romaine. Les données présentées sont issues du rapport de fouille en cours de rédaction. L'étude des macro-déchets métallurgiques n'étant pas achevée notre propos se limitera pour l'essentiel à des données factuelles et à quelques hypothèses d'interprétation concernant l'organisation spatiale du travail au sein des ateliers.

Le n° 17 de la rue de la voie romaine se situe au nord de l'agglomération antique, presque en limite de l'extension urbaine connue à l'époque romaine, le long d'une voie conduisant à Auxerre. La fouille, prescrite sur une emprise de 1000 m², a mis au jour des vestiges de forges datés du dernier tiers du Ier s. de n. è. à la seconde moitié du IIe s. Quinze unités spatiales identifiées comme des pièces fermées participant du fonctionnement des ateliers ont été identifiées toutes phases d'occupation confondues. Ces pièces, ou ensembles de pièces, se rattachent à des bâtiments répartis dans trois bandes de terres distinctes contiguës et étirées perpendiculairement à la rue. S'inscrivant dans un parcellaire en lanière de largeur constante (quart d'actus), chaque bande constitue une potentielle propriété indépendante, que l'on identifie sous les appellations suivantes : parcelle sud, médiane et nord. L'architecture et l'organisation des constructions ont évolué au cours du temps, cinq grandes étapes de transformations, codifiées IIIa, IIIb1, IIIb2, IIIb3, IIIb4, ayant été déterminées selon l'état de conservation des vestiges. Certaines phases sont elles-mêmes subdivisées en plusieurs états correspondant à des changements à l'intérieur des pièces n'entraînant pas de modifications architecturales. Les faits archéologiques sont présentés selon leur appartenance parcellaire en respectant l'ordre chronologique de leur apparition dans le temps, c'est-à-dire de la phase la plus ancienne à la plus récente. Les étapes ne livrant aucun des vestiges figurant dans le catalogue ne sont pas abordées dans l'extrait du compte rendu des résultats qui va suivre.

6.1.1. Description des unités spatiales par phases

Phase IIIa

La phase III illustre la période d'activité des forges qui voit la construction de bâtiments en terre et bois (fig. 127). Il n'en reste que les niveaux de sol et solin de fondation sur lesquels reposait



Typologie des structures archéologiques	
	Contour de mur
	Fosse
	Foyer
	Structure hydraulique
	Pierre calcaire
	Remblai et niveau de sédimentation
	Sol et recharge de sol
	Trou de poteau et trou de piquet
	Tranchée de récupération de mur
	Tuile
	Autre type
	Voie
Restitutions du bâti et de la voie	
	Probable
	Hypothétique
	Sondage de diagnostic
	Emprise prescrite

Figure n°127. Phase IIIa état 1 : plan de localisation des unités spatiales (Inrap)



Typologie des structures archéologiques

-  Contour de mur
 -  Fosse
 -  Foyer
 -  Structure hydraulique
 -  Pierre calcaire
 -  Remblai et niveau de sédimentation
 -  Sol et recharge de sol
 -  Trou de poteau et trou de piquet
 -  Tranchée de récupération de mur
 -  Tuile
 -  Autre type
 -  Voie
- Restitutions du bâti et de la voie**
-  Probable
 -  Hypothétique
 -  Sol intérieur restitué
 -  Emprise prescrite
 -  Sondage de diagnostic

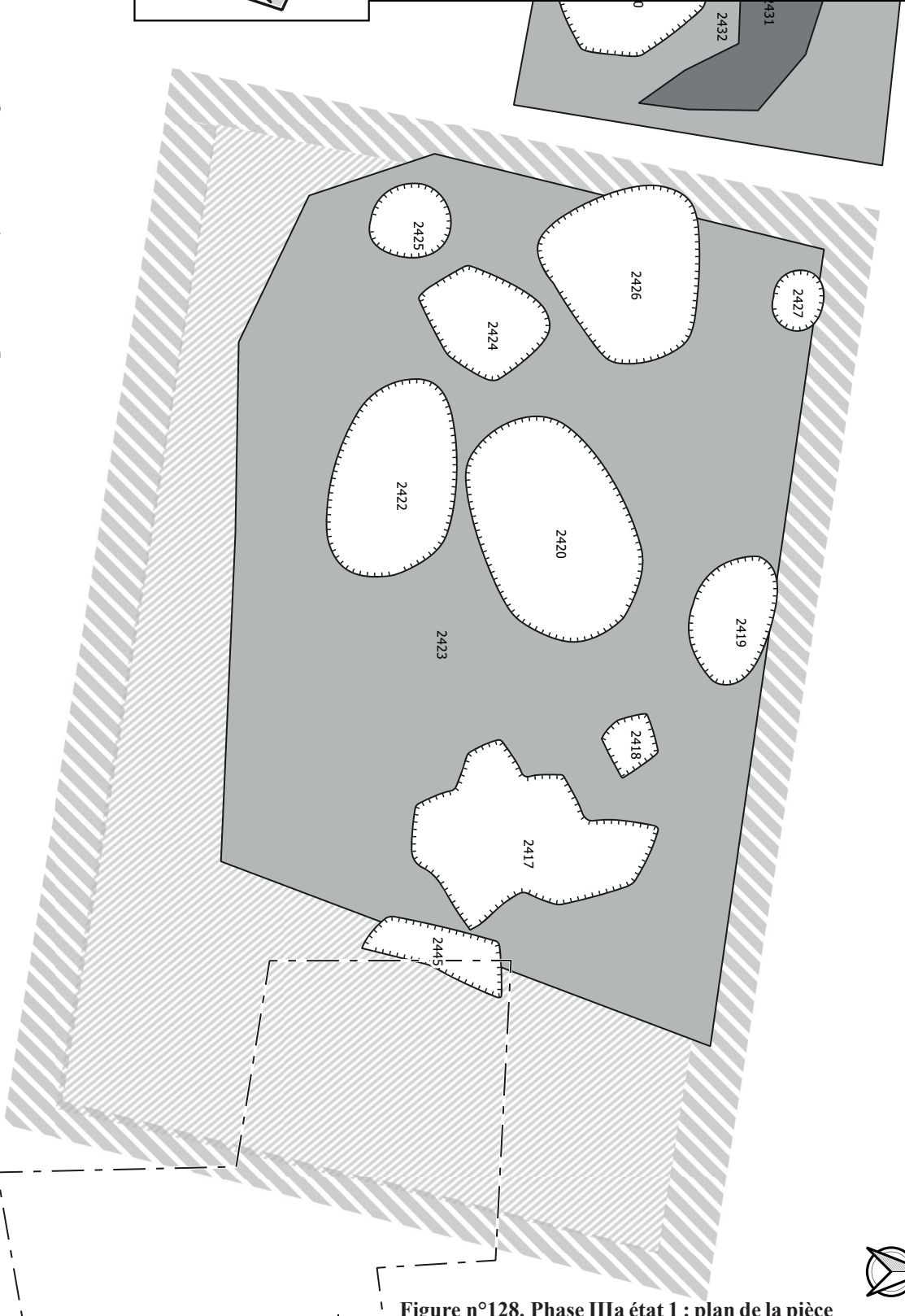
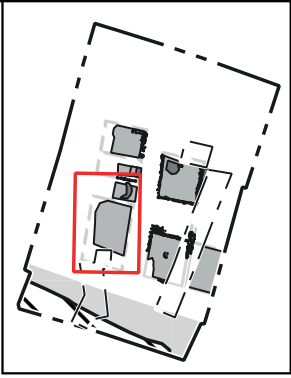


Figure n°128. Phase IIIa état 1 : plan de la pièce PCE2423 (Inrap)

la base des élévations (sablères basses). Seuls quelques segments de solins nous sont parvenus délimitant partiellement le périmètre au sol des constructions. S'inscrivant dans une trame orthogonale, ces fondations se croisent à angle droit dessinant des ébauches de quadrilatères réguliers. Deux d'entre eux se perçoivent particulièrement dans la partie centrale de l'emprise prescrite. Au nord et au sud la matérialité de ces délimitations est beaucoup plus floue, les solins étant conservés dans le meilleur des cas sous la forme de courts segments.

Parcelle sud

Quatre espaces ont été individualisés alignés dans une bande large d'environ 6 m. Trois d'entre eux [PCE2423, PCE2437, PCE2368] se rattachent à deux bâtiments supposés, dont les limites sont déterminées d'après l'existence de solins de délimitation, de niveaux de sols ou de concentrations de fosses.

Un espace intercalaire [ESP2131], difficile à qualifier faute de données, est interprété comme une zone de séparation entre les deux bâtiments laissée à ciel ouvert.

PCE2423 :

La pièce PCE2423 est essentiellement identifiée d'après le contour du sol argileux 2423 (fig. 128). Elle déterminerait un espace bâti dont les limites orientale et méridionale sont positionnées d'après l'emplacement supposé de la façade sur rue et la largeur présumée de la bande bâtie par comparaison avec la propriété médiane. Plusieurs fosses de dimensions variées percent

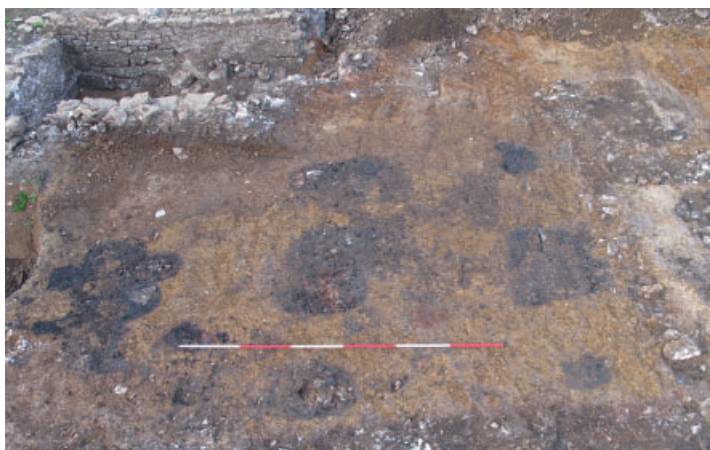


Figure n°129. Phase IIIa état 1 : vue des fosses réparties dans la pièce PCE2423 depuis le nord (Inrap)

le sol 24231 (fig. 129). Il n'est pas impossible que ces fosses au fond plat, conservées sur une profondeur d'environ 10 cm, correspondent à des fonds de structures arasées qui se rattachent pour certaines à des niveaux d'occupation ultérieurs qui auraient disparu consécutivement aux terrassements du site en phase IV. Quoiqu'il en soit, leur comblement à dominante sombre mêlant pour la plupart charbons de bois, scories et battitures montre qu'elles ne sont pas dissociées de la phase d'activité métallurgique du site. La fosse

2417 de plan polylobée et au fond irrégulier procède probablement d'une excavation en plusieurs temps.

ESP2131 :

L'espace intercalaire entre les deux bâtiments supposés est recouvert d'une succession de niveaux de sols argileux alternés de niveaux de sédimentation charbonneuse (fig. 130). Le dernier niveau [2432]. Un sol argileux est percé par une volumineuse fosse [2430] qui a livré de nombreux déchets associés à la production (fig. 131).

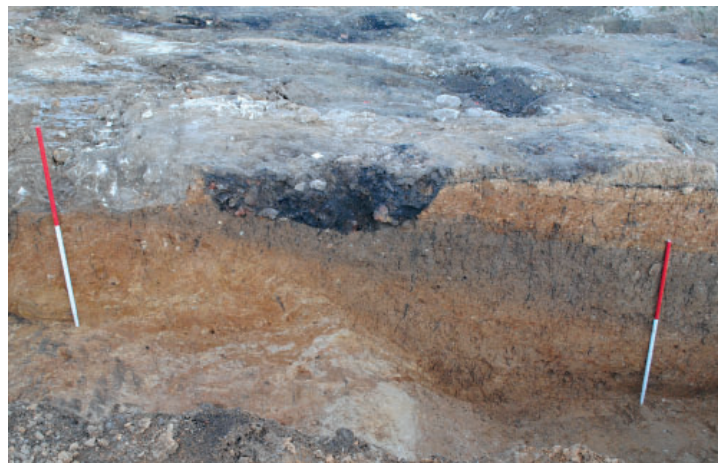


Figure n°130. Phase IIIa état 1 : vue en coupe de la fosse 2430 depuis l'est (Inrap)



Figure n°131. Phase IIIa état 1 : plan des unités spatiales ESP2131, PCE2437, PCE2368 (Inrap)

PCE2437 et 2368 :

L'emprise au sol du bâtiment ouest est définie d'après des segments de solin matérialisant le pignon est [2433] et le mur gouttereau nord [2355] (fig. 130). Son extension vers l'ouest est conditionnée à l'étendue du sol 2368. La limite sud est quant à elle placée arbitrairement de manière à s'aligner sur le mur gouttereau du bâtiment est.

Le solin 2433, conservé sur 2,60 m et en partie disparu au sud, se présente sous la forme d'un alignement de pierres calcaires sur un seul rang.

Le solin 2355 au nord est relativement dégradé, certaines ayant versé ou se trouvant décalées par rapport à l'axe d'alignement initial. Un assemblage ovoïde de plusieurs pierres autour d'un vide [2500], implanté à l'extrémité orientale du solin 2355, pourrait marquer l'emplacement d'un poteau.

Deux unités fonctionnelles indépendantes se devinent d'après la répartition des structures et l'aire d'étalement des niveaux de sol : PCE2437 à l'est et PCE2368 à l'ouest. La séparation entre les deux pièces se devine également d'après la présence d'un épais bourrelet argileux qui assure la transition entre les deux espaces dont les sols se situent à des altitudes différentes : ceux de la pièce est [PCE2437] surplombant d'une vingtaine de centimètres ceux de la pièce ouest [PCE2368]. Ce bourrelet pourrait marquer la présence d'une cloison, dont l'implantation coïncide avec celle du poteau 2500 qui renforcerait ainsi un angle.

Cinq niveaux de sols superposés ont été isolés dans la pièce PCE2737 [dans l'ordre chronologique : 2439, 2438, 2437, 2435, puis 2434, les deux premiers étant à dominante argileuse et le dernier charbonneux]. La préservation privilégiée de ces couches vers le nord est à mettre sur le compte d'un effet de troncature du sol, la partie sud étant davantage dégradée par les labours. On retiendra toutefois leur développement au sol et le fait qu'ils outrepassent l'axe supposé du mur gouttereau nord qui suppose l'existence d'un passage potentiel.

La pièce ouest [PCE2368] se caractérise par une concentration de fosses² creusées dans une unique chape argileuse [2368] et réparties autour d'un petit foyer placé au centre de la pièce (fig. 132). Réduit à un impact thermique, ce dernier présente en partie centrale une légère dépression remplie d'un sédiment charbonneux incluant des battitures [2481]. De taille et de forme variées, la profondeur des fosses n'excède pas 15 cm, certaines conservées sur 3 à 5 cm étant assimilables à de simples dépressions comblées. Leur comblement charbonneux à dominante noire se détache du sol encaissant. La présence de battitures, scories et nodules de terre rubéfiée dans nombre de remplissages confirme leur implication dans la chaîne opératoire du travail du fer. Même s'il paraît illusoire de chercher à les interpréter d'un point de vue fonctionnel, leur distribution autour du foyer FY2481 montre qu'elles participent avec ce dernier d'une organisation rationnelle de la forge. On note par ailleurs que la chape argileuse 2368 a été percée de plusieurs trous de piquets [2626] répartis sans logique cohérente. Leur concentration dans l'angle nord-ouest de la pièce, selon un axe a priori linéaire, semble avoir généré la formation d'un dépôt charbonneux [2504].

Figure n°132. Phase IIIa état 1 : vue des fosses réparties dans la pièce PCE2368 depuis l'ouest (Inrap)

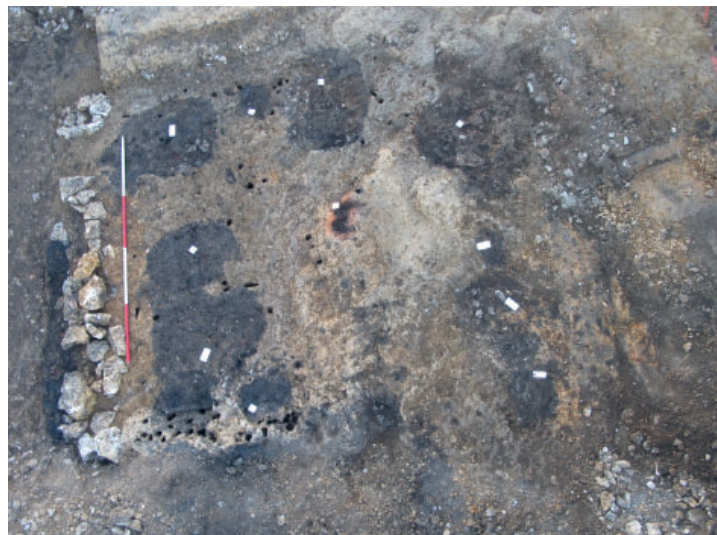




Figure n°133. Phase IIIa état 1 : plan de la pièce PCE2528 (Inrap)

Parcelle médiane

- Etat 1

Trois espaces sont identifiés inscrits dans une bande large de 5,50 m, correspondant à deux bâtiments [PCE2528 à l'est et PCE2338 à l'ouest] séparés par un espace intercalaire large de 4,50 m [ESP2553].

PCE2528 :

Périmètre : Cet espace assimilé un bâtiment est délimité à l'ouest par trois segments de solins disposés en U ouvert vers l'est [2038, 2531, 2547] (fig. 133 et 134). En façade ouest, seul un alignement mal structuré de pierres matérialise le tracé d'un mur [2492]. L'ensemble autorise la restitution d'un bâtiment hors œuvre de 5,50 m dans l'axe nord-sud par 6,50 m dans l'axe est-ouest, soit un espace interne de près de 29 m². Le montage sur deux assises du solin placé à l'est, c'est-à-dire celui placé en partie basse de la pente [2531], soit une hauteur de 20-25 cm permettait de retenir la couche de terre formant



Figure n°134. Phase IIIa état 1 & 2 : vue des fosses réparties dans la pièce PCE2528 depuis le sud (Inrap)

le sol [2528]. Il s'agit en l'occurrence d'une chape argileuse épaisse de 25 cm à l'ouest s'affinant vers l'est de manière à s'étirer sur un niveau plan à l'altitude de 228,80 m.

Espace intérieur : La zone centrale est occupée par une petite fosse [2558 : long. 0.55 m \ larg. 0.45 m \ prof. 0.16 m] à laquelle sont associées quelques pierres sur les rebords (fig. 135). La présence de nombreuses battitures dans le comblement ainsi que des fragments de blocs tuyères inciteraient à l'interpréter comme une structure associée au travail du fer. L'hypothèse d'un foyer de forge pourrait être avancée malgré l'absence de traces de rubéfaction constatées, ces dernières ayant pu disparaître compte tenu de l'impact thermique limité dans ce type de structures. Cette

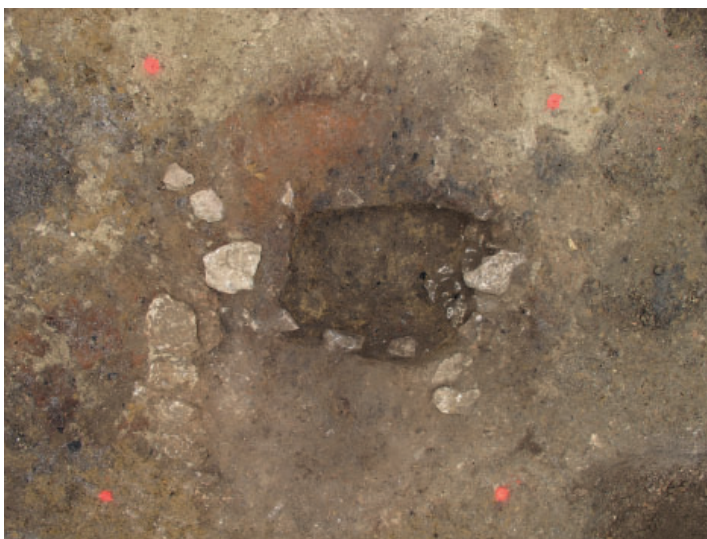


Figure n°135. Phase IIIa état 1 : vue de la fosse 2558 depuis le sud (Inrap)

hypothèse repose également sur le fait que la fosse en question sera recouverte par un foyer lors de la phase suivante [2528, cf. infra].

Quatre structures se répartissent autour de la fosse centrale. Deux sont assimilées à des foyers dont l'usage strictement associé au travail du fer ne peut être démontré. Il s'agit d'un impact thermique de faible étendue à l'ouest [2551] et d'une petite fosse au fond rubéfié et au remplissage argileux au nord [2559 long. 0.50 m \ larg. cons. 0.40 m \ épais. cons. 0.10 m ; recoupée par le sondage de diagnostic]. Les deux autres sont une petite fosse au nord [2554] creusée à



proximité de la fosse-foyer 2559, et un creusement relativement étendu mais de faible profondeur au remplissage à dominante charbonneuse au sud [2549 : épais. cons. 0.12 m \ long. 1.35 m \ larg. max. 0.90 m]. La fosse 2549 a été en partie amputée au sud par l'installation d'une cave [CAV2031, phase IV].

PCE2338 :

Périmètre : Cet espace identifie un second bâtiment dont il reste trois des solins périmétraux dessinant un U ouvert vers l'ouest (fig. 136). La dimension nord-sud du bâtiment nous est fournie par le solin oriental [2416] qui est intégralement conservé alors que les deux autres disposés à angle droit du premier sont interrompus vers l'ouest. Le solin méridional [2440] est par ailleurs relativement dégradé, son tracé se devinant par endroits grâce à quelques petites pierres alignées. Le solin occidental, qui n'est pas apparu lors de la phase diagnostic, a quant à lui totalement disparu. La restitution du plan total du bâtiment, qui dépend de l'emplacement sur lequel est positionné le mur occidental, repose donc sur l'aire de répartition des structures ainsi que sur les limites d'extension des couches associées à cette phase. Elle se fonde aussi sur l'hypothèse d'une relative harmonie dans la proportion des espaces se rattachant à cette propriété, ce qui suppose que les tronçons de solins disparus soient relativement courts. Faute de données complètes, nous proposons donc de restituer un plan hors œuvre de 5,50 m dans l'axe nord-sud par environ 6 m dans l'axe est-ouest, soit une surface utile d'approximativement 28 m². Le sol est constitué d'une couche de limon argileux épaisse d'une vingtaine de centimètres.

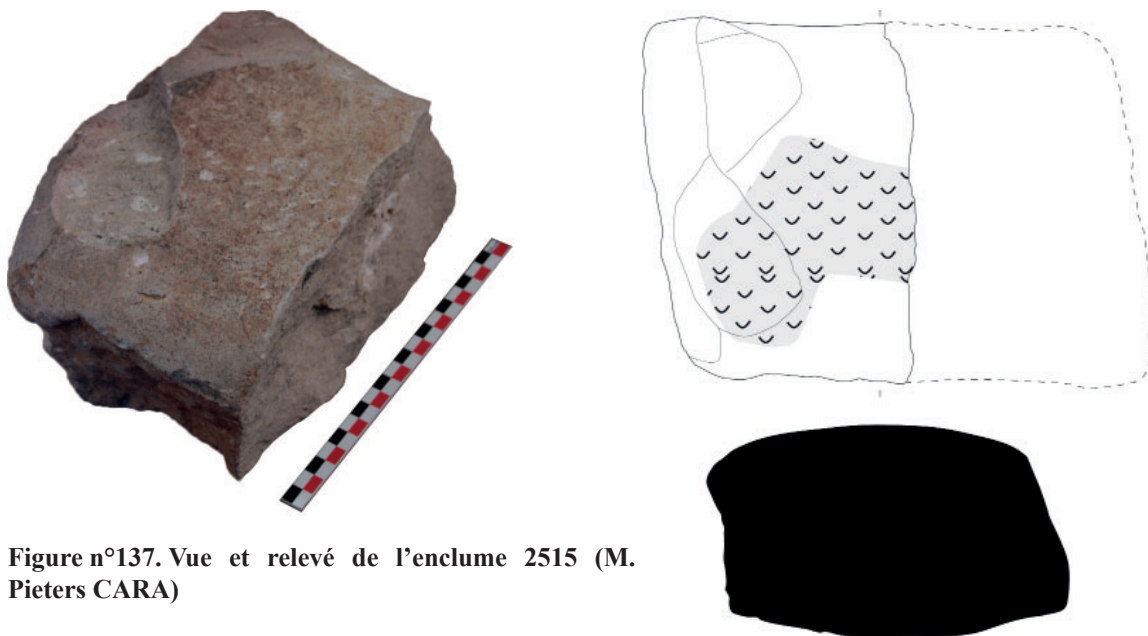


Figure n°137. Vue et relevé de l'enclume 2515 (M. Pieters CARA)

Espace intérieur : Les structures conservées attribuées à l'état 1, se concentrent dans une bande occupant le tiers occidental du bâtiment tel qu'il est circonscrit. Une d'elles placée dans l'axe longitudinal médian du bâtiment correspond à un bloc de grès prismatique posé à plat sur le sol, dont la surface supérieure présente des traces d'usures qui supposent son usage comme enclume [2515] (fig. 137). Elle est installée à proximité d'une petite fosse [2540 : long. 0.40 m \ larg. 0.30 m \ prof. 0.14 m] au profil à fond convexe et à bords verticaux dans la longueur et oblique dans la largeur (fig. 138). Son remplissage particulièrement riche en battitures s'explique par la présence de l'enclume à proximité. Bien que ses bords ne révèlent aucune trace de rubéfaction, la question de son usage comme foyer de forge peut légitimement se poser, les blocs de terre brûlée ayant pu disparaître lors de démontage du dispositif de ventilation du foyer. Des débordements



Figure n°138. Phase IIIa état 1, PCE 2338 : enclume 2515 et structures associées. A gauche : vue depuis le nord-est, à droite : vue depuis l'ouest, en bas-gauche : vue zénithale depuis l'est (Inrap)

superficiels des limites du creusement constatés contre les longs côtés pourraient en effet signer l'emplacement de soufflets potentiellement maintenus par des piquets dont il reste quelques trous autour de la fosse [2533]. Un petit lit de pierres calcaires, répandues sur une faible emprise (40 x 26 cm) à l'ouest de la fosse et au nord de l'enclume, complète l'aménagement de cette aire de travail [2545]. Au sud une légère dépression a été comblée par des apports de sédiments en deux temps : une couche sablo-argileuse contenant des battitures et des scories ainsi que des nodules de terre rubéfiée [2556], sur laquelle a été épandue une couche d'argile homogène épaisse de 5 cm [2555]. Au nord, en bordure de solin, a été creusée une fosse de 75 x 54 cm, sur 46 cm de profondeur, s'élargissant en surface sur près 1,20 m de long pour une profondeur de 10 cm [2534] (fig. 139). La partie profonde est colmatée



Figure n°139. Phase IIIa état 1, PCE 2338 : vue en coupe de la fosse 2534 (Inrap)



Figure n°140. Phase IIIa état 1, PCE 2338 : vue zénithale de l'ensemble de trous de piquet 2533 (Inrap)

par une couche argilo-sableuse contenant des charbons de bois et quelques scories [2539]. La partie supérieure du creusement associe deux couches contenant des nodules de terre rubéfiée, des scories, des battitures, du charbon de bois [2535, 2536]. Faute de traces discriminantes, il est difficile d'attribuer une fonction spécifique à cette fosse. Enfin une douzaine de trous de piquets (diam. de 0.03 m à 0.08 m \ prof. de 0.06 m à 0.22 m) se dispersent entre la fosse 2534 et l'enclume sur une surface d'un demi-mètre carré (fig. 140). Si des alignements de trois trous sont clairement perceptibles, il est difficile de les mettre en relation pour autant, les piquets qu'ils accueillent ne participant pas forcément au même aménagement. De même, on observe des agrégats de trous qui, plutôt que la mise en place rapprochée d'un faisceau de piquets, supposent plutôt des repiquages successifs au même endroit à des moments différents.

- Etat 2

PCE2528 :

Dans le bâtiment est, l'état 2 se concrétise par l'aménagement d'un foyer [FY 2550] en partie centrale de la pièce (fig. 142). Il se présente sous la forme d'une chape argileuse thermo-rubéfiée venue se superposer à la fosse 2558 de l'état précédent (fig. 141). L'impact thermique de plan oblong légèrement cintré en partie médiane mesure 1 x 0,7 m. Des alignements de petites pierres encadrent le lobe sud du foyer dont la surface est indurée par l'inclusion de graviers dans la matrice argileuse. Cette zone constitue peut-être le coeur de



Figure n°141. Phase IIIa état 2, PCE2528 : vue zénithale du foyer FY2550 depuis le sud (Inrap)

la zone de chauffe, tandis que le lobe nord ainsi que d'autres impacts rubéfiés gravitant autour du foyer à l'ouest et au sud ont pu résulter d'un déplacement ponctuel de l'âtre ou d'un étalement de charbons de bois encore incandescents résultant d'une vidange. La nature du dispositif ne



permet pas d'attribuer une fonction spécifique à ce foyer qui a pu servir aussi bien à la cuisson des aliments, au chauffage de la pièce qu'au travail du fer. Les autres structures occupant la pièce, déjà décrites dans l'état 1 (cf. supra), ont pu continuer à fonctionner lors de l'état 2.

PCE2338 :

On assiste dans l'état 2 à une réorganisation de l'espace avec la disparition de l'aire de travail précédente. Le sol est alors recouvert de couches argileuses épaisses d'environ 5 cm, notamment sur le secteur utilisé précédemment [2514] mais également dans l'angle nord-est de la pièce [2513]. L'état de conservation de couches en question ne permet pas d'évaluer leur étendue réelle mais il est probable qu'elles constituent des apports localisés destinés à assainir des zones plus activement utilisées précédemment. Un foyer de forge est installé contre le bord du mur nord, si près qu'il apparaît presque en sape sous la première assise du solin qui a été relevée (nonobstant le fait que le solin en question a pu légèrement verser vers l'intérieur avec le temps, notamment après la ruine du bâtiment). Ce foyer se compose de trois parties (fig. 143). La première constitue la fosse dans laquelle va prendre place l'ensemble du dispositif [2385]. De plan rectangulaire à fond plat, elle mesure 1.20 m x 0.60 m pour une profondeur de 0.40 m. La seconde constitue le foyer proprement dit qui mesure 52 cm de long par 35 cm de large [2384]. La troisième est matérialisée par deux trous de piquets perçant le fond de la fosse 2385 selon un axe transversal juste devant le foyer [2414, 2415]. Ils pouvaient potentiellement servir d'ossature à un bourrelet d'argile dont le maintien était renforcé par des fragments de tuiles placés sur chant à en juger par ceux conservés. Dans cette optique, ce bourrelet permettait de fixer la tuyère d'un soufflet qui pouvait prendre place dans la partie ouest de la fosse 2385 non occupée par le foyer.

Une dépression aux bords évasée se forme à l'est contre le solin 2416 [2510 long. 1.14 m \ larg.

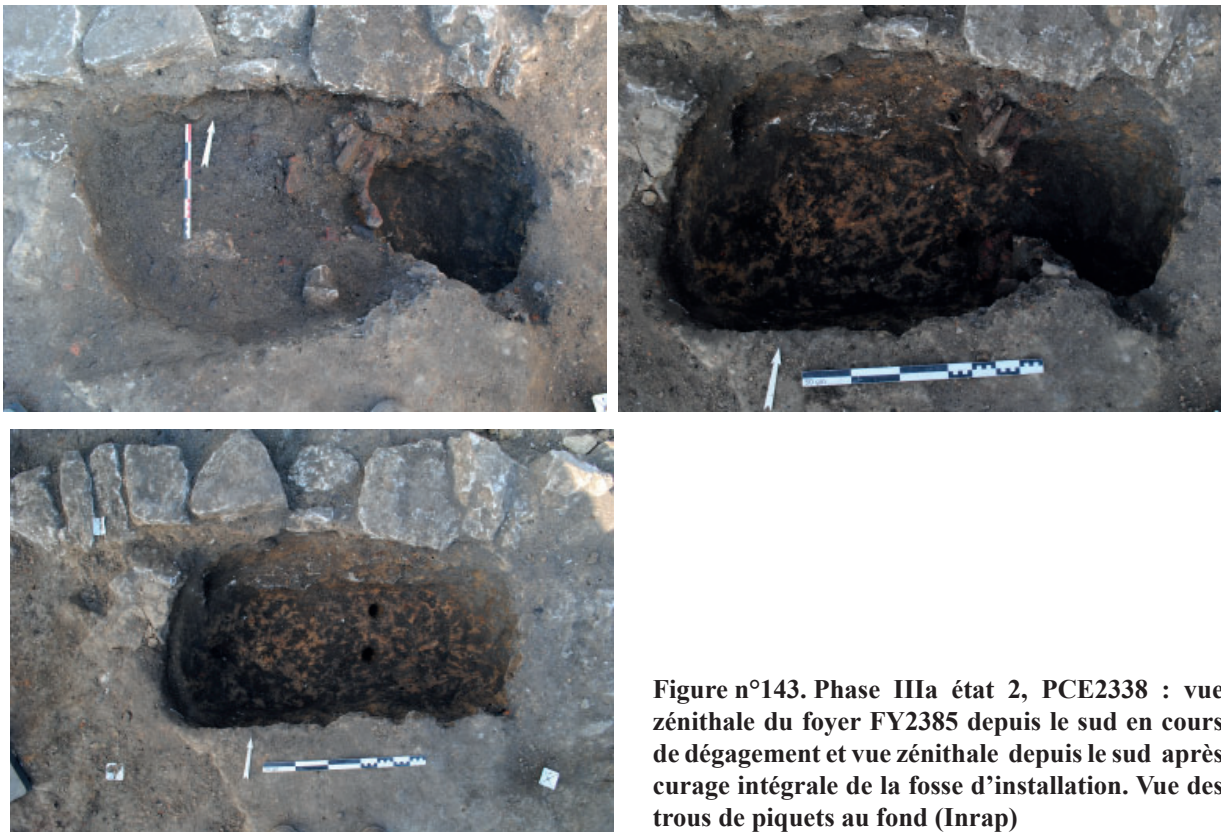


Figure n°143. Phase IIIa état 2, PCE2338 : vue zénithale du foyer FY2385 depuis le sud en cours de dégagement et vue zénithale depuis le sud après curage intégrale de la fosse d'installation. Vue des trous de piquets au fond (Inrap)

0.86 m \ prof 0.16 m). Recouverte par le niveau de sédimentation de sol de la phase suivante [2459], cette dépression sera toujours visible avant de disparaître totalement lors de l'état 3 de la phase IIIa avec l'apport de couches argileuses [2338] qui nivelleront le sol.

- Etat 4



PCE2338 :

L'état 4 se caractérise essentiellement par le percement d'une fosse [2450] dans le quart sud-est de la pièce PCE2338 (fig. 147). Conservée sur une profondeur d'environ 30 cm, elle a été creusée sur 2,44 m x 1,20 m selon un profil à fond plat et bords légèrement obliques. On note sur le fond, la présence d'une faible dépression circulaire de 50 cm de diamètre placée à peu près au centre de la fosse dont l'origine demeure indéterminée. Les parties supérieures de la paroi ouest du creusement ont été perturbées par l'implantation lors de phases ultérieures de deux fosses successives superposées [2380 (IIIb1 état 2) et 2323 (IIIb1 état3)].

Rapportées à la surface de la pièce, ses dimensions au sol interrogent. Aussi cette fosse, qui n'était pas sans conséquence sur l'organisation de la circulation intérieure, peut-elle trouver une explication dans la volonté d'aménager une aire de travail. La relative faible profondeur constatée qui n'excède pas 30 cm, ne paraît pas compatible avec une posture assise à l'intérieur, ni sur le bord. Elle pourrait toutefois convenir à une position à genou ou mieux encore en tailleur, les coudes se trouvant alors à hauteur du sol, ce qui apporte un certain confort de travail pour la fabrication des objets. La présence d'une dalle calcaire [2537] posée à plat juste au bord du petit côté nord de



Figure n°145. Phase IIIa état 4, PCE2338 : vue zénithale depuis l'est de l'empierrement 2537 (Inrap)

la fosse pourrait également procéder d'un agencement fonctionnel (fig. 145). Il convient de préciser que cette dalle ne présente pas de traces d'usure particulière, ni de martelage qui autoriserait à l'assimiler à une enclume. Par ailleurs, si cette pierre peut également être considérée comme un support d'un élément vertical porteur (base de poteau), sa position en bordure de fosse rend cette option discutable.

