



HAL
open science

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

Marion Berranger, Michel Aubert, S. Coubray, Margaux Herbrich, Rémy Jeannot, H. Laurent, Marc Leroy, Paul Merluzzo, Sylvie Mouton-Venault, Jean-Pierre Piétak, et al.

► To cite this version:

Marion Berranger, Michel Aubert, S. Coubray, Margaux Herbrich, Rémy Jeannot, et al.. La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions.. IRAMAT - LMC - IRAMAT - Laboratoire Métallurgies et Cultures; DRAC Bourgogne Franche-Comté, Service Régional de l'Archéologie; MSHE C. N. Ledoux (UAR3124); INRAP; CNRS. 2023. hal-04874702

HAL Id: hal-04874702

<https://hal.science/hal-04874702v1>

Submitted on 8 Jan 2025

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.

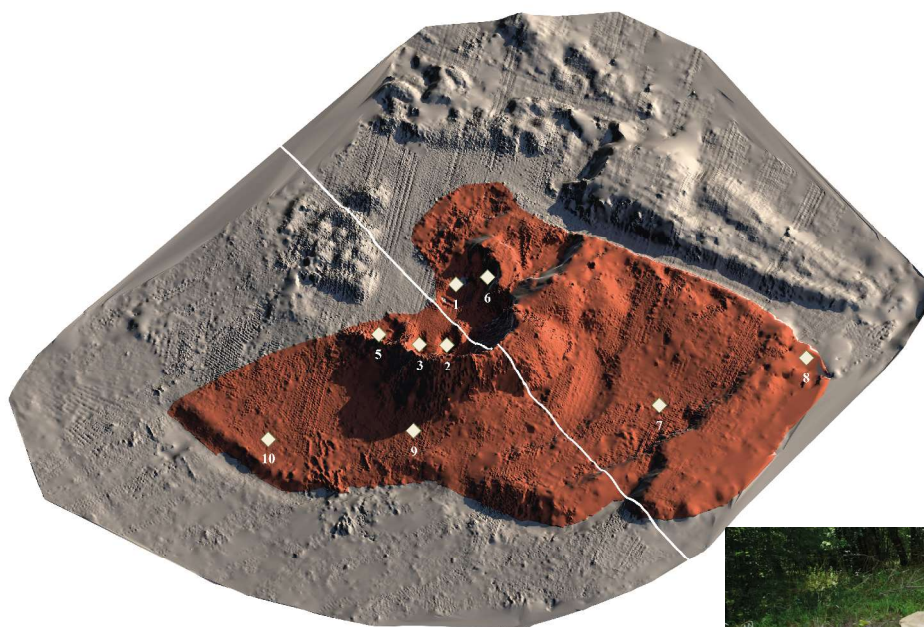


Institut national
de recherches
archéologiques
préventives



Projet Collectif de Recherche Rapport final 2021-2023

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



Montholon - Vue générale du modèle de l'amas 1 avec, en couleur, le volume reconstruit et replacé sur le MNT issu du LiDAR (Margaux Herbrich)



Montholon - tri des déchets de réduction

Sous la direction de Marion Berranger
Institut de Recherche sur les ARchéoMATériaux
Laboratoire de «Métallurgies et Cultures»
UMR 7065 - CNRS - Université de Technologie Belfort Montbéliard



Direction régionale
des affaires culturelles
**Bourgogne
Franche-Comté**

Projet Collectif de Recherche Rapport triennal 2021-2023

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

Sous la direction de Marion Berranger

Par Michel Aubert
Sylvie Coubray
Olivier Girardclos
Margaux Herbrich
Rémy Jeannot
Hervé Laurent
Marc Leroy
Paul Merluzzo
Sylvie Mouton-Venault
Jean-Pierre Piétak
Dominique Sordoillet
Stéphane Venault

Autorisation pluri-annuelle SRA Bourgogne-Franche-Comté
SRA axe 12
INRAP axe n°2010-14

Rapport triennal 2021-2023

Projet 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

Coordination :

Marion Berranger, Institut de Recherche sur les Archéomatériaux, Laboratoire de «Métallurgies et Cultures» - CNRS - UTBM - UMR7065

Financements et moyens :

- Ministère de la Culture et de la Communication DRAC Bourgogne Franche-Comté, Service Régional de l'Archéologie
- Région Bourgogne-Franche-Comté
- Laboratoire de «Métallurgies et Cultures» - CNRS - UTBM - UMR7065 - Institut de recherche sur les archéomatériaux
- Institut National de Recherches en Archéologie Préventive
- Maison des Sciences de l'Homme et de l'Environnement Claude Nicolas Ledoux (UAR3124)

Référence bibliographique :

Berranger *dir.* 2023 : BERRANGER (M.) dir., AUBERT (M.), COUBRAY (S.), GIRARD CLOS (O.), HERBRICH (M.), JEANNOT (R.), LAURENT (H.), LEROY (M.), MERLUZZO (P.), MOUTON-VENAULT (S.), PIETAK (J.-P.), SORDOILLET (D.), VENAULT (S.) - *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions.* Projet Collectif de Recherche, Rapport triennal 2021-2023, Belfort, IRAMAT-LMC-UMR5060, DRAC Bourgogne-Franche-Comté.

Sommaire

1. Présentation du programme de recherches (M. Berranger)	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. Bilan de la programmation 2021-2023	13
2. Reproduction de l'article de synthèse sur les espaces de réduction publié en 2023 dans Gallia 80-2	21
3. Les travaux de terrain engagés en Puisaye en 2021 et 2022 (M. Berranger, M. Leroy, J.-P. Piétak, D. Sordoillet, S. Coubray, O. Girardclos, P. Merluzzo)	83
3. 1. Fouille d'un atelier de la Tène moyenne à Saint-Fargeau "Bois de Bailly" - site 40	83
3.2. Synthèse des travaux entrepris sur la commune de Dracy « Ferrier Guillou » et « Pâturage des noirs »	117
4. Les travaux de terrain 2023 en Puisaye : sondages et prélèvements volumétriques sur la commune de Montholon (Yonne) (M. Berranger et M. Leroy avec contribution M. Herbrich)	131
4.1. Introduction : rappel des travaux et des acquis antérieurs	135
4.2. Méthodologie	136
4.3. Description des sondages par site	137
4.4. Etude des mobiliers archéologiques	163
4.5. Synthèse et perspectives	164
5. Compositions chimiques des minerais de fer et des scories prélevés dans les amas de déchets sidérurgiques anciens de Puisaye (état 2023) (M. Leroy et M. Berranger)	169
5.1. Les morceaux de minerais	170
5.2. Les scories de réduction – les éléments majeurs	173
5.3. Les éléments traces des minerais et scories	194
6. Habitats et amas de scories de réduction	205
6.1. Tannerre-en-Puisaye (Yonne) (St. Venault)	205
6.2. La Cour Batonnerie - commune de Toucy (Yonne) (St. Venault)	216
6.3. Synthèse sur le mobilier céramique provenant des prospections et sondages de Puisaye (S. Mouton-Venault)	223
7. Les travaux de terrain 2023 dans le Morvan (M. Herbrich, avec contribution M. Berranger)	235
7.1. Connaissance générale et rappel des travaux antérieurs	245
7.2. Cadre et problématique de l'intervention	246
7.3. Objectifs et méthodologie de la campagne de sondage d'août 2023	247
7.4. Résultats	248
7. 5. Conclusions et perspectives	269

8. Gestion des ressources combustibles en contexte de production sidérurgique : étude dendro-anthracologique des fouilles archéologiques d'Entrains-sur-Nohain (2008-2016) (R. Jeannot et O. Girardclos)	273
8.1. Comprendre les interactions entre ressource forestière et activités sidérurgiques	273
8.2. Corpus et méthodes d'étude	273
8.3. Caractérisation des peuplements exploités	281
8.4. Discussion : modes d'exploitation et évolution de la ressource ligneuse	283
9. Appréhender les datations par le radiocarbone par cumul de probabilités (H. Laurent)	291
9.1. Les dates obtenues pendant la trisannuelle 2021-2023	291
9.2. L'effet « vieux bois »	292
9.3. La recherche d'une chronologie « sûre »	293
9.4. Des pics et des creux de production ou de documentation ?	295
9.5. Conclusion	297
10. Perspectives 2024-2026 (M. Berranger et M. Leroy)	299
Axe 1. Évaluation volumétrique et quantitative des amas de déchets	299
Axe 2. Les techniques de réduction : caractérisation et évolutions techniques	300
Axe 3. L'organisation des ateliers et les caractéristiques morpho-techniques des fourneaux de réduction	301
Publications	302
Bibliographie	303
Annexe 1 : Montholon - Inventaire des US	311
Annexe 2 : Compositions chimiques élémentaires (éléments majeurs et traces) des échantillons de minerai, parois et scories de fer.	315
Annexe 3 : Planches céramologiques de référence (S. Mouton-Venault)	319
Annexe 4 : Le Morvan - Inventaire des US	325
Annexe 5 : Le Morvan - calculs de volume par site	329
Annexe 6 : Tableau d'inventaire anthracologique brut simplifié	331
Annexe 7 : Résultats des datations radiocarbone reçues en janvier 2024 - Poznan	335
Liste des figures	339

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 – UMR6075 – 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.* 2000, 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-UMR7065) et de Sandra Cabboi (INRAP-UMR7065), a également eu pour objectif d'étudier le grand nombre d'ateliers qu'il restait à caractériser en Lorraine, dans le sud de l'Ile-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 la partie Centre-Est de la France, correspondant aux limites actuelles de la Bourgogne Franche-Comté, relève du même objectif d'une caractérisation interdisciplinaire de l'organisation des activités sidérurgiques anciennes. Il a l'avantage de s'ancrer dans une longue tradition d'études archéoméallurgiques locales, dont les résultats pourront être comparés à ceux issus de régions voisines également en cours de caractérisation.

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

1.2. Présentation générale du programme de recherche

1.2.1. Spécificités et objectifs

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

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

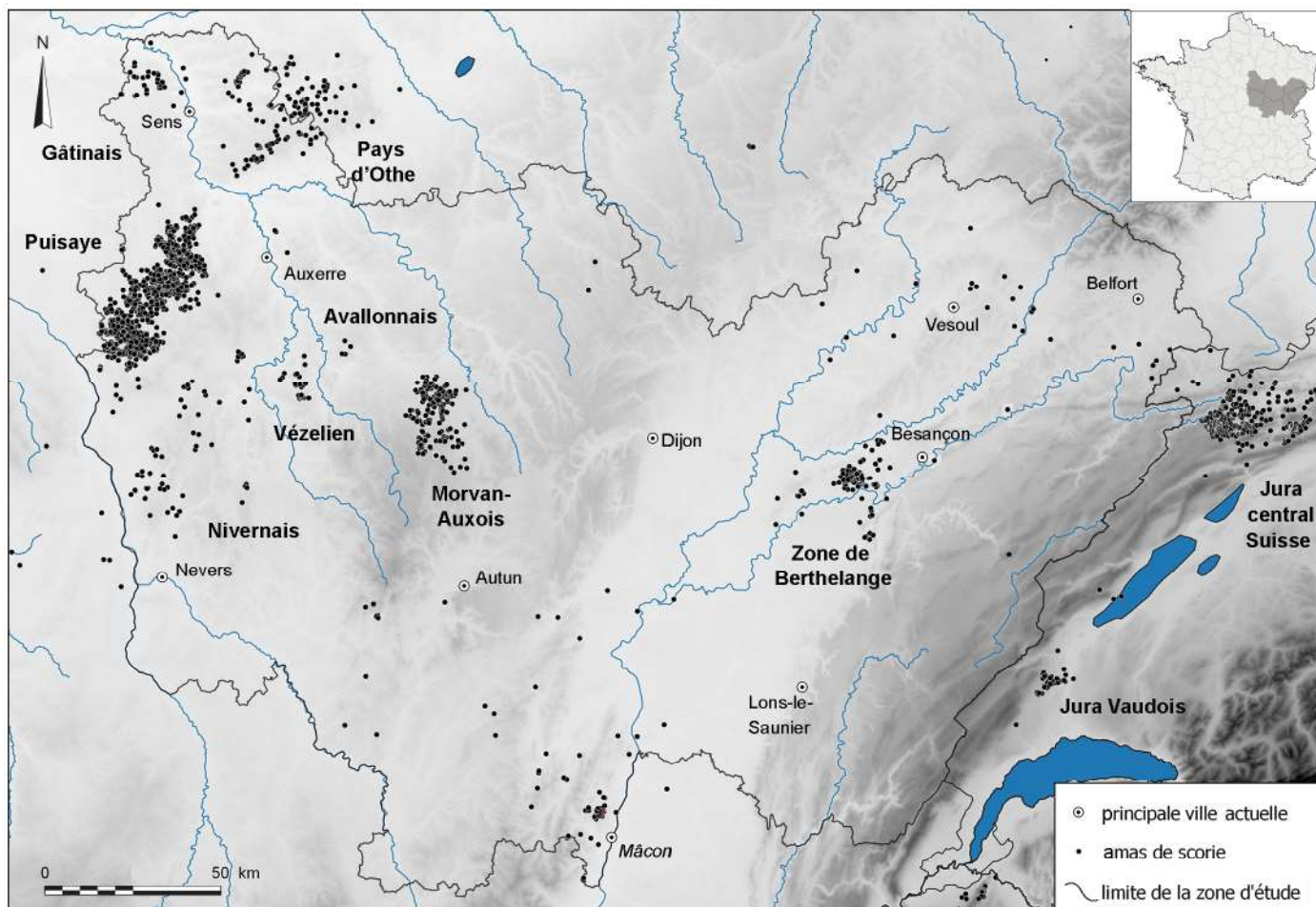


Figure n°1. Localisation des espaces de production connus au sein de la zone d'étude.

La région Bourgogne-Franche-Comté se caractérise par une documentation riche, 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 connu des acquis importants dans le cadre du PCR «sidérurgie» ces dernières années, et constitueront la base de futures synthèses thématiques.

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

1.2.2. Chronologie

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

Durant les premiers temps de sa production, le fer sert de matière première pour certains biens de prestige. On le retrouve ainsi dans la fabrication des artefacts (épées, parties de chars) accompagnant les défunts des tombes aristocratiques. Pour ces périodes le nombre d'ateliers de réduction connu reste limité. Des productions ponctuelles côtoient de véritables centres productifs (Berranger *et al.* 2017). 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. n.è. les ateliers de production de fer brut (ateliers de réduction) sont alors archéologiquement bien connus et constituent quelques grands centres de production. A partir du haut Moyen âge l'usage de ce matériau semble à nouveau se restreindre à des productions spécifiques, comme l'armement, l'outillage et certaines pièces de parure, mais parallèlement de nombreux districts s'implantent sur des territoires où la production du fer étant absente jusqu'alors.

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

1.2.3. Corpus

Les sites de réduction.

Un des premiers objectifs du programme vise à déterminer les conditions de 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 leur chronologie et importance. 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.

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.

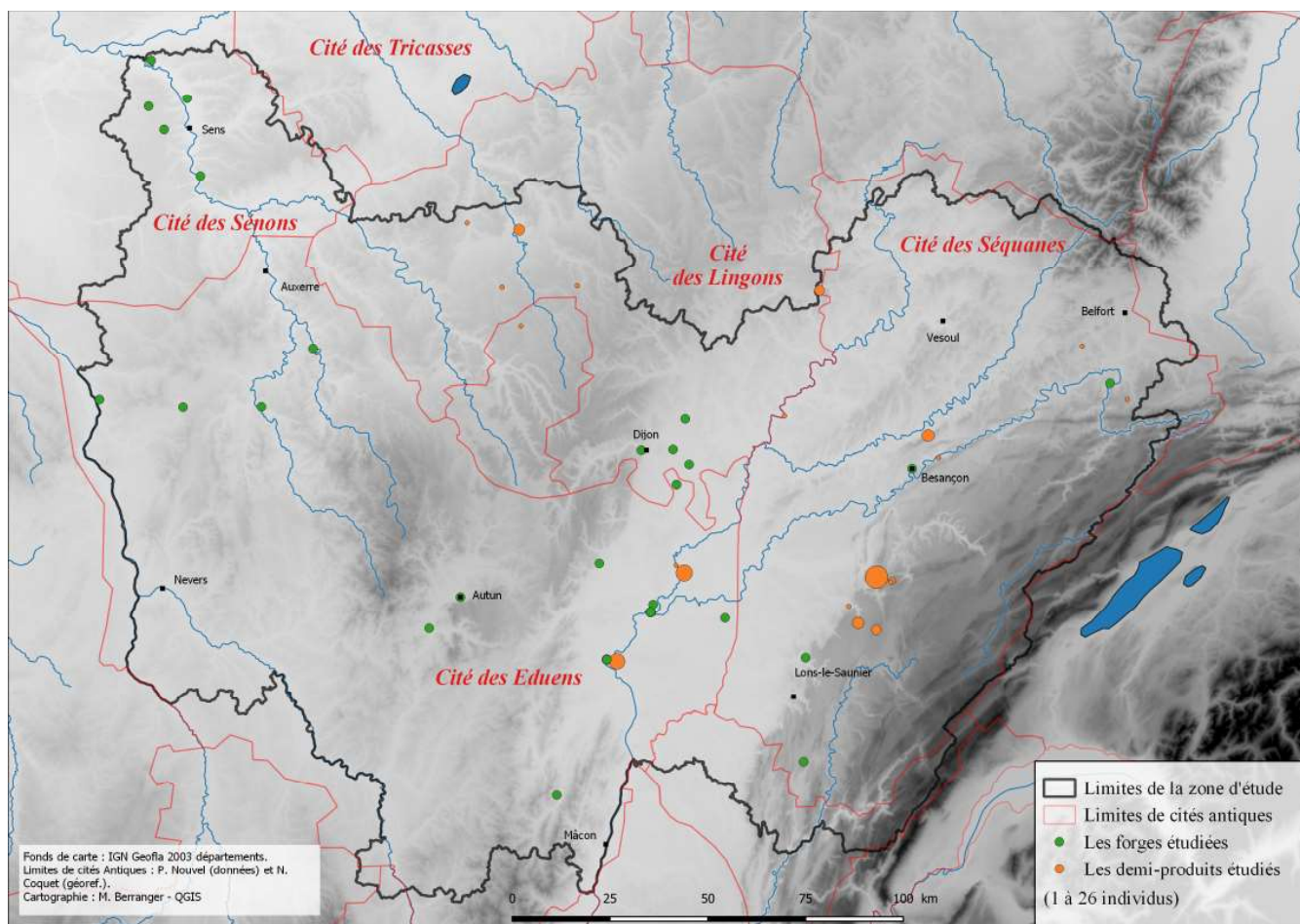


Figure n°2. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits.

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.

1.3. Bilan de la programmation 2021-2023

Un panorama général des travaux réalisés entre 2021-2023 est proposé dans les lignes suivantes. Ces résultats seront davantage détaillés dans les chapitres qui suivent et qui constituent ce rapport.

De par sa vocation interdisciplinaire, le programme collectif de recherche rassemble les compétences d'archéologues avec différentes spécialités étroitement associés aux différents stades de travail. La figure 3 détaille les participants impliqués dans le programme dans le cadre de la triennale 2021-2023 ainsi que la nature de leur participation.

Intervenant	Organisme de rattachement	Nature de la participation
Archéométaballurgie - terrain et laboratoire		
AUBERT Michel	LMC-IRAMAT-UMR7065	Analyses archéométriques, DAO
BERRANGER Marion	LMC-IRAMAT-UMR7065	Coordination projet, travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
HERBRICH Margaux	Artehis-UMR6298 / LMC-IRAMAT-UMR7065	Topographie - Photogrammétrie (PhD terriFer) - analyses fluoX
LEROY Marc	LMC-IRAMAT-UMR7065	Travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
LAURENT Hervé	DRAC-SRA F. Comté-LMC-UMR7065	Inventaire et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
LAURENT-CORSINI Sylvie	DRAC-SRA F. Comté-LMC-UMR7065	Cartographie et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
PIETAK Jean-Pierre	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR7065	Prospections des sites de Puisaye
Archéométaballurgie - laboratoire		
DILLMANN Philippe	LAPA-IRAMAT-UMR7065	Développement des méthodologies interdisciplinaires
MEAUDRE Jean-Charles	LAPA-IRAMAT-UMR7065	Photomodélisation 3D
MERLUZZO Paul	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR7065	Etude interdisciplinaire des sites métallurgiques
VALBI Valentina	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR7065	Filiations chimiques (post-doc TerriFer)
VEGA Enrique	LAPA-IRAMAT-UMR7065	Analyses MEB-EDS
Anthracologie		
GIRARDCLOS Olivier	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Etude dendro-anthracologiques - coordination
COUBRAY Sylvie	INRAP - MNHM	Etude dendro-anthracologiques
JEANNOT Rémy	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR7065	Etude dendro-anthracologiques, SIG
Etude des espaces habités - topographie - géomorphologie		
MOUTON-VENAULT Sylvie	INRAP GES - Artéhis UMR5594	Céramologie
SORDOILLET Dominique	INRAP GES - UMR6249	Etudes géomorphologiques
THIVET Matthieu	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Acquisitions LiDAR
VENAULT Stéphane	INRAP GES - UMR6249	Etudes habitats-sites métallurgiques

Figure n°3. Liste des participants au PCR pour la triennale 2021-2023, et détail des activités de chacun.

1.3.1. Axe 1 : la caractérisation des espaces de réduction

Les travaux réalisés lors de deux dernières triennales (2018 à 2023) ont permis de dresser un bilan cartographique des sites de métallurgie du fer à l'échelle de la région Bourgogne-Franche-Comté (fig. 1). Un premier panorama de leur évolution spatio-chronologique peut à présent

être proposé sur la base des 210 datations radiocarbone disponibles, ce qui a fait l'objet d'un article de synthèse publié en 2023 dans la revue Gallia. Plus de 500 analyses chimiques de scories issues des différents secteurs ont également été réalisées et fournissent une base de données conséquente à même de pouvoir réaliser des études sur les procédés techniques et leurs évolutions, ainsi que pour des recherches de provenance (Annexe 2, chap. 5).

Dans le cadre de la triennale en cours d'achèvement (2021-2023), les travaux de prospections et de prélèvements de charbons sur les amas de déchets métallurgiques se sont poursuivis, mais à une moindre échelle. En Puisaye un grand amas antique, à Dracy « La Pâturage des Noirs » (89) (déjà daté par un charbon - Piétak *et al.* 2012) a ainsi fait l'objet de prélèvement de scories et charbons alors qu'il était en cours de destruction (chap. 3.2), et un site a été daté des XIV-XV^e s. à Saint Fargeau (sites 89.344.191). A Entrains-sur-Nohain « Château du Bois » (58) un site inédit a été sondé et vient d'être daté des X^e-XII^e s. (annexe 6).

Sur la base des résultats obtenus les années précédentes, nous souhaitons plutôt approfondir certaines thématiques de recherche.

Etude des fours de réduction et des modalités de constitution des amas.

L'un des objectifs de la triennale en cours d'achèvement était de préciser l'architecture des fours de réduction, la dynamique de constitution des amas et l'organisation spatiale des ateliers à travers une approche plus précise d'un petit nombre de sites de réduction. Il s'agissait également de préciser les spécificités et différences dans les techniques mises en œuvre en étudiant l'architecture des bas fourneaux et l'organisation spatiale des ateliers.

Dans ce cadre deux campagnes de fouilles ont été conduites en 2021 et 2022 sur un atelier de réduction du minerai de fer daté par méthode radiocarbone, sur la plateau du Hallstatt et sur la période La Tène moyenne. Il se situe en Puisaye sur la commune de Saint-Fargeau (Yonne, site 40, lieu dit Bois de Bailly). En 2021, des sondages ponctuels avaient été ouverts sur la base des acquisitions géophysiques réalisées en 2020 (Sanchez in Berranger dir. 2020). En 2022 une vision extensive a été privilégiée, en décapant plus largement l'emplacement des anomalies géophysiques. Ces fouilles ont permis d'étudier une grande partie de l'amas de déchets ((seuls n'ont pas été explorés les emplacements des grands arbres) et une portion notable de l'atelier. Un ensemble de cinq de bas fourneau a pu être fouillé (chap. 3.1.). La structuration des espaces de travail a pu être appréhendée, alors que ces informations ont jusqu'à présent été rarement étudiés sur les ateliers de cette période.

Dans le Morvan, en 2023, un des premiers ateliers de réduction fouillé en France (La Roche-en-Brenil, fouilles 1983 par Michel Mangin) a été réétudié (chap. 7.4). La fouille d'un des bas fourneaux a été complétée, notamment en dégagant la cuve du four, non mise au jour dans les années 1980.

Les volumes de déchets dans les ateliers

Les travaux sur les amas de déchets de réduction connaissent un nouveau développement depuis l'été 2022. En effet la région Bourgogne-Franche-Comté a apporté son soutien financier sur une période de 3 ans à un nouveau programme de recherche intitulé « Dynamiques techniques et territoriales en métallurgie du fer (TerriFer) », ce qui a permis l'acquisition d'instruments scientifiques ainsi que le recrutement d'un ingénieur d'étude sur 18 mois, d'un post-doctorat sur 12 mois et le financement d'une thèse, dans le cadre d'une collaboration développée entre le LMC-IRAMAT (UMR7065), la MSHE Ledoux (USR3124) et ArTeHis (UMR6298). L'objectif

scientifique du programme est de développer de nouvelles méthodologies d'études des amas de déchets sidérurgiques. L'approche repose sur l'association de trois démarches étroitement complémentaires :

- la réalisation de relevés LiDAR dans des secteurs géographiques pré-définis afin de topographier avec précision une partie de ces amas, et le développement d'un protocole permettant de calculer précisément le volume de ces tas ;

- la réalisation de coupes stratigraphiques afin d'évaluer la proportion de scories au sein de ces amas.

- l'analyse chimique des déchets à l'aide d'un analyseur de fluorescence X portable. L'objectif est de pouvoir croiser des notions de rendement, avec des volumes de déchets précisément calculés grâce aux acquisitions LiDAR et aux prélèvements volumiques en stratigraphie, afin de déterminer d'un point de vue diachronique les volumes de métal produits au sein des différentes zones de production. .

Dans ce cadre, durant l'été 2022 le secteur de Dracy "Ferrier Guillou" (89) a fait l'objet d'une première approche (chap. 3.2.). Des relevés LiDAR ont été réalisés sur le site du Ferrier Guillou 2 par Matthieu Thivet et Emmanuel Hamon de la MSHE Ledoux. Parallèlement, un autre très grand amas, Ferrier Guillou 1, a fait l'objet d'une étude stratigraphique. Une grande coupe stratigraphique de plus de 6 m de haut a été redressée à la pelle mécanique et a fait l'objet de prélèvements volumétriques des déchets en colonnes. Des charbons et des fragments de céramique antique ont également été collectés.

En 2023 ces travaux se sont poursuivis par le relevé LiDAR de plusieurs sites de réduction du Morvan-Auxois. Des acquisitions LiDAR sont prévues sur le Nivernais et en Puisaye durant l'hiver 2023-2024.

Les travaux de terrain de 2023 ont été centrés sur la réalisation de prélèvements volumétriques en stratigraphie afin de rendre possible les calculs de densité au sein des amas de déchets. Ces prélèvements se sont concentrés sur une sélection d'amas situés dans deux zones de production distinctes. D'une part en Puisaye, six sites localisés sur la commune d'Aillant-sur-Tholon ont été étudiés (responsabilité M. Berranger, M. Leroy) (chap. 4). Les prélèvements ont concerné de grands amas de déchets de réduction datés de l'Antiquité, ainsi que plusieurs sites datés du Moyen âge. Les sondages mécaniques ont permis de constater que sur certains sites antiques l'épaisseur de rejets sidérurgiques pouvait atteindre parfois 2 m sous le niveau de sol actuel. D'autre part, dans le Morvan-Auxois (Côte d'Or), où une vingtaine de sites datés du Moyen âge ont été sondés (responsabilité M. Herbrich) (chap. 7).

Les relations sites métallurgiques - espaces habités.

La question de l'implantation et de la nature des espaces habités, en relation avec les sites de production du fer, se pose de façon récurrente. La séparation géographique de ces deux types de contexte est régulièrement pointée, mais il faut avouer que peu de données sur cette question sont disponibles, surtout lorsque les espaces étudiés le sont seulement par des prospections pédestres.

Nous avons ainsi pu constater en différents endroits, notamment en Puisaye où des prospections extensives ont été réalisées sur près de trois décennies, l'association entre des zones de rejets de déchets sidérurgiques (particulièrement les très gros amas) et des indices d'habitats essentiellement pour la période romaine.

Les fouilles menées en 2018 à Montholon/Aillant-sur-Tholon avaient 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'un des objectifs de la triennale 2021-2023 a été d'approfondir les recherches sur l'étude des relations entre espaces habités et zones de production primaire du fer, afin de préciser la nature et l'importance de ces espaces occupés. Ce thème est coordonné par Stéphane Venault, archéologue à l'INRAP spécialiste de l'occupation du sol durant la période antique, et a pour objectif de développer d'étroites collaborations avec deux PCR conduits en Bourgogne-Franche-Comté : AggloCenE (Coord. S. Venault et P. Nouvel) et Ruralia (coord. P. Nouvel).

Ce thème a été abordé en Puisaye à partir de deux grands sites : Toucy « La Garenne » et les environs du « grand » ferrier de Tannerre-en-Puisaye. La première étape de la caractérisation est passée par des acquisitions géophysiques sur des parcelles qui livraient en prospections pédestres de ombreux tessons de céramiques. A Toucy, des prospections géophysiques ont été réalisées par l'INRAP sur une surface de 3 ha, sur une parcelle voisine d'un grand amas antique. Une voie ainsi qu'un potentiel bâtiment ont été identifiés. L'étude réalisée en 2019 par Sylvie Mouton-Venault (Mouton-Venault in Berranger dir. 2019) sur des céramiques recueillies en prospections pédestres par Jean-Pierre Piétak avaient révélé 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. Les éléments disponibles ne permettent pas de mieux préciser sa nature.

A Tannerre-en-Puisaye, les prospections géophysiques réalisées par l'INRAP sur deux années ont mis en évidence le tracé supposé d'une voie associée à une série d'anomalies linéaires. Sur la base des résultats de ces prospections, des sondages à la mini-pelle ont été entrepris, sous la responsabilité de S. Venault de l'INRAP. Une voie avec deux fossés bordiers a été identifiée, ainsi qu'un chemin et d'autres fossés. Les éléments de datations sont épars et peu nombreux, mais ceux disponibles se rapportent à l'époque antique.

Une synthèse de ces acquis est présentée chap. 6. La poursuite de ces travaux est envisagée sous l'angle de l'exploitation de la documentation existante, par le recensement des indices d'occupations antiques à l'échelle de la Puisaye.

Les travaux de laboratoire

L'étude des techniques de productions et de l'évolution des savoir-faire, appréhendés à travers les caractérisations chronologiques et l'étude archéométriques des déchets de production du fer (analyses pétrographiques, analyses chimiques) s'est poursuivi et fait l'objet d'un thème de recherche dédié. Des expérimentations sont menées conjointement afin de tester les hypothèses de travail et d'étudier le comportement des éléments chimiques durant la réduction. De nouvelles séries d'analyses chimiques de scories et minerais ont été réalisées au CRPG, principalement sur des déchets provenant de sites de Puisaye ou de types de scories peu documentées. Les sections polies d'une dizaine de scories de réduction de Puisaye ont également été analysées en utilisant le MEB-EDS de l'IRAMAT afin de préciser l'identification de phases observées au microscope optique. Enfin une série de minerais de Puisaye ont été analysées en diffraction des rayons X (IRAMAT) afin de préciser leur nature. Un premier bilan des acquis permis sur la compréhension des techniques et des filiations chimiques est présenté chapitre 5.

Un axe paléoenvironnemental intègre également les travaux menés sur les espaces de réduction. Il mobilise les compétences de trois anthracologues qui collaborent de manière complémentaire. Ce thème est coordonné par Olivier Girardclos, du laboratoire Chrono-environnement qui

a supervisé une partie des prélèvements et qui a étudié les collections prélevées en Puisaye. Sylvie Coubray de l'INRAP collabore à l'étude des charbons provenant des ateliers de Saint Fargeau (chap. 3.1.). Enfin Rémy Jeannot collabore à l'étude des charbons de bois provenant des ateliers de forgeage de l'agglomération antique voisine d'Entrains-sur-Nohain, situé au cœur d'une zone de productions de fer brut. Une synthèse de ces travaux figure chapitre 8.

10 nouvelles dates radiocarbone ont été réalisées cette année (annexe 7). Les résultats ont été reçus juste avant le rendu du rapport. Ils ont donc été intégrés le cas échéant dans les chapitres de présentation des résultats par site, sans faire l'objet d'une approche synthétique. Bien que les résultats de ces datations aient fait l'objet d'un premier article de synthèse (chap. 2), l'analyse de ces résultats se poursuit, comme dans le cadre du chapitre 9 qui porte sur l'analyse de ces dates par cumul de probabilités.

1.3.2. Axe 2 : l'étude des ateliers de forgeage et de la consommation du fer.

Dans le cadre du programme triennal qui s'achève l'étude des ateliers de forgeage s'est poursuivie en fonction de trois grandes thématiques.

La caractérisation des activités de forgeage dans les habitats.

L'étude des forges dans l'agglomération antique d'Entrains-sur-Nohain a continué à constituer un des principaux champs d'investigation. Les efforts ont concerné la mise en forme des rapports d'étude et d'analyses archéométriques qui ont été achevés ou sont quasiment achevés pour les deux derniers secteurs fouillés par l'INRAP. Les travaux ont également été centrés sur l'achèvement de la codification des structures métallurgiques sous forme d'un catalogue visualisé sur QGIS, afin de proposer des plans interprétatifs normalisés par espaces. L'ensemble des données brutes étant à présent traitées, il est maintenant nécessaire d'envisager la formation de ces données dans le cadre d'une publication de synthèse.

En ce qui concerne l'étude des activités de forge, deux autres sites majeurs à l'échelle régionale, par le nombre d'ateliers de forgeage qu'ils ont livré, ont été étudiés dans le cadre de masters d'archéologie de l'Université de Franche-Comté. Le premier sujet portait sur l'étude interdisciplinaire des déchets métallurgiques du site de Bragny-sur-Saône "Sous Moussière" (71). Le cas de Bragny II. Il a été réalisé par L. Belhade (encadrement M. Thivet univ. de F. Comté, co-encadrement : M. Berranger, E. Dubreucq). Ce travail de recherche intervient tant dans le cadre du PCR sidérurgie que du PCR Confluence dirigé par M. Thivet et E. Dubreucq. Ce travail a permis de réaliser l'étude interdisciplinaire d'un lot de déchets de 140 kg de déchets métallurgiques issu d'une fosse fouillée intégralement par A. Guillot en 1973-1974. Ces quantités sont considérables pour un contexte compris entre la fin du VI^e/début V^e s. et la deuxième moitié du V^e s. av. n.è. Il a été notamment possible de proposer une restitution des activités pratiquées et des volumes de métal travaillés.

Le second sujet concernait l'étude des déchets métallurgiques du quartier artisanal de la Genetoye- Autun (71), entre le I^{er} s. et le III^e s. de n.è. Il a été réalisé par S. Saves (encadrement Ph. Barral univ. de F. Comté, co-encadrement : M. Berranger, P. Nouvel, S. Alix). Ce travail visait à caractériser la nature des activités de forgeage à partir des déchets de travail du fer retrouvés lors des fouilles récentes (2017 à 2020) du quartier artisanal de "La Genetoye" (coord. S. Alix, Y. Labeaune), situé à proximité du quartier monumental, en périphérie de la ville antique. Il a également permis de proposer un bilan réactualisé, tenant compte des opérations préventives récentes, de la répartition des activités de travail du fer à l'échelle de l'agglomération antique d'Autun.

L'étude des demi-produits de fer

Cette thématique a été poursuivie de manière ponctuelle, par l'intermédiaire d'un sondage réalisé sur la commune d'Arbois, afin de prélever un demi-produit de fer de type currency-bar (détail dans Berranger dir. 2022). Cette opération est intervenue suite à des opérations de prospections au détecteur à métaux autorisées dans le cadre du PCR portant sur l'environnement de Salins-Les-Bains et dirigées par E. Gauthier (Chrono-environnement) qui avaient conduit au repérage de l'objet. Le sondage intervient dans la continuité de travaux menés depuis plusieurs années dans le cadre du PCR concernant l'étude de demi-produits de fer présents en concentration dans ce secteur et ayant déjà fait l'objet de deux publications (Berranger *et al.* 2019, *et al.* 2021).

La circulation du métal

Dans la continuité des travaux menés ces dernières années, un axe spécifique a pu être dédié aux études de filiation visant à relier la composition chimique des scories de réduction présentes sur les sites de production, avec la composition chimique des inclusions de scories piégées au sein des objets en fer. Cette thématique a pu être abordée grâce à l'existence d'un référentiel de données chimiques propre à chaque espace de production de fer brut, acquis dans le cadre des précédents travaux du PCR « Sidérurgie » (Berranger dir. 2020).

Dans le cadre du projet TerriFer le financement d'un post-doctorat de 12 mois portant spécifiquement sur ces questions a permis d'analyser un vaste corpus d'objets en fer. Il s'agit pour partie d'artefacts en fer ayant déjà fait l'objet d'analyses structurales notamment dans le cadre du PCR. Une nouvelle série d'objets a également été échantillonnée (fig. 126). La sélection des sites à étudier s'est portée en priorité sur de grands habitats et agglomérations de la fin des âges du Fer et de l'époque antique. Quelques habitats du haut moyen âge ont également été pris en compte afin de permettre une approche diachronique.

La valorisation de ces travaux a débuté sous forme de publications :

- BERRANGER (M.), LEROY (M.), LAURENT (H.) avec la collaboration de JEANNOT (R.), PIETAK (J.-P.), GIRARD-CLOS (O.) 2023 - Les zones de production du fer en Bourgogne-Franche-Comté : une approche sur la longue durée par le radiocarbone. Gallia – Archéologie des Gaules, CNRS Editions, 2023,
- LABEAUNE (R.), BERRANGER (M.) 2023 – Identifier les indices fugaces du travail du fer du début de la période hallstattienne : une attention nécessaire aux micro-déchets. L'exemple du Dijonnais. In : VALDES (L.), CICOLANI (V.), HIRIART (E.) - L'Europe des matières premières au Ier millénaire av. n.è. Exploitation, transformation, diffusion. Actes 45e colloque international de l'AFEAF, Gijon, 13-15 mai 2021, Parsi, AFEAF (Collection AFEAF 5), p. 217-222.
- BERRANGER (M.), BAUVAIS (S.), DISSER (A.), VEGA (E.), DILLMANN (Ph.) 2023 – Espaces de production et circuits d'échanges en métallurgie du fer dans l'espace nord-alpin durant le premier âge du Fer. In : VALDES (L.), CICOLANI (V.), HIRIART (E.) - L'Europe des matières premières au Ier millénaire av. n.è. Exploitation, transformation, diffusion. Actes 45e colloque international de l'AFEAF, Gijon, 13-15 mai 2021, Parsi, AFEAF (Collection AFEAF 5), p. 135-154.
- LAURENT (H.), LAURENT-CORSINI (S.), BERRANGER (M.), LEROY (M.) 2022 – La sidérurgie directe franc-comtoise (VIIIe s. av. n.è. – XIVe s. de n.è.). Archéologie, technique, mémoire. Patrimoine industriel n°81, décembre 2022, CILAC révéler le patrimoine industriel, p.40-45.
- PAGES (G.), DILLMANN (Ph.), VEGA (E.), BERRANGER (M.), BAUVAIS (S.), LONG (L.), FLUZIN (Ph.) 2022 : Vice-versa: the iron trade in the western Roman Empire between Gaul and the Mediterranean, PLOS One 17-5, Public Library of Science, 10.1371/journal.pone.0268209
- BERRANGER (M.), DILLMANN (P.), FLUZIN (P.), VEGA (E.), LEROY (S.), AUBERT (M.), DELQUE-KOLIC (E.) 2021 - A new understanding of the chronology, circulation and function of iron age ferrous semi-products in north-eastern France. Archaeological and Anthropological Sciences 13, 102. 10.1007/s12520-021-01333-0
- BAUVAIS (S.), BERRANGER (M.) 2021 - La métallurgie du fer du Hallstatt D à la Tène D dans le nord-est de la France : un bilan renouvelé. In : RIQUIER (V.), - L'Aube, un espace clé sur le cours de la Seine. Actes du colloque Arkéaube, Troyes, 17-19 septembre 2019. Editions Snoeck,

- BAUVAIS (S.), BERRANGER (M.), DILLMANN (Ph.), DISSER (A.), LEROY (S.), FLUZIN (Ph.). 2021 - Le fer des principautés : l'économie du fer dans le nord-est de la France au Hallstatt D et à La Tène A1. In : BRUN (P.), CHAUME (B.), SACCHETTI (F.) éd., Vix et le phénomène princier, Actes du colloque de Châtillon-sur-Seine, 2016, Pessac, Ausonius éditions, collection DAN@ 5, 2021, 219-258, [en ligne] <https://una-editions.fr/le-fer-des-principautes>

De communications :

2023

- VALBI (V.), BERRANGER (M.), VEGA (E.), DILLMANN (Ph.) - Espaces de production et conditions de circulation des produits ferreux en Bourgogne Franche-Comté durant les âges du Fer et l'Antiquité : études physico-chimiques de la provenance des matériaux ferreux anciens. Communication orale, colloque du Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie tenu à Nice du 17 au 21 avril 2023.

- BELHADE (L.), BERRANGER (M.), DUBREUCQ (E.) – Etude interdisciplinaire des déchets métallurgiques du site de Bragny « Sous Moussière », poster colloque du Groupe des Méthodes Pluridisciplinaires Contribuant à l'Archéologie tenu à Nice du 17 au 21 avril 2023.

- HERBRICH (M.), LEROY (M.), VEGA (E.), BERRANGER (M.) - How much metal is produced? An interdisciplinary approach combining LiDAR, field archaeology and portable X-ray fluorescence analysis to reconstruct production volumes. Communication orale, The world of Iron conference, Nairobi, Kenya du 5 au 10 novembre 2023.

- VALBI (V.), VEGA (E.), DILLMANN (Ph.), BERRANGER (M.) - Iron circulation in Roman Northern France, new insights from the TerriFer project, Communication orale, The world of Iron conference, Nairobi, Kenya du 5 au 10 novembre 2023.

- BERRANGER (M.), LEROY (M.), LAURENT (H.) – Some radiocarbon in the chronology of smelting areas in north-eastern France. A new diachronic understanding of the organisation of iron and steel production. Communication orale, The world of Iron conference, Nairobi, Kenya du 5 au 10 novembre 2023.

- BERRANGER (M.), LEROY (M.), LAURENT (H.) – Actualité de la recherche archéologique sur les espaces de production de fer brut dans le centre est de la France. Rencontres annuelles de la Société Archéologique Française d'étude des mines et de la métallurgie (SAFEMN), 13 octobre 2023.

2022

- HERBRICH (M.), BERRANGER (M.), THIVET (M.) – Apport de la topographie par LiDAR aéroporté à la caractérisation volumique et spatiale d'amas de déchets sidérurgiques. L'exemple des ateliers de Montholon en Puisaye (Yonne). Communication orale XXXIIIe colloque du GMPCA, tenu à Chambéry.

- JEANNOT (R.), BERRANGER (M.) – Apport des analyses multivariées pour l'interprétation et la comparaison de scories de forge à l'échelle macroscopique. Communication orale XXXIIIe colloque du GMPCA, tenu à Chambéry.

2021

- BERRANGER (M.), BAUVAIS (S.) – Espaces de production et circuits d'échanges en métallurgie du fer dans l'espace nord-alpin durant le premier âge du Fer. 45e colloque international de l'AFEAF, L'Europe des matières premières au Ier millénaire av. n.è. Exploitation, transformation, diffusion. Gijon 13-15 mai 2021.

- BERRANGER (M.), LABEAUNE (R.) – Une métallurgie au fond du tamis... Les indices ténus du travail du fer avant le VIe s. av. n.è. en Bourgogne Franche-Comté. 45e colloque international de l'AFEAF, L'Europe des matières premières au Ier millénaire av. n.è. Exploitation, transformation, diffusion. Gijon 13-15 mai 2021.

-BAUVAIS (S.), BERRANGER (M.). (conférence invitée) – Interpréter l'absence, la présence voire l'omniprésence du fer et des vestiges liés à sa transformation : dans quelle mesure le fer est-il un matériau recyclable ? Le cas du Hallstatt D3 et de La Tène A1 dans la moitié nord de la France. Conférence invitée. Congrès préhistorique de France 2021, Toulouse 3 mai – 4 juin 2021, Session L'économie invisible des produits en matériaux recyclables, coordonnée par P.-Y. Milcent, M. Nordez, Th. Poigt.

2. Reproduction de l'article de synthèse sur les espaces de réduction publié en 2023 dans Gallia 80-2

Les zones de production du fer en Bourgogne-Franche-Comté : une approche sur la longue durée par le radiocarbone

Areas of iron production in Burgundy-Franche-Comté: A diachronic approach using radiocarbon

Marion Berranger, Marc Leroy et Hervé Laurent

À la mémoire de Michel Mangin (1934-2020), professeur des Universités, d'histoire ancienne à Dijon et d'archéologie à Besançon, qui a tant contribué à l'étude de la métallurgie du fer dans l'Est de la Gaule antique et qui a formé une génération d'archéométallurgistes.

Un territoire marqué par une longue tradition de recherche sur la sidérurgie

- 1 Dans les années 1980, plusieurs programmes d'inventaire des sites sidérurgiques anciens implantés dans les régions du nord-est et du centre-est de la France, à l'initiative et sous la direction de Michel Mangin, professeur d'archéologie à l'université de Franche-Comté, participent au renouveau des recherches sur la production du fer avant l'époque moderne (Mangin *et al.* 1994 ; Faivre *et al.* 1995)¹. Cette thématique est alors peu développée en France en dépit de travaux conduits à la fin du XIX^e et au début du XX^e s., mais alors quelque peu oubliés (Domergue, Leroy 2000). D'emblée, ces recherches ambitionnent d'étudier un grand nombre de ces sites. Elles constituent aussi le creuset dans lequel ont été développés des protocoles d'analyses chimiques et minéralogiques qui ont permis de poser les bases des méthodologies actuelles de caractérisation et d'identification des déchets de production, généralement les seuls

artefacts conservés témoignant des processus métallurgiques mis en œuvre (Mangin *et al.* 1994 ; Mangin dir. 2004). Au bout d'une dizaine d'années, une carte comportant près d'un millier de sites très inégalement répartis sur ce vaste territoire pouvait être présentée (Leroy *et al.* 2000).

- 2 Une première chronologie a été proposée sur la base de quelques dates radiométriques et grâce à l'étude de mobiliers céramiques découverts lors de travaux d'exploitation modernes et de quelques sondages et fouilles archéologiques. La période antique est alors la mieux documentée et dessine l'image d'une production largement répandue (Mangin *et al.* 1995 ; Leroy *et al.* 2000 ; Leroy 2001 ; Domergue *et al.* 2006, p. 139-141). M. Mangin proposait ainsi de reconnaître le territoire dit du Morvan-Auxois comme le cœur d'une zone de production sous contrôle de la cité des Éduens et ayant pu alimenter les ateliers de forgeage d'Alésia (Mangin *et al.* 1992). Les fouilles réalisées dans les années 1990 sur le site des Fouetteries sur la commune des Clérimois (Yonne) sur le tracé de l'autoroute A5 (Dunikowski, Cabboï 1995), tout comme au lieu-dit les Ferrys sur la commune de La Bussière (Loiret), sur le tracé de l'autoroute A77 (Rébiscoul 2003), confirmaient la présence d'ateliers d'époque antique, tout en mettant en évidence des antécédents datés de l'âge du Fer dont l'importance restait mal définie.
- 3 Au début des années 2000, la réalisation de datations radiométriques dans le secteur dit de Berthelange, au sud-ouest de Besançon (Doubs) (Laurent *et al.* 2012), ainsi que dans le pays d'Othe (Beck *et al.* 2008), permettent de réévaluer l'importance de la production sidérurgique médiévale. Dans le même temps, trois datations par le radiocarbone attestent que certains des grands amas de scories identifiés en Puisaye datent de la période romaine (Piétak *et al.* 2012).
- 4 L'ensemble de ces données chronologiques s'avérait cependant à ce stade trop ponctuel ou trop dispersé pour qu'on envisage de proposer une caractérisation chronologique représentative de l'évolution des activités de réduction du minerai de fer dans cet espace géographique.
- 5 Sur ces bases ont été formulés à la fin des années 2010 les objectifs d'un projet collectif de recherche (PCR)² destiné à mieux appréhender la chronologie des amas de déchets métallurgiques, ainsi que les techniques de réduction mises en œuvre. L'ambition est de recourir le plus systématiquement possible à la datation radiocarbone de fragments de charbon de bois ainsi qu'à l'étude des déchets issus de prélèvements en stratigraphie. Les inventaires déjà disponibles permettent de centrer les efforts, non plus sur le repérage et la localisation des sites, mais sur leur caractérisation. L'objectif de la présente publication est d'exposer ces nouveaux résultats qui modifient substantiellement notre perception de la chronologie de ces zones de production.

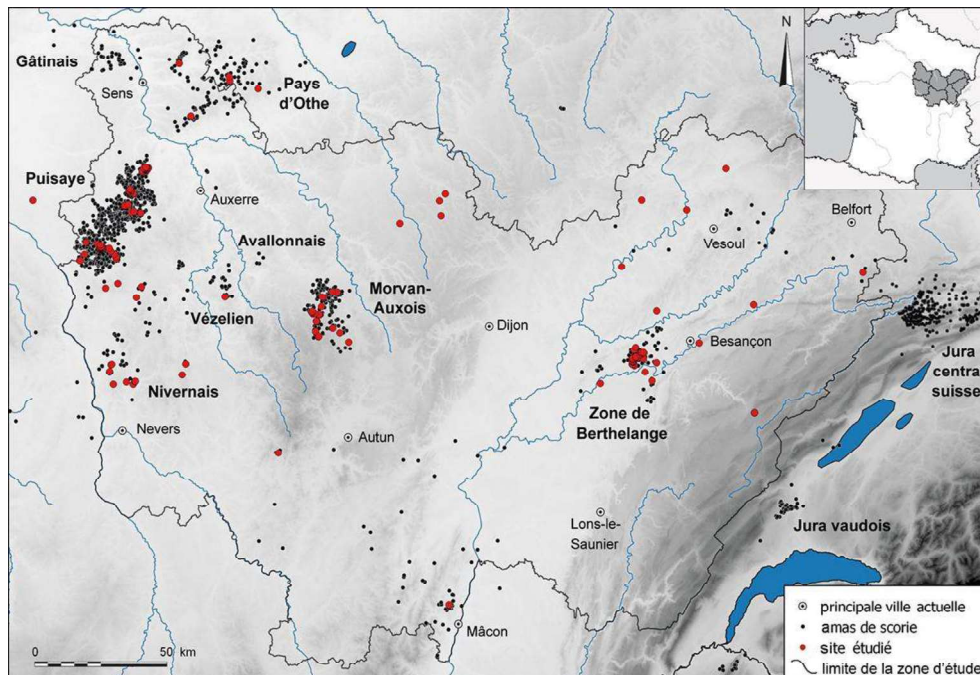
Cadre de l'étude et méthodologie

Les zones de production : définition et difficultés de délimitation

- 6 Sans prendre en compte les informations fournies par les sources historiques, les travaux d'inventaires archéologiques menés depuis les années 1980 permettent de proposer une cartographie d'environ 5 000 sites d'ateliers de production primaire du fer inégalement répartis sur l'espace géographique étudié. L'historique des travaux menés dans chacun des espaces considérés sera présenté dans les chapitres suivants. Dans le cadre du présent programme, la documentation éparse a été rassemblée,

vérifiée dans la mesure du possible et intégrée à une base de données générale ce qui permet de proposer une cartographie d'ensemble (fig. 1). Il faut souligner la qualité de ces archives, déjà souvent classées et publiées. La poursuite des travaux de prospections-inventaires ne figurait pas parmi les objectifs du PCR. L'inventaire des ateliers n'a donc été enrichi que de manière ponctuelle. En revanche, c'est la première fois qu'on fournit une carte sur laquelle les zones de production ne sont plus représentées symboliquement, mais au moyen de nuages de points qui prennent en compte la totalité des sites connus.

Fig. 1 – Carte des sites étudiés et des amas de déchets de réduction des minerais de fer recensés en Bourgogne-Franche-Comté



DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

- 7 Une très grosse concentration – plus de 2 500 sites – apparaît très nettement à l'extrémité ouest de l'espace bourguignon à l'intérieur de la région naturelle de la Puisaye. Au nord-est de cet ensemble, une autre concentration de moindre ampleur, mais où la densité de sites reste élevée, occupe le Sénonais et le pays d'Othe, de part et d'autre de la vallée de la Vanne, en débordant largement la limite de la région administrative. Une troisième concentration de sites occupe, au centre de la Bourgogne, les contreforts nord du Morvan et les plateaux de l'Auxois et une quatrième, en Franche-Comté, forme une zone plus restreinte au sud-ouest de Besançon. Plusieurs petits groupements dispersés de manière plus ou moins lâche s'observent au nord-ouest dans le Gâtinais, au centre-ouest dans les pays du Nivernais et entre Vézelay et Avallon (Yonne), et au sud-est sur la côte du Mâconnais. Ailleurs, alternent des secteurs où sont présents un petit nombre d'ateliers très dispersés et des espaces géographiques plus ou moins grands où ils semblent absents. Les espaces où se concentrent un grand nombre de sites d'ateliers (plusieurs dizaines à plusieurs centaines, voire dans un cas, plusieurs milliers) recèlent évidemment des ressources

métallifères et des vestiges de leur extraction, mais en général les unes comme les autres sont assez mal connus et il n'en sera donc pas question ici.

- 8 Il est néanmoins difficile de tracer les limites précises des zones de production car elles ne sont pas toutes connues avec le même degré de précision, qui dépend beaucoup des recherches archéologiques qui y ont été conduites. De plus, ces limites peuvent varier dans le temps. Elles seront donc ici considérées sur la base des concentrations géographiques observées et d'un point de vue diachronique. La collecte de données chronologiques, premier objectif de ce programme de recherche, permettra à terme de mieux cerner leur distribution et leur extension, ainsi que leur évolution au cours du temps long.

Méthodes d'enregistrement des sites et stratégie de prélèvement

- 9 Plusieurs campagnes de prospections et de sondages archéologiques ont été réalisées entre 2017 et 2021. En s'appuyant sur les données enregistrées dans les inventaires constitués depuis les années 1980, le choix des sites étudiés a permis de couvrir un large espace géographique et un panel représentatif des différentes caractéristiques morphologiques et typologiques observées (dimensions et aspect des sites, morphologie et nature des déchets). En Puisaye, une approche spécifique a été développée sous forme de zones d'étude, appelées « zones-atelier », au sein desquelles l'intégralité des amas de déchets sidérurgiques recensés a été étudiée (voir *infra*).
- 10 Sur le terrain, les amas de déchets ont fait l'objet d'un enregistrement topographique sommaire. Les contours ont été relevés au GPS et les longueurs et largeurs maximales ont été mesurées au moyen d'un décimètre. La hauteur a été relevée au moyen d'un altimètre de terrain en prenant le sol environnant actuel comme référence. Les relevés au GPS permettent de calculer les surfaces à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) : le logiciel QGIS. Les dimensions relevées sont destinées à calculer le volume approximatif des amas et non celui des déchets eux-mêmes. Pour ce faire, nous avons utilisé la méthode de calcul proposée par Pierre-Marie Decombeix (Decombeix *in* Mangin dir. 2004, p. 192-198) à partir des travaux menés sur les amas de scories de l'Aude ($0,4 \times \text{longueur} \times \text{largeur} \times \text{hauteur}$). Bien que la marge d'erreur soit importante, l'utilisation de cette méthode donne un ordre de grandeur et permet une première comparaison des sites sur la base de critères identiques.
- 11 Des déchets métallurgiques ont été prélevés systématiquement pour caractériser les différentes typologies rencontrées (morphologie et structure, puis après observation microscopique, texture minéralogique et composition chimique). Ces déchets ont été prélevés soit simplement en surface des amas, soit en stratigraphie dans des sondages (fig. 2). Ceux-ci ont été réalisés majoritairement sous la forme de petites fenêtres d'un mètre de côté, creusées jusqu'au sol naturel ou par rafraîchissement de coupes déjà existantes, correspondant le plus souvent au creusement de chemin ou à des zones de prélèvement de matériaux. Plusieurs sites, notamment les amas présentant encore une épaisseur de plusieurs mètres, ont fait l'objet de sondages de plus grande ampleur effectués avec une pelle mécanique. Dans ce cas, les couches ont été échantillonnées à partir de prélèvements en vrac de façon à quantifier les proportions des différents matériaux présents et la part respective des différents types de déchets.

Fig. 2 – Méthodologie de terrain et stratégie de prélèvement des charbons de bois pour datation radiocarbone



A, prospection au sol sur les amas de déchets sidérurgiques, nettoyage de blocs de scories visibles en coupe ; B, sélection de scories contenant des charbons de bois à la surface des amas de déchets ; C, exemple de sondage stratigraphique réalisé sur un petit amas de déchets ; D, exemple de sondage mécanique dans un amas de déchets de gros volume ; E, prélèvements de charbons de bois et d'artefacts sidérurgiques au sein d'une coupe stratigraphique dans un amas de déchets de gros volume.

Clichés : M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS).

- 12 L'un des objectifs principaux étant la datation des sites, une attention particulière a été portée à la collecte de charbons de bois en stratigraphie dans les sondages ou à l'intérieur des scories pour réaliser des analyses radiocarbone. Un volet d'étude anthracologique a été développé parallèlement afin d'aborder les questions relatives aux essences et aux parties d'arbres choisies pour la production du combustible nécessaire aux opérations sidérurgiques et plus largement aux impacts que cette activité provoque sur le long terme sur le peuplement forestier (Dufraise, Coubray 2018).
- 13 Près de 180 amas de réduction ont été nouvellement prospectés et une quarantaine d'entre-eux ont été sondés. Un total de 159 nouvelles dates radiocarbone ont été acquises, permettant de disposer, en tenant compte de celles déjà disponibles avant ce PCR, de 210 dates exploitables issues de 159 sites (annexe 1³).

Intérêt et limites de la technique du radiocarbone

- 14 L'analyse chronologique proposée dans le cadre de cet article repose pour l'essentiel sur les résultats des datations par le radiocarbone. Hors des ateliers, les scories de réduction retrouvées par exemple en remblai dans certains habitats n'ont pas été prises en compte parce qu'elles sont en position secondaire. Il serait également tentant

d'utiliser les découvertes fortuites de céramiques et encore plus celles de trésors monétaires survenues dans les amas mais, là encore, la position stratigraphique de ces objets ne peut généralement pas être précisée.

- 15 Peu utilisée autrefois pour les périodes postérieures aux âges des métaux et devenue courante aujourd'hui, l'analyse radiocarbone permet à la fois le traitement chronologique global de grandes séries de sites et l'approche détaillée de ceux qui ont une forte puissance stratigraphique. Il n'en reste pas moins que, comme n'importe quelle méthode de datation, le radiocarbone présente des limites techniques et que la manipulation des résultats et leur interprétation n'échappent pas à la subjectivité.
- 16 Dès le prélèvement, les différences de qualité des charbons de bois envoyés à l'analyse peuvent introduire un biais en raison de l'effet « vieux bois ». Depuis 2015, tous les échantillons sont étudiés par un anthracologue⁴ qui sélectionne de petites branches ou les derniers cernes de l'arbre. Cela n'était pas le cas il y a encore quelques années et ce n'est pas toujours possible lorsque seul du bois de cœur est disponible ou lorsque le charbon est présent dans les scories sous forme de poudre. Il faut alors admettre que toutes les dates n'ont pas la même valeur.
- 17 Depuis l'introduction de la calibration, la précision des dates varie fortement sur l'échelle du temps. On évoque souvent le plateau du premier âge du Fer, qui se termine brutalement avec la date 2375 BP et où les plages calibrées sont d'une amplitude supérieure à 300 ans. Cependant, pour les périodes plus récentes, il existe d'autres plateaux, certes de moindre ampleur, mais bien présents. Actuellement, pour le deuxième âge du Fer, à 2335 BP et 2330 BP, les plages calibrées sont d'environ 280 ans ; entre 2175 BP et 2100 BP, elles varient entre un peu plus de 250 ans et presque 300 ans. À la charnière du Bas-Empire et du premier Moyen Âge, entre 1675 BP et 1645 BP, on dépasse 270 ans d'amplitude. Par le flou qu'ils introduisent, ces plateaux perturbent l'analyse chronologique quand on les représente dans un graphique : plus les dates sont imprécises, plus elles occupent d'espace. Il est alors tentant de les utiliser, au moins visuellement, comme des « chaînons manquants » entre deux séries de dates.
- 18 Lorsque l'incertitude de la date conventionnelle dépasse les ± 30 ans BP, il est nécessaire de réfléchir également à l'amplitude de la plage de calibration au-delà de laquelle une date ne peut plus être considérée comme utilisable. Dans l'absolu, le fait qu'une date soit imprécise n'empêche pas qu'on s'en serve. Après tout l'approximation chronologique est le lot quotidien de l'archéologue. En revanche, les représentations graphiques s'accommodent mal des données floues. Ainsi, il faut examiner le « potentiel datant » de chaque date prise individuellement. Autre difficulté, et non des moindres, la courbe de calibration du radiocarbone évolue, ce qui a été le cas entre 2019 et 2020 (Reimer *et al.* 2020). Certaines plages calibrées rejoignent des plateaux ou connaissent un allongement significatif ; d'autres quittent au contraire un plateau ou deviennent très précises ; d'autres encore, tout en conservant une amplitude comparable à celle de la calibration précédente, voient leurs bornes glisser, parfois de trois quarts de siècle.
- 19 Enfin, malgré leur nom, les dates radiocarbone calibrées ne sont pas des *dates* dans le sens propre du terme, mais des intervalles de temps à l'intérieur desquels la vraie date a une très forte probabilité de se trouver. En aucun cas, ces intervalles n'expriment la durée de fonctionnement des ateliers. Dans ces conditions, comment exprimer les constats sous forme de texte ? On doit sans cesse choisir entre les approximations, les

abus de langage et l'emploi de périphrases. Malgré ces limites, le radiocarbone demeure un instrument irremplaçable pour la datation des sites de réduction du minerai de fer.

Les zones de production de fer brut : nouvelles données chronologiques

- 20 Les recherches conduites dans le cadre du PCR ont tenté de couvrir les espaces de production livrant les plus grandes concentrations de sites. La présente partie a pour objet d'exposer ces recherches, ainsi que les résultats acquis à partir d'analyses engagées sur quelques sites isolés. La Puisaye, la zone la plus riche en vestiges et la mieux documentée, a constitué la plus grosse part des activités de terrain, et sera plus particulièrement détaillée. Dans un deuxième temps, seront donnés les premiers résultats des travaux menés sur les déchets sidérurgiques. La dernière partie proposera une tentative d'interprétation de l'évolution des activités de production sidérurgique.

La Puisaye

Historique des recherches

- 21 La Puisaye est une région naturelle de bas plateaux s'étendant entre les vallées de la Loire et de l'Yonne (fig. 1). Elle couvre le sud-ouest du département de l'Yonne, le nord-ouest du département de la Nièvre et l'extrémité sud-ouest du département du Loiret (Goujon 1911). Dès la première moitié du XIX^e s., des amas de scories anciennes, dénommés « ferriers » ou « ferrys », y sont mentionnés et un premier recensement cartographique est publié (Leymerie, Raulin 1858). Il est complété par un inventaire plus détaillé au début du XX^e s. (Huré 1920), puis par une étude qui s'attache davantage aux caractéristiques géologiques et chimiques (Momot 1963 ; 1964). Ces inventaires concernent en fait l'ensemble du département de l'Yonne. Ils prennent donc en compte non seulement la Puisaye, mais aussi le pays d'Othe, le Sénonais, l'Avallonnais et le pays de Vézelay.
- 22 Ces amas, qui ont parfois des dimensions considérables, étaient utilisés comme carrières à des fins de réutilisation des matériaux pour servir à la construction des routes, des chemins et des voies ferrées⁵, avant qu'au cours de la première moitié du XX^e s. se développe une réexploitation intensive à destination des usines sidérurgiques de l'est de la France, de Belgique, du Luxembourg et d'Allemagne (Goudard 1936). Durant cette période, tous les grands amas de scories ont été concernés par ces prélèvements massifs⁶. En 1907, l'entreprise *Roulina* évaluait à un million de tonnes le potentiel de scories exploitables sur le seul Grand Ferrier de la Garenne de Tannerre-en-Puisaye (Yonne), le plus gros amas reconnu (30 ha) (Loffroy 1998). Pour sa part, A. Goudard estimait qu'entre 1920 et 1929, 100 000 à 120 000 tonnes de scories avaient été expédiées tous les ans par les entreprises exploitantes. Une masse totale de plusieurs millions de tonnes de scories n'est donc pas invraisemblable (Bouthier 2002, p. 122).
- 23 Nombre de ces amas de scories sont encore bien visibles, même s'ils sont le plus souvent partiellement ou fortement détruits. Ils paraissent majoritairement localisés sur les plateaux encadrés par les principales vallées et plusieurs zones de fortes concentrations sont visibles : au nord de la vallée de l'Ouanne ; entre celle-ci et la vallée

du Branlin ; entre la vallée du Loing et celle de la Vrille (près de 40 sites au kilomètre carré dans les forêts entre Saint-Fargeau dans l'Yonne et Lavau dans l'Aube). La faible proportion de sites repérés dans les fonds de vallée n'est peut-être pas due uniquement aux conditions de prospection (prairies et zones urbanisées), mais pourrait être une réalité historique qui doit encore être questionnée. Même si on trouve majoritairement ces sites en secteur forestier (où ils sont plus faciles à repérer, car beaucoup mieux conservés et en élévation), une part non négligeable a été aussi reconnue dans les champs labourés (Piétak *et al.* 2012). Les amas se présentent en monticules de tailles variables, allant de 10 à 100 m de diamètre, pour des hauteurs comprises entre 1,50 et 5 m. De très gros amas pouvant couvrir plusieurs hectares et dépasser la dizaine de mètres de hauteur sont également connus bien que souvent partiellement détruits (Piétak *et al.* 2012). Des plus gros amas ne subsistent que des couronnes périphériques suggérant des diamètres de plus de 100 m et des hauteurs initiales dépassant 10 m. Les surfaces occupées peuvent dépasser 10 à 15 ha, jusqu'à 30 ha au Ferrier de la Garenne à Tannerre-en-Puisaye. L'exploitation des amas se poursuit encore actuellement, notamment en tant que source de tout-venant.

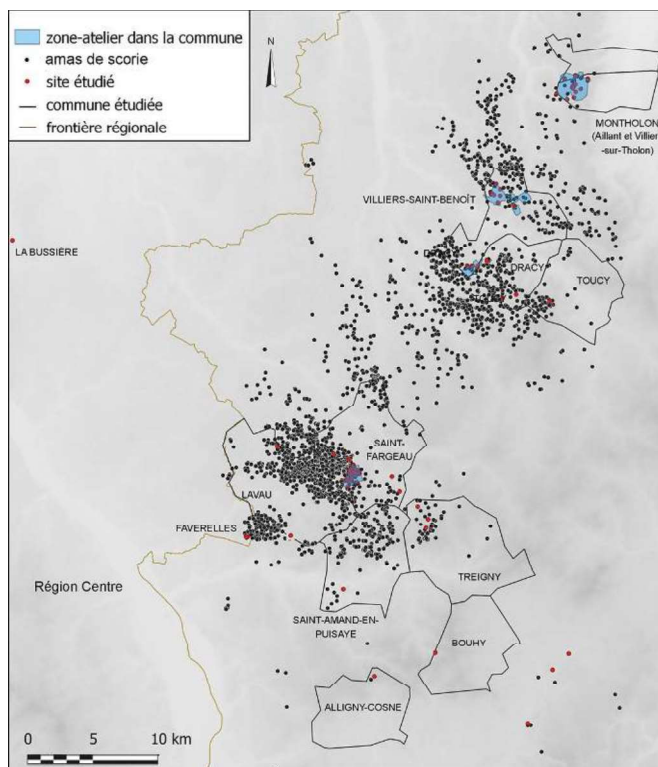
- 24 Dans les années 1980 et 1990, Alain Bouthier, historien des techniques, a été le premier à s'intéresser à leur chronologie et aux techniques sidérurgiques dont ils témoignent, ses travaux englobant tout le département de la Nièvre. En résultent plusieurs inventaires et synthèses fournissant un bilan des données chronologiques disponibles et une première approche typologique et archéométrique des déchets sidérurgiques (Bouthier 1982 ; 1995 ; Bouthier *et al.* 1987). Dans les années 1990, l'inventaire, le géoréférencement et la mesure de 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 était alors soutenu financièrement par la Drac-SRA Bourgogne et encadré 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 à partir du début des années 2000 ont permis le recensement d'environ 2 300 amas sur une superficie d'environ 1 000 km² et ont abouti à la publication d'un article de synthèse dans la *Revue archéologique de l'Est* (Piétak *et al.* 2012). La poursuite de ces prospections par J.-P. Piétak porte actuellement le total à plus de 2 500 amas.
- 25 Les éléments chronologiques 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 du I^{er} au IV^e s. apr. J.-C., avec une plus grande fréquence pour les II^e-III^e s. Dans la Nièvre, la réalisation de sondages sur une villa datée des I^{er}-II^e s. apr. J.-C., surmontée d'une couche de déchets métallurgiques, sur le site de la Vallée-Saint-Pèlerin à Bouhy (Bouthier 1985) et dans une minière remblayée de vestiges romains datés des II^e-III^e s. apr. J.-C. à Alligny-Cosne, au lieu-dit les Reboulots - les Cornijons (Bouthier 2002), ne permet cependant pas d'attester la contemporanéité entre mobilier datant et déchets sidérurgiques. Dans l'Yonne, au Ferrier Guillou à Dracy 2, au Ferrier des Noirs à Dracy 3 et au lieu-dit les Grands Usages à Villiers-Saint-Benoît 1, les datations par le radiocarbone obtenues en 2006 couvrent elles aussi la période allant de la fin du I^{er} s. au début ou au milieu du IV^e s. apr. J.-C. (Piétak *et al.* 2012), mais elles concernent uniquement de gros sites touchés par les réexploitations. L'opération archéologique conduite sur le tracé de l'autoroute A77, déjà mentionnée *supra* (aux Ferrys, commune de La Bussière⁷ ;

Rébiscoul 2003) a quant à elle révélé les vestiges d'un atelier du premier âge du Fer, auquel succèdent un autre atelier de l'époque romaine, ainsi que des vestiges d'exploitation minière allant jusqu'au XI^e s.⁸

Résultats des travaux conduits entre 2017 et 2021

- 26 Les travaux se sont organisés à partir de trois zones-atelier, au sein desquelles l'ensemble des amas ont été prospectés et échantillonnés, et dont une part significative a été sondée⁹ (fig. 3). Ces trois zones-atelier se répartissent dans les trois secteurs de forte concentration de sites qui se rencontrent au nord, au centre et au sud de la Puisaye. Il s'agit ainsi d'assurer une bonne représentativité de la diversité des sites de production primaire présents dans tout cet espace géographique¹⁰. Au nord, dans le Bois des Ferriers et à sa périphérie, sur la commune de Montholon¹¹ (Yonne), vingt-quatre amas ont été étudiés et six ont été sondés. Dans le centre, vingt-six amas ont été prospectés sur la commune de Villiers-Saint-Benoît, dans deux secteurs localisés de part et d'autre de la vallée de l'Ouanne, aux lieux-dits les Grands Usages, l'Usage des Souches, Bois Fendu et Bois des Usages, et quatorze ont fait l'objet de sondages ponctuels. Au sud, au Bois de Bailly sur la commune de Saint-Fargeau, trente-neuf sites ont été prospectés et douze ont fait l'objet de sondages.

Fig. 3 – Carte des sites étudiés et amas de déchets sidérurgiques recensés en Puisaye (Bourgogne-Franche-Comté)



Inventaires : J.-P. Piétak (Iramat-LMC-CNRS), A. Bouthier (AOROC), et inédits ; DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

- 27 Parallèlement à l'approche par zone-atelier, des prospections ciblées ont été menées sur vingt-sept amas choisis en fonction de la typologie des scories visibles en surface.

Ces études ponctuelles ont concerné des sites livrant de gros blocs de scories non écoulées hors de la cuve du bas fourneau. La technique de réduction fournissant des scories piégées est bien documentée pour le premier âge du Fer dans l'ouest de l'Europe, même si elle est également connue dans d'autres régions durant l'Antiquité et au Moyen Âge. Ce type de déchet, facile à dater car intégrant généralement une forte proportion de charbon, a donc été étudié dans un premier temps pour confirmer l'hypothèse d'une datation à la Protohistoire. Une attention particulière a également été portée aux scories vitreuses, dans la suite des résultats des travaux menés dans les années 2000 qui, tout en les datant de l'Antiquité, avaient mis en évidence leur similarité d'un point de vue pétrographique et chimique avec les laitiers de haut fourneaux anciens (Piétak *et al.* 2012). Il s'agissait donc de mieux préciser la chronologie de ces différents types de déchets particuliers. Au total, 110 sites ont été prospectés et échantillonnés, et soixante-sept d'entre-eux ont été datés par le radiocarbone.

28 Trois types de sites peuvent être définis (fig. 4) :

- les sites « discrets » se caractérisant par une absence de relief ou par une très faible épaisseur (inférieure à 0,70 m) et une faible concentration de scories en surface dans un sédiment marron clair à orangé. La plupart sont très petits, ils s'étendent sur 100 à 750 m². D'autres couvrent 1 000 à 2 000 m², mais ils sont peu nombreux. Leur volume apparent reste donc généralement inférieur à 400 m³. Les sondages révèlent une augmentation de la concentration en déchets au-delà des 25 cm superficiels ainsi que la présence ponctuelle de gros blocs de scories décimétriques à la base. Cette caractéristique pourrait s'expliquer par la technologie de réduction employée, recourant à des bas fourneaux dont la scorie reste piégée dans la cuve ;
- le groupe des « petits amas » correspondant à des sites couvrant des surfaces très limitées, généralement inférieures à 100 m² et pouvant atteindre pour le plus grand 400 m², caractérisés par de faibles élévations (inférieures à 1 m). Les volumes estimés ne dépassent pas 100 m³ (à une exception près). La concentration en scories est élevée et elles sont emballées dans un sédiment foncé, de couleur marron à noir ;
- le troisième groupe rassemblant de « gros amas », dont les surfaces s'étendent généralement sur plus de 1 000 m² et pouvant couvrir dans certains cas plusieurs hectares. Ces sites sont très rarement intacts. Le plus souvent, ils ont fait l'objet d'une intense réexploitation qui a laissé de nombreux trous et tranchées. Certains ne subsistent plus que sous la forme d'un bourrelet périphérique discontinu ou de portions d'amas séparées les unes des autres. Les élévations initiales ne sont donc pas toujours restituables, mais certains sites paraissent clairement constitués de plusieurs monticules dont les hauteurs dépassent souvent le mètre et qui parfois atteignent encore une dizaine de mètres. Au sein des amas, la densité de scories peut être élevée, mais en surface elle est plus faible. La coloration du sédiment présente une certaine variabilité, la couleur rougeâtre semblant cependant prédominante. Il est parfois difficile de distinguer les amas de scories anciennes réellement en place des tas de résidus résultant du criblage opéré par les réexploitations modernes.

Fig. 4 – Les différents types d’amas de déchets identifiés en Puisaye (Bourgogne-Franche-Comté)



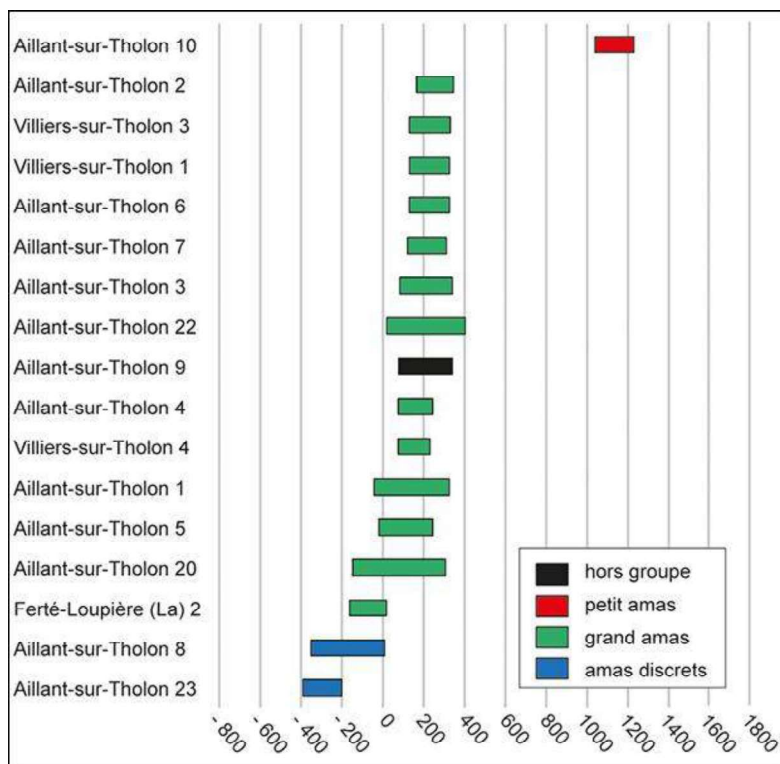
A, sites discrets ; B, petits amas ; C2, gros amas.

