



HAL
open science

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

Marion Berranger, Michel Aubert, Olivier Girardclos, Margaux Herbrich, Rémy Jeannot, Hervé Laurent, Sylvie Laurent, Marc Leroy, Jean-Charles Méaudre, Sylvie Mouton-Venault, et al.

► To cite this version:

Marion Berranger, Michel Aubert, Olivier Girardclos, Margaux Herbrich, Rémy Jeannot, et al.. La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions. [Rapport de recherche] Laboratoire Métallurgies et Cultures - IRAMAT - UMR5060; DRAC Bourgogne - Franche-Comté; INRAP Dijon. 2019. hal-02502574

HAL Id: hal-02502574

<https://hal.science/hal-02502574>

Submitted on 9 Mar 2020

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

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

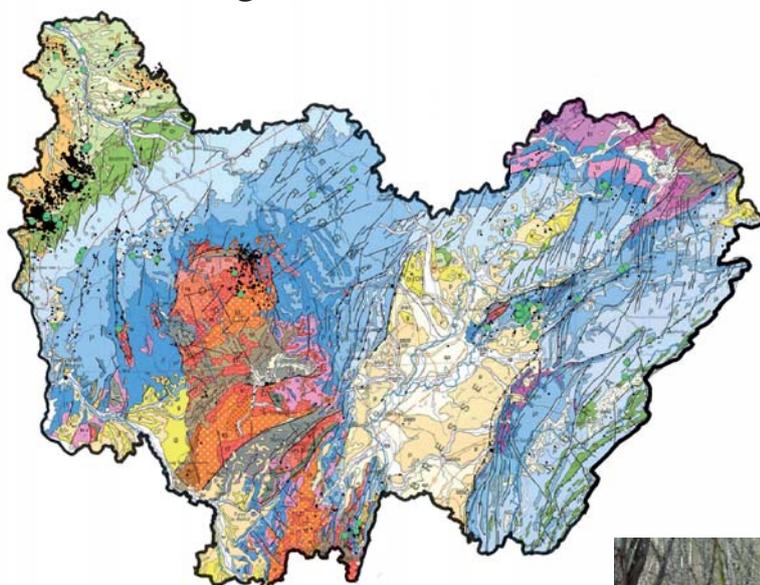


Institut national
de recherches
archéologiques
préventives



Projet Collectif de Recherche Rapport d'activité 2019

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



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 d'activité 2019

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

Sous la direction de Marion Berranger

Par Michel Aubert
Olivier Girardclos
Margaux Herbrich
Rémy Jeannot
Hervé Laurent
Sylvie Laurent-Corsini
Marc Leroy
Jean-Charles Méaudre
Sylvie Mouton-Venault
Paul Merluzzo
Jean-Pierre Piétak
Stéphane Venault
Céline Veysseyre
Ghislain Vinçent

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

Fiche signalétique 2019

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, BAUVAIS Sylvain, BERRANGER Marion, CHOEL Francis, DISSER Alexandre, DILLMANN Philippe, FLUZIN Philippe, JEANNOT Rémy, LEROY Marc, LEROY Stéphanie, MEAUDRE Jean-Charles, MERLUZZO Paul, PIETAK Jean-Pierre, VEGA Enrique.

- *Institut National de Recherches en Archéologie Préventive*

CABBOI Sandra, VENAULT Stéphane, MOUTON-VENAULT Sylvie, TISSERAND Nicolas, VEYSSEYRE Céline.

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

LAURENT Hervé, LAURENT-CORSINI Sylvie.

- *ArTeHiS, UMR 6298*

BULLY Aurélia, FLOUEST Jean-Loup, NOUVEL Pierre.

- *Laboratoire Chrono-environnement- UFC-UMR6249*

BARRAL Philippe, 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 2019	5
1. Présentation du programme de recherches.	9
1.1. L'archéométaballurgie dans le nord-est de la France : une longue tradition de recherche.	9
1.2. Présentation générale du programme de recherche.	10
1.3. Brève présentation des travaux engagés en 2019.	14
2. Méthodologie.	19
2.1. Approches méthodologiques : l'enregistrement des données.	19
2.2. Approches méthodologiques : la caractérisation des déchets et produits métalliques.	24
3. L'inventaire des sites de réduction	33
3.1. Résultats obtenus et datations en cours en 2019 dans le district de Berthelange (Doubs et Jura)	34
3.2. La chronologie à l'échelle de la Région	37
4. La Puisaye : résultats des travaux 2019	47
4.1. Introduction générale	53
4.2. Montholon « Le Bois des ferriers » : acquisitions LIDAR et datations radiocarbone sur les amas de scories	56
4.3. Saint Fargeau « Bois de Bailly » (89) : prospections, sondages et datations.	63
4.5. Etude des scories de réduction : typologie, assemblage des déchets et chronologie.	76
4.6. Recherches sur les minerais de fer en Puisaye : dépouillement bibliographique et premières observations archéologiques	92
4.7. Dendro-anthracologie, analyse exploratoire de ferriers à Montholon (Aillant-sur-Thollon)	103
4.8. Etude céramologique du mobilier de Toucy, «La Cour Batonnerie».	131
4.9. Une esquisse d'évolution chronologique des activités sidérurgiques en Puisaye.	139
5. Le Morvan-Auxois : résultats des travaux 2019	145
5.1. Introduction	149
5.2. État des connaissances avant l'opération : chronologie et géologie	149
5.3. Méthodologie et déroulement de l'opération	153
5.4. Résultats archéologiques.	154
5.5. Étude des déchets de production sidérurgique	162
5.6. Conclusion	165
6. Approche méthodologique de l'étude des forges : l'exemple d'Entrains sur Nohain (58), « 16 route d'Etai »	169
6.1. Méthodologie	169
6.2. Analyse détaillée du plan d'une forge	172

6.3. Catalogue des structures découvertes dans les forges d'Entrains-sur-Nohain "16 route d'Etats"	173
7. Perspectives pour 2020	197
7.1. Les espaces de réduction	197
7.2. Les ateliers de forgeage et la circulation des matières premières	197
8. Bibliographie	199
9. Liste des figures	207
ANNEXES	211
Annexe 1. Inventaires concernant la Puisaye	213
Annexe 2. Inventaires concernant le Morvan-Auxois	235

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 les possibilités d'accès à la matière première, 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

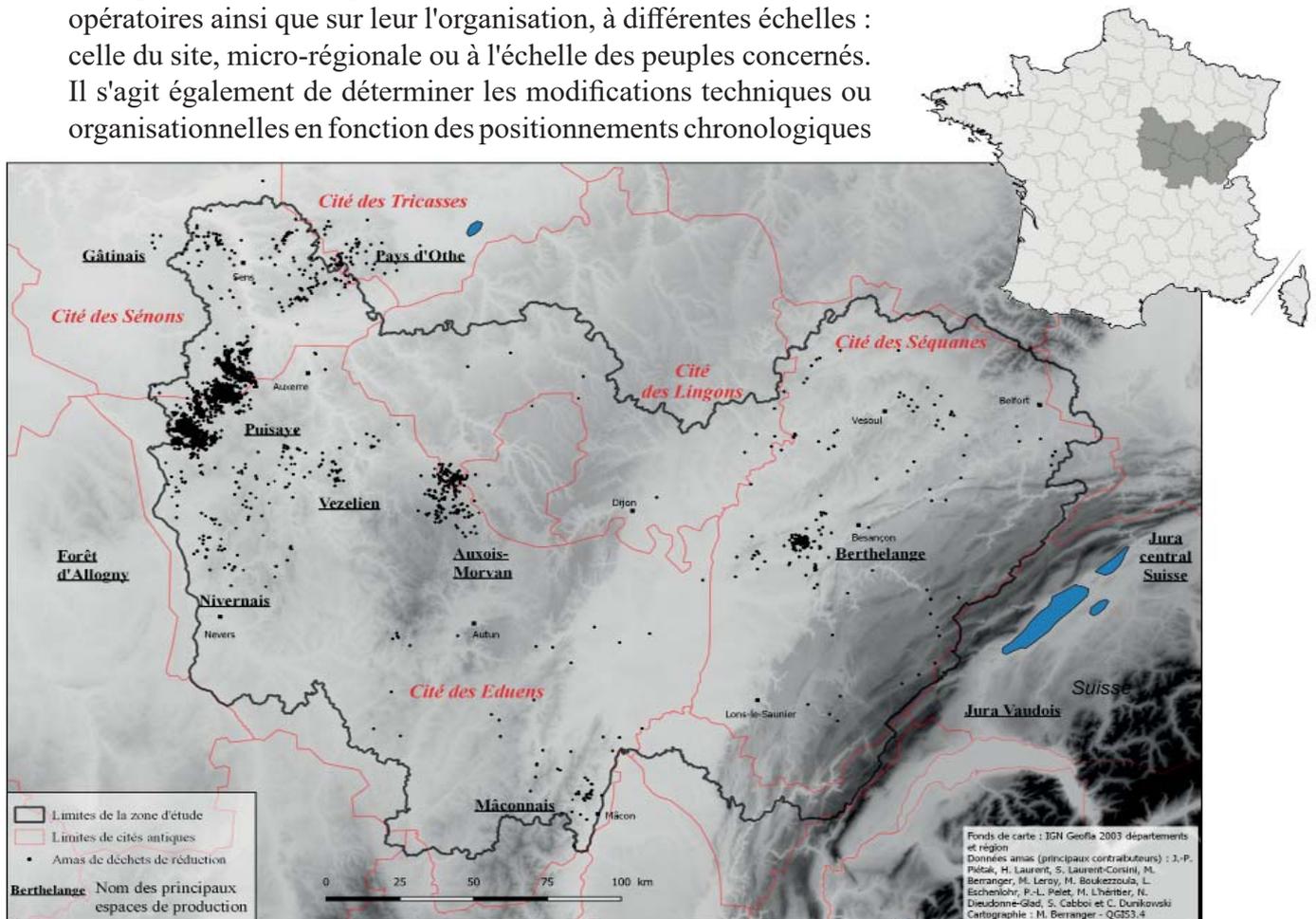


Figure n°1. Localisation des espaces de production connus au sein de la zone d'étude. Matérialisation des limites de cités antiques.

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 dans le cadre du PCR «sidérurgie» et doit encore se poursuivre avant de proposer de premières 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.

En ce qui concerne la chronologie deux périodes prioritaires sont étudiées : les âges du Fer et la période gallo-romaine. Elles sont en effet cruciales, afin d'étudier les modalités de développement des activités sidérurgiques, depuis leur mise en place durant les âges du Fer, jusqu'à un stade quasi-industriel durant l'époque romaine.

Dans les régions prises en compte, l'utilisation d'objets massifs en fer est attestée dès les VIII^e-VII^e s. av. J.-C. Matière première pour certains biens de prestige, on la retrouve dans la fabrication des épées accompagnant les défunts des tombes aristocratiques. En Côte d'Or, les épées des sépultures aristocratiques de Poiseul-la-Ville figurent ainsi parmi les plus anciennes connues du monde Hallstattien (Chaume, Feugère 1990 p. 59). L'origine du métal utilisé n'est encore pas déterminée : est-il local ? Mais très rares sont les sites de réduction du minerai de fer connus avant le V^e s. av. J.-C. dans ces régions. Sans exclure la possibilité d'une production locale, encore non avérée par les fouilles archéologiques, il reste néanmoins possible que le fer ait circulé à longue distance durant ces périodes anciennes.

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, tant de production de fer brut, que de fabrication d'objets, sont alors archéologiquement connus dans la région étudiée. Durant l'époque romaine, la production du fer connaît un nouveau stade de développement, et ce matériau est omniprésent dans les différentes sphères de la société : architecture, outillage, objet du quotidien etc.

Le rôle stratégique et économique de ce matériau ont amené à considérer que le contrôle des moyens de production et de la circulation des produits ferreux par les élites serait une caractéristique récurrente de ces sociétés. Néanmoins, il s'agit le plus souvent de postulats, s'appuyant rarement sur de véritables indices archéologiques.

Les travaux menés dans le cadre de ce programme peuvent parfois inclure des périodes plus tardives, principalement médiévales, soit pour le besoin de problématiques spécifiques (comme en Puisaye afin de mieux différencier sites anciens et plus récents), soit du fait de la documentation de terrain rencontrée (comme en zone de Berthelange où les sites de réduction

se rattachent quasiment tous à l'époque mérovingienne). Notre objectif n'est néanmoins pas, à ce stade, d'envisager une caractérisation de la sidérurgie sur toute sa période de développement. L'approche diachronique proposée a ainsi pour objectif de suivre l'évolution des échanges et de l'organisation des productions depuis les débuts des âges du Fer, quand ce matériau ne semble que peu diffusé au sein d'une sphère principalement aristocratique, jusqu'après la conquête romaine, alors qu'une profonde réorganisation dans la circulation et l'échelle des productions métallurgiques est constatée.

Ces problématiques rejoignent également les questionnements actuels cherchant à définir le rôle exact joué par le politique sur le contrôle des moyens de production et la nature de ce contrôle.

1.2.3. Corpus.

Les sites de réduction.

Un des premiers objectifs du programme vise à déterminer les conditions de productions 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 inclue 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 » restent en grande partie à effectuer 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 (comme le Morvan-Auxois cette année, voir chap. 5) 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. Une vingtaine de sondages réalisés sur une quinzaine d'amas de scories ont ainsi été effectués dans le cadre de ce programme. Près de 400 analyses chimiques de scories de réduction et de minerais sont à présent disponibles et concernent une dizaine d'espaces de production et une centaine de sites.

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.

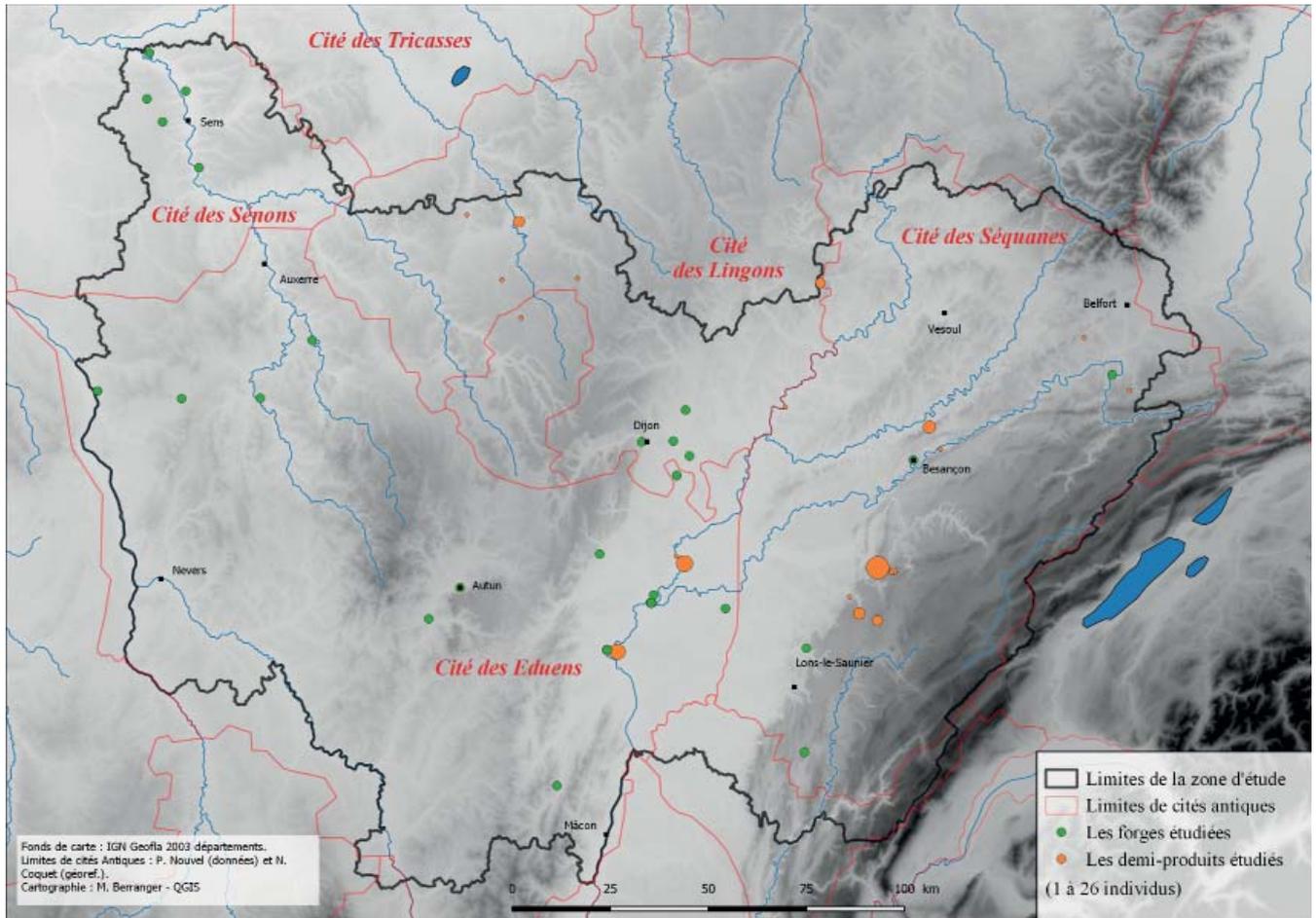


Figure n°2. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits.

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. Brève présentation des travaux engagés en 2019.

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 en 2019 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	Responsable projet, travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
CABBOI Sandra	INRAP IDF - LMC - UMR5060	Etudes interdisciplinaires et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
CHOEL Francis	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Etudes interdisciplinaires et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
DEVEVEY Frédéric	INRAP GES	Travaux sur Chevroches
DILLMANN Philippe	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
DISSER Alexandre	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires, travaux sur la Puisaye
DUNIKOWSKI Christophe	INRAP GSO - LMC-UMR5060	Etudes interdisciplinaires et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
FLOUEST Jean-Loup	Arthéis UMR5594	Etude de Bragny-sur-Saône
FLUZIN Philippe	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
GIRARDCLOS Olivier	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Anthracologie
JEANNOT Rémy	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Etudes interdisciplinaires et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
JOAN Lydie	INRAP GES - Chrono-env. UMR6249	Etude du site de Chavéna
LAURENT Hervé	DRAC-SRA F. Comté-LMC-UMR5060	Inventaire et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
LAURENT 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	Etudes interdisciplinaires et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
MEAUDRE Jean-Charles	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Photomodélisations 3D
MERLUZZO Paul	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Etudes interdisciplinaires et travaux de terrain sur les sites métallurgiques,
MOUTON-VENAULT Sylvie	INRAP	Etudes céramologiques
PIETAK Jean-Pierre	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Prospections en Puisaye
NOUVEL Pierre	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Encadrement d'étudiants
TURE Ingrid	INRAP Centre	DAO, PAO
THIVET Matthieu	CNRS - Chrono-env. UMR6249	Acquisitions LIDAR
TISSERAND Nicolas	INRAP GES - Arthéis UMR5594	Etude des mobiliers métalliques
SARRESTE Florian	EVEHA	Etude interdisciplinaire des sites métallurgiques, travaux de terrain
VEGA Enrique	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires, analyses MEB-EDS
VENAULT Stéphane	INRAP GES - UMR6249	Travaux de terrain sur les sites métallurgiques et les occupations associées. Etudes sur Entrains-sur-Nohain
VEYSSEYRE Céline	INRAP GES - Arthéis UMR5594	Documentation, gestion de la bibliothèque Zotero
VINCENT Ghislain	INRAP MED - ASM - UMR5140	Etudes sur le sites d'Entrains-sur-Nohain

Figure n°3. Liste des participants au PCR et détail des activités de chacun.

Les espaces de réduction.

Une grande partie de l'année a été consacrée en activités de terrain et en l'exploitation des données afférentes, sur deux espaces de réduction : la Puisaye (voir chap. 4) et le Morvan-Auxois (voir chap. 5).

En Puisaye, ces travaux sont intervenus dans la continuité des campagnes de terrain réalisées depuis 2017 et centrés jusqu'alors sur la zone du « Bois des Ferriers » à Aillant-sur-Tholon/ Montholon (89) au nord. Cette année, l'obtention des résultats des analyses radiocarbone et des analyses chimiques concernant les amas de scories échantillonnés ont permis d'avancer sur les synthèses chronologiques et technologiques concernant cette zone atelier. Nous disposons ainsi de 42 datations radiocarbone issues de 17 sites. Les résultats des datations permettent de reconnaître une activité sidérurgique débutant dans le courant des V^e-III^e s. av J.-C. et se poursuivant sans hiatus perceptible par la méthode radiocarbone jusqu'au début du IV^e s. ap. J.-C. Une nouvelle période d'activité est ensuite documentée pour les XI^e-XIII^e s. ap. J.-C.

En 2019, une nouvelle « zone-atelier », située dans le sud de la Puisaye, a été étudiée à Saint Fargeau « Bois de Bailly ». Une campagne de prospections et une autre de sondages ont été réalisées. 39 amas de scories ont été inventoriés et topographiés, des scories ont été prélevés sur la quasi-intégralité d'entre-eux. Il a été possible de prélever du charbon dans des scories sur 25 amas (8 sont datés, 4 sont en cours de datation). Un sondage au tractopelle a également été réalisé sur un amas très étendu (89.344.006), mais perturbé par les extractions récentes afin de déterminer l'épaisseur de déchets conservée et de réaliser des prélèvements en stratigraphie. Les premiers résultats permettent d'identifier un secteur d'activité bien plus ancien que celui étudié autour de Montholon. En effet la majorité des amas topographiés semblent se rattacher aux âges du Fer, à une période comprise majoritairement entre le VI^e et le III^e s. av. J.-C. d'après les premières datations radiocarbone obtenues.

Ces travaux de synthèse passent également par le calcul des volumes de ces amas de déchets. Un sujet de master, traité par Margaux Herbrich, a ainsi débuté en septembre 2018 à l'Université de Bourgogne-Franche-Comté, sous la direction de P. Nouvel et le co-encadrement de M. Thivet et M. Berranger. L'objectif est de traiter les données LiDAR acquises en 2018 sur les amas de scories du nord de la Puisaye (secteur de Montholon - voir chap. 4.2.1.).

Une analyse exploratoire des prélèvements de charbons effectués dans les amas sondés à Montholon a été soutenue par le financement d'un mois de CDD (R. Jeannot) afin de travailler en collaboration avec un anthracologue, O. Girardclos. Cette première phase a permis la mise en place d'un protocole d'analyse et d'observer la variabilité dans les assemblages de charbons au sein de trois amas datés de périodes distinctes. Le détail de ces travaux est présenté chap. 4.7.). Ce travail devrait être poursuivi en 2020, une demande de 20 JH de spécialiste ayant été soumise à l'INRAP afin de travailler en collaboration avec O. Girardclos.

La méthodologie de terrain appliquée les années précédentes en Puisaye et dans le Nivernais a été reconduite cette année pour le district sidérurgique du Morvan-Auxois (21). Deux semaines de fouilles et de prospections ont été réalisées au mois d'août (recrutement de 2 mois de R. Jeannot en tant qu'IE). L'inventaire d'environ 200 amas de réduction sur une zone couvrant 400 km² a été publié dans les années 1990 par M. Mangin et son équipe (Mangin *et al.* 1992). Sur cette base, 27 amas ont été prospectés et on a fait des prélèvements pour caractérisation chronologiques et chimiques. L'un d'entre eux a été sondé. Les datations et analyses chimiques sont prévues pour le courant de l'année 2020.

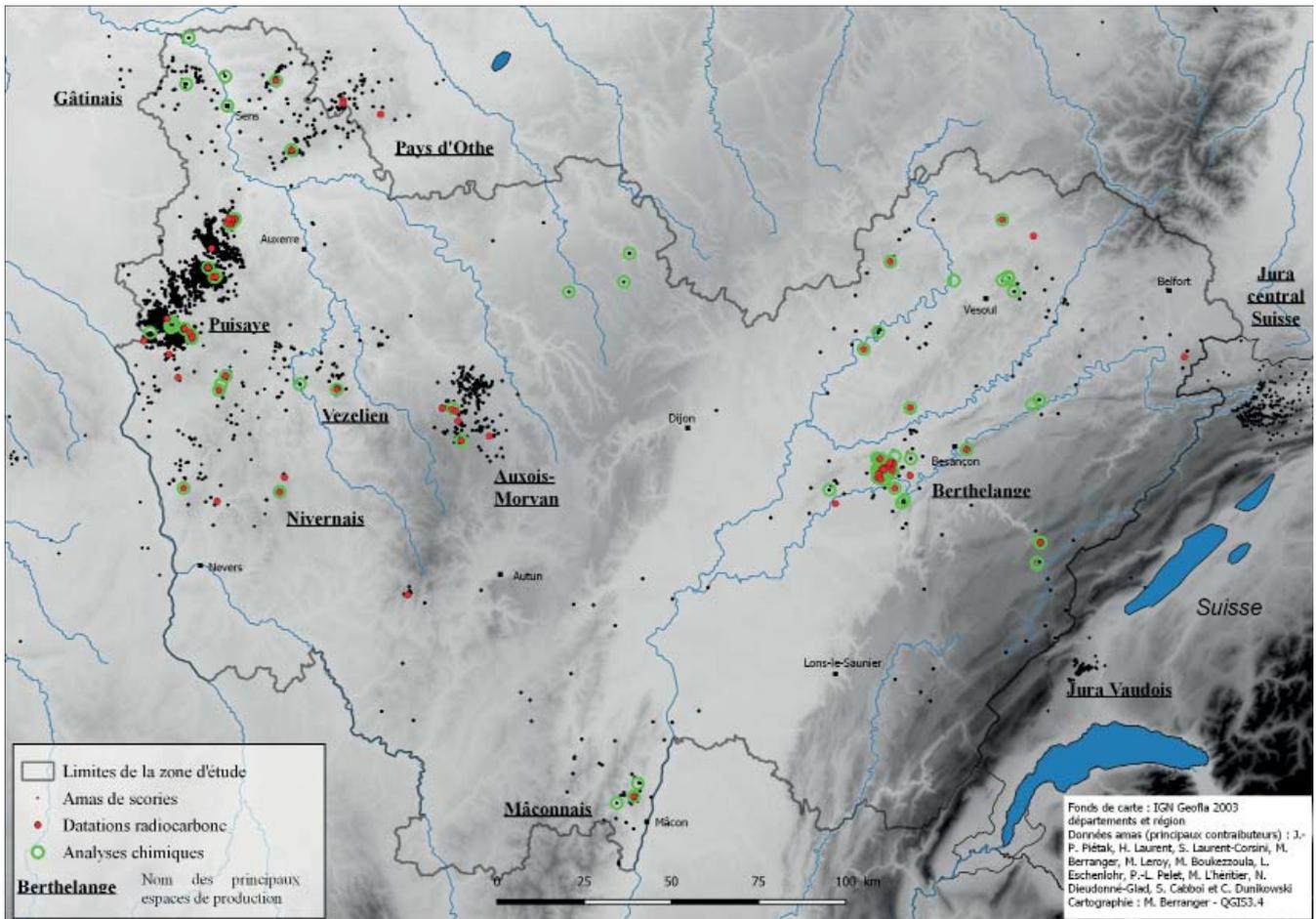


Figure n°4. Localisation des analyses radiocarbone et chimiques disponibles sur les sites étudiés dans le cadre du PCR (état fin 2019).

A l'échelle de la région Bourgogne-Franche-Comté, 39 nouvelles datations radiocarbone provenant de 28 sites différents (17 charbons supplémentaires sont en cours de datation) ont été réalisées en 2019. Elles concernent principalement des sites localisés à l'ouest de la région (Puisaye, Nivernais, Morvan principalement et deux sites de Franche-Comté). Environ 200 dates sont actuellement exploitables (dont 123 réalisées dans le cadre du présent PCR) et permettent de poser de premiers jalons quant à l'évolution des activités sidérurgiques à l'échelle régionale (fig. 4 - voir chap. 3).

Parallèlement 55 nouvelles analyses chimiques ont été effectuées en 2019. Ces dernières permettent de disposer de données de référence pour un espace de production jusqu'à présent peu caractérisé : le Mâconnais. Ces analyses ont également concerné la Puisaye à partir de la caractérisation de minerais, ainsi que le site des Clérimois (89 - Pays d'Othe), l'un des rares ateliers de réduction fouillé de manière extensive dans ce secteur, dans les années 1990 (Dunikowski, Cabboi 1995). Cela porte à environ 400 le nombre d'analyses disponibles dans la base de données géochimique régionale (fig. 4).

Les ateliers de forgeage.

L'étude interdisciplinaire des ateliers de forgeage a été centrée sur deux sites.

Bragny-sur-Saône « Sous Moussière » (21). Plusieurs spécialistes de la métallurgie étant déjà intervenus sur ce site l'approche a été focalisée, dans le cadre du présent projet de recherche,

sur la circulation des matières premières à partir de la caractérisation chimique des produits métalliques (analyses ponctuelles des scories en inclusions pour les objets en métal). Cinq chutes en cours de travail et masses brutes ont subi des analyses chimiques des inclusions (EDS puis ICP) des scories piégées dans la matrice métallique. L'exploitation de ces résultats est programmée pour l'année 2020.

L'étude des forges d'Entrains-sur-Nohain (58) s'est poursuivie à travers le tri des mobiliers et leur inventaire. Ces étapes préliminaires ont été achevées cette année. Un premier travail de synthèse a débuté et concerne l'interprétation des espaces d'ateliers à l'échelle d'Entrains-sur-Nohain. L'objectif est de proposer des plans interprétatifs des ateliers, afin de comparer la nature des foyers utilisés, leur emplacement, la dimension des ateliers etc en fonction des activités pratiquées.

Les données topographiques seront ainsi croisées avec les résultats des travaux déjà menés sur les macro-déchets (chutes métalliques et scories). Parallèlement un étudiant (S. Lammouchi Université de Strasbourg – encadrement L. Bernard, M. Berranger, G. Vinçent) a débuté en un Master, dont l'objectif est d'étudier la répartition spatiale et fonctionnelle des micro-déchets au sein des ateliers d'Entrains-sur-Nohain. Ce travail débuté en 2018/2019 se poursuivra et sera achevé en 2020.

A l'issue de cette première année, une réunion réunissant les différents responsables d'opérations et spécialistes intervenant sur les forges d'Entrains-sur-Nohain s'est tenue en septembre 2019. Il a été convenu que le premier objectif est la réalisation d'un catalogue des structures métallurgiques (foyers, fosses etc). Une première version de ce catalogue a été proposée pour la fouille dirigée en 2012 par G. Vinçent et un test a été effectué sur un espace d'atelier (voir chap. 6). Ce catalogue sera étendu l'année prochaine aux autres secteurs d'ateliers (fouilles 2008 et 2013) et permettra la réalisation d'un thésaurus des structures métallurgiques destiné à être codé pour intégration au sein d'un logiciel de SIG (QGIS).

Approches transversales.

Le travail sur la mise en place d'une base de données rassemblant l'intégralité des données disponibles pour les sites métallurgique du PCR a été poursuivi. Plusieurs réunions ont eu lieu en 2019 afin d'améliorer cet outil et afin de commencer l'intégration des bases de données individuelles des chercheurs. L'ensemble des sites inventoriés pour la Puisaye (inv. J.-P. Piétak), pour le Nivernais (inv. divers rassemblés par H. Laurent et R. Jeannot) et pour le Morvan-Auxois (inv. M. Mangin) ont ainsi été versés à la base commune. Plus de 5000 sites intègrent actuellement la base et doivent en partie faire l'objet d'une vérification détaillée.

La bibliothèque ZOTERO, créée en 2018 et rassemblant les références utiles au projet est alimentée par C. Veysseyre (documentaliste INRAP). Elle est à présent accessible pour les chercheurs qui le souhaitent (chap.2.1.2.)

Valorisation

- Un article de synthèse consacré aux travaux menés sur les demi-produits de type currency-bars a été rédigé et soumis à Gallia. Il a été accepté en septembre 2019 et devrait paraître d'ici la fin de l'année. Il s'intitule « Du produit d'échange à l'objet symbole. De nouvelles données sur les demi-produits de type currency-bar du Val-de-Saône et de l'Arc Jurassien » par M. Berranger, Ph. Dillmann, Ph. Fluzin, S. Leroy, M. Aubert, E. Delque-Kolic.

- Une communication de synthèse des travaux menés sur la Puisaye, a été présentée à l'occasion de la conférence internationale "Archaeometallurgy in Europe" en Hongrie en mai 2019.

- Une exposition concernant les fouilles récentes menées par l'INRAP à Entrains-sur-Nohain a été montée au musée de Clamecy en 2019 (coord. S. Venault). Les résultats des travaux que nous développons actuellement sur la sidérurgie dans le cadre du PCR ont 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. 5) 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.

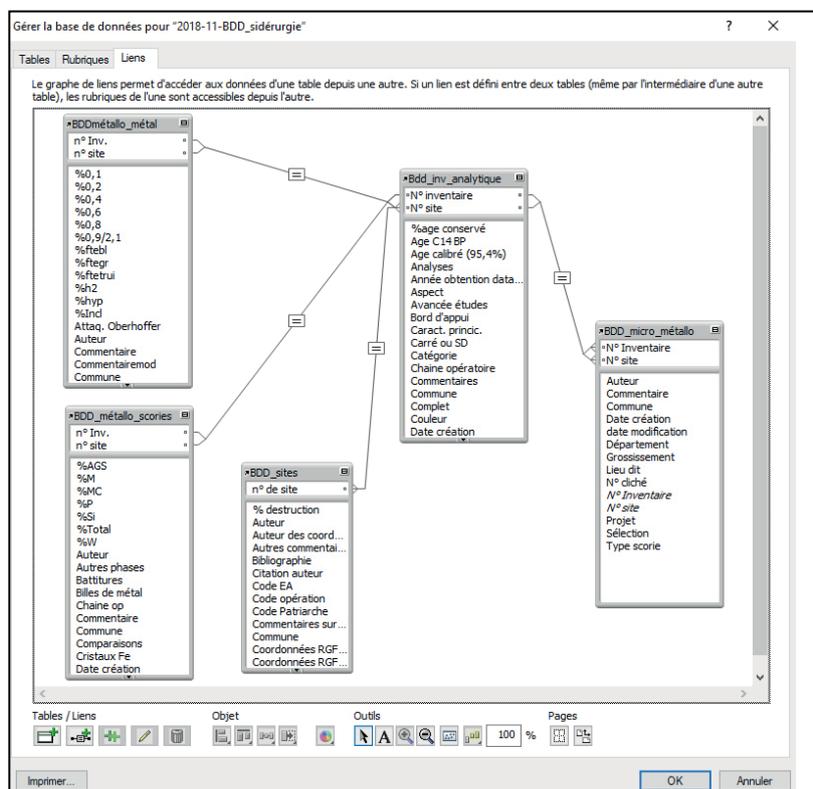


Figure n°5. Liens existants entre les tables créées au sein de la base de données.

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		n° de site	89.003.003
Lieu dit	Bois des Ferriers		n°INSEE	89003
Département	Yonne	Surface (m²)	Code Patriarche	
Pays	France	3400	Code opération	
Zone géog.	Puisaye	% destruction	Code EA	
RO - Inventeur	J.-P. Piétak		Parcelle cadastrale	0 A-2
Organisme			Coordonnées RGF93 X	721726
Code site inventeur	Bois des Ferriers 3		Coordonnées RGF93 Y	6752568

Période chronologique	Date inférieure (TPQ)	73 AD	Type de coord.	Calcul SIG
Gallo-romain	Date supérieure (TAQ)	325 AD	Auteur des coord.	QGIS

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="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <input type="radio"/> NA
<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 écoulee <input type="checkbox"/> Bas foyer / fourneau ouvert <input type="checkbox"/> Haut fourneau <input type="checkbox"/> Autre...	H. act. <input type="text" value="4"/> H. supp. <input type="text"/> Long. (m) <input type="text" value="73"/> Larg. (m) <input type="text" value="50"/>	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	Nature mobilier prélevé
- Scories écoulees grises denses - Scories vitreuses verte en surface	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°6. 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. 7 à 10) 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	Chaine op.	Catégorie déchet	Type déchet	Morphologie	Propreté 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) Ecmt vitreux, bulleux	En boudin	env. 2/3	Bulleuse	Nul				110			
Poissaye Fait 7 Carré ou SD US n° pvt Spécific. morpho Répartiti ^o bulles Surf. écoulement Couleur Scorie légère très bulleuse et vitreuse. Prélèvement du charbon 4 pour datation.															
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"/> Microdureté															

Figure n°7. Exemple de fiche d'inventaire de scories de réduction.

N° site	N° inventaire	Chaine op.	Catégorie	Type déchet	Point d'appui	Forme en plan	Surépaisseur	Caract. princ.	Inclusions	Magnétisme	%age	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 US 1 n° pvt Bord d'appui Forme en coupe Nature surrip. Texture Densité Couleur Petit culot demi-circulaire, plat, aux surfaces lisses constituées de larges gouttellets de scorie fondue. Les surfaces sont homogènes et granuleuses.																	
Multiple <input type="radio"/> Oui <input type="radio"/> Non <input type="radio"/> NA 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"/> Microdureté																	

Figure n°8. Exemple de fiche d'inventaire de scories de forge.

N° site	N° inventaire	Chaine 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 22-55	Post-réduction	Chute façonnée	Chute-tôle	Tranche			14,4	39	19	6					
Côte d'Or Carré ou SD Fait 22 US 1 n° pvt Phasage Matériau Fer Types d'analyses <input type="checkbox"/> Métallographie <input type="checkbox"/> EDS <input type="checkbox"/> Radiocarbones <input type="checkbox"/> Chimie - CRPG <input type="checkbox"/> ICP <input type="checkbox"/> Microdureté																

Figure n°9. Exemple de fiche d'inventaire des objets en métal.

N° site	N° inventaire	Chaine 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 22-55	Post-réduction	Chute façonnée	Chute-tôle	Tranche			14,4	39	19	6					
Côte d'Or Carré ou SD Fait 22 US 1 n° pvt Phasage Matériau Fer Types d'analyses <input type="checkbox"/> Métallographie <input type="checkbox"/> EDS <input type="checkbox"/> Radiocarbones <input type="checkbox"/> Chimie - CRPG <input type="checkbox"/> ICP <input type="checkbox"/> Microdureté																

Figure n°10. Exemple de fiche d'inventaire des datations radicarbone.

Les échantillons métalliques et scorifiés étudiés en métallographie ont également des fiches dédiées (fig. 11 et 12). 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 jaune). 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 bleus) 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 différents 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	
Département	Saône-et-Loire		Culot forge	SAS1	
Zone géog.					
Fait	SD	US	156		

Porosités	Matrice	Olivines/fayalites
<input type="checkbox"/> Rondes	<input type="checkbox"/> Maj. vitreuse	<input type="checkbox"/> Non visible
<input checked="" type="checkbox"/> Ovoïdales 4	<input type="checkbox"/> Maj. cristallisée	<input checked="" type="checkbox"/> En lattes 5
<input type="checkbox"/> Irrégulières	<input checked="" type="checkbox"/> Maj. cristallisée + wüstite 4	<input type="checkbox"/> Fines
	<input type="checkbox"/> Saturée en wüstite	<input type="checkbox"/> En pavés
Les inclusions	Oxydes/spinelles	Nature du métal perdu
<input type="checkbox"/> Grains de quartz (sable)	<input type="checkbox"/> Angulaires	<input checked="" type="checkbox"/> Billes 1
<input type="checkbox"/> AGS centimétrique	<input type="checkbox"/> Globules	<input type="checkbox"/> Filaments
<input type="checkbox"/> Charbon de terre	<input type="checkbox"/> Dendrites	<input type="checkbox"/> Chapelets
<input type="checkbox"/> Charbon de bois	<input checked="" type="checkbox"/> En amas	<input checked="" type="checkbox"/> Petits fragments < 5 mm
<input checked="" type="checkbox"/> Métal ferreux 1	<input type="checkbox"/> Grandes dendrites	<input type="checkbox"/> Gros fragments > 5 mm
<input type="checkbox"/> Métal non ferreux	<input type="checkbox"/> Petites dendrites	
<input type="checkbox"/> Minerai		Caract. fragments de métal
<input type="checkbox"/> Autre...		<input type="checkbox"/> Surfaces déchiquetées
Les battitures	<input type="checkbox"/> Microm.	<input type="checkbox"/> Surfaces angulaires
<input type="checkbox"/> Plates	<input type="checkbox"/> < 5 mm	<input type="checkbox"/> Porosités internes
<input type="checkbox"/> Globulaires 1	<input type="checkbox"/> > 5 mm	<input type="checkbox"/> Inclusions Si.
<input type="checkbox"/> Globulaires à tendance plane	<input type="checkbox"/> Absentes	<input type="checkbox"/> Traces brûlures
<input checked="" type="checkbox"/> Forme non définie 1		<input checked="" type="checkbox"/> Caract. non déterminables
<input type="checkbox"/> Billes		
		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.
Interprétation
Comparaisons
Récapitulatif
Culot forge avec faibles pertes en métal et oxydation à chaud

Figure n°11. 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 Qualité inclusionnaire Prop° Excellente (5 à 0%) 2%		
Déformations mécaniques	<input type="checkbox"/> Fissures <input type="checkbox"/> Mâcles <input type="checkbox"/> Ecrouissage		<input checked="" type="checkbox"/> Phosphore Local		
Commentaire	Attaq. Oberhoffer Oui <input type="checkbox"/> Matrice métal. non conservée		Etat conservation Moyen		
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°12. 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.

Pour l'heure, son socle comprend l'ensemble des références présentées dans les bibliographies des rapports d'activités auxquels les nouvelles références identifiées sont ajoutées au fur et à mesure.

Cette année, la bibliothèque de groupe a été partagée avec l'ensemble des membres du projet de recherche via une invitation envoyée par l'administratrice. Le statut de ce partage est public et accessible en « lecture et consultation » à l'ensemble des personnes connecté sur le site Zotero. Chacun des membres inscrits peut proposer de nouvelles références à y faire figurer en adressant un mail à la documentaliste. En cette fin d'année, elle compte 74 références.

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°13. 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.

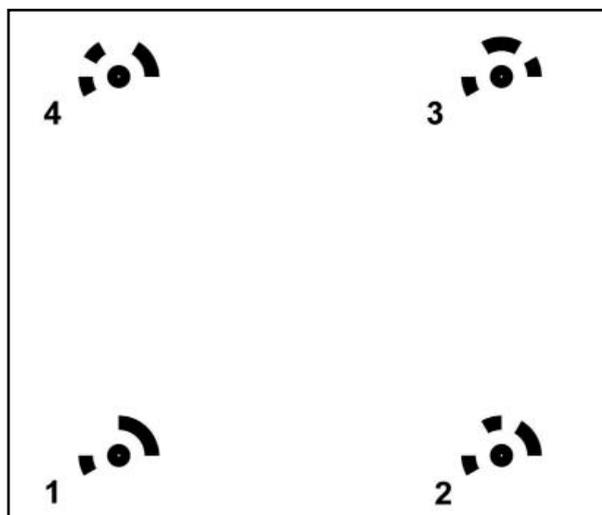


Figure n°14. Exemple de cibles destinées au géoréférencement du photomodèle.

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.

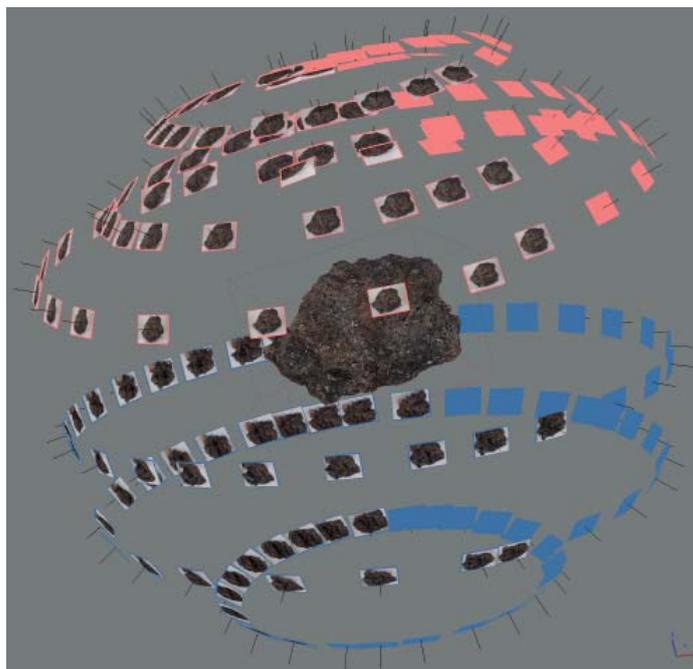


Figure n°15. Alignement des clichés et nuage de points épars (Aillant F1-301-SC19).

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).

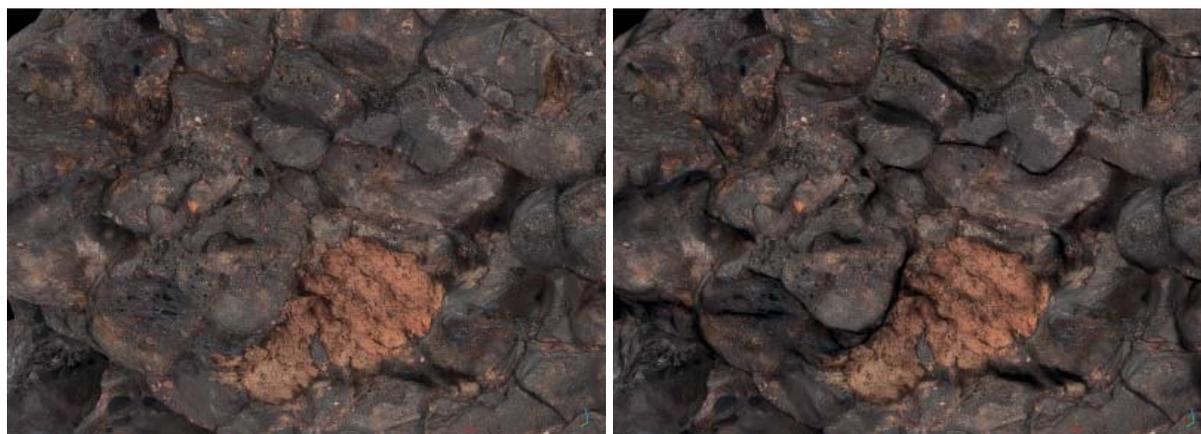


Figure n°16. Aillant F1-301-SC19, maillage texturé, sans ombrage (à gauche) et ombrage global (à droite).

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 métallographiques.

A la suite des classements effectués à l'échelle macroscopique, un échantillonnage représentatif est sélectionné pour analyses. L'objectif des analyses métallographiques est 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. 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 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.

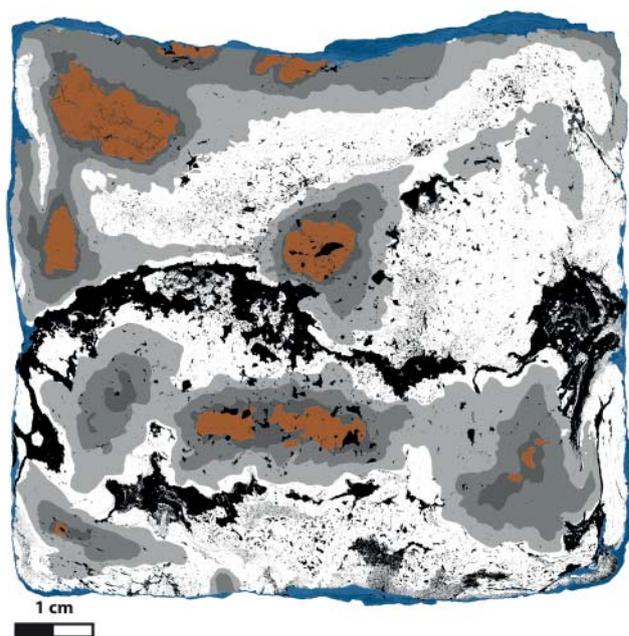


Figure n°17. Exemple de traitement d'image permettant de légendiser les sections étudiées en métallographie et de calculer la proportion des phases constitutives (bipyramidé de Vix).

	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

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 objet. 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 avant d'envisager les étapes suivantes d'analyses chimiques et de datations ¹⁴C. En effet, l'observation au microscope métallographique 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 (logiciel MaxView mis au point par la société SAMx) 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 (20-200 μ m) 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, non supervisée (Disser *et al.* 2016, Disser *et al.* 2017, Dillmann *et al.* 2017). Elle repose sur l'analyse de 17 éléments lithophiles (Al, Si, K, Ca, Mn, Ce, Eu, Gd, La, Nd, Pr, Sm, Tb, Th, U, Y, Yb). Ces derniers subissent au préalable une normalisation en log-ratio décrite ci-dessus. Comme l'a détaillé A. Disser (Disser *et al.* 2017) une Analyse en Composante Principale (ACP) est réalisée dans un premier temps en guise de prétraitement des données chimiques. Une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) est ensuite appliquée sur les

coordonnés des individus dont l'inertie totale cumule plus de 90% de l'information exprimée par l'ACP. Cela permet de s'affranchir d'informations moins pertinentes portées par les dernières composantes. De plus, la CAH met plus particulièrement en évidence les groupes d'individus présentant une composition chimique similaire. La même méthodologie est adoptée pour la comparaison des caractéristiques chimiques des inclusions des objets et des scories. Les traitements statistiques ont 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. L'inventaire des sites de réduction

Hervé Laurent

L'année 2019 n'a pas connu d'accroissement significatif du nombre de sites de réduction recensés. La priorité a été donnée à la consolidation de la base de données générale sous File Maker Pro. On a néanmoins procédé au dépouillement de 77 dossiers communaux supplémentaires de la carte archéologique régionale (2 en Côte-d'Or, 56 dans la Nièvre et 19 dans l'Yonne), ce qui porte le total des dossiers communaux à 488 (fig. 18). Les résultats sont en cours d'intégration dans la base de données.

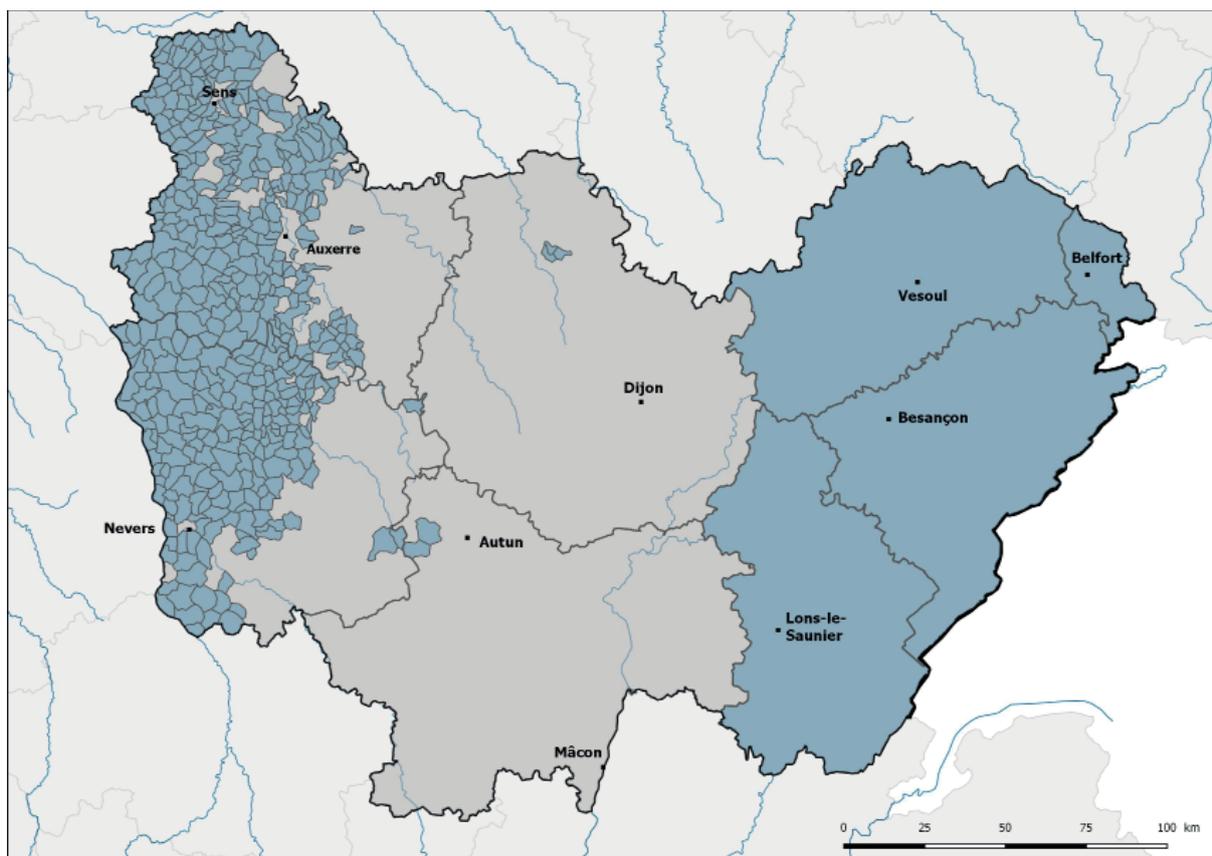


Figure n°18. Etat d'avancement du dépouillement des communes à la carte archéologique en 2019.

Dans le prolongement des années précédentes, les données de deux publications de référence ont été intégrées, dans un premier temps pour la cartographie :

- conversion des coordonnées de 334 sites de réduction sur les 388 du district du Jura central suisse (CH, Eschenlohr 2001, p. 209-315). Une grande partie des ferriers et sites à scories de réduction du district ont été prospectés par L. Eschenlohr et son équipe dans les années 1990, avec pointage au GPS de leur emplacement. Certains n'ont pas été retrouvés ou pas visités. Notre travail se faisant à l'échelle de la région, ces sites sans coordonnées sont intégrés selon deux logiques : lorsqu'un ou plusieurs autres sites sont localisés dans la même commune, le site est enregistré sans coordonnées ; lorsque le site en question est le seul connu dans la commune, on lui attribue arbitrairement les coordonnées du centre de la commune.

- conversion des coordonnées des 72 sites de réduction du district du Mormont (CH, Pelet 1993, fig. 3 et p. 114-121). Tous prospectés et fouillés pour certains, ils sont tous localisés avec précision.

La conversion dans le système Lambert 93 s'est faite à partir du système suisse CH1903 LC03-M. Pour chaque site, les coordonnées ont été saisies manuellement dans l'application en ligne Orlando *Coordinatrice Converter* qui replace chaque point sur un fond de carte d'une précision suffisante pour vérifier si le résultat de la conversion est plausible et, dans le meilleur des cas, de comparer la position obtenue avec les relevés publiés (relevés détaillés pour une partie des sites chez L. Eschenlohr ; carte à 1/25 000^e chez P.-L. Pelet).

Dans les années à venir, il est prévu d'intégrer également les sites des districts du Mont Salève (F) et du Mont Chemin (CH).

3.1. Résultats obtenus et datations en cours en 2019 dans le district de Berthelange (Doubs et Jura)

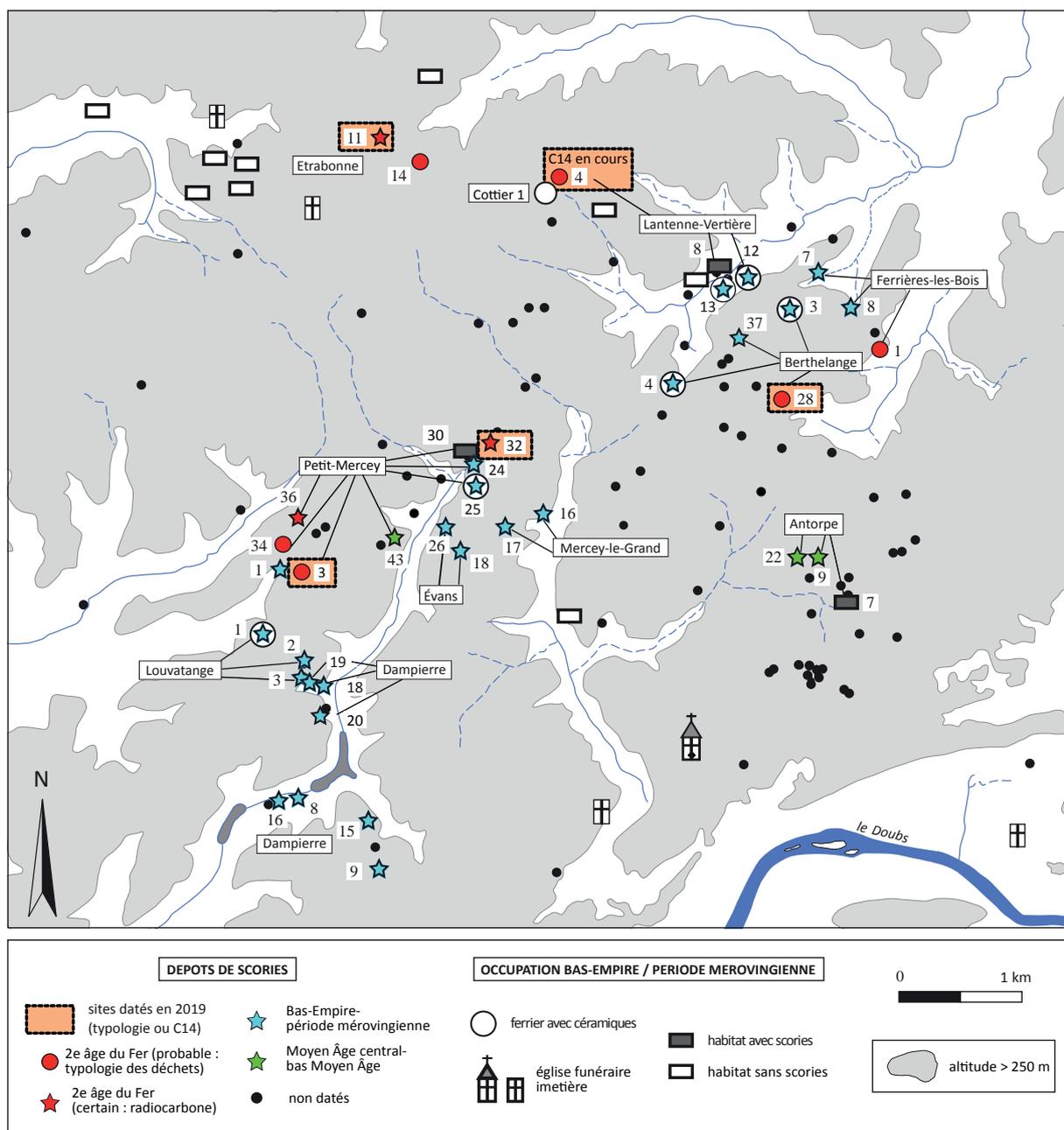


Figure n°19. Carte de la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange (Doubs et Jura)

Comme les années précédentes, un temps assez bref a été consacré au district de Berthelange. Les données acquises en 2019 y sont cependant déterminantes. Pour la partie terrain, la priorité qui continue d'être donnée au milieu ouvert 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.

3.1.1. Les sites datés par le radiocarbone en 2018 et 2019 (fig. 19)

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.¹ 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. Elles sont pratiquement toutes de petite voire de très petite taille.

Ces constats avaient motivé l'envoi au laboratoire de deux autres échantillons lors de la campagne 2018. Les deux sites concernés étaient considérés comme potentiellement protohistoriques dans le rapport 2018 du PCR :

- une petite quantité de charbon de bois, prélevée à l'intérieur d'une scorie interne provenant du site de Petit-Mercey 32 « Aux Saucys », découvert en 2013. Les caractéristiques de la tache de déchets la rapprochent du site 36. Le terrain est pratiquement plat, les dimensions sont comparables : déchets concentrés de 22×16 m dans le sens des labours. Ce sont majoritairement des fragments de parois en argile (absence de tuiles romaines). Les scories, qui ne forment pas de plaques, présentent de petites coulures. La date obtenue à Poznan en 2019 est : 2375 ± 30 BP ; $-702/-390$ cal. L'échantillon étant à l'état de poudre, un effet « vieux bois » n'est pas à exclure.



- un petit fragment de charbon de bois (non orientable), prélevé dans une scorie interne récoltée sur le site d'Étrabonne 11 « les Grandes Vènes », dans le Doubs, découvert en 2015. A part la légère pente, l'atelier est tout point comparable aux précédents, notamment pour les dimensions : diamètre d'environ 10 m (fig. C). La date obtenue à Poznan en 2019 est : 2370 ± 30 BP ; $-540/-388$ cal.

Figure n°20. Le site protohistorique d'Étrabonne 11 « Grandes Vènes »

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 ; $-486/-232$ cal.

3.1.2. Les datations en cours en 2019 dans le district de Berthelange (résultats attendus en 2020, fig. 19)

Dans le cadre du programme Artemis, deux nouveaux échantillons font l'objet d'une datation radiocarbone, les résultats étant attendus en 2020 :

- Routelle 1 « au Bas Châtey », fragment de charbon de bois formé d'aubier sans zone cambiale, 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 »)². C'est à nouveau le réexamen du lot conservé dans le dépôt de la Citadelle qui a incité à procéder à une analyse radiocarbone.



- Lantenne-Vertière 4 « Beauregard », petit fragment de bois de cœur prélevé dans une grosse scorie accumulée, présentant des petites coulures marginales. 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

sanctuaire antique qui semble avoir été actif du I^{er} au V^e siècle (Barbet 2003, p. 317-321³). 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. 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 (fig. 21).



Figure n°21. Lantenne-Vertière 4 "Beauregard". Macroscopie et vue en coupe de la scorie piégée.

Les datations prévues pour 2020 dans le district de Berthelange

Dans le district de Berthelange comme ailleurs, les différences de typologie des ateliers et des déchets peuvent donc servir de critère pour une datation au moins théorique de l'activité de réduction. Indépendamment de la découverte de sites inédits, les dépôts de scories déjà connus peuvent constituer une source non négligeable. D'une part, les descriptions de déchets

2 Bien que situé dans le district de Berthelange, le site est hors du cadre de la carte (côté est).
3 La publication névoque pas la présence de déchets sidérurgiques à cet emplacement.

de réduction rédigées – sans avoir été toutes exploitées - dans le courant des années 1990, donnent au moins des indices typologiques. Dans cette optique, c'est l'ensemble des collections conservées à la Citadelle de Besançon qui devra être revu à terme. D'autre part, une simple « veille » sur le terrain offre des perspectives non négligeables. En 2019, elle s'est traduite par une série de visites sur des sites déjà connus, mais dont certains n'avaient pas été prospectés depuis très longtemps. Il s'agit en particulier des sites suivants :

- dans la déclaration de découverte de 2007, quelques scories sont mentionnées sur le site de Berthelange 28 « Les Montemonts » (Doubs). L'auteur précise toutefois que l'essentiel se trouve vraisemblablement sur la ligne de crête toute proche, mais occupée par une pâture (P. Mosca, fiche de déclaration déposée à la DRAC de Bourgogne-Franche-Comté). La prospection de la parcelle labourée en 2019 confirme cette impression : les déchets rencontrés sont assez dispersés, sans qu'une concentration soit repérable. Il s'agit de scories à petites coulures, de taille modeste et de fragments de parois de fourneaux en argile, parfois à moitié fondues, sans aucun fragment de terre cuite architecturale romaine.

- le dépôt de déchets sidérurgiques de Petit-Mercey 3 « Champ du Bief des Montagnons » (Jura), a été revu pour la première fois depuis sa découverte. A l'époque, la description mentionne « de très nombreuses scories coulées et des parois de fourneaux en argile et matériaux de construction antiques » (Laurent, Raïssouni, 1987, p. 22). Il semble que deux dépôts de déchets de réduction soient situés très près l'un de l'autre, car les scories retrouvées en 2019 sur un épandage de très faible diamètre évoquent celles de la Tène et sont accompagnées de quelques fragments de parois de fourneaux en partie fondues, sans aucune tuile ni brique romaine.

Des datations supplémentaires sont prévues sur une série d'échantillons à rechercher au sein des scories internes qui ont piégé des charbons de bois, si possible provenant en priorité de ces deux ateliers. On peut envisager de la compléter par des prélèvements dans les scories déposées au dépôt de fouille de la Citadelle de Besançon.

3.1.3. Une zone de production protohistorique ?

Pour l'heure, fin 2019, dans le secteur de Berthelange, 3 ateliers sont sûrement protohistoriques (dates C14), 2 sont en cours de datation (programme Artémis) et 5 autres ont des caractéristiques qui permettent de les rattacher également à la Protohistoire à titre d'hypothèse. Ils étaient 4 en 2017 et 6 en 2018. Les observations de ces dernières années laissent penser que le potentiel du district en ateliers protohistoriques va bien au-delà de ce qui est connu actuellement.

3.2. La chronologie à l'échelle de la Région

3.2.1. Bilan régional des datations radiocarbones

Dans le courant de l'année 2019, 40 dates, toutes « recevables », ont été enregistrées, dont 39 sont réellement obtenues pendant la campagne : 22 sont fournies par le laboratoire de Poznan ; 16 proviennent de Saclay, dans le cadre du programme Artémis ; 1 est tirée de la bibliographie (Bouthier 2009) (fig. 26). Comme les années précédentes, l'accent a été mis en 2019 sur l'ouest de la région. Sur les 39 fragments de charbon de bois expédiés dans les laboratoires de Lyon et de Poznan pour analyse radiocarbones, 37 en proviennent. Elles s'ajoutent aux 32 dates recevables obtenues en 2018, première année de la triennale.

Les résultats intrinsèquement aberrants sont exclus (charbons résiduels, dates incohérentes entre elles dans un même niveau archéologique, charbons de mine datés par erreur ...). De même, il est nécessaire de fixer – arbitrairement – un degré de précision acceptable, c'est-à-dire une

amplitude au-delà de laquelle une date calibrée ne peut plus être considérée comme utilisable parce qu'elle est susceptible de servir pour plusieurs périodes. En vertu de ce principe, et tout en étant conservées dans la base de données, les dates d'une amplitude supérieure à 300 ans ne sont pas prises en compte⁴. Bien entendu, les dates situées sur les plateaux, « floues » par nature, ne sont pas concernées par cette élimination.

Fin 2019, sur l'ensemble de la Bourgogne-Franche-Comté, 143 dates C¹⁴ utilisables concernant 111 sites de réduction sont disponibles (fig. 22 et 26). Comme nous l'avons déjà écrit, la manipulation de séries importantes de dates radiocarbone oblige à une certaine simplification, y compris sur les cartes. Cependant, et même s'ils ne concernent encore qu'une petite partie des sites de réduction, les résultats obtenus en 2019 complètent de manière importante ceux de 2017 et de 2018. Les trois dernières campagnes ont fait considérablement progresser notre connaissance de la chronologie des districts en particulier ceux de l'ouest⁵ de la région : sur les 143 dates retenues dans le graphique, 97 proviennent de l'ouest et 44 de l'est (fig. 22 et 24).

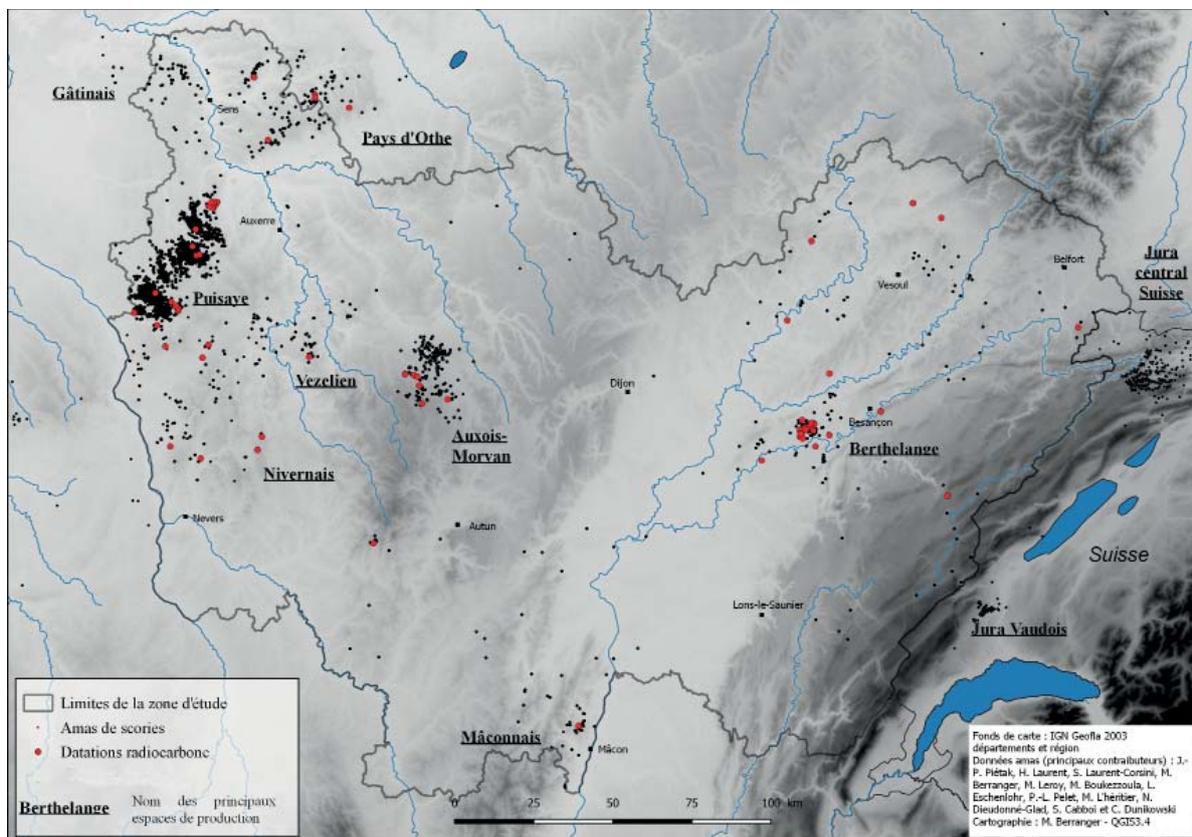


Figure n°22. Localisation des sites de réduction datés par radiocarbone.

3.2.2. La morphologie du graphique des dates

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

4 C'est le cas de la plupart des dates du site des « Fouetteries » aux Clérimois.

5 Le PCR ne se désintéresse pas des districts de l'est de la région (Berthelange et Mâconnais). Il cherche cependant à dater en priorité la masse considérable des ferriers de l'ouest (principalement mais pas uniquement la Puisaye). Son objectif est également d'atteindre un certain équilibre spatial des études.

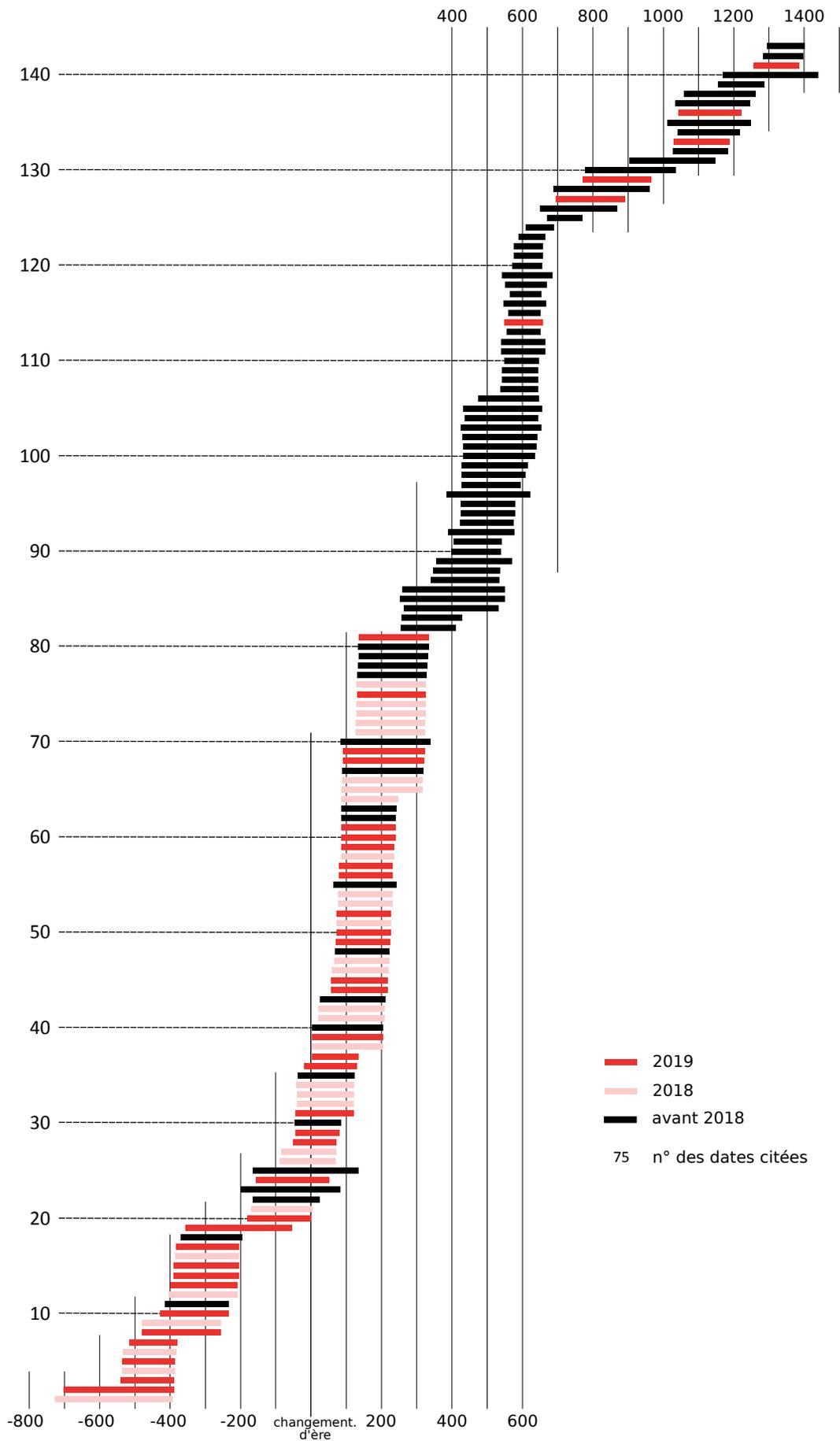


Figure n°23. Graphique des 143 dates radiocarbone en fonction des années d'acquisition

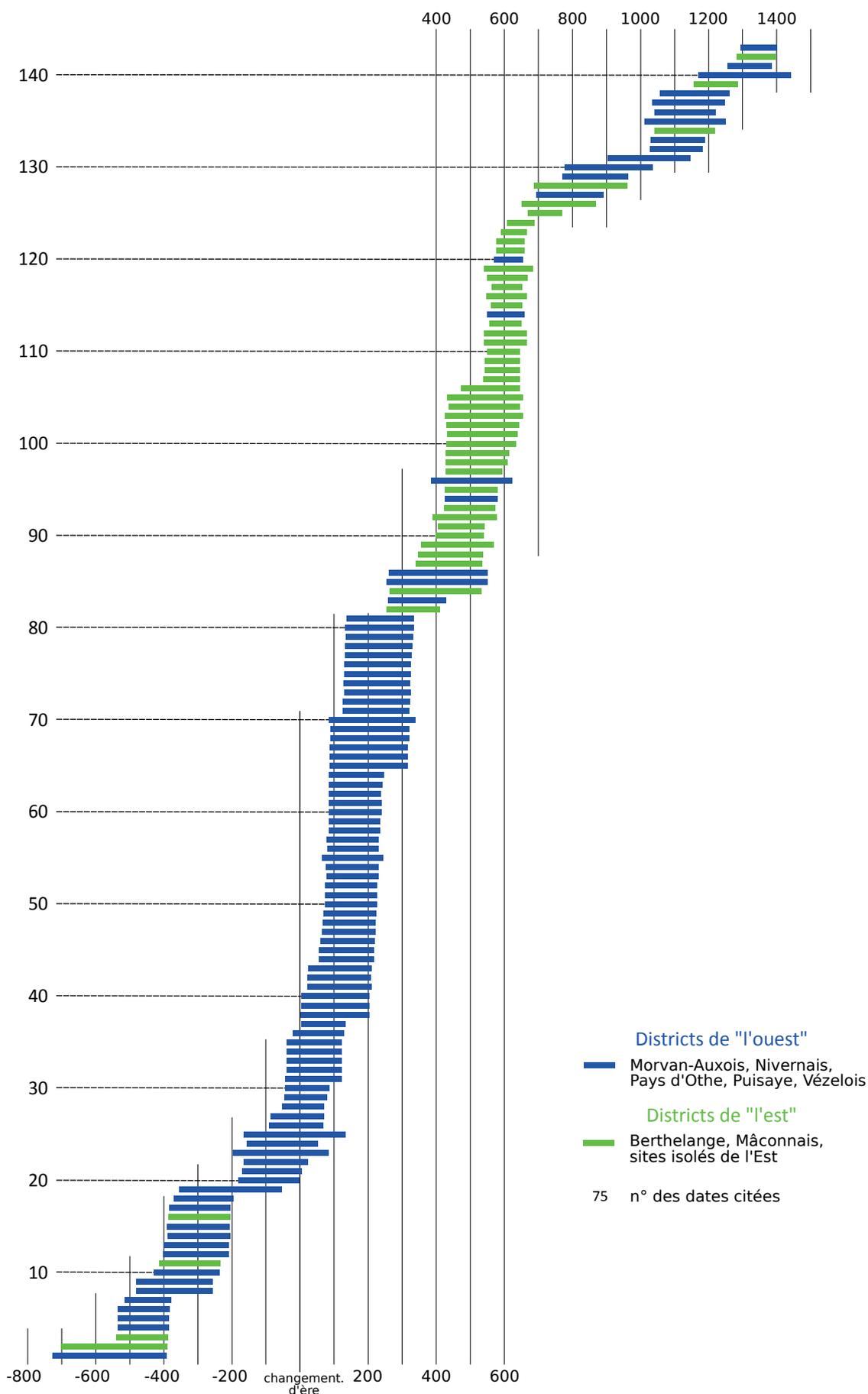


Figure n°24. Graphique des dates radiocarbone en fonction de la provenance des prélèvements

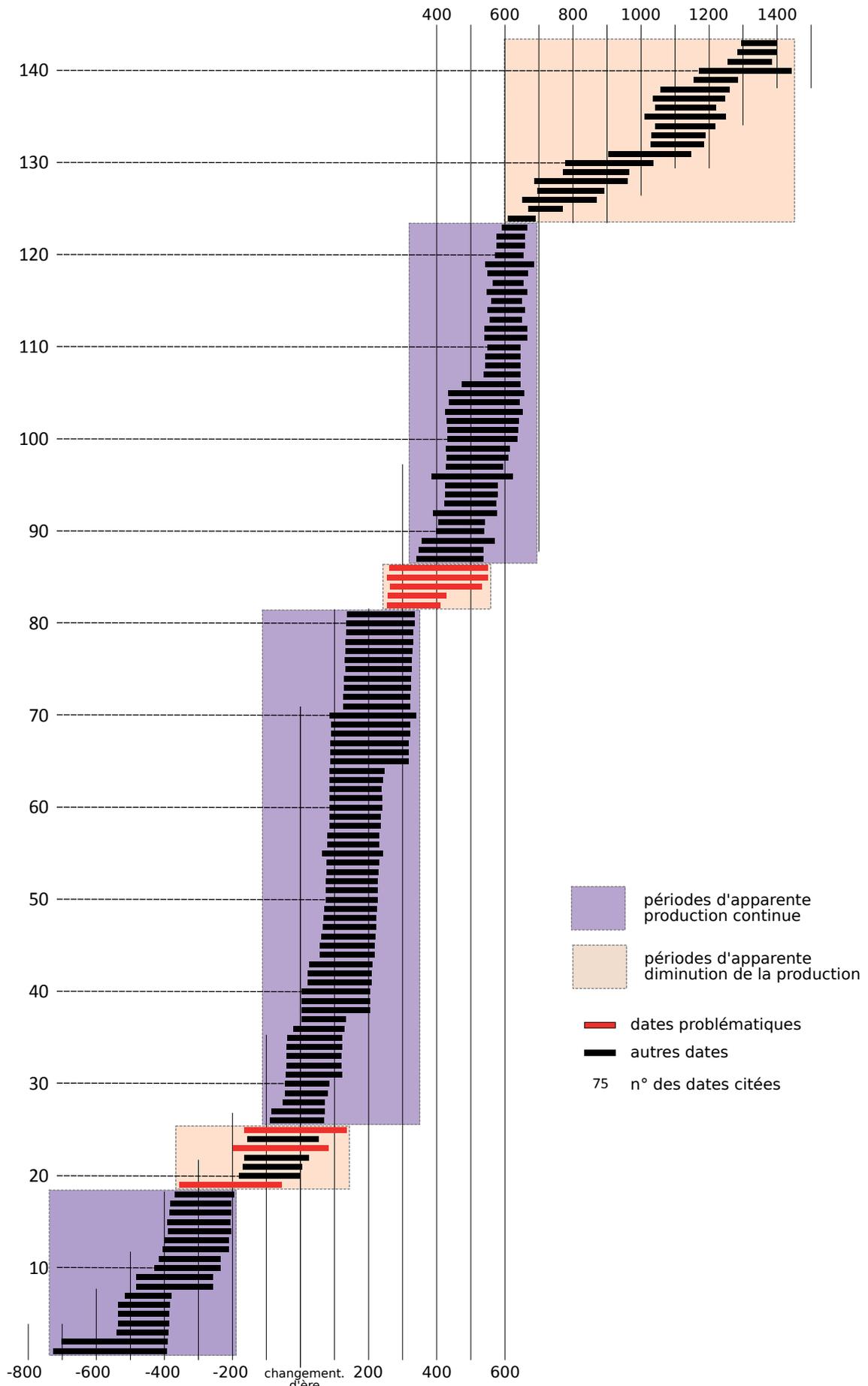


Figure n°25. Continuités et ruptures dans les dates radiocarbone

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 (fig. 25).