Parcelle nord

L'existence d'un bâtiment au nord se devine grâce à la présence d'un














unique solin de pierre [2625] préservé dans l'axe de ce qui s'apparenterait au mur gouttereau sud (fig. 148).

Le sol de la pièce PCE2580 se compose d'une chape argileuse [2580] épaisse d'une vingtaine de centimètres. Un foyer, initialement annulaire, prend place au sud de la pièce [FY2574] (fig. 146). Relativement arasé, il devait initialement s'inscrire dans un cercle d'1,30 m de diamètre. La couronne, conservée sur une largeur maximum de 30 cm, permet de restituer au vide circulaire intérieur un diamètre de 70 cm. La profondeur du sillon, au profil curviligne régulier et aux



Figure n°146. Phase IIIa, PCE2580 : vue de foyer 2574 depuis le sud (Inrap)

Typologie des structures archéologiques

-  Fosse
 -  Foyer
 -  Structure hydraulique
 -  Pierre calcaire
 -  Remblai et niveau de sédimentation
 -  Sol et recharge de sol
 -  Trou de poteau et trou de piquet
 -  Tranchée de récupération de mur
 -  Tulle
 -  Autre type
 -  Voie
- Restitutions du bâti et de la voie**
-  Probable
 -  Hypothétique
 -  Sol intérieur restitué
 -  Emprise prescrite
 -  Sondage de diagnostic

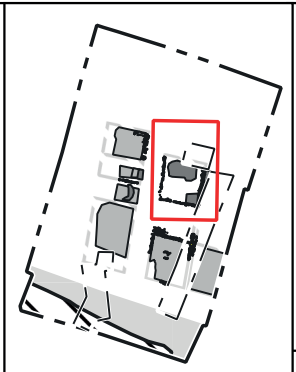


Figure n°147. Phase IIIa état 4 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)

Figure n°148. Phase IIIa : plan de la pièce PCE2580 (Inrap)



parois thermo-rubéfiées, n'excède pas 8 cm. Il était rempli d'un sédiment mêlant cendres et charbons de bois qui n'a pas livré de quelconques déchets métalliques visibles à l'œil nu. Ce type de structure trouve un équivalent dans une forge du Ier siècle fouillée à Bordeaux qui a livré une structure en couronne de dimension comparable (Leblanc 1997, p. 254, 256). L'auteur la rattache à une activité de cintrage à chaud de bandage métallique sur gabarit en bois, dont le vide central de la couronne constituerait le négatif. Un travail de mise en forme qui ne dépaillerait pas dans le contexte entrainois.

Phase IIIb

Parcelle médiane

- Séquence IIIb1

Etat 1

En ce qui concerne la parcelle médiane, la phase IIIb se caractérise par une destruction suivie d'une reconstruction en deux temps des bâtiments occupant la propriété en question (fig. 150). On assiste dans un premier temps au remplacement du bâtiment est (séquence IIIb1) puis dans un second temps à celui situé à l'ouest (séquence IIIb2). Quatre états successifs scandent la séquence IIIb1.

PCE2490 :

Périmètre : L'état 1 de la séquence IIIb1 correspond à la reconstruction du bâtiment est. Le bâtiment antérieur [PCE2528] est démonté jusqu'au niveau du sol et des premières assises du solin, deux éléments laissés en place et recouverts par des couches rapportées de limon argileux. Le nouveau bâtiment [PCE2490] de taille plus importante déborde des limites imposées par le bâti antérieur. Les extensions, qui sont tributaires des contraintes parcellaires, s'effectuent vers l'ouest et le sud. Il ne reste de ce nouveau bâtiment que le mur occidental [MR2040], formant pignon, terminé par des amorces de retour vers l'est permettant de restituer par projection les murs gouttereaux jusqu'au front de rue.

Etat 2

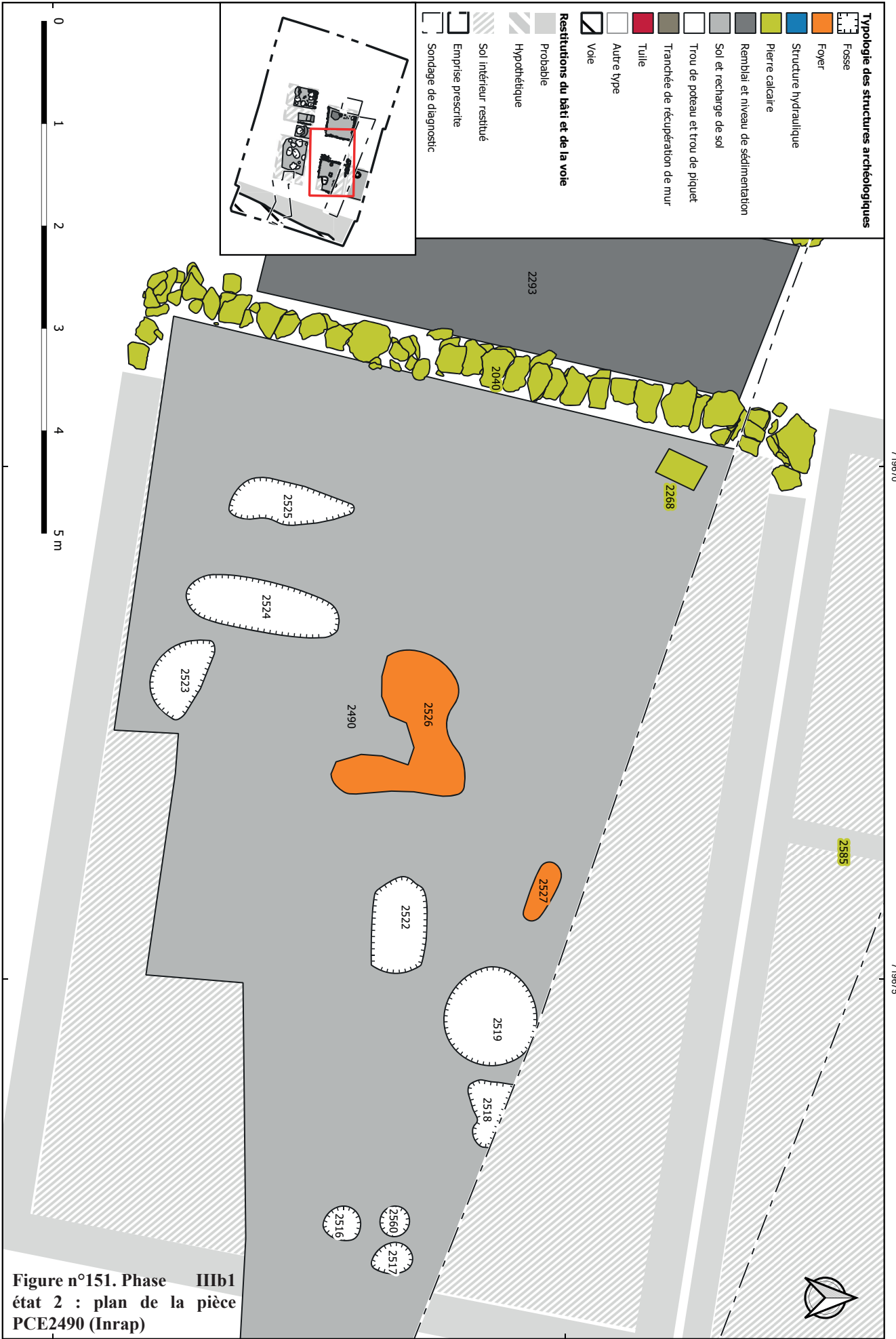
PCE2490 :



Figure n°149. Phase IIIb1 état 2, PCE2490 : vue zénithale depuis le sud du foyer FY2526 (Inrap)

L'état 2 identifie l'étape d'apparition de diverses structures fonctionnelles dans le bâtiment PCE2490 (fig. 154). L'espace central est occupé par un foyer conservé sous la forme d'un impact thermique [2526] (fig. 149). Son plan irrégulier comprend trois lobes de taille distincte chauffés à des intensités variables. Un second impact de forme oblongue est localisé un peu plus au nord [2527]. Trois fosses occupent l'aire centrale à l'est du foyer FY2526. Profondes d'une vingtaine de centimètres, elles ont été creusées selon un plan oblong ou circulaire dont la dimension n'excède pas le mètre [2518, 2519, 2522]. Elles







sont comblées d'un limon argileux charbonneux, incluant des battitures et des scories. Les parois de la fosse 2518 sont rubéfiées à la chaleur sans que l'on puisse pour autant conclure à l'utilisation de la structure comme foyer de forge, la fosse en question ayant pu recevoir la vidange de braises encore chaudes. Trois petites fosses ovoïdes, très arasées, prennent place à l'est en bordure du tracé hypothétique du mur de façade [2516, 2517, 2560]. Leur comblement est comparable à celui des autres fosses. Au sud, trois petites dépressions peuvent résulter d'une dégradation du sol sans rapport avec l'usage fait de la pièce [2523, 2524, 2525]. L'anomalie 2524, située à l'aplomb du solin 2531, pourrait avoir été provoquée par le soutirage de vides existant entre les pierres.

PCE2338 :

Lors de cette séquence, les aménagements du bâtiment ouest résident essentiellement dans le percement en partie centrale de la pièce d'une fosse de 1,16 x 0,90 m, creusée sur 30 cm de profondeur [2380] (fig. 152). Comblée d'un limon brun noir incluant quelques scories et des fragments de parois de four, sa fonction demeure indéterminée. Deux petits creusements mal interprétables sont également attribués à cette étape chronologique [2322, 2324]. Une troisième petite fosse [2328], de 50 x 60 cm, creusée sur 20 cm de profondeur en bordure du solin septentrional, présente la particularité d'être percée sur le fond d'une dizaine de trous de piquets (fig. 153). Ces trous sont peut-être à mettre en lien avec un petit lit de gravier aménagé en bordure de la fosse à l'ouest, l'ensemble participant du maintien au sol d'un dispositif particulier, à l'instar des installations décrites autour de l'enclume 2515 en phase IIIa état 1 (cf supra).



Figure n°153. Phase IIIb1 état 2, PCE2338 vue zénithale de la fosse 2328 (Inrap)

particularité d'être percée sur le fond d'une dizaine de trous de piquets (fig. 153). Ces trous sont peut-être à mettre en lien avec un petit lit de gravier aménagé en bordure de la fosse à l'ouest, l'ensemble participant du maintien au sol d'un dispositif particulier, à l'instar des installations décrites autour de l'enclume 2515 en phase IIIa état 1 (cf supra).

Etat 3

L'état 3 de la séquence IIIb1 se caractérise par l'apparition de nouvelles fosses dans les bâtiments et l'espace intercalaire.

PCE2490 :

La fosse 2522, qui semble remblayée, est recoupée à son extrémité est par une nouvelle petite fosse très arasée [2520 : long. 0.66 m \ larg. 0.50 m \ prof. 0.08 m] (fig. 154).

Les autres structures apparues antérieurement ont pu continuer à fonctionner.

PCE2338 :

Une nouvelle fosse prend place au centre de la pièce [2323] (fig. 155). Elle remplace la fosse 2380 qui avait été préalablement comblée, le creusement de la fosse 2323 recoupant le sédiment de remplissage de 2380.

Etat 4

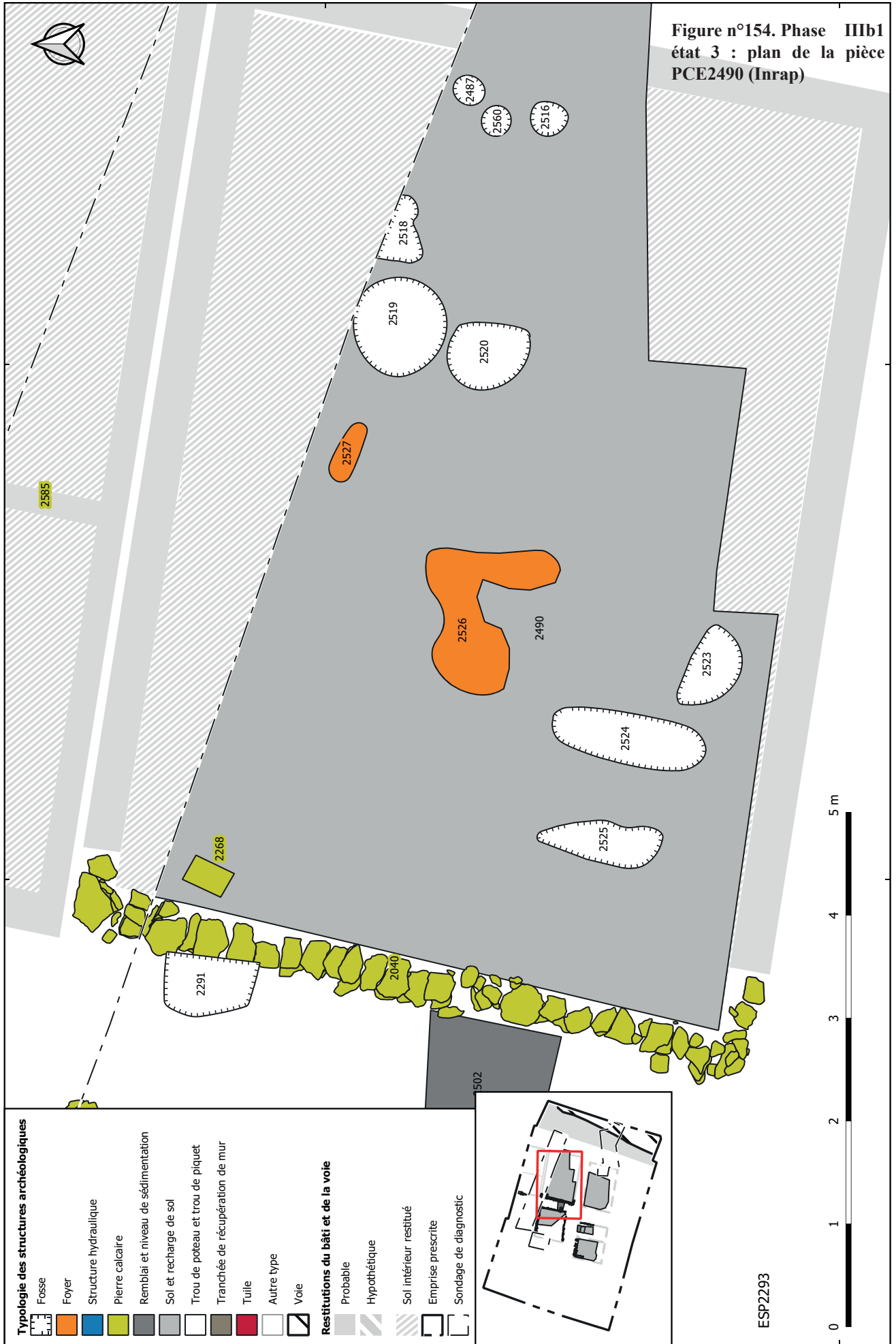
PCE2490 :

Le sol du bâtiment oriental est perturbé par une grande fosse oblongue [2521 : long. 4.50 m \ larg. 1 m \ prof. 0.15 m] (fig. 156). Elle est remplie d'un sédiment argileux hétérogène mêlant cailloutis, charbons, mortier, terre rubéfiée, scories et tuiles. L'attribution de cette fosse à cette

Figure n°154. Phase IIIb1
état 3 : plan de la pièce
PCE2490 (Inrap)

719675

719670

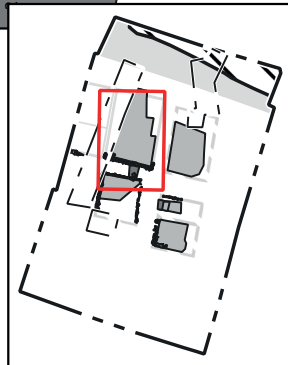


Typologie des structures archéologiques

- Fosse
- Foyer
- Structure hydraulique
- Pierre calcaire
- Remblai et niveau de sédimentation
- Sol et recharge de sol
- Trou de poteau et trou de piquet
- Tranchée de récupération de mur
- Tuile
- Autre type
- Voie

Restitutions du bâti et de la voie

- Probable
- Hypothétique
- Sol intérieur restitué
- Emprise prescrite
- Sondage de diagnostic



ESP2293





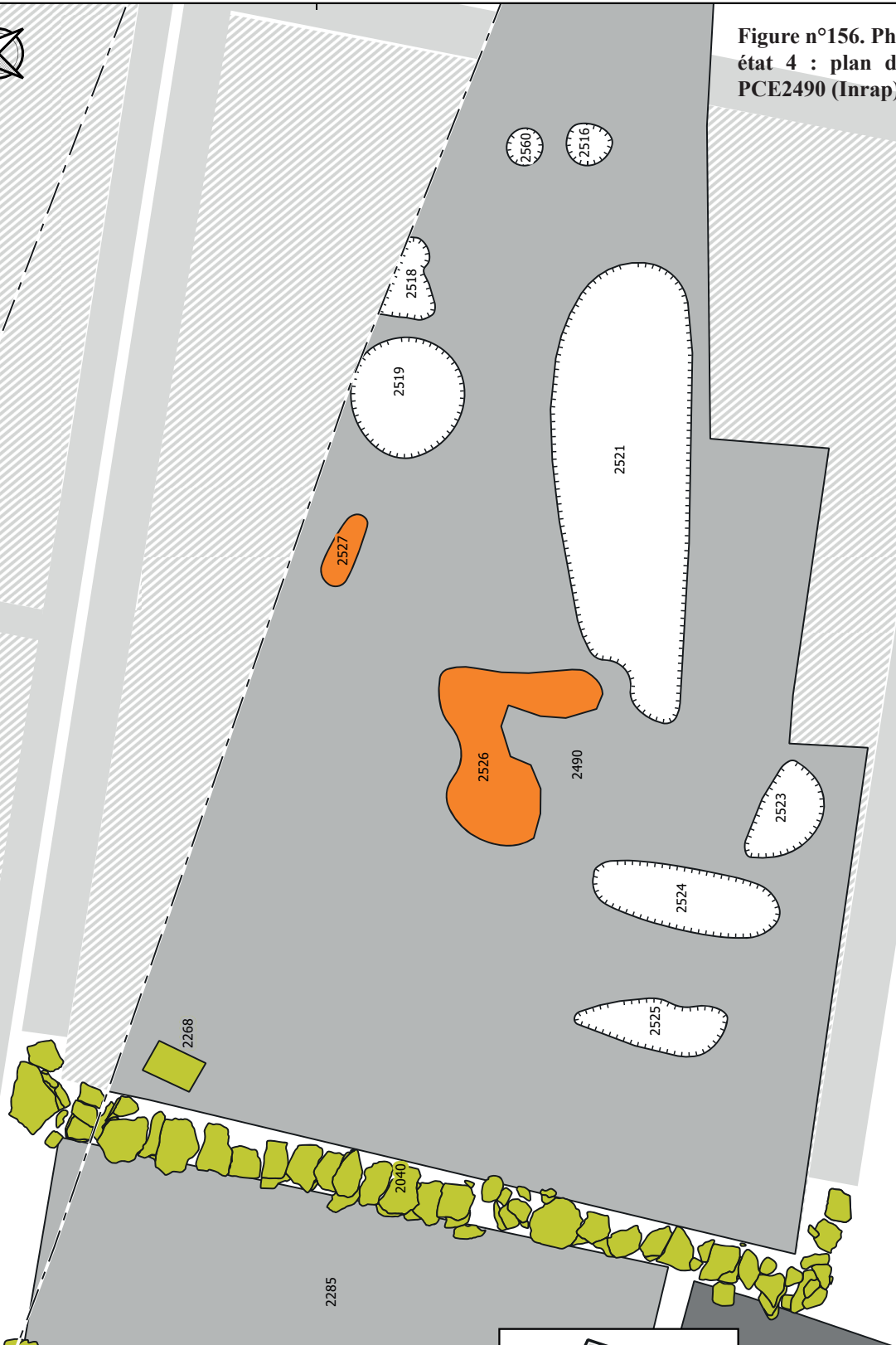
Figure n°156. Phase IIIb1
état 4 : plan de la pièce
PCE2490 (Inrap)

719875

719870



2585



5 m












4

3


2

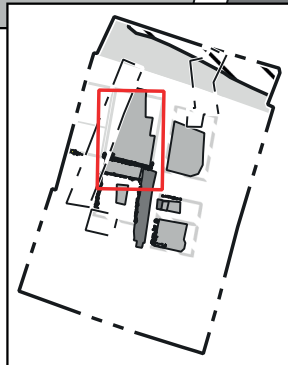
1

Typologie des structures archéologiques

-  Fosse
-  Foyer
-  Structure hydraulique
-  Pierre calcaire
-  Remblai et niveau de sédimentation
-  Sol et recharge de sol
-  Trou de poteau et trou de piquet
-  Tranchée de récupération de mur
-  Tuile
-  Autre type
-  Voie

Restitutions du bâti et de la voie

-  Probable
-  Hypothétique
-  Sol intérieur restitué
-  Emprise prescrite
-  Sondage de diagnostic



2218

Typologie des structures archéologiques

- Fosse
 - Foyer
 - Structure hydraulique
 - Pierre calcaire
 - Remblai et niveau de sédimentation
 - Sol et recharge de sol
 - Trou de poteau et trou de piquet
 - Tranchée de récupération de mur
 - Tuyau
 - Autre type
 - Voie
- Restitutions du bâti et de la voie**
- Probable
 - Hypothétique
 - Sol intérieur restitué
 - Emprise prescrite
 - Sondage de diagnostic

Figure n°157. Phase IIIb1 état 4 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)



719660
719665
719670



Figure n°159. Phase IIIb3 : plan des unités spatiales PCE2304, PCE2272, PCE2279 (Inrap)



phase chronologique est sujette à caution. Si elle appartient bien au dernier état identifié d'après la chronologie relative, il est possible qu'elle apparaisse beaucoup plus tardivement. La nature hétérogène de son remplissage et sa morphologie atypique au regard des autres structures installées dans les ateliers, qui pose question quant à sa fonction, pourraient laisser entendre qu'elle intervient lors de la phase d'abandon des ateliers au moment de la transition avec la phase IV qui voit la création des bâtiments résidentiels.

PCE2338 :

La dernière fosse creusée dans l'espace central [2323] est comblée (fig. 157). Cette zone, au sol sans doute rendu meuble par les multiples creusements et remblaiements successifs, est rechargée d'une couche argileuse [2337]. Cette même couche sera percée d'une petite fosse vers l'est [2321 : diam. 0.50 m \ prof. 0.40 m]

- Séquence IIIb2

La séquence IIIb2 correspond à la démolition du bâtiment occidental et à son remplacement par un corps de bâti plus grand qui va venir s'appuyer contre le pignon du bâtiment oriental (fig. 158).

L'emprise au sol du nouveau bâtiment s'inscrit dans un rectangle hors tout de 10,2 x 6,5 m (soit 66 m²). Le plan est restitué d'après les murs périmétriques [2040, 2129, 2041] et un mur de refend longitudinal [2314-2377-2197]. Il ne reste des murs périmétriques que des segments des murs gouttereaux, le pignon ouest ayant disparu.

Le volume interne est subdivisé en trois espaces distincts de taille inégale : PCE2279 au nord-ouest, PCE2272 au nord-est, PCE2304 au sud. .

- Séquence IIIb3

PCE2304 :

Le pavage de la séquence antérieure [2304, IIIb2] est recouvert d'un nouveau sol de graviers calcaires [2266] lui-même étalé sur une couche d'apprêt constitué d'une chape d'argile épaisse de 5 à 10 cm [2267]. Ce nouveau sol qui, à l'instar du précédent, suit un plan légèrement incliné vers l'ouest, trouve une continuité à l'ouest dans la strate argileuse 2193. Deux fosses de plan ovoïde sont implantées dans l'axe du passage vers la pièce nord PCE2279 (fig. 159). Profonde de 15 à 20 cm, elles sont creusées selon un profil à fond plat [22254, 22565] (fig. 160). La fosse la moins profonde [2256] présente plusieurs trous de piquets contre le fond.



Figure n°160. Phase IIIb3, PCE2304 : vue zénithale depuis le sud des fosses 2256 et 2225 avant fouille (Inrap)

PCE2279 :

Le sol est réchappé d'une couche d'argile épaisse d'une dizaine de centimètres [2091]. Elle sera elle-même rechargée vers l'ouest d'un feuilletage de couches argileuses [2271*, 2192*] dont l'une se compose de nodules de terre cuite (issus d'une structure

de combustion démontée ?) écrasés au sol [2200*].

Une fosse [2062] est creusée sur 2,70 m de longueur pour 1,20 m de large et 0,70 m de



Figure n°161. Phase IIIb3, PCE2279 : vue zénithale depuis le sud de la fosse 2062 (Inrap)

de profondeur, parallèlement au mur de refend de telle sorte qu'elle barre le passage vers la pièce PCE2304 au sud (fig. 161). Le fond de cette fosse présente trois dépressions contiguës, alignées dans le sens de la longueur selon un axe plutôt déporté contre le mur de refend : (d'est en ouest) 2331, 2333, 2335. D'un diamètre variant à l'ouverture de 60 à 70 cm, elles sont creusées selon un profil à bord oblique et fond arrondi sur 20 cm de profondeur. Le creusement 2331 accueille le corps d'une amphore Dr. 20, retrouvée partiellement en place et délitée par la chaleur.

Les deux autres aménagements,

morphologiquement comparables, ont très certainement accueilli un récipient bien qu'aucun deux n'ait été retrouvé en place. Cette hypothèse est confortée par la présence dans les US de remplissage individualisées dans chacune des fosses circulaires [2330, 2332, 2334] ainsi que dans le sédiment de colmatage supérieur de l'ensemble de la fosse 2062 d'un total de 589 fragments⁶ attribué à une Dr.20, des amphores ligériennes et un dolium qui sont autant de conteneurs potentiellement réutilisés.

L'usage fait de la fosse 2062 dans la chaîne opératoire du travail du fer se déduit de la présence de coulures de bronze et de traces de fer corrodé contre les parois de l'amphore Dr. 20. On constate par ailleurs dans le remplissage des chutes de plaques et des agglomérats de déchets de coupe d'objet en fer⁷ qui renvoient également à la sphère artisanale.

Par ailleurs, le prélèvement, toujours dans le comblement, de tessons de céramiques exposés à la chaleur, ainsi que des nodules de terre cuite mais aussi la présence contre le bord supérieur de la fosse d'une fine couche charbonneuse trahissent cette fois encore une activité en lien avec l'usage du feu. Il convient enfin de souligner la découverte de deux individus céramique attribués pour l'un à une amphore de type ESN AM.2 (type Selles 1524) et pour l'autre à un dolium du type ESN. Do1 qui ont tous les deux pour caractéristique d'être représentés par seulement le tiers supérieur du récipient qu'ils composaient initialement. En effet, seuls sont conservés les tiers supérieurs des vases (col/lèvre), jusqu'au niveau des accroches inférieures des anses. La panse est découpée régulièrement afin de préserver la forme d'entonnoir. Des traces de surchauffe sont observées localisées sur les lèvres : la chaleur semble avoir noirci et induré la pâte, presque grésée par endroit. Les deux récipients paraissent ainsi avoir été retournés sur des braises, sans doute par commodité ou confort de travail, afin de répondre à un besoin spécifique dans le cadre de pratiques qui nous échappent.

Quoi qu'il en soit, au vu de sa configuration générale, la fosse FS2062 était conçue pour accueillir trois volumineux récipients utilisés sans doute de manière simultanée dans le cadre de travaux métallurgiques faisant intervenir le feu, les vases ainsi que la fosse ayant été exposés à une forte chaleur.

L'utilisation de ces récipients a généré le dépôt d'une fine couche charbonneuse [2313] contre le

bord et le fond de la fosse principal. L'ensemble du volume, les trois dépressions internes incluses, est comblé par un sédiment hétérogène comportant des nodules de terre rubéfiée, du torchis et des pierres [2063, 2330, 2332, 2334]

PCE2272 :

La pièce à l'angle nord-est est rechapée d'une couche argileuse [2272]. Une source de chaleur a rubéfié le sol sur une faible étendue contre le mur de refend [FY2281] (fig. 162).

- Séquence IIIb4



Figure n°162. Phase IIIb3, PCE2272 : vue zénithale depuis l'est du foyer FY2281 (Inrap)

On assiste lors de la séquence IIIb4 à une refonte du corps de bâtiment occidental qui voit la disparition du mur de refend et une reconstruction du pignon ouest accompagnée d'un possible déplacement (fig. 163). Le mauvais état de conservation des vestiges attribués à cette séquence n'autorise qu'une restitution lacunaire du bâti, le plan proposé étant sujet à caution sous bien des aspects.

ESP2043 :

La reconstruction partielle des murs gouttereaux participerait d'un remodelage architectural affectant la partie occidentale du corps du bâtiment (fig. 164). Ces reprises seraient éventuellement consécutives à un retrait du mur pignon vers l'est réduisant le volume utile à environ la moitié de ce qu'il représentait auparavant. Les vestiges de ce nouveau pignon ont faiblement marqué le sol de leur empreinte. Il en reste deux petits segments de murs implantés en vis à vis, chacun à la perpendiculaire des murs gouttereau : 2198 au nord et 2275 au sud. La déconnexion des deux maçonneries peut être induite par l'implantation à un moment donné de fosses dans l'axe du pignon

[2300 puis 2296] mais il est aussi fort possible que les courts segments conservés correspondent aux jambages latéraux d'une large ouverture qui ajourait le pignon. Le segment sud 2275 est interrompu au milieu de son tracé par une vaste fosse [2274], dont la fonction ne peut être identifiée avec certitude mais qui a pu accueillir un élément raidisseur de la maçonnerie de type boiserie verticale. Les deux fosses oblongues implantées dans l'axe du passage [2296, 2300] se montrent peu compatibles avec l'usage fait de cette partie du bâtiment. Creusées selon un profil à fond plat sur une profondeur d'une vingtaine de centimètres, elles ont toutefois pu apparaître lors d'une étape de réduction de la largeur de l'ouverture. Dans cette optique, le solin de 21968, placé le long de la fosse 2296, pourrait être considéré comme la base d'un muret de protection fermant le passage dans le prolongement du jambage sud du mur pignon, nonobstant un léger décalage. La pièce ainsi circonscrite [PCE2043] mesure près de 37 m². Trois niveaux de sol superposés à dominante charbonneuse sont associés à cette phase [2254, 2089, 2265]. Un dépôt localisé de sédiment argileux [2255], formant un léger dôme de 20 cm d'épaisseur, s'intercale entre la formation de ces deux sols. Une dépression comblée du sol [2093] correspond quant à elle à l'arrachage du mur 2278.

Figure n°163. Phase IIIb4 : plan de localisation des unités spatiales (Inrap)



719670

6707760

719665

719660



Figure n°164. Phase IIIb4 : plan des unités spatiales
PCE2043, PCE2195, PCE2199 (Inrap)

PCE2195 :

L'extension du bâti vers l'ouest est attesté par le solin 2247, qui prolonge le mur gouttereau méridional [2041] et, dans une moindre mesure, par un débord du mur gouttereau nord [2199] par rapport au jambage du pignon [2198] (fig. 164). Il est toutefois difficile, en l'état des vestiges, de statuer sur la nature exacte de cette extension d'un point de vue architectural.

Il semble qu'une pièce rectangulaire de 5 m² ait été créée au sud, à l'angle du solin 2247 et du pignon 2275 : PCE2195. Le cloisonnement au nord paraît matérialiser par une assise discontinue de grosses dalles calcaires [2195]. À l'ouest, la fermeture de l'espace est assurée par le mur 2120. Il s'agit d'un mur en pierre sèche, conservé sur deux assises, dont le mode de construction sur deux rangs n'est pas sans poser question tant cette technique de mise en oeuvre se distingue des autres maçonneries. D'un point de vue stratigraphique, mais aussi d'un point de vue organique (implantation perpendiculaire avec le solin 2247, interruption dans l'axe du solin 2195 au nord), ce mur se révèle pourtant compatible avec le plan proposé se rapportant à la phase IIIb4. Au-delà de fermer l'espace, il devait peut-être répondre à une fonction architecturale spécifique, justifiant un mode de construction particulier, particularité qui empêchait le chaînage avec le solin 2247. Trois fosses prendraient potentiellement place dans la pièce 2195, peut-être à des moments distincts [2215, 2262, 2264]. Conservées sur une profondeur de 40 à 50 cm, elles ont été creusées selon un profil comparable à bords verticaux et fond plat. Leur comblement stratifié de terre charbonneuse contenait divers matériaux, dont des scories et des battitures. La structure 2216 correspond quant à elle à une dépression du sol d'une dizaine de centimètres. Remplie de pierres calcaires, elle a pu être aménagée pour servir d'embase à un élément destiné à supporter une charge (dispositif architectural porteur) ou soumis à tassement ou écrasement (support de frappe ?).

6.1.2. Catalogue des structures triées par US

Foyers

Foyers au sol et impacts thermiques

L'interprétation des foyers au sol est difficile, notamment en l'absence de déchets métallurgiques caractéristiques. Bien souvent, ils ont pu servir à de multiples fonctions, peut-être non exclusives, qu'il est impossible de caractériser précisément. Certains faits assimilés à des foyers mais perceptibles sous la forme d'impacts thermiques de faible étendue, peuvent potentiellement résulter du dépôt temporaire d'une source de chaleur, à l'instar de braises incandescentes, qui ont pu rubéfier ponctuellement le sol.

US : 2550

Fait : FY2550

Ensemble : PCE2528

Catégorie : foyer

Type : radier de sole de foyer en pierres et terre cuite

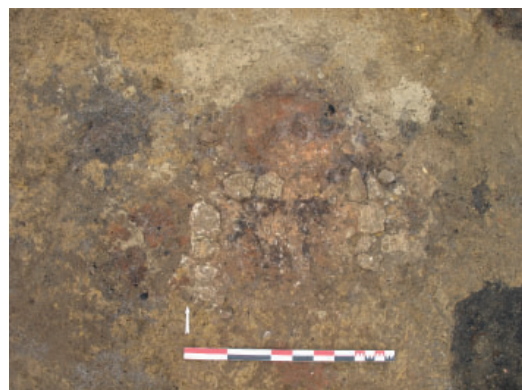
Dimensions : long. 1.10 m larg. 1 m

Texture : argile

Couleur : rouge

Interprétation : Foyer circonscrit par des moellons calcaires formant un U ouvert vers le sud (1.10 m x 1 m) avec, au centre, un cailloutis calcaire thermo-rubéfié (2557) et des surfaces argileuses thermo-rubéfiées au sud et au nord. L'angle nord-est de cette structure recouvre une fosse remplie de scories et de battitures.