Clichés : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

- 29 Cette typologie purement morphologique est une première approche qui se veut assez simple pour décrire une situation sans doute plus complexe, dans l’attente d’une combinaison avec les apports des datations et de l’étude typologique fine des déchets de production. Globalement, elle diffère peu de la typologie établie sur la base des observations de terrain de J.-P. Piétak : le type 1 correspond aux sites discrets, le type 4 correspond aux petits amas et les types 2 et 3 se confondent avec les gros amas (Piétak *et al.* 2012, p. 122-125).
- 30 Considérons à présent les caractéristiques des sites en fonction des zones-atelier. Celle de Montholon se distingue par une majorité d’amas de grande taille (seize sur les vingt-quatre étudiés). Sur les six sites sondés, quatre sont de gros amas, présentant des élévations importantes : jusqu’à 11 m pour le site d’Aillant-sur-Tholon 1, au Bois des Ferriers. L’examen des stratifications révèle une superposition de couches de rejet de déchets scorifiés, de parois de fourneau, voire de minerai grillé. Les datations réalisées au sein de ces différentes strates montrent que les accumulations de ces déchets ont pu débuter dès le II^e ou le I^{er} s. av. J.-C. Elles semblent avoir cessé à la fin du III^e s. sur le site d’Aillant-sur-Tholon 5, et au début voire au milieu du IV^e s. apr. J.-C. sur les sites d’Aillant-sur-Tholon 1, 3 et 20. Même en tenant compte des incertitudes liées aux plages de calibration des dates radiocarbone soulignées plus haut, ces amas paraissent s’être constitués sur plusieurs siècles, si ce n’est en continu, au moins en plusieurs phases, depuis La Tène finale jusqu’au début du Bas-Empire.
- 31 Nous disposons pour ce secteur de quarante-et-une dates issues de dix-sept sites (fig. 5). Elles permettent de reconnaître une activité sidérurgique débutant entre le IV^e et le

III^e s. av.J.-C. et se poursuivant sans hiatus perceptible jusqu'au IV^e s. apr.J.-C. La plupart des sites datés dans cette zone-atelier se situent dans une période comprise entre le I^{er} et le IV^e s. apr.J.-C. Après une interruption – au moins apparente – de plusieurs siècles, une production plus tardive est documentée à partir de deux amas identiques et jumelés dont l'un a été daté des XI^e-XIII^e s. Le sondage mécanisé réalisé sur ce site (Aillant-sur-Tholon 10) révèle une accumulation de déchets mêlant scories et parois scorifiées sur environ 1 m d'épaisseur, emballées dans un sédiment noir.

Fig. 5 – Chronologie par type de site dans la zone-atelier de Montholon (Yonne), en Puisaye

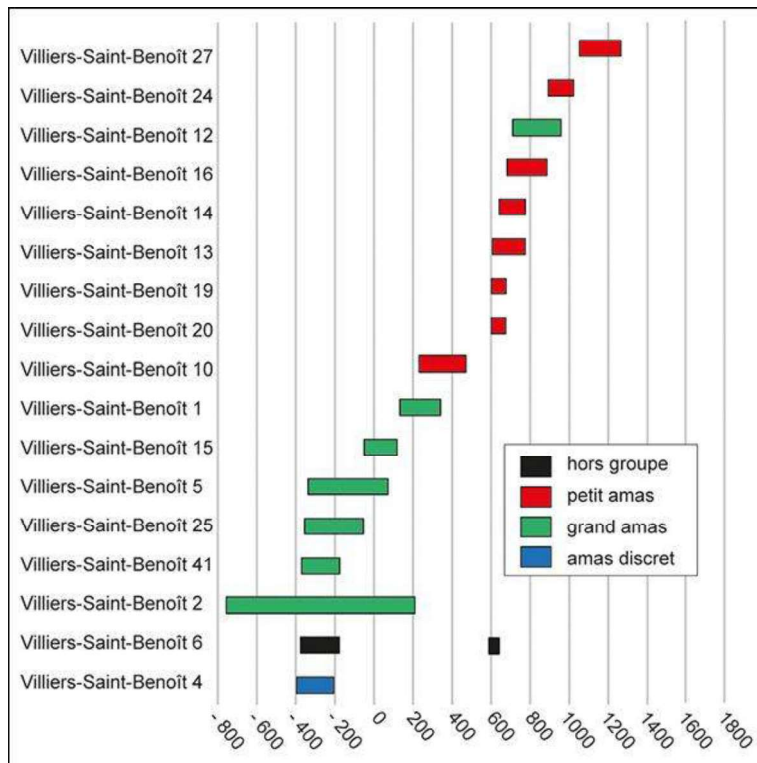


Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2σ.
 DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

- 32 La zone-atelier de Villiers-Saint-Benoît livre tous les types de sites. Dix-sept amas ont été datés sur les vingt-six prospectés. Les gros amas couvrent des surfaces étendues, mais leurs élévations sont modestes : au maximum 3 m. Pour ces sites, la datation par prélèvement de charbon au sein de scories visibles en surface a été privilégiée. La plupart des sondages réalisés dans ce secteur ont été conduits manuellement sur des extensions inférieures au mètre carré, et ont concerné des petits amas ou des sites discrets. Les sites sondés révèlent généralement des épaisseurs qui ne dépassent pas 40 à 50 cm et une seule couche – homogène – de déchets. Deux petits amas sont implantés sur des accumulations de déchets antérieures, classées dans la catégorie des gros sites. Dans ce secteur, les datations radiocarbone (fig. 6) permettent de reconnaître une exploitation sidérurgique presque continue entre le IV^e s. av. J.-C. et le XIII^e s. apr. J.-C. Plus précisément, ses débuts sont à situer entre le IV^e et le III^e s. av. J.-C., avec trois amas précisément datés dans cet intervalle chronologique, et trois autres dont les datations le recouvrent en partie. L'Antiquité, entre le début du I^{er} et le milieu du IV^e s. apr. J.-C., est représentée par deux, voire par quatre amas. Un hiatus est

constaté entre le milieu du v^e et le début du vi^e s. apr. J.-C. La période la mieux documentée correspond aux vii^e-x^e s., avec sept amas dont les datations recouvrent au moins partiellement cet intervalle, et l'activité sidérurgique se poursuit jusqu'au xiii^e s. avec un seul site.

Fig. 6 – Chronologie par type de site dans la zone-atelier de Villiers-Saint-Benoît (Yonne), en Puisaye

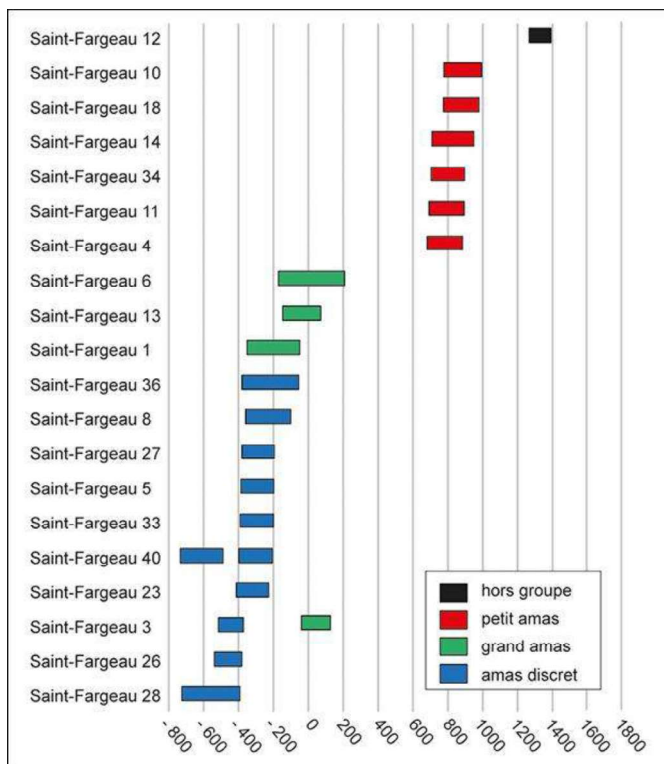


Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2σ.
 DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

- 33 La zone-atelier de Saint-Fargeau se caractérise par une grande variété d'amas au sein desquels prédominent les sites discrets. Les résultats des datations mettent en évidence trois grandes phases (fig. 7). Les plus anciens indices de production sidérurgique sont à dater entre le viii^e et le v^e s. av. J.-C., avec trois sites. Le plus grand nombre d'amas est daté de la période suivante, comprise entre les iv^e-iii^e s. et le milieu du i^{er} s. av. J.-C. Trois sites appréhendés à partir de sondages mécanisés sont datés de l'Antiquité : entre le i^{er} et le début du iii^e s. apr. J.-C. Ces gros amas ont été très endommagés et, dans deux cas (sites 3 et 13), seules de faibles épaisseurs des niveaux de rejets et des lambeaux de sols de travail subsistent. Le site Saint-Fargeau 6 est moins remanié et conserve sous le niveau de circulation actuel une épaisseur de déchets d'environ 1,30 m. Marqué par un faible relief, il ne laissait pas présager une telle puissance stratigraphique conservée. Comme dans la zone-atelier de Montholon, les couches sont constituées alternativement de scories et de parois. Les charbons prélevés en stratigraphie dans ces gros amas fournissent des dates identiques, comprises entre le ii^e s. av. J.-C. et le i^{er} ou la fin du ii^e s. apr. J.-C. À l'emplacement des sites de Saint-Fargeau 3 et 13, des datations effectuées sur des charbons prélevés respectivement à l'intérieur d'une scorie piégée et dans un niveau de minerai grillé, indiqueraient une phase d'exploitation sidérurgique

plus ancienne remontant au premier âge du Fer, en cohérence avec les résultats acquis à l'échelle de cette zone-atelier. Un hiatus est constaté entre le début du III^e et la fin du VII^e s. apr. J.-C. Une autre période d'activité reconnue s'étend de la fin du VII^e à la fin du X^e s. avec six ateliers situés dans cet intervalle. La production est également attestée durant les XIII^e-XIV^e s., mais sur un seul amas de déchets. Tous ces sites médiévaux révèlent des stratifications d'épaisseur limitée : elles atteignent au maximum une cinquantaine de centimètres et sont constituées d'une seule couche de rejet, généralement homogène, en particulier sur le site Saint-Fargeau 4 qui a fait l'objet d'un sondage mécanisé sur environ 5 m de long.

Fig. 7 – Chronologie par type de site de la zone-atelier de Saint-Fargeau (Yonne), en Puisaye



Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2 σ .
 DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

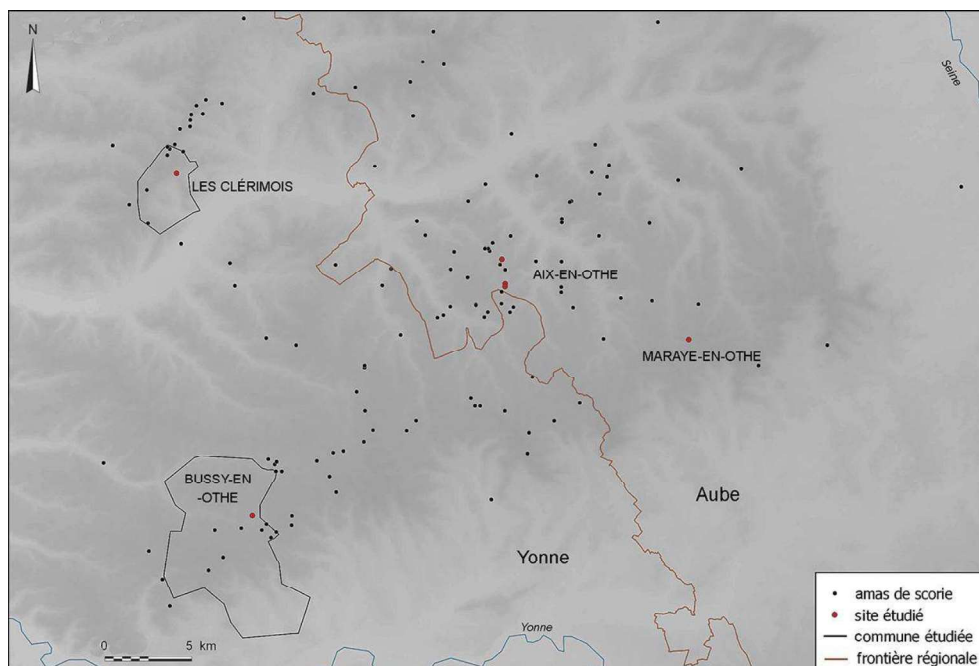
Du pays d'Othe à la bordure orientale du Gâtinais

Historique des recherches

- 34 Un important espace de production primaire est identifié au cœur du pays d'Othe et de la Champagne sénonaise, au sein d'un ensemble de plateaux crayeux de part et d'autre de la vallée de la Vanne. Il se prolonge dans les plaines de la confluence Seine-Yonne et peut-être aussi sur la bordure orientale du Gâtinais¹² (fig. 8). Comme en Puisaye, le paysage est ponctué de buttes de déchets. Les mentions d'amas de scories figurent dans les inventaires qui recensent les ferriers du département de l'Yonne au XIX^e s. et au début du XX^e s. (voir *supra*, § 22 *sqq.* ; Boutiot 1867). Dans les années 1980 et 1990, les recherches en archives, couplées aux repérages sur le terrain d'établissements médiévaux et modernes mettent en évidence l'implication des Cisterciens dans le

développement de l'industrie sidérurgique dès la fin du XII^e s. (Cailleaux 1984 ; 1991 ; Verna 1995). Mais ce sont les fouilles préventives menées au lieu-dit les Fouetteries sur la commune des Clérimois, au début des années 1990, préalablement à la construction de l'autoroute A5, qui permettent pour la première fois d'étudier une succession d'ateliers de réduction sur près de 1,50 ha et de caractériser leur évolution depuis la fin de l'âge du Fer jusqu'au haut Moyen Âge (Dunikowski, Cabboi 1995). Il s'agit encore actuellement des seuls ateliers fouillés dans ce secteur. Parallèlement, des prospections pédestres menées le long du tracé autoroutier, au nord de la Vanne, révèlent plusieurs dizaines d'indices de sites métallurgiques (*ibid.*, annexe 1, p. 26-31).

Fig. 8 – Carte des amas de déchets sidérurgiques recensés et sites étudiés du pays d'Othe à la bordure orientale du Gâtinais



Inventaires : P. Beck (université de Lille 3), C. Dunikowski (Inrap), P. Nouvel (université de Bourgogne - Artois) ; DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

- 35 Les recherches conduites dans les années 2000 (Nouvel 2004 ; Beck *et al.* 2008) complètent et densifient la carte de répartition des sites métallurgiques connus, cette fois-ci principalement au sud de la Vanne. Les travaux de Patrice Beck associent enquête archivistique et prospections de terrain. L'examen des comptes seigneuriaux révèle ainsi l'importance de l'exploitation du minerai de fer aux XIV^e-XV^e s. et l'implantation fréquente des gros établissements sidérurgiques le long des cours d'eau à partir du XV^e s. Sur le terrain, 166 sites ont été découverts, répartis de manière inégale et principalement conservés sous couvert forestier. Certaines concentrations sont flagrantes, comme celles qui entourent l'abbaye de Dilo. Si quelques grands amas, dont la superficie dépasse 1 000 m², ont été repérés, la quasi-intégralité présente des dimensions modestes : inférieures à 100 m². Six d'entre-eux ont été sondés sur les communes de Palis et d'Aix-en-Othe (Aube). L'un est daté des VII^e-VI^e s. av. J.-C. d'après des tessons de céramique carénée, et quatre se situent dans une période comprise entre l'extrême fin du IX^e et le XV^e s., confirmant la longue durée de l'activité sidérurgique.

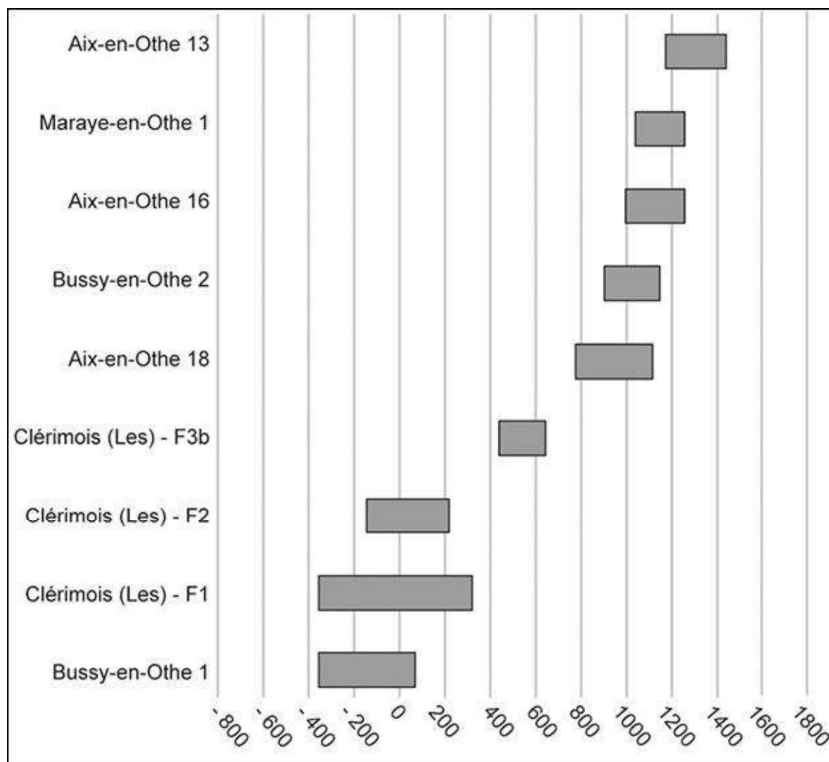
Plus récemment encore, un recensement des activités métallurgiques pratiquées au sein des habitats de l'âge du Fer y a mis en évidence la fréquence des déchets de réduction (Ha D3, LT A et LT B2/C1) (Leroy, Cabboi dir. 2019). Comment interpréter le vide qui dessine une apparente frontière entre les concentrations d'amas du nord de la Puisaye et celles du sud du pays d'Othe ? Ces espaces de production présents sur les mêmes couches géologiques partagent de nombreux points communs. De futurs travaux de prospection devront ainsi déterminer s'il s'agit d'un vide documentaire ou d'une réalité historique.

- 36 Les travaux menés dans le cadre du présent projet ont été modestes. De nouveaux sondages ont été entrepris uniquement au Bois de Migennes à Bussy-en-Othe sur les sites 1 et 2 (Yonne), en raison de leur extension sur plusieurs dizaines d'hectares et de leur juxtaposition avec une série de bâtiments antiques de statut élevé (balnéaire et sanctuaire) incitant à faire remonter à l'Antiquité l'exploitation sidérurgique (Nouvel 2004). Un autre volet de l'étude s'est concentré sur la reprise de la chronologie du site des Fouetteries aux Clérimois. Beaucoup de dates obtenues à partir des charbons prélevés lors de la fouille sont accompagnées d'une incertitude qui dépasse largement ± 50 ans. Si la courbe de calibration des années 1990 permettait malgré tout de les traduire en dates calibrées relativement précises, la courbe actuelle les a parfois dilatées au point de les rendre pratiquement inutilisables. Huit nouvelles datations ont donc été réalisées afin de tenter de préciser notamment la chronologie du début de l'exploitation sidérurgique dans ces ateliers. En prenant en compte les résultats des travaux précédents sur l'ensemble de l'espace pays d'Othe, Sénonais et bordure orientale du Gâtinais, seize dates issues de sept sites peuvent être retenues et le site des Clérimois reste le mieux documenté.

Résultats des travaux conduits entre 2017 et 2021

- 37 L'ensemble des dates actuellement disponibles permet d'envisager un début d'exploitation dans une période comprise entre le début du IV^e et le début du II^e s. av. J.-C (fig. 9). Elle est représentée aux Clérimois, à Bussy-en-Othe 1, mais aussi sur plusieurs sites d'habitat mis au jour dans la vallée de l'Yonne et sur le plateau du Gâtinais¹³, ainsi qu'à Palis, au Bois de Chevigny, sur la base de quelques tessons de céramique.

Fig. 9 – Chronologie des sites du pays d’Othe à la bordure orientale du Gâtinais



Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2σ.
 DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

- 38 À Bussy-en-Othe 1, les prélèvements de charbons ont été effectués en stratigraphie, à deux emplacements distincts. En raison de son extension importante, ce site mériterait plusieurs campagnes de prospection pour qu'on comprenne mieux sa structure. Les travaux récents se sont concentrés sur un long merlon couvrant environ 2 000 m². Une entaille transversale qui évoque une limite de parcelle a révélé une épaisseur de déchets de plus de 1 m. Un charbon a été prélevé à la base de cette entaille, l'autre provient d'un micro-sondage mené à partir du fond d'un chablis jusqu'à une profondeur de 0,80 m, sans que le sol naturel ait été atteint. Les trois analyses par le radiocarbone documentent une activité débutant entre le IV^e et le II^e s. av. J.-C. et semblant se poursuivre jusqu'au début du I^{er} s. apr. J.-C.
- 39 Composé d'au moins trois amas, le site des Fouetteries aux Clérimois est lui aussi très étendu, avec une surface mesurée de 6 700 m² et un volume total estimé de 7 800 m³ (Dunikowski, Cabboi 1995). La date provenant d'un niveau de sol du site du Ferrier 1 (Lv-1887) est imprécise, mais elle est la seule à couvrir un intervalle quasi-intégralement situé avant le changement d'ère (371 cal. BC-10 cal. AD). Associée à des fourneaux à scorie écoulee hors de la cuve, elle pourrait indiquer l'usage de cette technique dans le courant du deuxième âge du Fer, plus précocement que ce qui est habituellement admis (Berranger, Bauvais 2020). Il faut souligner le volume important de ces fourneaux dont le diamètre est compris entre 0,90 et 1,40 m, dont la hauteur avoisine ou dépasse le mètre et qui fonctionnent en batterie de deux (Dunikowski, Cabboi 1995). Les autres dates récemment acquises, issues du Ferrier 1 se rattachent à une période comprise entre la fin du I^{er} s. av. J.-C. et le début du IV^e s. apr. J.-C. Pour le Ferrier 2, elles sont comprises entre le milieu du II^e s. av. J.-C. et le début du III^e s. apr. J.-

C. Elles sont toutes associées à des fourneaux à scorie écoulee, à l'exception d'une¹⁴ qui provient d'un four en fosse (F146) situé sous le Ferrier 1. Cette dernière permet de mieux cerner la période d'utilisation de cette structure de réduction, qu'on faisait auparavant remonter au deuxième âge du Fer sur la base d'une date désormais très imprécise. Il faut mentionner de nouvelles tentatives de datation radiocarbone réalisées sur deux autres fours en fosse (F56 et F60). Dans les deux cas, les résultats ont été aberrants (respectivement 2848-1528 cal. BC et 997-839 cal. BC). Sur ce même site, une dernière période de production est reconnue sur le Ferrier 3b : les v^e-vi^e s. apr. J.-C., voire le début du vii^e s., en cohérence avec les résultats déjà précédemment obtenus (Dunikowski, Cabboi 1995). Les fourneaux concernés, également à scorie écoulee, se distinguent de ceux de la période romaine par leur taille plus faible, leur morphologie différente et par le fait qu'ils fonctionnent individuellement et non en batterie.

- 40 Enfin, deux nouvelles dates renvoient à la période médiévale. Elles proviennent des sites de Bussy-en-Othe 2, le Bois de Migennes (voir *supra*), et du site de Maraye-en-Othe 11, en forêt domaniale de Froissy, et couvrent une période déjà documentée par les travaux de P. Beck, qui va du début du x^e au milieu du xiii^e s.

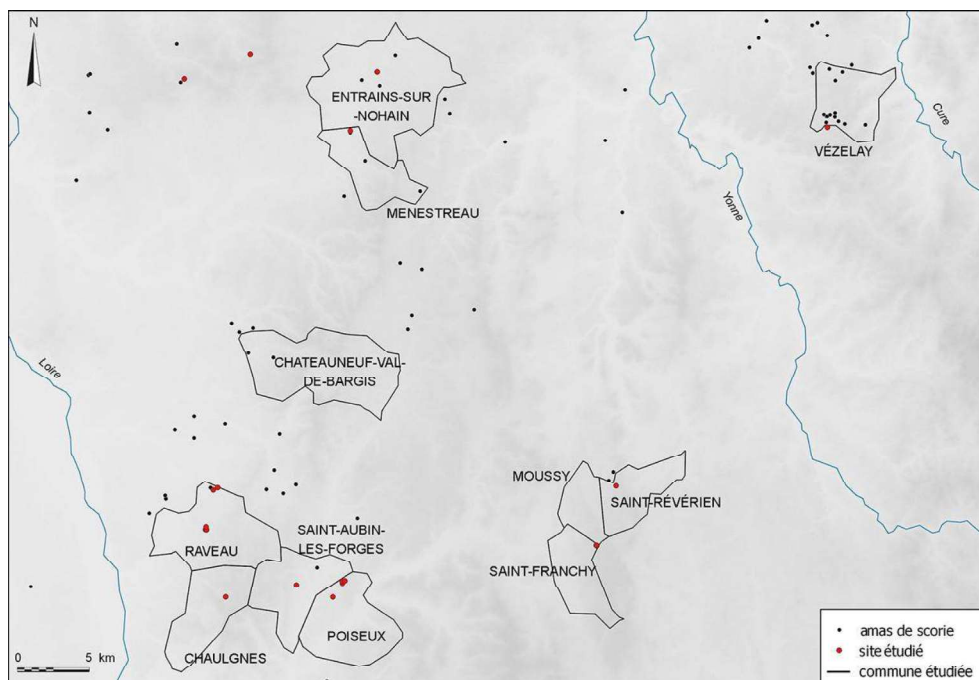
Le Nivernais, le Vézélien et l'Avallonnais

Historique des recherches

- 41 On peut regrouper sous cette appellation, qui ne correspond pas à une région naturelle *stricto sensu*, mais à un ensemble de petits « pays », une soixantaine de sites formant une série de petites concentrations, essentiellement dans le nord-ouest du département de la Nièvre, depuis le secteur de Clamecy au nord-est (où une partie d'entre eux se trouvent sur la frange méridionale du département de l'Yonne) jusqu'à La Charité-sur-Loire au sud-ouest. Ces amas de déchets de réduction sont principalement connus par les recherches d'A. Bouthier qui, à partir des années 1980, en a établi l'inventaire en compilant des données bibliographiques anciennes et des découvertes faites en prospection, fortuitement ou lors de fouilles archéologiques (Bouthier 1982 ; 1995 ; Bouthier *et al.* 1987)¹⁵. Plusieurs groupes de sites sont ainsi recensés dans la région d'Entrains-sur-Nohain, autour de Clamecy, ainsi que dans la forêt des Bertranges et sur son pourtour. Certains de ces amas ont été réexploités pour leurs scories et des découvertes de monnaies romaines sont survenues à cette occasion : ainsi à la Ronce, en lisière de la forêt de Belary (une monnaie du iv^e s.), ou à la Butte de Dourdon à Raveau en forêt des Bertranges (un trésor monétaire). Un habitat d'époque romaine mis au jour aux Près Pillats à Raveau aurait livré des blocs de scories réemployés dans les fondations des murs (Bouthier 1982). A. Bouthier note aussi la présence de scories en petits fragments sur des sites de *villae* « qui ont toutes été occupées au iv^e siècle ».
- 42 Les nouvelles recherches engagées ont consisté en la réalisation d'un inventaire actualisé des mentions de sites sidérurgiques, afin d'intégrer les résultats des prospections-inventaires les plus récents qui ont eu lieu dans ce secteur (Nouvel 2004). Vingt amas ou concentrations de déchets, situés sur une dizaine de communes du Nivernais (fig. 10) ont été prospectés et choisis en fonction de leur accessibilité. Trois sites ont été sondés. Les amas situés en périphérie des agglomérations romaines d'Entrains-sur-Nohain et de Compièrre-Champallement ont été étudiés en priorité, afin d'établir un éventuel lien chronologique entre ces espaces de production et l'occupation de ces agglomérations antiques qui accueillent des ateliers de travail du

fer (Venault *et al.* à paraître). Un sondage ponctuel a également été effectué sur l'amas de déchets très étendu du site de Crot au Port, à Fontenay-Près-Vézelay 1 (Yonne), juxtaposé avec un bâtiment d'habitation antique assez aisé (stucs, peintures murales, etc.) et un lieu de culte dédié à Mercure (fouilles de l'abbé Lacroix dans les années 1960). Nous disposons actuellement de dix-neuf dates issues de dix amas.

Fig. 10 – Carte des amas de déchets sidérurgiques recensés et des sites étudiés en Nivernais, Vézélien et Avallonnais

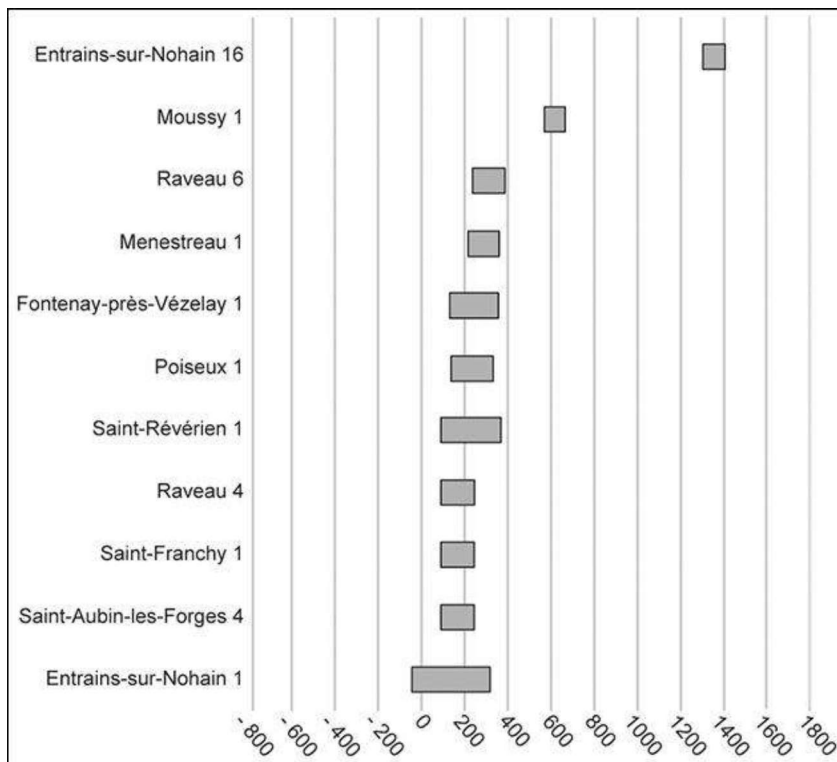


Inventaires : A. Bouthier (AOROC), R. Jeannot (Iramat-CNRS), P. Nouvel (université de Bourgogne - Artois), L. Gaëtan (Inrap) ; DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

Résultats des travaux conduits entre 2017 et 2021

- 43 Dans la forêt des Bertranges, certains tas sont fortement arasés et ne présentent plus d'élévation perceptible. D'autres, notamment à Raveau 7, la Butte de Dourdon, ou à Poiseux 1, les Péchats, s'étendent sur des surfaces importantes et montrent des élévations de plusieurs mètres, qui évoquent les gros amas de la Puisaye (avec des volumes estimés supérieurs à 1 000 m³ et dépassant même 10 000 m³ à Raveau 7). L'activité des quatre sites datés dans ce secteur est comprise dans l'intervalle qui va de la fin du I^{er} à la fin du IV^e s. apr. J.-C (fig. 11).

Fig. 11 – Chronologie des sites du Nivernais, Vézélien et Avallonnais



Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2 σ .
 DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

- 44 Deux autres ensembles d'amas étudiés se trouvent à la périphérie d'agglomérations romaines et posent la question de la contemporanéité entre production de fer brut et fabrication d'objets. À proximité d'Entrains-sur-Nohain, au moins deux amas sont connus, l'un ayant un volume d'environ 360 m³, l'autre étant étalé. Les fouilles préventives menées ces dernières années par l'Inrap au sein de la ville ont révélé l'importance du travail du fer dans certains quartiers, plus particulièrement pour les deux premiers siècles de notre ère (Venault *et al.* à paraître). Les amas de déchets de réduction sont situés en périphérie immédiate, le long d'une de ses principales voies d'accès et sont datés entre le milieu du I^{er} et le IV^e s. apr. J.-C., ce qui confirme la contemporanéité de ces pratiques au moins pour les deux premiers siècles de notre ère. Une situation comparable est observée plus au sud, à Compièrre-Champallement, sur la commune de Saint-Révérien (Nièvre), où des activités de forgeage sont connues bien que non précisément datées dans la période antique. Non loin de l'agglomération, un amas qui s'étend sur plus de 5 ha, pour un volume d'environ 6 800 m³, pourrait être contemporain en raison de sa datation entre la fin du I^{er} et le milieu du IV^e s. apr. J.-C.
- 45 À Fontenay-les-Vézelay 1, au Crot au Port, les deux dates issues de charbons prélevés dans un micro-sondage pratiqué au fond d'un chablis sont concordantes et fournissent un intervalle compris entre 124 et 350 cal. AD, confirmant le fonctionnement de ce site durant l'Antiquité.
- 46 En raison de leurs dimensions, les sites associés à ces occupations romaines semblent pouvoir aussi être comparés aux gros amas existant en Puisaye. La mise en évidence d'une possible association fonctionnelle entre des agglomérations antiques abritant des ateliers de travail du fer et l'implantation d'ateliers de production de fer brut dans leur

périphérie immédiate est un des acquis de ces recherches récentes. Elle soulève la question du contrôle et de l'organisation de la production par l'autorité publique dirigeant l'agglomération ou par des « entrepreneurs » y résidant. Au Crot au Port, la présence d'un habitat aisé associé à un sanctuaire illustre peut-être l'implication des élites sociales.

- 47 Deux datations permettent également de pointer l'existence d'une production de fer brut plus tardive, insoupçonnée jusqu'à présent et dont l'importance reste à déterminer. À Moussy 1, la Fontaine-du-Laitier, près de Saint-Révérien, l'amas est daté des VI^e-VIII^e s. À Entrains-sur-Nohain 16, l'Abîme, une phase de production métallurgique datée des XIII^e-XV^e s. a été mise en évidence au-dessus des couches de déchets antiques.

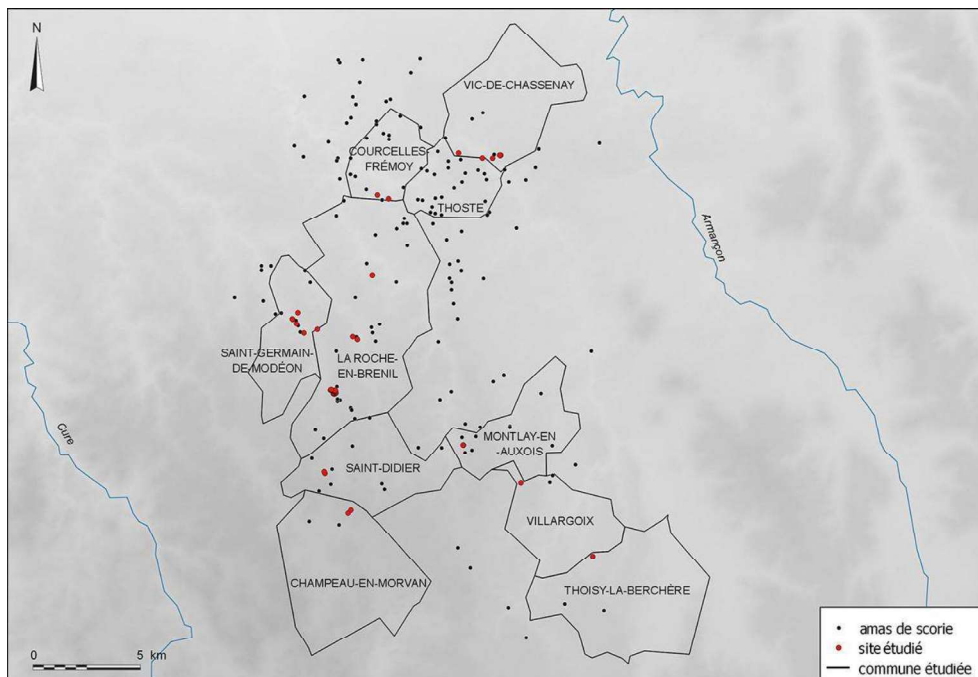
Le Morvan-Auxois

Historique des recherches

- 48 Des amas de scories anciennes sont signalés pour la première fois au XIX^e s. sur la bordure nord du massif cristallin du Morvan et sur les plateaux sédimentaires de l'Auxois par le maître mineur J.-M. Gueux, qui en dresse un premier inventaire et propose de les dater de l'Antiquité, sur la base de céramiques et monnaies romaines qu'il aurait retrouvées sur certains d'entre eux (Gueux 1872). Dans les années 1980, M. Mangin en entreprend l'étude approfondie avec pour objectif 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). L'approche mêle enquête orale, prospections aériennes, prospections pédestres, sondages et fouilles archéologiques et conduit à l'identification de 140 sites d'extraction minière et 200 ateliers de réduction sur un espace bien délimité d'environ 400 km². M. Mangin lui donne l'appellation de « district minier et sidérurgique du Morvan-Auxois ».
- 49 Cet ensemble de production est alors considéré comme majoritairement d'époque romaine en raison de l'association souvent constatée entre habitat antique et déchets de réduction. Dans certains cas, comme à Villargoix (Côte-d'Or), aux Grands Champs, il ne s'agit pas d'une simple juxtaposition de données : les déchets de réduction situés dans une enceinte rectangulaire autorisaient à envisager l'existence d'un complexe domanial associant une *villa* prestigieuse et un grand atelier (*ibid.*, p. 194). Par ailleurs, les interprétations issues de la prospection étaient confortées par une datation obtenue sur un charbon de bois prélevé en fouille. À Thoste 29 (Côte-d'Or), sur le site de la Comme Philippe, la base d'un remblai bien calé dans la stratification fournissait la date 90-340 cal. AD (*ibid.*, p. 55). Mais les modifications successives de la courbe de calibration du radiocarbone ont très fortement dilaté la plage de cette date, qui s'étend actuellement entre 9 et 533 cal. AD. Si un fonctionnement de cet atelier de taille modeste pendant l'Antiquité n'est pas formellement exclu, il faut en revanche admettre que la démonstration a perdu beaucoup de sa vigueur. Déjà au moment de la publication de 1992, les fouilles réalisées à La Roche-en-Brenil 1 (Côte-d'Or), au lieu-dit En Lecussy (datation actuelle : 1045-1395 cal. AD), permettaient d'affirmer qu'une « seconde phase d'activité est attestée dans le district au cours du Moyen Âge classique » (*ibid.*, p. 238). Mais elle aurait été limitée à certains secteurs (Courcelles-Fré moy, Montlay-en-Auxois et La Roche-en-Brenil).

50 Afin de préciser la chronologie des exploitations, des campagnes de prélèvements ont été organisées sur une soixantaine d'amas de déchets. Des prospections ont été engagées de manière systématique sur les amas déjà connus des communes de La Roche-en-Brenil et de Saint-Germain-de-Modéon, en ciblant les sites les mieux conservés et les plus volumineux de neuf communes environnantes (fig. 12). Au total, quarante-et-un sites ont été de nouveau prospectés. Des prélèvements de charbons ou de scories ont été réalisés sur vingt-quatre d'entre eux et dix-huit ont pu être datés par radiocarbone.

Fig. 12 – Carte des amas de déchets sidérurgiques recensés et des sites étudiés en Morvan-Auxois

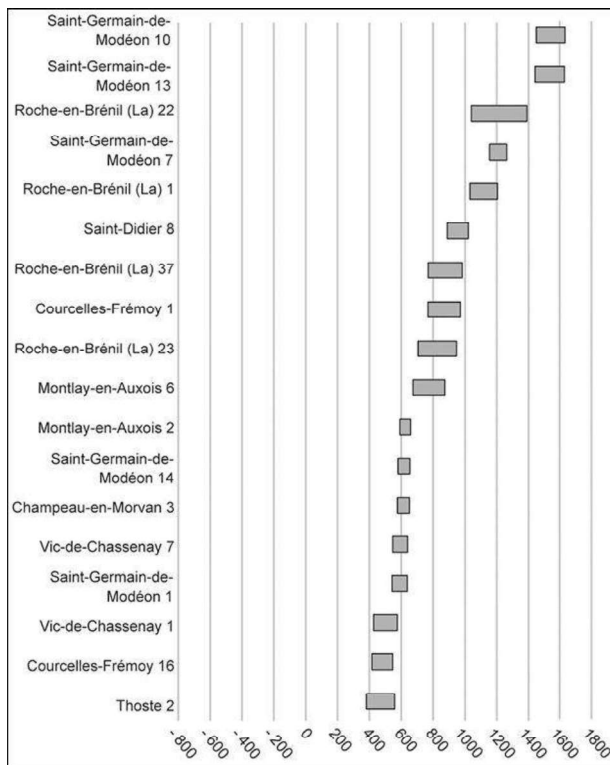


Inventaires : M. Mangin (université de Franche-Comté), R. Jeannot (Iramat-CNRS) ; DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

Résultats des travaux conduits entre 2017 et 2021

51 Dans la moitié nord de cet espace, la densité de sites est plus forte et ils sont répartis plus uniformément que dans la partie sud, où ils forment plusieurs ensembles plus ou moins distincts. Les amas localisés sur la commune de Saint-Germain-de-Modéon constituent, pour ceux qui ont été retrouvés, une petite concentration de tas distants d'environ 500 m les uns des autres, marqués par un faible relief, généralement inférieur au mètre. Ils se rattachent à trois phases distinctes comprises entre le VI^e s. et le début XVII^e s (fig. 13).

Fig. 13 – Chronologie des sites du Morvan-Auxois



Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2σ.
 DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

- 52 À La Roche-en-Brenil, les amas se répartissent en trois secteurs principaux, mais sur cette commune un grand nombre des sites inventoriés par M. Mangin n'ont pas été retrouvés. La concentration principale, la mieux documentée, se situe au lieu-dit En Lécussy où trois sites distants d'une vingtaine de mètres présentent des caractéristiques topographiques comparables et dépassent notamment une hauteur de 2 m. Ils se rattachent à deux périodes distinctes : entre le VIII^e et le X^e s., et entre le XII^e et la fin du XIV^e s. À proximité immédiate, une autre concentration formée d'une dizaine de petites accumulations de déchets a également été repérée au lieu-dit les Commotes. Aucun de ces sites n'a été daté.
- 53 Quatre-vingt pourcent des sites visités et pour lesquels des données topographiques ont pu être enregistrées présentent un volume calculé inférieur à 200 m³. Un groupe de sept sites ont des volumes compris entre 700 et 1 400 m³ et un seul site (Montlay-en-Auxois 6, au Bois d'Équilly) se démarque par une surface de 3 600 m² et un volume approchant les 3 000 m³. Cinq autres dépassent 1 000 m². Quatre se présentent sous la forme d'épandages de déchets atteignant 1 ha, deux couvrent 4 ha et un s'étend sur une vingtaine d'hectares.
- 54 Les nouvelles datations par le radiocarbone permettent de formuler plusieurs constats. À ce stade des recherches, aucune date ne permet d'attester une production de fer brut durant le Haut-Empire romain. Elle semble par contre connaître une grande longévité de la fin de l'Antiquité à la fin du Moyen Âge. Elle débiterait ainsi au plus tôt dans l'intervalle compris entre la fin du IV^e et le milieu du VI^e s. apr. J.-C. Trois sites localisés au nord du Morvan-Auxois se rattachent à cette phase. La phase suivante, entre le

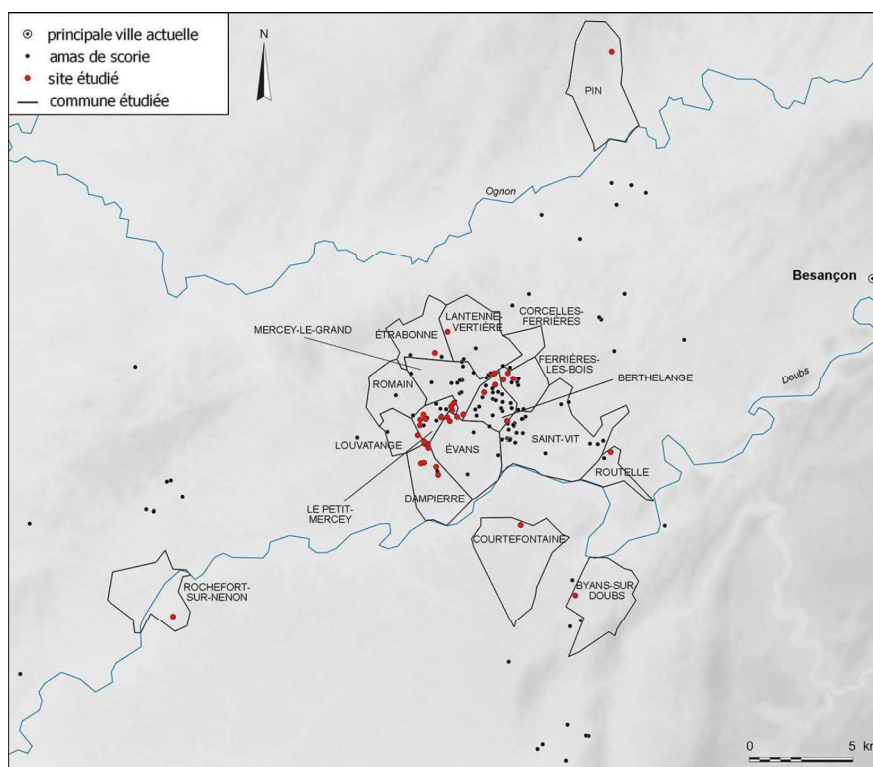
milieu du VI^e s. et le milieu du VII^e s., compte cinq dates issues de cinq sites dispersés sur l'ensemble de la zone. Il s'agit d'une période durant laquelle la courbe du radiocarbone fournit des dates calibrées de faible amplitude, ce qui permet d'appréhender la chronologie des sites avec une plus grande précision et d'affirmer avec un peu plus d'assurance qu'ils fonctionnent de manière à peu près synchrone. Au moins trois phases supplémentaires peuvent être individualisées. Cinq sites s'échelonnent sur une période couvrant les VIII^e-XI^e s., trois autres sont datés des XII^e-XIV^e s. et deux autres sites ont des dates calibrées très proches se rattachant aux XV^e-début du XVII^e s. La documentation archéologique actuellement disponible ne permet pas de cerner de variations – dans leur implantation ni dans leurs caractéristiques topographiques – qui seraient fonction de la chronologie. On soulignera simplement que les deux plus gros sites de ce secteur (Montlay-en-Auxois 2 et Saint-Didier 8) se rattachent au même intervalle de datation compris entre le VIII^e et le début du XI^e s.

La zone de Berthelange

Historique des recherches

- 55 Contrairement à d'autres secteurs de la région, la zone dite de Berthelange n'était pas connue des érudits du XIX^e s. en tant qu'espace de production primaire. Elle a été identifiée dans les années 1980 grâce aux recherches conduites dans le cadre de mémoires universitaires dirigés par M. Mangin. Depuis, elle fait plus ou moins régulièrement l'objet de prospections-inventaires. Son épicerie, c'est-à-dire l'ensemble des communes explorées le plus intensément et où les amas de déchets sont les plus nombreux, se trouve entre Besançon et Dole, sur les communes de Berthelange (Doubs) et Le Petit-Mercey (Jura) (fig. 14).

Fig. 14 – Carte des amas de déchets sidérurgiques recensés et des sites étudiés dans la zone dite de Berthelange



Inventaires : H. Laurent (Drac BFC) ; DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

- 56 Dès le départ, l'inventaire des sites de réduction directe a concerné l'ensemble de la région Franche-Comté. C'est sans doute pour cette raison que la nébuleuse formée par les amas connus dans la zone de Berthelange rend une impression de « flou » et qu'il est problématique d'en donner les limites. Actuellement, on y connaît 175 sites à déchets de réduction (amas véritables et déchets dispersés en plus ou moins grande quantité).
- 57 Dès le départ également, les prospections ont été conduites prioritairement dans les champs labourés, ce qui a permis de découvrir des « épandages » de déchets très discrets et de démontrer l'omniprésence des affleurements de minerai ou en tout cas de formations superficielles considérées comme telles, alors que la quasi-totalité serait passée inaperçue sous couvert forestier. Ces recherches de terrain ont aussi concerné les *villae*, fermes et bâtiments divers de l'époque romaine dont le réseau a longtemps été associé à celui des sites de réduction. Ces derniers paraissaient constituer les vestiges d'exploitations « domaniales » (Mangin *et al.* 1995, p. 76) et l'interprétation en était renforcée lorsque des scories étaient directement mêlées aux tuiles et aux moellons présents à la surface des champs. Les amas de déchets n'atteignent jamais de grandes dimensions. D'une façon générale, ils ont un diamètre inférieur à 30 m, pour certains, on est en dessous des 10 m. La modestie des volumes de déchets observés venait ainsi conforter l'impression qu'on se trouvait en présence d'un artisanat antique d'origine privée, sans grande envergure. Toute une série de données a fini par ruiner cette construction spontanée. À la fin des années 1980, des bas fourneaux sont mis au jour à Berthelange 4, sur le site d'À la Vau, puis à Ferrières-les-Bois 3 (Doubs), au Pré Fergeux. Leurs caractéristiques, qui les rattachent à ceux de l'ouest de la Suisse et de

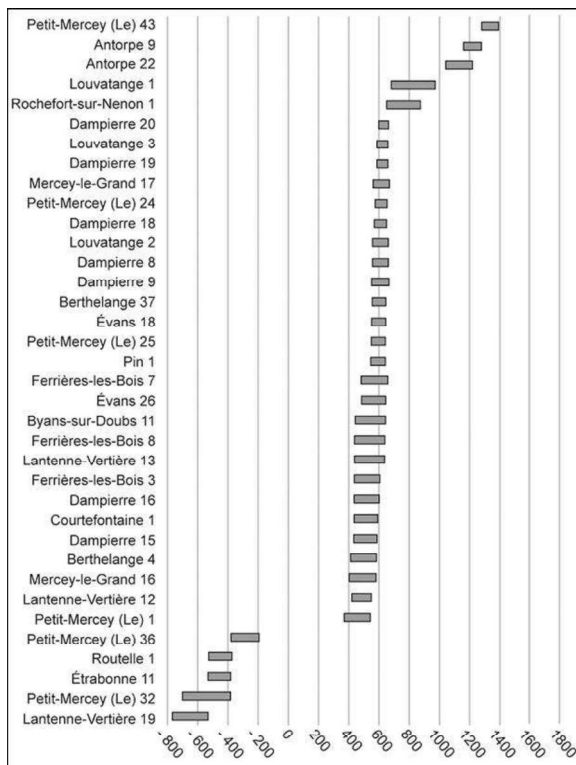
l'est de la France, font prendre conscience de l'existence d'une sidérurgie de la période mérovingienne (côté suisse : Eschenlohr, Serneels 1991 ; Pelet 1993, fig. 98 ; côté français : Leroy dir. 1997 ; Leroy *et al.* 2000, p. 20 ; 2015 ; Leroy 2008). Huit amas de déchets ont aussi livré des tessons de céramique du type « val de Saône » caractéristiques de la période mérovingienne (Bonifay, Raynaud 2007).

- 58 Mais c'est principalement l'accumulation des datations par le radiocarbone qui a eu raison du schéma de pensée initial. À partir du début des années 2000, des séries de charbons issus d'amas de scories ont été analysés : une série de vingt-cinq dates peut ainsi être publiée progressivement au cours des années 2010 (Laurent *et al.* 2012 ; Forlin, Laurent 2014 ; Laurent-Corsini, Laurent 2016). Elle révèle une activité sidérurgique développée principalement entre le milieu du IV^e et le milieu du VII^e s. apr. J.-C.¹⁶ et sans doute centrée sur la période mérovingienne, pour laquelle on peut parler de véritable « centre productif ». Quelques dates postérieures indiquent le maintien d'une production au moins ponctuelle jusque dans le Moyen Âge central.
- 59 Dans le cadre du présent programme, ces travaux se sont poursuivis avec deux objectifs principaux. D'une part, il s'agissait de préciser la date de mise en place de la zone de production entre l'Antiquité tardive et la période mérovingienne. Il n'y a pas eu de progrès significatif dans ce domaine. D'autre part, il fallait tenter de dater des sites présentant une typologie différente de celle habituellement rencontrée. En effet, à partir du milieu des années 2010, des déchets aux caractéristiques très différentes de celles qui étaient majoritairement constatées sur les ateliers mérovingiens ont été reconnus sur certains sites : absence de tuiles romaines collées entre elles pour édifier les fourneaux, mais présence de fragments de parois en argile modelée ; absence de scories écoulées en cordons formant des plaques, mais présence de scories de taille plutôt réduite, accumulées sous forme de petites coulures et parfois marquées d'empreintes de brindilles et de petites branches. Les dernières recherches se sont donc orientées plus spécifiquement vers l'identification et la datation de ce nouveau type de sites. Au total, trente-six ateliers de réduction ont fait l'objet d'une analyse radiocarbone (une pour chaque site), ce qui fait de Berthelange la zone de production proportionnellement la mieux datée de la région.

Résultats des travaux conduits entre 2017 et 2021

- 60 Seize ateliers de réduction livrent des déchets formés de petites coulures agglomérées. Ces scories ont parfois une face plane qui traduit un effet de paroi (sans doute celle de la fosse dans laquelle elles se sont accumulées). Cinq ateliers présentant des déchets de ce type sont datés par analyse radiocarbone (fig. 15). Pour l'instant, l'indice le plus ancien provient de Lantenne-Vertière 19 (Doubs), au Chataîgnier. Quelques scories de réduction y sont visibles sur une très faible surface, à l'emplacement d'un habitat antique d'assez modestes dimensions. L'analyse effectuée sur un charbon prélevé au sein d'une scorie situe l'activité non pas pendant l'Antiquité tardive ni le haut Moyen Âge comme on le pensait, mais dans l'intervalle 780-540 cal. BC. Pour la période qui s'étend de la fin du VIII^e à la fin du IV^e s. av. J.-C., trois sites sont datés : le Saucy, à Petit-Mercey 32 (Jura), les Grandes Vènes à Etrabonne 11 (Doubs) et le Bas Châtey à Routelle 1 (Doubs).

Fig. 15 – Chronologie des sites de la zone dite de Berthelange



Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2σ.
 DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

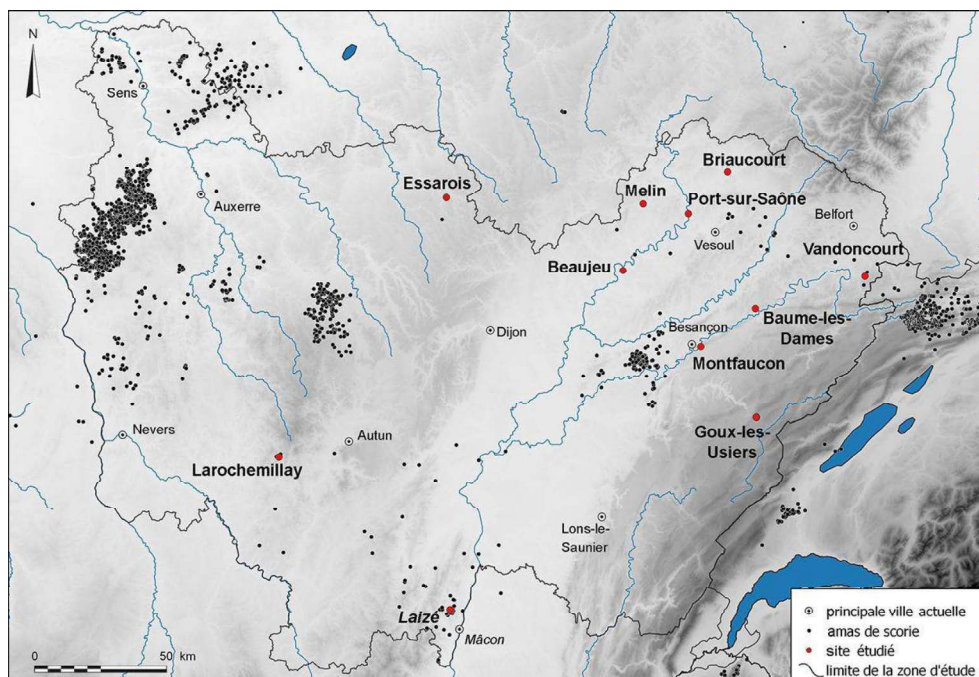
- 61 Une deuxième phase de l'âge du Fer correspondant aux ^v^e-ⁱⁱⁱ^e s. av. J.-C. est représentée par le site de Petit-Mercey 36, les Vernes, l'emplacement de l'atelier est marqué par une tache sombre de 30 sur 15 m sur laquelle se trouvent en majorité des fragments de parois en argile. Là encore, les scories sont dispersées sans former de véritable couche.
- 62 Sans qu'il soit encore possible de mesurer l'importance de la production protohistorique, on constate que les amas de déchets qui relèvent de cette période occupent le cœur de la zone. Ensuite, on ne relève aucun indice de production sidérurgique entre la fin du ⁱⁱⁱ^e s. av. J.-C. et le milieu du ^{iv}^e s. apr. J.-C. Non seulement la réduction du fer est inexistante pendant le Haut-Empire, mais elle paraît cesser bien avant la conquête romaine.

Les ateliers dispersés et les informations ponctuelles

- 63 Une série d'amas dispersés se répartissent plus particulièrement dans la moitié nord de la Franche-Comté (fig. 16). L'inventaire des sites métallurgiques dans ce secteur avait fait partie des recherches lancées dans les années 1980 sur l'ensemble de la région (voir *supra*, § 56 *sqq*). En Haute-Saône, des amas de scories ont ainsi été mis au jour sans qu'on parvienne à repérer de regroupement significatif. Trois sites isolés (Briaucourt 1, à Faivorge ; Beaujeu 17, aux Pâtis et Melin 1, à la Rochotte) ont été datés par des charbons prélevés en stratigraphie à l'occasion de sondages de faible étendue. Ils prennent place à l'intérieur d'une période s'étendant du ^v^e au milieu du ^{vii}^e s. apr. J.-C. Toujours en Haute-Saône, les vestiges d'une activité sidérurgique plus ancienne ont été révélés à l'occasion d'une fouille préventive réalisée par Éveha en 2018 dans le cadre de

l'aménagement de la déviation de Port-sur-Saône (Sarreste, Champeaux 2019). Elle a livré une petite quantité de déchets représentatifs d'opérations de réduction ponctuelles dans un four à scorie piégée et à utilisations multiples. D'après les analyses par le radiocarbone, la production serait à dater des IV^e-III^e s. av. J.-C. et prend place en contrebas d'un habitat ouvert des IV^e-début II^e s. av. J.-C. comprenant une vaste construction à l'aspect ostentatoire, installée sur le rebord d'un plateau dominant la Saône.

Fig. 16 – Localisation des sites sidérurgiques dispersés étudiés



DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

- 64 Des prélèvements de charbons ont également été réalisés sur des sites isolés répartis le long de la vallée du Doubs. Il s'agit dans tous les cas de petits amas sans relief livrant des scories dispersées. Les indices d'une production ancienne sont identifiés à Montfaucon 1 (Doubs), sur le site de Nacra : épandage diffus de scories s'étendant sur plusieurs milliers de mètres carrés et se rattachant aux V^e-III^e s. av. J.-C. Deux autres sites appartiennent à des périodes plus tardives : entre la fin du IV^e et le milieu du VI^e s. apr. J.-C. à Vandoncourt 2 (Doubs), au Pont Sarrazin, entre le milieu du VI^e et le milieu du VIII^e s. à Baume-Les-Dames 1 (Doubs), au Chemin des Combes.
- 65 Dans le Haut-Doubs, un groupe de quatre amas très proches les uns des autres a été identifié sur la commune de Goux-les-Usiers (Combe de Ferrière et Montmatigni) et chacun d'entre-eux a fait l'objet d'au moins une datation. À l'exception d'une date précoce (255-420 cal. AD), éventuellement due à un effet « vieux bois », les résultats obtenus placent ces sites dans un intervalle compris entre le milieu du V^e et la fin du VIII^e s. apr. J.-C.
- 66 Les sites de ce vaste secteur semblent ainsi documenter une dynamique chronologique comparable à celle qui est constatée pour la zone de Berthelange, traduisant l'existence d'une phase de production primaire protohistorique sans lendemain, puis un nouveau

développement durant le haut Moyen Âge. Mais quelle que soit la période considérée, la production reste dispersée et aucun pôle productif d'importance particulière ne se distingue, en tout cas pour l'instant.

- 67 En Bourgogne, quelques dates ont été acquises récemment sur des territoires n'ayant pas fait l'objet de programmes de prospections centrés sur la sidérurgie. Ils apportent à ce stade une information ponctuelle, qu'il reste à contextualiser.
- 68 Dans le Haut-Morvan, des sondages ont ainsi été réalisés sur le site des Corseries à Larochemillay (Nièvre) (Camizuli 2013), qui est un amas de déchets de réduction arasés, daté par deux charbons dans une fourchette s'étendant de 210 à 531 cal. AD. Dans la région de Mâcon (Saône-et-Loire), une petite zone bien délimitée, connue grâce à un travail de thèse (Boukezzoula 1995), comptabilise une trentaine de sites de réduction, principalement situés sur la commune de Laizé. À l'époque de leur découverte, tout comme pour la zone de Berthelange, une grande partie d'entre eux ont été associés aux occupations romaines rurales (*villae*) et un lien a été établi avec les activités de forgeage identifiées au sein de l'agglomération antique de Mâcon où la *Notitia dignitatum* indique l'existence d'une *fabrica* (*Notitia dignitatum*, IX, 32 : *Matisconensis sagittaria*). Un petit amas présentant encore un relief a été sondé dans les années 1990 à Verzé 5, sur le site de Terre Crebin, et a livré deux bas fourneaux, sans qu'une datation précise ait pu être proposée (Boukezzoula 1995, p. 132). Un prélèvement de charbon effectué à Verzé 4, sur le site de Terre Crebin, a fourni la première datation certaine pour ce secteur¹⁷. L'analyse radiocarbone donne une fourchette comprise entre 662 et 821 cal. AD. Il est donc plausible qu'une partie notable de ces sites, dont la plupart présentent des dimensions modestes, se rattache à la période médiévale et non pas à la période antique.
- 69 Les prospections réalisées dans les forêts du Châtillonnais (Côte-d'Or) par Dominique Goguy, Jacky Bénard et leur équipe ont également donné lieu à l'obtention de deux dates (Goguy, Bénard dir. 2018, p. 133) issues de scories de réduction prélevées sur la commune d'Essarois au lieu-dit Combe de Messire Gond. Les deux dates sont cohérentes et se situent dans un intervalle compris entre le début du XIV^e et le milieu du XVII^e s. Les analyses chimiques réalisées sur ces déchets, ainsi que sur un petit lot de scories en position secondaire sur deux autres sites distants d'une dizaine de kilomètres indiqueraient que ces scories se rattachent au procédé indirect (Berranger, Vega in Goguy, Bénard dir. 2018, p. 133-135), déjà bien implanté régionalement durant cette période. Seule une scorie de fond de four mise au jour à Essarois dans l'enclos Chanoi 2, qui a livré du matériel datable de La Tène C à l'époque romaine, se rattache au procédé direct. Elle témoigne d'une possible activité de réduction, probablement proche, mais non localisée à ce stade.

Les déchets de la réduction : assemblages typologiques et chronologiques

- 70 Tous les sites qui ont été étudiés ont fait l'objet de larges prélèvements de matériel, soit lors de simples ramassages de surface, soit en stratigraphie dans les sondages. L'essentiel des déchets des opérations métallurgiques collectés sont des scories résultant de la transformation des minerais de fer. Une attention particulière a également été portée à l'identification de ces derniers, mais cette question reste

toutefois délicate à aborder en raison d'un manque de référentiel flagrant, ces minerais n'ayant pas fait l'objet de l'attention des ingénieurs miniers et métallurgistes des XIX^e et XX^e s. car ils n'étaient alors plus exploités. C'est pourquoi ce sujet qui nécessiterait de longs développements ne sera pas abordé ici.

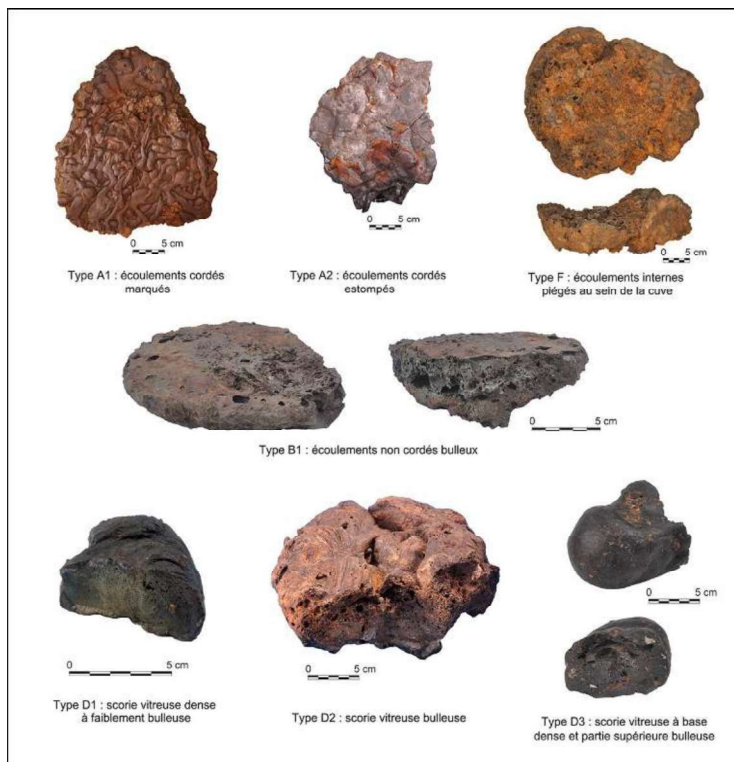
- 71 Une typologie des scories a été réalisée sur la base des prélèvements effectués sur ou au sein des différents amas (tabl.I et fig.17). La classification repose sur les caractéristiques morphologiques (morphologie générale traduisant ou non un flux d'écoulement, forme et dimensions des écoulements, forme et gabarit de l'empreinte du réceptacle des écoulements moulé par les scories, etc.), leur structure interne (les différents types d'inclusions et leurs dimensions, la proportion des vacuoles, les éventuelles strates, etc.) et la texture minéralogique (types et proportions des minéraux cristallisés, des phases vitreuses, reliques de matériaux non fondus, formes des parcelles métalliques). En effet ces paramètres sont des révélateurs de la manière dont a été conduite l'opération métallurgique (température, gestes techniques) et de la composition chimique des matières premières utilisées.

Tabl. I – Description typo-morphologique des scories de réduction du minerai de fer au sein de la zone d'étude

Typologie	Matrice	Morphologie générale	Aspect surface	Structure interne
Type A – ÉCOULEMENTS EXTERNES CRISTALLISÉS CORDÉS	A1. Écoulements cordés aux limites marquées en surface et dans la masse	Écoulements cordés, individualisés ou en accumulations en plaques	Cordons d'aspect bien individualisés	Limites de cordons marquées par vides millimétriques à centimétriques
	A2. Écoulements cordés aux limites vides en surface mais estompés dans la masse		Cordons d'aspect plus ou moins individualisés	Structure dense
	A3. Écoulements non cordés avec grande cavité centrale	Cristallisée	Surfaces lisses à faiblement ondulées ou vides	Structure dense avec des cavités, voire une grande cavité centrale
	A4. Écoulements non cordés sans cavité centrale			Structure dense, semblant parfaite stratifiée. Parfois, présence d'une strate noire vitreuse millimétrique en surface supérieure
	A5. Emplacement d'écoulements en boudins cannelés			Blocs constitués d'emplacements d'écoulements de boudins pouvant mesurer individuellement environ 50 mm de diamètre. Les emplacements couvrent plusieurs niveaux et sont remplis horizontalement
Type B – ÉCOULEMENTS EXTERNES CRISTALLISÉS BULLEUX	B1. Écoulements non cordés bulleux	Agglomérat de section plano-convexe, de forme circulaire	Surfaces lisses ou présentant un enchevêtrement de gouttelettes, ou présentant des bulles totalement desquamées	Structure dense. Les boudins sont séparés les uns des autres par un fin litage de poudre de minerais, parfois, cailloux de taille millimétrique
	B2. Écoulements cordés bulleux	Cristallisée, localement vitreuse	Cordons individualisés	Phase inférieure dense, phase supérieure bulleuse. Les deux phases sont séparées par une très large cavité pluricentimétrique ou par des concentrations de bulles centimétriques
Type C – ÉCOULEMENTS EXTERNES À BASE CRISTALLISÉE ET PARTIE SUPÉRIEURE VITREUSE	C1. Structure vitreuse dense	Base cristallisée, partie supérieure vitreuse	Surfaces lisses ou nées	2/3 à 3/4 inférieurs cristallisés, partie supérieure vitreuse dense
	C2. Structure vitreuse bulleuse			2/3 à 3/4 inférieurs cristallisés, partie supérieure vitreuse bulleuse
Type D – ÉCOULEMENTS EXTERNES VITREUX	D1. Structure vitreuse dense à faiblement bulleuse	Vitreuse	Reliefs lobés à peu plissés et gonflés	Structure dense ou faiblement bulleuse (vacuoles représentant moins 1/3 de la section)
	D2. Structure vitreuse à base dense, tiers supérieur bulleux			Structure très bulleuse (vacuoles représentant plus de 50 % de la section) Moitié inférieure dense et moitié supérieure bulleuse
Type E – ÉCOULEMENTS INTERNES ASSOCIÉS À ÉCOULEMENTS EXTERNES	Cristallisée	Écoulements souvent fragmentés sur d'anciens fragments de charbon. Parfois présence de la paroi de la cuve du bas fourneau	Surfaces lisses avec un enchevêtrement de gouttelettes, ou score grise rouillée	Structure dense à porose
Type F – ÉCOULEMENTS INTERNES PIÉGÉS AU SEIN DE LA CUVE	Cristallisée	Écoulements tortueux individualisés ou en accumulation		

M. Berranger (Iramat-CNRS-LMC), M. Leroy (Iramat-CNRS-LMC), P. Merluzzo (Iramat-CNRS-LMC).

Fig. 17 – Les principaux types de scories de réduction



DAO : M. Berranger (Iramat-CNRS-LMC), M. Aubert (Iramat-CNRS).

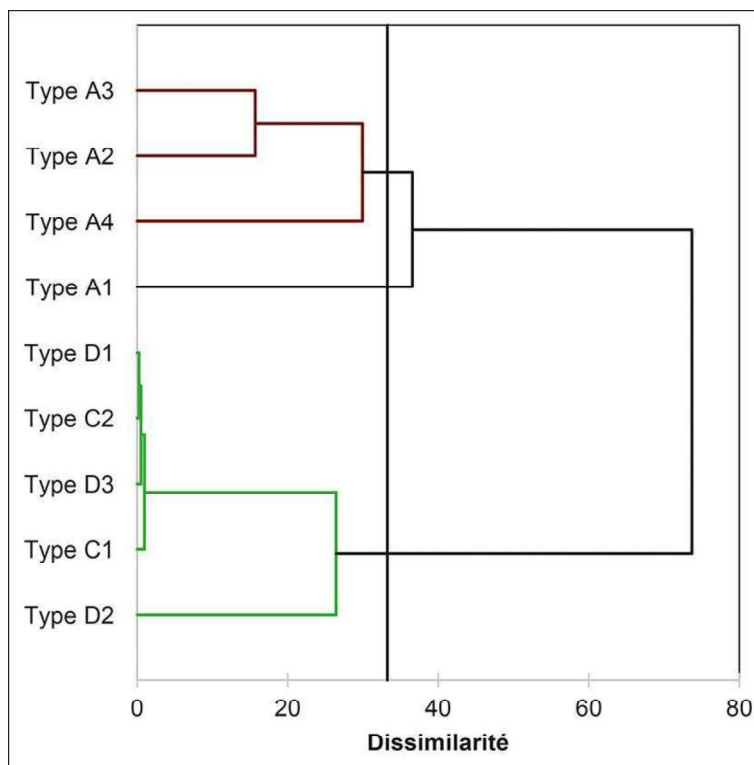
- 72 Six grandes catégories de scories, chacune divisées en plusieurs sous-types, ont été établies. Les types A, B, C et D correspondent à des écoulements hors de la cuve du fourneau. Les types E et F à des accumulations de scories à l'intérieur de la cuve, qu'elles présentent ou non un caractère de fluage. Le tableau I synthétise cette classification. L'ensemble de ces déchets fait actuellement l'objet d'une caractérisation minéralogique et chimique qui sera publiée dans un autre cadre.

Les assemblages de scories en Puisaye

Les assemblages dans la stratification des amas du Bois des Ferriers à Montholon

- 73 En Puisaye, les coupes stratigraphiques réalisées dans les épais amas de déchets de la zone-atelier de Montholon ont permis d'effectuer des prélèvements « en vrac » dans les couches afin d'identifier et de quantifier les types de scories qui y étaient présents. Vingt-et-un prélèvements provenant de dix-huit strates dans cinq amas différents ont été étudiés¹⁸.
- 74 Un traitement statistique multivarié utilisant une classification ascendante hiérarchique (CAH) selon la méthode de Ward, permet d'identifier trois assemblages préférentiels de sous-types de scories (fig. 18) :
- les scories cristallisées de type A1 (cordées aux limites marquées) ;
 - les scories cristallisées de type A2 (cordées aux limites plus ou moins estompées), A3 (non cordées à grande cavité centrale) et A4 (non cordées sans cavité centrale) ;
 - les scories mi-cristallisées mi-vitreuses de type C et les scories vitreuses de type D.

Fig. 18 – Dendrogramme de classification ascendante hiérarchique (CAH) réalisée sur les masses de scories prélevées dans la zone-atelier de Montholon (Yonne) et mise en évidence d'associations typologiques préférentielles

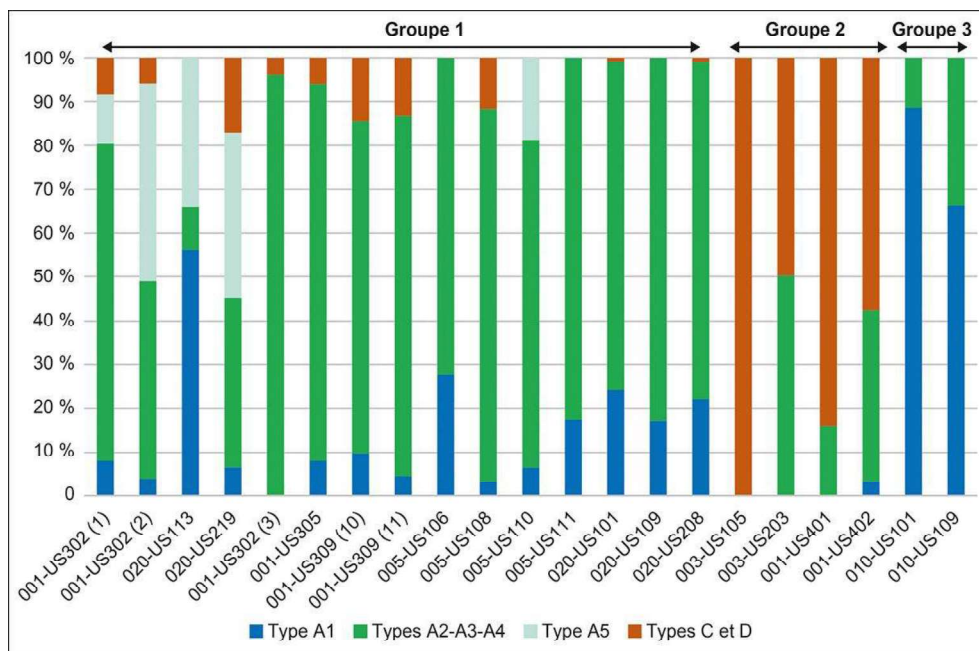


Les scories sont classées par type et par prélèvements effectués en stratigraphie (21 prélèvements), sur 5 amas de la zone-atelier de Montholon.

DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS).

- 75 À ce stade de l'analyse, les éléments mal identifiés, tout comme ceux qui sont ubiquistes (les scories internes associées aux écoulements – type E –, les parois et les minerais) n'ont pas été retenus. Les scories de type A5 (empilement d'écoulements en boudins canalisés) étaient quant à elles trop volumineuses pour être comptabilisées dans les prélèvements. Par ailleurs, aucune scorie de type F (scorie « piégée » dans la cuve) n'était présente dans les prélèvements pris en compte.
- 76 Une analyse plus fine par unité stratigraphique, en utilisant un histogramme de répartition proportionnelle des assemblages préférentiels mis en évidence par la CAH, permet d'identifier trois groupes d'assemblages des types de scories (fig. 19) :
- un groupe 1 au sein desquels les scories denses cristallisées de types A2-A3-A4 sont majoritairement représentées. Elles sont quasiment toujours associées avec une faible proportion de scories de type A1, et plus ponctuellement avec des scories vitreuses de type C et D ;
 - un groupe 2 comprenant une majorité de scories vitreuses, associées à une proportion plus faible de scories de types A2-A3-A4, les scories de type A1 étant généralement absentes ;
 - un groupe 3 où l'assemblage est dominé voire uniquement constitué de scories cristallisées denses, au sein desquelles domine largement le type A1.

Fig. 19 – Histogramme des proportions relatives en masse des principaux types de scories de réduction en prenant en compte les regroupements typologiques mis en évidence par la CAH dans la zone-atelier de Montholon (Yonne) (fig. 18)



Trois groupes d'assemblages de déchets sont individualisés à partir de 5 amas et de 21 prélèvements effectués dans 18 unités stratigraphiques.

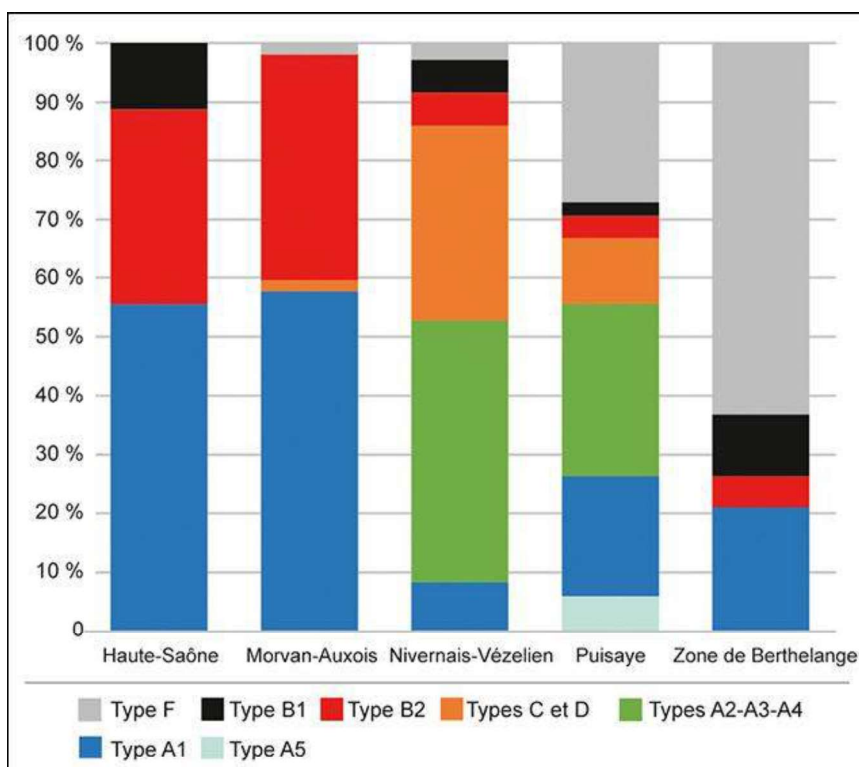
DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS).