Il y a désormais 18 dates sûrement antérieures à -200, dont 10 ont été acquises en 2019. Les deux plus anciennes sont situées sur le plateau du Hallstatt, mais leur plage de calibration peut être fortement resserrée moyennant un risque d'erreur minime. Pour Treigny « Les Gâtines Beauchet » (Yonne), l'intervalle -541/-393 est probable à 93,6 % (2380 ± 30 BP ; -727/-393 cal. 2Σ) ; pour Petit-Mercey 32 « Au Saucy », l'intervalle -541/-390 est probable à 94,8 % (2375 ± 30 BP ; -702/-390 cal. Σ). Ces 18 dates sont fournies pour l'essentiel par les trois districts : Puisaye, 13 dates provenant de sites répartis sur l'ensemble du district et principalement du Bois de Bailly à Saint-Fargeau qui a fourni 5 dates issues de 5 ferriers ; Berthelange, 3 dates ; Pays d'Othe, 1 date. Une seule concerne un site isolé à proximité de Besançon, celui de Montfaucon « Nacra ».

L'empilement des dates calibrées fait ensuite apparaître une « marche » occupée par une date reçue en 2019 (n° 19 dans le graphique). L'échantillon de charbon de bois provient une nouvelle fois du Bois de Bailly à Saint-Fargeau. La date -2140 ± 35 BP, -355/-54 cal. – se situe sur le plateau de La Tène où, entre 2150 ± 30 BP et 2115 ± 30 BP, les dates calibrées présentent des incertitudes à peine inférieures à 300 ans. Dans le graphique, la continuité avec le groupe de dates suivantes est donc purement visuelle.

Il s'ensuit 62 dates qui s'échelonnent du début du II^e siècle avant notre ère aux premières décennies du IV^e siècle ap. J.-C. (n° 20 à 81 dans le graphique). Il faut cependant nuancer un peu l'impression d'une production « en vitesse de croisière » dès le début du II^e siècle de notre ère qui se dégageait en 2018 : 6 dates semblent couvrir approximativement l'intervalle calibré qui concerne le II^e siècle av. notre ère (n° 20 à 25 du graphique). En fait, dans ce groupe, deux sont des dates approximatives provenant des Clérimois (n° 23 et 25). A l'heure actuelle, nous connaissons donc très peu d'ateliers susceptibles d'avoir fonctionné au II^e siècle avant notre ère. L'aspect de « pile » - i. e. la multiplication des dates - est en revanche bien réel entre 2005 BP et 1780 BP, où on trouve 34 dates BP différentes sur les 46 possibles, soit 57 dates en tout (n° 26 à 81). Cette longue série qui débute en théorie du début du I^{er} siècle av. notre ère s'achève avant le milieu du IV^e siècle ap. J.-C. Pour l'instant, c'est le site de Saint-Révérien « Forêt de Saint-Révérien » (1780 ± 30 BP, 137-335 cal.) qui la termine. La date a été trouvée dans la publication de A. Bouthier déjà citée.

Comme précédemment, la fin du III^e ou le début du IV^e siècle semble bien marquer une rupture. Et là encore, les sites qui font la jonction avec la série suivante ne sont pas datés avec certitude (n° 82 à 86 du graphique). Sur ce point, nous ne pouvons que formuler les mêmes constats qu'en 2018 :

- le petit ferrier de Goux-les-Usiers 2 « Combe de Ferrière », dans le haut Doubs (1695 ± 30 BP, 255-412 cal.) fait partie d'un groupe de quatre ferriers très rapprochés et dont les trois autres, de même typologie que lui, sont franchement mérovingiens (effet vieux bois du charbon daté ?).

- celui de Saint-Germain-de-Modéon « Les Courtils » (Morvan-Auxois, cf. la partie consacrée à ce district) doit faire l'objet d'une nouvelle datation pour lever le doute sur son rattachement à l'Antiquité.

- malgré deux datations effectuées récemment, la période de fonctionnement de celui de Briaucourt « En Faivorge » (Haute-Saône) n'est pas définitivement établie (1650 ± 30 BP, 264-533 cal. et 1600 ± 30 BP, 399-539 cal.).

- enfin, les dates les plus récentes obtenues sur le ferrier 3b des Clérimois « Les Fouetteries » (Pays d'Othe, présentent des plages d'incertitude d'une amplitude proche de 300 ans (respectivement 1650 ± 60 BP, 253-550 cal. et 1630 ± 50 BP, 260-550 cal.).

A partir de 350 ap. J.-C. environ, le graphique reprend son aspect de « pile », marquant la floraison des ateliers de la fin de l'Antiquité et de la période mérovingienne déjà mise en évidence depuis un certain nombre d'années et sur laquelle il n'est pas utile de revenir longuement ici (n° 87 à 124 du graphique). Un seul atelier de cette période a été identifié en 2019 (Moussy « Fontaine du Laitier », 1440 ± 40 BP, 550-659 cal.). Il n'est anodin de souligner qu'il se situe dans le Nivernais, ce qui augmente la « sphère d'influence » de la sidérurgie mérovingienne.

Les traces d'activité de la longue période qui va de 700 environ à 1500 environ avaient été très peu retrouvées jusqu'à présent (n° 125 à 143 du graphique). Pour la première fois depuis longtemps, elle apparaît un peu moins « obscure » à travers 5 échantillons, tous prélevés en Puisaye, sans qu'on puisse aller beaucoup plus loin pour l'instant dans le commentaire.

3.2.3. La chronologie des districts

Pour ce que l'on en sait actuellement – c'est-à-dire assez peu – pendant plusieurs siècles de l'Indépendance, Éduens et Sénons d'une part et Séquanes d'autre part, produisent chacun du fer brut sur leurs territoires respectifs. En effet, les datations de ces dernières années, et tout particulièrement celles de 2019, mettent en évidence une zone de production en Puisaye et, dans une moindre mesure une autre à Berthelange. Il n'est pas possible à l'heure actuelle de discerner lequel de ces peuples inaugure l'activité. Et contrairement à l'impression qui se dégageait à la fin de la campagne 2018, la différence de taille entre les ateliers protohistoriques du district de Berthelange et ceux de la Puisaye semble s'estomper au moins partiellement. C'est peut-être uniquement le degré de conservation qui est en jeu : en Puisaye, ils sont majoritairement protégés par le couvert forestier qui a permis le maintien de leur relief, même émoussé ; à Berthelange, tous les exemples connus sont dans des parcelles labourées. Il est malgré tout à noter qu'à l'exception de Lantenne-Vertière (datation protohistorique non confirmée pour l'instant), les grosses scories de fonds de fours typiques de la technique en vigueur à cette période y sont absentes malgré des labours répétés.

Sous réserve des résultats de datations en plus grand nombre – vers 200 av. notre ère ? – les Séquanes paraissent cesser toute activité de réduction, contrairement aux Éduens et aux Sénons qui vont développer une sidérurgie de masse sans doute avant la conquête romaine et certainement pendant le Haut-Empire. Le IV^e siècle est marqué par un « coup d'arrêt » dont nous ne savons pas encore s'il est historique ou simplement documentaire.

Sur l'ancien territoire des Séquanes, la sidérurgie renaît semble-t-il de manière très vigoureuse pour connaître un pic de production en pleine période mérovingienne. Les nouvelles datations montrent qu'à ce moment l'activité a lieu un peu partout dans les limites de l'espace étudié. Il est déjà démontré depuis longtemps que Berthelange est au cœur d'un véritable district. Mais sans qu'on soit encore en mesure d'identifier d'autres secteurs de production privilégiés, des ateliers sont présents un peu partout : dans les quatre départements de l'est, mais aussi dans le Morvan-Auxois, dans le Nivernais et la Puisaye.

Les dates disponibles se raréfient après 700 ap. J.-C. C'est en Puisaye qu'on repère des sites plus tardifs, encore peu nombreux.

Il est encore trop tôt pour donner avec certitude les raisons des trois ruptures constatées, sinon dans la production, du moins dans nos résultats (après 200 av. notre ère ; un peu avant 350 ap. J.-C. ; autour de 700 ap. J.-C.). Pour l'instant, on peut simplement souligner que, jusqu'à présent, elles ont résisté à la modulation des prélèvements et à la multiplication des datations : où qu'on se trouve dans la région et quelles que soient les circonstances – analyses anciennes ou récentes ; prélèvements en stratigraphie ou en surface, dans le sol ou au sein des scories ; échantillons d'aubier, de bois de cœur ou charbons indéterminés – des lacunes importantes demeurent.

Il semble qu'il ne s'agisse pas d'un problème lié au radiocarbone lui-même⁶. Pour observer avec un éclairage différent les périodes pendant lesquelles la production de fer brut est éventuellement absente, on peut comparer le corpus des dates théoriques avec les résultats effectifs des datations. Les dates BP étant arrondies à 5 ans par convention, il y a 361 dates différentes possibles entre 2 400 BP et 600 BP. Sur ces 361 dates, 104 sont effectivement présentes parmi les 143 retenues. Les autres ne sont encore « jamais sorties » et elles sont groupées dans des intervalles plus ou moins longs.

Avant d'affirmer que l'absence de dates pour certaines périodes est bien due à l'absence de sites et donc de production, les prélèvements doivent se poursuivre sur le plus d'ateliers possible, répartis sur l'ensemble de la région et présentant toutes les variétés recensées.

6 Ce point devra être vérifié avec les spécialistes des datations radiocarbone.

Communes et n° sites	Dpt	Lieux-dits	N° échantillons	Références analyses	Âges BP	Dates calibrées	Années résultats
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 1	F1-S2-201	Poz-108559	1870 ± 30	73/226	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 2	89-003-002-C1	SacA-56233	1800 ± 30	131/326	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 4	89-003-004-C1	SacA-56234	1890 ± 30	56/217	2019
			89-003-004-C3	Poz-108912	1860 ± 30	80/231	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 5	F5-103-C1	SacA-56235	1860 ± 30	80/231	2019
			F5-108-C3	Poz-108336	1940 ± 30	-20/130	2019
			F5-111-C7	SacA-56236	1925 ± 30	4/134	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 6	89-003-006-C1	SacA-56237	1820 ± 30	90/321	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 7	89-003-007-C1	SacA-56238	1845 ± 30	85/239	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 8	89-003-008-C1	SacA-56239	2075 ± 30	181	2019
			89-003-008-C8	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 10	F10-101-C1	SacA-56240	880 ± 30	1042/1222	2019
			F10-109-C2	SacA-56241	915 ± 30	1030/1189	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Bois des Ferriers 20	F20-113-C7	Poz-108259	1965 ± 35	-44/122	2019
			F20-101-C5	SacA-56242	2030 ± 30	-156/53	2019
			F20-109-C6	SacA-56243	1975 ± 30	-45/80	2019
			F20-204-C4	SacA-56244	1920 ± 30	3/204	2019
			F20-207-C1	SacA-56245	1995 ± 30	-52/71	2019
			F20-219-C3	Poz-108418	1850 ± 30	85/235	2019
Aillant-sur-Tholon	89	Les Réserves 1	89-003-022-C6	Poz-108558	1840 ± 80	9/382	2019
			89-003-022-C8	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Aillant-sur-Tholon	89	Les Boulassesaux 2	89-003-023-C1	SacA-56246	2240 ± 30	-390/205	2019
			89-003-023-C2	Poz-108438	2325 ± 30	-481/-257	2019
Alligny-Cosne 1	58	Les Reboulats	58.002.001.C1	Poz-108555	1845 ± 30	85/239	2019
Étrabonne 11	39	Les Grandes Vènes	25.225.11.C1	Poz-108417	2370 ± 30	-540/-388	2019
Lantenne-Vertière 4	25	Beauregard	25.326.004.C21	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Montlay-en-Auxois	21	En Nicerteau	21.434.002.C3	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Moussy	58	Fontaine du Laitier	58.184.001.C1	Poz-108560	1440 ± 40	550/659	2019
Petit-Mercey (Le) 32	39	Au Saucy	39.414.32.C1	Poz-108557	2375 ± 30	-702/-390	2019
Poiseux 1	58	Les Pêchats	58.212.001.C1	Poz-108556	1820 ± 30	90/321	2019
Raveau 4	58	Fontaine Burgers	58.220.004.C2	Poz-108795	1870 ± 30	73/226	2019
Routelle 1	25	Au Bas Châtey	25.509.001.C1	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Saint-Fargeau 1	89	Bois de Bailly	89.344.001.C4	Poz-116063	2140 ± 35	-355/-54	2019
Saint-Fargeau 3	89	Bois de Bailly	89.344.003.C2	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Saint-Fargeau 5	89	Bois de Bailly	89.344.005.C1	Poz-115987	2230 ± 30	-384/-204	2019
Saint-Fargeau 8	89	Bois de Bailly	89.344.008.C1	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Saint-Fargeau 12A	89	Bois de Bailly	89.344.012A.C2	Poz-115990	710 ± 30	1256/1385	2019
Saint-Fargeau 16	89	Bois de Bailly	89.344.016.C1	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Saint-Fargeau 18	89	Bois de Bailly	89.344.018.C1	Poz-115989	1170 ± 30	771/965	2019
Saint-Fargeau 23	89	Bois de Bailly	89.344.023.C1	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Saint-Fargeau 26	89	Bois de Bailly	89.344.026.C1	Poz-116064	2355 ± 30	-516/-379	2019
Saint-Fargeau 31	89	Bois du Parc 31	89.344.031.C2	SacA-56247	2320 ± 30	-429/-235	2019
Saint-Fargeau 33	89	Bois de Bailly	89.344.033.C1	Poz-116061	2240 ± 30	-390/-205	2019
Saint-Fargeau 34	89	Bois de Bailly	89.344.034.C1	Poz-115985	1210 ± 30	695/891	2019
Saint-Fargeau 36	89	Bois de Bailly	89.344.036.C2	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Saint-Fargeau 40	89	Bois de Bailly	89.344.040.C2	Poz-116065	2270 ± 30	-400/-210	2019
Saint-Franchy	58	Fontaine du Laitier	58.240.001.C1	Poz-108415	1875 ± 30	70/224	2019
St-Germain-de-Mod. 1	21	Les Courtils	21.548.001.C57	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
St-Germain-de-Mod. 14	21	Le Gué du Piéché	21.548.014.C1	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Saint-Révérien	58	Forêt de St Révérien	non indiqué	Poznan	1780 ± 30	137/335	enreg. 2019
			S1.US103.C1	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
			S1.US105.C13	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
			S2.US203.C5	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
			S3.US303.C4	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Treigny 3	89	Bois Belle Fontaine	89.420.003.C4	Poz-115986	2365 ± 30	-535/-387	2019
			89.420.003.C5	Artemis 2019	/	/	attendu 2020
Villiers-sur-Tholon	89	Les Écoulois	89.473.004.C1	SacA-56248	1890 ± 30	56/217	2019

Figure n°26. Tableau des dates C14 obtenues en 2019 et attendues pour 2020

4. La Puisaye : résultats des travaux 2019

Fiche signalétique

Localisation des opérations

Région : Bourgogne-Franche-Comté

Département : Yonne (89)

Lieu-dit sondé : Saint-Fargeau, "Bois de Bailly"

Communes concernées par les prospections : Saint-Fargeau, "Bois de Bailly", Treigny
"Bois de la Belle Fontaine"

Coordonnées géographiques du sondage (Lambert 93)

Sondage 1 : x = 705 210 ; y = 6 723 312

Sondage 2 : x = 705 206 ; y = 6 723 308

Références cadastrales des parcelles étudiées

Commune : Saint-Fargeau

Section et parcelle : F17 et 19

Commune : Treigny

Section et parcelle : J3, 4, 5

Propriétaire du terrain sondé

Mairie de Saint Fargeau

4 avenue du Général Leclerc

89170 Saint Fargeau

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

01/05/2019 eu 5/05/2019 et 27 et 28/08/2019

Résultats

Épaisseur de la stratification du site sondé : 1 m

Nature des vestiges : amas de déchets sidérurgiques

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, Margaux Herbrich, Stéphane Venault, Pierre-Emmanuel De Leusse

Études et rédaction du rapport : Marion Berranger, Marc Leroy, Paul Merluzzo, Olivier Girardclos, Rémy Jeannot, Margaux Herbrich

Remerciements

Nous remercions vivement la mairie de Saint-Fargeau pour son aide lors des opérations de sondage dans les bois communaux. Le prêt d'un tractopelle et la mise à disposition de son chauffeur nous ont permis de travailler dans de très bonnes conditions.

Nous remercions M. Rémi Maillard de l'ONF pour nous avoir facilité l'accès à ces bois et pour l'intérêt porté à nos travaux.



PRÉFET DE LA RÉGION BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

Arrêté n° 2019/142 du 8 mars 2019

portant autorisation de prospection thématique assortie de prospection au détecteur de métaux.

Le Préfet de région ;

Vu le code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté préfectoral n°18-80 BAG du 1 juin 2018 portant délégation de signature à Madame Anne MATHERON, directrice régionale des affaires culturelles ;

Vu l'arrêté du 3 septembre 2018 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272019000018, de demande d'opération archéologique arrivé le 7 mars 2019 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERRANGER est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de prospection thématique à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2019, sise en :

RÉGION : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE

DEPARTEMENT : YONNE

COMMUNE : SAINT-FARGEAU

Lieudit ou adresse : Lieudit Bois de Bailly

Cadastre : Section : F, Parcelle(s) : 17 et 19

Intitulé de l'opération : Prospection thématique et géophysique.
Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.
Code de l'opération : **043457**

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

La prospection sur le territoire de la commune de Saint-Fargeau est une des actions du PCR « *La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions* ».

L'objectif de l'opération est de circonscrire les amas de scories par prospections pédestres sans réalisations de sondages. Les ferriers découverts devront faire l'objet d'un enregistrement et d'une description. Certaines scories seront cassées sur place et les charbons éventuellement présents seront prélevés afin de réaliser des analyses radiocarbone et chimiques.

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 Dijon, le 8 mars 2019

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 de l'archéologie



Marc TALON

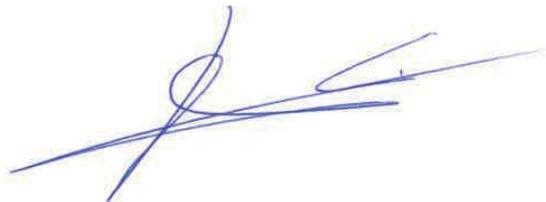
- AUTORISATION DE PROSPECTIONS ARCHEOLOGIQUES -

Je soussigné Valérie Galabert
Adresse : Parc de Boutinaut, 89580 TREIGNY

Autorise Marion Berranger, archéométallurgiste au laboratoire Métallurgies et Cultures (IRAMAT-CNRS-UMR5060) à l'Université de Technologie Belfort-Montbéliard, ainsi que son équipe, à réaliser des prospections archéologiques sur la commune de Treigny, parcelles Parc de Boutinaut.

Cette autorisation ne couvre pas la possibilité de réaliser des fouilles.

Fait à Boutinaut, le 29 octobre 2018



4.1. 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. 27). 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 grande 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.

4.1.1. 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). 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 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.

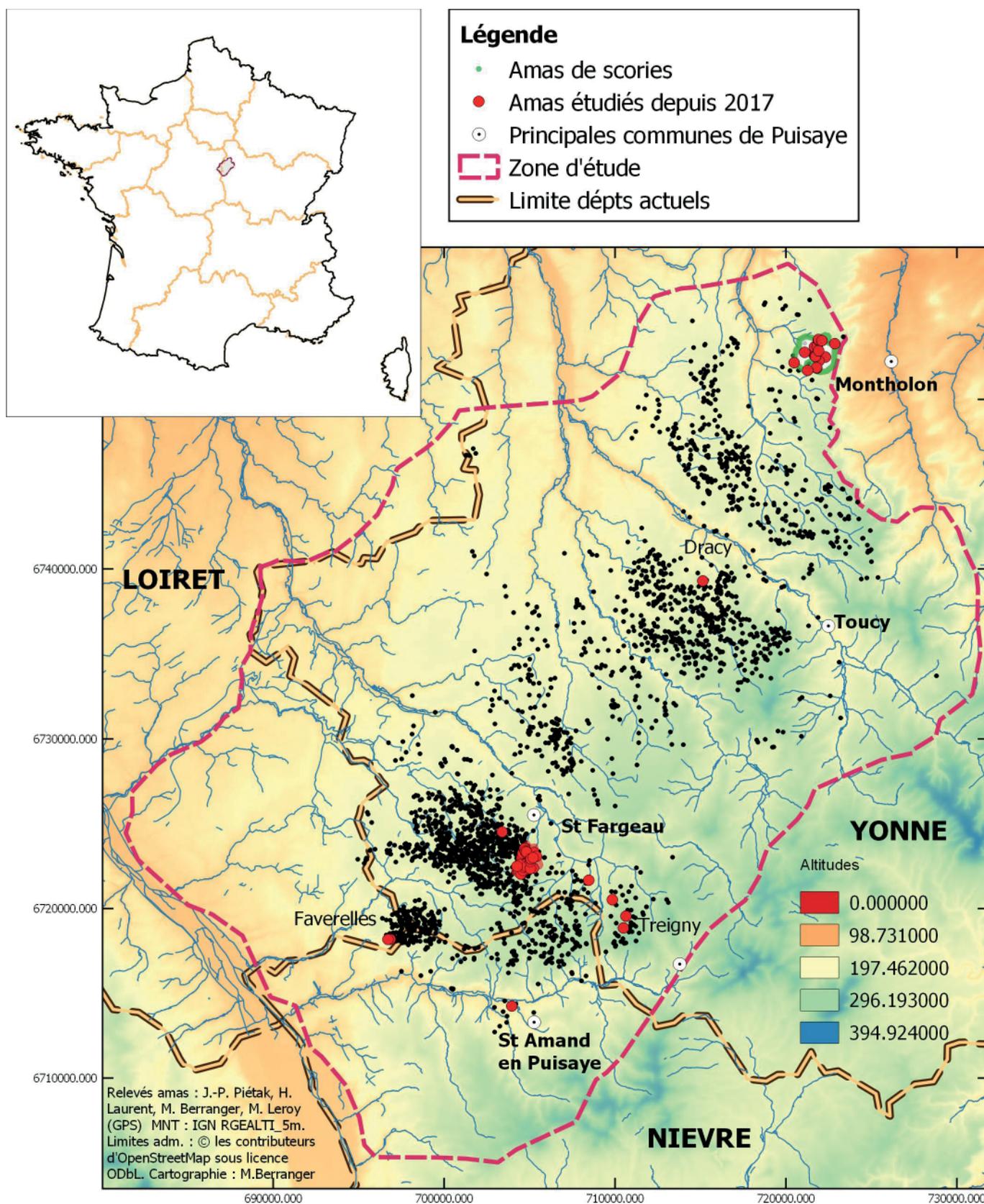


Figure n°27. La Puisaye : délimitation de la zone d'étude, localisation des amas de déchets sidérurgiques connus en prospections (inventaire J.-P. Piétak) et des sites étudiés.

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.

4.1.2. Objectifs actuels et méthodologies

Dans le cadre des travaux menés actuellement l'objectif est dans un premier temps de mieux appréhender la chronologie de ces amas ainsi que les technologies de réduction mises en œuvre. Pour ce faire il s'agit de collecter des charbons de bois à dater (par méthode radiocarbone) en lien avec des déchets sidérurgiques à caractériser.

Une double approche a été privilégiée. Nous travaillons d'une part à partir de « zones ateliers » au sein desquels 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.

Parallèlement, une caractérisation de sites choisis en fonction de la typologie des scories est effectuée à l'échelle de la Puisaye. En 2017 et 2018 ont été sélectionnés des sites 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. Cette approche a été poursuivie en 2019 de manière plus ponctuelle sur un site, à Treigny.

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 calcul¹ proposé par P.-M. Decombeix (Decombeix in Mangin 2004, p. 192-198) lors des prospections menées sur les amas de scories dans l'Aude. 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.

1 $0,4 * \text{longueur} * \text{Largeur} * \text{hauteur}$

Des acquisitions LIDAR ponctuelles par drone ont été effectuées sur certains de ces amas et permettront de préciser leurs volumes. Le traitement de ces données est encore en cours (cf *infra* 4.2.1.) 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).

L'enregistrement des différentes familles de scories visibles en surface est également réalisé. Des scories représentatives sont sélectionnées pour analyses et pour prélèvements de charbons à des fins de datation. Des sondages peuvent être réalisés afin d'étudier l'épaisseur des amas et effectuer des prélèvements en stratigraphie. A Montholon six amas ont subi des coupes ponctuelles, à Saint Fargeau un amas a fait l'objet d'un sondage.

Il faut souligner l'aide précieuse apportée par Jean-Pierre Piétak dans le cadre de ces deux 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.

4.2. Montholon « Le Bois des ferriers » : acquisitions LIDAR et datations radiocarbone sur les amas de scories

4.2.1. Acquisitions topographiques par LiDAR aéroporté : présentation de la méthodologie et avancée des travaux

Margaux Herbrich

Lors des campagnes d'études menées en Puisaye, en 2018, des acquisitions LiDAR ont été réalisées sur plusieurs secteurs du site du « Bois des Ferriers » à Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon « La Prée Murée ». Partiellement exploitables suite à des problèmes techniques, elles ont été reconduites en avril 2019, dans le cadre d'un master de l'Université de Dijon (sous la responsabilité de P. Nouvel, M. Thivet et M. Berranger) débuté en octobre 2018 et intitulé « Apport de la topographie par LiDAR aéroporté à la caractérisation du complexe métallurgique antique d'Aillant-sur-Tholon ».

L'objectif général du présent mémoire est d'effectuer une étude topographique fine d'un groupement de ferriers, à partir des caractéristiques tridimensionnelles de ces amas. La priorité de ce travail sera de démontrer comment la technologie LiDAR permet d'appuyer considérablement l'étude archéologique des lieux de production de fer et de mettre en lumière si une organisation entre les différentes structures est perceptible à une échelle intrasite. Les données tridimensionnelles seront également exploitées sous la forme de calculs de volume des amas afin d'en extrapoler les quantités de métal produit.

La fin de l'année 2018 a été mise à profit pour la documentation. Il a fallu notamment prendre connaissance du contexte archéologique et topographique du site des environs de Montholon (Aillant-sur-Tholon / Villiers-sur-Tholon). En parallèle les différentes étapes de la chaîne opératoire sidérurgique ont été révisées. C'est au début de l'année 2019 que la technologie LiDAR a été abordée ainsi que ses applications en archéologie. Une fois les acquisitions LiDAR réalisées et récupérées, en avril 2019, le reste de l'année a été consacré à leur exploitation. En tout, sept vols ont été réalisés, répartis sur trois secteurs : deux secteurs sur Aillant-sur-Tholon, au lieu-dit « Les Bois des Ferriers » sur le site 89.003.001, et au lieu-dit « Les Boulasseaux » sur le site 89.003.023, et à Villiers-sur-Tholon au lieu-dit « La Prée Murée » sur trois autres amas (Fig. 28).

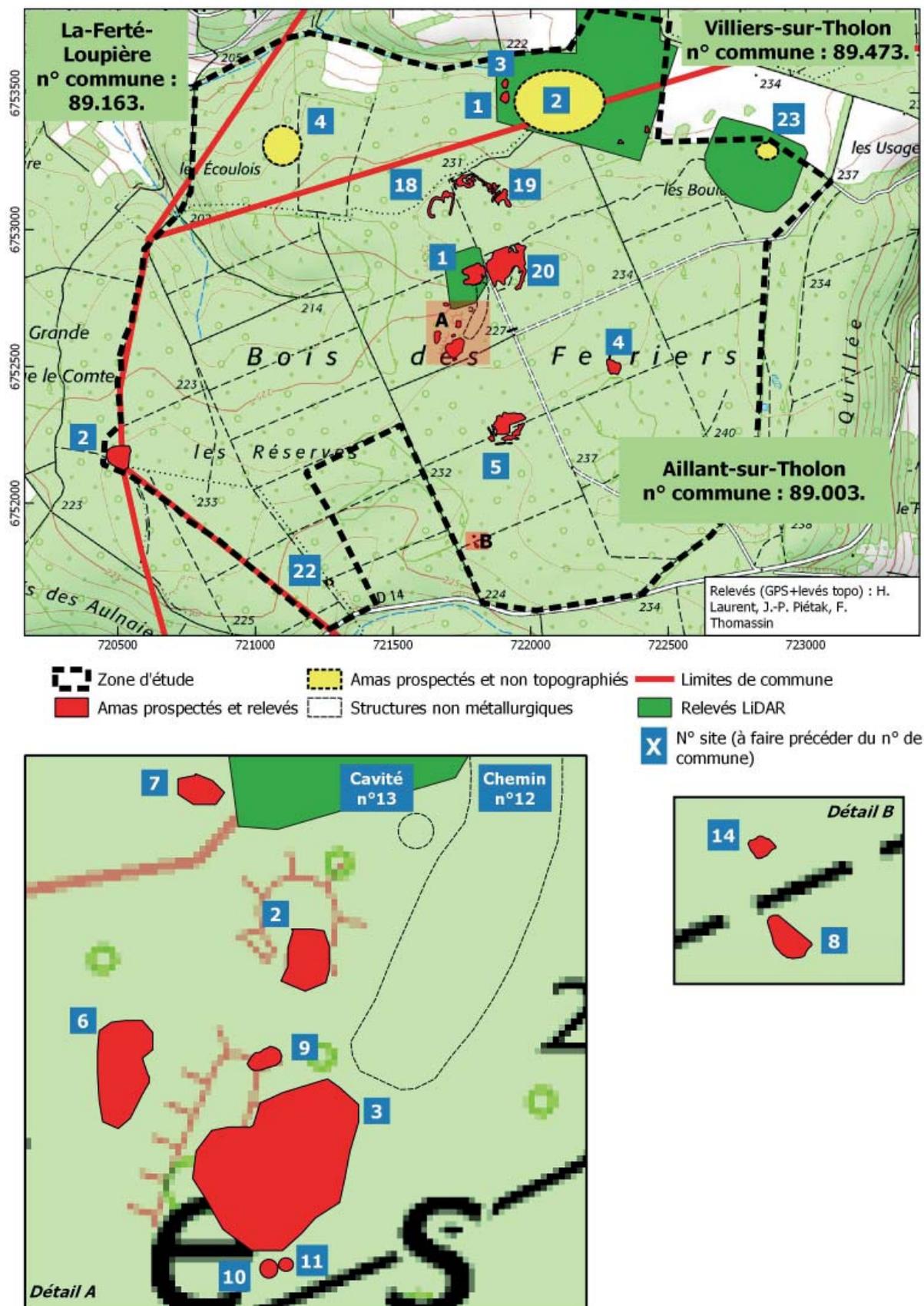


Figure n°28. Montholon : localisation des amas de déchets étudiés dans la zone délimitée. Emplacement des acquisitions LiDAR (M. Berranger).



Figure n°29. Fenêtre et utilisation du plugin YellowScan, via le logiciel QGIS (version 3.6 - M. Herbrich).

Les étapes de traitements des vols commencent par l'extraction des données 3D. Les données brutes ne sont pas utilisables telles quelles. Il est nécessaire de les transformer en nuage de points. Pour ce faire, nous utilisons le plugin QGIS YellowReader Mapper (Fig 29). À partir de ce nuage de points, le principe de la prochaine étape de traitement, consiste à discriminer chaque point en fonction de sa nature, en lui attribuant une classe. La classification manuelle n'est pas envisageable à une si grande échelle, c'est pourquoi nous utilisons un outil de classification automatique : le plugin CANUPO du logiciel CloudCompare (Fig 31). Quelques rectifications de classification sont ensuite réalisées avec le logiciel Lp360, pour ne perdre aucun point au niveau du sol, et éliminer un maximum de « points parasites » (Fig 30). Il est fréquent d'observer, entre deux lignes de vol, un décalage en altitude de l'ordre de quelques centimètres. Les fluctuations de la position du drone ne peuvent pas être contrôlées, ni par le pilotage manuel ni par le vol automatisé. Cet écart ne peut être rectifié que par des post-traitements sur les données. Ce recalage se fait manuellement à partir du logiciel CloudCompare. À partir du nuage de points classifié, seuls les points correspondants au sol sont gardés pour réaliser un modèle numérique de terrain. Une image raster est produite à partir du logiciel CloudCompare et elle va ensuite être soumise à plusieurs traitements d'images sur le logiciel RVT (Relief Visualization Toolbox). L'intérêt de multiplier ces visualisations est que chacune d'entre elles met en lumière des types de structures différentes (Fig. 32).

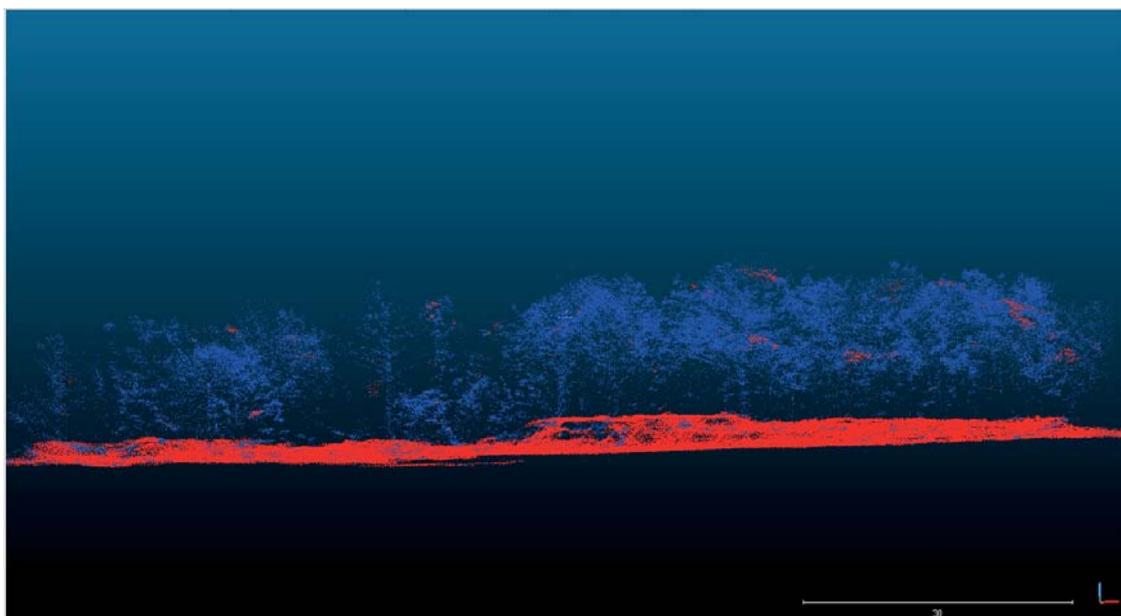


Figure n°30. Une bande de vol classifiée, affichant les deux sous-ensembles (Ground et Trees) en deux couleurs distinctes (M. Herbrich).

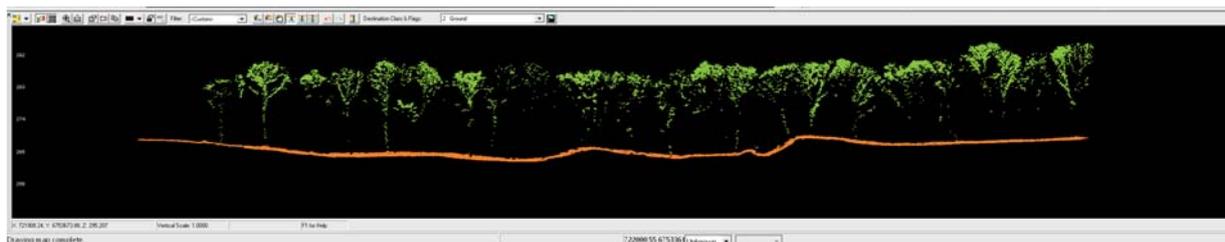


Figure n°31. Vue de la classification en coupe du nuage. Secteur de la « Prée Murée ». Lp360 (M. Herbrich)

À l'heure actuelle, seule l'acquisition du secteur des « Boulasseaux » reste en cours de traitement. Une fois tous les MNT produits et intégrés au SIG du site, nous reprendrons les traitements des nuages de points classifiés. En isolant les points correspondant à l'étendu des ferriers, défini préalablement, il est possible de calculer un volume précis. Le but étant de déterminer la masse de scories présente dans ce volume. Chiffrer la production d'un atelier est un excellent moyen de reconnaître l'importance de celui-ci. Dans le cas d'un ferrier, le LiDAR ne nous dispensera pas d'opération archéologique. En effet, le volume déterminé sera à considérer avec précaution, car il correspondra au volume total de l'amas et non au volume de scorie.

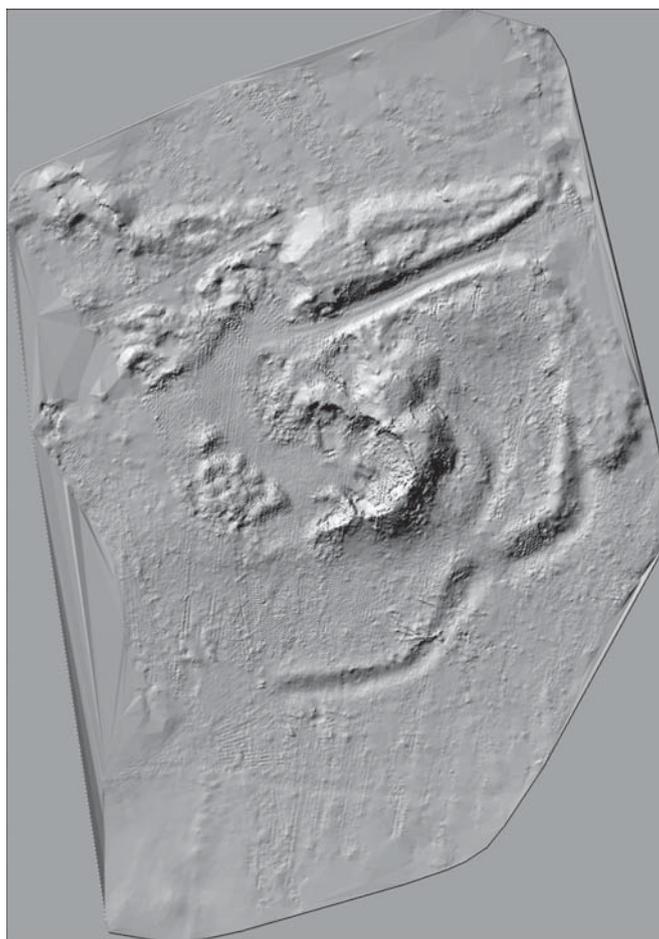


Figure n°32. Ferrier 89.003.001. Traitement HS (8bits). Logiciel : RVT.



Figure n°33. Coupe de 89.003.001. (Coupe horizontale sur la figure)

Figure n°34. Localisation des deux coupes du site 89.003.001

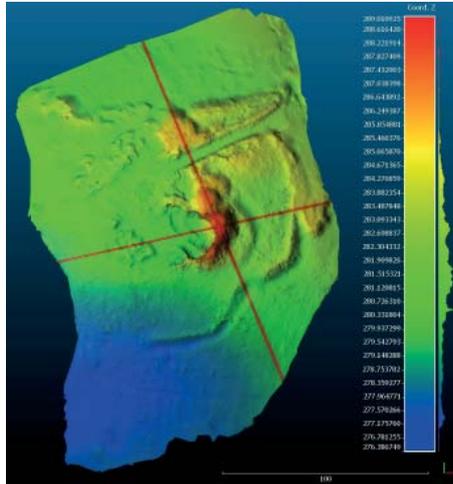


Figure n°35. Coupe de 89.003.001. (Coupe verticale sur la figure)

4.2.2. Périodisation d'après les dates radiocarbones

Marion Berranger

De nouvelles datations radiocarbones ont été réalisées en 2019 sur les amas prospectés ces deux dernières années dans le secteur du Bois des Ferriers. Elles permettent de présenter une première synthèse chronologique de l'organisation des activités sidérurgiques pour cette zone. Nous renvoyons aux rapports antérieurs (Berranger dir. 2017 et 2018) pour le détail des travaux de terrain effectués ces dernières années.

Nous disposons ainsi de 42 datations radiocarbones (plus une date antérieure aux activités sidérurgiques) issues de 17 sites (fig. 36). Six amas ont été sondés, ce qui permet un positionnement en stratigraphie de plusieurs de ces dates. Les autres dates proviennent de prélèvements au sein de scories visibles en surface de onze autres amas.

Les résultats des datations permettent de reconnaître une activité sidérurgique débutant dans le courant des V^e-III^e s. av. J.-C. et se poursuivant sans hiatus perceptible par la méthode radiocarbones jusqu'au début du IV^e s. ap. J.-C. (fig. 37). Une nouvelle période d'activité est ensuite documentée pour les XI^e-XIII^e s. ap. J.-C.

L'amas le plus ancien correspond au site 89.003.023, situé au lieu-dit « Les Boulasseaux ». Deux dates radiocarbones issues de scories prélevées en surface sont cohérentes entre-elles (481-257 CalBC et 390-205 CalBC). Il s'agit d'un amas dont les contours sont difficiles à cerner en raison de la végétation.

N° site	Commune	Lieu-dit	N° inventaire	Age C14 BP	Age calibré (95,4%)	Type charbon	Ref. labo.
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S3.301.SC13	1960+30	40 BC - 121 AD	Ind.	Poz-98004
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S4.401	1825+30	88 AD - 317 AD	Ind.	Poz-97980
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S4.C1	1920 +30	3 AD - 204 AD	Ind.	Poz-98007
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S3.302.pt3	1960+30	40 BC - 121 AD	Ind.	Lyon-15052 (SacA52868)
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S3.307.C1	1960+30	40 BC - 121 AD	Ind.	Lyon-15053 (SacA52869)
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S3.309.pt10	1880+30	66 AD - 222 AD	Ind.	Lyon-15054 (SacA52870)
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S4.402	1835+30	86 AD - 246 AD	Ind.	Lyon-15055 (SacA52871)
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S4.C2	1910+30	21 AD - 209 AD	Cambium	Lyon-15056 (SacA52872)
89.003.001	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F1.S2.201	1870+30	73 AD - 226 AD	Cambium	Poz-108559
89.003.002	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	89.003.002.C1	1800+30	131 AD - 326 AD	Cambium	Lyon-16103 SacA - 56233
89.003.003	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F3.S2.203	1870+30	73 AD - 226 AD	Ind.	Lyon-15059 (SacA52875)
89.003.003	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F3.S2.205.C14	1850+30	85 AD - 235 AD	Ind.	Lyon-15060 (SacA52876)
89.003.003	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F3.S2.207.C12	1865 +30	76 AD - 230 AD	Cambium	Poz-98005
89.003.003	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F3.S1.103.C2	1805 +30	129 AD - 325 AD	Cambium	Poz-98006
89.003.003	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F3.S1.101	1815+30	126 AD - 322 AD	Ind.	Lyon-15056 (SacA52872)
89.003.004	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	89.003.004.C1	1890+30	56 AD - 217 AD	Aubier	Lyon 16104 SacA - 56234
89.003.004	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	89.003.004.C3	1860+30	80 AD - 231 AD	Ind.	Poz-108912
89.003.005	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F5.108.C3	1940+30	20 BC - 130 AD	Cambium	Poz-108336
89.003.005	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F5.111.C7	1925+30	4 AD - 134 AD	Cambium	Lyon 16106 SacA 56236
89.003.005	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F5.103.C1	1860+30	80 AD - 231 AD	Ind.	Lyon 16105 SacA 56235
89.003.006	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	89.003.006.C1	1820+30	90 AD - 231 AD	Aubier	Lyon 16107 SacA 56237
89.003.007	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	89.003.007.C1	1845+30	58 AD - 239 AD	Cambium	Lyon 16108 SacA 56238
89.003.008	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	89.003.008.C1	2075+30	181 BC - 1 BC	Aubier	Lyon 16109 SacA 56239
89.003.009	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F9.S1.115.P7	1885 +30	60 AD - 220 AD	Aubier	Poz-98003
89.003.009	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F9.S1.113	1865+30	76 AD - 230 AD	Ind.	Lyon-15062 (SacA52878)
89.003.009	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F9.S1.104.C4	1825+30	88 AD - 317 AD	Cambium	Lyon-15137 (SacA53063)
89.003.009	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F9.S1.101	1805+30	129 AD - 325 AD	Ind.	Lyon-15061 (SacA52877)
89.003.010	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F10.109.C1	880+30	1042 AD - 1222 AD	Aubier	Lyon 16110 SacA 56240
89.003.010	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F10.109.C2	915+30	1030 AD - 1189 AD	Cambium	Lyon 16111 SacA 56241
89.003.020	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F20.101.C5	2030+30	156 BC - 53 AD	Aubier	Lyon 16112 SacA 56242
89.003.020	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F20.207.C1	1995+30	52 BC - 71 AD	Cambium	Lyon 16115 - SacA 56245
89.003.020	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F20.109.C6	1975+30	45 BC - 80 AD	Aubier	Lyon 16113 - SacA 56243
89.003.020	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F20.113.C7	1965+35	44 BC - 122 AD	Cambium	Poz-108259
89.003.020	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F20.204.C4	1920+30	3 AD - 204 AD	Aubier	Lyon 16114 SacA 56244
89.003.020	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	F20.219.C3	1850+30	85 AD - 235 AD	Aubier	Poz-108418
89.003.022	AILLANT-SUR-THOLON	Les Reserves	89.003.022.C6	1840+80	9 AD - 382 AD	Poudre	Poz-108558
89.003.023	AILLANT-SUR-THOLON	Les Boulasseaux	89.003.023.C1	2240+30	390 BC - 205 BC	Cambium	Lyon 16116 SacA 56246
89.003.023	AILLANT-SUR-THOLON	Les Boulasseaux	89.003.023.C2	2325+30	481 BC - 257 BC	Ind.	Poz-108438
89.163.002	LA-FERTE - LOUPIERE	La Bernière / Ferrier des 3 communes	89.163.002.C3	2060+30	170 BC - 4 AD	Poudre	Poz-102197
89.473.001	VILLIERS-SUR-THOLON	La Prée Murée	89.473.001.C3	1800+30	131 AD - 326 AD	Ind.	Poz-102195
89.473.003	VILLIERS-SUR-THOLON	La Prée Murée	89.473.003.C3	1815+30	126 AD - 322 AD	Ind.	Poz-102196
89.473.004	VILLIERS-SUR-THOLON	Les Ecoulois	89.473.004.C1	1890+30	56 AD - 217 AD	Aubier	Lyon 16118 SacA 56248
Datation en cours							
89.003.008	AILLANT-SUR-THOLON	Bois des Ferriers	89.003.008.C4			Poudre	Artémis
Envoyé pour datation, sans carbone							
89.003.022	AILLANT-SUR-THOLON	Les Reserves	89.003.022.C1			Poudre	Artémis
89.003.022	AILLANT-SUR-THOLON	Les Reserves	89.003.022.C7			Poudre	Artémis
89.003.022	AILLANT-SUR-THOLON	Les Reserves	89.003.022.C8			Poudre	Artémis

Figure n°36. Secteur de Montholon. Inventaire des datations radiocarbone effectuées ou en cours.

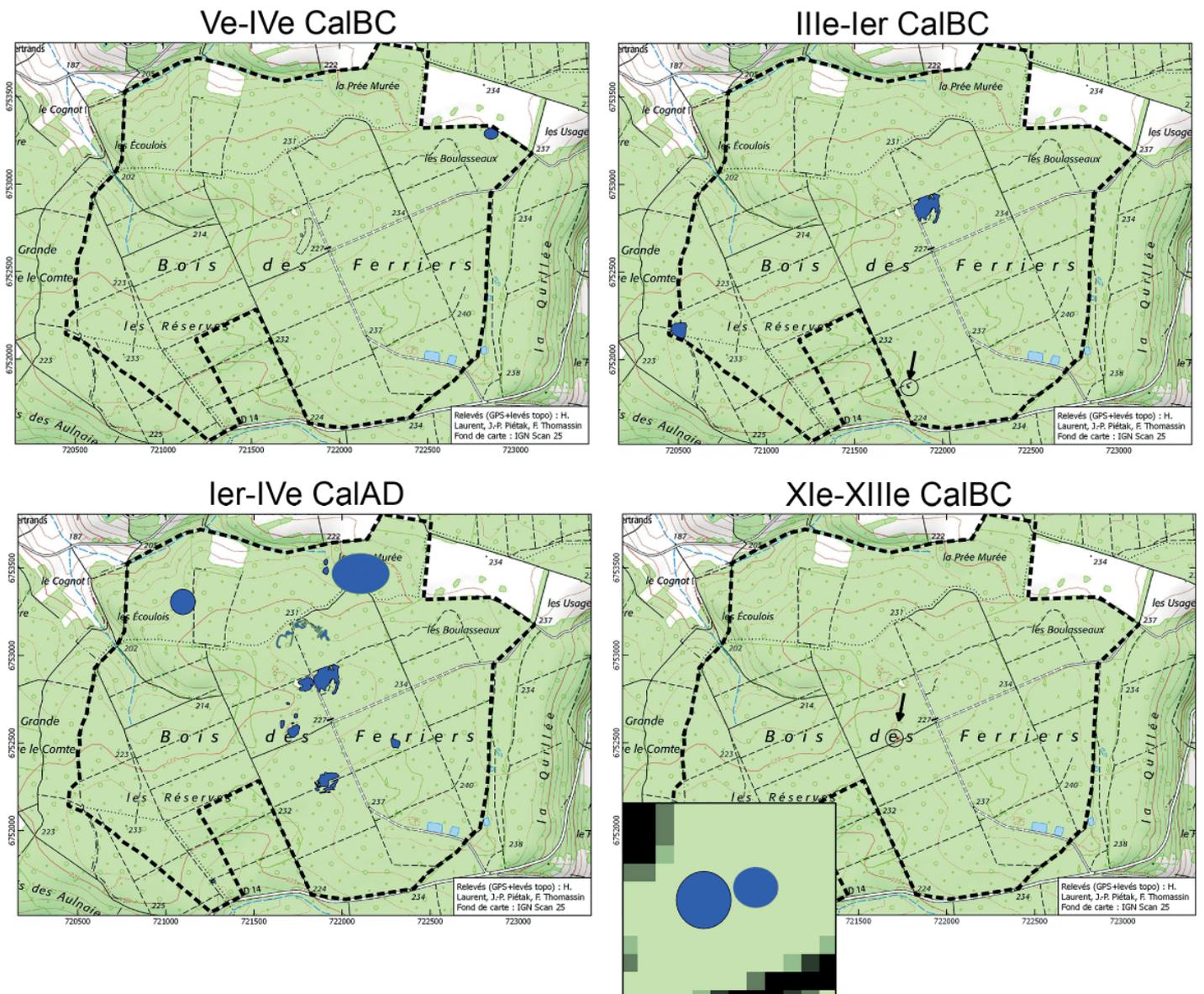


Figure n°37. Secteur de Montholon. Localisation des amas de déchets par phase.

Il semble néanmoins prendre la forme d'une butte d'environ 25 m de diamètre et d'environ 80 cm de hauteur. Le sédiment encaissant varie du rouge à un sédiment plus foncé.

Un groupe de trois sites assez différents se rattache à la période suivante qui s'étendrait sur les III^e-I^{er} s. av. J.-C. Il s'agit des amas 89.003.008 (181-1 CalBC), 89.163.002 (170 CalBC- 4 CalAD) et des strates inférieures du site 89.003.020 (156 CalBC-53 CalAD). Le site 89.003.008 est un amas de très petite taille, couvrant une surface de 150 m² (V estimé : 105 m³), avec une faible densité de scories visibles au sein d'un sédiment rougeâtre. L'amas 89.163.002 est quant à lui un site bien plus étendu, couvrant environ 6000 m² (V estimé : 15 000 m³), et dont les scories, plus fréquentes, sont également prises dans un sédiment rouge.

Les strates anciennes de l'amas 89.003.020 n'ont été perçues qu'en coupe, ce qui ne permet pas de caractériser ses caractéristiques topographiques. Son intérêt particulier réside dans la documentation d'une continuité entre une activité sidérurgique probablement débutée à la fin de la Tène et se poursuivant après la conquête romaine.

La majorité des sites, soit sept amas (89.003.001, 89.003.003, 89.003.004, 89.003.005, 89.003.006, 89.003.007, 89.003.020) et un niveau de sol scellé sous l'amas 89.003.009 peuvent être datés de la période suivante, correspondant aux I^{er} – milieu du III^e s. ap. J.-C. (intervalle compris entre 3 CalAD – 246 CalAD au plus large). Les strates supérieures de deux sites sondés, 89.003.001 et 89.003.003, documentent une activité qui se poursuit sur la période suivante, soit jusqu'au début du IV^e s. ap. J.-C. (intervalle calibré compris entre 126 CalAD et 326 CalAD). Quatre autres sites sont également à attribuer à cette dernière période : 89.473.001, 89.473.003, 89.003.002, 89.003.009. L'amas 89.003.022 se rattache également à la période antique, mais il ne peut être daté plus précisément entre 9 CalAD et 382 CalAD.

L'ensemble des amas attribués à la période antique présentent des points communs en termes de topographie (fig. 38). Il s'agit d'amas volumineux (V. estimé compris entre 250 m³ et 200 000 m³, moyenne à 17 000 m³). Ces accumulations dépassent généralement 2 m de hauteur et atteignent pour certains sites 10 à 12 m de haut.

Commune	n° de site	Destructions	Volume estimé	Surface relevée	H. actuelle	Long.	Larg.	Date inf. (TPQ)	Date sup. (TAQ)
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.001	Très remanié	28028	4680	11	70	91	-40	317
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.002	Intact	1598,4	400	6	37	18	131	326
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.003	Très remanié	5840	3400	4	73	50	73	325
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.004	Très remanié	3500	1800	2,5	70	50	56	231
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.005	Très remanié	31200	10000	4	150	130	-20	231
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.006	Oui (non déf.)	4540,8	850	12	43	22	90	231
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.007	Intact	261,63	200	1,5	28,5	15,3	58	239
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.008	Intact	105,6	150	1	16,5	16	-181	-1
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.009	Intact	103,68	100	0,8	18	18	60	325
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.010	Intact	7,2	36	0,5	6	6	1030	1222
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.011	Intact	7,2	36	0,5	6	6		
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.014	Intact	160	60	1	20	20		
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.018	Très remanié	48000	6000	4	200	150		
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.019	Très remanié	48000	6000	4	200	150		
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.020	Très remanié	44336	15000	4	170	163	-156	235
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.022	Oui (non déf.)	240	250	1	30	20	9	382
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.023	Intact	8800	2000	0,8	550	50	-481	-257
AILLANT-SUR-THOLON	89.003.024	Oui (non déf.)	4800		3	100	40		
LA-FERTE-LOUPIERE	89.163.002	Oui (non déf.)	15984	6000	4	111	90	-170	4
VILLIERS-SUR-THOLON	89.473.001	Ponctuels	4265,6	1000	8	43	31	131	326
VILLIERS-SUR-THOLON	89.473.002	Très remanié	200000		10	200	250		
VILLIERS-SUR-THOLON	89.473.003	Intact	1400	600	4	35	25	126	322
VILLIERS-SUR-THOLON	89.473.004	Très remanié	26400	10000	6	110	100	56	217

Figure n°38. Montholon : chronologie, dimensions en mètres et volumes des amas en m³

La plupart d'entre eux ont été partiellement détruits lors des exploitations contemporaines. Il n'a pas été possible de prélever de charbons sur les sites 89.003.018 et 89.003.019, quasiment intégralement détruits par les travaux récents. Leur positionnement par rapport aux amas antiques, leur extension et les volumes de déchets encore conservés permettent néanmoins de les rattacher à la même époque. L'énorme amas 89.473.002 dont le volume est actuellement estimé à 200 mille m³ (des relevés LiDAR permettront de préciser ces chiffres) est probablement à rattacher à cette même période.

Trois de ces amas intacts (89.003.002) ou peu perturbés (89.473.001 et 89.473.002) présentent des caractéristiques topographiques comparables. Il s'agit d'accumulations de plan à peu près ovale éventuellement un peu plus large à une extrémité. Le profil d'accumulation de l'amas poursuit une pente régulière depuis le sol jusqu'à une hauteur maximale atteinte à l'autre extrémité. A cet endroit la dénivellation est forte et abrupte et correspond probablement à la zone à partir de laquelle les derniers déchets ont été rejetés. Cette organisation suggère une organisation raisonnée des modalités de circulation et d'accumulation des déchets au sein de tas se développant progressivement en longueur et en hauteur. A ce stade de l'étude, il n'est pas possible de préciser la dynamique de constitution des amas les plus étendus. La plupart semblent constitués de plusieurs « tas » accolés. Les sites 89.003.005 et 89.003.020 se présentent actuellement comme de vastes plateformes résultant d'un nivellement général intervenu lors des épisodes d'exploitations récents.

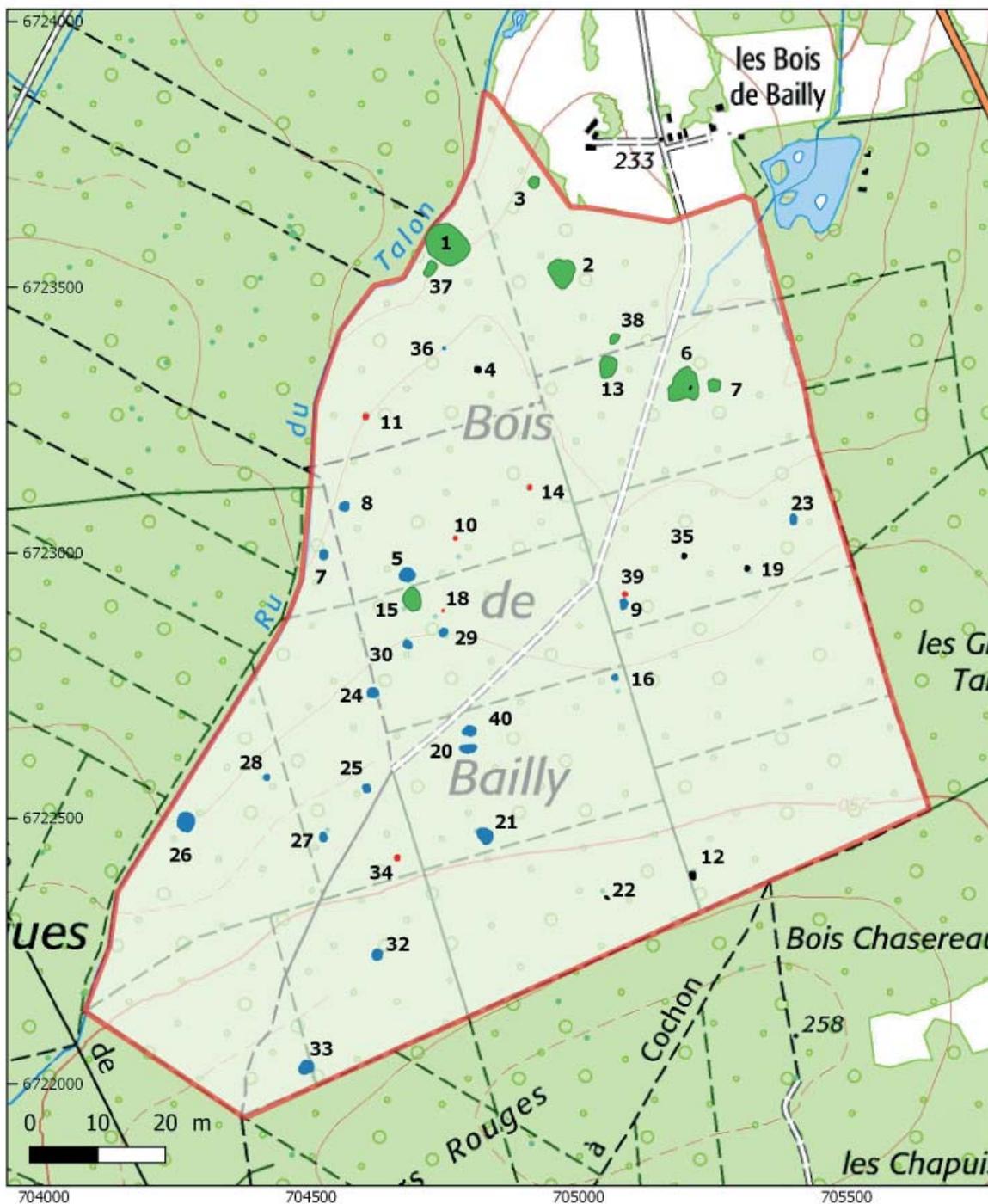
L'analyse des stratigraphies met en évidence une même gestion des déchets. Les niveaux de rejet de scories et de destruction de four se retrouvent généralement en strates distinctes. Les amas les plus épais, comme le site 89.003.001 sont ainsi constitués d'une superposition de ces couches où alternent fragments de scories et niveaux de destruction de fours. Ces stratigraphies permettent de restituer des épisodes successifs de destruction et de reconstruction des fours.

L'exploitation sidérurgique s'interrompt dans la zone étudiée au début du IV^e s. ap. J.-C. Elle reprend après une longue période d'interruption aux XI^e-début XIII^e s. (1030 CalAD -1222 CalAD). Un seul site (89.003.010) est daté de cette période. Ses caractéristiques topographiques le différencient des amas antérieurs. Il couvre une surface réduite à environ 40 m² pour un volume évalué à 7 m³ (fig. 38). Il s'agit d'un amas de très petite taille, de faible élévation, livrant une forte densité de scories mêlées à un sédiment très charbonneux. Un amas « jumeaux » (89.003.011) situé à quelques mètres est très probablement à rattacher à cette même période. Le site 89.003.010 a été sondé (Berranger dir. 2018 p. 60-63) et permet d'accéder à une stratigraphie d'une cinquantaine de centimètres d'épaisseur. Contrairement aux amas antiques, seul un niveau constitué principalement de fragments de scories, et dans une moindre mesure de fragments de parois, a été documenté. Le sondage a également permis de déterminer l'extension du site sur une surface plus vaste que présumée à partir des seuls repérages de surface.

4.3. Saint Fargeau « Bois de Bailly » (89) : prospections, sondages et datations.

Les activités de terrain ont été centrées cette année sur le sud de la Puisaye et plus précisément sur une deuxième zone atelier d'environ 2 km² correspondant au « Bois de Bailly » à Saint Fargeau (89). Le Bois de Bailly était un candidat idéal, par son statut : il s'agit de l'un des rares espaces étendu situé en domaine public et par le nombre de sites potentiels : Jean-Pierre Piétak y inventorie plus d'une trentaine d'amas de scories.

39 sites ont ainsi été inventoriés, topographiés et échantillonnés lors de la campagne d'avril 2019 (fig. 39). La description de ces sites et les informations afférentes figurent dans le paragraphe



Saint Fargeau-Bois de Bailly (89.344)

Zone étudiée

Typologie des amas

Hors groupe

Groupe 1

Groupe 2

Groupe 3

Figure n°39. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" inventaire des sites par groupe typologique d'amas. Dimensions en mètres et volumes des amas en m³.

suivant et en annexe 1.1. Dans cette dernière ont été exportées les informations saisies dans la base de données du PCR. Huit datations radiocarbone, concernant 8 amas différents, ont pu être effectuées dans le courant de l'année 2019. Nous attendons les résultats de 5 autres dates radiocarbone (fig. 40).

4.3.1. Description des sites prospectés.

4.3.1.1. Caractéristiques générales des amas.

Les sites inventoriés ne fournissent pas la même qualité d'information. Le site 89.344.022 correspond ainsi probablement à des déchets remaniés, voire déplacés et ne sera donc pas pris en compte dans les synthèses suivantes.

D'autre part, certains amas de scories ont probablement été individualisés artificiellement. De petites concentrations de scories situées à côté de très gros amas remaniés ont été individualisés alors que leur proximité géographique et la typologie des scories laissent à penser qu'ils constituent une seule entité. C'est le cas du petit amas 89.344.038 qui appartient probablement au très gros amas 89.344.013. Il en est de même pour les sites 89.344.001 et 89.344.037 qui formeraient un même ensemble et d'autre part pour les sites 89.344.006 et 89.344.007.

Nos réflexions peuvent donc s'appuyer sur un minimum de 37 amas inventoriés dans ce secteur. Nous présenterons dans un premier temps une synthèse s'appuyant sur les seules caractéristiques topographiques et les observations de terrain réalisées durant les prospections. Ces commentaires seront par la suite complétés par l'étude des déchets prélevés sur les amas.

Au moins trois groupes bien distincts d'amas ont pu être perçus lors des prospections. Ils se distinguent par la dimension des « tas » de déchets, par la couleur du sédiment ou encore par la densité de scories visibles en surface (fig. 40).

Un premier groupe de sites couvre de petites surfaces (comprises entre 11 et 84 m² d'après les relevés de terrain) et est caractérisé par de faibles élévations (inférieure à 50 cm). Les volumes estimés sont ainsi inférieurs à 15 m³. L'aspect de surface de ces sites est très caractéristique. Ils sont constitués d'un sédiment noir très charbonneux, et sein duquel se répartissent de très fortes concentrations de scories plus ou moins fragmentées. Six sites partagent ces caractéristiques (89.344.010, 011, 014, 018, 034, 039).

Un deuxième groupe rassemble de « gros » amas. Ces sites (89.344.001, 002, 003, 006, 013, 015 et ceux associés 007, 037, 038), s'étendent sur plus de 1000 m², avec des élévations proches ou dépassant le mètre (les volumes estimés sont compris entre 160 et près de 4000 m³). A l'exception du site 89.344.015, ils se répartissent dans le tiers nord du secteur prospecté. Tous ces amas ont subi d'intenses remaniements modernes, probablement en lien avec l'exploitation de scories de la fin du XIX^e et du début du XX^e s. Ces exploitations prennent la forme de tranchées ou de cavités larges de plusieurs mètres. Dans certains secteurs seuls des amas constitués des rebuts de criblage subsistent.

Le dernier groupe est majoritaire avec 20 amas. Ils se caractérisent par une faible lisibilité. Sans l'expérience de Jean-Pierre Piétak, un grand nombre de ces sites n'aurait pas été identifié. Ces amas sont de faible hauteur, ne dépassant généralement pas la trentaine de centimètre (volumes inférieurs à 200 m³). Ils sont constitués d'un sédiment brun-clair à marron dans lequel se répartissent de petits fragments de scories éparses. Des chablis ou des taupinières permettent parfois de cerner de plus grandes concentrations de déchets. Les surfaces couvertes sont généralement inférieures à 500 m², même si quelques sites plus étendus ont été identifiés (900

m² pour le plus grand). Peu visibles, la plupart de ces amas sont intacts ou n'ont fait l'objet que de destructions très ponctuelles qui ne sont pas forcément à relier aux travaux d'exploitation des XIX^e-XX^e.

Cinq sites présentaient des caractéristiques ne permettant pas de les classer dans un groupe déjà défini (89.344.004, 012, 019, 022, 035).

n° de site	Type de site métallurgique	Destructions	Couleur sédiment	Concentration scories	Volume estimé	Surface relevée	H. actuelle	Long.	Larg.	Typo. par caract. topo.
89.344.010	Amas de déchets de réduction	Intact	Noir	Fortes	7,84	38	0,4	7	7	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.011	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noir	Fortes	14,4	84	0,4	10	9	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.014	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Noir	Fortes	14,4	51	0,6	10	6	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.018	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noir	Fortes	0,9	11	0,15	5	3	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.034	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Noir	Fortes	12	83	0,5	8	7,5	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.039	Amas de déchets de réduction	Intact	Noir	Fortes	6,48	60	0,3	9	6	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.001	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Variable	Fréquentes	3960	5689	1,8	110	50	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.037	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Fréquentes	/	480				Identique à 89.344.001 ?
89.344.002	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Noir	Fortes	924	1997	1,4	55	30	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.003	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Variable	Fréquentes	161,28	343	1,2	24	14	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.006	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Variable	Fréquentes	1815	2671	1,5	55	55	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.007	Concentration de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron	Fréquentes	/	451	0,3	25	25	Identique à 89.344.006 ?
89.344.013	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Foncé	Fortes	936	1036	1,2	65	30	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.038	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)		Fréquentes	/	254				Identique à 89.344.013 ?
89.344.015	Amas de déchets de réduction	Très remanié		Eparses	480	1145	0,75	40	40	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.005	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun-gris	Fréquentes	291,2	576	1	28	26	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.008	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun foncé	Eparses	48	253	0,3	20	20	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.009	Amas de déchets de réduction	Intact	Gris beige	Eparses	34,2	214	0,3	19	15	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.016	Amas de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron-brun	Eparses	20	105	0,5	10	10	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.017	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun sombre	Eparses	89,6	231	0,7	20	16	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.020	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Brun-clair	Eparses	69,6	385	0,3	29	20	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.021	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Brun	Eparses	172,8	655	0,6	30	24	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.023	Concentration de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Marron	Eparses	19,2	200	0,2	20	12	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.024	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Brun-ocre	Eparses	29,92	313	0,2	22	17	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.025	Concentration de déchets de réduction	Intact	Brun	Eparses	27	187	0,3	15	15	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.026	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun	Fréquentes	294	927	0,7	30	35	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.027	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun-rouge	Eparses	23,04	196	0,2	18	16	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.028	Concentration de déchets de réduction	Intact	Brun	Eparses	8	94	0,2	10	10	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.029	Amas de déchets de réduction	Intact	Marron	Eparses	32,64	187	0,3	17	16	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.030	Amas de déchets de réduction	Intact	Brun-gris	Eparses	28,8	203	0,25	18	16	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.033	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Marron-rouge	Eparses	158,4	563	0,6	30	22	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.036	Concentration de déchets de réduction	Oui (non déf.)	Brun-clair	Eparses	2,88	21	0,2	6	6	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.040	Concentration de déchets de réduction	Intact	Brun-rougeâtre	Eparses	92	390	0,5	23	20	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.004	Amas de déchets de réduction	Intact	Rougeâtre	Fréquentes	38,4	118	0,8	12	10	Hors groupe
89.344.012	Amas de déchets de réduction	Intact	Noir	Fortes	24	144	0,5	10	12	Hors groupe
89.344.019	Amas de déchets de réduction	Ponctuels	Brun	Eparses	17	73	0,5	10	8,5	Hors groupe
89.344.032	Amas de déchets de réduction	Très remanié	Marron-jaune	Fréquentes	16	312	0,1	20	20	Hors groupe
89.344.035	Amas de déchets de réduction	Intact	Limon jaune	Fréquentes	7,68	73	0,3	8	8	Hors groupe
89.344.022	Déchets de réduction remaniés ou déplacés	/			/	34	0,5	8	3	

Figure n°40. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" caractéristiques des sites par groupe typologique d'amas. Dimensions en mètres et volumes en m³

4.3.1.2. Caractéristiques stratigraphiques.

Trois amas ont été appréhendés en coupe. Deux sont des coupes « opportunistes » observées sur des chemins ou des fossés traversant les amas 89.344.024 et 89.344.033. Ces deux sites se rattachent à la dernière catégorie d'amas « discrets ».

Un sondage a également été réalisé cet été sur l'un des sites prospectés en avril (site 89.344.006 appartenant aux gros amas). Ce dernier devait faire l'objet de terrassements afin de permettre l'aménagement d'un layon. Nous en avons profité pour effectuer une demande d'opération archéologique.

Observations stratigraphiques sur l'amas 89.344.024.

Cet amas circulaire a été traversé par un chemin moderne bordé d'un fossé. L'amas a ainsi été traversé sur environ 1 mètre d'épaisseur. Nous avons réalisé un nettoyage sommaire de la coupe accessible.



La stratigraphie est la suivante (fig. 41) : le sol naturel, une argile jaune-blanche comprenant des blocs de silex, est visible à 95 cm de profondeur. Il est surmonté par une couche en apparence homogène de 85 cm d'épaisseur constituée de limon brun ocre dans laquelle se répartissent des fragments de scories de taille centimétrique, ainsi que quelques fragments de parois. Ces éléments sont dispersés dans toute l'épaisseur de cette strate. Elle est recouverte par une couche d'humus d'une épaisseur de 10 cm.

Figure n°41. Amas 89.344.024 coupé par un fossé bordier de chemin.

Observations stratigraphiques sur l'amas 89.344.033.



Cet amas a été coupé par un chemin bordé d'un fossé. L'amas a été traversé sur une épaisseur d'une soixantaine de centimètres (fig. 42). Le terrain naturel, de l'argile blanche, est visible à 45 cm de profondeur. Il est recouvert par un limon argileux brun. Des fragments de scories centimétriques ont été observées entre -25 et -45 cm. La terre végétale est absente dans ce secteur.

Une datation radiocarbone permet de dater cet amas entre 390 et 205 CalBC.

Figure n°42. Amas 89.344.033 coupé par un chemin.

Sondage sur l'amas 89.344.006.

Un sondage a été réalisé à l'occasion d'aménagements envisagés par l'ONF sur un amas très étendu, mais en apparence très remanié. L'ouverture a été effectuée au tractopelle, la mairie de Saint-Fargeau nous ayant mis à disposition l'appareil et son chauffeur durant 1 journée. Le rebouchage a été effectué immédiatement après la fin de l'intervention.