TPF : 3a



TAF : 3a
Phase : 3a
US : 2281
Fait : FY2281
Ensemble : PCE2272
Catégorie : foyer
Type : trace rubéfiée de foyer lenticulaire
Dimensions : long. cons. 0.30 m larg. 0.25 m
Texture : argile
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : jaune, rouge
Interprétation : Plaque d'argile thermo-rubéfiée
TPF : 3b3
TAF : 3b3
Phase : 3b3



US : 2481
Fait : FY2481
Ensemble : PCE2368
Catégorie : foyer
Type : trace rubéfiée de foyer lenticulaire
Dimensions : long. 0.40 m larg. 0.30 m prof. 0.05 m
Texture : argile
Couleur : rouge
Inclusions : battitures
Interprétation : Zone thermo-rubéfiée. Présence d'un léger surcreusement (0.15 m x 0.25 m), en son centre, rempli de battitures. Plan réniforme.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3a



US : 2526
Fait : FY2526
Ensemble : PCE2490
Catégorie : foyer
Type : trace rubéfiée de foyer lenticulaire
Dimensions : long. 1.40 m larg. max. 1.20 m prof. 0.07 m
Texture : argile
Structure : homogène, très compacte
Couleur : rouge
Interprétation : Impact de thermo-rubéfié vaguement réniforme. L'espace central est occupé par un foyer conservé sous la forme d'impact thermique [2526]. Son plan irrégulier comprend trois lobes de taille distincte chauffés à des intensités variables.
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2



US : 2527
Fait : FY2527
Ensemble : PCE2490
Catégorie : foyer
Type : trace rubéfiée de foyer lenticulaire
Dimensions : long. 0.55 m larg. max. 0.25 m prof. 0.05 m
Texture : argile
Structure : homogène, très compacte

Couleur : rouge
Interprétation : Impact thermo-rubéfiée de plan oblong
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2

US : 2551
Fait : FY2551
Ensemble : PCE2528
Catégorie : foyer
Type : trace rubéfiée de foyer lenticulaire
Dimensions : long. 0.50 m larg. 0.40 m épais. 0.05 m
Texture : argile
Structure : homogène, compacte
Couleur : rouge
Interprétation : Foyer lenticulaire : Poche argileuse oblongue (0.50 m x 0.40 m) thermo-rubéfiée sur 0.05 m d'épaisseur.
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a

US : 2559
Fait : FY2559
Ensemble : PCE2528
Catégorie : foyer
Type : trace rubéfiée de foyer lenticulaire
Dimensions : long. 0.50 m larg. cons. 0.40 m épais. cons. 0.10 m
Texture : argile
Structure : homogène, compacte
Couleur : rouge
Interprétation : Foyer lenticulaire. Cuvette argileuse oblongue (0.50 m x 0.40 m) dont le fond est thermo-rubéfiée sur 0.25 m de diamètre. Le reste de la cuvette est comblé par un sédiment semblable à 2491 (limon blanchâtre) avec, à sa base, un fin niveau charbonneux.
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a

Foyers en fosse

US : 2385
Fait : FY2385
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement
Type : fosse d'installation d'un foyer de forge
Dimensions : long. 1.20 m larg. 0.60 m prof. 0.40 m
Texture : limon
Structure : homogène, peu compacte
Inclusions : battitures, scories, charbons
Interprétation : Fosse accueillant le foyer 2384. Mode opératoire de la construction : - creusement général de FS2385. - installation de deux piquets (2414 et 2415). - installation du foyer 2384 séparé du reste de la fosse par un boudin d'argile, de tuiles maintenues par les deux piquets pour la première utilisation.. - remplissage du vide à l'ouest



par le sédiment 2394

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a Etat2

US : 2574

Fait : FY2574

Ensemble : PCE2580

Catégorie : foyer

Type : trace rubéfiée de foyer penannulaire

Dimensions : diam. ext. 1.30 m épais. 0.08 m

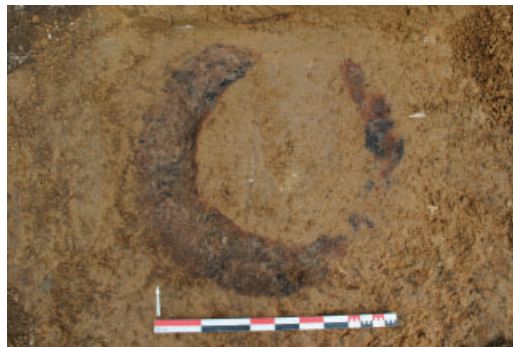
Texture : argile

Couleur : rouge

Interprétation : Foyer servant probablement au cerclage des roues. Remplissage de sédiment charbonneux.

TPF : 3a

TAF : 3a



Phase : 3a

Empierrement sans liant

Excepté des niveaux de sols non illustrés ici, les empierrements sont localisés sur une faible surface. Il s'agit la plupart du temps de lit de petites pierres compactées à la surface du sol ou dans une faible dépression [2216]. Ces concentrations sont réparties à proximité de fosses [2216 et v. infra FS2328] ou à proximité d'une enclume [2545]. Ces lits de pierres peuvent participer d'une stabilisation du sol en lien avec le travail du fer. Dans un cas l'empierrement consiste en une dalle calcaire à la fonction est indéterminée [2537] placée en bordure d'une grande fosse,

elle-même assimilée à un poste de travail aménagé dans le sol.

US : 2216

Fait : FS2216

Ensemble : PCE2195

Catégorie : creusement

Type : creusement de fosse

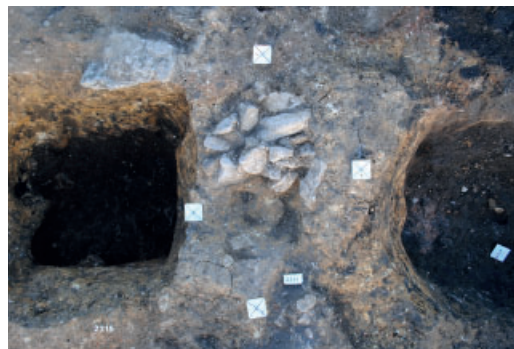
Dimensions : long. 0.56 m larg. 0.40 m prof. cons. 0.10 m

Interprétation : Creusement de la fosse FS2216. Remplie de pierres calcaires, elle a pu être aménagée pour servir d'embase à un élément destiné à supporter une charge (dispositif architectural porteur) ou soumis à tassement ou écrasement (support de frappe ?).

TPF : 3b4

TAF : 3b4

Phase : 3b4



US : 2537

Ensemble : PCE2338

Catégorie : autres types

Type : support de pilier ou aménagement pour le travail au sol

Dimensions : diam. 0.50 m

Interprétation : Dallette et pierres calcaires placées à la base du creusement FS2508 mais très certainement antérieures. Il pourrait s'agir d'une base d'élément vertical porteur (pilier) ou d'un aménagement pour le travail du fer au sol. La présence d'une dalle calcaire [2537] posée à plat juste au bord du petit côté nord de la fosse pourrait également procéder d'un agencement fonctionnel ph2273. Il convient



de préciser que cette dalle ne présente pas de trace d'usure particulière, ni de martelage qui autoriserait à l'assimiler à une enclume. Par ailleurs, si cette pierre peut également être considérée comme un support d'un élément vertical porteur (base de poteau), sa position en bordure de fosse rend cette option discutable.

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a Etat4

US : 2545

Ensemble : PCE2338

Catégorie : amas

Type : amas de cailloutis

Dimensions : long. 0.40 m larg. cons. 0.26 m épais. 0.04 m

Texture : cailloutis

Structure : très compacte, homogène

Interprétation : Lit de petites pierres calcaires disposées contre et autour "l'enclume" 2515. Il est recoupé à l'est par la fosse 2540.

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a Etat

Fosses

La plupart des fosses, pour certaines relativement arasées, restent sans interprétations fonctionnelles spécifiques. Trois cas retiennent l'attention : deux petites fosses assimilables à des

foyers [2540, 2558], bien qu'elles ne comportent pas de traces de rubéfaction, et une grande fosse qui pourrait résulter de l'aménagement d'un poste de travail dans le sol [2450].

US : 2062

Fait : FS2062

Ensemble : PCE2279

Catégorie : creusement

Type : creusement de fosse

Dimensions : long. 2.70 m larg. 1.20 m prof. 0.70 m. Fond relativement plat et des parois subverticales

Interprétation : Trois creusements distincts apparaissent au fond de la fosse (2331, 2333 et 2335)

TPF : 3b3

TAF : 3b3

Phase : 3b3

US : 2131

Fait : FS2131

Ensemble : ESP2131

Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : diam. estimé 2 m

Texture : argile

Inclusions : cailloutis, charbons, terre rubéfiée, scories

TPF : 3b1

TAF : 3b4

Phase : 3b1



US : 2215

Fait : FS2215

Ensemble : PCE2195

Catégorie : creusement

Type : creusement de fosse

Dimensions : long. 0.88 m larg. 0.78 m prof. cons. 0.42 m.

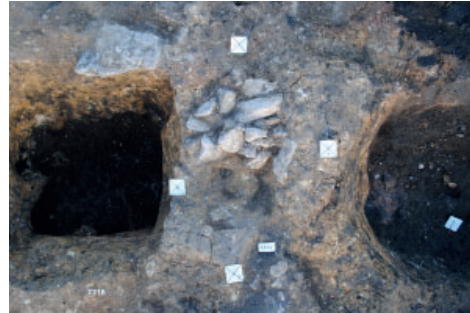
Fond plat et à bords subverticaux.

Interprétation : Creusement de la fosse FS2215.

TPF : 3b4

TAF : 3b4

Phase : 3b4



US : 2216

Fait : FS2216

Ensemble : PCE2195

Catégorie : creusement

Type : creusement de fosse

Dimensions : long. 0.56 m larg. 0.40 m prof. cons. 0.10 m

Interprétation : Creusement de la fosse FS2216.

TPF : 3b4

TAF : 3b4

Phase : 3b4



US : 2225

Fait : FS2225

Ensemble : PCE2304

Catégorie : creusement

Type : creusement de fosse

Dimensions : diam. 0.80 m prof. cons. 0.20 m. fond plat, avec un ressaut au nord, et des bords verticaux

TPF : 3b3

TAF : 3b3

Phase : 3b3



US : 2256

Fait : FS2256

Ensemble : PCE2304

Catégorie : creusement

Type : creusement de fosse

Dimensions : diam. 0.75 m prof. cons. 0.15 m. Fond plat, bords droits à évasés

Interprétation : Creusement de la fosse FS2256. Fond de la fosse percé de plusieurs trous de piquet

TPF : 3b3

TAF : 3b3

Phase : 3b3



US : 2262

Fait : FS2262

Ensemble : PCE2195

Catégorie : fosse

Type : creusement de fosse

Dimensions : long. 1.10 m

larg. 0.70 m prof. cons. 0.40

m. Fond relativement plat et des parois verticales

TPF : 3b4

TAF : 3b4



Phase : 3b4

US : 2264

Fait : FS2264

Ensemble : PCE2195

Catégorie : fosse

Type : creusement de fosse

Dimensions : long. 0.90 m larg. 0.70 m prof. cons. 0.64 m.

Fond relativement plat et des parois verticales.

TPF : 3b4

TAF : 3b4

Phase : 3b4



US : 2274

Fait : FS2274

Ensemble : PCE2195

Catégorie : fosse

Type : creusement de fosse

Dimensions : diam. 0.95 m prof. 0.65 m. Profil en U avec des bords droits et un léger surcreusement dans sa partie inférieure

Interprétation : Creusement de la fosse FS2274.

TPF : 3b4

TAF : 3b42062

Phase : 3b4



US : 2296

Fait : FS2296

Ensemble : ESP2199

Catégorie : fosse

Type : creusement de fosse

Dimensions : long. 1.60 m larg. 1 m prof. 0.25 m. Bords droits et un fond irrégulier

Interprétation : Creusement de la fosse FS2296.

TPF : 3b4

TAF : 3b4

Phase : 3b4

US : 2300

Fait : FS2300

Ensemble : ESP2199

Catégorie : fosse

Type : creusement de fosse

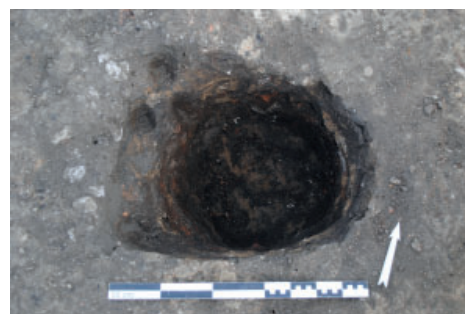
Dimensions : long. 1.04 m larg. 1.06 m prof. 0.26 m. Fond plat et une parois nord verticale

Interprétation : Creusement de la fosse FS2300.

TPF : 3b4

TAF : 3b4

Phase : 3b4



US : 2321

Fait : FS2321

Ensemble : PCE2338

Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : diam. 0.50 m prof. 0.40 m. Fond plat et des parois verticales

Texture : limon

Structure : très meuble, homogène
Couleur : brun, moyen
Inclusions : battitures, scories
Interprétation : Essentiellement comblée par des battitures (prélevées à 50%)
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat4

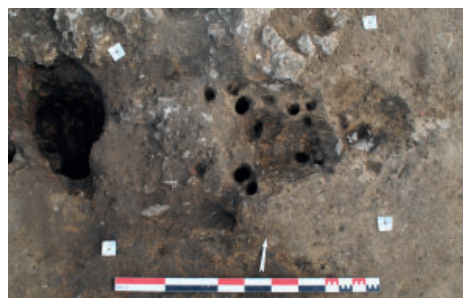
US : 2322
Fait : FS2322
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.40 m prof. 0.20 m. Fond plat
Texture : limon

Structure : très meuble, homogène
Couleur : brun, moyen
Inclusions : battitures, scories, charbons
Interprétation : Comblée par un limon brun contenant de nombreuses battitures, des charbons de bois et des scories (prélevés à 50%). Se superpose au foyer FY2385.
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2

US : 2323
Fait : FS2323
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.96 m larg. 0.72 m épais. 0.30 m. Fond relativement plat et parois verticaux
Texture : battitures
Structure : très meuble, homogène
Couleur : noir
Inclusions : battitures, quelques scories
Interprétation : Comblée par des battitures et quelques scories.
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat3

US : 2324
Fait : FS2324
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.20 m prof. 0.04 m
Structure : meuble
Couleur : noir
Inclusions : battitures
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2

US : 2328
Fait : FS2328
Ensemble : PCE2338



Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.60 m larg. 0.50 m épais. 0.20 m
Texture : limon
Structure : très meuble, homogène
Couleur : noir, brun
Inclusions : battitures, scories, charbons
Interprétation : creusement-comblement de fosse percée de trous de piquet
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2

US : 2331
Fait : FS2062
Ensemble : PCE2279
Catégorie : fosse
Type : creusement de fosse
Dimensions : prof. max. 0.20 m. Parois évasées et au fond concave.
Interprétation : surcreusement au fond de la fosse FS2062. Paroi recouverte par une panse d'amphore Dr.20 éclatée par la chaleur.
TPF : 3b3
TAF : 3b3
Phase : 3b3

US : 2333
Fait : FS2062
Ensemble : PCE2279
Catégorie : fosse
Type : creusement de fosse
Dimensions : prof. max. 0.20 m. Parois évasées et au fond concave.
Interprétation : Surcreusement au fond de la fosse FS2062
TPF : 3b3
TAF : 3b3
Phase : 3b3

US : 2335
Fait : FS2062
Ensemble : PCE2279
Catégorie : fosse
Type : creusement de fosse
Dimensions : prof. max. 0.20 m. Parois évasées et au fond concave.
Interprétation : Surcreusement au fond de la fosse FS2062
TPF : 3b3
TAF : 3b3
Phase : 3b3

US : 2336
Fait : FS2336
Ensemble : PCE2279
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.40 m larg. 0.30 m prof. 0.20 m. Fond plat et des parois verticales



Texture : limon
Structure : très meuble, homogène
Couleur : brun, moyen
Inclusions : battitures, scories, charbons, cendres
Interprétation : Remplie de battitures prises dans un limon brun très cendreux et charbonneux.
TPF : 3b2
TAF : 3b2
Phase : 3b2

US : 2348
Fait : FS2348
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.50 m haut. 0.30 m
Texture : argile, cailloutis, gravier, sable
Structure : hétérogène, compacte
Couleur : brun, gris
Inclusions : charbons, tuiles
Interprétation : Creusement-comblement de fosse au remplissage hétérogène caractérisé par un sédiment argileux brun gris avec des inclusions de pierres, de fragments de parois de fours et de tegula.
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1

US : 2349
Fait : FS2349
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de tranchée d'épierrement
Dimensions : long. 0.22 m haut. 0.30 m
Texture : cailloutis, sable
Structure : hétérogène, peu compact
Couleur : brun, gris, noir, moyen
Inclusions : charbons, scories, battitures, cailloutis
Interprétation : Creusement-comblement de fosse au remplissage hétérogène caractérisé par des inclusions de fragments de parois de fours, de scories, de battitures, de charbons de bois et quelques cailloux. Conservée sur 0.30 m de profondeur, elle présente un fond concave et des parois quasi verticales. Elle recoupe 2218 et est recoupée par 2352 et 2353.
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a

US : 2362
Fait : FS2362
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.60 m prof. cons. 0.45 m. Fond plus ou moins plat et des parois quasi verticales
Texture : argile, sable, cailloutis, gravier

Structure : meuble, hétérogène
Couleur : beige, gris, noir, orangé, verdâtre, moyen
Inclusions : battitures, charbons, terre rubéfiée, tuiles, scories
Interprétation : Son comblement hétérogène est composé de poches argilo-sableuses avec des graviers et cailloutis. On peut noter que le fond de la fosse est recouvert d'une épaisseur de 0.06 m de battitures.
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a

US : 2363
Fait : FS2363
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.35 m prof. cons. 0.35 m
Texture : sable, cailloutis, gravier
Structure : hétérogène, compacte
Couleur : brun, gris, orangé, moyen
Inclusions : cailloutis, charbons
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1

US : 2372
Fait : FS2372
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.35 m épais. 0.17 m
Texture : cailloutis, gravier
Structure : meuble, hétérogène
Couleur : brun, gris, noir
Inclusions : battitures, scories
Interprétation : Son comblement est caractérisé par des lits de battitures plus ou moins mélangés à des fragments de parois de four et des poussières de scories.
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a

US : 2373
Fait : FS2373
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.40 m épais. 0.06 m
Texture : cailloutis, gravier
Structure : meuble, hétérogène
Couleur : brun, gris, noir
Inclusions : battitures, scories
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a

US : 2374

Fait : FS2374
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.30 m épais. 0.08 m
Texture : cailloutis, gravier
Structure : meuble, hétérogène
Couleur : brun, gris, noir
Inclusions : battitures, scories
Interprétation : Son comblement est caractérisé par des lits de battitures plus ou moins mélangés à des fragments de parois de four et des poussières de scories.
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a

US : 2380
Fait : FS2380
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. cons. 0.40 m prof. cons. 0.35 m.
Fond plat et une parois verticales
Texture : limon
Structure : meuble, hétérogène
Couleur : brun, noir, moyen
Inclusions : terre rubéfiée (parois de four) scories
Interprétation : Comblement : limon brun noir contenant quelques scories et essentiellement des fragments de parois de four. Dimensions restituées : 1.16 x 90 x 0.30 m
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2

US : 2417
Fait : FS2417
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.50 m larg. 1.40 m prof. 0.15 m à 0.40 m. Plan polylobé
Texture : argile, limon
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : noir
Inclusions : charbons, pierres, scories
Interprétation : Fosse polylobée (1.50 m x 1.40 m) qui résulte du creusement contigu de plusieurs fosses plus petites. Son remplissage est principalement constitué de déchets de forge (charbons, scories)
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2418
Fait : FS2418
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.50 m larg. 0.30 m prof. 0.12 m
Texture : limon
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons, scories
Interprétation : Petite fosse (0.50 m x 0.30 m) comblée par des déchets de forge (charbons, scories)
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2419
Fait : FS2419
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.80 m larg. 0.60 m prof. 0.15 m
Texture : limon, argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : gris
Inclusions : charbons, cailloutis, terre rubéfiée, battitures
Interprétation : Fosse de plan ovoïde (0.80 m x 0.60 m) comblée par une couche argilo-limoneuse grise contenant quelques charbons de bois, des battitures et de nombreux cailloux calcaires (diam. 0.15 m). Conservée sur 0.15 m de profondeur, elle présente un fond légèrement concave et des parois évasées.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2420
Fait : FS2420
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.90 m larg. 1.25 m épais. 0.06 m
Texture : limon, argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : gris, brun
Inclusions : charbons, terre rubéfiée, scories
Interprétation : Fosse oblongue comblée par une couche argilo-limoneuse brun-grise contenant de nombreuses scories et des nodules de terre rubéfiée (surtout dans sa moitié nord). Conservée sur 0.06 m de profondeur, elle présente un fond plat.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2422
Fait : FS2422
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.40 m larg. 1.10 m épais. max. 0.10 m

Texture : limon, argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : brun, noir
Inclusions : charbons, terre rubéfiée, battitures, cailloutis
Interprétation : Fosse oblongue (1.40 m x 1.10 m) comblée par une couche argilo-limoneuse brun-noir contenant de nombreux nodules de terre rubéfiée (diam. 0.01 m à 0.15 m), quelques charbons de bois (diam. de 0.05 m à 0.5 m) et quelques cailloutis (diam. 0.20 m). On note également la présence d'une fine couche de battitures en fond de fosse. Conservée sur 0.10 m de profondeur, elle présente un fond relativement plat et des parois très évasées.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2424
Fait : FS2424
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.10 m larg. 0.90 m épais. max. 0.08 m. Fond plat irrégulier.
Texture : limon, argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : gris, moyen
Inclusions : terre rubéfiée, scories
Interprétation : Remplissage d'argile grise incluant de nombreux nodules de terre rubéfiée et quelques scories
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2425
Fait : FS2425
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.60 m épais. 0.10 m. Fond irrégulier
Texture : limon, argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons, terre rubéfiée, scories
Interprétation : Fosse circulaire (diam. 0.60 m) comblée par une couche argilo-limoneuse brun-noir contenant de nombreux charbons de bois, des scories et quelques nodules de terre rubéfiée. Conservée sur 0.10 m de profondeur, elle présente un fond irrégulier.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2426
Fait : FS2426
Ensemble : PCE2423

Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long.1.36 m larg.1.20 m épais. 0.10 m.
Fond plat
Texture : limon, argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : beige, brun, noir
Inclusions : charbons, scories
Interprétation : Fosse oblongue comblée par une couche argilo-limoneuse brun-beige à brun-noir contenant des charbons de bois, des scories, des gravillons et quelques poches d'argile orangée. Conservée sur 0.10 m de profondeur, elle présente un fond plat.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2427
Fait : FS2427
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.40 m épais. 0.05 m. Fond légèrement concave
Texture : limon, argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : brun, gris, moyen
Inclusions : battitures, gravillons
Interprétation : Petite fosse circulaire (diam. 0.40 m) comblée par une couche argilo-limoneuse brun-gris avec quelques gravillons et une fine pellicule de battitures en fond. Conservée sur 0.05 m de profondeur, elle présente un fond légèrement concave.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3

US : 2430
Fait : FS2430
Ensemble : ESP2131
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.30 m larg. 1.20 m prof. cons. 0.40 m. Fond légèrement concave et des parois peu évasées
Texture : limon
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : brun, noir
Inclusions : battitures, charbons, terre rubéfiée (parois de four et tuyères), scories
Interprétation : Grande fosse pseudo circulaire (1.30 m x 1.20 m) Conservée sur 0.40 m de profondeur, elle présente un fond légèrement concave et des parois peu évasées. Son comblement est caractérisé par de nombreux fragments provenant de la destruction de structures de chauffe (tuyères, scories, parois de four, battitures). Le quart de la fosse (soit huit seaux) a été prélevé.
TPF : 3a

TAF : 3a
Phase : 3a

US : 2445
Fait : FS2445
Ensemble : PCE2423
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.20 m larg. cons. 0.40 m prof. cons. 0.30 m. Fond plus ou moins plat et des parois verticales.
Texture : limon, argile
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : brun, noir
Inclusions : charbons, scories
Interprétation : Fosse coupée en deux dont il ne restait plus qu'une moitié visible (ouest). De forme rectangulaire (1.20 m x 0.40 m), elle est comblée par un limon argileux brun noir très charbonneux et contenant beaucoup de scories et de battitures. Conservée sur 0.30 m d'épaisseur, elle présente un fond plus ou moins plat et des parois verticales.
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3



US : 2450
Fait : FS2450
Ensemble : PCE2338
Catégorie : fosse
Type : creusement de fosse
Dimensions : long. 2.44 m larg. 1.20 m prof. max. 0.36 m. Parois verticales fond relativement plat, avec surcreusement central à fond plat et parois évasées
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a Etat4

US : 2471
Fait : FS2471
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.10 m larg. 0.70 m prof. 0.15 m
Texture : argile, limon
Structure : meuble, hétérogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : battitures, charbons, tuiles, scories
Interprétation : Fond de la fosse percé de trous de piquets
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3a

US : 2472
Fait : FS2472
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : diam. 1 m prof. 0.10 m
 Texture : argile, sable
 Structure : meuble, hétérogène
 Couleur : brun, moyen
 Inclusions : battitures, charbons, tuiles, blocs
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a
 US : 2473
 Fait : FS2473
 Ensemble : PCE2368
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse
 Dimensions : long. 1.30 m larg. 1 m prof. 0.16 m
 Texture : argile
 Structure : hétérogène, peu compacte
 Couleur : brun, foncé
 Inclusions : battitures, charbons, scories, blocs
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a

US : 2474
 Fait : FS2474
 Ensemble : PCE2368
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse
 Dimensions : long. 0.80 m larg. 0.60 m prof. 0.10 m
 Texture : argilo-limoneux
 Structure : meuble, hétérogène
 Couleur : brun, foncé
 Inclusions : battitures, charbons, scories
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a

US : 2475
 Fait : FS2475
 Ensemble : PCE2368
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse
 Dimensions : long. 1.10 m larg. 0.80 m prof. 0.12 m
 Texture : argile
 Structure : meuble, hétérogène
 Couleur : brun, foncé
 Inclusions : battitures, cendres, scories
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a

US : 2476
 Fait : FS2476
 Ensemble : PCE2368
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse
 Dimensions : diam. 0.30 m
 Texture : limon
 Structure : meuble, homogène

Couleur : noir, verdâtre, foncé
 Inclusions : battitures
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a
 US : 2477
 Fait : FS2477
 Ensemble : PCE2368
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse
 Dimensions : diam. 0.75 m prof. 0.03 m
 Texture : limono-argileux
 Structure : meuble, hétérogène
 Couleur : brun, foncé
 Inclusions : battitures, blocs, charbons
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a

US : 2478
 Fait : FS2478
 Ensemble : PCE2368
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse
 Dimensions : diam. 0.40 m prof. 0.05 m
 Texture : limon
 Structure : meuble, homogène
 Couleur : noir, foncé
 Inclusions : battitures, charbons
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a

US : 2480
 Fait : FS2480
 Ensemble : PCE2368
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse
 Dimensions : diam. 0.40 m prof. 0.06 m
 Texture : limon
 Structure : meuble, homogène
 Couleur : noir, foncé
 Inclusions : scories, battitures, charbons
 TPF : 3a
 TAF : 3b4
 Phase : 3a

US : 2487
 Fait : FS2487
 Ensemble : PCE2490
 Catégorie : creusement-comblement
 Type : creusement-comblement de fosse.
 Dimensions : épais. cons. 0.30 m. Parois peu évasées et un fond relativement plat
 Texture : limon
 Structure : peu compacte, homogène
 Couleur : brun, foncé

Inclusions : graviers, gravillons
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2

US : 2488
Fait : FS2488
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.40 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : battitures, charbons
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3a

US : 2501
Fait : FS2501
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0.35 m larg. 0.30 m prof. 0.12 m.
Fond concave
Texture : cailloutis, argile
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : brun, gris, moyen
Inclusions : cailloutis, scories, charbons
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3a

US : 2505
Fait : FS2505
Ensemble : PCE2368
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.50 m prof. 0.30 m
Texture : sable
Structure : compacte
Couleur : brun, verdâtre, gris, noir, foncé
Inclusions : battitures, charbons
TPF : 3a
TAF : 3b4
Phase : 3a

US : 2508
Fait : FS2508
Ensemble : PCE2338
Catégorie : fosse
Type : creusement de fosse
Dimensions : épais. cons. 0.08 m long. 0.44 m larg. 0.48 m
Interprétation : Creusement de fosse ou négatif de base de pilier
TPF : 3a

TAF : 3a
Phase : 3a Etat4

US : 2510
Fait : FS2510
Ensemble : PCE2338
Catégorie : fosse
Type : creusement de fosse
Dimensions : long. 1.14 m larg. 0.86 m épais. 0.16 m
. Forme ovale avec des bords très évasés et un fond concave
Interprétation : Fond et les bords sont recouverts d'une fine pellicule de sédiment noir qui semble correspondre à la couche SL2459. Nivellement de la dépression par l'US2338
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a Etat2

US : 2516
Fait : FS2516
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.32 m épais. max. 0.10 m. Fond légèrement concave et des parois évasées
Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir
Inclusions : battitures, charbons, tuiles
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2

US : 2517
Fait : FS2517
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.40 m larg. 0.23 m prof. max. 0.07 m
Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir
Inclusions : battitures, charbons
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2

US : 2519
Fait : FS2519
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0.90 m épais. max. 0.20 m. Fond plat et des parois évasées
Texture : limon, argile
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : jaune, brun, foncé

Inclusions : battitures, charbons, blocs, scories
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2

US : 2520
Fait : FS2520
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.66 m larg. 0.50 m prof. 0.08 m
Texture : limon
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : orangé, brun, moyen
Inclusions : battitures, charbons, tuiles, scories, cailloutis
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat3

US : 2521
Fait : FS2521
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 4.50 m larg. 1 m prof. 0.15 m. un fond plat et des parois concaves
Texture : argile, cailloutis
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : brun, moyen
Inclusions : cailloutis, charbons, mortier, terre rubéfiée, scories, tuiles
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat4

US : 2522
Fait : FS2522
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse. Fond concave et des parois verticales
Dimensions : long. 0.85 m larg. 0.54 m prof. 0.17 m
Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : brun, noir
Inclusions : battitures, charbons, scories, mortier
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2

US : 2523
Fait : FS2523
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse. Fond concave irrégulier et des parois assez verticales
Dimensions : long. 0.80 m larg. 0.30 m prof. 0.20 m

Texture : argilo-limoneux
Structure : compacte, homogène
Couleur : brun, jaune
Inclusions : cailloutis, tuile
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2

US : 2524
Fait : FS2524
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.50 m larg. 0.30 m prof. 0.05 m
Texture : argilo-limoneux
Structure : homogène, très compacte
Couleur : brun, gris
Inclusions : cailloutis
Interprétation : Formation par soutirage de MR2531
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2

US : 2525
Fait : FS2525
Ensemble : PCE2490
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1.40 m larg. 0.45 m prof. 0.02 m
Texture : limon, argile
Structure : homogène, très compacte
Couleur : brun, foncé
Inclusions : cailloutis, charbons
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2

US : 2534
Fait : FS2534
Ensemble : PCE2338
Catégorie : fosse
Type : creusement de fosse
Dimensions : long. cons. 1.20 m larg. 0.74 m prof. 0.46



m. fond concave et bords évasés.

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a Etat 1

US : 2540

Fait : FS2540

Ensemble : PCE2338

Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : long. 0.40 m larg. 0.30 m prof. 0.14 m

Texture : battitures

Structure : meuble, homogène

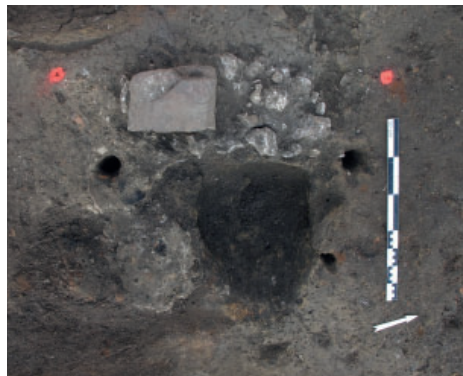
Couleur : gris, foncé

Interprétation : Petite fosse remplie de battitures se trouvant à proximité de l'enclume 2515. Les parois ne présentent aucune trace de rubéfaction

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a Etat 1



US : 2549

Fait : FS2549

Ensemble : PCE2528

Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : épais. cons. 0.12 m long. 1.35 m larg. max. 0.90 m

Texture : limon

Structure : compacte, homogène

Couleur : noir

Inclusions : cailloutis, charbons, scories

Interprétation : Creusement-comblement de fosse quadrangulaire aux bords arrondis mise au jour à l'est de la pièce PCE2528. Son angle sud-est est recoupé par la cave CAV2031. Conservée sur 0.12 m d'épaisseur maximum, elle présente des parois légèrement évasées et un fond plat irrégulier percé d'au moins deux trous de piquets. Son comblement est caractérisé par un limon très charbonneux, peu compact et homogène, contenant quelques battitures éparses. On peut noter qu'un quart de la fosse a été prélevé (soit 20 L).

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a

pseudo-circulaire (0.40 m x 0.35 m) mise au jour au nord de la pièce PCE2528. Conservée sur 0.10 m d'épaisseur, elle présente des parois légèrement évasées et un fond concave. Son comblement est caractérisé par la présence de nombreuses scories prises dans un sédiment limoneux brun sombre contenant des charbons de bois et des restes osseux (faune).

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a

US : 2558

Fait : FS2558

Ensemble : PCE2528

Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse-foyer

Dimensions : long. 0.55 m larg. 0.45 m épais. 0.16 m. fond plat et des parois verticales

Texture : limon

Structure : meuble

Couleur : brun, noir, foncé

Inclusions : battitures, cailloutis, terre rubéfiée, scories

Interprétation : Comblement est caractérisé par la présence de nombreuses battitures recouvrant des scories. Foyer de forge ?

TPF : 3a

TAF : 3a

Phase : 3a

US : 2554

Fait : FS2554

Ensemble : PCE2528

Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : épais. cons. 0.10 m long. 0.40 m larg. max. 0.35 m

Texture : limon

Structure : homogène, meuble

Couleur : brun, foncé

Inclusions : charbons, scories

Interprétation : Creusement-comblement de fosse

US : 2560

Fait : FS2560

Ensemble : PCE2490

Catégorie : creusement-comblement

Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : diam. 0.30 m épais. cons. 0.03 m

Texture : argile

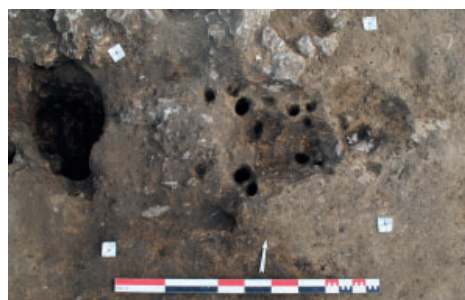
Structure : homogène, compacte

Couleur : rouge
Inclusions : battitures, scories, charbons
TPF : 3b1
TAF : 3b4
Phase : 3b1 Etat2

Trous de poteau et trous de piquet

Les trous de piquets se dispersent sans ordres apparents dans plusieurs pièces. Un groupement

linéaire [2626] pourrait trahir un système de cloisonnement. Certains agrégats de quelques trous de piquets paraissent associés à des fosses [2256] ou des dépressions [2328] reperçant le fond et les bords sans que nous soyons en mesure d'expliquer l'appariement des deux types de dispositifs. Certains piquets [2533] disposés autour d'un foyer en fosse potentiel [FS2540] ont pu participer du maintien d'un éventuel soufflet. Seules deux structures stratigraphiquement synchrones et relativement rapprochées sont interprétées comme des trous de poteau [2441, 2442].



US : 2328
Fait : FS2328
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0.60 m larg. 0.50 m épais. 0.20 m
Texture : limon
Structure : très meuble, homogène
Couleur : noir, brun
Inclusions : battitures, scories, charbons
Interprétation : creusement-comblement de fosse percée de trous de piquet
TPF : 3b1
TAF : 3b1
Phase : 3b1 Etat2



US : 2441
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : Trou de poteau
Dimensions : diam. 0.30 m prof. 0.40 m. fond légèrement concave et des parois quasi verticales
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : brun
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a Etat4



US : 2442

Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : Trou de poteau
Dimensions : diam. 0.20 m prof. 0.40 m. fond plat et des parois quasi verticales.
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : brun
TPF : 3a
TAF : 3a
Phase : 3a Etat4



US : 2533
Ensemble : PCE2338
Catégorie : creusement-comblement
Type : creusement-comblement de trous de piquets
Dimensions : diam. de 0.03 m à 0.08 m prof. de 0.06 m à 0.22 m
Texture : limon argileux
Structure : meuble, homogène
Couleur : brun, noir, foncé
Inclusions : charbons
Interprétation : Ensemble de 14 trous de piquets creusés dans le niveau de sol 2511. Ils sont comblés par un sédiment limono-argileux brun noir foncé, meuble et homogène, contenant quelques charbons de bois.

6.2. Les fouilles du 8 de la voie romaine

Nicolas Tisserand

Il faut souligner que la fouille réalisée au 8 rue de la voie romaine marquait un retour de l'archéologie à Entrains après des années d'absence. La fouille conduite sur une surface réduite d'environ 500 m² permis d'appréhender une stratigraphie sur environ trois siècles d'occupation caractérisée, comme bien souvent à Entrains, par une activité métallurgique sur un large premier siècle, remplacée ensuite dans ce cas par ce que nous pensons être une activité de taverne et d'accueil. La parcelle fouillée se situe à quelques dizaines de mètres des autres fouilles de la voie romaine et de la rue d'Etai.

Sur cette opération 3 grandes phases ont été distinguées :

- phase A : début Ier-Néron
- phase B : 70-150
- phase C1 : 150/170 et C2 : 170/250.

Signalons d'emblée que la fouille de 2008, n'a livré que peu d'éléments en place en lien avec la métallurgie et la perception de ces activités repose sur la conservation de lambeaux de vestiges dans la stratigraphie et de restes en position secondaire (comblement/remblais).

Si des activités métallurgiques sont attestées durant les phases A et B, des vestiges en position secondaire sont également présents durant la phase C.