- 77 Ces groupes d'assemblages sont observés quelles que soient les coupes stratigraphiques, mais les trois ne sont pas toujours présents au sein du même amas. Par ailleurs, dans la coupe stratigraphique de l'amas d'Aillant-sur-Tholon 1, le groupe 1 est représenté dans les couches de la moitié inférieure, alors que le groupe 2 s'observe exclusivement dans les couches supérieures.

Les assemblages de scories dans les zones de production étudiées

- 78 Pour la plupart des sites étudiés, la typologie des scories n'a pu être appréhendée qu'à partir de prélèvements ponctuels et non de prélèvements « en vrac » permettant une analyse proportionnelle des assemblages. L'analyse des assemblages de déchets est donc menée à l'échelle du site, en notant la présence ou l'absence des différents types de scories. En plus des trois groupes d'assemblages individualisés à partir des amas de la zone-atelier de Montholon (fig. 18), trois autres types de déchets peuvent être pris en compte : les scories piégées de type F, les écoulements bulleux non cordés B1 et les écoulements bulleux cordés B2 (fig. 20). L'histogramme de la figure 20 n'est pas représentatif de l'assemblage des déchets à l'échelle des secteurs étudiés, mais reflète directement l'état de la documentation actuelle. Ainsi, la sur-représentation des scories de type F dans la zone de Berthelange résulte de l'attention particulière portée à l'identification de ces déchets ces dernières années. En Puisaye, les types de scories ont été identifiés sur quatre-vingt-quatorze sites, pour le Nivernais-Vézélien dix-huit sites ont été pris en compte, trente-huit pour le Morvan-Auxois, dix pour la Haute-Saône et dix-sept pour le secteur de Berthelange.

Fig. 20 – Proportions relatives en masse des types de scories de réduction identifiés dans chacun des espaces de production étudiés



DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

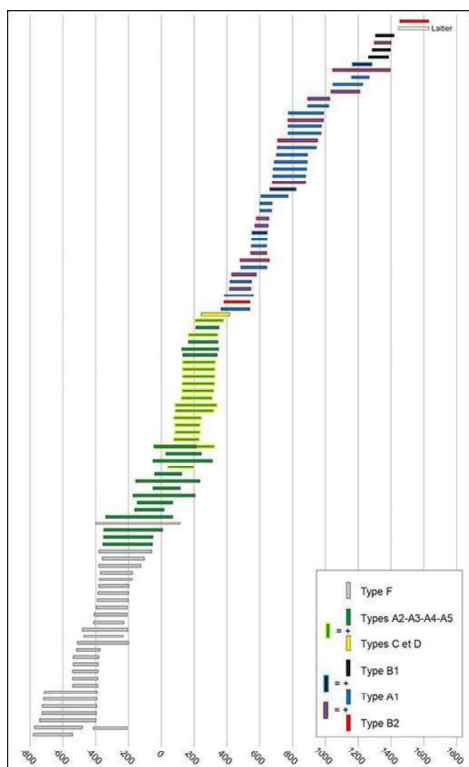
- 79 Le groupe d'assemblage 1, caractérisé par des scories denses cristallisées de types A2-A3-A4, parfois associées aux scories en boudins accolés de type A5, ainsi que le groupe d'assemblage 2, livrant des scories majoritairement vitreuses de type C et D, sont uniquement connus en Puisaye, dans le Nivernais et le Vézélien.
- 80 Le groupe d'assemblage 3, caractérisé par la présence de scories écoulées à limites visibles A1 est représenté dans tous les secteurs étudiés. C'est également le cas des scories de type B2. Ailleurs qu'en Puisaye, ces scories de type A1 sont fréquemment associées avec le type B2 ou avec le type B1. Dans le Morvan-Auxois, l'association entre des scories de type A1 et des scories plus bulleuses, voire à tendance vitrifiée, de types B1 ou B2 est le type d'assemblage le plus représenté. Dans ce secteur, seul un amas (sur le site de la Forêt, à Vic-de-Chassenay 11) livre uniquement des scories bulleuses cordées (B2).
- 81 Les scories de type F, piégées, se retrouvent presque uniquement en Puisaye et dans la zone de Berthelange. De manière générale, ces scories de type F n'ont été identifiées que récemment car elles restent peu visibles sur le terrain en raison des faibles proportions de déchets affleurants. Dans le Morvan-Auxois, un seul site, La Roche-en-Brenil 51, au lieu-dit les Loppées, livre des scories de type F.

Proposition de classement chronologique des assemblages typologiques

- 82 Nous disposons de datations radiocarbone pour cent-quatre sites répartis sur les différentes zones de production. Il est donc possible de tenter d'appréhender le

positionnement chronologique de chacun des groupes d'assemblages de déchets (fig. 21).

Fig. 21 – Typo-chronologie des scories à l'échelle de la zone d'étude



Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2 σ . Les types de scories sont définis dans le tableau I.

DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

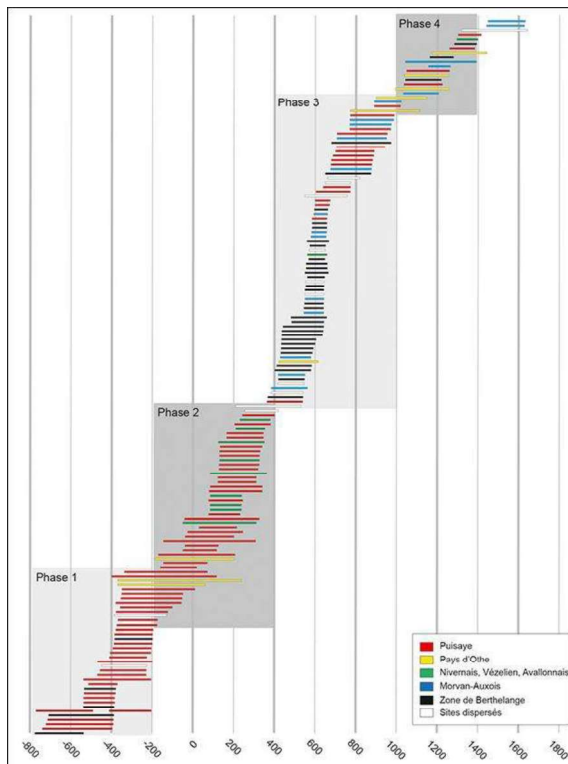
- 83 Les scories piégées de type F sont attestées pour les périodes les plus anciennes en Puisaye et dans la zone de Berthelange. Elles couvrent dans la quasi-intégralité des cas une période comprise entre le VIII^e et le milieu du I^{er} s. av. J.-C. Seule une date est postérieure, mais assez mal calibrée (incertitude supérieure à 400 ans).
- 84 Les datations issues des amas livrant des assemblages de scories cristallisées de type A2 (cordées à limites estompées), A3-A4 (non cordées) et A5 (en boudins accolés) couvrent en Puisaye une période comprise entre le début du IV^e s. av. J.-C. et la fin du IV^e s. apr. J.-C. Dans ce même secteur, les datations issues des amas livrant des scories vitreuses de type C et D couvrent une période plus restreinte comprise entre le milieu du I^{er} et la fin du IV^e s. apr. J.-C. Dans le Nivernais et le Vézélien, les amas étudiés associant types A2-A3-A4 et types C et D, sont datés d'une même période, débutant un peu plus tardivement, au milieu du I^{er} s. av. J.-C.
- 85 Les scories de type A1 (cordées à limites marquées) proviennent de sites datés entre le début du V^e et le XV^e s. (mais 29 de ces 41 sites sont antérieurs au XI^e s.) et sont souvent associées à des scories bulleuses de type B1 ou B2. En Morvan-Auxois, ces types bulleux sont représentés tout au long du Moyen Âge et jusqu'au début du XVII^e s. Dans les autres secteurs, ils se rattachent à une phase plus courte comprise entre le XIII^e et le XV^e s.

- 86 Un seul atelier se distingue : Saint-Germain-de-Modéon 1, sur le site de la Charmée, dans le Morvan-Auxois. Il comprend uniquement des scories vitreuses qui ne se rattachent pas aux types C et D, mais évoquent plutôt des laitiers de haut fourneau. La date obtenue, 1445-1631 cal. AD, et sa situation en bord de ruisseau pourraient indiquer qu'il s'agit d'un atelier pratiquant la réduction indirecte.
- 87 L'attribution des groupes de faciès de scories à des plages chronologiques spécifiques recoupe en grande partie ce qui a été observé, ces dernières années, dans d'autres espaces de production de la moitié nord de la France, notamment en Bretagne, dans les Pays de la Loire ou dans la région Centre (Vivet 1997 ; Vivet dir. 2009 ; Dumasy *et al.* 2010 ; Sarreste 2011 ; Zaour 2021). Il est désormais clairement attesté que les scories de type F sont caractéristiques de l'âge du Fer et que les faciès cordés et denses caractérisent la fin de l'âge du Fer et la période romaine. Un autre faciès d'écoulements cordés paraît spécifique du premier Moyen Âge, tout comme les faciès boudinés et à tendance plus bulleuse semblent pouvoir être attribués le plus souvent au second Moyen Âge. La présence de scories écoulées vitreuses sur des ateliers datés de la fin du Haut-Empire et du Bas-Empire a aussi été reconnue en plusieurs endroits, par exemple dans la Sarthe à Coulans-sur-Gée (Mayer, Sarreste 2013 ; Mayer *et al.* 2016), dans le Cher dans le Bois Meillant (Sarreste, Lacroix 2021) ou dans l'Indre sur l'atelier du Latté à Oulches (Mahé-Le Carlier *et al.* 1998 ; Dieudonné-Glad 2000). Un dernier type de scories très particulières, celles en boudins accolés identifié dès les années 1980 sur les ferriers de l'Yonne et de la Nièvre (notamment aux Clérimois, sur le site des Fouetteries : Dunikowski, Cabboi 1995, p. 154 ; et à Alligny-Cosne, sur le site les Reboulots - les Cornijons » : Bouthier 1982) est également connu en Bretagne (sur le site de Pilleverte 2 en Plesguer, Ille-et-Vilaine : Vivet 2008, p. 95), en Normandie (au Buisson, à Saint-Evroux-de-Montford dans l'Orne : Langlois *et al.*, 2005), et dans le Bas-Maine (à Roche-Brune 1, Pezé-le-Robert, dans la Sarthe : Sarreste 2011, p. 84). Leur chronologie semble restreinte aux I^{er}-III^e s. apr. J.-C.

Synthèse des avancées sur la chronologie des zones de production primaire du fer des espaces bourguignons et franc-comtois

- 88 L'objet de cette dernière partie est de proposer une synthèse de l'ensemble des données acquises sur les espaces de production, en basant l'analyse chronologique sur les 210 dates actuellement disponibles (annexe 1 et fig. 22). Soulignons que certains secteurs sont proportionnellement mieux documentés que d'autres. Ainsi la zone de Berthelange qui rassemble moins de 200 sites est la mieux connue, avec près de 20 % des ateliers datés. En Puisaye, où plus de 2 500 amas sont inventoriés, « seulement » 3 % des sites sont datés. Les données mises à disposition ici ne sont donc pas forcément représentatives de l'ensemble de la chronologie des zones de production étudiées. Ce travail se veut un premier bilan d'étape reposant sur des données chronologiques inédites par leur nombre, qui devra bien sûr être réévalué à la lumière des travaux ultérieurs.

Fig. 22 – Chronologie des amas de déchets sidérurgiques (dates radiocarbone calibrées) dans chacun des espaces de production de la zone d'étude, regroupés dans les quatre grandes phases chronologiques mises en évidence



Chaque barre correspond à un site, daté par une ou plusieurs dates radiocarbone calibrée(s) à 2σ. La datation du site de Villiers-Saint-Benoît 2 (Yonne) (fig. 6), basée sur une date radiocarbone très imprécise, n'a pas été prise en compte.

DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC).

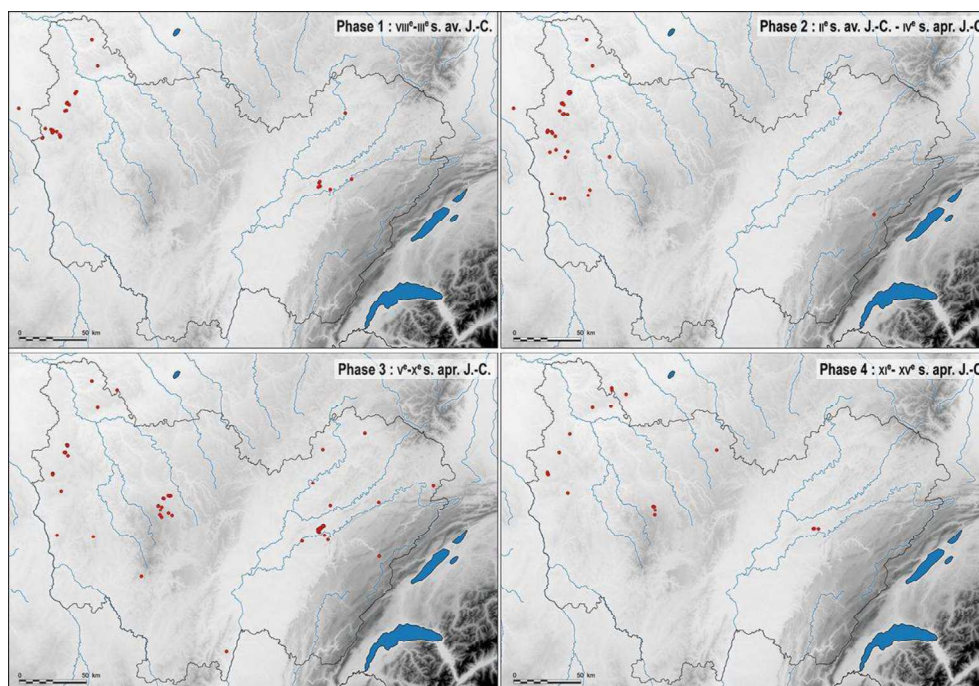
- 89 En corrélant datations, topographie des sites et typologie des déchets, quatre grandes périodes peuvent être distinguées. Bien que les bornes hautes et basses de ces périodes restent floues en raison des limites de la méthode radiocarbone, déjà discutées, il est à présent possible de mettre en évidence une succession de changements dans les techniques de réduction et dans l'organisation de la production.

Les premiers temps de la production sidérurgique (VIII^e-III^e s. av. J.-C.)

- 90 Les datations révèlent l'ancienneté de l'exploitation sidérurgique à l'échelle de l'actuelle région Bourgogne-Franche-Comté, supposée mais non démontrée avant les présents travaux. Les vestiges d'une activité de transformation du minerai au cours du premier âge du Fer sont désormais clairement attestés à l'ouest, en Puisaye, et à l'est, en particulier dans la zone de Berthelange (fig. 22 et 23). Une vingtaine de sites peuvent être datés dans un intervalle compris entre le début du VIII^e et le début du IV^e s. av. J.-C. Le « plateau » de la courbe de calibration des datations au carbone 14 qui caractérise cette période empêche d'être plus précis, mais il est toutefois certain que deux d'entre eux¹⁹ sont antérieurs au milieu du V^e s. av. J.-C. Compte tenu des pourcentages de probabilités, trois autres semblent pouvoir être calés entre le milieu du VI^e et le tout début du IV^e s. av. J.-C.²⁰ Pour six autres, cet intervalle est certain. En l'état, ce premier

développement de la production du fer dans l'espace géographique étudié n'est documenté que dans deux secteurs assez peu étendus et éloignés l'un de l'autre. Une trentaine de sites recouvrent au moins partiellement la période suivante, correspondant aux IV^e-III^e s. av. J.-C.

Fig. 23 – Carte des amas de déchets sidérurgiques datés au sein de la zone d'étude, pour chacune des phases chronologiques mises en évidence



DAO : M. Berranger (Iramat-LMC-CNRS), M. Leroy (Iramat-LMC-CNRS), H. Laurent (Drac BFC) ; fond de carte : Copernicus Land.

- 91 Les sites dont la date calibrée est sûrement antérieure au V^e s. av. J.-C. livrent tous des scories piégées (type F). De plus, aucun des amas livrant ce type de déchet n'est postérieur au I^{er} s. av. J.-C. La seule exception est relevée sur l'amas de Treigny 2, au Bois des Châtaigniers, où cette technique pourrait avoir perduré jusqu'au début du II^e s. apr. J.-C. La date calibrée obtenue est cependant si dilatée (401 cal. BC-115 cal. AD) qu'elle ne permet pas d'aller au-delà de la simple hypothèse.
- 92 La typologie de ces scories est à rapprocher des déchets générés par des fourneaux à scorie piégée attestés aux âges du Fer à l'échelle d'une large moitié nord de la France (Cabboi *et al.* 2007 ; Berranger *et al.* 2017 ; Berranger, Bauvais 2020). La plupart des sites livrent de gros blocs de scories piégées qui sont plutôt associés à des fourneaux à usage unique. L'atelier des Ferrys à La Bussière (Puisaye) est l'un des rares, dans la zone étudiée, à avoir livré un fourneau daté du V^e s. av. J.-C. sur la base de la typologie des céramiques et d'une analyse radiocarbone : 832-539 cal. BC (Fournier, Milcent 2007). Il s'agit d'un fourneau en fosse, dans lequel une scorie massive est restée piégée. Le même type d'appareil est connu aux Clérimois, où un groupe de trois (ensemble A) est documenté, mais non daté (voir *supra*, § 35 sqq).
- 93 En Puisaye comme en Franche-Comté, les amas de cette période présentent des caractéristiques similaires qui permettent de les qualifier de « discrets » étant donné la faible densité de scories visibles en surface. Il s'agit d'amas de taille modeste (surface

généralement inférieure à 1 000 m², et volume inférieur à 300 m³), dépassant rarement une élévation de 0,50 m. En Puisaye, les scories sont le plus souvent emballées dans un sédiment brun à rougeâtre, cette coloration pouvant être due à la désagrégation des parois de fourneau. L'usage de fours piégeant la scorie et générant des volumes limités de déchets pourrait expliquer la discrétion de ces sites, qui s'avèrent particulièrement difficiles à identifier en prospection dans les forêts. Dans la région du Mans, les fouilles préventives réalisées par l'Inrap avant la construction de l'autoroute A28 et de la ligne à grande vitesse Le Mans-Rennes ont ainsi révélé des concentrations d'ateliers de ces périodes, insoupçonnées avant leur mise en évidence par des décapages mécanisés de grande ampleur (Zaour 2021).

- 94 En Puisaye, le plus grand regroupement est observé dans la partie sud, plus particulièrement dans le secteur de Saint-Fargeau - Treigny. Alors que dans les zones-atelier de Montholon et de Villiers-Saint-Benoît seul un ou deux sites de ce type sont attestés, une véritable concentration est notable au sein de la zone-atelier de Saint-Fargeau, au Bois de Bailly, où plus de la moitié des amas prospectés livrent des scories piégées. On a peut-être à cet endroit un espace de production plus intensive qu'ailleurs, mais la documentation actuelle ne nous permet pas encore d'en préciser les contours. L'incertitude engendrée par la calibration radiocarbone ne permet pas non plus de déterminer si les ateliers du sud de la Puisaye ont fonctionné en même temps ou s'ils se sont succédé, même à intervalles rapprochés. En Franche-Comté, les quelques sites actuellement identifiés ne permettent pas de déterminer l'importance ni l'étendue de l'exploitation sidérurgique.
- 95 Entre le VIII^e et le V^e s. av. J.-C., l'émergence de la production du fer est documentée à l'échelle d'une large moitié nord de la France (Berranger, Bauvais 2020). Les fourneaux, qui sont d'abord à scories piégées et à usage unique semblent devenir plus fréquemment réutilisables à partir des IV^e-III^e s. av. J.-C. La période qui voit le développement de la métallurgie du fer est également celle durant laquelle les activités de réduction connaissent la plus large dispersion géographique pour les âges du Fer. De véritables centres productifs sont documentés, tout comme des productions plus ponctuelles parfois développées à proximité immédiate des habitats. Les plus grandes concentrations d'ateliers sont identifiées dans la région du Mans, où plusieurs dizaines d'entre eux pouvant livrer chacun des dizaines de fours ont été fouillés sur une surface investiguée d'environ 1 000 ha (Berranger *et al.* 2017 ; Zaour 2021). Plus à l'ouest, d'autres zones de production semblent pouvoir être localisées en Haute-Bretagne, grâce aux travaux menés par Jean-Bernard Vivet dans le massif de Paimpont et le bassin de la Rance (Vivet 2007). Une autre concentration est connue dans l'Indre, sur la commune de Meunet-Planches, au lieu-dit les Iles, où treize secteurs d'ateliers regroupant plusieurs bas fourneaux sont identifiés (Dieudonné-Glad 2017). Les travaux récents menés sur l'espace nord-alpin pour le V^e s. av. J.-C. révèlent que le métal brut produit dans un secteur incluant la Puisaye et le pays d'Othe a pu être exporté vers les plaines de Saône, du Doubs et du Jura (Berranger *et al.* 2023). Ces recherches, basées sur l'étude statistique des filiations chimiques existant entre les scories présentes sur les sites de réduction et celles qui demeurent piégées dans le métal, fournissent un indice supplémentaire de l'importance de cet espace dont les productions ont pu être exportées à plusieurs centaines de kilomètres et n'étaient donc pas réservées à la consommation locale. Pour ce qu'on en connaît, l'activité paraît moins dispersée dès les IV^e-III^e s. av. J.-C. Les ateliers semblent localisés de manière préférentielle dans les zones

où existaient déjà des concentrations aux siècles précédents : c'est le cas par exemple en Puisaye. En revanche, à l'est, entre Besançon et Dole, on a affaire à une expérience de plus courte durée, qui semble s'interrompre bien avant la conquête romaine, dès la fin du III^e s. av. J.-C.

La fin du second âge du Fer et l'Antiquité (II^e s. av. J.-C. - IV^e s. apr. J.-C.) : une succession d'innovations

- 96 Une trentaine de sites se placent dans les limites de cette période et les plages de calibration d'une trentaine d'autres en débordent légèrement. Elle est concernée par plusieurs changements dans les techniques de réduction. Une première transformation technique majeure est illustrée par l'apparition d'un nouveau type de scories denses cristallisées, associant des écoulements cordés (type A2) et non cordés (types A3 et A4). Il s'agit de scories non plus piégées, mais s'écoulant à l'extérieur des fourneaux, ce qui traduit des modifications importantes dans l'architecture de ces derniers. L'amplitude des plages de calibration laisse envisager que ces transformations interviennent dans le courant du IV^e s. av. J.-C., mais plus probablement au début du II^e s. av. J.-C. Les déchets issus de cette technique restent ensuite les plus fréquemment rencontrés jusqu'au I^{er} s. apr. J.-C. Certains amas comprennent également des scories de type A5, composées d'accumulations d'écoulements en boudins accolés, qui constituent des déchets exceptionnels tant par leur masse (pouvant atteindre 100 kg) que par leur volume, et dont la chronologie semble restreinte aux I^{er}-III^e s. apr. J.-C.
- 97 Il reste difficile de déterminer avec précision les caractéristiques des amas du début de la période. Ils peuvent généralement être classés dans la catégorie des grandes accumulations de déchets et couvrent des surfaces de plusieurs centaines, voire plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés qui rendent difficile une caractérisation représentative. La stratification de plusieurs d'entre eux a été étudiée sur le site du Bois des Ferriers à Montholon, sur celui du Bois de Bailly à Saint-Fargeau et sur le site de l'Abîme à Entrains-sur-Nohain 1, parfois sur plusieurs mètres d'élévation. La continuité d'occupation entre la fin de l'époque laténienne et le début de l'Antiquité est notable dans plusieurs cas²¹. Ces travaux mettent en évidence la longue durée d'occupation de ces emplacements d'ateliers, qui couvrent parfois l'ensemble de la période antique.
- 98 La typologie des scories documente un nouveau changement technique qui interviendrait à partir de la seconde moitié du I^{er} s. apr. J.-C. et perdurerait jusqu'à la fin du IV^e s. On constate l'apparition de scories vitreuses (type D) ou à base cristallisée et partie supérieure vitreuse (type C). Il s'agit ici encore de déchets évacués hors de la cuve du fourneau. Les premières études réalisées (Piétak *et al.* 2012) révèlent qu'elles sont beaucoup moins riches en fer que les scories denses cristallisées de types A2, A3, A4 et A5. Certaines d'entre-elles présentent des compositions chimiques et minéralogiques qui les rapprochent des laitiers de hauts fourneaux anciens, ce qui laisse envisager que des températures de fonctionnement dépassant 1 400 °C ont pu être atteintes au moins de manière ponctuelle (présence notamment de cristobalite). Ces caractéristiques évoquent la mise en œuvre d'innovations majeures dans la conduite des opérations de réduction, dans les rendements et probablement dans la nature des produits métalliques obtenus. L'ensemble de ces aspects reste encore à préciser notamment par une caractérisation archéométrique plus globale des déchets.

- 99 La documentation actuelle ne permet pas vraiment de déterminer si les techniques de réduction générant d'une part des scories cristallisées et d'autre part des scories vitreuses ont été utilisées de manière conjointe ou se sont succédé. En effet, certains amas contemporains des sites à scories vitreuses ne livrent que des scories cristallisées²². Cependant, seuls deux d'entre eux ont fait l'objet de sondages. Il est donc possible que des scories vitreuses, bien que présentes, n'aient pas été reconnues lors de simples observations au sol. Dans la zone-atelier de Montholon, les sondages entrepris à Aillant-sur-Tholon 1 ont permis de constater que les scories vitreuses sont présentes dans des strates différentes et postérieures à celles qui contiennent des scories cristallisées.
- 100 Les plus grands amas de déchets datés par le radiocarbone sont actifs durant cette période. C'est le cas par exemple des sites de Crot au Port à Fontenay-Près-Vezelay (Nivernais), du Bois de Migenne à Bussy-en-Othe 1 (pays d'Othe), des Cornillats à Toucy 1 et du Grand Ferrier de la Garenne à Tannerre-en-Puisaye (Puisaye), et de ceux qui ont été étudiés dans les zones-atelier de Villiers-Saint-Benoît, Saint-Fargeau et Montholon.
- 101 À Montholon, les longues périodes d'utilisation mises en évidence sur plusieurs sites permettent d'envisager le fonctionnement contemporain de différents pôles d'activité. Certains regroupements d'amas ne semblent pas aléatoires, mais paraissent au contraire refléter une organisation plus structurée. Des niveaux d'occupation témoignant de la présence de lieux de vie ont d'ailleurs été mis en évidence à proximité des tas les plus imposants. Les éléments de datation reposant sur l'étude de la céramique²³ situent cette occupation entre 170/175 et 250 apr.J.-C., soit durant la période de plus grand dynamisme de l'activité de ce secteur. Ces indices encore ponctuels indiquent que les travailleurs vivaient près des ateliers au moins de façon saisonnière.
- 102 Les sites des Fouetteries aux Clérimois et des Ferrys à La Bussière sont pour l'instant les seuls à illustrer dans cette région l'organisation interne d'ateliers de cette période. Dans les deux cas, ils fonctionnent autour d'une batterie de deux fourneaux ayant connu de nombreuses utilisations, comme en témoignent les traces de réfection. Les volumes de ces structures, pouvant atteindre 2 m³, permettaient de disposer de capacités de production importantes. Aux Clérimois, le volume des amas de déchets qualifiés de modestes lors de la publication des résultats de la fouille (Dunikowski, Cabboi 1995, p. 131) serait de 7 800 m³ pour une estimation de 10 000 tonnes de scories produites durant le Haut-Empire. Dans la zone-atelier de Montholon, des relevés LiDAR²⁴ ont permis de préciser le volume de certains des amas qui, bien que partiellement ré-exploités, peuvent encore former des monticules mesurant de l'ordre de 20 000 à 30 000 m³. Les masses de métal produites, qu'il reste à préciser, étaient sans aucun doute considérables.
- 103 On est loin d'une activité dispersée sur un large quart nord-est de la France, comme cela a été un temps envisagé (Leroy *et al.* 2000 ; Domergue *et al.* 2006). Au contraire, le caractère groupé de cette production antique doit être souligné. En effet, il est maintenant acquis que les zones sidérurgiques, supposées d'époque romaine, du Morvan-Auxois et du secteur de Berthelange, commencent à produire plus tardivement (voir *infra*). À l'échelle de la zone d'étude, les secteurs en activité durant l'Antiquité se développent sur une longue bande s'étendant du nord-est au sud-ouest et recouvrant le territoire de plusieurs peuples de la période gauloise puis de plusieurs cités romaines :

celui des Sénons en forêt d'Othe, Sénonais, Gâtinais et nord de la Puisaye ; celui des Éduens dans le sud de la Puisaye et ses marges nivernaises ; celui des Bituriges-Cube dans le Berry (Dumasy *et al.* 2010). Il s'agit d'une concentration d'ateliers parmi les plus grandes connues pour l'Antiquité, celles dont les rejets sont estimés entre quelques centaines et plus d'un million de tonnes de scories : en Wallonie (Pagès *et al.* 2022), dans la Montagne Noire (Fabre *et al.* dir. 2016) et dans le Canigou (Pagès *et al.* 2022), ou encore dans le Weald (Cleere, Crossley 1995). Il est ainsi très probable que la diffusion du fer produit dans cette vaste zone se faisait à l'échelle de la partie occidentale de l'Empire romain. Les travaux archéométriques en cours, portant sur la circulation des matières premières, ont pour objectif prioritaire d'en préciser les dynamiques.

- 104 Les modes de gestion de ces exploitations restent inconnus : est-on en présence d'entreprises contrôlées par le pouvoir impérial, comme on le restitue pour d'autres métaux (Domergue *et al.* 2006), de sociétés privées, voire de particuliers ? L'archéologie fournit peu d'indices et ces modes de gestion peuvent être multiples, et d'ailleurs coexister ou se succéder. Les exemples étudiés illustrent sans doute des situations contrastées à l'échelle d'un même territoire. Le secteur de Montholon fournit ainsi le cas d'une concentration de grands ateliers fonctionnant de manière synchrone et qui pourrait correspondre à une entreprise d'ampleur. Ce mode d'exploitation est probablement le même à Tannerre-en-Puisaye, sur le site de la Garenne, connu par son grand ferrier s'étendant sur plus de 30 ha et marquant l'emplacement non pas d'un seul atelier, mais certainement de toute une série d'ateliers antiques. Nombre d'autres sites contemporains semblent de moindre importance²⁵, tant dans l'emprise au sol que dans le volume qu'ils occupent, et pourraient résulter d'initiatives isolées et probablement plus limitées dans le temps. Les agglomérations antiques de Compièrre et d'Entrains-sur-Nohain, qui accueillent des forges au cœur de leurs quartiers et des ateliers de réduction contemporains en périphérie immédiate, illustrent un cas de figure encore différent, supposant l'implication, au moins en tant que médiateurs, des édiles de la Cité.
- 105 Quel qu'ait été le statut de ces entreprises, la forte concentration de la production paraît témoigner au moins pour partie d'une volonté politique dépassant l'échelle de la Cité. On peut d'ailleurs poser la question du rôle joué par les peuples gaulois dans l'émergence et le développement de ces centres, puisque le regroupement de la production sidérurgique est clairement perceptible dès le II^e s. av.J.-C., au sein de territoires possédant un savoir-faire acquis déjà depuis plusieurs siècles (Berranger, Bauvais 2020). En Puisaye, cette spécialisation qui semble transcender la frontière entre Sénons et Éduens a pu être renforcée dans le cadre de l'organisation des territoires voulue par Rome. De futurs travaux devront tenter d'analyser plus précisément les modalités et la nature de ces processus en les resituant dans un cadre culturel plus vaste.

Le premier Moyen Âge (V^e-X^e s.) : émergences de nouvelles zones de production et nouveaux changements techniques

- 106 Les dates actuellement disponibles dans les zones de production actives au cours de la période romaine donnent à penser que les ateliers se raréfient entre le milieu du IV^e et le début, voire le milieu, du VI^e s. En Puisaye, dans la partie sud (zone-atelier de Saint-Fargeau), il faut attendre l'extrême fin du VI^e ou le début du VII^e s. pour voir des ateliers

succéder à ceux de la période romaine, tandis que dans la partie nord (zone-atelier de Montholon) la production ne semble reprendre qu'aux XI^e-XII^e s. Dans la partie centrale (zone-atelier de Villiers-Saint-Benoît), un seul site actif dans l'intervalle IV^e-V^e s. a pour l'instant été identifié²⁶. Il s'agit d'un petit amas de 10 m de diamètre pour 0,80 m d'élévation, installé au sommet d'un amas de plus gros volume, lui-même daté de la fin de la période laténienne et du début de l'Antiquité²⁷. En Nivernais, il n'y a pas d'atelier identifié avant le milieu du VI^e s. En Sénonais-pays d'Othe, le Ferrier 3b du site des Fouetteries aux Clérimois a toujours été considéré comme un atelier de l'Antiquité tardive sur la base des datations publiées, qui le situaient entre le milieu du III^e et le milieu du V^e s. (Dunikowski, Cabboi 1995, p. 108). Mais la courbe de calibration actuelle les rajeunit nettement et une nouvelle analyse radiocarbone réalisée sur un charbon prélevé dans l'un des fourneaux fournit une date qui couvre uniquement les V^e et VI^e s. (voir *supra*). Ici aussi, il apparaît plutôt une interruption entre les ateliers du Haut-Empire et ceux du début du premier Moyen Âge, même si ces derniers s'installent dans la continuité topographique des espaces occupés au cours de la période précédente (*ibid.*, fig. 9, p. 25). Ce constat reflète-t-il une réalité ou s'agit-il d'un biais dans la documentation ? Les recherches à venir devront éclaircir ce point.

107 Bien que la production du fer ait été pratiquement interrompue ou fortement réduite en Puisaye aux V^e et VI^e s., elle redémarre clairement au début du VII^e s. : dans la zone-atelier de Villiers-Saint-Benoît, sept sites montrent une continuité de l'activité du début du VII^e à la fin du X^e s., et dans la zone-atelier de Saint-Fargeau, six sites fournissent une série continue de dates allant du milieu du VII^e à la fin du X^e s. Le nombre de sites de cette période représente le tiers de ceux qui sont datés dans ces deux étroites fenêtres, ce qui laisse supposer un nombre total important, compte tenu de la densité de sites observée alentour. L'importance de l'activité sidérurgique en Puisaye au cours du premier Moyen Âge transparaît peut-être dans l'étymologie même du nom Saint-Fargeau qui figure dans une charte de la fin du VII^e s. (*Sanctum Ferreomus*)²⁸ et paraît se rapporter au fer. Deux autres mentions relatives aux terres du *pagus* d'Auxerre pourraient aussi y faire référence : « *agellum Ferrolas* » dans la donation de l'évêque d'Auxerre Didier en faveur de l'abbaye Saint-Germain d'Auxerre, datée de 621 environ²⁹ ; « *colonica Ferrarias* » dans l'acte de donation testamentaire de l'évêque Vigile (mort en 683) en faveur du monastère Notre-Dame qu'il a fondé³⁰. La Puisaye dépendait alors en partie du domaine de l'abbaye de Saint-Germain et du temporel de l'évêque d'Auxerre (Deflou-Leca 2010). L'un ou l'autre (ou les deux) a pu être impliqué dans la production du fer ou dans son contrôle.

108 Il est difficile de se prononcer sur la place qu'occupent les ateliers du premier Moyen Âge en Sénonais-pays d'Othe et dans le Nivernais, car dans les deux cas seuls quelques sites y sont pour l'instant datés³¹. C'est en revanche durant cette période qu'émergent d'autres zones de production, au centre et dans la partie est de l'espace étudié, là où aucune activité n'est pour l'instant identifiée – et ne semble devoir l'être – pour la période romaine, en tout cas pour le Haut-Empire. Dans le Morvan-Auxois, treize ateliers forment une série continue du milieu du V^e au début du XI^e s. Rappelons que si ces nouveaux calages chronologiques ruinent l'hypothèse initialement soutenue d'un « district de production (romaine) de taille moyenne, au cœur d'une zone *non aedificandi*, dépendant probablement de la Cité des Éduens » (Mangin *et al.* 1992, p. 225-238), il reste à mettre en lumière le contexte et le cadre de son émergence au cours du haut Moyen Âge. La zone de Berthelange connaît une activité productive

continue des IV^e-V^e s. jusqu'au milieu du VII^e s., dont l'ampleur paraît indéniable au regard du nombre de sites datés (26 sites). Cette série n'est prolongée, en l'état actuel, que par deux ateliers datés de la période carolingienne (dates calibrées : milieu du VII^e-dernier quart du IX^e s. et fin du VII^e-dernier quart du X^e s.). Cet espace de production d'environ 1 100 km², dans lequel 140 sites (sur 176) sont concentrés sur 120 km², et autour duquel sont répartis quelques sites isolés, paraît ainsi fonctionner presque exclusivement ou en tout cas majoritairement au cours de la période mérovingienne.

- 109 Les ateliers du premier Moyen Âge sont le plus souvent identifiés à partir de petits amas comprenant de très fortes concentrations de scories, mais représentant des volumes limités, ne dépassant généralement pas quelques centaines de mètres cubes. L'organisation et les rythmes de fonctionnement des unités de production semblent connaître de profondes modifications. Le site des Fouetteries aux Clérimois dans le Sénonais-pays d'Othe en offre un exemple. La morphologie des fourneaux montre d'importantes mutations par rapport aux ateliers de la période antique. De forme plus ovale et d'un volume moindre (le quart de celui des cuves des fourneaux de l'époque romaine), les fourneaux des ateliers du Ferrier 3b se distinguent aussi par des différences marquées dans les techniques de construction et par l'utilisation d'une ventilation forcée avec une unique tuyère latérale (Dunikowski, Cabboi 1995). L'atelier est désormais organisé autour d'un seul fourneau et non plus d'une batterie de deux.
- 110 Que traduisent ces modifications dans la géographie de la production ? Les restructurations territoriales et administratives de la fin du III^e et du IV^e s., les troubles militaires et les changements politiques des IV^e et V^e s. ont probablement un impact sur l'économie de cette partie de la Gaule et sur l'organisation de la production en général. Il est intéressant de noter que ces modifications sont concomitantes de changements techniques, puisque, en plus de la morphologie des fourneaux et de l'organisation des ateliers, les scories collectées sur ces sites sont d'un type très différent (scories écoulées cordées plus ou moins bulleuses de type A1, B1 ou B2) de ceux qui caractérisent les ateliers de l'époque romaine. Les paramètres techniques de la conduite de l'opération métallurgique ne sont donc plus les mêmes. On soulignera que ces caractéristiques vont définir les traits dominants des ateliers du premier Moyen Âge dans tout l'est de l'ancienne Gaule, tout au moins tel qu'on peut l'appréhender pour le moment à travers les ateliers fouillés et les scories collectées (Lorraine, sud de la Champagne, Franche-Comté, cantons suisses du Jura et de Vaud : Eschenlohr, Serneels 1991 ; Pelet 1993 ; Leroy dir. 1997 ; Leroy, Merluzzo 1998 ; Leroy 2001 ; Cabboi *et al.* 2007 ; Leroy *et al.* 2015 ; Leroy, Cabboi dir. 2019).
- 111 Au cours du premier Moyen Âge, plusieurs zones de production sont donc actives en différents endroits des territoires bourguignons et francs-comtois. Elles sont ainsi plus nombreuses et plus largement réparties qu'au cours de la période romaine. Deux types de production paraissent coexister. Dans certains secteurs, comme l'actuelle Haute-Saône, les ateliers sont dispersés (voir *supra*, § 64 *sqq.*). On imagine que leur création relève d'une initiative locale. Ailleurs, de véritables zones de production existent. La multiplication de zones de production de dimension comparable à celle de Berthelange paraît d'ailleurs être un trait commun à tout l'est des Gaules. On les voit apparaître dans des espaces géographiques où n'existait pas, semble-t-il, de production de fer brut pendant la période de l'Empire romain : c'est le cas en Lorraine, en Alsace, dans le Jura suisse, par exemple (Leroy 2008). Même si toutes n'émergent pas aux V^e-VII^e s. et si leurs

périodes de développement sont différentes (certaines concentrées sur un temps court, d'autres se prolongeant durant toute la période médiévale), leur multiplication au cours du premier Moyen Âge est peut-être une conséquence du morcellement territorial et politique qui induirait des productions plus localisées qui ne soient pas à la merci des aléas du transport à longue distance. Il est possible aussi que cette nouvelle géographie de la production soit liée à la constitution des grands domaines fiscaux, qu'ils soient royaux ou ecclésiastiques (Leroy *et al.* 2019, p. 279-281)³².

Le second Moyen Âge (XI^e-XV^e s.) : des acteurs mieux connus

- 112 Dans plusieurs des zones de production étudiées (pays d'Othe, Morvan-Auxois, zone de Berthelange), les dates disponibles montrent une présence plus ou moins continue d'ateliers tout au long de la période médiévale. En Puisaye, la situation semble un peu plus contrastée entre le secteur central (la zone-atelier de Villiers-Saint-Benoît) où cette continuité est manifeste, et les secteurs nord et sud, pour lesquels, en l'état des données, elle n'apparaît pas³³. Ces points d'ancrage chronologique, s'ils restent insuffisants pour évaluer l'ampleur de l'activité et en préciser les caractéristiques, n'en permettent pas moins de relativiser la thèse régulièrement énoncée d'un renouveau sidérurgique à partir de la seconde moitié du XII^e ou du début du XIII^e s., sous l'impulsion des ordres monastiques, au premier rang desquels les Cisterciens auraient joué un rôle moteur. Cette opinion, fondée sur la rareté des sources écrites avant le milieu du XII^e s., est déjà contredite dans les années 1990 par l'étude systématique des textes eux-mêmes³⁴. Elle l'est désormais par la continuité des datations des sites archéologiques, constat dressé aussi dans d'autres zones géographiques, par exemple en Lorraine (Leroy *et al.* 2015).
- 113 Il n'en reste pas moins que l'implication des communautés monastiques dans la production de fer est bien réelle. Ainsi en pays d'Othe, les actes les plus anciens mentionnant un lien des religieux cisterciens avec la métallurgie du fer concernent les abbayes de Pontigny (1143) et de Vauluisant (1143 et 1150) (Cailleaux 1991 ; Verna 1995). En Franche-Comté, de nombreux monastères, parmi lesquels les abbayes cisterciennes de Bellevaux, de Cherlieu et de La Charité, se font octroyer au XIII^e s. le droit de tirer la mine ou des rentes en minerai (Mordefroid 1990). Mais d'autres acteurs sont présents en particulier les évêques et les pouvoirs comtaux (Champagne) ou ducaux (Bourgogne). En pays d'Othe, aux XIV^e et XV^e s., les sources écrites éclairent l'action prépondérante des trois principaux propriétaires terriens que sont l'abbaye de Dilo, l'évêché de Troyes et le duché de Bourgogne (Beck *et al.* 2008). « Mines » et « forges » sont gérées en faire-valoir direct ou affermées à des gens du métier, dont on sait qu'ils sont organisés au moins depuis le XIII^e s. en une communauté des « férons » (*ministerium fabri grosse fabricae*) exerçant une compétence juridique sous l'autorité comtale³⁵. Dans le territoire comtois, les monastères aussi s'attachent des compétences laïques en baillant leurs installations.
- 114 Au XI^e s., la Puisaye relève en grande partie du temporel de l'évêque d'Auxerre. À la fin du XII^e et au début du XIII^e s., la seigneurie de Toucy, qui s'étendait de Parly jusqu'à la Loire, devient l'une des plus puissantes de la région. En 1258, elle entre par mariage dans les possessions du comté de Bar (partie occidentale de la Lorraine). Or durant la seconde moitié du XIII^e et pendant tout le XIV^e s., les comtes de Bar développent dans leurs domaines du nord de la Lorraine (châtellenie de Briey) une politique volontariste

de production du fer, dont témoignent archéologiquement les nombreux amas de scories découverts (Leroy dir. 1997 ; Horikoshi 2007 ; Leroy *et al.* 2015). Pourrait-il en être de même en Puisaye ? Aucun texte connu n'en témoigne. Comme en pays d'Othe, les sources écrites, plus nombreuses aux XIV^e et XV^e s., attestent de l'implication de seigneurs locaux, comme l'archevêque de Sens ou les seigneurs de Bléneau et de Champignelles, si ce n'est dans le contrôle de la production elle-même, du moins dans les revenus qu'elle procure³⁶.

*

**

- 115 Depuis les années 1980, les campagnes de prospection archéologique conduites par différentes équipes de chercheurs ont permis de reconnaître et de délimiter, dans l'espace géographique couvert par les anciens pays bourguignons et franc-comtois, plusieurs secteurs de production du fer antérieurs à l'apparition de la sidérurgie moderne. Ces secteurs définis par des concentrations plus ou moins denses d'amas de déchets de production sont inégalement répartis sur ce territoire. Au moins quatre régions productrices apparaissent clairement dans la partie occidentale : le Morvan-Auxois, le Nivernais, le pays d'Othe et la Puisaye, cette dernière se caractérisant par une très grosse concentration (plus de 2 500 sites). Dans la partie orientale, une seule concentration, sur un territoire assez restreint des environs de Besançon (la zone de Berthelange), est identifiée. Les espaces intermédiaires sont dépourvus d'ateliers ou renferment des groupements lâches ou des sites isolés. Au total, plus de 5 000 sites sont actuellement recensés.
- 116 La datation des périodes d'activité d'une grande partie de ces secteurs de production restait toutefois amplement méconnue. L'objectif des recherches menées depuis 2017 est de mieux appréhender la chronologie en recourant très largement aux datations par le radiocarbone. En s'appuyant sur les inventaires descriptifs des amas et sur les études archéométriques réalisées sur les déchets de production issus de ces différentes zones, un panel de sites représentatifs par leurs caractéristiques topographiques et par la nature des déchets qu'ils renferment a fait l'objet d'études plus approfondies. Cent quatre-vingts sites, la plupart conservés sous forme d'amas de déchets de production, ont ainsi été examinés et échantillonnés, et plus d'une quarantaine d'entre eux ont fait l'objet de sondages manuels ou mécaniques permettant d'accéder à une lecture stratigraphique de l'accumulation de déchets. En plus des artefacts de production qui ont été systématiquement échantillonnés et qui font l'objet d'études archéométriques visant à définir les caractères techniques des opérations métallurgiques, ces travaux de terrain ont permis de récolter des échantillons de charbon de bois au sein des couches archéologiques et parfois à l'intérieur même des scories. Dans les amas stratifiés, les prélèvements ont ciblé l'ensemble des séquences observées, de manière à restituer les phases de leur constitution. Plus de deux cents datations sont désormais disponibles.
- 117 Corrélées à la typologie des sites et des déchets, permise par le nombre de sites étudiés, ces données renouvèlent considérablement la perception de la dynamique chronologique des zones de production du fer de ce vaste espace géographique.
- 118 La transformation du minerai en fer est désormais clairement attestée dès le premier âge du Fer. Les ateliers de cette période, caractérisés par l'utilisation de bas fourneaux

dans lesquels la scorie s'écoule sous la cuve, ont surtout été reconnus dans la partie nord-occidentale de la région, principalement en Puisaye et de manière plus discrète en Sénonais-pays d'Othe, ainsi que dans la partie orientale, plus particulièrement dans la région de Besançon. La corrélation des dates avec la typologie des sites et des scories permet d'identifier dans le sud de la Puisaye, dans le secteur de Treigny - Saint-Fargeau, une importante concentration de vestiges d'ateliers de cette période. A *contrario*, dans le Sénonais-pays d'Othe comme dans la région de Besançon, les quelques sites documentés ne permettent pas encore de déterminer l'importance, ni l'étendue géographique de l'activité sidérurgique. À l'est, en Franche-Comté, la production s'interrompt bien avant la conquête romaine (dès la fin du III^e s. av. J.-C.).

- 119 En revanche, le développement continu de la production primaire du fer dans la partie occidentale de l'espace géographique étudié (Puisaye, Sénonais-pays d'Othe, Nivernais), au cours des phases moyenne et finale du second âge du Fer et tout au long de la période romaine, est clairement établi par le nombre d'ateliers datés utilisant une nouvelle technologie de fourneaux permettant l'évacuation de la scorie à l'extérieur de la cuve. La présence en Puisaye de gros et de très gros amas renfermant plusieurs milliers ou dizaines de milliers de mètres cubes de déchets sidérurgiques permet d'identifier cette zone comme une région de production majeure, dont l'activité semble avoir été continue entre les III^e-II^e s. av. J.-C. et les III^e-IV^e s. apr. J.-C. Qui plus est, au tournant des II^e-III^e s., elle est le siège de changements ou d'évolutions techniques transparaissant dans la morphologie et la composition chimique des scories, notamment avec l'apparition de types vitreux et pauvres en fer qui suggèrent des températures de fonctionnement nettement plus hautes et des rendements plus élevés que précédemment. Un des objectifs des travaux à venir reste de définir plus précisément les formes et la nature de ces modifications.
- 120 Une rupture dans l'activité de ces zones de production « occidentales » semble intervenir aux IV^e et V^e s. apr. J.-C., mais ce hiatus doit encore être documenté plus finement. Elles sont toutefois de nouveau actives au cours du premier Moyen Âge. D'autres zones qui n'existaient pas auparavant apparaissent alors (Morvan-Auxois, Mâconnais). La production redémarre aussi dans la zone de Berthelange, mais bien que le nombre de sites révèle une certaine intensité, elle reste principalement centrée sur la période mérovingienne. Elle semble néanmoins se poursuivre, sans doute moins fortement, à l'époque carolingienne, et jusqu'aux XIV^e-XV^e s. Dans toutes les autres zones, au contraire, les datations collectées révèlent que l'activité est continue durant toute la période médiévale, mais l'importance de chacune d'entre elles tout au long de ces siècles reste encore à cerner, tout comme le mode de fonctionnement des fourneaux qui semble à nouveau changer comme le montre l'apparition de nouveaux types de scories, notamment plus bulleux qu'auparavant. À l'époque médiévale, l'activité sidérurgique est plus largement représentée sur tout le territoire qu'au cours de la période romaine. Les grandes zones de production connues historiquement dans cet espace géographique à partir des XIII^e-XIV^e s. ont ainsi clairement des antécédents.
- 121 Ces travaux récents engagés sur l'étude de ces espaces de production de l'Est et du Centre-Est de la France se poursuivent actuellement afin d'approfondir les questions qui se posent sur l'organisation spatiale de la production et sur la nature des évolutions techniques qui se succèdent. La réponse à ces questions passe par la poursuite de l'étude morphologique et physico-chimique des déchets et par la fouille d'un panel d'ateliers, afin d'étudier les structures de production et leur organisation. Au-delà,

déterminer les volumes de production et l'échelle des flux d'échanges sont d'autres problématiques primordiales dont l'étude bénéficie de l'apport des avancées méthodologiques récentes, dans le domaine des relevés topographiques haute résolution par la technologie LiDAR aéroportée, et dans celui des études de provenance par l'identification des signatures du fer métallique (Leroy *et al.* 2014). Enfin, la remise en perspectives de ces résultats dans leur cadre chronologique, politique et économique élargi est également au centre des travaux en cours.

BIBLIOGRAPHIE

Pour consulter la liste des sigles et acronymes, cliquer [ici](#).

Source ancienne

Notitia dignitatum : *Notitia dignitatum accedunt, Notitia urbis Constantinopolitanae et latercula provinciae*, éd. O. Seek, Berlin, 1876 (rééd. Francfort, 1962), p. 145.

Références

Beck P., Braunstein P., Philippe M., Ploquin A. 2008 : Minières et ferriers du Moyen Âge en forêt d'Othe (Aube, Yonne) : approches historiques et archéologiques, *RAE*, 57, p. 333-365.

Berranger M., Bauvais S. 2020 : Changements sociétaux et évolution de l'économie du fer du Hallstatt D à La Tène D dans le Nord-Est de la France, *Bulletin de la Société préhistorique française*, 117-4, p. 641-671.

Berranger M., Zaour N., Leroy M., Bauvais S., Cabboi L., Dunikowski C., Fluzin P. 2017 : Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VII^e-I^{er} siècle a.C.) : de la réduction du métal à l'élaboration des demi-produits, in Marion S., Deffressigne S., Kaurin J., Bataille G. (dir.), *Production et proto-industrialisation aux âges du Fer : perspectives sociales et environnementales. Actes du 39^e colloque international de l'AFEAF (Nancy, 14-17 mai 2015)*, Bordeaux, Ausonius (coll. Mémoires, 47), p. 301-333.

Berranger M., Aubert M., Bauvais S., Cabboï L., Delqué-Kolic E., Devevey F., Disser A., Dillmann P., Dunikowski C., Fluzin P., Gaetan L., Gauthier E., Jeannot R., Laurent H., Laurent S., Nouvel P., Labeaune R., Leroy S., Leroy M., Tisserand N., Venault S., Vega E., Veyssyre C. 2018 : *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions*, Projet collectif de recherche, rapport d'activité 2018, Laboratoire de Métallurgies et Cultures, Belfort, UTBM – CNRS – UMR 5060 – Iramat, 207 p.

Berranger M., Bauvais S., Disser A., Vega E., Dillmann P. 2023 : Espaces de production et circuits d'échanges en métallurgie du fer dans l'espace nord-alpin durant le premier âge du Fer, in Valdés L., Cicolani V., Hiriart E. (dir.), *Matières premières en Europe au I^{er} millénaire av. n.è. Exploitation, transformation, diffusion. La Europa de las materias primas en el I^{er} milenio a.n.e.*

Explotación, transformación y difusión. Actes 45^e colloque international de l'AFEAF (Gijón, 13-15 mai 2021), Paris, AFEAF, 488 p.

Bonifay M., Raynaud C. 2007 : Échanges et consommation, in Heijmans M., Guyon J. (dir.), Dossier : Antiquité tardive, haut Moyen Âge et premiers temps chrétiens en Gaule méridionale. Seconde partie : monde rural, échanges et consommation, *Gallia*, 64, p. 93-161.

Boukezzoula M. 1995 : *Mines et métallurgies dans le Centre-Est : méthodologie de la recherche appliquée à l'arrondissement de Mâcon*, Thèse de doctorat, Besançon, Université de Franche-Comté.

Bouthier A. 1982 : 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, Université de Toulouse-le-Mirail, 21-22 novembre 1980, Paris, CNRS, p. 139-156.

Bouthier A. 1985 : *Le Tacot, Cosne-Saint-Amand. 1905-1939*, Cosne-sur-Loire, Groupe de Recherches Archéologiques Condate.

Bouthier A. 1995 : Displacement of both iron mines and metallurgic sites related to the change in reduction process in Northwestern Nivernais (France), in Magnusson G. (dir.), *The Importance of Ironmaking: Technical Innovation and Social Change. I : Papers presented at the Norberg Conference on May 8-13, 1995*, Stockholm, Jernkontorets Berghistoriska Utskott, p. 255-262.

Bouthier A. 2002 : Les ferriers et la métallurgie dans l'Yonne à l'époque romaine, in Delor J.-P. (dir.), *L'Yonne*, Paris, Académie des inscriptions et belles-lettres (coll. Carte archéologique de la Gaule, 89-1), p. 122-123.

Bouthier A., Dupéron J., Velde B. 1987 : La métallurgie du fer à l'époque gallo-romaine dans le nord-ouest de la Nièvre et le nord du Berry, in *Mines et métallurgie en Gaule et dans les provinces voisines. Actes du colloque de l'École nationale supérieure des mines, Paris, 1986*, Paris, Errance (coll. Caesarodunum, 22), p. 252-270.

Boutiot F. 1867 : Notes sur les anciennes exploitations métallurgiques des contrées formant le département de l'Aube, *Mémoires lus à la Sorbonne dans les séances extraordinaires du Comité Impérial des Travaux Historiques, section Archéologie*, p. 57-72.

Cabboi S., Dunikowski C., Leroy M., Merluzzo P. 2007 : Réflexions sur les formes d'organisation du travail du fer dans le nord de la France au haut Moyen Âge (l'apport des découvertes archéologiques récentes), in *Medieval Europe Paris 2007 : l'Europe en mouvement, Actes du 4^e congrès international d'archéologie médiévale et moderne, Paris, Institut national d'histoire de l'art, 3-8 septembre 2007*, 18 p.

Cailleaux D. 1984 : L'industrie du fer en Sénonais et forêt d'Othe à la fin du Moyen Âge, in *Actes du 109^e congrès national des sociétés savantes, Dijon, 1984. II : Section d'histoire médiévale et de philologie*, Paris, éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, p. 147-163.

Cailleaux D. 1991 : Les religieux et le travail du fer en pays d'Othe (xii^e-xvi^e s.), in Benoit P., Cailleaux D. (dir.), *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, AEDEH, p. 193-211.

Camizuli E. 2013 : *Impact des anciens sites miniers et métallurgiques sur des écosystèmes terrestre et aquatique actuels. Étude comparative de deux moyennes montagnes : le Morvan et les Cévennes*, Thèse de doctorat, Dijon, Université de Bourgogne.

Chauvin B. 1991 : Les archives cisterciennes antérieures à 1350 dans le comté et duché de Bourgogne et leurs apports à l'histoire de la métallurgie, in Benoit P., Cailleaux D. (dir.), *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, AEDEH, p. 143-177.

Cleere H., Crossley D. W. 1995 (2^e éd.) : *The iron industry of the Weald*, Cardiff, Merton Priory Press Ltd, 424 p.

- Deflou-Leca N. 2010** : *Saint-Germain d'Auxerre et ses dépendances (v^e-XIII^e siècle). Un monastère bénédictin dans la société du haut Moyen Âge*, Saint-Étienne, Publications de l'université de Saint-Étienne (coll. Congrégations, ordres religieux et sociétés), 773 p.
- Dieudonné-Glad N. 2017** : La production du fer au tournant des VI^e et V^e s. a.C. Des changements techniques, économiques et sociaux ?, in Marion S., Deffressigne S., Kaurin J., Bataille G. (dir.), *Production et proto-industrialisation aux âges du Fer : perspectives sociales et environnementales. Actes du 39^e colloque international de l'AFEAF (Nancy, 14-17 mai 2015)*, Bordeaux, Ausonius (coll. Mémoires, 47), p. 365-382.
- Dieudonné-Glad N. 2000** : L'atelier sidérurgique gallo-romain du Latté à Oulches (Indre), in Domergue C., Leroy M. (dir.), Dossier : Mines et métallurgies en Gaule, *Gallia*, 57, p. 63-75.
- Domergue C., Leroy M. 2000** : L'état de la recherche sur les mines et les métallurgies en Gaule, de l'époque gauloise au haut Moyen Âge, in Domergue C., Leroy M. (dir.), Dossier : Mines et métallurgies en Gaule, *Gallia*, 57, p. 3-10.
- Domergue C., Serneels V., Cauuet B., Paillet J.-M., Orzechowski S. 2006** : Mines et métallurgies en Gaule à la fin de l'âge du Fer et à l'époque romaine, in Paunier D. (dir.), *Celtes et Gaulois, l'Archéologie face à l'Histoire. V : La romanisation et la question de l'héritage celtique, Actes de la table ronde de Lausanne (17-18 juin 2005)*, Glux-en-Glenne, Centre archéologique européen (coll. Bibracte, 12/5), p. 131-162.
- Dufraisse A., Coubray S. 2018** : De l'arbre à la forêt domestiquée : apport de l'anthracotypologie, *Les Nouvelles de l'archéologie*, 152, p. 54-61.
- Dumasy F., Dieudonné-Glad N., Laüt L. 2010** : *Travail de la terre, travail du fer. L'espace rural autour d'Argentomagus (Saint-Marcel, Indre)*, Bordeaux, Ausonius (coll. Mémoires, 23), 525 p.
- Dunikowski C., Cabboi S. 1995** : *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme (coll. Documents d'archéologie française, 51).
- Eschenlohr L., Serneels V. 1991** : *Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt les Boulies (JU/Suisse)*, Porrentruy, Office du patrimoine historique (coll. Cahiers d'archéologie jurassienne, 3), 144 p.
- Fabre J.-M., Domergue C., Dabosi F. (dir.) 2016** : *Le fer romain de la Montagne Noire. Martyrs 2 : les débuts. 25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*, Montpellier, RAN (coll. Suppl. à la RAN, 43), 560 p.
- Faivre A., Mangin M., Petit J.-C., Brunelle P. 1995** : État des recherches sur la carte archéologique de la sidérurgie ancienne du centre-est et du nord-est de la France, in Benoit P., Fluzin P. (dir.), *Paléométaballurgie du fer et cultures, Actes du symposium international pour la sidérurgie ancienne de l'Union Internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques (Belfort-Sevenans. 1-3 novembre 1990)*, Paris, AEDEH, p. 229-248.
- Forlin P., Laurent H. 2014** : Exploiting local resources in a new economic frame: Iron ores and bloomeries in Franche-Comté (F) during the Early Middle Ages, in Silvertant J. (dir.), *Research and Preservation of Ancient Mining Areas*, Trento, Institute Europa Subterranea, (coll. Yearbook of the Institute Europa Subterranea), p. 197-217.
- Fournier L., Milcent P.-Y. 2007** : Actualité des recherches sur l'économie du fer protohistorique dans la région Centre, in Milcent P.-Y. (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal. Actes du XXVIII^e colloque international de l'AFEAF (Toulouse 20-23 mai 2004)*, Pessac, Fédération Aquitania (coll. Suppl. à Aquitania, 14/2), p. 85-105.

- Goguy D., Bénard J. (dir.) 2018** : Structures en pierre du plateau du Châtillonnais (Côte-d'Or) du Hallstatt à l'Antiquité tardive : l'apport de l'archéologie forestière, Dremil-Lafage, Monique Mergoïl (coll. Archéologie et histoire romaine, 39) 289 p.
- Goudard A. 1936** : Notes sur l'exploitation des gisements de scories de fer dans le département de l'Yonne, *Bulletin de la Société archéologique de Sens*, 38, p. 151-182.
- Goujon G. 1911** : La Puisaye, *Revue géographique annuelle*, 5, p. 1-148.
- Gueux J.-M. 1872** : Les anciennes forges de l'arrondissement de Semur-en-Auxois, *Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de Semur*, p. 148-156.
- Horikoshi K. 2007** : *L'industrie du fer en Lorraine, XII^e-XVII^e siècles*, Langres, Éditions Guénot, 515 p.
- Huré A. 1920** : Origine et formation du fer dans le Sénonais, ses exploitations et ses fonderies dans l'Yonne, *Bulletin de la Société historiques et naturelle de l'Yonne*, 73, p. 33-74.
- Langlois J.-Y., Deloze V., Guillier G., Zaour N. 2005** : *Le Buisson, Saint-Evroult-de-Montfort (Orne)*, Rapport final d'opération, A28 Rouen-Alençon, Cesson-Sévigné, Inrap Grand-Ouest, Drac-SRA Basse Normandie, 115 p.
- Laurent H., Laurent-Corsini S., Mangin M. 2012** : La sidérurgie ancienne dans la région de Franche-Comté : trente années de recherches pluridisciplinaires sur la réduction directe dans l'Est de la France (1981-2011), in *Acta Mineraria et metallurgica. Studi in onore di Marco Tizzoni*, Bergame, musée archéologique (coll. *Notizie Archeologiche Bergomensi*, 20), p. 57-78.
- Laurent-Corsini S., Laurent H. 2016** : Un pic de production du fer en Franche-Comté pendant l'époque mérovingienne, in Peytremann É. (dir.), *Des Fleuves et des hommes à l'époque mérovingienne, Territoire fluvial et société au premier Moyen Âge (V^e-XII^e siècle)*, Actes des 33^e journées internationales d'archéologie mérovingienne, Strasbourg, 28-30 septembre 2012, Dijon, RAE (coll. Suppl. à la RAE, 42), p. 287-297.
- Leroy M. (dir.) 1997** : *La sidérurgie en Lorraine avant le haut fourneau : l'utilisation du minerai oolithique en réduction directe*, Paris, CNRS Éditions (coll. Monographie du Centre de recherches archéologiques, 18), 310 p.
- Leroy M. 2001** : La production sidérurgique en Gaule : changements et mutations perceptibles entre le Haut-Empire et les débuts du haut Moyen Âge, in Polfer M. (dir.), *L'artisanat romain : évolution, continuités et ruptures (Italie et provinces occidentales)*, Actes du 2^e colloque d'Erpeldange (26-28 octobre 2001), Montagnac, Monique Mergoïl (coll. Monographies Instrumentum, 20), p. 79-95.
- Leroy M. 2008** : Les modes de production du fer au haut Moyen Âge. L'exemple des ateliers sidérurgiques de Lorraine centrale, in Guillaume J., Peytremann É. (dir.), *L'Austrasie : sociétés, économies, territoires, christianisation. Actes des XXVI^e Journées internationales d'archéologie mérovingienne (Nancy, 22-25 septembre 2005)*, Nancy, Presses universitaires de Nancy, p. 177-188.
- Leroy M., Cabboi L. (dir.) 2019** : *Produire et travailler le fer. Les ateliers de l'est du Bassin parisien du V^e siècle av. J.-C. au X^e siècle apr. J.-C.*, Paris, Inrap/CNRS Éditions (coll. Recherches archéologiques, 16), 166 p.
- Leroy M., Merluzzo P. 1998** : Les ateliers sidérurgiques médiévaux de Saint-Dizier (Haute-Marne), *Bulletin de la Société archéologique champenoise*, 91-4, 126 p.
- Leroy M., Mangin M., Laurent H., Boukezzoula M., Raïssouni B. 2000** : La sidérurgie dans l'est de la Gaule : l'organisation spatiale de la production de l'âge du Fer au haut Moyen Âge, in Domergue C., Leroy M. (dir.), Dossier : Mines et métallurgies en Gaule, *Gallia*, 57, p. 11-21.

Leroy S., Dillmann P., Disser A., L'Héritier M., Bauvais S., Fluzin P. 2014 : Provenance et circulation des alliages ferreux, in Dillmann P., Bellot-Gurlet L. (dir.), *Circulation et provenance des matériaux et des objets dans les sociétés anciennes*, Paris, Éditions des Archives contemporaines, p. 79-108.

Leroy M., Merluzzo P., Le Carlier C. 2015 : *Archéologie du fer en Lorraine. Minette et production du fer en bas fourneaux dans l'Antiquité et au Moyen Âge*, Thionville, Fensch Vallée Éditions, 372 p.

Leroy M., Prévot M., Merluzzo P., Disser A., Dufraisse A., Gebhardt-Even A., Guillaume J., Jouanin G., Le Carlier C., Marque R., Prouteau R., Wiethold J., Yvinec J.-H. 2019 : 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 ?, *RAE*, 68, p. 243-283.

Leymerie A., Raulin V. 1858 : *Statistique géologique du département de l'Yonne*, Auxerre, Perriquet et Rouillé, 864 p.

Loffroy R. 1998 : Histoire d'un chemin de fer en Puisaye, Tannerre-La-Garenne - Villiers-Saint-Benoît Gare PLM, *Bulletin de l'Association d'études, de recherches et de protection du vieux Toucy et de ses environs*, 68, p. 18-25.

Mahé-Le Carlier C., Dieudonné-Glad N., Ploquin A. 1998 : Des laitiers obtenus dans un bas-fourneau ? Études chimique et minéralogique des scories du site d'Oulches (Indre), *Revue d'Archéométrie*, 22, p. 91-101.

Mangin M. (dir.) 2004 : *Le fer*, Paris, Errance. (coll. Archéologiques), 239 p.

Mangin M., Keesmann I., Birke W., Ploquin A. 1992 : *Mines et métallurgie chez les Éduens : le district sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois*, Paris, Les Belles Lettres (coll. Annales littéraires de l'université de Besançon, 456 ; série Archéologie, 38), 364 p.

Mangin M., Ploquin A., Fluzin P., Forrières C. 1994 : Les thèmes de recherche dans l'Est de la France. I. La carte archéométallurgique, in Mangin M. (dir.), *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen : archéologie et archéométrie. Actes du colloque de Besançon (10-13 novembre 1993)*, Paris, Les Belles Lettres, Paris (coll. Annales littéraires de l'université de Besançon, 536 ; série Archéologie, 40), p. 11-15.

Mangin M., Laurent H., Dunikowski C., Leroy M. 1995 : Ateliers et cadre de vie des sidérurgistes de l'Est de la France (fin de l'Âge du Fer, Antiquité romaine et haut Moyen Âge), in Magnusson G. (dir.), *The Importance of Ironmaking. Technical Innovation and Social Change. I : Papers presented at the Norberg Conference on May 8-13, 1995*, Stockholm, Jernkontorets Berghistoriska Utskott, p. 73-83.

Mayer A., Brunet V., Bron B., Brenot J., Demarest M., Sarreste F., Talluault O. 2016 : Sous les scories, une nécropole : un petit ensemble funéraire du Haut-Empire (Coulans-sur-Gée, « Les Brochardières », Sarthe), *Revue archéologique de l'Ouest*, 33, p. 209-220.

Mayer A., Sarreste F. 2013 : *Coulans-sur-Gées (Sarthe), Les Brochardières*, Rapport de fouille archéologique préventive, Limoges, Éveha, 3 vol., 245 p.

Momot J. 1963 : Quelques gisements de scories antiques des environs d'Avallon (Yonne). Études géologiques et physico-chimiques, *RAE*, 14, p. 36-52.

Momot J. 1964 : Les ferriers du département de l'Yonne, *Revue d'Histoire de la Sidérurgie*, 5, p. 273-297.

Mordefroid J.-L. 1990 : Moines et chanoines métallurgistes en Franche-Comté du v^e au xv^e siècle, in Jacob J.-P., Mangin M. (dir.), *De la mine à la forge en Franche-Comté des origines au XIX^e siècle*, Paris,

Les Belles Lettres (coll. Annales littéraires de l'université de Besançon, 410 ; série Archéologie, 37), p. 85-116.

Nouvel P. 2004 : *Des terroirs et des hommes, dynamiques et évolutions des occupations humaines dans le bassin de l'Yonne Moyenne*, Thèse de doctorat, Dijon, Université de Bourgogne, 3 vol., 515 p., 713 p. et 480 p.

Pagès G., Dillmann P., Vega E., Berranger M., Bauvais S., Long L., Fluzin P. 2022 : Vice-versa: the iron trade in the western Roman Empire between Gaul and the Mediterranean, *PLoS ONE* 17-5 : e0268209.

Pelet P.-L. 1993 (2^e éd.) : *Une industrie reconnue. Fer, charbon, acier dans le Pays de Vaud*, Lausanne, Cahiers d'archéologie romande (coll. Cahiers d'archéologie romande, 60), 142 p.

Piétak J.-P., Leroy M., Le Carlier C., Merluzzo P. 2012 : Nouvelles données sur l'importance des vestiges de sidérurgie ancienne en Puisaye, *RAE*, 61, p. 117-131.

Rébiscoul A. 2003 : Le site paléoméallurgique des « Ferrys », commune de La Bussière (Loiret), in Lepets S., Matteredne V. (dir.), Dossier : Cultivateurs, éleveurs et artisans dans les campagnes de Gaule romaine, *Revue archéologique de Picardie*, 1/2, p. 129-139.

Reimer P., Austin W., Bard E., Bayliss A., Blackwell P., Bronk Ramsey C., Butzin M., Cheng H., Edwards R., Friedrich M., Grootes P., Guilderson T., Hajdas I., Heaton T., Hogg A., Hughen K., Kromer B., Manning S., Muscheler R., Palmer J., Pearson C., van der Plicht J., Reimer R., Richards D., Scott E., Southon J., Turney C., Wacker L., Adolphi F., Büntgen U., Capano M., Fahrni S., Fogtmann-Schulz A., Friedrich R., Köhler P., Kudsk S., Miyake F., Olsen J., Reinig F., Sakamoto M., Sookdeo A., Talamo S. 2020 : The IntCal20 Northern Hemisphere radiocarbon age calibration curve (0-55 cal kBP), *Radiocarbon*, 62-4, p. 725-757.

Sarreste F. 2011 : *La sidérurgie antique dans le Bas Maine*, Tours, Presses universitaires François-Rabelais (coll. Perspectives historiques), 314 p.

Sarreste F., Champeaux D. 2019 : Habitat et activités sidérurgiques du second âge du Fer (La Tène B1/C2) à Port-sur-Saône (Haute-Saône), *Bulletin de l'AFEAF*, 37, p. 25-27.

Sarreste F., Lacroix S. 2021 : Les prospections pédestres dans le Bois de Meillant : premiers résultats et perspectives pour 2022, in Kaurin J., Pignot I., Poulle P. (dir.), *L'abbaye cistercienne de Noirlac (Bruère-Allichamps, Cher). Synthèse des données en vue de leur publication. Compte-rendu d'activités 2021 et programme 2022*, Orléans (coll. Rapport de PCR).

Venault S., Tisserand N., Berranger M., Gaëtan L., Mouton-Venault S., Vincent G., Cabboi L., Nouvel P. à paraître : Un quartier de forgerons du I^{er}-II^e s. apr. J.-C. à Entrains-sur-Nohain /Intaranum (Nièvre), in *Le rôle de l'artisanat dans la genèse et la structuration des agglomérations*, Table ronde tenue à la Maison de l'Archéologie et Ethnographie et organisée par l'UMR 7041 ArScan-GAMA, Février 2016, Nanterre, France.

Verna C. 1995 : *Les mines et les forges des Cisterciens en Champagne méridionale et en Bourgogne du Nord, XII^e-XV^e siècle*, Paris, AEDEH (coll. Histoire et patrimoine), 95 p.

Vivet J.-B. 1997 : Paléoméallurgie du fer à l'est de la Rance et dans le Combournais. Bilan interprétatif des données de prospection, *Dossiers du Ce.R.A.A.*, 25, p. 57-90.

Vivet J.-B. 2007 : La production du fer protohistorique en haute Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques, in Milcent P.-Y. (dir.), *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal. Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF (Toulouse, 20-23 mai 2004)*, Pessac, Fédération Aquitania (coll. Suppl. à Aquitania), p. 63-84.

Vivet J.-B. 2008 : Pilleverte II, en Plesder (35) : un atelier armoricain de production massive de fer au Haut-Empire, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 36, p. 73-102.

Vivet J.-B. (dir.) 2009 : *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (35)*, Rennes, Centre régional d'archéologie d'Alet (coll. Les Dossiers du Ce.R.A.A.), 221 p.

Zaour N. 2021 : *La métallurgie du fer en Normandie et ses marges de l'âge du Fer au Moyen Âge : approches interdisciplinaires ; archéologique et archéométrique*, Thèse de doctorat, université Bourgogne-Franche-Comté, 879 p.

ANNEXES

Annexe numérique

L'annexe numérique mentionnée dans l'article est consultable sur le site de la revue :

• **Annexe 1**

Tableau synthétique des 210 dates radiocarbone exploitables issues des 159 sites prospectés

NOTES

1. Nous tenons à remercier en premier lieu Stéphane Venault et Sylvie Laurent-Corsini pour leur participation active et fidèle aux campagnes de prospections-prélèvements sur les sites de réduction. Les résultats présentés ici sont issus d'un projet collectif de recherche qui a bénéficié d'un soutien récurrent de la part de la Drac Bourgogne-Franche-Comté, du CNRS, de la MSHE Ledoux de Besançon et de l'Inrap. De plus, une grande part des datations radiocarbone ont été réalisées par l'accélérateur ARTEMIS (UMR 5138 ; LMC 14 - UMS 2572). Que ces institutions soient remerciées pour leur soutien financier ou sous forme de mise à disposition de moyens matériels ou de jours de recherche.

2. « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions », sous la coordination de Marion Berranger (LMC-Iramat), avec la participation d'une vingtaine de chercheurs.

3. L'annexe 1 est consultable sur le site de la revue *Gallia* : <https://gallia.cnrs.fr/annexes/>

4. Ce travail est assuré par Olivier Girardclos, ingénieur de recherche au laboratoire Chrono-environnement, UMR 6249, CNRS. Avant 2015, un certain nombre d'échantillons ont néanmoins été observés avant analyse, soit « spontanément », soit par les laboratoires. Le ré-examen des témoins conservés a parfois permis de confirmer que les analyses avaient bien porté sur des branchettes ou sur de l'aubier.

5. 140 000 tonnes de scories sont ainsi récupérées sur le seul Ferrier de la Roserie, à La Villotte (ancienne commune du département de l'Yonne, rattachée depuis 1972 à la commune de Villiers-Saint-Benoît), pour la construction d'une ligne de chemin de fer dans les années 1880.

6. Tous les gros amas occupant des surfaces de plusieurs hectares ont été exploités intensément jusqu'à plus de 70 % de leur volume initial, certains ayant totalement disparu. Des cartes postales éditées à l'époque témoignent de cette exploitation et des hauteurs initiales (Bouthier 1982, fig. 1, p. 141 ; Bouthier *et al.* 1987, fig. 1, p. 253 ; Piétak *et al.* 2012, fig. 2 et 3, p. 119).
7. L'extrémité sud-est du département du Loiret, entre Bonny-sur-Loire, Briare et Châtillon-Colligny fait partie de la région naturelle de la Puisaye.
8. Cette opération archéologique est à l'heure actuelle la seule qui ait permis de fouiller, au moins partiellement, deux ateliers de production du fer : un four de réduction, peut-être associé à un foyer de forgeage, daté par radiocarbone dans un intervalle de temps compris entre 835 et 435 cal. BC ; une batterie de deux fourneaux de réduction datée des I^{er}-II^e s. apr. J.-C.
9. Il faut souligner l'aide précieuse apportée par J.-P. Piétak dans le cadre de ces différentes approches. C'est grâce à son intervention qu'il est possible de sélectionner des sites en fonction de la typologie des scories. Il assure également au préalable un travail de préparation et de repérage permettant de mener avec une grande efficacité les campagnes de terrain.
10. Le choix de ces zones-atelier a été guidé par leur localisation au sein des plus grosses concentrations de sites, mais aussi par l'accessibilité aux parcelles et la possibilité d'y obtenir des autorisations de sondages. Il s'agit en effet des rares espaces de forêts publiques existant dans ce secteur.
11. Nouvelle commune créée en 2017 par la fusion des anciennes communes d'Aillant-sur-Tholon, Champvallou, Villiers-sur-Tholon et Volgré.
12. Cet ensemble s'étend à cheval sur les départements de l'Yonne, de l'Aube, du Loiret et de la Seine-et-Marne.
13. Il s'agit pour la fin du V^e s. av. J.-C. du site de Charmoy à Écuellen, pour les IV^e-III^e s. av. J.-C. du site de Bois Bruneaux à Villeroy en rive gauche de l'Yonne, et de Marais du Pont et Beauchamp à Varennes-sur-Seine (Seine-et-Marne), du site de Boulins à Saint-Julien-du-Sault et de Noslon à Cuy (Yonne) pour le II^e s. ou début du I^{er} s. av. J.-C. (Leroy, Cabboi dir. 2019).
14. Date calibrée entre 40 cal. BC et 200 cal. AD.
15. Les travaux d'A. Bouthier ont pour cadre le département de la Nièvre, ou tout au moins sa moitié occidentale. C'est pourquoi il inclut dans ses présentations les amas de scories recensés dans l'extrémité nord-ouest, dans la région de Saint-Amand-en-Puisaye et dans celle d'Alligny-Cosne, mais qui appartiennent à la zone de production correspondant à la région naturelle de Puisaye, qui a été présentée ci-dessus.
16. On parle là des extrémités des plages de calibration radiocarbone et non de la période effective de l'activité sidérurgique.
17. M. Boukezzoula situe ces deux amas sur la commune de Laizé.
18. Entre 2 et 25 kg de scories ont été extraites par prélèvements.
19. Lanterne-Vertière 19, au Châtaignier, et Saint-Fargeau 40, au Bois de Bailly.
20. En Puisaye, à Treigny 1, au lieu-dit les Gâtines Beauchet, l'intervalle 542-393 cal. BC est probable à 93,9 % ; à Saint-Fargeau 28, au Bois de Bailly, l'intervalle 545-394 cal. BC est probable à 90,4 %. Dans les environs de Besançon à Petit-Mercey 32, au lieu-dit du Saucy, l'intervalle 542-391 cal. BC est probable à 95 %.