Un sondage de 6 m de long sur une largeur maximale de 2,40 m a été ouvert en périphérie est du site (fig. 43). Il a été implanté dans la seule zone apparemment peu touchée par des remaniements récents et car une plus grande quantité de scories de taille pluri-centimétrique était visible en surface.

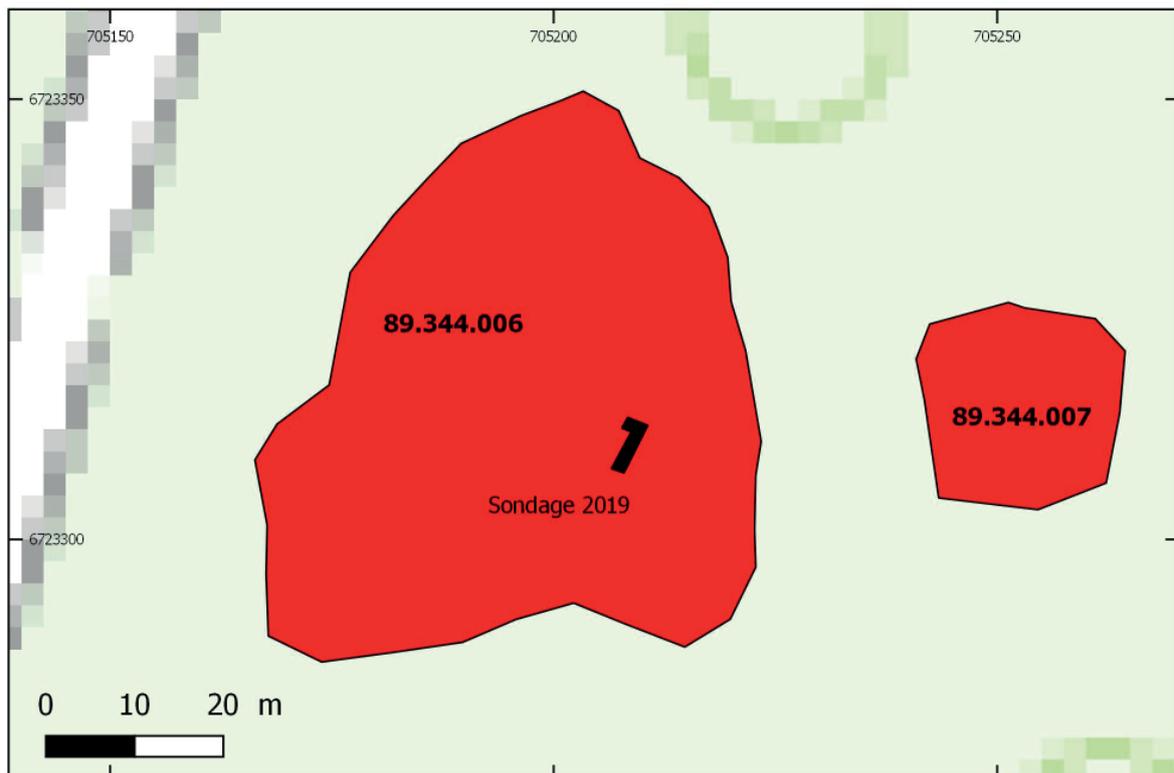


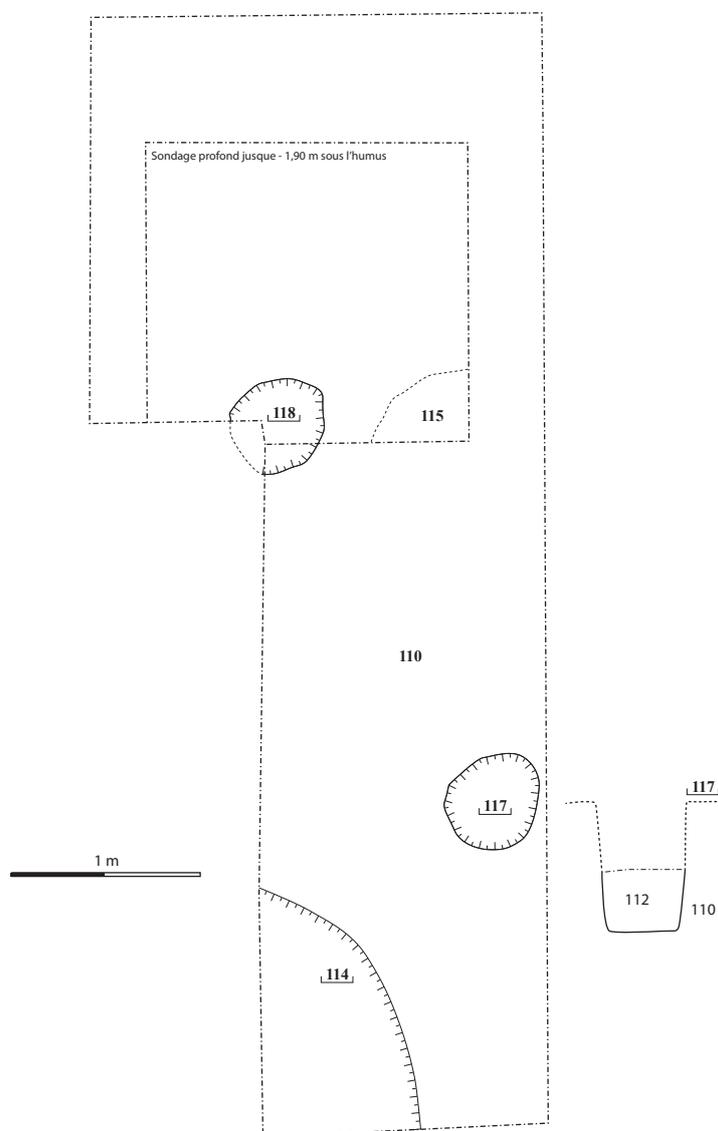
Figure n°43. Localisation du sondage (noir) sur l'amas 89.344.006.

Le sondage, orienté nord-sud, a été ouvert du sud vers le nord. Dans la partie sud-ouest, est apparue une vaste fosse [114] large de 2 m et profonde d'au moins 2,30 m sous le niveau d'humus actuel (fig. 44, 48, 49). A cette profondeur nous avons interrompu l'excavation pour des raisons de sécurité. Les parois de cette fosse semblaient alors se resserrer, mais le fond reste incertain. Elle recoupe les niveaux de rejets de fours et de scories, et est donc bien postérieure à l'amas de déchets. Elle s'enfonce profondément dans le terrain naturel et ne semble pas forcément en lien avec la ré-exploitation des scories. Aucun élément ne permet de proposer de datation.

Au même niveau, une autre fosse [108] (fig. 47), occupe la partie sud-est du sondage et est seulement profonde d'une soixantaine de centimètre. Dans ce secteur l'ensemble des niveaux de déchets sidérurgiques est donc perturbé sur environ 2 m de long.

Des accumulations de déchets non remaniées ont été observées sur une longueur de 4 mètres. Nous avons percé ces niveaux afin de les appréhender en stratigraphie. Le décaissement a été interrompu sur le niveau d'apparition du terrain naturel (110) se situant entre 80 et 130 cm sous

le niveau d'humus. Dans ce secteur, il s'agit d'une couche d'argile jaune très compacte. En fin d'opération l'argile jaune a été surcreusée d'environ 50 cm sans que l'on rencontre de nouvelle structure archéologique, ce qui a permis de vérifier qu'il s'agissait bien du terrain naturel.



Le décapage sur la couche d'argile naturelle a permis de mettre en évidence trois structures probablement liées à l'exploitation métallurgique. Deux [117] et [118] sont des trous de poteaux de plan circulaire (fig. 45), mesurant 50 cm de diamètre. Leur profondeur minimale est de 70 cm. Elles sont apparues au niveau du terrain naturel [110]. Leur remplissage s'avère très compact et comprend des fragments centimétriques à décimétriques de scories écoulees, de parois et de blocs de silex, emballés dans un limon très argileux marron clair mélangé à des nodules infra-centimétriques de terre cuite. Seuls quelques fragments de charbon de bois ont été observés dans le comblement [112]. Le remplissage [111] était au contraire très charbonneux.

Figure n°44. Plan du sondage et des structures décapées sur le terrain naturel



Figure n°45. Trou de poteau 117, avant et après fouille



A quelques centimètres de [111] a été observée une zone rubéfiée [115] couvrant plus d'une cinquantaine de centimètres de diamètres. Elle était constituée de grains de minerai centimétriques de couleur rouge, mêlés à des fragments de charbon de bois (fig. 46). La dureté du terrain, renforcée par la sécheresse de cet été, n'a pas permis une fouille manuelle de cette structure. Elle a été coupée mécaniquement.

Figure n°46. US 115, zone de grillage de minerai ?

Les trous de poteau pourraient appartenir à la structure d'un abri, comme on en connaît sur certains sites de réduction et notamment sur les fours de réduction (Domergue *et al.* 1993, Sarreste 2011). La profondeur et la largeur relativement importante de ces trous caractérisent un bâtiment d'une certaine robustesse, et non pas un simple abri léger.

L'accumulation de fragments de minerai grillé correspondrait quant à elle à l'emplacement d'une aire de grillage aménagée dans une petite cuvette sur le terrain naturel. Le sondage a donc probablement touché une zone proche des structures de réduction. Nos objectifs n'étant actuellement pas de fouiller ce type de structure nous n'avons pas cherché à ouvrir davantage la zone de fouille.

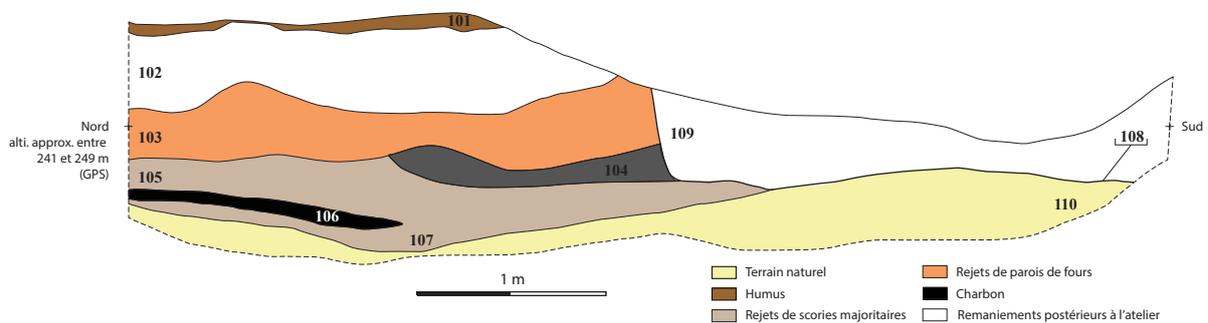


Figure n°47. Relevé et vue de la coupe est du sondage

L'ensemble de ces aménagements est recouvert par les niveaux de destructions de fours (fig. 47, 48). Les couches reposant directement sur le terrain naturel correspondent à des rejets de scories écoulées se subdivisant en au moins deux couches distinctes [105] et [107]. Leurs caractéristiques sont identiques : elles sont constituées de fragments de scories de taille centimétrique à pluri-décimétrique. L'enrobage de terre est quasiment absent dans ces strates. Un niveau de rejets de charbon de bois [106] s'intercale entre ces deux niveaux.

Ces couches de scories sont surmontées par un niveau cendreux gris [104] comprenant quelques fragments de scories décimétriques et des nodules de terre cuite. L'ensemble est recouvert par un épais niveau [103] très compact de comprenant des nodules centimétriques et des pains décimétriques d'argile blanche à rose. Quelques fragments de scories sont également présents, ainsi que quelques fragments de charbon de bois.

Les niveaux supérieurs [102] et [101] correspondent aux parties sommitales remaniées. L'absence de fragments de scories de taille pluri-centimétrique s'explique probablement par leur récupération durant les phases modernes de réexploitation de l'amas.

La couche [102] est ainsi un niveau très compact mêlant nodules de silex et quelques pains d'argile décimétriques dans un sédiment argileux marron. Le niveau d'humus [101] se développe sur une dizaine de centimètres d'épaisseur.

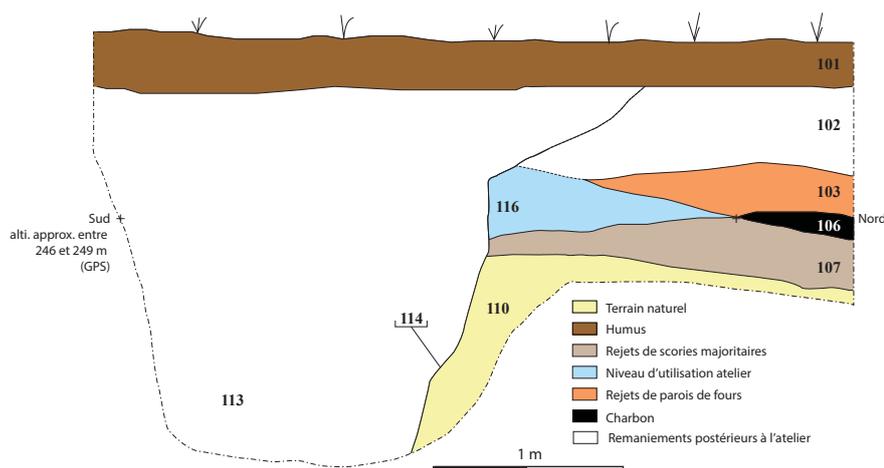


Figure n°48. Relevé et vue de la coupe ouest du sondage



Cette stratigraphie semble caractéristique de rejets successifs d'éléments de destructions de fours. La base comprend les scories écoulées hors de la cuve, premières à être évacuées du four pour récupérer la masse de métal. Viennent ensuite les niveaux cendreux pouvant provenir de l'intérieur du bas fourneau. Suivent ensuite les rejets de parois de four, correspondant à une phase terminale de destruction – reconstruction des structures de chauffe. L'épaisseur d'accumulation de ces déchets renvoie à des utilisations successives de plusieurs fours dont les déchets semblent avoir fait l'objet d'un tri avant d'être rejetés à cet emplacement de l'amas.

Figure n°49. Vue générale du sondage vers le nord

Deux prélèvements de scories ont été effectués dans les niveaux [105] et [107] et les fragments de minerais de la couche [115] ont été prélevés. La couche charbonneuse [106] a été en grande partie prélevée afin de faire l'objet d'une étude dendroanthracologique et pour des datations. Des charbons ont également été prélevés dans les US [103] et [111] pour datations.

4.3.2. Résultats des datations radiocarbone.

Nous disposons actuellement de huit datations en provenance de huit amas différents (fig. 50). Des amas représentatifs des différents groupes ont été échantillonnés. 2 dates concernent des amas du groupe 1 (très petits sites – 89.344.18, 034), 1 amas du groupe 2 (gros sites, livrant peu de charbons – 89.344.001) et 4 charbons proviennent de sites du groupe 3 (amas discrets – 89.344.005, 026, 033, 040), le plus représenté. 1 dernier charbon provient d'un site « hors groupe » (89.344.012).

Les datations actuellement disponibles permettent de distinguer trois grandes phases d'activité : une phase comprise entre le VI^e et le I^{er} av. J.-C., une deuxième entre le VIII^e et le X^e ap. J.-C., et une dernière entre le XIII^e et le XIV^e s.

La phase la plus représentée est celle protohistorique. L'amas le plus ancien est le n°89.344.026 (516-379 CalBC), soit l'amas le plus vaste du groupe des sites discrets, localisé au sud-ouest de la zone prospectée.

N° site	N° inventaire	Age C14 BP	Age calibré (95,4%)	Type charbon	Ref. laboratoire	Typo. par caract. topo.
89.344.001	89.344.001.C4	2140+-35	355 BC - 54 BC	Poudre	Poz-116063	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.005	89.344.005.C1	2230+-30	384 BC - 204 BC	Aubier	Poz-115987	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.012	89.344.012A.C2	710+-30	1256 AD - 1385 AD	Cambium	Poz-115990	Hors groupe
89.344.018	89.344.018.C1	1170+-30	771 AD - 965 AD	Aubier	Poz-115989	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.026	89.344.026.C1	2355+-30	516 BC - 379 BC	Aubier	Poz-116064	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.033	89.344.033.C1	2240+-30	390 BC - 205 BC	Aubier	Poz-116061	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.034	89.344.034.C1	1210+-30	695 AD - 891 AD	Aubier	Poz-115985	Groupe 1 ("petit" amas)
89.344.040	89.344.040.C2	2270+-30	400 BC - 210 BC	Aubier	Poz-116065	Groupe 3 (amas "discrets")
Datations en cours						
89.344.003	89.344.003.C2			Indéterminé, poudre	Artemis en cours	Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.008	89.344.008.C1			Indéterminé	Artemis en cours	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.016	89.344.016.C1			Cambium	Artemis en cours	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.036	89.344.036.C1			Aubier	Artemis en cours	Groupe 3 (amas "discrets")
Envoyé pour datation, sans carbone						
89.344.020	89.344.020.C1			Poudre	Artemis	Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.011	89.344.011.C1			Poudre	Artemis	Groupe 1 ("petit" amas)
Datations à prévoir						
89.344.006				Nombreux charbons. Anthraco. à effectuer		Groupe 2 ("gros" amas)
89.344.009				Cambium		Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.023				Indéterminé		Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.025				Poudre		Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.027				Poudre		Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.028				Indéterminé		Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.030				Poudre		Groupe 3 (amas "discrets")
Présence de carbone à vérifier						
89.344.021				Poudre en quantité réduite		Groupe 3 (amas "discrets")
89.344.024				Poudre en quantité réduite		Groupe 3 (amas "discrets")

Figure n°50. Saint-Fargeau "Bois de Bailly". Inventaire des datations radiocarbone.

Trois autres sites (89.344.005, 033, 040) livrent des fourchettes chronologiques comparables comprises entre 400 et 200 BC. Ils sont dispersés dans la moitié sud du secteur prospecté. Le site 89.344.001 se rattache à une phase un peu plus récente bien que la fourchette de datation recouvre en partie celle des sites précédents (355 - 54 CalBC). Il appartient néanmoins à un autre groupe de sites (groupe des gros sites) et livre également des scories de type différent des sites précédents. Il est donc probable qu'il se rattache plutôt à la phase récente de la fourchette obtenue.

Deux sites (89.344.018 et 034) peuvent être attribués à l'époque carolingienne (datations compris entre 695 et 965 CalAD). Il s'agit dans les deux cas de très petits sites, livrant de fortes concentrations de scories, classés dans le groupe 1. Ces deux sites sont distants d'environ 200 m.

Le dernier site 89.344.012 se rattache au bas Moyen âge (1256-1385 CalAD). Ses caractéristiques topographiques n'ont pas permis de le classer dans un groupe d'amas déjà défini. Certaines caractéristiques le rattachaient au groupe 1 : fortes concentrations de scories, prises dans un sédiment noir très charbonneux, mais ses dimensions sont bien supérieures à celles constatées pour ce groupe. Son diamètre dépasse 10 m pour une élévation de cinquante centimètres.

Quatre autres charbons, issus d'autant d'amas distincts, sont en cours de datations. 3 charbons sont issus d'amas du groupe 3 (sites discrets), 1 d'un amas du groupe 2 (gros sites). Au moins 8 sites ayant livré des charbons resteront encore à dater. Il s'agit principalement d'amas discrets.

4.4. Prospections à Treigny « Bois de la Belle Fontaine – parc de Boutissaint ».

Une intervention ponctuelle a également été réalisée sur un amas de déchets sidérurgiques sur lequel Jean-Pierre Piétak avait repéré de gros blocs de scories. Il se situe dans le parc animalier de Boutissaint où il est coupé par une large allée qui le traverse de part en part quasiment en partie centrale (fig. 52A et B). A l'occasion de l'aménagement de cette allée, trois gros blocs de scories ont été rejetés dans le fossé bordier.

Le site se présente comme un amas circulaire, d'un diamètre de 33 m, haut d'environ 80 cm. Il est constitué d'un sédiment brun-rougeâtre en surface duquel une faible densité de fragments de scories est visible. Ces caractéristiques sont très proches de celles observées sur les « amas discrets » à Saint Fargeau « Bois de Bailly ».

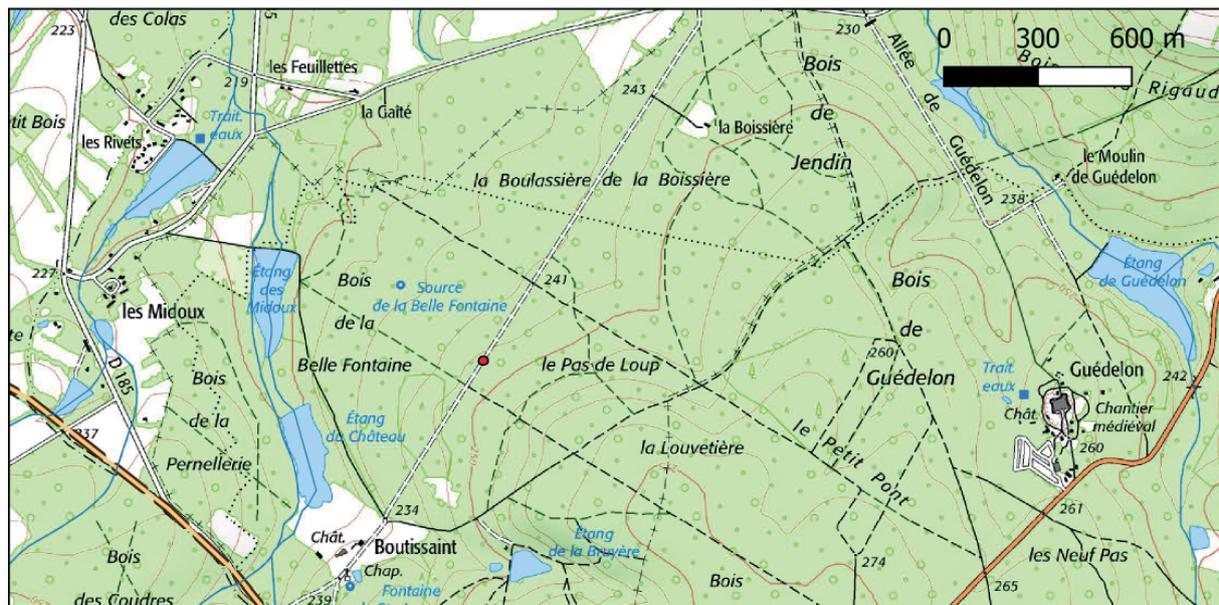


le site de Treigny, rien ne laissait présager la présence de gros blocs de scories.

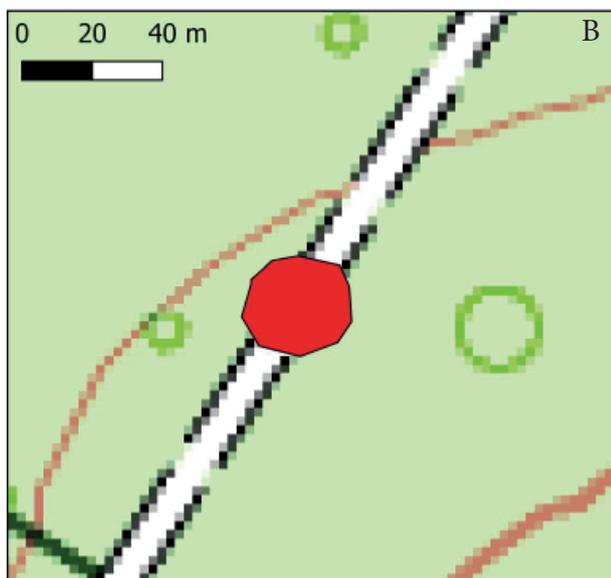
Figure n°51. Les trois blocs de scorie visibles en surface de l'amas coupé par un chemin.

Les trois blocs ont été décrits et mesurés *in situ*, après un nettoyage superficiel (fig. 51). Ils présentent des caractéristiques similaires. Il s'agit de scories piégées, fragmentées, riches en charbons (type F3).

Leur forme générale est ovalaire, et la section plano-convexe (fig. 52C). La surface supérieure moule des fragments de charbon mesurant de 25 à 30 mm de côté. La face inférieure semble quant à elle mouler une cuve régulière de section ovalaire. Quelques rognons aux contours arrondis de taille centimétrique pourraient correspondre à des fragments de minerais en cours de transformation. Des rognons de minerais incomplètement réduits ont d'ailleurs été observés en coupe dans les zones de cassures (fig. 52D). Les dimensions des trois blocs de scories sont très proches, ce qui permet d'envisager leur obtention dans des bas fourneaux similaires. Les scories mesurent entre 64 et 70 cm de long, pour une largeur comprise entre 40 et 45 cm. Les épaisseurs sont comprises entre 20 et 30 cm. Des fragments de scories ont été prélevés pour analyses chimiques. Des prélèvements de charbon ont été effectués dans des zones fracturées sur les trois scories. Nous disposons d'une date radiocarbone pour la scorie 89.420.003.SC2, comprise entre 537 et 387 CalBC.



A



B



C

D



Figure n°52. Treigny "Bois de la Belle Fontaine". A. Localisation et B. plan de l'amas. C. Vue d'une des scories fragmentées sur place (face supérieure sur le sol). D. Détail d'un grain de minéral.

4.5. Etude des scories de réduction : typologie, assemblage des déchets et chronologie.

En 2018, une typologie des scories de réduction a été proposée à partir des éléments collectés à Montholon « Bois des Ferriers ». Elle a pu être testée et complétée à partir des déchets collectés en 2019 à Saint Fargeau « Bois de Bailly ». L'objectif est d'utiliser une même classification dans un premier temps à l'échelle de la Puisaye, afin de faciliter les comparaisons entre sites. L'étude des déchets ne se limite pas à une description macroscopique et typologique. Des analyses microscopiques et chimiques sont également en cours afin de mieux comprendre leurs modalités de formation.

4.5.1. Typologie des déchets.

Marion Berranger, Marc Leroy, Paul Merluzzo

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).

Les déchets collectés à Saint Fargeau « Bois de Bailly » ont permis d'approfondir nos caractérisations des types F, et d'ajouter un nouveau type B (écoulements cristallisés bulleux). Ces grandes catégories sont subdivisées en sous-types.

Les écoulements cristallisés denses. Scories de type A (fig. 53).

L'ensemble des scories de type A sont cristallisées, de couleur gris mat. Les scories A1 et A2, sont des écoulements cordés. Les écoulements A3 et A4 ne présentent pas de cordons visibles



Figure n°53. Typologie des écoulements cristallisés denses. Type A

Les surfaces supérieures sont lisses, parfois faiblement ondulées ou ridées. Les surfaces inférieures semblent mouler le fond d'une cuvette. Des granules pluri-millimétriques de terre cuite, de minerais rouges et de gravier adhèrent fréquemment à cette surface inférieure : il s'agit probablement de reliquat du sédiment sur lequel coule la scorie. Les cassures ont des reflets miroitants induits par la présence de cristaux orientés par la solidification. La scorie est donc cristallisée.

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

Ces scories sont constituées d'écoulements cordés (ou en cordons), individualisés ou en accumulations plus ou moins épaisses (jusqu'à plusieurs centimètres d'épaisseur). Le critère de caractérisation essentielle est l'individualisation très nette des cordons en surface et en section. Ces limites sont marquées par des vides ou par des cavités. Les écoulements sont de section circulaire ou légèrement ovale, centimétrique à double centimétrique. Plusieurs niveaux d'écoulements cordés plus ou moins enchevêtrés peuvent être superposés et peuvent former des plaques de dimensions pluri-décimétriques.

La structure dense, peut contenir des cavités internes (bulles) de taille millimétrique à centimétrique, et parfois des cavités pluri-centimétriques allongées correspondant à des portions entièrement vidées de la matière scoriacée. Une fine strate de bulles infra-millimétrique est parfois présente sous la surface supérieure.

A2. Écoulements 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 sont de section circulaire ou ovale, centimétrique à double centimétrique. Plusieurs niveaux d'écoulements cordés plus ou moins enchevêtrés peuvent être superposés.

La structure interne est dense. Peu de vacuoles sont visibles ; lorsqu'il y en a, elles sont plutôt rondes et de dimension infra-centimétrique. Une fine strate de bulles infra-millimétrique est parfois présente sous la surface supérieure.

A3. Écoulements non cordés avec grande cavité centrale.

Écoulements sans morphologie cordée, mais présentant toutefois en surface supérieure des reliefs peu accentués, à peau généralement plissée, parfois lisse. La structure interne est dense, de couleur gris foncé, mais contient des cavités, 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. Écoulements non cordés sans cavité centrale.

Écoulements sans morphologie cordée, mais présentant toutefois en surface supérieure des reliefs peu accentués, à peau généralement plissée, parfois lisse, ou encore en bulles éclatées. 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 a une morphologie ridée.

A5. Ecoulements en boudins canalisés cristallisés denses.

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.

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. Le volume des deux pièces obtenus en photo-modélisation (voir chap. 2.2.2) permet de mesurer un volume respectivement de 2,5 dcm³ et 3,1 dcm³ (25 à 30 litres).

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. La majorité de la scorie est cristallisée, de couleur gris sombre.

A6. Ecoulement 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 cristallisés, de couleur gris sombre. Ils sont généralement cassés aux deux extrémités.

B. Les scories cristallisées bulleuses. Type B.

B1. Ecoulements non cordés bulleux (fig. 54).

Accumulation d'écoulements en un déchet de section plano-convexe et de forme générale circulaire. La partie inférieure convexe s'avère assez dense, et ne comprend qu'une faible proportion de porosités ovoïdales de taille millimétrique. En section, la partie supérieure est parcourue d'une plus grande proportion de bulles aux contours arrondis, de taille millimétrique à centimétrique. Les deux phases, d'épaisseur similaire, sont séparées par une très large cavité pluri-centimétrique ou par une concentration de bulles centimétriques. La surface supérieure s'avère lisse ou constituée d'un enchevêtrement de gouttelettes plus ou moins individualisées. Ces écoulements sont cristallisés, de couleur gris clair à rouille.



Figure n°54. Typologie des écoulements cristallisés bulleux de type B1.

Un type B2 (écoulements cordés bulleux) a été créé pour caractériser les scories du Morvan. Nous renvoyons à ce chapitre pour plus de détail.

C. Scories écoulées à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (fig. 55).

Scories dont la morphologie à l'apparence d'écoulement(s) en forme de 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.

Des granules pluri-millimétriques de terre cuite, de minerais rouges et de gravier adhèrent fréquemment à cette surface inférieure : il s'agit probablement de reliquats du sédiment sur lequel coule la scorie. On observe souvent de petits graviers blancs de taille millimétrique à centimétrique inclus dans la scorie ou adhérant aux surfaces.

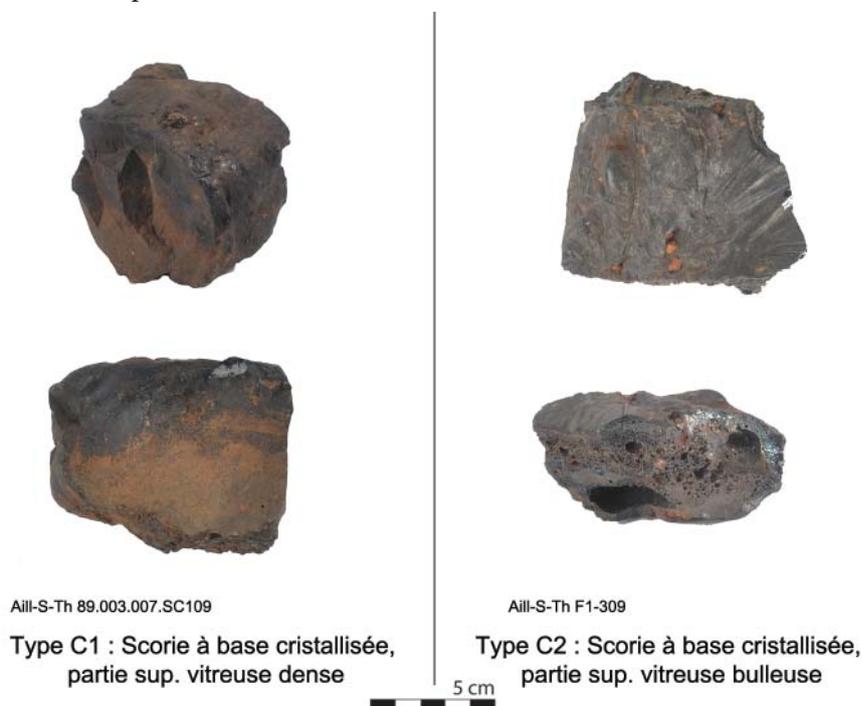


Figure n°55. Typologie des écoulements à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (type C).

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.

D. Scories écoulées boudinées vitreuses (fig. 56).

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.

Des granules pluri-millimétriques de terre cuite, de minerais rouges et de gravier adhèrent fréquemment à la surface inférieure : il s'agit probablement de reliquats du sédiment sur lequel coule la scorie. Souvent la surface inférieure montre un écoulement sur une surface régulière, plane. De petits graviers blancs de taille millimétrique à centimétrique sont inclus dans la scorie ou adhèrent aux surfaces.

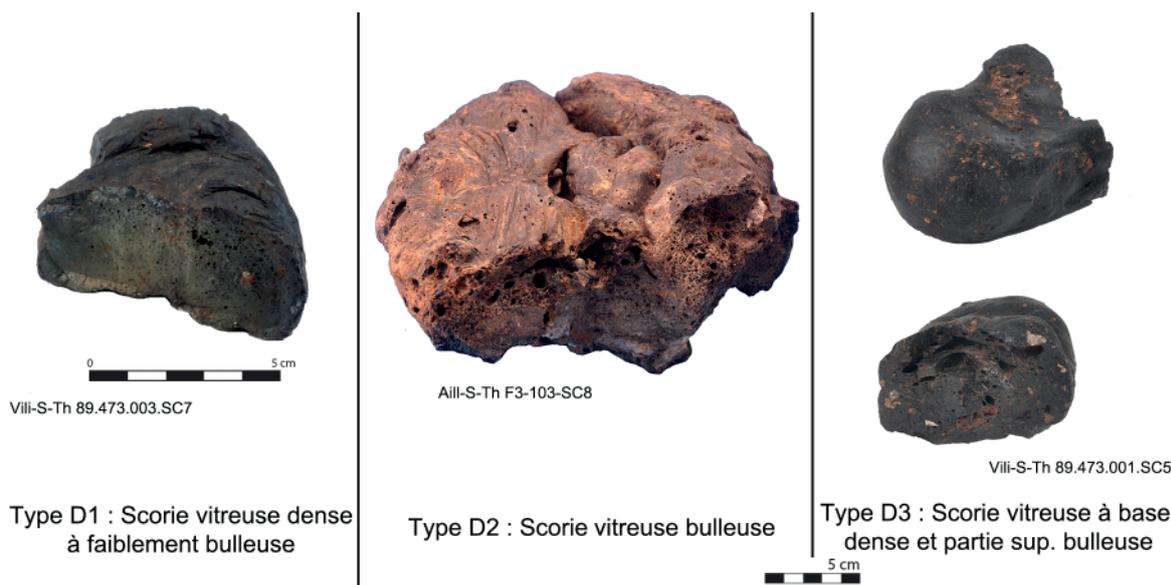


Figure n°56. Typologie des écoulements boudinés vitreux (type D).

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.

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 (fig. 57). 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.

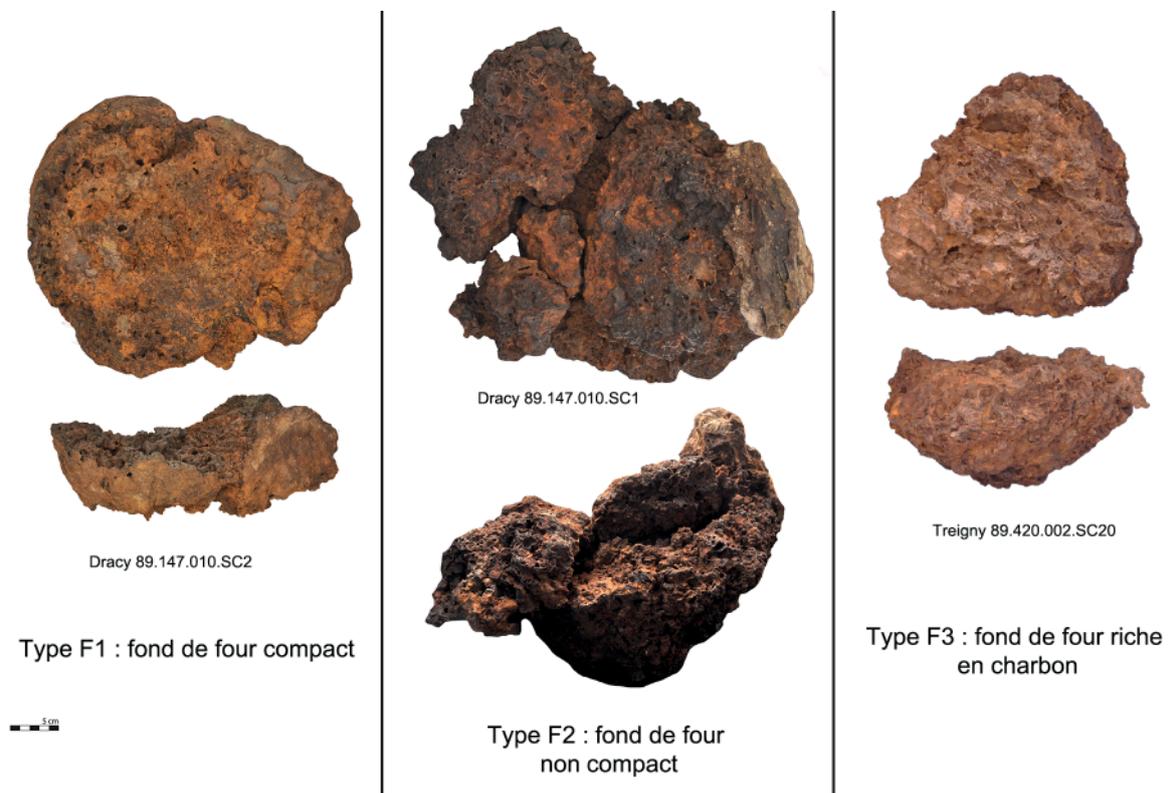


Figure n°57. Typologie des scories piégées à la base du fourneau, complètes (type F1 à F3).

Les quatre sous-types suivants (fig. 58) correspondent à des **fragments** de fonds de four. Leurs caractéristiques morphologiques différentes s'expliquent par leur fragmentation depuis des emplacements distincts de la scorie.

F4. Ecoulements individualisés tortueux

F5. Accumulation d'écoulement individualisés tortueux.

F6. Scorie grise rouillée alvéolaire

F7. Scorie grise et rouillée dense

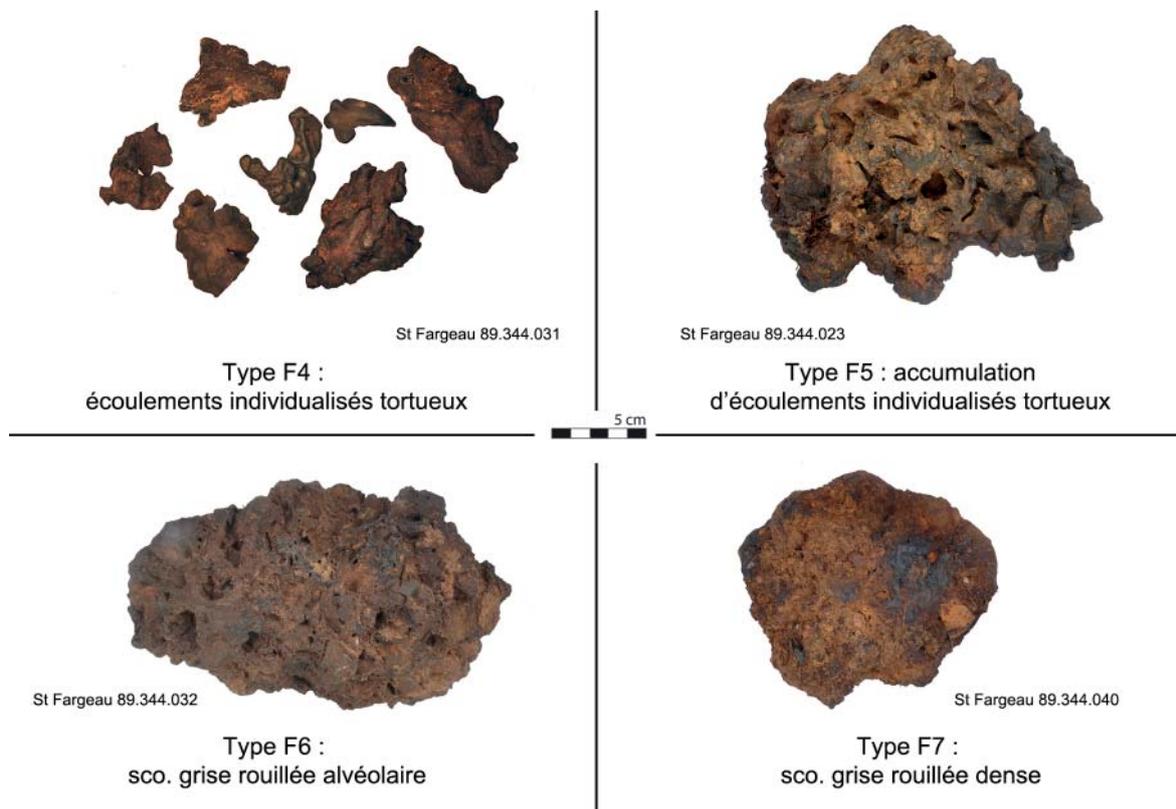


Figure n°58. Typologie des fragments de scories piégées à la base du fourneau.

4.5.2. Montholon (Aillant-sur-Tholon, Villiers-sur-Tholon) et Ferté-Loupière : assemblage et typo-chronologie des déchets.

Dans le secteur de Montholon, l'un des objectifs de la réalisation du prélèvement « en vrac » des déchets par seaux de 10 l. au sein des unités stratigraphiques était de pouvoir réaliser une étude des assemblages de déchets dans les différentes strates. Nous reproduisons ici une partie des résultats déjà présentés dans le rapport de l'an dernier, concernant l'étude des assemblages de scories. Ces données sont complétées cette année par les datations radiocarbone.

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).

Les prélèvements effectués dans les US du site 89.003.009 ont représenté un volume inférieur à 5 l. car il s'agissait essentiellement de fins niveaux de sols.

En moyenne 12,6 kg de déchets (scories, minerais, parois) a été collecté par prélèvement, avec un minimum de 1,8 kg (site 89.003.009) et un maximum de 25 kg (89.003.001). Un total de 284,860 kg de déchets est pris en compte.

27 prélèvements ont été retenus pour la présente étude (le prélèvement 009-US 104 n'a pas été pris en compte car il a livré trop peu de déchets : 752 g).

Les comparaisons ont reposé sur les pourcentages de masses de déchets par prélèvement. Les parois et les minerais, non pertinents typologiquement à ce stade n'ont pas été retenus. L'étude repose donc sur les seules scories.

Etude des assemblages.

Etant donné le grand nombre de prélèvements étudiés et la diversité des types et sous-types rencontrés (14 types), une analyse en composante principale a été privilégiée afin d'appréhender la structuration des données. Pour rappel les variables prises en compte sont les proportions de chaque type (en pourcentage de la masse totale) par prélèvement.

Une ACP de corrélation a été réalisée en utilisant le logiciel XLSTAT®. L'information est organisée en 13 axes. Nous présentons les axes qui permettent une visualisation optimale (F1 à F4) qui représentent 58% de la variabilité cumulée (fig. 59). Quatre groupes distincts peuvent être isolés en prenant en compte les axes F1/F2, F1/F3 et F1/F4. Ces groupes sont constitués d'une part d'un prélèvement isolé (020-207-pvt1). D'autre part de trois groupes rassemblant les prélèvements suivants :

- groupe 1 (gris) : toutes les US des S2 et S3 du ferrier 1, toutes les US du ferrier 5, ferrier 9 : US 106 et 113, ferrier 20 : US 101, 109, 208, 219 ;
- groupe 2 (en jaune) : 003-1-103 ; 003-1-105 ; 001-4-401, 001-4-402 ; 003-2-203 ; 009-105 ;
- groupe 3 (orange) : 009-101 ; 010-101-pvt1 ; 010-109-pvt2 ; 020-113-pvt3.

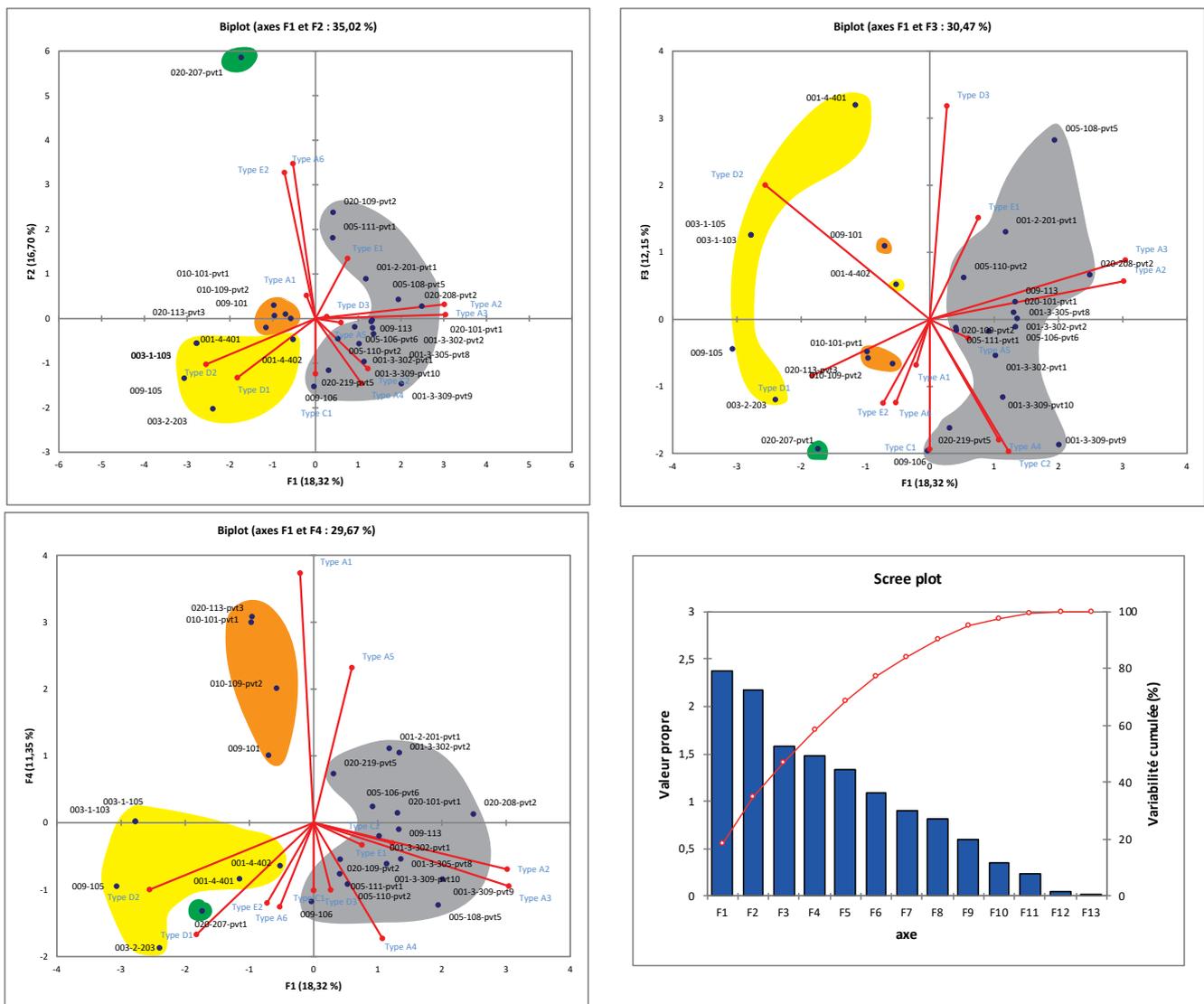


Figure n°59. Montholon. Analyse en Composante principale sur les types de scories par US. Axes F1, F2, F3 et F4 cumulant 58% de la variabilité.

L'ACP met en évidence les associations privilégiées entre types de scories. Ainsi quel que soit l'axe de visualisation on note que les types E2 (scories internes non compactes) et A6 (scories denses en tuyaux) sont généralement associées. Il en est de même pour les scories de type A2 et A3 (écoulements cordés denses et écoulement non cordés à cavité centrale).

En regardant les modalités de constitution des groupes on note que :

- le prélèvement isolé (en vert) est caractérisé par une prédominance de scories internes de type E2 et de scories A6.
- Le groupe 1 (en gris) rassemble des prélèvements où les types A2, A3, A4 et A5, C et dans une moindre mesure D3 sont associés et prédominants.
- Le groupe 2 (en jaune) est caractérisé par une forte proportion de scories de type D1 et D2.
- Le groupe 3 (en orange) s'avère assez proche du groupe 1, mais il s'en distingue par une forte représentation de scories de type A1.

La fig. 60 permet d'appréhender plus précisément la proportion de déchets par couche. Pour plus de lisibilité, ont été regroupées les scories dont l'ACP a mis en évidence l'association lors de l'individualisation des groupes (ainsi pour les écoulements denses cristallisés, les types A2, A3, A4 et A5 sont toujours associés, alors que le type A1 forme un groupe différencié, donc seul le type A1 a été isolé dans cette catégorie. De même le type D3 semblent connaître une répartition différente des types D1 et D2, il a donc été différencié). Les prélèvements issus des différents groupes ont également été rassemblés.

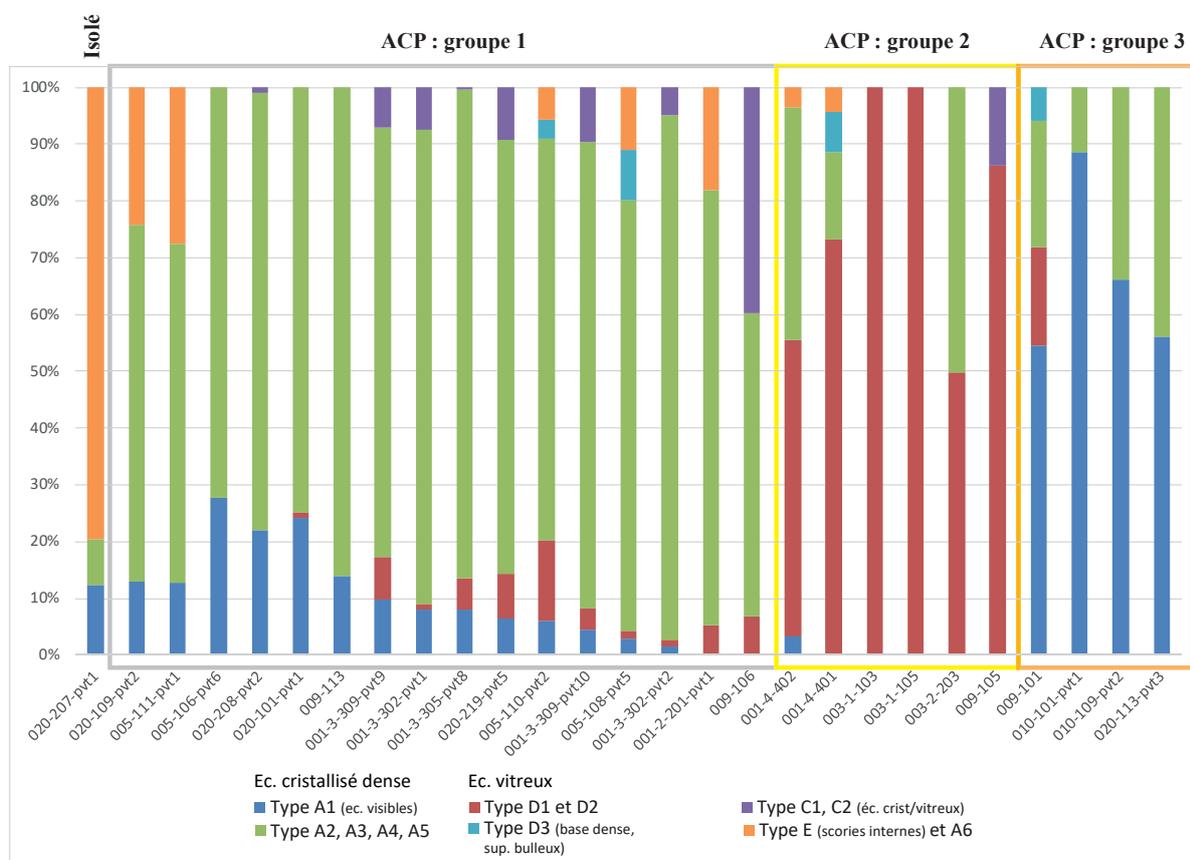


Figure n°60. Montholon. Proportion de déchets par type (% d'après la masse) au sein des US. Les types corrélés sur les différents plans de l'ACP ont été regroupés.

Cet histogramme permet de mieux appréhender les proportions des types de déchets au sein des différents groupes, ainsi :

- pour le prélèvement isolé (F20-207-pvt1) les scories internes sont prédominantes ;
- pour le groupe 1, les scories denses écoulées cristallisées (types A2, A3, A4 et A5), sont majoritaires (sup. à 50% de la masse). Elles sont souvent quasiment toujours associées avec une faible proportion de scories A1, et plus ponctuellement avec les autres types de scories (C, D, E) ;
- pour le groupe 2, les scories vitreuses (type D1, D2) sont prédominantes (sup. à 50% de la masse). Elles peuvent être associées avec une proportion non négligeable (autour de 15 à 20%) de scories cristallisées et avec une faible proportion de scories de type C, E. Les scories de type A1 et D3 sont généralement absentes de ces assemblages ;
- pour le groupe 3, l'assemblage est dominé voire uniquement constitué de scories cristallisées denses, au sein desquelles domine largement le type A1.

Comparaison des assemblages de scories (amas sondés) et des datations radiocarbone.

La figure 61 présente la proportion de scories par grands types au sein des US ayant été datées par méthode radiocarbone. Les prélèvements effectués en stratigraphie au sein de 6 amas ont été pris en compte. Les datations ont été classées de haut en bas par ordre chronologique du plus ancien au plus récent, en mélangeant les sites.

L'assemblage des types de scories présentes dans l'US est associée à sa datation. Pour plus de lisibilité les assemblages ont été représentés en un diagramme proportionnel reprenant les grands regroupements de type issus de l'ACP (voir *supra*).

Les résultats des datations radiocarbone permettent de préciser que les sites les plus anciens, antérieurs à La Tène finale n'ont pas été échantillonnés en stratigraphie. Ces derniers ont par contre été appréhendés à partir de prélèvements ponctuels effectués en surface des amas, (approche de la typologie des déchets en présence/absence – voir *infra*).

Trois grands types d'assemblage de déchets sont observés. Trois grandes périodes chronologiques sont également individualisées.

La première période correspond à la Tène finale et au début de l'époque romaine, entre environ 150 CalBC et 230 CalAD. Tous les sites datés de cette période sont à attribuer au groupe 1. La deuxième période comprise entre environ 70 Cal AD et 325 CalAD, rassemble tous les sites du groupe 2, ainsi qu'une partie de ceux du groupe 1. La dernière période chronologique attestée est bien plus récente et est à attribuer au Moyen âge, entre 1030 CalAD et 1222 CalAD. Les assemblages du groupe 3 sont à dater de cette période. Le cas du prélèvement issu de l'amas 89.003.009 US101, caractérisé par un assemblage du groupe 3, mais daté de l'Antiquité, doit être discuté plus précisément. L'US 101, correspond à la couche supérieure de cet amas qui repose sur des niveaux de sols antiques (Berranger dir. 2017, 2018). Il ne faut donc pas exclure la possibilité d'un mélange entre scories et charbons au moins partiellement remaniés et sans relation entre eux. Aucune scorie ne contenait de charbon piégé dans sa matrice, il n'est pas possible de conclure quant à la chronologie de cette couche.

Cette approche en stratigraphie est complétée par l'étude des sites datés caractérisés à partir des déchets visibles en surface.

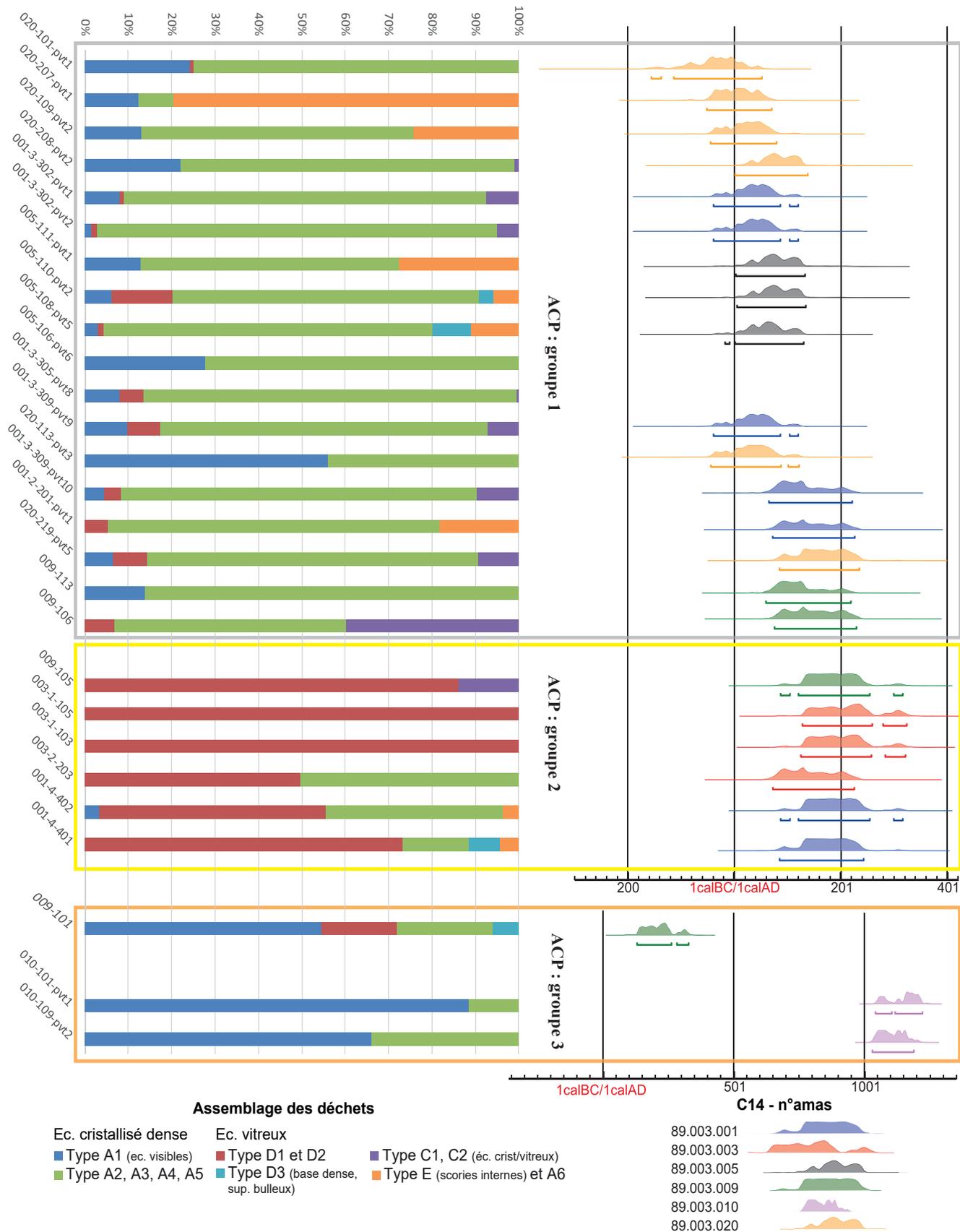
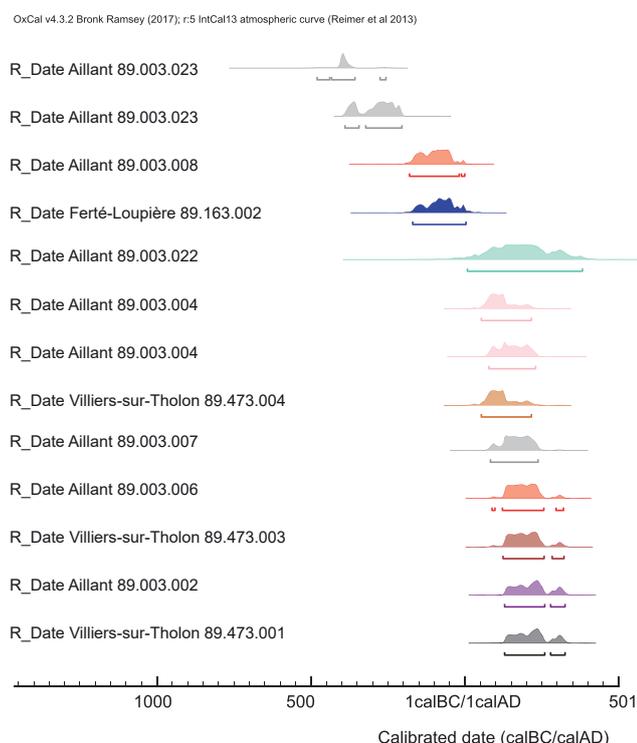


Figure n°61. Montholon. Comparaison des assemblages de type de déchets et des datations radiocarbone, par US. Rappel des groupes d'assemblages de déchets individualisés par l'ACP.

Comparaison des types de scories (amas prospectés) et des datations radiocarbone.

Pour les amas de scories prospectés mais non sondés, des prélèvements ponctuels et un enregistrement de la typologie des scories visibles en surface a été effectué. Bien que ce type d'enregistrement ne permette qu'une description des strates les plus superficielles et donc probablement les plus tardives, cette approche permet une première caractérisation.

Le tableau 62 compare la chronologie des sites prospectés dans le secteur de Montholon et les types de déchets représentés au sein d'un tableau en présence / absence.



(A1) Ecmt cordé à limites visibles	(A2, A3, A4, A5) Ecmt cordé à limites non visibles, A3 cavité centrale, A4 cordé dense A5 En boudins accolés	(C1) Vitreux dense et/ou (C2) Vitreux bulleux	(D1) Ecmt vitreux, denses à faiblement bulleux et/ou (D2) Ecmt vitreux, bulleux, (D3) Ecmt vitreux, à base dense, partie sup. bulleuse	(E1) et (E2) Interne compacte et non compacte	(F3) Fond de four riche en charbon et (F4) Ecoulement interne individualisé
					X
X	X				
X	X			X	
					X
X	X	X	X	X	
	X		X	X	
X	X	X	X		
	X	X	X		
X	X		X		
	X	X	X		
	X	X	X		

Figure n°62. Montholon. Comparaison des types de déchets représentés sur les amas prospectés et des datations radiocarbone.

Le site le plus ancien 89.003.023, daté à partir de deux dates radiocarbone, est attribué aux V^e-III^e s. av. J.-C. Il comprend des types de scories absents en stratigraphie sur les sites antiques et médiévaux : des scories piégées (type F). Le site 89.003.022 livre les mêmes types de déchets, mais une date radiocarbone un peu plus tardive attribuée dans l'antiquité entre le I^{er} et le IV^e s. ap. J.-C. Il faut signaler que la qualité de ce prélèvement était médiocre (poudre de charbon issue de plusieurs porosités d'une scorie), il contenait peu de carbone, ce qui explique la longue période d'incertitude de cette date (9 - 382 CalAD). Plusieurs prélèvements issus de ce site envoyés pour datation n'ont pu être traités car ils ne contenaient pas assez de carbone. Cette date doit donc encore être considérée avec précaution en raison de la mauvaise qualité de la conservation du carbone.

Deux sites sont à attribuer à la période suivante de la Tène Finale, comprise entre le II^e et le I^{er} s. av. J.-C. Il s'agit de l'amas n°89.003.008 à Aillant-sur-Tholon et de l'amas n°89.163.002.

de la Ferté-Loupière. Tous deux livrent uniquement des scories écouleées cristallisées, ainsi qu'éventuellement des scories internes.

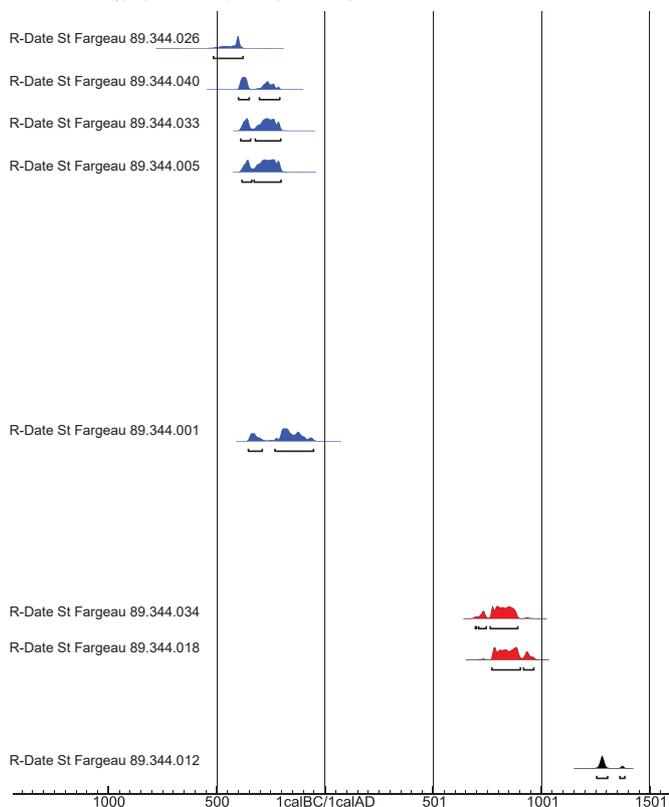
Les autres amas échantillonnés, soit sept sites distincts, se rattachent à l'Antiquité, durant une période comprise entre le I^{er} et le IV^e s. ap. J.-C. Ils se caractérisent également par les mêmes types de déchets à savoir une association entre des scories écouleées cristallisées (type A) et des scories vitreuses de type C et D. Des scories internes (E) peuvent également être présentes.

Comme pour les sites sondés, deux phases antiques semblent représentées. Une phase plus précoce comprise entre le I^{er} et le début du III^e s. ap. J.-C. et une phase plus tardive comprise entre le début du II^e s. et le début du IV^e s.

4.5.3. Saint-Fargeau « Bois de Bailly »: une première approche de la typo-chronologie des assemblages de déchets.

A Saint-Fargeau, l'approche typo-chronologique des assemblages de déchets repose presque uniquement sur les observations et prélèvements effectués en surface des amas, et sur une caractérisation en présence/absence des types de déchets. Un seul amas, 89.344.006 a été sondé et a fait l'objet de deux prélèvements de 10 l. au sein de la même US. Les deux prélèvements sont cohérents et fournissent à plus de 97% uniquement des scories cristallisées de type A2 et A3.

OxCal v4.3.2 Bronk Ramsey (2017); r5 IntCal13 atmospheric curve (Reimer et al 2013)



(A1) Ecmt cordé à limites visibles	(A2, A3, A4) A2 Ecmt cordé à limites non visibles, A3 à cavité centrale, A4 cordé dense	(B1) Ecoulement bulleux	(E1) et (E2) Interne compacte et non compacte	(F4, F5, F6, F7) Ecoulement interne individualisé, F5 accumulation, F6 et F7 scorie rouillée alvéolaire et dense	n° site 89.344.	n° site
				X	26	89.344.026
				X	40	89.344.040
				X	33	89.344.033
				X	5	89.344.005
				X	8	89.344.008
				X	9	89.344.009
				X	16	89.344.016
				X	17	89.344.017
				X	20	89.344.020
				X	21	89.344.021
				X	23	89.344.023
				X	24	89.344.024
				X	25	89.344.025
				X	27	89.344.027
				X	28	89.344.028
				X	29	89.344.029
				X	30	89.344.030
				X	36	89.344.036
X	XX		X		3	89.344.003
	XX		X		1	89.344.001
	XX		X		6	89.344.006
	X				13	89.344.013
	XX		X		15	89.344.015
	X				19	89.344.019
	X				35	89.344.035
	X				37	89.344.037
	X				38	89.344.038
XX	X		X		2	89.344.002
X			X		4	89.344.004
X					10	89.344.010
X					11	89.344.011
X					14	89.344.014
X					18	89.344.018
XX	X				32	89.344.032
XX	X	X			34	89.344.034
X		X			39	89.344.039
		X			12	89.344.012

Figure n°63. Saint-Fargeau "Bois de Bailly". Comparaison des types de déchets représentés sur les amas prospectés et des datations radiocarbone.

Quatre groupes d'assemblages de déchets sont identifiés à Saint Fargeau (fig. 63) :

- un groupe prédominant (18 sites) au sein duquel prédominent les scories piégées (type F) ;
- un groupe au sein duquel prédominent les scories écoulées de type A2, A3 et A4 (9 sites). Il s'apparente au groupe 1 identifié à Montholon.
- un groupe où prédominent les scories de type A1 (9 sites), éventuellement associées à des scories écoulées d'autres types, ou à des scories de type B1. Ce groupe serait à rapprocher du groupe 3 de Montholon.
- un groupe représenté par un seul amas, où prédominent les scories de type B1 (bulleuses).

On note que certains types de scories attestées dans le secteur de Montholon sont absentes à Saint Fargeau. Il s'agit des scories en boudins accolés (A5) ainsi que des scories vitreuses (types C et D).

Un type de scorie est connu à Saint Fargeau mais pas dans le secteur de Montholon. Il s'agit des scories de type B1.

Nous disposons cette année de huit datations radiocarbone en provenance de huit sites. Comme cela a déjà été précisé (chap. 4.3, fig. 40) six autres dates sont encore attendues (datations Artemis en cours), et cinq sites resteront encore à dater. Il est néanmoins possible de présenter une première approche des assemblages typo-chronologique des déchets. Le seul site sondé (89.344.006) sera daté l'année prochaine.

Quatre dates sont issues d'amas livrant des scories de type F. Leurs résultats sont cohérents et se rattachent aux début des âges du fer, soit entre le début du VI^e et le IV^e s. av. J.-C. pour le site 89.344.026 et entre le IV^e et le III^e s. av. J.-C. pour les trois autres sites. L'assemblage des déchets et les datations obtenues sont similaires à celles du site 89.003.023 d'Aillant-sur-Tholon.

Une seule date est disponible pour les amas livrant majoritairement des scories de type A2 à A4. Elle se rattache au milieu du IV^e jusqu'au milieu du I^{er} s. av. J.-C. L'assemblage des déchets et les datations obtenues sont comparables à celles disponibles pour les sites 89.003.008 et 89.163.002 du secteur de Montholon. Néanmoins dans ce secteur la chronologie est un peu plus resserrée sur la fin de la période.

Deux dates proviennent d'amas livrant majoritairement des scories de type A1. Issues de deux amas distincts, elles sont cohérentes et couvrent une période resserrée sur les VIII^e-X^e s. ap. J.-C. L'assemblage des déchets est proche de celui observé pour l'amas 89.003.010 d'Aillant-sur-Tholon. Il s'agit d'un site également attribué au Moyen âge, mais durant une phase plus tardive, aux XI^e-XII^e s.

Le seul site livrant des déchets de type B1 a été daté. Il se rattache à une période encore plus tardive dans le Moyen âge, aux XIII^e-XIV^e s.

4.5.4. Les scories de type F : nouvelles données chronologiques.

Parallèlement aux travaux centrés sur les « zones ateliers » de Montholon et de Saint-Fargeau, une approche plus ciblée a été menée sur certains amas livrant des blocs de scories piégées types (F). Les contextes archéologiques de la plupart de ces sites ont été présentés dans le rapport de l'an dernier. En 2019, nous avons échantillonné un site supplémentaire à Treigny «Bois de la Belle Fontaine» 89.420.003 (chap. 4.4) et deux nouvelles dates radiocarbone ont été effectués.

Il est possible de présenter les neuf datations radiocarbone disponibles pour ces sept sites.

La fig. 64 présente les résultats de ces datations. On constate la cohérence des résultats obtenus. Huit dates sur les neuf réalisées se situent entre le VI^e et le III^e s. av. J.-C. La neuvième date couvre le I^{er} s. av. J.-C. et la première moitié du I^{er} s. ap. J.-C.

Ces résultats sont cohérents avec ceux déjà obtenus à partir des zones ateliers étudiées. Ce type de scories semble ainsi être associée avec les premiers temps de la sidérurgie régionale. L'ensemble de ces résultats permet de différencier une phase ancienne datée des VI^e-IV^e s. av. J.-C. et une phase plus récente datée des V^e-III^e s. av. J.-C. Ces phases ne semblent pas, en l'état de nos travaux, être corrélés avec des typologies de scories différenciées.

La date obtenue pour le site de Treigny 89.420.002 (SC10) pourrait indiquer que ce type de déchet continue à être produit à la fin de l'âge du Fer et/ou le début de la période antique. Une date antique pour des scories de type F est également envisagée pour un site d'Aillant-sur-Tholon n°89.003.022.

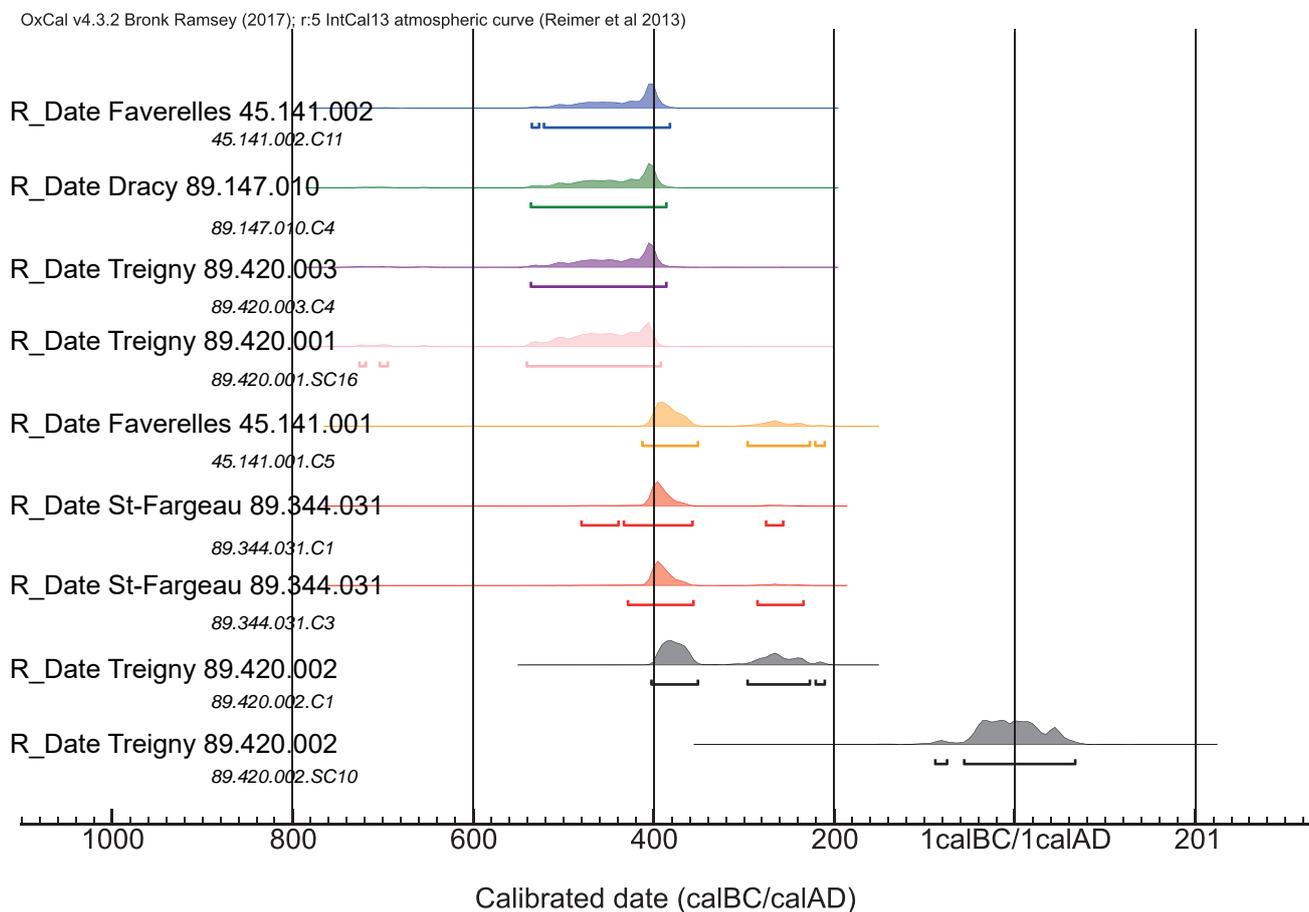


Figure n°64. Dates radiocarbone disponibles sur les amas prospectés hors zones-ateliers et livrant des scories de type F.