6.2.1. Présentation des vestiges par phase.

Les vestiges de la phase A (fig. 166)

L'atelier et les pièces adjacentes (fig. 167 et 168)

Lors du re-décapage de la partie nord-est du site, sous le trottoir et la pièce A, ont été mis en évidence des niveaux rubéfiés et une petite fondation. De fait, l'espace dégagé n'offre qu'une vision partielle de l'occupation, mais est néanmoins identifiable comme un atelier. La seule limite reconnue, à l'ouest, est un mur ou solin [417]. Ce mur, orienté nord-sud, est visible sur 3 m, mais ses extrémités n'ont pu être dégagées. Ce mur est donc en relation avec plusieurs niveaux superposés caractérisant une activité métallurgique liée au travail du fer.

Les niveaux de l'atelier sont localisés sous les différentes couches de remblai composant l'espace de circulation appelé trottoir reconnu pour les phases B et C. Le niveau supérieur de l'atelier [414] se compose d'un mélange de scories, d'argile rubéfiée, de parois de four et de battitures (fig. 168). Cette couche épaisse d'une dizaine de centimètres est limitée à l'ouest par le mur [417]. Elle recouvre la couche [415] qui se compose pour l'essentiel de battitures et de scories présentes également sur une dizaine de centimètres. Cette couche a été distinguée de la précédente et correspond probablement au niveau de travail de l'atelier. Ce niveau repose sur un niveau de sol aménagé [416] se caractérisant par un à plat de petits cailloux et de cailloutis damés, reposant sur un niveau d'argile jaune naturel. Au nord, ce niveau d'atelier a été occulté par la construction de plusieurs murs et au sud les contraintes de terrain (présence d'un puisard moderne dans l'angle sud-est) ont empêché le décapage de l'intégralité de la zone. Il est certain que le niveau d'atelier se poursuivait encore dans cette partie, mais sans que nous puissions savoir sur quelle distance. À l'ouest du mur [417] les niveaux les plus anciens ont été largement entaillés par les phases postérieures, mais on note la présence ici et là dans la grande coupe du sondage 13, de niveaux rubéfiés ou charbonneux reposant sur le terrain naturel qui peuvent très certainement être rattachés à la phase A.

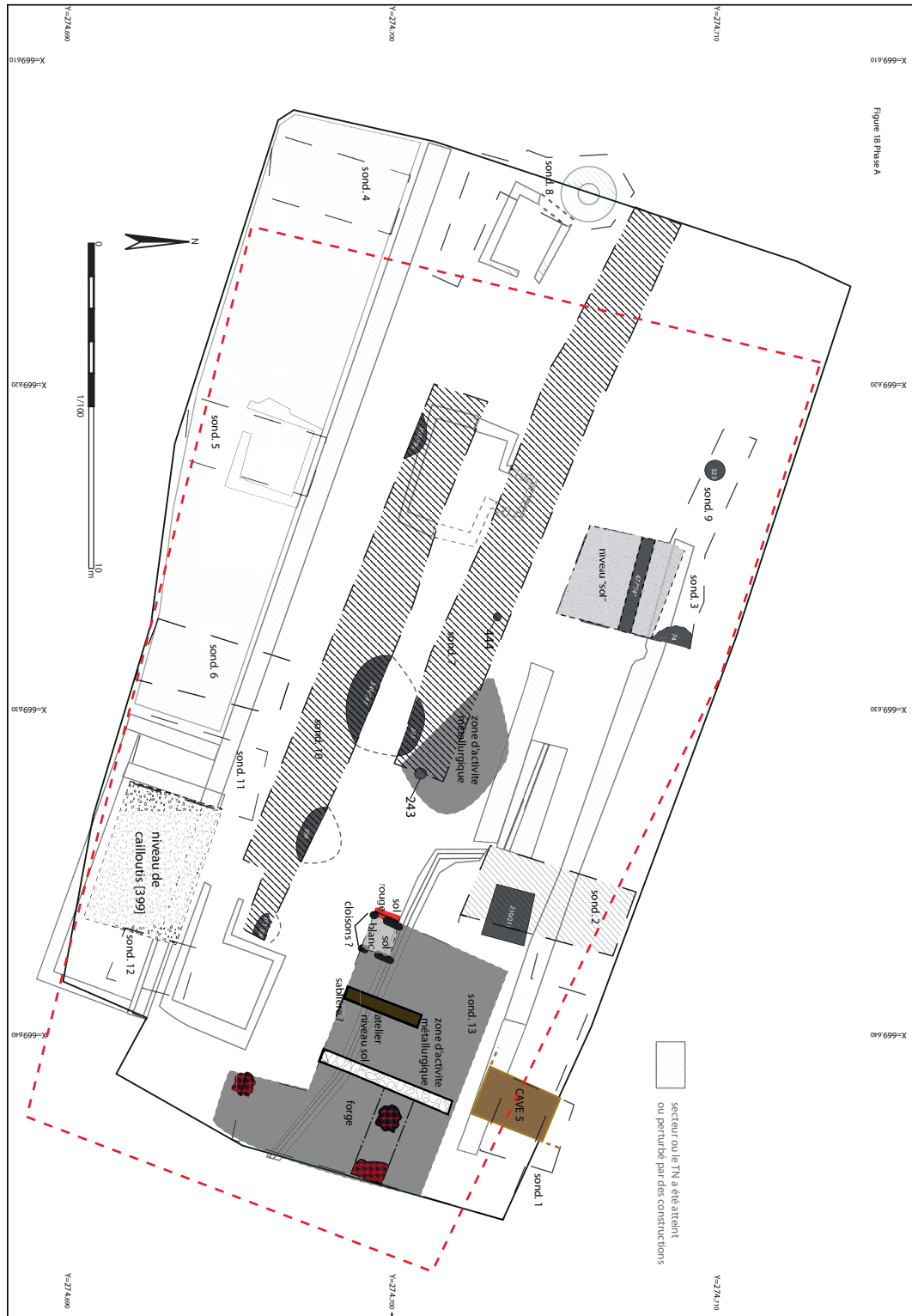


Figure n°166. Plan des vestiges de la phase A

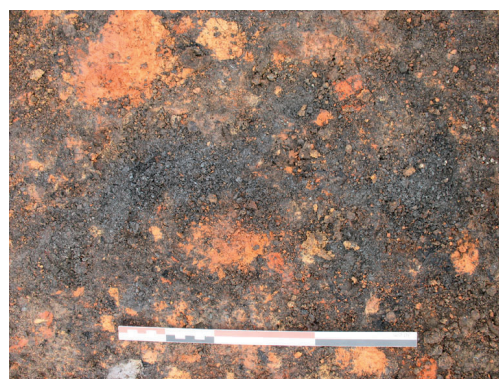


Figure n°167. Vues de la zone d'atelier de la phase A

L'atelier est bordé à l'ouest par une pièce de faible largeur (2 m), limitée par le mur [417] à l'est et par une autre construction, probablement une sablière [423] à l'ouest. La reconnaissance de ce module n'a été que partielle, le secteur ayant largement été perturbé par les constructions postérieures. Entre ces deux murs, une série de niveaux artisanaux [419, 440] ou non [439], ont été documentés dans la coupe sud du sondage 13 (fig. 169). L'horizon [419], seulement observé dans la coupe, se compose d'un niveau rubéfié avec des nodules de terre cuite et de cendres, proche de l'US [414/415] et est surmonté d'une couche cendreuse [440]. Ces niveaux seront scellés par un remblai argileux [442], destiné à niveler et renforcer l'installation des sols supérieurs de la phase B.

Enfin à l'ouest de ces deux modules devait se développer un dernier module se matérialisant par les couches [434, 435, 436, 437 et 439]. L'articulation de ces différents niveaux très différents les uns des autres n'a pas été bien appréhendée, mais la transition entre le niveau [439] et les couches [434, 435] est très nette, et pourrait témoigner d'un système de cloison en bois. Si l'us [439] correspond à un niveau de remblai, se retrouvant en plusieurs points de cette coupe, les us [434 et 435], visibles sur 1,2 m de large, se signalent par un matériau très différent, de gravillons blancs recouverts d'un niveau d'argile orange très gravillonneux. Au contact de ces deux couches à l'ouest, on retrouve un niveau rouge très rubéfié [436], sans indices d'artisanat.

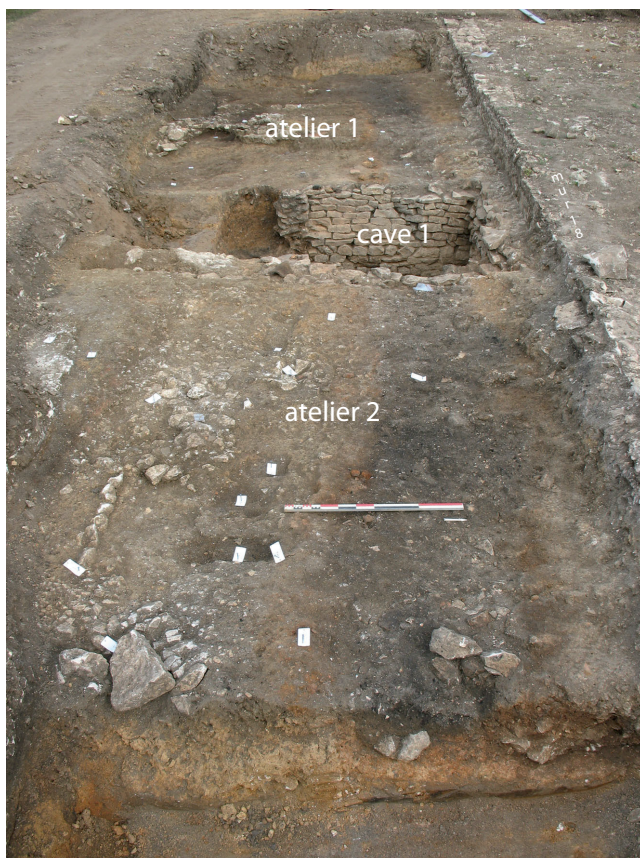


Figure n°168. Vue générale des ateliers de la phase B

L'observation des différents niveaux de ce secteur permet de mettre en évidence une construction séparée ou cloisonnée en plusieurs espaces ; un grand atelier (module 1), une seconde pièce avec des traces d'artisanat (module 2), un autre module (3) étroit pourvu d'un sol en terre battue, un possible espace de circulation (couvert ?) (module 4) et un espace ouvert ou non se caractérisant par un sol rouge rubéfié (module 5).

La transition entre les couches [434, 435] et [436] se situant exactement en limite de notre sondage elle n'a pu faire l'objet d'un examen attentif. Néanmoins, on retrouve un effet de paroi net et on peut supposer la présence d'une limite, du type cloison, entre ces niveaux. La transition entre les niveaux [436] et [437] a été totalement occultée par la construction du caniveau [182] lors de la dernière phase.

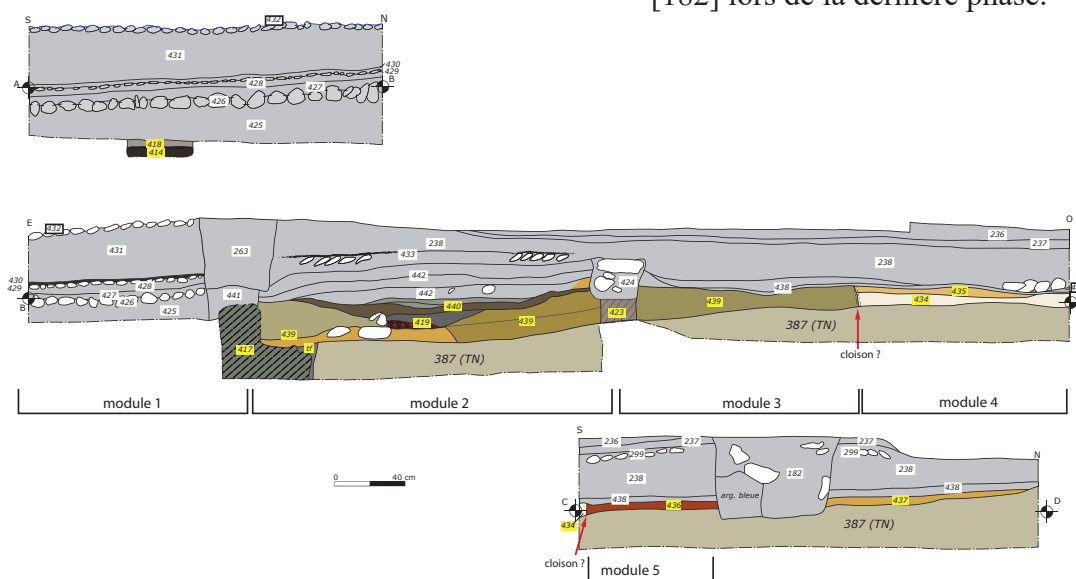


Figure n°169. Coupe et photoplan de la coupe du sondage 13 : mise en évidence des vestiges d'ateliers de la phase A (PL. DL)

Les structures de la phase B (fig. 170)

Un ensemble de vestiges en lien avec une activité métallurgique ont été fouillés dans la partie sud de la parcelle. Signalons d'emblée que ces vestiges n'ont pu être appréhendés que sur quelques mètres carrés et se prolongeaient au-delà de l'emprise. Deux ensembles, 1 et 2, séparés par une cave (cave 1) ont été documentés.



Figure n°170. Plan des vestiges de la phase B

L'ensemble 1 (fig 171)

C'est le secteur artisanal se trouvant à l'ouest de la cave 1. Il est limité au sud par la berme, à l'ouest par un petit solin [139], à l'est par la cave et au nord sa limite a disparu lors de la construction du mur 18.

Sur la dizaine de structures et couches reconnues, une seule est clairement identifiée comme une forge [137]. Il s'agit d'un foyer de forme presque quadrangulaire, long de 70 cm et large de 40 cm. La partie rubéfiée est longue de 40 cm, large de 30 cm et profonde de 15 cm. Il contient beaucoup de terre rubéfiée sur les bords et des battitures. Les parois sont en partie scorifiées. Un bloc tuyère, fragmenté, remplissait son comblement (fig. 52 c).

Plusieurs fosses périphériques (US 134, 135, 136) à ce foyer se caractérisent par la présence dans leur comblement de battitures, de charbons de terre rubéfiée et parfois de scorie.

Les vestiges appartenant à cet ensemble peuvent très vraisemblablement être rattachés au sol en terre battue [138].

À proximité immédiate de cet ensemble une fosse limitée par un amas de petits moellons [132] (fig. 52b) pourrait correspondre à une forge maçonnée. Bien que les parois de la structure [133] ne présentent pas de rubéfaction, un second foyer a été découvert lors de la fouille. Il s'agit d'un foyer construit à partir de pierres calcaires brutes, liées à la terre et organisées selon un plan en fer à cheval. Au centre, la structure a livré des charbons de bois, des battitures et une grande quantité de scories. En s'installant, le foyer [140] casse la structure du foyer [133].

Les limites de cette forge ne sont pas évidentes à déterminer. Au nord, la limite semble avoir été occultée, soit par le creusement du fossé 130, soit par les fondations du mur 18. Au sud, la limite se trouve en dehors de l'emprise. À l'ouest, l'alignement de blocs US 139 pourrait correspondre à un solin supportant une paroi en matériaux légers dont nous n'avons pas retrouvé de trace. Enfin, à l'est la question de l'existence d'une paroi se pose. Les observations stratigraphiques du comblement de la cave montrent que des déchets artisanaux sont tombés dedans via le soupirail. Or si le soupirail communiquait sur l'atelier il semble étonnant que ce dernier soit clos de ce côté (ce qui n'empêche pas qu'il soit couvert), le soupirail perdant toute fonction (éclairage et aération).

La compréhension de l'organisation interne de cette forge se heurte au fait que l'ensemble de la pièce n'a pas pu être dégagé (hors emprise). Dans l'espace dégagé, nous observons la présence d'un ou deux foyers de forge, et de quelques creusements plus ou moins profonds comblés par des déchets artisanaux (battitures et scories).

Sur la nature des productions, nous ne possédons pas d'éléments probants, le secteur ayant livré très peu de mobilier métallique.

L'ensemble 2 (figure 170 et 168)

Moins bien conservé que le précédent, il était scellé par l'épais remblai [19]. Il est dans l'état, difficile de statuer sur son caractère artisanal dans la mesure où aucune structure caractéristique du type forge n'a été découverte, mais la présence de plusieurs couches et creusements contenant des déchets artisanaux abonde en faveur d'un atelier métallurgique à proximité immédiate.

Ainsi dans la partie centrale, peu large, se succèdent des creusements interprétés comme des poteaux [149, 150, 151, 152, 153 ?] en lien avec des niveaux artisanaux [155, 156, 157] contenant de nombreuses battitures et scories.



Figure n°171. Exemple de lambeaux de couches artisanales

Pour le reste de ce secteur, il ressort donc qu'une série de trous de poteaux de dimensions très variables devaient former une limite, à moins qu'il ne s'agisse des traces d'aménagement de systèmes ou machines fonctionnant avec l'atelier. Le reste des couches présentent des caractéristiques similaires à certains niveaux de l'atelier 1 et correspondent très probablement à des sols ou remblais d'atelier.

D'ailleurs, l'ouverture du sondage 6 a permis de mettre en évidence d'autres structures visibles dans la coupe est et sud. Il s'agit principalement d'une fosse [195] comblée par une succession de remblais à dominance artisanale et une couche composée de cendres et scories [194].(fig. 173)

- La fosse [49] (fig. 173)

Il s'agit d'une grande fosse présentant un comblement hétérogène de couches de remblais artisanaux en lien avec une activité métallurgique.

La phase C1 : 150/170

La pièce F2 : directement situé sous le décapage il s'agit d'une pièce comportant un niveau de sol en terre battue [366], contenant des inclusions de charbons et de scories coulées. Dans un angle de cette pièce, un amas de terre rubéfiée correspondait au reste d'un four. S'il est difficile de statuer sur le caractère artisanal de ce four son association avec le sol artisanal ne fait pas de doute.

La cave 4/le puits 307 : il s'agit ici de deux structures connexes qui ont pour partie été comblées avec un remblai artisanal [336/309]. Ce remblai très charbonneux se compose pour l'essentiel de charbons, de cendres, de scories, notamment coulées.

La phase C2 : 170/250 :

Aucun vestige en lien avec la métallurgie n'a été associé à cette phase.

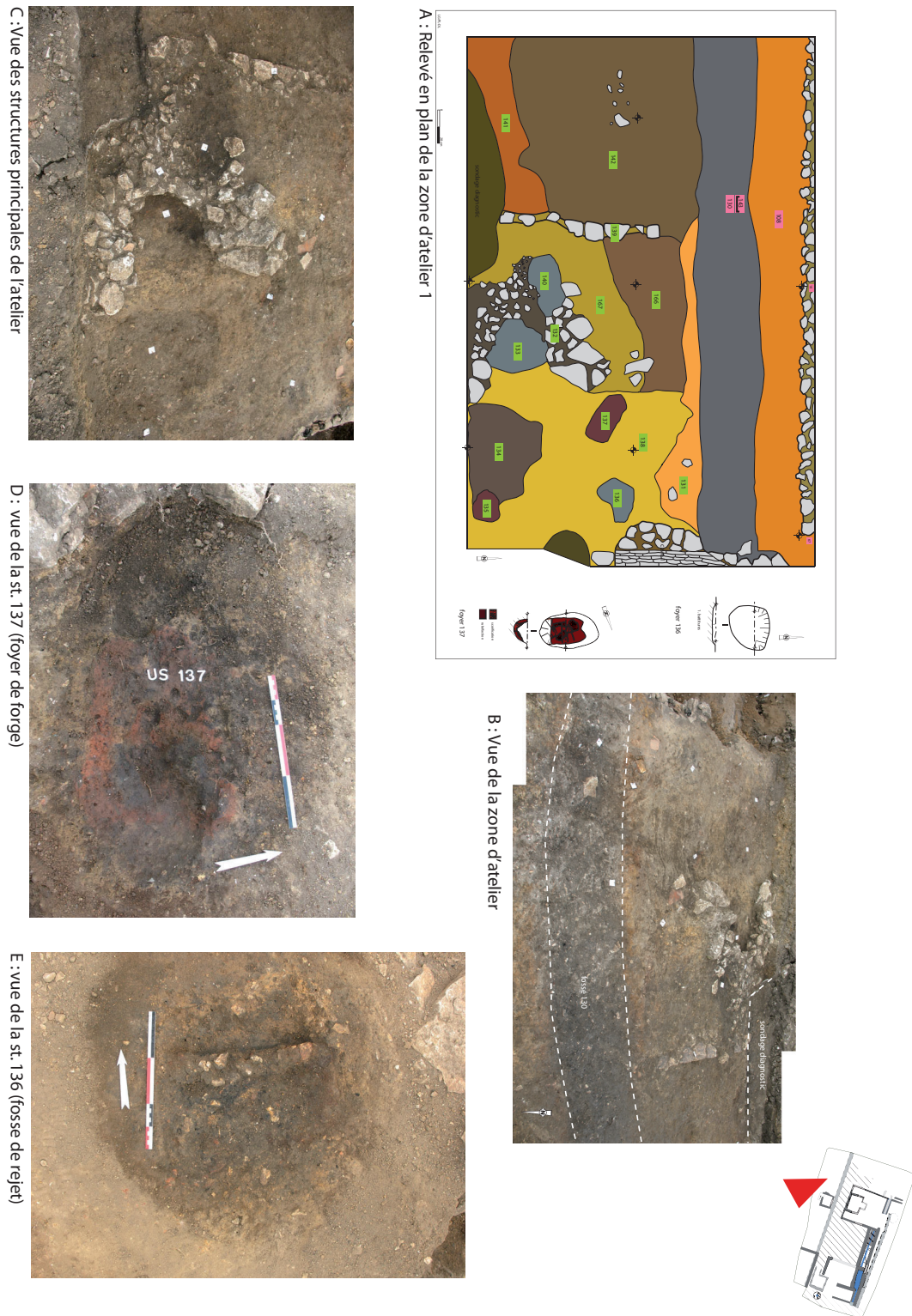


Figure n°172. Relevé et vues de l'atelier (ensemble 1)

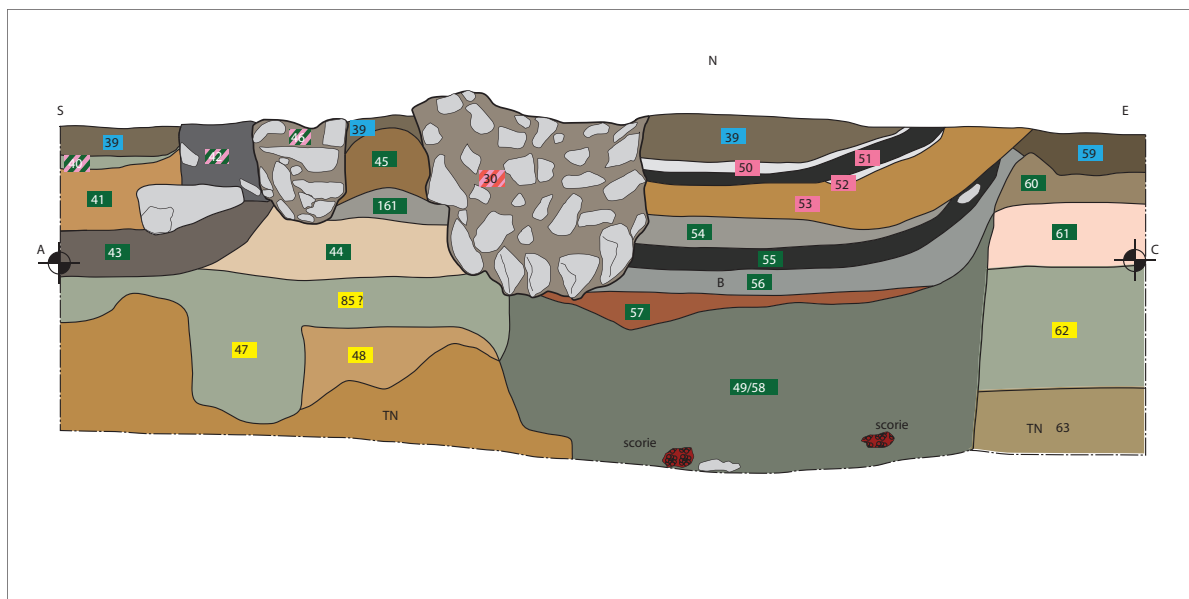


Figure n°173. Relevé et clichés des coupes du sondages 2 dont structure 49 (INRAP)

6.2.2. Catalogue des structures triées par US

Couches de démolition

US : 414_ localisation : sondage 13, trottoirA

Identif. : Couche de démolition _ type : Positive

Description : Couche riche en battitures et en fragments de parois de four. Elle contient également beaucoup de fragments d'argile rubéfiée, de scories de forge. C'est un niveau de destruction. On retrouve des fragments de parois de four vitrifiées et renversées, des f

US : 436_ localisation : sondage 13A

Identif. : Couche indet. _ type : Positive

Description : couche d'argile rouge rubéfiée fonctionnant peut-être avec les couches 434 et 435

US : 437_ localisation : sondage 13A

Identif. : Couche indet. _ type : Positive

Description : couche argileuse orangée visible dans la partie ouest de la coupe du sondage 13. Peut être équivalente à 436 (même



position stratigraphique). Repose directement sur le terrain naturel (Phase A ?)
0,1 m

US : 438_ localisation : sondage 13B1

Identif. : Couche indet. _ type : Positive

Description : Couche cendreuse grise visible dans les coupes sud et ouest du sondage 13. Parfois un peu plus charbonneux à la base.

US : 229_ localisation : Au nord du mur MR30C2

Identif. : Couche indet. _ type : Positive

Description : Couche noire chargée en charbons de bois et en scories, située au nord du mur MR30. Elle correspond vraisemblablement à un horizon artisanal.

Fosses

US : 49_ localisation : Sondage 3B

Identif. : Fosse _ type : Négative

Description : Grande fosse vue dans les coupes ouest et nord du sondage 3 (cf. minute 1). Les bords sont droits et verticaux, le fond n'est pas atteint à 1,20 m de profondeur. Le bord ouest de la fosse a été perturbé par l'installation du mur MR30, qui recoupe aussi un

L : 1,7 m, l : , prof. : < 1,2 m

US : 195_ localisation : Secteur 1, sondage 6B

Identif. : Fosse _ type : Négative

Description : Creusement d'une fosse ou d'un fossé visible dans les coupes est et ouest du sondage 6.

Rempli par des rejets d'artisanat : Us 190, Us 191, Us 192, Us 193. Il est possible que les Us 190 et 191 appartiennent à un recusement de la fosse FS195 et de son c

L : + de 2 m, l : 0,95 m, prof. : 0,40 m

US : 134_ localisation : atelier 1B1

Identif. : Fosse _ type : Composite

Description : Creusement/comblement d'une fosse circulaire, qui perce le sol SL138.

Le comblement contient une très forte densité de charbons de bois, des fragments de terre rubéfiée, des cailloutis et des pierres, de la céramique, des scories et beaucoup de battitures

L : 1,10 m, l : 1,10 m, prof. :

US : 135_ localisation : atelier 1B1

Identif. : Fosse _ type : Composite

Description : Creusement/comblement d'une petite fosse ovale, qui s'installe à l'est de la fosse FS134 sur le comblement de celle-ci.

Le comblement contient des charbons de bois, des battitures et des fragments de terre rubéfiée.

L : 0,38 m, l : 0,35 m, prof. :

US : 54_ localisation : Sondage 3B

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 54 est composée par un sédiment limono-argileux marron clair, compact, homogène qui contient des cailloutis et quelques charbons de bois. Elle est épaisse de 10 cm et s'affine sur les bords. Elle appartient au comblement de la fosse FS49.

10 cm

US : 55_ localisation : Sondage 3B

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 55 est composée par un sédiment limoneux noir, meuble, hétérogène qui contient des charbons de bois, des fragments de terre rubéfiée, de la céramique, des scories et des battitures. Elle a aussi livré une monnaie. Elle est épaisse de 10 à 20 cm

US : 56_ localisation : Sondage 3B

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 56 est composée par un sédiment limono-argileux marron verdâtre, meuble, homogène

qui contient une grande quantité de charbons de bois, des fragments de terre rubéfiée, de la céramique, de la faune et des scories. Elle est épaisse de 8 à 12 cm

US : 57_ localisation : Sondage 3B

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 57 est composée par un sédiment argileux marron rougeâtre, compact, hétérogène. Elle est épaisse de 3 à 12 cm. Possibilité d'argile rubéfiée en partie. Elle appartient au comblement de la fosse FS49.

US : 58_ localisation : Sondage 3B

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 58 est composée par un sédiment limono-sableux, meuble, homogène, de couleur marron vert. Elle contient beaucoup de charbons de bois, des fragments de terre rubéfiée, des cailloutis, de la faune, des fragments de céramiques et des scories. 60 cm

US : 157_ localisation : Secteur 1, atelier 2B1

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Composite

Description : La couche Us 157 contient des charbons de bois, des cendres, des fragments de terre rubéfiée, des cailloutis, des pierres, de la céramique et une grande quantité de scories.

Il s'agit probablement du comblement d'une structure linéaire, de direction est-ouest. 10 cm max.

US : 166_ localisation : Secteur 1B1

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 166 est composée d'un sédiment limoneux-sableux brun, oxydé par endroits. Elle est localisée entre 131 et 167. (Us 131 est peut-être une partie plus oxydée de Us 166 ?)

US : 167_ localisation : Atelier 1B1

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 167 est composée d'un sédiment argileux brun jaune.

Elle est localisée entre le mur MR139 et le sol Us 138. Est-ce qu'elle fonctionne avec le mur MR139 ou est-ce qu'elle vient sur son arase ? Par contre elle vient sur 138

US : 51_ localisation : Sondage 3C1

Identif. : Fosse/Comblement _ type : Positive

Description : La couche Us 50 est composée par un sédiment limono-sableux, meuble, homogène, de couleur noire, très charbonneux. Elle contient aussi des cendres et des fragments de terre cuite architecturale et de terre rubéfiée type torchis.

Foyer

US : 132_ localisation : atelier 1B1

Identif. : Four / foyer bâti _ type : Construite

Description : Structure bâtie composée de pierres calcaires non retouchées, liées à la terre et organisées selon un plan en fer à cheval : deux montants latéraux qui se terminent en demi cercle (celui qui est au nord est incomplet. Il semble même avoir été recoupé par

L : >1,70 m, l : 1,50 m, prof. :

US : 140_ localisation : atelier 1B1

Identif. : Four / foyer bâti _ type : Composite

Description : Structure bâtie d'un foyer composée de pierres calcaires non retouchées, liées à la terre et organisées selon un plan en fer à cheval. Au centre la structure foyère a livré des charbons de bois, des battitures et une grande quantité de scories.

US : 133_ localisation : atelier 1B1

Identif. : Foyer (utilisation) _ type : Positive



US 132-133-134

Description : Foyer à l'intérieur de la structure Us 132. Présence de battitures, de scories et de charbonnettes. L : 0,70 m, l : 0,70 m, prof. :

US : 136 _ localisation : atelier 1B1
Identif. : Foyer (utilisation) _ type : Positive
Description : Foyer ou fosse qui s'installe sur le sol SL138, au nord de FS134 et Us 135.
Il contient des charbons de bois, des fragments de terre rubéfiée et une grande concentration de battitures sur environ 5 cm d'épaisseur. Son diamètre est de 0,50 m environ.
L : 0,50 m, l : 0,50 m, prof. : 5 cm

US : 137 _ localisation : atelier 1B1
Identif. : Foyer (utilisation) _ type : Positive
Description : Foyer de forme presque rectangulaire, long de 70 cm et large de 40 cm. La partie rubéfiée est longue de 40 cm, large de 30 cm et profonde de 15 cm
Il contient beaucoup de terre rubéfiée sur les bords et des battitures. Les parois sont en partie scorifiées
L : 0,70 m, l : 0,40 m, prof. : 15 cm

Niveaux de sol

US : 418 _ localisation : sondage 13A
Identif. : Niveau de sol _ type : Positive
Description : Niveau noir de plus ou moins 2 cm, qui correspond à l'utilisation du sol de cailloux sous-jacent. Fonctionne probablement avec le mur MR417. (Tout comme le niveau d'atelier sous-jacent).

US : 434 _ localisation : sondage 13A
Identif. : Niveau de sol _ type : Positive
Description : Niveau de gravillon blanc compact, devant correspondre à une couche d'occupation de la phase A vue dans la coupe. Limitée à l'ouest par un effet de paroi avec la couche 439.

US : 416 _ localisation : sondage 13A
Identif. : Niveau de sol _ type : Positive
Description : Niveau de sol de l'atelier recouvert par la couche Us 415 (battitures). Il est composé de cailloutis compact et bien damé, sur de l'argile jaune.

US : 440 _ localisation : sondage 13A
Identif. : Niveau de sol _ type : Positive
Description : Niveau de terre brune et couche cendreuse correspondant peut être au sol de la pièce/atelier entre les murs 417 et 423.

US : 194 _ localisation : Secteur 1, sondage 6B
Identif. : Niveau de sol _ type : Positive
Description : la couche Us 194 est constituée par un sédiment argileux gris orange, compact et hétérogène. Elle contient des poches de cendres et des scories. Elle est épaisse d'une dizaine de centimètres. Elle n'a été vue qu'en coupe. Sa forme évoque un fond de fosse



US 194-195



US : 138_ localisation : atelier 1B1

Identif. : Niveau de sol _ type : Positive

Description : La couche Us 138 est composée d'un sédiment argileux jaune, compact et hétérogène, qui contient des cailloutis et des fragments de tuileau.

Il s'agit d'un sol de terre battue qui apparaît tout de suite après la couche de démolition Us 19.

US : 366_ localisation : pièce FC1_C2

Identif. : Niveau de sol _ type : Positive

Description : Petit niveau d'atelier avec des scories coulées.

US : 415_ localisation : sondage 13A

Identif. : Niveau de sol _ type : Positive

Description : Couche composée quasi uniquement de battitures et de quelques scories de forge. Elle repose sur le niveau de sol Us 416 et vient en butée sur le mur MR 417.

L'épaisseur de cette couche est de plus ou moins 10 cm.

Il s'agit d'un tas de battitures.

US 414-415-416



Remblais

US : 336_ localisation : cave 4C1

Identif. : remblai _ type : Positive

Description : Niveau de comblement de la cave 4 dans le sondage 8, composé de trois nappages très charbonneux, dont l'origine est probablement artisanale. Cette couche d'abandon couvre toute la surface de la cave.

US : 435_ localisation : sondage 13A

Identif. : Remblai _ type : Positive

Description : Niveau argileux couvrant l'horizon 434, visible dans la coupe. Ces deux couches, devant appartenir à la phase A semblent limités à l'ouest par une paroi disparue.

US : 155_ localisation : Secteur 1, atelier 2B1

Identif. : Remblai _ type : Positive

Description : La couche Us 155 est composée d'un limon argileux de couleur orange rouille, qui contient des cailloutis, des galets, de la céramique, du fer, du bronze et une grande quantité de scories. Il s'agit d'un remblai composé de déchets de forge.

US : 156_ localisation : Secteur 1, atelier 2B1

Identif. : Remblai _ type : Positive

Description : La couche Us 156 est composée d'un limon sableux de couleur gris vert, qui contient des cendres, des galets, de la céramique, des scories et une grande quantité de battitures.

Il s'agit d'un niveau composé essentiellement de déchets de forge

US : 309_ localisation : puit et cave 4, sondage 8C1

Identif. : Remblai _ type : Positive

Description : La couche Us 309 est composée d'un sédiment limoneux, meuble et homogène de couleur noire. Elle contient une très grande quantité de charbons de bois, de cendres et de scories, surtout des scories coulées. Elle correspond à une couche de rejets d'artisanat.

7. Perspectives 2021-2023.

7.1. Projets pour une future programmation.

7.1.1. Axe 1 : la caractérisation des espaces de réduction

Les travaux réalisés ces trois dernières années ont permis de dresser un bilan cartographique des sites de métallurgie du fer à l'échelle de la région Bourgogne-Franche-Comté, et de proposer une première caractérisation chronologique notamment des sites de réduction du minerai de fer grâce à la réalisation de plus de 200 datations radiocarbone. Plus de 500 analyses chimiques de scories issues de ces différents secteurs ont également été réalisées et fournissent une base solide afin de réaliser des études sur les procédés techniques et des recherches de provenance.

Dans le cadre de la prochaine triennale, les travaux de prospections et de prélèvements de charbons sur les amas de déchets métallurgiques seront poursuivis, mais à une moindre échelle. Sur la base des résultats obtenus ces trois dernières années, nous souhaitons approfondir certaines thématiques de recherche.