21. En Puisaye, sur le site du Bois des Ferriers à Montholon 20, ainsi qu'au Bois de Bailly à Saint-Fargeau 6 et 13. C'est aussi le cas sur le site des Fouetteries aux Clérimois.
22. En Puisaye, au Bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon 2 et 5 et aux Grand Usages à Villiers-Saint-Benoît 1 ; en Nivernais, sur le site de l'Abîme à Entrains-sur-Nohain 1, aux Grands Obues à Menestreau 1 et au Crot au Port à Fontenay-Près-Vezelay 1.
23. Étude Sylvie Mouton-Venault, Inrap-Artehis (Berranger *et al.* 2018)
24. Réalisation Matthieu Thivet, Chrono-environnement, UMR 6249, CNRS ; étude Margaux Herbrich dans le cadre de d'un master 2 de l'université de Bourgogne.
25. Documentés par exemple dans les autres zones-atelier de Puisaye, à Saint-Fargeau et Villiers-Saint-Benoît.
26. Bois des Grands Usages à Villiers-Saint-Benoit 10.
27. Bois des Grands Usages à Villiers-Saint-Benoit 5.
28. Dey A., Histoire de la ville et du comté de Saint-Fargeau, *Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne*, t. IX à XII, 1855 à 1858, cité par Aurélia Bully dans son inventaire des sources historiques (*in* Berranger *et al.* 2018). La transcription de la charte est accessible dans la base de données *Chartae galliae* : <http://www.cn-telma.fr/chartae-galliae/charte262462/>.
29. « *Item agellum Ferrolas situm in pago Autissiodorensi super fluviolum Lupe, cum edificiis, pratis, silvis, cum grege armenti et grege porcorum* », dans le *Bulletin de la Société archéologique de Sens*, t. 33, 1931-1932-1933, p. 323 (cité par A. Bully, *op. cit.*).
30. « *...Idemque colonia Potiolus, quem de haeredibus Helegio quondam visus sum recepisse, una cum colonica Ferrarias, cum mansis...* », dans Quantin M., *Cartulaire général de l'Yonne. Recueil de documents authentiques pour servir à l'histoire des pays qui forment ce département*, Perriquet et Rouillé, Auxerre, 1854, vol. I, n° VIII (cité par A. Bully, *op. cit.*). Voir aussi <http://www.cn-telma.fr/chartae-galliae/charte262462/>. D'après *Regnum Francorum online* (<http://francia.ahlfeldt.se/documents/15043>), le lieu désigné « *colonica Ferrarias* » correspondrait au lieu-dit Ferrière, entre Andryes et Étais-la-Sauvin, au nord de Clamecy et d'Entrains-sur-Nohain, ce qui se situerait nettement en dehors de la Puisaye. Mais cette localisation nous paraît sujette à caution.
31. Un site de l'époque mérovingienne en Nivernais, à Moussy 1, la Fontaine du Laitier. Outre les Clérimois, un site de la période carolingienne en pays d'Othe, à Aix-en-Othe 18, le Mineroy.
32. Pour la zone de Berthelange, l'hypothèse d'une intervention de l'État est défendue dans Forlin, Laurent 2014 (p. 207-214) et dans Laurent-Corsini, Laurent 2016 (p. 295-298).
33. Dans le Bois des Ferriers à Montholon, il s'agit d'une réactivation de la production (deux ateliers contigus datés des XI^e-XII^e s.) après une période vierge depuis le Bas-Empire romain. Dans le Bois de Bailly à Saint-Fargeau, il n'y a pas de sites datés entre la fin du X^e et le milieu du XIII^e s., mais deux sont connus pour les XIII^e-XIV^e s.
34. Le dépouillement des chartes cisterciennes franc-comtoises antérieures à 1350 permet de conclure que les moines ne font pas preuve d'un appétit particulier pour le fer : Chauvin 1991.
35. D'après Beck *et al.* 2008, le minerai de fer apparaît partout et de manière ordinaire dans les revenus seigneuriaux même si l'activité paraît soumise à un rythme irrégulier (p. 338-339).

36. Inventaire A. Bully dans Berranger *et al.* 2018.

RÉSUMÉS

Dès les années 1980, des campagnes de prospections archéologiques ont été conduites dans le nord-est et le centre-est de la France afin d'inventorier les sites sidérurgiques anciens, ce qui a conduit à en recenser plus d'un millier très inégalement répartis. Les données chronologiques restaient cependant trop ponctuelles pour tenter d'esquisser l'évolution des activités de réduction du minerai de fer dans cet espace géographique. Sur la base de ces inventaires, un programme collectif de recherche a débuté dans le courant des années 2010, afin de préciser la chronologie des zones de réduction en Bourgogne-Franche-Comté. Son objectif a été de dater un grand nombre de ces ateliers en tentant de recourir le plus systématiquement possible à la réalisation de datations par le radiocarbone sur des charbons prélevés en stratigraphie ou au sein de scories métallurgiques. Plus de 159 nouvelles dates ont ainsi été acquises, permettant de disposer, en tenant compte de celles déjà disponibles, de 210 dates exploitables issues de 159 sites. L'objet de cet article est de présenter les résultats de ces nouveaux travaux qui modifient substantiellement notre perception de la chronologie de la production du fer dans cette région.

As early as the 1980s, archaeological surveys have been carried out in the north-east and centre-east of France in order to inventory ancient smelting sites, whose installations are marked by accumulations of production waste. More than a thousand sites, very unevenly distributed over this territory, were inventoried. A few radiocarbon dates and the collection of ceramic material made it possible to propose an initial chronology. Roman period productions appeared to be the best known and most widespread. In the early 2000s, new radiocarbon dates made it possible to re-evaluate the importance of medieval siderurgical production, particularly in the Pays d'Othe and in the area known as Berthelange, south-west of Besançon. The chronological data, however, remained too limited to attempt to outline the evolution of iron ore smelting activities in this geographical area.

The spatial framework of this article is the present-day Burgundy-Franche-Comté region, within which more than 5,000 unevenly distributed smelting sites are currently known. The largest concentrations are to be found in the western part of Burgundy, in the natural regions of Puisaye, Pays d'Othe and Sénonais, in Morvan-Auxois, and in Franche-Comté in the so-called Berthelange area. Smaller groups are also known in the Nivernais and Mâconnais. On the basis of these inventories, a collective research programme began in the 2010s, in order to specify the chronology of the smelting areas in Burgundy-Franche-Comté. Its objective is to define the technical characteristics of the metallurgical operations and to date a large number of these workshops by using radiocarbon dating, as systematically as possible, on charcoal taken from stratigraphy or within metallurgical slag.

One hundred and eighty sites were studied and sampled. Thus, and taking into account previously acquired samples, more than 159 new radiocarbon dates were obtained, making it possible to identify 210 exploitable dates from 159 sites. The purpose of this article is to present the results of this new work which, by correlating dates from the workshops with the typology of the sites and the waste. This new approach has substantially modified our perception of the chronology of iron production in this region.

The first part of this article presents the results of the research carried out in the different production areas, while recalling the achievements of previous work. The second portion is devoted to the studies carried out on smelting slag. The last part proposes an attempt at interpreting the evolution of smelting activities. Four main chronological phases between the 8th century BC and the 15th century AD have been distinguished. The processing of ore into iron is now clearly documented from the Early Iron Age onwards in the western and eastern regions of this area. During the middle and final phases of the Second Iron Age and throughout the Roman Period, this production continuously developed in the western part of the area studied (Puisaye, Sénonais - Pays d'Othe, Nivernais). Grouping of production for the Roman period is revealed to have been vastly different from the long-envisaged hypothesis of an activity dispersed over a large north-eastern quarter of France. A break in the activity of these “western” production areas appears to have occurred in the 4th and 5th centuries AD. They were, however, active again during the early Middle Ages and other areas that had not previously existed appeared in the data (Morvan-Auxois, Mâconnais, the Berthelange area). With the exception of the Berthelange area, whose production is concentrated during the Merovingian period, the activity is continuous throughout the medieval period in all the other areas of production. Thus, smelting activity is more widely represented throughout the territory during this period than for the previous Roman one. Thus, the large production areas known historically in this geographical area from the 13th-14th centuries onwards possess clear predecessors.

AUTEURS

MARION BERRANGER

Iramat-LMC-CNRS-UMR 7065, UTBM site de Sévenans ; F-90010 Belfort Cedex

MARC LEROY

Iramat-LMC-CNRS-UMR7065, Musée de l'Histoire du Fer ; 1 avenue du Général-de-Gaulle, F-54140 Jarville-La-Malgrange

HERVÉ LAURENT

Drac Bourgogne-Franche-Comté ; 7 rue Charles Nodier, F-25000 Besançon

COLLABORATEUR_DESCRIPTION

RÉMY JEANNOT

Iramat-LMC-CNRS-UMR 7065, UTBM site de Sévenans ; F-90010 Belfort Cedex

JEAN-PIERRE PIÉTAK

Bénévole passionné ; Iramat-LMC-CNRS-UMR 7065, UTBM site de Sévenans ; F-90010 Belfort Cedex

OLIVIER GIRARDCLOS

Laboratoire « Chrono-environnement », UMR 6249, CNRS ; Université de Franche-Comté, 16 route de Gray, F-25030 Besançon Cedex

Rapport de synthèse 2021-2023, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions»

Commune / n° site	Lieu-dit	Espace de production	N° inventaire	Age C14 BP	Age calibré (Oxcal 2020)	Référence laboratoire	Référence obtention datation	Commentaire
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S4-402	1835 ± 30	125 AD - 318 AD	SacA-52871	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S4-401	1825 ± 30	127 AD - 325 AD	Poz-97980	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S3-302-pvt3	1960 ± 30	42 BC - 130 AD	SacA-52868	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S3-309-pvt10	1880 ± 30	81 AD - 236 AD	SacA-52870	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S2-201	1870 ± 30	84 AD - 239 AD	Poz-108559	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S3-US307-C1	1960 ± 30	42 BC - 130 AD	SacA-52869	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S4-C1	1920 ± 30	26 AD - 210 AD	Poz-98007	PCR	Derniers cerne
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S4-C2	1910 ± 30	28 AD - 215 AD	SacA-52872	PCR	Derniers cerne de baguette
AILLANT-SUR-THOLON 1	Bois des Ferriers	Puisaye	F1-S3-301-SC13	1960 ± 30	42 BC - 130 AD	Poz-98004	PCR	Indéterminé
AILLANT-SUR-THOLON 2	Bois des Ferriers	Puisaye	89.003.002.C1	1800 ± 30	165 AD - 346 AD	SacA-56233	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 3	Bois des Ferriers	Puisaye	F3-S1-101	1815 ± 30	130 AD - 330 AD	SacA-52873	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 3	Bois des Ferriers	Puisaye	F3-S2-205-C14	1850 ± 30	120 AD - 306 AD	SacA-52876	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 3	Bois des Ferriers	Puisaye	F3-S1-103-C2	1805 ± 30	132 AD - 340 AD	Poz-98006	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 3	Bois des Ferriers	Puisaye	F3-S2-203	1870 ± 30	84 AD - 239 AD	SacA-52875	PCR	Derniers cerne de baguette
AILLANT-SUR-THOLON 3	Bois des Ferriers	Puisaye	F3-S2-207-C12	1865 ± 30	85 AD - 241 AD	Poz-98005	PCR	Zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 4	Bois des Ferriers	Puisaye	89.003.004.C3	1860 ± 30	87 AD - 244 AD	Poz-108912	PCR	Baguette - zone indéterminée
AILLANT-SUR-THOLON 4	Bois des Ferriers	Puisaye	89.003.004.C1	1890 ± 30	76 AD - 231 AD	SacA-56234	PCR	Indéterminé
AILLANT-SUR-THOLON 5	Bois des Ferriers	Puisaye	F5.103.C1	1860 ± 30	87 AD - 244AD	SacA-56235	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 5	Bois des Ferriers	Puisaye	F5.111.C7	1925 ± 30	25 AD - 207 AD	SacA-56236	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 5	Bois des Ferriers	Puisaye	F5.104.C8	1940 ± 35	28 BC - 206 AD	Poz-133965	PCR	Indéterminé
AILLANT-SUR-THOLON 5	Bois des Ferriers	Puisaye	F5.108.C3	1940 ± 30	10 AD - 204 AD	Poz-108336	PCR	Zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 6	Bois des Ferriers	Puisaye	89.003.006.C1	1820 ± 30	130 AD - 326 AD	SacA-56237	PCR	Baguette - zone indéterminée
AILLANT-SUR-THOLON 7	Bois des Ferriers	Puisaye	89.003.007.C1	1845 ± 30	121 AD - 311 AD	SacA-56238	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 8	Bois des Ferriers	Puisaye	89.003.008.C1	2075 ± 30	172 BC - 8 AD	SacA-56239	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 8	Bois des Ferriers	Puisaye	89.003.008.C4	2145 ± 30	351 BC - 53 BC	SacA-59881	PCR	Indéterminé
AILLANT-SUR-THOLON 9	Bois des Ferriers	Puisaye	F9-S1-113	1865 ± 30	85 AD - 241 AD	SacA-53478	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 9	Bois des Ferriers	Puisaye	F9-S1-115-P7	1885 ± 30	78 AD - 234 AD	Poz-98003	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 9	Bois des Ferriers	Puisaye	F9-S1-104-C4	1825 ± 30	127 AD - 325 AD	SacA-53063	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 9	Bois des Ferriers	Puisaye	F9-S1-101	1805 ± 30	132 AD - 340 AD	SacA-52877	PCR	Dernier cerne de baguette
AILLANT-SUR-THOLON 10	Bois des Ferriers	Puisaye	F10.101.C1	880 ± 30	1045 AD - 1228 AD	SacA-56240	PCR	Indéterminé
AILLANT-SUR-THOLON 10	Bois des Ferriers	Puisaye	F10.109.C2	915 ± 30	1039 AD - 1210 AD	SacA-56241	PCR	Zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 20	Bois des Ferriers	Puisaye	F20.101.C5	2030 ± 30	147 BC - 69 AD	SacA-56242	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 20	Bois des Ferriers	Puisaye	F20.109.C6	1975 ± 30	41 BC - 122 AD	SacA 56243	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 20	Bois des Ferriers	Puisaye	F20.219.C3	1850 ± 30	120 AD - 306 AD	Poz-108418	PCR	Aubier
AILLANT-SUR-THOLON 20	Bois des Ferriers	Puisaye	F20.113.C7	1965 ± 35	45 BC - 197 AD	Poz-108259	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 20	Bois des Ferriers	Puisaye	F20.207.C1	1995 ± 30	48 BC - 116 AD	SacA-56245	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 20	Bois des Ferriers	Puisaye	F20.204.C4	1920 ± 30	26 AD - 210 AD	SacA-56244	PCR	Zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 23	Les Boulasseaux	Puisaye	89.003.023.C1	2240 ± 30	390 BC - 202 BC	SacA-56246	PCR	Baguette - zone cambiale
AILLANT-SUR-THOLON 23	Les Boulasseaux	Puisaye	89.003.023.C2	2325 ± 30	472 BC - 232 BC	Poz-108438	PCR	Indéterminé
AIX-EN-OTHE 13	Le Grand Gollot	Pays d'Othe	non indiqué	660 ± 100	1176 AD - 1446 AD	CRG-1363	Hors PCR - Beck et al., p. 355	Indéterminé
AIX-EN-OTHE 16	Le Mineroy	Pays d'Othe	non indiqué	920 ± 65	996 AD - 1260 AD	CRG-1361	Hors PCR - Beck et al., p. 355	Indéterminé
AIX-EN-OTHE 18	Le Mineroy	Pays d'Othe	non indiqué	1075 ± 50	774 AD - 1117 AD	CRG-1308	Hors PCR - Beck et al., p. 355	Indéterminé
ALLIGNY-COSNE 1	Les Reboulots - les Cornijons	Puisaye	58.002.001.C1	1845 ± 30	121 AD - 311 AD	Poz-108555	PCR	Poudre de charbon
ANTORPE 9	Au Bois Munier Ouest	Berthelange	39.012.009.C01	800 ± 45	1165 AD - 1283 AD	ETH-30752	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Baguette
ANTORPE 22	Au Bois Munier Ouest	Berthelange	39.012.022.C01	890 ± 30	1045 AD - 1223 AD	SacA-13438	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
BAUME-LES-DAMES 1	Chemin des Combes	Doubs	25.047.001.C2	1415 ± 50	551 AD - 759 AD	ETH-32317	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Derniers cerne
BEAUJEU 1	Les Pâtis	Haute Saône	70.058.0017	1475 ± 30	554 AD - 645 AD	SacA-6568	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Baguette
BERTHELANGE 4	à la Vau	Berthelange	25.055.004.C50	1580 ± 45	411 AD - 584 AD	ETH-31310	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
BERTHELANGE 37	Bois des Combottes	Berthelange	25.055.37.02	1475 ± 30	554 AD - 645 AD	SacA-42864	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Derniers cerne
BOUHY 1	La Vallée Saint Pélerin	Puisaye	58.036.001.C2	1745 ± 30	242 AD - 401 AD	Poz-125295	PCR	Indéterminé
BRIAUCOURT 1	En Faivorge	Haute Saône	70.097.1.52	1600 ± 30	416 AD - 545 AD	SacA-48921	PCR	Indéterminé
BUSSY-EN-OTHE 1	Bois de Migennes	Pays d'Othe	89.059.001.C1	2045 ± 30	154 BC - 58 AD	SacA-46991	PCR	Derniers cerne de baguette
BUSSY-EN-OTHE 1	Bois de Migennes	Pays d'Othe	89.059.001.C2	2205 ± 30	371 BC - 176 BC	SacA-46992	PCR	Indéterminé
BUSSY-EN-OTHE 2	Bois de Migennes	Pays d'Othe	89.059.001.C3	1025 ± 30	902 AD - 1150 AD	Poz-91965	PCR	Derniers cerne de baguette
BYANS-SUR-DOUBS 11	Levée de Jules César	Berthelange	25.105.011.C01	1500 ± 30	484 AD - 644 AD	SacA-13437	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Derniers cerne

Rapport de synthèse 2021-2023, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions»

CHAMPEAU-EN-MORVAN 3	Bas de la Fiotte	Morvan Auxois	21.139.003.C1	1435 ± 30	580 AD - 655 AD	Ly - 12504 (GrA)	PCR	Derniers cerne de baguette
CLÉRIMOIS (LES) 1	Les Fouetteries	Pays d'Othe	F125-1	1905 ± 30	31 AD - 219 AD	Poz-91970	PCR	Derniers cerne de baguette
CLÉRIMOIS (LES) 1	Les Fouetteries	Pays d'Othe	F146-1 us 1320	1955 ± 30	40 BC - 200 AD	SacA-50597	PCR	Derniers cerne de baguette
CLÉRIMOIS (LES) 1	Les Fouetteries	Pays d'Othe	89.111.604.C1	1980 ± 30	43 BC - 120 AD	SacA-62333	PCR	Derniers cerne de baguette
CLÉRIMOIS (LES) 1	Les Fouetteries	Pays d'Othe	F106	1860 ± 40	77 AD - 313 AD	LV-1965	Hors PCR - Dunikowski, Cabboi 1995	Indéterminé
CLÉRIMOIS (LES) 1	Les Fouetteries	Pays d'Othe	niv. 139	2130 ± 70	371 BC - 10 AD	LV-1887	Hors PCR - Dunikowski, Cabboi 1995	Indéterminé
CLÉRIMOIS (LES) 2	Les Fouetteries	Pays d'Othe	F11-1	1920 ± 30	26 AD - 210 AD	Poz-91967	PCR	Derniers cerne de baguette
CLÉRIMOIS (LES) 2	Les Fouetteries	Pays d'Othe	F151	2020 ± 50	157 BC - 120 AD	LV-1962	Hors PCR - Dunikowski, Cabboi 1995	Indéterminé
CLÉRIMOIS (LES) 3b	Les Fouetteries	Pays d'Othe	F50-1	1545 ± 30	433 AD - 592 AD	Poz-91968	PCR	Indéterminé
CLÉRIMOIS (LES) 3b	Les Fouetteries	Pays d'Othe	F21	1560 ± 60	404 AD - 640 AD	LV-1891	Hors PCR - Dunikowski, Cabboi 1995	Indéterminé
COURCELLES-FREMOY 1	Chaume de Montfargeon	Morvan Auxois	21.203.001.C5	1165 ± 30	772 AD - 976 AD	Poz-125296	PCR	Indéterminé
COURCELLES-FRÉMOY 16	Civral le Pendant de Bèze	Morvan Auxois	21.203.016.C1	1585 ± 30	419 AD - 550 AD	SacA-62322	PCR	Indéterminé
COURTEFONTAINE 1	Forêt communale de Salans, parcelle 3	Berthelange	39.172.1.01	1545 ± 30	433 AD - 592 AD	SacA-22667	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Proche zone cambiale.
DAMPIERRE 15	Forêt communale parcelle 12	Berthelange	39.109.015.C1	1550 ± 30	431 AD - 587 AD	SacA-22669	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Zone cambiale
DAMPIERRE 16	Le Chemin des Crasses	Berthelange	39.109.016.C1	1535 ± 30	434 AD - 601 AD	SacA-22668	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
DAMPIERRE 8	Le Chemin des Crasses	Berthelange	39.190.008.C1	1440 ± 45	556 AD - 661 AD	ETH-32714	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Baguette - zone cambiale
DAMPIERRE 9	Bois de La Grande Combe	Berthelange	39.109.009.C1	1430 ± 45	550 AD - 666 AD	ETH-32715	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Branchette, 50 cerne
DAMPIERRE 18	Bois de Dampierre	Berthelange	39.109.018.C50	1455 ± 30	568 AD - 650 AD	SacA-28251	Hors PCR - inédit	Baguette - zone cambiale
DAMPIERRE 19	Bois de Dampierre	Berthelange	39.109.019.C25	1425 ± 30	586 AD - 659 AD	SacA-28252	Hors PCR - inédit	Derniers cerne de branche
DAMPIERRE 20	Bois de Dampierre	Berthelange	39.109.020.C1	1410 ± 30	597 AD - 664 AD	SacA-39083	Hors PCR - inédit	Proche zone cambiale
DRACY 2	Le Ferrier Guillou	Puisaye	non indiqué	1825 ± 30	127 AD - 325 AD	Ly-11877	Hors PCR - Piétak et al. 2012, tabl. 1	Indéterminé
DRACY 3	Ferrier des Noirs	Puisaye	non indiqué	1785 ± 35	204 AD - 381 AD	Ly-13471	Hors PCR - Piétak et al. 2012, tabl. 1	Indéterminé
DRACY 10	La Grande Pâtur	Puisaye	89.147.010.C4	2365 ± 30	540 BC - 387 BC	Poz-102416	PCR	Poudre de charbon
ENTRAINS-SUR-NOHAIN 1	L'abîme	Nivernais	US404-S4-C3	1970 ± 30	41 BC - 124 AD	SacA-50595	PCR	Derniers cerne de baguette
ENTRAINS-SUR-NOHAIN 1	L'abîme	Nivernais	US502-S5-C3	1845 ± 30	121 AD - 311 AD	SacA-50596	PCR	Derniers cerne de baguette
ENTRAINS-SUR-NOHAIN 1	L'abîme	Nivernais	US104-S1-C4	1880 ± 30	81 AD - 236 AD	Poz-91966	PCR	Indéterminé
ENTRAINS-SUR-NOHAIN 1	L'abîme	Nivernais	US104-S1-C5	2000 ± 30	51 BC - 116 AD	SacA-52752	PCR	Indéterminé
ENTRAINS-SUR-NOHAIN 16	L'abîme	Nivernais	US102-S1-C6	615 ± 30	1299 AD - 1401 AD	Poz-91975	PCR	Indéterminé
ESSAROIS 1	Combe de Messire Gond	Châtillonnais	CHA 101	315 ± 30	1490 AD - 1646 AD	SacA-43074	Hors PCR - Goguey, Bénard 2018	Indéterminé
ESSAROIS 1	Combe de Messire Gond	Châtillonnais	Essarois 2012 P1	540 ± 30	1322 AD - 1437 AD	SacA-43071	Hors PCR - Goguey, Bénard 2018	Indéterminé
ETRABONNE 11	Grandes Vènes	Berthelange	25.225.011.C1	2370 ± 30	541 BC - 389 BC	Poz-108417	PCR	Indéterminé
ÉVANS 18	Bois d'Hyombre	Berthelange	39.219.018.C1	1480 ± 30	550 AD - 644 AD	SacA-13436	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Zone cambiale
ÉVANS 26	Bois d'Hyombre	Berthelange	39.219.026.C1	1505 ± 30	442 AD - 643 AD	SacA-16627	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
FAVERELLES 1	Bois des Beurtes (+ champ)	Puisaye	45.141.002.C11/1	2360 ± 30	540 BC - 386 BC	Poz-102486	PCR	Derniers cerne de baguette
FAVERELLES 1	Champs des Beurtes	Puisaye	45.141.001.C5	2305 ± 35	414 BC - 208 BC	Poz-101974	PCR	Indéterminé
FERRIÈRES-LES-BOIS 3	Pré Fergeux	Berthelange	25.235.003.C15	1525 ± 30	435 AD - 605 AD	SacA-62329	PCR	Baguette - zone cambiale
FERRIÈRES-LES-BOIS 7	Le Bouvier	Berthelange	25.235.007.C1	1490 ± 30	545 AD - 642 AD	SacA-13439	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
FERRIÈRES-LES-BOIS 8	Le Bouvier	Berthelange	25.235.008.C3	1515 ± 30	436 AD - 640 AD	SacA-25466	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Baguette - zone cambiale
FONTENAY-PRÈS-VEZELAY 1	Le Crot au Port	Vézélien	89.176.001.001	1840 ± 30	124 AD - 311 AD	SacA-46994	PCR	Baguette - zone cambiale
FONTENAY-PRÈS-VEZELAY 1	Le Crot au Port	Vézélien	89.176.001.002	1795 ± 30	169 AD - 350 AD	Poz-91974	PCR	Indéterminé
GOUX-LES-USIERS 1	Montmatigni	Haut-Doubs	25.282.001.C10	1480 ± 30	550 AD - 644 AD	SacA-62332	PCR	Derniers cerne de baguette
GOUX-LES-USIERS 2	Combe de Ferrière	Haut-Doubs	25.282.002.C1	1695 ± 30	255 AD - 420 AD	SacA-37747	Hors PCR - Laurent inédit	Bois de cœur
GOUX-LES-USIERS 3	Combe de Ferrière	Haut-Doubs	25.282.003.C9	1325 ± 30	651 AD - 775 AD	SacA-62331	PCR	Derniers cerne de baguette
GOUX-LES-USIERS 4	Montmatigni	Haut-Doubs	25.282.004.C1	1465 ± 30	562 AD - 648 AD	SacA-29842	Hors PCR - Laurent inédit	Derniers cerne
LA-FERTE-LOUPIÈRE 2	La Bernière (Ferrier des 3 communes)	Puisaye	89.163.002.C3	2060 ± 30	162 BC - 17 AD	Poz-102197	PCR	Indéterminé
LANTENNE-VERTIÈRE 12	Ruisseau de Cottier	Berthelange	25.326.012.C1	1590 ± 30	419 AD - 548 AD	SacA-29843	Hors PCR - Laurent inédit	Derniers cerne de baguette
LANTENNE-VERTIÈRE 13	Ruisseau de Cottier	Berthelange	25.326.013.C1	1520 ± 30	436 AD - 637 AD	SacA-29844	Hors PCR - Laurent inédit	Indéterminé

Rapport de synthèse 2021-2023, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions»

LANTENNE-VERTIÈRE 19	Le Châtaignier	Berthelange	25.326.019.C1	2505 ± 30	780 BC - 540 BC	SacA-62330	PCR	Aubier
LAROCHEMILLAY 1	Les Corseries sud (La Ruchette)	Morvan Bibracte	non indiqué	1785 ± 30	210 AD - 353 AD	Poz-41705	Hors PCR - Camizuli 2013	Indéterminé
LAROCHEMILLAY 1	Les Corseries sud (La Ruchette)	Morvan Bibracte	non indiqué	1670 ± 30	257 AD - 531 AD	Ly - 9030	Hors PCR - Camizuli 2013	Indéterminé
LAVAU 1	La Coutelée	Puisaye	89.220.001.C1	2410 ± 30	743 BC - 399 BC	Poz-129264	PCR	Indéterminé
LOUVATANGE 1	Bois de Louvatange	Berthelange	39.302.001.C15	1290 ± 50	651 AD - 877 AD	Gif-9315	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
LOUVATANGE 2	Bois de Louvatange	Berthelange	39.302.002.C10	1440 ± 45	556 AD - 661 AD	ETH-31312	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Aubier
LOUVATANGE 3	Bois de Louvatange	Berthelange	39.302.003.01	1425 ± 30	586 AD - 659 AD	SacA-22670	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Baguette - zone cambiale
MARAYE-EN-OTHE 1	Forêt Domaniale de Foissy	Pays d'Othe	10.222.001.C1	880 ± 50	1040 AD - 1260 AD	CRG-1362	Hors PCR - Beck et al., p. 355	Indéterminé
MELIN 1	La Rochotte	Haute Saône	70.337.001.C11	1450 ± 30	571 AD - 651 AD	SacA-42865	PCR	Baguette - zone cambiale
MENESTREAU 1	Les Grandes Obues	Nivernais	301-S3-C1	1785 ± 30	210 AD - 353 AD	Poz-91973	PCR	Indéterminé
MERCEY-LE-GRAND 16	Le Saucy	Berthelange	25.374.016.01	1595 ± 45	401 AD - 580 AD	ETH-31311	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Derniers cernes
MERCEY-LE-GRAND 17	Le Saucy	Berthelange	25.374.017.01	1425 ± 45	561 AD - 669 AD	ETH-32716	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Aubier
MONTFAUCON 1	Nacra	Doubs	25.395.1.6B	2315 ± 30	451 BC - 229 BC	SacA-37749	PCR	Indéterminé
MONTLAY-EN-AUXOIS 2	En Nicerteau	Morvan Auxois	21.434.002.C1	1415 ± 30	595 AD - 662 AD	SacA-57840	PCR	Baguette - zone cambiale
MONTLAY-EN-AUXOIS 6	Le Bois d'Éguilly	Morvan Auxois	21.434.006.C2	1245 ± 30	677 AD - 878 AD	Poz-125297	PCR	Zone cambiale
MOUSSY 1	Fontaine du Laitier	Nivernais	58.184.001.C1	1440 ± 40	563 AD - 659 AD	Poz-108560	PCR	Poudre de charbon
PETIT-MERCEY (LE) 1	1+A120:M120	Berthelange	39.414.001.50	1635 ± 30	367 AD - 541 AD	SacA-16626	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
PETIT-MERCEY (LE) 24	Aux Saucys	Berthelange	39.414.024.01	1445 ± 30	574 AD - 653 AD	SacA-29845	Hors PCR - Laurent inédit	Indéterminé
PETIT-MERCEY (LE) 25	Aux Saucys	Berthelange	39.414.025.01	1485 ± 30	548 AD - 642 AD	SacA-13435	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
PETIT-MERCEY (LE) 32	Aux Saucy	Berthelange	39.414.32.C1	2375 ± 30	712 BC - 391 BC	Poz-108557	PCR	Poudre de charbon
PETIT-MERCEY (LE) 36	Aux Vernes	Berthelange	39.414.36.C05	2230 ± 30	387 BC - 200 BC	Ly-14725 (GrM)	PCR	Derniers cernes de baguette ?
PETIT-MERCEY (LE) 43	Cornes du Ranchot	Berthelange	39.414.43.01	640 ± 30	1285 AD - 1397 AD	SacA-46993	PCR	Derniers cernes de baguette
PIN 1	Grands Bois de Pin	Berthelange	70.410.001	1470 ± 45	481 AD - 658 AD	ETH-31376	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Indéterminé
POISEUX 1	Les Péchats	Nivernais	58.212.001.C1	1820 ± 30	130 AD - 326 AD	Poz-108556	PCR	Poudre de charbon
PORT-SUR-SAÔNE	La côte du Breuil	Haute Saône	F413 - PR05	2235 ± 30	389 BC - 201 BC	non indiqué	Hors PCR - Sarreste, Champeaux 2019	Derniers cernes de baguette
PORT-SUR-SAÔNE	La côte du Breuil	Haute Saône	F453 - PR61	2180 ± 30	364 BC - 131 BC	Poz-104719	Hors PCR - Sarreste, Champeaux 2019	Os
RAVEAU 4	Fontaine des Burgers	Nivernais	58.220.004.C2	1870 ± 30	84 AD - 239 AD	Poz-108795	PCR	Derniers cernes de baguette
RAVEAU 6	Fontaine des Burgers	Nivernais	58.220.006.C2	1765 ± 30	230 AD - 380 AD	Poz-125871	PCR	Indéterminé
ROCHE-EN-BREUIL (LA) 1	En Lécussy	Morvan Auxois	21.525.1.65	920 ± 30	1035 AD - 1210 AD	Ly-12505 (GrA)	PCR	Indéterminé
ROCHE-EN-BREUIL (LA) 22	En Lécussy	Morvan Auxois	non indiqué	770 ± 80	1045 AD - 1395 AD	Ly-3566	Hors PCR - Mangin et al. 1992, n°15A	Indéterminé
ROCHE-EN-BREUIL (LA) 23	Les Loppées	Morvan Auxois	21.525.023.C7	1190 ± 30	709 AD - 952 AD	Poz-125870	PCR	Indéterminé
ROCHE-EN-BREUIL (LA) 37	En Lécussy	Morvan Auxois	21.525.037.C1	1150 ± 30	773 AD - 988 AD	SacA-62323	PCR	Indéterminé
ROCHEFORT-SUR-NENON 1	Grange Vannand	Berthelange	39.462.001.10	1200 ± 45	682 AD - 975 AD	ETH-32318	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Derniers cernes de baguette
ROUTELE 1	au Bas Châtey	Berthelange	25.509.001.C1	2350 ± 30	537 BC - 381 BC	SacA-57841	PCR	Aubier
SAINT-AMAND-EN-PUISAYE 1	La Forge, La Charmille, Champ de la Croix	Puisaye	58.227.1.SC5	1910 ± 30	28 AD - 215 AD	SacA-52751	PCR	Derniers cernes de baguette
SAINT-AUBIN-LES-FORGES 4	Les Rondelles	Nivernais	58.231.004.C2	1875 ± 30	83 AD - 237 AD	Poz-125160	PCR	Derniers cernes de baguette
SAINT-DIDIER 8	Chaume Guillemain	Morvan Auxois	21.546.008.C9	1070 ± 30	893 AD - 1026 AD	Poz-125299	PCR	Baguette - zone cambiale
SAINT-FARGEAU 1	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.001.C4	2140 ± 35	352 BC - 51 BC	Poz-116063	PCR	Poudre de charbon
SAINT-FARGEAU 3	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.003.C3	1970 ± 30	41 BC - 124 AD	Poz-129136	PCR	Derniers cernes de baguette
SAINT-FARGEAU 3	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.003.C2	2345 ± 30	516 BC - 374 BC	SacA-59876	PCR	Poudre de charbon
SAINT-FARGEAU 4	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.004.C1	1240 ± 30	679 AD - 880 AD	Poz-129270	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 5	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.005.C1	2230 ± 30	387 BC - 200 BC	Poz-115987	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 6	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.006.C1	1930 ± 30	22 AD - 206 AD	Poz-125307	PCR	Baguette - zone cambiale
SAINT-FARGEAU 6	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.006.C2	2075 ± 30	172 BC - 8 AD	SacA-62324	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 8	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.008.C1	2170 ± 30	360 BC - 103 BC	SacA-59875	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 10	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.010.C1	1145 ± 30	774 AD - 990 AD	Poz-133963	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 11	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.011.C2	1215 ± 30	689 AD - 890 AD	Poz-129137	PCR	Baguette
SAINT-FARGEAU 12	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.012A.C2	710 ± 30	1262 AD - 1387 AD	Poz-115990	PCR	Zone cambiale
SAINT-FARGEAU 13	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.013.C2	2030 ± 30	147 BC - 69 AD	SacA-62327	PCR	Allure de baguette
SAINT-FARGEAU 14	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.014.C1	1200 ± 30	706 AD - 945 AD	Poz-129180	PCR	Baguette - aubier
SAINT-FARGEAU 18	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.018.C1	1170 ± 30	772 AD - 974 AD	Poz-115989	PCR	Zone cambiale
SAINT-FARGEAU 23	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.023.C1	2310 ± 30	413 BC - 229 BC	SacA-59879	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 26	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.026.C1	2355 ± 30	538 BC - 383 BC	Poz-116064	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 27	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.027.C1	2215 ± 30	381 BC - 197 BC	SacA-62325	PCR	Poudre de charbon
SAINT-FARGEAU 28	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.028.C1	2390 ± 30	725 BC - 394 BC	SacA-62326	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 31	Bois du Parc	Puisaye	89.344.031.C1	2325 ± 30	472 BC - 232 BC	Poz-102193	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 31	Bois du Parc	Puisaye	89.344.031.C3	2320 ± 30	459 BC - 231 BC	SacA-56247	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 33	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.033.C1	2240 ± 30	390 BC - 202 BC	Poz-116061	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 34	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.034.C1	1210 ± 30	702 AD - 892 AD	Poz-115985	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 36	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.036.C2	2180 ± 50	381 BC - 58 BC	Poz-125873	PCR	Poudre de charbon
SAINT-FARGEAU 40	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.040.C2	2270 ± 30	398 BC - 208 BC	Poz-116065	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 40	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.040.US328.C6	2485 ± 30	774 BC - 481 BC	Poz-143792	PCR	Aubier

Rapport de synthèse 2021-2023, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions»

SAINT-FARGEAU 40	Bois de Bailly	Puisaye	89.344.040.US215.C3	2300 ± 30	409 BC - 211 BC	Poz-143791	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 41	Les Colas	Puisaye	89.344.041.C1	1830 ± 30	127 AD - 320 AD	SacA-59880	PCR	Indéterminé
SAINT-FARGEAU 43	Réservoir du Bourdon	Puisaye	89.344.043.C1	2190 ± 35	380 BC - 125 BC	Poz-129181	PCR	Aubier
SAINT-FARGEAU 191	Bois du Parc	Puisaye	89.344.191.C2	580 ± 30	1305 AD - 1419 AD	Poz-143779	PCR	Baguette - zone cambiale
SAINT-FRANCHY 1	Fontaine du Laitier	Nivernais	58.240.001.C1	1875 ± 30	83 AD - 237 AD	Poz-108415	PCR	Indéterminé
SAINT-GERMAIN-DE-MODEON 1	Les Courtils	Morvan Auxois	21.548.001.C57	1490 ± 30	545 AD - 642 AD	SacA-57843	PCR	Aubier
SAINT-GERMAIN-DE-MODEON 7	Le Bonjan	Morvan Auxois	21.548.7.55	845 ± 30	1159 AD - 1267 AD	Ly-12507 (GrA)	PCR	Indéterminé
SAINT-GERMAIN-DE-MODEON 10	Gué des Beaumes	Morvan Auxois	21.548.010.C2	365 ± 30	1453 AD - 1635 AD	Poz-125872	PCR	Indéterminé
SAINT-GERMAIN-DE-MODEON 13	La Charmée	Morvan Auxois	21.548.013.C1	385 ± 30	1445 AD - 1631 AD	SacA-62328	PCR	Bois de cœur
SAINT-GERMAIN-DE-MODEON 14	Le Gué du Piéché	Morvan Auxois	21.548.014.C1	1430 ± 30	584 AD - 658 AD	SacA-57842	PCR	Baguette - zone cambiale
SAINT-REVERIEN 1	Forêt de Saint Révérien	Nivernais	52.US203.C5	1860 ± 30	87 AD - 244 AD	SacA-57846	PCR	Aubier
SAINT-REVERIEN 1	Forêt de Saint Révérien	Nivernais	S1.US103.C1	1860 ± 30	87 AD - 244 AD	SacA-57844	PCR	Baguette - zone cambiale
SAINT-REVERIEN 1	Forêt de Saint Révérien	Nivernais	S1.US105.C13	1830 ± 30	127 AD - 320 AD	SacA-57845	PCR	Baguette - zone cambiale
SAINT-REVERIEN 1	Forêt de Saint Révérien	Nivernais	S3.US303.C4	1870 ± 30	84 AD - 239 AD	SacA-57847	PCR	Baguette - zone cambiale
SAINT-REVERIEN 1	Forêt de Saint Révérien	Nivernais	Bouth 1	1780 ± 30	213 AD - 361 AD	Poz-33083	Hors PCR - Bouthier inédit	Indéterminé
THOSTE 2	Bois du Champ Rouge	Morvan Auxois	21.635.002.C7	1610 ± 40	384 AD - 562 AD	Poz-129917	PCR	Indéterminé
TOUCY 1	Bois des Cornillats	Puisaye	89.419.001.C1	1955 ± 30	40 BC - 200 AD	Poz-134068	PCR	Proche zone cambiale
TREIGNY 1	Les Gâtines Beauchet, Les Usages	Puisaye	89.420.001.SC16	2380 ± 30	717 BC - 393 BC	SacA-53061	PCR	Indéterminé
TREIGNY 2	Bois des Châtaigniers	Puisaye	89.420.002.C01	2280 ± 30	401 BC - 208 BC	Poz-102133	PCR	Indéterminé
TREIGNY 2	Bois des Châtaigniers	Puisaye	89.420.002.SC10	2005 ± 30	53 BC - 115 AD	SacA-53062	PCR	Indéterminé
TREIGNY 3	Bois de la Belle Fontaine (Parc de Bouttissaint)	Puisaye	89.420.003.C4	2365 ± 30	540 BC - 387 BC	Poz-115986	PCR	Indéterminé
VANDONCOURT 2	Le Pont Sarrazin	Doubs	25.586.00215	1630 ± 30	382 AD - 541 AD	SacA-16629	Hors PCR - Laurent-Corsini, Laurent 2016, fig. 4	Bois de cœur
VERZE 4 (appelé par erreur Laizé 11 "La Teppe Drue")	Terre Crebin	Mâconnais	71.250.011.C25	1280 ± 25	662 AD - 821 AD	ETH-59379	PCR	Baguette - zone cambiale.
VIC-DE-CHASSENAY 1	La Forêt	Morvan Auxois	21.676.001.C12	1555 ± 30	429 AD - 579 AD	Poz-125877	PCR	Derniers cernes
VIC-DE-CHASSENAY 7	Combe du Four	Morvan Auxois	21.676.007.C1	1480 ± 30	550 AD - 644 AD	Poz-125159	PCR	Zone cambiale
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 1	Les Grands Usages	Puisaye	non indiqué	1805 ± 50	124 AD - 376 AD	Ly-13469	Hors PCR - Piétak et al. 2012, tabl. 1	Indéterminé
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 2	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.002.C2	2180 ± 180	756 BC - 208 AD	Poz-129191	PCR	Aubier
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 4	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.004.C1	2265 ± 30	396 BC - 207 BC	Poz-129122	PCR	Baguette - zone cambiale ?
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 5	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.010.C1 (site 5)	2060 ± 50	338 BC - 70 AD	Poz-129117	PCR	Poudre de charbon
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 6	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.006.C1	2210 ± 30	377 BC - 178 BC	Poz-129121	PCR	Baguette - zone cambiale
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 6	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.006.C3	1425 ± 30	586 AD - 659 AD	Poz-134069	PCR	Baguette - zone cambiale
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 10	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.010.C2	1640 ± 30	363 AD - 539 AD	Poz-134440	PCR	Poudre de charbon
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 12	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.012.C1	1185 ± 30	710 AD - 957 AD	Poz-129115	PCR	Derniers cernes de baguette
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 13	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.013.C1	1365 ± 30	606 AD - 774 AD	Poz-129265	PCR	Aubier
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 14	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.014.C1	1350 ± 30	641 AD - 775 AD	Poz-129269	PCR	Baguette - zone cambiale
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 15	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.015.C2	2000 ± 30	51 BC - 116 AD	Poz-129351	PCR	Baguette - aubier
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 16	Les Grands Usages	Puisaye	89.472.016.C1	1230 ± 30	681 AD - 885 AD	Poz-129118	PCR	Aubier
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 19	Bois des Usages	Puisaye	89.472.019.C1	1385 ± 30	601 AD - 676 AD	Poz-129135	PCR	Baguette - aubier
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 20	Bois des Usages	Puisaye	89.472.020.C1	1390 ± 30	601 AD - 673 AD	Poz-129267	PCR	Aubier
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 24	Bois des Usages	Puisaye	89.472.024.C1	1085 ± 30	892 AD - 1021 AD	Poz-129116	PCR	Zone cambiale ?
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 25	Bois des Usages	Puisaye	89.472.025.C1	2155 ± 35	356 BC - 54 BC	Poz-129190	PCR	Poudre de charbon
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 27	Bois des Usages	Puisaye	89.472.027.C1	860 ± 30	1052 AD - 1263 AD	Poz-129268	PCR	Derniers cernes de baguette
VILLIERS-SAINT-BENOÎT 41	Bois Fendu n° 7	Puisaye	89.472.041.C2	2205 ± 30	371 BC - 176 BC	Poz-129119	PCR	Poudre de charbon
VILLIERS-SUR-THOLON 1	La Prée Murée	Puisaye	89.473.001.C3	1800 ± 30	165 AD - 346 AD	Poz-102195	PCR	Indéterminé
VILLIERS-SUR-THOLON 3	La Prée Murée	Puisaye	89.473.003.C3	1815 ± 30	130 AD - 330 AD	Poz-102196	PCR	Indéterminé
VILLIERS-SUR-THOLON 4	Les Ecoulois	Puisaye	89.473.004.C1	1890 ± 30	76 AD - 231 AD	SacA-56248	PCR	Indéterminé

3. Les travaux de terrain engagés en Puisaye en 2021 et 2022

Marion Berranger, Marc Leroy, Jean-Pierre Piétak

3. 1. Fouille d'un atelier de la Tène moyenne à Saint-Fargeau "Bois de Bailly" - site 40

3.1.1. Rappel des travaux antérieurs sur la zone-atelier de Saint-Fargeau.

Dans le cadre des recherches portant sur la Puisaye, le secteur de Saint-Fargeau «Bois de Bailly» est étudié depuis 2019. Une zone de 4 km² est prise en compte, correspondant aux limites des parcelles communales du Bois de Bailly (fig. 5 et chap. 2, fig. 1 et 3). Quarante entités archéologiques ont été enregistrées et vingt de ces sites ont été datés par méthode radiocarbone (Berranger 2020, 2021). Des sondages ponctuels, de moins de 1 m², ou plus extensifs, menés à la pelle mécanique ont concerné sept d'entre eux.

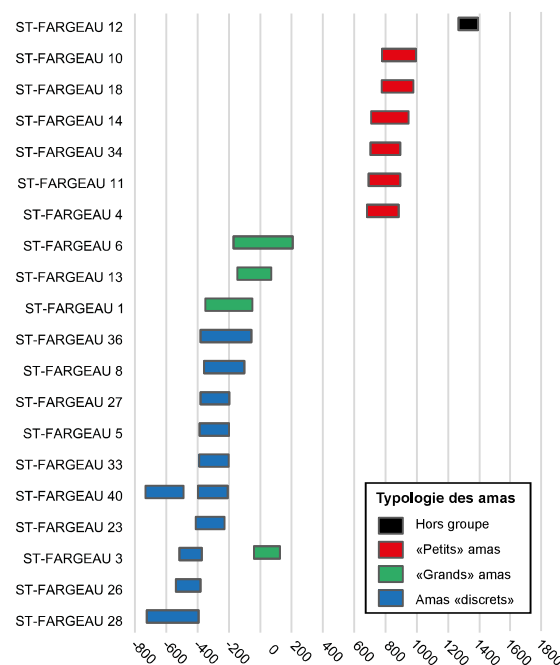
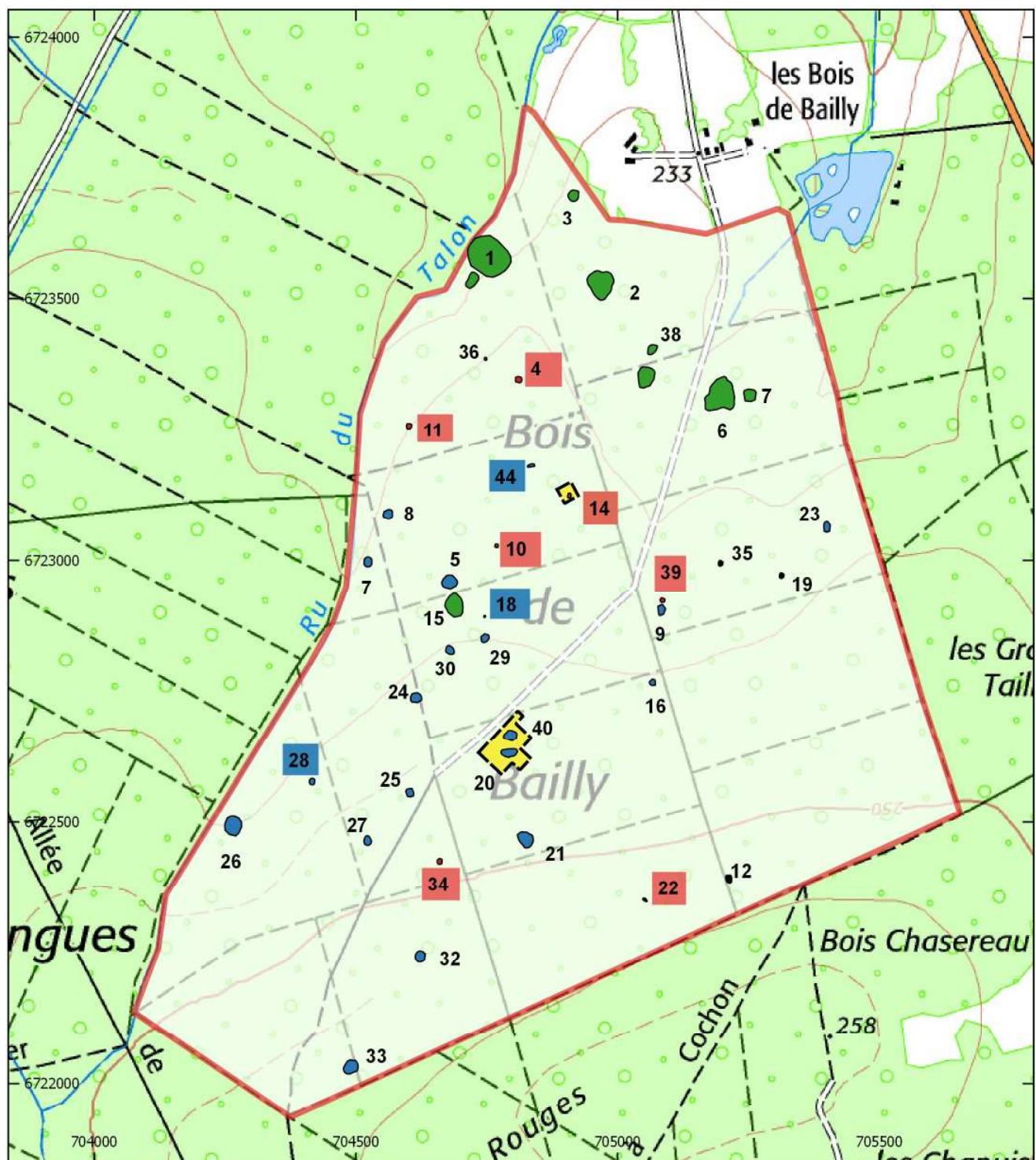


Figure n°4. Datations radiocarbone réalisées sur les amas de "Saint-Fargeau" Bois de Bailly (M. Berranger).

Les résultats des datations radiocarbone mettent en évidence plusieurs phases chronologiques, distinctes pour l'exploitation sidérurgique (fig. 4). Les plus anciens indices de production sont à dater entre le VIII^e et le V^e s. av. n. è. Quatre sites se situent dans cette fourchette chronologique. Dix amas sont datés de la période suivante, comprise entre les IV^e et III^e s., voire le milieu du I^{er} s. av. n.è. Dans la plupart des cas, ces dates proviennent de charbons prélevés au sein de scories visibles en surface des amas. Il s'agit de sites dits « discrets » caractérisés par une absence de relief ou par une très faible épaisseur (inférieure à 0,70 m) ainsi que de faibles concentrations de scories.

Deux, voire trois sites sont datés de la période antique, entre le I^{er} et le début du III^e s. de n.è. Un hiatus est constaté entre le début du III^e s. et la fin du VII^e s. de n.è. Une autre période d'activité s'étend de la fin du VII^e s. à la fin du X^e s. avec six sites datés durant cet intervalle de temps. Une dernière phase chronologique documentée correspond aux XIII^e-XIV^e s. avec un seul amas de déchets.



Saint-Fargeau 89.344

- Zone étudiée
- Typologie des amas
- "Petits" amas
- "Grands" amas
- Amas "discrets"
- Prospections géophysiques



Figure n°5. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", localisation des amas prospectés et de la zone fouillée (M. Berranger).

Après avoir défini les bases de la chronologie de l'exploitation sidérurgique dans ce secteur, nous souhaitons dans le cadre de la nouvelle programmation triennale du PCR sidérurgie étudier un petit nombre de sites plus précisément. Etant donné le grand nombre d'amas attribué à l'âge du Fer, il a été décidé d'entreprendre des fouilles sur l'un d'entre eux appartenant à la période la mieux représentée (IV^e-III^e s. av. n.è.) et se rattachant au type discret. Le site n°40 a été sélectionné suite à une première datation effectuée dans un micro-sondage, et ayant donné une date comprise entre 398 et 208 Cal. BC.

3.1.2. Problématiques et déroulement de l'opération de fouilles

La mise en œuvre de ces fouilles a pour but de répondre à plusieurs problématiques. Il s'agit tout d'abord de caractériser l'architecture des fours de réduction et leur fonctionnement. Combien de structures de réduction constituent un atelier de ce type, et comment s'organisent-elles dans l'espace ? Il s'agit également d'identifier et de caractériser d'éventuelles structures annexes et leur organisation. Des zones de préparation de minerai, de forgeage, des abris sont-ils présents et comment s'organisent-ils ? Se pose également la question des modalités de constitution de ces amas, peu visibles en élévation et ne comportant en apparence que peu de scories dans le sédiment de recouvrement. Nous souhaitons également entreprendre des calculs de volumes afin de disposer d'ordres de grandeur de masses de scories présentes dans l'amas, afin de les rapporter ultérieurement à des volumes de fer brut obtenu.

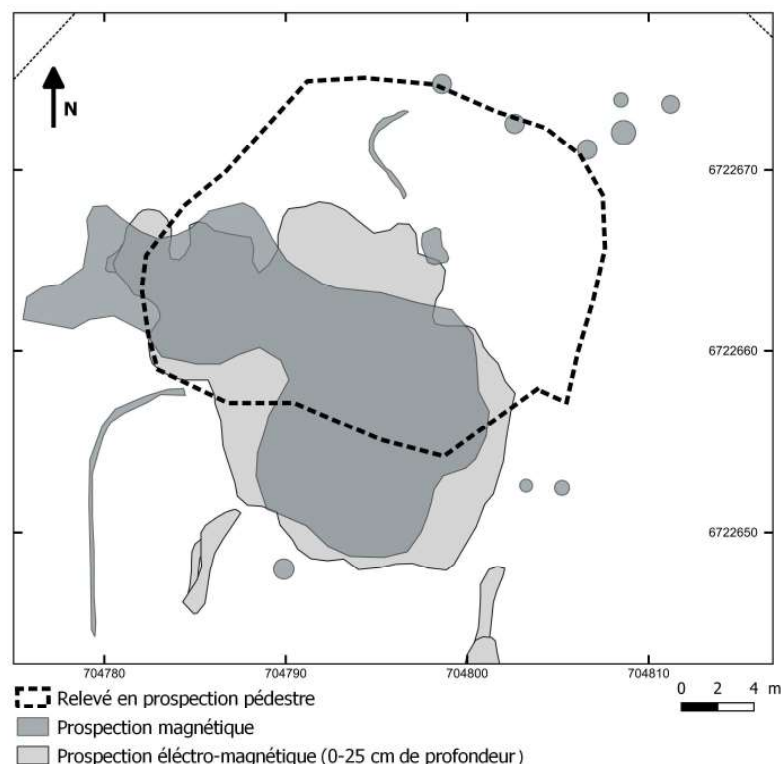


Figure n°6. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Comparaison entre les contours relevés en prospections pédestres et ceux relevés en prospections géophysiques (C. Sanchez, M. Berranger).

En 2020, des prospections géophysiques ont été réalisées afin de guider l'implantation des fenêtres de fouilles (Sanchez 2020). L'objectif était également de comparer l'extension de l'amas de déchets tel qu'il peut être perçu en prospections pédestres et par méthodes géophysiques, ainsi que d'aborder la question de la restitution en 3D du sous-sol (fig. 6-7). Il s'agissait enfin

de déterminer s'il était possible de localiser les structures de chauffe avec ce type d'approche. La méthode a croisé prospection magnétique sur 6150 m² et électromagnétique sur une surface de 1950 m².

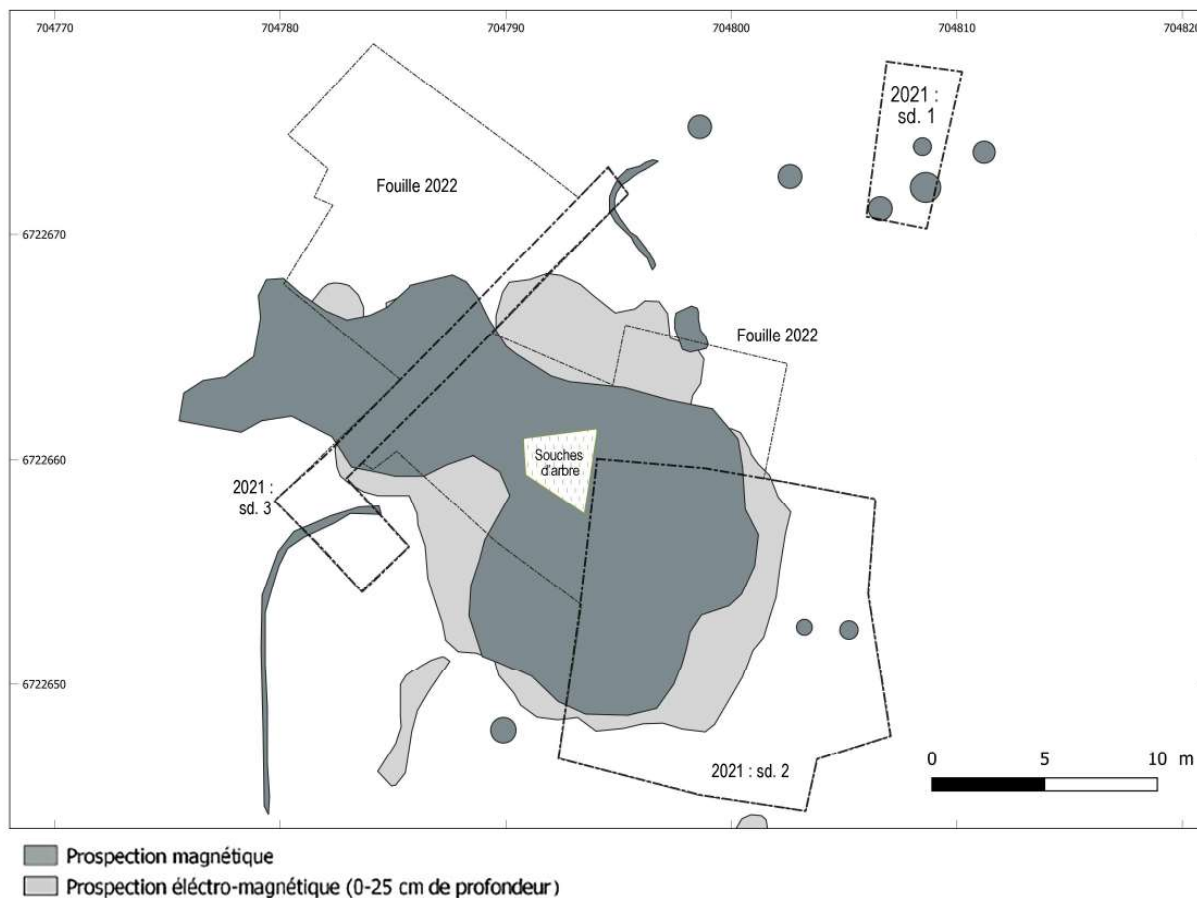


Figure n°7. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Implantation des sondages par année de fouilles, sur les anomalies géophysiques.

Une première campagne de fouilles s'est déroulée en 2021 en fonction de trois fenêtres implantées de manière à caractériser différents types d'anomalies révélées par prospections géophysiques. Une surface totale de 242 m² a été ouverte. Le sondage 1 qui correspond à une tranchée de 7 m de long implantée à l'emplacement d'anomalies magnétiques ponctuelles d'aspect circulaire s'est révélé stérile de toute structure archéologique jusqu'au terrain naturel. Le sondage 2, le plus grand, couvrait une surface de 180 m², en bordure sud-est de l'amas. A cet emplacement le décapage s'est arrêté sur les premiers niveaux archéologiques livrant des concentrations de déchets. Une superposition de niveaux archéologiques correspondant à des sols d'ateliers a été fouillée manuellement dans leur intégralité jusqu'au sol géologique. Le sondage 3 correspond à une tranchée de 55 m², de la largeur d'un godet de pelle mécanique, recoupant l'accumulation de déchets dans toute sa largeur jusqu'au sol naturel. Un bas fourneau en fosse ayant connu au moins deux phases d'utilisation a été fouillé, ainsi qu'une zone de concentration de minerai et un trou de poteau. L'ensemble de ces structures était visible sur le sol naturel. Une meilleure compréhension de l'organisation du site passait par un décapage plus extensif. En 2022, l'ensemble de l'espace accessible sur l'amas a été décapé et la fouille de cet espace a été achevée. Ce décapage a inclus dans ses limites les sondages 2 et 3 de 2021, portant à 435 m² la zone ouverte d'un seul tenant (fig. 8). Cela représente environ 90% de la surface de l'amas telle qu'estimée à partir des prospections géophysiques.

3.1.3. Rappel des principaux résultats

Les fouilles manuelle et mécanisée des niveaux d'occupation et de destruction permettent de restituer une organisation précise de l'espace. Les bas fourneaux sont groupés à l'ouest du site sur un espace restreint d'une dizaine de m² environ. Cette zone se situe en limite de fouilles, on ne peut donc exclure que d'autres bas fourneaux étaient présents au-delà. L'espace non décapé est cependant actuellement inaccessible à la fouille en raison d'une forte densité d'arbres, et notamment de chênes de fort diamètre.

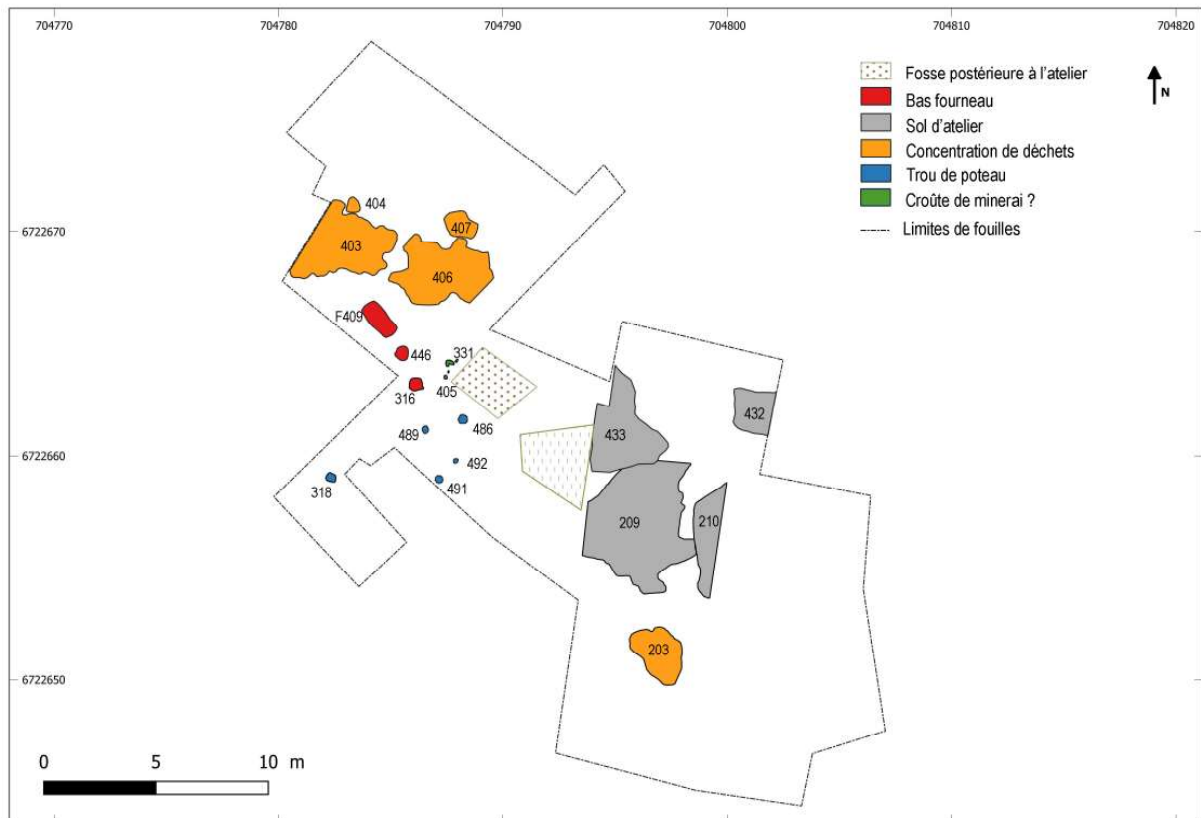


Figure n°8. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Plan général des vestiges (M. Berranger).

Cinq emplacements de bas fourneau ont été identifiés. Parmi ces derniers, trois sont aménagés au même emplacement, et sont superposés (F409). A proximité, le four 446 correspond à la fosse-réceptacle des scories sous la cheminée de réduction. Elle n'a pas plus de 25 cm de profondeur et a plutôt un profil en cuvette. Elle est donc quelque peu différente de la fosse-réceptacle du four 316, fouillée en 2021 et distante de moins de 2 m, profonde d'au moins 40 cm avec des bords verticaux et un fond légèrement concave. Les dimensions de la surface du bloc de scorie 440 donnent celle de la base de la cheminée qui surmonte cette fosse, environ 45 cm de diamètre.

Si on retient comme plausible l'hypothèse que la fosse 466 (F409) ait aussi servi de réceptacle de scories de réduction, sa forme allongée supposerait qu'il y ait eu des aménagements ou creusements successifs induisant la présence de plusieurs fourneaux. Sa profondeur maximale par rapport au toit du substrat environnant est de l'ordre de 35 cm.

L'ensemble formé par les scories US 402-419-430 (F409) qui se superpose au comblement de la fosse 466, correspond à un autre fourneau. Ces scories ne comblent pas une fosse-

réceptacle encastrée, sauf à considérer que le niveau de creusement était situé plutôt en surface de l'amas de déchets. Mais de ce niveau, il n'a été repéré aucun indice. La position des US 443 (possible niveau de fonctionnement recouvrant l'extrémité de la sole cuite) et US 410 (couche d'effondrement de paroi) suggère que la base du fourneau n'est que très faiblement encastrée et même qu'elle s'ouvrirait peut-être sur une avant-fosse en légère cuvette. La colonne du fourneau serait donc presque entièrement construite au-dessus du sol. Son diamètre interne pourrait être de l'ordre d'une cinquantaine de centimètres.

La nature du four 470 (F409), localisé sous la fosse 466, est plus difficile à établir en raison de l'absence de reliquat de fonctionnement associé. Si on retient l'hypothèse qu'il s'agit d'un fourneau de réduction, sa forme quadrangulaire, peut-être ouverte sur un côté (au sud-est), ses dimensions un peu plus importantes, la manière dont est aménagée sa base et la marque laissée par l'impact thermique ne le rattachent pas au même type de fourneau. Des comparaisons manquent pour l'instant. On ne peut exclure l'hypothèse qu'il puisse s'agir d'une structure de combustion qui n'a pas servi à transformer du minerai. Le four 470 a fait l'objet d'une phase de réfection marquée par un rechapage de son fond.

Immédiatement au nord de cette zone de travail se localise une zone de rejet (US 403, 404, 406, 407, 408) occupant environ 40 m², majoritairement constituée de fragments de cheminées de four démantelés (70% de la masse des déchets). Des fragments de scories sont également présents, mais ils sont de manière générale plus largement répartis au sein de l'amas. Les fragments de parois recueillis présentent des traces de façonnage permettant de restituer la fabrication des cheminées des bas fourneaux à partir de pains d'argile modelés et appliqués sur une structure de baguettes de bois. Le profil de certaines grosses parois permet également de restituer des cheminées avec une forme évasée vers le haut, ainsi que des cuves de plan quadrangulaire. Plusieurs morceaux de paroi recueillis montrent également des traces de rechapage (strate de terre cuite à surface vitrifiée recouvrant une autre strate de terre cuite à surface vitrifiée) qui indiquent clairement que les revêtements internes des cuves sont refaits et donc que ces fourneaux sont utilisés pour plusieurs opérations successives. Ces observations corroborent celles effectuées sur les fours 316 et 470 qui portent des traces de réutilisation.

Le faciès morphologique des scories mises au jour est caractéristique de four de réduction dans lesquels la scorie n'est pas évacuée par écoulement à l'extérieur de la cuve, mais dans lesquels elle s'agglomère dans le fond de la cuve sous forme de coulures plus ou moins longues qui s'écoulent entre des morceaux pluricentimétriques de charbon de bois. Ces écoulements peuvent former un bloc plus ou moins massif ou rester sous la forme de ramifications plus ou moins agglomérées. Trois blocs de scories piégées quasiment complets ont été mis au jour. Deux d'entre eux se localisaient en position fonctionnelle au sein des fours (89.344.040.SC033 provenant de l'US 402 et C89.344.040.SC034 provenant de l'US440) et une dernière a été basculée immédiatement à l'avant du four 316 dont elle provient vraisemblablement. Les autres éléments correspondent à des fragments plus ou moins volumineux de ce type de blocs, ou à des écoulements ponctuels plus ou moins massifs.

Si l'on rapporte la masse moyenne de ces trois blocs de scories (53,6 kg) à la masse totale des scories collectées (1422 kg), cette dernière correspondrait à l'équivalent de 26 contenus de four de réduction, soit autant d'opérations métallurgiques. Mais d'une part, cette masse de scories ne correspond pas à la totalité des scories présentes sur les surfaces fouillées puisque tous les fragments n'ont pas été collectés, et d'autre part la masse de scories entreposées sur le site est plus importante puisque tout l'amas n'a pas été fouillé. Si l'on se base sur une estimation de la

masse de scories tenant compte du volume estimé de l'amas et d'une concentration massique moyenne (Berranger et al. 2022, p. 55), c'est entre une cinquantaine (estimation basse 2,8 t.) et presque 140 (estimation haute 7,4 t.) opérations métallurgiques qui auraient eu lieu.

Au sud des bas fourneaux, une série de trous de poteau, dont certains avoisinent 50 à 20 cm de profondeur et de diamètre, ont été mis au jour, sans qu'il soit possible de restituer le plan cohérent d'un bâtiment. Peut-être ces poteaux appartiennent-ils à des délimitations (clôtures). Il est tentant de restituer dans ce secteur soit un abri, soit une zone de stockage, sans qu'il soit possible d'être plus précis. La présence de déchets sidérurgiques dans les comblements ou comme calages de ces trous de poteaux voisinant la zone de concentration des fours, permet d'attester leur contemporanéité avec l'exploitation sidérurgique.

Cette zone sud est également occupée par des niveaux de sols d'ateliers résultant de la préparation et du traitement de la matière première : préparation du charbon, concassage du minerai. Aucune structure de combustion n'a été identifiée. Les sols correspondent ici à des niveaux très compacts de limon brun-rouge formant des lentilles aux contours irréguliers et d'épaisseur inégales. Des fragments de scories et parois centimétriques sont parfois présents. Certaines concentrent de la poudre de minerais, d'autres des fragments de charbon. Il s'agit d'un millefeuille de niveaux de sols d'occupation imbriqués les uns dans les autres, sans qu'il soit possible de percevoir une structuration particulière de l'espace. A l'est, ces niveaux ont été fouillés manuellement en 2021, et de façon très partielle en 2022 en fonction de leur intérêt (présence de minerais, de charbon). L'étude des coupes stratigraphiques permet de cerner leur extension au-delà des zones décapées, sur l'ensemble des limites de fouilles, à l'exception de la bordure nord-ouest.

Au moins deux grands phases d'activités peuvent être reconnues. Trois datations ont déjà été réalisées et trois nouvelles dates viennent tout juste d'être reçues en janvier 2024 (annexe 7). Trois charbons prélevés dans les bas fourneau 316, et dans un niveau de remblai intermédiaire du four 466 donnent des dates se situant sur le plateau du Hallstatt, au plus large entre entre 780 et 381 Cal. BC (Berranger dir. 2021, p. 103, annexe 7), et qui correspondraient à une première phase d'activité. Les dates en provenance des niveaux de sols sont cohérentes entre elles et se situent dans un intervalle de temps plus récent compris entre 409 et 176 Cal. BC, et qui pourrait correspondre à une deuxième phase d'activité. D'autres charbons provenant des cuves des bas fourneaux doivent être encore datées pour mieux préciser ce phasage.

3.1.4. Etude des parois de four

La fouille de 2022 a porté sur une importante zone de rejets de parois de bas fourneau, se rattachant chronologiquement à la deuxième phase de fonctionnement du site (IV^e-II^e s. av. n.è.) Il est possible de réaliser des observations morphologiques, au moins partielles, sur plusieurs éléments plus ou moins complets. Les observations réalisées l'année dernière ont été complétées par un enregistrement photographique et par des relevés des coupes de pains d'argile.

Nous rappellerons les points importants issus des travaux sur ces parois. Leur étude se poursuit encore :

- l'argile utilisée pour la construction des fourneaux est assez grossière, elle conserve encore des inclusions grossières, millimétriques à centimétriques, de fragments de silex (fig. 9).
- Les traces de rechapage témoignent de la réutilisation de ces fours (fig. 10).



Figure n°9. Détail de la pâte d'un fragment de paroi de four, avec inclusions de silex



Figure n°10. Saint Fargeau 89.344.040.US 404, paroi avec orifice de ventilation et trace de rechappage

- les parois des fours semblent avoir été montées à partir de pains d'argile façonnés sur une matrice demi-circulaire. La superposition des sections de plusieurs pains d'argile permet d'envisager l'utilisation d'un gabarit standardisé (fig. 11-12). Leur épaisseur est comprise entre 45 et 100 mm (plus fréquemment entre 60 et 70 mm). Les pains sont souvent fragmentés ; ils mesurent en moyenne 130 mm de long (maxi 160 mm) pour une largeur comprise entre 100 et 150 mm. L'épaisseur de ces parois permettrait de les classer dans la catégorie des parois minces (Peyrat 2009), par opposition aux parois épaisses (de 10 à 30 cm) et aux parois fines (1 à 2 cm).