4.6. Recherches sur les minerais de fer en Puisaye : dépouillement bibliographique et premières observations archéologiques

Marc Leroy

Depuis les premiers inventaires de traces d'activités sidérurgiques anciennes en Puisaye au milieu du XIX^e s. (Lemeyrie et Raulin 1855), la question de la nature et de la localisation des minerais de fer a toujours été un sujet de questionnement qui n'a pas trouvé de résolution satisfaisante. D'une manière générale, tous ceux qui y ont réfléchi ont considéré que ces minerais provenaient des argiles datées de l'Éocène (Ère Tertiaire, auj. Cénozoïque) et se présentaient sous forme de grains, de fragments, voire d'amas isolés, à des niveaux variables quelques fois même à même le sol : « En résumé, on peut ramasser partout sur notre sol des fragments de minerai de fer arrachés de leur initial dépôt » (Hure 1920 p. 4). « L'origine du minerai est mal connue. Sans doute provenait-il pour une part de grès et de sables ferrugineux tertiaires voire albiens et de lentilles sablo-argileuses ferrugineuses développées au sein de certaines formations de remaniement. » (voir Momot 1961 et 1964, les différentes notices des cartes géologiques au 1/50.000^e du BRGM citées *infra*, ou plus récemment *Carte Archéologique de la Gaule* 2002).

La nouvelle phase de recherches archéologiques engagées depuis 2017, nous amène inmanquablement à rouvrir le dossier. Afin de rassembler le maximum d'informations concrètes sur ce sujet, nous avons entrepris un dépouillement des indications relatives au(x) minerai(s) de fer dans les publications antérieures traitant de la production ancienne du fer en Puisaye, ainsi que les notices des cartes géologiques du BRGM. Ces résultats ont ensuite été confrontés aux pièces prélevées au cours des prospections et sondages récents sur les amas de scories du *Bois des Ferriers* à Aillant-sur-Tholon et du *Bois Bailly* à Saint-Fargeau.

4.6.1. Dépouillement bibliographique

Les informations relatives aux minerais de fer de la Puisaye figurent principalement dans :

- la publication de Augusta Hure sur « *L'origine de la formation du fer dans le Sénonais* », éditée en 1920 par la Société des Sciences historiques et naturelles de l'Yonne ; cet ouvrage est le précurseur des recherches sur la production ancienne du fer dans le département de l'Yonne.
- la thèse de J. Momot sur les ferriers du département de l'Yonne, soutenue en 1961, dont il a tiré un article de synthèse publié dans la Revue d'Histoire de la Sidérurgie en 1964.

Toutes les publications suivantes, en particulier celles de A. Bouthier pour la partie méridionale nivernaise de la Puisaye, et le volume de la *Carte Archéologique de la Gaule* publié en 2002 (contribution de J.-P. Piétak), en reprennent peu ou prou les informations. Les rapports de prospection-inventaire et les articles dans des revues d'histoire locale de J.-P. Piétak apportent quelques informations complémentaires qu'il serait nécessaire de vérifier sur le terrain.

A. Hure (1920 p. 4-8) et J. Momot (1964 p. 278-280) situent les minerais de fer :

- dans les couches datant de l'Éocène (dénommées Sparnacien, aujourd'hui Yprésien inférieur, début de l'Éocène), mélangés aux galets de silex et aux sables grossiers.
- dans les couches de « limons des plateaux » qui correspondraient au remaniement du Sparnacien au cours du Pléistocène.
- dans les dépôts alluviaux correspondant aux remaniements des deux ensembles précédents.

Le minerai se présenterait sous forme de granules, de rognons, de fragments, de plaquettes, aux contours informels, anguleux ou mamelonnés, mais dont les dimensions ne sont pas précisées. Ces différentes morphologies se présenteraient sous la forme d'amas localisés et de blocs disséminés, et non sous forme de couche ou de lit.

Il s'agirait de limonite (fig. 65 - hydroxydes de fer), dont la teneur en oxydes de fer atteint 80 %, soit environ 50 à 60 % de teneur en fer, dans une gangue contenant de la silice SiO_2 (autour de 5-6 %) et de l'alumine Al_2O_3 (autour de 1 %).

J. Momot, 1964, p. 279-280 : « Pour la première zone (Sénonais, forêt d'Othe, Puisaye), avec ses terrains sparnaciens et craie décalcifiée, les minerais limonitiques se rencontrent en amas plus ou moins importants, en fragments disséminés dans les dépôts géologiques superficiels. Des grès et des poudingues sparnaciens montrent dans leurs masses des granules de fer hydroxydé. Dans l'argile plastique, on peut observer des dépôts de limonite aux contours informels, anguleux et également des nodules mamelonnés. Près des lentilles sableuses, il y a parfois de nombreux fragments de limonite sous forme de plaquettes, granules. »

SiO_2	6,2 %
Al_2O_3	0,9 %
Fe_2O_3	80,6 %
MnO	0,7 %
CaO	traces
TiO_2	0,02 %
P_2O_5	0,02 %
S	0,03 %
H_2O	10,3 %

Figure n°65. Résultats des analyses chimiques effectuées sur les limonites de la région de Tannerre-en-Puisaye d'après J. Momot 1963-64.

D'après J.-P. Piétak (2007), le minerai de fer est encore très présent en surface dans certains secteurs, comme aux *Pourrains* sur la commune de Fontenoy, aux *Robinaux* sur la commune de Saints, aux *Champs Froment* et aux *Champs de la Croix* sur la commune de Saint-Amand-en-Puisaye, ou encore dans les bois de Treigny.

Il décrit :

- du minerai de surface dans les champs près des *Pourrains* à Fontenoy, en limite du ban communal de Fontaines ;
- du minerai en plaquette, en nodules ou en blocs trouvés dans les ferriers entre Dracy et Mézilles ;
- du minerai en blocs trouvé aux *Cornillats* à Toucy et dans les *Champs de la Croix* près d'Argenoux (commune de Saint-Amand-en-Puisaye).

« Il resterait encore de grandes quantités de minerai sur le flanc est de la Puisaye, souvent dans des couches sablonneuses du Crétacé inférieur. Ce minerai serait du grès ferrugineux ou de l'hématite ».

Toutefois, il note qu'il n'a jamais pu voir de blocs de minerai dans tous les profonds labours actuels qu'il a pu observer.

4.6.2. Le dépouillement des notices des cartes géologiques au 1/50.000^e du BRGM

La région naturelle de la Puisaye est couverte par les cartes géologiques au 1/50.000^e suivantes (fig. 66) :

- la totalité des feuilles de Bléneau et de Saint-Fargeau,
- l'extrémité sud-ouest de la feuille de Joigny,
- l'extrémité ouest de la feuille d'Auxerre,
- l'extrémité nord-ouest de la feuille de Courson,
- l'extrémité nord de la feuille de Cosne-sur-Loire,
- les extrémités est des feuilles de Gien et de Châtillon-Coligny,
- l'extrémité sud de la feuille de Courtenay.

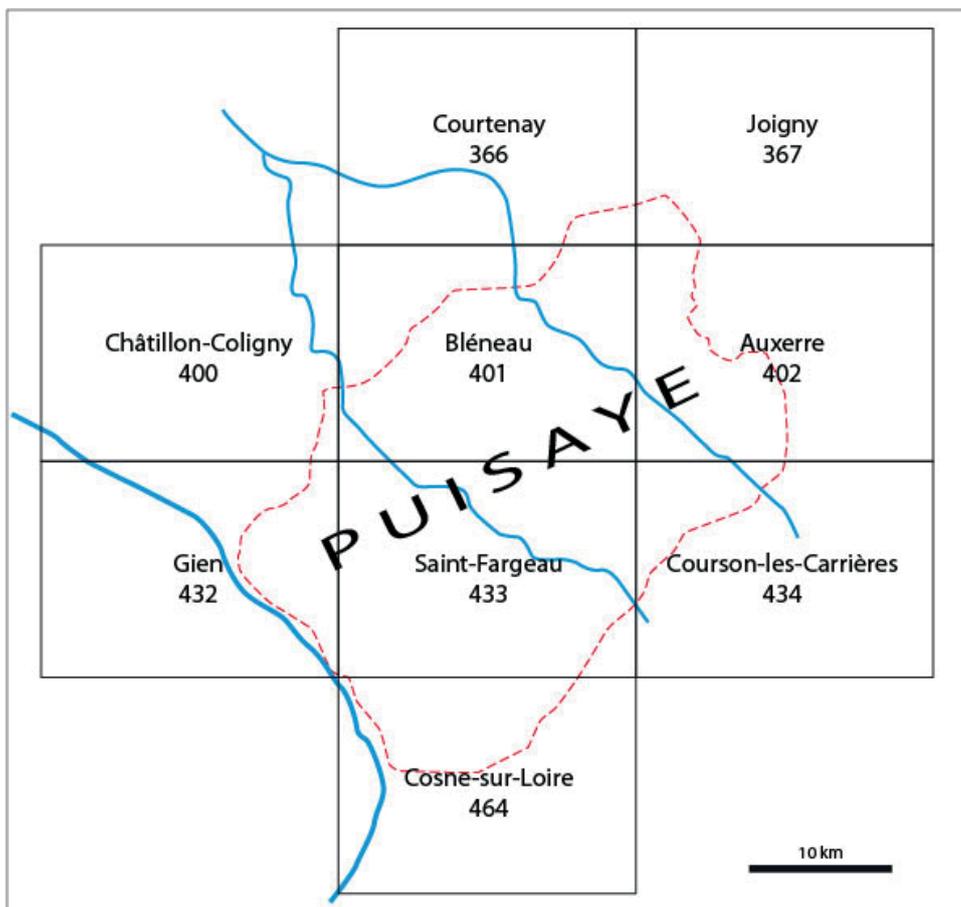


Figure n°66. Carte d'assemblage des cartes géologiques couvrant la Puisaye.

Notice explicative de la feuille *Bléneau* au 1/50 000^e : B. Pomerol, 1989

Notice explicative de la feuille *Saint-Fargeau* au 1/50 000^e : M. Gigout, 1981

Notice explicative de la feuille *Joigny* au 1/50 000^e : P.-L. Vincent, M. Turland *et al.*, 1976

Notice explicative de la feuille *Auxerre* au 1/50 000^e : Cl. Mégnien, G. Rampon, M. Turland, 1967

Notice explicative de la feuille *Cosne-sur-Loire* au 1/50 000^e : J.-C. Menot, L. Croizier, D. Bonijoly, J. Cornet, 2001

Notice explicative de la feuille *Gien* au 1/50 000^e : M. Gigout, 1977

Notice explicative de la feuille *Châtillon-Coligny* au 1/50 000^e : M. Gigout, 1977

Époque	Étage	N°	Nature du minéral de fer	Carte géologique	Situation topographique
Pléistocène Holocène ?	Formations détritiques versants de		Grains, granules, concrétions remaniées	toutes	Base versants des vallées
Éocène Pléistocène	à Complexe argilo-sableux à silex (dont limons de plateaux	R _{III} -H	Grains, concrétions, plaquettes	toutes	Large couverture des plateaux (centre et nord)
		Re			
		OE			
		LPs			
Éocène	Yprésien inf. = Sparnacien	e – e3	Concrétions limonitiques	toutes	
Crétacé supérieur	Cénomanién	c2	Limonite silteuse et argileuse	Auxerre / Parly, Diges, Pourrain	Affleurements larges dans l'extrémité sud et sur tout le flanc sud-est de Joigny au nord à Arquian au sud + de manière plus restreinte dans les parties amont des fonds de vallées principales
Crétacé inférieur	Albien	c1			
Crétacé inférieur	Barrémien supérieur	n4b	Plaquettes géodiques de couleur orange	Auxerre / Cosne (Dampierre-sous-Bouhy)	
Crétacé inférieur	Barrémien supérieur	n4b	Grès ferrugineux fins et denses de couleur violacé	Saint-Fargeau	
Crétacé inférieur	Barrémien inférieur	n4a	Couche d'hématite rouge	Saint-Fargeau	
Crétacé inférieur	Hauterivién	n3	Oolithes et grains ferrugineux	Auxerre	
				Saint-Fargeau	

Figure n°67. Synthèse des informations sur les minerais de fer tirées des notices des cartes géologiques couvrant la Puisaye (tableau Marc Leroy 2019)

Inventaire des informations sur les minerais de fer et les horizons ferrugineux figurant dans les notices des cartes géologiques

Globalement, les auteurs des notices soulignent que la nature des minerais de fer est mal connue. Les informations sont principalement reprises des publications de A. Hure et de J. Momot : les minerais de fer exploités proviendraient des formations argilo-sableuses superficielles recouvrant les plateaux et de certains terrains d'âge tertiaire (« *Sans doute provenait-il pour une part de grès et de sables ferrugineux tertiaires voire albiens et de lentilles sablo-argileuses ferrugineuses développées au sein de certaines formations de remaniement.* »). Il ne paraît y avoir eu que très peu d'observations directes sur le terrain. Il s'agirait de granules et de concrétions limonitiques (feuilles de Bléneau, Cosne, Joigny, Saint-Fargeau). Le tableau 67 résume les informations issues du dépouillement des cartes géologiques.

	Plateaux	Versants / vallées	Plaines
Feuille Joigny	LP + R _{III} -H	c3	
Feuille Courtenay	LP + R _{III} -H	c3	
Feuille Bléneau	LP + R _{III} -H	c3	
Feuille Auxerre	e3 = R _{III} -H	c3 + c2 + c1	c + n
Feuille Saint-Fargeau	LPs + $\text{\textcircled{E}}$ + e-g = R _{III} -H	c3 + c1-2	c1-2 + n7a-b
Feuille Cosne-sur-Loire	CR+Re+Rc+e+p2 = R _{III} -H		n6
Feuille de Châtillon-Coligny	E = R _{III} -H		

Figure n°68. Puisaye – couches géologiques représentées en surface (tableau Marc Leroy 2019)

Outre les formations détritiques et de remaniement présentes en surface des plateaux et des versants (voir détail dans paragraphe ci-dessous), plusieurs horizons ou éléments ferrugineux sont également mentionnés dans d'autres niveaux et étages géologiques (cf. tableau 68) :

- couche de limonite silteuse et argileuse dans l'étage du Cénomaniens-Albien dans le secteur de Parly, Diges, Pourrain (feuille d'Auxerre)
- plaquettes de fer géodique de couleur orange dans l'étage du Barrémien supérieur (feuille d'Auxerre) ;
- des oolites et grains ferrugineux dans l'étage du Hauteriviens (feuille d'Auxerre et feuille de Saint-Fargeau) ; des extractions auraient existées autour de Dampierre-sous-Bouhy (feuille de Cosne-sur-Loire)
- un niveau d'hématite très rouge dans l'étage du Barrémien inférieur (feuille de Saint-Fargeau)
- des grès ferrugineux fins et très denses de couleur violacé dans l'étage du Barrémien supérieur (feuille de Saint-Fargeau)
- des pisolithes ferrugineux dans les argiles et silts argileux p2-3A dans l'interfluve Loire-Nohain près de Cosne-sur-Loire (feuille de Cosne-sur-Loire)

Mais aucune information n'est donnée quant à l'importance quantitative de ces horizons et éléments, quant à leur teneur en fer, ni concernant de possibles extractions anciennes (à l'exception de celle du secteur de Dampierre-sous-Bouhy).

Les minerais de fer des formations détritiques et de remaniement recouvrant les plateaux et leurs versants

Globalement, les informations concernant le ou les minerais de fer des couvertures limono-argileuse des plateaux restent très lacunaires. Ce type de minerai est mal caractérisé morphologiquement et même stratigraphiquement.

• Morphologiquement, sont mentionnés :

- des grains dans les argiles sableuses (« Ferruginisation du Complexe argilo-sableux à silex », notamment le long de la vallée de l'Aveyron, feuille de Bléneau, p.26)
- des concrétions ferro-manganésifères dans les couvertures argileuses (feuille de Bléneau, p.27)
- des grains dans les dépôts argilo-silteux (LP feuille d'Auxerre)
- des éléments limonitiques et manganésifères, en lits ou en poches dans les couches sparnaciennes (feuille d'Auxerre)
- des granules dans les limons des plateaux (LPs et OE, feuille de Saint-Fargeau)

• Stratigraphiquement, ces éléments sont rattachés :

- soit au Sparnacien (Éocène)
- soit à la couverture limono-argileuse des plateaux (Pliocène à Pléistocène)
- de plus, ils peuvent provenir de formations de versant (vallées et vallons) constituées à partir du remaniement des précédentes.

Toutefois, l'étude détaillée de ces formations du Cénozoïque dans la notice de la feuille de Bléneau (B. Pomerol 1989 pp. 17-26) montre qu'il s'agit de formations d'âge, de nature et d'origine très diverses et en grande partie remaniées par des phénomènes d'altération et d'érosion du substrat, accompagnés de transport, de plaquages et de dépôts fluviatiles ou éoliens sur plusieurs dizaines de millions d'années. Il s'agit donc de formations détritiques. Ces formations sont principalement composées d'argiles à silex *s.s.* ou de sédiments argilo-sableux plus ou moins riches en silex, localement grésifiées ou conglomératiques. B. Pomerol les regroupe sous l'appellation de Complexe argilo-sableux à silex². Sur la feuille de Bléneau, ils sont cartographiés sous la référence R_{III}-H (un tableau de correspondance avec les numérotations présentes sur les feuilles adjacentes établies précédemment est donné page 18 : R_{III}-H incluant les formations notées e [Sparnacien], H, Rp, RS [Formations tertiaires]).

B. Pomerol indique que le Complexe argilo-sableux à silex est fréquemment ferruginisé, le fer se présentant parfois sous forme de traînées diffuses (dans les grès et les quartzites), en grains de limonite (dans les sables) ou plus rarement sous forme de concrétions, et que c'est ce minerai de fer qui aurait « été exploité aux temps préhistoriques et de nombreux tas de scories ou ferriers jalonnent les plateaux du Sud-Est de la feuille de Bléneau près de Tannerre-en-Puisaye, Villiers-Saint-Benoît (le Haut Ferrier) ou de Mézilles (le Ferrier Guillou) » (p. 26).

4.6.3. Les informations fournies par la fouille archéologique des Ferrys à La Bussière (Loiret)

Au cours des travaux de terrassement préalables à la construction de l'autoroute A77, ont été mis au jour des vestiges d'extraction minière et d'ateliers de production du fer, au lieu-dit *Les Ferrys* sur la commune de La Bussière, dans le département du Loiret. Ce lieu localisé à 30 km au sud de Montargis est situé à la frange nord-ouest de la Puisaye. L'opération archéologique a été conduite par une équipe de l'AFAN sous la direction de A. Rebiscoul dans les années 1990.

Deux phases d'atelier de production du fer avec fourneaux de réduction ont été datées de l'âge du Fer et de la période romaine. Deux phases d'extraction de minerai ont été identifiées parmi la centaine de puits et galeries répertoriés, l'une de la période romaine, l'autre de la période médiévale (Rebiscoul 2003). Les vestiges d'extraction correspondent à des puits de 0,70 à 0,90 m de diamètre pour 6 à 10 m de profondeur, s'ouvrant sur des galeries de 5 m de long pour 1 m de section. Les puits sont revêtus d'un cerclage de noisetier et les galeries sont étayées par des boisages verticaux et transversaux.

Les coupes de terrain réalisées ont mis en évidence des concentrations ferrugineuses dans une formation argileuse bariolée rouge, orange, brune et verte localement indurée en argilite brun.

2 « Aucun élément faunistique ou floristique ne permet d'établir avec certitude l'âge des formations détritiques grossières du Gâtinais oriental ou du Sénonais. L'absence de relations géométriques nettes entre les différents faciès et des formations sous ou sus-jacentes d'âge paléogène certain interdit d'attribuer tout ou partie du complexe argilo-sableux à un étage quelconque de la période paléogène » (Pomerol 1989 p. 35).

Trois faciès ferrugineux ont pu être reconnus :

- un faciès supérieur ayant entre 1 et 5 cm d'épaisseur ;
- deux faciès inférieurs formant une couche discontinue de 0,30 m d'épaisseur, où aboutissent les puits et galeries d'extraction.

Malheureusement il n'existe pas dans la publication de description morphologique des dites concentrations ferrugineuses.

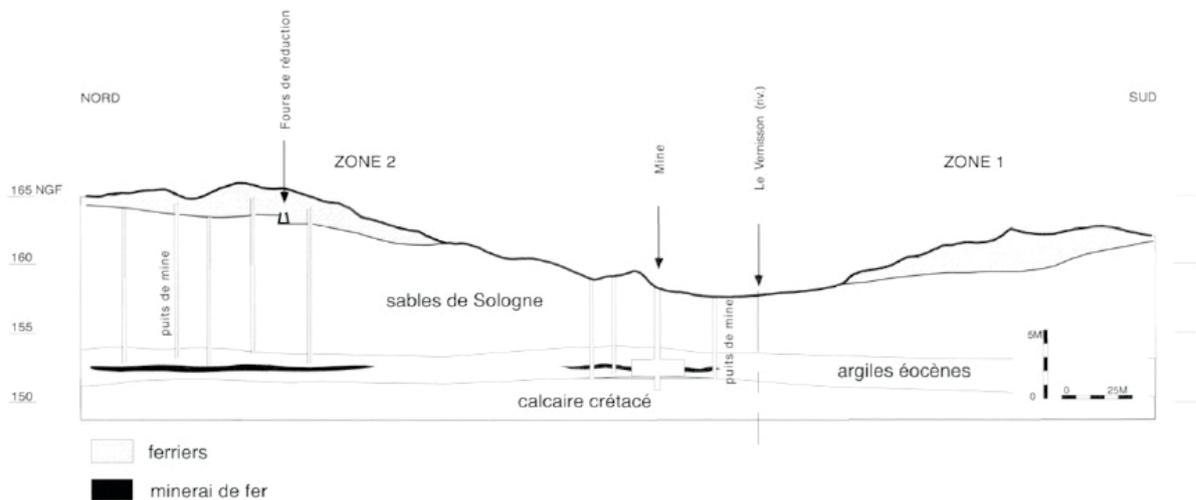


Figure n°69. La Bussière "Les Ferry" (Loiret). Coupe nord/sud mettant en évidence l'organisation des exploitations minières et métallurgiques (d'après Rebiscoul 2003).

D'après la carte géologique de Châtillon-Coligny, les argiles bariolées appartiennent à la formation référencée « **e. Caillasse de silex usés, conglomérats siliceux, argiles bariolées (Éocène)** » et décrite de la manière suivante : « *Les silex sont abondants dans cette formation. Les argiles sont généralement jaunes et rouges, avec des passées d'un rouge vif. Elles sont entièrement kaoliniques, chargées de quartz et d'un peu de goethite.* » (p.6). Mais il n'est pas mentionné la présence de grains ou de concrétions ferrugineuses.

Il s'agit donc de la même formation que celles où sont mentionnées des granules et concentrations de minerai de fer sur les autres cartes géologiques du secteur, regroupées sous l'appellation Complexe d'argiles à silex dans la notice de la feuille de Bléneau (*cf.* ci-dessus).

4.6.4. Synthèse des informations issues du dépouillement bibliographique

Si on tient compte de la large extension des couches rattachées au Complexe argilo-sableux à silex à la surface des plateaux, sur l'ensemble de la région naturelle de la Puisaye, conjuguée au fait qu'une très grande partie des ferriers/amas de scories est située sur ces surfaces, il n'est pas aberrant d'envisager que les minerais de fer exploités pour cette sidérurgie ancienne proviennent au moins en partie de ces couches détritiques, dont l'épaisseur est plurimétrique et peut atteindre jusqu'à 20 m (Pomerol 1989 p. 17).

La fouille archéologique de l'atelier antique *des Ferrys* à La Bussière apporte la confirmation de l'exploitation de ces niveaux détritiques recouvrant les plateaux pour l'alimentation des fourneaux. L'exploitation se fait par puits de plusieurs mètres de profondeur pour atteindre une strate riche en nodules et concrétions limonitiques (fig. 69).

Pour leur part, les couches sédimentaires du Crétacé (Cénomaniens, Albien, Barrémiens, Hauteriviens) n'affleurent largement que sur la partie nord-est, est et sud de la région, suivant

un arc de cercle courant de Joigny au nord à Arquian au sud. Une petite partie des ferriers est positionnée sur ces terrains. Les types de minerais de fer potentiellement contenus dans l'Hauterivien, le Barrémien inférieur et supérieur, l'Albien et le Cénomaniens peuvent donc aussi avoir été utilisés. C'est ce que pourrait indiquer la mention de possibles vestiges d'extraction autour de Dampierre-sous-Bouhy ou dans le secteur de Parly, Diges, Pourrain.

Ces couches du Crétacé apparaissent en affleurements limités dans les vallées qui entaillent les plateaux centraux : du minerai de fer pourrait donc aussi en provenir. Mais à ces mêmes endroits, un autre minerai de fer pourrait aussi être intégré aux formations remaniées de versants issues du démantèlement de la couverture des plateaux.

Au total, plusieurs sources de minerai de fer appartenant à plusieurs étages géologiques du Crétacé et aux larges couvertures Éocène des plateaux sont donc possibles, ce qui rend l'identification des types de minerais de fer utilisés dans les ateliers de réduction anciens assez complexe en l'absence de référentiels descriptifs détaillés.

4.6.5. Les restes de minerai de fer recueillis dans les amas de scories étudiés dans le Bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon/Montholon

Plusieurs dizaines de morceaux de roche recueillis dans les prélèvements réalisés dans les couches mis au jour lors des sondages sur les amas de déchets sidérurgiques 89.003.001, 89.003.003 et 89.003.020 dans le *Bois des Ferriers* à Aillant-sur-Tholon paraissent pouvoir être interprétés comme des fragments de minerai de fer. Un certain nombre d'entre eux porte des colorations rouge vif à rouge sombre qui pourraient révéler des impacts thermiques témoignant d'une sorte de grillage préalable. D'autres possèdent des aspects de surface indiquant un début de transformation à hautes températures. Un classement morphologique provisoire est proposé.

Classement morphologique provisoire (fig. 70)

Minerai de type 1 (référéncé Min1)

Morceau de roche dont la morphologie évoque une géode. Les surfaces présentent soit un aspect lisse, soit un aspect feuilleté. Les cassures montrent une structure constituée de veines compactes, d'épaisseur pluri-millimétrique, superposées et organisées de manière concentrique, organisées sur certaines pièces autour d'une cavité centimétrique (éch. **89.003.Min104** ou **89.003.006**). La plupart de ces morceaux présentent une coloration rouge vif interprétée en première approche comme provenant d'une cuisson préparatoire (« grillage »). Seuls quelques exemplaires (comme l'éch. **89.003.003.Min102**), possèdent une coloration brun-jaune-orangé ; on y observe la même alternance de volutes de couleur jaune à marron d'épaisseur infra-millimétrique.

Minerai de type 2 (référéncé Min2)

Ces fragments de roche présentent des surfaces irrégulières et sont 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. Quelques exemplaires (par exemple **F9.S1.113**) présentent des colorations rouges interprétées en première approche comme provenant d'une cuisson préparatoire (« grillage »).

Minerai de type 3 (référéncé Min3)

Roches aux surfaces rugueuses et aux parties internes constituées de cavités réparties de manière irrégulière. Certaines veines sont plus épaisses ou plus denses et semblent s'organiser de manière concentrique autour d'alvéoles de taille infra-centimétrique.

Minerai de type 4 (référéncé Min4)

Roche à structure compacte, aux cassures anguleuses. Une coloration violacée est observée dans les zones de fracture fraîche. Des minéraux de taille centimétrique sont pris dans cette roche.

Minerai de type 5 (référéncé Min5)

Il s'agit de fragments compacts qui évoquent les minerais de type 1 et 2.

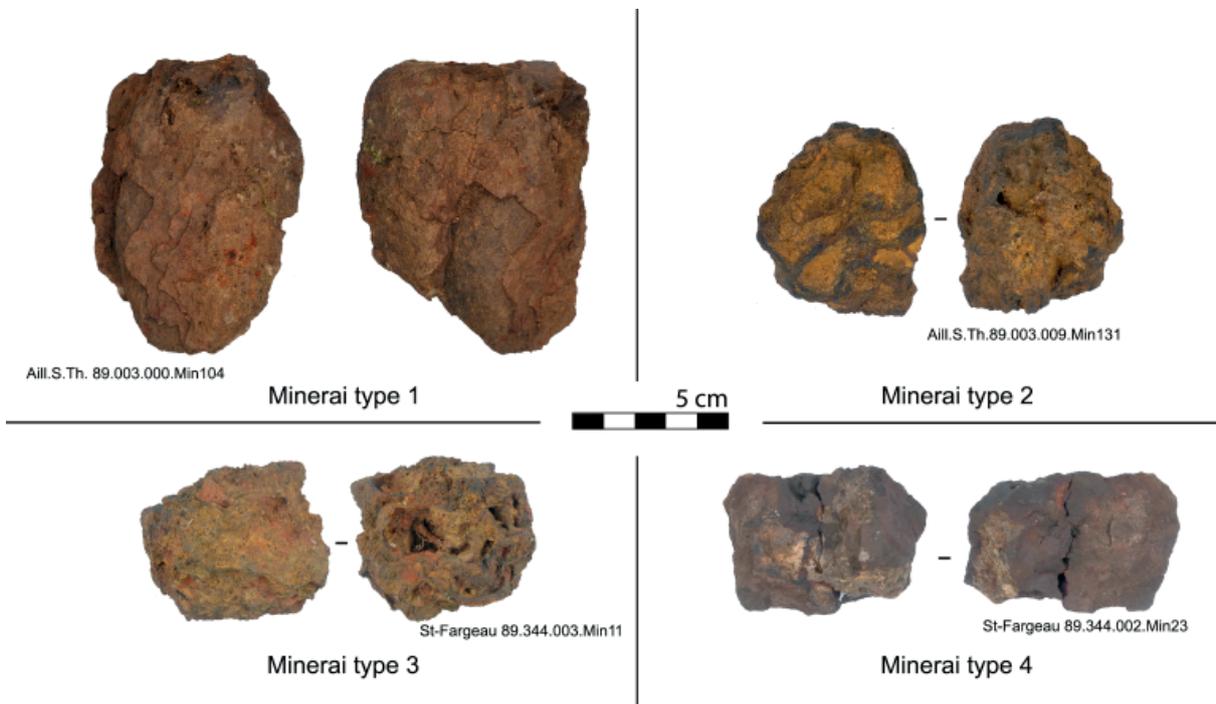


Figure n°70. Typologie (provisoire) des minerais étudiés (cl. M. Berranger).

Résultats des premières analyses chimiques

Les prélèvements effectués sur six échantillons ont été envoyés au Service Analyses Roches et Minéraux du CRPG-CNRS de Nancy-Vandoeuvre pour analyses de composition chimique élémentaire (fig. 71, 72). Ces six échantillons correspondent au type 1 décrit ci-dessus.

N° site	N° échantillon	Type	Description	N° CRPG
89.003.001	F1-S3-305-Min31	Min.1	m i n e r a i rouge-violacé	1809095
89.003.001	F1-S4-401-Min36	Min.1	m i n e r a i rouge-violacé	1809094
89.003.001	89.003.001-Min101	Min.1	m i n e r a i rouge-violacé	1809110
89.003.002	89-003-002-Min102	Min.1	m i n e r a i rouge-violacé	1809096
89.003.002	89-003-002-Min103	Min.1	m i n e r a i rouge-violacé	1809098
89.003.000	89.003.000-Min104	Min.1	minerai ro- gnon	1809099

Figure n°71. Montholon / Aillant-sur-Tholon "Bois des Ferriers". Inventaire des minerais analysés au CRPG.

N° échantillon	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	P.F.
F1-S3-305-Min31	6,75	1,804	89,09	0,288	0,093	0,305	< L.D.	0,157	0,069	0,31	1,41
F1-S4-401-Min36	13,28	5,137	76,65	0,609	0,162	0,478	0,029	0,225	0,228	0,13	3,5
89.003.001-Min101	4,96	1,932	88,66	0,246	0,098	0,291	< L.D.	0,086	0,095	0,12	2,61
89-003-002-Min102	1,77	0,156	82,48	0,343	0,119	0,115	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	14,71
89-003-002-Min103	9,95	3,257	82,04	0,332	0,166	0,161	< L.D.	0,097	0,108	0,29	3,75
89.003.000-Min104	3,77	1,372	92,5	0,381	0,039	0,105	< L.D.	0,073	0,061	0,2	1,82

Figure n°72. Résultats des analyses chimiques effectuées au CRPG sur six fragments de minerais. Elements majeurs.

Les six échantillons présentent des teneurs en oxydes de fer assez élevées, comprise entre 76 et 93 % (soit entre 55 et 65 % de teneur en fer) qui permettent de confirmer qu'il s'agit bien de minerai de fer. Ces teneurs sont du même ordre que celle donnée par J. Momot (*supra*). Les variations sur les teneurs en silice SiO₂ et en alumine Al₂O₃ sont assez importantes, comprises entre 1,7 et 13,3 % pour SiO₂, et entre 0,15 et 5,1 % pour Al₂O₃. On note peu de CaO (< 0,5 %), peu de P₂O₅ (< 0,3 %), peu de MgO (< 0,2 %). Les teneurs en oxyde de manganèse MnO sont comprises entre 0,25 et 0,6 %, du même ordre que les teneurs en CaO.

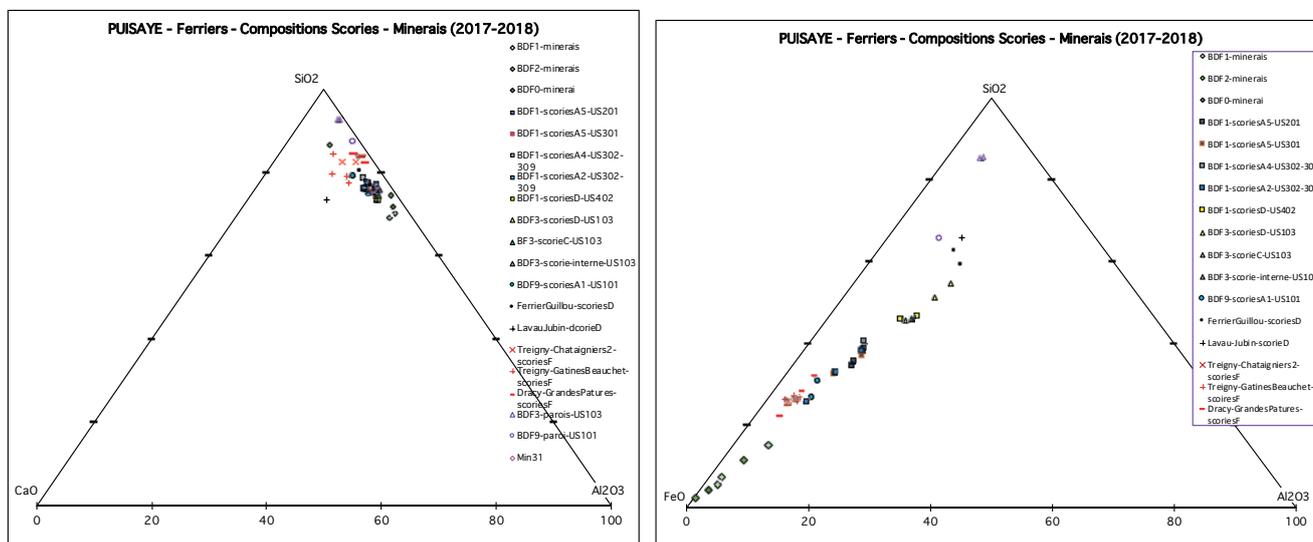


Figure n°73. Diagrammes ternaires incluant les rapports entre minerais et scories de Pusiaye. Gauche : rapports CaO, Al₂O₃ et SiO₂. Droite : rapports FeO, Al₂O₃ et SiO₂ (M. Leroy)

Comparées aux compositions des scories prélevées sur les mêmes amas de déchets, celles des minerais montrent une certaine cohérence avec ces dernières (fig. 73) : le regroupement des points représentant la composition des minerais et des scories au même endroit ou à proximité immédiate, sur le diagramme SiO₂/Al₂O₃/CaO qui reflète la composition de la gangue minérale, ou l'alignement relatif de ces mêmes points sur le diagramme SiO₂/Al₂O₃/FeO, indiquent une bonne probabilité pour que ces scories soient bien issues de la réduction de ce type de minerai.

Toutefois, ces diagrammes révèlent que la position des points représentant la composition des scories n'est pas dans l'alignement strict de la position des points représentant la composition des minerais potentiels. Ils montrent un léger enrichissement en silice des scories par rapport aux minerais. Soit la charge réelle des fourneaux avait une composition chimique légèrement plus siliceuse que celle du groupe de minerais potentiels analysés, soit ce constat pourrait témoigner d'un léger apport de la fusion du revêtement des parois de la cuve des fourneaux de réduction, dont le rapport Si/Al est situé autour de 12 à 14, contre 2,5 à 3,7 pour les minerais.

4.6.6. Réflexions sur les vestiges archéologiques de l'extraction du minerai de fer

Compte tenu de l'imposant volume de scories anciennes que constituent les 2500 amas de scories recensés à ce jour et de l'estimation des masses de scories ré-exploitées au cours des deux derniers siècles (compte tenu des informations figurant dans Goudard 1936, le chiffre de 1 million de tonnes de scories est envisageable : cf. en évaluation la plus récente, Piétak *et al.* 2012), la quantité de minerai exploité est nécessairement considérable (2, 3, 4 ou 5 fois plus que l'estimation du tonnage de scories ?).

Par conséquent :

- Il a dû exister des zones ou des secteurs ou des couches très riches en morceaux ou nodules de minerai, permettant une exploitation quantitativement importante, de simples ramassages de surface ne paraissant pas suffisants pour alimenter même sur la longue durée pluriséculaire, ces milliers d'ateliers.

- Il y a donc logiquement eu des secteurs d'extraction en sous-sol (fosses, carrières, puits, galeries...).

- Il a dû nécessairement exister des secteurs d'extraction de grande ampleur, surtout lorsqu'il a fallu alimenter des complexes de production de niveau important comme ceux qui ont généré les grosses buttes de scories, car là encore de simples ramassages de surface ne paraissent pas suffisants. Toutefois, des secteurs d'extraction intense peuvent aussi se présenter sous la forme d'une multitude de petites zones d'extraction, regroupées sur un espace délimité et réservé, voire même dispersées sur un espace très large.

De tels secteurs restent donc à découvrir.

Les découvertes effectuées aux *Ferrys* à La Bussière montrent que les extractions de minerai peuvent prendre la forme de puits de faible diamètre (autour d'un mètre), débouchant sur de courtes galeries souterraines, étroites et de faible hauteur. Ce type de vestiges peut donc être conservés, en surface, sous la forme d'excavations comblées de forme sub-circulaire. De telles formes ont été observées en de nombreux endroits par J.-P. Piétak lors de ses prospections (par exemple, trous circulaires remplis d'eau dans le *Bois des Parts* à Saint-Amand-en-Puisaye, dans le *Bois des Charbonniers* à Grandchamp, dans le *Bois des Tailles Longues* à Saint-Fargeau). D'une manière générale, les prospections de terrain révèlent une multitude de dépressions avec bordures de déblais, riches en silex, dont une partie peut être d'origine naturelle, mais dont une autre partie peut correspondre à ces extractions. D'autres formes d'excavations ont aussi été observées : dépressions de quatre à huit mètres de diamètre, en forme d'entonnoir en cône plus ou moins érodé, ou en forme de vague dépression circulaire très érodée ; zone d'enchevêtrement de trous et de buttes de plusieurs mètres de haut pouvant correspondre à une exploitation en carrière à ciel ouvert.

Nous avons également observé des creusements circulaires comparables aux découvertes de La Bussière lors des sondages menés à Montholon /Aillant-sur-Tholon (fig. 74) notamment sous



l'amas 89.003.020 et à l'occasion de l'ouverture du sondage 21 dans un secteur livrant une forte quantité de céramique domestique (Berranger dir. 2018 p. 66-67). Les moyens mécaniques à notre disposition ne nous ont cependant pas permis de fouiller intégralement ces structures et de déterminer leur profondeur.

Figure n°74. Creusement circulaire d'1 mètre de diamètre mis au jour sous l'amas 89.003.020 et fouillé sur 1 m de profondeur (M. Berranger).

Toutefois, il faut aussi prendre en compte le fait que dans ces mêmes secteurs géographiques ont aussi été pratiquées des extractions d'autres matériaux. Les informations sont données dans les notices des cartes géologiques :

- extraction de marnes pour le marnage des terres acides : en carrières ou en puits dans le Cénomaniens et le Turonien ;
- extraction d'argiles pour les tuileries-briqueterie : dans le Complexe argilo-sableux à silex ;
- extraction de sables dans ces mêmes terrains.

Sur les cartes de Bléneau et de Saint-Fargeau sont indiqués de nombreux emplacements d'anciennes carrières avec l'indication du matériau extrait (marne, sable, argile).

Ces extractions d'argiles, de marnes et de sable ont donc pu générer des formes d'excavations similaires à celles générées par l'exploitation du minerai de fer (même des puits sont mentionnés pour l'exploitation des marnes). Compte tenu de la nature des terrains traversés, il est fort probable que des déblais de sédiments argilo-marneux ou argilo-limoneux contenant de nombreux blocs de silex aient été entassés autour de ces excavations, voire même les recouvre. Ainsi, la nature du matériau réellement extrait (minerai, argile, marnes, sable) ne peut donc se déduire, ni de la forme des excavations, ni de la composition des déblais.

4.7. Dendro-anthracologie, analyse exploratoire de ferriers à Montholon (Aillant-sur-Thollon)

Olivier Girardclos, Rémy Jeannot

4.7.1. Introduction - problématique

Caractériser les ressources, estimer l'impact et comprendre l'évolution de la gestion forestière.

Dans la zone d'étude en Puisaye, l'impact sur la végétation de l'activité sidérurgique en bas fourneau est supposé fort car les volumes de déchets observés correspondent très probablement à des volumes de fer produit importants. La production de fer sollicite fortement les peuplements forestiers, mais dans le même temps le bois est indispensable aux procédés. En ne considérant que les notions de ressource, le maintien de la production dans la durée repose donc sur un compromis, un équilibre, entre les possibilités forestières et la disponibilité des autres matériaux indispensables, le minerai et les matériaux de construction des fours. Les possibilités forestières sont de deux natures distinctes, le stock de bois sur pied et l'augmentation de ce stock chaque année de végétation grâce à la photosynthèse. Nous proposons d'étudier ici la production de fer du point de vue des possibilités forestières, à partir de l'identification des restes de charbon et de

l'étude de marqueurs de la croissance annuelle. Point de vue qui pourra être confronté à d'autres facteurs dont l'influence peut dépasser celle des ressources, ce sont notamment les demandes ou les difficultés de débouché des produits et l'organisation sociale de la production.

L'utilisation du bois en sidérurgie est sous des contraintes spécifiques qui font l'objet d'hypothèses et d'observations archéologiques (voir Eschenlohr *et al.* 1991, Dabas *et al.* 2002, Sarreste 2011, Leroy *et al.* 2019), mais les ressources mobilisées restent à caractériser en Puisaye. Il est largement supposé que le bois est utilisé en charbon, dans un calibre et une granularité en rapport avec celle du minerai et le chargement du four ; le maintien de la braise à certains moments des processus serait une raison de la sélection de taxons particuliers denses, comme le hêtre et le chêne. Du point de vue des peuplements forestiers, la demande en ressources est donc principalement exprimée en volume ou davantage en biomasse de taxons spécifiques. Il n'y a pas de recherche de calibres particuliers et surtout la longueur des troncs n'intervient pas, voire pourrait être un inconvénient. Ceci apparaît tout à fait contraire à la sélection des bois d'architecture choisis sous des fortes contraintes de diamètre et de longueur.

Les études des restes découverts dans les plateformes de transformation du bois en charbon montrent régulièrement un rapport étroit entre les taxons exploités et les taxons dominants de la végétation potentielle - la végétation que les conditions de milieu et la dynamique naturelle rendent la plus probable en un lieu donné (Leguédois *et al.* 2011). Ludmann (2010) remarque entre Forêt Noire et Vosges la correspondance à échelle régionale – Le hêtre domine en altitude accompagné de sapin à l'ouest et d'épicéa à l'est, le chêne domine en plaine – ainsi qu'à l'échelle locale des massifs forestiers. De même, Deforce *et al.* (2013) concluent à l'absence de sélection et à l'exploitation de tous les taxons pour la production de charbon dans le nord de la Belgique entre 1300 et 1900. Les taxons découverts dans les charbonnières de la période Moderne de la forêt communale de Chailluz à Besançon correspondent aux types de stations forestières (unités homogènes des formations forestières) actuels à l'échelle du massif. Les participations du chêne, du hêtre et du charme ainsi qu'un cortège diversifié de 15 taxons secondaires recouvrent la diversité actuelle (Dupin *et al.* 2017). Dans ces systèmes, les bois charbonnés paraissent très peu déplacés, tous exploités, davantage en fonction de la biomasse disponible que sélectionnés, même s'il ne faut pas totalement exclure des usages concurrentiels, par exemple dans d'autres structures industrielles comme les fours à chaux, ou de taxons spécifiques recherchés, pour les bois d'échalas et plus généralement l'artisanat, noisetier, orme, frêne, tilleul. Toutefois, même si la sidérurgie est un débouché important pour les charbonniers, il reste difficile d'attribuer la totalité du charbon produit en plateforme à cet usage, particulièrement en périphérie urbaine (Deforce et Haneca 2015). En effet, des stocks de charbons à usage domestique peuvent être identifiés dans des sources historiques comme à Tours (Jacquet 2003). S. Paradis-Grenouillet *et al.* (2015) ont pu étudier les charbons de charbonnières très proches de lieux d'activités métallurgiques. Le hêtre est presque exclusivement utilisé, ce qui permet de proposer au Moyen-âge une production forestière dédiée à la métallurgie : « la forêt métallurgique », qui toutefois reste basée sur un taxon particulièrement dominant sur les sols acides du Mont-Lozère.

Pour la période Gallo-Romaine et les âges du Fer la production de charbon semble nettement moins connue, toutefois des données détaillées sont disponibles dans une zone biogéographique à l'ouest de la Puisaye, dans le Bas Maine, qui reprend les contours de la cité antique des Diablintes (Sarreste 2011). L'analyse des charbons (Marcoux et Marguerie 2008 dans Sarreste 2011), dont certains sont découverts dans des ferriers, montre que l'exploitation à la période romaine repose sur le hêtre de petit à moyen calibres à 80 % accompagné de 10% de chêne et 10% d'autres taxons peu diversifiés : aulne, saule et bouleau. Un diagramme palynologique disponible à proximité des sites métallurgiques (Barbier 1999 dans Sarreste 2011) montre que le hêtre est le dernier taxon à s'imposer dans la végétation locale et que le total de pollens

d'arbres connaît une diminution liée à l'emprise territoriale des sociétés du Hallstatt et du début de La Tène, alors qu'il se stabilise pendant la période romaine au moment où l'activité métallurgique est démontrée. Ceci laisse supposer qu'une certaine gestion ou préservation d'espaces forestiers productifs est concomitante. Par une approche principalement d'archéologie spatiale, les auteurs remarquent la coïncidence entre les distributions géographiques des ferriers et des forêts actuelles « anciennes » vis-à-vis de sources historiques. Ils font l'interprétation d'une localisation des installations sidérurgiques orientée par la disponibilité en bois, mais il faut constater que les autres matériaux nécessaires, le minerais mais surtout les matériaux de construction des fours sont aussi très pondéreux (Domergue 2016).

Il apparaît alors, que l'activité sidérurgique repose sur l'exploitation d'un fort volume ou plutôt une forte biomasse de bois. La végétation d'un territoire apporte des potentialités en taxons et en stock dont la gestion doit éviter la destruction (1) en excluant une surface forestière suffisante de la conversion des écosystèmes en agrosystèmes (s'ils sont non productifs de bois), (2) en respectant la productivité, c'est-à-dire l'accroissement annuel de la biomasse. Dans ce questionnement, nous proposons ici des contributions pour caractériser les ressources mise en œuvre en Puisaye, les taxons et les calibres, ainsi que décrire des pratiques de gestion forestière par l'étude de largeurs de cerne.

4.7.2. Matériel et Méthodologie

Quelques aspects de la végétation de Puisaye

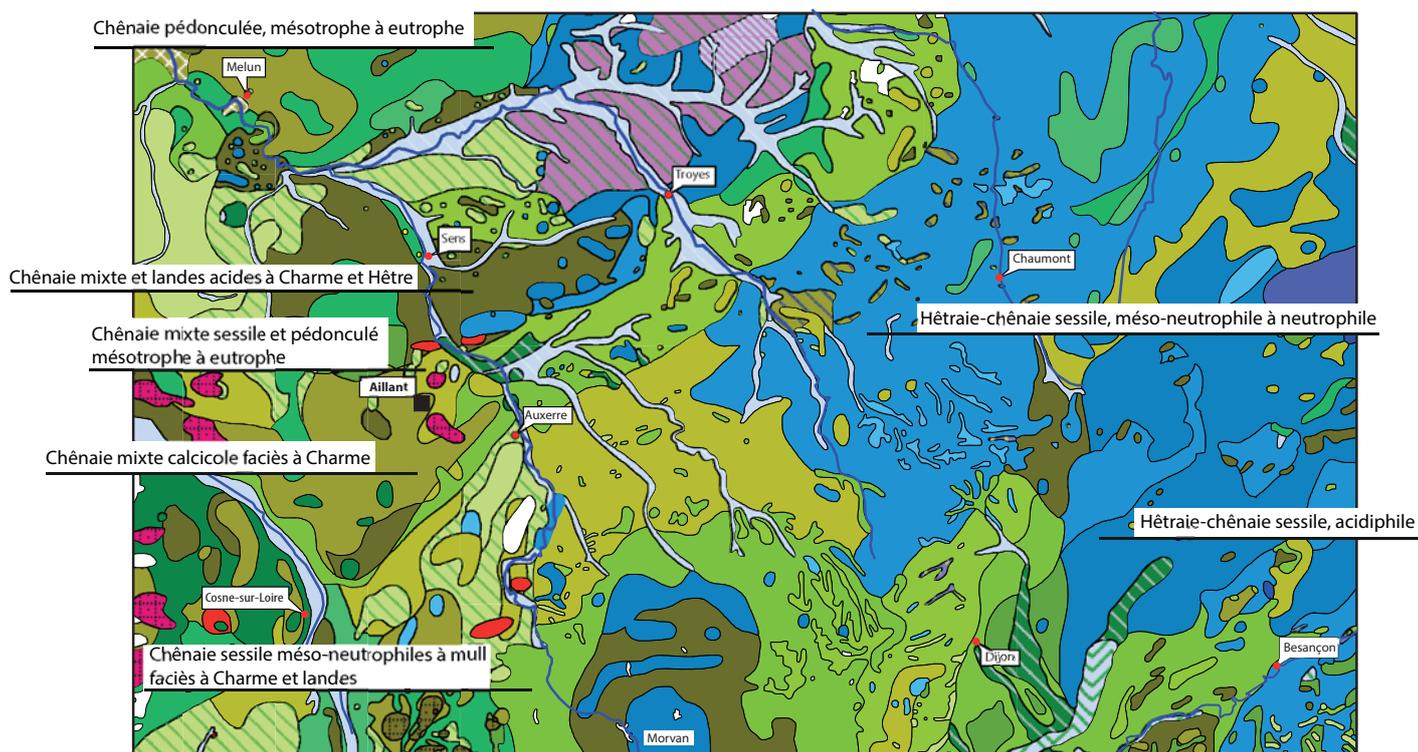


Figure n°75. carte de la végétation potentielle de la France (Leguédou et al. 2011) au niveau de contact des chênaies et des hêtraies

La Puisaye, localisée à l'ouest d'Auxerre, peut être vue comme une extension vers l'est des forêts de chênes ligériennes qui se développent sur la façade ouest de la France à cette latitude et qui sont encore typiques dans l'Orléanais et le Gâtinais. Sur la carte de végétation potentielle de la France (Leguédou et al. 2011) le contact entre les chênaies et les hêtraies est plus évident

qu'en Puisaye à l'est de l'Yonne, jusqu'à Troyes, en forêt d'Othe par exemple, puis sur les plateaux calcaires vers Chaumont (fig. 75). Toutefois la définition d'une végétation potentielle qui représenterait principalement les influences des dynamiques naturelles est particulièrement difficile à faire dans des régions où les formations végétales sont sous l'emprise d'exploitations et de gestions depuis très longtemps et, en fonction de la variabilité locale des conditions de milieu : géomorphologie et pédologie, la part des essences dominantes peut être particulièrement variable. En effet, ces essences sont souvent les objectifs de la production forestière, par conséquent leur proportion reflète souvent l'aménagement forestier, qu'il coïncide étroitement ou moins avec la potentialité naturelle.

Le catalogue des types de stations forestières (Girault 1988) situe le secteur de Montholon, Aillant-sur-Tholon dans la Puisaye des plateaux (180-260 m), c'est-à-dire dans un secteur où des craies déposées au cours du Crétacé supérieur forment un soubassement presque toujours recouvert par des formations imperméables (argiles à silex) et des limons qui autorisent des sols relativement profonds : des sols bruns lessivés s'il n'y a pas d'apports par colluvion. Les nappes temporaires sont à l'origine de sols lessivés à pseudogley, mais la contrainte hydrique pour l'enracinement est généralement profonde, ne se rapprochant de la surface que dans les dépressions. La podzolisation n'intervient que sur les sables, en basse Puisaye (160 -200 m) qui touche des alluvions grossières, des molasses ou les alluvions anciennes de la Loire, ainsi qu'en Haute-Puisaye (200-340m) où les argiles et des sables géologiques de natures variées sont à l'origine d'une pédogénèse nettement plus diversifiée.

L'essence prépondérante - qui représente la plus grande surface dans l'étage dominant - est du chêne pédonculé pour 55% de la surface boisée, du chêne sessile pour 31%, du charme dans 2%, alors que le hêtre est relégué dans les « feuillus divers ». L'ensemble des types de stations forestière est dominé par les chênes. Le charme est très présent en sous-étage et lorsque la contrainte hydrique se fait sentir ou que l'ouverture du peuplement autorise des pionniers le peuplier tremble accompagné de bouleau se développe. Le potentiel de développement du hêtre est très peu évoqué par le catalogue, dans les types de station acidiclins. Sur le site du « bois des ferriers » il est présent en quantité très nettement inférieure au chêne (fig. 76). Les peuplements sont d'anciens taillis-sous-futaie (TSF) en cours de conversion vers de la futaie, mais des zones riches en taillis sont très nettes. Le charme se développe fortement dans ces zones ou toutefois il y a des hêtres de petits diamètres.



objectif conversion de TSF en futaie de chênes avec hêtres zone pauvre en futaie, riche en taillis de charme

Figure n°76. Vues de la végétation actuelle sur le site du « Bois des ferriers »

Prélèvements en contexte stratigraphique documenté et spécificité des ferriers

Lors des campagnes de fouilles effectuées au lieu-dit « Bois des Ferriers » en 2017 et 2018, plusieurs contextes ont bénéficié de prélèvements destinés à réaliser une étude dendro-anthracologique. Ces prélèvements ont permis d'isoler des lots de charbons appartenant à des

US de ferriers de rejet des activités métallurgiques documentées par l'archéologie et l'étude archéométallurgique.

Sur le terrain, la méthodologie classique de prélèvements destinés à l'analyse anthracologique (Chabal 1997) a dû être adaptée dans l'objectif d'obtenir un nombre représentatif de charbons de « grosse taille », favorables à l'acquisition de données dendro-anthracologiques (Marguerie *et al.* 2010) de qualité. Il est généralement admis que la meilleure représentation du cortège de taxons exploité pour le bois de feu est donnée par le volume de sédiments en masse nécessaire pour livrer au moins 200 fragments d'une US d'occupation. Les structures où le charbon est concentré, comme les foyers, les fosses de rejets ... peuvent en fait contenir les résidus d'activités ponctuelles, de faible durée, peu représentatives de la stratégie d'approvisionnement à plus long terme.

L'activité sur le site est principalement la réduction du minerai de fer. Les US des ferriers sont formées par l'accumulation de déchets, principalement des scories de réduction de types variés et des fragments de parois des fours démantelés. Vis-à-vis de la stratégie d'approvisionnement de l'activité du site en bois, il reste difficile de déterminer sur le terrain à quel niveau de détail, les US des ferriers doivent être considérées comme des « faits isolés ou intégrateurs ». Est-ce que les ferriers regroupent les déchets d'un ou plusieurs fours, d'une réduction particulière ou de plusieurs, ainsi que d'autres activités plus annexes ou non ? Quel plan d'échantillonnage faire pour espérer synthétiser une période d'activité suffisante pour caractériser la stratégie d'approvisionnement en bois ? Les prescriptions méthodologiques sont connues lorsque l'objectif est l'étude du combustible de la vie domestique sur une période donnée, mais pour l'étude des structures de production industrielles comme les plateformes de charbonnier ou en contexte de métallurgie, l'échantillonnage doit être projeté en fonction de ce qui peut être connu du processus de formation des US sur le site.

Le plus souvent, les US qui composent les ferriers ne sont accessibles qu'en coupe. La majorité des prélèvements sont donc réalisés en prospectant une US sur une profondeur n'excédant pas 20 cm. Elles sont constituées d'éléments grossiers (1-10 cm) voire très grossiers (>10 cm) associés à une fraction plus fine sableuse, parfois peu abondante, dans laquelle les charbons de grosse taille (0,5 cm) apparaissent plus ou moins groupés. Des tamisages tests (tamis de 4 mm) sur le terrain ont permis d'évaluer la concentration en charbons de relativement grosses tailles. Il est parfois nécessaire de traiter plus de 10 l de sédiments en excluant les éléments centimétriques pour obtenir assez de fragments, alors que des zones charbonneuses sont très riches. Les prélèvements ont alors pris deux formes, (1) composés presque exclusivement de charbon, résultat d'un « ramassage intense » associant un tri sur tamis et (2) des prélèvements « en masse de la fraction fine ». En laboratoire, les charbons ont été extraits suivant le cas, soit par flottation et lavage sur tamis de 4 mm, soit en suivant un protocole plus classique de flottation des sédiments en vrac versé sur les tamis de 4 et 2 mm suivi d'une prospection des refus.

Matériel prélevé et analysé

Les charbons paraissant sur le terrain plus ou moins concentrés, le plan d'échantillonnage (fig. 3) comporte une variabilité interne aux US et une variabilité inter-US. Les répliqués internes aux US ont été limités, mais ils sont importants pour étudier la variabilité dans les charbons en fonction de la variabilité stratigraphique. Les différents sondages permettent la comparaison des ferriers. Les charbons utilisés pour les datations radiocarbone sont isolés de façon à caractériser très précisément la stratigraphie. Le taxon est identifié et seule une écaille de quelques milligrammes - la plus proche possible de la zone cambiale et comportant le moins de cerne possible - est envoyée pour analyse.

Localisation-Identification					Destination		Analyses	
Fouille	Ferrier	Sondage	US	n° PR	Traitements	Observations	Taxons	Calibre et ce mes
2017	F1	3	302	PR1	prospection de coupe	env.30 charbons dont grosse taille	n= 50 frgts	n=47 frgts
2017	F1	3	302	PR2	prospection de coupe	env.10 charbons grosse taille		
2017	F1	3	302	PR3	prospection de coupe	env. 5 charbons grosse taille		
2017	F1	3	302	PR4	prospection de coupe	>30 charbons dont grosse taille	n= 76 frgts	n= 39 frgts
2017	F1	3	305	PR6	prospection de coupe	env.10 charbons grosse taille	n= 13 frgts	n=10 frgts
2017	F1	3	309	PR9	prospection de coupe	env. 10 charbons petite taille		
2017	F1	3	309	PR10	prospection de coupe	env. 5 charbons petite taille		
2017	F1	3	305/306	PR8	prospection de coupe	>30 charbons dont grosse taille	n= 64 frgts	n= 57 frgts
2017	F3	1	103		prospection de coupe	>30 charbons dont grosse taille		
2017	F3	1	104		prospection de coupe	env. 30 charbons grosse taille		
2017	F3	1	104	PR4	Prélèvement intégral 20 l.	> 30 charbons dont grosse taille		
2017	F3	1	106	PR5	Prélèvement intégral 9 l.	très > 30 charbons dont grosse taille		
2017	F3	2	203		prospection de coupe	env. 30 charbons dont grosse taille		
2017	F3	2	203	PR8	Prélèvement intégral 1,3 l.	env. 30 charbons très petits		
2017	F9	1	101		prospection de coupe	>10 charbons petite taille		
2017	F9	1	115	PR7	Prélèvement intégral 2 l.	>30 charbons petite taille	n = 27 frgts	n = 19 frgts
2018	F5	1	104	PR-1/2	prélèvement intégral env. 10 l	sédiment charbonneux		
2018	F5	1	104	PR-2/2	prélèvement intégral env. 10 l	sédiment charbonneux		
2018	F5	1	108	PR5	prospection de coupe	env. 10 charbons		
2018	F5	1	108	PR6	prospection de coupe	> 50 gros charbons		
2018	F5	1	110	PR7	prospection de coupe	env. 10 charbons grosse taille		
2018	F5	1	110	PR2	prospection de coupe	env. 30 charbons		
2018	F5	1	111	PR1.1	prospection de coupe	env. 10 charbons		
2018	F5	1	111	PR1.2	prélèvement intégral env. 10 l	sédiment charbonneux		
2018	F20	1	101		prospection de coupe	env. 30 gros charbons		
2018	F20	1	101		prospection de coupe	env. 10 charbons		
2018	F20	1	107		prélèvement intégral env. 10 l	sédiment charbonneux		
2018	F20	1	109	PR2	prospection de coupe	env. 30 gros charbons		
2018	F20	1	113	PR3	prospection de coupe	env. 30 gros charbons		
2018	F20	2	204		prélèvement intégral env. 10 l	sédiment charbonneux		
2018	F20	2	207		prélèvement intégral env. 10 l	sédiment charbonneux		
2018	F20	2	207		prospection de coupe	env. 50 gros charbons		
2018	F20	2	207	PR1	prospection de coupe	env. 10 charbons		
2018	F20	2	208		prospection de coupe	env. 10 gros charbons		
2018	F20	2	213		prélèvement intégral env. 10 l	sédiment charbonneux		
2018	F20	2	217		prélèvement intégral env. 10 l	> 30 gros charbons		
2018	F20	2	227		prospection de coupe	env. 10 charbons		
2018	F20	2	227		prospection de coupe	plusieurs gros charbons		
2018	F10	1	101	PR1/2	prélèvement intégral 10 l	refus tamis 4 mm /terrain qq charbons		
2018	F10	1	103		prospection de coupe	env. 30 charbons	n = 30 frgts	n = 25 frgts
2018	F10	1	109	F10-109-C2	prospection de coupe	env. 30 charbons	n = 36 frgts	n = 25 frgts
total		n = 6 ferriers	n = 27 US	n = 41 PR			n = 296 frgts	n = 222 frgts

Figure n°77. Inventaire des prélèvements réalisés lors des campagnes de fouille de 2017 et 2018 pour l'étude des charbons.

Les deux campagnes fournissent 41 prélèvements qui proviennent de 6 ferriers et 27 US (fig. 77). Le temps d'analyse disponible ne permettait pas d'envisager une étude exhaustive du matériel récolté sur le terrain pour cette étape de rendu. Le programme a soutenu par le financement d'un mois de CDD (R. Jeannot) l'analyse en 2019, mais la démarche basée sur 7 prélèvements reste exploratoire, résultat d'un compromis entre le temps d'acquisition et la participation au questionnement. Un projet budgétaire de jours de spécialiste en anthracologie (jours PAS INRAP) est soumis dans le même sens pour 2020. Les résultats présentés ont alors deux objectifs principaux (1) améliorer le protocole d'analyse en rendant plus intégrées et efficaces les démarches d'identification taxonomique et d'acquisition de données sur la croissance et (2) observer la variabilité dans les assemblages de charbons par rapport à celle des contextes stratigraphiques.

Les 7 prélèvements sélectionnés sont issus de trois ferriers : n°F1, F9 et F10 (Berranger dir. 2017 et 2018).

Dans le ferrier 1, nous avons étudié 4 prélèvements, 2 effectués dans la même US et 2 dans des US proches dans l'objectif de tester la variabilité des assemblages de charbons alors que les variabilités de la stratigraphie, de la typologie des scories et de la chronologie sont faibles. Il s'agit des prélèvements (PR) 1 et 4 réalisés à des positions individualisées de l'US 302, d'un prélèvement localisé dans l'épaisseur de l'US 305 et d'un prélèvement dans l'US305 au contact d'une lentille plus riche en minerai, l'US306 (Berranger dir. 2017). Les PR1 et 4 peuvent être considérés comme des répliqués d'une US où les dépôts de déchets sont largement dominés par les scories de réduction et l'ensemble des PR comme des épisodes relativement brefs de dépôts au cours de la phase la plus ancienne du ferrier. Les US 302 et 305 montrent des assemblages des types de scories très voisins qui les rattachent clairement au groupe 1 de la typo-chronologie proposée pour le site, caractérisé par une majorité de scories denses écoulées cristallisées de type A2 (cf. ce volume chap. 4.5.2, fig. 61). L'ensemble de datations radiocarbone disponible indique que ce groupe, très largement représenté sur le site par les plus gros amas, correspond à la Tène finale et au début de l'époque romaine. Les datations de charbons isolés d'une part dans l'US302 et d'autre part dans l'US301 immédiatement sous-jacente sont strictement identiques après calibration : [40 calBC- 121calAD], alors que celui isolé dans l'US309, rattachée à une 2^e phase de dépôt dans le ferrier, est daté de [66 calAD- 222 calAD].

Dans le ferrier 9, nous avons analysé un nombre de fragments limité (27) de l'US115 dans l'objectif d'appréhender l'assemblage des charbons dans une période comparable à celle du ferrier 1, mais dans un contexte sédimentaire particulier. En effet, les couches mises au jour dans ce sondage se différencient de celles étudiées dans les autres ferriers du site. Elles sont moins épaisses déposées horizontalement et plus compactées (Berranger dir. 2017). Elles reposent sur un sol naturel argilo-limoneux du même type que les autres ferriers, mais localement le premier niveau riche en scories, daté par un charbon isolé de [76 calAD-230 calAD], repose sur une argile rubéfiée et sur l'US115, interprétée comme un épandage de cendre charbonneuse. Il faut noter que la compaction ne concerne pas les charbons qui sont bien conservés. Cette US ne comporte aucun déchet de réduction, une autre origine des charbons peut alors être supposée, bien qu'elle reste difficile à préciser parmi des activités associées à la métallurgie ou la vie domestique. Un charbon situe l'US115 entre [60 calAD-220 calAD].

Enfin dans le ferrier 10, de faibles dimensions, les scories des différentes strates définissent le groupe 3 de la typo-chronologie proposée (cf. ce volume chap. 4.5.2, fig. 61). Il s'agit aussi de scories denses écoulées cristallisées mais dont les formes d'écoulements cordés sont très marquées (type A1). Ces scories se rencontrent en faible proportion dans les amas de la Tène finale et romains alors qu'elles constituent presque exclusivement les rejets datés du Moyen âge. Les 66 charbons étudiés ont nécessité une prospection active sur le terrain lors de la fouille, car ils étaient peu concentrés dans l'US109 riche en scories et plus abondants dans l'US103 plus limoneuse (Berranger dir. 2018). Un charbon isolé de l'US109 est daté de [1030 calAD-1189 calAD].

Les variables acquises, comptages des taxons, mesures des cernes et des diamètres

Pour chacun des prélèvements sélectionnés, l'ensemble ou un sous échantillon des charbons de plus de 2 mm a été étudié suivant une méthodologie homogène, comprenant l'identification du taxon, une estimation du calibre ou diamètre de la tige et la mesure de la largeur des cernes conservés.

- Identifications des taxons

L'identification des taxons – niveaux quelconques de la classification des végétaux – est réalisée de façon classique (par ex. Marguerie et Hunot 2007) en observant les fragments selon 3 plans de coupe obtenus par cassure fraîche à la main ou au scalpel : (1) plan transversal à l'axe de la

tige, plans longitudinaux (2) tangentiel à la tige et (3) radial passant par un diamètre. Les figures anatomiques sont décrites en microscopie à lumière réfléchie à l'aide de clés d'identification, d'atlas photographiques (ex. Schoch *et al.* 2004) ainsi qu'en comparaison avec une collection de référence de bois actuels.

Le lot de « n » fragments identifiés est un échantillon de la végétation exploitée. La représentativité de cet échantillon est estimée par une courbe « effort-rendement » (Chabal 1997) qui représente l'augmentation de la diversité en taxons en fonction du nombre de fragments étudiés (fig. 78). Cette courbe se stabilise et prend la forme d'un plateau lorsque le nombre de fragments analysés est suffisant pour que « presque » la totalité des taxons présents dans l'échantillon aient été identifiée.

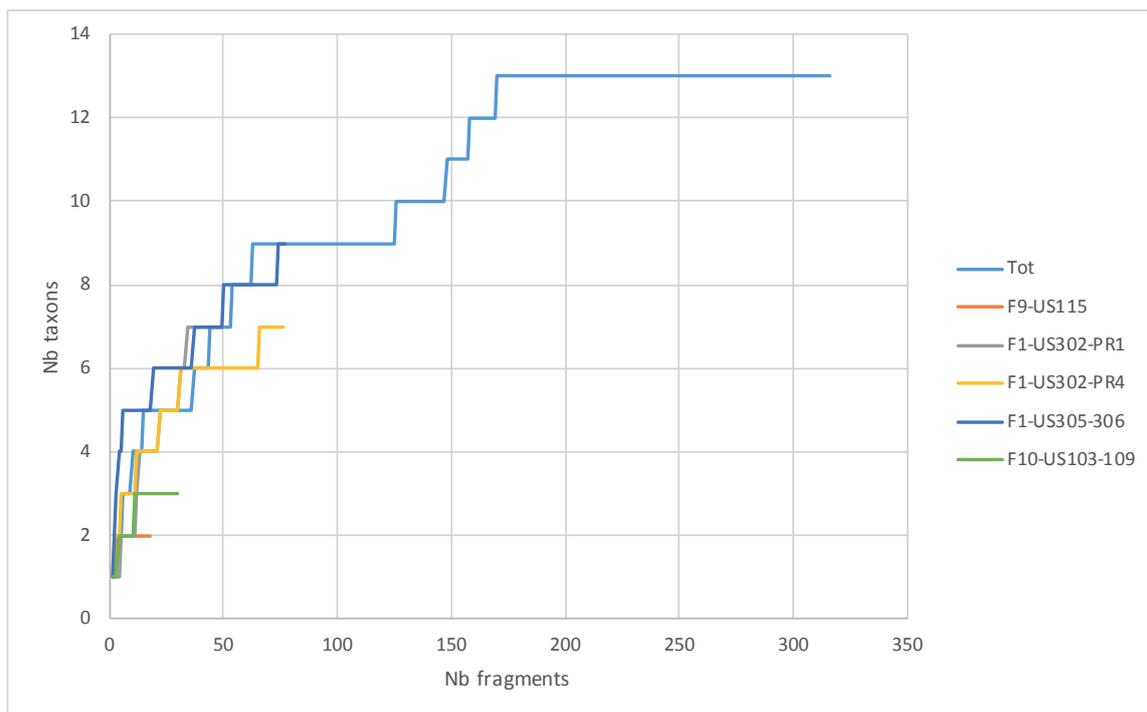


Figure n°78. Courbes « d'effort / rendement » par prélèvement analysé et pour la totalité des données.

Le nombre de fragments identifiés par prélèvement est au minimum de 13 et au plus de 76 (fig. 77). Dans certains cas, l'intégralité des fragments a été étudiée, dans d'autres cas une fraction plus fine reste disponible. Sur la figure 78 les courbes « effort-rendement » des différents PR ne sont pas stabilisées, ce qui indique que des taxons supplémentaires seraient très probablement découverts en étudiant davantage de fragments. Les 76 fragments du PR4 de l'US302 du ferrier 1 livrent 7 taxons. Une inflexion de la courbe effort-rendement est perceptible, mais elle ne forme pas un plateau suffisant. Seule la courbe de la totalité des données indique qu'une large part des taxons a été identifiée.

Du point de vue de la diversité taxonomique, il est donc nécessaire d'étudier davantage de fragments par prélèvement de façon à avoir une bonne représentativité. Les seuls résultats sur la diversité qui pourront être interprétés concernent donc l'ensemble des données. Mais, il apparaît que les spectres taxonomiques sont dominés par 2 taxons, le chêne et le hêtre. En considérant l'intégralité des données, les proportions de chêne et de hêtre atteignent respectivement 50 et 35% lorsque 100 fragments sont analysés, alors que l'ensemble des autres taxons ne représente donc que 15% (fig. 79A). Entre les différents prélèvements (fig. 79B) les proportions de chêne et de hêtre peuvent être particulièrement différentes : par exemple 10/90% dans le ferrier 10

et 70/20% dans le PR1 de l'US302 du ferrier 1. Par contre, lorsqu'environ 20-30 fragments sont analysés, ces proportions sont relativement stables à l'intérieur des prélèvements. Leur représentativité est donc de bonne qualité.

Les taxons supplémentaires sont importants du point de vue de la diversité et de l'information écologique qu'ils apportent, mais ils sont marginaux vis-à-vis des exploitations. Ils sont de très bons bio-indicateurs, mais leur volume ou leur masse n'est pas un objectif de la stratégie d'approvisionnement en bois du site. Même si la diversité taxonomique est importante, l'objectif de cette première étude est d'acquérir des données dendro-anthracologiques sur des charbons de relativement grosse taille de façon à tester des hypothèses sur la dynamique des peuplements, comme son renouvellement sous forme d'un taillis, ceci davantage par les caractéristiques de croissance des taxons dominants que par le caractère indicateur des taxons. De ce fait, une forte proportion des fragments identifiés sert aussi l'analyse dendro-anthracologique (fig. 77).

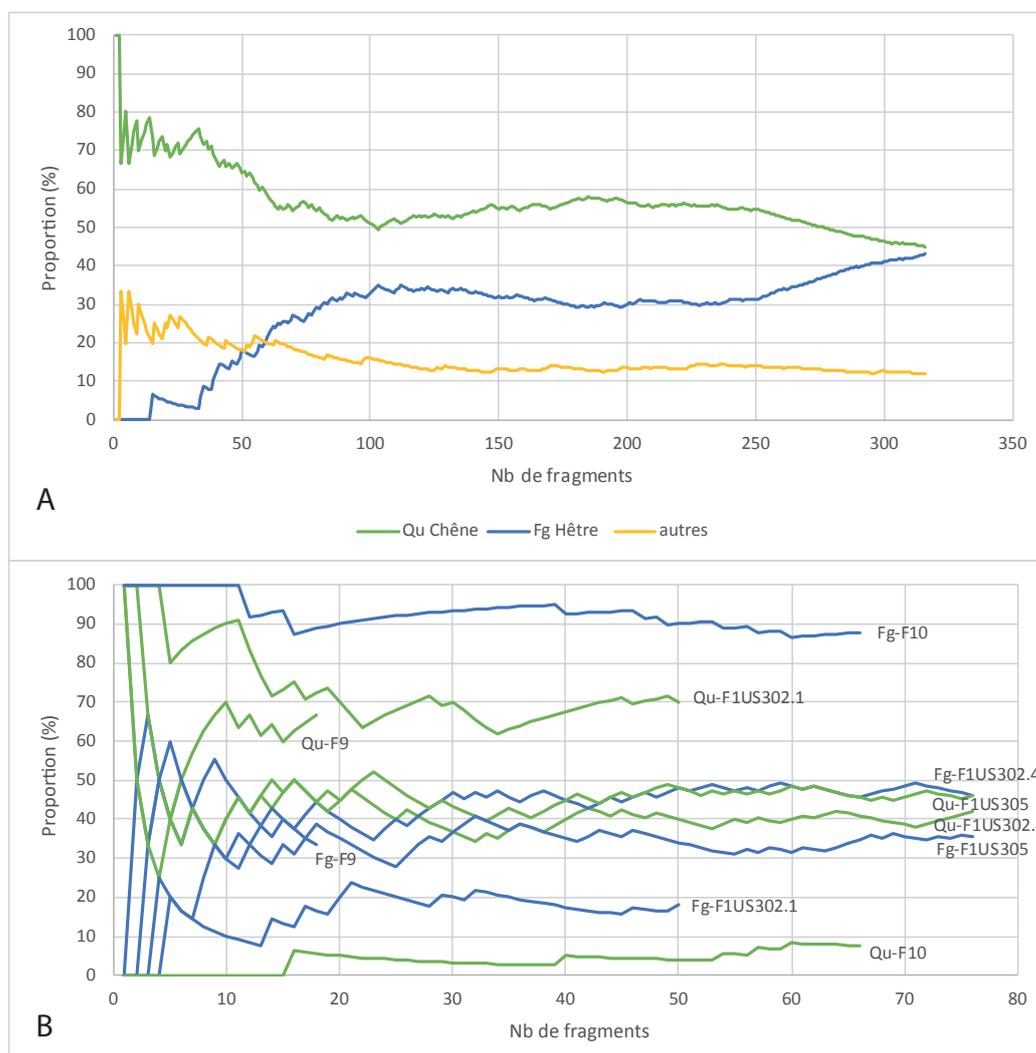


Figure n°79. Evolution de la fréquence des taxons majoritaires en fonction du nombre de fragments analysés

Les données d'identification sont prises en charge par la macro Excel « Acacia » (Nourissier *et al.*, open source sur le site <https://dendrac.mnhn.fr/>) de façon à réaliser un diagramme des spectres anthracologiques qui présente le pourcentage de chaque taxon par contexte assorti d'un intervalle de confiance fonction de l'effectif analysé.