Etude des fours de réduction et des modalités de constitution des amas.

Nous souhaitons préciser l'architecture des fours de réduction, la dynamique de constitution des amas et l'organisation spatiale des ateliers à travers une approche plus précise d'un petit nombre de sites de réduction. L'objectif est de comparer les différences entre ensembles sidérurgiques en déterminant les volumes de production et donc les quantités de matériaux échangés tant en amont (approvisionnements en minerais) qu'en aval (diffusion des produits ferreux) de la chaîne de production. Il s'agit également de préciser les spécificités et différences dans les techniques mises en oeuvre en étudiant l'architecture des bas fourneau et l'organisation spatiale des ateliers.

Des prospections géophysiques seront réalisées dans un premier temps afin d'aider à l'implantation des zones les plus propices aux fouilles (fig. 174). Pour des raisons de préparations logistiques, nous envisageons la réalisation des prospections géophysiques sur une année et la fouille l'année suivante. Nous prévoyons la fouille de trois amas de même chronologie (âges du Fer) sélectionnés en Puisaye et dans le secteur de Berthelange. En effet pour ces périodes les caractéristiques des amas de ces deux zones paraissent comparables. Il s'agit de sites peu marqués topographiquement, et dont l'étendue est difficile à préciser car les déchets se répartissent sous forme de faibles concentrations en surface.

A ce stade il s'avère nécessaire de préciser si ces amas de déchets marquent la présence d'un seul four ou au contraire des concentrations de bas fourneau ? Cela passe par l'étude de l'organisation spatiale des ateliers et par la détermination des volumes de déchets présents. L'objectif est également de documenter les possibles variabilités et points communs en tenant compte de la chronologie et des différences de localisations géographiques. Une attention toute particulière sera également portée à l'étude comparative de l'architecture des fours de réduction et de l'organisation des ateliers afin d'étudier les transferts de techniques et de savoir-faire.

Nous souhaitons, également étudier plus précisément les très gros sites antiques prospectés ces dernières années (2017-2018) dans le secteur d'Aillant-sur-Tholon. Sur la base des acquis obtenus à partir de la fouille des petits sites protohistoriques, nous envisageons une fouille

de plus grande ampleur sur l'un de ces sites antique, afin de préciser l'architecture des fours employés, ainsi que l'organisation, probablement complexe, des ateliers.

Nom du site	E n s e m b l e sidérurgique	Chronologie	Programmation géophysique	Programmation fouilles
Saint Fargeau 20 (89)	Puisaye	Ages du Fer	Faite en 2020	2021
Petit Mercey "Aux Vernes" (25)	Berthelange	Ages du Fer	2021	2022
A ill a n t - s u r - Tholon (89)	Puisaye	Antiquité	2022	2023

Figure n°174. Inventaire des ateliers métallurgiques (amas de déchets) pouvant faire l'objet d'une fouille.

Les relations sites métallurgiques - espaces habités.

La question de l'implantation et de la nature des espaces habités, en relation avec les sites de réduction, se pose de façon récurrente. Leur séparation géographique est régulièrement pointée, mais il faut avouer que peu de données sur ces questions sont disponibles, surtout pour des sites approchés seulement en prospections pédestres.

Nous avons ainsi pu constater régulièrement, notamment en Puisaye où des prospections extensives ont été réalisées, l'association récurrente entre zones de rejets de déchets sidérurgiques (très gros amas de déchets) et indices d'habitats notamment pour l'époque romaine.

Les fouilles menées en 2018 à Montholon/Aillant-sur-Tholon ont apporté quelques indices sur l'implantation possible d'un lieu de vie à la fin du II^e - milieu III^e s. ap. J.-C. à proximité d'une zone de production intensive contemporaine (Venault, Mouton-Venault in Berranger dir. 2018). L'étude réalisée en 2019 par Sylvie Mouton-Venault (Mouton-Venault in Berranger dir. 2018) sur des céramiques recueillies par Jean-Pierre Piétak en prospection à Toucy "La cour Batonnerie", apporte des informations complémentaires pour un autre secteur comparable par la chronologie et l'importance de l'exploitation sidérurgique à celui de Montholon. Ici encore l'étude céramologique révèle la présence d'un habitat de l'époque romaine fréquenté entre le milieu du II^e s. et le IV^e s. ap. J.-C. A Toucy l'occupation semble plus pérenne (indices d'adduction d'eau en terre cuite) et plus étendue qu'à Montholon (matériel dispersé sur environ 2,5 ha).

Dans le cadre de la future programmation nous souhaitons ainsi approfondir les recherches sur l'étude des relations entre espaces habités et zones de production primaire du fer, afin de préciser la nature et l'importance de ces espaces occupés. Ce thème serait à ce stade uniquement abordé à partir des sites de Puisaye (fig. 175).

Il sera coordonné par Stéphane Venault, archéologue à l'INRAP spécialiste de l'occupation du sol durant la période antique, et permettra de développer d'étroites collaborations avec deux PCR de Bourgogne-France-Comté : AggloCen (Coord. S. Venault et P. Nouvel) et Ruralia (coord. P. Nouvel).

Les interventions combineront principalement prospections géophysiques extensives et prospections pédestres. L'objectif des acquisitions géophysiques est de mettre en évidence dans un premier temps d'éventuels plans d'habitats. Dans un deuxième temps, si l'exploitation de la

parcelle s'y prête, des prospections pedestres auront pour objectif de prélever du mobilier afin d'obtenir des éléments de datation et de caractérisation de la nature de l'occupation. Sur ces bases des sondages pourront être envisagés. Parallèlement un recensement des indices d'occupations antiques sera effectué à l'échelle de la Puisaye.

Nom du site	Chronologie	Bibliographie	Travaux à prévoir	Surface accessible
Tannerre-en-Puisaye "La Garenne"	G a l l o - Romain	Piétak 1999	Géophysique, sondages (pâturage)	6 ha
Toucy "La cour Batonnerie"	Fin Ile-milieu Ve ap. J.-C.	Piétak 1999 S. Mouton 2019	Géophysique, prospections pedestres	20 ha
Aillant-sur-Tholon (site 21)	170 - 250 ap. J.-C.	Venault, Mouton-Venault 2018	LiDAR	Surface réduite

Figure n°175. Puisaye : sites sélectionnés pour études, livrant des traces d'occupations en périphérie immédiate d'amas de déchets antiques.

Etude des techniques de réduction.

L'étude des techniques de productions et de l'évolution des savoir-faire, appréhendés à travers les caractérisations chronologiques et l'étude archéométriques des déchets de production du fer (analyses pétrographiques, analyses chimiques) se poursuivra et fera l'objet d'un thème de recherche dédié. Des expérimentations seront menées conjointement afin de tester les hypothèses de travail et d'étudier le comportement des éléments chimiques durant la réduction.

Nous souhaitons compléter les caractérisations déjà entreprises (microscopie optique, chimie) par les chercheurs du LMC ces dernières années sur les déchets avec celles développées par les géologues du laboratoire Chrono-environnement et notamment Flavien Choulet, afin de déterminer les caractéristiques minéralogiques (nature des phases et identification des textures) des déchets (diffraction des rayons X, microscopie optique et électronique, microsonde électronique) qui peuvent notamment être corrélées avec les températures durant la réduction.

L'objectif est aussi de préciser la nature géologique des minerais présents dans les zones de production étudiées et de définir les choix réalisés par les artisans (qui n'exploitent pas forcément les ressources en fonction de leur proximité). L'étude des scories de réduction permettra de déterminer la composition chimique de la charge dans le bas fourneau (nature des minerais, éventuels ajouts ou polluants) et de préciser les conduites d'opérations (températures atteintes, rythmes de la charge, rendements etc).

Le corpus d'étude comprend les prélèvements de scories constitués durant la triennale 2018-2020 ainsi que les futurs prélèvements issus des fouilles programmées ces trois prochaines années.

7.1.2. Axe 2 : l'étude des ateliers de forgeage et de la consommation du fer.

Dans le cadre du nouveau programme triennal l'étude des ateliers de forgeage se poursuivra, mais de nouveau en tant que thème secondaire. Il s'organisera autour de deux thématiques. Entrains-sur-Nohain continuera à être un des champs principaux d'investigation. Les efforts seront centrés sur l'achèvement de la codification des structures métallurgiques sous forme d'un catalogue visualisé sur QGIS, afin de proposer des plans interprétatifs normalisés par espaces.

A terme cet outil est destiné à être appliqué à l'ensemble des ateliers de forge traités dans le cadre du PCR. Les corrélations chimiques entre les scories trouvées dans les forges d'Entrains et celles venant des espaces de réduction environnants seront également poursuivies.

Dans la continuité des travaux menés ces dernières années nous souhaitons poursuivre et développer les études de filiation visant à relier la composition chimique des scories de réduction présentes sur les sites de production, avec la composition chimique des scories piégées au sein des objets en fer. Le recrutement d'un post-doctorant sur 24 mois (débutant à partir de septembre 2021) a été demandé pour réaliser ces analyses, dans le cadre d'un projet région. La mise en oeuvre de cette thématique repose donc sur l'obtention de ce financement. Un corpus d'une centaine d'objets supplémentaires, provenant de Bourgogne-Franche-Comté, et de régions périphériques, pourrait être pris en compte.

7.2. Programmation 2021.

En 2021, les interventions sur le terrain concerneront la Puisaye et le secteur de Berthelange. La fouille qui était prévue en 2020 en Puisaye à Saint Fargeau, sera réalisée à l'été 2021 sur deux semaines. Le projet de fouilles a été implanté sur la base des résultats des prospections géophysiques (fig. 176). L'ouverture de trois sondages est ainsi envisagée. Leur implantation a été effectuée de manière à caractériser les différents d'anomalies identifiées par les prospections géophysiques. Il est prévu que les fenêtres de fouille recoupent en au moins deux points les zones d'accumulation de déchets. Elles sont également positionnées sur des anomalies ponctuelles de manière à vérifier s'il s'agit de fours, et sur des anomalies linéaires afin de déterminer s'il s'agit de vestiges d'aménagements associés à l'exploitation métallurgique.

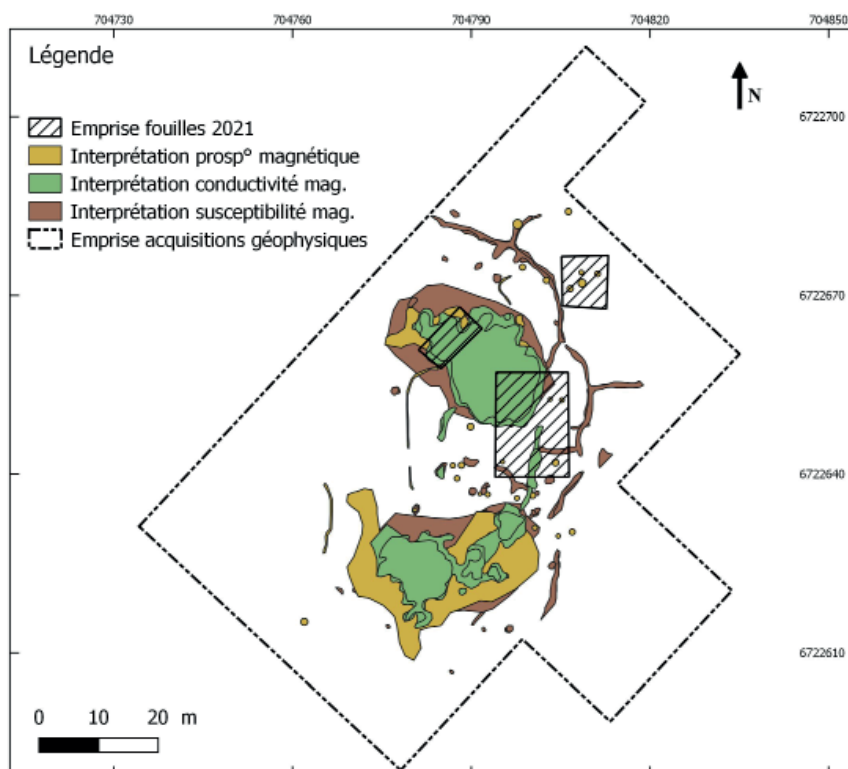


Figure n°176. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" sites 89.344.020 et 040 : proposition d'implantation des sondages, d'après les résultats des prospections géophysiques.

Toujours en Puisaye, nous souhaitons réaliser des prospections sur 6 ha de pâtures (autorisations acquises) situées à proximité immédiate du très gros ferrier de Tannerre-en-Puisaye (seul à être classé monument historique). Des sondages effectués dans les années 1960 (Chapat 1997) ont mis au jour de la céramique

romaine et des photographies aériennes révèlent la présence de structures linéaires qui pourraient correspondre à des bâtiments. Nous souhaiterions étudier plus précisément la nature de ces occupations en les cartographiant en premier lieu à partir de prospections géophysiques. Cette intervention sera effectuée sous forme d'une prestation par l'INRAP (G. Hulin).



Figure n°177. Tannerre-en-Puisaye "La Garenne". Vue aérienne du secteur concerné par les prospections géophysiques 2021 (6 ha) (photo : P.-E. Deleusse).

L'autre secteur où se dérouleront les interventions de terrain correspond à la zone de Berthelange, étudiée depuis plus de 30 ans par H. Laurent et principalement datée de l'époque mérovingienne (Lorent-Corsini, Laurent 2016). Les prospections réalisées ces quatre dernières ont cependant mis en évidence l'existence d'un petit nombre d'ateliers de réduction protohistoriques (Laurent 2019). Un d'entre-eux (Petit-Mercey site 36) sera sélectionné pour la réalisation de prospections géophysiques, en prévision d'une fouille qui interviendra en 2022. Il s'agit de comparer les différences et les points communs entre sites métallurgiques contemporains, mais situés dans des zones de production d'importance inégale. Ces prospections sur un amas de déchets seront réalisées par un ingénieur d'étude qui sera recruté par le PCR pendant 1 mois.

Les travaux en laboratoire sur les déchets seront poursuivis dans la continuité des travaux réalisés ces dernières années. Ils intégreront un stage de L3 ou de master impliquant un étudiant en géologie co-encadré par F. Choulet, M. Berranger et M. Leroy est prévue et portant sur la caractérisation d'un lot de minerais provenant d'Aillant-sur-Tholon.

Les études dendro-anthracologiques permises par une collaboration engagée entre Sylvie Coubray de l'INRAP et Olivier Girardclos du laboratoire Chrono-environnement seront également poursuivies dans la continuité des travaux réalisés ces deux dernières années.

Parallèlement, le dépouillement des sites métallurgiques à la carte archéologique sera reconduit et donnera lieu au recrutement d'un ingénieur d'étude sur au moins 1 mois. L'achèvement du dépouillement des communes de l'Yonne et du Nivernais sera prioritaire.

Dans le cadre de l'axe 2, Stéphane Venault (INRAP) convertira l'ensemble des plans des forges d'Entrains-sur-Nohain sous forme de données spatialisées et exploitables sous un logiciel de SIG. Il sera ainsi possible d'effectuer une première confrontation entre la répartition des macro-déchets et les structures de forgeage.

8. Bibliographie.

Anderson et al. 2003 : ANDERSON (T.-J.), AGUSTONI (C.), DUVAUCHELLE (A.), SERNEELS (V.), CASTELLA (D.). - *Des artisans à la campagne. Carrière de meules, forge et voie gallo-romaine à Châbles (FR)*. Service archéologique de l'état de Fribourg, 2003 (Archéologie fribourgeoise, 19).

Barbet 2003 : BARBET (G.) – Lantenne-Vertière, in : JOAN (L.), *Le Doubs et le Territoire de Belfort*. Paris : Académie des inscriptions et belles lettres, Ministère de l'éducation nationale, Ministère de la recherche, Ministère de la culture et de la communication, Maison des sciences de l'Homme, 2004, 558 p. (Carte archéologique de la Gaule).

Bauvais 2007 : BAUVAIS (S.). - *Evolution de l'organisation des activités de forge dans le nord du Bassin parisien au second âge du fer. Etudes pluridisciplinaires de la chaîne opératoire en métallurgie du fer*. Thèse de doctorat, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, sous la direction de P. Fluzin, 2007.

Beck et al. 2008 : BECK (P.), BRAUNSTEIN (Ph.), PHILIPPE (M.), PLOQUIN (A.) - Minières et ferriers du Moyen Âge en forêt d'Othe (Aube, Yonne), *RAE*, 57, p. 333-365.

Benard et al. 1994 : BENARD (J.), MANGIN (M.), GOGUEY (R.), ROUSSEL (L.). - *Les agglomérations antiques de Côte d'Or*. Les Belles Lettres : Paris (Annales Littéraires de l'Université de Besançon, 22).

Bernard 1998 : BERNARD (V.). - *L'homme, le bois et la forêt dans la France du Nord entre le Mésoolithique et le haut Moyen-Âge*, Oxford, England, J. and E. Hedges : Archaeopress (BAR International Series 733), 190 p.

Berranger dir. 2015 : BERRANGER (M.) dir. AUBERT (M.), BAUVAIS (S.), BRUGNOT (J.), CHOEL (F.), DISSER (A.), DILLMANN (Ph.), DUNIKOWSKI (C.), GAETAN (L.), LAEAUNE (R.), LAURENT (H.), LAURENT-CORSINI (S.), LEROY (M.), TISSERAND (N.), VEGA (E.), VEYSSEYRE (C.), VINCENT (G.) – *La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions*. Programme Collectif de Recherche, Rapport d'activité 2015, SRA Bourgogne-Franche-Comté, 2015.

Berranger dir. 2017 : BERRANGER (M.) dir. - *Montholon (Aillant-sur-Tholon) « Bois des Ferriers » - Yonne, Ferriers n°1, 3 et 9. Rapport de sondages 2017*. DRAC Bourgogne-Franche-Comté, 2017, 56 p.

Berranger dir. 2017b : BERRANGER (M.) dir. AUBERT (M.), BUATIER (M.), CHOLET (F.), DISSER (A.), GIRARDCLOS (O.), GIMBERT (F.), JEANNOT (R.), LAURENT (H.), LAURENT-CORSINI (S.), LEROY (M.), MERLUZZO (P.), MELANJOIE (F.), PIETAK (J.-P.), SAGESSE (A.) – *Montholon (Aillant-sur-Tholon) « Bois des Ferriers ». Sondages sur les ferriers n°1, 3 et 9*. Rapport de sondage, DARC-SRA Bourgogne-Franche-Comté, 2017.

Berranger dir. 2018 : BERRANGER (M.) dir. AUBERT (M.), BAUVAIS (S.), BULLY (A.), DISSER (A.), DILLMANN (P.), FLUZIN (Ph.), JEANNOT (R.), LAURENT (H.), LAURENT (S.), LEROY (S.), LEROY (M.), MEAUDRE (J.-C.), MOUTON-VENAULT (S.), VEGA (E.), VENAULT (S.), VEYSSEYRE (C.), – *La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions*. Programme Collectif de Recherche, Rapport d'activité 2018, SRA Bourgogne-Franche-Comté, 2018.

Berranger et al. 2018 : BERRANGER (M.), NOUVEL (P.), HANTRAIS (J.), GIRARDCLOS (O.), ESTUR (E.), IZRI (S.), TAILLANDIER (V.), VERRIEZ (Q.). - Un atelier métallurgique aux abords de la terrasse PC15. In : GUICHARD (V.). : Programme quadriennal de recherche 2017-2020 sur le Mont Beuvrey. Rapport intermédiaire 2018 : Synthèse, p.177-208.

Berranger dir. 2019 : BERRANGER (M.) dir. AUBERT (M.), GIRARDCLOS (O.),

HERBRICH (M.), JEANNOT (R.), LAURENT (H.), LAURENT-CORSINI (S.), LEROY (M.), MEAUDRE (J.-C.), MOUTON-VENAULT (S.), MERLUZZO (E.), PIETAK (J.-P.), VENAULT (S.), VEYSSEYRE (C.), – *La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions*. Programme Collectif de Recherche, Rapport d'activité 2018, SRA Bourgogne-Franche-Comté, 2019, 240 p.

Bleicher 2014 : BLEICHER (N.) - Four levels of patterns in tree-rings: an archaeological approach. *Vegetation History and Archaeobotany*, 23(5), 615–627.

Boukezzoula 1995 : BOUKEZZOULA (M.). - *Mines et métallurgies dans le Centre-Est : méthodologie de la recherche appliquée à l'arrondissement de Mâcon*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté. MANGIN (M.) dir. 2004 – *Le fer*. ERRANCE : Paris, 2004 (Collection Archéologiques).

Bouthier 1982 : BOUTHIER (A.) – Données nouvelles sur l'utilisation du minerai de fer dans le nord-ouest de la Nièvre à l'époque gallo-romaine. In : *Mines et fonderies antiques de la Gaule*. Table-ronde du CNRS, Toulouse, 1980. Paris : Ed. du CNRS, 1982 (paru en 1983), p. 139-156.

Bouthier 1995 : BOUTHIER (A.) – Displacement of both iron mines and metallurgic sites related to the change in reduction process in Northwestern Nivernais (France). In : MAGNUSSON (G.) ed. – The importance of ironmaking : technical innovation and social change. Conference Norberg (Suède), 1995, vol. 1 Stockholm : Jernkontoret, 1995, p. 255-262.

Bouthier 2002 : BOUTHIER (A.) – Les ferriers et la métallurgie dans l'Yonne à l'époque romaine. In : Delor (J.-P.) – L'Yonne : 89/1. Académie des inscriptions et belles-lettres, 2002, p. 122-123 (Carte Archéologique de la Gaule, 89/1).

Bouthier et al. 1987 : BOUTHIER (A.), DUPERON (A.) VELDE (Br.) - La métallurgie du fer à l'époque gallo-romaine dans le nord-ouest de la Nièvre et le nord du Berry, *Caesarodunum*, XXII, 1987, p. 252-270.

Chabal 1997 : CHABAL (L.). - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) : L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. » Paris : MSH, (DAF ; 63), 1997. 192 p.

Chapat 1997 : CHAPAT (F.P.) - *La Puisaye au temps des ferriers*, 1997.

Chaume, Feugère 1990 : CHAUME (B.), FEUGERE (M.). – Les sépultures tumulaires aristocratiques du Hallstatt ancien de Poiseul-la-ville (Côte d'Or). *Revue Archéologie de l'Est* : Dijon, 1990 (Supplément de la Revue Archéologique de l'Est, 10).

Dabas et al. 2002 : DABAS (M.), DIEUDONNE-GLAD (N.), POIRIER (P.) - Caractérisation des structures d'une forge antique : approche archéologique, géophysique et anthracologique. *Revue d'Archéométrie*, 26, 1, pp. 141 154.

Delor dir. 2002 : DELOR (J.-P.) - *Carte Archéologique de la Gaule : l'Yonne*. Volume 1, Paris, 2002, pp. 129-139 (Piétak J.-P., « Les ferriers en Puisaye icaunaise »).

Dillmann, L'Héritier 2006 : DILLMANN (P.), L'HERITIER (M.) - Slag inclusion analyses for studying ferrous alloys employed in French medieval buildings: supply of materials and diffusion of smelting processes. *Journal of archaeological Science*, 2006, p. 1810-1823.

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

Disser 2014 : DISSER (A.) - *Espaces de production du fer en Lorraine et diffusion des produits sidérurgiques lorrains : apports des analyses par dosage d'éléments traces et statistiques*. Thèse de doctorat, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, sous la direction de Philippe Dillmann, Marc Leroy et Philippe Fluzin.

Disser et al. 2016 : DISSER (A.), DILLMANN (P.), LEROY (M.), L'HERITIER (M.), BAUVAIS (S.), FLUZIN (P.) - Iron Supply for the Building of Metz Cathedral: New Methodological

Development for Provenance Studies and Historical Considerations. *Archaeometry*, 59, p. 493-510.

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

Domergue 2016 : DOMERGUE (C.). - Les bas fourneaux de réduction du fer (Ier s. av. J.-C.) des Martys (Aude, France). Note additionnelle à Martys 2 », *Revue archéologique de Narbonnaise*, 49, 1, pp. 135-148.

Domergue et al. 1993 : DOMERGUE (C.), CAUQUET (B.), LAVIELLE (E.), PAILLER (J.-M.), SABLAYROLLES (R.), SILLIERES (P.). - Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude). CNRS Editions : Paris, 1993 (*Revue Archéologique de Narbonnaise*, suppl. 27).

Dufraisse, Garcia-Martinez 2011 : DUFRAISSE (A.), GARCIA-MARTINEZ (M.-S.). - Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données. *Anthropobotanica*, 2, pp. 1-18.

Dufraisse et al. 2018a : DUFRAISSE (A.), COUBRAY (S.), GIRARDCLOS (O.), DUPIN (A.), LEMOINE (M.). - Contribution of tyloses quantification in earlywood oak vessels to archaeological charcoal analyses: Estimation of a minimum age and influences of physiological and environmental factors. *Quaternary International*, 463, pp. 250-257.

Dufraisse et al. 2018b : DUFRAISSE (A.), COUBRAY (S.), NOCUS (N.), LEMOINE (M.), DUPOUEY (J.-L.), MARGUERIE (D.). - Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and woodland management reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. *Quaternary International*, 463, 250-257. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.065>

Dumasi et al. 2010 : DUMASI (F.), DIEUDONNE-GLAD (N.), LAUT (L.). - *Travail de la terre, travail du fer : l'espace rural autour d'Argentomagus, Saint Marcel, Indre*. Bordeaux, 2010, (Collection Mémoires 23).

Dunikowski, Cabboi 1995 : DUNIKOWSKI (C.), CABBOI (S.). - *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*. Editions de la maison des sciences de l'Homme : Paris, 1995 (Documents d'Archéologie Française, 51).

Dupin et al. 2017 : DUPIN (A.), GIRARDCLOS (O.), FRUCHART (C.), LAPLAIGE (C.), NUNINGER (L.), DUFRAISSE (A.), GAUTHIER (E.). - Anthracology of charcoal kilns in the forest of Chailluz (France) as a tool to understand Franche-Comte forestry from the mid-15th to the early 20th century AD. *Quaternary International*, 458, pp. 200-213.

Eschenlohr et al. 1991 : ESCHENLOHR (L.), SERNEELS (V.), HILTPOLD (B.). - *Les bas fourneaux mérovingiens de Boecourt, Les Boulies (JU, Suisse)*. Porrentruy : Office du Patrimoine Historique, coll. « Cahiers d'archéologie jurasienne », 3.

Eschenlohr 2001 : ESCHENLOHR (L.) – Recherches archéologiques sur le district du Jura central suisse. Lausanne, *Cahiers d'Archéologie Romande* n° 88, 320 p.

Forlin, Laurent 2014 : FORLIN (P.), LAURENT (H.). - Exploiting local resources in a new economic frame: iron ores and bloomeries in Franche-Comté (F) during the early middle ages. In : *Research and preservation of ancient mining areas*, 9th International Symposium on archaeological Mining History (Trento), Yearbook of the Institute Europa Subterranea, edited by Silvertant MA, Trento/Valkenburg de Geul, 2014, p. 196-217.

Garcia Martinez, Dufraisse, 2012 : DUFRAISSE (A.), GARCIA-MARTINEZ (M.-S.). Correction factors on archaeological wood diameter estimation. In: Badal E., Carrion Y., Grau E., Macías M., Ntinou M. (Eds), *Wood and charcoal: evidence for human and natural history, Saguntum extra* 13, 283-290.

- Girardclos et al. 2018** : GIRARDCLOS (O.), DUFRAISSE (A.), DUPOUEY (J.-L.) , COUBRAY (S.), RUELLE (J.), RATHBERGER (C.B.K.) - Improving identification of coppiced and seeded trees in past woodland management by comparing growth and wood anatomy of living sessile oaks (*Quercus petraea*), *Quaternary International*, 463, 219-231. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.04.015>
- Girardclos, Jeannot 2019** : GIRARDCLOS (O.), JEANNOT (R.) - Dendro-anthracologie, analyse exploratoire de ferriers à Montholon (Aillant-sur-Tholon). In : Berranger dir. 2019 p. 103-130.
- Goudard 1936** : GOUDARD (A.) - Notes sur l'exploitation des gisements de scories de fer dans le département de l'Yonne. *Bull. Soc. archéo. de Sens*, 38, 1936, p. 151-182.
- Gueux, 1872** : GUEUX (J.-M.) - Les Anciennes Forges de l'arrondissement de Semur. *Bulletin de la Société des Sciences Historiques et Naturelles de Semur (Côte d'Or)*. Imprimerie Verdout, Sermur, 1872, p. 148-156.
- Herbrich 2019** : HERBRICH (M.) - *Le complexe métallurgique antique d'Aillant-sur-Tholon. Apport de la topographie par LIDAR aéroporté à sa caractérisation*. Mémoire de master 1 de l'Université de Dijon. Sous la direction de P. Nouvel, M. Thivet et M. Berranger, 2019.
- Hure 1920** : HURE (A.) - Origine et formation du fer dans le Sénonais. Ses exploitations et ses fonderies dans l'Yonne. *Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne*, 1920, 74 p.
- Jacquet 2003** : JACQUET (G.) - *La Forêt en Val de Loire aux périodes préindustrielles : histoire, morphologie, archéologie, dendrologie*. Thèse doctorat, Université de Tours.
- Laurent 1997** : LAURENT (H.) - *Le travail du fer par le procédé direct dans le nord de la Franche-Comté (Doubs, Haute-Saône et Territoire de Belfort ; Jura : cantons de Dampierre et Gendrey)*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.
- Laurent-Corsini et al. 2016** : LAURENT-CORSINI (S.), LAURENT (H.), - Un Pic de production du fer en Franche-Comté pendant l'époque mérovingienne, in : *Des Fleuves et des hommes à l'époque mérovingienne*, T. XX des MAFAM, 42e supplément à la RAE, p. 287-297.
- Laurent, Raïssouni 1987** : LAURENT (H.), RAÏSSOUNI (B.) - *Mines et métallurgie ancienne en Franche-Comté : bilan des travaux pour 1987*. 67 p. Document multicopié déposé à la DRAC de Bourgogne-Franche-Comté.
- Lavier 1995** : LAVIER (C.). Etude dendrochronologique des charbons de bois provenant du site du Pré Fergeux à Ferrières-les-Bois (25). 5 p. Document multicopié déposé à la DRAC de Bourgogne-Franche-Comté.
- Leroy et al. 2000** : LEROY (M.), MANGIN (M.), LAURENT (H.), BOUKEZZOULA (M.), RAÏSSOUNI (B.). - La sidérurgie dans l'est de la Gaule. L'organisation spatiale de la production de l'âge du Fer et haut Moyen Âge. *Gallia*, 57. CNRS éditions : Paris, 2000, p. 11-21.
- Leroy et al. 2015** : LEROY (M.), MERLUZZO (P.), LE CARLIER (C.). - *Archéologie du fer en Lorraine. Minette et production du fer en bas fourneaux dans l'Antiquité et au Moyen-Age*. Fensch Vallée Editions, Knutange, 2015, 372 p.
- Leroy et al. 2019** : LEROY (M.), PREVOT (M.), MERLUZZO (P.), avec la collab. de DISSER (A.), DUFFRAISSE (A.), GEBHARDT-EVEN (A.), GUILLAUME (J.), JOUANIN (G.), LE CARLIER (C.), MARQUE (R.), PROUTEAU (R.), WIETHOLD (J.), YVINEC (J.-H.) - Les ateliers du hameau Les Noires Terres à Messein (Meurthe-et-Moselle, Lorraine, France) : une illustration de l'une des formes d'organisation de la production du fer au cours du premier Moyen âge ? *Revue Archéologique de l'Est*, t.68, 2019, p. 243-283
- Leroy, Cabboi 2019** : LEROY (M.), CABBOI (L.) (dir.) - *Produire et travailler le fer. Les ateliers de l'est du Bassin parisien du Ve siècle av. J.-C. au Xe siècle apr. J.-C.*. CNRS et INRAP éditions, Recherches Archéologiques, 2019.
- Leroy et al. 2012** : LEROY (S.), COHEN (S. X.), VERNA (C.), GRATUZE (B.), TEREYGEOL

(F.), FLUZIN (P.), BERTRAND (L.), DILLMANN (P.) - The medieval iron market in Ariège (France). Multidisciplinary analytical approach and multivariate analyses. *Journal of Archaeological Science*, 39, 4, p. 1080-1093.

Leymerie, Raulin 1858 : LEYMERIE (A.), RAULIN (V.) - *Statistique géologique du département de l'Yonne*. 1858, avec carte au 1/200.000e avec localisation des principaux ferriers.

Mangin, 1984 : MANGIN (M.) - *Mines et métallurgie du fer en Morvan Auxois (Côte d'Or)*. Rapport de prospections, Service Régional de l'Archéologie, Dijon, 1984, 120 p.

Mangin dir. 2004 : MANGIN (M.) dir. – *Le fer*. ERRANCE : Paris, 2004 (Collection Archéologiques).

Mangin et al 1986 : MANGIN (M.), SCHERRER (J.) - *Mines et métallurgie du fer dans le Morvan du nord et le Bas-Auxois. 5e rapport de prospection 1986 et bilan général des recherches 1982-1986*. Rapport déposé à la DRAC de Bourgogne-Franche-Comté, 80 p.

Mangin et al 1992 : MANGIN (M.), KEESMAN (I.), BIRKE (W.), PLOQUIN (A.) - *Mines et métallurgie chez les Éduens. Le District sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois*, Paris, Annales Littéraires de l'Université de Besançon (456), 1992, 364 p.

Mangin et al. 1995 : Mangin (M.), Laurent (H.), Dunikowski (Chr.), Leroy (M.). Ateliers et cadre de vie des sidérurgistes de l'est de la France (fin de l'âge du Fer, Antiquité romaine et haut Moyen Âge), in : Magnusson G., ed., 1995, *The Importance of ironmaking : technical innovation and social change*, Papers presented at the Norberg Conference on May 8-13 1995, Stockholm, Jernkontorets Bergshistoriska Utskott (H 58), volume I, p. 73-83, 4 fig., 1 tabl.

Mangin et al. 2000 : MANGIN (M.), FLUZIN (P.), COURTADON (J.-L.), FONTAINE (M.-J.). - *Forgerons et paysans des campagnes d'Alésia (Haut Auxois, Côte d'Or) Ier siècle av-VIIIe siècle ap. J.-C.* CNRS édition : Paris, 2000 (C.R.A., monographie 22).

Marguerie, Hunot 2007 : MARGUERIE (D.), HUNOT (J.-Y.). - Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science*, 34, 9, pp. 1417-1433.

Mouton-Venault et al. 2017 : MOUTON-VENAULT (S.), AHÜ-DELOR (A.), (dir.), BARTHELEMY (D.), JOLY (M.), MAUDUIT (C.) - Recueil des ateliers bourguignons : les productions de vaisselle culinaire. In : BARAY (L.) dir : *De silex, de terre et de faïenc. Mémoire du sol en Bourgogne, Hommages à Jean-Paul Delor*, éditions M. Mergoïl (Histoire et Archéologie romaine 36), 636 p.

Momot 1961 : MOMOT (J.) - *Contribution à l'étude des ferriers du département de l'Yonne : essai historique, géomorphologique, géologiques et physico-chimiques*. Thèse Faculté des Sciences de Paris, 1961, ronéotypée.

Momot 1964 : MOMOT (J.) - Les ferriers du département de l'Yonne. *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, tome 5, 1964, p. 273-297.

Paradis-Grenouillet et al. 2015 : PARADIS-GRENOUILLET (S.), ALLEE (P.), VIVES (G. S.), PLOQUIN (A.). - Sustainable management of metallurgical forest on Mont Lozère (France) during the Early Middle Ages. *Environmental Archaeology*, 20, 2, pp. 168-183.

Piétak 2007 : PIETAK (J.-P.) - *Prospection-inventaire des ferriers de Puisaye de 1998 à 2007*; Bulletin de l'association d'études, de recherches et de prospection du Vieux Toucy et de ses environs, n°7, 2007, Toucy, 59 p.

Piétak et al. 2012 : PIETAK (J.-P.), LEROY (M.), LE CARLIER (C.), MERLUZZO (P.) 2012 : Nouvelles données sur l'importance des vestiges de sidérurgie ancienne en Puisaye. *Revue Archéologique de l'Est*, t.61 – 2012 p. 117-131.

Raissouni 1995 : RAISSOUNI (B.). - *Le département du Jura et les régions voisines : contribution à la carte archéologique des mines et de la métallurgie dans l'Antiquité*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté.

Rebiscoul 2003 : REBISCOUL (A.). - Le site paléométallurgique des Ferrys, commune de la

Bussière. *Revue archéologique de Picardie* 1-1, 2003, p. 129-139.