Figure n°11. Saint Fargeau, pains d'argile moulés sur matrice. 89.344.040.P28, P26, P32, P27 et P29 (DAO : M. Aubert, M. Berranger)

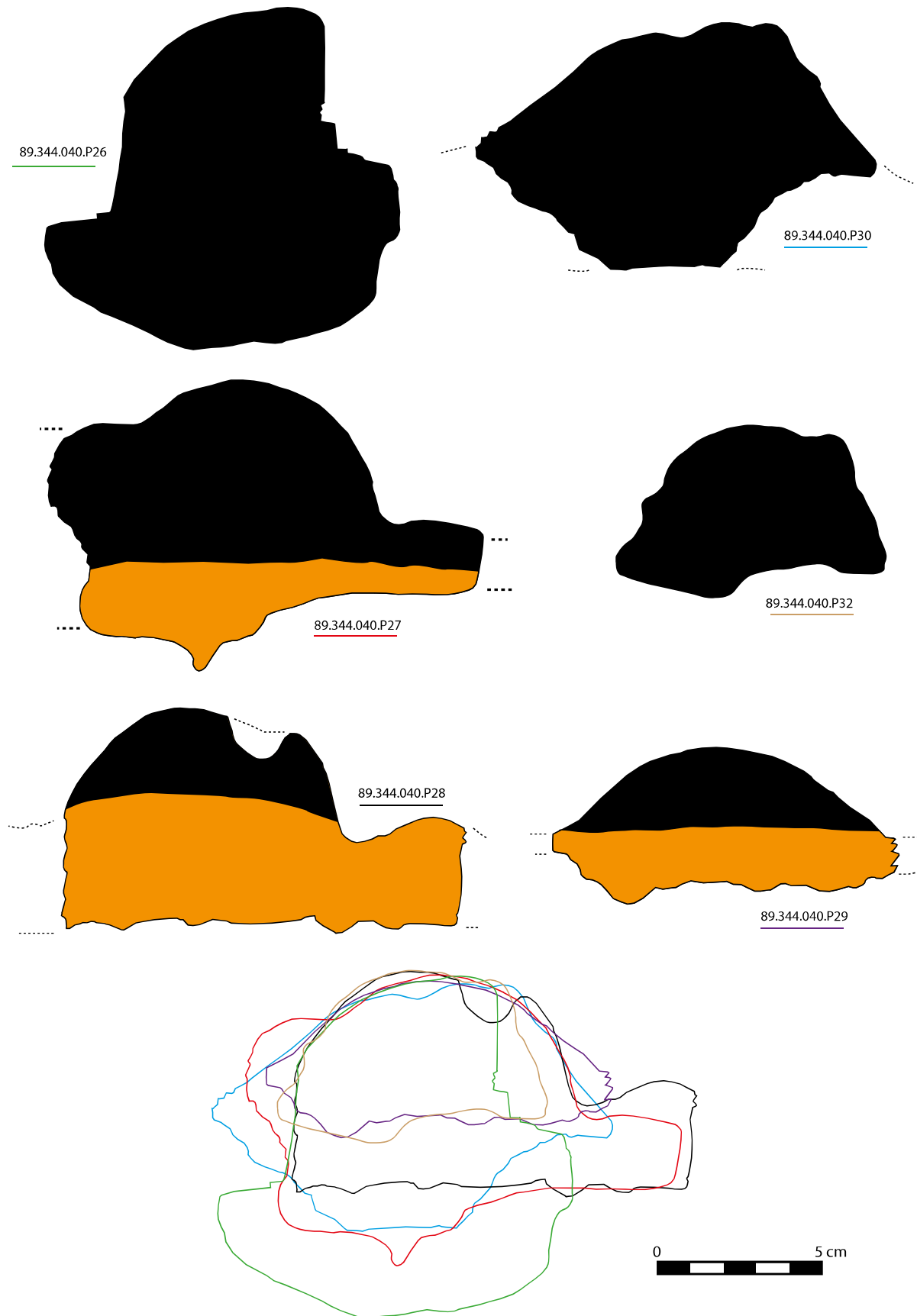


Figure n°12. Vue de détail des pains d'argile, et superposition de leurs profils mettant en évidence leur proximité métrique et morphologique. Il est probable qu'un gabarit était utilisé pour la mise en forme (DAO : M. Aubert, M. Berranger)

- L'écrasement des bords des pains d'argile indiquerait qu'après façonnage, les pains encore humides étaient appliqués sur une armature de branchettes de bois disposées verticalement en fonction d'un écartement compris entre 70 et 100 mm.

- Quelques pains sont accolés et partiellement soudés (fig. 13), ce qui indiquerait un montage de la cheminée par assemblage des pains d'argile après leur mise en forme. Les épaisseurs de scorifications diffèrent entre les exemplaires. La partie la plus scorifiée correspond cependant de manière récurrente à la partie plane (fig. 12). L'application des pains d'argile devait ainsi être effectuée depuis l'intérieur du four.



Figure n°13. Pains d'argile moulés et assemblés. 89.344.040.P31 (DAO : M. Berranger)

- Un grand fragment de paroi pourrait illustrer une mise en forme à partir d'une superposition de pains, seulement perceptibles à partir des zones de soudure. Une autre interprétation possible serait sa mise en forme par application sur des "baguettes" de bois superposées horizontalement (fig. 14).

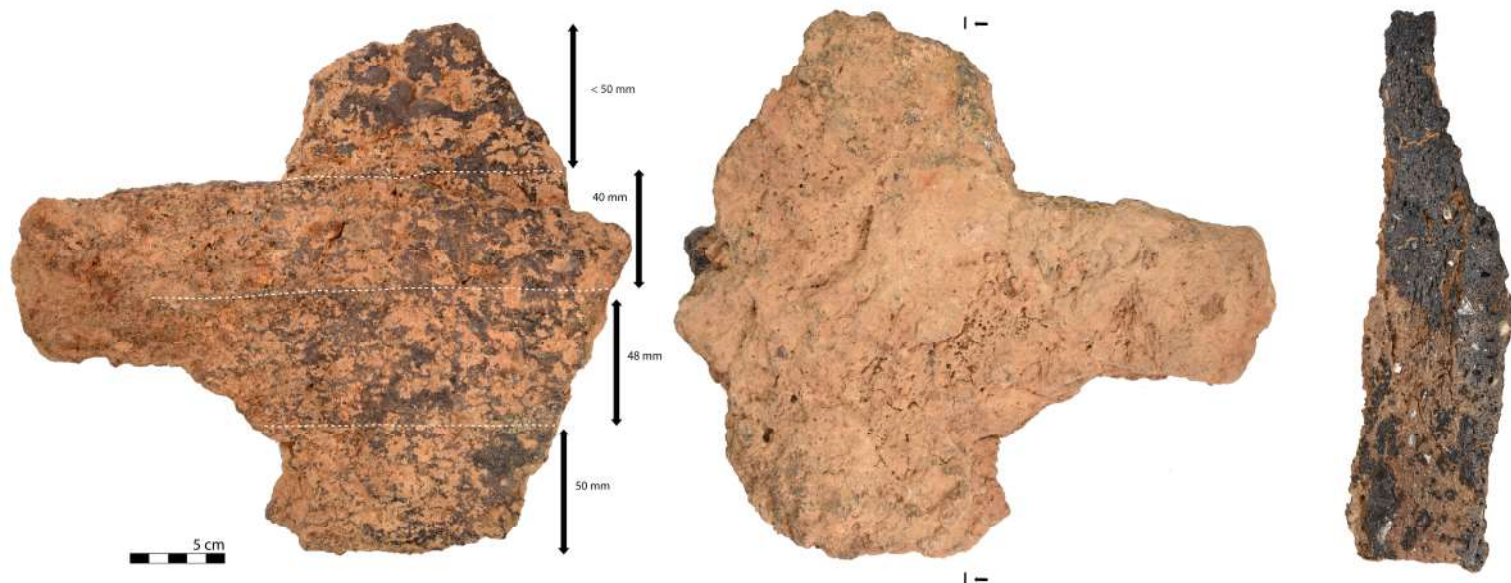


Figure n°14. Saint-Fargeau 89.344.040.US406

- Des empreintes d'orifices de ventilation, présentant une courbe circulaire, sont visibles sur plusieurs pains (fig. 10 et 15). Certains se caractérisent par des diamètres importants (sup. à 40 mm).

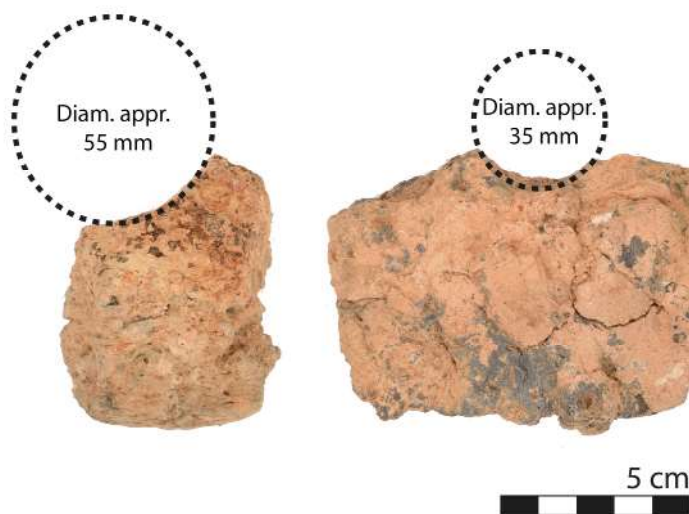


Figure n°15. Orifices de ventilation dans des parois scorifiées (89.344.040.US403)

3.1.5. Etude géomorphologique (Dominique Sordoillet)

Un échantillonnage en vue de l'étude micromorphologique des dépôts constituant le site 40 à Saint-Fargeau a été réalisé en juillet 2022. La problématique de l'étude géoarchéologique et la localisation des échantillons ont été exposés dans le précédent rapport intermédiaire du PCR (Berranger et al. 2022) et nous ne reprenons ici que les principaux éléments permettant de recontextualiser l'étude. La localisation approximative des logs est rappelée figure 16. Les deux coupes échantillonnées sont situées dans deux secteurs de fouille présentant des caractéristiques archéologiques quelque peu différentes. Le profil 1 est localisé à proximité d'une zone de travail du minerai matérialisée par des restes de bas fourneaux et des concentrations

de fragments de fours et de scories, tandis que le profil 2 apparaît plus proche d'une zone d'atelier caractérisée par des lambeaux de sol argileux (Berranger et al. 2022, fig 36 et 14). Les résultats archéologiques, parmi lesquels des indices de réfection des fours, laissent à penser que l'activité métallurgique a perduré assez longtemps sur ce site.

Outre la caractérisation pédo-sédimentaire des dépôts et la recherche d'indices permettant de préciser les modalités d'occupation, l'un des objectifs de l'étude est également de préciser l'origine du minerai utilisé, possiblement présent dans les formations géologiques superficielles des environs (Berranger et al. 2022).

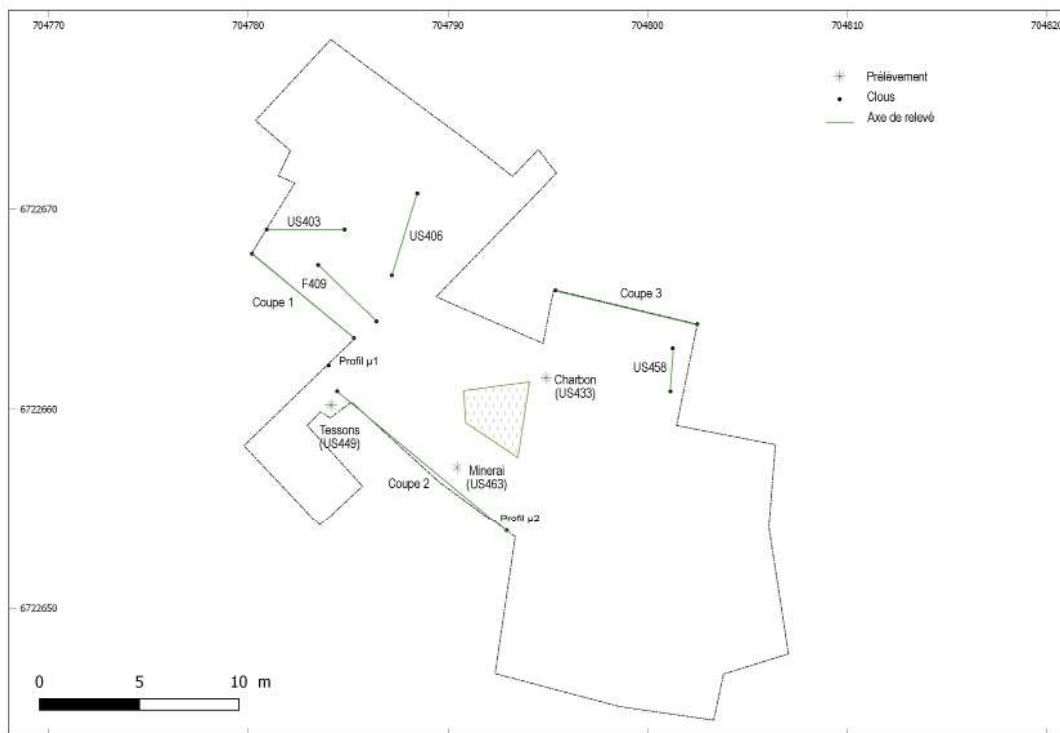


Figure n°16. Localisation des profils $\mu 1$ et $\mu 2$ sur l'emprise de la fouille (M. Berranger)

Profil 1 - Echantillon $\mu 1$

L'échantillon $\mu 1$, prélevé sur le profil 1, a permis la fabrication de 3 lames, décrites ci-après de bas en haut (fig. 17)

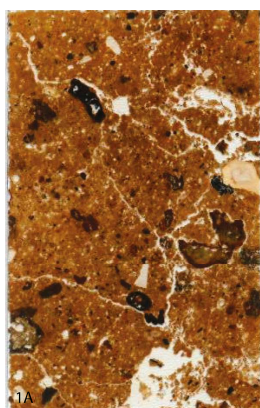
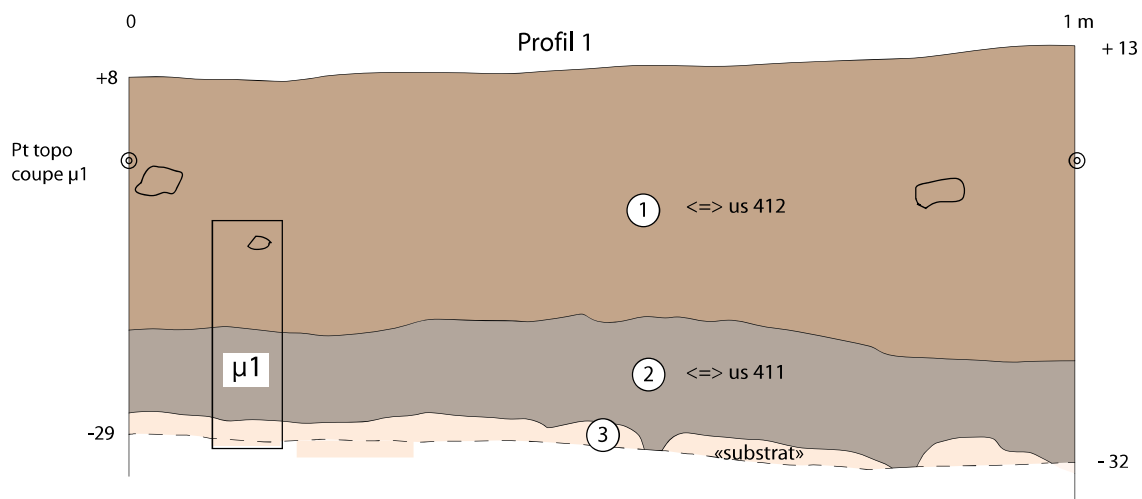
Lame 1 C inférieure

A la base du profil, la lame 1C est subdivisée en 3 parties d'épaisseur plus ou moins équivalente. La partie inférieure correspond au « substrat » du site archéologique, argilo-limoneux blanc-cassé. La partie médiane est une zone de transition avec la partie supérieure qui correspond à la base de la couche archéologique us 411.

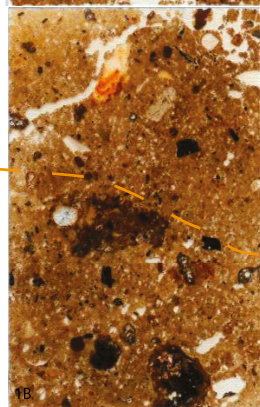
- Lame 1C base (1/3 inférieur)

A l'œil nu, la lame montre les caractéristiques suivantes : masse blanc-cassé à jaunâtre, assez dense ; porosité moyenne sous la forme de cavités d'entassement, fractures et chenaux ; agrégation en gros amas subarrondis plus ou moins coalescents. La microstructure est massive à spongieuse, avec quelques rares agrégats brun-grisâtres inférieurs à 5mm et quelques éclats rouges < 2mm.

Au microscope, le matériel apparaît plus hétérogène et bioturbé. Des turricules de lombric intègrent une matière brune organique dans la masse blanc cassé (fig. 18 - a). De larges plages de masse basale blanc cassé moins transformées par la pédogenèse subsistent encore (fig. 18, b).



us 412 - matériel très bioturbé, toujours marqué par la présence de nombreux fragments de minerai, de scorie, de fragments de construction, et de charbons. Tous ces éléments liés à l'activité métallurgique sont beaucoup plus petits que dans l'US sous-jacente 411. Egalement de nombreux fragments de silex.



us 411 - mélange d'unités issues du substrat et d'agrégats organo-détritiques plus ou moins riches en charbons et plus ou moins oxydés (fragments de minerai et de four, scories). Une stratification subhorizontale au sommet de cette US, en lien possible avec des niveaux de circulation



«substrat» - Limons de quartz dans matrice argileuse, avec traits pédologiques sous la forme d'imprégnations d'oxydes ferriques et d'argilanes hyalines

1 cm

Figure n°17. Profil 1, scan des lames et principaux traits micromorphologiques(D. Sordoillet)

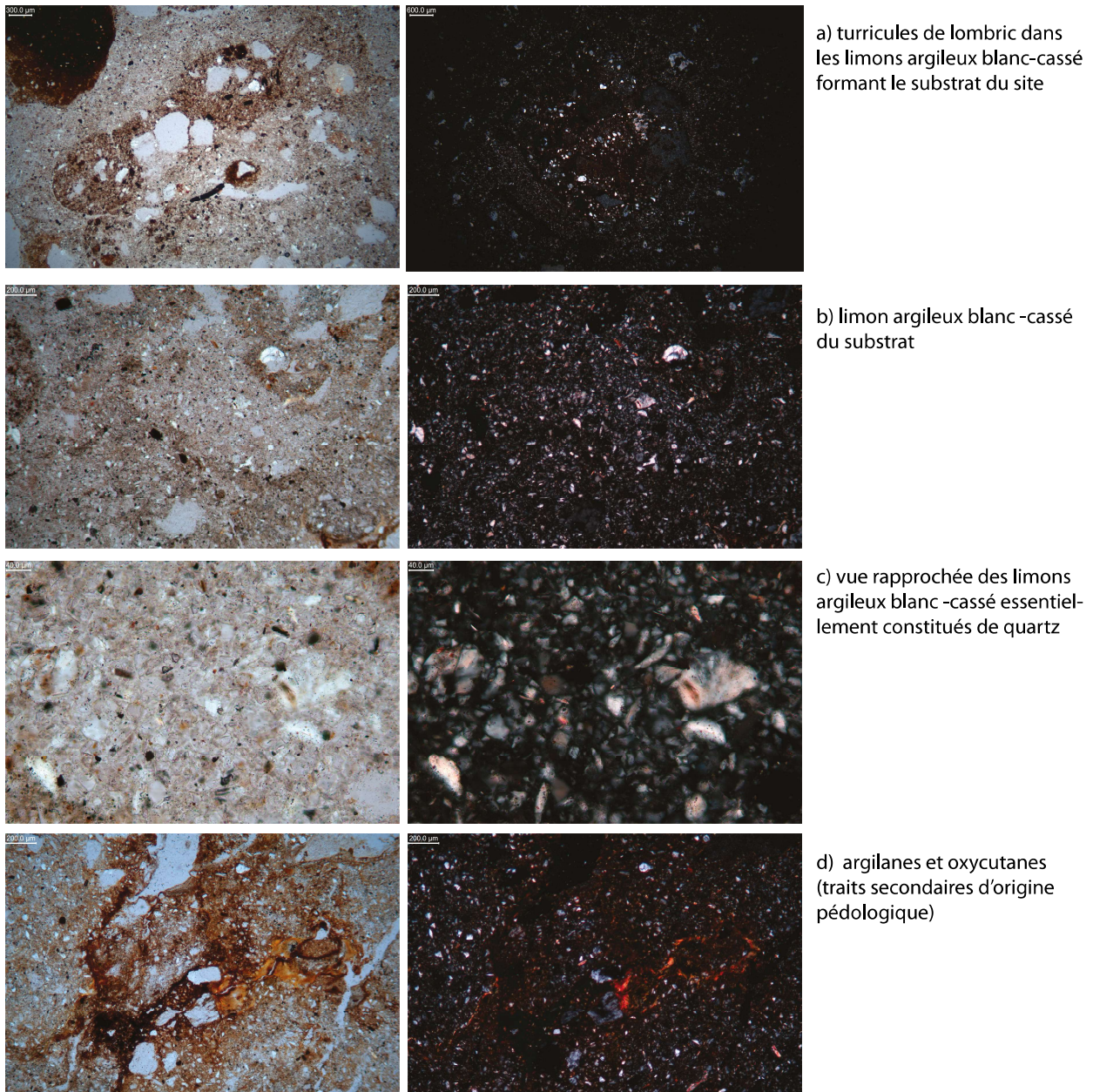


Figure n°18. 1C inf. (D. Sordoillet).

Cette masse basale est formée pour l'essentiel de petits grains limoneux e quartz (10-40µm) très densément entassés (fig.18, c). Quelques grains de sables fins à grossiers de quartz s'intercalent dans cette masse limoneuse, dépourvue de carbonates de calcium. Les autres constituants minéralogiques sont quelques grains d'oxydes épars (ceux décrits comme éclats rouge à l'œil nu). Quelques charbons infra-millimétriques sont éparpillés dans la masse. Les traits pédologiques secondaires sont assez fréquents sous la forme d'imprégnations d'oxydes et d'argilanes hyalines à limoneuses liées la porosité biologique (fig.18, d)

- lame 1C median (1 /3 médian)

A l'œil nu, le matériel de la partie médiane de la lame apparaît plus hétérogène, avec le mélange d'unités blanc-cassé et jaunâtres, brunes ou brun-rougeâtres. Les unités brunes à rougeâtres apparaissent en position secondaire dans la masse blanc-cassé et sont de plus en plus fréquentes vers le sommet.

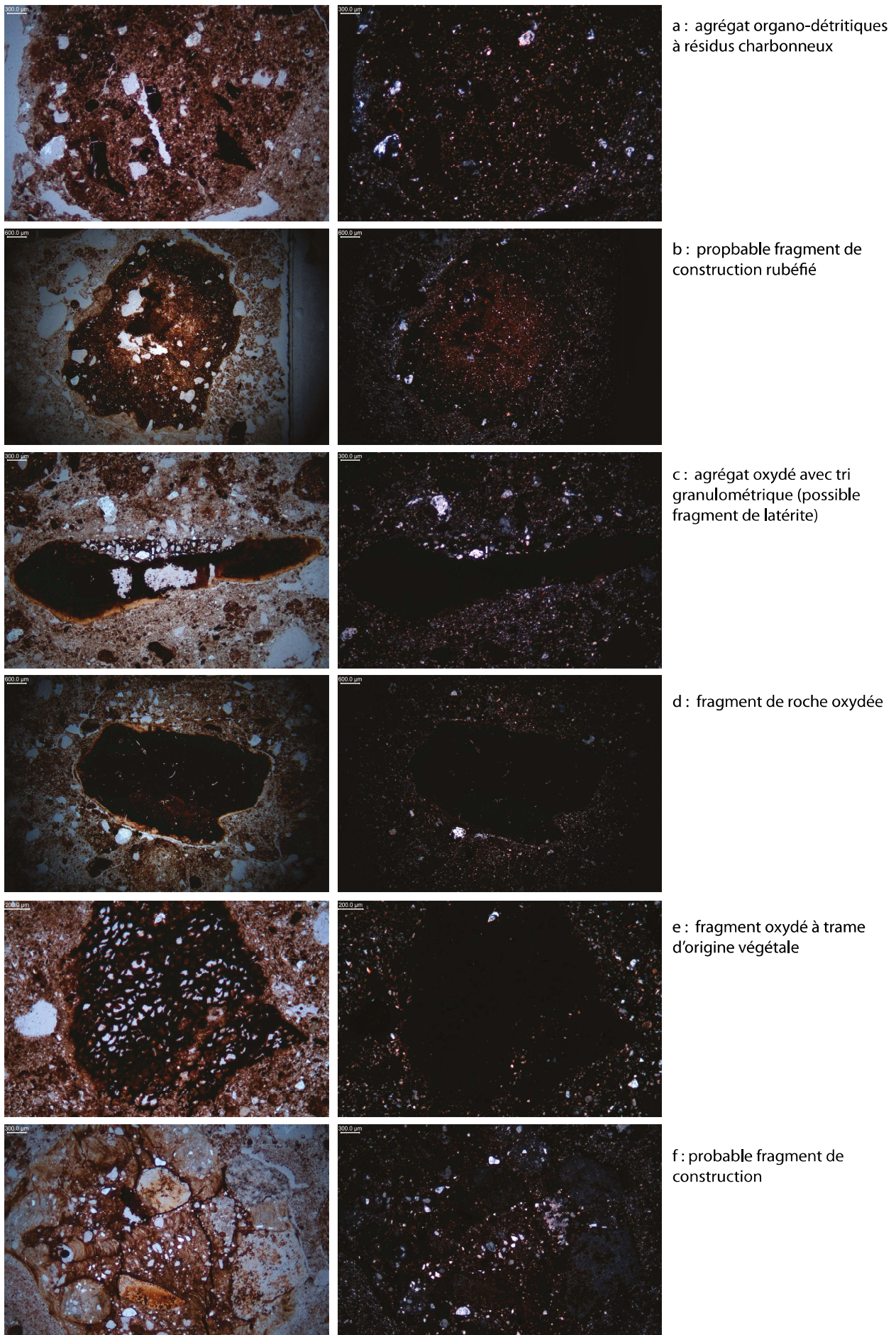
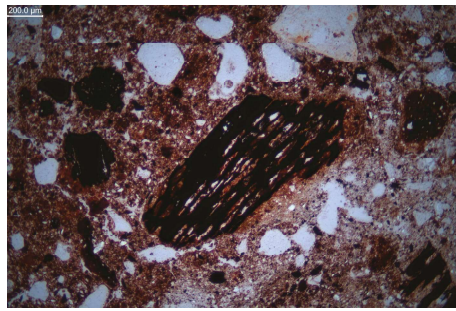
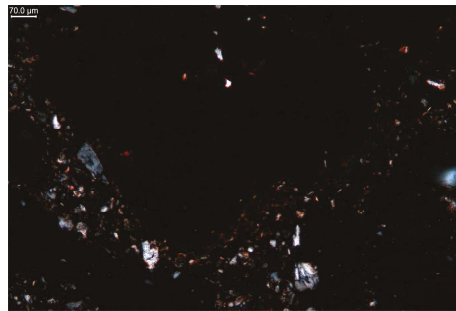
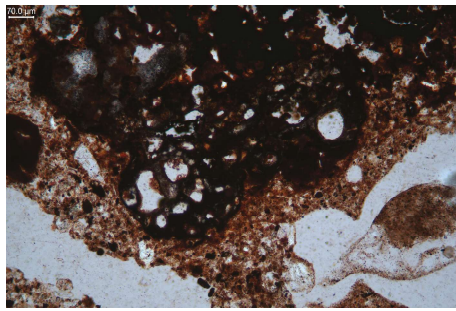


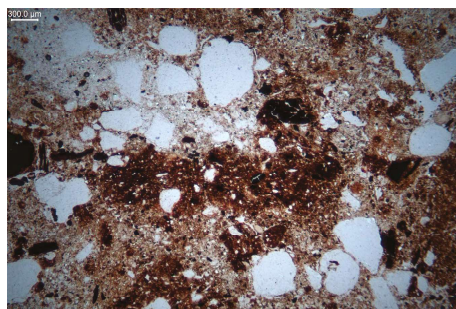
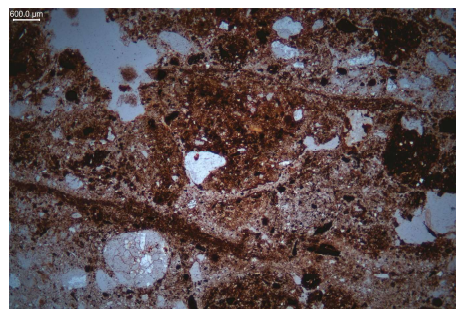
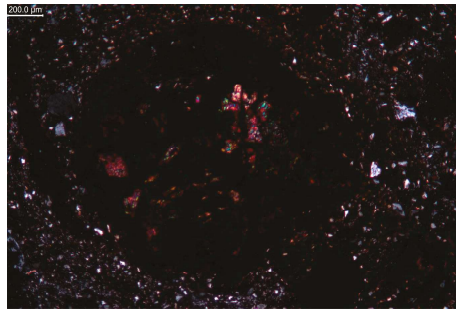
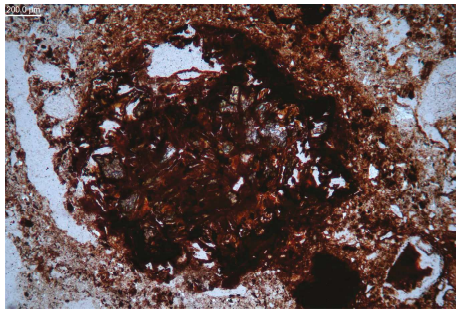
Figure n°19. 1C median (D. Sordoillet).



a) charbon



b) scorie



c) intercalation argileuse subhorizontale (sol de circulation)

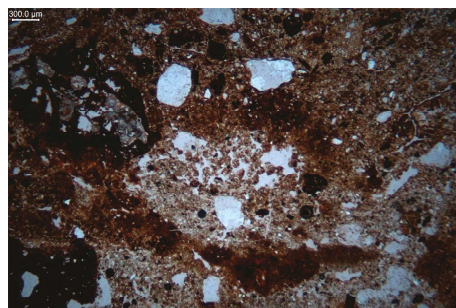


Figure n°20. 1C sup (D. Sordoillet).

Au microscope, cette partie médiane se caractérise par la présence de nombreux agrégats centimétriques de composition et d'organisation hétérogène. Ils sont selon les cas, organo-

détritiques à résidus charbonneux (fig. 19, a), ou oxydés. La fabrique et la teinte de biréfringence rougeâtre de certains agrégats plaident pour des matériaux de construction rubéfiés, peut-être des fragments de four (fig. 19, b). D'autres agrégats oxydés montrent un tri granulométrique d'origine sédimentaire et pourraient correspondre au minerai de fer présent dans les formations superficielles LPS (fig. 19, c). D'autres nodules oxydés s'apparentent plus clairement à des fragments de roche (fig. 19, d). D'autres encore montrent une trame poreuse rappelant les tissus végétaux (fig. 19, e). Enfin certains agrégats énigmatiques pourraient correspondre à des fragments de construction chauffés.

- Lamé 1C sup (1/3 supérieur)

A l'œil nu, les unités brunes ou grises deviennent aussi nombreuses que les unités blanc- cassé. Des charbons millimétriques à centimétriques sont fréquents. La porosité est localement plus importante avec des cavités centimétriques.

Au microscope, la masse basale apparaît formée d'un mélange d'unités à limons de quartz issues du substrat et d'éléments organo-détritiques plus ou moins rubéfiés et oxydés. La porosité est plus importante qu'en dessous, en partie d'origine biologique, mais également due à l'entassement des constituants sur le sol. Les restes végétaux carbonisés et imprégnés d'oxydes deviennent nettement plus gros et plus nombreux (fig. 20, a). La fraction grossière comprend de nombreux agrégats ferrugineux à porosité vacuolaire, assimilables à des scories (fig. 20, b). Des lentilles subhorizontales à concentration d'éléments fins semblent correspondre à des surfaces de circulation (ph13-16) Cette stratification secondaire rappelle en effet les caractéristiques du sol de fouille de la grotte du Gardon (Sordoillet 2009 – fig B3). Les processus de bioturbation sont révélés par des plages de microagrégats d'enchytraeides (ph11-12) et par de rares et minces argilanes poussiéreuses.

Lamé médiane 1 B

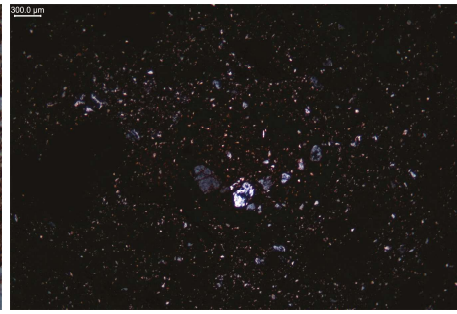
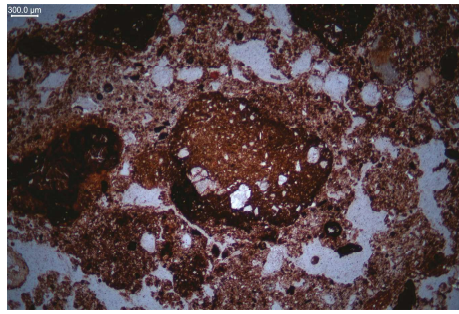
La lamé médiane de l'échantillon $\mu 1$ comprend 2 parties. La matrice des deux parties est riche en limons de quartz issu du substrat, dispersés dans une argile brune organique. Les 2/3 inférieurs de la lamé sont caractérisés par la présence de gros agrégats centimétriques noirâtres, emballés dans une masse basale riche en charbons, dont certains assez gros et bien conservés. Les scories et les fragments de latérite sont fréquents. De grosses scories sont présentes dans la partie basale (fig. 21, a), accompagnée de quelques possibles fragments de construction à granulométrie hétérogène, limoneux avec quelques gros grains sableux, ou limono-argileux orangé, à squelette identique à celui du substrat (fig. 21).

Le 1/3 supérieur est globalement plus clair et sans gros agrégats. La composition varie peu avec des scories toujours nombreuses, mais de taille inférieure à celles qui caractérisent 1B inf. Les charbons sont également plus petits. Les éclats de silex sont nombreux, surtout vers le haut de la lamé. La bioturbation assez marquée sur toute la hauteur de la lamé avec de nombreux agrégats de vers. L'éclaircissement de la partie sommitale de la lamé est en partie causée par un amincissement un peu plus prononcé lors de la fabrication.

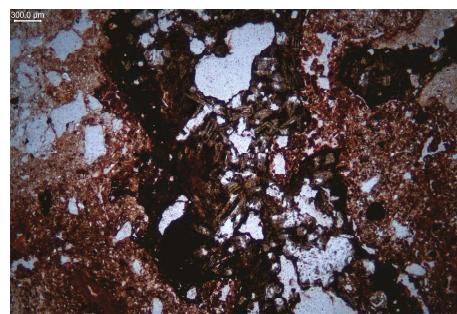
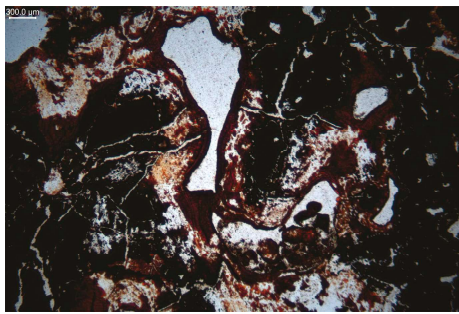
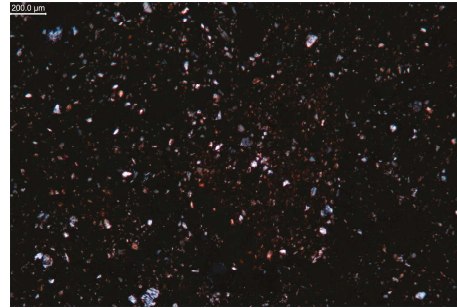
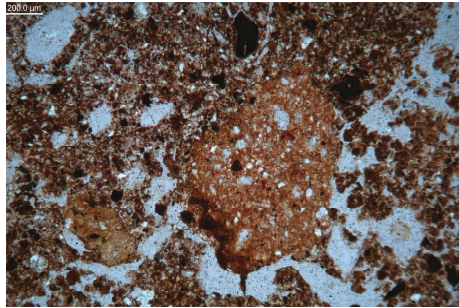
Lamé sommitale 1A

A l'œil nu, la lamé apparaît globalement homogène. La masse basale est argilo-limoneuse brun-rouge et emballée des nodules centimétriques de type scorie épars.

Au microscope, le dépôt apparaît très bioturbé et riche en limon de quartz. Les nombreux fragments métalliques correspondent selon les cas à des scories (fig. 22), à des parois de four, avec vacuoles, ou à du minerai de type latérite, avec argilanes, mais aussi du quartz fondu (fig. 22) ; de nombreux charbons à structure cellulaire parfois très bien conservées et quelques silex. La bioturbation est importante (circulation des vers et des racines)



a) agrégat argilo-limoneux avec quelques gros grains sableux (fragments de construction)



b) scories

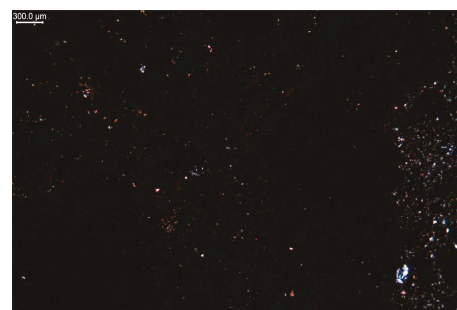
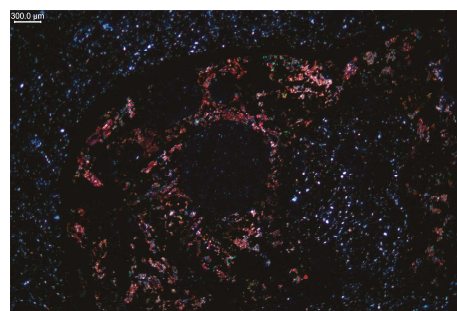
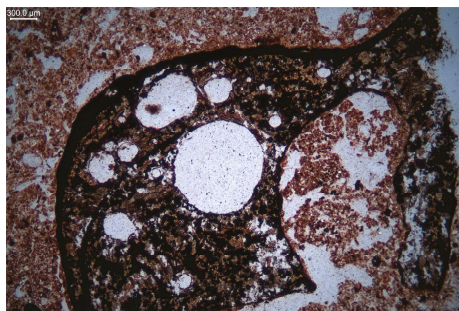


Figure n°21. 1B (D. Sordoillet).

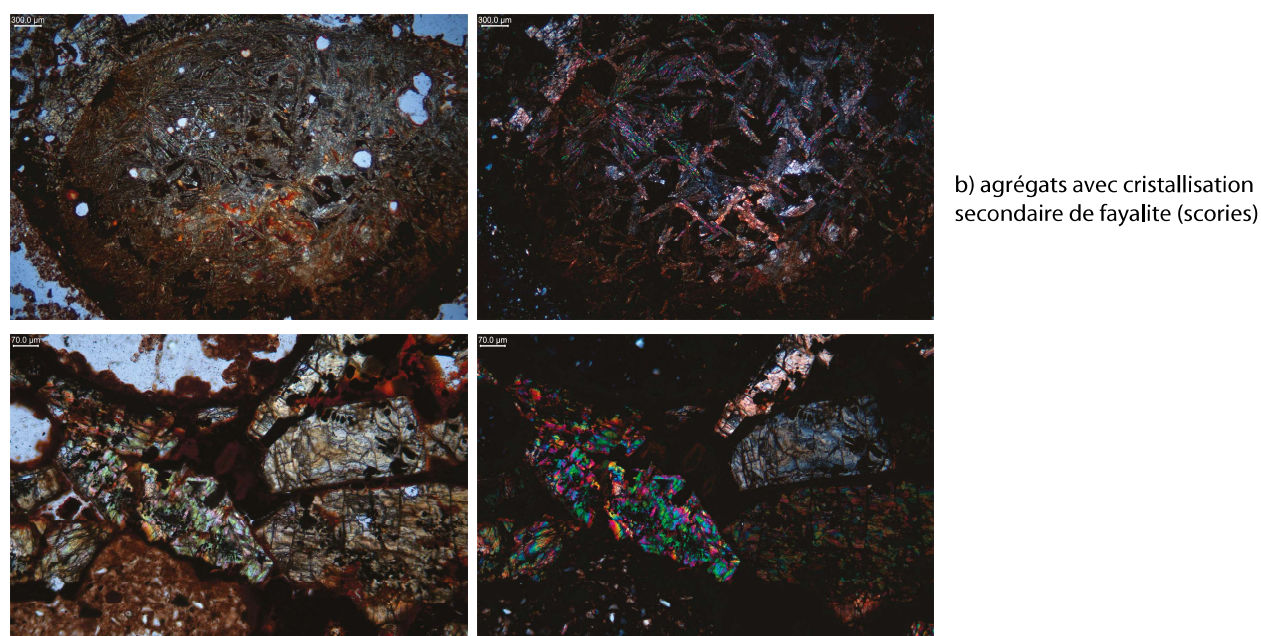
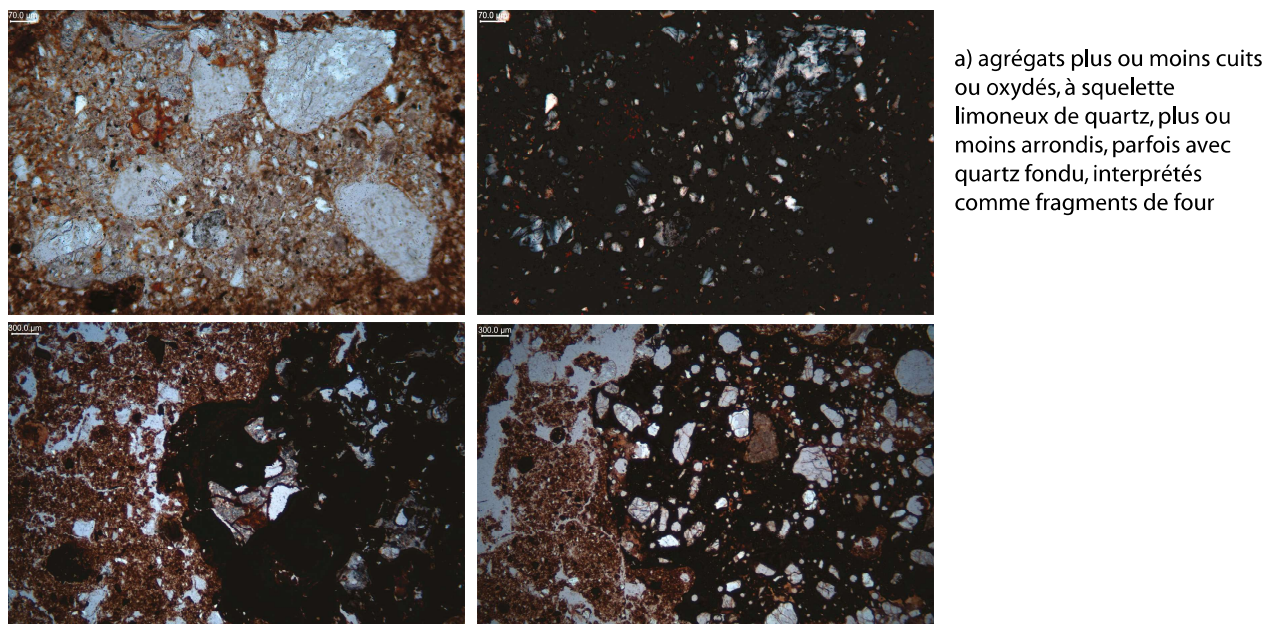


Figure n°22. 1A (D. Sordoillet)

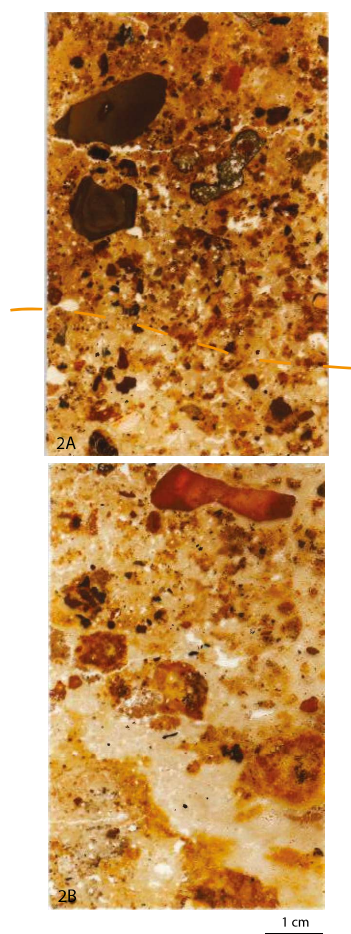
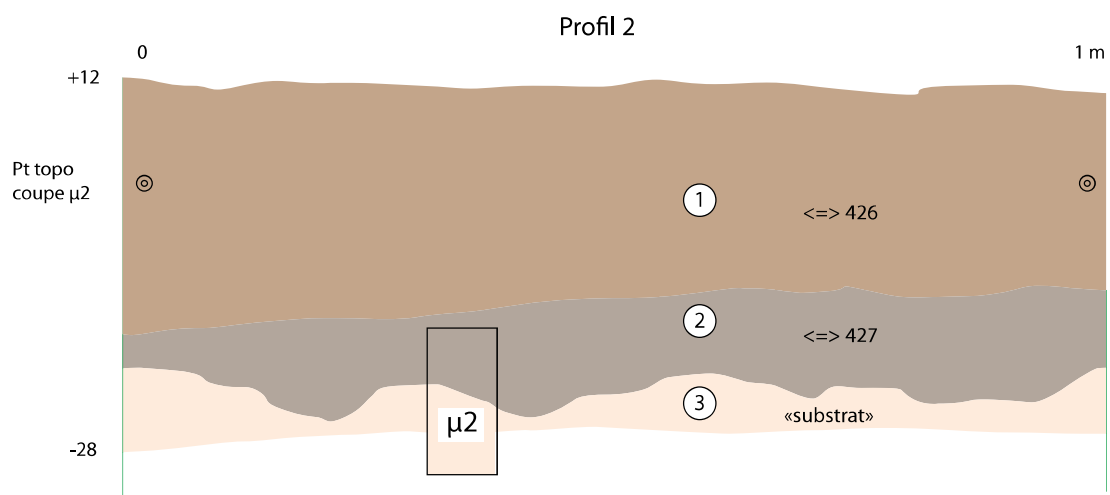
Profil 2 - Echantillon $\mu 2$

L'échantillon $\mu 2$, prélevé sur le profil 2, a permis la fabrication de 2 lames, décrites ci-après de bas en haut (fig. 23).

Lame 2B

A la base de l'échantillon 2, la lame 2B peut-être subdivisée 2 parties. La base de la lame est plus claire et globalement plus massive. Le dépôt est un limon argileux gris à grains sableux moyens épars ou concentrés par bandes. La limite supérieure de ce dépôt gris-clair montre des festons, d'origine très probablement pédologique (fig. 24, a). La bioturbation par les lombrics est importante. La pédogenèse est également marquée par de minces argilanes et des argilo-siltanes, des oxycutanes plus épaisses et des nodules ferrugineux arrondis (fig. 24, b).

Le sommet de 2B se caractérise par la présence de nombreux agrégats ou nodules ferrugineux, de nombreux charbons plus ou moins oxydés et d'un gros fragment de silex rose. Le sommet de la lame montre une stratification, en lien possible avec des surfaces de circulation (fig. 24, c).



us 427 - argile limoneuse de quartz, emballant des nodules oxydés (minerai et scorie), des charbons, des silex. Nette augmentation du nombre et de la taille des nodules d'oxydes ; présence d'un tessou de poterie

«substrat» - Limons et sables de quartz dans matrice argileuse. Traits pédologiques sous la forme d'argilanes, d'argilo-siltanes, d'oxycutanes et de nodules ferrugineux. Nombreux charbons au sommet et quelques éclats de silex. Au sommet, une stratification subhorizontale en lien possible avec des surfaces de circulation

Figure n°23. Profil 2, scan des lames et principaux traits micromorphologiques(D. Sordoillet)

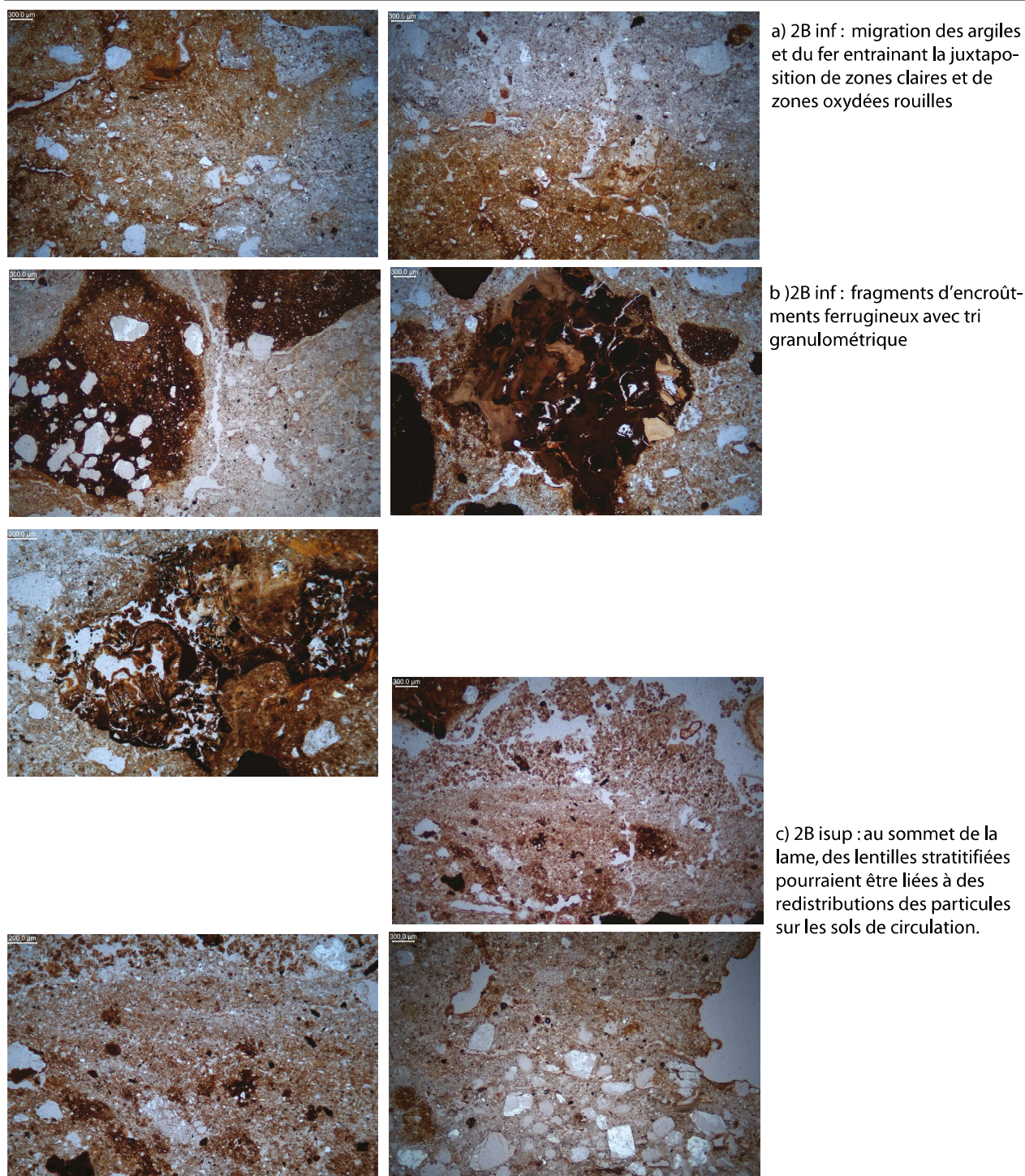


Figure n°24. 2B (D. Sordoillet)

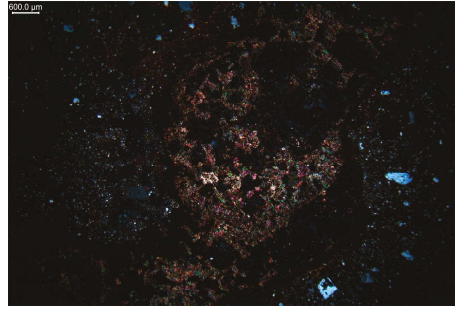
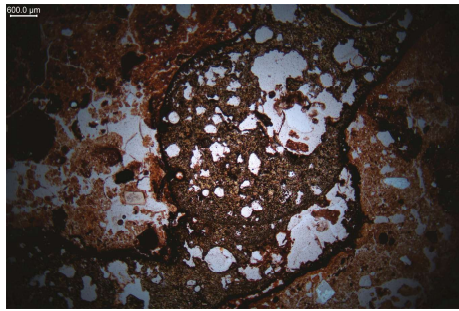
Lame 2A (fig. 25)

Au sommet de l'échantillon 2, la lame 2A peut également être subdivisée 2 parties.

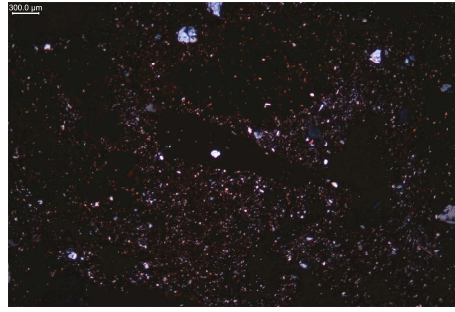
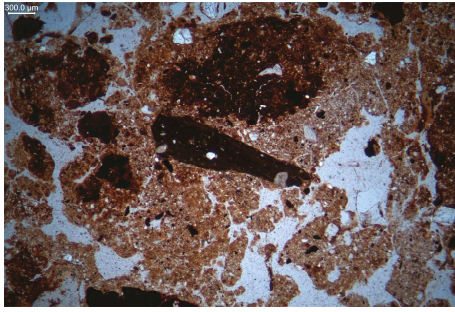
La base de la lame est toujours caractérisée par la même masse basale composée d'argile limoneuse de quartz, emballant des nodules oxydés, des charbons, des silex (fig. 25, c-d-e).

Le sommet se différencie par une nette augmentation du nombre et de la taille des nodules d'oxydes et par la présence d'un tesson de poterie (fig. 25, a-b).

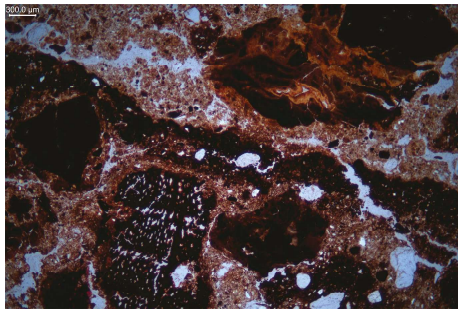
La bioturbation est importante sur toute la hauteur de la lame, dont la composition est marquée par le mélange de scorie, de fragments d'argiles oxydés, et de charbons.



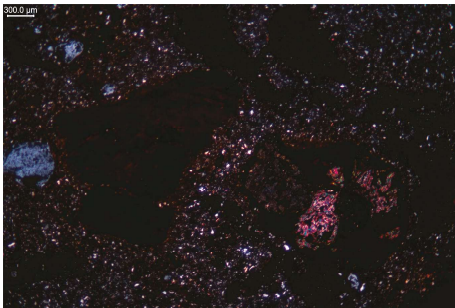
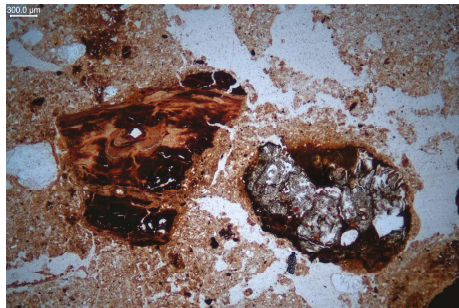
a) au sommet de 2A, scorie arrondie à porosité vacuolaire



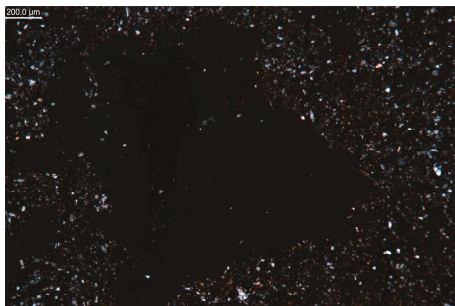
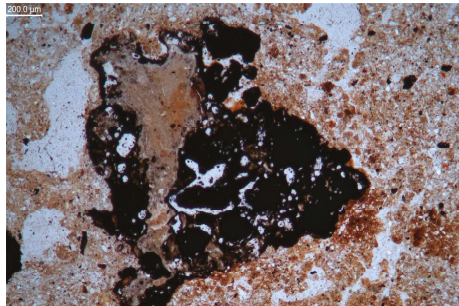
b) sommet de 2A, avec tesson



c) 2A median : encroustement ferreux sur charbons ; agrégat argileux oxydé ou dessus (fragment alios)



d) 2A inf : fragment d'alios et scorie



e) 2A inf : scorie

Figure n°25. 2A (D. Sordoillet)

Conclusion

Parmi les informations apportées par l'étude micromorphologique des dépôts présents sur le site 40 de Saint-Fargeau, la première concerne la nature du « substrat » sur lequel se sont installés les occupants. L'aspect crayeux de ce substrat et la présence de silex en son sein, avaient conduit dans un premier temps à penser qu'il pouvait s'agir des craies cénomaniennes à silex. L'examen au microscope de ces dépôts présents à la base des profils 1 et 2 révèle l'absence totale de carbonate de calcium et la grande richesse de ces dépôts en limons de quartz. Le substrat du site se rapporte en réalité au faciès d'altération des craies cénomaniennes à silex, enrichis en limons de quartz d'origine éolienne (faciès LPs de la carte géologique, Berranger 2022 - fig. 37).

Les parties inférieures des profils 1 et 2 permettent également d'observer les processus pédologiques de redistribution des argiles et du fer qui conduisent à des concentrations d'oxydes ferriques et à la formation d'un minerai appelé alios dans la région (Gigout 1982, p16 ; Fig. 17, 23, 18d, 24a). Les tris granulométriques liés à ces processus sédimentaires et pédologiques s'observent dans certains des nodules éparpillés dans les dépôts anthropisés sus-jacents. Les nodules à concentrations argileuses microlitées comme ceux montrant une stratification avec juxtaposition de lits limoneux et argileux sont interprétés comme étant issus des encroûtements ferrugineux du substrat (alios). De tels fragments ferrugineux ont été observés dans presque toutes les lames, comme par exemple dans 1Cmed (fig. 19 c), 2B (fig. 24b), 2A (fig. 25d).

D'autres nodules, oxydés ou non, montrent un faciès plus porphyrique, avec des éléments grossiers dispersés dans une matrice argilo-limoneuse. Ils sont interprétés comme des amalgames anthropiques, sans doute des fragments de four. Ces nodules sont présents dans plusieurs lames comme 1Cmed (Fig. 19 b et f). Enfin les scories sont également très fréquentes, et plus particulièrement caractéristiques du profil 1.

La présence conjointe d'agrégats ferrugineux (fragments d'alios), de scories et de fragments de fours dans les profils étudiés, interroge sur la possible exploitation de l'alios présent dans le sous-sol limoneux LPs. Toutefois, la comparaison de ces fragments d'alios avec des fragments de minerai mis au jour par la fouille (photos Marion Berranger, travaux en cours) tend à écarter cette hypothèse. La structure minéralogique des deux éléments est en effet très différente : les fragments d'alios ont une teinte rougeâtre et un aspect amorphe, tandis que les fragments de minerai montrent une microstructure cristalline losangique.

Cette première approche micromorphologique nous a permis de préciser la nature et le mode de mise en place des dépôts. L'examen détaillé des lames pourra être repris si une description et un comptage précis des différents éléments observés s'avérait nécessaire pour la suite des recherches.

3.1.6. Analyse anthracologique prospective de 8 amas de scories à Saint-Fargeau (89) – Bois de Bailly (O. Girardclos, S. Coubray)

Introduction

Les activités du programme dans le secteur de St-Fargeau (89) depuis 2019 ont permis l'enregistrement d'une quarantaine d'entités archéologiques au lieu-dit du Bois de Bailly, dont une vingtaine a fait l'objet de datations par la méthode du radiocarbone (Berranger dir. 2020, 2021). Lors de ces opérations, des prélèvements de charbons de bois ont été réalisés lors d'investigations de nature très différente : lors de prospections, dans des sondages de dimensions

limitées et lors de la fouille de l'amas n°040 sélectionné pour étudier de façon extensive un atelier caractéristique du premier âge du Fer et de la période de La Tène. Les charbons ont été en premier lieu exploités pour construire la chronologie de ces amas en réalisant des prélèvements qui s'attachaient à limiter le nombre de cernes introduits dans l'analyse et en se focalisant sur les cernes les plus récents, c'est-à-dire formés le moins d'années possible avant la coupe et donc la mort de l'arbre ou de la branche. Ce protocole vise à limiter l'effet « vieux bois » qui peut induire un vieillissement des datations, si elle concerne une période ancienne de vie de l'arbre. L'objet de cette étude des charbons est de proposer la liste des taxons présents dans 8 des amas identifiés dans ce secteur et de dégager des ensembles plus favorables pour l'étude des calibres et des cernes de croissance sur les taxons les plus recherchés.

Matériel et méthodes

- Corpus d'étude

L'analyse anthracologique a été conduite sur 35 prélèvements d'US différentes de 8 amas rattachés aux 3 types reconnus dans ce secteur de St-Fargeau. L'US101 de l'amas 003 fait l'objet d'une réplique. Deux méthodes de prélèvement sur le terrain aboutissent à un nombre de restes disponibles très variable. Les ramassages à vue ne permettent de disposer que de quelques restes, surtout en prospection, alors que le tamisage, même sur site, conduit à des ensembles plus représentatifs.

Par ailleurs, cette opération a permis de sélectionner une série de charbons de chêne et de hêtre aptes à l'application (1) dendro-anthracologique et (2) d'une analyse anthraco-typologique, deux approches méthodologiques complémentaires qui permettront, grâce à l'application d'outils dendrométriques aux charbons de bois, de répondre plus précisément aux hypothèses sur les modalités d'exploitations du bois, sur les dynamiques de croissance, et plus largement sur l'impact des exploitations du bois sur le paysage. Seule l'étude dendro-anthracologique peut être présentée ici pour 32 fragments de chêne de 2 US de l'amas 040, datées par radiocarbone entre le VIII^e et le V^e s. avant. n. è.

- Méthodes

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

Dans un second temps, les charbons font l'objet de mesures afin de déterminer la largeur de chaque cerne conservé et le diamètre (calibre) probable des bois prélevés. L'estimation d'un rayon minimum est fournie par une construction basée sur le théorème de Thalès, réalisée à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image lié à un microscope numérique (Keyence, UMR Chrono-environnement), qui produit une évaluation de la distance entre la moelle et le premier cerne conservé en suivant les principes exposés dans Dufraisse et al, 2020.

Résultats

- Identifications taxonomiques :

Le niveau de représentativité des spectres est particulièrement différent en fonction du mode de prélèvement (fig. 26), mais nous souhaitons une approche prospective sur le plus possible de contextes. Malheureusement, les 4 petits amas datés dans le Moyen-Âge, des VII-IX^e s. et des VIII-X^e s. de notre ère ne sont représentés que par une dizaine d'identifications qui restent sans signification, même si le chêne est prépondérant.

Des contextes très différents sont dominés par le chêne. Dans l'amas 040 du type « discret », il s'agit de 6 US qui sont rattachées de façon plus ou moins directe à la période Hallstatt-La Tène, entre le VIII^e et le Ve s. avant n. è. par le biais de deux datations radiocarbone : 780-540 BC (US447) et 755-414 BC (US457). Alors que les contextes du grands amas 003 sont datables du changement d'ère sur la base de la datation de l'US101 (41BC-124AD).

Des contextes sont dominés par le hêtre. Dans l'amas 040, il s'agit de la plupart des 14 US plus ou moins directement rattachées aux datations radiocarbone de la période de La Tène, des IV-III^e s. avant notre ère.

Type amas	Site	US	Datation	Nb restes	Quercus sp f.c.	Fagus sylvatica	Carpinus betulus	Acer	Betula	Fraxinus	Rosaceae Maloideae	Tilia	cf.Salix_Populus	indéter miné	noeud	écorce	
	tamissage				Chêne	Hêtre	Charme	Erable	Bouleau	Frêne	Maloidées	Tilleul	Salicacées				
Amas discret	89-344-040	447	780-540 BC	16	16												
		457	755-414 BC	16	16												
		330	VIII-Ve BC	19	10	5							4				
		320	VIII-Ve BC ?	4	2						2						
		418	VIII-Ve BC ?	3	3												
		439	VIII-Ve BC ?	5		1	4										
		215	409-211 BC	10		7								3			
		209	IV-IIIe BC	15		15											
		212	IV-IIIe BC	1										1			
		214	IV-IIIe BC	15		15											
		222	IV-IIIe BC	1											1		
		217	IV-IIIe BC	6		6											
		203	IV-IIIe BC	7		3				2				2			
		216	IV-IIIe BC	2		2											
Grand amas	89-344-013	406	371-176BC	28	2	9				15			2				
		444	IV-IIIe BC	20	2	13				5							
		433	IV-IIIe BC	41		31				9		1			1	2	
		403	IV-IIIe BC	3		3											
		424	?	2		1											
		422	?	1		1											
Grand amas	89-344-003	sd1	101 41 BC - 124 AD	20	18	2											
		101	41 BC - 124 AD	50	47	3										5	
		c1		1	1												
		tr1		4	4												
		0,30 m		4	3							1					
Grand amas	89-344-006	111	172 BC - 8 AD	30	3	26		1									
		106	22 AD - 206 AD	50	38	6		3				3					
Petit amas	89-344-004	101	VII-IXe s. AD	2	2												
Petit amas	89-344-011	0,45 m	VII-IXe s. AD	2		2										1	
Petit amas	89-344-014	0,23 m	VIII-Xe s. AD	1	1												
		0,25 m	VIII-Xe s. AD	2	2												
		fond	VIII-Xe s. AD	2	2												
Petit amas	89-344-010	0,45 m	VIII-Xe s. AD	1	1												

Figure n°26. Résultat d'identification taxonomique en nombre de restes analysés

Dans le grand amas 006 deux US peuvent être distinguées dans la période antique. Au changement d'ère, l'US111 datée par radiocarbone entre 172BC-8AD est dominé par le hêtre alors que l'US106, datée postérieurement entre 22AD-206 AD est dominée par le chêne.

Plusieurs études menées dans le cadre du PCR dans des contextes d'activités sidérurgiques

variées sont disponibles (cf. ce volume chap. 9) mais il reste difficile d'interpréter la préférence pour le hêtre ou le chêne lors de l'approvisionnement en bois. Les spectres observés pour les amas sélectionnés ne montrent pas de contexte, bien documenté, où les deux taxons seraient en proportions égales. Ceci est conforme aux observations faites dans la région jusque-là qui tendent à considérer que le mélange équilibré serait rare. Toutefois le niveau de documentation ne permet pas actuellement de donner un sens à ces concentrations. Est-ce qu'il faut y voir le reflet de la variabilité des approvisionnements ou une orientation dans la fabrication du charbon ? Est-ce qu'il existe un lien entre cette fabrication et la nature des activités sidérurgiques dans lesquelles il sera utilisé ? Ou enfin, est-ce que la préférence d'un taxon présente une évolution temporelle ? Il est nécessaire de poursuivre et mettre en relation les inventaires taxonomiques dans des situations plus variées.

Dans l'ensemble des contextes étudiés ici, le charme est observé en quantité trop faible pour qu'il soit considéré comme un élément recherché pour l'approvisionnement. Avec la dominance du chêne et du hêtre ce point caractérise la majorité des spectres anthracologiques recueillis pour le PCR. Le charme est présent dans l'environnement, dès la période antique, probablement avec une participation variable à la végétation, mais il n'entre que faiblement dans les ressources.

Presque tous les spectres sont dominés par le chêne ou le hêtre, toutefois dans l'US406 de l'amas 040 dont un charbon est daté entre 371-176 avant notre ère le frêne est particulièrement présent. Soit l'US reçoit les déchets d'activités particulières, soit le frêne est considéré approprié et était localement abondant dans la zone d'approvisionnement. Dans la région, ce taxon ayant une préférence pour les sols alluviaux, il est possible que la prospection se soit approchée des bords d'un cours d'eau.

Les autres taxons qui accompagnent l'exploitation en faibles occurrences sont des pionniers comme le bouleau et les salicacées ainsi que des post-pionniers comme l'érable, les maloïdés, c'est-à-dire les arbres fruitiers à pépins (pommier, aubépines). Ces taxons sont fréquemment observés associés aux déchets de la métallurgie dans les autres analyses de la région. Ils reflètent la diversité forestière et probablement qu'ils sont plus abondants dans les zones en dynamique de recolonisation. Les exploitations dirigées sur les ressources en chêne et hêtre ouvrent des espaces forestiers. Dans les restes de charbons étudiés en nombre dans les contextes de forges variés autour d'Entraing, il est possible de lier l'augmentation des taxons pionniers et post-pionniers à l'intensité des activités (cf. ce volume chap. 9)

Le tilleul n'était pas décrit jusque-là en lien avec la métallurgie dans la région. Il participe à plusieurs spectres des US des VIII-V^e et IV-III^e s. avant n. è. de l'amas 040. Ce taxon qui reste relativement rare dans les assemblages anciens est un élément de la végétation actuelle, particulièrement sur les sols drainés relativement profonds, sous la forme de l'espèce Tilleul à grandes feuilles. De la même manière que le frêne, il était peut-être abondant dans la zone prospectée et représente la diversité des milieux exploités.

- Calibre et largeur des cerne de deux US Hallstatt-La Tène de l'amas 040

Les calibres ont pu être estimés et les largeurs de cerne mesurées pour un nombre de fragments de chêne relativement faible, 16 par US. Toutefois, la variabilité des deux prélèvements est également faible, une prospection sur l'ensemble montre des caractéristiques des charbons très semblables, il s'agit de fragments de chênes refendus dont les bords sont subparallèles.

La faible convergence des rayons, subparallèles, se traduit sur la figure 27 par une répartition des diamètres exploités en faveur de forts calibres. La moyenne se positionne proche de 20 cm de diamètre pour les deux US, toutefois il faut retenir que la récolte mobilise des chênes de « grands diamètres » autour de 20 cm. Les fragments utilisés ont une taille importante, 1 à 2,5 cm de côté, ce qui autorise des indices de cohérence des mesures raisonnables jusqu'à 12 cm de rayons, mais quoi qu'il en soit la qualité des estimations au-delà de 8 cm de rayon, c'est-à-dire 16 cm de diamètre, sont très influencés par la variabilité de l'anatomie même des chênes. Il reste que dans les 2 cas l'approvisionnement repose sur des chênes de forts calibres. Les rares restes relocalisés plus proche de la moelle, en bois cœur, correspondent très probablement à la fragmentation de ces gros calibres.

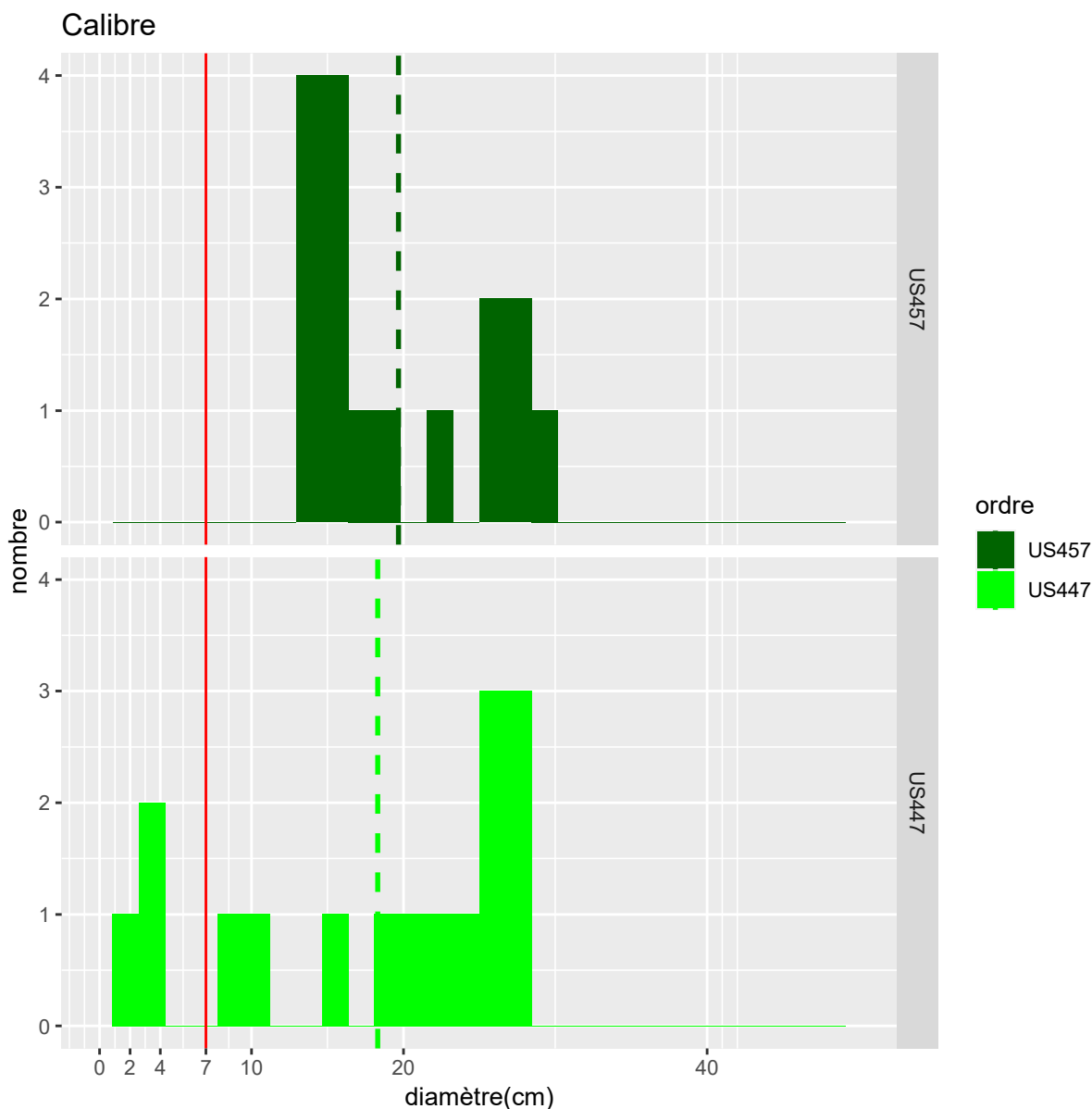


Figure n°27. Répartition des diamètres des chênes des US 447 et 457 de l'amas 040, période Hallstatt (O. Girardclos, S. Coubray)

Les largeurs des cernes observées sur les charbons (corrigées du retrait lié à la carbonisation) sont comparées à celles de chênes se développant dans des peuplements vivants, gérés en futaie

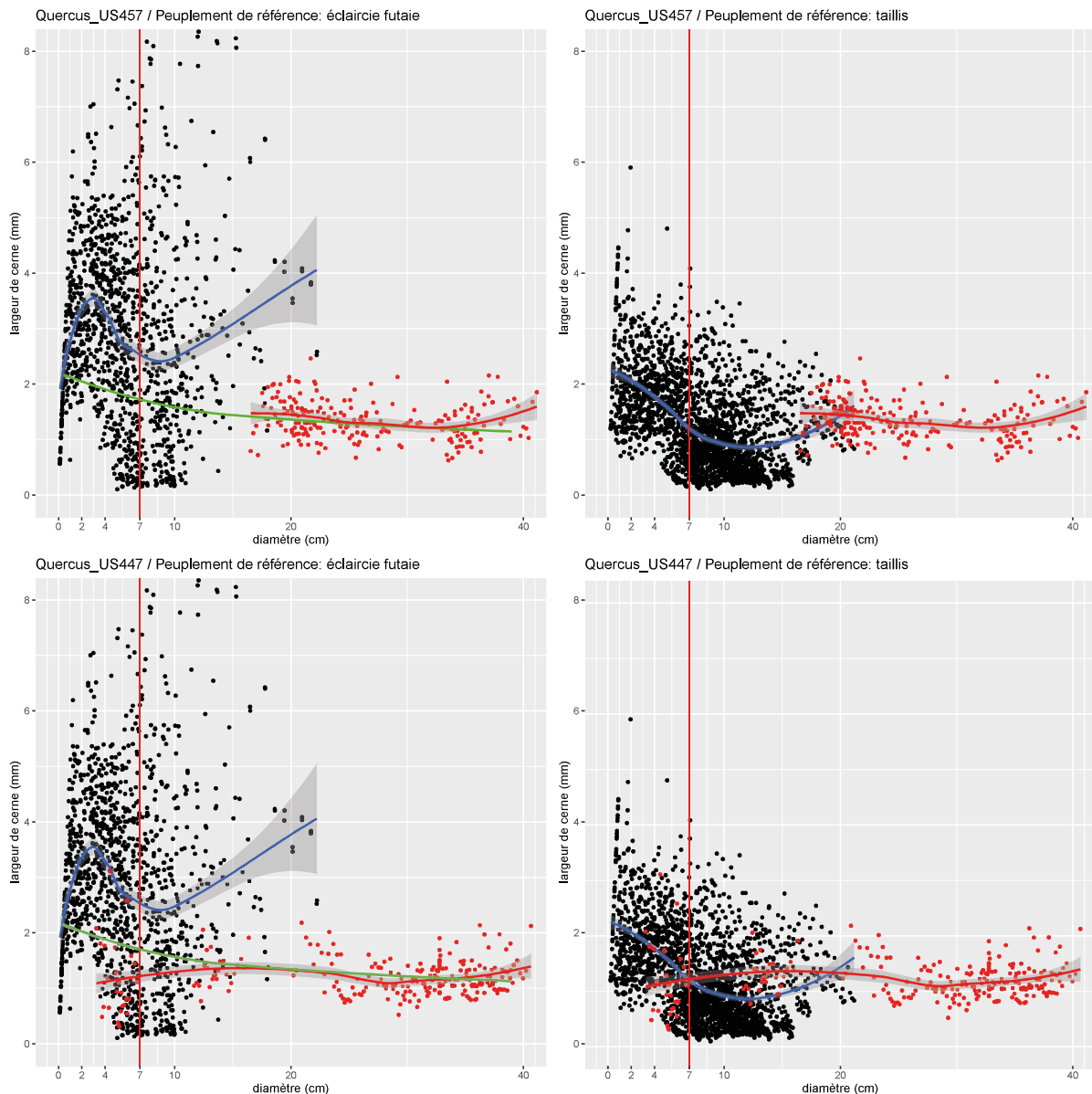


Figure n°28. comparaison des largeurs de cerne des chênes des US447 et 457 aux peuplements vivants gérés en futaie (à gauche en bleu jeune futaie, en vert futaie mature) et en taillis (à droite) (O. Girardclos, S. Coubray)

et en taillis (fig. 28). Ces largeurs sont presque systématiquement plus faibles que dans les forêts gérées, à l'exception dans le taillis des diamètres les plus forts. Le taillis utilisé en référence est abandonné par le propriétaire au moment de sa récolte alors que les brins des cépées font environ 20 cm de diamètre. Il n'a donc pas fait l'objet d'éclaircie avant la coupe définitive. Les largeurs de cerne des chênes des deux US sont supérieures à celles formées par ces brins de taillis très affectés par la concurrence. Il est donc possible de suggérer que les forêts d'où proviennent ces chênes du VIII-V^e s. avant n. è. sont denses, plus denses que des forêts gérées, mais ne sont pas sans éclaircies, les coupes y semblent suffisamment fréquentes pour démarquer la structure d'un peuplement abandonné.