- Caractéristiques anatomiques

Le plan ligneux transversal fait l'objet de nombreux enregistrements photographiques (microscopie numérique) et d'observations anatomiques dont certaines sont notées systématiquement en présence-absence comme la moelle et la zone cambiale. Des observations plus rares sont notées sous forme de commentaires : les galeries d'insecte, les dégradations liées aux attaques fongiques... Mais elles n'ont pas été repérées sur le site. Par contre, les observations de plusieurs types de fentes de retrait et de surfaces qui pourraient être liées à des conditions de carbonisations différentes ont été notées. Elles ont fait l'objet d'un enregistrement photographique particulier, mais pas d'un protocole de quantification. Environ 35 fragments présentent des caractéristiques similaires à celles synthétisées pour 9 exemples sur la figure 81.

Ces charbons montrent une ou plusieurs faces lisses très habituelles, similaires aux autres fragments non concernés par une zone de craquelures (fig. 81 #40). Dans ces zones, qui n'occupent qu'une partie de la surface du charbon (fig. 81 #249), les fentes sont organisées en réseau cubique très étroit (<0,5 mm) orienté par les rayons, voire les limites de cerne (fig. 81 #170), mais aussi par des fractures longitudinales rapprochées (fig. 81 #34). La zone de craquelure est en creux et semble correspondre à un enlèvement de matière pour le fragment (fig. 81 #34, #52). En vue transversale, la profondeur craquelée est nettement plus faible que son développement en surface (fig. 81 #57, #45). La mise en place de la zone craquelée semble indépendante de celle des fentes de retrait, qui sont systématiquement radiales et profondes, d'abondance et de dimensions variées, mais nettement plus grandes (fig. 81 #40, #34). Les taxons concernés par cette observation sont le chêne, le hêtre, le peuplier, l'érable et une malloïdée (pomoïdée).

Les descriptions de la formation des fentes et d'autres figures anatomiques lors de la carbonisation sont, à notre connaissance, peu abondantes. L'article Théry-Parisot *et al.* 2016 décrit la formation de fentes de retrait lors de l'utilisation de bois sec ou vert dans un foyer ouvert, il est éloigné des procédés mis en œuvre en métallurgie. Par contre, les expérimentations sont courantes dans ce domaine. Elles devraient permettre de tester les hypothèses suivantes : (1) les craquelures auraient lieu alors que le bois a déjà été transformé en charbon donc bien lors de la réduction ; (2) les zones alimentées en oxygène favoriserait leur formation.

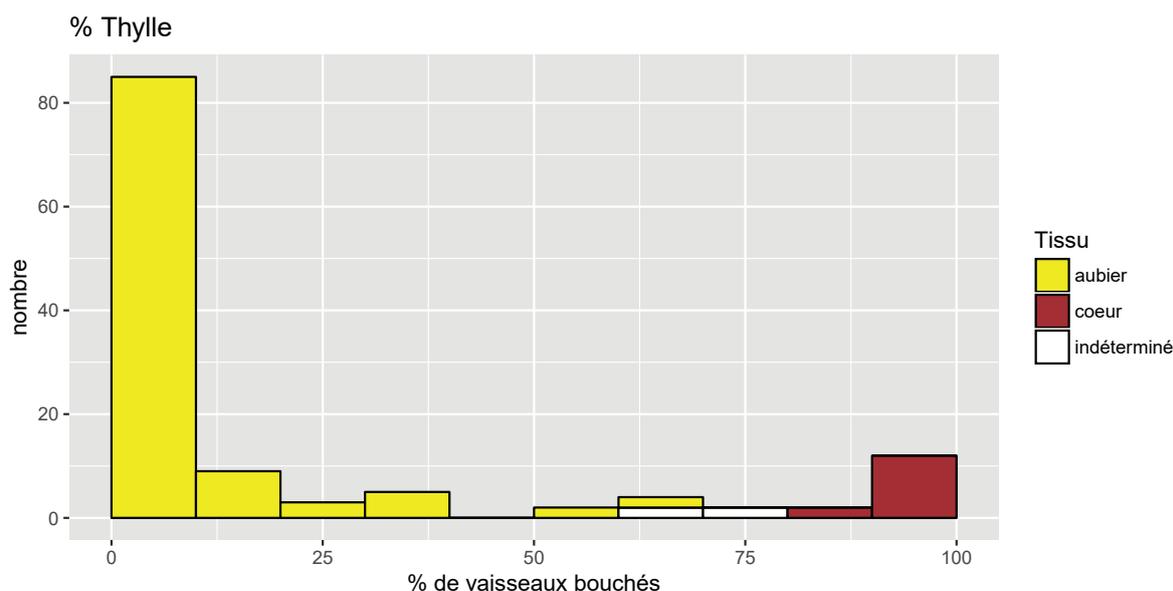


Figure n°80. Histogramme du nombre de fragments de chêne en fonction du pourcentage de vaisseau bouché par des thyilles.

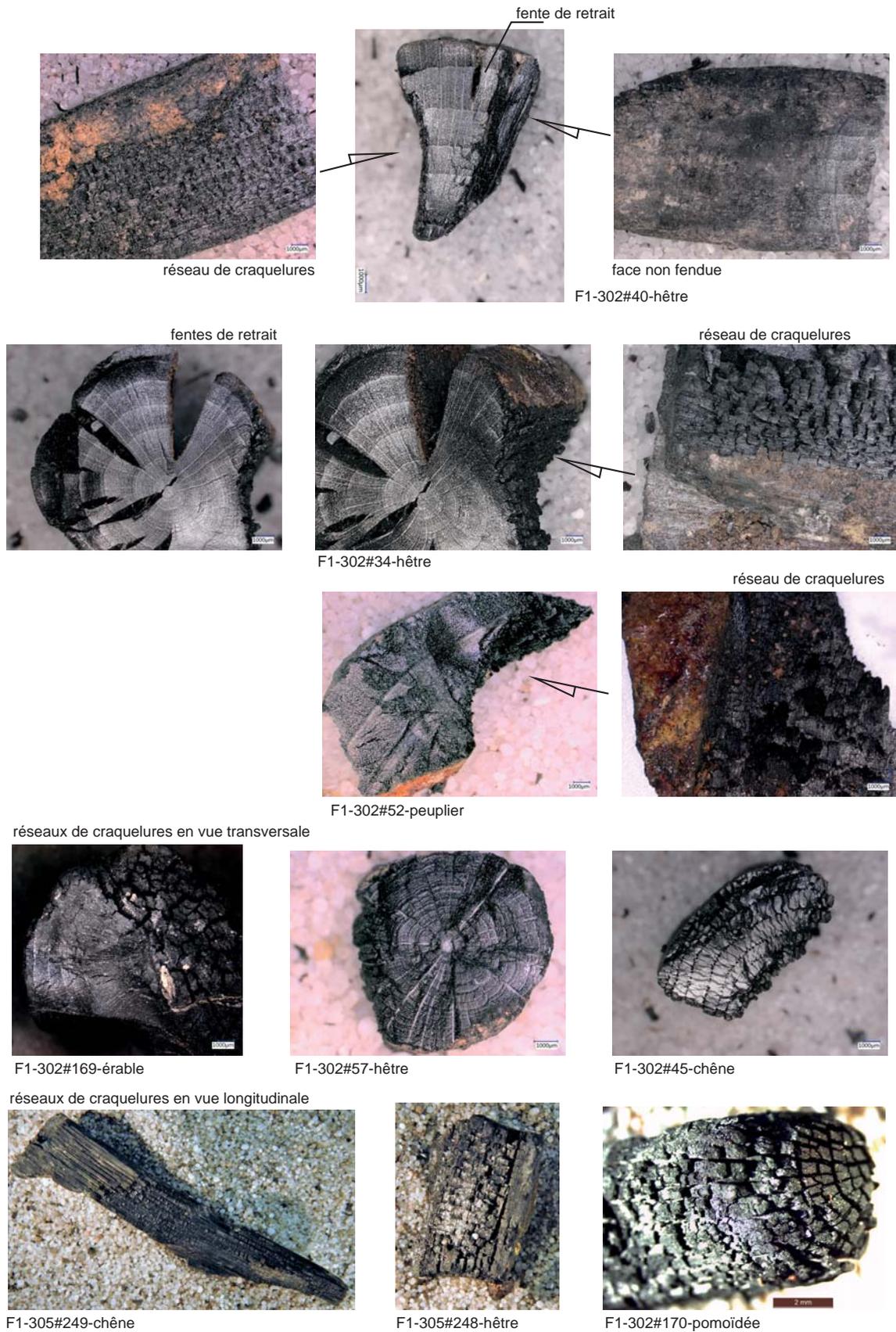


Figure n°81. Macrophotographie (loupe, microscope numérique) de charbons présentant une zone de craquelures

Pour l'aubier, dans le cas particulier du chêne, la présence de thyllles - des membranes qui obturent les vaisseaux - a été quantifiée, en comptant d'une trentaine à une cinquantaine de vaisseaux répartis sur les premières lignes de quelques cernes successifs. Dans les cas où le passage du bois de cœur à l'aubier était apparent, deux valeurs ont été enregistrées.

La large majorité des 124 fragments identifiés est caractérisée par l'absence totale de thylle, c'est-à-dire qu'ils proviennent de l'aubier qui n'a pas encore entamé de transformation en bois de cœur (fig. 80). 14 fragments sont clairement attribués à du bois de cœur, car 80 à 100% de leurs vaisseaux sont bouchés. Dans l'état actuel de l'étude des peuplements référentiels de chênes vivants sélectionnés dans des situations variées, l'aubier - défini par la couleur du tissu - peut contenir jusqu'à 66% de vaisseaux bouchés par des thyllles de façon relativement courante (Dufraisse *et al.* 2018). Par contre, quand 66 à 80% des vaisseaux sont occupés par les thyllles, les fragments de référence sont presque équitablement de l'aubier ou du bois de cœur. Il est alors préconisé de ne pas déterminer le tissu. Ceci concerne 4 des fragments analysés. D'une manière plus générale, l'aubier est parfaitement identifiable sur le site, seulement 10% des fragments proviennent d'un aubier dont 30% ou plus des vaisseaux sont bouchés. Dans ces cas, la fonction de transport de la sève brute est perturbée, soit car le tissu est en transition vers du bois de cœur, soit pour des raisons traumatiques. Mais la présence de ces aubiers particuliers n'a pas été constatée à proximité de la zone cambiale. Les conditions de croissance sur le site aboutissent donc à une évolution de l'aubier en bois de cœur conforme aux observations sur les arbres vivants.

- Estimation du calibre

Le calibre d'un bois avant carbonisation est restitué en suivant un principe de relocalisation du fragment dans une tige cylindrique (fig. 82). La distance séparant le « premier cerne » - c'est-à-dire le plus ancien - observé sur le fragment et la moelle du bois - lieu de convergence des « rayons structures cellulaires » - a été estimée en suivant une méthode basée sur l'application du théorème de Thalès sur la partie conservée des rayons (Dufraisse 2006, Paradis-Grenouillet *et al.* 2014). Un rayon et un diamètre du bois sont alors déduits en additionnant la distance « premier cerne, moelle » et la largeur du fragment prise perpendiculaire aux cernes ou, le cas échéant, la somme des largeurs des cernes mesurées (cf. infra).

Si la zone cambiale - siège de la division cellulaire qui génère le bois localisé immédiatement sous l'écorce - est présente, les estimations du rayon et du diamètre correspondent à la tige d'origine à sa hauteur de coupe dans l'arbre. Par contre, si elle est absente, le rayon et le diamètre sont « minimum », une partie de bois externe au fragment fait défaut. Des classes de diamètre minimum peuvent nécessiter une interprétation spécifique qui tient compte de la fragmentation de bois de forts diamètres, souvent le long d'une limite de cerne, en petits morceaux lors de la combustion (Dufraisse, Garcia-Martinez 2011).

La zone cambiale est présente ou proche sur une majorité des fragments provenant du ferrier 1, mais elle est plus rare sur ceux des ferriers 9 et 10 (fig. 82). Par conséquent, les distributions de calibre construites pour le ferrier 1 sont proches de bois entiers, alors que celles des ferriers 9 et 10 nécessiteraient de prendre en compte la perte de bois périphérique et/ou la fragmentation de plus gros calibres.

Lors de la carbonisation les dimensions du bois frais subissent un retrait qui est très influencé par l'anisotropie des cellules. Le retrait est le plus fort dans la direction radiale. Le pourcentage de retrait présente une variabilité relativement complexe dont une partie est étudiée (Paradis-Grenouillet, Dufraisse 2018). Pour l'estimation du calibre un facteur constant de 25% a été appliqué, il est dans la fourchette haute des préconisations de façon à éviter la sous-estimation des calibres.

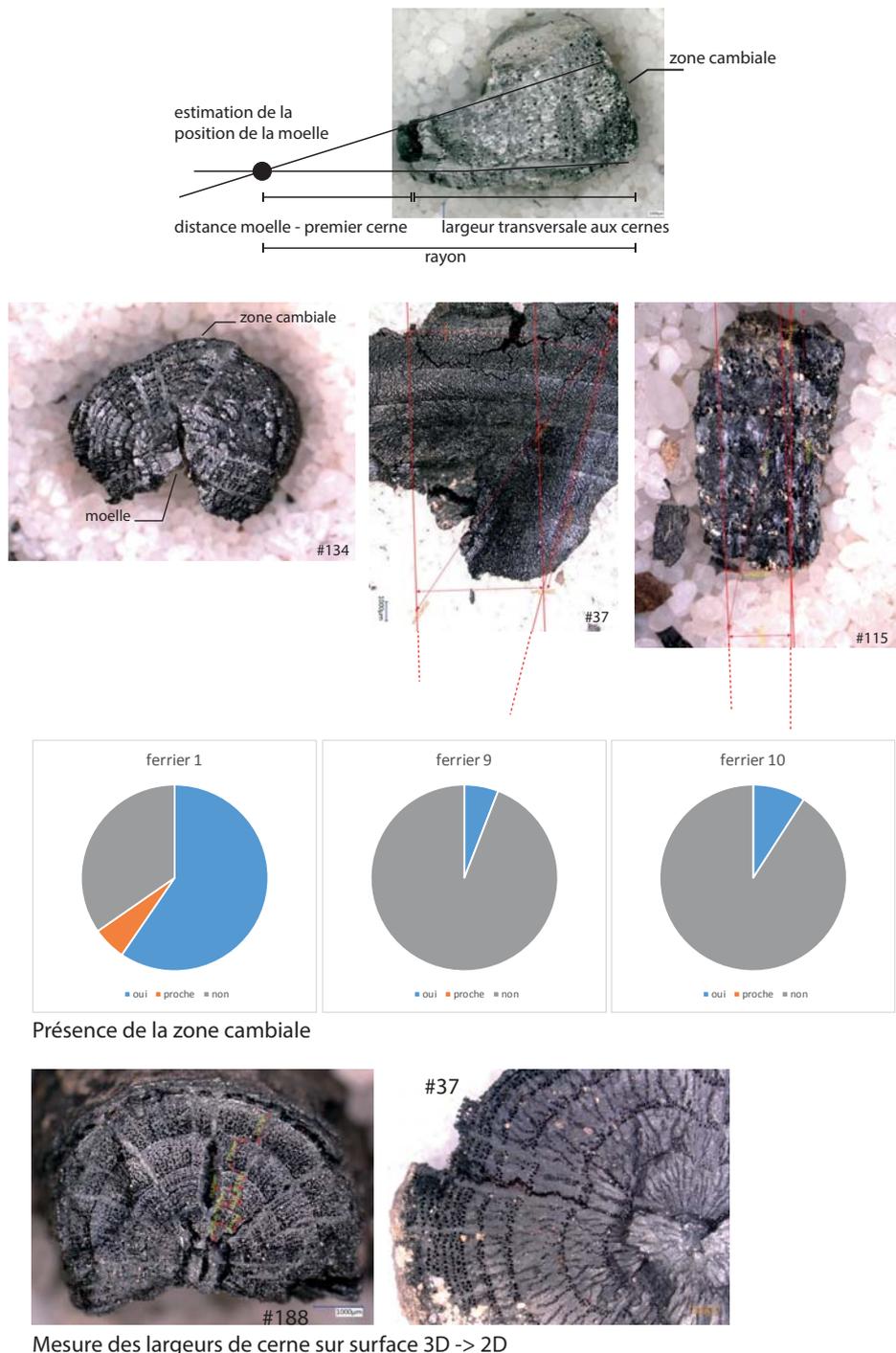


Figure n°82. Méthodologie et quelques exemples en dendro-anthrologie, pourcentages des fragments avec ou sans zone cambiale par ferrier.

- Précision et cohérence des données (R. Jeannot)

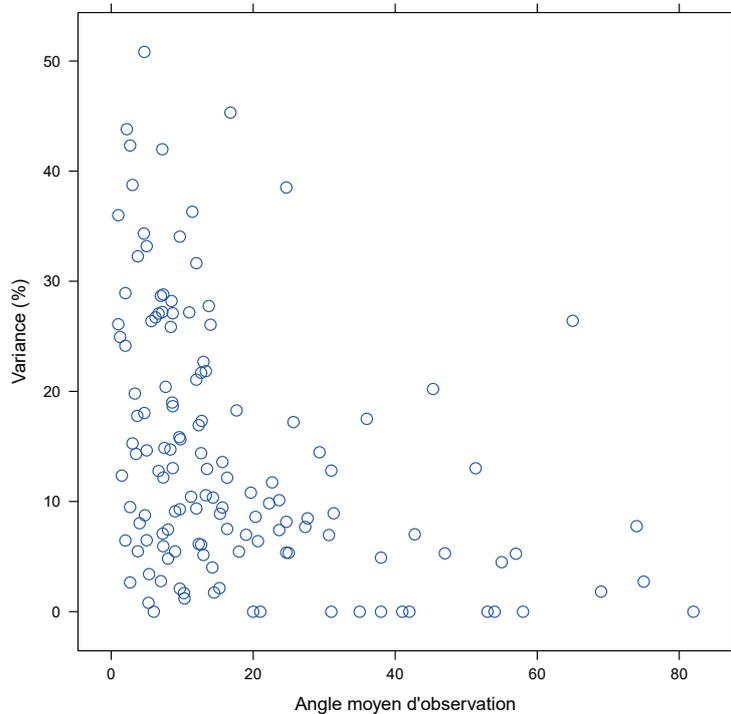
La méthode utilisée pour déduire les diamètres minimums des bois utilisés induit nécessairement une certaine variabilité dans les mesures. Afin de pouvoir utiliser ces données dans une discussion concernant la gestion des ressources en bois, il était donc nécessaire de quantifier cette variabilité et l'imprécision qui en découlait.

Dans ce but, pour chaque charbon étudié, le calcul de la distance entre le premier cerne conservé et la moelle a été répliqué entre trois et cinq fois ; l'angle observé entre les rayons a

systématiquement été noté afin de servir de variable explicative aux variations observées. Après de premières observations, les mesures dont l'écart à la moyenne était trop éloigné ont été isolées afin d'éviter que ces mesures extrêmes n'induisent trop d'imprécision dans les résultats moyens par charbon.

Figure n°83. Relation entre l'angle moyen entre les rayons utilisés pour l'estimation et la variance en % de la distance moyenne entre le premier cerne et la moelle

La figure 83 présente la corrélation observée entre la variance des mesures sur un individu (en pourcentage de la distance moyenne entre le premier cerne et la moelle) et l'angle d'observation moyen. Dans cette représentation, plus l'angle d'observation est aigu, moins la mesure est précise. La variance apparaît généralement ne pas excéder 20 % quand l'angle moyen dépasse 20°.



Calibre des individus (tous ferriers : tous taxons) en fonction de la variance relative des mesures (en rouge, sup à 20%)

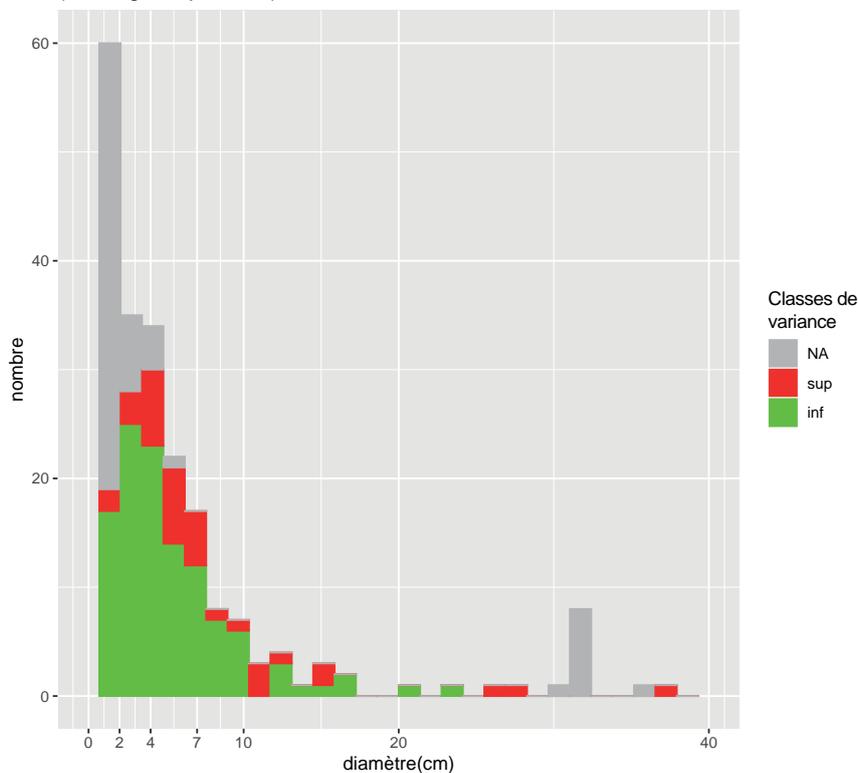


Figure n°84. Histogramme de l'ensemble des diamètres estimés, en rouge variances supérieure à 20%, en vert variance inférieure à 20%, en gris pas d'objet.

La figure 84 permet d'identifier les individus dont les mesures sont les plus imprécises suivant la classe de diamètre dans laquelle se place leur moyenne. Dans cette représentation, sont indiqués en vert les diamètres dont la variance relative est inférieure à 20 % et en rouge ceux pour lesquels elle est supérieure à cette valeur. Les valeurs représentées en gris sont celles qui ont été attribuées sans l'emploi du calcul, soit parce que la moelle est conservée (valeurs exactes

donc, mesures inférieures à 20 cm), soit parce que les rayons du bois apparaissent parallèles (valeurs arbitraires et mesures supérieures à 20cm).

Ces premiers tests permettent de donner une image plus précise de l'information disponible. Ainsi, s'il est manifeste que les mesures de diamètre fournissent parfois une image très imprécise de certains individus, avec des variances dépassant 40 % du diamètre moyen, ces individus sont toutefois peu nombreux pour des diamètres inférieurs à 20 cm. Pour les diamètres supérieurs, il a déjà été montré que les mesures perdent en signification, tant à cause de paramètres dépendants de la mesure que de paramètres biologiques (Dufraisse, Garcia-Martinez 2011) et doivent donc seulement être considérées comme « supérieures à 20 cm », sans plus de précision. Mais nous avons décidé de ne pas retirer ces données des représentations de façon à ne pas créer de filtre de l'information.

- Largeur de cerne

Les largeurs de cerne sont mesurées au micromètre sur une face transversale à l'aide d'un analyseur d'image associé à un microscope numérique. La cassure du plan transversale présente souvent un relief susceptible de perturber l'observation des cernes. Le capteur du microscope numérique utilisé permet de prendre des images à des hauteurs différentes qui sont ensuite synthétisées en une seule image. La surface 3D est alors ramenée en 2D avant la prise de mesures (fig. 82). Le même facteur de retrait (25%) a été pris en compte sur ces mesures que pour l'estimation des calibres.

4.7.3. Résultats

Diagramme anthracologique

Par rapport au nombre total de fragments analysés (n=316) le chêne (n=142) et le hêtre (n=136) sont des taxons dominants (fig. 85), alors que l'ensemble des autres essences rencontrées représente au mieux 15% des fragments (fig. 79A). Le charme n'apparaît pas dominant numériquement (n=8), bien qu'il soit supposé présent dans la végétation potentielle. Il participe à un bon nombre de formations actuelles, dans plusieurs types de stations forestières bien représentés. Sur le site même, il a été assez largement observé (fig. 76).

Le nombre de taxons le plus élevé, 12 est observé en regroupant l'ensemble des niveaux analysés du ferrier 1, chaque niveau livrant 5 à 7 taxons, c'est-à-dire davantage que pour l'ensemble des ferriers 9 et 10 (n=4 et 3). 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. L'évolution des fréquences en fonction du nombre de fragments analysés (fig. 79B) montre qu'effectivement le rapport entre chêne et hêtre est légèrement favorable au chêne sauf dans le PR1 de l'US302 où il est nettement plus abondant.

Dans le niveau étudié du ferrier 9, la proportion de chêne est élevée (70%), alors que le hêtre représente 22% des restes avec une forte incertitude liée au faible nombre de fragments identifiés. Enfin, les 2 niveaux étudiés du ferrier 10 montrent une très forte participation du hêtre qui représente 80% des restes dans l'US103 et 94% dans l'US109. Le hêtre n'est accompagné que de quelques fragments de chêne et de charme, sans aucune participation des autres taxons.

Les taxons secondaires sont probablement sous représentés dans l'étude, car le nombre de fragments analysés par contexte reste faible. Toutefois en accord avec les caractéristiques générales de la végétation forestière potentielle, les espèces les plus diversifiées avec 8 taxons sont post-pionnières, c'est-à-dire qu'elles interviennent après les essences pionnières dans les successions végétales. Il s'agit des érables de type champêtre et plane et du *Prunus* de type merisier.

Diagramme par US

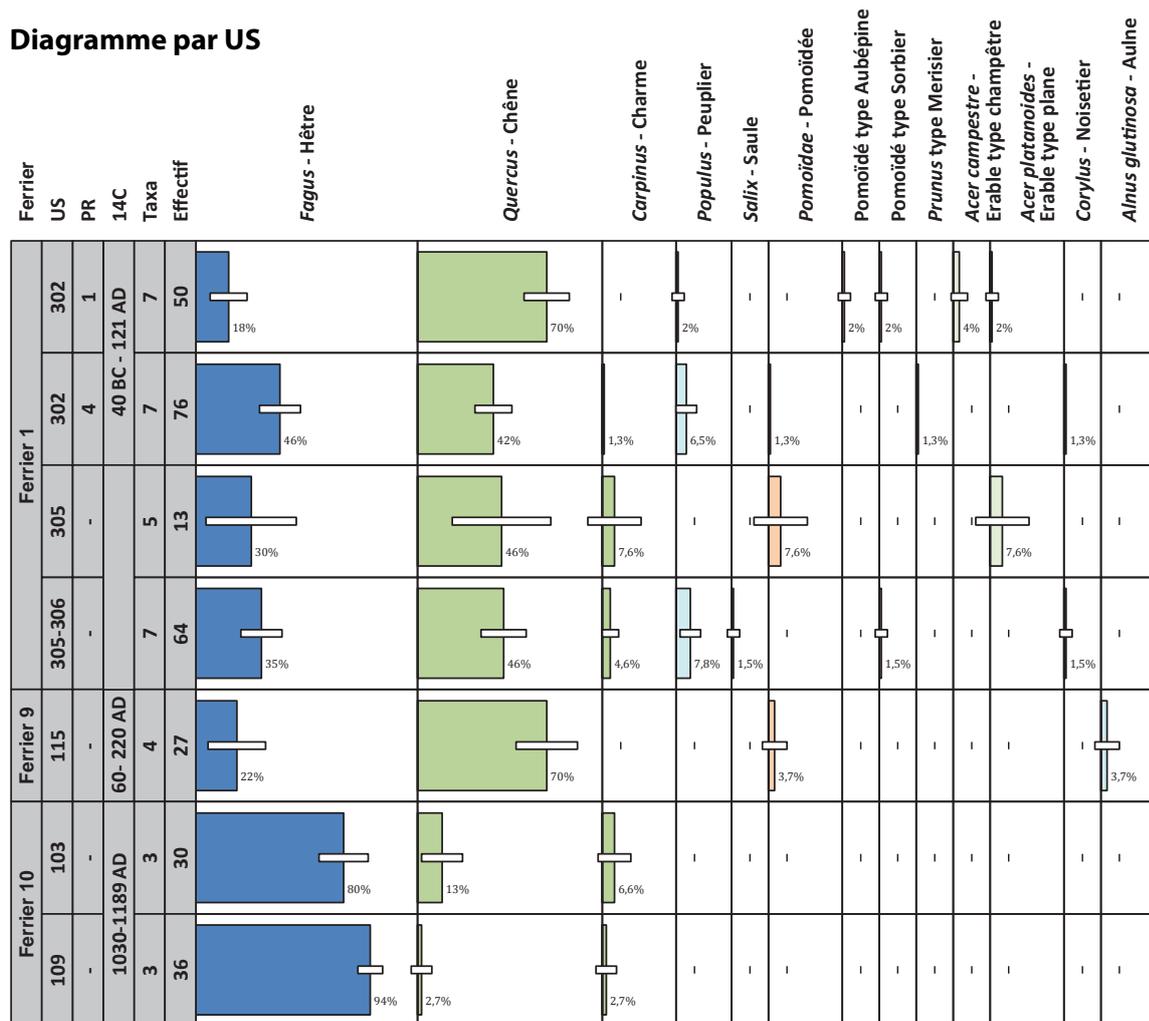
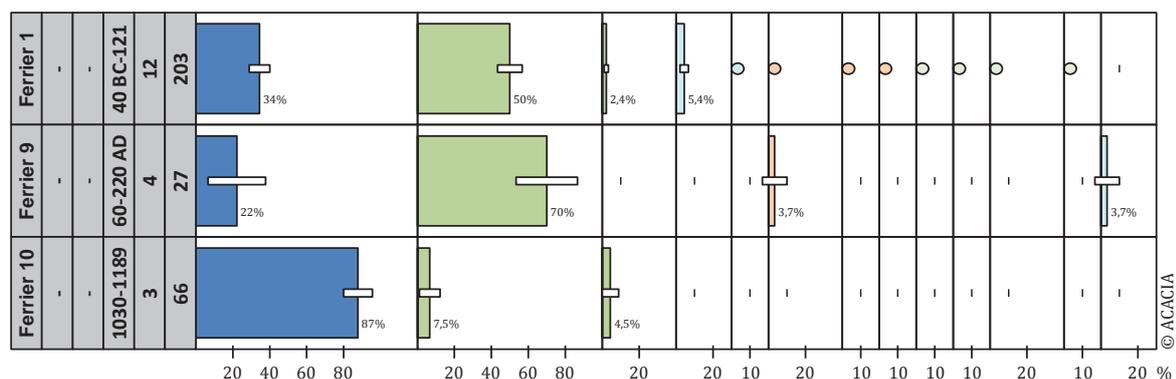


Diagramme par ferrier



Dynamique de végétation

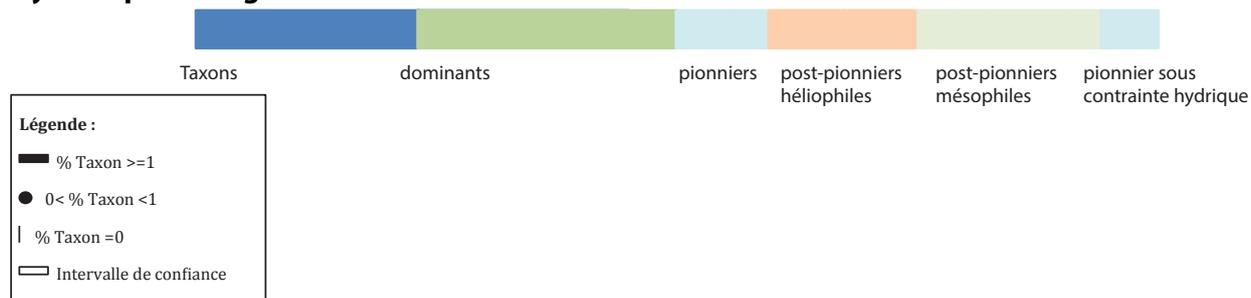


Figure n°85. Diagramme anthracologique

Le noisetier et plus particulièrement les diverses maloïdées (pomoïdées), de type aubépine ou sorbier ont un caractère héliophile plus prononcé, mais ils restent dans des proportions faibles qui ne dépassent 1% que dans des contextes particuliers. Le peuplier avec 5,4% de l'ensemble des restes du ferrier 1 est le taxon pionnier le plus représenté. Il est accompagné de quelques restes de saule et d'un seul fragment d'aulne, indiquant que les exploitations de bois concernent peu la végétation installée sur des sols à forte contrainte hydrique.

Estimation des calibres

Les différents prélèvements dans le ferrier 1 montrent des distributions des diamètres similaires, même si elles sont documentées par un nombre de fragments assez variable. De même, les distributions sont similaires entre les différents taxons : le chêne et le hêtre, mais aussi les autres essences (fig. 85). La très large majorité des bois est récoltée à un faible calibre. Les classes]0-2 cm] et]2-4 cm] sont les plus représentées. La zone cambiale est souvent observée sur les fragments de ce lot (fig. 82) et plusieurs comportent également la moelle. La sous-estimation du calibre par perte de bois en périphérie est donc minime. Nous avons souhaité conserver les données sur de forts calibres (>20 cm), même si elles sont certainement entachées d'une erreur d'estimation élevée, de façon à ne pas créer de filtre de l'information. Les distributions montrent clairement que ces fragments sont des exceptions.

La grande majorité des chênes est en aubier, pour l'ensemble du ferrier, seulement quelques fragments proviennent du cœur de bois de diamètre plutôt fort (fig. 86). L'aubier proche de la moelle est encore un indice de l'exploitation de faibles calibres.

Les calibres restitués pour le ferrier 10 ne sont significatifs que pour le hêtre, presque exclusivement retrouvé dans ces déchets. Les diamètres paraissent un peu plus élevés que dans le ferrier 1, la classe la plus représentée est]4-5 cm] et les fragments provenant de tiges supérieures à 5 cm de diamètre sont plus nombreuses (fig. 86). Les forts calibres sont toutefois très peu représentés et les bois récoltés restent de faible diamètre. La zone cambiale n'est pas souvent conservée de façon évidente dans ce lot (fig. 82), mais le mélange des classes de diamètre semble limité pour suspecter un rôle important de la fragmentation de plus gros diamètres sur la distribution.

L'US115 du ferrier 9 est renseignée par un nombre de fragments nettement plus faible, car il ne s'agit pas d'une US de déchets de réduction, mais d'un épandage de cendres charbonneuses. Les distributions des diamètres montrent une différence nette du calibre des bois par rapport aux autres US. Même si les valeurs sont difficiles à exploiter, le nombre de fragments provenant de la périphérie de diamètre supérieurs à 10 cm est plus élevé qu'en dessous. Les zones cambiales ne sont pas nombreuses (fig. 82), mais l'aubier est majoritaire. Il est observé pour les plus faibles diamètres, ce qui est un indice d'une part de récolte de petits calibres. Les quelques bois de cœur sont présents dans des classes variées, il est possible que la fragmentation des charbons prenne part à la distribution. Toutefois, le résultat le plus marquant est que sa forme est radicalement différente de celles des US contenant les déchets de l'activité métallurgique.

Largeur de cerne

Pour analyser la croissance la largeur des cernes est représentée en fonction du diamètre de la tige au moment où le cerne est formé. Lorsque l'estimation du diamètre produit un résultat supérieur à 18 cm, nous avons attribué une valeur fixe de 20 cm, car l'erreur devient souvent supérieure à 20% (cf. *Supra*). Ces données n'ont pas été supprimées de façon à conserver l'information de la largeur des cernes lorsque le diamètre est élevé, mais il est indispensable de les généraliser à une large classe : « supérieur à 18 cm », pour les interpréter. Dans le ferrier 1 même si quantitativement les fragments provenant de gros calibres ne sont pas nombreux, ils représentent une part intéressante des données de croissance, car le nombre de cernes par

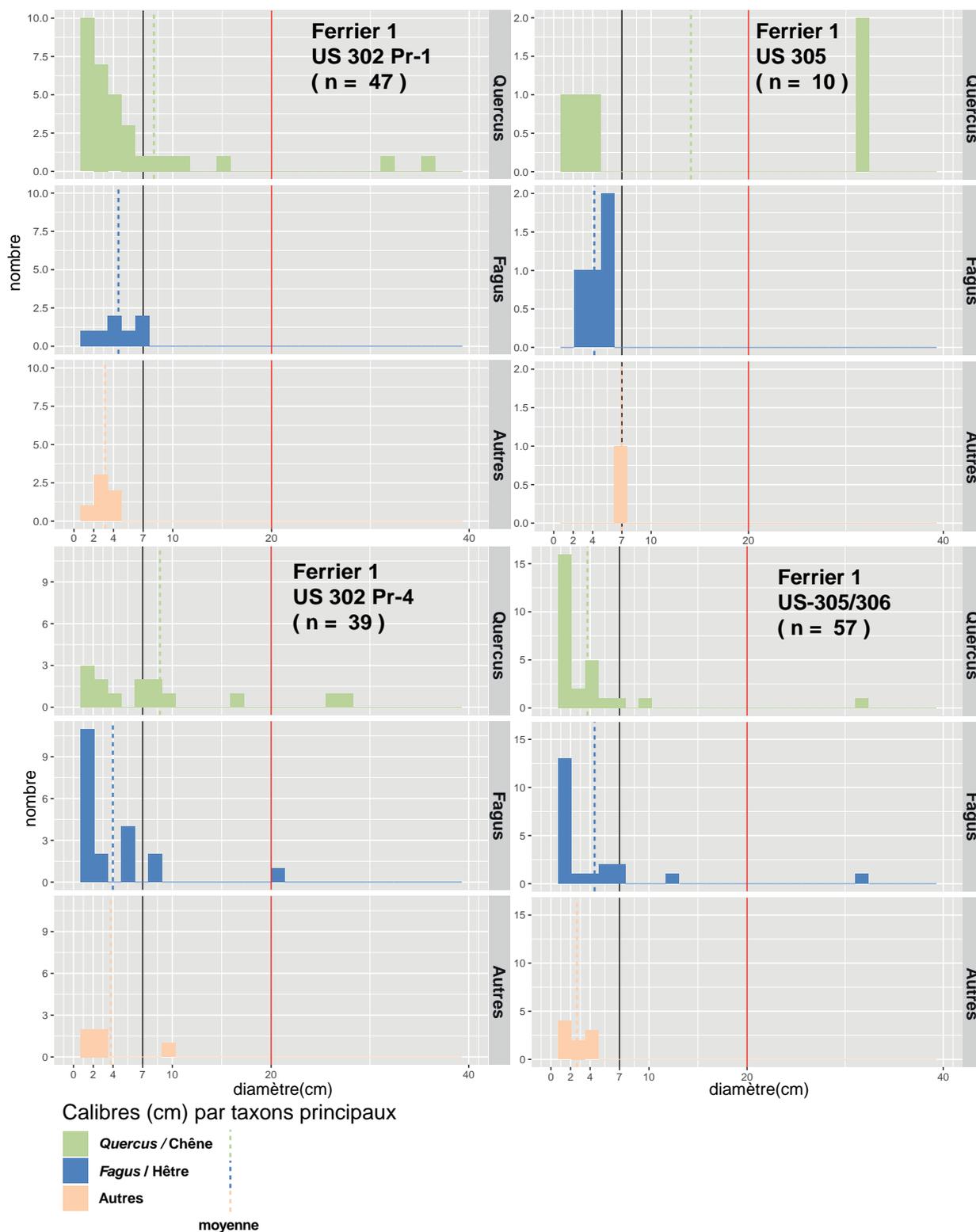


Figure n°86. Calibres des bois restitués pour le ferrier 1, distribution des diamètres par prélèvement et taxon. Au-delà de 20 cm (ligne rouge) l'estimation est très approximative. La ligne noire correspond à 7 cm de diamètre c'est-à-dire le diamètre maximum de récolte du bois charbonné à l'époque Moderne.

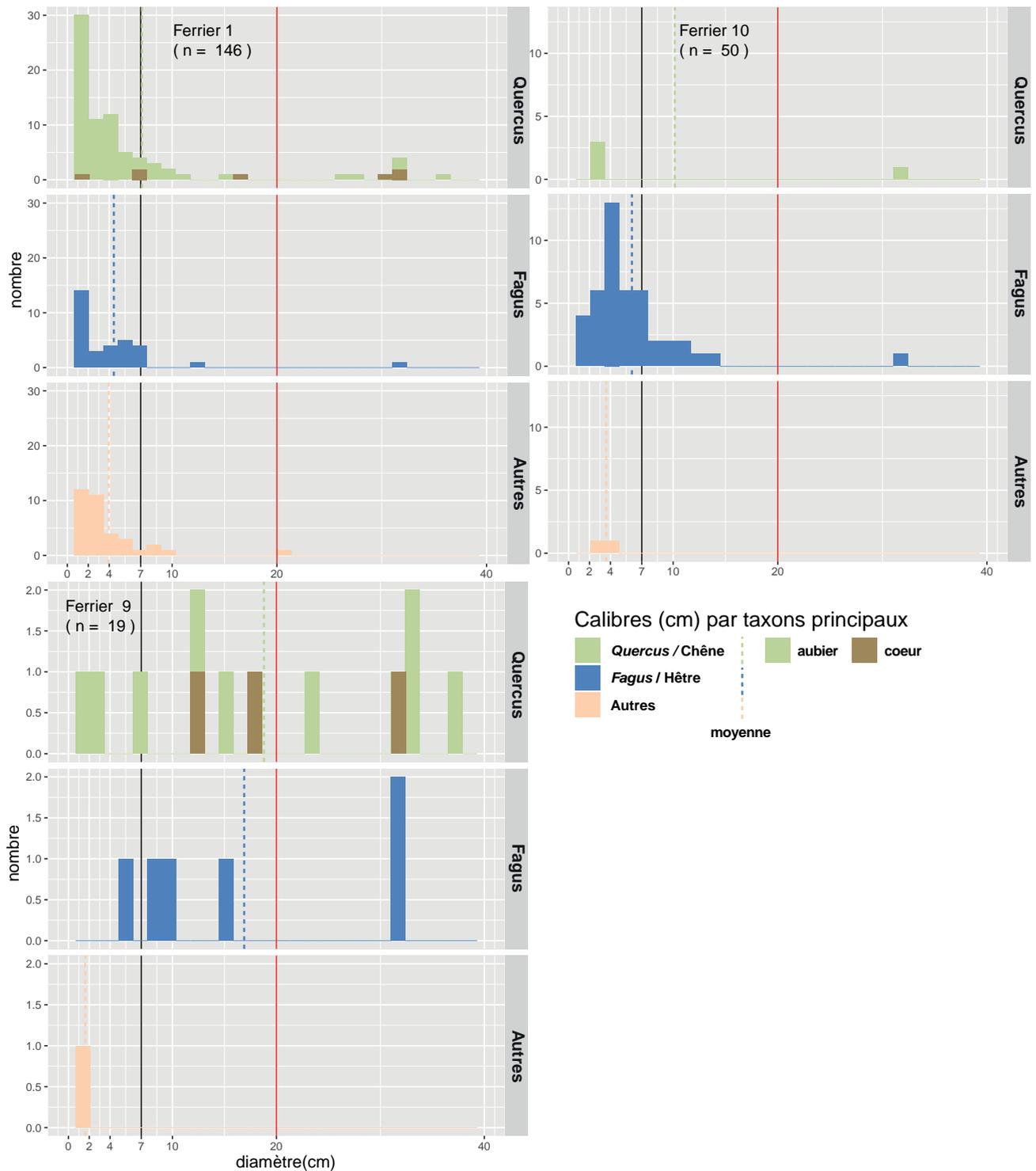


Figure n°87. Calibres des bois restitués entre ferriers, distribution des diamètres par prélèvement et taxon. Au-delà de 20 cm (ligne rouge) l'estimation est très approximative. La ligne noire correspond à 7 cm de diamètre c'est-à-dire le diamètre maximum de récolte du bois charbonné à l'époque Moderne.

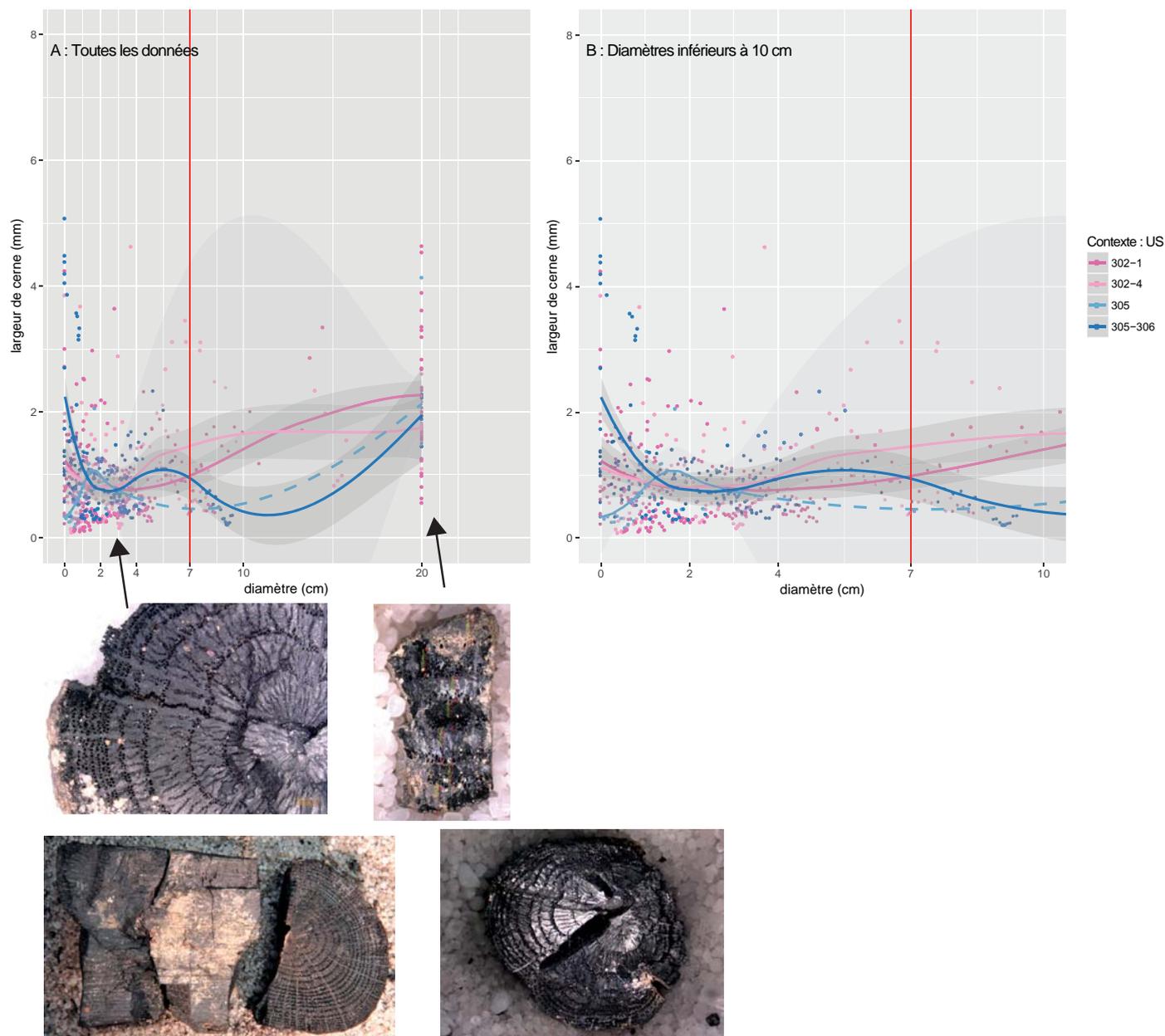


Figure n°88. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, cadre A toutes les données, cadre B les données des diamètres <10 cm, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%).

fragment peut être conséquent. Un total de 213 fragments a fait l'objet de mesures pour un total de 1742 cernes, 682 de chêne, 866 de hêtre et 194 d'autres taxons. Avec 81 fragments et 620 cernes les données sont de bonne qualité pour le chêne dans le ferrier 1 à l'exception des diamètres supérieurs à 3 cm de l'US305 (fig. 88). La courbe de confiance (95%) qui est associée à la tendance de ce sous-ensemble est fortement dilatée, car les données sont insuffisantes.

Les largeurs de cerne de la classe « supérieur à 18 cm » sont en moyenne vers 2 mm par an et montrent peu de différence entre les prélèvements du ferrier 1 (fig. 88). Inversement lorsque le diamètre est faible - les cernes sont donc proches de la moelle - les largeurs sont très variables autour d'une moyenne centrée sur 1 mm. Le vide de données entre 10 cm et 20 cm de diamètre est en partie méthodologique, puisque l'estimation perd de sa signification, mais associé avec le décalage de la largeur moyenne, ils indiquent probablement que les données contiennent des

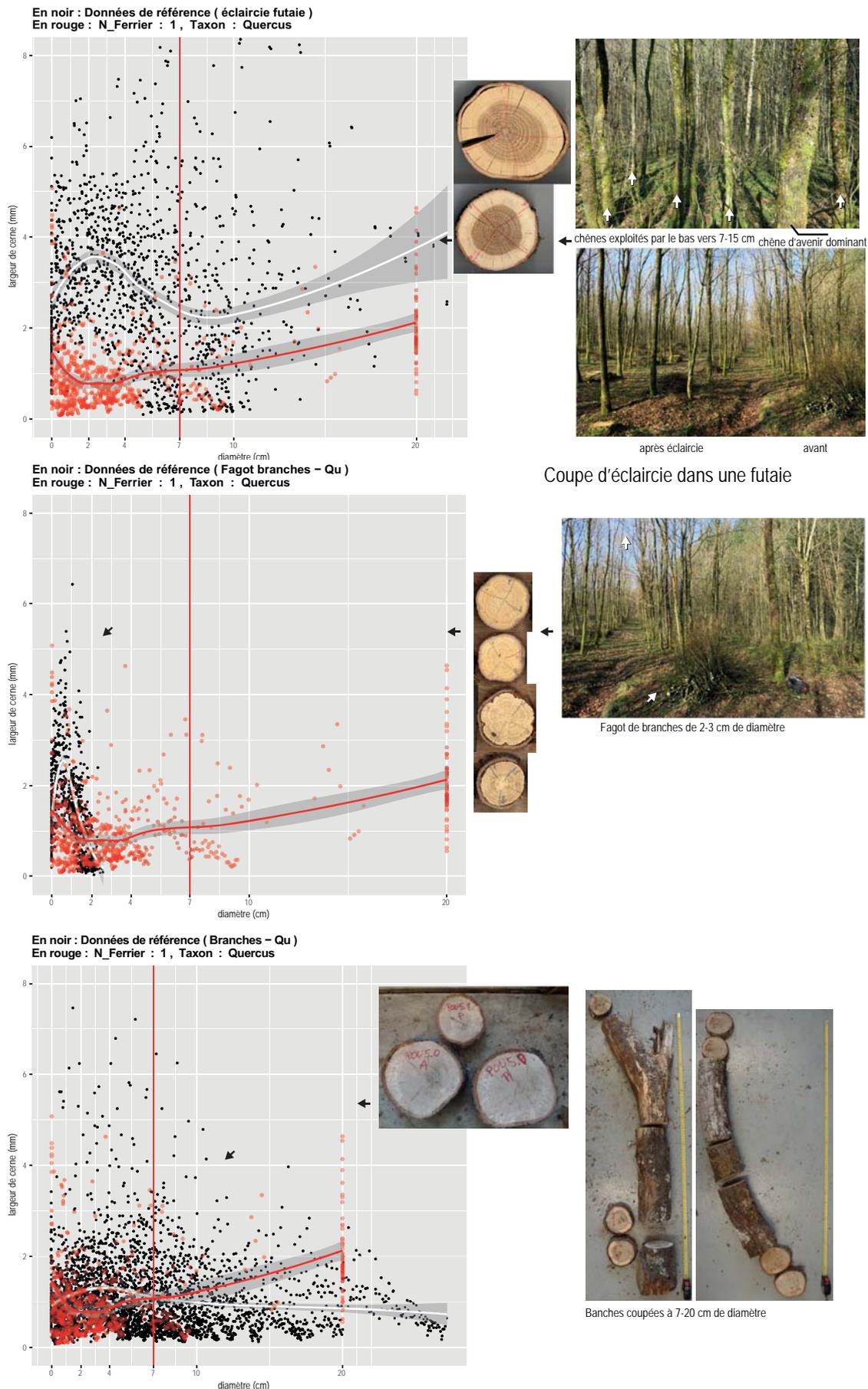


Figure n°89. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%). Peuplement référentiel d'éclaircie par le bas dans une futaie.

individus qui subissent des conditions de croissance différentes. Les lots par prélèvement sont des mélanges d'individus qui ont bénéficiés de conditions assez variées qui se traduisent à la fois dans les diamètres et la largeur de cerne. Au niveau de la moelle, les tendances observées dans les charbons sont très proches entre les deux prélèvements de l'US302, par contre elles sont particulièrement différentes entre les US305 et US305-306. Dans la majorité des cas, la largeur de cerne diminue depuis 1 à 2 mm, plus ou moins rapidement quand le diamètre augmente, pour n'être plus que de 0,7 à 0,8 mm/an vers 4 cm et se stabiliser (fig. 88B). Dans l'US305, la tendance est inverse, les cernes les plus proches de la moelle sont plus minces (0,5 mm) qu'à 2 cm de diamètre (1 mm). Cette différence est probablement aussi à rapprocher de la variabilité des conditions de croissance dans la végétation qui est toujours élevée, même dans les peuplements gérés. La distribution de cette variabilité ne correspond pas, ou imparfaitement, à celle de la stratigraphie, puisque des prélèvements qui représentent des épisodes de dépôt dans la phase de la Tène finale - Haut Empire du ferrier contiennent en fait un mélange d'individus soumis à des conditions variées, même si une majorité suit la même tendance.

L'interprétation de la tendance des largeurs de cerne est proposée en comparaison avec celle observée en suivant exactement les mêmes modes de représentation de données d'arbres référentiels, vivants dans une structure de peuplement connue. L'objectif n'est pas de retrouver dans les forêts d'aujourd'hui celles de la période romaine, elles ont disparu, mais de comprendre l'influence sur la représentation des données de facteurs, comme la densité, la position dans l'arbre qui sont des leviers de la gestion forestière quelle que soit l'époque. Bien entendu la diversité des peuplements référentiels disponibles reste contrainte par le temps d'analyse et ils doivent être complétés, particulièrement pour les autres taxons que le chêne, pour être davantage efficace.

Les données du ferrier 1 sont toutes conservées même s'il est probable que les individus proviennent de structures de peuplement différentes. La tendance moyenne sur la figure 89 correspond alors aux individus les plus nombreux. Le niveau moyen de croissance est nettement plus faible, quel que soit le diamètre, dans les charbons que dans les troncs de chêne exploités lors d'une éclaircie par le bas d'une futaie. Les arbres référentiels sont en partie plantés après une coupe à blanc. Ils sont donc issus de fruits. L'éclaircie consiste à donner de l'espace à ceux qui sont jugés d'avenir en récoltant les plus petits diamètres. Les largeurs de cernes correspondent donc à des chênes dominés, qui subissent l'effet de la compétition, intra ou inter spécifique. Pourtant leurs cernes sont nettement plus larges que ceux observés dans le lot de la Tène finale – Haut Empire. Le référentiel n'est pas suffisamment riche en individus de forts calibres pour discuter de la comparaison. Au niveau des branches, la différence est plus faible que pour le tronc, mais alors que le diamètre est environ 0,5 à 1,5 cm les branches coupées à 2-3 cm de ces chênes forment des cernes nettement plus larges (2,5 mm) qu'à la Tène finale – haut Empire (1 mm). Les tendances sont particulièrement différentes, la forme de la courbe est en cloche dans les branches et en décroissance dans les charbons.

Dans de plus grosses branches, coupées à 7-20 cm de diamètre, dans les houppiers de chênes de 40-60 cm de diamètre dans un autre peuplement de même nature, la forme en cloche de la tendance est beaucoup plus « écrasée » et le niveau moyen encore plus faible se rapproche de celui des charbons. Malgré cela, les données des charbons sont donc nettement dissemblables de celles d'une futaie actuelle, en niveau moyen, quel que soit le diamètre, et en forme de la tendance.

Un peuplement référentiel régénéré par recépage simultané de tous les brins des souches - un taillis simple - a pu être étudié à Chantrans (25) sur le premier plateau du Jura, à une altitude de 600 m, ce qui contraint le développement du charme et probablement la productivité des chênes (Girardclos *et al.* 2012). La forme de la courbe de tendance est plus proche de celle observée

dans les charbons qu'avec les données de la futaie à l'exception des fragments provenant de la périphérie des gros calibres (fig. 90). Le taillis de référence ne livre presque pas de tige de 20 cm de diamètre, mais en généralisant la classe de calibres pour lesquels l'estimation est très difficile, les largeurs sont plus fortes dans les charbons que dans les arbres de référence dès 5-6 cm de diamètre, c'est-à-dire en dehors des plus petits diamètres de récolte. Cette observation va dans le sens que les lots de charbons sont en fait des mélanges provenant de structures de peuplement différentes. Pour les petits calibres, la forme de la courbe de tendance est similaire, mais le niveau moyen, qui approche le niveau de production, est très nettement plus bas pour les charbons. La compétition entre les brins du taillis de Chantrans a été estimée par la mesure de l'élancement – le rapport hauteur sur diamètre - des bois récoltés. La stratification des données par ce facteur montre son influence pour 3 classes de compétition. Les tendances restent globalement parallèles à des niveaux différents, ce qui incite à retenir que les phénomènes de compétitions apparaissent très tôt dans l'histoire du développement du brin et que celui-ci ne change pas ou que difficilement de classe, de statut. Aucun brin ne présente toutefois une productivité aussi faible que celle observée sur le site, alors que le potentiel du milieu - un sol profond même s'il est dessaturé, une absence de contrainte thermique liée à l'altitude - est probablement bien meilleur. Les charbons de la Tène finale – Haut Empire ne proviennent pas de taillis qui suivent les mêmes pratiques que dans le Jura de 1900 à 2000, mais la forme des courbes de tendances et la faible largeur des cernes correspond à ce qui est attendu dans un taillis très denses.

Pour le hêtre, nous ne disposons que d'un seul peuplement de référence, un lot de bois utilisé pour une charbonnière expérimentale réalisée à la Veille-Loye (39) dans le massif de la forêt de Chaux (Dupin *et al.* 2017). Le diamètre de récolte, inférieur à 7 cm de diamètre, correspond aux pratiques actuelles des inventaires forestiers, qui ne prennent en considération dans les inventaires de bois que les diamètres supérieurs à 7 cm, alors que la tradition des charbonniers du XXe siècle véhicule l'idée que le charbon était réalisé avec des bois de calibre inférieur. Les conditions de croissance de ces arbres ne sont pas connues en détail. Les bois proviennent du sous-étage de taillis-sous-futaie en conversion vers la futaie. Le hêtre se développe spontanément très bien dans ces situations de peuplement plutôt dense, à la faveur de semis alors que les rejets de souche sont très majoritairement en charme. La forme de la tendance des largeurs de cernes en fonction du diamètre est en cloche, mais très nettement aplatie par rapport au chêne (fig. 91A). Par ailleurs, le niveau moyen des largeurs est presque systématiquement inférieur à 1 mm/an aux exceptions près de calibres les plus élevés. En comparaison, les largeurs de cerne dans les charbons du ferrier 1 sont un peu inférieures à celles du peuplement référentiel jusqu'à 4 cm de diamètre, puis la valeur devient supérieure à la faveur de seulement quelques fragments provenant de gros calibres. Les deux nuages de points paraissent nettement plus similaires que dans le cas du chêne.

Les données sur le hêtre sont également de bonne qualité pour le ferrier 10 avec 51 fragments et 420 cernes. Les caractéristiques de la tendance (une cloche aplatie) et du niveau moyen (0,5 à 1 mm/an) de la courbe sont proches de celle du peuplement de référence, bien qu'elles restent un peu inférieures (fig. 91B). La coïncidence ne rapproche pas nécessairement en détail les pratiques. Il est probable que ces hêtres se développent au Moyen âge dans des conditions d'ombre prononcée, c'est d'ailleurs une exigence de l'autécologie du hêtre. Mais l'ombrage n'est pas nécessairement créé par une strate d'arbres dominants de gros diamètres du TSF ou de la futaie. L'absence de peuplement de référence en conditions d'ombrage plus variées et plus en lumière limite l'interprétation du résultat.

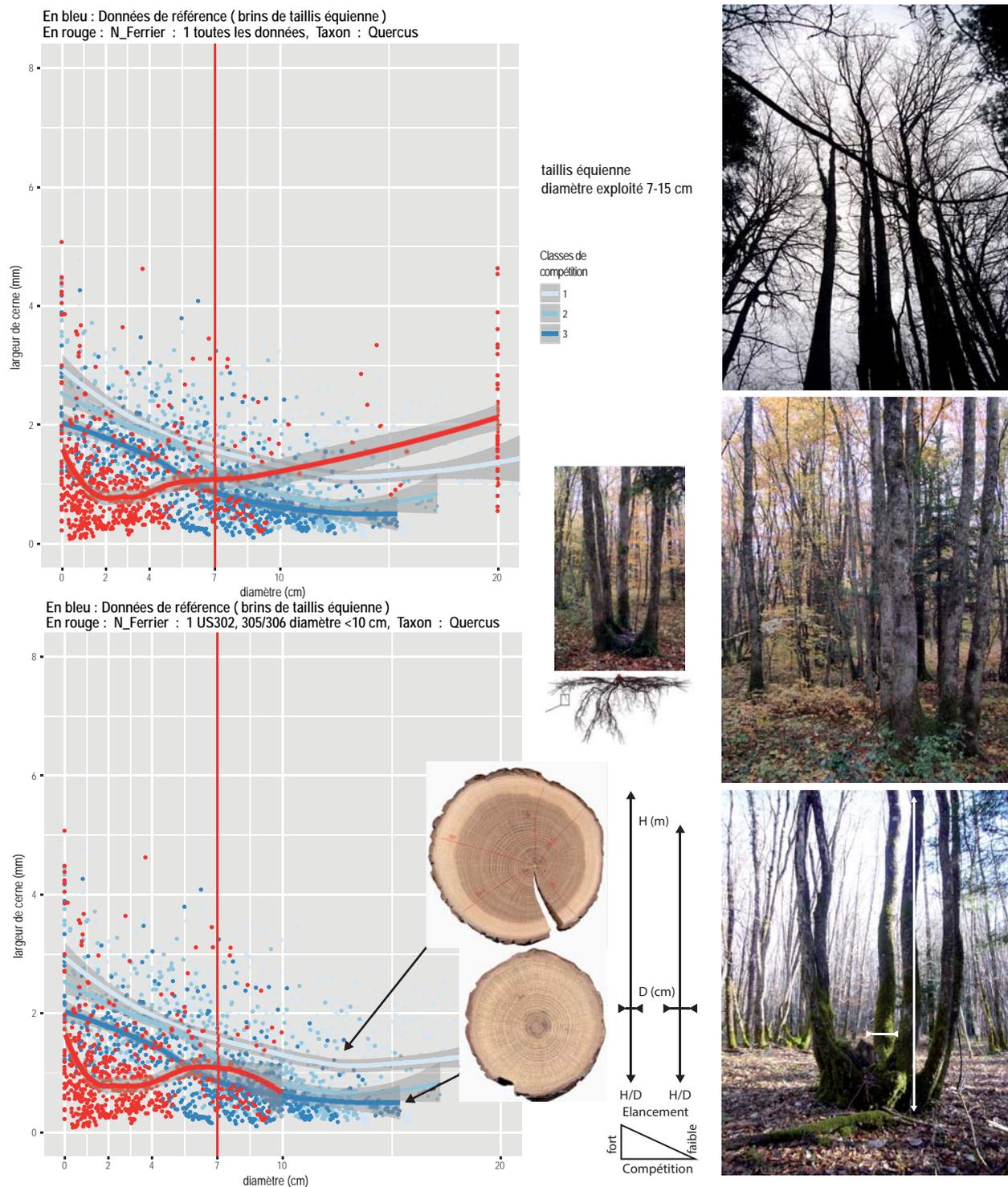
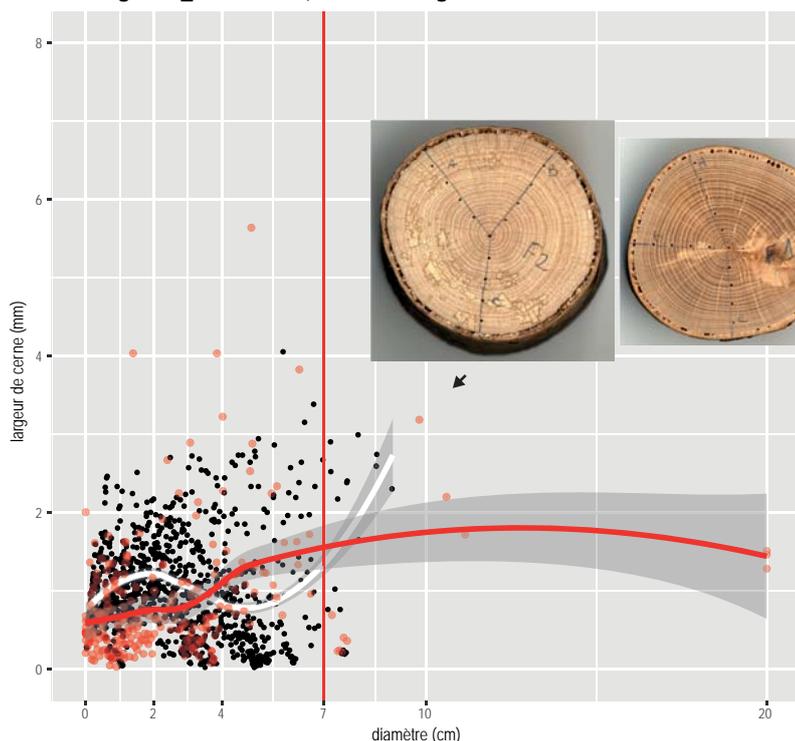


Figure n°90. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, cadre A toutes les données, cadre B les données des diamètres <10 cm, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%). Peuplement référentiel de taillis simple ou équienne.

En noir : Données de référence (Charbonnette Braillans – Fg)

En rouge : N_Ferrier : 1 , Taxon : Fagus



«Charbonnette» diamètre <7 cm



En noir : Données de référence (Charbonnette Braillans – Fg)

En rouge : N_Ferrier : 10 , Taxon : Fagus

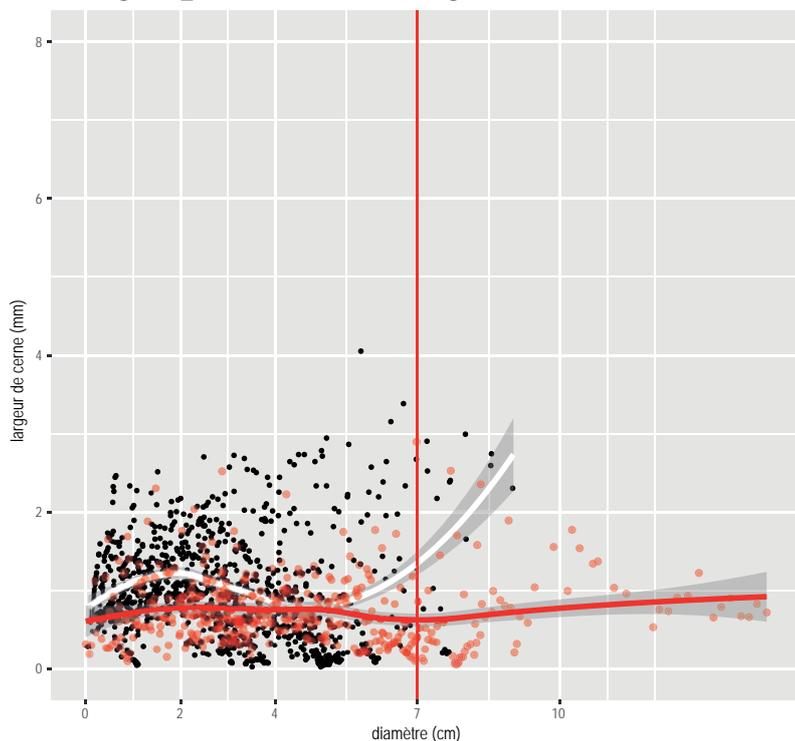


Figure n°91. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, cadre A ferrier 1 La Tène finale – Haut Empire, cadre B ferrier 10 Moyen âge, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%). Peuplement référentiel sous-étage de TSF en conversion vers une futaie.

4.7.4. Interprétation

Caractérisation des ressources utilisées

Les observations faites sur la formation de fentes et de craquelures sont restées au niveau descriptif par photographie et demandent davantage d'investigations. La formation des fentes de retrait et des craquelures indiquerait des conditions de carbonisation différentes, peut-être séparées dans le temps. Ceci constituerait alors un argument pour l'utilisation du bois en charbon observé directement sur les fragments, même si c'est une hypothèse par ailleurs très probable.

Les prélèvements analysés pour le ferrier 1 sont choisis alors que la variabilité stratigraphique est faible, dans une séquence sédimentaire qui ne représente probablement que des épisodes de dépôts d'une phase chronologique relativement brève dans la Tène finale ou la période du Haut Empire. Ils montrent des assemblages de taxons différents et surtout des proportions de chênes et hêtres variables. L'écart le plus élevé est observé au sein même de l'US302 avec 70 et 42% de chêne qui correspondent à 18 et 46% de hêtre entre les 2 prélèvements. L'ensemble des spectres est toutefois dominé par le chêne et le hêtre. Les autres taxons apparaissent secondaires pour pourvoir aux besoins nécessaires en volume ou en biomasse. A l'inverse les calibres exploités sont tout à fait similaires entre les prélèvements. Les distributions ont des caractéristiques voisines, les diamètres les plus abondants sont compris entre 0 et 4 cm et atteignent bien plus rarement 7-10 cm. Des tiges particulièrement petites ont été découvertes et la grande majorité du bois provient de petits calibres (fig. 92). Il y a également peu de différence entre les taxons, que ce soit le chêne et le hêtre ou les taxons secondaires, la récolte repose sur les petits calibres. Quelques fragments provenant de la périphérie de diamètre plus importants sont observés, mais ils restent marginaux.

L'US115 du ferrier 9 est une couche de cendres charbonneuses découverte en dessous des premiers dépôts de déchets métallurgiques. L'origine des charbons ne peut pas être précisée, mais le contexte stratigraphique est certainement le plus éloigné, disponible sur le site, des strates caractérisées par une très forte présence des scories de réduction. Sa datation dans la période romaine est un peu plus récente que les US étudiées du ferrier 1. Le spectre de taxons est aussi dominé par le chêne et le hêtre (70 – 22%), dans des proportions qui sont encadrées par la variabilité observée dans les épisodes du ferrier 1. Les taxons secondaires sont peu abondants (2), très probablement car le nombre de fragments analysés est limité. Ce spectre rapproche donc l'horizon de ceux observés dans le ferrier 1, par contre la distribution des diamètres indique la récolte de calibres bien plus grands, la majorité étant supérieure à 10 cm.

Les prélèvements sélectionnés pour ces premiers résultats et le nombre de fragments restent limités. L'interprétation proposée peut donc être liée au caractère aléatoire des distributions, mais ils vont dans le sens de caractéristiques des charbons associés aux scories de réduction issus de petits calibres de chêne et de hêtre ce qui a déjà été transcrit dans la littérature (Sarreste 2011, Leroy *et al.* 2019). L'état actuel des fouilles du site ne permet pas de proposer une spatialisation des prélèvements associée à des étapes des processus comme pratiquée sur le site Les noires Terres à Messein (54) (Leroy *et al.* 2019). Les ferriers reçoivent des dépôts hétérogènes en quantité parfois importante qui conduisent à des unités stratigraphiques puissantes sur une faible durée. Toujours dans les exemples analysés, il n'y a pas de lien entre la position stratigraphique et la variabilité des charbons. Ceci probablement car les approvisionnements en bois et ces dépôts ne présentent pas de connexion directe, la récolte du bois se faisant en amont de son utilisation dans la réduction. Cependant, une US qui ne contient pas de déchets de métallurgie est la seule à montrer la récolte de bois de fort calibre.

Du point de vue de la stratégie de terrain, il semble alors utile d'associer des prélèvements à la fois proches stratigraphiquement qui s'apparentent à des répliqués pour juger de l'influence sur les spectres par exemple de la chronologie entre la Tène finale et la période romaine.

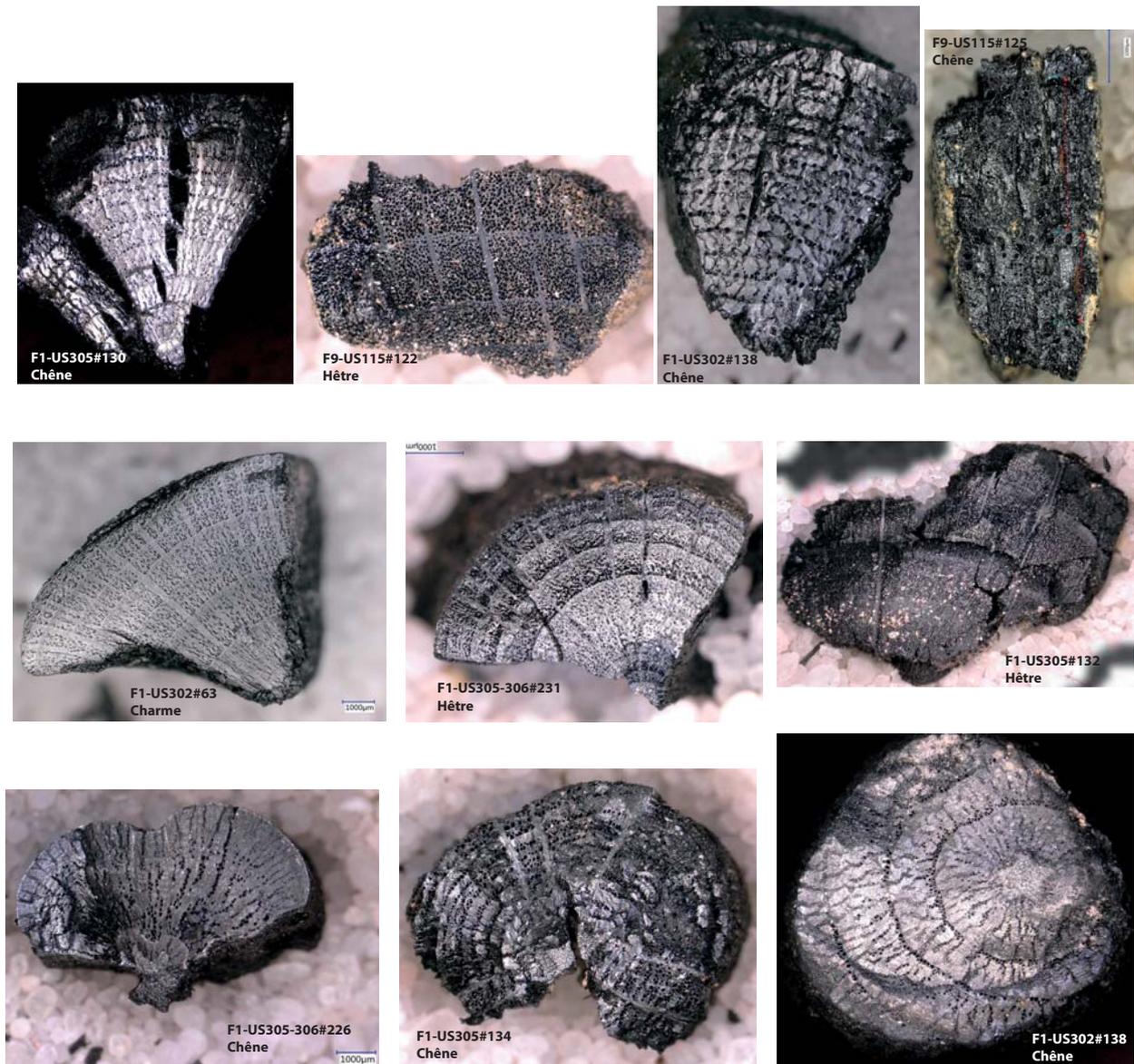


Figure n°92. Exemples de charbons analysés

Le ferrier analysé pour le Moyen âge montre un spectre plus largement dominé par le hêtre mais toujours presque exclusivement basé sur les petits calibres. Une validation de cette différence ne pourra aussi venir que des répliquats.

Sélection des taxons ?

Le nombre de fragments analysés limite la réponse à cette question. De façon à utiliser le temps d'analyse à l'acquisition de données dendro-anthracologiques les spectres taxonomiques reposent sur un nombre de fragment parfois limite. Toutefois, l'ensemble des fragments (y compris en excluant le Moyen âge) livre 12 taxons, ce qui recouvre une bonne part mais probablement pas toute la diversité potentielle locale. Par exemple, le bouleau, le frêne et l'orme sont absents.

Les proportions de chêne et de hêtre rendent les autres taxons secondaires pour pourvoir aux besoins nécessaires en volume ou en biomasse, mais cette observation n'implique pas d'elle-même une sélection des taxons. Une description de la végétation potentielle plus indépendante de la stratégie d'approvisionnement indiquerait si des taxons sont recherchés et d'autres délaissés. Dans ce sens, une analyse palynologique est en cours dans la région, l'étude des charbons de contextes domestiques pourrait aider.