Sarreste 2011 : SARRESTE (F.). – La sidérurgie antique dans le Bas Maine. Presses Universitaires François-Rabelais de Tours : Tours, 2011 (collection « Perspectives historiques »).

Schweingrüber 1990 : SCHWEINGRÜBER (F.H) : *European wood anatomy*, Paul Haupt Bern, 1990, 226 p.

Tisserand 2012 : TISSERAND (N.) - *Un ilot artisanal et commercial de l'agglomération antique d'Intaranum, 8 rue de la voie Romaine, Entrains sur-Nohain, Nièvre (58)*, Inrap GES, Dijon, 2 vol, 613 p.

Venault dir., à paraître : VENAULT (St.) - *Bourgogne, Nièvre (58), Entrains-sur-Nohain, Rue Romaine*, Rapport Final d'Opération, Inrap, Dijon, à paraître.

Vincent 2014 : Vincent (G.), *Bourgogne, Nièvre, Entrains-sur-Nohain, 16, route d'états, Evolution urbaine d'un secteur de l'agglomération d'Intaranum (1er-Ve s.)*, rapport de fouille INRAP, 3 vol., 973 p.

9. Liste des figures

- Figure n°1. Localisation des espaces de production connus au sein de la zone d'étude. Matérialisation des limites de cités antiques.
- Figure n°2. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits.
- Figure n°3. Liste des participants au PCR entre 2018 et 2020, et détail des activités de chacun.
- Figure n°4. Nombre de sites de réduction prospectés et sondés entre 2018 et 2020 dans le cadre du PCR.
- Figure n°5. Répartition des sites datés par radiocarbone en Bourgogne-Franche-Comté. Visualisation des périodes d'obtention des datations (avant et pendant l'actuelle triennal 2018-2020).
- Figure n°6. Nombre de dates radiocarbone disponibles en fonction des zones de production de Bourgogne-Franche-Comté.
- Figure n°7. Répartition des sites ayant fait l'objet d'analyses chimiques (minerais-sories) en Bourgogne-Franche-Comté. Visualisation des période d'obtention des résultats (avant et pendant l'actuelle triennal 2018-2020).
- Figure n°8. Répartition des analyses chimiques réalisées sur les scories et minerais en fonction des zones de production de Bourgogne-Franche-Comté.
- Figure n°9. Inventaire des objets ayant fait l'objet d'une analyse chimique inclusionnaire.
- Figure n°11. Exemple de fiche de site.
- Figure n°12. Exemple de fiche d'inventaire de scories de réduction.
- Figure n°13. Exemple de fiche d'inventaire de scories de forge.
- Figure n°14. Exemple de fiche d'inventaire des objets en métal.
- Figure n°15. Exemple de fiche d'inventaire des datations radicarbone.
- Figure n°10. Liens existants entre les tables créées au sein de la base de données.
- Figure n°16. Exemple de fiche descriptive d'échantillon scorifié étudié en métallographie.
- Figure n°17. Exemple de fiche descriptive d'échantillon métallique étudié en métallographie.
- Figure n°18. Acquisition des blocs d'image.
- Figure n°19. Exemple de cibles destinées au géoréférencement du photomodèle.
- Figure n°20. Alignement des clichés et nuage de points épars (Aillant F1-301-SC19).
- Figure n°21. Aillant F1-301-SC19, maillage texturé, sans ombrage (à gauche) et ombrage global (à droite).
- Figure n°22. Exemple de traitement d'image permettant de légender les sections étudiées e métallographie et de calculer la proportion des phases constitutives (bipyramidé de Vix).
- Figure n°23. Carte des sites de réduction découverts entre 2018 et 2020 dans la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange (Routelle est hors carte, légèrement à l'est)
- Figure n°24. Scories de réduction typiques de la Protohistoire : Lantenne-Vertière « Les Longues Raies » (district de Berthelange)
- Figure n°25. Carte des sites de réduction protohistoriques de la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange
- Figure n°26. Carte des sites datés du haut Moyen Âge par le C14 dans la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange
- Figure n°27. Paroi de fourneau en tuiles romaines de Saint-Germain-de Modéon « Les Courtils » (Morvan-Auxois)
- Figure n°28. Entrains-Sur-Nohain, localisation des limites supposées de l'agglomération antique et des indices de réduction en périphérie
- Figure n°29. Graphique des 184 dates radiocarbone en fonction des années d'acquisition

- Figure n°30. Graphique des 184 dates radiocarbone en fonction de leur provenance
- Figure n°31. Tableau des dates C14 obtenues en 2018-2020 et attendues pour 2021
- Figure n°32. Analyse Factorielle Discriminante (AFD), axes F1 et F2, sur les logs ratio des déchets issus des espaces de production régionaux. Indication des barycentres en jaune.
- Figure n°33. Analyse Factorielle Discriminante (AFD), axes F1 et F2, sur les logs ratio des déchets issus des espaces de production régionaux rapprochés sur la figure 32. Indication des barycentres en jaune.
- Figure n°34. Analyse Factorielle Discriminante (AFD), axes F1/F2 cumulant 55% de la variabilité, réalisée sur les log-ratio des inclusions de scories d'objets provenant des forges antiques d'Entrains-sur-Nohain et Chevroches, et sur les scories de réduction provenant du Nivernais, Puisaye, Pays d'Othe et Sénonais.
- Figure n°35. Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) sur les barycentres des différents axes de l'AFD (100% de la variabilité). Le saut d'inertie permet d'isoler 5 clusters.
- Figure n°36. Inventaire des sites dont les déchets ont subi des analyses chimiques globales (CRPG). En rouge, sites analysés dans le cadre de la triennale 2018-2020.
- Figure n°69. La Puisaye : répartition des amas de scories connus en prospections pedestres (J.-P. Piétak), localisation des sites et des zones-ateliers étudiées.
- Figure n°70. Villiers-Saint-Benoît : localisation des amas de scories prospectés en 2020.
- Figure n°37. Villiers-Saint-Benoît, caractéristiques des amas prospectés en 2020 (dimensions en m, m² et m³)
- Figure n°38. Villiers-Saint-Benoît, dates radiocarbone calibrées des amas, par groupe.
- Figure n°71. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation des amas de scories prospectés en 2019 et 2020, emprise des prospections géophysiques 2020.
- Figure n°39. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation du sondage dans l'amas 89.344.010.
- Figure n°40. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.010, détail de la coupe.
- Figure n°41. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation du sondage dans l'amas 89.344.011.
- Figure n°42. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.011, détail de la coupe
- Figure n°43. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" localisation du sondage dans l'amas 89.344.011.
- Figure n°44. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.014, détail de la coupe
- Figure n°45. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan de l'amas 89.344.004 et localisation du sondage.
- Figure n°46. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" vue générale du sondage dans l'amas 89.344.004.
- Figure n°47. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.004, détail des coupes.
- Figure n°48. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.004, relevé de coupe ouest.
- Figure n°49. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan de l'amas 89.344.003 et localisation du sondage.
- Figure n°50. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" vue générale du sondage dans l'amas 89.344.003.
- Figure n°51. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", 89.344.003, relevé de coupe nord.
- Figure n°52. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", 89.344.003, plan général du sondage.
- Figure n°53. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan de l'amas 89.344.013 et localisation des sondages.
- Figure n°54. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", 89.344.013, vue générale du sondage 1 et détail de l'US 101.
- Figure n°55. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan général du sondage 1 de l'amas 89.344.013.

- Figure n°56. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", relevé de la coupe nord du sondage 1, amas 89.344.013.
- Figure n°57. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", vue de la coupe nord du sondage 1, amas 89.344.013.
- Figure n°58. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", vue de la coupe sud-est du sondage 2, amas 89.344.013.
- Figure n°59. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", relevé de la coupe sud-est du sondage 2, amas 89.344.013.
- Figure n°60. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", plan général du sondage 2 de l'amas 89.344.013.
- Figure n°61. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.013, US 203 avant et après fouille.
- Figure n°62. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" 89.344.013, US 205 avant et après fouille.
- Figure n°63. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", caractéristiques des amas prospectés en 2020 (dimensions en m, m² et m³).
- Figure n°64. Saint Fargeau "Bois de Bailly", dates radiocarbone calibrées des amas, par groupe.
- Figure n°65. Secteur de Montholon "Bois des Ferriers", localisation par type des amas de scories prospectés en 2017 et 2018, localisation des prospections LiDAR.
- Figure n°66. Secteur de Montholon "Bois des Ferriers", caractéristiques des amas prospectés depuis 2017 (dimensions en m, m² et m³).
- Figure n°67. Montholon "Bois des Ferriers", dates radiocarbone calibrées disponibles pour les sites 001, 005 et 020, obtenues en stratigraphie.
- Figure n°68. Montholon "Bois des Ferriers", dates radiocarbone calibrées des amas, par groupe.
- Figure n°72. Emprises des prospections magnétique et électromagnétique réalisées sur les ferriers 89.344.020-040 (gauche), et résultats de la prospection magnétique (droite).
- Figure n°73. Interprétation de la prospection magnétique
- Figure n°74. Cartes de conductivités sur 3 profondeurs - prospection électromagnétique
- Figure n°75. Cartes de conductivités sur 3 profondeurs - prospection électromagnétique
- Figure n°76. Cartes de susceptibilité sur 3 profondeurs - prospection électromagnétique
- Figure n°77. Interprétation de la carte de conductivité entre 0 et 25 cm de profondeur.
- Figure n°78. Interprétation de la carte de conductivité entre 25 et 50 cm de profondeur.
- Figure n°79. Interprétation de la carte de conductivité entre 50 et 90 cm de profondeur.
- Figure n°80. Interprétation de la carte de susceptibilité entre 0 et 25 cm de profondeur.
- Figure n°81. Interprétation de la carte de susceptibilité entre 25 et 50 cm de profondeur.
- Figure n°82. Résultats et interprétation des mesures issues de la prospection magnétique du ferrier 89.344.014.
- Figure n°83. Typologie des écoulements cristallisés denses. Type A.
- Figure n°84. Aillant-sur-Tholon F1.301.SC20. Localisation des boudins détourés (J.-C. Méaudre)
- Figure n°85. Typologie des écoulements bulleux (type B)
- Figure n°86. Typologie des écoulements à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (type C)
- Figure n°87. Typologie des écoulements vitreux (type D)
- Figure n°88. Typologie des scories piégées (type F)
- Figure n°89. Classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisée sur les masses de scories par type et par prélèvement effectué en stratigraphie (méthode de ward). 24 prélèvements effectués sur les sites 001, 003, 020 et 005 à Montholon (89.003) ont été pris en compte.
- Figure n°90. Etude des assemblages de déchets (présence/absence) sur les amas prospectés entre

2017 et 2020 (94 sites). En couleur claire sont représentés les types de scories les moins représentées.

Figure n°91. Dates radiocarbone calibrées par site, et par types de déchets. Les lettres associées aux dates calibrées renvoient au type de scorie au sein de laquelle le charbon daté a été prélevé. L'absence de lettre indique que le charbon date a été prélevé en stratigraphie.

Figure n°92. Inventaire des déchets analysés au microscope optique.

Figure n°93. Exemple d'une section de scorie de type A1 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°94. Exemple d'une section de scorie de type A2 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°95. Exemple d'une section de scorie de type A3 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°96. Exemple d'une section de scorie de type A4 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°97. Exemple d'une section de scorie de type A5 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°98. Exemple d'une section de scorie de type B1 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°99. Exemple d'une section de scorie de type C1 et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°100. Exemple de sections de scories de type D et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°101. Exemple d'une section de scorie de type f et sélection de micro-photographies caractéristiques

Figure n°102. Typologie provisoire des minerais de fer de Puisaye (échantillons provenant d'Aillant-sur-Tholon et de Saint-Fargeau).

Figure n°103. Identification par diffraction X des phases minérales présentes dans les minerais de fer étudiés provenant de Montholon "Bois des Ferriers" (type 1).

Figure n°104. 4 - Teneurs en oxydes de fer versus rapport silice/alumine des minerais de fer analysés provenant d'Aillant-sur-Tholon et de Saint-Fargeau.

Figure n°105. Diagramme paramétrique représentant la composition chimique dans les principaux éléments majeurs des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Figure n°106. 7 Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans les trois principaux éléments majeurs (silice, alumine et oxydes de fer) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Figure n°107. Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans trois des principaux éléments majeurs (silice, alumine et chaux) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Figure n°109. 10 Teneurs en oxydes de fer et en alumine des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Figure n°110. 11 Teneurs en oxydes de fer et en oxyde de magnésium des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Figure n°111. Teneurs en oxydes de fer et en oxyde de manganèse des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers".

Figure n°112. Position des points représentant la composition des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois de Ferriers". dans le diagramme de phases SiO₂-Al₂O₃-FeO.

Figure n°113. Diagramme paramétrique représentant la composition chimique dans les princi-

paux éléments majeurs des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant de Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents.

Figure n°114. Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans les trois principaux éléments majeurs (silice, alumine et oxydes de fer) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents.

Figure n°115. Diagramme ternaire représentant la composition chimique dans trois des principaux éléments majeurs (silice, alumine et chaux) des échantillons de minerais et de scories étudiés provenant Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents.

Figure n°116. Diagramme paramétrique $SiO_2+Al_2O_3$ versus $Fe_2O_3-CaO-MgO$ permettant de comparer les groupes de compositions chimiques de scories provenant du secteur d'Aillant-Sur-Tholon "Bois des Ferriers" entre eux et avec des scories issues du procédé indirect.

Figure n°117. Diagramme paramétrique $SiO_2+Al_2O_3$ versus $Fe_2O_3-CaO-MgO$ permettant de comparer les groupes de compositions chimiques de scories provenant de Saint-Fargeau "Bois de Bailly" et des secteurs adjacents entre eux et avec des scories issues du procédé indirect.

Figure n°118. Résultats de l'analyse anthracologique des échantillons provenant des ferriers 5 et 20 - fréquences absolues(n) et relatives(%).

Figure n°119. Anthraco-typologie du chêne (d'après la méthode présentée dans Dufraisse et al. 2018b).

Figure n°120. Graphe anthraco-typologique à 3 paramètres utilisés pour le chêne et à 2 paramètres utilisés pour le hêtre (d'après la méthode présentée dans Dufraisse et al. 2018b).

Figure n°121. Diagramme anthracologique des ferriers 5 et 20

Figure n°122. Diagramme anthracologique des US des ferriers du bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon ordonnées chronologiquement

Figure n°123. Répartition des sites livrant des sites à scories piégées par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Figure n°124. Répartition des sites livrant des sites à scories A2-A3-A4 par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Figure n°125. Répartition des sites livrant des sites à scories C et D identifiés par prospections et dans la base de données de J.-P. Piétak, par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Figure n°126. Répartition des sites livrant des sites à scories A1 par rapport au corpus des amas prospectés en Puisaye (2017-2020).

Figure n°127. Phase IIIa état 1 : plan de localisation des unités spatiales (Inrap)

Figure n°128. Phase IIIa état 1 : plan de la pièce PCE2423 (Inrap)

Figure n°129. Phase IIIa état 1 : vue des fosses réparties dans la pièce PCE2423 depuis le nord (Inrap)

Figure n°130. Phase IIIa état 1 : vue en coupe de la fosse 2430 depuis l'est (Inrap)

Figure n°131. Phase IIIa état 1 : plan des unités spatiales ESP2131, PCE2437, PCE2368 (Inrap)

Figure n°132. Phase IIIa état 1 : vue des fosses réparties dans la pièce PCE2368 depuis l'ouest (Inrap)

Figure n°133. Phase IIIa état 1 : plan de la pièce PCE2528 (Inrap)

Figure n°135. Phase IIIa état 1 : vue de la fosse 2558 depuis le sud (Inrap)

Figure n°134. Phase IIIa état 1 & 2 : vue des fosses réparties dans la pièce PCE2528 depuis le sud (Inrap)

Figure n°136. Phase IIIa état 1 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)

Figure n°137. Vue et relevé de l'enclume 2515 (M. Pieters CARA)

Figure n°139. Phase IIIa état 1, PCE 2338 : vue en coupe de la fosse 2534 (Inrap)

- Figure n°138. Phase IIIa état 1, PCE 2338 : enclume 2515 et structures associées. A gauche : vue depuis le nord-est, à droite : vue depuis l'ouest, en bas-gauche : vue zénithale depuis l'est (Inrap)
- Figure n°140. Phase IIIa état 1, PCE 2338 : vue zénithale de l'ensemble de trous de piquet 2533 (Inrap)
- Figure n°141. Phase IIIa état 2, PCE2528 : vue zénithale du foyer FY2550 depuis le sud (Inrap)
- Figure n°142. Phase IIIa état 2 : plan de la pièce PCE2528 (Inrap) 1
- Figure n°143. Phase IIIa état 2, PCE2338 : vue zénithale du foyer FY2385 depuis le sud en cours de dégagement et vue zénithale depuis le sud après curage intégrale de la fosse d'installation. Vue des trous de piquets au fond (Inrap)
- Figure n°144. Phase IIIa état 2 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)
- Figure n°145. Phase IIIa état 4, PCE2338 : vue zénithale depuis l'est de l'empierrement 2537 (Inrap)
- Figure n°146. Phase IIIa, PCE2580 : vue de foyer 2574 depuis le sud (Inrap)
- Figure n°147. Phase IIIa état 4 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)
- Figure n°148. Phase IIIa : plan de la pièce PCE2580 (Inrap)
- Figure n°149. Phase IIIb1 état 2, PCE2490 : vue zénithale depuis le sud du foyer FY2526 (Inrap)
- Figure n°150. Phase IIIb1 : plan de localisation des unités spatiales (Inrap)
- Figure n°151. Phase IIIb1 état 2 : plan de la pièce PCE2490 (Inrap)
- Figure n°152. Phase IIIb1 état 2 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)
- Figure n°153. Phase IIIb1 état 2, PCE2338 vue zénithale de la fosse 2328 (Inrap)
- Figure n°154. Phase IIIb1 état 3 : plan de la pièce PCE2490 (Inrap)
- Figure n°155. Phase IIIb1 état 3 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)
- Figure n°156. Phase IIIb1 état 4 : plan de la pièce PCE2490 (Inrap)
- Figure n°157. Phase IIIb1 état 4 : plan de la pièce PCE2338 (Inrap)
- Figure n°158. Phase IIIb2 état 4 : plan de localisation des unités spatiales (Inrap)
- Figure n°159. Phase IIIb3 : plan des unités spatiales PCE2304, PCE2272, PCE2279 (Inrap)
- Figure n°160. Phase IIIb3, PCE2304 : vue zénithale depuis le sud des fosses 2256 et 2225 avant fouille (Inrap)
- Figure n°161. Phase IIIb3, PCE2279 : vue zénithale depuis le sud de la fosse 2062 (Inrap)
- Figure n°162. Phase IIIb3, PCE2272 : vue zénithale depuis l'est du foyer FY2281 (Inrap)
- Figure n°163. Phase IIIb4 : plan de localisation des unités spatiales (Inrap)
- Figure n°164. Phase IIIb4 : plan des unités spatiales PCE2043, PCE2195, PCE2199 (Inrap)
- Figure n°166. Plan des vestiges de la phase A
- Figure n°167. Vues de la zone d'atelier de la phase A
- Figure n°168. Vue générale des ateliers de la phase B
- Figure n°169. Coupe et photoplan de la coupe du sondage 13 : mise en évidence des vestiges d'ateliers de la phase A (PL. DL)
- Figure n°170. Plan des vestiges de la phase B
- Figure n°171. Exemple de lambeaux de couches artisanales
- Figure n°172. Relevé et vues de l'atelier (ensemble 1)
- Figure n°173. Relevé et clichés des coupes du sondages 2 dont structure 49 (INRAP)
- Figure n°174. Inventaire des ateliers métallurgiques (amas de déchets) pouvant faire l'objet d'une fouille.
- Figure n°175. Puisaye : sites sélectionnés pour études, livrant des traces d'occupations en périphérie immédiate d'amas de déchets antiques.
- Figure n°176. Saint- Fargeau "Bois de Bailly" sites 89.344.020 et 040 : proposition d'implantation

des sondages, d'après les résultats des prospections géophysiques.

Figure n°177. Tannerre-en-Puisaye "La Garenne". Vue aérienne du secteur concerné par les prospections géophysiques 2021 (6 ha) (photo : P.-E. Deleusse).

Figure n°179. Villiers-Saint-Benoit 89.472.009 (grands amas). Vue générale du sondage et log.

Figure n°180. Villiers-Saint-Benoit 89.472.010 (petit site). Vue générale et log. Présence d'une grosse plaque de scorie dans le fond du sondage, interrompu avant le terrain naturel.

Figure n°181. Villiers-Saint-Benoit 89.472.012. Vue générale : site 89.472.013 (petit amas) dans le fond. Log du site 012.

Figure n°182. Villiers-Saint-Benoit 89.472.013 (petit site). Vue du sondage et log

Figure n°183. Villiers-Saint-Benoit 89.472.014 (petit site). Vue générale du sondage, et log

Figure n°185. Villiers-Saint-Benoit 89.472.015 (grands amas). Vue du sondage et log.

Figure n°184. Villiers-Saint-Benoit 89.472.016 (petit site). Vue du sondage et log

Figure n°186. Villiers-Saint-Benoit 89.472.018 (petit site). Vue du sondage et log.

Figure n°187. Villiers-Saint-Benoit 89.472.019 (petit site). Vue du sondage et log.

Figure n°188. Villiers-Saint-Benoit 89.472.020 (petit site). Vue du sondage et log.

Figure n°189. Villiers-Saint-Benoit 89.472.023 (grands amas). Vue du sondage et log.

Figure n°190. Villiers-Saint-Benoit 89.472.026 (site discret). Vue du sondage et log.

Figure n°191. Villiers-Saint-Benoit 89.472.027 (petit site). Vue du sondage et log.

Figure n°192. Aillant_F1_301_Sc19, localisations des facettes détournées

Figure n°193. Aillant_F1_301_Sc19, localisations des facettes détournées

Figure n°194. Tableau synthétique des données extraites du photomodèle

Annexe 1. Inventaires concernant la Puisaye

Inventaire des amas prospectés à Villiers-Saint-Benoit (89.472)

n° de site	Lieu dit (nom de site, p. Plateau)	Coordonnées RGF93 X	Coordonnées RGF93 Y	Dates calibrage radiocarbone	Type de site métallurgique	Surface (m ²)	H. (m)	L. (m)	l. (m)	Destruction	Description
89-472-001	Les Grands Usages n° 1	716157	6744803	132/340	Amas de déchets de réduction	15000	3	160	105	Très remanié	Ce très grand amas a déjà fait l'objet d'une caractérisation dans les années 2000. Il a de nouveau été visité en juillet 2020 afin de le topographier et réaliser de nouveaux prélèvements de scories. La périphérie a été très exploitée, tandis que la partie centrale paraît intacte. Il s'agit d'un très grand site, très remanié. Plusieurs fronts de taille, plats en surface, sont visibles. Plusieurs sondages ponctuels, quadrangulaires, correspondent éventuellement à des zones de prospections pour les réexcavations. Ces sondages semblent avoir été aménagés sur les surfaces planes, ce qui pourrait indiquer qu'un sommet plat serait la morphologie initiale de l'amas. Le sédiment s'avère brun-rouge et inclut une forte densité de scories.
89-472-002	Les Grands Usages n° 2, Bois des Croix	715444	6744523	-756/208	Amas de déchets de réduction	2400	1	60	40	Ouil (non déf.)	Grand amas ovalaire recoupé par la route en partie à peu près centrale. Il présente une surface supérieure plane et bosselée en raison de nombreux trous d'extraction. Comme souvent la partie centrale semble en grande partie évitée et ne subsiste qu'un contour d'environ 1 m de haut que l'on peut suivre de manière presque continue, correspondant aux restes du front d'exploitation et donc à une partie intacte de l'amas. En surface les scories ne sont que peu visibles mais les fronts d'exploitation permettent d'appréhender leur forte densité. Elles sont prises dans un sédiment marron-gris à jaune.
89-472-003	Les Grands Usages n° 3	715658	6745087		Amas de déchets de réduction	5000	1,5	110	50	Très remanié	Grand amas très réexploité, ce qui rend la délimitation des contours approximative. Ces derniers sont néanmoins visibles sous la forme d'un large bourrelet semblant intact, d'environ 1,50 m de haut, correspondant probablement aux vestiges intacts de l'amas. La surface supérieure paraît plate. Il est constitué de zones de terre noire et de terre rouge incluant de fréquentes scories. En limite de parcelle, il est recoupé par un fossé. Un fragment de charbon a été prélevé dans une scorie interne.
89-472-004	Les Grands Usages n° 4	715853	6745216	-396/-207	Amas de déchets de réduction	750	0,7	33	25	Intact	Amas de forme approximativement ovale, de profil bombé à sommet plat, à la surface régulière. Le sédiment marron-rouge comprend des scories éparées, peu visibles en surface. Un sondage de 90 x 80 cm a été réalisé jusqu'à une profondeur de 50 cm. Deux niveaux ont été observés. Jusque - 40 cm il s'agit d'un sédiment marron-rouge incluant des scories pouvant atteindre une taille décimétrique. Les racines sont nombreuses sur les 25 premiers centimètres. Une couche inférieure, épaisse d'une dizaine de centimètres est constituée d'un limon poudreux marron-noire et inclut des fragments de scories, et notamment un gros bloc pluri-centimétrique.
89-472-006	Les Grands Usages n° 6	715494	6744413	-377/-178	Amas de déchets de réduction	2600	2,5	60	55	Ouil (non déf.)	Vastes amas, assez haut, dont la partie centrale est réexploitée. Il présente un profil bombé et une surface irrégulière dont sont donnés les traces de réexcavation. L'amas subsiste à partir d'une couche aplombée constituée de terre très noire, fine et poudreuse, comprenant une très forte densité de scories. Ce type de gros blocs de scories piégées sont visibles en surface. L'un d'entre eux a été cassé et contenait du charbon.
89-472-009	Les Grands Usages n° 9	715763	6745030		Amas de déchets de réduction	1200	0,3	40	40	Ouil (non déf.)	Amas de forme ovale, de profil faiblement bombé et de surface régulière. Un chemin le traverse. Il est constitué d'un sédiment marron-jaune avec de faibles concentrations de scories en surface. Un sondage de 70 x 70 cm a été réalisé et conduit. Jusque - 50 cm sur l'argile jaune à silex. Il révèle un seul niveau de terre fine marron-jaune comprenant une très forte proportion de scories, dont parfois de gros blocs pluridécimétriques. Les 5 premiers centimètres correspondent à la couche d'humus, constituée de terre végétale grise avec une faible proportion de scories.
89-472-010	Les Grands Usages n° 10	715497	6744532	-338/70	Amas de déchets de réduction	80	0,8	10	10	Intact	Petit amas ovalaire irrégulier sur le gros amas de scorie n°89-472-005. Il est de profil bombé et intact. Il est constitué d'une terre noire poudreuse comprenant une forte proportion de fragments de scories. Un sondage a été ouvert sur le côté nord de l'amas, au pied de la butte assez marquée. Il mesure 1 m sur 80 cm de côté et a été mené jusqu'à une profondeur de 75 cm. Le sondage a été arrêté après la mise au jour d'une très grosse scorie coulée mesurant au moins 70 cm x 30 cm en partie prise dans la coupe. Les 5 cm supérieurs correspondent à l'humus avec de la terre grise riche en racines, comprenant de nombreux fragments centimétriques de scories, de - 5 cm à -25 cm la couche de déchets est emballée dans de la terre grise sombre. Quelques fragments décimétriques de scories coulé, ainsi que de la porcelaine sont visibles. Des fragments de charbons ont été prélevés. De - 25 cm à - 60 cm la couche de déchets est emballée dans le même type de sédiment, de couleur plus bruni et les fragments sont de plus petite taille. A partir de - 60 cm la strate s'avère très différente. La surface supérieure est horizontale et le sédiment correspond à de la terre fine rougeâtre, meuble, comprenant des fragments de scories de différentes tailles. Les 40 premiers centimètres correspondent à l'amas 89-472-010 tandis que la couche inférieure correspond probablement à l'amas antérieur n°89-470-005.
89-472-012	Les Grands Usages n° 12	715981	6743771	710/957	Amas de déchets de réduction	750	0,2	30	30	Ouil (non déf.)	Amas aux contours diffus caractérisé par une concentration éparse de scories prises dans un sédiment rougeâtre et répartis sur une centaine de mètres. Il n'est visible par aucun relief. Un sondage de 80 x 90 cm de côté a été mené afin de vérifier la présence d'une réelle zone de dépôt. Il a été conduit jusque 46 cm de profondeur, sur le terrain naturel d'origine blanche. Le sédiment mis en évidence est de la terre fine rougeâtre limono-sableuse comprenant de faibles concentrations de scories de taille décimétrique. Les 10 premiers centimètres sont constitués de terre grise mêlée de racines. Un charbon individualisé a été prélevé à -36 cm. Le petit amas 89-472-013 semble s'être implanté sur le site 012.

n° de site	Lieu dit (nom de site J.-P. Piatak)	Coordonnées RGF93 X	Coordonnées RGF93 Y	Dates radiocarbone calibrées	Type de site métallurgique	Surface (m ²)	H. (m)	L. (m)	I. (m)	Destructions	Description
89.472.0.13	Les Grands Usages n° 13	715987	6743801	606/774	Amas de déchets de réduction	80	0,8	10	10	Oui (non déf.)	Petit amas ovale, à la surface bombée et bosselée par plusieurs trous d'extraction postérieurs. Il est constitué d'un sédiment marron foncé à noir comprenant une forte proportion de scories. Cet amas est situé dans une zone avec de nombreux trous aux contours irréguliers. Il semble s'être implanté sur le site O12. Un sondage de 0,80 x 1 m a été mené jusqu'à 50 cm de profondeur, sur la terre naturelle. Il révèle un amas constitué d'un sédiment noir incluant une forte proportion de scories. La seule différence tient à la densité de racines, plus fréquente sur les 30 premiers centimètres.
89.472.0.14	Les Grands Usages n° 14	716151	6744302	641/775	Amas de déchets de réduction	40	0,5	10	5	Oui (non déf.)	Petit amas ovale, de profil bombé à la surface bosselée. Trois trous d'extraction rendent la délimitation de son contours imprécis. Le sédiment est marron foncé et comprend une forte proportion de scories. Le sondage de 60 cm x 1 m a été mené jusqu'à 45 cm, sur le terrain naturel d'argille jaune à silex. On observe une seule couche constituée de terre noire poudreuse incluant une forte proportion de scories et de fragments de parois, quelques blocs décimétriques et pluridécimétriques sont présents vers le fond du sondage. Les 15 premiers centimètres incluent une forte proportion de racines.
89.472.0.15	Les Grands Usages n° 15	715680	6744367	-51/116	Amas de déchets de réduction	1000	1,5	35	35	Oui (non déf.)	Grand amas de plan ovale, de profil bombé, à la surface bosselée étant domé la présence de grands trous d'extraction en surface et sur le pourtour. Le sédiment est de couleur marron à rougeâtre dans l'épaisseur, couleur évoquant une contamination par une altération des parois de four cuites. En surface les scories sont éparpillées tandis que dans les chablis on observe de fortes concentrations de déchets. Un sondage a été mené jusqu'à 60 cm de profondeur. Les premiers 40 cm incluent des fragments de scories écoulés pris dans un sédiment marron-rougeâtre comprenant de la terre cuite désagrégée et des fragments de parois scoriées. En surface, sur 25 cm, la nature du sédiment est identique bien que comprenant de nombreuses racines. Les 20 dernières centimètres sont constitués essentiellement de terre cuite. Le sondage a été interrompu sur l'argille blanche naturelle.
89.472.0.16	Les Grands Usages n° 16	715620	6744386	681/885	Amas de déchets de réduction	30	0,25	6	6	Ponctuels	Petit amas ovale, qui semble en partie déversé en bord de pente qu'il comblerait. Sa surface est régulière bien que deux trous d'extraction soient visibles dans la partie inférieure. Il est constitué de terre marron foncée et contient une forte densité de scories. Un sondage de 90 x 70 cm a été réalisé en milieu de pente, dans une zone de forte densité de scories. Il a permis de prélever plusieurs plaques de scories contenant des charbons. Le sondage a été conduit sur 70 cm et a été mené jusqu'au terrain naturel. Les 25 cm supérieurs correspondent à de la terre végétale mêlée de petits nodules de terre. Les 45 cm inférieurs correspondent à de la terre marron noire poudreuse comprenant des fragments de scories et de parois. Le terrain naturel est de l'argille blanche à silex.
89.472.0.18	Bois des Usages n° 1	714015	6738564		Amas de déchets de réduction	400	0,7	30	20	Oui (non déf.)	Amas de forme ovale à irrégulier de profil bombé et bosselé du fait de la présence de nombreux trous d'extraction visibles sur sa surface. Il est également recoupé par un chemin. La densité de scories est forte dans un sédiment de terre noire pourpreuses. Sa délimitation repose davantage sur la répartition des scories que sur la délimitation d'un relief. Un sondage a été réalisé dans une partie coupée par le chemin. Le creusement réalisés mesure 90 sur 80 cm et a été mené jusqu'à 40 cm de profondeur jusqu'au sol naturel. 3 niveaux ont été enregistrés en comptant le terrain naturel. Les 5 cm superficiels correspondent à la couche d'humus se distinguant de la couche inférieure, observée de -5 à -35 cm est une couche de déchets métallurgiques emballés dans de la terre gris-noire très meuble et légère. Quelques scories plus grosses sont visibles en surface, mais elles restent en majorité de petite taille infr-décimétrique. Quelques fragments de parois ont été observés. La terre naturelle a été observée à - 40 cm et correspond à un limon sablo-argileux de couleur blanc jaune très claire.
89.472.0.19	Bois des Usages n° 2	714393	6738821	601/676	Amas de déchets de réduction	20	0,8	5	4	Inactif	Petit amas de forme ovale, de profil légèrement bombé, constitué d'un sédiment gris noir dans lequel sont prises de fortes concentrations de scories. Un sondage de 60 cm de côté a été réalisé jusqu'au terrain naturel atteint à une profondeur de 40 cm. La coupe révèle une strate homogène de terre gris-noire poudreuse comprenant une forte proportion de fragments de scories et de terre cuite. Les dix derniers centimètres contenaient davantage de scories et sont indurés, sans que l'on constate de changement de couleur.
89.472.0.20	Bois des Usages n° 3	714450	6738939	601/673	Amas de déchets de réduction	250	0,6	20	15	Inactif	Petit amas de plan circulaire, de profil bombé à la surface régulière, constitué d'une terre brunâtre comprenant des nodules de terre cuite et une très forte densité de fragments de scorie. Un sondage de 80 cm de côté a été réalisé jusqu'à une profondeur de 80 cm, sans atteindre le sol naturel. Les 15 centimètres supérieurs correspondent à la terre végétale humifère, de couleur grise et comprenant de nombreuses racines. Entre - 15 cm et - 55 cm il s'agit d'une couche marron comprenant de fins nodules de terre rubéfiée et de gros blocs pluridécimétriques de scories. A partir de - 55 cm le sédiment est une couche noire chargée en fragments de scories plus petits et en nodules de terre cuite et parois de four. Le sédiment terreux est quasiment absent. C'est dans cette dernière couche que des fragments de charbons ont été prélevés.
89.472.0.21	Bois des Usages n° 4	713508	6738730		Amas de déchets de réduction	3800	1,5	80	60	Oui (non déf.)	Amas de forme générale circulaire, visible à partir d'une légère élévation constituant un profil bombé. Les scories éparpillées sont prises dans un encaissant terreux marron à gris clair. Il s'agit d'un secteur semblant fortement perturbé.

n° de site	Lieu dit (nom de site J.-P. Piétek)	Coordonnées RGF93 X	Coordonnées RGF93 Y	Dates radiocarbone calibrées	Type de site métallurgique	Surface (m ²)	H. (m)	L. (m)	l. (m)	Destructions	Description
89.472.022	Bois des Usages n° 5	713972	6728643		Amas de déchets de réduction	300	0,5	25	15	Oui (non déf.)	Amas de plan ovale formant un léger relief bombé et bosselé. Les scores sont éparsses en surface et prises dans un sédiment gris clair. Il s'agit d'une faible concentration de scores dont la répartition ne suit pas forcément le relief.
89.472.023	Bois des Usages n° 6, Les Raigons	713954	6728976		Amas de déchets de réduction	5000	0,7	100	70	Oui (non déf.)	Gros épannage de scores de plan presque quadrangulaire, situé aux trois quarts dans un champs et se poursuivant sur une petite partie en forêt. Son profil est plat et les scores sont éparsses en surface. Un sondage a été réalisé en forêt, en bordure du chemin. Le sondage mesure 90 cm de côté et a été enterré jusqu'à 35 cm de profondeur, sur un éventuel sol constitué de nombreux silex brûlés, certains étant pulvérisés en place. Les 5 cm supérieurs correspondent à une terre forestière grise comprenant des racines ainsi que de petits fragments centimétriques de scores. De -5 à -25 cm il s'agit d'une couche constituée principalement de déchets de scores de taille décimétrique emballés dans une terre granuleuse fine orangée. Très peu de fragments d'argile ont été observés.
89.472.024	Bois des Usages n° 7, La Grilloterie	713631	6728942	892/1021	Amas de déchets de réduction	3000	0,7	75	50	Très remaniés	Amas situé dans un champ visité après les moissons. Les scores sont fréquentes et se présentent en une concentration bien visible au sol (il s'agit de la zone relevée) et semblerait se poursuivre dans la continuité, mais séparé du champs par une route.
89.472.025	Bois des Usages n° 8	714031	6728934	-356/-54	Amas de déchets de réduction	2000	0,8	40	25	Oui (non déf.)	Amas de plan ovale, de faible élévation mais présentant un profil légèrement bombé. Sa surface est bosselée et présente des concentrations différentielles de scores. En surface les concentrations de scores sont fortes et sont notamment visibles dans un chablis. Le sédiment encaissant est de couleur gris foncé.
89.472.026	Bois des Usages n° 9	713813	6728750		Amas de déchets de réduction	260	0,3	20	16	Oui (non déf.)	Amas de plan circulaire, quasiment plat, comprenant des scores éparsses réparties dans un sédiment brun clair. Cet amas n'est quasiment visible que par la différence de couleur marquant son emplacement. Un sondage de 70 cm de côté a été réalisé et conduit jusqu'au sol d'origine situé à 45 cm de profondeur. Trois niveaux superposés ont été relevés : Du sol actuel à -10 cm : terre forestière beige à gris clair comprenant de nombreuses racines et des fragments de scores en faible quantité. De -10 à -35 cm Il s'agit d'un limon très fin se différenciant très peu par sa couleur de la couche d'humus. La taille des débris a tendance à s'accroître vers la partie inférieure de ce niveau. Les fragments de scores et de parois ont été retrouvés en petits regroupements. De -35 à -45 cm il s'agit du sol d'origine blanc jaune contenant de micro-fragments de charbon.
89.472.027	Bois des Usages n° 10	713642	6728896	1052/1263	Amas de déchets de réduction		0,7	9	7	Intact	Parti amas de plan ovale, intact, présentant un faible profil bombé. Les scores sont fréquentes et prises dans un encaissant de terre noire. Un sondage de 60 cm de côté a été réalisé et conduit jusqu'à la terre naturelle, de l'argile blanche située à 50 cm sous le niveau actuel. Les 10 premiers centimètres correspondent à la couche d'humus riche en racine, elle ne se différencie que peu de la couche de terre noire charbonneuse incluant les fragments de scores. Des fragments de charbon ont été prélevés dans les dix derniers centimètres inférieurs, en relation avec des fragments de scores de plus petits modules.
89.472.040	L'Usage des Sources	717290	6743370		Amas de déchets de réduction	2300	0,6	70	40	Très remaniés	Il s'agit d'un vaste amas dont les contours restent indéterminés étant donné la végétation trop dense, ne permettant que difficilement d'en faire le tour. Il présente une légère élévation et un sommet plat. D'importants remaniements sont visibles probablement en surface supérieure, ainsi qu'à partir de trous d'extraction ponctuels. Les scores sont fréquentes à éparsses suivant les secteurs.
89.472.041	Bois Tendu n° 7	717240	6743483	-371/-176	Amas de déchets de réduction	7000	3	130	60	Oui (non déf.)	Très grand amas, fortement réexploité pour lequel il n'a pas été possible de dessiner des contours approximatifs. Sa surface est bosselée et constituée de trous d'extraction. Une butte de 3 m d'élévation permet de restituer la hauteur importante de certains parties de cet amas. Les scores, fréquentes, sont prises dans un sédiment terreux de couleur gris-noir.