En conclusion

L'étude proposée apporte des éléments complémentaires à celles déjà faites dans la région, notamment sur les contextes les plus anciens de l'activité sidérurgique, VIII-V^e s. avant n. è. Il

nous semble nécessaire de faire des efforts d'analyse dans deux directions complémentaires, sur un panel d'US pour aborder la diversité des contextes et leur lien avec les activités sidérurgiques. Il serait préférable que quelques litres de sédiments soient systématiquement tamisés pour recueillir 30 à 50 charbons, ainsi que sur des US qui livrent davantage de matériel, pour détailler les taxons mobilisés et utiliser le caractère enregistreur des arbres, plus à même de reconstruire la structure de peuplement et l'éventuelle gestion des ressources.

3.1.7. Le site de Saint-Fargeau 40 dans le contexte de la métallurgie du fer de La Tène moyenne, dans le nord de la France

Un récent article de synthèse (Berranger, Bauvais 2020) met en évidence, pour le nord de la France, la concentration des ateliers de réduction durant la période de La Tène B - C dans des secteurs où la production sidérurgique connaît une certaine intensité dès le Ha D - LTA. C'est notamment le cas dans la région du Mans. Une autre zone de production significative est identifiée en Champagne à partir de deux grands amas de scories coulées, sur les communes de Vert-Toulon au sud d'Épernay et de Verzenay dans la Montagne de Reims (programme SIDEROM, S. Bauvais, M. L'Héritier). Les indices de productions plus ponctuelle sont perçus en Franche-Comté, en région parisienne sur la commune de Saclay (Essonne - Dupéré et al. 2016) et dans l'Eure (certains de ces sites sont néanmoins datés à cheval sur les deux périodes), ainsi que dans la Vienne, près de Bourges dans le secteur de Meunet-Planches. A partir de ce panorama général, le grand regroupement de sites de la Tène moyenne observé dans la partie sud de la Puisaye, plus particulièrement dans le secteur de Saint-Fargeau - Treigny est notable et désigne probablement un espace de production majeur.

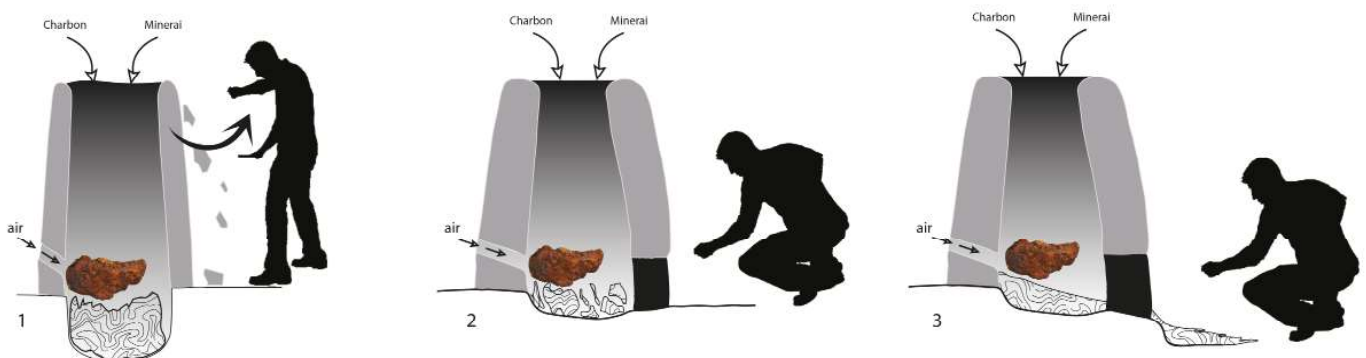


Figure n°29. Schémas de fonctionnement des bas fourneaux datés des âges du Fer : a, bas fourneau à usage unique et scories piégées ; b, bas fourneau à usage multiple, à scories piégées ; c, bas fourneau à usage multiple, à scories écoulées (d'après Berranger, Bauvais 2020, fig. 1)

Dans ces espaces de production, les fours documentés seraient utilisés une seule fois et caractérisés par l'absence d'évacuation de la scorie hors du bas fourneau (fig. 29). Il s'agit de types connus dès le Hallstatt D – La Tène A. Seule la fosse réceptacle, creusée dans le sol, est généralement conservée avec sa scorie en place. La superstructure d'argile cuite est détruite et/ou déplacée afin d'être utilisée sur un autre four. Dans la région du Mans, les fragments de parois retrouvés sont généralement minces (10 à 40 cm), avec des épaisseurs de vitrification faibles, et sans traces de réfection. Différents types de ventilations, avec entrée d'air unique ou multiple ont été constatés.

Un autre type de four devient plus fréquent à La Tène B - C. Il correspond à une évolution du système à scorie piégée en un four qui devient réutilisable (fig. 29). Une excavation associée à la fosse réceptacle de la scorie permet d'évacuer la charge du bas fourneau à l'issue de la

réduction, et ainsi de réutiliser le four. La plupart des fours de ce type ont été fouillés dans la région du Mans (Zaour 2021). Les traces de rechapages systématiques, observées sur les parois finement préparées du four, indiquent une utilisation répétée. La bonne conservation de certains de ces fours a permis de mettre en évidence un système de ventilation multiple associant quatre entrées d'air percées dans la cheminée, au niveau du sol, et un système de porte perforée permettant une ventilation à partir de la fosse d'accès (Cabboi et al. 2007). A Saclay et dans l'Eure, le même type d'appareil est documenté. Les fours comprennent un foyer d'un diamètre interne d'environ 0,60/0,70 m, évasé vers l'emplacement d'une porte non conservée qui était précédée par une fosse d'accès creusée dans le substrat. La sole et les parois de la cuve sont renforcés par un revêtement d'argile fine. A Meunet-Planches, seules les bases des fours sont conservées. L'interprétation en tant que bas fourneaux réutilisables, à scories piégées, repose donc essentiellement sur l'identification des déchets associés.

Dans la région du Mans les bas fourneaux à scories piégées et utilisation unique se trouvent le plus souvent en regroupements de plus d'une dizaine d'exemplaires. Ils témoignent de la perdurance d'une activité en un même emplacement, avec une juxtaposition des fourneaux en fonction d'impératifs pratiques. Au sein d'un même atelier les formes et volumes des fours et des scories peuvent être très variables, ce qui indique des conduites d'opérations possiblement différentes.

L'utilisation de nouveaux types de fours à scories piégées, devenant réutilisables, s'accompagne d'une nouvelle organisation de la production en petites unités, parfois sur des espaces déjà exploités plus anciennement. Les fours adoptent un même standard morphologique et métrologique à l'échelle de l'unité de production. Des bâtiments, identifiés par leurs trous de poteaux, sont aménagés afin de protéger les aires de travail. Le charbonnage et la préparation du minerai sont généralement effectués sur place. L'association des activités de réduction avec celles de forge est également récurrente et permet d'envisager l'épuration de la masse de métal brute de réduction, voire la mise en forme d'objets. Sur les sites au nord du Mans, dans l'Eure, ou à Meunet-Planches « Les Îles » (Indre), les forges sont associées aux activités de réduction. À Guichainville « Saint Laurent » (Eure – Honoré et al., 2007), elles sont implantées dans l'habitat distant d'environ 300 m.

L'atelier de Saint-Fargeau 40 du Bois de Bailly s'apparente à ces petites unités de travail bien structurées, connues pour cette période. Ici aussi des trous de poteaux témoignent de l'existence de bâtiments ou aménagements annexes. Un peu à l'écart de la zone des fours, des espaces sont spécifiquement dédiés à la préparation des matières premières. Aucun indice de la pratique d'activités de post-réduction n'a par contre été mis en évidence. Néanmoins l'ensemble du site n'a pas été dégagé.

La mauvaise conservation des fourneaux de réduction identifiés à Saint-Fargeau n°40, notamment en raison de la superposition de plusieurs fours en un même emplacement, ne facilite pas les comparaisons typologiques. Deux grands types de four sont cependant identifiables.

Deux fours se rattachent clairement au type "en fosse", sans fosses de travail associée. Il s'agit de F316 et 446. Les fours 316 est daté sur le plateau du Hallstatt (Berranger dir. 2021 p. 103), soit durant une période antérieure au fonctionnement des sols de l'atelier. Il se rattache ainsi probablement à une première phase d'utilisation de l'atelier. Des traces de réutilisation indiqueraient qu'il a connu plusieurs phases de fonctionnement. Cette fosse semble avoir été excavée dans le sol naturel, ce qui est souvent le cas pour les fours de ces périodes qui ne sont pas recouverts d'un revêtement argilo-sableux spécifique. Seul un petit fragment de

paroi est en place sur la bordure conservée du creusement. Les mêmes observations ont été effectuées sur le four 446 dont la base est excavée dans le sol naturel, alors qu'un revêtement d'argile correspondant aux vestiges de la cuve de la cheminée disparue est plaqué sur la bordure supérieure du creusement de la fosse. Un terminus post-quem est disponible pour ce four, qui est postérieur (peut être immédiatement) à un niveau de remblai daté également du plateau du Hallstatt (annexe 7).

Le four 402 se rattacherait au type avec avant-fosse. Il comprenait encore une scorie piégée en place et une partie de la sole était conservée, tandis que la cuve semble avoir été construite au-dessus du sol. L'avant fosse mesurerait environ 80 cm de longueur. Un placage argilo-sableux sur la surface du creusement indique l'aménagement d'une paroi. Les traces de réparation et de rechapages indiquent que ce four a utilisé plusieurs fois. Le système de ventilation est à ce stade inconnu, que ce soit à partir des observations faites en fouilles ou sur la base des déchets scorifiés. Quelques événements ont cependant été mis au jour durant la fouille et ils devront faire l'objet d'une étude plus poussée. En attendant des résultats des datations radiocarbone sur ce dernier four, les comparaisons chronologiques régionales permettent d'envisager qu'il se rattache aux phases de La Tène moyenne, et qu'il soit donc contemporain des sols d'ateliers datés et étudiés.

L'attribution typologique du four 470 reste indéterminée car il a été très détruit par les réaménagements postérieurs eux-mêmes datés sur le plateau du Hallstatt. Il faut souligner la grande taille de cette excavation allongée qui mesure plus de 1 m de longueur. De plus, elle présente des traces de rubéfaction localisées seulement sur sa moitié ouest. L'arrêt brutal de la rubéfaction évoque l'existence d'une paroi non retrouvée.

A Saint-Fargeau 40, la fouille des cheminées de four effondrées permet de restituer l'utilisation de pains d'argile moulés et assemblés. Une datation radiocarbone fournit une datation comprise entre 371 et 176 BC, et les rattache au fonctionnement de fours durant la deuxième phase de fonctionnement du site (en relation avec le four 402 ?). Ce mode de construction est observé de manière récurrente sur des bas fourneaux des âges du Fer. C'est le cas notamment pour certains fours de la région du Mans pour des bas fourneaux à scorie écoulée (Zaour 2021, p. 295). En Haute-Bretagne Jean-Bernard Vivet (Vivet 2007) souligne la construction systématique des cheminées des fourneaux datés des âges du Fer à partir de pains d'argile assemblés. Les morphologies et dimensions diffèrent d'un site à l'autre. A Forges-les-Eaux/Les Fossés "Près de Montadet" (Seine-Maritime) (Colliou 2013, p. 215-301 - Zaour 2021 p. 323-326), la cheminée d'un bas fourneau à avant fosse a également été montée avec des pains d'argile de forme losangique, en saumon. Une datation radiocarbone le positionne durant une période contemporaine de niveaux d'atelier de Saint-Fargeau, entre le début du IV^e et la fin du III^e s. av. n.è. Contrairement à ceux de Saint-Fargeau qui semblent avoir été moulés sur une matrice, ceux de Forges-les-Eaux auraient été mis en forme par modelage (Peyrat 2009).

En Puisaye-Pays d'Othe, seuls deux autres ateliers de production du fer ont été fouillés. Dans le Loiret sur la commune de La Bussière « Les Ferrys » (Rebiscoul 2003), et plus au nord, dans le Pays d'Othe au lieu-dit « les Fouetteries » sur la commune des Clérimois (Dunikowski, Cabboi 1995), des fouilles préventives ont permis d'étudier une succession d'ateliers de réduction des âges du Fer au haut Moyen Âge.

Sur les deux sites les mêmes types de bas fourneaux sont documentés : des fours en fosses et des bas fourneaux à scorie écoulée. Sur l'atelier des « Ferrys » à La Bussière un fourneau en fosse est daté du V^e s. av J.-C. sur la base de la typologie des céramiques et d'une analyse

radiocarbone : 832-539 cal. BC (Fournier, Milcent 2007). Le même type d'appareil est connu aux Clérimois, où un groupe de trois (ensemble A) est documenté, mais non daté. Aux Clérimois, les caractéristiques de ces fours, directement creusés dans le substrat et mesurant entre 0,40 et 0,60 m de diamètre sont comparables à celles documentées à Saint-Fargeau 40.

Le deuxième type d'appareil correspond à de grands bas fourneaux à scories écoulés, dont les cuves peuvent mesurer de 0,90 m à 1,40 m de diamètre et qui fonctionnent en batterie de deux. Aux Clérimois, une date radiocarbone imprécise associée à ces fours (371 cal. BC – 10 cal. AD) pourrait indiquer l'usage de cette technique dans le courant du deuxième âge du Fer, plus précocement que ce qui est habituellement admis.

A l'échelle régionale, les bas fourneaux à scorie piégée, réutilisables, de Saint-Fargeau sont les seuls exemplaires à documenter ce type d'appareil.

3.2. Synthèse des travaux entrepris sur la commune de Dracy « Ferrier Guillou » et « Pâture des noirs »

Plusieurs opérations archéologiques ont été conduites en 2022 sur la commune de Dracy (fig. 30, et chap. 2, fig. 1 et 3), sur des sites entrant dans la catégorie des « grands amas » caractérisés par leur extension et élévation importantes (Berranger *et al.* 2023). Sur le site du Ferrier Guillou n°2, ce sont des levés LiDAR qui ont été réalisés. Une vaste plateforme libre d'arbres est en effet accessible à l'avant du site, ce qui a permis la réalisation de vols remplissant les conditions de sécurité requises. Des prospections pédestres ont été conduites dans un deuxième temps afin d'interpréter les anomalies topographiées par LiDAR. La densité du couvert forestier ne permettant pas l'accès à une pelle mécanique, aucun sondage n'a été réalisé.

Sur le site du Ferrier Guillou 1, des prélèvements volumétriques en stratigraphie ont pu être réalisés sur une butte située en bordure d'un chemin forestier. Cependant les conditions de survols avec un drone n'étaient pas réunies. Les acquisitions LiDAR ont été repoussées et devraient être réalisées à l'hiver 2024. Enfin sur le site de Dracy 3, Pâture des Noirs, des prospections et une intervention de documentation minimale est intervenue après la destruction quasiment complète du site.

Le détail des levés LiDAR conduits sur le site n°2, ainsi que les résultats des sondages réalisés sur le site n°1 ont été présentés dans le rapport de 2022. Nous rappellerons ici seulement les éléments les plus significatifs de ces opérations, en les complétant des informations qui n'avaient pas été présentées l'année dernière :

- de premiers éléments d'interprétation du site Dracy n°2 basés sur l'analyse des levés LiDAR et les vérifications faites au sol,
- les résultats de l'intervention conduite à Dracy 3.

3.2.1. Levés LiDAR et prospections pédestres sur l'amas de déchets 89.147.002 (Ferrier Guillou n°2)

L'équipe de Matthieu Thivet a réalisé un relevé topographique LiDAR sur environ 10 ha autour de l'amas n°2 du Ferrier Guillou. Les détails de cette campagne de relevés sont présentés dans le rapport de l'an dernier (Thivet *et al.* 2022). Plusieurs types d'anomalies ont été mises en évidence et ont dans un deuxième temps fait l'objet d'observations sur le terrain en vue de leur interprétation.

La figure 31 propose une interprétation des anomalies relevées par le LiDAR. Ces acquisitions topographiques haute résolution prennent tout leur sens dans le cas de ce type de site complexe, caractérisé au sol par de multiples creux, bosses et saignées.

Le site du Ferrier Guillou 2 se situe actuellement en bordure d'une route forestière (fig. 31, 4) et d'un espace aplani (4) probablement réalisé à l'issue des dernières phases de ré-exploitation du XX^e siècle¹. La ré-exploitation pour la récupération de matériaux au début du XX^e s. a fortement marquée le site dont une partie est occupée par des tas de déblais de criblage. Un tracé linéaire reliant ces tas de déblais à la route forestière semble correspondre à l'emplacement d'un chemin d'exploitation, peut-être une voie ferrée étroite qui permettait d'évacuer les matériaux récupérés (fig. 31, 9 - fig. 33). Une partie du site est donc totalement détruite (au moins un tiers de la surface restituée).

¹ Les photographies aériennes consultables sur le portail de l'IGN situe cet aménagement entre 1993 (non visible) et 1999 (clairement visible).

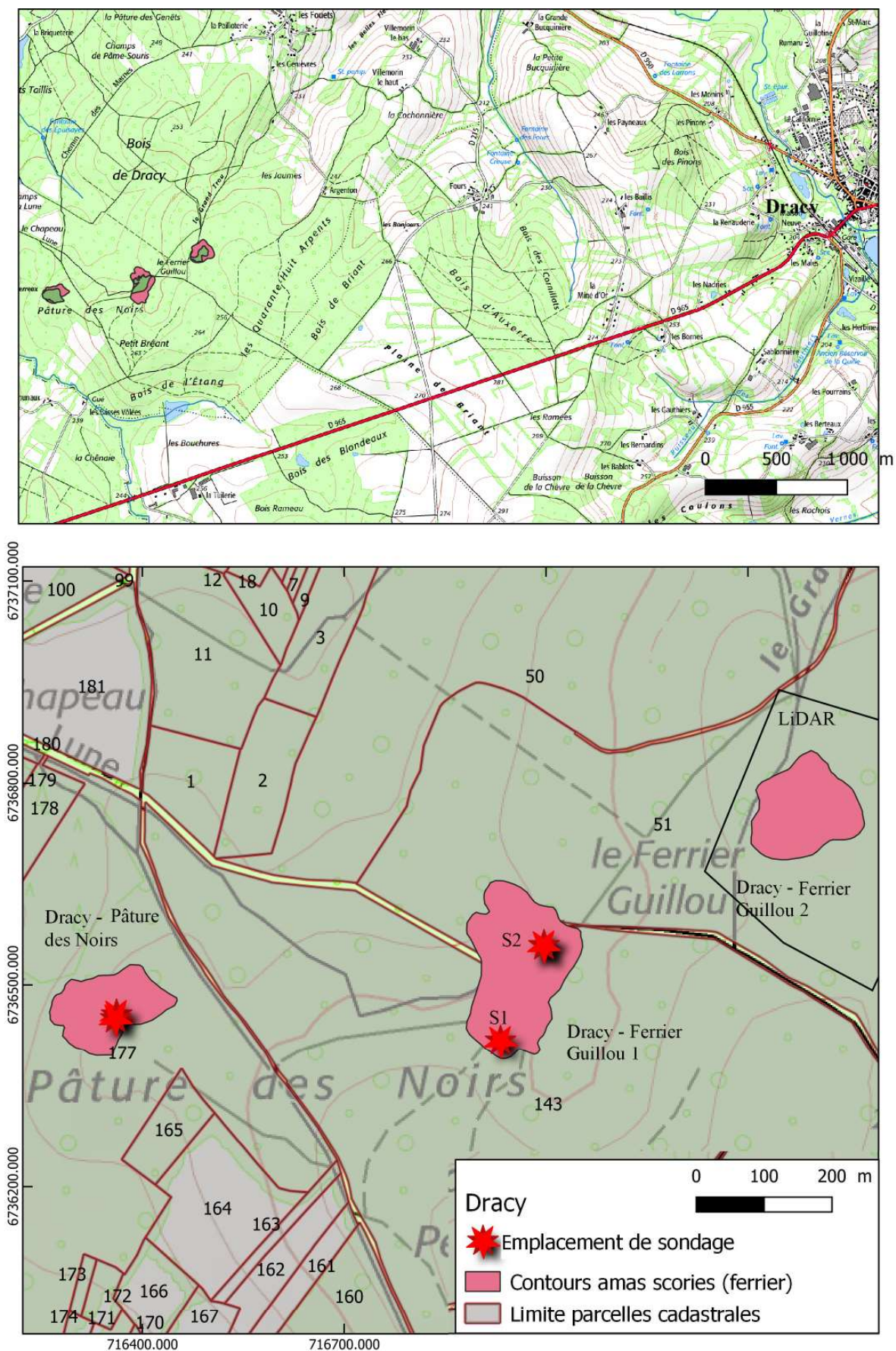


Figure n°30. Dracy - Emplacement des sites étudiés (fond de carte IGN et parcelles cadastrales)

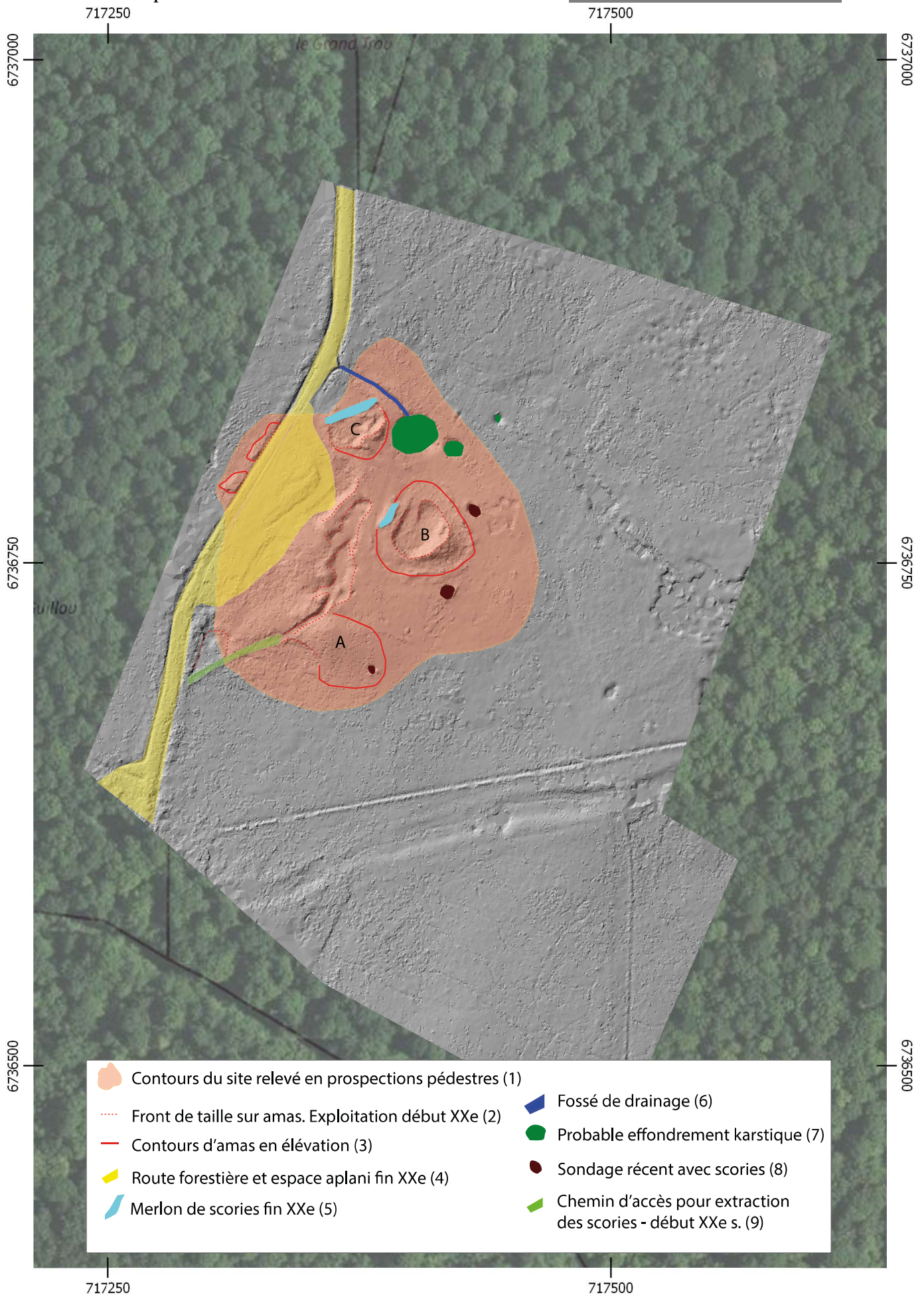


Figure n°31. Dracy - Ferrier Guillou 2. Proposition d'interprétation des anomalies relevées par LiDAR. Fond LiDAR M. Thivet, modification M. Berranger et M. Leroy

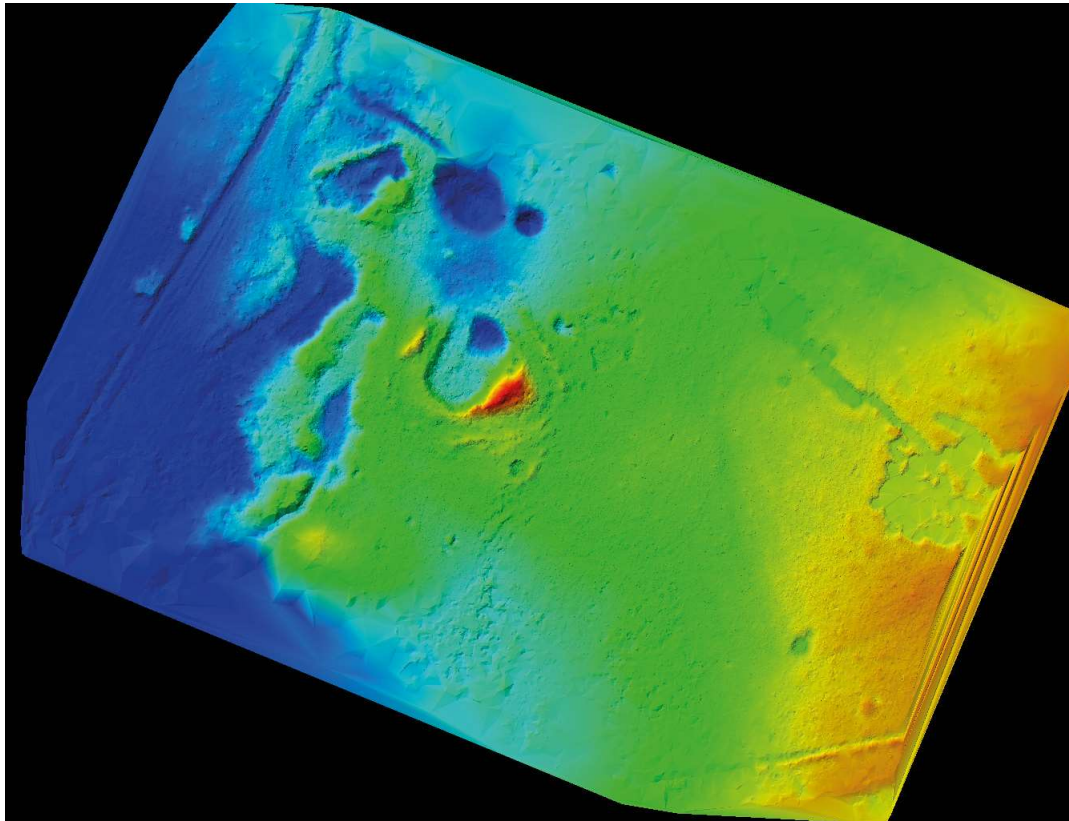


Figure n°32. Visualisation de l'altimétrie en dégradés de couleur (png - Matthieu Thivet)



Figure n°33. Exploitation linéaire traversant l'amas A. Ancien tracé de voie ferrée pour l'exploitation des scories ? Correspond au n°9 de la figure 31 (M. Berranger)

Celui-ci occupe principalement la parcelle située à l'est de la route forestière où subsistent trois buttes dans différents états de conservation. Sur la parcelle à l'ouest subsistent en bordure de la route forestière des petits tas de scories résiduels (fig. 34), d'environ 1 m à 1,50 m de hauteur, qui marquent probablement l'extension maximale initiale du site.



Figure n°34. Tas résiduel en bordure de route forestière (M. Berranger)

Le relevé LiDAR et les observations de terrain permettent d'identifier trois amas distincts encore en élévation, de forme ovoïdale. Ils sont désignés par les lettres A, B et C sur la figure 31. Au sud, l'amas A est le mieux préservé et forme un monticule dont la partie sommitale située du côté ouest est conservée. Les flancs nord et sud sont plus abrupts que le flanc est qui montre un pendage en pente douce. Le flanc ouest est recoupé par le passage de la voie ferrée étroite et un front d'exploitation a entaillé le flanc sud-ouest. Ses dimensions sont d'environ 40 m sur 30 m.

L'amas B se situe à une quarantaine de mètres au nord-est. Toute la partie centrale est détruite et il n'en subsiste qu'une couronne périphérique qui semble intacte. Elle est elle-même cernée par une couronne constituée par des rejets de scories vitreuses probablement consécutifs au tri des matériaux au cours de la ré-exploitation. Un chemin d'accès a été aménagé au nord pour l'exploitation de la partie centrale. Il est actuellement condamné par un merlon constitué de scories (fig. 31, 5) mis en place très récemment (d'après les observations effectuées par Jean-Pierre Piétak dans les années 2000) sur sa face ouest. La dimension initiale de l'amas pourrait être supérieure à 45 m de diamètre.



Figure n°35. Vue de l'amas C , en cours d'exploitation, lors des prospections de mars 2002 (Marc Leroy)

L'amas C se situe à une trentaine de mètres du précédent vers le nord-ouest. Il paraît de plus petite taille mais il est aux trois quarts détruit à partir de son flanc nord. Récemment, un épais merlon (fig. 31, 5) constitué de scories a été aménagé à l'avant du front de taille afin d'empêcher l'accès. C'est de la stratigraphie de cet amas que provient le charbon (LY-11877) prélevé dans les années 2000 (Pietak *et al.* 2012 tabl. 1) et qui fournit un intervalle de datation compris entre 127 et 325 cal. AD. Une photographie prise à l'époque documente l'exploitation en cours de l'amas et la plus grande ouverture du couvert forestier (fig. 35). Actuellement l'extension de la forêt ne permet qu'un accès limité à ces buttes.

Des scories sont observées entre les trois amas et semblent constituer un épandage continu dont les contours ont été relevés au sol (fig. 31, 1). Cet amoncellement présente un pendage nord-ouest sud-est, la partie la plus épaisse semblant se situer au nord-ouest. Il est partiellement détruit à l'avant des amas A et B et entaillée par des tranchées aux contours irréguliers, se situant dans la continuité du chemin d'exploitation. Ces tranchées l'entaillent sur 1 à 1,50 m d'épaisseur, parfois davantage, ce qui laisse présumer de l'épaisseur de scories accumulées. Des excavations circulaires (fig. 31, 8) ont également été creusées à l'extrémité orientale de cette couche. Il pourrait s'agir de sondages réalisés au cours du XXe s. afin de déterminer la présence ou l'absence de scories en vue de leur récupération. Actuellement ils permettent de cerner l'extension de la couche de scories.

Deux grosses cavités en entonnoir, profondes de plusieurs mètres, sont présentes à proximité de ces amas (fig. 31, 7). Il semble s'agir de cavités naturelles de type karstique (fig. 36). Elles sont associées à un fossé de drainage récent, qui les relie à la route forestière (fig. 31, 6).

A ce jour, la densité du couvert forestier rend le site inaccessible à une pelle mécanique. La réalisation d'un enregistrement topographique par LiDAR, même sans prélèvements volumétriques associés, présente l'intérêt d'accumuler des données pour mieux comprendre les dynamiques de constitution de ces grands amas qu'il est complexe de caractériser par la seule prospection au sol. Les données 3D extraites du MNT pourront à terme être interprétées en se basant sur les concentrations volumétriques moyennes obtenues à partir des prélèvements en stratigraphie réalisés sur des sites comparables.



Figure n°36. Probable effondrement karstique (M. Berranger)

Néanmoins des interventions ciblées, réalisables à la main sont envisageables :

- la réalisation de prélèvements volumétriques en stratigraphie sur les fronts de taille accessibles en bordure de chemin ou au sein des saignées entaillant la couche riche en scories ;
- la réouverture et l'extension des sondages (6) déjà réalisés dans cette couche, afin de tenter de localiser le sol naturel et ainsi d'en déterminer l'épaisseur.

3.2.2. Sondages sur l'amas de déchet 89.147.001 (Ferrier Guillou n° 1)

Rappel des principaux résultats.

L'objectif de l'intervention de terrain d'août 2022 était de réaliser deux sondages ponctuels à la pelle mécanique en deux emplacements de l'accumulation de déchets sidérurgiques de ce grand amas. Le détail de ces travaux a été présenté l'année dernière, nous en rappellerons brièvement les principaux résultats.

Un premier sondage (S1) a concerné un lambeau d'amas, dans un secteur relativement central du site (fig. 30). L'intérêt était d'étudier la stratigraphie sur une élévation de plusieurs mètres. Il s'agissait également de réaliser des prélèvements de déchets par strates, afin d'étudier les assemblages de déchets et de réaliser des prélèvements volumétriques afin de déterminer un ordre de grandeur de la concentration de scories par strate. Une stratigraphie de plus de 6 m de haut a été étudiée révélant dans la partie inférieure la présence d'une superposition de niveaux d'ateliers et de préparation des matières premières (grillage/broyage du minerai ; charbonnage). Des déchets d'activités de post-réduction ont également été mis en évidence. Ces niveaux sont surmontés par des couches successives de rejets comprenant soit principalement des blocs de scories, soit des niveaux de destruction de fours.

745 kg de déchets sidérurgiques ont été prélevés, pesés et triés, ce qui a permis de documenter les assemblages de déchets par strates. Un protocole de prélèvements de déchets en volumes en stratigraphie a été mis en place durant cette opération, et c'est ce même protocole qui a été reconduit en 2023, en Puisaye et dans le Morvan.

Un petit lot de céramiques a été prélevé en stratigraphie (89 NR pour 26 NMIp). Leur étude par Sylvie Mouton-Venault permet d'attester la constitution du ferrier durant les trois premiers siècles de notre ère, dès la première moitié du 1^{er} s. de n.è. (chap. 6). Trois charbons, provenant de trois niveaux différents de la stratigraphie sont également en cours de datation. Les résultats sont attendus au premier semestre 2024.

Un second sondage ponctuel a été aménagé en bordure nord-est de l'amas de scories (S.2). En effet lors des prospections des aménagements particuliers, visibles plus spécifiquement en périphérie de l'amas, avaient été repérés. Les observations permettent de restituer une partie plutôt centrale de l'amas matérialisée par des lambeaux de tas, pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur, exploités à partir de tranchées plus ou moins continues. La périphérie de cette zone assez chaotique est constituée d'une succession de terrasses d'environ 1 à 2 m de hauteur, au relief assez marqué. La bordure de la terrasse la plus extérieure peut être facilement suivie sur tout le côté nord de l'amas. Ce type d'aménagement n'est pas seulement visible ici mais a aussi été observé au Bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon, sur les sites n°5 et 20.

La question de la temporalité de ces aménagements se posait : s'agit-il de terrasses contemporaines de l'exploitation sidérurgique ou d'aménagements résultant des ré-exploitations contemporaines ?

Le sondage pratiqué en bordure d'une de ces terrasses périphériques a révélé une stratigraphie très homogène, constituée d'un sédiment fin terreux, exempt de gros blocs de scories. Ces caractéristiques permettent de formuler l'hypothèse que ces apports de terre correspondent aux vestiges de résidus de criblage pour prélever de gros blocs de scories. Des volumes importants de sédiments comprenant encore de petits fragments de scories devaient en effet subsister après récupération des blocs de scories par les ouvriers intervenants à Dracy. Ces aménagements correspondraient alors à l'étalement de ces surplus de sédiments sous forme de terrasses, probablement afin de faciliter la circulation et les travaux d'exploitation. Les ferriers de la commune de Dracy sont parmi les gisements à avoir été les plus exploités au début du XXe s., au même titre que ceux des communes de Villiers-Saint-Benoît et d'Aillant-sur-Tholon, au point que des voies ferrées étroites utilisées par des petites locomotives Decauville ont été aménagées afin de transporter les scories extraites. Rien n'exclut que ces terrasses aient été édifiées par des engins mécaniques durant les exploitations, même si à ce stade aucun document n'en fait mention.

Etude morphologique des éléments techniques en terre cuite (Paul Merluzzo, Marc Leroy)

Parmi les artefacts prélevés dans la coupe stratigraphique ouverte dans l'une des buttes résiduelles du Ferrier Guillou 1, une vingtaine d'éléments techniques en terre cuite, identifiables comme des fragments de tuyère ou comme des fragments de pains d'argile, ont été isolés et étudiés. Dix-sept fragments de tuyère, reconnaissables par la présence de conduits internes, ont été collectés dans les prélèvements volumiques réalisés dans trois unités stratigraphiques (US 119, 138 et 141). Sept autres, ainsi que les cinq pains d'argile, proviennent des tris effectués dans le volume de sédiments déplacés par la pelle mécanique.

L'US 119 est une couche constituée majoritairement de scories, située au tiers de la hauteur de la séquence stratigraphique, à 1 m au-dessus du terrain naturel. Les scories sont très majoritairement de type A2-A3-A4 (80 % de la masse), mais sont accompagnées de pièces d'apparence vitreuse, très bulleuses.

Les US 138 et 143 sont situées dans le tiers supérieur de la stratigraphie, l'US 138 à environ 3 m au-dessus du terrain naturel et l'US 143 entre 3,50 m et 4 m. L'US 138 est constitué quasi-exclusivement de scories de type A2-A3-A4, mais quelques rares fragments de scories d'apparence vitreuse y ont également été observés. L'US 143 est constituée exclusivement de scories vitreuses de couleur gris-verdâtre de type D1 et D2.

Chacun des fragments de tuyère a été décrit individuellement et photographié sous toutes ses faces. Les principales caractéristiques morphologiques et métrologiques sont regroupées dans le tableau 1. Les caractéristiques techniques (morphologie générale ; forme et diamètre de l'ouverture extérieure = l'embouchure ; forme de l'extrémité terminale = le nez ; nombre, diamètre et orientation des conduits ; inclusions présentes dans la pâte, altération de celle-ci) sont reportées pour chaque pièce dans le tableau 2. Des remontages ont été tentés sans succès dans chacune des trois couches et pour les pièces hors stratigraphies.

- Les tuyères

Tous les fragments de tuyère collectés paraissent correspondre à des pièces de forme grossièrement demi-cylindrique ou demi-conique, plus ou moins trapues, reposant sur une base plane. Les longueurs restituables sont supérieures à 125 mm, mais probablement inférieure à 180 mm. Les largeurs sont supérieures à 100 mm et les hauteurs supérieures à 80 mm.

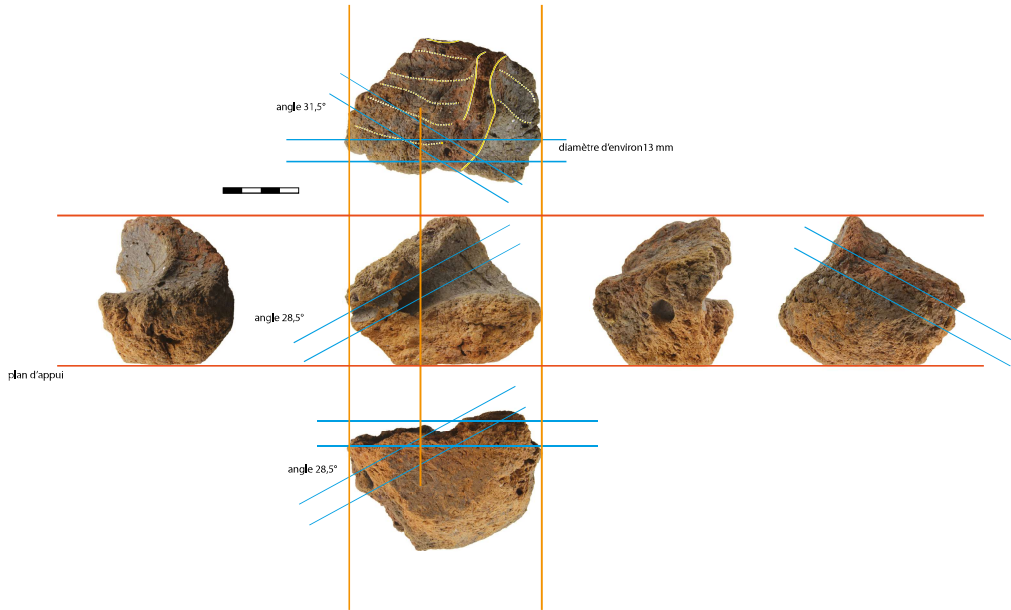


Figure n°37. Dracy - Ferrier Guillou 1, tuyère 5 HS (Paul Merluzzo)

Lorsqu'elle est conservée, l'embouchure est en forme de tronc de cône très court (20 à 30 mm de longueur). Son ouverture atteint une cinquantaine à une soixantaine de millimètres de diamètre et à son sommet le cône est prolongé par deux ou trois conduits cylindriques rectilignes, de 13 à 15 mm de diamètre, qui débouchent au nez de la tuyère. Ces conduits sont décalés en hauteur les uns par rapport aux autres et sont orientés longitudinalement vers le nez de la tuyère selon des axes divergents d'une vingtaine de degrés (fig. 37, 38).

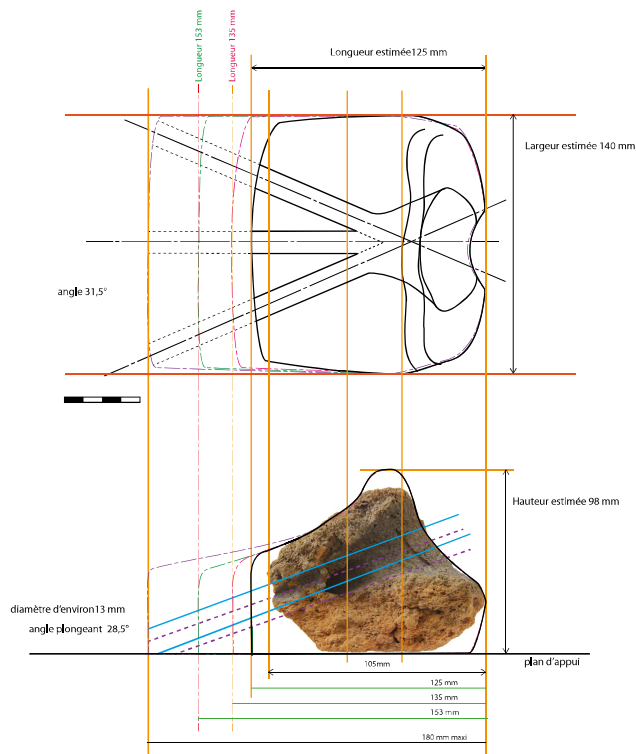


Figure n°38. Dracy - Ferrier Guillou 1, tuyère 5 HS - Propositions de restitution (Paul Merluzzo)

Les tuyères sont façonnées dans une pâte argileuse contenant des granulats arrondis de taille infra-millimétriques à pluri-millimétriques, très rarement centimétriques, parmi lesquels s'observent des éclats de silex et plus rarement de scorie. La pâte contient également des amas pluri-millimétriques d'argile blanche saturés en granulats infra-millimétriques. On observe aussi des empreintes de fibres végétales dans la pâte de certaines pièces. Ces éléments permettent de penser que l'argile utilisée est d'origine locale (éclat de silex, inclusions d'argile blanche) et qu'elle a été façonnée sur place dans les ateliers (éclat de scorie). Elle est de même nature que celle utilisée pour la confection des pains (ci-dessous). Le façonnage paraît assez grossier et le matériau cuit est très friable.

Les surfaces à proximité du nez sont vitrifiées, voire scorifiées. Les surfaces internes du cône et des conduits sont le plus souvent sinon vitrifiées du moins fortement cuites. Ces altérations thermiques indiquent que la chaleur et/ou les flammes se propagent dans les conduits et autour de la tuyère suggérant un scellement non hermétique. Elles pourraient aussi témoigner d'un système de ventilation naturelle plutôt que forcé.



Figure n°39. Tuyère conservée au musée de Villiers-Saint-Benoit (VSB146) (Marion Berranger)

Ces pièces sont similaires aux quatre exemplaires conservés au musée de la vie rurale de Villiers-Saint-Benoit, dont la provenance exacte bien que locale n'est pas précisée (fig. 39). Il s'agit de pièces non complètes, mais mieux conservées, d'apparence plutôt trapue, plus larges (130 à 165 mm) que longues (> 100 mm), pour une hauteur variant de 85 à 105 mm. Sur trois des quatre exemplaires, l'embouchure est en forme de cône avec un diamètre d'ouverture de 62 à 65 mm (2 exemplaires) et 85 mm (1 exemplaire), prolongé par trois conduits cylindriques divergents d'une vingtaine à une trentaine de degrés vers le nez, et d'un diamètre variant entre 12 et 18 mm (fig. 40).

Référence	Longueur	Largeur	Hauteur	Ø ouverture
VSB 146	> 100 mm	165 mm	105 mm	84 mm
VSB 147	> 90 mm	132 mm	96 mm	63 m
VSB 149	> 100 mm	130 mm	95 mm	62 mm
VSB 150	> 87 mm	165 mm	83 mm	-

Figure n°40. Mensurations des tuyères trifides conservées au musée de la vue rurale à Villiers-Saint-Benoit (Yonne).

La photographie d'une tuyère du même type, en apparence complète, trouvée sur le Grand Ferrier de La Garenne à Tannerre-en-Puisaye, est reproduite dans l'ouvrage de François-Pierre Chapat (1981, p. 53). L'absence d'échelle métrique ne permet pas d'en préciser les dimensions. Elle semble plus large que longue et possède une base plane assez épaisse. La forme est clairement demi-cylindrique outrepassée, plus haute que large. L'embouchure de section conique s'ouvre dans la moitié supérieure. Le cône est prolongé par trois conduits rectilignes cylindrique divergents vers le nez.

En Puisaye, des tuyères dites « trifides » ont été découvertes sur un certain nombre de « ferriers ». Outre Tannerre, F.-P. Chapat en mentionne provenant « des ferriers de Dracy, Villiers, Saint-Fargeau, Mézilles » (1981, p. 52). A. Bouthier indique en avoir trouvé au lieu-dit les Thorins à Arquian (Bouthier 1982). Plus récemment, nos sondages dans l'amas n°1 du Bois des Ferriers à Montholon/Aillant-sur-Tholon en ont également livré dans des couches datées de la période romaine (Berranger et al. 2017, 2018 et 2023) ; leur étude à venir permettra d'affiner les comparaisons et le degré de similitudes de ces pièces.

Des tuyères à embouchure conique et triples conduits divergents ont été trouvées dans l'atelier d'époque romaine (IIe - IIIe s.), fouillé au lieu-dit les Ferrys sur la commune de La Bussière située en bordure occidentale de la Puisaye (Rebiscoul 1999, vol. 1/3 p. 174-175 et vol. 2/3 fig. 36), et sur les ateliers de La Tène finale et du Haut-Empire du site des Fouetteries sur la commune des Clérimois, dans le Sénonais, zone de production bordant au nord celle de Puisaye (Dunikowski et Cabboi 1995, p. 89-92). Plus loin géographiquement, mais toujours dans des ateliers datés de la période romaine, des fragments de tuyères de morphologie similaire mais avec seulement deux conduits divergents ont été collectés sur les sites de Roche Brune 1 à Pezé-le-Robert et de La Guittière à Saint-Denis-d'Orques, dans la Sarthe (Sarreste 2011, p. 86-87 et fig. 55), et sur le site de Pilleverte II à Plesder en Ille-et-Vilaine (Vivet 2008, p. 81, photo 7), ainsi qu'en Bretagne insulaire à Bardown (Pleiner 2000, p. 209, fig. 56 n° 3 d'après Cleere 1963).

Les similitudes dans la morphologie et dans les caractéristiques dimensionnelles de ces pièces pourraient témoigner de la diffusion d'un même savoir-faire technique appliqué aux éléments du système de ventilation des fourneaux de réduction du minerai de fer dans cette partie du monde romain. La similitude des diamètres des conduits et de leurs angles de divergence révèle probablement une gestion maîtrisée de l'introduction de l'air dans les fourneaux qui sont, sur les sites d'atelier où on en a mis au jour (les Ferrys, les Fouetteries, Roche Brune, Pilleverte II), d'un diamètre conséquent. Toutefois, sur aucun de ces sites, ces tuyères n'ont été retrouvées en place dans la paroi des fourneaux. Il est donc impossible d'analyser plus précisément l'implication de ces caractéristiques morphologiques et dimensionnelles sur la ventilation des fourneaux.

- Les fragments de pains de terre cuite

La morphologie de ces fragments semble indiquer qu'ils sont des morceaux de blocs de forme parallélépipédique (deux ou trois faces disposées perpendiculairement). Les surfaces conservées présentent un même aspect lissé, marqué par de fines stries parallèles, et une rubéfaction similaire de coloration noircie. On n'y observe ni vitrification, ni de scorification. Les pains HS 1 à HS 3 montrent des empreintes semi-circulaires pouvant évoquer des traces de doigt ou l'empreinte de branchage.

La texture de la pâte est similaire : elle ne montre pas d'orientation particulière et contient des granulats majoritairement infra-millimétriques, millimétriques et quelques-uns plurimillimétriques. Les granulats possèdent des surfaces arrondies, ils peuvent être translucides, opaques, blancs ou foncés. Les granulats foncés, généralement de couleur marron, paraissent être des oxydes de fer, mais les colorations rouges à grises suggèrent une transformation par l'impact thermique. Le pain HS-5 contient aussi des petits amas d'argile blanche saturée en granulats translucides infra-millimétriques. La texture de ces pâtes est en tout point similaire à celle observée pour les tuyères.

Le pain HS-1 se distingue par un aspect de surface différent : les surfaces ne sont pas lissées de la même manière que celles des autres fragments, et elles ont une coloration beige généralisée. De plus, on observe la présence de quelques fibres végétales.

Ces pains de terre cuite ont pu servir dans la construction de parois avec ossature de branchages. Dans ce cas, ce sont des parties éloignées des zones très chaudes (pas de vitrification, ni de scorification). Les parties anguleuses peuvent suggérer des modules quadrangulaires.

Perspectives

Sur ce site, les travaux sur le terrain se poursuivront au moyen des levés LiDAR prévus à l'hiver 2024. L'essentiel des travaux à entreprendre concernent la poursuite de l'étude des déchets et la modélisation 3D de l'amas.

Trois datations radiocarbone (reçues en janvier 2024) fournissent une chronologie comprise entre 84 AD et 346 AD (Annexe 7). Elles devront être remises en perspective dans le contexte interprétatif du site.

3.2.3. Observations ponctuelles sur le site de Dracy « Pâturage des noirs » 89.147.003

Le site de la Pâturage des Noirs a fait l'objet de prospections et d'une datation radiocarbone dans les années 2000 (Pietak *et al.* 2012 – fig. 17 , Ly-11877) fournissant actuellement un intervalle de datation compris entre 204 et 381 cal. AD. Le charbon daté provient de la mi-hauteur d'une stratigraphie décrite comme pouvant atteindre 6 m de hauteur. Ce site se classe dans la catégorie des grands amas. Déjà très détruit dans les années 2000, seules quelques grandes buttes périphériques subsistaient encore, alors que toute la partie centrale avait été évidée (fig. 41). Les dimensions enregistrées alors restituaient un diamètre de 200 m, pour une élévation de 7 m.

Lors de repérages réalisés durant l'hiver 2022, Jean-Pierre Piétak est retourné sur le site et a constaté la destruction quasi-totale de l'amas par des engins mécanisés. Nous nous sommes rendus sur place en avril 2022 et avons réalisé quelques observations ponctuelles. Quelques lambeaux d'amas subsistaient et une stratigraphie d'une hauteur de 1 m a été ponctuellement étudiée (fig. 42). L'objectif était de documenter les assemblages de scories et de prélever des charbons de bois pour datation.



Figure n°41. Dracy - Pâturage des Noirs. Vue de la stratigraphie à l'emplacement où un charbon a été prélevé dans les années 2000 (Jean-Pierre Piétak).



Figure n°42. Dracy - Pâturage des Noirs. Vue de la zone étudiée sur un des amas résiduels, mars 2022 (Marion Berranger).

Un log a été enregistré (fig. 43). La partie inférieure (US1) correspond à une strate sombre comprenant des fragments de parois, surmontée par une strate de charbon (US2). La strate au-dessus (US3) correspond à un limon sableux gris clair. Elle est surmontée par une fine couche

constituée de fragments de scories et de parois sans sédiment (US4). Les scories présentes montrent des textures cristallisées. Au-dessus, sur une vingtaine de centimètres d'épaisseur (US5), se trouve un agglomérat de sédiments micro-stratifiés, comprenant des scories vitreuses et cristallisées prises dans un sédiment beige. Des fragments de parois et de charbons sont présents. La strate supérieure (US6) livre des scories vitreuses prises dans un sédiment blanchâtre. Deux charbons sont en cours de datation, l'un issu d'une US supérieure (US 6) et l'autre d'une US inférieure (US 2).

Aucune nouvelle investigation n'est envisagée sur ce site. Deux datations radiocarbone (reçues en janvier 2024) fournissent une chronologie comprise comparable entre 223 AD - 384 AD (Annexe 7).

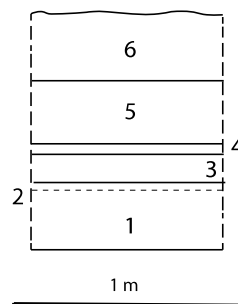
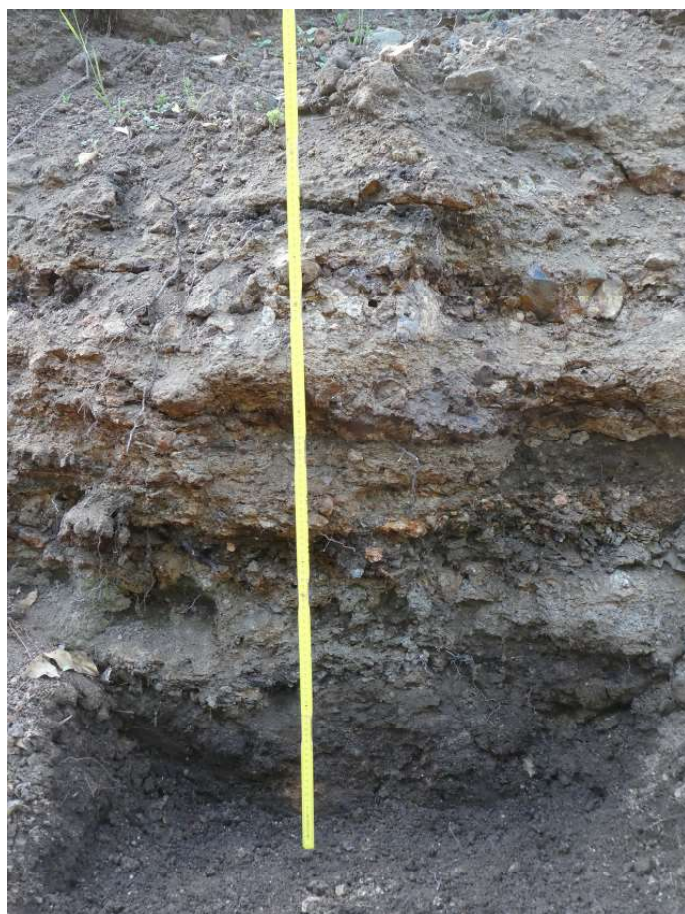


Figure n°43. Log et vue générale de la stratigraphie étudiée ponctuellement (Marion Berranger).

3.2.4. Conclusions

Les travaux de terrain sont déjà bien engagés à Dracy et ont permis d'accumuler une masse de données qu'il reste encore à exploiter notamment dans le domaine de l'étude des déchets. Des datations radiocarbone sont également en cours.

En ce qui concerne les travaux de terrain, ils doivent se concentrer sur la réalisation de relevés LiDAR sur le site de Dracy 1, Ferrier Guillou. Ces acquisitions devraient être réalisées par Matthieu Thivet durant l'hiver 2023-2024. Des études stratigraphiques et des prélèvements volumétriques sont également à prévoir sur le site de Dracy 2, Ferrier Guillou, afin de compléter les informations issues des levés LiDAR déjà disponibles. Ces sondages devraient être réalisés sous la responsabilité de Margaux Herbrich durant l'été 2024.

4. Les travaux de terrain 2023 en Puisaye : sondages et prélèvements volumétriques sur la commune de Montholon (Yonne)

Données administratives, techniques et scientifiques

Localisation des sondages

Région : Bourgogne-Franche-Comté

Département : Yonne (89)

Commune concernée par les sondages : Aillant-sur-Tholon, Bois des Ferriers

Parcelles cadastrales : section OA1, 2, 3, 6, 22, 33, 37, 39 et 41

Numéro d'arrêté d'autorisation : 2023/285

Code opération : 044189

Responsable scientifique

Berranger Marion

Organisme de rattachement

Institut de Recherche sur les Archéomatériaux

Laboratoire Métallurgies et Cultures

UMR7065-CNRS

Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

90010 Belfort Cedex

Dates d'intervention

du 10 au 21 juillet 2023

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologique

Laboratoire Métallurgies et Cultures,

Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

90010 Belfort Cedex

Mots-clefs des thésaurus

Chronologie : Protohistoire, Antiquité, Moyen âge

Sujets et thèmes : Artisanat

Mobilier : Céramique, déchets sidérurgiques

Responsable scientifique / encadrement - rédaction du rapport : Marion Berranger (IRAMAT-CNRS), Marc Leroy (IRAMAT-CNRS), Margaux Herbrich (IRAMAT-ARTEHIS)

Equipe de fouilles :

Claire Eberhardt (Univ. Strasbourg), Lucie Concet (Univ. Strasbourg), Sarah D'Olif (Univ. Caen), Fanny Poulet (Univ. Amiens), Steven Rey (Univ. Lyon III), Severine Saves (Univ. Besançon), Cyprien de Salev Villedieu (Ensta)

Post-fouille :

Céramologie :

Sylvie Mouton-Venault (INRAP)



**PRÉFET
DE LA RÉGION
BOURGOGNE-
FRANCHE-COMTÉ**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2023/285 du 12 juin 2023
portant autorisation de projet collectif de recherche

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté du 7 février 2022, portant définition des données scientifiques de l'archéologie et de leurs conditions de bonne conservation ;

Vu l'arrêté n° 23-56 BAG, du 16 mars 2023, de Monsieur Franck ROBINE, préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté, portant délégation de signature à Madame Aymée ROGÉ, directrice régionale des affaires culturelles de la région Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté publié le 27 mars 2023, portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272023000066, de demande d'opération archéologique arrivé le 31 mai 2023 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERRANGER est autorisée à conduire, en qualité de responsable scientifique, à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 29 décembre 2023, une opération de fouille programmée, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE
Département : YONNE
Commune : MONTHOLON
Lieu-dit : « Bois des Ferriers »
Cadastre : section OA, parcelles n° 1, 2, 3, 6, 22, 33, 37, 39 et 41

Intitulé de l'opération : Fouille programmée d'un ferrier exploité de La Tène finale au début du Bas-Empire
Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.
Code de l'opération : **044189**

Cette opération a lieu dans le cadre du Projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions ».

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 et versement des archives de fouilles

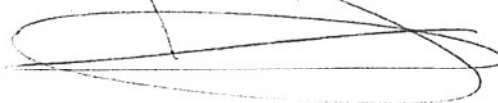
Le traitement des vestiges mobiliers et de la documentation scientifique devront se conformer aux dispositions du protocole en vigueur en Bourgogne Franche-Comté, **Art.4 de l'arrêté du 7 février 2022 (protocole ci-joint)**, pour la conservation, l'inventaire, le conditionnement et la remise de la documentation scientifique et du mobilier issus des opérations archéologiques.

Article 4 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Marion BERRANGER.

Fait à Besançon, le

12 JUIN 2023

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

4.1. Introduction : rappel des travaux et des acquis antérieurs

Dans le cadre du présent PCR, l'importante zone de production de fer brut que constitue la Puisaye fait l'objet de travaux prioritaires depuis 2017. Dans un premier temps, afin d'étudier les rythmes chronologiques et les caractéristiques techniques de la production, les travaux ont porté sur l'étude des amas de déchets marquant l'emplacement des ateliers de production primaire. Ils ont pour objectif la reconstitution et la compréhension des accumulations stratigraphiques, l'identification et la caractérisation des associations typologiques de déchets, et le prélèvement de charbons de bois à des fins de datation.

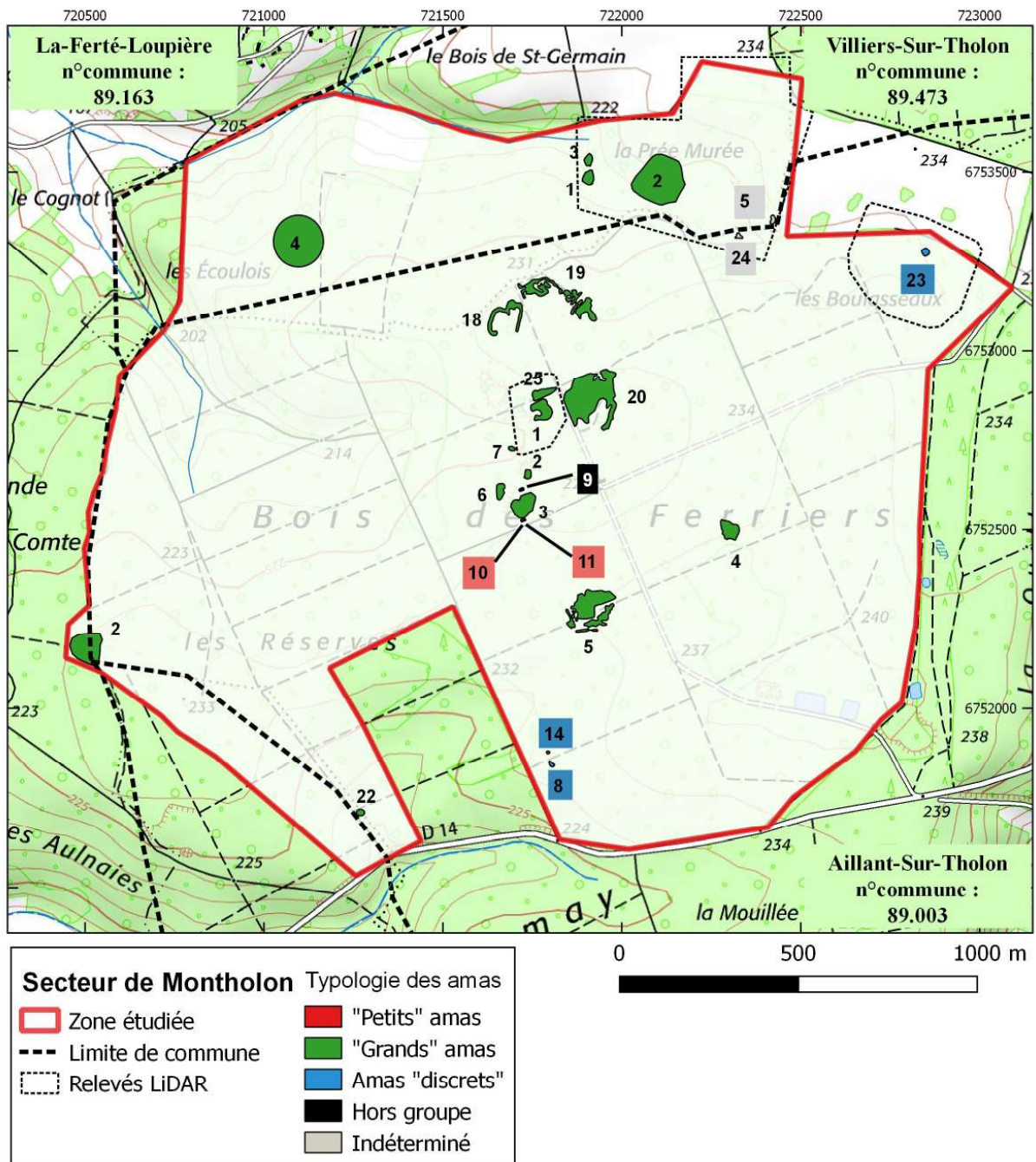


Figure n°44. Localisation des amas étudiés dans la zone-atelier de Montholon.

En Puisaye, les travaux se sont organisés à partir de trois « zones-atelier », espaces d'une dizaine de km² chacun, au sein desquelles tous les amas de déchets ont été identifiés, délimités, cartographiés et échantillonnés, et dont une part significative a été sondée (pour plus de détails voir chap. 2). Ces trois « zones-atelier » sont chacune située au sein d'un des trois secteurs de forte concentration de sites qui se rencontrent au nord, au centre et au sud de la Puisaye. Ces localisations permettent ainsi d'assurer une bonne représentativité de la diversité des sites de production primaire présents dans tout cet espace géographique. Au nord, dans le « Bois des Ferriers » et à sa périphérie, sur la commune de Montholon, vingt-quatre amas ont été étudiés et six ont été sondés. Au centre, dans deux secteurs localisés de part et d'autre de la vallée de l'Ouanne, sur la commune de Villiers-Saint-Benoît, aux lieux-dits « Les Grands Usages », « L'Usage des Souches », « Bois Fendu » et « Bois des Usages », vingt-six amas ont été prospectés et quatorze ont fait l'objet de sondages ponctuels. Au sud, dans les « Bois de Bailly » sur la commune de Saint-Fargeau, trente-neuf sites ont été prospectés et douze ont fait l'objet de sondages.

Les travaux menés cette année ont concerné la « zone-atelier » du « Bois des Ferriers » à Montholon (fig. 44 et chap. 2, fig. 1 et 3), qui a déjà fait l'objet de trois campagnes d'études archéologiques. Des prospections et des sondages ont ainsi été réalisés en 2017 et 2018 (Berranger dir. 2017, 2018, 2020). Nous disposons pour ce secteur de quarante-et-une dates radiocarbone issues de dix-sept sites. Elles permettent de reconnaître une activité sidérurgique débutant entre le IV^e et le III^e s. av. J.-C. et se poursuivant sans hiatus perceptible jusqu'au IV^e s. ap. J.-C. (fig. 45). La plupart des sites datés dans cette « zone-atelier » se situent dans une période comprise entre le I^{er} et le IV^e s. ap. J.-C. Après une interruption – au moins apparente – de plusieurs siècles, une production plus tardive est documentée à partir de deux amas identiques et jumelés dont l'un a été daté des XI^e-XIII^e s.

Des relevés LiDAR réalisés par Matthieu Thivet ont permis de topographier avec précision une partie de ces amas, et ces données ont été étudiées dans le cadre d'un mémoire de master 2 ce qui a notamment permis de réaliser des premiers essais de calcul du volume de certains d'entre eux (Herbrich 2021). La réalisation d'autres relevés LiDAR est prévue à la fin de l'année 2023 ou au début de l'année 2024, afin de de topographier avec précision tous les amas présents sur cet zone-atelier afin de pouvoir en calculer les volumes. En 2023, l'objectif de la campagne de sondages visait à réaliser des coupes stratigraphiques sur des amas non encore étudiés, d'en réaliser de nouvelles sur des amas déjà étudiés précédemment mais à des emplacements différents pour collecter des informations complémentaires, et de ré-exploiter certaines coupes réalisées antérieurement, dans le but de prélever des déchets de production afin de quantifier la proportion de scories au sein des différentes couches de rejets accumulées.

4.2. Méthodologie

Les travaux ont porté pour une partie sur des amas déjà sondés, pour lesquels les coupes stratigraphiques réalisées il y a quelques années étaient encore accessibles, et sur lesquels il était possible d'envisager facilement la réalisation de nouveaux prélèvements. C'est le cas des sites 5 et 10 qui ont simplement fait l'objet de nouveaux prélèvements sur coupes déjà étudiées. Sur les sites 4, 9 et 11, des sondages manuels d'environ 1 m de côté, ont été réalisés et conduits jusqu'au terrain naturel. Enfin des nouveaux sondages mécanisés ont été réalisés avec une pelle mécanique à chenille de 8 t. et un godet lisse d'1,50 m sur les amas comportant de fortes épaisseurs de stratigraphie. Cela a été le cas des sites n°1, 19 et 25. Plusieurs sondages ponctuels

ont également été réalisés sur le pourtour du site 1 afin de déterminer la profondeur du substrat. Il s'agit en effet d'un paramètre indispensable afin de déterminer précisément le volume de l'amas de déchets. Dans chacun des cas, après relevé stratigraphique, et éventuellement enregistrement photogrammétrique, des prélèvements volumiques en stratigraphie ont été réalisés afin de calculer la concentration massique des déchets par couche ou par ensemble d'unités stratigraphiques. L'objectif est de préciser la concentration de scories par mètres cubes au sein de chacun des amas étudiés à partir du calcul de la surface occupée par chaque couche dans la coupe stratigraphique et de la concentration massique des différentes catégories de déchets (scories, minéral, parois de four).

Le protocole repose sur le prélèvement en vrac de seaux de déchets d'un volume constant (ici 12 l.) dont l'ensemble du prélèvement est pesé. Le contenu du seau est ensuite tamisé et les différents types de déchets sont individualisés. Après tri, le volume et la masse des différentes catégories de déchets est enregistrée. Les fragments de parois, minéral, métal et scories sont isolés. De plus, les scories ont été triées en fonction de leur attribution typologique (pour le détail de la typologie se reporter à Berranger dir. 2020 et chap. 2).

Des déchets représentatifs ont également été prélevés pour être étudiés en laboratoire. Des analyses de composition chimique des principaux éléments chimiques composant scories et minerais (Al-Si-K-Ca-Fe-Na-Mg), à l'aide d'un analyseur de fluorescence X portable, devraient permettre d'établir les filiations chimiques et de calculer des bilans matières, afin d'approcher des ordres de grandeur des rendements en fer. *In fine*, l'objectif est de pouvoir croiser ces ordres de grandeur de rendement en fer avec les volumes de déchets précisément calculés grâce aux acquisitions LiDAR et aux prélèvements volumiques en stratigraphie.

4.3. Description des sondages par site

Les travaux conduits au « Bois des Ferriers » à Montholon ont mis en évidence la présence d'une majorité d'amas de déchets de grande taille (seize sur les vingt-quatre étudiés - fig. 45). Quatre « gros amas », présentant des élévations importantes, ont été sondés en 2017 et 2018 (amas 1, 3, 5 et 20). L'examen des stratifications révèle une superposition de couches de rejet de déchets scorifiés, de parois de fourneau, voire de minéral grillé. Les datations réalisées au sein de ces différentes strates montrent que les accumulations de déchets ont pu débuter dès le II^e ou le I^{er} s. av. J.-C. Elles semblent avoir cessé à la fin du III^e s. ap. J.-C. pour l'amas 5, et au début voire au milieu du IV^e s. ap. J.-C. pour les amas 1, 3 et 20. Même en tenant compte des incertitudes liées aux plages de calibration des dates radiocarbone, ces amas paraissent s'être constitués sur plusieurs siècles, si ce n'est en continu, au moins en plusieurs phases, depuis La Tène finale jusqu'au début du Bas-Empire.

Les amas 1 et 20 sont voisins et sont séparés par une route forestière moderne dans la construction de laquelle sont intégrées des scories visibles en surface. Aussi la réalité d'une séparation physique ancienne entre ces deux entités archéologiques n'est en l'état pas assurée. C'est aussi le cas pour l'amas 25 localisé en bordure nord de l'amas n°1 et qui n'en est séparé que par un chemin forestier dans lequel sont insérées des scories anciennes. L'amas 25 pourrait donc n'être que l'extrémité nord de l'amas 1. La surface occupée par les amas 1-25 et 20 avoisine 5 ha (250 sur 200 m). Par ailleurs, cet ensemble constitué par les amas 1-25 et 20 est situé à l'extrémité sud d'une vaste zone d'environ 500 m sur 350 m où s'observe la présence récurrente de scories et de sédiment contenant des éclats de scorie en concentrations plus ou

moins diffuses. Les limites de cette zone ont été reconnues au sol par J.-P. Piétak au cours de ses prospections. L'extrémité nord de cette zone est occupée par des reliques d'amas de déchets fortement remaniés et détruits par les ré-exploitations du début du XX^e s. (amas 18 et 19) qui pourraient avoir occupé une surface équivalente à celle couverte par les amas 1-25 et 20. C'est à l'intérieur de cette zone qu'un sondage (entité 21) réalisé en 2018 a mis au jour des vestiges d'occupation que le mobilier céramique récolté date aussi de la période romaine.

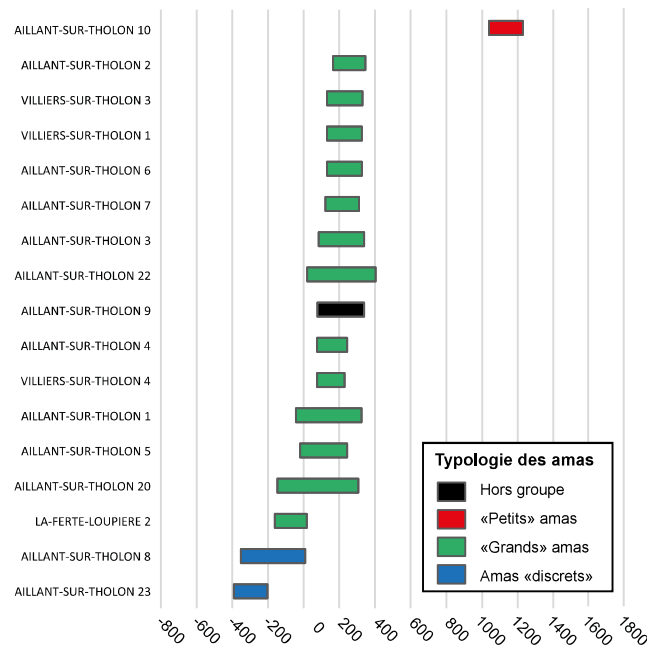


Figure n°45. Datations par méthode radiocarbone des amas de déchets de la zone-atelier de Montholon.

Cette année, six sondages ont concerné l'amas 1 : deux coupes stratigraphiques réalisées sur des fronts de ré-exploitation (sondages 5 et 6) et quatre sondages sur le pourtour (sondages 7, 8, 9 et 10). Une coupe stratigraphique a été réalisée sur l'amas 25 en réutilisant aussi un front de ré-exploitation. Un sondage a été réalisé sur l'amas 19 à l'emplacement d'un layon forestier récemment ouvert et qui l'a en partie entaillé.

Les amas 4 et 5 sont situés à 500 m au sud des amas 1 et 20, et sont séparés l'un de l'autre d'environ 350 à 400 m. Il s'agit de grand amas, très fortement remaniés par des ré-exploitations du XX^e s. Pour l'amas 5, la coupe stratigraphique réalisée en 2018 a été rafraîchie. Pour l'amas 4, qui n'avait pas encore été étudié, deux sondages ont été réalisés sur le flanc de buttes résiduelles.

Les petits amas 9, 10 et 11 sont situés 200 à 250 m au sud-ouest de l'amas 1 au sein d'un espace où existent de plus grands plus ou moins remaniés. Les sites 9 et 10 ont déjà été sondés en 2017-2018. L'amas 11 contigu à l'amas 10 n'avait pas encore été étudié. Ces deux petits ferriers sont très différents des autres, tant par leurs petites dimensions et leur faible élévation, que par la morphologie des scories qu'ils livrent (ils se classent dans la catégorie des « petits amas »). L'amas 10 est daté de la période médiévale.

4.3.1. L'ensemble des « grands amas » 1, 25 et 19 (fig. 46)

Amas 1

Dans son état actuel, l'amas 1 se présente sous la forme d'une butte en forme de croissant, haute d'environ 9 m, délimitée à l'intérieur par des fronts de taille laissés par les travaux

de récupération des scories tout au long du XX^e s. Le pourtour externe conservé au sud, à l'est et au nord-est permet de restituer une forme originelle grossièrement ovoïdale dont il manquerait toute une moitié occidentale, ainsi que la partie centrale. Les flancs conservés sont très pentus. Le relevé LiDAR révèle que la butte est en fait constituée par la juxtaposition et la superposition de plusieurs tas aux contours arrondis. Au moins quatre peuvent être identifiés sur la partie conservée. L'amas est bordé à l'est et au sud par une plateforme, relativement plane du côté est, en légère déclivité du côté sud, elle-même délimitée par un fossé curviligne qui semble s'interrompre sur quelques mètres au sud-est. Ce fossé large de quelques mètres s'interrompt brutalement à son extrémité sud-ouest ; côté est, il n'est plus observable, son tracé ayant été masqué ou détruit par la création de la route forestière. Les relations fonctionnelle et chronologique de ces aménagements avec l'amas sont pour l'instant inconnues.

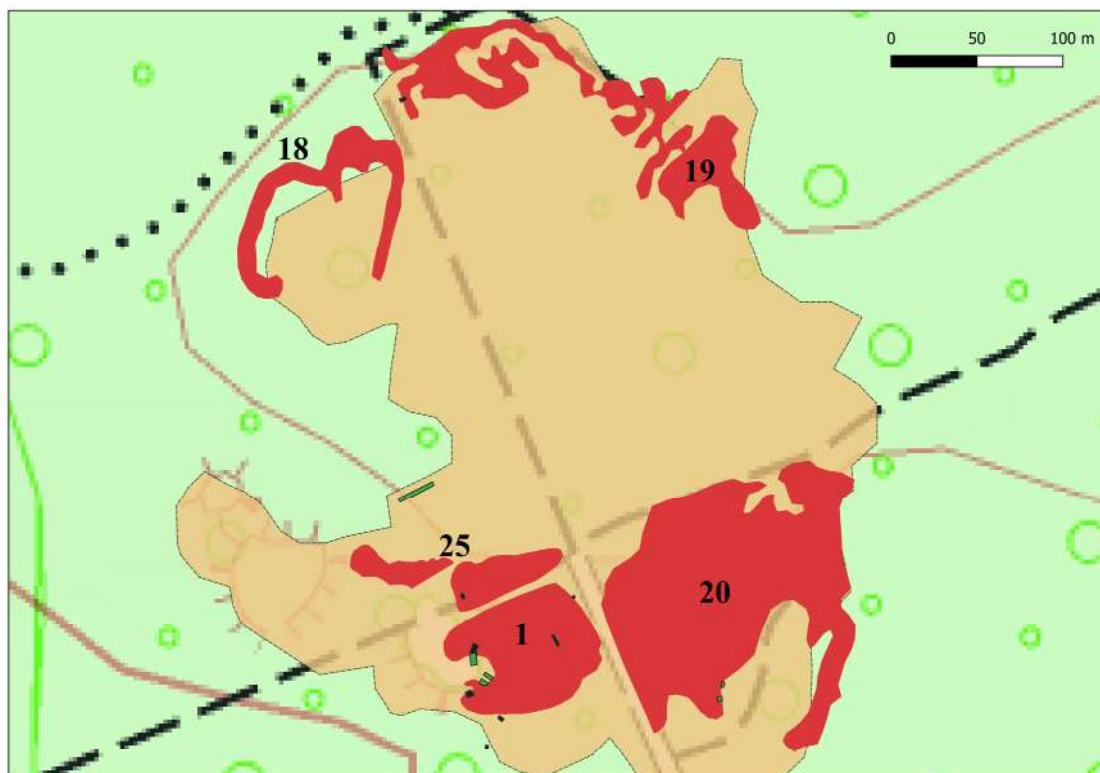


Figure n°46. Détail des contours des grands amas 1, 20, 25, 18 et 19.