L'élément qui paraît le plus surprenant sur ce point concerne le décalage entre la découverte de hêtre en forte proportion, particulièrement pour le ferrier du Moyen âge, alors que la carte de végétation et le catalogue des types de stations forestières ne considèrent que très à la marge la potentialité du hêtre dans la végétation actuelle. Ces approches sont très difficiles à dégager totalement des contraintes de l'économie forestière et doivent être confrontées à une dimension historique des écosystèmes qui les place sur une trajectoire. Mais de la même façon, il sera difficile d'extraire des données paléo-écologiques toutes considérations d'objectifs de production et d'exploitation des bois par l'homme. Il faut constater que sous ces influences les ressources utilisées dans ces massifs ne sont certainement pas les mêmes à différentes périodes.

Structure et pratiques forestières

Le diagramme anthracologique caractérise un environnement forestier en massifs de chêne, hêtre, charme, merisier, érable. Si les restes provenaient d'un système plus agro-sylvo-pastoral où la production de bois a principalement lieu en haies, bosquets ou prés-bois, le chêne resterait très disponible, mais le hêtre moins et les participations des taxons héliophiles seraient supérieures (par ex. Poirier et Paradis 2015). Les pomoidées (maloïdées) seraient variées, l'érable, noisetier, viorne, cornouillers seraient présents. Dans le même sens, les largeurs de cerne observées correspondent davantage à des massifs forestiers qu'à un système agro-sylvo-pastoral. Le peuplier, qui atteint 5% des restes étudiés du ferrier 1 montre - s'il y avait besoin d'un autre argument que les ferriers eux-mêmes - que ces massifs sont suffisamment ouverts par les exploitations pour laisser une place à un taxon pionnier.

Mais l'action de l'homme sur ces forêts concerne peut-être davantage leur structure que leur diversité. L'évolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige a pu être étudiée pour le chêne et le hêtre. Elle est interprétée en comparaison avec des peuplements référentiels d'arbres vivants provenant de structures forestières connues. Pour l'ensemble de prélèvements du ferrier 1, la largeur de cerne des chênes est en moyenne plus élevée quand le diamètre est fort. Les observations vont dans le sens de conditions de croissances nettement différentes pour les bois de forts calibres par rapport aux petits. Parmi les petits calibres une diversité est également perceptible. Les lots par prélèvement sont donc très probablement des mélanges d'individus qui ont bénéficié de conditions de croissance assez variées qui se traduisent à la fois dans les diamètres et la largeur de cerne. Les fragments situés en périphérie de gros diamètres restent toutefois anecdotiques en terme de ressource, mais ils seraient les indicateurs d'un milieu différent, voire d'une strate supérieure. Ce dernier point restant impossible à argumenter davantage.

Les récoltes se portent très majoritairement sur des petits calibres, dont l'évolution des largeurs de cerne en fonction du diamètre pour les chênes montre une tendance nettement décroissante de 1,5 à 2 mm par an proche de la moelle pour n'être plus que de 1 à 0,5 mm alors que le diamètre est de 3-4 cm. La forme de cette courbe est plus proche de celle observée dans un taillis actuel analysé dans le Jura que de branches ou de troncs de futaie, cependant le niveau moyen est très inférieur. Nous ne disposons pas de données référentielles sur les branches de taillis, ni pour des taillis dont la densité serait bien plus élevée que celui étudié y compris en nombre de souches. En effet, dans le taillis jurassien, dont les brins ont été récoltés entre 7 et 15 cm, ceux qui subissent le plus de compétition ont la croissance la plus faible. Il peut donc être attendu que dans les taillis de brins de 4-7 cm très denses les cernes soient encore plus minces, ce qui devra être validé par l'étude de situations référentielles plus variées.

Les hêtres du niveau de la Tène finale – Haut Empire du ferrier 1 et du ferrier 10 daté du Moyen âge montrent des largeurs de cernes minces compris entre 0,5 et 1 mm et une évolution en fonction du diamètre qui est similaire à celle observée dans des « charbonnettes ». Ces bois sont récoltés à un diamètre inférieur à 7 cm environ dans le sous-étage de TSF en conversion

vers la futaie. Ils se développent à l'ombre d'un étage dominant dense. Les charbons des deux périodes indiquent donc aussi des milieux très denses à croissance nettement ralentie, mais il ne faudrait pas en déduire que l'ombrage est nécessairement le résultat d'une strate supérieure. Là également, nous ne disposons pas d'assez d'information sur le développement des hêtres dans les taillis denses.

4.8. Etude céramologique du mobilier de Toucy, «La Cour Batonnerie».

Sylvie Mouton-Venault

4.8.1. Introduction.

A l'occasion d'une des campagnes de prospections menée en Puisaye cette année, Jean-Pierre Piétak nous a confié plusieurs caisses de céramiques issues de prospections effectuées sur des parcelles adjacentes à de très gros amas de scories.

La plus grosse collection provient de Toucy «La Cour Batonnerie», «La petite cour Batonnerie», et «Bois des Racinottes» un secteur que J.-P. Piétak avait intensément prospecté en 1999 et au début des années 2000 (rapport déposé au SRA Bourgogne et publication Piétak 2000 - fig. 93). Environ 1700 tessons de céramique, 3 monnaies romaines, un fragment de statuette en terre cuite, des fragments de tegula et d'imbrax ont été retrouvés dispersés sur environ 2,5 hectares et en une concentration un peu plus importante sur environ 1 ha.

Cette zone de concentration se situe à proximité immédiate d'une série d'amas de déchets sidérurgiques, et à environ une centaine de mètres d'un amas de grande taille, présent dans le Bois des Cornillats. Ce dernier couvre une surface d'environ 70 000 m² avec une hauteur conservée de 8 m par endroits. En 1946, un trésor monétaire de 1100 monnaie y a été mis au jour. Il contenait des monnaies qui permettent d'attribuer sa période d'enfouissement autour de 276 (Piétak 2000).

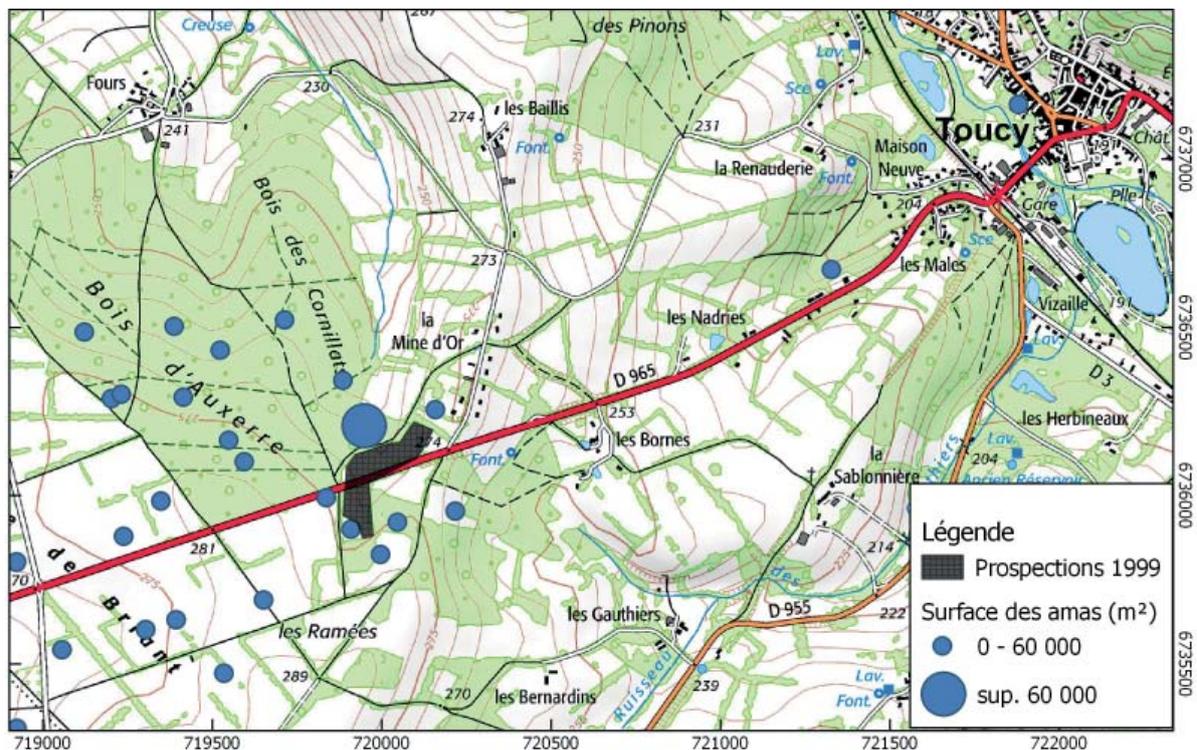


Figure n°93. Toucy, localisation de la zone concernée par les prospections.

L'étude céramologique avait pour objectif de déterminer la chronologie de la fréquentation de ces secteurs. Il s'agissait également de tenter de déterminer plus précisément la nature de l'occupation.

La quantité de mobilier recueillie est conséquente (47.25 Kg) mais son exploitation est limitée par l'absence de localisation précise et l'amplitude chronologique (fourchette couvrant trois siècles d'occupation). Le mobilier sera donc traité comme du mobilier de prospections, pour lequel l'établissement d'un NMI ne présente pas de pertinence. L'absence de quantification implique d'emblée l'impossibilité de raisonner en termes d'assemblages fonctionnels mais cette approche n'est en aucun cas envisageable compte tenu du mode de constitution des lots : en effet, la prospection induit un biais « sélectif » probable dans le prélèvement du mobilier. Ainsi, les catégories claires et massives comme les amphores ou mortiers peuvent être surreprésentées au regard de la vaisselle à boire, en parois fines, sombre. En résumé, la part de chacune des catégories fonctionnelles au sein de l'assemblage n'est probablement pas exploitable : par exemple, l'apparente faiblesse des formes liées au service des boissons ou l'importance des mortiers ne peuvent être interprétées, car ce constat relève peut-être juste d'une discrimination involontaire du prospecteur.

Quant à l'aspect qualitatif du lot (état de conservation, fragmentation des tessons), on remarque que la vaisselle fine, plus fragile, notamment la sigillée tardive, cuite en mode A, non grésée, présente des surfaces altérées, avec un engobe qui a disparu. D'une manière générale, les profils sont très incomplets, et l'identification des types repose avant tout sur les bords. Pour cette raison, nous avons choisi d'avoir recours aux formes types, dans la mesure où elles existent.

En conséquence, l'expertise céramologique de ces lots se limitera donc à préciser la fourchette chronologique, à en déterminer les bornes. Quant à la nature de l'occupation, elle sera difficile à préciser au-delà d'une simple caractérisation d'un « contexte domestique ».

Le faciès de consommation du secteur : les interventions archéologiques sont rares dans le secteur de Toucy mais les répertoires identifiés sont très proches de ceux qui caractérisent le secteur d'Entrains-sur-Nohain et plus largement le bassin médian de la Loire (Mouton-Venault et al. 2015, Chambon, Joly, Mouton-Venault 2014). Les références aux répertoires du Nord de l'Yonne sont plus rares.

Les marqueurs chronologiques issus du grand commerce sont les sigillées du Centre pour les II^e et III^e s. et les sigillées d'Argonne et les céramiques à revêtement argileux de Jaulges et Villiers-Vineux pour le III^e, IV^e s.. Ce centre producteur constitue d'ailleurs le seul argument chronologique pour l'occupation du V^e s.

4.8.2. Le mobilier céramique comme témoin d'une occupation centrée sur l'Antiquité Tardive.

Le mobilier rend compte principalement d'une occupation aux II^e, III^e et IV^e s., et les quelques indices datables du Haut Empire sont extrêmement rares. Les marqueurs les plus nombreux pointent un début d'occupation autour du milieu du II^e au plus tard, mais couvrent surtout les III^e s. et IV^e s. dans leur totalité.

La période de l'Antiquité Tardive est peu attestée dans le secteur (très ponctuellement mise en évidence à Entrains-sur-Nohain, agglomération de référence pour le secteur) : les marqueurs de cette période sont les productions d'Argonne (Ch. 320 essentiellement) et la jatte Ch. 323, produit phare de Jaulges et Villiers-Vineux. Ces produits caractérisent le IV^e s voire la première

moitié du V^e s. Les types de décors des molettes d'Argonne ou l'évolution de la jatte Ch. 323 (Séguier 2011) permettent de préciser la chronologie sur cette période.

L'intérêt du lot réside donc dans la mise en avant d'une occupation du Bas Empire, bien identifiée au moins jusqu'au troisième quart du IV^e s. et qui se prolonge probablement jusqu'au milieu du V^e s. Elle livre une belle série de molettes d'Argonne (11 au total), que nous avons choisi d'illustrer. L'identification des molettes se fera ultérieurement, selon la nouvelle classification de Paul Van Ossel.

Nous présentons le mobilier par horizons chronologiques afin d'illustrer au plus près les types identifiés pour chacune des périodes.

4.8.2.1. Les horizons chronologiques.

Trois horizons ont été déterminés qui couvrent les années 150/160 ap. à 375 ap. J-C. Ils ne peuvent être scandés plus précisément en l'absence de contextes archéologiques. Ils s'apparentent aux périodes 5, 6 et 7 d'Entrains-sur-Nohains, et aux derniers niveaux de l'agglomération de Chevroches (Kasprzyk, Mouton-Venault 2011).

L'horizon 1. II^es.

Cet horizon se caractérise par la présence des productions du Centre Gaule des phases 5 (produites au cours de la première moitié du II^e) et 7 (productions de la seconde moitié du II^e) de Lezoux : les formes identifiées sont la coupelle de type Drag 36, les assiettes de type Drag 32 et Drag 18, la jatte de type Drag 37 et Drag. 38 et les gobelets de type JVV 6.02. Ces derniers apparaissent seulement à partir des années 175 ap. J-C, à l'instar d'une partie du vaisselier culinaire. Les types Drag.37, Drag. 18 sont produits tout au long du II^e tandis que le Drag. 36, les productions de la phase 5 et la jatte ESN. J10 caractérisent la première moitié du II^e. Présentes à l'unité, elles sont encore parfois attestées au cours de la seconde moitié du II^e s. On note un bord de Drag 37 avec une marque estampillée (fig. 94).



Figure n°94. Vue grossie de l'estampille imprimée de biais sur le bandeau lisse d'un Drag. 37 (probablement de la phase 5 de Lezoux). Estampille illisible. © S. Mouton-Venault.

D'une manière générale, cet horizon génère moins de mobilier que les suivants, phénomène qui résulte peut-être d'un prélèvement uniquement à la surface du site. Le milieu du II^e s. semble pouvoir être proposé comme TPQ aux débuts de l'occupation.

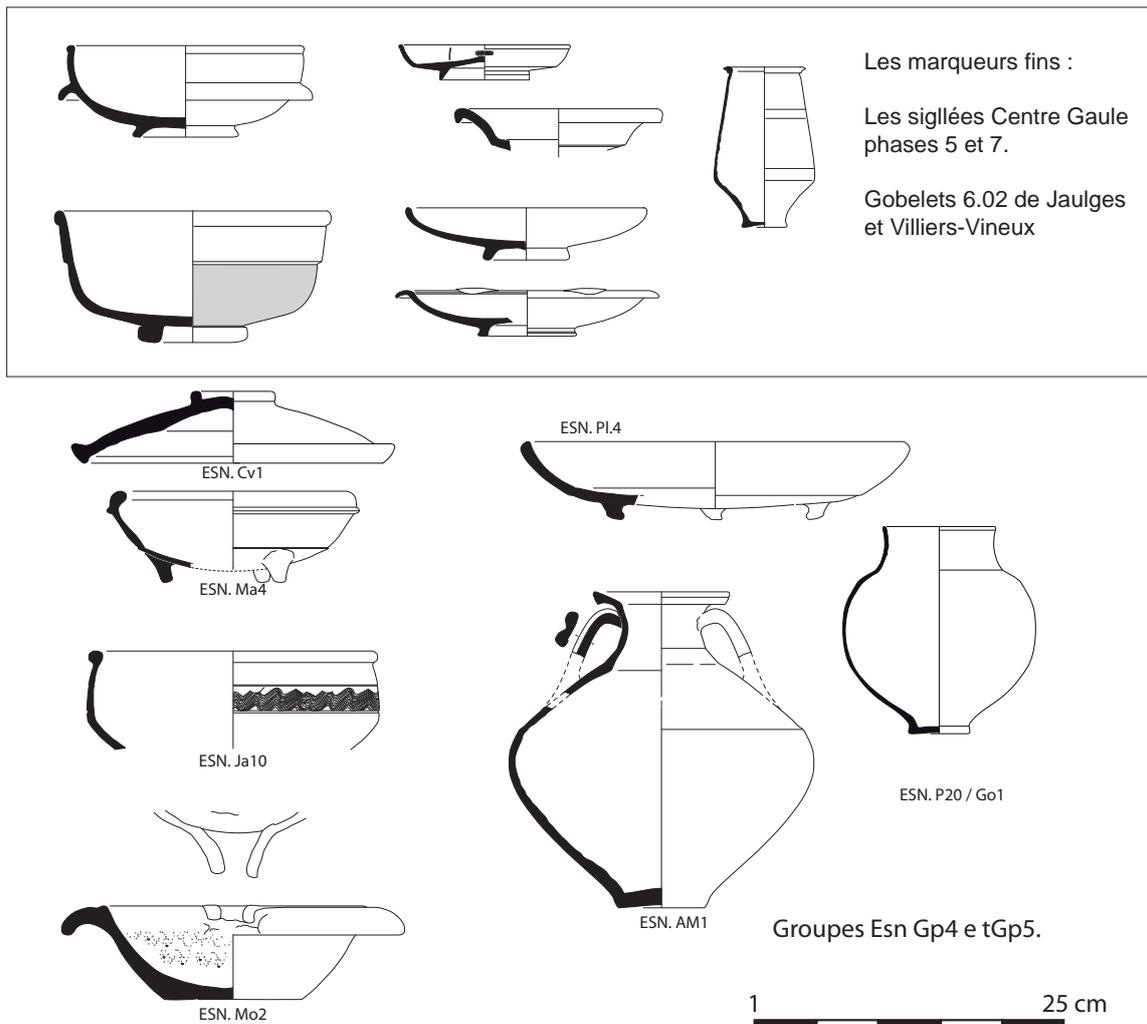


Figure n°95. Faciès céramique de l'horizon 1. Le mobilier au travers des formes types du secteur. © S. Mouton-Venault.

L'horizon 2. II^e- III^e.

Les marqueurs chronologiques de la fin du II^e s sont peu distincts de ceux de la première moitié du III^e s. et l'absence de contexte archéologique ne permet pas de distinction fine. Nous reprendrons donc les marqueurs qui apparaissent au cours du dernier quart du II^e s. (Gobelets JVV 6.02) dans la définition de l'horizon du III^e.

Les productions du Centre Gaule sont encore attestées au travers de la phase 7 de Lezoux : le mortier Curle 21, les coupe/elles Lez 42/43, la jatte Drag. 37. En revanche, certains marqueurs spécifiques du III^e sont présents comme les types Drag. 45 et dans une moindre mesure le gobelet Nied. 33. L'approvisionnement change un peu dans la mesure où apparaissent les productions de l'Est de la Gaule (Argonne du III^e s.) en présence des types Drag. 37, des mortiers de types Ch 330 (Curle 21) et Ch331(Drag.45)

Les productions de Jaulges et Villiers-Vineux se limitent aux gobelets de type JVV 6.02, à une jatte de type Ch. 323b, aux mortiers de type Drag. 45.

Le vaisselier culinaire est bien attesté et correspond au faciès défini à Entrains-sur-Nohain, marqué par le val de Loire. On note la présence de plusieurs jattes de type Comp. J1a dont le

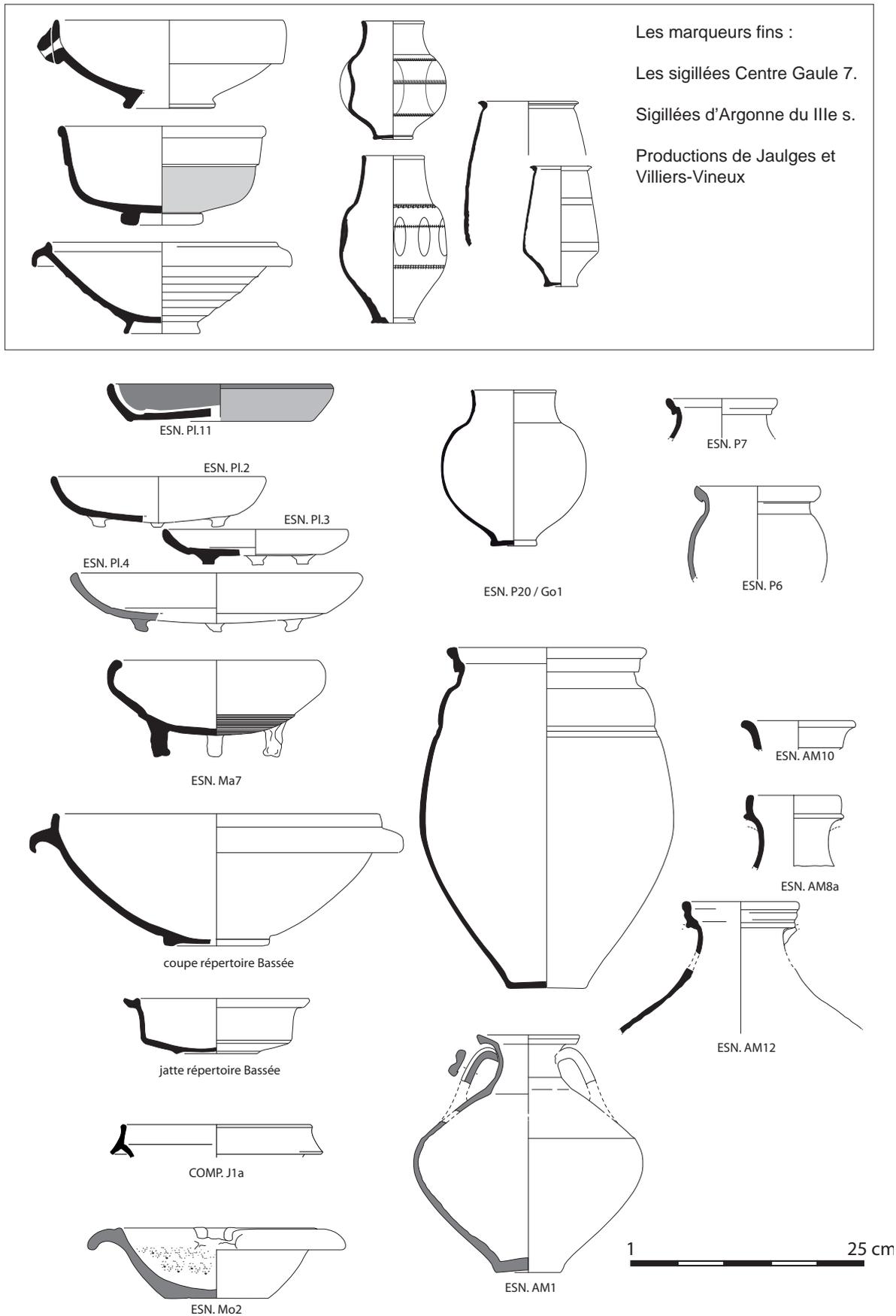


Figure n°97. Faciès céramique de l'horizon 2. Le mobilier au travers des formes types du secteur. En grisées, les formes attestées au cours de l'horizon précédent © S. Mouton-Venault.

type est attesté dans l'officine de Compièrre-Champallement, en activité au cours de la première moitié du III^e s. (Delor-Ahü, Mouton-Venault dir. 2017).

La part des productions en provenance de l'Est (Villeneuve-au-Châtelot) y est peut-être plus importante qu'à Entrains, dans la mesure où plusieurs spots à lèvre en bande aurinurés sont décomptés (Bassée 116/ESN. P7), ainsi que deux formes ouvertes connues dans le répertoire de la Bassée. Les amphores ligériennes constituent l'approvisionnement principal pour la boisson au détriment des produits sénon.

L'horizon 2 est très bien attesté au travers du mobilier, à l'instar du suivant. Il semble constituer, avec le IV^e s., la période de fréquentation la plus intense du site, concentrant la majorité du mobilier découvert.

L'horizon 3. IVa-c.

Cet horizon se caractérise avant tout par la présence des productions d'Argonne lisses ou décorées à la molette, associée à celle, majoritaire, des produits de Jaulges et Villiers-Vineux.

Ces dernières sont attestées par le mortier Drag. 45 la coupelle Ch. 323c et la jatte 323a, dont le type domine le lot étudié (plus de 5 kg, soit 10% du lot). Le gobelet 6.01 reste confidentiel mais nous avons déjà souligné un possible effet de source concernant les gobelets en règle générale.

Les produits argonnais sont les assiettes de type Ch303, Ch304, la coupelle de type Ch314, la jatte Ch. 324 et surtout la jatte Ch320, décorée à la molette.

Au total, 11 molettes ont été découvertes, ce qui constitue une belle série, en cours d'identification, selon la nouvelle classification. Les molettes les plus tardives appartiennent aux séries pré-valentiniennes, et sont datables du troisième quart du IV^e s. Toutefois, l'absence de molette chrétienne n'est pas significative (Toucy se situe hors du marché préférentiel pour cette période ?). En outre, le site de Mâcon, la bibliothèque, daté du milieu du V^e, livre lui aussi des molettes de la même série (Kasprzyk, Mouton-Venault 2011). Leur présence confirme donc à *minima* une occupation au cours des années 350-375 ap. J-C sur le secteur *des Cornillats*.

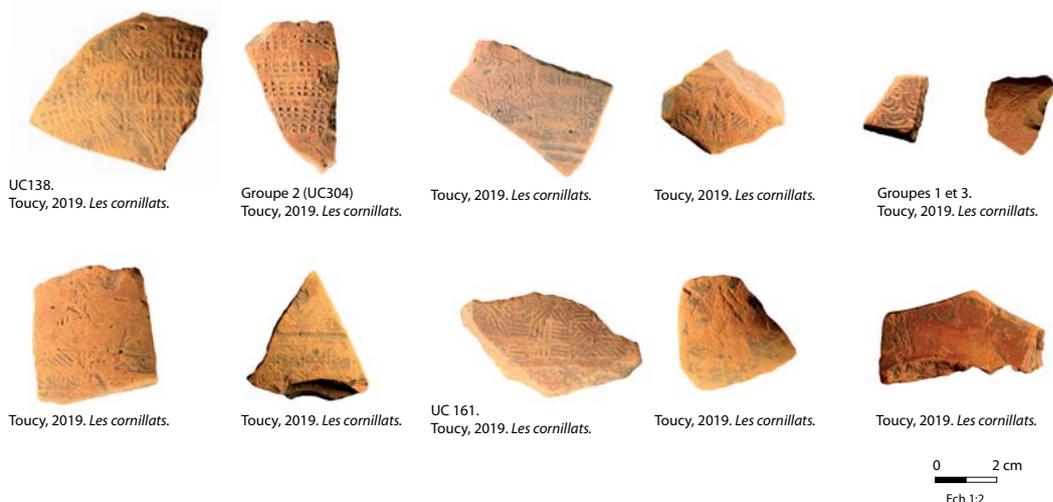


Figure n°96. Les molettes d'Argonne découvertes sur le site. © S. Mouton-Venault.

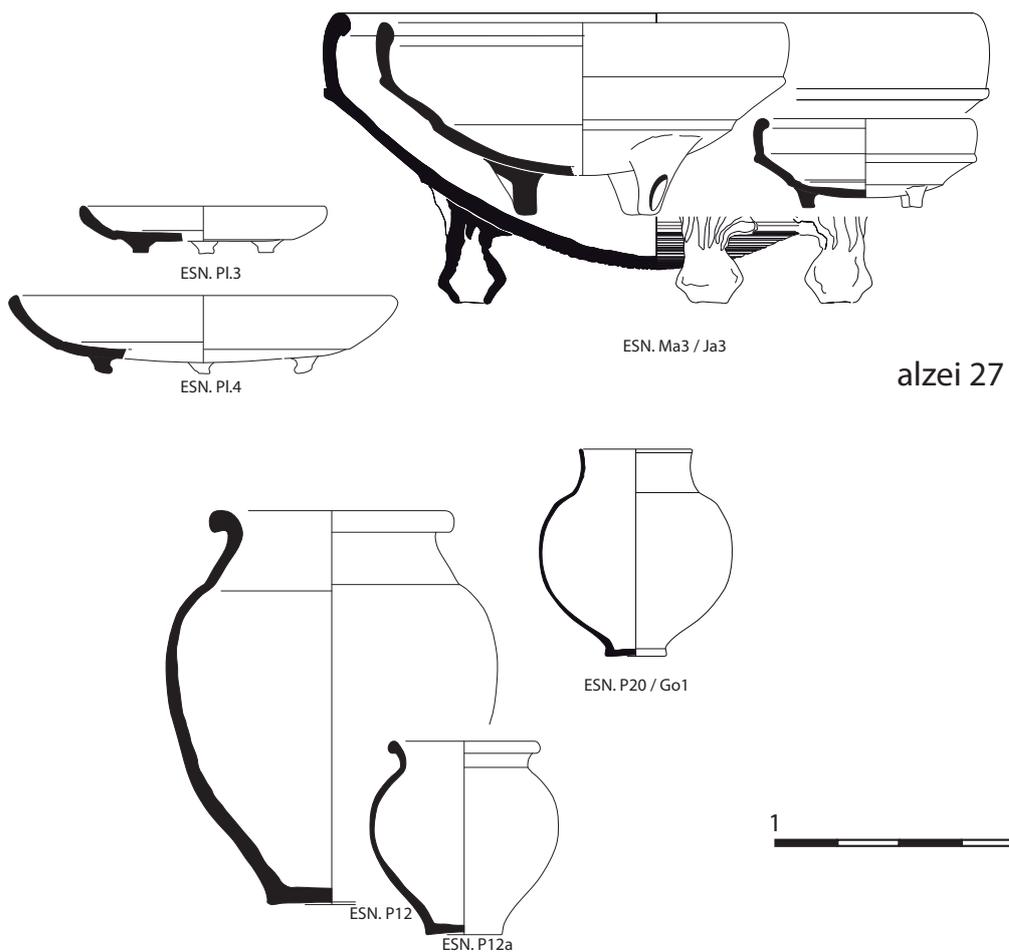
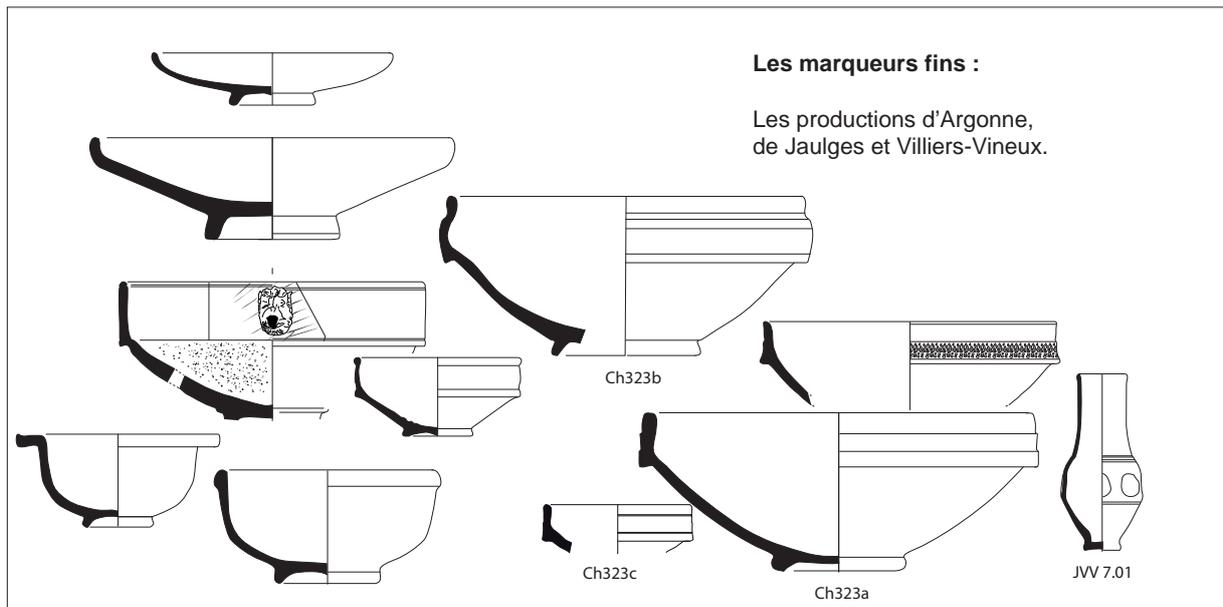


Figure n°98. Faciès céramique de l'horizon 3. Le mobilier au travers des formes types du secteur. En grisées, les formes attestées au cours de j'horizon précédent © S. Mouton-Venault.

La vaisselle culinaire :

La nouveauté au sein du vaisselier repose sur le pot de type Alzei 27, dont la variante K identifiée, correspond à la chronologie de certaines molettes d'Argonne (troisième ¼ du IV^e s.). Le reste du vaisselier renvoie à celui identifié à Chevroches (Mouton-Venault, Devevey 2005).

L'horizon 4. IVd-VA. : Un abandon au V^e s. ?

La question de l'abandon du site est difficile à trancher : en effet, réussir à déterminer qu'une occupation se prolonge au V^e s. repose en partie sur la présence de la jatte Ch323, et son rapport proportionnel avec les productions d'Argonne, rapport impossible à établir sur ce type de lot, issus de prospections. Ainsi, la fin du IV^e s. et le V^e sont souvent caractérisés par la prévalence de la jatte Ch323 à sur tout autre type. Or, ce type est attesté tout au long du IV^e s. Sa présence, en l'absence d'US, n'apparaît pas comme un argument discriminant. Toutefois, plusieurs jattes de ce type présentent les critères qui correspondent à son évolution, à la fin de la production : parois alourdies, passage unique d'une molette, souvent fruste, voire qualité du vernis moindre... ces critères semblent même marquer les dernières décennies du centre de production, avant le milieu du V^e s. ap. J-C. (Séguier 2011, p. 227).

4.8.3. Le mobilier céramique, révélateur d'un habitat.

Comme nous l'avons mentionné en introduction, il est impossible de proposer une réflexion sur l'assemblage fonctionnel : la part importante des plats à cuire n'a rien de surprenant dans les contextes du III^e s., en particulier de la seconde moitié du III^e s. (Séguier 2006). On notera la présence majoritaire d'un type de pot ESN. P12, daté principalement des III^e et IV^e s. En revanche, la sous-représentation des cruches (un seul bord sur l'ensemble du lot) ou des gobelets reste difficile à interpréter même si elle est notable. De même, le nombre de mortier (habituellement limité à 1 par foyer domestique) est peut-être lié à une sélection facile de ce type d'objet, à l'œil nu.

La présence de l'ensemble des catégories fonctionnelles, dont celles liées à la présentation des mets et leur préparation (jattes de type Drag. 37, Ch. 320 ou Ch. 323 suivant les périodes, mortiers en sigillées de type Drag. 45 ou Curle 21...), associées à celles de la vaisselle culinaire, étaye l'idée d'un mobilier révélateur d'une occupation domestique. Le fait que le mobilier soit présent en quantité importante invite à voir dans cette dernière une occupation durable et non ponctuelle. Toutefois, la surface prospectée, importante, l'amplitude chronologique, conséquente, invite à tempérer cette remarque.

D'une manière générale et sans rentrer dans une interprétation de l'assemblage fonctionnel trop précise, on note que toutes les fonctions culinaires sont représentées : cuisson à l'étouffée ou mijotée (marmites), bouillir (les pots et couvercles, braiser –plats à cuire) ...stockage et transports des boissons (amphores régionales à vin et huile dans une moindre mesure (quelques rares Dr20).

De manière peut être anecdotique, on peut souligner la présence d'au moins une marmite de type ESN Ma3 de très grande taille (à usage collectif).

Le mobilier autre que la vaisselle :

Quelques éléments autres que la vaisselle ont été identifiés. Un fragment de tuyau en terre cuite (mâle) probablement gallo-romain, dont le diamètre à l'ouverture correspond à ceux utilisés pour l'adduction d'eau constitue une découverte notable qui demanderait à être confirmée dans un contexte de fouille, pour pouvoir être interprétée. Elle induit peut-être un aménagement de type aqueduc et des besoins en eau particulier.

Deux bords de creusets ont été reconnus, sans que des traces d'utilisation aient été distinguées.

4.8.4. Conclusion.

En guise de conclusion, si l'exploitation de ces données de prospections reste difficile en l'absence de contexte archéologique précis, ce lot conséquent nous indique que le secteur est occupé de manière soutenue et continue entre les années 175 et 375 ap. J.-C. et probablement jusqu'au milieu du V^e s. Cette occupation correspond à de l'habitat pérenne et non ponctuel ou saisonnier, puisque l'ensemble de la batterie de cuisine est disponible ainsi que la vaisselle de service. La présence de creuset renvoie à une activité artisanale sans que l'on puisse déterminer s'ils ont été utilisés. Plus étonnante, l'identification d'un tuyau d'alimentation en eau potable est intéressante. Enfin, la période de l'Antiquité Tardive est très bien reconnue sur le secteur et livre de nombreux témoins d'occupation, notamment au travers de la vaisselle fine. Seule une fouille ou un prélèvement plus rigoureux du mobilier permettrait de préciser la nature de l'occupation et de confirmer ou infirmer l'absence de certaines formes liées à la boisson, qui reste un élément surprenant.

4.9. Une esquisse d'évolution chronologique des activités sidérurgiques en Puisaye.

Marion Berranger

4.9.1. De premiers éléments pour caractériser l'évolution des activités sidérurgiques

Les résultats des travaux menés depuis 2017 permettent de poser de premiers jalons concernant la chronologie et la nature des exploitations sidérurgiques en Puisaye, grâce à l'étude de près de 80 amas de déchets isolés et répartis au sein de deux « zones ateliers » localisées dans le nord et le sud de cet espace.

Les résultats des études macroscopiques menées sur les déchets scorifiés des différents secteurs actuellement pris en compte, montrent la pertinence de l'adoption d'une typologie commune au moins à l'échelle de la Puisaye. En effet, les mêmes types de déchets se retrouvent sur les différents sites étudiés ce qui permet de les comparer entre eux.

Des groupes d'assemblages typologiques de déchets s'individualisent nettement et reflètent très certainement des changements dans la conduite et/ou le fonctionnement des fourneaux de réduction, mais probablement aussi dans les processus de réduction eux-mêmes, voire dans la nature des matières premières utilisées (minerais). A un stade très sommaire de caractérisation on note ainsi une distinction entre des groupes de scories majoritairement cristallisées (types A et B) et d'autres majoritairement vitreuses (types C et D), qui peuvent être corrélées avec des teneurs en oxydes de fer très différenciées.

Ces différents groupes sont d'autre part corrélés à des chronologies distinctes.

Les datations radiocarbone ont permis de déterminer l'ancienneté de l'exploitation sidérurgique dans le secteur, insoupçonnée avant les présents travaux. Cette dernière débiterait ainsi vers les VI^e-V^e s. av. J.-C.

Les techniques les plus anciennes sont représentées par les assemblages de scories au sein desquels prédominent les scories piégées de type (F). Les prélèvements effectués sur 12 sites, à Montholon, Saint-Fargeau et sur plusieurs amas étudiés de manière ponctuelle fournissent des résultats cohérents. Ce type de déchet est plutôt caractéristique des périodes les plus anciennes,

comprises entre le VI^e et le III^e s. av. J.-C. La typologie de ces déchets est à rapprocher des bas fourneau à scorie piégée à utilisation unique ou multiple attestés durant ces mêmes phases chronologiques (Cabboi *et al.* 2007, Berranger *et al.* 2017). 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 romaine.

Un changement de technologie semble intervenir au milieu du II^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) et sur certains sites par la présence de scories de type A5, en boudins accolés correspondant à des déchets exceptionnels par leur masse et volume. A partir du I^{er} s. ap. J.-C. ces déchets sont associés de manière plus ponctuelle avec des scories mixtes, à base cristallisée et partie supérieure vitreuses (type C) ou alors totalement vitreuses (type D). Ce type d'assemblage de déchets est connu jusqu'au début du III^e s. ap. J.-C. Cette chronologie et ce type d'assemblage caractérisent la plupart des amas étudiés dans le secteur de Montholon et environ un quart de ceux étudiés à Saint-Fargeau. Dans ce dernier secteur cependant les scories vitreuses sont absentes.

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 cette année 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.

Une troisième phase de production, comprise entre la deuxième moitié du I^{er} s. ap. J.-C. et le début du IV^e s. ap. J.-C. est caractérisée par la prédominance de scories vitreuses (type D) associées à une moindre quantité de scories cristallisées ou à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (type C). Bien que ce type d'assemblage n'ait été à ce stade échantillonné que dans le secteur de Montholon, des scories vitreuses sont connues depuis longtemps dans d'autres secteurs de la Puisaye (Bouthier 1996, Piétak *et al.* 2012). Une scorie vitreuse, provenant de Dracy « Ferrier Guillou n°2 », dans le centre de la Puisaye, avait d'ailleurs déjà été datée dans les années 2000 et fournit le même intervalle chronologique entre 94 et 316 CalAD (Piétak *et al.* 2012, tabl. 1).

La fin du I^{er} s. ap. J.-C. et le début du III^e s. ap. J.-C. pourrait correspondre à une période de « transition » entre deux types de techniques. L'imprécision de la méthode radiocarbone ne permet néanmoins pas de déterminer si ces deux techniques se sont succédées rapidement dans le temps ou ont été utilisées de manière conjointe sur une longue durée.

En l'état de la documentation, un hiatus entre la fin de l'Antiquité et le début de l'époque carolingienne est constatée.

A ce stade, le début du Moyen âge et le Moyen âge classique (VIII^e au XIII^e) sont représentés par les mêmes types d'assemblages de déchets au sein desquel prédominent les scories écoulées cristallisées aux limites marquées (type A1). Ce type de déchet est connu aussi bien dans le

secteur de Montholon que de Saint-Fargeau. Le bas Moyen âge (XIV-XVe), pour le moment uniquement connu à partir d'un amas du Bois de Bailly à Saint Fargeau livre un nouveau type de scories cristallisées, très bulleuses (type B1).

Au moins cinq grands phases techniques et chronologiques peuvent ainsi être distinguées entre le VI^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 telle que présentée chapitre 4.5, mais aussi archéométrique (pétrographique et chimique). Celle-ci a débuté mais il est encore trop tôt pour en présenter une synthèse.

A terme il s'agit également d'appréhender l'organisation des activités sidérurgiques à l'échelle du site mais également de reconnaître leur implantation régionale. Les données disponibles permettent déjà d'établir quelques constats. Le corpus de sites étudiés ces dernières années semble mettre en évidence une production groupée dès les périodes les plus anciennes. A partir du secteur de Saint-Fargeau « Bois de Bailly » on constate ainsi la juxtaposition d'amas principalement attribués aux IV^e-III^e s. av. J.-C., seulement distants de quelques centaines de mètres (4 sites datés de ces périodes par C14, sur 18 amas présentant des caractéristiques identiques répartis sur un espace d'environ 2 km²). L'incertitude de la calibration radiocarbone ne permet pas à ce stade de déterminer si ces sites ont fonctionné de manière contemporaine ou s'ils se sont succédés dans le temps, même de manière chronologiquement rapprochée. Il s'agit d'amas d'ampleur limitée, ne dépassant généralement pas 30 mètres de diamètre, pour une épaisseur conservée inférieure à 1 m.

Dans le secteur de Montholon on constate une continuité d'exploitation entre la fin de l'époque gauloise et le début de l'Antiquité (comme à partir de l'amas 89.003.020 du secteur de Montholon). Cette caractéristique a déjà été observée à partir des ateliers des Clérimois « Les Fouetteries » dans le Pays d'Othe, au nord de la Puisaye (Dunikowski, Cabboi 1995).

A Montholon, la production sidérurgique connaît un développement particulièrement important durant la période Antique avec une multiplication des lieux de production. Les dimensions des amas sont généralement bien plus imposantes, certains couvrant plusieurs centaines de mètres en plan et pouvant atteindre une dizaine de mètres de haut. La longue durée d'utilisation des « gros » 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 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.

La période des V^e-VII^e n'est actuellement pas attestée en Puisaye et le Moyen âge est la moins documentée par les travaux actuels. Il s'agit sans aucun doute d'un biais de nos recherches. Les résultats des travaux menés ces deux dernières années permettent de reconnaître certaines spécificités de ces sites plus récents : amas de ne dépassant pas la dizaine de mètres de diamètre pour une épaisseur inférieure à 50 cm, forte densité de scories prises dans un encaissant noir. Il est possible que ces sites se soient répartis de manière plus lâche que précédemment, ce qui expliquerait leur sous-échantillonnage. Il est également possible que les secteurs que nous avons étudiés n'aient pas touché les zones où se concentrait cette production plus tardive.

4.10.2 Perspectives.

Les avancées permises par les travaux de terrain menés sur seulement trois années sont encourageantes et nous incitent à poursuivre en fonction des mêmes méthodologies. Nous envisageons ainsi d'étudier une troisième « zone-atelier », située cette fois-ci au centre de la Puisaye, sur les parcelles de forêts publiques de la commune de Villiers-Saint-Benoît. Jean-Pierre Piétak y a déjà identifié au moins une quinzaine d'amas. Nous reconduirons la méthodologie déjà adoptée dans le cadre des prospections pédestres précédentes : enregistrement topographiques des amas, prélèvements de scories et de charbons en vue de caractérisations typologiques et de datations.

Nous souhaitons parallèlement commencer à approfondir l'étude d'un atelier de réduction à travers une fouille. Pour ce faire nous avons sélectionné un des amas protohistoriques de Saint-Fargeau « Bois de Bailly » (89.344.040 – daté par C14 entre -400 et -200). Facilement accessible car situé en bordure d'un chemin actuel, de taille relativement modeste (20 m de diamètre) et avec une faible épaisseur de recouvrement envisagée (une cinquantaine de centimètres d'après les coupes rendues accessibles par l'aménagement de chemins) il s'agit d'un candidat privilégié pour envisager une fouille en aire ouverte. Nous souhaiterions à partir de cette dernière déterminer les dynamiques de formation de l'amas, au sein duquel les scories sont très fragmentées et peu abondantes, et étudier le(s) type(s) de bas fourneau utilisé(s). Nous souhaitons également déterminer le nombre d'ateliers ayant conduit à la constitution de ce type d'amas, et reconnaître la nature des structures associées, qu'elles soient métallurgiques ou non.

Cette fouille sera précédée par des prospections magnétiques (appareil envisagé GRAD601 de type Fluxgate de chez Bartington Instrument) réalisées par Christelle Sanchez et Matthieu Thivet du laboratoire Chrono-environnement-UMR6249-CNRS.

Les travaux en laboratoire, centrés sur l'étude microscopique et chimique des déchets doivent encore se poursuivre. Les caractérisations microscopiques concernent actuellement les déchets collectés dans le secteur de Montholon (18 scories déjà analysées), car il s'agit de la zone qui a livré la plus grande variété typologique de déchets. Les caractérisations chimiques ont débuté sur l'ensemble des sites (80 analyses déjà effectuées ou en cours).

L'étude des minerais a seulement débuté et les premiers résultats issus de l'exploitation de la documentation actuelle ont été présentés précédemment (chap. 4.7.). Leur caractérisation multiméthode devrait être approfondie en 2020, à l'occasion d'un stage de géologie

(encadrement F. Choulet, laboratoire Chrono-environnement) et devrait se baser sur des analyses pétrographiques, par Florescence X et au Raman, d'une dizaine de déchets. La poursuite de ces travaux, par un master couplant analyses de laboratoires, travaux de terrain et expérimentations, est souhaitée. Une première approche des minerais dans leur environnement géologique pourrait être effectuées à partir de carrières encore actuellement en exploitation (secteur de Saint-Amand-en-Puisaye) et des affleurements visibles en forêt.

Depuis le début du PCR un axe paléoenvironnemental intègre les travaux menés sur la Puisaye et est coordonné par O. Girardclos (Chrono-environnement-UMR6249). Dans cet axe, l'identification des restes de charbon permet de remplir les objectifs classiques de connaissance de la diversité taxonomique de la végétation ligneuse exploitée. Le protocole intègre dès la phase de terrain une démarche plus 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). Il est particulièrement intéressant de décrire ces ressources vis-à-vis de la technicité des processus, mais aussi en rapport avec une demande en volume probablement forte pour un secteur où les amas de scories sont nombreux. Lors des opérations de sondages de ces dernières années, plusieurs séries de prélèvements ont ainsi été réalisés en stratigraphie sur des amas pour lesquels nous disposons de datations radiocarbone. Un premier travail de comparaison (chap. 4.7) des taxons issus de trois amas du secteur de Montholon / Aillant-sur-Tholon, présentant des chronologies différentes a ainsi été réalisé cette année par O. Girardclos et R. Jeannot (recruté sur un mois). Ces travaux ont notamment mis en évidence des choix différents en fonction de la chronologie. Cette approche doit se poursuivre et des moyens spécifiques ont été demandés pour 2020. 1 mois d'étude mobilisant Olivier Girardclos et Sylvie Coubret de l'INRAP, deux spécialistes en dendrochronologie et en anthracologie qui ont déjà publié conjointement des travaux de dendro-anthracologie est ainsi prévu.

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. Les fouilles menées en 2018 à Montholon 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 cette année par Sylvie Mouton-Venault (chap. 4.9.) 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 des recherches actuelles les indices rassemblés sur les habitats sont encore ponctuels et fragmentaires, mais ils peuvent constituer la base d'une thématique que les archéologues spécialistes de l'étude du bâti et du territoire pourront s'approprier. Ce travail préparatoire pourrait ainsi permettre d'identifier des parcelles où pourraient être conduites des prospections géophysiques, voire des sondages ou fouilles, afin de préciser l'importance de ces espaces occupés, ainsi qu'éventuellement leur nature et importance.

5. Le Morvan-Auxois : résultats des travaux 2019

Fiche signalétique

Localisation des opérations

Région : Bourgogne-Franche-Comté

Département : Côte d'Or (21)

Lieu-dit sondé : Saint-Didier, Chaume Guillemain

Communes concernées par les prospections : La Roche-en-Brenil, Saint-Germain-de-Modéon, Montlay-en-Auxois, Saint-Didier, Thoisy-la-Berchère, Thoste, Vic-de-Chassenay.

Coordonnées géographiques des sondages (Lambert 93)

Sondage 1 : x = 786 463 ; y = 6 691 159

Sondage 2 : x = 786 459 ; y = 6 691 136

Références cadastrales de la parcelle sondée

Commune : Saint-Didier

Section et parcelle : section D, parcelle 146

Propriétaire du terrain sondé

Mme PLESSIS Evelyne,

Chaume Guillemain

21210 Saint-Didier

Références des opérations

Numéro d'arrêté d'autorisation de prospections et sondages : 2019-508 du 23 Juillet 2019

Responsable scientifique de l'opération

Rémy Jeannot,

20, rue des Fontenottes

25 000 Besançon

Organisme de rattachement

Laboratoire Métallurgies et Cultures,

Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

90010 Belfort Cedex

Dates d'intervention

12/08/2019 au 23/08/2019

Résultats

Épaisseur de la stratification du site sondé : 1 m

Nature des vestiges : amas de déchets sidérurgiques

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 : Rémy Jeannot, Hervé Laurent, Valéry Loisier, Marion Berranger

Prospections et sondages : Rémy Jeannot, Sébastien Lammouchi, Thomas Mairey
Études et rédaction du rapport : Rémy Jeannot, Marion Berranger

Remerciements

Nous remercions vivement M. Valéry Loisier, maire de Saint-Germain-de-Modéon, pour l'aide apportée tant lors des phases préparatoires que sur le terrain. Son rôle de « facilitateur » a été déterminant lors de cette campagne de prospections et de fouilles archéologiques.

Sauf indication contraire toutes les illustrations de ce chapitre ont pour auteur Rémy Jeannot.



PRÉFET DE LA RÉGION BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

Arrêté n° 2019 - 508 du 23 juillet 2019
portant autorisation de prospections et de sondages ponctuels

Le Préfet de région ;

Vu le code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté préfectoral n°18-80 BAG du 1 juin 2018 portant délégation de signature à Madame Anne MATHERON, directrice régionale des affaires culturelles ;

Vu l'arrêté du 8 juillet 2019 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272019000106, de demande d'opération archéologique, reçu le 19 juillet 2019 ;

ARRÊTE

Article 1 - Monsieur Rémy JEANNOT est autorisé, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de prospections et de sondages ponctuels (prélèvements), à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 août 2019, sise en :

Région : Bourgogne-Franche-Comté

Département : Côte-d'Or

Commune : Montlay-en-Auxois

Lieudit : Le Bois d'Eguilly

Cadastre : E 144

Commune : La Roche-en-Brenil

Lieudits : En Lécussy / Les Lavois / Prés de Presle / Le Château de Vermon / Pré Meugean / Montchailion / Forêt Ronde / Le petit Pré / Les Grands Adieux / Comes Têtes / Clermont / Les Prés Fleuris / Champagne / Champs de la Croix / Etang de Villerin / Les Commottes / Les Loppées / La petite Vérille / Prés Quenaudey / Les Cloisieaux / Le Boulois

Cadastre : AO 5, 12 / C 198 / E 2, 251 / P 194, 25, 206, 205 / M 224, 160 / O 165, 166 / H 52, 175 / E 144 / P 194, 25, 206, 205, 84, 85 / G 5

Commune : Saint-Didier

Lieudit : La Forrandière

Cadastre : D 146

Commune : Saint-Germain-de-Modéon

Lieudits : Gué du Piéché / Gué des Beaumes / Les Laumes / Les Prés Ferdet / Le pleicheix / La Charmée / Les Grands Vernats

Cadastre : C 168 / G 1, 34, 57 / B 264 / A 84

Commune : Thoisy-la-Berchère

Lieudit : Chaudmain

Cadastre : A 26

Commune : Thoste

Lieudit : Bois du Champ Rouge

Cadastre : B 91

Commune : Vic-de-Chassenay

Lieudit : Combe du Four

Cadastre : ZW 3

Intitulé de l'opération : Prospections et sondages ponctuels pour prélèvements, dans le cadre du PCR « La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté, avant le haut-fourneau » (responsable : Marion Berranger).

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

Code de l'opération : **043549**

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 informera régulièrement le conservateur régional de l'archéologie de ses travaux et découvertes. Il lui signalera 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 intégrera, dans le rapport général du PCR « La sidérurgie en Bourgogne et en Franche-Comté, avant le haut-fourneau », son propre 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 sera annexé au rapport d'opération. Il signalera les objets d'importance notable. Il indiquera 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

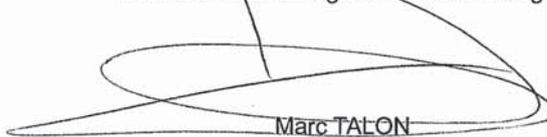
L'intégralité des archives accompagnée d'une notice explicitant son mode de classement et de conditionnement et fournissant la liste des codes utilisés avec leur signification, fait l'objet de la part du responsable de l'opération d'un versement unique. Ce versement est détaillé sur un bordereau récapitulatif 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 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Monsieur Rémy JEANNOT.

Fait à Dijon, le **23 JUIL. 2019**

Pour le Préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté,
et par délégation,

Pour la Directrice régionale des
affaires culturelles, et par subdélégation,
Le Conservateur régional de l'archéologie



Marc TALON

5.1. Introduction

Rémy Jeannot

Les travaux entrepris cette année sur le secteur du Morvan-Auxois s'inscrivent dans la suite des opérations réalisées dans le cadre du PCR depuis 2014, en s'attachant à documenter un district sidérurgique ciblé, afin d'en déterminer l'importance, de comprendre ses dynamiques chronologiques et ses caractéristiques technologiques et chimiques.

Parmi les districts de production sidérurgique primaire présents dans la région, le Morvan est l'un de ceux qui bénéficiait des connaissances les plus importantes avant le lancement de ces recherches récentes. En effet, les travaux initiés par le Professeur Michel Mangin entre 1982 et 1990 (Mangin 1984, Mangin *et al.* 1986, 1992) avaient déjà permis une approche très approfondie de cette région et la constitution d'un large inventaire répertoriant les sites de réduction ou d'extraction des minerais. Il se basait alors sur une approche réunissant enquêtes orales, prospections aériennes, prospections pédestres, sondages et fouilles archéologiques. Ces recherches avaient été initiées afin de « *rechercher et étudier la région sidérurgique possible d'où pouvait provenir éventuellement une partie des produits bruts transformés dans l'oppidum puis ville gallo-romaine d'Alésia* » (Mangin *et al.* 1992). Ce secteur bénéficiait de délimitations bien établies, d'une riche documentation ancienne livrée par en particulier J.-M. Gueux (Gueux, 1872) et une étendue limitée de 400 km², des caractéristiques permettant une approche globale du district.

Dans le cadre de ce travail publié en 1992 une première approche typo-chronologique des sites, en fonction de leur positionnement topographique, avait été esquissée. Elle avait été couplée avec un large faisceau d'analyses chimiques et une réflexion globale concernant l'organisation territoriale du district, ses liens avec l'habitat et les modalités d'accès aux ressources minières.

Le dossier, tel qu'il a été laissé après la publication de synthèse de 1992 (Mangin *et al.* 1992), a servi de base aux travaux engagés dans le cadre du PCR ces dernières années par Hervé Laurent et Sylvie Laurent-Corsini : reprise informatique de l'inventaire, vérifications sur sites avec M. Mangin. Ces derniers ont ainsi fourni une donnée déjà mise en forme et prête à être remobilisée sur le terrain dans le cadre des prospections de cette année.

La campagne de prospections qui fait l'objet de ce rapport s'est quant à elle donnée pour objectif de compléter ces informations par la documentation des amas de scories et la réalisation de prélèvements de charbon et de scories sur un large éventail de sites issus de l'inventaire déjà disponible. En tout, une quarantaine de sites ont été ciblés par ces prospections. Sur ce total, 27 ont été retrouvés ou ajoutés et documentés sur le terrain ; parmi ces derniers, 16 ont pu livrer des restes de charbons en contexte fiable, qui pourront servir à l'établissement d'une date approximative de fonctionnement des ferriers par la méthode du 14C (figure 99). Un sondage ponctuel a en outre été mené sur l'un des amas de scories prospectés, dont l'organisation semblait complexe, afin de permettre le prélèvement de charbons dans des niveaux non perturbés et de renseigner la stratigraphie de l'accumulation. Ce dernier avait déjà fait l'objet de nettoyages de la part de l'équipe de M. Mangin.

5.2. État des connaissances avant l'opération : chronologie et géologie

Comme il a été évoqué ci-dessus en introduction, cette campagne s'appuie sur une importante masse de données issue des travaux de l'équipe de M. Mangin, que ce soit la localisation et l'identification des sites, les prélèvements de scories effectués anciennement et de premières datations.

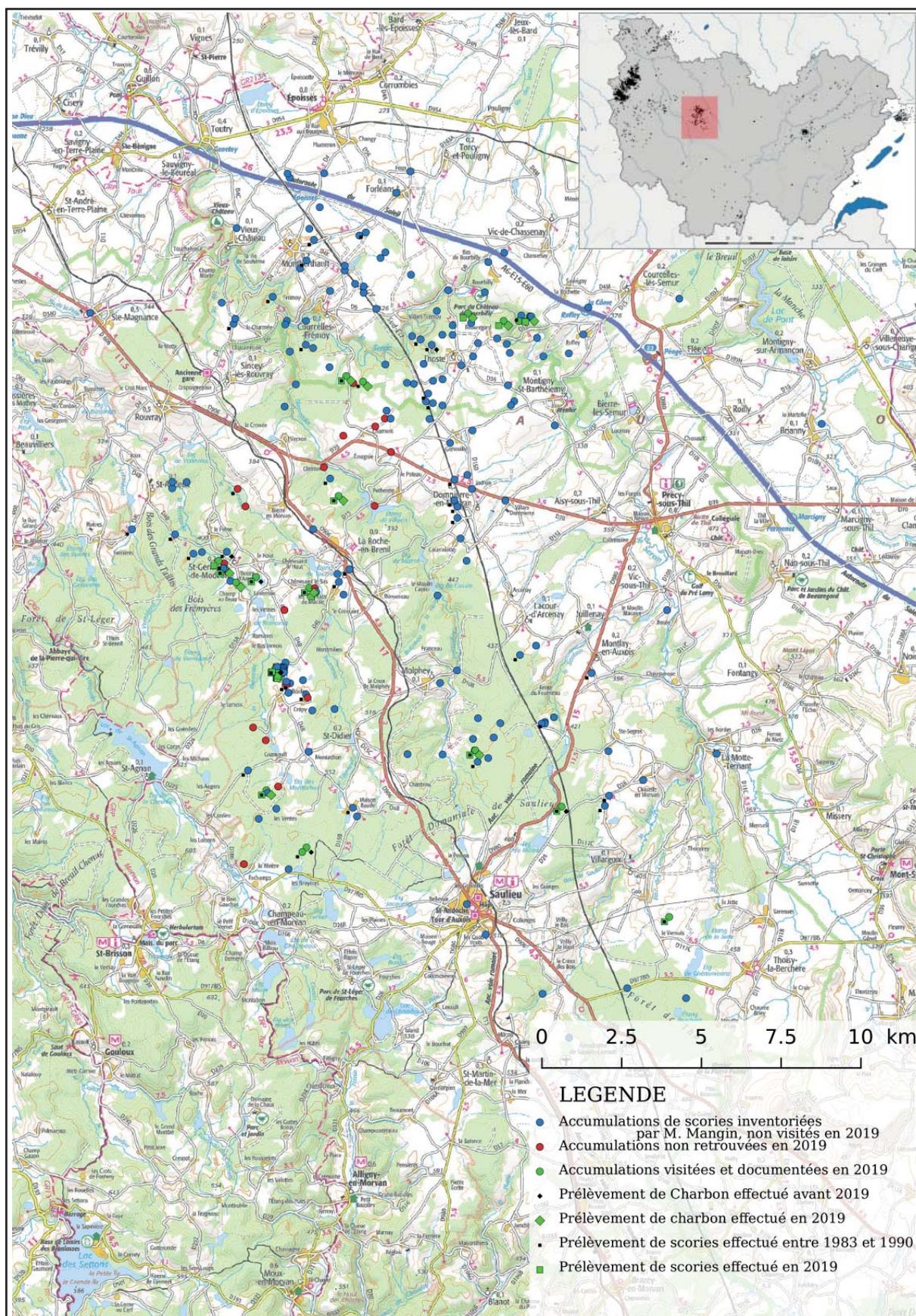


Figure n°99. Carte générale du Morvan-Auxois : état de la documentation des sites à l'issue de la campagne 2019. Fond de carte : IGN

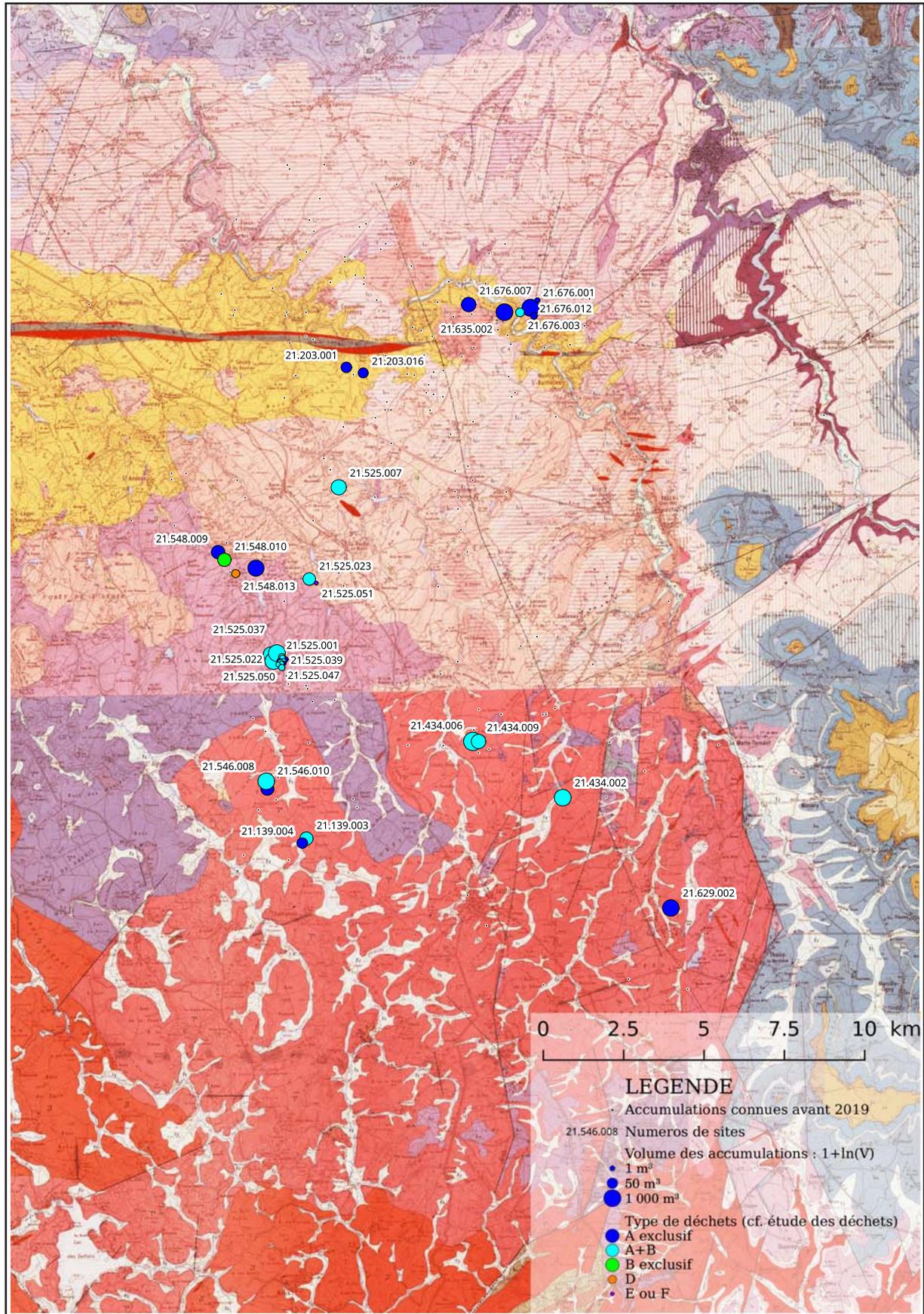


Figure n°100. Carte générale du Morvan-Auxois : volume et types de déchets composant les sites prospectés en 2019. Fond de carte : BRGM

Seuls deux sites avaient été datés par 14C pour la publication de 1992 (fig. 101), En Lécussy-21.525.022 dont la datation calibrée donne une fourchette chronologique située entre 1043 et 1392 CalAD et Comme Philippe-21.635.029, qui livre une fourchette encore plus large comprise entre 20 CalAD et 527 CalAD. Sans qu'il soit question d'invalider ces premiers résultats, le peu de précision de ces datations ne permettait pas l'établissement d'une réflexion globale concernant le fonctionnement de l'économie du fer à l'échelle du Morvan-Auxois.

N° site	Commune	Lieu-dit	N° inventaire	Age C14 BP	Age calibré (95,4%)	Année datation	Ref. laboratoire	Commentaire
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	En Lécussy	21.525.1.65	920±30	1028 - 1184 CalAD	2015	Lyon-12505 (GrA)	
21.525.022	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	En Lécussy		770±80	1043 - 1392 CalAD	1992	Ly-3566	Publié en 1992 (Mangin et al., 1992)
21.635.029	THOSTE	Comme Philippe/Larré Charbonneau		1795±100	20 CalBC - 257 CalAD	1992	Lyon-12504 (GrA)	Publié en 1992 (Mangin et al., 1992)
21.548.007	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Le Bonjan	21.548.7.55	845±30	1058 - 1262 CalAD	2015	Lyon-12507 (GrA)	
21.139.003	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	21.139.3.01	1435±30	571 - 655 CalAD	2015	Lyon-12504 (GrA)	
21.548.001	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Les Courtis	21.548.01.55	1790±30	133 - 330 CalAD	2015	Lyon-12506 (GrA)	Charbon quelconque - n° date refaite (21.548.01.56)
21.548.001	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Les Courtis	21.548.01.56	1670±30	258 - 428 CalAD	2016	SacA-46995	nouvelle date charbon dans scorie
21.548.001	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Les Courtis	21.548.001.C57			2020 - en cours	ARTEMIS	Prélevé dans scorie interne, baguelette avec aubar
21.548.014	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué du Pléché	21.548.014.C1			2020 - en cours	ARTEMIS	Branchette, cambium
21.434.002	MONTLAY-EN-AUXOIS	En Nicerteau	21.434.002.C3			2020 - en cours	ARTEMIS	Branchette, cambium
Datations à prévoir								
21.139.003	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte						Charbon dans sédiment
21.203.001	COURCELLES-FREMOY	Chaume de Montfargeon						Charbon dans scorie
21.203.016	COURCELLES-FREMOY	Caval le Pendar de Béze						Charbon dans sédiment
21.434.002	MONTLAY-EN-AUXOIS	En Nicerteau						Charbon dans sédiment
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Équilly						Charbon dans scorie
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy						Charbon dans sédiment
21.525.007	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Grands Adieux						Charbon dans scorie
21.525.022	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy						Charbon dans sédiment
21.525.023	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées						Charbon dans scorie
21.525.037	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy						Charbon dans sédiment
21.548.008	SAINT-DODIER	Chaume Guillemain						Charbon dans sédiment et scories
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Besumes						Charbon dans scorie
21.548.013	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	La Charmée						Charbon dans scorie
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge						Charbon dans scorie
21.676.001	VIC-DE-CHASSENEY	La Forêt						Charbon dans scorie
21.676.007	VIC-DE-CHASSENEY	Combe du Four						Charbon dans sédiment

Figure n°101. Listing des prélèvements de charbons effectués pour datations 14C sur le Morvan-Auxois.

Ce constat avait déjà poussé, ces dernières années, H. Laurent, S. Laurent-Corsini et M. Mangin, avec l'aide de Valéry Loisier, maire de Saint-Germain-de-Modéon, à reprendre la datation de six sites clef du secteur (Laurent & Laurent-Corsini, in Berranger (dir), 2018, p. 33 et voir figure 101). Alors que dans les années 1990, une grande partie du district avait été attribuée à l'époque romaine, en se basant largement sur les rapprochements entre ferriers et habitat, les datations radiocarbone actuelles se rattachent plutôt à l'Antiquité tardive et au Moyen âge. La question de la chronologie reste ainsi actuellement ouverte, compte tenu du faible échantillon de sites ayant bénéficié de datations 14C récentes, comparée à l'étendue du district. L'inventaire des datations 14C, terminées ou en cours, est présenté dans le tableau 1@, aux côtés des datations à prévoir suite aux travaux de terrain menés cette année.

Le tableau de la figure 114 présente une liste des prélèvements de scories, minerais, parois etc recueillis par les équipes de M. Mangin et actuellement stockés au Laboratoire Métallurgies et Cultures ; ces prélèvements devront toutefois encore faire l'objet d'une quantification afin de déterminer si leur étude, en complément des travaux menés cette année, pourrait être envisagée. Ils constituent aussi un large ensemble qui pourrait servir dès à présent à la reprise de la caractérisation chimique du secteur. En effet, même si un large volet d'analyses chimiques avait été mis en œuvre entre 1983 et 1987, puis entre 1988 et 1990, ces études doivent être actuellement reprises avec les moyens d'analyse actuels.

Les travaux dirigés par M. Mangin se sont largement intéressés aux caractéristiques géologiques du Morvan-Auxois et permettent de dresser un portrait de la région sous l'angle des ressources minérales, de leur exploitation et des relations entre ces exploitations et les sites de réduction. Le but n'étant pas ici de reproduire une longue réflexion, disponible ailleurs, sur les minerais potentiels, les minerais effectivement utilisés et leur modes d'extraction, cette présentation se résumera ici à une approche simplifiée.

« Zone sédimentaire sinémurienne et rhétionne de l'Auxois avec ses limons ferrugineux ; plateau de Thoste et son minerai Hettangien en couche ; Morvan cristallin avec ses minéralisations dans les diaclases dans les plateaux et ses lambeaux Hettangien subsistant localement » (Mangin et al., 1992, p.20). C'est en ces termes qu'était résumée la géologie du district dans la publication de synthèse de 1992. Cette description met en lumière non seulement les trois ensembles géologiques sur lesquels se développe le district, mais aussi les minerais disponibles dans ces zones.

Ainsi, la zone de l'Auxois, au Nord-Est du district, livre deux types de minerais, minerai pisolitique et sous forme de concrétions ferrugineuses, qui ont été non seulement observés à travers la réalisation de sondages pédologiques, mais aussi en contexte archéologique sur les sites de réduction.

La zone intermédiaire du plateau de Thoste, livre non seulement des affleurements de minerai sédimentaire (lumachelle ferrugineuse, dans les niveaux de l'Hettangien) dont des éléments ont été retrouvés sur les sites de réduction, mais aussi des pisolites et des concentrations ferrugineuses non solidifiées dans les terrains issus de l'altération de ce niveau.

Enfin, la zone du Morvan cristallin n'a pas livré de preuves archéologiques de l'utilisation de minerai filonien issu d'extraction in situ, mais l'hypothèse de l'extraction et de l'utilisation d'un minerai de ce type est soutenue par un large faisceau de présomptions (typologie des scories, site potentiels d'extraction en chaos artificiels de blocs granitiques, attestation de la présence de filons ferrugineux ; Mangin (dir), 1992, p.140). L'utilisation ponctuelle de minerai pisolitique issus des alluvions modernes est supposée à plusieurs endroits (Mangin, 1984, p. 113).

Ces trois zones géologiques sont illustrées dans la carte jointe (fig. 100).

5.3. Méthodologie et déroulement de l'opération

Les prospections réalisées en 2019 se sont d'abord centrées sur les communes de La-Roche-En-Brenil et de Saint-Germain-de-Modéon, situées toutes deux au centre du district sur des terrains du Morvan cristallin. L'objectif était d'adopter une démarche de prospections systématiques sur ces communes, afin de tenter de documenter tous les sites répertoriés par M. Mangin dans années 1990. Elles ont ensuite ciblé les amas de déchets les mieux conservés et les plus volumineux dans un secteur élargi et ont ainsi inclus les communes de Montlay-en-Auxois, Saint-Didier, Thoisy-la-Berchère, Thoste et Vic-de-Chassenay.

Le travail de prospections a été réalisé par une équipe de trois personnes sur deux semaines, en couvrant à pied, espacés de 5 à 20 mètres, les zones sur lesquelles des amas de scories étaient répertoriés. Des échantillons de scories ont ensuite été prélevés ponctuellement en surface, ainsi que des charbons issus soit des scories après fracturation, soit du sédiment composant l'amas lorsque les scories ne contenaient pas de charbons.

Il est à noter que de nombreux sites, en particuliers les amas de déchets étalés, n'ont pas été retrouvés sur le terrain en se basant sur l'inventaire de M. Mangin. Cela s'explique en grande partie par l'imprécision de certaines coordonnées (parfois plus de 100 m de décalage observé) et par la faible visibilité sur le terrain (zones de fourrés difficilement pénétrables, zones d'abattages récents recouvertes de sciure, de débris de bois et de ronces, ou prés en herbe sans taupinières).

5.4. Résultats archéologiques.

5.4.1. Structures relevées en prospections

L'ensemble des structures relevées en prospections est décrit dans les lignes suivantes sous la forme de fiches-sites ; elles sont liées à l'inventaire des déchets joint en annexe 2.1 par leur numéro de site. Les coordonnées x et y sont données en Lambert 93.

CHAMPEAU-EN-MORVAN « Bas de la Fiotte » - Site n° 21.139.003

Coordonnées : X : 787720 Y : 6689352

Petit ferrier d'environ 15 x 15 x 1 m, scories peu nombreuses (30% env.) dans un limon sableux noir. Les scories prélevées appartiennent en majorité aux types A1 et B2. Ce ferrier apparaît conforme aux observations de M. Mangin.

CHAMPEAU-EN-MORVAN « Bas de la Fiotte » - Site n°21.139.004

Coordonnées : X : 787589 Y : 6689209

Petit ferrier d'environ 10 x 10 x 0,5 m. Scories peu concentrées (30%) dans une terre sableuse noire.

Les scories de type A1 sont majoritaires. M. Mangin note la présence de « briques de fourneau ».

COURCELLES-FRÉMOY « Chaume de Montforgeon » - Site n°21.203.001

Coordonnées : X : 788966 Y : 6704168

Ferrier étalé en champs labouré, environ 50 x 50 x 0 m. Forte concentration de grosses scories au centre de l'épandage. Les scories prélevées sont en majorité des types A1 et E1.

COURCELLES-FRÉMOY « Civral le Pendant de Bèze » - Site n°21.203.016

Coordonnées : X : 789490 Y : 6703993

Petit ferrier étalé, d'environ 25 x 15 x 0,2 m, le long du ruisseau. Scories peu concentrées (30%) dans une terre noire-brune. Les scories de type A1 sont majoritaires.