Photographie et logs des sondages à Villiers-Saint-Benoit (89.472)

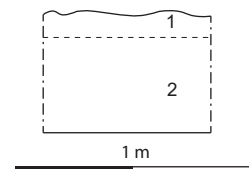
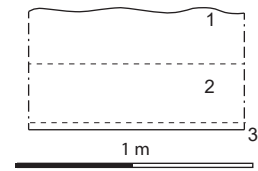
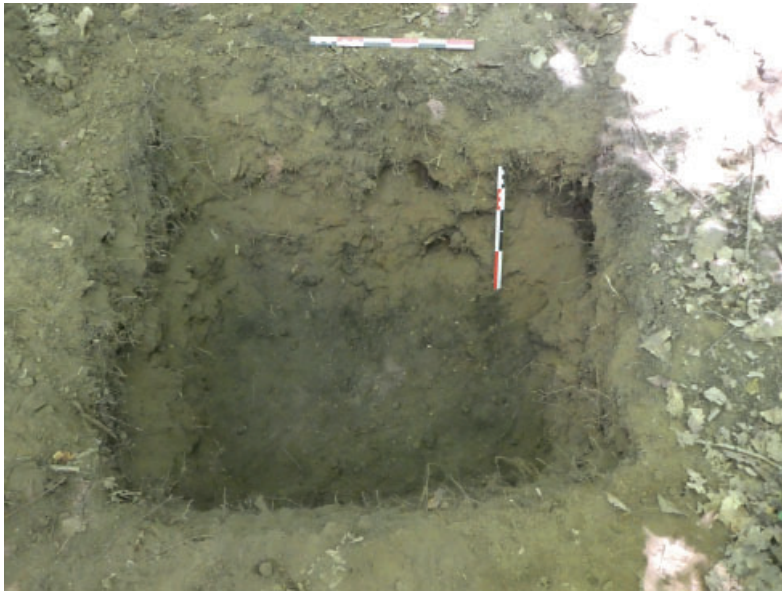


Figure n°179. Villiers-Saint-Benoit 89.472.009 (grands amas). Vue générale du sondage et log.

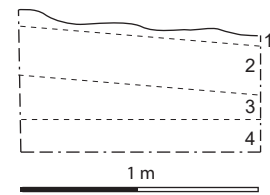


Figure n°180. Villiers-Saint-Benoit 89.472.010 (petit site). Vue générale et log. Présence d'une grosse plaque de scorie dans le fond du sondage, interrompu avant le terrain naturel.



Figure n°181. Villiers-Saint-Benoit 89.472.012. Vue générale : on voit le site 89.472.013 (petit amas) dans le fond. Log du site 012.

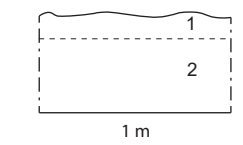




Figure n°182. Villiers-Saint-Benoit 89.472.013 (petit site). Vue du sondage et log

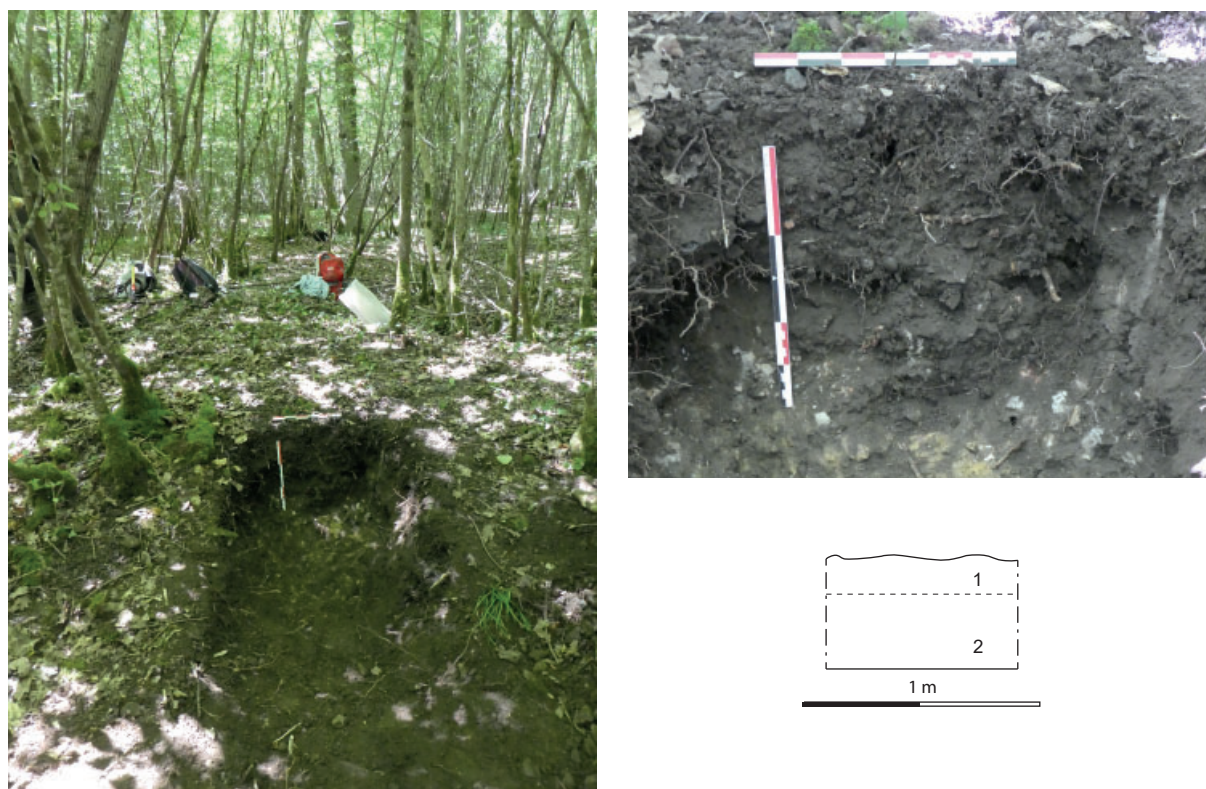


Figure n°183. Villiers-Saint-Benoit 89.472.014 (petit site). Vue générale du sondage, et log

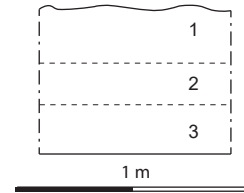


Figure n°185. Villiers-Saint-Benoit 89.472.015 (grands amas). Vue du sondage et log.

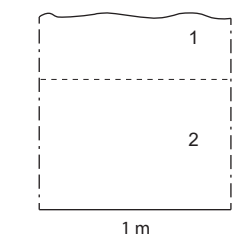


Figure n°184. Villiers-Saint-Benoit 89.472.016 (petit site). Vue du sondage et log

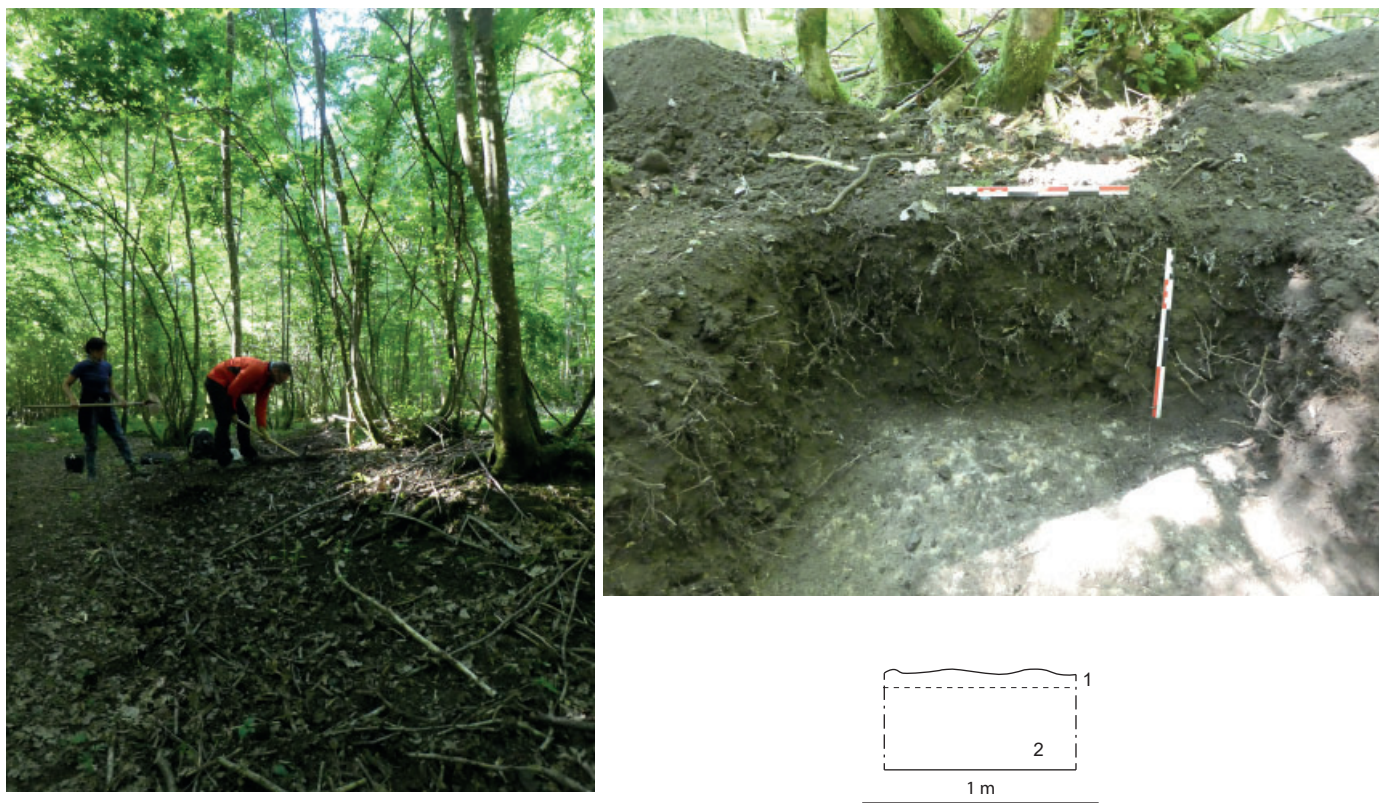


Figure n°186. Villiers-Saint-Benoit 89.472.018 (petit site). Vue du sondage et log.



Figure n°187. Villiers-Saint-Benoit 89.472.019 (petit site). Vue du sondage et log.

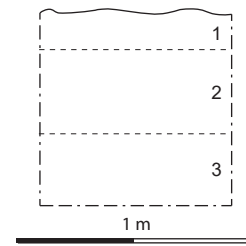


Figure n°188. Villiers-Saint-Benoit 89.472.020 (petit site). Vue du sondage et log.

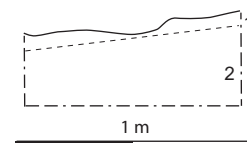


Figure n°189. Villiers-Saint-Benoit 89.472.023 (grands amas). Vue du sondage et log.

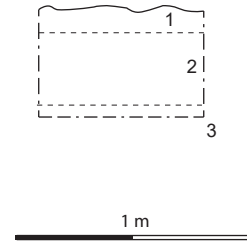


Figure n°190. Villiers-Saint-Benoit 89.472.026 (site discret). Vue du sondage et log.

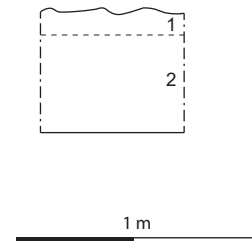


Figure n°191. Villiers-Saint-Benoit 89.472.027 (petit site). Vue du sondage et log.

Inventaire des Unités stratigraphiques, commune de Saint-Fargeau 89.344

N° Site	N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteurs	Mobilier prélevés
89.344.004	101	Couche constituée de scories et parois fragmentées emballées dans un sédiment de terre cuite désagrégées de couleur rouge orangé. La densité des déchets est forte. De gros fragments de scories sont visibles vers la surface inférieure. Les fragments de scories sont décentriques à pluridécentriques	Couche de rejet de scories	102	Terrain naturel	M. Berranger, M. Leroy	Charbons, scories
89.344.004	102	Couche constituée majoritairement de scories prises dans un sédiment terreux gris noir comprenant de nombreuses racines. La densité de déchets est moins forte que dans 101, et il s'agit essentiellement de fragments centimétriques à pluricentimétriques.	Écoulement de lamas de déchets sur la pente	103		M. Berranger, M. Leroy	
89.344.004	103	Mélange de scories et de racines	Humus		102 - 101	M. Berranger, M. Leroy	
89.344.004		Terrain naturel					
89.344.013	101	Couche de fragments de scories de type A2-A3-A4 et de fragments de paroi de four en terre cuite en forte densité avec sédiment interstitiel limono-argileux jaune-beige, nombreux fragments cm et pluri cm de charbon de bois. Comble une dépression subcirculaire en surface du terrain naturel.	Lambeau de l'amas de scories	103	Terrain naturel	M. Leroy	Charbons, scories
89.344.013	102	Couche d'argille jaune à passées blanchâtre		103	Terrain naturel	M. Leroy	
89.344.013	103	Couche de fragments de scories cm à dcm et de fragments de paroi de four en terre cuite dans un sédiment limoneux marron-brun plus abondant que dans US 101; morceaux de charbon de bois	Lambeau de l'amas de scories ou couche remaniée ?	106	102-103	M. Leroy	
89.344.013	104	Couche de fragments de scories cm à dcm et de fragments de paroi de four en terre cuite dans un sédiment terreux brun-gris, plus aérée que US 103; paraît visuellement délimiter un creusement en fosse peignant l'US 103 et entaillant le terrain naturel	Comblement d'une fosse correspondant à un état postérieur à l'exploitation métallurgique	105		M. Leroy	
89.344.013	105	Couche de fragments de scories emballés dans un sédiment de couleur gris-brun, peu compact, riche en racines et radicelles, évoquant un horizon de couche forestière; la limite inférieure avec les US 103 et 104 sous-jacentes n'est pas très nette bien que perceptible par la différence de compacité du sédiment et de densité des scories.	Humus		103	M. Leroy	
89.344.013	106	Creusement	Fosse postérieure à l'exploitation métallurgique	105		M. Leroy	
89.344.013		Terrain naturel					
89.344.013	201	Terre comprenant de nombreuses racines et des fragments centimétriques de scories.	Humus			M. Berranger, M. Leroy	
89.344.013	202	Limons argileux jaunes incluant des scories de taille centimétrique à décimétrique, de manière éparse. Présence également de rares fragments de parois décentriques, et de quelques silex	Remaniement de l'amas	201		M. Berranger, M. Leroy	
89.344.013	203	Couche de terre fine limoneuse, gris-marron foncé incluant de nombreux fragments de scories de taille centimétrique. Couche très compacte	Lambeau de l'amas de scories	202		M. Berranger, M. Leroy	charbon, scories, parois
89.344.013	204	Couche de terre fine limoneuse, gris-marron foncé incluant de nombreux fragments de scories de taille centimétrique. Couche très compacte	Lambeau de l'amas de scories	203		M. Berranger, M. Leroy	

89.344.013	205	Couche indurée constituée de cailloux rougeâtre, évoquant du minerai grillé, pris dans le sol naturel	Zone de grillage de minerai ?	202	M. Berranger, M. Leroy	Mineral, charbon
89.344.013	Terrain naturel	Argile jaune avec un peu de silex				
89.344.003	101	Horizon plus ou moins discontinu de morceaux de charbons de bois cm à pluri cm et de fragments cm de terre cuite orangée et gris-bleuté (parois de four) dans un sédiment de limoneux jaune-beige avec plages de couleur rouille (oxydes de fer); épaisseur cm à quelques cm.	Probable reliquant d'un niveau d'occupation	102-1	M. Leroy, F. Magar	Charbons, scories
89.344.003	102	Couche argilo-limoneuse blanchâtre contenant des inclusions de charbon de bois.	Couche très probablement remaniée	104	M. Leroy, F. Magar	
89.344.003	103	Couche de fragments dcm de scories et de parois de four, en densité importante, dans un sédiment de couleur gris-noir. Pas de stratification interne visible.	Couche de rejet de scories en place ?	106	M. Leroy, F. Magar	
89.344.003	104	Couche de fragments dcm de scories et de parois de four, en densité importante, dans un sédiment de couleur gris-noir.	Couche très probablement remaniée	106	M. Leroy, F. Magar	
89.344.003	105	Couche de fragments de scories emballés dans un sédiment de couleur gris-brun, peu compact, riche en racines et radicelles, évoquant un horizon de couche forestière ; la limite inférieure avec l'US 103 sous-jacente n'est pas très nette bien que perceptible par la différence de compacité du sédiment et de densité des scories; la limite avec US 104 est plus franche ; au-dessus de US 105 la délimitation est très floue, cependant la présence de rognons de silex dans US 106 uniquement au-dessus de US 105, laisse penser que le creusement <US 107> entaille aussi US 106.	Comblement d'une fosse correspondant à un état postérieur à l'exploitation métallurgique	106 ?	M. Leroy, F. Magar	
89.344.003	106	Horizon de terre végétale forestière gris noir avec nombreux fragments de scories pluricentimétriques	Humus		M. Leroy, F. Magar	
89.344.003	107	Creusement de forme subcirculaire qui semble entailler toutes les couches depuis le niveau supérieur US 106	Fosse postérieure à l'exploitation métallurgique	105	M. Leroy, F. Magar	
89.344.003	Terrain naturel	Limons-argileux jaune avec quelques rognons de silex			M. Leroy, F. Magar	

Inventaire des mobiliers prélevés à Villiers-Saint-Benoit et Saint-Fargeau en 2020

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	Catégorie	Type déchet	NR	Masse	L (mm)	l (mm)	ép.
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	12	1145			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	40	8625			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	5	5230			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	6	513			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A6) En tuyau fin	3	514			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	2380			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.SC1	(F) Scorie piégée	(F3) Fond de four riche en charbon	1	9370			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.Min10	Frag. masse brute	Min3	1	81	57	35	27
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.Min11	Minéral en cours de transformation	Min3	1	84	46	48	50
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.Min12	Minéral en cours de transformation	Min3	1	175	79	59	37
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Orifice de ventilation		2	5170			
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Paroi scorifiée		2	1600			
89.344.004	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	19	7530	275	153	97
89.344.004	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	9915				
89.344.004	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(E2) Interne non compacte	2	198			
89.344.004	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Minéral en cours de transformation	Min. scorie	6	121			
89.344.004	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Paroi scorifiée		12	537			
89.344.004	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Paroi scorifiée		6	603			
89.344.010	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	6	1200			32
89.344.010	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		1	450			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	15	2438			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SCS0	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	68			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SCS1	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	66			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SCS2	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	94			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SCS3	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	73			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SCS4	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	61			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles		1850			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles		3795			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	2	323			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses corchées	2	238			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte		1660			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Event			21			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Paroi scorifiée		1	52			
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Paroi scorifiée			536			
89.344.013	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	5	941			
89.344.013	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles		5755			
89.344.013	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles		5165			
89.344.013	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	3	431			
89.344.013	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	2	397			
89.344.013	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Paroi scorifiée		1	101			
89.344.014	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	4	462			
89.344.014	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	26	2150			
89.344.014	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses corchées	3	203			
89.344.014	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		Paroi scorifiée		1	1045			
89.472.001	VILLIERS-SAINT-BENOIT	Les Grands Usages n° 1		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A5) En boudins accolés	1	481			
89.472.002	VILLIERS-SAINT-BENOIT	Les Grands Usages n° 2		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	389			
89.472.002	VILLIERS-SAINT-BENOIT	Les Grands Usages n° 2	89.472.002	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	2	3245			
89.472.003	VILLIERS-SAINT-BENOIT	Les Grands Usages n° 3		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	2	2925			
89.472.003	VILLIERS-SAINT-BENOIT	Les Grands Usages n° 3		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	15	4095			
89.472.003	VILLIERS-SAINT-BENOIT	Les Grands Usages n° 3		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	2	1060			
89.472.004	VILLIERS-SAINT-BENOIT	Les Grands Usages n° 4		(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	10	378			

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	Catégorie	Type déchet	NR	Masse	L (mm)	l (mm)	ép.
89.472.004	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 4		(F) Scorie plégée	(F5) Accumulation d'écoimts tortueux	10	3500			
89.472.004	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 4		(F) Scorie plégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	1	9730			
89.472.004	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 4		(F) Scorie plégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	1	4150			
89.472.006	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 6		Paroi scoriifiée		1	868			
89.472.006	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 6	89.472.006.SC3	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	771			
89.472.006	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 6	89.472.006.SC4	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	2570			
89.472.006	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 6		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	1280			
89.472.006	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 6	89.472.006	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	2	1435			
89.472.006	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 6		(F) Scorie plégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	5	2955			
89.472.009	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 9		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	2	908			
89.472.009	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 9		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	2	3210			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	5	257			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10	89.472.010.SC2	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	5	2580			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	4945			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10	89.472.010.SC3	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	10	2435			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	2800			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	10	1935			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10	89.472.010	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	3	380			
89.472.010	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 10		Paroi scoriifiée		1	2920			
89.472.012	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 12		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	12	28			
89.472.012	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 12		Paroi scoriifiée		2	4480			
89.472.013	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 13		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	2	322			
89.472.013	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 13		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Ecmt cordé à limites visibles	1	3340			
89.472.013	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 13		Paroi scoriifiée		1	368			
89.472.014	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 14		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	5	737			
89.472.014	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 14	89.472.014.SC2	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	5	5500			
89.472.014	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 14		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B1) Bulleuses non cordées	1	7555			
89.472.015	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 15		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	1615			
89.472.015	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 15		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	2	2485			
89.472.015	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 15		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	4	797			
89.472.015	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 15		Paroi scoriifiée		4	1970			
89.472.016	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 16		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	2	4525			
89.472.016	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 16		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	2	1295			
89.472.016	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Les Grands Usages n° 16		Paroi scoriifiée		2	620			
89.472.018	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 1		(A) Ecoulement cristallisé dense		2	3470			
89.472.018	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 1		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	15	1635			
89.472.018	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 1		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B1) Bulleuses non cordées	4	1790			
89.472.019	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 2		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	6	6560			
89.472.019	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 2		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	1	346			
89.472.019	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 2		Paroi sur baquettes		2	1115			
89.472.020	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 3		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	5	14535			
89.472.020	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 3	89.472.020.SC3	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	3	2150			
89.472.020	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 3		Paroi scoriifiée		3	198			
89.472.021	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 4		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	15	2355			
89.472.021	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 4		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	3	595			
89.472.021	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 4		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A4) Ecmt non cordé dense	7	4160			
89.472.021	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 4		Paroi scoriifiée		7	385			
89.472.022	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 5		(F) Scorie plégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	5	538			
89.472.022	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 5		(F) Scorie plégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	3	1785			
89.472.022	VILLERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 5		Paroi scoriifiée		10	2580			

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	Catégorie	Type déchet	NR	Masse	L (mm)	l (mm)	ép.
89.472.023	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 6		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	4	2475			
89.472.023	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 6		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)		5	2235			
89.472.024	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 7		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	10	10100			
89.472.025	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 8		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	3	3085			
89.472.025	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 8		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	3	1430			
89.472.025	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 8		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	4	1040			
89.472.025	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 8	89.472.025	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	3	2365			
89.472.026	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 9		(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux		908			
89.472.026	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 9		(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulimts tortueux		2785			
89.472.026	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 9		(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire		543			
89.472.027	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 10		Paroi scorifiée			3790			
89.472.027	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 10		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	20	2810			
89.472.027	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 10		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	9	5205			
89.472.027	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois des Usages n° 10		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	1	440			
89.472.040	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	L'Usage des Souches		(A) Ecoulement cristallisé dense		3	3055			
89.472.041	VILLIERS-SAINT-BENOÎT	Bois Fendu n° 7	89.472.041	(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire		9730			

Annexe 2. Acquisitions géophysiques

Christelle Sanchez

PCR la sidérurgie en
Bourgogne Franche
Comté

FICHE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE : MAGNETIQUE

intervention : Saint Fargeau 2020 n° site : 89.344.020-040 Opérateur : Sanchez Christelle

année 2020	Date de l'opération	18 et 19 août
	Responsable de l'opération	Marion Berranger

LOCALISATION	
Commune : St Fargeau	Surface prospectée : 6150 m ²
Lieu-dit : Bois de Bailly	Coordonnées : <input checked="" type="checkbox"/> oui
Propriétaire : Commune de St Fargeau	lambert RGF 93 EPSG 2154 <input type="checkbox"/> non

DESCRIPTION	<input checked="" type="checkbox"/> Plat / Terrasse <input type="checkbox"/> Pente
Etat du terrain : forêt	COMMENTAIRE En raison d'un important travail de préparation pour la géophysique (coupe des branches, végétation basse etc) le terrain peu être qualifié de très favorable pour des acquisitions en forêt
<input checked="" type="checkbox"/> Avant décapage <input type="checkbox"/> Après décapage	
Etat de la végétation : petite végétation coupée entre les arbres	
Environnement métallique : absence d'éléments métalliques	

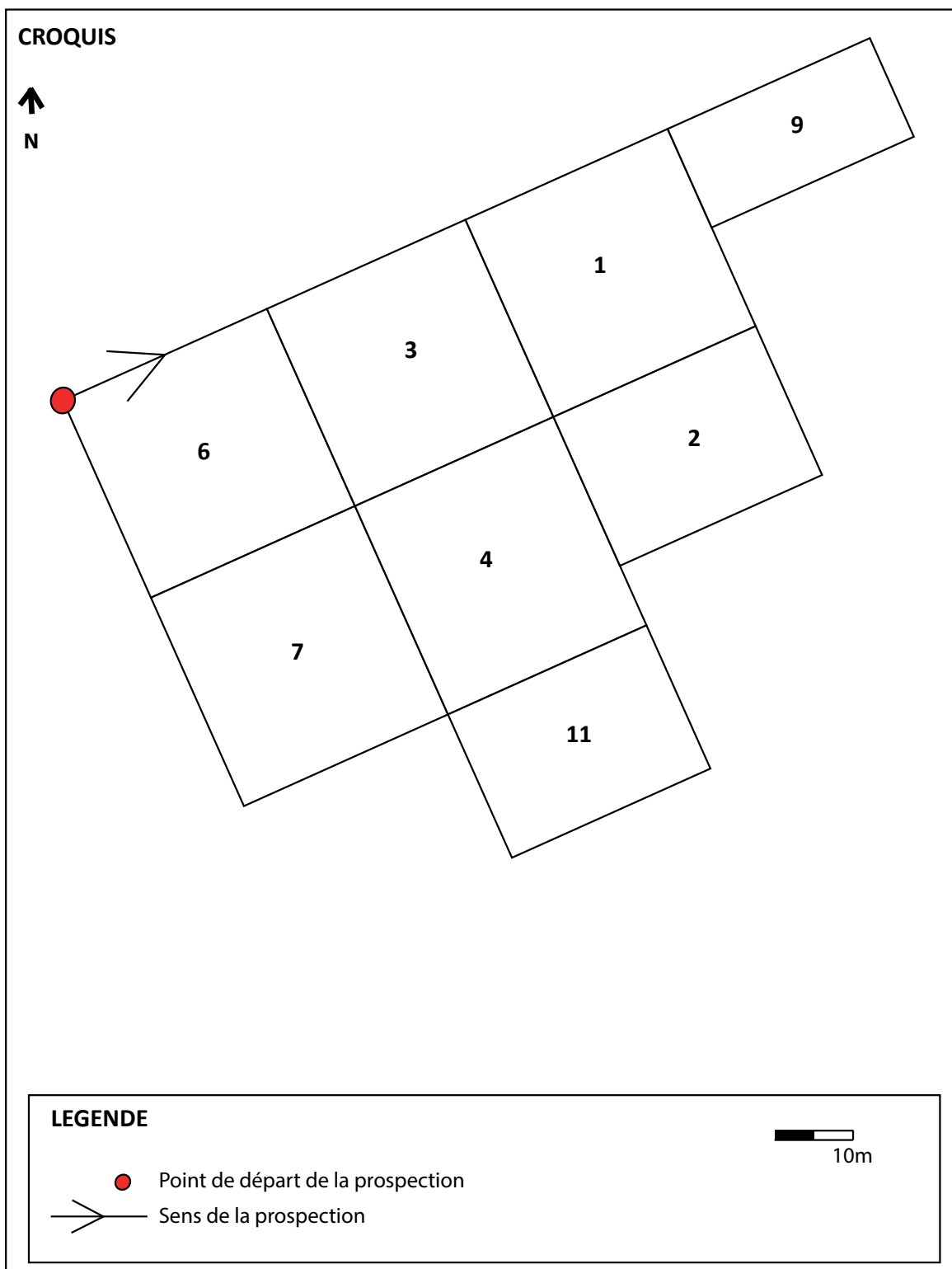
TOPOGRAPHIE	Appareil : système GNSS Trimble	Auteur : Patrick Nogues, INRAP	<input checked="" type="checkbox"/> Décamètre
<input checked="" type="checkbox"/> GPS			<input type="checkbox"/> Equerre optique
<input checked="" type="checkbox"/> Tachéomètre			

TERRAIN	<input checked="" type="checkbox"/> Zig-Zag <input type="checkbox"/> Parallèle
Appareil : GRAD 601 Bartington	COMMENTAIRE
Intervalle de mesure : 0.1 s.	
Intervalle de ligne : 1 mètre	
Orientation de l'acquisition : Ouest/Est	
Hauteur des capteurs par rapport au sol : 17.5 cm	

TRAITEMENTS	Logiciel et version : Wumap - 5.81 Surfer - 11.6.1159
<input checked="" type="checkbox"/> Interpolation	COMMENTAIRE Ecrété les valeur abérantes transformée de fourrier
<input type="checkbox"/> Filtrage par la médiane	
<input checked="" type="checkbox"/> Délignage	
<input type="checkbox"/> Correction des festons	

PCR la sidérurgie en
Bourgogne Franche
Comté

FICHE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE : MAGNÉTIQUE



PCR la sidérurgie en
Bourgogne Franche
Comté

FICHE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE : ELECTROMAGNETIQUE

intervention : Saint Fargeau 2020 **n° site :** 89.344.020-040 **Opérateur :** Sanchez Christelle

année 2020	Date de l'opération	20 et 21 août
	Responsable de l'opération	Marion Berranger

LOCALISATION

Commune : St Fargeau	Surface prospectée : 1950 m ²
Lieu-dit : Bois de Bailly	Coordonnées : <input checked="" type="checkbox"/> oui
Propriétaire : Commune de St Fargeau	lambert RGF 93 EPSG 2154 <input type="checkbox"/> non

DESCRIPTION

état du terrain : petite végétation coupée entre les arbres

autre : En raison d'un important travail de préparation pour la géophysique (coupe des branches, végétation basse etc) le terrain peu être qualifié de très favorable pour des acquisitions en forêt

TOPOGRAPHIE

- GPS
 Tachéomètre

Appareil :

Auteur :

- Décamètre
 Equerre optique

TERRAIN

Appareil : GF Instrument CMD mini Explorer

- Allé-retour Sondage électrique
Géométrie: HCP VCP

Intervalle de mesure : 0.2 s

Intervalle de ligne : 0.5 m

Orientation de l'acquisition : Ouest/Est

Coordonnées de la base :

910573.11/6594859.95

COMMENTAIRE

TRAITEMENTS

inphase quadrature

- | | |
|-------------------------------------|---|
| <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> Interpolation |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Filtrage par la médiane |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Délignage |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Correction des festons |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Filtrage passe-bas |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> Filtrage passe-haut |

Filtre(s) manuel(s) :