La stratigraphie de l'amas a pu être étudiée en 2017 à partir du grand front de taille qui en découpe le centre et par le creusement de trois sondages au pied de ce front. Les prélèvements de charbons de bois dans différentes strates de ces coupes stratigraphiques ont mis en évidence une chronologie comprise entre la fin du I^{er} s. av. J.-C. et la fin du III^e s. ap. J.-C.

Cette année, deux nouvelles coupes stratigraphiques ont été réalisées sur le front de taille en deux endroits opposés (fig. 47). Le sondage 5 a été implanté à l'extrémité sud-ouest, à quelques mètres à l'ouest du sondage 3 de 2017. Le sondage 6 a été implanté à l'extrémité nord-est sur le flanc de ce qui apparaît comme un monticule posé en avant d'un autre front de taille situé en retrait. Ce sondage 6 est situé dans la continuité du sondage 1 ouvert en 2017 à la base duquel des traces de rubéfaction avaient été observées, possibles indices de la présence de structures de combustion. De plus, deux sondages ont été creusés au sein de la plateforme du côté est (sondage 7) et du côté sud (sondage 10), et deux autres en limite de la plateforme, au sud (sondage 9) en bordure intérieure du fossé, et au nord-est (sondage 8), en bordure de la

route forestière. L'objectif est d'identifier la nature de cette plateforme, la présence ou non d'épandages de scories et éventuellement d'en déterminer l'épaisseur dans des zones de faible relief.

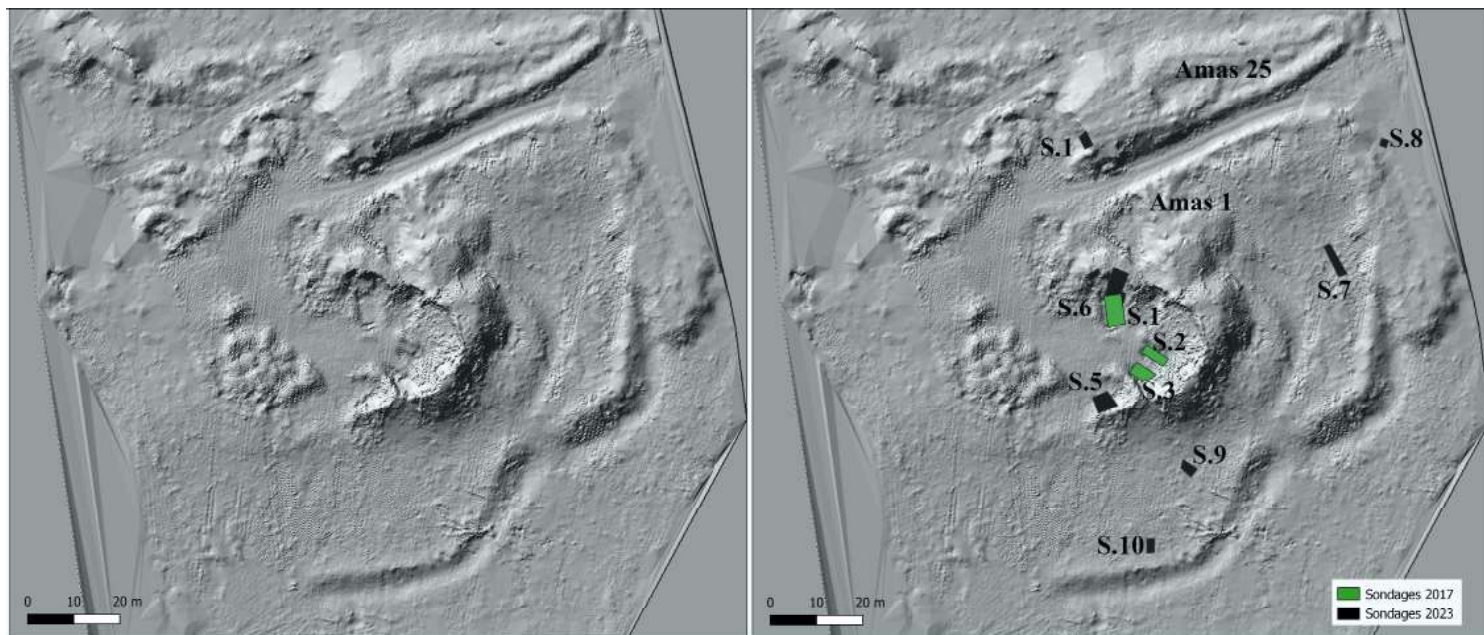


Figure n°47. Levé LiDAR à l'emplacement de l'amas 1 et 25 et localisation des sondages (M. Herbrich, M. Berranger)

Sondage 5

Le sondage a été ouvert sur 4,50 m de largeur et 4 m de hauteur (fig. 48, 49). La moitié supérieure de la stratigraphie (US 501 à 504) est occupée par des niveaux stériles en déchets sidérurgiques, et pour partie par des apports de terre et d'argile blanche à silex. Il s'agit très certainement de niveaux postérieurs à la production sidérurgique, bien qu'il ne soit pas pour l'instant possible de les situer chronologiquement.



Figure n°48. Amas 1 - Sondage 5, vue générale (M. Berranger)

La moitié inférieure, sur 2 à 3 m de hauteur, est occupée par des niveaux de rejets sidérurgiques en place : couches de scories avec peu de sédiment (US 505, US 506, US 508), couches mélangeant des blocs de scories et des morceaux de parois de four de taille pluri-centimétrique à pluri-décimétrique (US 507 et 509). De fins litages de sédiments terreux intercalés entre deux niveaux de rejets pourraient témoigner de phases d'arrêt de rejet de déchets.

Des prélèvements volumétriques ont concerné les US 504 à 509. Un volume total de 1080 l. a été pris en compte. L'essentiel des scories prélevées dans ce secteur sont des scories denses cristallisées (type A2, A3, A4). La proportion de scories en boudins accolés (type A5) est faible ; ces scories sont présentes essentiellement à la base (US 509). Quelques scories bulleuses d'apparence vitreuses sont également présentes.

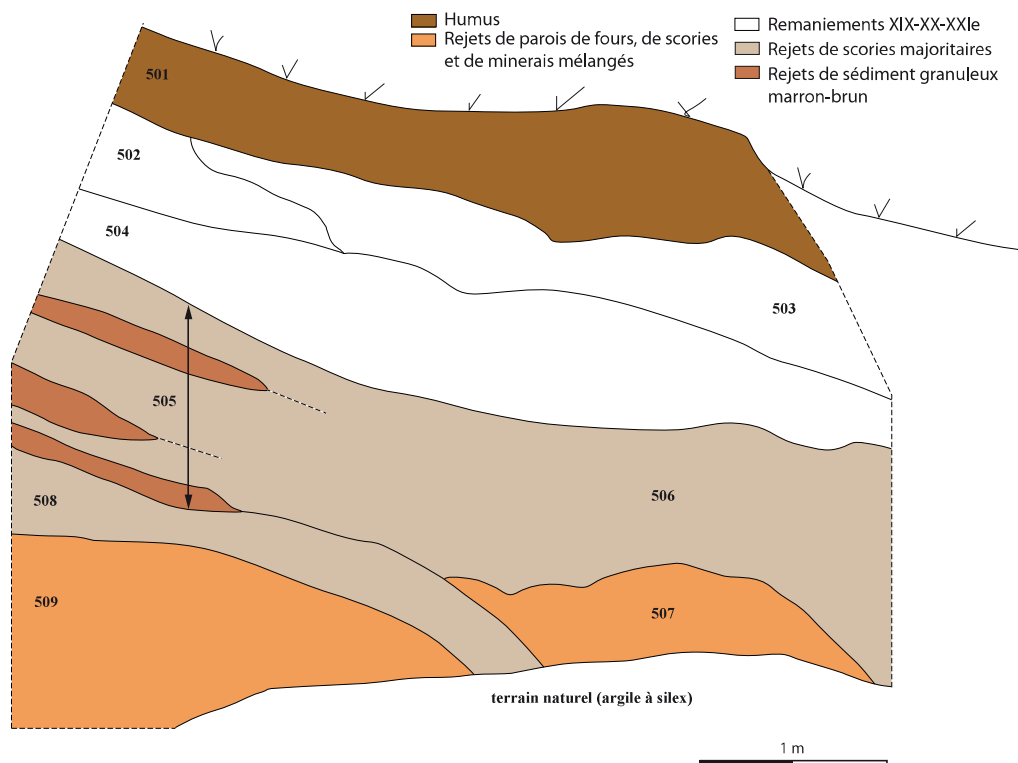


Figure n°49. Amas 1 - Sondage 5, relevé stratigraphique (Relevés et DAO : M. Leroy)

Sondage 6

Le sondage a été ouvert sur 3 m de largeur et 4 m de hauteur (fig. 50, 51). Les trois quarts de la hauteur de la stratigraphie (environ 3 m) sont occupés par une couche (US 608) assez homogène de sédiment fin granuleux brun-marron parsemé de petits fragments de scorie de taille centimétrique, plus rarement et localement de taille pluri-centimétrique à pluri-décimétrique. Cette faible proportion de déchets conduit à l'interpréter comme constituée des résidus laissés par le criblage des couches de scories lors de la ré-exploitation contemporaine de l'amas de déchets. Il apparaît donc clair que la plus grande partie du volume de ce monticule est de constitution récente et résulte de la destruction d'une partie de l'amas initial.

A la base, sur environ un mètre d'épaisseur, les couches de rejets sidérurgiques sont en place. Il s'agit d'une alternance de couches majoritairement constituées de scories de taille pluri-centimétriques à pluri-décimétriques (US 603, 605, 607) et de couches mélangeant des gros blocs de scorie et des fragments de paroi de fourneau (US 601, 602, 604). Le nettoyage planimétrique du niveau de rejet reposant directement sur le terrain naturel a révélé des fragments de pains

d'argile crue ou à différents degrés de cuisson (parfois scorifiés), de taille décimétrique, mêlés à de gros blocs pluri-décimétriques de scories en boudins accolés (type A5) (fig. 52). Une partie de la bordure est du sondage a été démontée manuellement sur environ 1 m² mais aucune structure métallurgique n'a été mise en évidence.



Figure n°50. Amas 1 - Sondage 6, vue générale (M. Berranger)

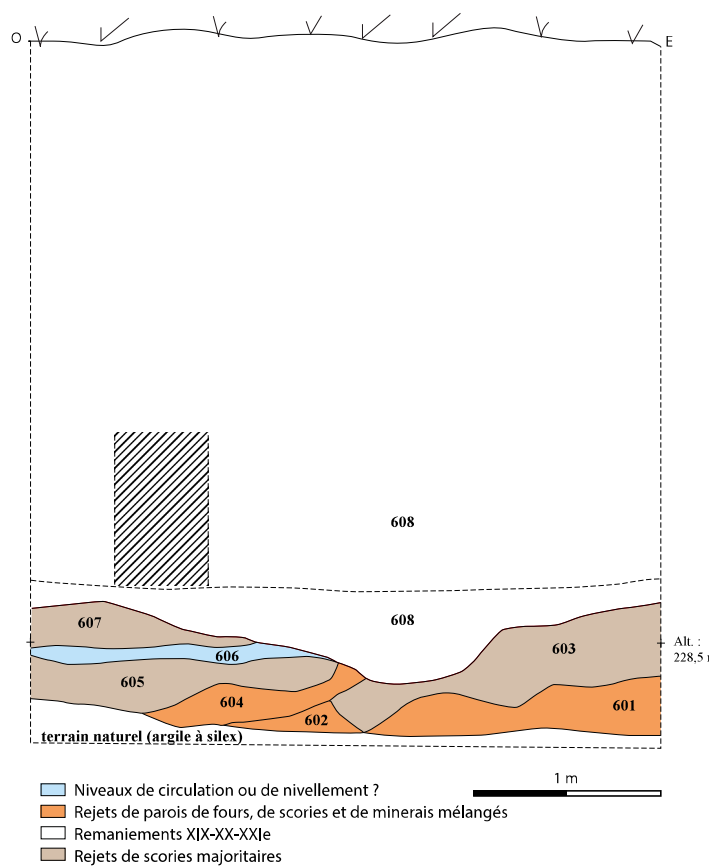


Figure n°51. Amas 1 - Sondage 6, relevé stratigraphique (Relevé : ML-CE - DAO : M. Leroy)



Figure n°52. Amas 1 - Sondage 6, vue de détail (est) de l'accumulation de pains d'argile et de scories constituant la base de l'amas (M. Berranger)

Les prélèvements volumétriques ont été réalisés dans les niveaux remaniés, autant que dans les niveaux de rejets en place. Aucun prélèvement n'a été réalisé dans la couche la plus basse en raison de la présence de blocs de scorie de grande taille empêchant de quantifier les volumes de scories. Un total de 564 litres de prélèvement a été étudié.

Sondage 7

Il s'agit d'une tranchée longue d'environ 7 m et large d'environ 1,5 m (fig. 53), ouverte à la pelle mécanique dans la plateforme bordant à l'est de l'amas 1, sur une zone relativement plane, entre la butte de déchets et la structure fossoyée qui la cerne sur son flanc sud et est. Le sondage recoupe des couches archéologiques constituées par d'épais niveaux terreux (US 704, 703 et 702), plus ou moins riches en déchets sidérurgiques et en charbons de bois. Il faut souligner l'abondance dans ces niveaux de fragments de céramiques antiques, de *tegulae* et d'*imbrex* et de céramiques techniques (tuyères), (cf. étude du mobilier). Pour des raisons de sécurité, le décapage mécanique a été interrompu à environ un mètre de profondeur, sur un niveau argileux compact (US 701=705) comprenant des blocs d'argile cuite et quelques fragments de scories de taille pluri-centimétrique à décimétrique. Ce niveau évoque des éléments de fours détruits constituant une couche devenue compacte par les piétinements et les ruissellements.

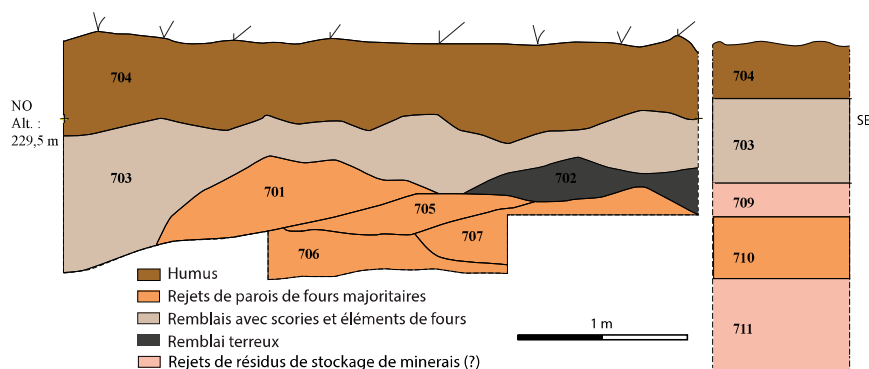


Figure n°53. Amas 1 -Sondage 7- relevé stratigraphique (Relevés : CDSV-SO-MB ; DAO : M. Leroy, M. Berranger)

Un sondage profond a été réalisé à l'extrémité de la tranchée, afin d'évaluer la profondeur du sol naturel (fig. 53). Celui-ci a été atteint à 2,10 m sous le niveau de sol actuel (fig. 56). Sous

les remblais riches en mobilier antique (703), a été mise au jour une alternance de couches de poudre de minerais (709-711), de couleur rouge-orangé, et de fins niveaux centimétriques d'argile blanche à jaune (710). Localement, un niveau d'une dizaine de centimètres d'épaisseur est constitué uniquement de scories de taille pluri-centimétrique (703). Ces couches pourraient correspondre à des résidus de préparation du minerai (grillage et concassage) et de construction des fours (lentilles d'argile). En raison de sa profondeur, ce sondage a été décrit sous forme de log et photographié avant d'être immédiatement rebouché.



Figure n°54. Amas 1 - Sondage 7, vue vers l'est. Vue générale du niveau (US 701) sur lequel a été interrompu le décapage mécanique (M. Berranger)



Figure n°55. Amas 1 - Sondage 7, vue de la coupe vers l'est en fin de sondage (M. Berranger)

L'abondance du mobilier retrouvé dans les couches supérieures a motivé une fouille sur une surface d'un peu plus de 2 m² et sur une profondeur de 50 cm, au centre de la tranchée (fig. 55-

56). L'objectif était de pouvoir collecter du mobilier éventuellement de petite taille, et de mieux comprendre la nature des niveaux mis au jour. Les niveaux fouillés manuellement présentent un pendage est-ouest et sont discontinus. Aucune structure n'a été identifiée dans l'étroite fenêtre étudiée. Les caractéristiques évoquent plutôt des apports successifs intercalés.



Figure n°56. Amas 1 -Sondage 7. Gauche : vue du sondage profond implanté à l'extrémité est de la tranchée. Droite : vue du sondage fouillé manuellement au centre de la tranchée (M. Berranger)

L'étroite fenêtre ouverte ne permet que difficilement d'interpréter l'ensemble des niveaux mis au jour dans le sondage. Il semble clair que les strates inférieures, reposant sur le substrat, jusqu'au niveau argileux (US 701=705) sur lequel le décapage a été interrompu, correspondent aux occupations en lien avec l'activité sidérurgique. Il est difficile d'être plus précis. Les niveaux fouillés semblent cependant plutôt correspondre à des niveaux de rejets liés à la préparation des matériaux pour la réduction du minerai de fer. Les remblais terreux supérieurs sont quant à eux plus difficiles à interpréter. Le mobilier retrouvé dans ces couches date clairement de la période antique. Leur intégration à du sédiment meuble, humifère, évoque les caractéristiques de niveaux remaniés. L'absence de mobilier postérieur à la période antique, ne permet pas de préciser la chronologie de ce remaniement. S'agit-il de niveaux mis en place durant les ré-exploitations du courant du XX^e s., intégrant le mobilier antique collecté dans les couches criblées ? Ou bien s'agit-il de niveaux d'occupation antiques partiellement détruits par le développement des réseaux de racines dans ce milieu exploité en forêt sur la longue durée ? Bien qu'en position secondaire, le mobilier céramique témoigne par son abondance, bien qu'indirectement, de la présence d'un lieu de vie proche comme ce qui avait été mis en évidence dans le sondage n°21 en 2018 au nord de l'amas 1 (Venault, Mouton-Venault 2018). Ce mobilier a été jeté au cours des périodes de fonctionnement des ateliers antiques.

Afin de pouvoir quantifier la quantité de déchets scoriacés présents en position secondaire dans la plateforme environnant les amas, des prélèvements volumétriques ont été effectués dans les remblais supérieurs US 703 et 704. 240 l. de prélèvements ont été étudiés.

Sondage 8

Le sondage a été réalisé en bordure de la plateforme bordant le côté est de l'amas 1 et de la route forestière. Il a été ouvert sur une largeur sommitale d'1,50 sur 1,50 m (fig. 57, 58). Le substrat n'ayant pas été atteint à un mètre de profondeur sous le niveau de sol actuel, il a été décidé de prolonger l'excavation jusqu'au sol naturel sans aménager de palier de sécurité. En effet, sa localisation en bordure de la route ne permettait pas de l'étendre, ni de le laisser ouvert au-delà du temps d'observation. Le sol naturel a été atteint à 1,90 m sous le niveau de sol actuel. La stratigraphie a été décrite sous forme de log et photographiée et le sondage a été immédiatement rebouché. Aucun prélèvement volumétrique n'a été réalisé.

Sous le niveau d'humus d'une épaisseur d'une vingtaine de centimètres (801) est apparue une épaisse couche de poudre de minerai de couleur rougeâtre (802). Ce niveau qui mesure une cinquantaine de centimètres a un pendage nord-sud. Il surmonte un niveau terreux d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, de couleur noire, contenant des fragments de scories de taille centimétrique (803). Le niveau sous-jacent d'une épaisseur métrique inclut des blocs pluri-centimétriques à décimétrique de scories emballés dans un sédiment marron (804). La base de cette couche est plus noire, probablement en raison de la présence de charbon de bois. Le niveau reposant immédiatement sur le sol naturel d'argile blanche à silex est constitué de blocs de parois de four rougeâtre à blanchâtre occupant une épaisseur d'environ vingt centimètres (805). Un tesson de céramique provient de cette dernière couche.



Figure n°57. Amas 1 - Sondage 8, vue générale et vue de coupe vers le nord (M. Berranger)

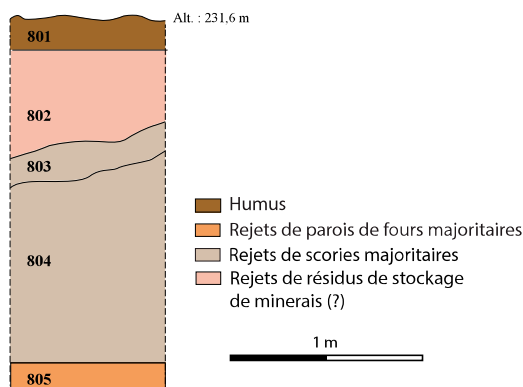


Figure n°58. Amas 1 - Sondage 8, log (M. Berranger)

Ces différents niveaux présentent les caractéristiques de couches de préparation de matériaux (minerais) et de rejets de déchets caractéristiques des amas de la période antique. Il semble donc qu'à cet emplacement les niveaux archéologiques soient encore en place sur plus d'un mètre d'épaisseur, leur base se trouvant à près de 2 m sous la surface actuelle.

Sondage 9

Ce sondage est implanté en bas de pente, au sud de l'amas 1, à la transition entre le bas du flanc de la butte de déchets et la plateforme qui la borde (fig. 59). Une tranchée de 2,5 m sur 1 m de profondeur a été creusée jusqu'au terrain naturel d'argile à silex qui a été légèrement surcreusé.

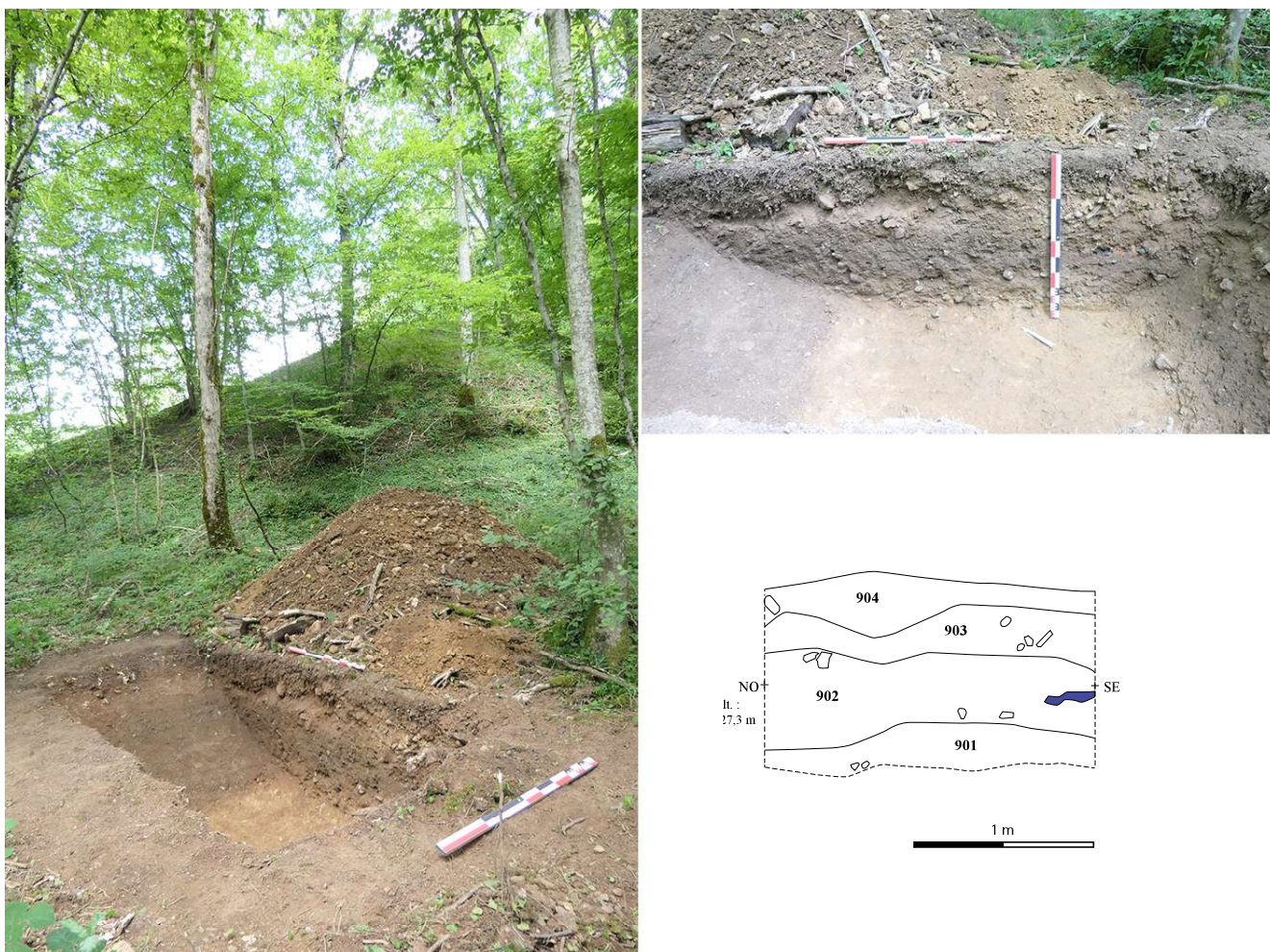


Figure n°59. Amas 1 - Sondage 9, gauche : vue générale. L'élévation de l'amas 1 est visible en second plan. Droite : vue (M. Berranger) et relevé de coupe (Relevés : FP-LC, DAO : M. Leroy)

La couche humifère surmonte deux niveaux très compacts, se différenciant essentiellement par la couleur du sédiment. Globalement très peu de mobilier archéologique provient de ces niveaux, bien qu'un peu plus de scories de taille centimétrique ait été observé dans la partie inférieure (US 902).

Cette partie méridionale de la plateforme bordant l'amas 1 présente une stratigraphie très différente de celle observée sur le côté est. Il ne semble pas y avoir de couches de rejet de déchets de production ou de préparation de minerai. Les couches semblent plutôt correspondre à des colluvions provenant des flancs de l'amas, bien qu'il y ait assez peu de scories ce qui aurait dû être le cas. Aucun prélèvement en volume n'a été réalisé.

Sondage 10

Ce sondage est implanté au sud de l'amas 1, entre celui-ci et la structure fossoyée qui le borde. Une tranchée de 2 m de longueur a été menée jusqu'au terrain naturel constitué d'argile à silex (fig. 60). Le substrat a été légèrement surcreusé. Il apparaissait à une vingtaine de centimètres directement sous l'humus. Aucun artefact n'a été retrouvé. Il semble qu'à cet emplacement, il n'y ait pas de sédimentation archéologique en rapport avec l'exploitation métallurgique ou que celle-ci a disparu.



Figure n°60. Amas 1 - sondage 10 - Vue générale et vue de coupe vers le sud ouest. Le substrat est directement visible sous le niveau d'humus (M. Berranger).

Amas 25

L'amas 25 est situé immédiatement au nord du ferrier 1, dans le prolongement de ce dernier (fig. 47). Il en est physiquement séparé par un chemin forestier dont la construction réutilise des scories. Il a une forme allongée orientée sud-ouest nord-est. Ses plus grandes largeur et élévation se situent à l'extrémité sud-ouest qui est entaillée par un front de récupération de matériaux. La partie supérieure de la butte forme une plateforme inclinée vers le sud-est jusqu'à se confondre progressivement avec le sol actuel.

Le sondage 1 mesure 4,5 m de large sur 4 m de haut (fig. 61-62-63). Il a été réalisé à la pelle mécanique dans la partie déjà entaillée. A la base le sol actuel a été surcreusé pour atteindre le terrain naturel d'argile à silex. L'irrégularité de la surface de ce dernier indique qu'il n'y a pas eu de nivellement préalable aux premiers rejets sidérurgiques.

Les couches les plus basses (US102-104) sont constituées de gros blocs de scories, de taille pluri-centimétrique à pluri-décimétrique, associés à des fragments de parois et de terre cuite, avec quelques morceaux de minerais, enrobés d'une faible proportion d'un fin sédiment

marron-gris. Au-dessus, jusqu'au niveau d'humus, des couches riches en déchets scorifiés (US 107-108-110-111) alternent avec des niveaux plus ou moins épais de terre marron-rouge (US 103=106, 109) comprenant de la poudre de minerai et des fragments infra-centimétriques de scories. Ces derniers pourraient correspondre à des niveaux de remblais ou d'abandon séparant des épisodes d'activités métallurgiques ayant conduit au rejet des déchets scorifiés.

Des prélèvements volumétriques ont été réalisés sur toute la hauteur de la stratigraphie. 794 l. de prélèvements ont été étudiés.



Figure n°61. Amas 25 - Sondage 1, vue générale du sondage au sein du lambeau d'amas (M. Berranger)



Figure n°62. Amas 25 - Sondage 1, détail de la stratigraphie (M. Berranger)

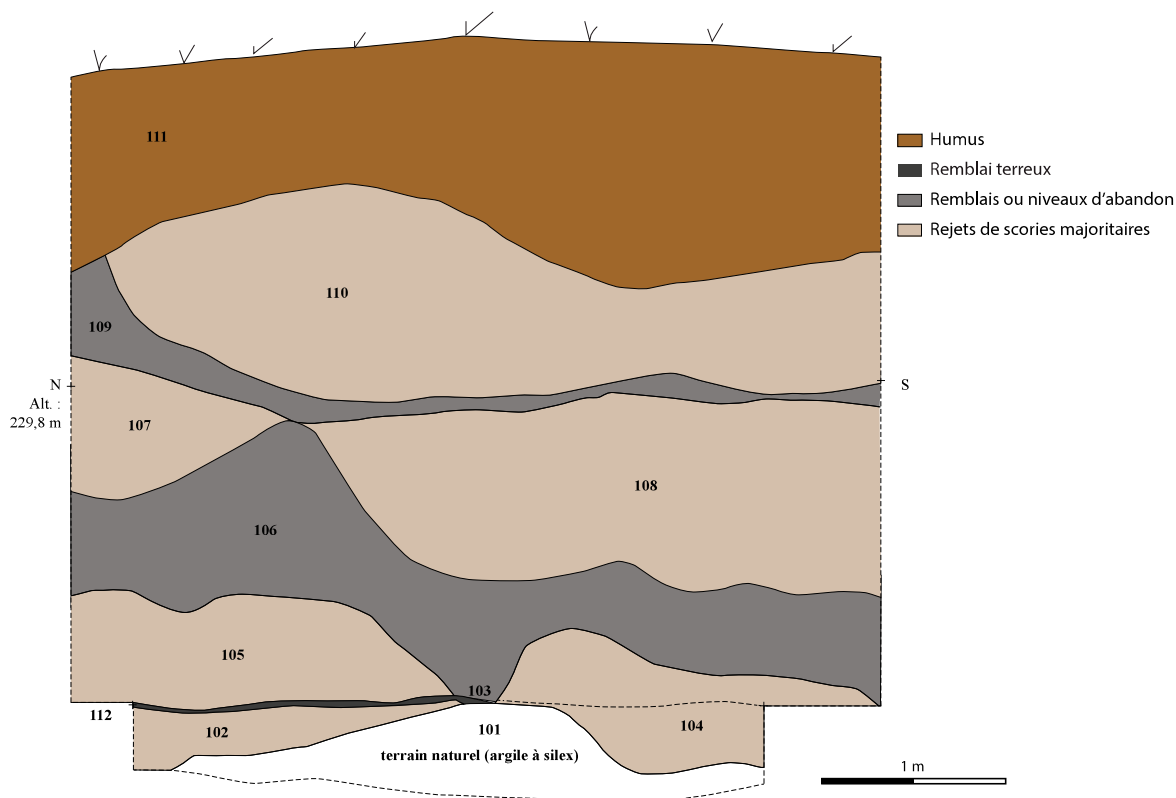


Figure n°63. Amas 25 - Sondage 1, relevé stratigraphique (Relevés : MB, SD - DAO : M. Leroy)

Amas 19

L'amas 19 est un ensemble de monticules situés à environ 250 m au nord du groupe formé par les amas 1-25 et 20 (fig. 47). Cet ensemble paraît constituer les reliques d'un ou de plusieurs amas fortement remaniés par les ré-exploitations du XXe s. Il ne subsiste plus que sous forme de lambeaux aux tracés irréguliers, présentant parfois une élévation de quelques mètres de haut. Il est limité au nord par un chemin forestier orienté ouest/est qui le longe sur environ une centaine de mètres, fossilisant peut-être la bordure initiale de l'amas. L'état de conservation très médiocre ne permet pas d'en restituer la morphologie initiale.



Figure n°64. Amas 19 - Sondage 1, vue de coupe et log (M.. Berranger)



Figure n°65. Amas 19 - localisation du sondage 1

Suite au débroussaillage d'un layon, une partie de l'amas jusqu'à présent occupée par des arbres, est devenue accessible. Un sondage de 1,30 m de longueur a été ouvert à la pelle mécanique afin de déterminer l'épaisseur de la stratigraphie à cet endroit (fig. 64-65). Situé sur un chemin, ce sondage a été immédiatement rebouché après ouverture pour des raisons de sécurité. L'enregistrement a été photographique et sous forme de log.

Une couche supérieure, d'une épaisseur de 40 cm, livre des scories en faible concentration dans un sédiment terreux marron clair (103). En dessous, une couche d'une trentaine de centimètres d'épaisseur montre une plus forte concentration de scories pluri-centimétriques prises dans un sédiment terreux grisâtre (102). Cette dernière recouvre un niveau d'une dizaine de centimètres d'épaisseur constituée de poudre de minerai rougeâtre, reposant directement sur le sol naturel d'argile à silex (101). Ces deux couches inférieures correspondraient à des niveaux archéologiques en place, tandis que la couche supérieure correspondrait aux remaniements récents et à la couche d'humus forestier. Aucun prélèvement en volume n'a été réalisé.

4.3.2. Les autres amas de grande taille

Amas 4

L'amas 4 couvre une surface estimée d'après les observations de terrain, à environ 1 800 m² (fig. 66). Il s'agit d'un site très détruit, particulièrement dans sa partie centrale. Ponctuellement au sud, des lambeaux d'amas sous forme de monticules pouvant atteindre 2 m de haut sont encore conservés. Ce site n'avait jamais été sondé, mais deux charbons issus de scories ramassées en surface ont fourni des datations cohérentes comprises au maximum entre 76 cal. AD et 244 cal. AD.

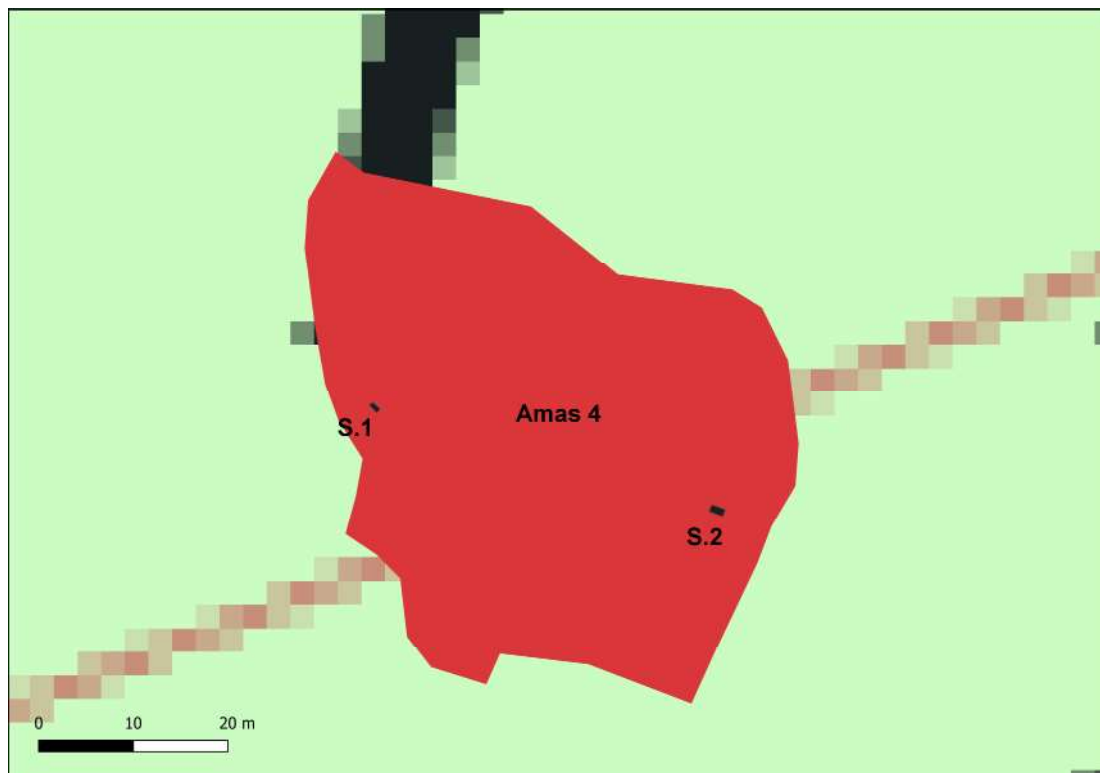


Figure n°66. Amas 4 - localisation des sondages (M. Berranger)



Figure n°67. Amas 4 - Sondage 1, vue générale et vue de coupe (M. Berranger)

Deux sondages manuels ont été réalisés, sur les bordures est (SD.2) et ouest (SD.1) (fig. 66). Le sondage 1 (fig. 67), d'une largeur approximative de 1,5 m a été creusé sur le flanc d'un des monticules résiduels les plus externes. Il a été conduit jusqu'au terrain naturel. Une épaisseur d'environ 0,80 m de stratigraphie a été étudiée, le sommet n'a cependant pas été dégagé. Deux US contenant des scories ont été enregistrées. La couche sommitale (US 102) est un niveau terreux, rougeâtre, meuble, comprenant des inclusions de scories et de parois centimétriques à pluri-centimétriques. La couche inférieure (US 101), reposant directement sur le sol naturel d'argile blanche, est de couleur plus claire. Elle comprend également des inclusions de scories et de parois centimétriques à pluri-centimétriques.

Le sondage 2 a été implanté dans une zone légèrement plus centrale, sur une butte résiduelle. D'une largeur d'1,50 m, il a été conduit jusqu'au substrat argilo-limoneux beige clair (fig. 68). Trois niveaux superposés (US204, 203 et 202) comprenant des rejets de scories mêlés à de la terre sont présents sur une épaisseur d'environ 0,80 à 0,90 m.

Le caractère ponctuel des sondages ne permet pas de déterminer si les rejets de scories identifiés sont en position primaire ou s'il s'agit de niveaux remaniés. 240 l. de prélèvements ont été étudiés dans les deux sondages.



Figure n°68. Amas 4 - Gauche : sondage 2. Droite : relevés stratigraphiques (Relevés : MB-ML, DAO : M. Leroy)

Amas 5

L'amas 5 correspond à une accumulation de déchets de forme ovale, occupant une surface approximative de 10 000 m² et présentant ponctuellement des élévations pouvant atteindre 4 m au maximum. Plusieurs tranchées d'exploitations récentes le traversent ainsi qu'un chemin forestier qui le coupe de part en part selon un axe ouest-est.



Figure n°69. Amas 5 - localisation du sondage ouvert en 2018 et à nouveau étudié cette année (M. Berranger)



Figure n°70. Amas 5 - vue générale de la coupe du sondage 1 (état 2018 - M. Berranger)

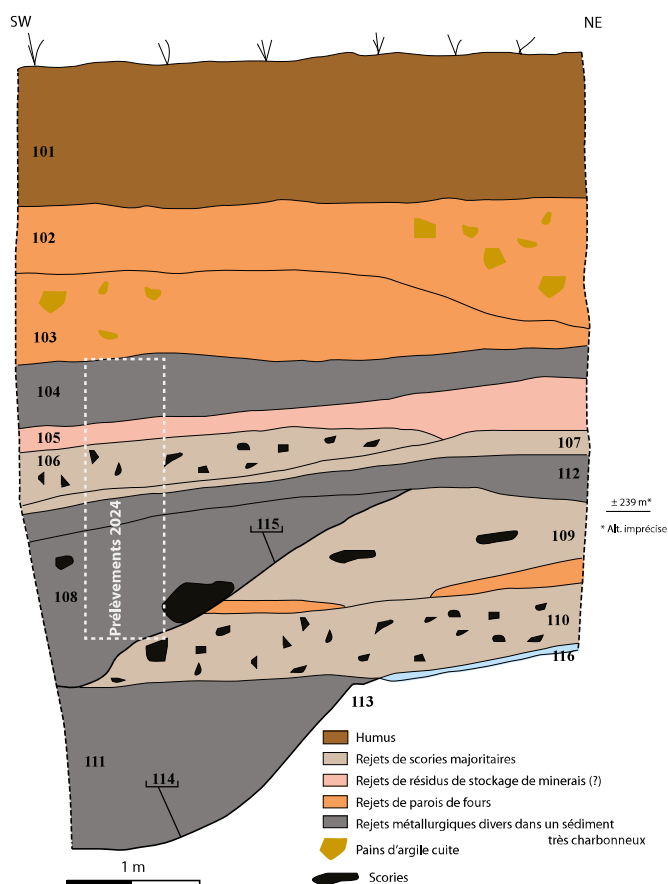


Figure n°71. Amas 5 - Sondage 1 - Relevé stratigraphique de la coupe réalisée en 2018, avec la localisation des prélèvements effectués cette année (M. Berranger).

Un sondage mécanisé, sur une hauteur de 4 m, avait été réalisé en 2018 sur un front de taille accessible le long du chemin (fig. 70-71). Les datations obtenues fournissent une fourchette de datation comprise entre 28 cal. BC et 244 cal. AD. Encore accessible, cette coupe a simplement été rafraîchie cette année et a fait l'objet de nouveaux prélèvements en stratigraphie, dans les

strates identifiées précédemment. 410 l. de prélèvements ont été étudiés dans les strates US 104 à 108 et US 112 (fig. 71). Il faut souligner la particularité de cet amas, où les niveaux inférieurs livrent des déchets de post-réduction.

4.3.3. Les petits amas

Les trois derniers sites sont classés dans la catégorie des petits amas.

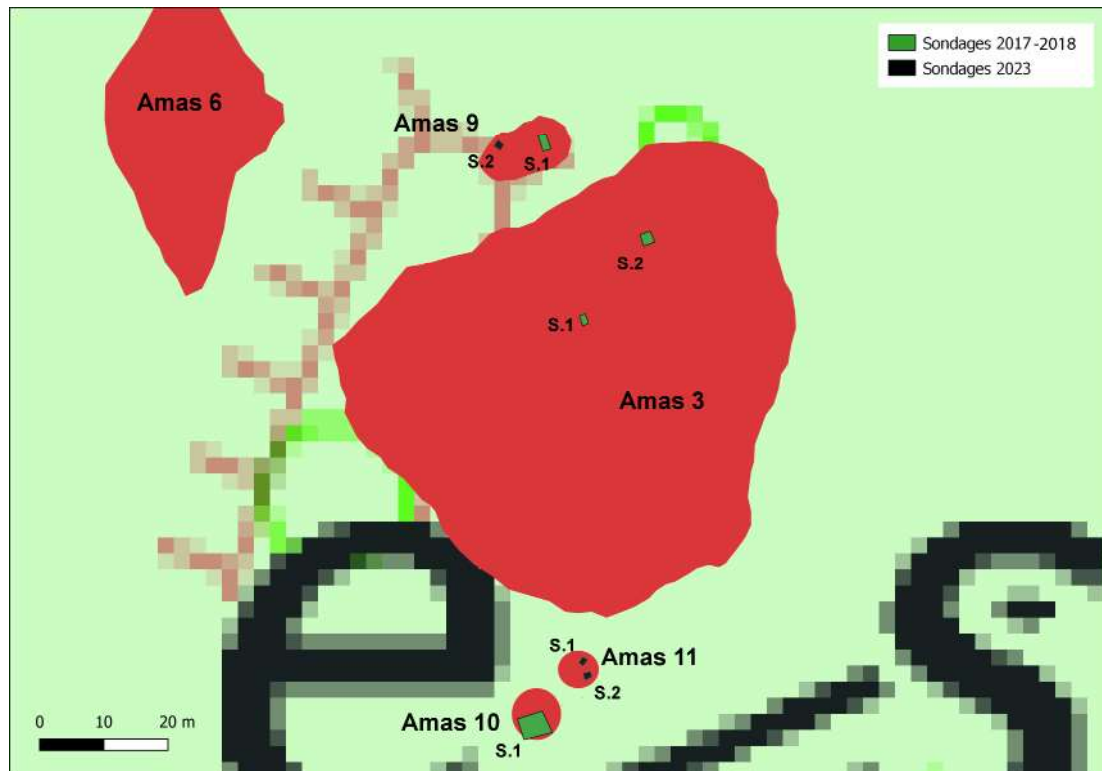


Figure n°72. Amas 9, 10 et 11 - localisation des sondages ouverts en 2017, 2018 et cette année (M. Berranger)

Amas 9

Le site 9 a été sondé manuellement en 2017. Il s'agit d'un amas ovale (fig. 72) couvrant une centaine de mètres carrés, livrant en surface une très forte concentration de scories. Le sondage 1, réalisé en 2017 a permis de déterminer qu'il était installé sur une succession de niveaux de circulation datés entre 78 et 340 cal. AD. Aucun charbon directement associé aux scories n'avait pu être daté.

Un nouveau sondage manuel (SD.2) d'un mètre de côté a été ouvert cette année et a été interrompu au sommet des niveaux de sol antiques (fig. 73-74). L'épaisseur de l'amas est à cet emplacement d'une quarantaine de centimètres. Une fine couche d'humus (US201) surmonte un niveau d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur (US202), correspondant à des blocs de scories pluri-centimétriques à pluri-décimétriques emballés dans un sédiment terreux de couleur noire. La couche sous-jacente (US201) correspond à l'interface avec le sol naturel est livrée des fragments de scories dans une couche sablo-limoneuse. Un prélèvement de 300 litres a été étudié.



Figure n°73. Amas 9 -Sondage 2 - Vue générale et vue de coupe (M. Berranger)

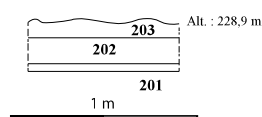


Figure n°74. Amas 9 - sondage 2 - log (M. Herbrich)

Amas 10

L'amas 10, d'un diamètre estimé d'environ 6 m, se situe en bordure d'une route forestière qui l'a probablement tronqué sur son flanc sud (fig. 72). Il possède un faible relief. Il a été sondé à la pelle mécanique en 2018, ce qui a permis d'étudier sa stratigraphie sur une cinquantaine de centimètres d'épaisseur (fig. 75). On observe une accumulation indifférenciée de déchets scorifiés de taille centimétrique à pluri-décimétriques pris dans un sédiment limoneux brun foncé à brun clair (US 101-103). Deux charbons prélevés en stratigraphie donnent une fourchette de datation cohérente comprise entre le milieu du XI^e s. et le début du XIII^e s. Le sondage n'ayant pas été rebouché, les prélèvements volumétriques ont été effectués après nettoyage sur les coupes stratigraphiques encore accessibles, sur un volume de 360 litres.

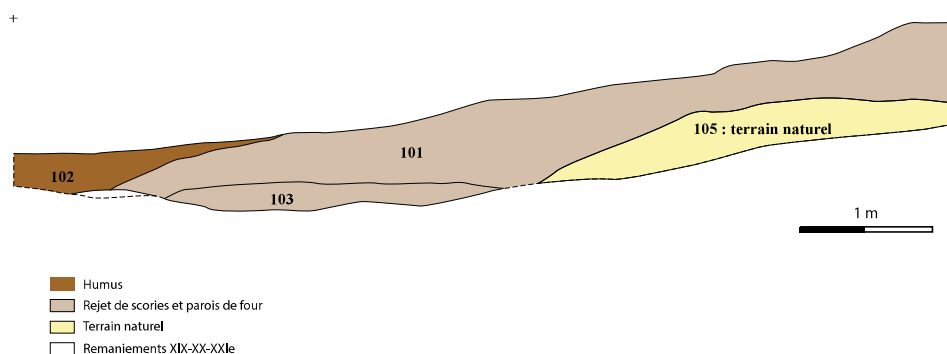


Figure n°75. Amas 10 - Sondage 1 - Relevé stratigraphique de la coupe réalisée en 2018 (R. Jeannot, M. Berranger).

Amas 11

L'amas 11 est situé à moins de 10 m de l'amas 10 et présente des dimensions similaires (fig. 72). Deux sondages de 1 m de côté ont été réalisés et livrent la même information stratigraphique (fig. 76-77-78). L'épaisseur de rejet de scories est comprise entre 30 et 40 cm. Il s'agit de gros blocs de scories de taille pluri-centimétriques à pluri-décimétriques pris dans un sédiment sableux marron. Un tesson de céramique a été mis au jour à l'interface des US 201 et 202. Un prélèvement de 300 litres a été étudié.



Figure n°76. Amas 11 - vue générale des sondages vers le sud-est. Au premier plan sondage 1 (Marion Berranger)



Figure n°77. Amas 11 - Gauche : sondage 1 ; droite : sondage 2 (Marion Berranger)

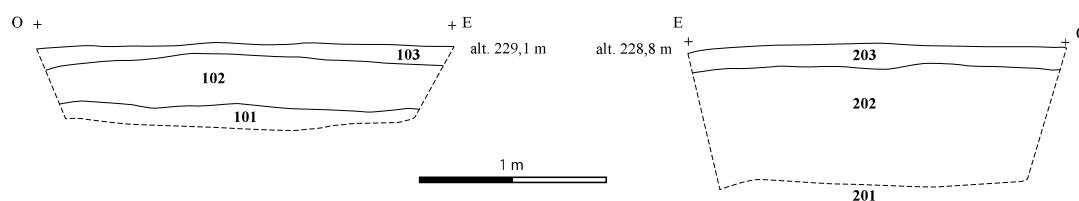


Figure n°78. Amas 11 - Relevés stratigraphiques ; Gauche : sondage 1 ; droite : sondage 2 (Margaux Herbrich)

4.3.4. Déterminer la volumétrie de l'amas 1 à partir d'une reconstruction en 3D (Margaux Herbrich)

Problématique et objectifs

Les données LiDAR acquises en 2017 sur le site 1 de Montholon au « Bois des Ferriers » ont été utilisées pour calculer des volumes d'amas de déchets sidérurgiques à l'aide d'un logiciel dans le cadre d'une étude de master (Herbrich 2021). Initialement, la méthode employée consistait à appliquer l'algorithme de reconstitution 2.5D de CloudCompare sur un nuage de points découpé aux limites des amas de déchets et extrait des données LiDAR. Cependant, cette méthode, bien qu'adéquate à l'époque de l'étude, présente plusieurs limitations.

L'outil "compute 2.5D volume" de CloudCompare calcule le volume présent entre un nuage de points et un plan de référence, en déterminant la différence de hauteur moyenne pour chaque pixel entre le nuage de points et ce plan. La définition automatique de cette « surface de référence », est la principale limite de cette méthode dans notre cas. En effet, l'utilisation de données LiDAR implique de travailler avec des points qui correspondent exclusivement à la topographie du sol actuel, laissant le modèle de l'amas "ouvert" au niveau de sa base et donc sans surface de référence pour l'outil 2.5D (fig. 79). De cette manière, le logiciel prend par défaut les points altimétriques les plus bas comme plan de référence. En utilisant ainsi ces points, l'interprétation de la géométrie du modèle est incorrecte car la limite inférieure réelle n'est pas représentée. L'erreur pourrait être négligeable dans le cas où l'altitude du terrain serait constante, ce qui n'est pas le cas du site de Montholon. Ainsi, certaines caractéristiques ou variations dans la topographie générale du terrain géologique sur lequel repose l'amas sont omises, impactant ainsi la précision du calcul du volume. Le résultat de 20 700 m³ obtenu par cette méthode est alors manifestement surestimé (fig. 80).

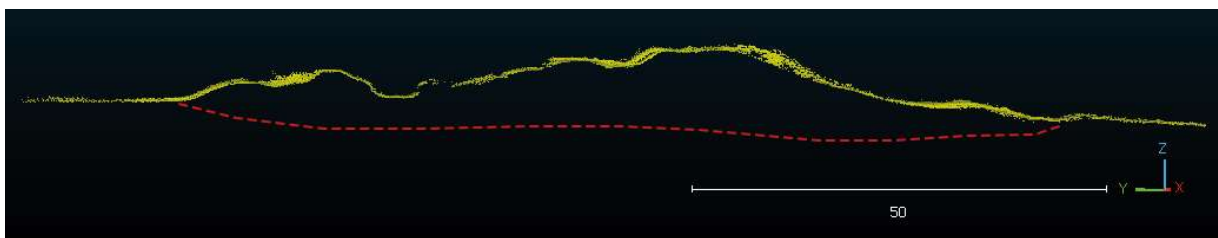


Figure n°79. Coupe transversale du nuage de point de l'amas 1. En jaune, le nuage de points correspondant à la surface de l'amas. En rouge, la surface inférieure théorique manquante (M. Herbrich).

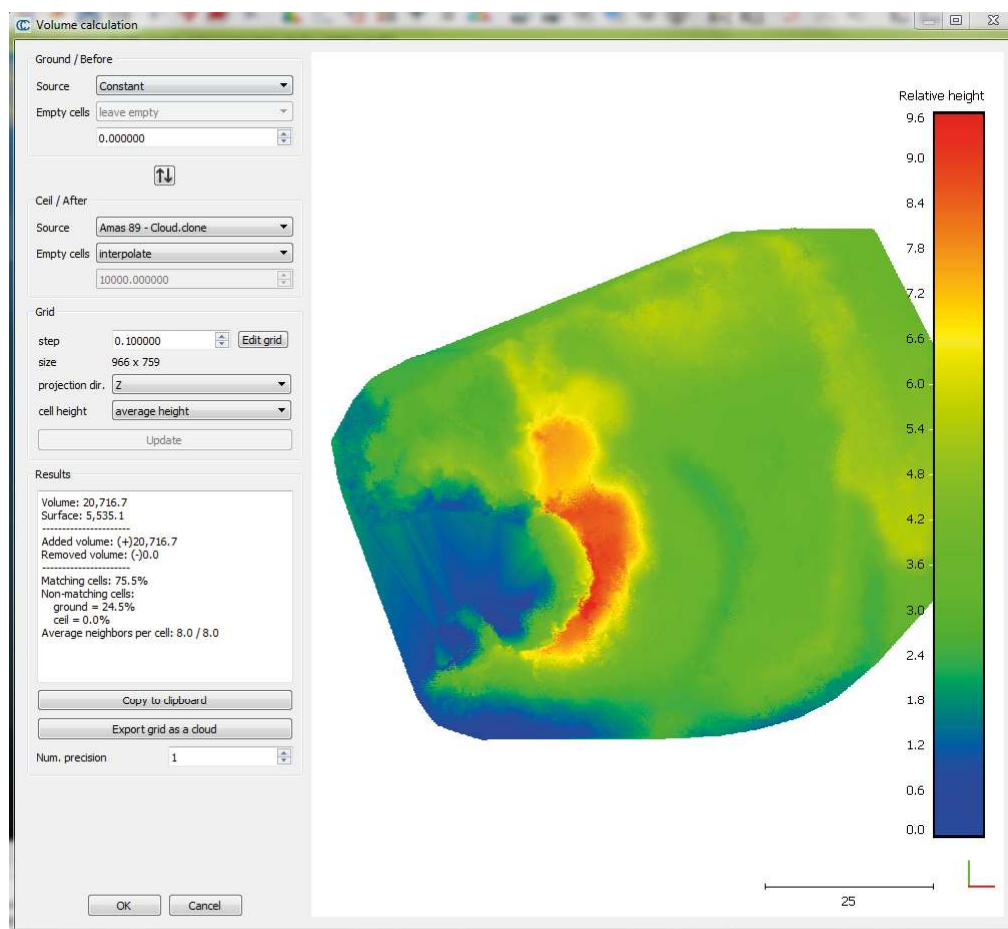


Figure n°80. Calcul de volume de l'amas 1 via l'outil « 2.5D Volume » de CloudCompare (Herbrich 2021)

Il est apparu nécessaire d'établir un nouveau protocole pour restituer plus fidèlement le volume, la principale donnée manquante étant la limite inférieure de l'amas. En fermant le modèle avec une limite inférieure connue, d'autres méthodes de calcul, plus adaptées, peuvent être utilisées. La question se posait de reconstruire de manière la plus précise possible ce plan inférieur. Seules des opérations sur le terrain peuvent fournir les données nécessaires. Le protocole imaginé consistait à réaliser des sondages répartis sur toute la surface du site afin d'obtenir une vue d'ensemble de la profondeur de la couche de scories sous la surface du sol.

Ce nouveau protocole devait être testé pour évaluer sa validité et ses apports ainsi que pour identifier ses limites. L'amas 1 de la zone-atelier du « Bois des Ferriers » s'est avéré être particulièrement adapté pour expérimenter ce protocole. Ses dimensions considérables, la complexité de sa structure interne et son accessibilité à la pelle mécanique ont été des facteurs déterminants.

L'altimétrie du terrain géologique sur lequel reposent les premières couches de scories à la base de l'amas a été relevée lors de six sondages effectués en 2023, ainsi que dans trois autres sondages des années précédentes. Les données ont été enregistrées à l'aide de tachéomètres et d'un GPS différentiel pour les sondages les plus isolés (sd. 7 et 8 – fig. 47). Les relevés sur le terrain ont été essentiels pour corriger les informations altimétriques faussées par l'imprécision du GPS sous le couvert forestier.

Methodologie

- Reconstruction de la surface et du volume

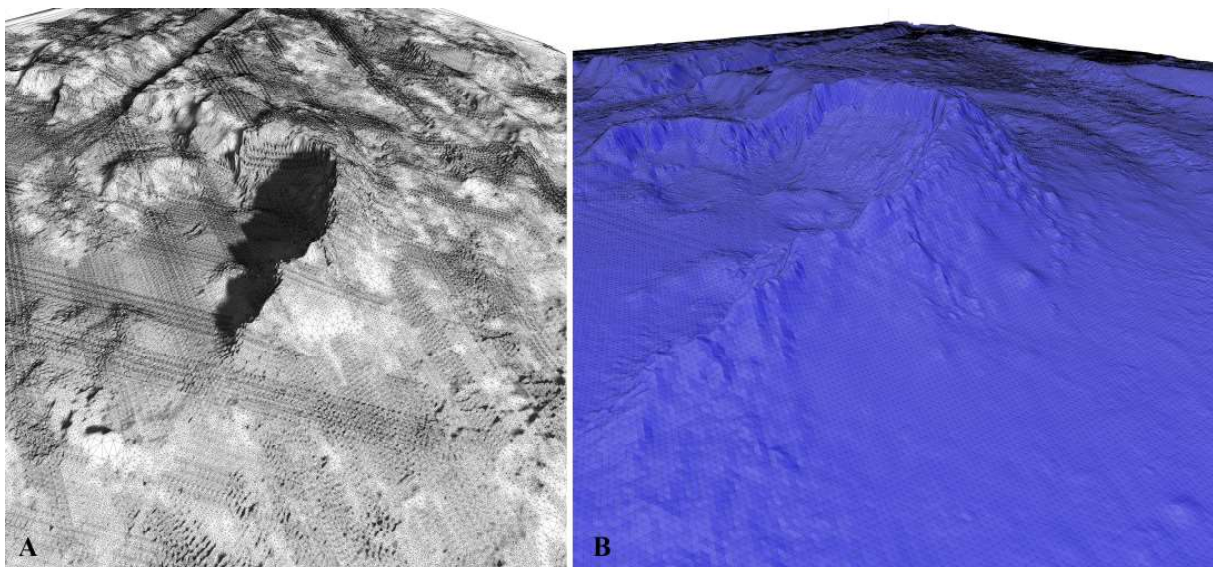


Figure n°81. A : vue de l'état irrégulier et hétérogène de la topologie du mesh obtenu par LiDAR (Delaunay 2.5D, CloudCompare) ; B : Vue de l'état régulier et homogène de la topologie du mesh après l'étape de retopologisation (Blender) (M. Herbrich).

Nous nous sommes heurtés assez tôt au problème récurrent de la reconstruction automatique du maillage (mesh), qui semble inévitablement entraîner des erreurs en raison de sa géométrie extrêmement complexe (plusieurs dizaines de millions de points), rendant le modèle inadapté à la plupart des méthodes de calcul basées sur des maillages (fig. 81A et B). L'idée est alors

de formaliser une méthode de retopologie¹ du maillage dans Blender afin de régulariser la surface en éliminant la majorité des erreurs. Il s'agira de créer une nouvelle reconstruction de la surface qui évitera la topologie erratique générée par l'exportation d'un maillage à partir des points LiDAR, qui sont distribués de manière très hétérogène. Tous les algorithmes désormais appliqués à ce nouveau maillage pourront bénéficier d'une plus grande précision, d'une meilleure rapidité d'exécution et d'une marge d'erreur plus faible.

La surface du maillage est reconstruite dans CloudCompare en utilisant l'algorithme « Delaunay 2.5D ». Cette surface a ensuite été retravaillée dans Blender afin de préserver au maximum la volumétrie tout en améliorant la topologie générale (suppression des surfaces auto-intersectantes, des faces non planes, des trous et autres erreurs d'orientation des normales) : pour ce faire, une grille triangulée régulière est projetée verticalement sur la surface du maillage (à l'aide de l'outil Shrinkwrap). Cette surface est ensuite découpée aux limites de la surface originale, achevant ainsi la reconstruction d'une surface quasi identique mais bien plus exploitable (étant exempte d'erreurs) pour les différentes méthodes de calcul de volume.

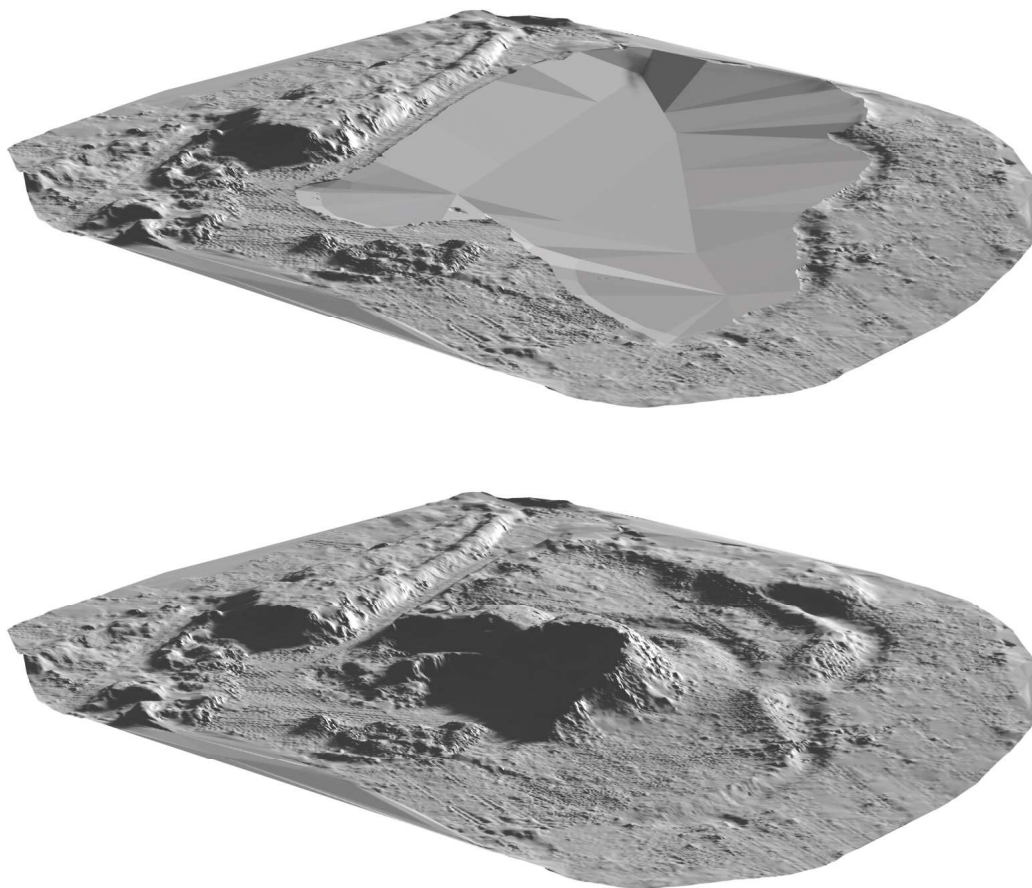


Figure n°82. Vue générale des deux modèles créés pour calculer le volume de l'amas 1 (Blender) (M. Herbrich)

Pour définir une limite inférieure du terrain, des points sont placés aux coordonnées des sondages en précisant les altitudes correspondantes du terrain géologique sur lequel reposent les premières couches de scories à la base de l'amas. Ensuite, une surface inférieure est obtenue par un maillage manuel entre ces points et les bords de l'amas. Cette surface inférieure sert ensuite à délimiter le volume théorique de l'amas.

¹ Le terme Retopoly désigne le processus de simplification d'un maillage d'un objet 3D. La manipulation consiste à recouvrir un maillage complexe ou irrégulier par un maillage simplifié plus facile à utiliser.

- Exploitation du modèle pour calculer le volume de l'amas :

- Méthode 2.5D : Deux nuages de points denses sont recréés à partir des surfaces reconstruites afin de les exploiter dans l'outil de calcul de volume 2.5D de CloudCompare (même méthode que celle utilisée dans le Mémoire 2021). Un nuage sans l'amas et un nuage avec l'amas sont créés. Cette fois-ci, la différence entre les deux donne le volume de l'amas (fig. 82-83).

- Méthode analytique (Divergence) : Le volume de l'intersection (donc le volume « réel » de l'amas sans le terrain) est importé dans Blender et dans Meshlab. L'outil de calcul de volume de base, basé sur le théorème de la divergence dans les deux logiciels, donne des valeurs extrêmement proches de celles utilisées en 2.5D (fig. 84).

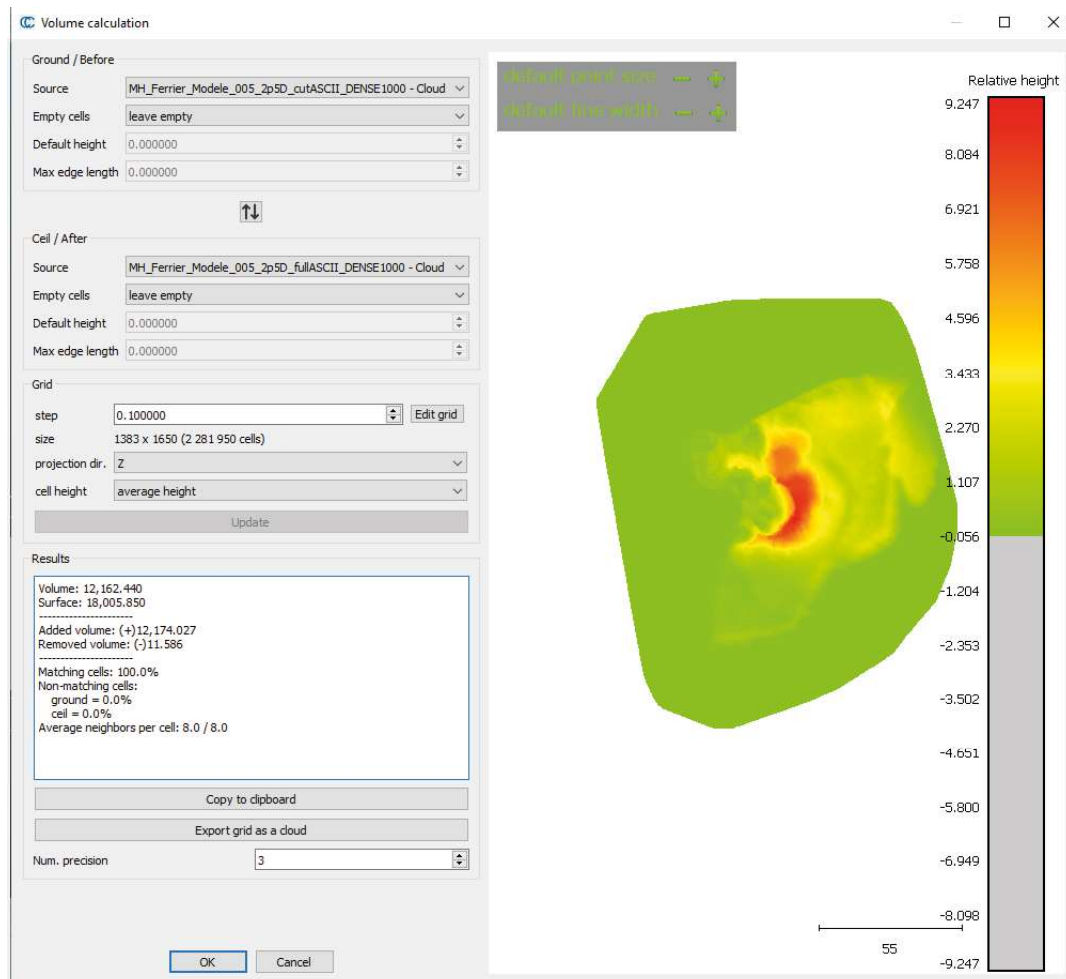


Figure n°83. Vue de la console et du résultat de l'outil « 2.5D Volume » (CloudCompare) calculant la différence entre les deux nuages (Before/After) (M. Herbrich)

Résultat

Le logiciel CloudCompare (algorithme 2.5D Volume) donne une estimation d'environ 12 000 m³ (fig. 83). Cette estimation est corroborée par les logiciels Meshlab et Blender (théorème de la divergence (fig. 84). Il apparaît que le volume calculé de cette manière est 41 % moins élevé que celui calculé via « l'ancienne méthode » (Herbrich 2021).

Les résultats, bien plus cohérents par rapport à ceux issus des méthodes de volumes annexes telles que les formules topographiques et les méthodes d'extrapolation (Convex Hull, Meshlab), nous poussent à considérer ces estimations comme plus précises et plus fiables d'après les connaissances actuelles et les données à notre disposition (fig. 85).

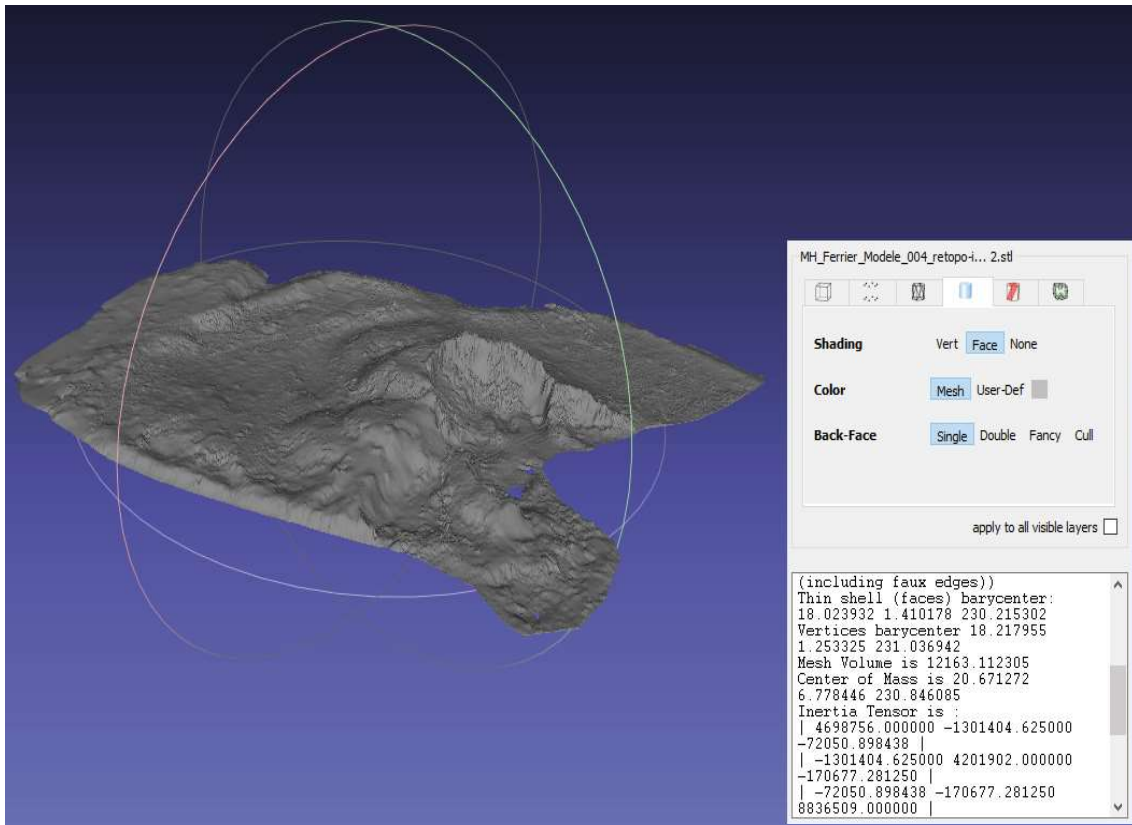


Figure n°84. Vue de la console et du résultat de l'outil « Compute Geometric Measures » sur le mesh de l'amas 1 (Meshlab) (M. Herbrich).

Ces données volumétriques sont destinées à être mises en perspective avec les résultats de prélèvements volumétriques destinés à calculer une concentration de scories par mètres cubes. D'autres développements méthodologiques concerneront la mise en place d'une méthode de calcul sur le terrain ne se basant pas seulement sur des acquisitions LiDAR.

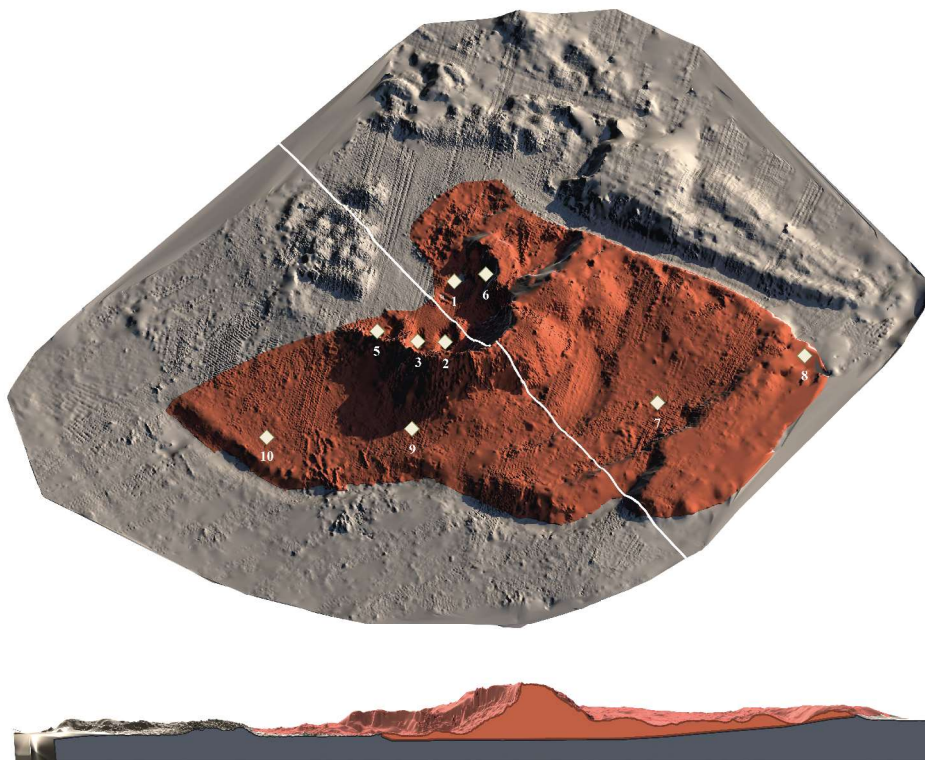


Figure n°85. Vue générale du modèle de l'amas 1 avec, en couleur, le volume reconstruit et replacé sur le MNT issu du LiDAR. Localisation d'une coupe transversale (CloudCompare) (M. Herbrich)

4.4. Etude des mobiliers archéologiques

4.4.1. Les déchets scorifiés

L'ensemble des travaux conduits en Puisaye depuis 2017 a permis d'élaborer une typologie des déchets de production et de proposer une première caractérisation des assemblages de scories. Ces assemblages ont été définis à partir de prélèvements en volumes de quelques dizaines de litres à l'intérieur des différentes unités stratigraphiques au sein des amas de déchets étudiés. Plusieurs assemblages typologiques différents ont été mis en évidence en fonction des types de sites et ont pu être corrélés aux datations obtenues. Les résultats de ces travaux sont présentés dans Berranger *et al.* 2020. Il est aussi possible de se reporter au chapitre 2 pour trouver une présentation plus complète.

Cette année, les déchets prélevés en vrac dans les coupes ont donc été triés en fonction de la typologie existante. De plus, l'étude a pu porter sur un volume de prélèvement plus conséquent, portant ponctuellement sur quelques dizaines de litres, mais plus fréquemment sur une à plusieurs centaines de litres. Les tris ont été effectués sur site et sur du mobilier non lavé.