MONTLAY-EN-AUXOIS « En Nicerteau » - Site n°21.434.002

Coordonnées : X : 795713 Y : 6690637

Ferrier très bien conservé en dôme, d'environ 60 x 25 x 1,5 m. Les conditions d'accès et de visibilité étaient assez difficiles, la parcelle étant en friche épaisse. Les scories prélevées sont des types A1 et B.

MONTLAY-EN-AUXOIS « Le Bois d'Éguilly » - Site n°21.434.006

Coordonnées : X : 792991 Y : 6692406

Grand ferrier conservé dans une pente ; deux accumulations se distinguent. L'ensemble mesure environ 90 x 40 x 2 m. Des scories des types A1 et B2 y ont été prélevées.

MONTLAY-EN-AUXOIS « La Molachère » - Site n°21.434.009

Coordonnées : X : 793009 Y : 6692404

Ferrier bien conservé, placé dans une pente, env. 30 x 20 x 1 m. Les scories prélevées sont des types A1 et B2.

LA ROCHE-EN-BRENIL « en Lécussy » - Site n°21.525.001

Coordonnées : X : 786760 Y : 6694990

Petit ferrier en croissant d'environ 10 x 15 m. Il semble très bien conservé, en culminant à près de deux mètres de haut. Le site a fait l'objet de sondages de la part de M. Mangin (Mangin et al, 1992, p, 276), qui a ainsi documenté plusieurs fourneaux. Les scories prélevées sont des types A1 et B2 ou D2.

LA ROCHE-EN-BRENIL « Les Grands Adieux » - Site n°21.525.007

Coordonnées : X : 788727 Y : 6700398

Ferrier étalé en champs labouré, d'environ 80 x 60 m. L'observation de ce ferrier sur le terrain fait apparaître une différence de taille notable avec la description de M. Mangin, qui lui donnait 200 m de diamètre. Les scories prélevées sont en majorité des types A1 et B2.

LA ROCHE-EN-BRENIL « en Lécussy » - Site n°21.525.022

Coordonnées : X : 786768 Y : 6695013

Ferrier en deux amas d'environ 25 x 40 x 2 m. Les scories observées sont de deux types, A1 et B2.

LA ROCHE-EN-BRENIL « Les Loppées » - Site n°21.525.023

Coordonnées : X : 787807 Y : 6697514

Ferrier posé sur un monticule de terre le long du chemin, d'environ 20x25x1 m. Les scories prélevées sont des types A1 et B2.

LA ROCHE-EN-BRENIL « en Lécussy » - Site n° 21.525.037

Coordonnées : X : 786797 Y : 6695025

Petit ferrier étendu en long, d'environ 20 x 4 m pour 1 m d'épaisseur conservée. Certainement une partie du site "En Lécussy » de M. Mangin. Les scories prélevées sont des types A1 et B2.

LA ROCHE-EN-BRENIL « Les Commottes » - Site n° 21.525.038

Coordonnées : X : 786954 Y : 6694984

Au lieu-dit « Les Commottes » ont été repérées toute une série de petites accumulations de scories étalées, de 3 à 10 m de diamètre, sur un espace de 200 m de diamètre ; elles ont chacune reçu un numéro différent, mais font probablement partie du grand site documenté par M. Mangin à cet endroit.

Sites individualisés :

21.525.039, Coordonnées : X : 786990 Y : 6694985

21.525.040, Coordonnées : X : 786969 Y : 6694956

21.525.041, Coordonnées : X : 786961 Y : 6694925

21.525.042, Coordonnées : X : 786952 Y : 6694910

21.525.043, Coordonnées : X : 787003 Y : 6694929

21.525.044, Coordonnées : X : 787016 Y : 6694853

21.525.045, Coordonnées : X : 787009 Y : 6694860

21.525.046, Coordonnées : X : 786984 Y : 6694894

21.525.047, Coordonnées : X : 786939 Y : 6694844

21.525.048, Coordonnées : X : 786914 Y : 6694828

21.525.049, Coordonnées : X : 786897 Y : 6694821

21.525.050, Coordonnées : X : 786950 Y : 6694808

LA ROCHE-EN-BRENIL « Les Loppées » - Site n°21.525.051

Coordonnées : X : 788024 Y : 6697385

Petit ferrier observé en position secondaire, en remblai dans un creux du chemin route. Les

scories prélevées appartiennent sans certitude, soit au groupe E1 soit au groupe F7. Aucune scorie coulée n'a été observée sur le terrain ; tous les individus sont cependant très fortement roulés.

SAINT-DIDIER « Chaume Guillemain » - Site n°21.546.008

Coordonnées : X : 786465 Y : 6691152

Très grand ferrier en forêt, d'environ 60x60 m, probablement de plus d'1 m conservé par endroits. Les scories y sont en forte concentration. Le site semble complexe, l'inventaire de M. Mangin relève 7 excavations rectangulaires, dont une sondée, bordée d'un mur de pierres sèches.

Ce site a fait l'objet de deux sondages destinés à prélever charbons et scories en contexte non perturbé (cf *infra*). Les scories prélevées sont en majorité des types A1 et B2.

SAINT-DIDIER « Chaume Guillemain » - Site n°21.546.010

Coordonnées : X : 786500 Y : 6691072

Ferrier aplatis d'environ 30 x 21 m, se trouvant à quelques dizaines de mètres du grand ferrier documenté par M. Mangin "Chaume Guillemain". L'élévation conservée est difficilement évaluable, les scories sont peu concentrées dans un limon brun. Les scories prélevées appartiennent majoritairement au type A1.

SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON « le Bonjan » - Site n°21.548.007

Coordonnées : X : 786143 Y : 6697853

Ferrier en butte, d'environ 10x10 m, qui s'étale ensuite sur près de 50m dans la pente. Les scories prélevées sont majoritairement du type A1.

SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON « Gué du Piéché » - Site n° 21.548.009

Coordonnées : X : 784963 Y : 6698357

Petit ferrier aplatis de 20 x 20 m, dont subsiste une élévation d'à peine 0,5 m probablement. Un cratère de 5 m de diamètre se trouve en son centre, montrant sa réexploitation récente. M. Mangin signale en effet un ferrier parfaitement conservé à cet endroit. Les scories prélevées sont du type A1.

SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON « Gué des Beaumes » - Site n°21.548.010

Coordonnées : X : 785160 Y : 6698116

Ferrier aplatis en bordure de ruisseau. La plate-forme principale, d'environ 25 x 6 m et probablement 1 m d'épaisseur, est bordée de trois ferriers plus petits (5 x 5 m). Elle est possiblement limitée du côté du ruisseau par un petit muret en pierre dont subsiste trois assises inégales. A une dizaine de mètres vers l'Ouest, on observe des aménagements en pierre, dont une structure quadrangulaire de 1,4 x 1,6 m de côté. Les scories prélevées sont majoritairement des types E1 et B2.

SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON « La Charmée » - Site n°21.548.013

Coordonnées : X : 785511 Y : 6697683

Petit ferrier allongé le long du ruisseau, peu concentré en surface (observé en pré grâce à quelques grosses scories affleurantes), d'environ 15 x 3 m. Composé en exclusivité de scories vitreuses, des types D, 1, 2 et 3.

THOISY-LA-BERCHÈRE « Chaudmain » - Site n°21.629.002

Coordonnées : X : 799089 Y : 6687167

Site non visité lors de cette campagne, un troupeau ayant chargé les prospecteurs. Des scories des types A1 et E1 avaient cependant été prélevées par M. Loisier précédemment et ont pu être étudiées ici.

THOSTE « Bois du Champ Rouge » - Site n°21.635.002

Coordonnées : X : 793898 Y : 6705903

Ferrier de terre rouge et scories peu concentrées, d'environ 40 x 22 m, conservant une élévation de près de 2 m. Le ferrier semble coupé par une saignée en creux de plusieurs dizaines de mètres de long, interprétée par M. Mangin comme une tranchée d'extraction de minerai. Très nombreux fragments de paroi. Les scories prélevées sont des types A1 et E1.

VIC-DE-CHASSENAY « La Forêt » - Site n°21.676.001

Coordonnées : X : 794711 Y : 6706042

Gros ferrier de forme bombé situé dans une pente, d'environ 35x40 m. Les scories sont abondantes, dans une terre noire. Probablement 2m d'épaisseur conservée au minimum, possiblement plus. Les scories prélevées sont des types A1, E1 et B2. Une large tranchée est présente en aval du site, interprétée par M. Mangin comme tranchée d'extraction du minerai. La parcelle sur laquelle se trouve le site a fait l'objet récemment d'une coupe très importante, ce qui a permis de profiter d'une bonne visibilité.

VIC-DE-CHASSENAY « La Forêt » - Site n°21.676.003

Coordonnées : X : 794383 Y : 6705897

Petit ferrier étalé en bord de chemin, d'environ 13 x 10 m. Les scories sont très fragmentées dans une terre noire abondante ; les individus prélevés correspondent aux types A1 et B2.

VIC-DE-CHASSENAY « Combe du Four » - Site n°21.676.007

Coordonnées : X : 792780 Y : 6706141

Large ferrier de scories et limon rouge, d'environ 25 x 25 m, probablement 1 m d'élévation conservée. Les scories prélevées sont des types A1 et E1.

VIC-DE-CHASSENAY « La Forêt » - Site n°21.676.011

Coordonnées : X : 794740 Y : 6706023

Petit ferrier étalé d'environ 5 x 5 m en amont du très gros (21.676.001), composé de terre noire et scories écoulées. Les individus prélevés sont majoritairement du type A1.

VIC-DE-CHASSENAY « La Forêt » - Site n°21.676.012

Coordonnées : X : 794768 Y : 6706038

Petit ferrier de scories étalées, environ 5x5x0 m, en amont du grand site (001) Scories A1 majoritaires.

5.4.2. Sondages sur le site de Saint-Didier, Chaume Guillemain (21.546.008)

Lors de la première visite sur le site, celui-ci est apparu relativement complexe, rassemblant autour d'un amas principal important, deux autres accumulations de scories plus petites et plusieurs structures empierrées, tas d'épierrement et possibles murets. Mme Plessis, propriétaire du terrain, a témoigné avoir vu des sondages réalisés par M. Mangin sur cet amas dans le courant des années 1980, ainsi que l'intervention de « pillards » qui auraient récemment perturbé le site.

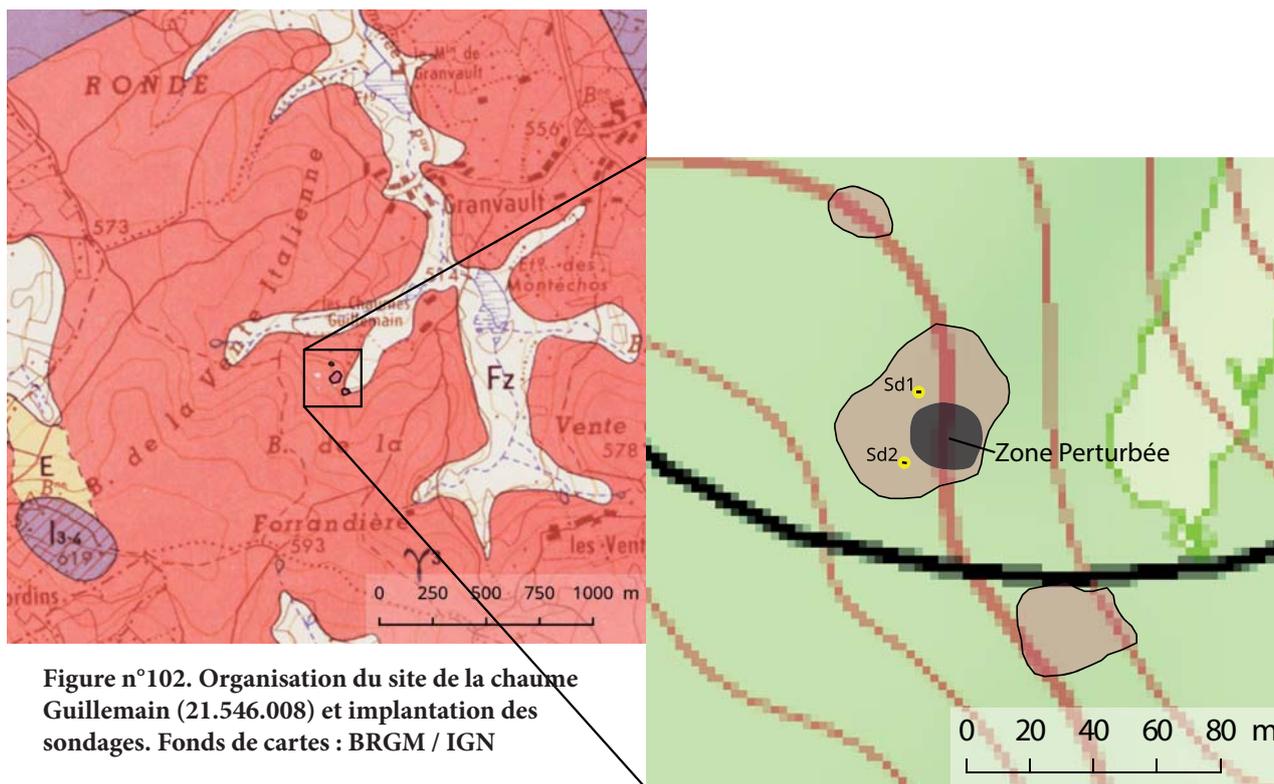


Figure n°102. Organisation du site de la chaume Guillemain (21.546.008) et implantation des sondages. Fonds de cartes : BRGM / IGN

Devant la complexité du site et des perturbations qu'il aurait pu subir et avec l'espoir de dater plus précisément des structures sondées il y a plus d'une trentaine d'années, il a été décidé de réaliser un sondage ponctuel. Celui-ci aurait pour objectif de permettre le prélèvement de charbon de bois en contexte non perturbé et de relever la stratigraphie du ferrier.

L'amas de déchets s'étend sur des terrains issus du leucogranite sous-jacent, dans la pente d'une légère terrasse tournée vers l'est, surplombant de quelques mètres le chemin qui donne accès au site. Il s'étale sur 50 mètres le long de la courbe de niveau 550 m et sur 50 m entre terrasse et pied du talus. En plein centre se trouve une zone très meuble où les scories sont nombreuses, prises dans un limon brun clair. En amont et sur les côtés, le sol semble bien plus compact, la proportion de scories plus importante, prises dans un limon noir. Cette zone centrale a donc été considérée comme perturbée et impropre au prélèvement (fig. 102).

Sondage 1

Dans le but de constater l'épaisseur de la stratigraphie conservée dans la périphérie du ferrier, un premier sondage a été implanté entre la zone de plus forte concentration de scories et une zone où elles se retrouvent de manière plus éparse, au nord des perturbations signalées plus haut et à une dizaine de mètres du bord supposé de l'amas vers le Nord (fig. 102). Ce sondage n'ayant pas pour but de caractériser des structures en plan, il a été décidé de limiter son emprise à un rectangle de 0,8 x 1,5 m, dimensions minimales pour permettre le maniement des outils. Quatre couches archéologiques ont été différenciées à l'issue de ce sondage (fig. 103 - 105). A la surface, la couche de scories (US101) se révèle ne pas dépasser les 10 cm d'épaisseur et s'estomper vers le Nord et l'Est. De ce côté, elle laisse place à une couche de limon brun compact (US104), ne contenant que quelques rares scories et dont l'épaisseur atteint localement les 30 cm. Sous cet ensemble se développe une couche presque exclusivement composée de pierres de tailles moyennes (10 à 20 cm ; US102). Les formes et tailles variées suggèrent qu'il s'agisse probablement de pierres naturellement présentes dans l'arène, concentrées ici par un

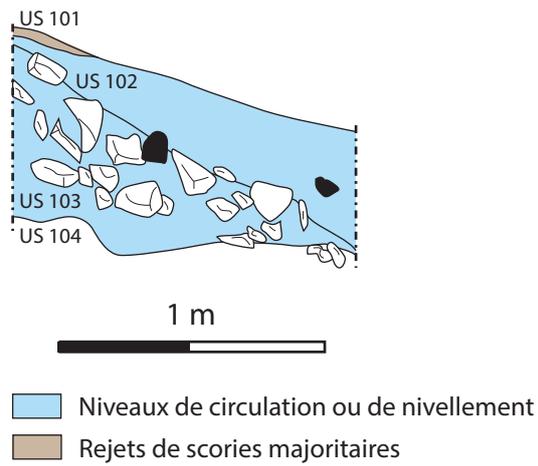


Figure n°103. Relevé de la coupe Nord du sondage Sd1.



Figure n°104. Emplacement du sondage Sd1.



Figure n°105. Coupe nord du sondage Sd1.



Figure n°106. Fond de fouille du sondage Sd1. US 103.

processus d'épierrement. Enfin, le nettoyage de cette couche révèle un niveau de limon blanc très dur contenant quelques petits cailloux (US103 ; fig. 106), dans lequel sont prises quelques pierres d'une dizaine de centimètres au maximum. Des plages légèrement roses suggèrent que ce sol ait pu subir une exposition ponctuelle au feu. Ces aspects, en plus de sa position située directement en dessous de l'empierrement (US102) semblent indiquer que cette couche puisse être une surface ayant servi de sol de travail. Le but étant exclusivement le prélèvement de charbon, ce sol n'a pas été fouillé afin de déterminer s'il s'agissait bien du terrain naturel. Aucun charbon n'a été prélevé dans ce sondage.

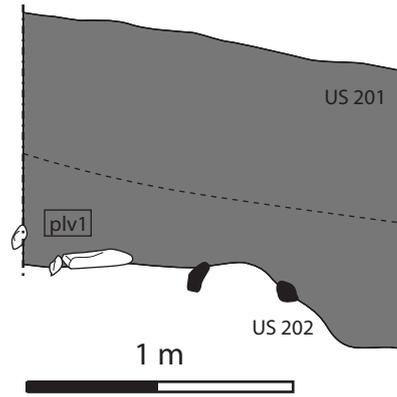
Sondage 2

En constatant la faible puissance de la stratigraphie au niveau du premier sondage, il a été décidé de réaliser un second sondage, cette fois dans une zone montrant des concentrations de scories nettement plus importantes, située au sud de la zone perturbée (fig. 102 : emplacement Sd2).

Cette seconde implantation a été réalisée selon les mêmes modalités que la première, de 0,8 m de large pour 1,5 m de long, face à la pente. Il n'a pas été possible de différencier plusieurs niveaux de dépôt de scories, l'amas apparaissant dans cette zone comme une seule couche homogène de scories dans un limon noir charbonneux (US201) sur une épaisseur de 70 cm (Fig. 110 - 108). Le système racinaire s'implante dans cette couche jusqu'à 40 cm de profondeur ; un prélèvement de scories et de sédiment, accompagné de plusieurs fragments de branches carbonisées, a été réalisé sous ce niveau, dans un ensemble qui semble pouvoir être considéré « en place », non perturbé depuis son dépôt.

Le sondage s'est arrêté, là encore, sur un sol de limon blanc très compact (US202 ; fig. 109). Sans qu'elles soient assez nombreuses ou organisées pour former une structure, il est à noter que plusieurs pierres plates ont été observés à la surface de ce sol ou à proximité, alors qu'elles sont absentes du dépôt de scories (US201). L'objectif du sondage ayant été atteint, ce possible sol n'a pas été surcreusé afin de ne pas perturber de possibles structures qui pourraient éventuellement apparaître en plan dans le cadre d'un décapage plus large.

A l'issue de ces deux sondages, il est possible de préciser certaines caractéristiques de l'amas : tout d'abord, il semble que la puissance de la stratigraphie ne dépasse probablement pas le mètre. Par ailleurs, de nombreuses structures d'empierrement semblent participer à la constitution des talus, dont les relations avec les dépôts de scories sont parfois difficiles à déterminer. En effet, s'il est évident que l'empierrement du sondage 1 se situe sous le niveau de scories entrevu, il repose sur un sol qui semble rubéfié et qui contient lui-même de rares scories. D'autres empierrement non sondés, situés à proximité, semblent se placer par-dessus le niveau de scories observé dans le sondage 2. Doit-on voir dans ces structures des haldes, vestiges d'une extraction en minières ? Cette interprétation avait été proposée par M. Mangin concernant des excavations observées au-dessus de la terrasse sur laquelle est formé le ferrier, dans un rapport qui fait l'état de sondages menés sur ces structures : « Un important ferrier (diam. 50 m, h. 1m) est installé sur une faible pente. Il est bordé, à moins de 10 m de sa limite amont, par sept excavations rectangulaires de 8 m de longueur sur quelques mètres de largeur et 1 m de hauteur maximum. [...] L'excavation médiane a été déblayée ; elle est ouverte du côté du ferrier et s'enfonce dans le versant. Ses parois latérales sont simplement entaillées dans l'arène du leucogranite tandis que celle-ci est retenue, au fond, par un mur fruste de grandes pierres assemblées à sec qui a 0,80 m de hauteur comme l'épaisseur de l'arène à cet endroit. » (Mangin *et al.* 1992, p.91). Sans que ces structures n'aient livré de minerai potentiel, mais sans autre utilisation envisageable, ces excavations ont été interprétées comme de possibles minières, où le minerai aurait été « mêlé à l'arène ou piégé dans le niveau de leucogranite ».



■ Rejets métallurgiques divers dans un sédiment très carbonneux

Figure n°110. Relevé de la coupe Nord du sondage Sd2.



Figure n°107. Emplacement du sondage Sd2.



Figure n°108. Coupe nord du sondage Sd2.



Figure n°109. Fond de fouille du sondage Sd2. US 202.

Ces nettoyages sont par ailleurs les seules interventions menées par M. Mangin sur ce site qui aient pu être retrouvées dans la bibliographie (rapport Mangin, 1984) ; aucune mention de sondage mené sur l'amas de scories n'a été notée. Les perturbations décrites plus haut, situées au milieu de l'amas, restent de nature inconnue.

5.4.3. Volumes des amas de déchets étudiés

Comme pour les amas de Puisaye (supra chap. 4), nous avons calculé une approximation de volume d'amas, en se basant sur la formule proposée par P.-M. Decombeix (Decombeix in Mangin 2004, p. 192-198). Ces chiffres ne sont basés que sur des approximations de forme et de mesures d'amas, sans tenir compte de la concentration des scories qui les composent, et doivent donc être considérés avec précaution. Ils permettent toutefois de mettre en évidence une certaine homogénéité dans les caractéristiques topographiques des amas de déchets du Morvan (fig. 111), à savoir leur taille réduite, avec un volume moyen estimé à 340 m³, et un volume maximal de 2880 m³. Seuls 6 amas dépassent 1000 m³, la majorité se situe sous 250 m³.

Rappelons, à titre de comparaison que les plus amas volumineux du secteur de Montholon, datés de l'Antiquité, ont un volume estimé entre 250 et 200 000 m³, avec une moyenne de 17 000 m³ (sans prendre en compte le plus gros amas de 200 000 m³).

n° de site	Commune	Lieu dit	Type de site métallurgique	H. actuelle	Long.	Larg.	Volume estimé
21.139.003	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	Amas de déchets de réduction	1	15	15	90
21.139.004	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	Amas de déchets de réduction	0,5	10	10	20
21.203.001	COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	Concentration de déchets de réduction	0,1	50	50	100
21.203.016	COURCELLES-FRÉMOY	Civral le Pendant de Bèze	Concentration de déchets de réduction	0,2	30	10	24
21.434.002	MONTLAY-EN-AUXOIS	En Nicerteau	Amas de déchets de réduction	1,5	60	25	900
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	Amas de déchets de réduction	2	90	40	2880
21.434.009	MONTLAY-EN-AUXOIS	La Molachère	Amas de déchets de réduction	1	30	20	240
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	Amas de déchets de réduction	2	15	10	120
21.525.007	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Grands Adieux	Concentration de déchets de réduction	0,5	80	60	960
21.525.022	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	Amas de déchets de réduction	2	40	25	800
21.525.023	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	Amas de déchets de réduction	0,5	25	20	100
21.525.037	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	Amas de déchets de réduction	2	40	25	800
21.525.038	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	10	10	4
21.525.039	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	5	5	1
21.525.040	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	6	6	1,44
21.525.041	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	6	6	1,44
21.525.042	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	3	3	0,36
21.525.043	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	5	5	1
21.525.044	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	4	4	0,64
21.525.045	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	4	4	0,64
21.525.046	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	6	6	1,44
21.525.047	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	6	6	1,44
21.525.048	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	4	4	0,64
21.525.049	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	4	4	0,64
21.525.050	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	Concentration de déchets de réduction	0,1	8	8	2,56
21.525.051	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	Déchets de réduction remaniés ou déplacés	0,1	5	1	0,2
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	Amas de déchets de réduction	1	60	60	1440
21.546.010	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	Amas de déchets de réduction	0,5	30	25	150
21.548.007	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	le Bonjan	Amas de déchets de réduction	1	50	50	1000
21.548.009	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué du Piéché	Amas de déchets de réduction	0,5	40	25	200
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	Amas de déchets de réduction	1	26	6	62,4
21.548.013	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	La Charmée	Concentration de déchets de réduction	0,2	15	3	3,6
21.629.002	THOISY-LA-BERCHÈRE	Chaudmain	Amas de déchets de réduction	1,2	50	50	1200
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge	Amas de déchets de réduction	2	44	22	774,4
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	Amas de déchets de réduction	2	40	35	1120
21.676.003	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	Amas de déchets de réduction	2	13	10	10,4
21.676.007	VIC-DE-CHASSENAY	Combe du Four	Amas de déchets de réduction	1	25	25	250
21.676.011	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	Concentration de déchets de réduction	0,2	5	5	2
21.676.012	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	Concentration de déchets de réduction	0,1	5	5	1

Figure n°111. Caractéristiques topographiques des amas et volumes estimés. Les unités sont en mètres et m³.

5.5. Étude des déchets de production sidérurgique

5.5.1. Typologie et assemblage des déchets

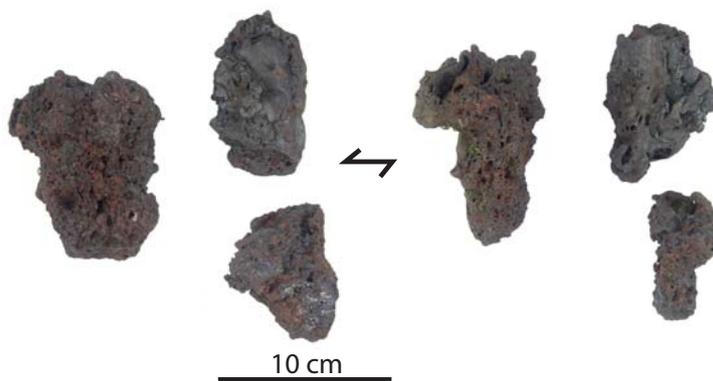
Afin d'étudier les assemblages de déchets scorifiés caractérisant les sites prospectés, les scories collectées sur chacun d'entre eux ont été triées et enregistrées suivant la typologie mise en place dans le cadre de l'étude sur la Puisaye (voir supra chap. 4.5.). Cette typologie s'avérait en effet également pertinente par la caractérisation du corpus de scories du Morvan.



Scories du type B2, issues du site 21.525.001
La-Roche-En-Brenil «En Lécussy»



10 cm
Vue de détail en coupe, scorie B2
La-Roche-En-Brenil «En Lécussy»



Scories du type B2, issues du ferrier 21.548.010
Saint-Germain-de-Modéon «Gué des Beaumes»

Figure n°112. Scories de type B2. Scories bulleuses écoulées en cordons.

Quelques différences sont néanmoins notables. On constate ainsi une tendance plus vitreuse des scories de type A (scories cristallisées écoulées), surtout sur les surfaces. Pour les scories de type A1 les écoulements en cordons s'avèrent également davantage bulleux (fig. 112).

Un nouveau type a été créé pour la catégorie B (scories cristallisées bulleuses).

B2. Ecoulements cordés bulleux.

Ces scories sont en grande partie cristallisées, de couleur gris mate, mais s'avèrent très localement vitreuses. La matrice comprend de très nombreuses bulles millimétriques, rondes ou légèrement écrasées. Localement des phases sont plus denses et comprennent des bulles plus grosses et moins nombreuses. Les surfaces des scories sont constituée d'accumulations d'écoulements en cordons bien individualisés, mesurant de 1 à 5 cm de diamètre, isolés ou empilés. Elles sont lisses à légèrement plissées ou sont criblées de petite bulles selon leur degré d'usure superficielle. La face inférieure moule une surface régulière.

La figure 113 présente, en présence / absence, les types de déchets prélevés sur les amas lors des prospections. Les prélèvements ont concerné les éléments visibles en surface des amas, les plus représentatifs et les mieux conservés pour permettre une identification.

On constate la très grande homogénéité typologique des déchets représentés. A l'exception de trois prélèvements, tous les assemblages livrent des scories de type A1 (scories denses écoulées en cordons à limites marquées). Ce type de scorie est toujours majoritaire au sein des prélèvements effectués, c'est parfois le seul type représenté.

On remarque ainsi que les scories de type A1 sont généralement associées avec des scories de type B1 (scories bulleuses écoulées en cordons) et avec des scories internes E. Notons que ces dernières de type E sont ubiquistes, car elles se forment sans morphologie caractéristique au sein du bas fourneau durant la réduction. Quelques sites livrent des types plus vitreux (D) ou d'autres types de scories cristallisées écoulées.

Trois prélèvements se distinguent de cet assemblage. Les deux premiers proviennent de deux amas situés sur la même commune de Saint-Germain-de-Modéon (21.548).

Le site 21.548.010 « Gué des Beaumes » est composé exclusivement de scories des types B2 et E1. L'absence de scories de type A est la seule caractéristique qui le distingue des assemblages déjà documentés pour les autres amas. L'individualisation de ce site résulte éventuellement à un biais de l'inventaire, étant donné la proximité typologique entre des scories de type A1 et B2 distinguées essentiellement d'après leur taux de porosité.

n° site	Commune	Lieu-dit	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	(D1) Ecmt vitreux, denses à faiblement bulleux et/ou (D2) bulleux, (D3) à base dense, partie sup. bulleuse	(A3, A4) Ecmt A3 à cavité centrale, A4 cordé dense	(B et B2) Ecoulement bulleux	(E1) et (E2) Interne compacte et non compacte	(F7) scorie rouillée alvéolaire et dense	Dates radiocarbone calibrées
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	XX	X	X	X	X		1028 - 1184 CalAD
21.139.004	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Flotte	XX	X		X	X		
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	XX		X	X			
21.676.012	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	XX		X				
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge	XX		X		X		
21.676.003	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	XX			X			
21.525.022	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	XX			X			1043 - 1392 CalAD
21.139.003	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Flotte	XX			X			571 - 655 CalAD
21.434.002	MONTLAY-EN-AUXOIS	En Nicerteau	XX			X			
21.434.009	MONTLAY-EN-AUXOIS	La Molachère	XX			X			
21.525.037	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	XX			X			
21.525.038	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX			X			
21.525.040	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX			X			
21.525.043	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX			X			
21.525.046	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX			X			
21.525.047	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX			x			
21.525.048	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX			X			
21.525.050	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX			X			
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	XX			X	X		
21.525.007	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Grands Adieux	XX			X	X		
21.525.023	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	XX			X	X		
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	XX			X	X		
21.546.010	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	XX			X	X		
21.203.001	COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	XX				X		
21.203.016	COURCELLES-FRÉMOY	Civral le Pendant de Bèze	XX				X		
21.548.007	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	le Bonjan	XX				X		
21.629.002	THOISY-LA-BERCHÈRE	Chaudmain	XX				X		
21.676.007	VIC-DE-CHASSENAY	Combe du Four	XX				X		
21.676.011	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	XX				X		
21.548.009	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué du Piéché	XX						
21.525.039	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX						
21.525.041	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX						
21.525.042	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX						
21.525.045	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	XX						
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes				X	X		
21.548.013	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	La Charmée		X					
21.525.051	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées						X	

Figure n°113. Types de déchets représentés (X : présence / vide : absence ; XX : type majoritaire) sur les amas prospectés du Morvan-Auxois.

Le site 21.548.013 « La Charmée » s'individualise par la présence exclusive de scories vitreuses. Ces déchets évoquent des laitiers. Il s'agit d'un site localisé en bordure de ruisseau ce qui pose la question de la nature de l'activité sidérurgique. Il est possible que ces déchets se rattachent à la production de fer par la méthode indirecte, en haut-fourneau, procédé connu dans ces régions à partir du courant des XIVe-XVe siècle.

Enfin un dernier site, La-Roche-En-Brenil « Les Loppées » 21.525.051, a livré des scories dont il est difficile de déterminer le type. Il s'agit doit du type E1 (scories internes) soit F7 (scories piégées). Ces individus ont été retrouvés en position de réemploi dans un chemin et sont très altérés (roulés). Il est toutefois important de noter l'absence de tout autre type de scories, A, B ou D dans les amas de déchets de cette zone. S'il s'agit effectivement de scories piégées, cet ensemble pose la question de l'existence de témoins d'activités de réduction possiblement plus anciennes. Il faudra tester la présence de charbon dans les scories prélevées afin d'envisager une datation.

5.5.2. Une grande homogénéité d'assemblage de déchets

Les différences de faciès entre scories peuvent résulter tant de la technologie mise en œuvre durant la réduction (forme et fonctionnement des fours, composition et volume de la cuve, températures, atmosphère/système de ventilation, ajouts éventuels) et donc par des paramètres techniques et culturels, que par la nature des minerais employés.

On constate cependant à l'échelle des 38 sites échantillonnés une grande homogénéité dans les types d'assemblage de déchets. En effet, l'ensemble des sites étudiés livre un type prédominant de scories, à savoir celles du type A1 (écoulées denses en cordons à limites visibles). Des sous-groupes peuvent être distingués en fonction de la présence d'autres scories de type A et D ou de la présence ou de l'absence de scories de type B2 (écoulées bulleuses en cordons). Il est cependant possible que cette différence soit artificielle, et résulte notamment de prélèvements quantitativement limités sur le terrain (en moyenne un grand sac), qui auraient pu conduire à la sous-représentation voire à l'absence de prélèvements de scories de type B2. La frontière typologique parfois un peu arbitraire entre les type A1 et B2 (seule la densité distingue finalement ces types) doit également être prise en compte.

Seuls deux sites se distinguent de manière significative. Saint-Germain-de-Modéon « La Charmée » (21.548.013) qui livre uniquement des scories vitreuses, de type laitier, qui pourraient résulter d'une production du fer en haut fourneau (procédé indirect), et La-Roche-En-Brenil « Les Loppées » 21.525.051 dont les scories étaient d'identification incertaine : scories piégées ou internes. Une datation radiocarbone devra être envisagée afin de déterminer si ces déchets peuvent être caractéristiques d'une technique ancienne (hypothèse de scories piégées protohistoriques).

5.6. Conclusion

À travers cette campagne de prospections, il a été possible de reprendre la documentation d'une quarantaine de sites sur les 200 amas de déchets documentés par les équipes de M. Mangin entre 1982 et 1986. Des prélèvements de charbons ont ainsi été effectués sur 16 nouveaux sites et leur datation est prévue pour 2020, en fonction des moyens disponibles.

L'analyse archéométrique des déchets scorifiés, dont l'étude typologique a déjà débuté, permettra d'approfondir la caractérisation chimique de ce secteur et de mieux préciser les conditions de formation des déchets. Les prélèvements effectués cette année s'ajoutent à ceux qui se trouvent

stockés dans les locaux du laboratoire Métallurgies et Cultures de Sévenans et dont le listing avait été réalisé par M. Mangin à la suite de la publication de 1992 évoqués plus haut (fig. 114). Ces derniers pourront également être exploités pour de futures analyses.

Les travaux menés cette année permettent déjà de noter certaines spécificités qui semblent propres au Morvan-Auxois. Tout d'abord on constate la quasi-absence de gros amas de déchets tels qu'on en connaît en Puisaye ou dans le Nivernais par exemple, et qui dans ces secteurs semblent pouvoir être datés de l'Antiquité.

Une autre caractéristique des sites échantillonnés est l'homogénéité des types de déchets rencontrés. Quasiment tous les amas étudiés présentent un assemblage de déchets dominé par des scories cristallisées écoulées en cordons à limites marquées, dense (type A1) ou bulleux (type B2). La plupart de ces scories ont également une tendance vitreuse.

Des scories de type A1 sont également connues dans d'autres régions, par exemple en Puisaye, et semblent alors plutôt associées avec une métallurgie médiévale. Les scories bulleuses incomplètement cristallisées peuvent également être rapprochées de celles connues pour les sites du premier Moyen âge en Lorraine (Leroy *et al.* 2015 chap. 3, Leroy *et al.* 2019 p. 263).

Ces divers indices, ainsi que les quelques dates déjà acquises et situées durant l'Antiquité tardive et la période médiévale, amènent à douter de la réalité d'une production sidérurgique d'importance romaine, comme l'envisageait M. Mangin dans sa publication de 1992. Les indices sont encore trop ténus pour approfondir ces questions mais les éléments collectés cette année permettront dès 2020 d'apporter de nouveaux éléments déterminants pour préciser la chronologie et la nature de ces activités.

Commune	Lieu dit	N°Site	Minerai de fer	Scories de réduction	Scories de réduction et charbon	Scories analysées avant 1990	Parois	Déchets de forge	Mobilier métallique
« Divers »	« Divers »			6					
Sites indéterminés	Sites indéterminés		12	15		4		3	1
CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	21.139.004		1					
COURCELLES-FRÉMOY	Champs de Tue Chevaux	21.203		1					
COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	21.203.001		3		1			
COURCELLES-FRÉMOY	Mouille Préceau	21.203.003		1					
COURCELLES-FRÉMOY	Civral le Pendant de Bèze	21.203.016		4			1		
DOMPIERRE-EN-MORVAN	Champ Lucas	21.232.007		1					
DOMPIERRE-EN-MORVAN	La Souche	21.232.009		1					
DOMPIERRE-EN-MORVAN	Combe de Terre Noire	21.232.010		2					
DOMPIERRE-EN-MORVAN	Croix desFeux	21.232.012		1					
DOMPIERRE-EN-MORVAN	Champ Prenat	21.232.013		1					
FORLÉANS	Tue-Chevaux	21.282.007		1		1			
LACOUR-D'ARCENAY	Les Vignes	21.335.005		1					
MONTBERTHAULT	La Métalle	21.426.002	1						
MONTBERTHAULT	La Longue Raie	21.426.004		4					
MONTBERTHAULT	Sous l'Ouche	21.426.008		1					
MONTBERTHAULT	Prés de Rognon	21.426.010	1	1					
MONTBERTHAULT	Frémoy (hameau)	21.426.011	1	1					
MONTBERTHAULT	Champ des Oies	21.426.013		1					
MONTIGNY-SAINT-BARTHÉLEMY	En Trutot	21.430.002	2						
MONTLAY-EN-AUXOIS	En Nicerteau	21.434.002		1					
MONTLAY-EN-AUXOIS	Mouille Segrain	21.434.003						2	
MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	21.434.004						1	
MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	21.434.006		1					
MONTLAY-EN-AUXOIS	La Molachère	21.434.008		1					
MONTLAY-EN-AUXOIS	Les Courtils Bassieux	21.434.011		1					
MONTLAY-EN-AUXOIS	Métaierie de Bussières	21.434.012		1					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	21.525.001		12			9		4
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Grands Adieux	21.525.007		1					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Le Boulois	21.525.012		1					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Pâturage des Veaux	21.525.015		1					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	21.525.023		1					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Champs de la Croix	21.525.025		2					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Le Petit Pré	21.525.026		1					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Petits Adieux	21.525.032		1					
ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Le Boulois	21.525.034		2					
SAINT-ANDEUX	Les Brûlés	21.538.001		1					
SAINT-ANDEUX	Les Vernillats	21.538.002		2					
SAINT-ANDEUX	Le Champ de la Malle	21.538.005		1					
SAINT-DIDIER	Maison Baude (Hameau)	21.546.003		1					
SAINT-DIDIER	Vente Italienne	21.546.004	1	5					
SAINT-DIDIER	Chaume Guillemin	21.546.008		2					
SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	les Courtils	21.548.001		9		1	3		
SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Le Pleicheix	21.548.004		1					
SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Les Grands Vernats	21.548.005		2					
SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	le Bonjan	21.548.007		1					
SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	21.548.010		2					
SINCEY-LÈS-ROUVRAY	Les Goulots	21.608.001	1						
THOISY-LA-BERCHÈRE	Chaudmain	21.629.002		4					
THOSTE	Es Champs Bouffards	21.635.005	2						
THOSTE	Le Sentier de la Messe	21.635.006	1						
THOSTE	La Mouillère	21.635.008				2			
THOSTE	Les Linchats	21.635.010	1						
THOSTE	La Palasse	21.635.013	1						
THOSTE	Le Pré Baudet	21.635.014	1						
THOSTE	Poirier Fricot	21.635.016	1						
THOSTE	Beauregard/Hameau	21.635.019	1						
THOSTE	Larrey Charbonneau	21.635.020		1					
THOSTE	Les Grands Bois	21.635.023		1					
THOSTE	Champ de Ruffey	21.635.024				2			
THOSTE	Comme Philippe/Larré Charbonneau	21.635.029	2	11	2	1	5	2	
THOSTE	Bois de la Sole	21.635.030	1	1					
THOSTE	la Grande Pièce	21.635.034	1						
THOSTE	Pré de Refort	21.635.037	3						
THOSTE	Pré de Refort	21.635.038	1	2					
THOSTE	L'Hâte des Ervières	21.635.039	1			1			
VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	21.676.002	2	1					
VIC-DE-CHASSENAY	Le Charme	21.676.005	3						
VILLARGOIX	Les Grands Champs	21.687.003	1	1					
VILLARGOIX	Les Grands Champs	21.687.008		5					

Figure n°114. Inventaire des mobiliers collectés dans les années 1990 par Michel Mangin, et actuellement conservés au LMC à l'UTBM de Sévenans.

6. Approche méthodologique de l'étude des forges : l'exemple d'Entrains sur Nohain (58), « 16 route d'Etai »

Ghislain Vincent

Dans le cadre du travail engagé depuis quelques temps au sein de ce PCR, sur l'agglomération antique d'Entrains, l'année 2019 a été mise à profit pour engager une réflexion sur la manière d'appréhender l'interprétation des vestiges de forge découverts sur différentes fouilles entre 2008 et 2014.

Il a été décidé d'effectuer un travail préliminaire, non exhaustif dans l'immédiat, destiné à présenter la méthodologie. Il s'agissait de cibler les étapes du processus de recherche sur une seule fouille et en parallèle de cartographier les données à partir d'un seul atelier. Le choix s'est porté sur l'opération menée par Ghislain Vincent en 2012 au « 16 route d'Etai » dans la mesure où le nombre de vestiges était le plus conséquent ce qui rendait le travail pertinent. Surtout, il était plus facile à adapter ensuite aux autres opérations d'Entrains concernées par la problématique.

6.1. Méthodologie

6.1.1. Bilan d'étape

Le principe général fait intervenir un certain nombre d'étapes et d'acteurs différents. Le travail préliminaire d'étude des vestiges de terrain (plan et coupe des ateliers, base de données des vestiges, données chiffrées) est actuellement en grande partie réalisé sur la plupart des opérations d'Entrains, et notamment totalement terminé sur la fouille du « 16 route d'Etai » (Vincent 2014). L'étude interdisciplinaire des déchets a été présentée en 2015 dans le rapport du PCR (Berranger 2015 : 167-209). Pour les fouilles dont les rapports ont été rendus, ces travaux ont en général fait intervenir les responsables d'opération accompagnés par un travail de spécialiste sur l'étude préliminaire de comptage et de tri des mobiliers.

Concernant ce dernier point, les travaux sont encore en cours dans tous les dossiers, notamment la spatialisation du taux de battitures et leur analyse fine qui peut faire intervenir les travaux d'étudiants se spécialisant sur la question. En revanche, l'analyse des autres mobiliers découverts dans les structures des ateliers et dans les sédimentations les recouvrant est à présent terminée sur l'opération de la route d'Etai (2012). Les tableaux de comptage sont à jour, et permettent l'analyse fine des divers types de déchets qu'ils soient liés à la production (culots, scories) ou à la destruction des structures bâties (parois de foyers, blocs-tuyères). Ils ont déjà permis de sérier les grandes lignes de la production des ateliers du site, résultats qui ont été livrés dans les conclusions du rapport 2015 de ce même PCR (Berranger 2015 : 209). Sans revenir outre mesure sur ces acquis, précisons toutefois qu'ils font apparaître une maîtrise complète de la chaîne opératoire de post-réduction permettant de reconnaître l'intégralité des étapes du processus, depuis l'épuration primaire de masses brutes de réduction jusqu'à la fabrication d'objets finis. Ces données ont enfin pu être croisées avec l'étude chrono-stratigraphique du site permettant de restituer l'évolution globale des forges durant le premier siècle d'occupation du site.

6.1.2. Constat

Ce bilan a permis de faire apparaître un manque important. En effet, un degré de précision supplémentaire semble nécessaire pour pouvoir affiner l'étude détaillée de l'organisation interne des ateliers, notamment dans le cas des salles les mieux conservées. Il faudrait particulièrement

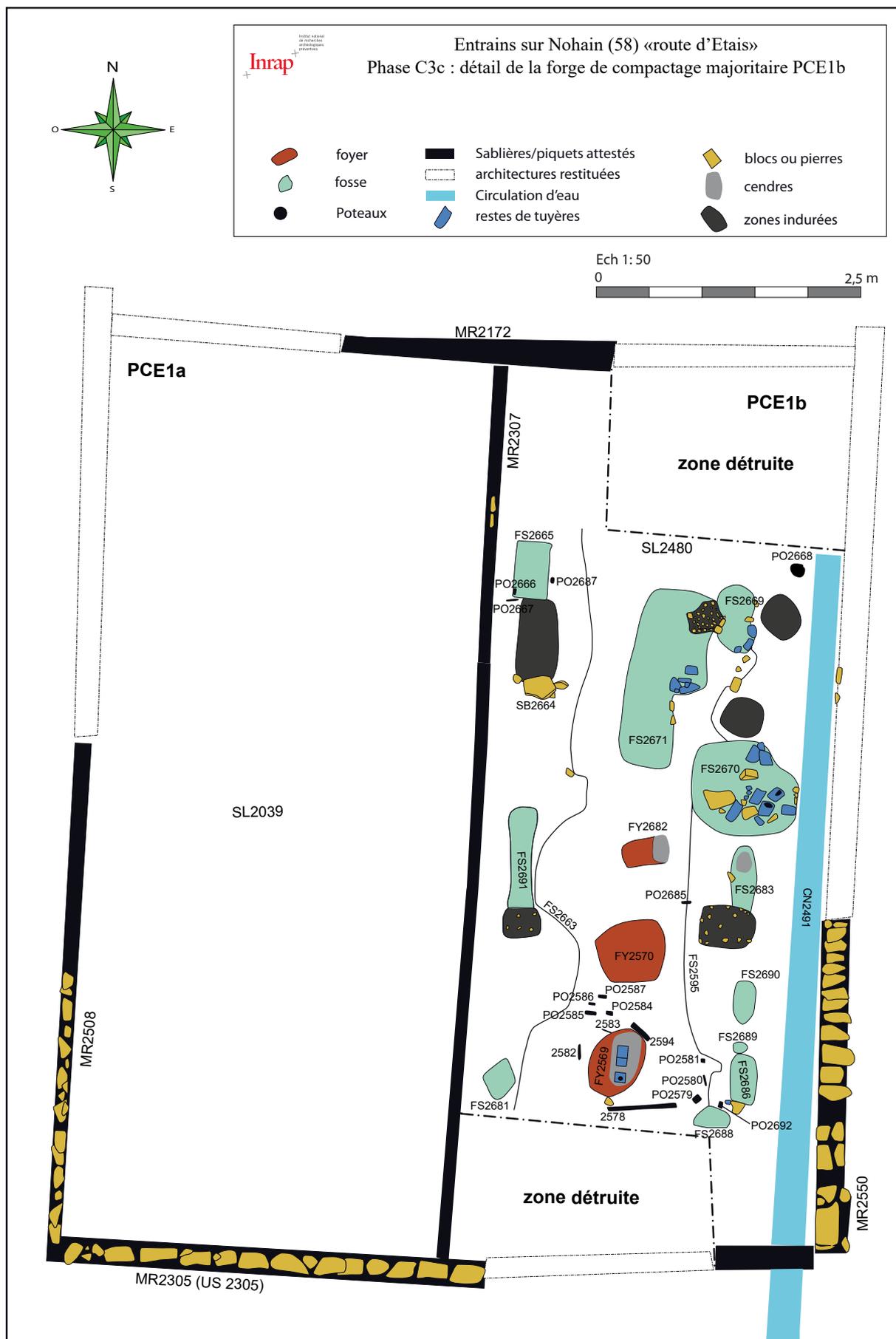


Figure n°115. Relevé de la pièce PCE1 B

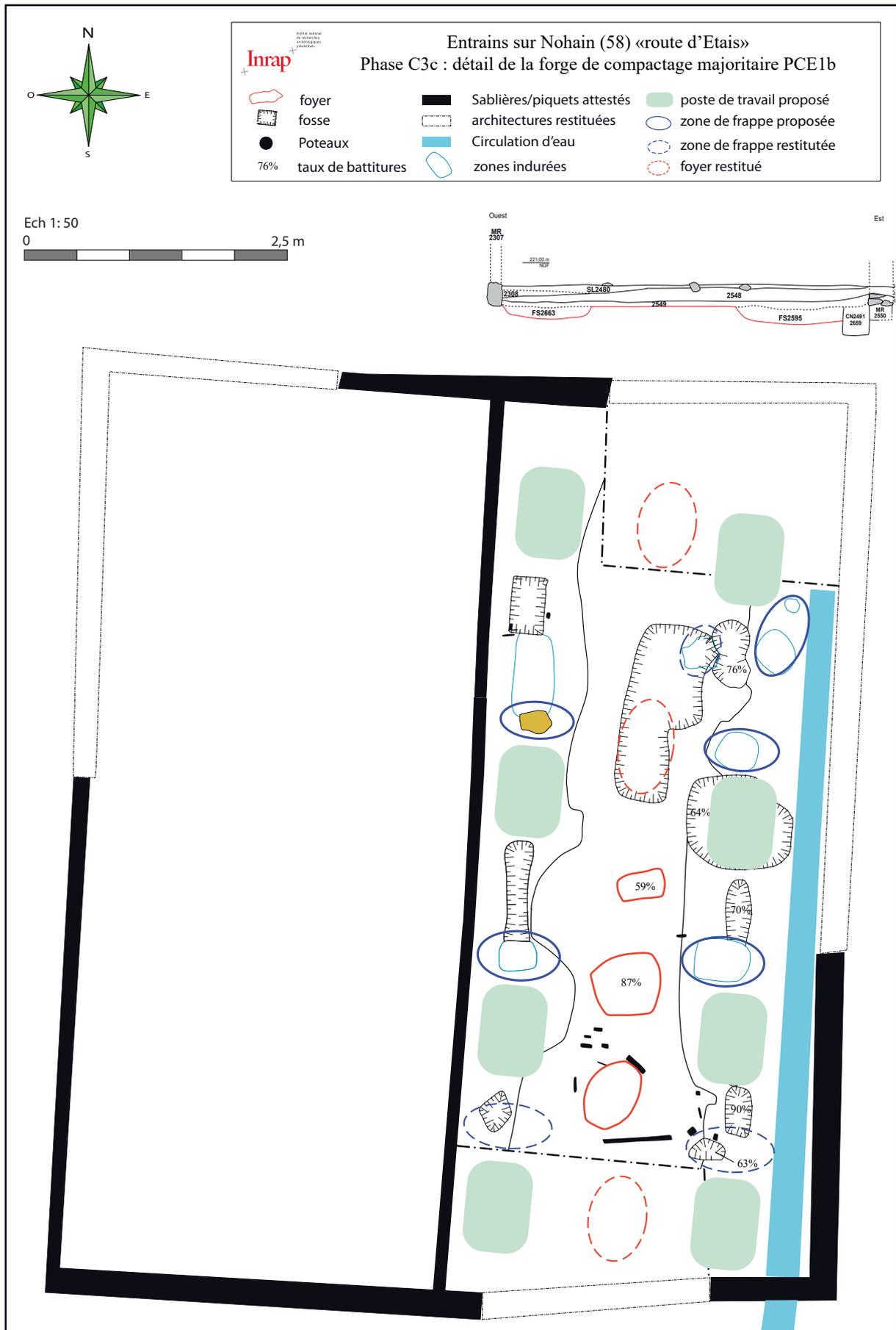


Figure n°116. Proposition d'interprétation de l'organisation spatiale de la pièce PCE1 B

pouvoir interpréter correctement l'organisation spatiale des structures. Cette tâche doit s'accompagner nécessairement d'une meilleure compréhension de la fonction des structures restées les plus énigmatiques lors de la phase de fouille, nouvelle lecture issue notamment de l'étude des mobiliers. Ceci devrait permettre de proposer à terme des schémas-types d'organisation des ateliers, pouvant être formatés sur le modèle de chorèmes utilisés en géographie, et destinés à interpréter les manières d'occuper l'espace et d'organiser le travail en fonction des tâches accomplies au sein de ces lieux de production. La précision de la stratigraphie pourrait permettre aussi de vérifier d'éventuelles différences (ou non) de fonctionnement ou de technologie suivant les époques étudiées.

6.1.3 Travaux à mener

Pour répondre à ces différentes interrogations, il a été décidé de tester une méthode permettant à terme de placer sur un SIG la totalité des vestiges découverts sur les différentes fouilles d'Entrains. Il s'agira d'en interpréter le plus finement possible les plans d'atelier à l'aide d'un croisement précis des données issues des mobiliers et de l'analyse des vestiges. Au préalable, et face à l'hétérogénéité des études en cours, à la fois du point de vue de la nature du site mais aussi en terme d'avancement des post-fouilles, il a été acté un calendrier de tâches à effectuer au préalable afin de tester la méthode. Cette année, deux études principales seront présentées dans ce rapport.

D'une part, à partir des données chrono-stratigraphiques de la fouille du « 16 route d'Etai », un exemple d'interprétation d'un plan de forge sera analysé à l'aune des travaux de terrain. Ceux-ci seront croisés avec les données mobilières issues de l'analyse des déchets et des battitures spatialisées par carré de 1 m prédéfinis lors de la fouille. Cette ébauche de chorème commenté pourrait servir de base à un travail plus approfondi destiné à harmoniser les études de forges d'Entrains pour une éventuelle publication d'ensemble.

Par ailleurs, et afin de préparer une base de donnée pertinente destinée à alimenter un SIG, un catalogage descriptif permettant de sérier les différentes structures des ateliers du « 16 route d'Etai » a été entrepris, notamment dans le but de rationaliser leur étude. Il s'agira en outre de définir les critères permettant ultérieurement d'interroger la base et de pouvoir au maximum interpréter les vestiges peu parlants. Il s'agit bien évidemment d'une ébauche critiquable qui reste potentiellement à améliorer.

6.2. Analyse détaillée du plan d'une forge

Le travail de restitution détaillée de l'une des forges de la fouille du « 16 route d'Etai » a été effectué à partir de l'un des espaces les mieux conservés du bâtiment BATI4, la pièce PCE1b. Il s'agit d'une salle rectangulaire peu impactée par la reconstruction du quartier au début du IIe s. L'ensemble étudié ici correspond à la forge de l'état C3c, celle de la période néronienne (50/60 jusqu'aux années 70). Le choix a été effectué selon plusieurs critères. Outre la bonne conservation de l'ensemble, il s'agit aussi d'un atelier rationalisé qui a livré des quantités phénoménales de déchets à la fois dans les structures mais aussi dans la sédimentation d'abandon. L'étude de ces restes aura permis de déterminer que seul le compactage était pratiqué au sein de cet espace. Enfin, la spatialisation des taux de battitures a été réalisée, il manque néanmoins encore leur étude morphologique fine qui est en cours de travail.

La figure 115 présente le plan de la pièce tel que découvert à la fouille, organisée en trois « nef » longilignes orientées dans le sens de l'espace quasi parfaitement nord-sud. L'un des longs côtés est muni d'une canalisation, probablement en bois, dont l'écoulement s'effectue vers le collecteur de la voie méridionale. La circulation peut être permanente (ou non) et munie d'un système

d'arrêt du flux destiné à permettre la récupération du liquide dans le cadre de son utilisation pour l'activité artisanale. Les foyers découverts sont tous installés au centre, au sein de la partie du sol qui n'a pas été décaissée. Ils sont accompagnés pour certains de trous de piquet. Enfin, une grande fosse au nord semble avoir détruit une partie des structures. Les deux bandes latérales sont quant à elles sur-creusées de 15 cm environ et diverses structures les occupent. Il s'agit à la fois de fosses plus ou moins allongées probablement destinées à diverses activités sans pouvoir dans l'immédiat les définir plus avant. Elles sont souvent en relation avec des zones indurées constituées de plaques rectangulaires ou carrées et que l'on peut interpréter comme des zones de frappe potentielles. Une enclume est enfin potentiellement en place au nord-ouest (SB2664). La figure 116 constitue la proposition d'interprétation de cet atelier réfléchi essentiellement sur une base documentaire planimétrique utilisant les structures dont l'interprétation est assurée. Etant donné la configuration des vestiges, nous avons imaginé une organisation rationalisée en deux rangs de postes de travail alignés répartis de part et d'autre d'une rangée de foyers centraux, eux aussi alignés. Les postes sont donc disposés de manière logique, plus ou moins en face de chaque foyer conservé. A portée de main peuvent être disposées les zones de frappe ou les enclumes. Certaines des fosses peuvent en outre avoir contenu les matières premières, combustible ou métal. Elles ne sont néanmoins pas forcément installées à proximité des postes eux-mêmes. Enfin, des systèmes de soufflet pourraient avoir été mis en place dans certaines des fosses sans que l'on puisse vraiment définir lesquelles. Cette organisation n'est pas contredite fondamentalement par l'analyse des taux de battiture, celui-ci étant de toute façon trop élevé et très bien réparti dans chaque unité du carroyage défini sur cet espace (Lammouchi 2018 : 24). Enfin, l'étude métallurgique des déchets aura permis de définir que dans cet atelier et pour cet état, le travail était essentiellement dévolu au compactage de masses brutes (Berranger 2015 : 209). Il faut très probablement imaginer des postes de travail permettant d'être assis ou accroupis, qui ne devaient probablement pas fonctionner tous en même temps étant donné l'étroitesse des lieux. Enfin, l'approvisionnement en eau devait probablement être possible à partir de la conduite orientale, qui pouvait éventuellement être aménagée pour retenir l'eau ou même être utilisée pour le puisage. Le liquide a pu aussi être stocké dans des vases autour des postes de travail. Enfin, les enclumes pouvaient être disposées à même le sol, sur les plaques de sédiment indurées mais aussi potentiellement à l'emplacement de certaines des fosses pouvant marquer la récupération d'ancrages en bois.

6.3. Catalogue des structures découvertes dans les forges d'Entrains-sur-Nohain "16 route d'Etai"

Enfin, pour pouvoir créer une base de données fiable et cohérente destinée à alimenter par la suite un SIG, un travail de catalogage a été engagé pour définir les types de structure auxquelles nous avons été confrontés dans les ateliers de forge. Ce catalogue est mis en place dans un premier temps à partir des données de la fouille du « 16, route d'Etai ». Il sera accompagné, dans la mesure du possible, d'une illustration photographique et éventuellement de coupes dans le cas de structures en creux. En revanche, il s'agit dans l'immédiat d'un travail préliminaire encore non raisonné ni interprété outre mesure.

Fosses-foyers avérées

Il s'agit de structures assez nombreuses, elles sont présentes durant toutes les périodes et sont plus ou moins différentes morphologiquement parlant. Leur caractéristique principale est un creusement relativement régulier plus ou moins rubéfié sur les bords. Nous avons pu en dénombrier 10, réparties dans la plupart des ateliers avérés .

US : 2507
Fait : FY2507
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse-foyer
Dimensions : long. 1,30 m larg. 0,80 m prof. 0,20 m
Texture : limon sableux, cailloutis
Structure : homogène, très compacte
Couleur : noir
Inclusions : cendres, charbons, scories, terre rubéfiée, cailloutis, blocs
Ramassages : aucun
Description : Foyer probable.



US : 2569
Fait : FY2569
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse-foyer
Dimensions : long. 0,50 m larg. 0,37 m prof. 0,20 m
Texture : limon
Structure : hétérogène, compacte
Couleur : noir
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, cailloutis, scories
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse-foyer situé dans l'espace de forge SL2480.



US : 2570
Fait : FY2570
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse-foyer
Dimensions : long. 0,63 m larg. 0,60 m prof. 0,10 m
Texture : limon
Structure : hétérogène, compacte
Couleur : noir
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, cailloutis, scories
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse-foyer situé dans l'espace de forge SL2480.



US : 2682
Fait : FY2682
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse-foyer
Dimensions : long. 0,45 m larg. 0,30 m prof. 0,10 m
Texture : limon argileux, limon sableux
Structure : peu compacte, hétérogène
Couleur : brun, gris, jaune, noir, foncé
Inclusions : cendres, charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse-foyer d'atelier métallurgique.



US : 2695
Fait : FY2695
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse-foyer
Dimensions : diam. 0,30 m prof. 0,10 m
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : noir
Inclusions : cendres, charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Foyer circulaire de forge.



US : 2713
Fait : FY2713
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse-foyer

Dimensions : long. 0,75 m larg. 0,62 m prof. 0,35 m
Texture : argile
Structure : peu compacte, hétérogène
Couleur : orangé, noir, moyen
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, battitures, scories
Ramassages : céramique
Description : Foyer de forge.

US : 2714

Fait : FY2714

Genre : composite

Type : creusement-comblement de fosse-foyer

Dimensions : long. 0,72 m larg. 0,60 m prof. 0,35 m

Texture : argile

Structure : peu compacte, hétérogène

Couleur : orangé, noir, moyen

Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, battitures, scories

Ramassages : céramique

Description : Foyer de forge.



2713 et 2714

US : 2719

Fait : FY2719

Genre : composite

Type : creusement-comblement de fosse-foyer

Dimensions : long. 1,10 m larg. 0,60 m prof. 0,30 m

Texture : argile

Structure : homogène, compacte

Couleur : jaune, orangé

Inclusions : cendres, charbons, scories, terre rubéfiée, battitures

Ramassages : aucun

Description : Fosse-foyer de l'atelier du secteur 5 (SL2252).



US : 2721

Fait : FY2721

Genre : composite

Type : creusement-comblement de fosse-foyer

Dimensions : long. 0,60 m larg. 0,60 m prof. 0,25 m

Texture : argile

Structure : hétérogène, compacte

Couleur : jaune, moyen

Inclusions : cendres, charbons, scories, terre rubéfiée, battitures

Ramassages : aucun

Description : Fosse-foyer de l'atelier du secteur 5 (SL2252).



US : 2761

Fait : FY2761

Genre : composite

Type : creusement-comblement de fosse-foyer

Dimensions : long. 0,58 m larg. 0,40 m prof. 0,20 m

Texture : limon

Structure : hétérogène, compacte

Couleur : noir

Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, cailloutis, scories

Ramassages : aucun

Description : Petite fosse-foyer situé dans l'espace de forge SL2082.



Foyers sur sole ou plaque d'argile cuite

Un seul exemple de ce genre de structure a pu être mis en évidence, toujours dans le bâtiment BATI4. Il est associé à un support de frappe avéré, en l'état représenté par une grosse pierre adossée à la structure de chauffe.

US : 2327
Fait : FY2327
Genre : construite
Type : socle d'implantation de foyer en briques
Dimensions : long. 0,50 m larg. 0,50 m haut. 0,10 m
Matériaux : autre : briques cuites
Traces : rubéfaction, feu
Position : initiale, horizontale
Construction : brique cuite : assemblage horizontal irrégulier
Description : Soubassement de foyer mal conservé en briques cuites.



Fosses associées à des traces rubéfiées

US : 2237
Fait : FY2237
Genre : positive-négative
Type : creusement de fosse-foyer
Dimensions : long. 0,50 m larg. 0,30 m prof. 0,05 m mini.
Texture : limon, argile
Structure : homogène, meuble
Couleur : rouge, brun, noir
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : céramique, métal, scorie
Description : La rubéfaction du sol SL2252 forme un sol d'un foyer dont la couleur dominante est le rouge brique avec une zone brun/rouge du côté S/E. A cette altération on a associé un creusement plus ou moins rectangulaire situé à l'est dont le remplissage est constitué de battitures et de charbons de bois et qui peut matérialiser la position du foyer.



US : 2238
Fait : FY2238
Genre : positive-négative
Type : creusement de fosse-foyer
Dimensions : long. 0,60 m larg. 0,30 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, compacte
Couleur : rouge, brun, noir, orangé
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : céramique, métal, scorie
Description : Comme pour le foyer FY2237 on a associé à la fosse rectangulaire remplie de battitures et de charbon de bois une grosse zone rubéfiée sur le sol en argile jaune. Cette rubéfaction est facilement perceptible du côté S/E de couleur beige/orangé. En revanche côté N/E, elle se confond avec la rubéfaction (jaune/orangé) qui s'étend en face du de la structure FS2240.



Traces rubéfiées

Cette catégorie n'est représentée que par une seule trace mal interprétée visible sur le sol dans l'atelier de la pièce PCE3 du bâtiment BATI4 durant les phases C3c et C3d. Non inventoriée, elle semble plutôt liée à un éventuel dépôt d'objet chaud sur le sol durant une période assez longue, ou alors à des travaux ponctuels difficilement interprétables. Elle se présente sous la forme de traces linéaires orientées de manière similaire dans le sens des vestiges fossoyés de la pièce.

Empierrement avec liant

Quelques exemples de ce genre de structure ont été découverts dans deux espaces seulement. Il pourrait s'agir de soubassements de structures aériennes détruites.

US : 2554

Genre : positive-négative

Type : amas de cailloux

Dimensions : long. 1,10 m larg. 0,40 m

Texture : argile

Structure : très compacte, hétérogène

Couleur : jaune

Inclusions : cailloutis, terre rubéfiée

Ramassages : aucun

Description : Amas de pierres et cailloux liés par une argile jaune plastique sans inclusions. Sa fonction reste indéterminée, il participe probablement aux aménagements de l'atelier en lui-même.

US : 2707

Genre : positive-négative

Type : amas de cailloux

Dimensions : long. 1,10 m larg. 0,60 m épais. 0,25 m

Texture : limon

Structure : meuble, homogène

Couleur : brun, gris

Inclusions : cailloutis, blocs

Ramassages : aucun

Description : Amas de pierre de 1,10 m par 0,60 m pour une épaisseur de 0,25 m. Il est situé en plein centre de l'atelier et fonctionne visiblement avec deux trous de piquets situés à l'est et à l'ouest (ils sont visibles en négatifs dans les battitures concrétionnées). Cet ensemble supporte visiblement une superstructure en bois totalement disparue et difficile à interpréter. Il existe une très grande quantité de battitures autour de cette structure et il pourrait s'agir d'un foyer surélevé totalement démantelé ?



US : 2708

Genre : positive-négative

Type : amas de cailloux

Dimensions : long. 1,10 m larg. 0,70 m épais. 0,25 m

Texture : limon

Structure : meuble, homogène

Couleur : brun, gris

Inclusions : cailloutis, blocs

Ramassages : aucun

Description : Amas de pierre de 1,10 m par 0,70 m pour une épaisseur de 0,25 m. Il est situé en plein centre de l'atelier et fonctionne visiblement après la mise en place d'une grande partie de la sédimentation Us 2631. Il recouvre le foyer FY2719 et semble posséder les mêmes caractéristiques que l'amas Us 2707. Il peut aussi être considéré comme une oblitération du foyer sous-jacent, toutefois, ce dernier est déjà en grande partie sédimenté au moment de l'installation de cet amas.



Empierrement sans liant

Plus nombreuses que les précédentes, ces structures empierreées pourraient, pour certaines, être clairement interprétées comme des enclumes en place.

US : 2119
Fait : SL2252
Genre : positive-négative
Type : sédimentation de sol riche en cendres et charbons
Dimensions : long. max. 4,20 m larg. max. 2,10 m épais.
Texture : limon sableux
Structure : hétérogène
Couleur : orangé, noir
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : battitures, scories, parois
Description : Il s'agit de restes d'un niveau de travail de forges composé au centre de la pièce d'une accumulation de parois vitrifiées et au sud-ouest d'une concentration de battitures. Tous ces témoins sont pris dans une couche sablo-limoneuse verdâtre (dans 2064) à forte proportion de cailloux calibrés.

US : 2241
Fait : SB2241
Genre : construite
Type : radier de pierres
Dimensions : long. 0,70 m larg. 0,30 m haut. 0,15 m
Texture : blocs
Structure : très compacte
Couleur : gris, foncé
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : céramique, métal, scorie
Description : Un aménagement en blocs de calcaire et de scories. Les blocs sont partiellement échauffés. Il pourrait s'agir d'un solin d'une petite cloison partiellement conservé ou d'un soubassement de structure lié aux ateliers de forges (enclume?).

US : 2243
Fait : SL2243
Genre : construite
Type : fondation de sol construit en hérisson de pierres
Dimensions : long. 2,6 m larg. 2,00 m haut. 0,10 à 0,15 m
Texture : blocs, argile
Structure : hétérogène, compacte
Couleur : beige, jaune, gris
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : scorie
Description : Un radier de sol construit en blocs de calcaire. Près de la moitié est recouvert d'une couche d'argile jeune/beige.

US : 2250
Genre : positive-négative
Type : amas de matériaux de destruction
Dimensions : long. 0,40 m larg. 0,25 m
Texture : blocs
Structure : homogène
Couleur : gris, moyen
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Amas de blocs de calcaire qui se développe sous la berme. Vu sur une longueur de 40 cm et une largeur de 25 cm. Sa fonction reste difficile à préciser (démolition en place?).

US : 2664
Fait : SB2664
Genre : construite
Type : structure informelle en pierres
Dimensions : long. 0,90 m larg. 0,40 m
Matériaux : pierre : bloc calcaire dur brut
Traces : rubéfaction
Position : initiale, nord-sud, horizontale



Construction : pierre: appareil de cailloux de forme irrégulière, disposition à plat, liant aucun
Description : Empierrement situé au sud de la fosse FS2663.

US : 2703

Genre : positive-négative

Type : remblai de pierres

Dimensions : long. 1 m larg. 0,80 m épais. 0,25 m

Texture : limon

Structure : homogène, peu compacte

Couleur : brun, gris

Inclusions : blocs, cailloutis

Ramassages : aucun

Description : Empierrement de scellement d'un foyer. Il est constitué par un amas de blocs pris dans un limon peu compact homogène brun gris et sert probablement de scellement après l'abandon du foyer FY2721.



Fosses simples

De loin les plus nombreuses, elles sont présentes dans tous les espaces de forge et ne livrent aucune information précise sur leur fonction. Il s'agit la plupart du temps de négatifs de structure de stockage, de fosses de rejet mais une autre interprétation pourrait, dans certains cas, être possible (fosse d'installation d'un poste de travail par exemple).

US : 2239

Fait : FY2239

Genre : positive-négative

Type : creusement de fosse-foyer

Dimensions : long. 2,30 m larg. 0,55 m prof. 0,15 m

Texture : limon

Structure : homogène, peu compacte

Couleur : noir

Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée

Ramassages : céramique, métal, scorie

Description : Une fosse oblongue ou un foyer allongé composé de 4 segments légèrement décalés. Malheureusement non fouillé entièrement en raison de son implantation dans la sédimentation sous-jacente Us 2631.



US : 2240

Fait : FS2240

Genre : positive-négative

Type : creusement de fosse

Dimensions : long. 0,55 m larg. 0,20 m à 0,40 m prof. 0,05 m

Texture : limon, cailloutis

Structure : homogène, peu compacte

Couleur : noir, beige, gris, moyen

Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée

Ramassages : céramique, métal, scorie

Description : Une fosse légèrement perturbée vers l'est avec le reste d'un calage sous forme d'un bloc de calcaire.



US : 2556

Fait : FS2556

Genre : composite

Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : diam. 0,28 m

Texture : limon

Structure : meuble, homogène

Couleur : noir, foncé

Inclusions : cailloutis, cendres, charbons

Ramassages : aucun

Description : Petite fosse de 28 cm de diamètre aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.



US : 2559
Fait : FS2559
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0,40 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse de 40 cm de diamètre aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.



US : 2560
Fait : FS2560
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0,25 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse de 25 cm de diamètre aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.



US : 2561
Fait : FS2561
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0,40 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse de 40 cm de diamètre aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.



US : 2562
Fait : FS2562
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,50 m larg. 0,60 m
Texture : argile
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : jaune, moyen
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse de 1,50 m par 60 cm aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.



US : 2681
Fait : FS2681
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,35 m larg. 0,25 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet ?



US : 2688
Fait : FS2688
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,32 m larg. 0,25 m prof. 0,19 m
Texture : limon
Structure : très compacte, hétérogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet ?

US : 2689
Fait : FS2689
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : prof. 0,05 m diam. 0,08 m
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet ?



2688 et 2689

US : 2690
Fait : FS2690
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,36 m larg. 0,34 m prof. 0,09 m
Texture : limon
Structure : très compacte, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet ?



US : 2697
Fait : FS2697
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,70 m larg. 0,60 m prof. 0,15 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, gris, foncé
Inclusions : cendres, charbons, scories, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Fosse rectangulaire.



US : 2700
Fait : FS2700
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,90 m larg. 1,70 m prof. 0,50 m mini.
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : verdâtre, noir, gris
Inclusions : charbons, cailloutis, scories, terre rubéfiée
Ramassages : céramique
Description : Grande fosse venant perturber l'ensemble des niveaux de forge du sol SL2252.



US : 2705
Fait : FS2705
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,20 m larg. 1,20 m prof. 0,30 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet ?



US : 2769
Fait : FS2769
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse-foyer
Dimensions : long. 1,50 m larg. 1,10 m prof. 0,30 m
Texture : limon argileux
Structure : meuble, homogène
Couleur : brun, noir
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Grande fosse de rejet ?



US : 2799
Fait : FS2799
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,20 m larg. 0,70 m prof. 0,50 m
Texture : limon argileux
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé, brun
Inclusions : cendres, cailloutis, charbons, battitures, scories, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet située dans un atelier métallurgique très dense ?



US : 2802
Fait : FS2802
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,20 m larg. 1 m prof. 0,50 m
Texture : limon argileux
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé, brun
Inclusions : cendres, cailloutis, charbons, battitures, scories, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet située dans un atelier métallurgique très dense ?



2802 et 2803

US : 2803
Fait : FS2803
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,80 m larg. 0,70 m prof. ?
Texture : limon argileux
Structure : meuble, homogène
Couleur : gris, brun, noir, foncé
Inclusions : cendres, cailloutis, charbons, battitures, scories, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet située dans un atelier métallurgique très dense ?

Fosses bordées de pierres

Moins nombreuses, il s'agit de structures identiques bordées de pierres calibrées pouvant adopter des fonctions plus ou moins identiques aux structures précédentes. Certains des amas peuvent être interprétés comme des supports d'enclume, la fosse pouvant alors matérialiser le poste de travail.

US : 2251
Fait : FY2251
Genre : positive-négative
Type : fosse empierrée
Dimensions : long. 2 m larg. 0,40 m prof. 0,15 m
Texture : blocs, limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir
Inclusions : blocs, cendres, charbons, terre rubéfiée, battitures, scories
Ramassages : céramique, scories
Description : Une fosse oblongue creusée directement dans le niveau de sol SL2252.



US : 2501
Fait : FS2501
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 2,10 m larg. 1,14 m prof. 0,18 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : noir
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, blocs, scories
Ramassages : aucun
Description : Grande fosse rectangulaire.



US : 2555
Fait : FS2555
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0,40 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse de 40 cm de diamètre aménagée au nord/est de l'espace de forge SL2083.



US : 2557
Fait : FS2557
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0,40 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse de 40 cm de diamètre aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.



US : 2558
Fait : FS2558
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse

Dimensions : long. 0,90 m larg. 0,70 m
Texture : argile
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : jaune, brun, gris, moyen
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse de 90 cm par 70 cm aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.

US : 2563
Fait : FS2563
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,50 m larg. 0,20 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cailloutis, cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Petite fosse oblongue de 50 cm par 20 cm aménagée au sein de l'espace de forge SL2083.

US : 2686
Fait : FS2686
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,37 m larg. 0,25 m prof. 0,06 m
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet ?

US : 2706
Fait : FS2706
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,50 m larg. 0,80 m prof. 0,30 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse de rejet ?

US : 2711
Fait : FS2711
Genre : positive-négative
Type : creusement de fosse
Dimensions : long. 2,30 m larg. 0,80 m prof. 0,25 m
Description : Grande fosse rectangulaire de 2,30 m par 0,80 m pour une profondeur de 0,25 m en moyenne. Orientée nord/sud, elle est située à l'aplomb du mur MR2701 à l'ouest de l'espace de forge du premier état du sol SL2252. Elle présente des parois obliques et un fond en cuvette semi-circulaire. Elle est comblée par une seule couche issue d'une globalisation d'un micro-litage de niveaux de déchets de forges issus d'un fonctionnement long de la structure. Il s'agit de limons homogènes très meubles et pulvérulents brun/gris à inclusions fortes de charbons, cendres et scories et rechapé parfois de couches d'argile jaune pure. Les concrétions ferriques sont très présentes dans le comblement d'utilisation de la fosse. Les parois n'étant pas rubéfiées, soit il s'agit d'une fosse de rejet, soit le foyer était bien plus haut et construit.