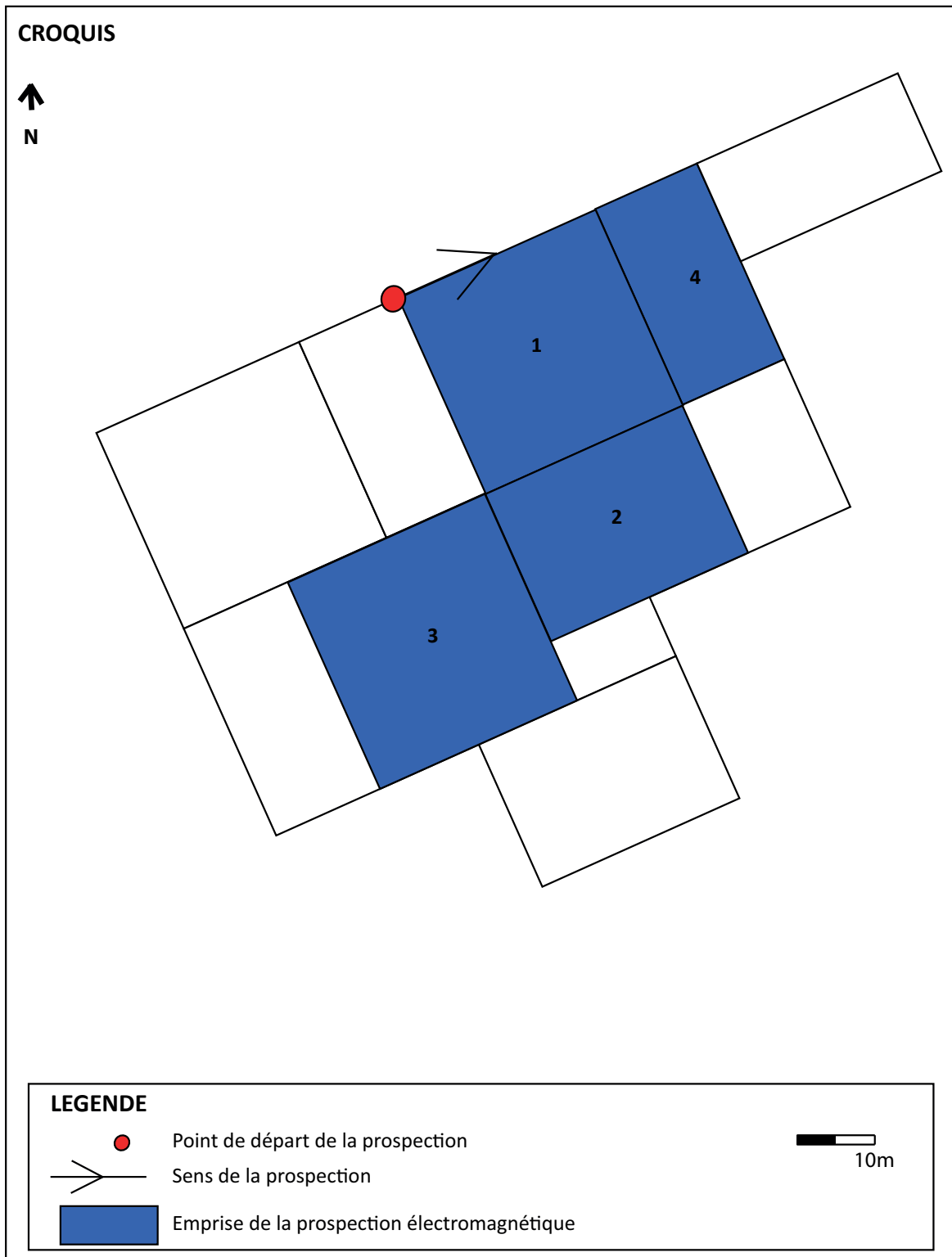
élimination des variations locales

COMMENTAIRE

déplacement des profils en fonction des emetteurs
recepteur

PCR la sidérurgie en
Bourgogne Franche
Comté

FICHE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE : ELECTROMAGNETIQUE



PCR la sidérurgie en
Bourgogne Franche
Comté

FICHE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE : MAGNETIQUE

intervention : Saint Fargeau 2020 n° site : 89.344.014 Opérateur : Sanchez Christelle

année 2020	Date de l'opération 19 août
	Responsable de l'opération Marion Berranger

LOCALISATION	
Commune : St Fargeau	Surface prospectée : 900 m ²
Lieu-dit : Bois de Bailly	Coordonnées : <input checked="" type="checkbox"/> oui
Propriétaire : Commune de St Fargeau	lambert RGF 93 EPSG 2154 <input type="checkbox"/> non

DESCRIPTION	<input checked="" type="checkbox"/> Plat / Terrasse <input type="checkbox"/> Pente
Etat du terrain : forêt	COMMENTAIRE En raison d'un important travail de préparation pour la géophysique (coupe des branches, végétation basse etc) le terrain peu être qualifié de très favorable pour des acquisitions en forêt
<input checked="" type="checkbox"/> Avant décapage <input type="checkbox"/> Après décapage	
Etat de la végétation : petite végétation coupée entre les arbres	
Environnement métallique : absence d'éléments métalliques	

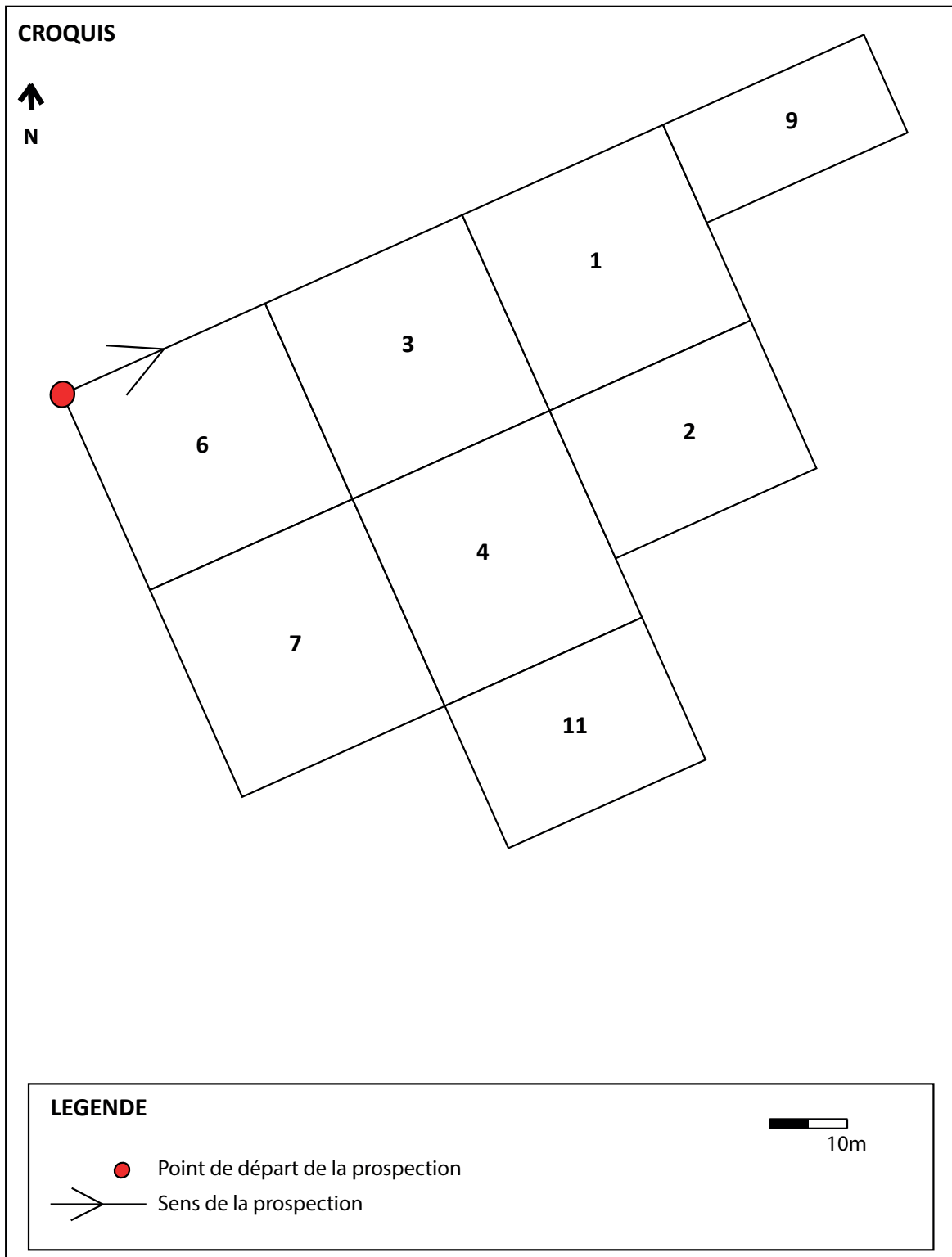
TOPOGRAPHIE	Appareil :	<input checked="" type="checkbox"/> Décamètre
<input checked="" type="checkbox"/> GPS	GPS de randonnée	<input type="checkbox"/> Equerre optique
<input type="checkbox"/> Tachéomètre		

TERRAIN	<input checked="" type="checkbox"/> Zig-Zag <input type="checkbox"/> Parallèle
Appareil : GRAD 601 Bartington	COMMENTAIRE
Intervalle de mesure : 0.1 s.	
Intervalle de ligne : 1 mètre	
Orientation de l'acquisition : Est /Ouest	
Hauteur des capteurs par rapport au sol : 17.5 cm	

TRAITEMENTS	Logiciel et version : Wumap - 5.81 Surfer - 11.6.1159
<input checked="" type="checkbox"/> Interpolation	COMMENTAIRE
<input type="checkbox"/> Filtrage par la médiane	
<input checked="" type="checkbox"/> Délignage	
<input type="checkbox"/> Correction des festons	

PCR la sidérurgie en
Bourgogne Franche
Comté

FICHE DE PROSPECTION GÉOPHYSIQUE : MAGNETIQUE



Annexe 3. Calcul de volumes d'écoulements individualisés en boudins, à travers la modélisation tridimensionnelle.

J.-C. Méaudre

Sur la base des acquisitions en 3 dimensions effectuées sur deux blocs de scories A5, en boudins accolés (voir chap. 2.2.2.), des calculs du volume général des scories ont été effectués. Se posait également la question du calcul de volume de boudins individualisés, scellés dans les blocs.

La numérisation des blocs de scorie, et en particulier l'édition de pdf-3D, facilite en premier lieu la lecture des artefacts. A travers une interface dynamique, ces photomodèles dégradés permettent de manipuler des blocs, opération difficilement envisageable dans la réalité en raison de leur masse. La seconde application est ici d'ordre métrologique : quantifier les volumes, qu'il s'agisse des blocs ou de cordons isolés.

Les deux blocs mesurent ainsi respectivement 31,2L (Aillant_F1_301_Sc19) et 23,3L (Aillant_F1_301_Sc20). Au regard de nombre minimum de cordons par blocs (≥ 47 et > 49), les volumes moyens par cordon sont ainsi de 0,66L et 0,52L.

Les extrémités de cinq cordons ont pu être détournées (Figure 1 et Figure 2). Le principe étant ici de multiplier la surface d'une des extrémités, ou la moyenne des deux, par la distance séparant ces deux facettes, c'est-à-dire la longueur du cordon. Afin d'obtenir des données significatives, seules les cassures perpendiculaires au cordon ont été prises en compte. Certaines facettes présentent en effet des surfaces accidentées formant une aire totale anormalement élevée. A l'inverse, certains éléments, partiellement recouverts par les cordons alentours, présentent des surfaces relativement faibles. Afin de faciliter la lecture du tableau qui suit, les données significatives sont fournies en bleu (Figure 3).

En dernier lieu, cinq tranches isolées ont été détournées. Elles permettent de souligner l'amplitude des sections des cordons. Ce delta, qui va du simple au triple, est assez similaire pour les deux blocs. Bien que les valeurs hautes et basses soient assez similaires sur les deux blocs, les sections semblent de taille beaucoup plus standards sur le bloc Sc20.

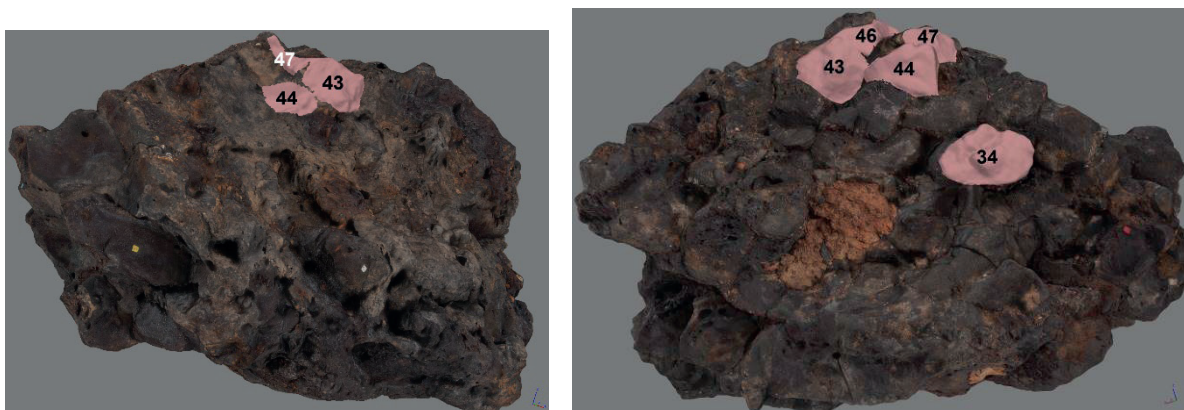


Figure n°192. Aillant_F1_301_Sc19, localisations des facettes détournées

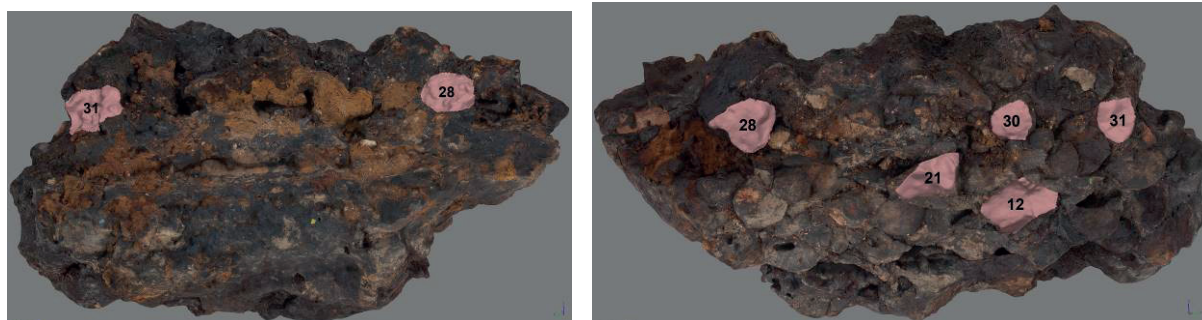


Figure n°193. Aillant_F1_301_Sc19, localisations des facettes détournées

	Volume global : 31,2 L
Aillant_F1_301_Sc19	Nb de cordons : ≥ 47
	Vol. moyen : ≤ 0,66L
Cordon 43	
Facette 43A	30,53 cm ²
Facette 43B	27,41 cm ²
Longueur	17,2 cm
Volume	470 < 500 < 525 cm ³
Cordon 44	
Facette 44A	17,5 cm ²
Facette 44B	41,2 cm ²
Longueur	19,5 cm
Volume	340 < 570 < 800 cm ³
Cordon 47	
Facette 47A	8 cm ²
Facette 47B	14,8 cm ²
Longueur	13,8 cm
Volume	110 < 157 < 205 cm ³
Valeurs extrêmes	
Facette 46A	12,9 cm ²
Facette 34A	35 cm ²

	Volume global : 25,3L
Aillant_F1_301_Sc20	Nb de cordons : > 49
	Vol. moyen : < 0,52L
Cordon 28	
Facette 28A	25,9 cm ²
Facette 28B	25,75 cm ²
Longueur	18,2 cm
Volume	468 < 470 < 471 cm ³
Cordon 31	
Facette 31A	44,3 cm ²
Facette 31B	15,8 cm ²
Longueur	14,5 cm
Volume	229 < 436 < 642 cm ³
Valeurs extrêmes	
Facette 30B	12,5 cm ²
Facette 21B	22,4 cm ²
Facette 12B	32,5 cm ²

En bleu : valeur significative

Figure n°194. Tableau synthétique des données extraites du photomodèle

Annexe4. Compositions chimiques en éléments majeurs des échantillons de minerais de fer et de scories de réduction des sites étudiés en Puisaye (ICP-MS, SARM-CRPG-CNRS).

Rapport triennal 2018-2020, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions»

Commune	Site	n° site	n° échantillon	Qualificatif	Interprétation	n° CRPG	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	MnO %	MgO %	CaO %	Na2O %	K2O %	TiO2 %	P2O5 %	P.F. %	Total %	
Minerais																			
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-305-Min31	minerai rouge-violeté	type Min1	1809095	6,75	1,80	89,09	0,29	0,09	0,31	<L.D.	0,16	0,07	0,31	1,41	100,28	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S4-401-Min36	minerai rouge-violeté	type Min1	1809094	13,28	5,14	76,65	0,61	0,16	0,48	0,03	0,23	0,23	0,13	3,50	100,43	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	89.003.001-Min10	minerai rouge-violeté	type Min1	1809110	4,96	1,93	88,67	0,25	0,10	0,29	<L.D.	0,09	0,10	0,12	2,61	99,10	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F2	89.003.002	89.003.002-Min102	minerai rouge-violeté	type Min1	1809096	1,77	0,16	82,49	0,34	0,12	0,12	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	14,71	99,70	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F2	89.003.002	89.003.002-Min103	minerai rouge-violeté	type Min1	1809098	9,95	3,26	82,05	0,33	0,17	0,16	<L.D.	0,10	0,11	0,29	3,75	100,16	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers	89.003.000	89.003.000-Min104	minerai rognon	type Min1	1809099	3,77	1,37	92,50	0,38	0,04	0,11	<L.D.	0,07	0,06	0,20	1,82	100,32	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F9	89.003.009	89.003.009-Min135	Minerai	type Min2	1909101	5,25	0,71	79,42	0,53	0,03	0,10	<L.D.	0,05	0,03	0,20	13,55	99,87	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F9	89.003.009	89.003.009-Min136	Minerai	type Min2	1909102	14,39	4,36	65,64	0,17	0,16	0,17	<L.D.	0,22	0,21	0,11	13,87	99,31	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F20	89.003.020	F20.219-Min134	Minerai	type Min2	1909099	11,43	3,46	81,75	0,32	0,09	0,33	<L.D.	0,11	0,16	<L.D.	2,08	99,94	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F2	89.344.002	89.344.002-Min23	Gangue de minerai ?	type Min4	1909094	84,92	0,37	13,37	0,09	<L.D.	0,13	<L.D.	0,05	<L.D.	0,05	0,18	99,10	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F2	89.344.002	89.344.002-Min24	Minerai	type Min4	1909093	6,20	3,17	86,99	0,42	<L.D.	0,12	<L.D.	0,03	0,14	<L.D.	3,09	100,16	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F3	89.344.003	89.344.003-Min12	Minerai	type Min3	1909095	4,45	1,15	79,12	0,10	<L.D.	0,06	<L.D.	0,06	0,12	13,90	98,94		
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F3	89.344.003	89.344.003-Min11	Minerai	type Min3	1909096	8,54	4,63	71,20	0,16	0,04	0,08	<L.D.	0,07	0,14	0,14	14,13	99,12	
Scores																			
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-302-SFC5	score écoulé type A2		1711113	24,62	6,70	71,75	0,55	0,25	0,72	0,03	0,33	0,31	0,28	-5,85	99,67	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-309-SC4	score écoulé type A2		1711117	30,12	7,39	60,23	2,38	0,46	1,39	0,05	0,65	0,37	0,35	-4,59	98,80	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-302-SC42	score écoulé type A4		1809105	35,60	8,99	52,17	2,77	0,59	2,31	0,06	0,89	0,43	0,34	-5,13	99,01	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-309-SC3	score écoulé type A4		1711119	37,48	8,41	52,10	2,01	0,50	1,91	0,06	0,77	0,44	0,27	-5,10	98,84	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S2-201-SC43	score écoulé type A5		1809103	33,16	9,07	56,54	1,74	0,58	1,84	0,05	0,85	0,42	0,44	-4,75	99,93	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S2-201-SC41	score écoulé type A5		1809104	32,06	9,21	57,24	1,64	0,58	1,50	0,04	0,83	0,42	0,45	-4,52	99,44	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-301-SC13	score écoulé type A5		1711122	34,69	9,60	54,88	1,59	0,58	1,92	0,06	0,83	0,46	0,40	-4,43	100,55	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-301-SC14	score écoulé type A5		1711123	30,31	7,59	61,91	1,95	0,40	1,35	0,04	0,57	0,34	0,40	-5,26	99,61	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-302-SC6	score écoulé type A5		1711118	34,99	8,79	52,55	2,18	0,58	2,23	0,06	0,85	0,43	0,43	-4,26	98,83	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-302-SC6	score écoulé type A5		1711116	35,17	8,79	52,89	2,19	0,58	2,22	0,06	0,85	0,43	0,44	-4,36	99,25	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S3-302-SC6	score écoulé type A5		1909097	40,73	11,00	45,80	1,02	0,52	2,95	0,07	0,79	0,51	0,33	-3,18	98,82	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S4-402-SC11	score écoulé type D2		1711118	40,76	12,77	37,73	0,73	0,60	2,12	0,07	0,79	0,51	0,33	-3,18	98,82	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F1	89.003.001	F1-S4-402-SC12	score écoulé type D2		1711115	42,35	11,20	42,91	2,53	0,57	2,01	0,07	0,87	0,44	0,31	-3,55	99,70	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F2	89.003.003	89.003.002-SC110	score interne type F7		1909098	45,13	12,56	38,99	2,81	0,47	1,18	0,07	0,69	0,49	0,28	-3,80	98,87	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F3	89.003.003	F3-S1-102-SC7	score écoulé type D2		1711114	42,94	14,42	33,78	0,60	0,38	1,37	0,08	0,49	0,61	0,29	-2,74	99,48	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F3	89.003.003	F3-S1-103-SC10	score écoulé type C1		1711110	42,91	12,77	41,27	1,95	0,61	1,97	0,06	0,79	0,57	0,28	-3,47	99,69	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F3	89.003.003	F3-S1-103-SC8	score écoulé type D2		1711111	41,90	12,56	40,24	3,52	0,72	2,34	0,06	0,90	0,53	0,26	-3,51	99,50	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F3	89.003.003	F3-S1-103-SC9	score écoulé type D2		1711112	48,63	14,27	28,85	4,37	0,78	2,36	0,08	1,02	0,60	0,17	-1,70	99,43	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F3	89.003.003	F3-S1-103-SC23	score écoulé type D3		1809097	45,86	13,33	33,53	4,37	0,68	2,02	0,06	0,97	0,57	0,32	-3,26	98,44	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F5	89.003.005	F5.108-SC106	score écoulé type A3		1909103	32,17	8,88	53,70	6,34	0,30	1,05	0,05	0,47	0,40	0,54	-4,92	98,96	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F7	89.003.007	89.003.007-SC109V	score écoulé type C1 partie vitreuse		1909100	43,58	14,42	36,33	3,78	0,67	1,94	0,07	0,93	0,61	0,34	-3,65	99,00	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F7	89.003.007	89.003.007-SC109F	score écoulé type C1 partie cristallisée		1909104	38,28	12,70	45,11	3,09	0,57	1,58	0,06	0,75	0,53	0,43	-4,22	98,88	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F9	89.003.009	F9-S1-101-SC1	score écoulé type A1/A2		1711120	28,72	5,71	65,47	1,47	0,53	1,93	0,03	0,69	0,69	0,64	-6,22	99,24	
Alliant/Tholon	Bois des Ferriers F9	89.003.009	F9-S1-101-SC2	score écoulé type A1/A2		1711121	25,15	6,89	69,17	0,57	0,36	1,60	0,03	0,60	0,31	0,67	-6,41	98,93	
Alliant/Tholon	les Réserves F22	89.003.022	89.003.022-SC150	score "piégée" type F7		1909028	26,57	4,73	72,04	0,55	0,25	1,11	0,05	0,55	0,25	0,17	-6,75	99,50	
Alliant/Tholon	les Réserves F22	89.003.022	89.003.022-SC152	score "piégée" type F5		1909029	24,73	4,81	72,55	0,65	0,26	1,91	0,05	0,50	0,26	0,22	-5,63	100,30	
Alliant/Tholon	les Réserves F22	89.003.022	89.003.022-SC153	score "piégée" type F5		1909030	28,83	5,62	65,26	0,67	0,51	2,90	0,06	0,60	0,31	0,64	-6,41	98,93	
Alliant/Tholon	les Réserves F22	89.003.022	89.003.022-SC154	score "piégée" type F5		1909031	29,69	5,52	65,48	0,54	0,25	2,71	0,07	1,04	0,32	0,24	-5,98	99,88	
Alliant/Tholon	Les Boudsseaux F23	89.003.023	89.003.023-SC155	score "piégée" type F7		1909036	28,38	5,63	65,18	0,82	0,48	3,07	0,06	0,74	0,31	0,35	-5,40	100,22	
Alliant/Tholon	Les Boudsseaux F23	89.003.023	89.003.023-SC155	score "piégée" type F5		1909037	28,19	4,10	68,76	0,52	0,20	0,74	0,06	0,73	0,31	0,18	-4,49	99,32	
Alliant/Tholon	Les Boudsseaux F23	89.003.023	89.003.023-SC156	score "piégée" type F5		1909038	21,93	4,74	75,11	1,16	0,13	1,34	0,03	0,33	0,30	0,24	-5,17	100,15	
Alliant/Tholon	Les Boudsseaux F23	89.003.023	89.003.023-SC157	score "piégée" type F5		1909039	31,92	7,85	59,73	1,40	0,15	2,22	0,08	0,87	0,87	0,87	-4,78	100,10	
Villiers/Tholon	la Prée Murée F1	89.473.001	89.473.001-SC5	score écoulé type D3		1909027	51,09	15,13	24,57	5,56	0,73	2,20	0,07	1,05	0,60	0,13	-9,82	98,82	
Villiers/Tholon	la Prée Murée F3	89.473.003	89.473.003-SC5	score écoulé type D3		1909024	49,70	9,77	26,80	10,61	0,90	2,34	0,07	1,08	0,38	0,26	-2,34	99,56	
Villiers/Tholon	la Prée Murée F3	89.473.003	89.473.003-SC6	score écoulé type D1		1909025	51,47	16,98	17,58	8,34	0,85	3,05	0,08	1,26	0,16	0,76	-1,66	98,89	
Villiers/Tholon	la Prée Murée F3	89.473.003	89.473.003-SC7	score écoulé type D1		1909026	48,79	11,51	32,29	6,28	0,72	1,91	0,06	0,97	0,46	0,25	-3,11	100,13	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F1	89.344.001	89.344.001-SC60	score écoulé type A2		1909048	24,51	5,13	74,73	0,81	0,43	1,00	0,05	0,64	0,42	0,22	-7,08	100,71	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F1	89.344.001	89.344.001-SC61	score écoulé type A2		1909049	25,82	5,80	71,99	0,96	0,37	1,16	0,06	0,56	0,31	0,21	-6,60	100,58	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F1	89.344.001	89.344.001-SC62	score écoulé type A2		1909050	23,48	3,56	76,44	1,39	0,47	1,49	0,06	0,69	0,22	0,27	-7,40	100,65	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F1	89.344.001	89.344.001-SC63	score écoulé type A2		1909051	23,26	5,87	76,14	0,83	0,24	0,73	0,05	0,43	0,28	0,16	-6,81	101,16	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F1	89.344.001	89.344.001-SC64	score écoulé type A2		1909052	26,09	5,64	71,36	0,76	0,41	1,05	0,06	0,59	0,30	0,23	-6,69	99,78	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F11	89.344.011	89.344.011-SC50	score écoulé type A1		1909063	34,48	5,96	58,12	1,16	0,72								

«Évaluation des productions»

Commune	Site	n° site	n° échantillon	Qualificatif	Interprétation	n° CRPG	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	P.F.	Total %	
																			%
Minerais																			
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F11	89.344.011	89.344.011.SC52	scorie écoulée type A1		1909065	32,01	5,50	60,99	1,39	0,68	2,09	0,08	1,19	0,32	0,22	-5,55	98,91	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F11	89.344.011	89.344.011.SC53	scorie écoulée type A1		1909066	31,48	6,88	60,92	1,16	0,40	1,37	0,07	0,97	0,38	0,11	-4,92	98,79	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F11	89.344.011	89.344.011.SC54	scorie écoulée type A1		1909067	29,45	5,45	66,71	0,88	0,40	1,34	0,06	0,83	0,32	0,19	-5,95	99,68	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F12	89.344.012	89.344.012.SC68	scorie écoulée type B		1909032	29,32	5,63	60,68	0,80	0,69	4,74	0,07	2,06	0,25	0,79	-5,34	99,68	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F12	89.344.012	89.344.012.SC69	scorie écoulée type B		1909033	27,07	5,44	65,29	0,80	0,62	4,19	0,06	1,85	0,23	0,65	-5,92	100,27	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F12	89.344.012	89.344.012.SC70	scorie écoulée type B		1909034	28,48	4,81	64,32	1,21	0,81	3,97	0,07	1,53	0,23	0,44	-5,64	100,21	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F12	89.344.012	89.344.012.SC71	scorie écoulée type B		1909035	31,83	5,67	58,37	0,88	0,66	4,51	0,07	2,04	0,25	0,72	-5,26	99,73	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F18	89.344.018	89.344.018.SC55	scorie écoulée type A1		1909038	32,47	5,77	60,95	1,09	0,69	2,82	0,08	1,20	0,34	0,22	-5,66	99,96	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F18	89.344.018	89.344.018.SC56	scorie écoulée type A1		1909039	33,93	6,07	59,59	1,95	0,70	2,34	0,07	1,15	0,33	0,23	-5,64	100,69	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F18	89.344.018	89.344.018.SC57	scorie écoulée type A1		1909040	33,75	5,67	60,30	1,24	0,63	2,84	0,08	1,20	0,34	0,23	-5,88	100,30	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F18	89.344.018	89.344.018.SC58	scorie écoulée type A1		1909061	34,21	6,15	59,48	1,96	0,70	2,39	0,07	1,18	0,33	0,23	-5,79	100,91	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F18	89.344.018	89.344.018.SC59	scorie écoulée type A1		1909062	32,97	5,39	61,11	1,00	0,69	2,76	0,08	1,10	0,33	0,19	-4,86	100,75	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F41	89.344.041	89.344.041.SC65	scorie écoulée type D1		1909040	56,63	11,15	19,65	3,32	1,50	5,95	0,07	1,90	0,51	< L.D.	-1,99	98,68	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F41	89.344.041	89.344.041.SC66	scorie écoulée type D1		1909041	56,22	11,00	20,35	3,25	1,47	5,85	0,07	1,90	0,51	< L.D.	-1,79	98,82	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F41	89.344.041	89.344.041.SC67	scorie écoulée type D1		1909042	51,18	9,57	20,95	9,20	1,59	6,15	0,09	2,07	0,41	0,18	-2,04	99,35	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F26	89.344.026	89.344.026.SC72	scorie "piégée" type F4		1909043	23,16	4,79	73,21	0,54	0,64	1,92	0,05	0,77	0,23	0,31	-5,68	99,93	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F26	89.344.026	89.344.026.SC73	scorie "piégée" type F6		1909044	24,65	4,73	73,30	0,46	0,50	1,72	0,03	0,66	0,21	0,13	-5,99	100,39	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F26	89.344.026	89.344.026.SC74	scorie "piégée" type F6		1909045	24,54	2,57	72,56	0,48	1,01	0,67	< L.D.	0,34	0,14	0,15	-1,64	100,82	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F26	89.344.026	89.344.026.SC75	scorie "piégée" type F5?		1909046	28,79	5,27	68,59	0,61	0,66	2,20	0,06	1,14	0,25	0,25	-6,60	104,20	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F26	89.344.026	89.344.026.SC76	scorie "piégée" type F4		1909047	14,29	3,42	84,06	0,35	0,32	1,09	< L.D.	0,19	0,15	0,16	-3,37	100,65	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F33	89.344.033	89.344.033.SC77	scorie "piégée" type F5		1909053	26,04	3,39	72,90	0,94	0,66	1,29	0,04	0,58	0,22	0,23	-5,98	100,30	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F33	89.344.033	89.344.033.SC78	scorie "piégée" type F5		1909054	22,87	4,63	75,15	0,58	0,71	1,70	0,06	0,83	0,25	0,18	-6,94	100,41	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F33	89.344.033	89.344.033.SC79	scorie "piégée" type F6		1909055	26,24	3,38	71,78	1,33	0,48	2,02	0,05	0,66	0,20	0,25	-5,93	100,43	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F33	89.344.033	89.344.033.SC80	scorie "piégée" type F7		1909056	27,29	4,84	68,00	0,64	0,89	1,65	0,06	1,11	0,29	0,20	-5,15	99,80	
Saint-Fargeau	Bois de Bailly F33	89.344.033	89.344.033.SC81	scorie "piégée" type F6		1909057	20,41	4,53	76,71	0,68	0,73	1,02	0,03	0,32	0,26	0,19	-4,36	100,51	
Treigny	Bois des Chataigniers 2	89.420.002	89.420.002.SC9	scorie "piégée" type F		1711186	24,49	3,56	73,75	0,90	0,51	1,64	0,04	0,77	0,22	0,25	-5,92	100,20	
Treigny	Bois des Chataigniers 2	89.420.002	89.420.002.SC7	scorie "piégée" type F		1711187	25,21	4,39	73,06	1,50	0,74	0,98	0,02	0,56	0,22	0,18	-6,78	100,06	
Treigny	Les Gathines Beauchet 1	89.420.001	SC15	scorie "piégée" type F		1711190	24,11	4,84	71,35	1,89	0,58	2,19	0,02	0,37	0,26	0,20	-5,48	100,32	
Treigny	Les Gathines Beauchet 1	89.420.001	SC16	scorie "piégée" type F		1711191	25,30	3,68	71,02	1,66	0,78	2,79	0,03	0,59	0,24	0,16	-6,16	100,09	
Treigny	Les Gathines Beauchet 2	89.420.002	SC20	scorie "piégée" type F		1711188	24,16	2,71	71,64	2,23	0,90	1,75	0,02	0,33	0,15	0,13	-3,94	100,07	
Treigny	Les Gathines Beauchet 2	89.420.002	SC17	scorie "piégée" type F		1711189	25,44	4,64	70,60	1,20	0,56	2,08	0,02	0,29	0,27	0,17	-4,69	100,57	
Dracy	La Grande Pâtur	89.147.010	89.147.010.SC5	scorie "piégée" type F		1809106	23,11	4,05	73,37	0,44	0,24	0,39	< L.D.	0,30	0,25	0,21	-2,82	99,53	
Dracy	La Grande Pâtur	89.147.010	89.147.010.SC6	scorie "piégée" type F		1809107	30,05	4,63	65,35	0,72	0,29	0,87	0,14	1,87	0,32	0,16	-4,47	99,92	
Dracy	La Grande Pâtur	89.147.010	89.147.010.SC7	scorie "piégée" type F		1809108	26,90	4,71	70,50	1,00	0,25	0,50	0,05	0,43	0,26	< L.D.	-4,22	100,36	
Dracy	La Grande Pâtur	89.147.010	89.147.010.SC8	scorie "piégée" type F		1809109	20,16	3,93	74,12	0,88	0,23	0,37	0,03	0,34	0,19	< L.D.	-1,48	98,78	
Dracy	Bois Guillou 1	89.147.001	GUILLOU1-S-01	scorie écoulée type D gris-bleu		2389	50,77	13,16	24,17	9,78	0,83	2,15	0,08	1,20	0,59	0,22	-3,21	99,73	
Dracy	Bois Guillou 2	89.147.002	GUILLOU2-S-01	scorie écoulée type D gris-noir		2388	55,33	11,05	24,18	4,82	1,09	2,41	0,08	1,62	0,46	0,21	-2,33	98,92	
Lavaux	Jubin	89.220.001	JUBIN-S-01	scorie écoulée type D bleu-vert		2390	51,87	9,70	19,11	5,80	1,94	9,18	0,10	2,10	0,43	0,24	-2,02	98,44	
Paroiss																			
Aillant/Tholon	Bois des Ferriers F3	89.003.003	F3-S1-103-P40	paroi scorifiée		1809100	81,93	5,30	9,90	0,15	0,19	0,94	0,02	0,49	0,37	0,16	0,09	99,55	
Aillant/Tholon	Bois des Ferriers F3	89.003.003	F3-S1-103-P39	paroi scorifiée		1809101	82,68	5,70	9,28	0,10	0,18	0,71	0,03	0,53	0,38	0,15	-0,10	99,64	
Aillant/Tholon	Bois des Ferriers F9	89.003.009	F9-101-SC26	paroi scorifiée		1809102	63,72	8,36	27,54	0,36	0,24	0,87	0,03	0,53	0,54	0,24	-2,80	99,60	

Annexe 5. Compositions chimiques en éléments traces des échantillons de minerais de fer et de scories de réduction des sites étudiés en Puisaye (ICP-MS, SARM-CRPG-CNRS).