US : 2801
Fait : FS2801
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : prof. 0,50 m diam. 0,65 m
Texture : limon argileux, limon sableux
Structure : meuble, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : cendres, cailloutis, charbons, battitures, scories, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Fosse circulaire de rejet située dans un atelier métallurgique très dense ?



Fosse associée à des poteaux

Structure peu représentée, un seul exemplaire a pu être inventorié dans les espaces d'ateliers découverts sur la fouille. Une fonction de stockage pourrait être associée à ces structures dont seul le fond serait conservé, les parois en matériaux périssables ayant été dégradées.

US : 2696
Fait : FS2696
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,30 m larg. 0,90 m prof. 0,20 m
Texture : limon
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, gris, foncé
Inclusions : cendres, charbons, scories, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Fosse rectangulaire.



Fosses associées à des zones indurées

Troisième série la plus nombreuse, il s'agit pour l'essentiel des fosses découvertes dans la pièce PCE1b du bâtiment BATI4, l'atelier le mieux conservé du site. La fonction de ces structures pourrait être variable, mais parmi diverses possibilités, les fonctions de zone de stockage ou de poste de travail restent les deux hypothèses les plus probables.

US : 2669
Fait : FS2669
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : diam. 0,28 m prof. 0,09 m
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : noir, moyen
Inclusions : charbons
Ramassages : céramique
Description : Fosse de stockage ou poste de travail.



US : 2670
Fait : FS2670
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,10 m larg. 0,92 m prof. 0,20 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, hétérogène
Couleur : noir, moyen
Inclusions : cailloutis, blocs, cendres, charbons, terre rubéfiée, scories



Ramassages : aucun
Description : Fosse de stockage ou poste de travail.

US : 2671
Fait : FS2671
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 1,50 m larg. 0,80 m prof. 0,10 m
Texture : limon sableux, limon argileux
Structure : compacte, hétérogène
Couleur : brun, gris, jaune, noir
Inclusions : charbons, cailloutis, blocs, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse de stockage ou poste de travail.



US : 2683
Fait : FS2683
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,28 m larg. 0,22 m prof. 0,30 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : noir, moyen
Inclusions : cailloutis, blocs, cendres, charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Fosse de stockage ou poste de travail.



US : 2691
Fait : FS2691
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,96 m larg. 0,32 m prof. 0,21 m
Texture : limon
Structure : très compacte, hétérogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons, cendres, cailloutis
Ramassages : aucun
Description : Fosse de stockage ou poste de travail.



Fosses associées à des poteaux et des zones indurées

Cette série de deux structures associe les deux composantes précédentes, à savoir la présence de poteaux sur les côtés de la fosse et un emplacement contiguë à une zone indurée. Il s'agit très certainement de structures de stockage, soit de matière première (métal, lingots, barres, etc.) ou de combustible (charbons). La fosse FS2665 est associée aux poteaux 2687, 2667 et 2666 ; la fosse FS2506 est associée aux poteaux 2529 et 2530. Les structures sont relativement identiques et sont proches dans leur morphologie de la fosse FS2696.

US : 2506
Fait : FS2506
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,98 m larg. 1,08 m prof. 0,10 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : noir
Inclusions : cendres, charbons, scories
Ramassages : aucun
Description : Grande fosse presque carrée.



US : 2529
Fait : PO2529
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,12 m larg. 0,07 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau fonctionnant dans la fosse FS2506.

US : 2530
Fait : PO2530
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,06 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau fonctionnant dans la fosse FS2506.

US : 2665
Fait : FS2665
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,54 m larg. 0,32 m prof. 0,17 m
Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Fosse de stockage.

US : 2666
Fait : PO2666
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,06 m larg. 0,04 m prof.
Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir, moyen
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Petit trou de piquet.

US : 2667
Fait : PO2667
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,11 m larg. 0,02 m prof.
Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir, moyen
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Petit trou de piquet.

US : 2687
Fait : PO2687
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,04 m



Texture : limon
Structure : compacte, homogène
Couleur : noir, moyen, gris
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Petit trou de piquet.

Fosses de calage d'enclume

Une seule structure peut à coup sûr être interprétée comme un support d'enclume, il s'agit d'une fosse contenant une grosse pierre bien centrée adossée à une autre structure fossoyée sans autre aménagement.

US : 2800
Fait : FS2800
Genre : composite
Type : creusement-comblement de fosse
Dimensions : long. 0,50 m larg. 0,50 m prof. ?
Texture : limon argileux
Structure : meuble, homogène
Couleur : noir, foncé, brun
Inclusions : cendres, cailloutis, charbons, battitures, scories, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Fosse située dans un atelier métallurgique très dense, probable emplacement d'enclume, ou soubassement d'enclume.



Trous de poteau et négatifs de pièces de bois

De très loin les structures les plus nombreuses (47 trous), ces négatifs isolés, en grappes ou alignés doivent caractériser nécessairement différentes réalités. Pour certains, encadrants les structures de chauffe avérées ou des fosses, il s'agit d'aménagements en lien avec l'activité de forge (structures 2244 à 2249, 2502, 2526 à 2528, 2531 à 2533, 2578 à 2587, 2594, 2685 ou 2692 par exemple). D'autres, circulaires, plus gros et isolés, sont sans doute en lien avec l'architecture générale du bâtiment (2120 ou 2668). Enfin, une très grande série alignée dans le sens nord-sud au sein de la pièce PCE3 du bâtiment BATI4 pourrait caractériser un cloisonnement, ou les restes de parois en torchis situées sur l'arrière de structures de chauffe (groupe de 2218 à 2235). Ce dernier ensemble pourrait néanmoins aussi être en lien avec des structures associées à ces mêmes foyers.

US : 2120
Fait : PO2120
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,30 m
Texture : limon, blocs
Structure : homogène
Couleur : gris, verdâtre, moyen
Inclusions : blocs
Description : Poteau circulaire à calage de pierres. D'un diamètre de 30 cm, il n'a pas pu être testé jusqu'au fond, sa partie inférieure se confondant avec les niveau sous-jacent. Il est comblé par une couche unique de limon homogène meuble gris/verdâtre à inclusions de blocs (calage).



US : 2218
Fait : PO2218
Genre : composite

Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,11 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène
Couleur : noir, foncé
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2219
Fait : PO2219
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,05 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène
Couleur : gris, moyen
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2220
Fait : PO2220
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,15 m larg. 0,08 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène
Couleur : gris, moyen
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2221
Fait : PO2221
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,16 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène
Couleur : gris, moyen
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2222
Fait : PO2222
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,20 m larg. 0,15 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène
Couleur : gris, moyen
Inclusions : cendres, charbons
Description : Le reste du calage sous forme d'un bloc de calcaire (0,15 m x 0,05 m) et d'une scorie. Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2223
Fait : PO2223



Groupe 2218 à 2235

Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,08 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2224
Fait : PO2224
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,13 m larg. 0,11 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2225
Fait : PO2225
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,06 m larg. 0,05 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2226
Fait : PO2226
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,05 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2227
Fait : PO2227
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,10 m larg. 0,06 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2228
Fait : PO2228

Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,10 m larg. 0,08 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2229
Fait : PO2229
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,11 m larg. 0,10 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2230
Fait : PO2230
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,20 m larg. 0,13 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2231
Fait : PO2231
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,13 m larg. 0,12 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2232
Fait : PO2232
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,11 m larg. 0,10 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2233
Fait : PO2233

Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,08 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2234
Fait : PO2234
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,14 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau avec un calage sous forme d'un bloc de calcaire. Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2235
Fait : PO2235
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,14 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2236
Fait : PO2236
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,08 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, meuble
Couleur : gris, moyen, beige
Inclusions : cendres, charbons
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2244
Fait : PO2244
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,10 m larg. 0,06 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : gris, clair
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2245
Fait : PO2245



Groupe 2244 à 2249

Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,20 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : gris, clair
Inclusions : cendres, charbons
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2246
Fait : PO2246
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,20 m larg. 0,12 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : gris, clair
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2247
Fait : PO2247
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,20 m larg. 0,18 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : gris, clair
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2248
Fait : PO2248
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,25 m larg. 0,20 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : gris, clair
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2249
Fait : PO2249
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,09 m larg. 0,07 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : gris, clair
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : aucun
Description : Le remplissage est constitué des battitures et de charbons de bois, donc des composants du niveau supérieur.

US : 2502
Fait : PO2502

Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,07 m prof. 0,10 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau.

US : 2526
Genre : négative
Type : de structure en bois
Dimensions : long. 0,25 m larg. 0,14 m prof. 0,04 m
Description : Aménagement en négatif fonctionnant sans doute avec le foyer FY2507 et marquant la présence d'une structure en bois totalement disparue. Elle prend la forme d'un "L" orienté nord/sud et indiquant la présence de deux planches dans l'angle de cette fosse-foyer.

US : 2527
Fait : PO2527
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,12 m larg. 0,08 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau.

US : 2528
Fait : PO2528
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,06 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau.

US : 2531
Fait : PO2531
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,08 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau.

US : 2532
Fait : PO2532
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,08 m larg. 0,06 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres

Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau fonctionnant dans la fosse FS2506.

US : 2533
Fait : PO2533
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,07 m prof. 0,08 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir
Inclusions : charbons, cendres
Ramassages : aucun
Description : Trou de poteau.

US : 2578
Genre : négative
Type : de structure en bois
Dimensions : long. 0,60 m larg. 0,06 m prof. 0,05 m
Description : Négatif de planche orienté est/ouest situé 10 cm au sud du foyer FY2569. Cet aménagement fonctionne probablement avec le foyer et représente une pièce de bois de 6 cm de large pour 60 cm de long et 5 cm d'épaisseur.

US : 2579
Fait : PO2579
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,09 m larg. 0,06 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge.

US : 2580
Fait : PO2580
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,09 m larg. 0,02 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge.

US : 2581
Fait : PO2581
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,04 m larg. 0,04 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge.

US : 2582

Genre : négative
Type : de structure en bois
Dimensions : long. 0,16 m larg. 0,03 m épais. 0,05 m
Matériaux : autre : bois carbonisé
Description : Négatif de planche orienté nord/sud situé 10 cm à l'ouest du foyer FY2569. Cet aménagement fonctionne probablement avec le foyer et représente une pièce de bois de 3 cm de large pour 16 cm de long et 5 cm d'épaisseur.

US : 2583
Genre : négative
Type : de structure en bois
Dimensions : long. 0,10 m larg. 0,01 m épais. 0,03 m
Matériaux : autre : bois carbonisé
Description : Négatif de planche orienté est/ouest situé contre le foyer FY2569 au nord. Cet aménagement fonctionne probablement avec le foyer et représente une pièce de bois de 1 cm de large pour 10 cm de long et 3 cm d'épaisseur.

US : 2584
Fait : PO2584
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,06 m larg. 0,03 m prof. 0,05 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge.

US : 2585
Fait : PO2585
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,10 m larg. 0,04 m
Texture : argile
Structure : compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge. Il se distingue par son comblement argileux.

US : 2586
Fait : PO2586
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,05 m larg. 0,03 m prof. 0,05 m
Texture : limon sableux
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge.

US : 2587
Fait : PO2587
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,08 m larg. 0,04 m
Texture : limon sableux

Structure : peu compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge.

US : 2594
Genre : négative
Type : de structure en bois
Dimensions : long. 0,22 m larg. 0,07 m épais. 0,07 m
Matériaux : autre : bois carbonisé
Description : Négatif de planche orienté nord-ouest/sud-est situé contre le foyer FY2569 au nord. Cet aménagement fonctionne probablement avec le foyer et représente une pièce de bois de 7 cm de large pour 22 cm de long et 7 cm d'épaisseur.

US : 2668
Fait : PO2668
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : diam. 0,15 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : hétérogène, peu compacte
Couleur : noir, moyen, brun
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Petit trou de piquet.



Groupe 2578 à 2587 et 2594

US : 2685
Fait : PO2685
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,10 m larg. 0,03 m prof. 0,05 m
Texture : limon
Structure : peu compacte, homogène
Couleur : gris, noir
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Trou de piquet présent au sein des aménagements de l'atelier de forge.

US : 2692
Fait : PO2692
Genre : composite
Type : creusement-comblement de trou de poteau
Dimensions : long. 0,07 m larg. 0,05 m prof. 0,10 m
Texture : limon sableux
Structure : homogène, peu compacte
Couleur : noir, foncé
Inclusions : charbons
Ramassages : aucun
Description : Petit trou de piquet.

Structures hydrauliques

Cette dernière série n'est représentée que par deux structures linéaires en creux traversant de part en part deux espaces d'atelier avérés. Elles sont caractérisées par des petites tranchées en négatif probablement occupées à l'origine par des conduites en bois totalement détruites. La plus significative, CN2491, est intégrée dans la pièce PCE1b du bâtiment BATI4 le long du mur oriental et cours du nord vers le sud. Elle se déverse dans le collecteur de la rue méridionale.

US : 2242
Fait : TR2242
Genre : composite
Type : creusement-comblement de tranchée indifférenciée
Dimensions : long. 0,70 m larg. 0,30 m haut. 0,15 m
Texture : blocs
Structure : meuble, hétérogène
Couleur : noir
Inclusions : cendres, charbons, terre rubéfiée
Ramassages : céramique, métal, scorie
Description : Il s'agit le plus vraisemblablement d'un caniveau (?). Elle traverse la zone fouillée du N/E vers le S/O avec une interruption à 1,6 m du côté N/E. Elle semble parfaitement diagonale à l'orientation de la pièce, et sépare l'espace en deux zones bien distinctes 1/3 au nord-ouest et 2/3 au sud-est.



US : 2491
Fait : CN2491
Genre : construite
Type : parement de caniveau en pierres sèches appareillées
Dimensions : long. 9 m larg. 0,50 m prof. 0,40 m
Matériaux : pierre : bloc calcaire dur équarri
Position : initiale, horizontale, nord-sud
Construction : pierre: disposition à plat, nombre d'assises 1, liant aucun
Description : Creusement, construction et abandon de caniveau.



7. Perspectives pour 2020

Marion Berranger

7.1. Les espaces de réduction

L'année 2020 correspond à la dernière année du programme triennal. En prévision des synthèses nous prévoyons de mettre l'accent sur l'achèvement de certains dossiers :

- datations de tous les charbons encore non datés issus des amas de scories prospectés ces deux dernières années (charbons prélevés principalement dans le Nivernais, le Morvan-Auxois et en Puisaye) ;

- achèvement d'une première sélection d'analyses chimiques sur les sites échantillonnés en 2019. Le protocole retenu est d'analyser 10 scories et minerais par site daté. Le Morvan-Auxois et le secteur de Saint-Fargeau (89) seront prioritaires ;

- achèvement des dépouillements concernant les sites de Bourgogne, à la carte archéologique (SRA de Dijon) afin d'inventorier et de cartographier les sites de réduction à l'échelle régionale (en prévision le recrutement d'un IE sur 1 mois est envisagé).

L'objectif est dans un premier temps de présenter et d'analyser les données à l'aide d'un logiciel de Système d'Information Géographique (QGIS) afin de croiser les données spatiales avec les informations topographiques, chronologiques et chimiques saisies dans la base de données.

Les travaux de terrain seront centrés uniquement sur la Puisaye et prendront une nouvelle ampleur en 2020. Nous avons déjà présenté dans le détail les perspectives d'étude pour ce secteur dans le chap. 4.10.2, nous n'en reprendrons donc ici que les éléments principaux.

Une fouille de deux semaines sur un des amas de scories protohistorique identifié dans la zone-atelier de Saint Fargeau « Bois de Bailly », est prévue (datation radiocarbone issue des prospections 2019 : 400-210 CalBC). Au préalable, afin de guider l'implantation des zones à fouiller en aire ouverte, des prospections géophysiques seront réalisées dans le courant de l'hiver 2020 (réalisation M. Thivet, C. Sanchez, Chrono-environnement).

A l'hiver 2020 sont également prévues des prospections sur une troisième zone-atelier, située dans le centre de la Puisaye, à Villiers-Saint-Benoit (89). Les autorisations des propriétaires des parcelles concernées par ces différentes opérations sont déjà acquises.

Les travaux de post-fouille, incluant l'analyse macroscopique et archéométrique des déchets seront poursuivis. Un effort particulier concernera la thématique de dendro-anthracologie afin d'effectuer l'étude des prélèvements de charbons réalisés en stratigraphie sur des US déjà datées par radiocarbone. Olivier Girardclos du laboratoire Chrono-environnement et Sylvie Coubret de l'INRAP, deux spécialistes en dendrochronologie et en anthracologie devraient travailler conjointement sur ces aspects durant un mois.

7.2. Les ateliers de forgeage et la circulation des matières premières

A la suite du travail initié en 2019 à partir de l'agglomération d'Entrains-sur-Nohain, concernant l'interprétation des espaces d'ateliers de forge, il s'agira en 2020 d'achever la codification des structures métallurgiques sous forme d'un catalogue traité sur QGIS, afin de proposer des plans interprétatifs normalisés par espaces. Ce travail permettra de visualiser le positionnement des

structures métallurgiques en liens avec les micro- et macro- déchets, au sein d'un atelier, en fonction des ateliers et à l'échelle de l'agglomération. Il s'agit d'un outil destiné à faciliter les confrontations et/ou corrélations en fonction des techniques de forgeage identifiées, des types de structures métallurgiques ou encore des dimensions des ateliers.

Un travail de synthèse sera également entrepris sur la circulation de produits métalliques datés du Hallstatt D3-LTA (VIIIe-Ve s. av. J.-C.). En effet nous disposons à présent d'un corpus cohérent de produits métalliques de cette période dont la signature chimique inclusionnaire a été déterminée. Il s'agit de plusieurs demi-produits de type bipyramidés (3 objets) et de *currency-bars* issus du salinois et du châlonnais (18 objets), ainsi que de chutes de travail du fer provenant de Bragny-sur-Saône « Sous Moussière » (5 objets) et de Vix (12 objets). L'ensemble de ces données chimiques doit être comparé afin d'identifier d'éventuels groupes chimiques cohérents. Une comparaison avec les données chimiques acquises sur les espaces de production sera également entreprise afin de tenter d'identifier des provenances.

L'analyse d'un demi-produit de type *currency-bar* découvert sur le Gué de Salcy, dans l'Yonne, soit en plein cœur des zones de production de Puisaye-Pays d'Othe est également prévue. Il s'agit d'un objet conservé au musée de Sens, par la société archéologique de Sens. Sa restauration devra donc être engagée à l'issue de l'étude.

Enfin, une première publication concernant les travaux engagés sur les espaces de réduction en Bourgogne-Franche-Comté, et plus particulièrement sur la Puisaye est envisagée dans le courant de l'année 2020.

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).

Barbier 1999 dans Sarreste 2011 : BARBIER (D.). - Histoire de la végétation du nord mayennais de la fin du Weichselien à l'aube du XXI^e siècle : mise en évidence d'un Tardiglaciaire armoricain. Interactions hommes-milieu. Nantes, Groupe d'Étude des Milieux Naturels (GEMINA), 2011, 1283 p.

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).

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.), GIRARD-CLOS (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.

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, *Caesardunum*, 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.
- Chambon et al. 2014** : CHAMBON (M.-P.), JOLY (M.), MOUTON-VENAULT (S.) - *Les céramiques de l'axe ligérien, entre le Nivernais et l'Orléanais : Concordances et discordances.* Dans RIVET dir., Actes du congrès de Chartres, Marseille, 2014, p. 261-282.
- 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 »).
- Deforce et al. 2013** : DEFORCE (K.), BOEREN (I.), ADRIAENSSENS (S.), BASTIAENS (J.), DE KEERSMAEKER (L.), HANECA (K.), TYS (D.), VANDEKERKHOVE (K.).- Selective woodland exploitation for charcoal production. A detailed analysis of charcoal kiln remains (ca. 1300–1900 AD) from Zoersel (northern Belgium). *Journal of Archaeological Science*, 40, 1, pp. 681-689.
- Deforce, Haneca 2015** : DEFORCE (K.), HANECA (K.). - Tree-ring analysis of archaeological charcoal as a tool to identify past woodland management: The case from a 14th century site from Oudenaarde (Belgium). *Quaternary International*, 366, pp. 70-80.
- 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 (6th -5th 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 2006 : DUFRAISSE (A.). - Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth. In : Dufraisse (A.) dir. - *Charcoal analysis : new analytical tools and methods for archaeology*. Papers from the table-ronde held in Basel (October 2004). Oxford : Archaeopress, p. 47-61 (BAR International Series).

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. 2018 : 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.

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.

Girardclos et al. 2012 : GIRARDCLOS (O.), BILLAMBOZ (A.), GASSMANN (P.). - Abandoned Oak coppice on both sides of the Jura Mountains: dendroecological growth models highlighting woodland development and management in the past. In : GÄRTNER (H.), ROZENBERG (P.), MONTÈS (P.), BERTEL (O.), HEINRICH (I.), HELLE (G.) Dir. TRACE : *Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology* Volume 10 Proceedings of the DENDROSYMPOSIUM 2011 May 11th - 14th, 2011 in Orléans, France : Deutsches

GeoForschungsZentrum GFZ, Potsdam, pp. 71-78.

Girault 1988 : GIRAULT (D.). - *Les stations forestières de la Puisaye*, Cemagref-Techniques forestières, Nogent-sur-Vernisson. 250 p.

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.

Kasprzyk, Mouton-Venault 2011 : KASPRZYCK (M.), MOUTON-VENAULT (S.) - Premier aperçu des céramiques tardives en Bourgogne. In : OUZOULIAS (P.), SEGUIER (J.-M.), VAN OSSEL (P.) *Les céramiques de l'Antiquité Tardive en Ile-de-France et dans le Bassin parisien*, Actes de la table ronde des 8 et 9 mars 2007 à Bourg-La-Reine, Dioecesis Galliarum, Univ. Paris X-Nanterre-UMR ArScan, p. 67-102.

Lammouchi 2019 : LAMMOUCHI (S.). - *Etude spatiale des battitures sur le site d'Entrains-sur-Nohain. Fouille du 16 route d'Etas*. Mémoire de master 1 de l'Université de Strasbourg. Sous la direction de L. Bernard et M. Berranger, 2019.

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.

Leguédois et al. 2011 : LEGUEDOIS (S.), PARTY (J.-P.), DUPOUEY (J.-L.), GAUQUELIN (T.), GEGOUT (J.-C.), LECAREUX (C.), BADEAU (V.), PROBST (A.). - La carte de végétation du CNRS à l'ère du numérique. La base de données géographique de la végétation de la France. Couverture vectorielle harmonisée à 1/1 000 000 et scan géoréférencé à 1/200 000. *Cybergeo : European Journal of Geography* [en ligne], URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/24688> [lien valide au 24 décembre 2019].

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.

Ludemann 2010 : LUDEMANN (T.). - Past fuel wood exploitation and natural forest vegetation in the Black Forest, the Vosges and neighbouring regions in western Central Europe. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291, 1 2, pp. 154 165.

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.

Marcoux, Marguerie 2008 dans Sarreste 2011 : MARCOUX (N.), MARGUERIE (D.) - *Étude anthracologique sur le site de Roche Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe). Atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer*. UMR 6566 Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences et Histoire (CNRS – Université de Rennes 1), rapport no 0804, inédit, 21 p.

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.

Marguerie et al. 2010 : MARGUERIE (D.), BERNARD (V.), BÉGIN (Y.), TERRAL (J. F.), « Dendroanthracologie ». In : PAYETTE (S.), FILION (L.) dir. : *La dendroécologie, principes, méthodes et applications*, Presses de l'Université Laval, Québec, pp. 311 347.

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).

Mouton-Venault et al. 2017 : MOUTON-VENAULT (S.), AHÛ-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.

Mouton-Venault et al. 2015 : MOUTON-VENAULT (S.), AHÛ-DELOR (A.), (dir.), BARTHELEMY (D.), HUMBERT (S.) avec la collaboration de F. Barthélemy, A. Corsiez, C. Hervé, M. Joly et A. Saggese - Évolution des répertoires de la céramique culinaire en Champagne, Bourgogne et Franche-Comté au cours des cinq premiers siècles de notre ère. *Revue archéologique de l'Est*, 64, 2015, p. 161-222.

Mouton-Venault, Devevey 2005 : MOUTON (S.), DEVEVEY (F.) - *L'approvisionnement de l'agglomération de Chevroches au Bas-Empire : la prédominance des productions de Domecy-*

sur-Cure, un cas particulier ? Actes du congrès de Blois organisé par la SFECAG du 5 au 8 mai 2005, 2005, p.479-494.

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.

Nourissier et al. : Nourissier (A.), Nocus (N.), Dufraisse (A.). - *Manuel d'utilisation d'ACACIA, Automatical Creation of Anthracological diAgram*. https://dendrac.mnhn.fr/IMG/pdf/acacia_userguide.pdf [accédé en 2019].

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.

Paradis-Grenouillet, Dufraisse 2018 : PARADIS-GRENOUILLET (S.), DUFRAISSE (A.) - Deciduous oak/chestnut: Differential shrinkage of wood during charcoalification? Preliminary experimental results and implications for wood diameter study in anthracology. *Quaternary International*, 463, pp. 258-267.

Pelet 1993 : PELET (P.-L.) - *Une Industrie reconnue : fer, charbon, acier dans le Pays de Vaud*. Lausanne, Cahiers d'Archéologie Romande n° 60, 142 p.

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.

Poirier et Paradis 2015 : POIRIER (P.) et PARADIS (L.). - Enseignements de l'approche archéo-anthracologique dans le cadre de l'étude des modalités d'approvisionnement en combustible des sites du Centre-Ouest de la France à l'âge du Fer. In : MOUGNE (C.) et DAIRE (M.-Y.) dir. : *L'Homme, ses ressources et son environnement, dans l'Ouest de la France à l'âge du Fer : actualités de la recherche*, Actes du Séminaire Archéologique de l'Ouest du 24 mars 2014, Mémoire de Géosciences hors-série n° 9, éditions de Géosciences Rennes, 181 p.

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 »).

Schoch et al. 2004 : SCHOCH (W.), HELLER (I.), SCHWEINGRUBER (F.H.), KIENAST (F.). - *Wood anatomy of central European Species*. Online version: www.woodanatomy.ch [accédé en 2019].

Séguier, Delage 2009 : SEGUIER (J.-M.), DELAGE (R.) - *Les assemblages de céramiques du IIIe siècle après J.-C. dans le secteur Seine-Yonne : datation, faciès et approvisionnements*. In RIVET dir., Actes du Congrès de Colmar, Marseille, 2009, p. 501-562.

Séguier 2006 : SEGUIER (J.-M.) - La céramique de trois contextes de la seconde moitié du IIIe s. de l'établissement antique du bois de roselle à Balloy. In : VAN OSSEL (P.) (dir.) - *Les céramiques de l'Antiquité Tardive en Ile-de-France et dans le Bassin parisien, Dioecesis Galliarum Document de travail n° 7*, Nanterre, 2006, p. 35-48.

Séguier 2011 : SEGUIER (J.-M) - Nouvelles données sur les productions à revêtement argileux de Jaulges & Villiers-Vineux. In :VAN OSSEL (P.) (dir) avec la coll. de BERTIN (D.) et SEGUIER(J.-M.), *Les céramiques de l'Antiquité Tardive en Ile-de-France et dans le Bassin parisien, vol.II – synthèse, Dioecesis Galliarum Document de travail n° 9*, Nanterre, p. 215-230.

Théry-Parisot et al. 2016 : THERY-PARISOT (I.), HENRY (A.), CHRZAZVEZ (J.). - *Apport de l'expérimentation à la compréhension des pratiques en anthracologie: gestion et utilisation du bois de feu dans les sociétés préhistoriques*, Cadernos do LEPAARQ [en ligne], 13, 25, URL : <https://www.periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/lepaarq/article/view/7410> [lien valide au 19 septembre 2016]

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.	10
Figure n°2. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits.	13
Figure n°3. Liste des participants au PCR et détail des activités de chacun.	14
Figure n°4. Localisation des analyses radiocarbone et chimiques disponibles sur les sites étudiés dans le cadre du PCR (état fin 2019).	16
Figure n°5. Liens existants entre les tables créées au sein de la base de données.	19
Figure n°6. Exemple de fiche de site.	20
Figure n°7. Exemple de fiche d'inventaire de scories de réduction.	21
Figure n°8. Exemple de fiche d'inventaire de scories de forge.	21
Figure n°9. Exemple de fiche d'inventaire des objets en métal.	21
Figure n°10. Exemple de fiche d'inventaire des datations radiocarbone.	21
Figure n°11. Exemple de fiche descriptive d'échantillon scorifié étudié en métallographie.	22
Figure n°12. Exemple de fiche descriptive d'échantillon métallique étudié en métallographie.	23
Figure n°13. Acquisition des blocs d'image.	26
Figure n°14. Exemple de cibles destinées au géoréférencement du photomodèle.	26
Figure n°15. Alignement des clichés et nuage de points épars (Aillant F1-301-SC19).	27
Figure n°16. Aillant F1-301-SC19, maillage texturé, sans ombrage (à gauche) et ombrage global (à droite).	27
Figure n°17. Exemple de traitement d'image permettant de légendier les sections étudiées en métallographie et de calculer la proportion des phases constitutives (bipyramide de Vix).	28
Figure n°18. Etat d'avancement du dépouillement des communes à la carte archéologique en 2019.	33
Figure n°19. Carte de la partie centrale du district sidérurgique de Berthelange (Doubs et Jura)	34
Figure n°20. Le site protohistorique d'Étrabonne 11 « Grandes Vènes »	35
Figure n°21. Lanterne-Vertière 4 "Beauregard". Macroscopie et vue en coupe de la scorie piégée.	36
Figure n°22. Localisation des sites de réduction datés par radiocarbone.	38
Figure n°23. Graphique des 143 dates radiocarbone en fonction des années d'acquisition	39
Figure n°24. Graphique des dates radiocarbone en fonction de la provenance des prélèvements	40
Figure n°25. Continuités et ruptures dans les dates radiocarbone	41
Figure n°26. Tableau des dates C14 obtenues en 2019 et attendues pour 2020	45
Figure n°27. La Puisaye : délimitation de la zone d'étude, localisation des amas de déchets sidérurgiques connus en prospections (inventaire J.-P. Piétak) et des sites étudiés.	56
Figure n°28. Montholon : localisation des amas de déchets étudiés dans la zone délimitée. Emplacement des acquisitions LiDAR (M. Berranger).	59
Figure n°29. Fenêtre et utilisation du plugin YellowScan, via le logiciel QGIS (version 3.6 - M. Herbrich).	60
Figure n°30. Une bande de vol classifiée, affichant les deux sous-ensembles (Ground et Trees) en deux couleurs distinctes (M. Herbrich).	60
Figure n°31. Vue de la classification en coupe du nuage. Secteur de la « Prée Murée ». Lp360 (M. Herbrich)	61
Figure n°32. Ferrier 89.003.001. Traitement HS (8bits). Logiciel : RVT.	61
Figure n°33. Coupe de 89.003.001. (Coupe horizontale sur la figure)	62

Figure n°34. Localisation des deux coupes du site 89.003.001	62
Figure n°35. Coupe de 89.003.001. (Coupe verticale sur la figure)	62
Figure n°36. Secteur de Montholon. Inventaire des datations radiocarbone effectuées ou en cours.	63
Figure n°37. Secteur de Montholon. Localisation des amas de déchets par phase.	64
Figure n°38. Montholon : chronologie, dimensions en mètres et volumes des amas en m ³	65
Figure n°39. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" inventaire des sites par groupe typologique d'amas. Dimensions en mètres et volumes des amas en m ³ .	67
Figure n°40. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" caractéristiques des sites par groupe typologique d'amas. Dimensions en mètres et volumes en m ³	69
Figure n°41. Amas 89.344.024 coupé par un fossé bordier de chemin.	70
Figure n°42. Amas 89.344.033 coupé par un chemin.	70
Figure n°43. Localisation du sondage (noir) sur l'amas 89.344.006.	71
Figure n°44. Plan du sondage et des structures décapées sur le terrain naturel	72
Figure n°45. Trou de poteau 117, avant et après fouille	72
Figure n°46. US 115, zone de grillage de minerai ?	73
Figure n°47. Relevé et vue de la coupe est du sondage	73
Figure n°48. Relevé et vue de la coupe ouest du sondage	74
Figure n°49. Vue générale du sondage vers le nord	75
Figure n°50. Saint-Fargeau "Bois de Bailly". Inventaire des datations radiocarbone.	76
Figure n°51. Les trois blocs de scorie visibles en surface de l'amas coupé par un chemin.	77
Figure n°52. Treigny "Bois de la Belle Fontaine". A. Localisation et B. plan de l'amas. C. Vue d'une des scories fragmentées sur place (face supérieure sur le sol). D. Détail d'un grain de minerai.	78
Figure n°53. Typologie des écoulements cristallisés denses. Type A	79
Figure n°54. Typologie des écoulements cristallisés bulleux de type B1.	82
Figure n°55. Typologie des écoulements à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (type C).	82
Figure n°56. Typologie des écoulements boudinés vitreux (type D).	83
Figure n°57. Typologie des scories piégées à la base du fourneau, complètes (type F1 à F3).	84
Figure n°58. Typologie des fragments de scories piégées à la base du fourneau.	85
Figure n°59. Montholon. Analyse en Composante principale sur les types de scories par US. Axes F1, F2, F3 et F4 cumulant 58% de la variabilité.	86
Figure n°60. Montholon. Proportion de déchets par type (% d'après la masse) au sein des US. Les types corrélés sur les différents plans de l'ACP ont été regroupés.	87
Figure n°61. Montholon. Comparaison des assemblages de type de déchets et des datations radiocarbone, par US. Rappel des groupes d'assemblages de déchets individualisés par l'ACP.	89
Figure n°62. Montholon. Comparaison des types de déchets représentés sur les amas prospectés et des datations radiocarbone.	90
Figure n°63. Saint-Fargeau "Bois de Bailly". Comparaison des types de déchets représentés sur les amas prospectés et des datations radiocarbone.	91
Figure n°64. Dates radiocarbone disponibles sur les amas prospectés hors zones-ateliers et livrant des scories de type F.	93
Figure n°65. Résultats des analyses chimiques effectuées sur les limonites de la région de Tannerre-en-Puisaye d'après J. Momot 1963-64.	95
Figure n°66. Carte d'assemblage des cartes géologiques couvrant la Puisaye.	96
Figure n°67. Synthèse des informations sur les minerais de fer tirées des notices des cartes	

géologiques couvrant la Puisaye (tableau Marc Leroy 2019)	97
Figure n°68. Puisaye – couches géologiques représentées en surface (tableau Marc Leroy 2019)	98
Figure n°69. La Bussière "Les Ferry" (Loiret). Coupe nord/sud mettant en évidence l'organisation des exploitations minières et métallurgiques (d'après Rebiscoul 2003).	100
Figure n°70. Typologie (provisoire) des minerais étudiés (cl. M. Berranger).	102
Figure n°71. Montholon / Aillant-sur-Tholon "Bois des Ferriers". Inventaire des minerais analysés au CRPG.	102
Figure n°72. Résultats des analyses chimiques effectuées au CRPG sur six fragments de minerais. Elements majeurs.	103
Figure n°73. Diagrammes ternaires incluant les rapports entre minerais et scories de Pusiaye. Gauche : rapports CaO, Al ₂ O ₃ et SiO ₂ . Droite : rapports FeO, Al ₂ O ₃ et SiO ₂ (M. Leroy)	103
Figure n°74. Creusement circulaire d'1 mètre de diamètre mis au jour sous l'amas 89.003.020 et fouillé sur 1 m de profondeur (M. Berranger).	105
Figure n°75. carte de la végétation potentielle de la France (Leguédois et al. 2011) au niveau de contact des chênaies et des hêtraies	107
Figure n°76. Vues de la végétation actuelle sur le site du « Bois des ferriers »	108
Figure n°77. Inventaire des prélèvements réalisés lors des campagnes de fouille de 2017 et 2018 pour l'étude des charbons.	110
Figure n°78. Courbes « d'effort / rendement » par prélèvement analysé et pour la totalité des données.	112
Figure n°79. Evolution de la fréquence des taxons majoritaires en fonction du nombre de fragments analysés	113
Figure n°80. Histogramme du nombre de fragments de chêne en fonction du pourcentage de vaisseau bouché par des thyllés.	114
Figure n°81. Macrophotographie (loupe, microscope numérique) de charbons présentant une zone de craquelures	115
Figure n°82. Méthodologie et quelques exemples en dendro-anthracologie, pourcentages des fragments avec ou sans zone cambiale par ferrier.	117
Figure n°83. Relation entre l'angle moyen entre les rayons utilisés pour l'estimation et la variance en % de la distance moyenne entre le premier cerne et la moelle	118
Figure n°84. Histogramme de l'ensemble des diamètres estimés, en rouge variances supérieure à 20%, en vert variance inférieure à 20%, en gris pas d'objet.	118
Figure n°85. Diagramme anthracologique	120
Figure n°86. Calibres des bois restitués pour le ferrier 1, distribution des diamètres par prélèvement et taxon. Au-delà de 20 cm (ligne rouge) l'estimation est très approximative. La ligne noire correspond à 7 cm de diamètre c'est-à-dire le diamètre maximum de récolte du bois charbonné à l'époque Moderne.	122
Figure n°87. Calibres des bois restitués entre ferriers, distribution des diamètres par prélèvement et taxon. Au-delà de 20 cm (ligne rouge) l'estimation est très approximative. La ligne noire correspond à 7 cm de diamètre c'est-à-dire le diamètre maximum de récolte du bois charbonné à l'époque Moderne.	123
Figure n°88. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, cadre A toutes les données, cadre B les données des diamètres <10 cm, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%).	124
Figure n°89. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%). Peuplement référentiel d'éclaircie par le bas	

dans une futaie.	125
Figure n°90. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, cadre A toutes les données, cadre B les données des diamètres <10 cm, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%). Peuplement référentiel de taillis simple ou équienne.	128
Figure n°91. Evolution de la largeur des cernes en fonction du diamètre de la tige, cadre A ferrier 1 La Tène finale – Haut Empire, cadre B ferrier 10 Moyen âge, les tendances sont estimées par régression locale (LOESS, span=0.75), l'enveloppe grise correspond à l'intervalle de confiance (erreur standard à 95%). Peuplement référentiel sous-étage de TSF en conversion vers une futaie.	129
Figure n°92. Exemples des charbons analysés	131
Figure n°93. Toucy, localisation de la zone concernée par les prospections.	133
Figure n°94. Vue grossie de l'estampille imprimée de biais sur le bandeau lisse d'un Drag. 37 (probablement de la phase 5 de Lezoux). Estampille illisible. © S. Mouton-Venault.	135
Figure n°95. Faciès céramique de l'horizon 1. Le mobilier au travers des formes types du secteur. © S. Mouton-Venault.	136
Figure n°96. Les molettes d'Argonne découvertes sur le site. © S. Mouton-Venault.	138
Figure n°97. Faciès céramique de l'horizon 2. Le mobilier au travers des formes types du secteur. En grisées, les formes attestées au cours de l'horizon précédent © S. Mouton-Venault.	137
Figure n°98. Faciès céramique de l'horizon 3. Le mobilier au travers des formes types du secteur. En grisées, les formes attestées au cours de j'horizon précédent © S. Mouton-Venault.	139
Figure n°99. Carte générale du Morvan-Auxois : état de la documentation des sites à l'issue de la campagne 2019. Fond de carte : IGN	152
Figure n°100. Carte générale du Morvan-Auxois : volume et types de déchets composant les sites prospectés en 2019. Fond de carte : BRGM	153
Figure n°101. Listing des prélèvements de charbons effectués pour datations 14C sur le Morvan-Auxois.	154
Figure n°102. Organisation du site de la chaume Guillemain (21.546.008) et implantation des sondages. Fonds de cartes : BRGM / IGN	160
Figure n°103. Relevé de la coupe Nord du sondage Sd1.	161
Figure n°104. Emplacement du sondage Sd1.	161
Figure n°106. Fond de fouille du sondage Sd1. US 103.	161
Figure n°105. Coupe nord du sondage Sd1.	161
Figure n°110. Relevé de la coupe Nord du sondage Sd2.	163
Figure n°107. Emplacement du sondage Sd2.	163
Figure n°109. Fond de fouille du sondage Sd2. US 202.	163
Figure n°108. Coupe nord du sondage Sd2.	163
Figure n°111. Caractéristiques topographiques des amas et volumes estimés. Les unités sont en mètres et m ³ .	164
Figure n°112. Scories de type B2. Scories bulleuses écoulées en cordons.	165
Figure n°113. Types de déchets représentés (X : présence / vide : absence ; XX : type majoritaire) sur les amas prospectés du Morvan-Auxois.	166
Figure n°114. Inventaire des mobiliers collectés dans les années 1990 par Michel Mangin, et actuellement conservés au LMC à l'UTBM de Sévenans.	169
Figure n°115. Relevé de la pièce PCE1 B	172
Figure n°116. Proposition d'interprétation de l'organisation spatiale de la pièce PCE1 B	173

ANNEXES

Annexe 1. Inventaires concernant la Puisaye



Annexe 1.1. Inventaire des sites prospectés en Puisaye en 2019

Commune	N° site	Lieu dit	Lambert X	Lambert Y	Description
SAINT-FARGEAU	89.344.001	Bois de Bailly	654622	2290583	<p>Grand amas de forme ovale, orienté nord-est / sud-ouest. Il est fortement remanié par les exploitations récentes (exploitations linéaires et extractions en cuvettes, bordées de rejets avec petites scories - résidus de criblage). Ce sont essentiellement les tas résiduels du criblage qui subsistent en 7 à 8 monticules. Ce site se poursuivrait hors de la parcelle communale du Bois de Bailly. Il est traversé à l'ouest par un petit ru dans lequel ont été retrouvées de grosses plaques de scories écoulées en cordon.</p> <p>Cet amas se situe sur un secteur en faible pente. Le sommet est à l'est et la pente est orientée vers l'ouest (et le ruisseau). Il est possible que les bas fourneaux se situaient à l'est, sur le sommet plat, et que les déchets aient été rejetés dans la pente vers l'ouest. La hauteur maximale mesurée de l'amas est de 1,80 m, entre le point de ré-exploitation le plus bas et le plus élevé.</p> <p>L'amas 37 se situe juste à côté et pourrait appartenir au même ensemble.</p>
SAINT-FARGEAU	89.344.002	Bois de Bailly	654854	2290537	<p>Il s'agit d'un gros amas de forme générale irrégulière allongé, orienté est-ouest. Il a été très largement remanié, et s'avère constitué de plusieurs tas de criblages liés aux réexploitations XIX-XXe. Les scories fragmentées sont présentes en fortes concentrations et prises dans un sédiment très charbonneux.</p>
SAINT-FARGEAU	89.344.003	Bois de Bailly	654798	2290711	<p>Amas de forme ovale orienté nord-sud. Il est très remanié en partie centrale, avec une couronne de scories écoulées rejetées en périphérie. Cette excavation a été probablement menée jusqu'au terrain naturel. Certains monticules périphériques se répartissent en bordure et ne contiennent pas forcément de déchets.</p>
SAINT-FARGEAU	89.344.004	Bois de Bailly	654695	2290361	<p>Amas ovale, à la surface en légère pente douce vers l'ouest. L'encaissant est un sédiment pulvérulent de couleur rougeâtre. La densité de scories est élevée en surface. Elles sont prises dans un sédiment foncé, presque noir. De nombreux petits fragments de terre cuite rouge sont également visibles.</p>

SAINT-FARGEAU	89.344.005	Bois de Bailly	654571	2289957	Amas de forme grossièrement ronde, aux rebords bien marqués. Les scories paraissent très fragmentées et sont assez nombreuses dans les taupinières ou après un simple nettoyage de surface. Elles sont prises dans un sédiment brun-gris.
SAINT-FARGEAU	89.344.006	Bois de Bailly	655093	2290331	Gros amas de scories, aux contours irréguliers et dont la partie supérieure s'avère plate, constituant une sorte de plateforme. A l'est l'accumulation de scorie est à la même hauteur que l'humus actuel. Il est possible que le rejet de scories ait été effectué dans un secteur légèrement en pente, jusqu'à combler le relief. Cet amas a été très remanié par les exploitations récentes. Ces dernières sont visibles à partir d'exploitations linéaires et de trous circulaires de plusieurs mètres de côtés, bordés de rejets de criblage. Toute la partie centrale semble détruite. Un sondage de 8 m de long sur XXX a été réalisé en août 2019. A = pvt1 ; B = pvt 2
SAINT-FARGEAU	89.344.007	Bois de Bailly	655136	2290340	Petit amas à la surface bosselée constitué de scories denses écoulées en cordons prises dans un sédiment marron terreux. Cet amas est très peu visible. Il se situe à proximité du site 89.344.006 et livre des scories identiques. Il pourrait s'agir du même ensemble, ou éventuellement de scories provenant du site 006 et rejetées dans ce secteur.
SAINT-FARGEAU	89.344.008	Bois de Bailly	654451	2290096	Amas de plan circulaire, formant une butte basse et bombée. Il est composé de la terre brune foncée, dans laquelle sont piégées de petites scories éparées en surface.
SAINT-FARGEAU	89.344.009	Bois de Bailly	654972	2289940	Petit amas ovalaire, formant une légère butte peu visible. A 5 cm sous le niveau d'humus de la terre limoneuse gris-beige mêlée de petits charbons et de fragments de scories a été dégagée. Il s'agit vraisemblablement d'un niveau d'occupation. Un autre amas (site 039) a été identifié à quelques mètres de ce dernier.
SAINT-FARGEAU	89.344.010	Bois de Bailly	654659	2290027	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. Le site est assez difficile à percevoir dans un terrain bosselé par des trous d'extraction et de déblais divers.

SAINT-FARGEAU	89.344.011	Bois de Bailly	654488	2290270	Petit amas circulaire constituant un amas au sommet aplati. Il est constitué de terre noire, comprenant une forte densité de petits fragments de scories. Plusieurs trous d'extraction ovoïdaux le transpercent. Le site est assez difficile à percevoir dans un terrain bosselé par des trous d'extraction et de déblais divers.
SAINT-FARGEAU	89.344.012	Bois de Bailly	655108	2289415	Amas de plan ovale, orienté nord-sud, formant une petite butte basse à la surface bosselée. Le sédiment encaissant est de couleur noire, très charbonneux. Il contient de fortes concentrations de scories de taille centimétrique et décimétrique. Cet amas est constitué soit de deux amas individualisés (notés 12a et 12b), soit d'un amas aux contours irréguliers. En effet les contours sont assez peu visibles et difficilement traçables à cause des ronces. Les dimensions des deux amas avoisinent la quinzaine de mètre de côté.
SAINT-FARGEAU	89.344.013	Bois de Bailly	654947	2290368	Amas de plan irrégulier assez vaste et étalé. Il prend la forme d'une large bosse aux contours incertains. Le sédiment foncé comprend une forte concentration de scories. Il est très endommagé par des trous d'extraction, et 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.
SAINT-FARGEAU	89.344.014	Bois de Bailly	654792	2290134	Petit amas ovalaire semblant très érodé. Il comprend une forte densité de petite scories écoulées, prises dans un sédiment très noir. Il a été en grande partie détruit pas les exploitations récentes visibles sous la forme de dépressions bordées de déblais.
SAINT-FARGEAU	89.344.015	Bois de Bailly	654562	2289904	Site assez étendu, aux contours difficilement cernables, de forme ovalaire. Le relief est assez plat et peu marqué. De nombreux trous d'exploitation récents le traversent. C'est autour de ces trous, dans les déblais, que les plus grandes concentrations de scories sont visibles. Il s'agit alors essentiellement de petits fragments. Néanmoins des blocs de taille pluridécimétriques sont également visibles en surface, en assez grandes concentrations. Ce site est installé sur une légère pente.
SAINT-FARGEAU	89.344.016	Bois de Bailly	654955	2289781	Petit amas de plan circulaire, formant une petite butte. Il paraît constitué de terre marron brun dans laquelle se répartit une faible densité de fragments de scories. De plus grandes concentrations de scories sont visibles sur les déblais d'un trou d'exploitation postérieur.

SAINT-FARGEAU	89.344.017	Bois de Bailly	654414	2290009	Petit amas ovoïdal, forme une bosse bien bombée. Il paraît constitué de terre brune assez sombre, dans laquelle se répartissent de manière éparse de très petits fragments de scories.
SAINT-FARGEAU	89.344.018	Bois de Bailly	654636	2289906	Très petit amas de plan circulaire formant un tas assez bas. Il est installé sur une butte de terre argileuse gris beige. Il est constitué d'une terre très charbonneuses dans laquelle sont prises une forte densité de petits fragments de scories. La fragmentation de ces déchets est très importante. Les scories sont concentrées sur une surface d'environ 5 x 3 m et sont plus dispersées sur environ 9 m de diamètre.
SAINT-FARGEAU	89.344.019	Bois de Bailly	655202	2289986	Petit amas sub-circulaire discret. Il est constitué d'une terre brune dans laquelle se répartissent des concentrations limitées de scories écoulées. Quelques grosses scories écoulées sont visibles en surface.
SAINT-FARGEAU	89.344.020	Bois de Bailly	654692	2289637	Amas de forme ovale, orienté est-ouest, formant une butte au sommet assez plat. Il se situe juste à côté du site 40. L'encaissement est un sédiment brun-clair dans lequel sont prises de faibles concentrations de petites scories.
SAINT-FARGEAU	89.344.021	Bois de Bailly	654723	2289485	Amas en forme d'ovale irrégulier, formant une bosse basse. Le sédiment encaissant est de couleur brune et comprend de faibles concentrations de scories. La surface est criblée de trous liés à son exploitation récente (au moins 13). Il se situe sur un terrain formant une légère éminence, entouré par de petites dépressions peu profondes et irrégulières qui évoquent des trous d'extraction.
SAINT-FARGEAU	89.344.022	Bois de Bailly	654950	2289363	Très petit amas formant une bosse au sommet plat. Il est constitué de petites concentrations de fragments de scories écoulées, prises dans une terre marron, sans charbon apparent. A quelques centimètres sous le niveau d'humus les fragments de plaques de scories écoulées sont plus grands et plus nombreux. Ces fragments sont mélangés avec de gros fragments de silex. On peut se demander s'il ne s'agit pas d'un dépôt secondaire plus récent.
SAINT-FARGEAU	89.344.023	Bois de Bailly	655286	2290080	Amas ovalaire, orienté nord-sud, assez discret. Il est constitué d'un sédiment marron dans lequel sont visibles de toutes petites scories en concentrations diffuses. Il s'agit d'un amas assez discret, peu visible en surface. Les scories sont surtout visibles grâce à un chablis.

SAINT-FARGEAU	89.344.024	Bois de Bailly	654513	2289738	Amas de forme globalement circulaire, recoupé par un chemin contemporain. Il forme une butte assez marquée, basse. Le nettoyage de la coupe formé par ce chemin permet d'appréhender la stratigraphie suivante : en partie supérieure 10 cm de terre végétale humique, en partie médiane 85 cm de limon brun ocre comprenant des fragments de scorie et des fragments de paroi du sommet à la base. Cette couche repose sur le terrain naturel, une argile jaune-blanche avec des blocs de silex.
SAINT-FARGEAU	89.344.025	Bois de Bailly	654493	2289564	Très petit amas circulaire, formant une petite butte aux contours arrondis. Il est composé de terre brunâtre dans laquelle sont prises de faibles concentrations de fragments de scories.
SAINT-FARGEAU	89.344.026	Bois de Bailly	654159	2289502	Grand amas de plan circulaire et de profil arrondi. Il constitue une butte bien saillante semblant intacte. Le sédiment encaissant est de la terre brune dans laquelle sont prises des concentrations assez importantes de fragments de scories.
SAINT-FARGEAU	89.344.027	Bois de Bailly	654422	2289485	Petit amas ovalaire de quelques dizaines de centimètres d'épaisseur, à la surface bosselée. L'encaissant est un sédiment brun-rouge contenant de faibles concentrations de scories. Les concentrations de scories sont supérieures dans les taupinières.
SAINT-FARGEAU	89.344.028	Bois de Bailly	654303	2289583	Petit amas circulaire, formant une légère butte. Un arbre est implanté dessus ce qui ne permet pas une bonne lisibilité. L'encaissant est de la terre brune comprenant de faibles concentrations de petites scories.
SAINT-FARGEAU	89.344.029	Bois de Bailly	654640	2289854	Amas ovale constitué de deux micro-reliefs, séparés par une sorte de petit chemin. La répartition des scories ne correspond pas forcément aux micro-reliefs. Les scories sont prises dans un sédiment marron, et sont très fragmentées et très peu fréquentes.
SAINT-FARGEAU	89.344.030	Bois de Bailly	654568	2289848	Amas rond aux reliefs assez arrondis et réguliers. On observe de faibles concentrations de scories fragmentées prises dans une terre brun-grise.
SAINT-FARGEAU	89.344.032	Bois de Bailly	654528	2089246	Amas de plan circulaire, peu haut. Les contours sont peu visibles en élévation, mais ont été circonscrits à partir des concentrations de scories. Il se situe dans un secteur très marqué par des lignes d'exploitation (girobroyage ? consécutif à la tempête de 1999 ?) qui ont pu être à l'origine de sa destruction. Le sédiment est une terre marron jaune comprenant des concentrations de plaques de scories écoulées.

SAINT-FARGEAU	89.344.033	Bois de Bailly	654396	2289034	Amas quasiment circulaire, peu visible en élévation. Il forme un relief côté ouest, tandis qu'il est de plein pied avec un chemin à l'est. Ce chemin a partiellement recoupé l'amas. Il est bordé par un fossé qui nous permet d'appréhender la stratigraphie conservée sur 60 cm de haut. En surface le sédiment est de couleur marron rouge et comprend de faible concentration de scories. De 0 à -45 cm : limon argileux brun. Des scories apparaissent dans cette couche à partir de -25 cm. La couche de terre végétale est absente dans ce secteur. A - 45 cm terrain naturel d'argile blanche.
SAINT-FARGEAU	89.344.034	Bois de Bailly	654562	2289428	Petit amas de forme ovale comprenant des scories écoulées denses en cordons, prises dans de la terre très noire. Il s'agit de petits fragments présents en forte densité.
SAINT-FARGEAU	89.344.035	Bois de Bailly	655106	2290108	Petit amas circulaire, de faible relief. Le sédiment est d'une couleur proche du terrain naturel, un limon jaune. Les fragments de scories sont fréquents en surface. Un léger nettoyage de l'humus permet de dégager un niveau compact, qui pourrait être un sol d'occupation.
SAINT-FARGEAU	89.344.036	Bois de Bailly	654640	2290389	Faible concentration de scories prises dans un sédiment brun clair. Ces scories sont réparties sur une zone de quelques mètres de large sur, apparemment, quelques centimètres d'épaisseur, sans former une véritable butte.
SAINT-FARGEAU	89.344.037	Bois de Bailly	704722	6723534	Petit amas situé à proximité immédiate du site 89.344.001. Il pourrait s'agir d'une accumulation de déchets en provenance de ce site 001, constitué durant les remaniements contemporains ou d'un lambeau de ce site partiellement conservé.
SAINT-FARGEAU	89.344.038	Bois de Bailly	705066	6723403	Amas ovoïdal de faible hauteur, livrant de fortes concentrations de scories prises dans un sédiment brun-marron fin. Le site 89.344.038, se situe à proximité immédiate de l'amas 89.344.038. Il pourrait appartenir au même ensemble ou correspondre à une aire de rejet ponctuelle en lien avec l'exploitation du site 013.
SAINT-FARGEAU	89.344.039	Bois de Bailly	705085	6722922	Tout petit amas de plan circulaire, de faible relief. Il est constitué de terre noire et livre des fortes concentrations de scories écoulées. Un simple nettoyage des feuilles révèle la présence d'une couche grise limoneuse identique à celle déjà visible sur le site 89.344.009

SAINT-FARGEAU	89.344.040	Bois de Bailly	654685	2289679	Amas circulaire, de forme saillante, au sommet plutôt aplati. Il est constitué de terre brun-rougeâtre dans laquelle se répartissent de petites quantités de scories qui s'avèrent donc peu visibles en surface. Ces dernières apparaissent par contre en plus grandes concentrations dans les taupinières.
TREIGNY	89.120.003	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)	659704	228757	Grand amas de scorie situé dans le parc privé de Boutissaint, coupé par une allée qui a en partie détruit l'amas. Rejetés en bordure de la route étaient clairement visibles de gros blocs de scories piégés. Cet amas est de forme circulaire. Les grosses scories sont visibles en raison des destructions postérieures. En surface de l'amas les concentrations de scories visibles sont par contre très faibles.

Annexe 1.2. Inventaire des déchets prélevés en 2019 en Puisaye

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	25	4625
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.SC1		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles		22300
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.SC2		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles		26800
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.SC60		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	369
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.SC61		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	372
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.SC62		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	309
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.SC63		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	736
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.SC64		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	224
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	3	4145
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.001.Min20		Minerai en cours de transformation	Min3	1	57
89.344.001	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		8	566
89.344.002	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	2	1590
89.344.002	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	1	194
89.344.002	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	1	215
89.344.002	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation		3	272
89.344.002	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.002.Min22		Minerai en cours de transformation	Min2	1	119
89.344.002	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.002.Min23		Minerai en cours de transformation	Min4	1	103
89.344.002	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.002.Min24		Minerai en cours de transformation	Min4	1	28
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	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	6	513
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	2380

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US/Pvt	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.SC1		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	1	9370
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.Min10		Minerai brut	Min3	1	81
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.Min11		Minerai en cours de transformation	Min3	1	84
89.344.003	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.003.Min12		Minerai en cours de transformation	Min3	1	175
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
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			Minerai en cours de transformation	Min. scorie	6	121
89.344.004	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		12	537
89.344.005	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	6	135
89.344.005	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	7	2260
89.344.005	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	5	870
89.344.005	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.005.Min19		Minerai en cours de transformation	Min3	1	40
89.344.005	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		8	881
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		111		Coulure de fer	1	42
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/1	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	150	10675
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/2	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	100	10830
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		111	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	2625
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/1	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	4	167
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/2	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	18	2240
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		103	Blocs d'argile cuite		4	4195

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/1	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	5	224
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/1	Minerai brut		3	308
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai brut	Min1		153
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		102 - 103	Minerai en cours de transformation		1	22895
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		111 - 115	Minerai en cours de transformation			
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation			132
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation			80
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/1	Paroi scorifiée			10
89.344.006	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly		105/2	Paroi scorifiée		4	173
89.344.008	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	10	311
89.344.008	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	15	353
89.344.008	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		15	268
89.344.009	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	F4 ou F5	25	544
89.344.009	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	F6 ou F7	8	150
89.344.009	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation		1	8
89.344.010	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	6	1200
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.SC50		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	68
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SC51		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	66
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SC52		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	94
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SC53		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	73

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.011.SC54		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	61
89.344.011	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		1	52
89.344.012	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		4	1793
89.344.012	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.012.SC68		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		1	1645
89.344.012	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.012.SC69		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		1	2045
89.344.012	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.012.SC71		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		1	1270
89.344.012	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.012.SC70		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		1	907
89.344.012	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation	Min1	1	50
89.344.012	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation	Min4	1	239
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	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	3	431
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			Paroi scorifiée		1	1045
89.344.015	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	8	3030
89.344.015	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	2	2955
89.344.015	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.015.SC2		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	2	1485
89.344.016	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	21	453
89.344.016	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	4	130
89.344.016	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	11	230
89.344.016	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		11	349

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.017	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	F4 ou F5	70	2495
89.344.017	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	F6 ou F7	3	78
89.344.017	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		50	739
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	248
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	25	1804
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.018.SC55		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	110
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.018.SC56		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	174
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.018.SC57		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	97
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.018.SC58		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	222
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.018.SC59		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	193
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Masse brute		1	155
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Masse brute		1	27
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.018.Min21		Minerai en cours de transformation	Min3	1	36
89.344.018	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		5	610
89.344.019	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	3	5450
89.344.019	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	5	11870
89.344.020	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée		11	297
89.344.020	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	10	1465
89.344.020	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		9	882
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	20	647
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	4	285
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	9	3295
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	12	2335

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.021. Min13		Minerai en cours de transformation	Min3	1	43
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.021. Min14		Minerai en cours de transformation	Min3	1	10
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.021. Min15		Minerai en cours de transformation	Min3	1	13
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.021. Min16		Minerai en cours de transformation	Min3	1	12
89.344.021	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		20	2180
89.344.023	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	3	510
89.344.023	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	10	480
89.344.023	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	2	610
89.344.023	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	5	1885
89.344.023	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	6	9665
89.344.023	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		1	220
89.344.024	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	11	146
89.344.024	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	F6 ou F7	7	263
89.344.024	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	3	78
89.344.024	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		16	712
89.344.025	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	3	182
89.344.025	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	2	820
89.344.025	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	1	21
89.344.025	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		7	146
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	13	427

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.026.SC72		(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	1	72
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.026.SC76		(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	1	154
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.026.SC75		(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	1	570
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	4	1978
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.026.SC74		(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	1	299
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.026.SC73		(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	1	313
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.026.Min17		Minerai en cours de transformation	Min3	1	3
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.026.Min18		Minerai en cours de transformation	Min3	1	172
89.344.026	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		15	2165
89.344.027	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	5	96
89.344.027	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	2	64
89.344.027	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	7	94
89.344.027	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai brut		1	5
89.344.027	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		5	71
89.344.028	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	11	277
89.344.028	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	5	105
89.344.028	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	14	301
89.344.028	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation		1	34
89.344.028	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		5	70
89.344.029	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	6	82

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.029	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	F6 ou F7	20	547
89.344.029	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		10	406
89.344.030	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	13	317
89.344.030	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	40	1335
89.344.030	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	9	279
89.344.030	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	1	118
89.344.030	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		3	1930
89.344.032	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.032		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	2690
89.344.032	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	1	719
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	18	217
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	4	674
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.033.SC77		(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	1	905
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.033.SC78		(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	1	106
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	7	121
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	3	702
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.033.SC79		(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	1	208
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.033.SC81		(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	1	79
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	2	445
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly	89.344.033.SC80		(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	1	542
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation	Min1	1	10
89.344.033	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		10	956

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.034	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	18	2840
89.344.034	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	1	78
89.344.034	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A4) Ecmt non cordé dense	3	811
89.344.034	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		1	149
89.344.034	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		2	1410
89.344.035	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	76	9900
89.344.036	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Coulure de fer		1	55
89.344.036	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	37	1460
89.344.036	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	3	1430
89.344.036	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	21	2455
89.344.036	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	3	1190
89.344.036	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		9	1400
89.344.037	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles		12355
89.344.037	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		4	1805
89.344.038	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	8	1470
89.344.039	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	30	1285
89.344.039	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		12	239
89.344.039	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		4	63
89.344.040	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	8	628
89.344.040	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	2	1070
89.344.040	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire	7	1570

N° site	Commune	Lieu dit	N° inventaire	US	Catégorie	Type déchet	NR	Masse (g.)
89.344.040	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense	1	1370
89.344.040	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Minerai en cours de transformation		2	17
89.344.040	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		15	2425
89.344.040	SAINT-FARGEAU	Bois de Bailly			Paroi scorifiée		12	2555
89.420.003	TREIGNY	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)	89.420.003.SC1		(F) Scorie piégée	(F3) Fond de four riche en charbon		
89.420.003	TREIGNY	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)	89.420.003.SC2		(F) Scorie piégée	(F3) Fond de four riche en charbon		
89.420.003	TREIGNY	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)	89.420.003.SC3		(F) Scorie piégée	(F3) Fond de four riche en charbon		
89.420.003	TREIGNY	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)			(F) Scorie piégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	10	303
89.420.003	TREIGNY	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)			(F) Scorie piégée	(F5) Accumulation d'écoulmts tortueux	1	474
89.420.003	TREIGNY	Bois de la Belle Fontaine (parc de Boutissaint)			Paroi scorifiée		3	96

Annexe 1.3. Inventaire des US, site 89.344.006, Saint-Fargeau Bois de Bailly

N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteurs	Mobilier prélevés	N° Prvt
101	Terre végétale avec racines	Humus		102	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
102	Terre marron très compacte, avec quelques nodules pluricentimétriques de minerais, et quelques blocs d'argile	Couche sommitale remaniée	101	103	M. Berranger, S. Laurent-Corsini	Minerais	
103	Niveau très compact comprenant des nodules de terre cuite blanche à rose de taille pluricentimétrique à centimétrique, et des fragments de scories centimétrique, fragments de charbon	Niveau de destruction de fours	102, 108 (?)	104	M. Berranger, S. Laurent-Corsini	Charbons, blocs d'argile cuite	
104	Niveau cendreuse gris avec quelques fragments de scories décimétriques et des nodules de terre cuite, et fragments de charbon de bois	Rejet de four	103	105	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
105	Couche constituée de fragments de scories centimétriques à pluridécimétriques. L'enrobage de terre est quasiment absent.	Niveau de destruction et rejet de scories	104	106	M. Berranger, S. Laurent-Corsini	Mobilier sidérurgique, charbons	1 et 2
106	Couche de charbon de bois	Rejet de four	105	107	M. Berranger, S. Laurent-Corsini	Charbons	
107	Caractéristiques similaires à 105. Les limites entres les deux US sont d'ailleurs peu visibles.	Niveau de destruction et rejet de scories	106	110	M. Berranger, S. Laurent-Corsini	Mobilier sidérurgique, charbons	1
108	Creusement de fosse		109	103 ?	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
109	Terre marron avec racines comprenant des nodules de terre cuite et des silex de taille centimétrique. Peu de scories de taille centimétrique à décimétrique.	Remaniements récents	101	108	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
110	Couche d'argile jaune très compacte	Terre naturel	107		M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
111	Comblement limoneux marron foncé très charbonneux compact, comprenant beaucoup de fragments de scories écoulée, de silex, de terre cuite	Comblement de trou de poteau	118	110	M. Berranger, S. Laurent-Corsini	Charbons, minerais, scorie, métal	
112	Accumulation de scories écoulées, fragments de paorits et blocs de silex emballés dans un sédiment argileux limoneux marron clair. Les fragments de charbon sont peu présents	Comblement de trou de poteau	117	110	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		

N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteurs	Nature des mobiliers prélevés	N° Prvt
113	Sédiment limoneux brun comprenant des nodules de silice pluricentimétriques et des fragments de scories écoulées centimétriques à décimétriques. Des poches d'argiles jaunes sont également présentes	Remplissage de fosse 114	101	114	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
114	Creusement de fosse	Fosses postérieures aux accumulations de déchets sidérurgiques	113	102	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
115	Zone constituée de minerai rouge mêlé à des fragments de charbon	Aire de grillage de minerai	107	110	M. Berranger, S. Laurent-Corsini	Minerais	
116	Couche en grande partie constituée de terre argileuse brun-rouge dans laquelle sont disséminées de petits fragments d'argile cuite, de scories et de charbon	Niveau de fonctionnement de l'atelier	103	107	H. Laurent, S. Laurent-Corsini		
117	Creusement de trou de poteau	Aménagement d'un bâtiment ?	112	110	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		
118	Creusement de trou de poteau	Aménagement d'un bâtiment ?	111	110	M. Berranger, S. Laurent-Corsini		

Annexe 2. Inventaires concernant le Morvan-Auxois



Annexe 2.1. Inventaire des déchets prélevés en 2019 dans le Morvan-Auxois

N° site	Commune	Lieu dit	n° pvt	N° inventaire	Catégorie	Type déchet	NR	NMI	Masse (g.)	Indice de taille (mm)
21.139.003	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	739		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	31		766	50
21.139.003	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	739		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	28		455	50
21.139.003	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	739			Paroi scorifiée	2		60	30
21.139.004	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	737		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	47		747	50
21.139.004	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	737		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	B2 ou D2	6		115	50
21.139.004	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	737		(D) Ecoulement vitreux	(D1) Ecmt vitreux, denses à faiblement bulleux	1		125	100
21.139.004	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	737		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	5		120	50
21.139.004	CHAMPEAU-EN-MORVAN	Bas de la Fiotte	737			Paroi scorifiée	8		440	100
21.203.001	COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	577		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	28		1271	50
21.203.001	COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	577		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1		3967	150
21.203.001	COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	577		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	4		501	100
21.203.001	COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	577	21.203.001.SC4	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	1	1057	115
21.203.001	COURCELLES-FRÉMOY	Chaume de Montforgeon	577			Paroi scorifiée	3		705	100
21.203.016	COURCELLES-FRÉMOY	Civral le Pendant de Bèze	573		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	46		1151	50
21.203.016	COURCELLES-FRÉMOY	Civral le Pendant de Bèze	573		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	5		97	30
21.203.016	COURCELLES-FRÉMOY	Civral le Pendant de Bèze	573			Paroi scorifiée	4		136	30
21.434.002	MONTLAY-EN-AUXOIS	En Nicerteau	740		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	35		382	50
21.434.002	MONTLAY-EN-AUXOIS	En Nicerteau	740		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		8		142	30
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	964	21.434.006.SC2	(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	1	1	391	85
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	964	21.434.006.SC3	(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	1	1	812	104
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	964	21.434.006.SC1	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	1	903	110
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	966		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	47		1485	50
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	966		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	53		2099	50
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	966		Mineral brut		1		33	30
21.434.006	MONTLAY-EN-AUXOIS	Le Bois d'Éguilly	966			Paroi scorifiée	3		71	30
21.434.009	MONTLAY-EN-AUXOIS	La Molachère	796		(A) Ecoulement cristallisé dense		2		625	100
21.434.009	MONTLAY-EN-AUXOIS	La Molachère	796		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	13		2502	100
21.434.009	MONTLAY-EN-AUXOIS	La Molachère	796		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	B2 ou D2	20		2191	100
21.434.009	MONTLAY-EN-AUXOIS	La Molachère	796			Paroi scorifiée	3		100	50
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1013		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	18		1983	100
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1013		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A4) Ecmt non cordé dense	2		483	100
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1013		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	B2 ou D2	18		747	100
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1013		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	4		580	100
21.525.001	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1013		(D) Ecoulement vitreux	(D1) Ecmt vitreux, denses à faiblement bulleux	1		17	30
21.525.007	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Grands Adieux	1143		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	13		1708	100
21.525.007	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Grands Adieux	1143		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	6		573	100
21.525.007	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Grands Adieux	1143	21.525.007.SC12	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	3	3	316	50
21.525.022	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1048		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	7		1963	100
21.525.022	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1048		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	147		697	70
21.525.023	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	1139		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	16		1013	50
21.525.023	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	1139	21.525.023.SC6	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	1	1	1093	110
21.525.023	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	1139		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	B2 ou D2	28		698	50
21.525.023	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	1139		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	8		324	50
21.525.037	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1067		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	28		1335	50
21.525.037	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1067		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	10		488	50
21.525.037	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	en Lécussy	1067		(D) Ecoulement vitreux	(D1) Ecmt vitreux, denses à faiblement bulleux	1		3	20
21.525.038	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1071		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	22		455	30
21.525.038	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1071		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	10		212	30
21.525.039	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1073		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	36		418	30
21.525.040	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1075		(A) Ecoulement cristallisé dense		34		444	30
21.525.040	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1075		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	2		64	30
21.525.040	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1075		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		3		51	30
21.525.041	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1077		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	38		376	30
21.525.042	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1079		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	47		500	30
21.525.043	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1081		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	50		572	30

Rapport d'activité 2019, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions»

N° site	Commune	Lieu dit	n° pvt	N° inventaire	Catégorie	Type déchet	NR	NMI	Masse (g.)	Indice de taille (mm)
21.525.043	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1081		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	32		305	30
21.525.045	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1084		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	26		373	30
21.525.046	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1086		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	17		920	50
21.525.046	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1086		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	B2 ou D2	26		531	50
21.525.047	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1088		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	37		344	20
21.525.047	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1088		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	44		226	30
21.525.048	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1090		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	16		148	30
21.525.048	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1090		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	3		64	30
21.525.049	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1092		(A) Ecoulement cristallisé dense		7		54	30
21.525.050	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1094		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	14		140	50
21.525.050	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Commottes	1094		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	18		189	50
21.525.051	ROCHE-EN-BRENIL (LA)	Les Loppées	1140		(F) Scorie piégée	E1 ou F7	4		2050	10
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	735		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	21		2925	100
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	735		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	33		2518	100
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	735		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	5		1445	150
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	735	21.546.008.SC7	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	1	681	95
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	735	21.546.008.SC8	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	2	1	681	75
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	plv1		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	49		1025	30
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	plv1		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	104		1192	30
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	plv1		Minéral en cours de transformation		4		310	100
21.546.008	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	plv1		Paroi scorifiée		4		40	20
21.546.010	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	1200		(A) Ecoulement cristallisé dense		2		83	50
21.546.010	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	1200		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	10		348	50
21.546.010	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	1200		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux		1		25	40
21.546.010	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	1200		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	3		156	50
21.546.010	SAINT-DIDIER	Chaume Guillemain	1200		Paroi scorifiée		2		43	20
21.548.007	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	le Bonjan	968		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	24		698	60
21.548.007	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	le Bonjan	968		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	2		46	30
21.548.007	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	le Bonjan	968		Paroi scorifiée		1		104	100
21.548.009	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué du Piéché	420		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	71		596	30
21.548.009	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué du Piéché	420		Paroi scorifiée		4		88	50
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	416		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	23		4890	100
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	416		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	4		1220	100
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	417		Culot forge	SFR	1	1	4500	200
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	417		Culot forge	SGD	1	1	888	110
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	417		Culot forge	SGD	1	1	1535	120
21.548.010	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	Gué des Beaumes	417		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	2		2316	140
21.548.013	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	La Charmée	422		(D) Ecoulement vitreux	(D1) Ecmt vitreux, denses à faiblement bulleux	11		413	50
21.548.013	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	La Charmée	422		(D) Ecoulement vitreux	(D2) Ecmt vitreux, bulleux			3576	100
21.548.013	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	La Charmée	422		(D) Ecoulement vitreux	(D3) Ecmt vitreux, à base dense, partie sup. bulleuse	5		618	50
21.548.013	SAINT-GERMAIN-DE-MODÉON	La Charmée	422		Paroi scorifiée		1		87	50
21.629.002	THOISY-LA-BERCHÈRE	Chaudmain	21.629.002		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	10		1081	100
21.629.002	THOISY-LA-BERCHÈRE	Chaudmain	21.629.002		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	3		576	100
21.629.002	THOISY-LA-BERCHÈRE	Chaudmain	21.629.002		Paroi scorifiée		7		555	100
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge	492		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	11		3817	150
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge	492		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	5		1200	100
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge	492		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1		624	100
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge	492	21.635.002.SC5	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	3	1	748	125
21.635.002	THOSTE	Bois du Champ Rouge	492		Paroi scorifiée		7		3673	100
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	56		3248	50
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	7		741	100
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	2		202	100
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	2		362	100
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513	21.676.001.SC9	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	1	609	80
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513	21.676.001.SC10	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	1	189	80
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513	21.676.001.SC11	(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	1	1	528	110

Rapport d'activité 2019, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions»

N° site	Commune	Lieu dit	n° pvt	N° inventaire	Catégorie	Type déchet	NR	NMI	Masse (g.)	Indice de taille (mm)
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513		Minerai brut		1	5		10
21.676.001	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	513		Paroi scorifiée		8	1189		150
21.676.003	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	511		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	47	1248		50
21.676.003	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	511		(B) Ecoulement cristallisé très bulleux	(B2) Bulleuses cordées	6	240		50
21.676.003	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	511		Minerai en cours de transformation		4	80		30
21.676.003	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	511		Paroi scorifiée		6	117		30
21.676.007	VIC-DE-CHASSENAY	Combe du Four	456		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	33	3253		100
21.676.007	VIC-DE-CHASSENAY	Combe du Four	456		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E1) Interne compacte	5	1950		150
21.676.007	VIC-DE-CHASSENAY	Combe du Four	456		Paroi scorifiée		13	324		50
21.676.011	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	568		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	34	2445		50
21.676.011	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	568		(E) Scorie interne (assoc. à écoulement)	(E2) Interne non compacte	1	42		30
21.676.011	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	568		Paroi scorifiée		4	99		50
21.676.012	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	571		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A1) Ecmt cordé à limites visibles	44	1386		50
21.676.012	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	571		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A3) Ecmt non cordé à cavité centrale	1	304		100
21.676.012	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	571		(A) Ecoulement cristallisé dense	(A4) Ecmt non cordé dense	10	872		50
21.676.012	VIC-DE-CHASSENAY	La Forêt	571		Paroi scorifiée		5	175		100

Annexe 2.2. Inventaire des US du site de la Chaume Guillemain à Saint Didier (89.546.008)

SD	No	sur	sous	Description	Interpretation
1	101	104		Couche de scories nombreuses (90%) en surface	Couche de déchets de réduction
1	102	103	104	Pierres 10 à 20 cm, limon brun	Empierrement
1	103		102	Limon blanc à rose, très dur, légèrement rubéfié. Quelques pierres (10cm env.), inclusions de petits cailloux.	TN – surface de travail ?
1	104	102	101	Limon brun, quelques rares scories	Remblai / érosion
2	201	102		Scories 80 % et limon noir charbonneux, petits cailloux.	Couche de déchets de réduction
2	202		101	Limon sableux blanc dur, avec de nombreuses pierres plates (10 à 30 cm) en surface	TN – surface de travail ?