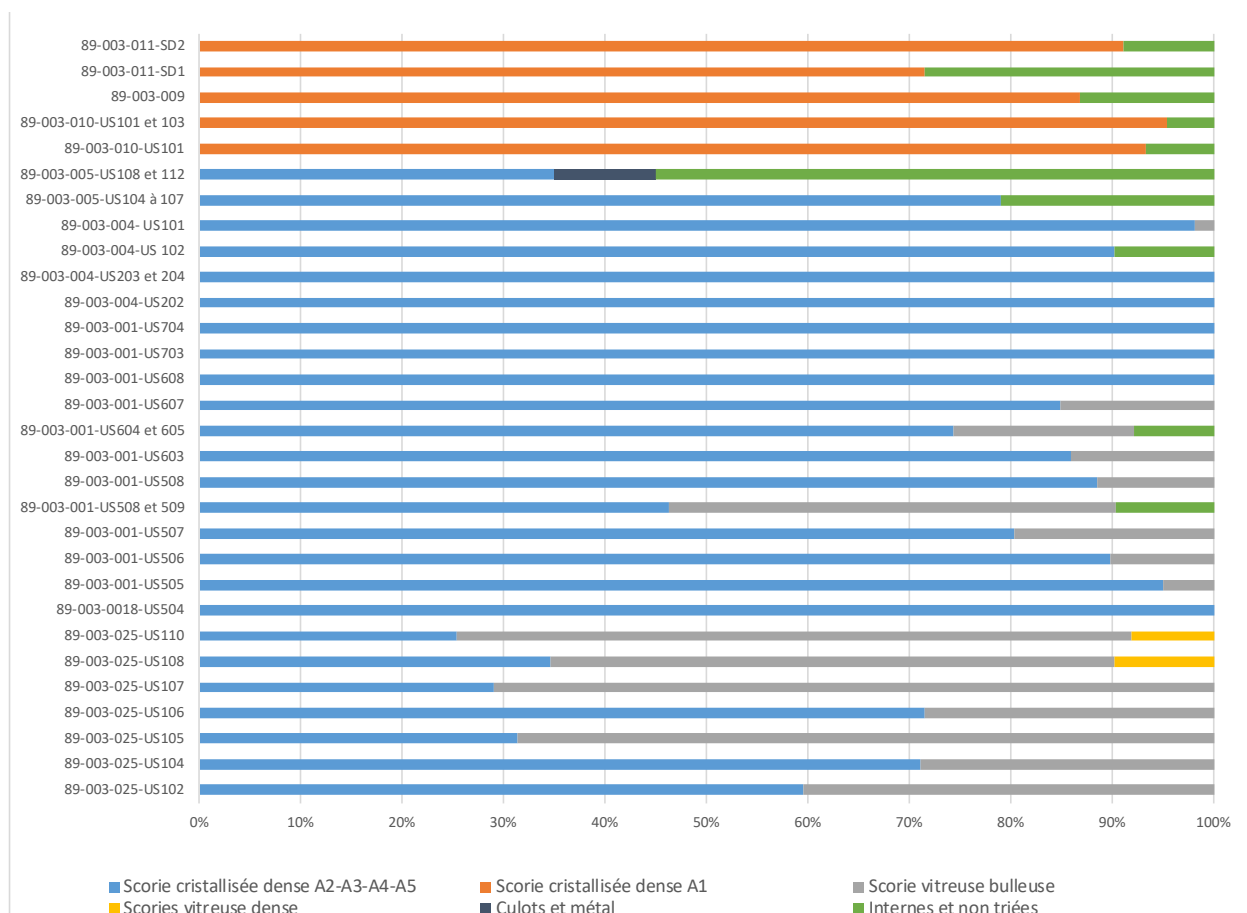


Figure n°86. Assemblage des déchets par type, dans les prélèvements par US (proportion par masse)

L'analyse des assemblages de scories par US et par site permet de reconnaître (fig. 86) :

- Des assemblages où prédominent les types A2-A3-A4-A5. Il s'agit des US des deux sondages réalisés dans l'amas 4 et de toutes les US des sondages réalisés dans l'amas 1, à l'exclusion du prélèvement portant conjointement sur les US 508 et 509 du sondage 5. Les US de l'amas 5 sont également caractérisées par cet assemblage mais des scories de post-réduction sont également présentes dans certaines d'entre elles.

- Des assemblages où prédominent les types vitreux C et D. C'est le cas des US de la partie médiane et supérieure du sondage réalisé dans l'amas 25 (US 105, 107 et 108). Les US sommitales 107 et 108 sont les seules à comprendre des scories vitreuses denses. Ces types vitreux sont peut-être présents dans les US inférieures 508+509 de l'amas 1, mais ces exemplaires nécessitent de nouvelles observations pour préciser leur identification.

- Des assemblages où prédominent les scories de type A1 qui caractérisent les petits amas n° 9, 10 et 11.

Les travaux déjà effectués ont mis en évidence que ces assemblages pouvaient être attribués à des périodes distinctes. En effet, les scories de type A2-A3-A4-A5 sont datées par la méthode radiocarbone entre le début du IV^e s. av. J.-C. et la fin du IV^e s. ap. J.-C. Les scories vitreuses de type C et D couvrent une période comprise entre le milieu du I^{er} s. et la fin du IV^e s. ap. J.-C. Les scories cristallisées de type A1 proviennent de sites datés entre le début du V^e s. et le XV^e s. ap. J.-C.

4.4.2. Les parois de fours

Les blocs tuyères ont été conservés le plus systématiquement possible. De gros ensembles de bloc tuyères proviennent du site 1, sondage 7 (US703-704-706). Ils devront faire l'objet d'études détaillées dont la méthodologie est en cours de développement (voir chap. 3.2.2.).

4.4.3. Etude céramologique (Sylvie Mouton-Venault)

L'étude des assemblages céramiques mis au jour cette année intègre un chapitre de synthèse général sur la Puisaye, se reporter au chapitre 6.

4.4.4. Inventaire des charbons prélevés.

Des prélèvements ponctuels de charbons ont été effectués. Contrairement aux opérations archéologiques précédentes, aucun ensemble conséquent n'a été mis au jour. Ces prélèvements permettront pour l'essentiel de réaliser des datations radiocarbone. Les amas 1, 4, 5, et 10 ont déjà fait l'objet de datations. De nouvelles datations sont cependant à prévoir (fig. 87).

N° Site	US	Motivation de la date
89.003.011	202	Aucune datation disponible sur cet amas
89.003.009	- 40 cm	Aucune datation avec les scories A1 disponible
89.003.025	108	Datation en lien avec scories vitreuses
89.003.025	106	Datation de US inférieure
89.003.001	508+509	Datation en lien avec scories vitreuses sur TN
89.003.001	601	US sur TN
89.003.001	706	Datation bas sondage 7

Figure n°87. Inventaire des prélèvements livrant des charbons qui pourront faire l'objet d'une datation radiocarbone.

4.5. Synthèse et perspectives

L'objectif principal de la campagne de fouille conduite cette année dans le Bois des Ferriers à Montholon a été d'accumuler des données devant permettre d'évaluer la densité massique des

scories de réduction à l'intérieur des différentes catégories d'amas de déchets de production. Cette évaluation repose sur la mesure du volume de ces amas à partir de relevé LiDAR et sur des observations de terrain, afin d'approcher des ordres de grandeur de la masse de fer potentiellement produite. Pour réaliser cette approche, 15 sondages ou zones de prélèvements ont été étudiés sur 8 sites distincts, ce qui vient compléter les données déjà fournies par les sondages et prélèvements des années précédentes.

Un autre acquis de cette campagne de fouilles est une meilleure perception de la puissance stratigraphique des amas et de ce qui en reste, ainsi que de l'organisation spatiale des grands amas très remaniés reconnus dans la partie centrale de cette zone d'étude. La partie visible de ces derniers correspond à des portions plus ou moins bien conservées subsistant sous forme de monticules de déchets pouvant atteindre par endroits plusieurs mètres de hauteur au-dessus du sol forestier actuel. Les contours de toutes ces buttes ont été enregistrées lors des campagnes précédentes et une précision topographique sera apportée par les levés LiDAR qui seront réalisés au début de l'année 2024.

Les travaux de cette année ont apporté des éléments de caractérisation à la plateforme comprenant des déchets scorifiés décrite par Jean-Pierre Piétak lors de ses prospections, et qui serait continue entre les différents tas. Des vérifications au sol ont été reconduites en 2023, et ont permis de confirmer la présence continue de ces déchets, généralement intégrés au sein de buttes ou d'épandages formant des micro-reliefs. Les levés LiDAR devraient permettre de mieux apprécier le tracé de ces contours. D'autres sondages sont probablement à prévoir pour mieux comprendre la nature de cette plateforme : s'agit-il de niveaux résiduels de tas disparus ? de nivellements résultant des travaux du début du XX^e s. ?

Les sondages réalisés en 2017 et 2018 sur les amas 1, 3, 5 et 20, et ceux ouverts cette année sur les amas 1, 4 et 19, montrent que certaines buttes et monticules ne sont que des parties résiduelles d'amas de plus grande ampleur, fortement remaniés par les ré-exploitations du XX^e s., et dont il est assez difficile de déterminer l'emprise initiale. Les coupes stratigraphiques réalisées sur les amas 1 (sondage 5), 5, 19 et 20 montrent que dans certains cas les couches accumulées sur la moitié supérieure (voire même les deux tiers supérieurs) peuvent correspondre à des déchets de criblage résultant de ces activités. La partie sommitale de l'amas 20 qui forme une plateforme assez régulière est probablement créée par l'étalement de ces résidus modernes. Rappelons l'intense exploitation dont ont fait l'objet les ferriers des bois d'Aillant dans le premier tiers du XX^e s., période pendant laquelle des voies ferrées étroites, dont l'emplacement est encore visible par endroits, ont été installées pour transporter à l'aide de petites locomotives Decauville les scories extraites par dizaines de milliers annuellement (Goudard 1932 et 1936 ; Piétak *et al.* 2012)². Cette intense ré-exploitation est un élément à prendre en compte dans l'essai à venir de calcul de l'ordre de grandeur de la production ancienne.

Les sondages ouverts dans l'amas 1 et sur son pourtour modifient fortement la perception que l'on peut avoir des volumes de déchets conservés en place par le seul enregistrement des volumes qui subsistent en élévation au-dessus du sol forestier actuel. A la base des coupes stratigraphiques des sondages 5 et 6, (c'est le cas aussi pour le sondage dans l'amas 25 voisin), des couches de déchets en place surmontent le substrat naturel d'une vingtaine à une cinquantaine de centimètres

2 A. Goudard (1936) souligne ainsi que les centres d'exploitation du Tholon sont parmi les plus productifs, avec un maximum annuel atteint de 21 520 tonnes en 1927. Dans l'article écrit en 1932, il estime que ce gisement devrait être épuisé vers 1934, ce qui donne une idée de l'ampleur des destructions dont on fait l'objet ces sites.

sous le niveau de sol actuel. Le sondage 7 implanté au cœur de la zone relativement plane qui borde le flanc oriental de l'amas, entre celui-ci et la route forestière, et le sondage 8 implanté au bord de cette route, révèlent également que le substrat naturel se trouve au moins à 2 m de profondeur. Sur le premier mètre d'épaisseur, les couches accumulées (des niveaux lités de résidus poudreux de concassage de minerai dans le sondage 7 ; une couche de scories emballées dans un sédiment brun-noir dans le sondage 8), sont clairement des rejets d'ateliers en place. Ce n'est probablement pas le cas des couches occupant le mètre supérieur, plus terreuses et hétérogènes, mais qui contiennent tout de même de nombreux déchets sidérurgiques (scories, parois de four, fragments de tuyères). Elles présentent une texture assez différente des résidus de criblage identifiés sur certaines des coupes stratigraphiques dans l'amas. Il est possible qu'elles aient été déplacées et étalées volontairement à une période donnée, qui reste indéterminée en l'état des travaux actuels.

En outre, ces observations permettent d'envisager, compte tenu du fait qu'aucune différence de niveau altimétrique ne semble exister entre le groupe d'amas 1-25 et 20 au sud et le groupe d'amas 18 et 19 au nord, qu'existe sur tout cet espace une couche de sédiment riche en déchets sidérurgiques contemporaine de l'activité. C'est ce que suggère à la fois les observations de terrain faites par J.-P. Piétak lors de ses prospections et les observations stratigraphiques réalisées par S. Venault dans un sondage réalisé en 2018 à une soixantaine de mètres au nord de l'amas 25 où une couche riche en scories, mesurant une quarantaine de centimètres d'épaisseur, surmontait des niveaux d'occupation antique. Cet espace couvrirait une surface d'environ 11 ha d'après les relevés effectués par J.-P. Piétak. Les résidus provenant de l'activité métallurgique qui s'y accumulent pourraient, tout comme les vestiges d'occupation mis au jour dans le sondage de 2018, témoigner de la présence d'installations dans ce secteur : une partie des ateliers eux-mêmes ou les lieux de vie des artisans et des travailleurs.

Un autre point est à souligner. Le tracé des chemins actuels se superpose à ces couches de déchets et coupe probablement artificiellement en deux des amas qui pourraient avoir été jointifs à la fin de l'activité sidérurgique³. C'est le cas déjà signalé pour l'amas 1 et l'amas 25. Le sondage 6 réalisé cette année sur un des monticules constituant l'amas 1 a permis de mettre en évidence que la plus grande partie de son volume était constitué par l'accumulation de déchets de criblage du début du XX^e s. Si on élimine ce tas, l'observation du levé LiDAR permet de constater qu'il existe une continuité entre le front de taille de récupération de matériaux entaillant l'amas 1 et celui entaillant l'amas 25. Du reste, l'amas 25 présente un module dimensionnel du même ordre que les autres monticules qui sur l'image LiDAR forment par empilement et juxtaposition l'amas 1 : il est donc probable que l'amas 25 en soit un autre, l'ensemble formant l'amas 1.

La continuité entre les amas 1 et 20 semble également envisageable en raison de la cohérence du tracé de leurs contours. Les entités archéologiques numérotées 1, 20 et 25 pourraient ainsi ne former qu'un seul même ensemble, tout au moins dans un état final de l'activité sidérurgique. Les sites 18 et 19, qui semblent disposés en miroir, à environ 400 m plus au nord, pourraient constituer aussi un même ensemble. Ils occupent en effet une surface et adoptent une disposition en demi-cercle comparables à l'ensemble constitué par les amas 1-25 et 20. On pourrait ainsi imaginer l'existence de deux pôles d'activité, pérennes dans le temps, chacun associé à des groupements d'ateliers métallurgiques, contemporains ou non, ou bien se succédant sur la période antique. Les données actuellement disponibles ne permettent pas de déterminer si la vaste zone « d'épandage » de scories englobant tous ces amas accueillait d'autres amas à présent entièrement disparus.

3 Un numéro de site a été attribué à une entité archéologique que l'on pouvait définir par des limites visibles, soit au sol, soit en élévation. Par les interruptions qu'ils créent, les chemins ont subdivisé des entités.

Plus loin, au sud, les amas 4 et 5 semblent constituer des sites bien séparés. Un autre pôle d'activité est très probablement présent au nord au lieu-dit la Prée Murée, autour d'un gros amas fortement démantelé (amas Prée Murée 2) et de deux monticules beaucoup moins remaniés (amas Prée Murée 1 et 3). Tous ces ensembles paraissent dater de la fin de l'âge du Fer et/ou de la période romaine.

5. Compositions chimiques des minerais de fer et des scories prélevés dans les amas de déchets sidérurgiques anciens de Puisaye (état 2023)

Marc Leroy, Marion Berranger

Un total de 123 scories de réduction, 31 morceaux de roche identifiés comme pouvant être du minerai de fer et 7 morceaux de parois de four ont fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES au Service d'Analyse des Roches et Minéraux du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques du CNRS à Vandœuvre-lès-Nancy, suivant les protocoles standards utilisés en géochimie (www.crpq.cnrs-nancy.fr/SARM). Ces échantillons proviennent des prélèvements effectués sur 39 sites différents situés dans tous les secteurs prospectés (fig. 88-89-90). Les détails des analyses sont présentées en annexe 2.

- Nord Puisaye.

• Amas de déchets du regroupement de communes de Montholon (Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon), lieu-dit Bois des Ferriers et zones adjacentes (les Réserves, les Boulasseaux, la Prée Murée) : 12 sites, 58 échantillons (46 scories, 9 minerais et 3 parois de four).

<i>Nord Puisaye</i>	Minerais	Scories A1	Scories A2	Scories A3	Scories A4	Scories A5	Scories B	Scories C	Scories D	Scories E	Scories F	Parois de four	Total
Bois des Ferrier	1												1
Aillant s/ Tholon 1	3		5	1	3	6		1	2				21
Aillant s/ Tholon 2	1							1					2
Aillant s/ Tholon 3	1							1	3	1		2	8
Aillant s/ Tholon 5				1									1
Aillant s/ Tholon 7								2					2
Aillant s/ Tholon 9	2	2										1	5
Aillant s/ Tholon 10		4											4
Aillant s/ Tholon 20	1				1								2
Aillant s/ Tholon 22											4		4
Aillant s/ Tholon 23											4		4
Villiers s/ Tholon 1									1				1
Villiers s/ Tholon 3									3				3
Total	9	6	5	2	4	6	0	5	9	1	8	3	58

Figure n°88. Nord Puisaye : dénombrement par sites et par catégories typologiques des échantillons de minerais de fer, de scories et de parois de fourneaux ayant fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES au SARM-CRPG.

- Centre Puisaye.

• Amas de déchets des deux secteurs prospectés sur la commune de Villiers-Saint-Benoit (Bois des Usages, Les Grands Usages) : 2 sites, 5 scories.

• Amas de déchets sur la commune de Dracy (Ferrier Guillou) et zone adjacente (commune de Toucy) : 4 sites, 8 échantillons (6 scories, 2 minerais).

<i>Centre Puisaye</i>	Minerais	Scories A1	Scories A2	Scories A3	Scories A4	Scories A5	Scories B	Scories C	Scories D	Scories E	Scories F	Parois de four	Total
Villiers-Saint-Benoit 15					1								1
Villiers-Saint-Benoit 27							4						4
Dracy Guillou 1								1					1
Dracy Guillou 2								1					1
Dracy la Grande Pâtur											4		4
Bois de Dracy	1												1
Toucy	1												1
Total	2	0	0	0	1	0	4	0	2	0	4	0	13

Figure n°89. Centre Puisaye : dénombrement par sites et par catégories typologiques des échantillons de minerais de fer, de scories et de parois de fourneaux ayant fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES au SARM-CRPG.

- Sud Puisaye.

- Amas de déchets de la commune de Saint-Fargeau (Bois de Bailly et zones adjacentes : Bois du Parc, les Colas) : 15 sites, 79 échantillons (55 scories, 20 minerais, 4 parois de four).
- Amas de déchets sur la commune de Treigny (Les Gâtines-Beauchet, Les Usages, Bois des Châtaigniers) : 3 sites, 6 scories.
- Amas de déchets sur la commune de Lavau, au lieu-dit Jubin : 5 scories.

<i>Sud Puisaye</i>	Minerais	Scories A1	Scories A2	Scories A3	Scories A4	Scories A5	Scories B	Scories C	Scories D	Scories E	Scories F	Parois de four	Total
Lavau Jubin		1							3		1		5
Lavau Bois du Parc 8							2						2
Saint-Fargeau 1 Bois de Bailly			5										5
Saint-Fargeau 2 Bois de Bailly	2												2
Saint-Fargeau 3 Bois de Bailly	2		2										4
Saint-Fargeau 6 Bois de Bailly			3	2									5
Saint-Fargeau 11 Bois de Bailly		5											5
Saint-Fargeau 12 Bailly							4						4
Saint-Fargeau 13 Bailly				1									1
Saint-Fargeau 18 Bois de Bailly		5											5
Saint-Fargeau 26 Bois de Bailly											5		5
Saint-Fargeau 33 Bois de Bailly											5		5
Saint-Fargeau 40 Bois de Bailly	16										10	4	30
Saint-Fargeau Bois du Parc 191							1						1
Saint-Fargeau Bois du Parc 192							2						2
Saint-Fargeau 41 les Colas									3				3
Treigny 1 Bois des Châtaigniers											2		2
Treigny 2 les Gâtines Beauchet											4		4
Total	20	11	10	3	0	0	9	0	6	0	27	4	90

Figure n°90. Sud Puisaye : dénombrement par sites et par catégories typologiques des échantillons de minerais de fer, de scories et de parois de fourneaux ayant fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES au SARM-CRPG.

Ces sites sont datés de l'âge du Fer, de la période romaine, du premier et du second Moyen Âge.

5.1. Les morceaux de minerais

De nombreux morceaux de roche évoquant, par leur coloration, leur morphologie ou leur structure, des faciès de minerai de fer figurent parmi les prélèvements de mobilier effectués au sein des amas de déchets et dans les couches archéologiques des ateliers sondés ou fouillés.

5.1.1. *Faciès morphologiques*

Quatre à cinq faciès morphologiques et structuraux ont été identifiés (Berranger *et al.* 2019, p. 99-100) (fig. 91):

- un faciès en forme de géode¹ dont les surfaces et les cassures révèlent une structure feuilletée constituée d'une superposition de veines compactes, d'épaisseur pluri-millimétrique, agencées de manière concentrique, dans plusieurs cas autour d'une cavité centimétrique ; la plupart de ces morceaux de roche présentent une coloration rouge vif ou brun-jaune-orangé (faciès 1).

- un faciès de morphologie plus irrégulière, mais également constituées d'une superposition de strates sombres à claires, de couleur gris-violacé à marron-jaune, formant des circonvolutions (faciès 2).

- un faciès aux surfaces rugueuses dont la structure est composée de veines plus ou

1 Géode : masse pierreuse sphérique ou ovoïde, creuse, dont l'intérieur est tapissé de cristaux (Le Petit Robert 1996).

moins épaisses et denses, organisées de manière concentrique autour d'alvéoles de taille infra-centimétrique (faciès 3).

- un faciès à structure compacte et aux cassures anguleuses, présentant une coloration violacée, et contenant des minéraux de taille centimétrique (faciès 4).

- un cinquième faciès paraît associer les caractéristiques des faciès 1 et 2.

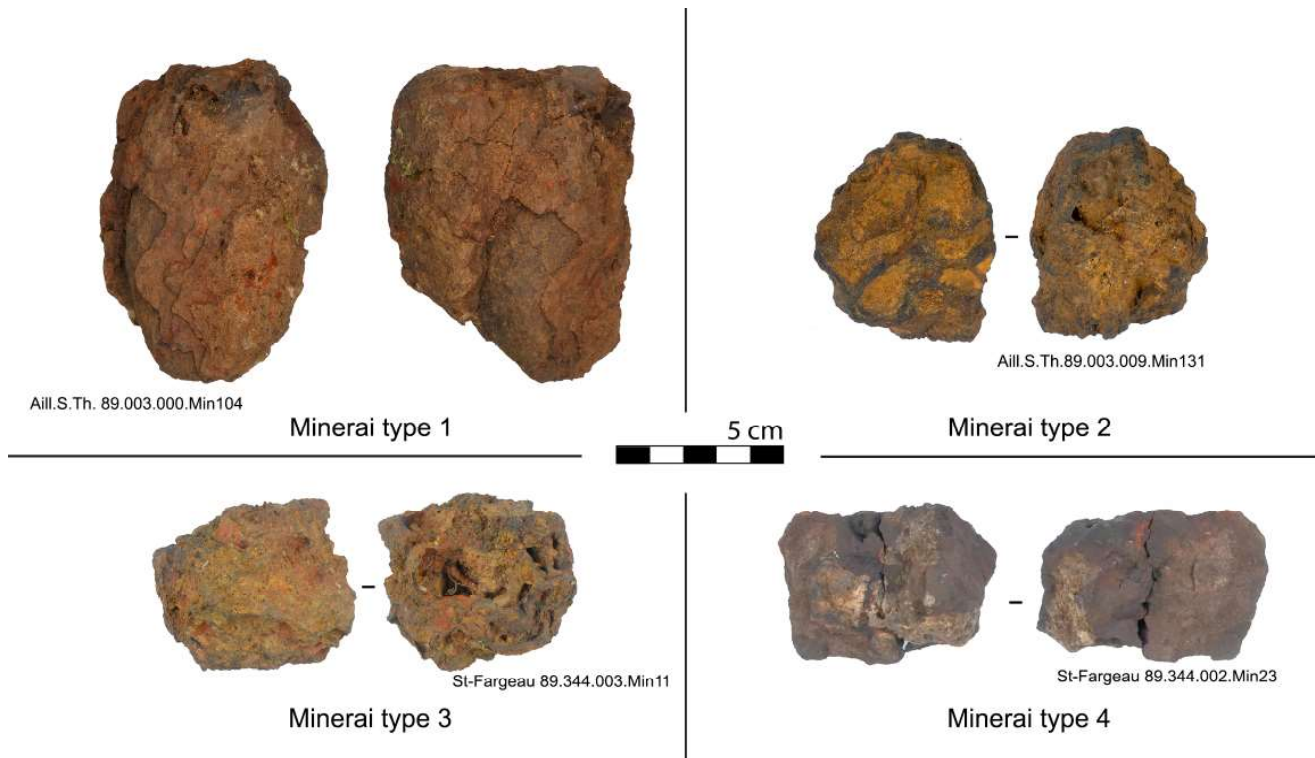


Figure n°91. Illustration des principaux types de minerais (M. Aubert, M. Berranger)

Un certain nombre de ces pièces 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 dépouillement des informations géologiques contenues dans les cartes géologiques du BRGM et dans quelques rares publications des XIX^e et XX^e siècles, permettent d'identifier plusieurs sources de minerai de fer appartenant à plusieurs étages géologiques du Crétacé et aux larges couvertures Éocène des plateaux, en particulier le « Complexe argilo-sableux à silex » largement présent en surface des plateaux sur l'ensemble de la région naturelle de la Puisaye) (Berranger et al. 2019, p. 92-99. 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 (Rebiscoul DFS 1999). L'exploitation s'est faite par puits de plusieurs mètres de profondeur pour atteindre une strate riche en nodules et concrétions limonitiques.

Parmi les morceaux de roches analysées, 31 échantillons ont fait l'objet d'une analyse de composition chimique élémentaire : 9 proviennent de plusieurs amas de déchets du Bois des Ferrys, 2 du secteur de Dracy-Toucy (vallée de l'Ouanne) et 20 des amas de déchets du Bois de Bailly dont 16 pour l'atelier associé à l'amas n° 40, fouillé en 2021 et 2022. Une partie de ces échantillons ont fait l'objet d'observations au microscope optique sur section polie (M. Berranger, M. Leroy, P. Merluzzo, IRAMAT-LMC) et six d'entre eux d'une analyse de composition minéralogique par diffraction des RX (E. Foy, LAPA).

5.1.2. Compositions chimiques (éléments majeurs) et minéralogiques

Tous les échantillons, à l'exception d'un de ceux prélevés dans l'amas 2 du Bois de Bailly à Saint-Fargeau (faciès 4) et de celui prélevé au cours de prospection pédestre au lieu-dit la Cour Batonnerie à Toucy, présentent des compositions parfaitement compatibles avec celles de minerai de fer à gangue silico-alumineuse (fig. 92-93).

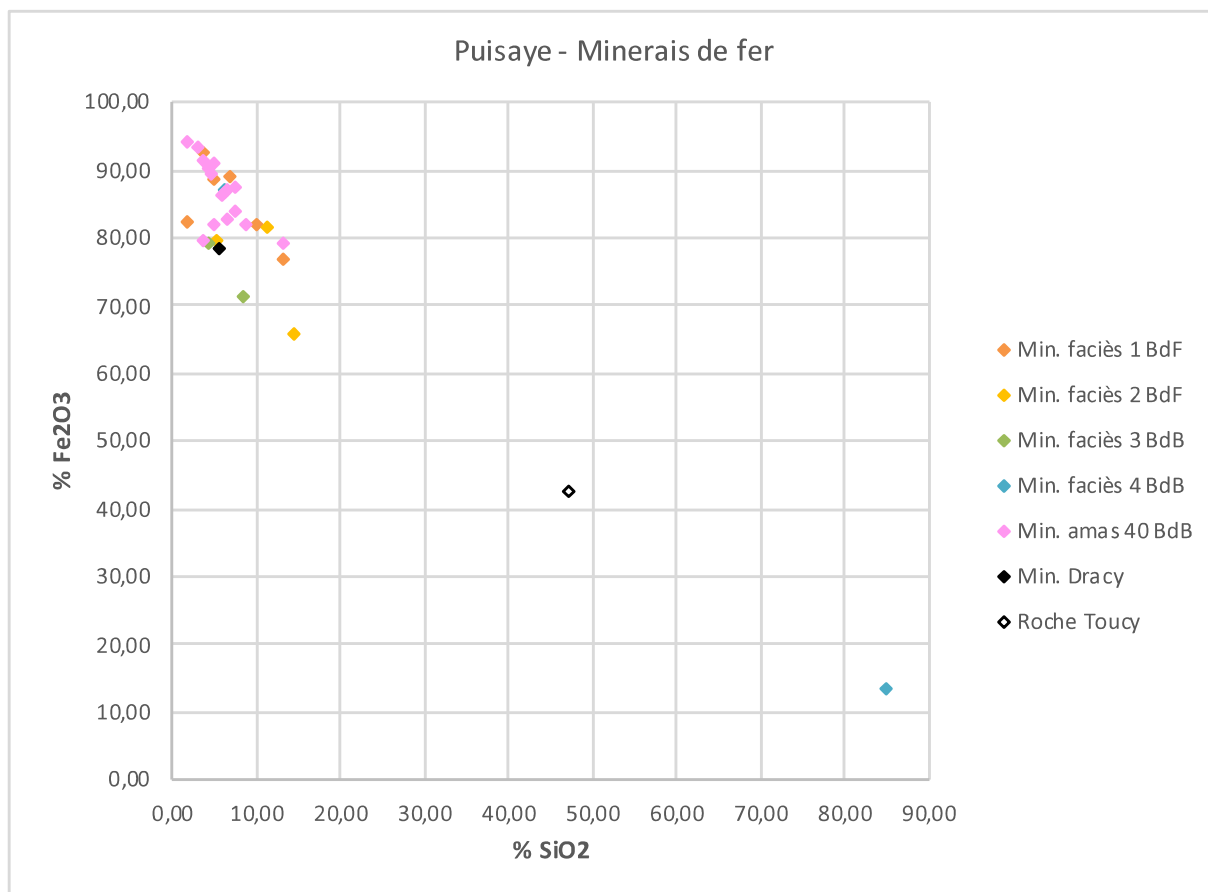


Figure n°92. Diagramme des teneurs en SiO₂ et en Fe₂O₃ des échantillons de minerai de fer (M. Leroy).

Les deux échantillons dont la composition ne paraît pas compatible avec celle d'un minerai de fer sont trop siliceux et pas assez riches en oxydes de fer. Celui provenant de la Cour Batonnerie à Toucy contient autant d'oxyde de silicium (47 % SiO₂) que d'oxydes de fer (42 % Fe₂O₃ total). Celui provenant de l'amas 2 du Bois de Bailly est essentiellement composé d'oxyde de silicium (85 % SiO₂) avec moins de 15 % d'oxydes de fer. Il pourrait s'agir de rebuts de tri de matière première.

Pour les autres échantillons :

- Les teneurs en oxydes de fer (Fe₂O₃ total) varient de 65 à 95 %, pour une teneur moyenne de 84 % et une teneur médiane de 83,8 %.
- Les teneurs en oxyde de silicium (SiO₂) varient de 1,7 à 14 %, pour une teneur moyenne de 6,5 % et une teneur médiane de 5,8 %.
- Les teneurs en oxyde d'aluminium (Al₂O₃) varient de 0,1 à 5 %, pour une teneur moyenne de 2,3 % et une teneur médiane de 1,9 %.
- Les teneurs dans les autres éléments majeurs dépassent rarement 0,5 %. Seule pour quelques échantillons la teneur en oxyde de manganèse (MnO) peut dépasser ce seuil et atteindre 0,6-0,7 % (4 cas) ou 1 % (1 cas).

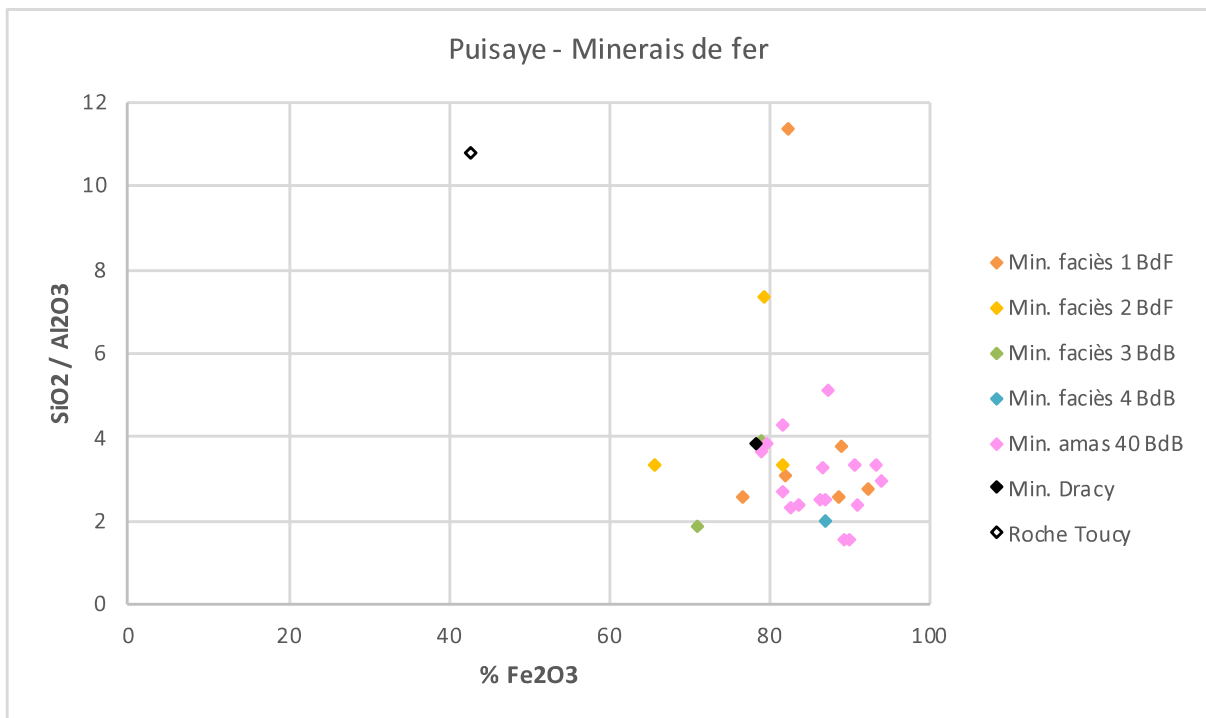


Figure n°93. Diagramme des teneurs de Fe₂O₃ comparativement au rapport des teneurs en SiO₂ et Al₂O₃ des échantillons de minerai de fer (M. Leroy).

Aucune différence majeure de composition ne sépare les différents faciès de minerai, ni les échantillons en fonction de leur lieu de prélèvement (secteur géographique ou amas). Ainsi, l'amplitude de composition des minerais collectés au sein des couches archéologiques dans l'atelier de l'amas 40 du Bois de Bailly est similaire à celle de l'ensemble des autres minerais qu'ils proviennent de la partie nord (Bois des Ferriers), de la partie centrale (Bois de Dracy) et de la partie sud (Bois de Bailly). Du point de vue de la composition chimique en éléments majeurs, ces échantillons de minerai semblent donc provenir d'une même source géologique générique.

Les formes minérales identifiées pour les oxydes de fer sont l'hématite et la goethite, et le quartz pour l'oxyde de silicium.

5.2. Les scories de réduction – les éléments majeurs

5.2.1. Les scories du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers, La Prée Murée et des zones adjacentes)

Les 46 échantillons de scories de réduction du secteur du Bois des Ferriers et des zones adjacentes proviennent de 12 amas de scories (fig. 88). La majorité a été prélevée à l'intérieur des couches archéologiques au sein des coupes stratigraphiques étudiées (Aillant-sur-Tholon 1, 3, 5, 7, 9, 10 et 20). Les autres ont été prélevés en surface des amas qui n'ont pas fait l'objet de sondage (Aillant-sur-Tholon 2, 22 et 23, Villiers-sur-Tholon 1 et 3). Toutes les catégories typologiques de scories qui ont été observées dans ce secteur sont représentées²

Les amas de déchets qui ont livré des scories de type F sont datés du milieu de l'âge du Fer (entre le début du V^e s. av. J.C. et la fin du III^e s. av. J.C.). Les sites qui ont livré des scories

² La typologie des scories est présentée dans le rapport d'activité 2019 du PCR (Berranger *et al.* 2019, p. 76-91).

de types A2-3-4-5, C et D sont datés entre la fin de l'âge du Fer (II^e - I^{er} s. av. J.C.) et la fin de l'Antiquité romaine (III^e - IV^e s. ap. J.C.). L'amas 10 du Bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon qui a livré des scories de type B est daté du début du second Moyen Âge (X^e-XII^e s.).

Plusieurs groupes de composition chimique

Au moins trois groupes de composition se différencient sur la base des teneurs des trois principaux éléments chimiques (FeO, SiO₂, Al₂O₃), qui représentent entre 90 et 95 % du total. Ce sont principalement les teneurs en oxydes de fer et en oxyde de silicium qui marquent ces différenciations qu'on peut visualiser sur les diagrammes ternaires et paramétriques utilisés (fig. 94-95-96-97)³.

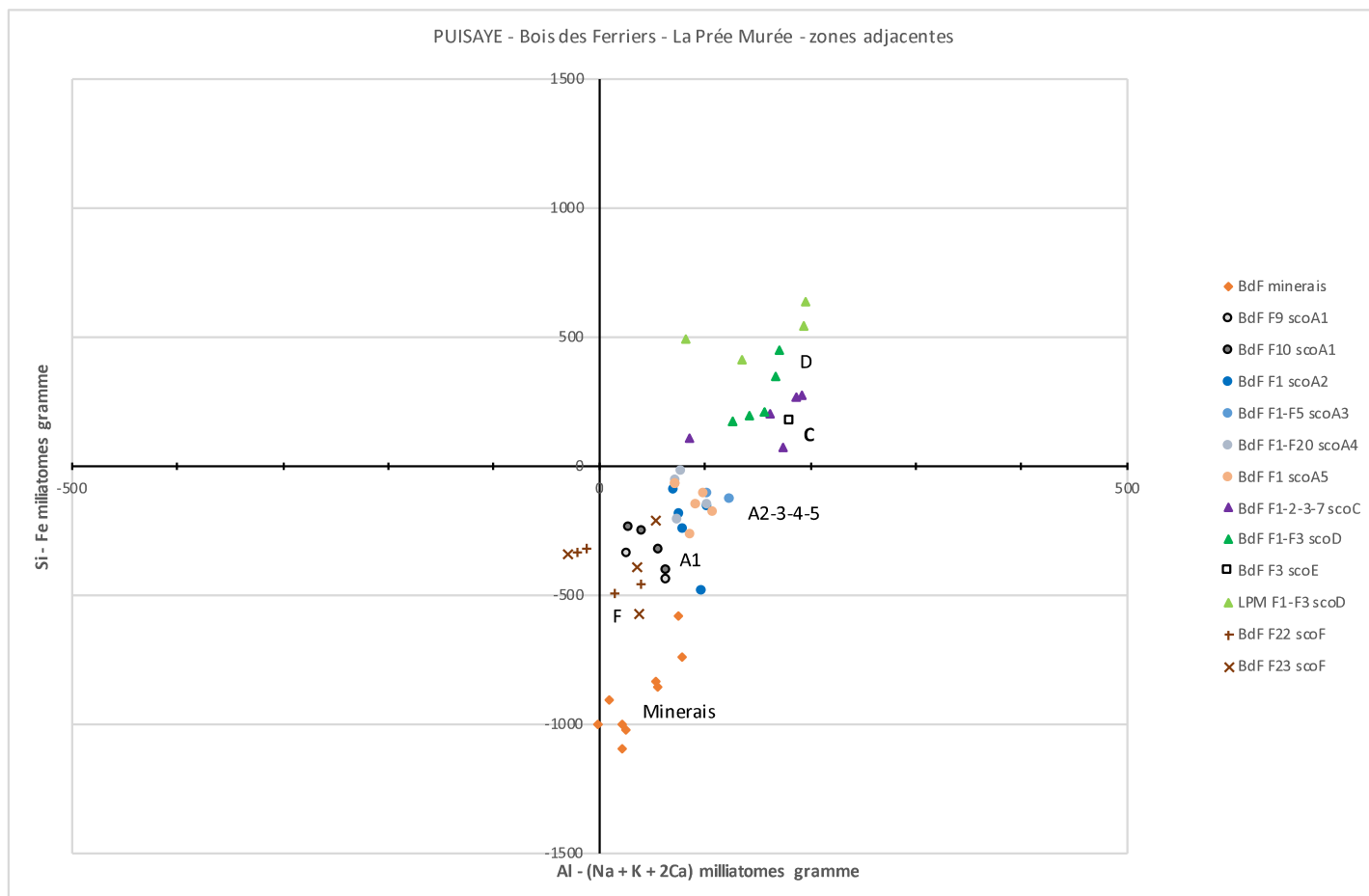


Figure n°94. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

- Un groupe composé des scories de type F et des scories de type A1, pour lequel les teneurs en oxydes de fer sont comprises entre 60 % et 75 % (soit entre 40 et 55 % de Fe), avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 20 et 30 % et en Al₂O₃ entre 4 et 8 %.

- Un groupe composé des scories de types A2, A3, A4 et A5, pour lequel les teneurs en oxydes de fer sont comprises entre 50 et 60 % (soit entre 36 et 43 % de Fe), avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 30 et 38 % et en Al₂O₃ entre 7,5 et 9,5 %⁴.

3 Diagrammes [SiO₂/Al₂O₃/FeO], [SiO₂/FeO/Al₂O₃] et [SiO₂/Al₂O₃/CaO] dans lesquels sont présentés les pourcentages respectifs des teneurs de ces éléments chimiques. Diagramme paramétrique [Al - (Na + K + 2Ca) vs. Si - Fe] dans lequel les teneurs de ces éléments sont exprimés en milli-atomes grammes dans 100 g d'échantillon.

4 Une seule scorie s'en écarte notablement avec une teneur élevée en oxydes de fer

- Un groupe composé des scories de types C et D, pour lequel les teneurs en oxydes de fer sont comprises entre 18 et 46 % (soit entre 12 et 32 % de Fe), avec des teneurs en SiO_2 comprises entre 40 et 51 % et en Al_2O_3 entre 10 et 17 %.

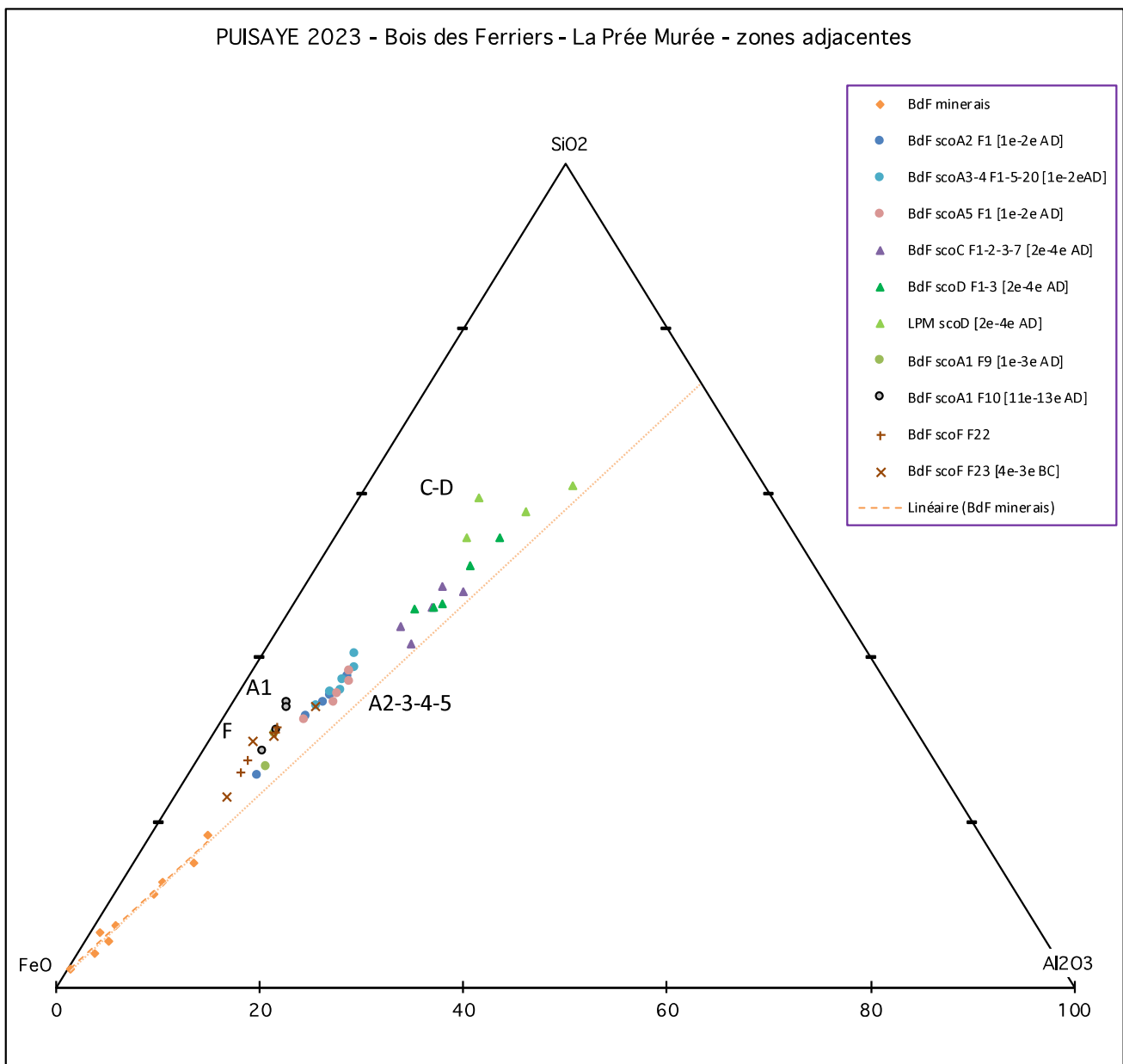


Figure n°95. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/FeO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Pour les deux premiers groupes de composition (scories de type A et F), les teneurs en CaO présentent une amplitude identique entre 1 et 3 % (moyenne de 1,8 %). Pour le troisième groupe de composition (scories de type C et D), les teneurs en CaO montrent une amplitude plus restreinte entre 2 et 3 % avec une valeur moyenne légèrement plus élevée (2,25 %).

Une apparente filiation minerais-scories

Sur ces mêmes diagrammes, les trois groupes de scories se situent dans un alignement orienté à partir du pôle FeO avec le groupe constitué des échantillons de minerai, ce qui semble souligner (72 %) et donc plus basse en SiO_2 (24,6 %) et en Al_2O_3 (6,7 %).

une filiation chimique générique entre les minerais et les scories. L'alignement minerais-scories est bien marqué lorsqu'on compare deux à deux les teneurs de la plupart des éléments chimiques majeurs avec celles des oxydes de fer [Fe_2O_3 vs. Al_2O_3] (fig. 98), [Fe_2O_3 vs. MgO], [Fe_2O_3 vs. TiO_2], et dans une moindre mesure [Fe_2O_3 vs. MnO] et [Fe_2O_3 vs. V].

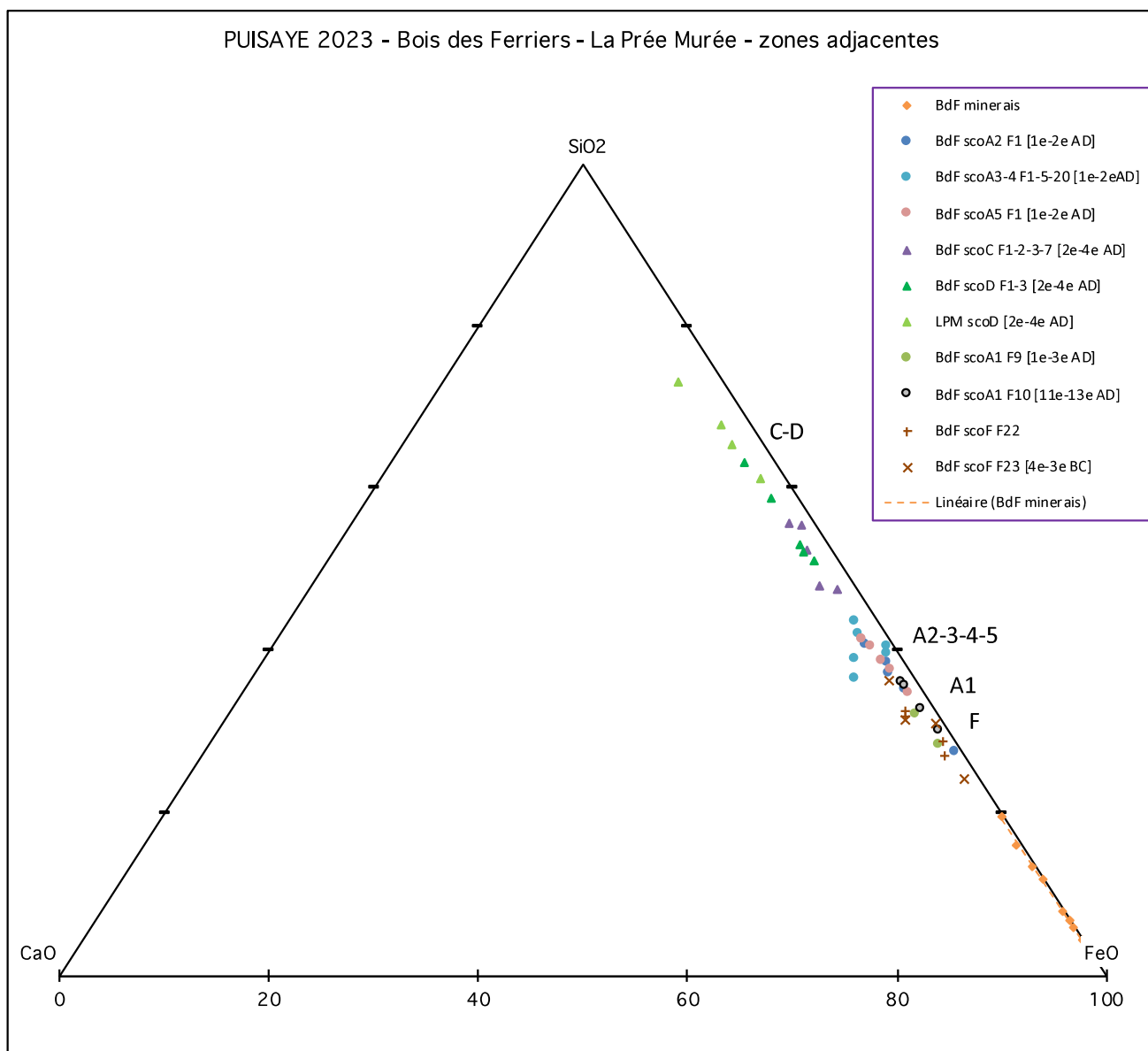


Figure n°96. Diagramme ternaire [$\text{SiO}_2/\text{FeO}/\text{CaO}$] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Toutefois, la position des groupes de scories apparaît légèrement décalée par rapport à celle du groupe des minerais si on considère les rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (diagrammes [$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO}$], [$\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}$] et [Fe_2O_3 vs. SiO_2], fig. 95, 97, 99). Ce petit décalage semble révéler un léger enrichissement en silice des scories par rapport aux minerais. Ce peut être l'indice d'une contamination du liquide résultant de la fusion de la gangue du minerai par la fusion partielle du revêtement interne de la cuve. Les trois échantillons de parois analysés, qui proviennent tous de l'amas 3 du Bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon, ont en effet une composition chimique nettement plus siliceuse qu'alumineuse (80 % SiO_2 vs. 5 % Al_2O_3 pour deux d'entre elles, 63 % SiO_2 vs. 8 % Al_2O_3 pour la troisième - annexe 2). Ainsi, une fusion

d'une petite part de ce revêtement de cuve sous l'effet des températures de fonctionnement du fourneau et des interactions avec les oxydes de fer contenus dans le minerai contamineraient le bain de scorie plus nettement en oxyde de silicium qu'en oxyde d'aluminium.

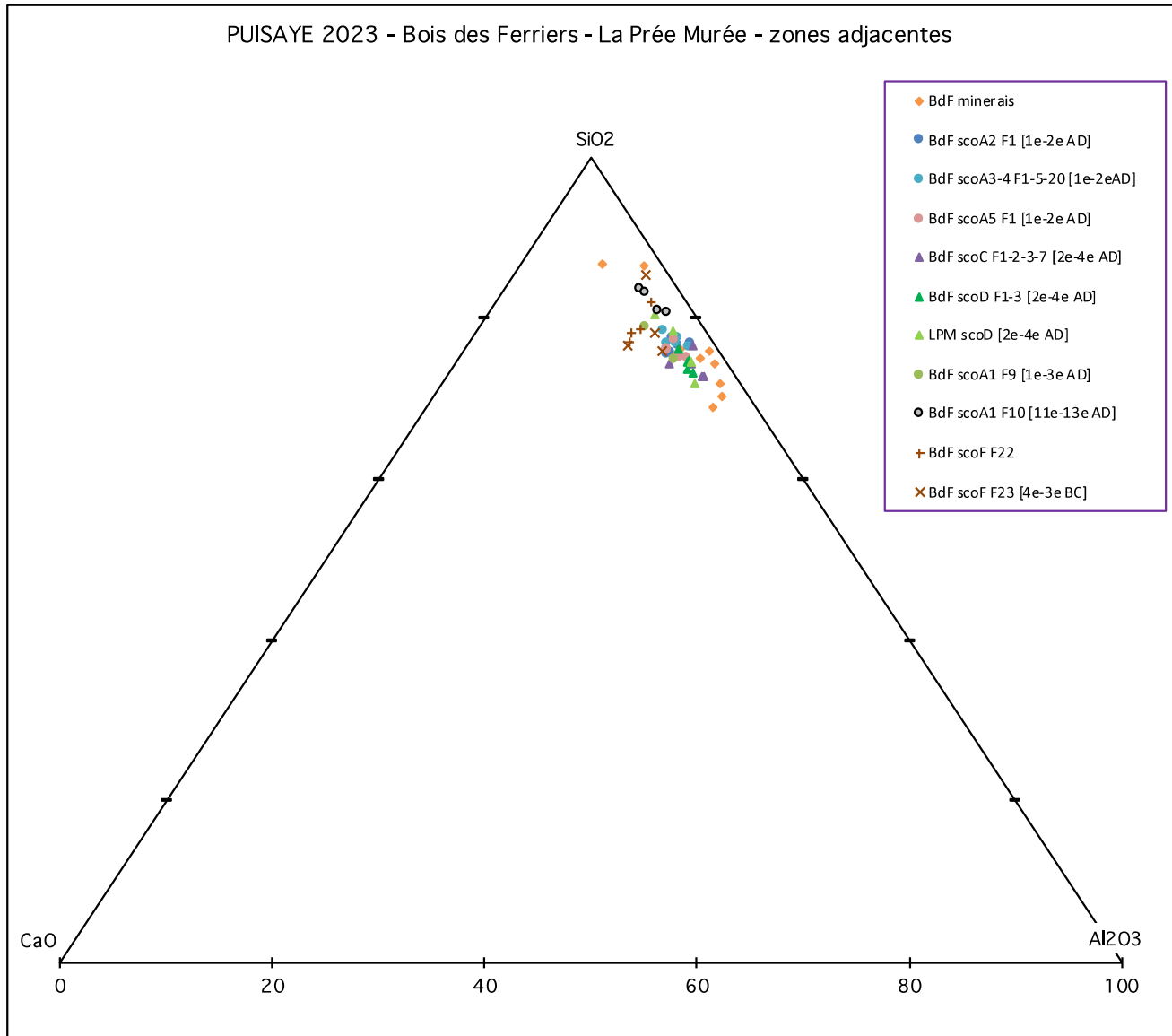


Figure n°97. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Des compositions chimiques corrélées avec la typologie des scories

Les groupes de composition chimique des scories sont étroitement corrélés à la typologie des scories (voir chap. 2) et la différenciation majeure concerne les teneurs en oxydes de fer (fig. 94 à 99).

- Les groupes de scories de type F et A1, qui ne se démarquent pas l'un de l'autre, sont les plus riches en fer.
- Les scories de type A2, A3, A4 et A5 sont de composition similaire. Elles sont moins riches en fer que les scories de type F et A1. Dans les amas étudiés, les scories de type A2, A3 et A4 sont toujours associées dans les mêmes unités stratigraphiques. Lorsqu'elles sont présentes, les scories de type A5 leur sont fréquemment associées. La similarité des compositions chimiques accreditte donc l'hypothèse que ces types de scories sont produits au cours des mêmes opérations métallurgiques.

- Les scories de types C et D qui sont de composition proche se démarquent nettement des compositions des scories de types A2-A3-A4-A5 et encore plus des compositions des scories de type F et A1, avec des teneurs en fer beaucoup plus basses (< 50 % de Fe_2O_3 total) et des teneurs en oxyde de silicium et en oxyde d'aluminium plus élevées. On notera que deux des cinq analyses de scories de type C correspondent l'une à la partie vitreuse, l'autre à la partie cristallisée du même échantillon (annexe 2)⁵. Or la composition de la partie cristallisée est plus riche en oxydes de fer que la partie vitreuse. Cette dernière est de composition similaire à celle des scories de type D, alors que le faciès cristallisé est de composition plus proche de celui des scories de types A2-A3-A4-A5. On pourrait donc penser que si on multipliait les analyses séparées des deux faciès de texture, ces scories de type C se subdiviseraient en deux sous-groupes de composition, l'un pour la partie vitreuse intégré au groupe des scories de type D, l'autre pour la partie cristallisée intermédiaire entre les scories de type A2-A3-A4-A5 et les scories de type D. La présence de ces deux faciès de composition différente au sein des mêmes écoulements, mais séparés et placés l'un au-dessus de l'autre, toujours dans le même ordre de superposition (la texture cristallisée à la base), est encore totalement à expliquer.

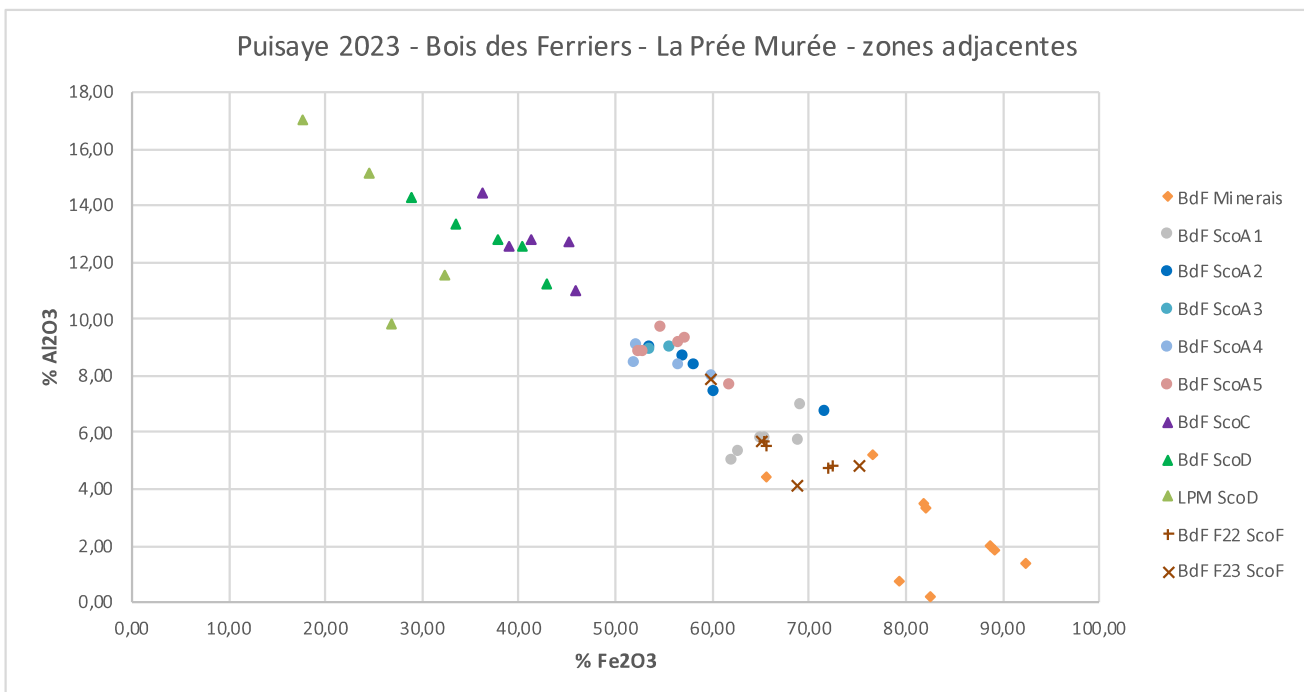


Figure n°98. Diagramme des teneurs en Fe_2O_3 et en Al_2O_3 des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

- Parmi les scories de type D, celles qui proviennent des deux amas de La Prée Murée (Villiers-sur-Tholon 1 et 3) sont globalement moins riches en fer que les scories provenant des amas 1 et 3 du Bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon. Les teneurs en oxydes de fer (Fe_2O_3) sont inférieures à 25 % pour deux d'entre elles et même à 20 % pour la troisième, soit moins de 18 % de Fe. Ces scories paraissent donc issues d'un processus physico-chimique au cours duquel l'extraction du fer atteint un taux très élevé proche de ce qu'on observe dans les scories issues du procédé indirect au début de l'époque moderne. Ces scories de type D sont celles qui contiennent aussi des teneurs significativement élevées de MnO , comprises entre 2,5 et 6 % pour les échantillons des amas 1 et 3 du Bois des Ferriers et entre 5 et 10 % pour les échantillons des amas 1 et 3 de

5 Les trois autres analyses correspondent à une composition globale de la scorie mélangeant les deux faciès texturaux.

La Prée Murée. Les teneurs élevées de MnO sont clairement corrélées aux teneurs basses de Fe_2O_3 (diagramme [Fe_2O_3 vs. MnO], fig. 100).

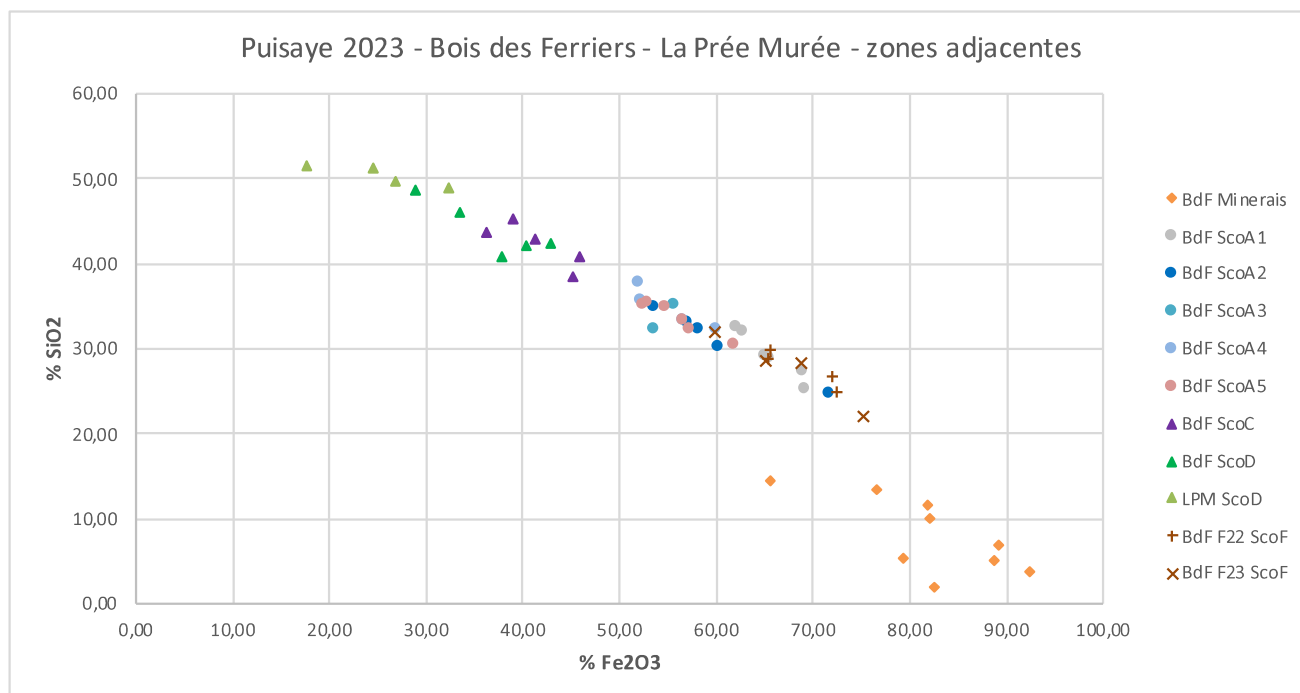


Figure n°99. Diagramme des teneurs en Fe_2O_3 et en SiO_2 des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

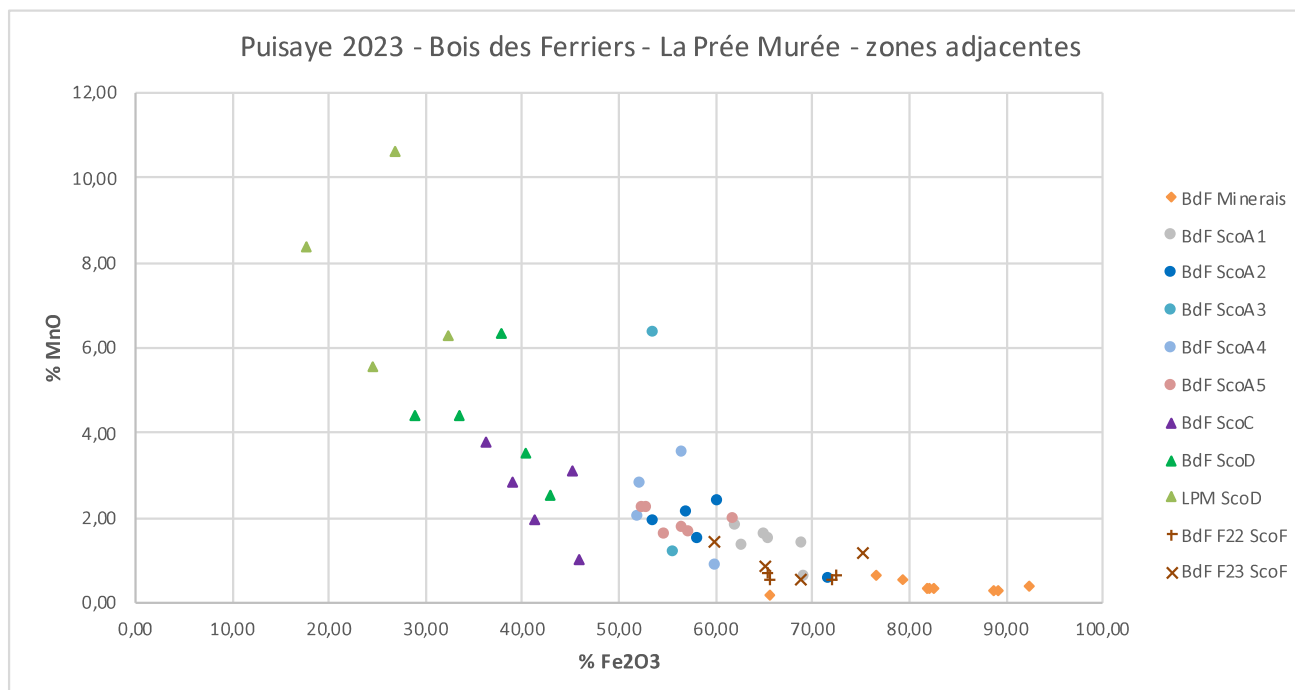


Figure n°100. Diagramme des teneurs en Fe_2O_3 et en MnO des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon). (M. Leroy).

5.2.2. Les scories du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et des zones environnantes)

Un total de 47 échantillons de scories de réduction provenant de 11 amas de déchets du Bois de Bailly à Saint-Fargeau ont été analysés (fig. 90). Dix de ces échantillons proviennent de l'amas 40 fouillé au cours des deux campagnes de 2021 et 2022. S'y ajoutent cinq échantillons de scories prélevés sur trois amas du Bois du Parc, contigu au Bois de Bailly, sur les communes de Saint-Fargeau et de Lavau. Ces scories ont été pour partie collectées en surface des sites, pour partie prélevées dans les sondages réalisés au sein des amas. Trois autres échantillons ont été sélectionnés parmi les scories ramassées en surface de l'amas situé au lieu-dit les Colas à Saint-Fargeau, et six autres parmi les scories prélevées sur trois amas localisés sur la commune de Treigny au lieu-dit Bois des Châtaigniers 2, Les Gâtines Beauchet 1 et 2. Enfin, cinq échantillons de scories ont été sélectionnés parmi les pièces prélevés sur les monticules de déchets au lieu-dit Jubin à Lavau. Les échantillons sélectionnés couvrent l'ensemble des types de scories observés. Ces sites sont datés de l'âge du Fer, de la période antique et du Moyen Âge.

Plusieurs groupes de composition chimique

Au moins quatre groupes de composition se différencient sur la base des teneurs des quatre principaux éléments chimiques (FeO, SiO₂, Al₂O₃, CaO : fig. 101 à 104) :

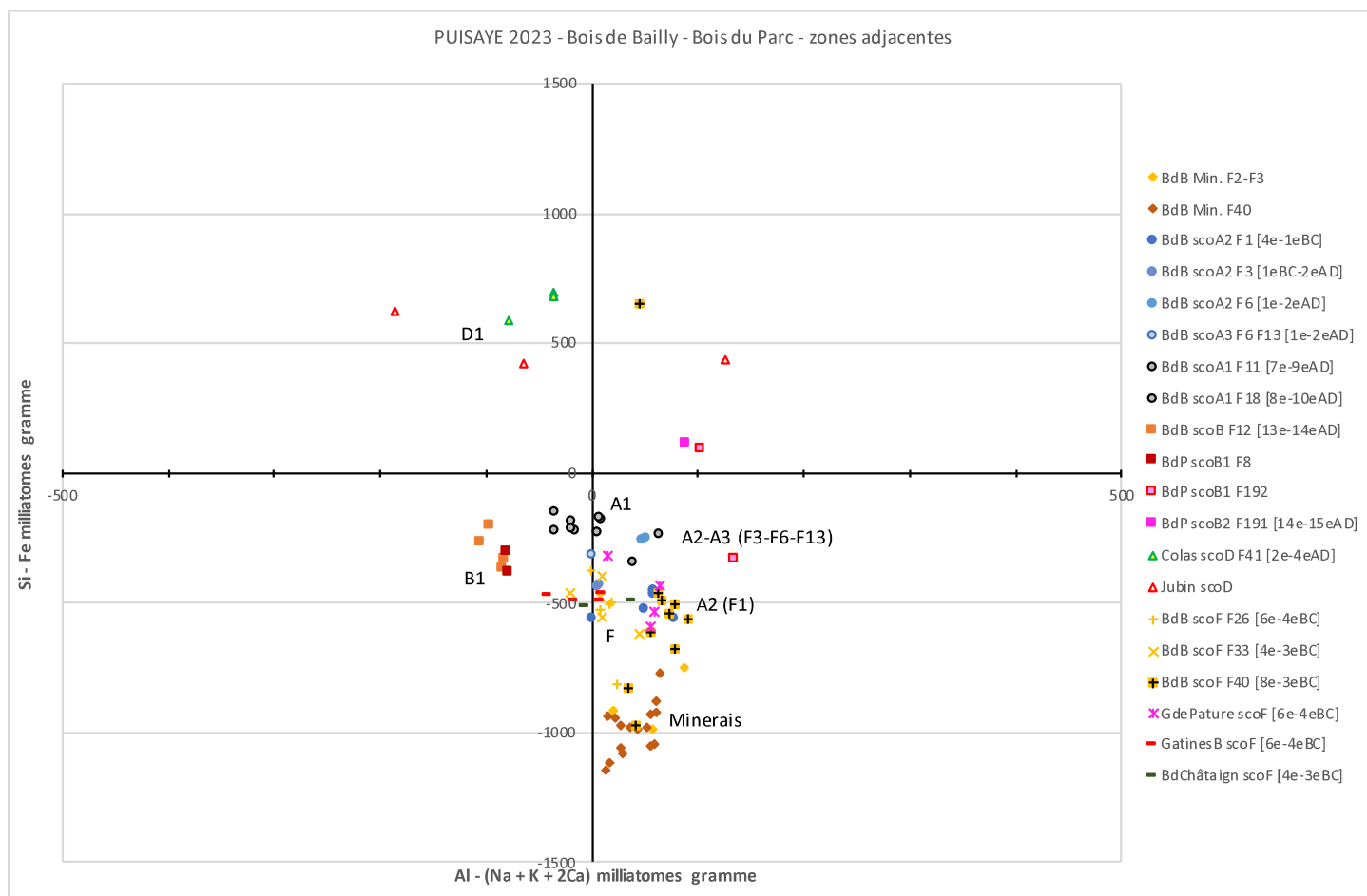


Figure n°101. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

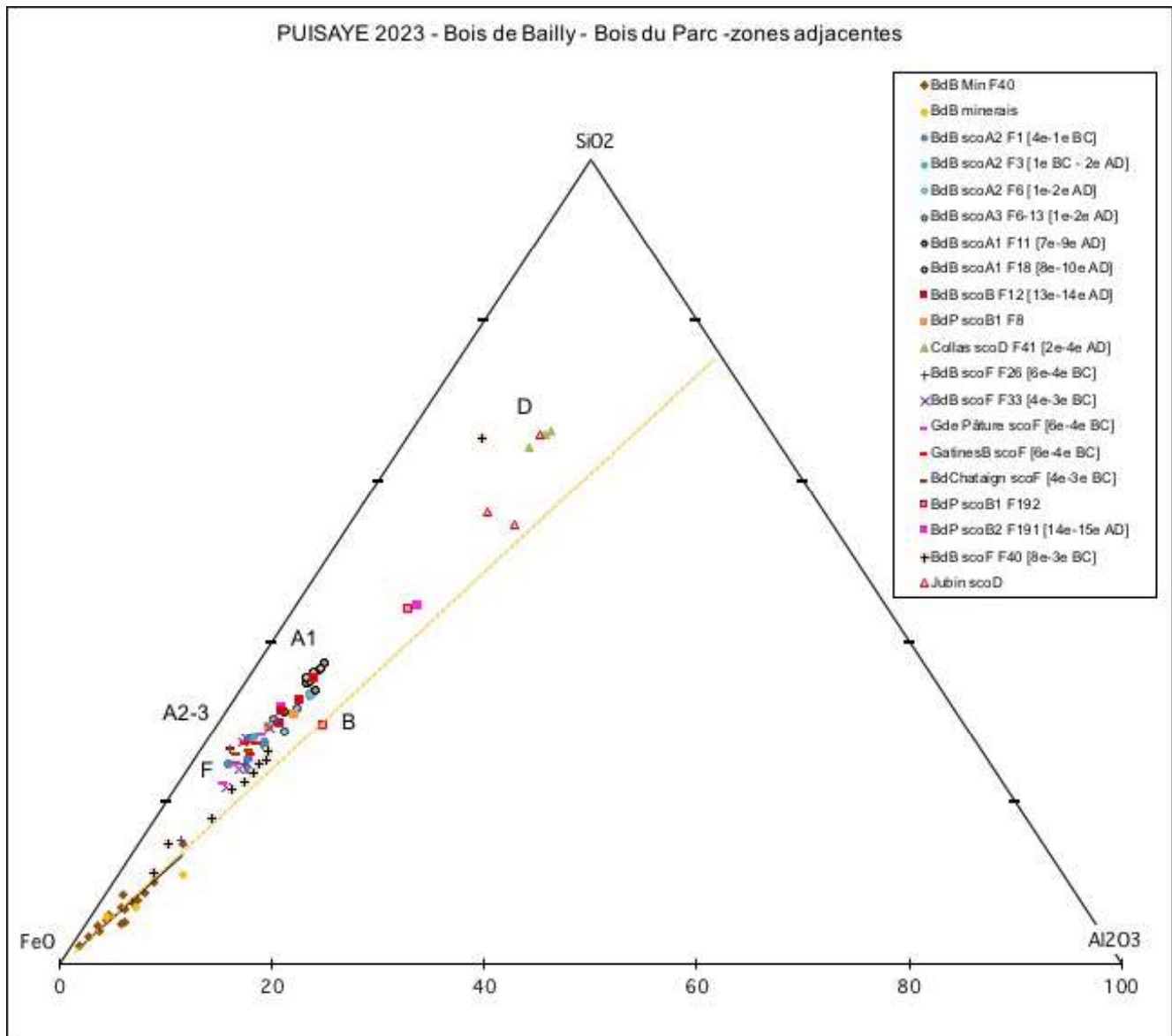


Figure n°102. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/FeO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

- Un groupe composé des scories de type A1 dont les teneurs en oxydes de fer sont comprises entre 58 et 67 % (soit entre 40 et 46 % de Fe), avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 30 et 35 % et des teneurs en Al₂O₃ comprises entre 5 et 7 %. Les teneurs en CaO sont comprises entre 1,3 et 3,4 % et celles en MnO entre 1 et 2 %. Les teneurs en K₂O dépassent aussi 1 %.
- Un groupe composé des scories de type B dont les teneurs en oxydes de fer, en SiO₂ et en Al₂O₃ sont du même ordre que celles des scories de type A1, mais dont les teneurs en CaO sont légèrement plus élevées (entre 4 et 5 %), ainsi que celles de K₂O (entre 1,5 et 2 %). En revanche, les teneurs en MnO sont du même ordre (autour de 1 %).
- Un groupe composé des scories de type D avec des teneurs en oxydes de fer comprises entre 20 et 30 % (soit entre 15 et 20 % de Fe), des teneurs en SiO₂ comprises entre 48 et 57 %, et des teneurs en Al₂O₃ comprises entre 9 et 14 % ; les teneurs en CaO varient de 3 à 9 %) et celles en MnO de 1 à 2 %.
- Un ensemble regroupant les scories de type F et de types A2-A3, avec des teneurs en oxydes

de fer supérieures à 65 %, des teneurs en SiO_2 comprises entre 10 et 30 %, des teneurs en Al_2O_3 comprises entre 2,5 et 7 %, alors que les teneurs en CaO ne dépassent pas 2 %. Toutefois, on observe que les scories de type A2-A3 des amas 3, 6 et 13 du Bois de Bailly à Saint-Fargeau forment un sous-groupe un peu différencié par des teneurs en oxydes de fer moins élevées (entre 65 et 70 %) que les scories de type A2 de l'amas 1 du Bois de Bailly (entre 70 et 75 %) et la plupart des scories de type F (entre 68 et 84 %)⁶. On notera aussi que le sous-groupe constitué par les scories de type F de l'amas 40 du Bois de Bailly s'individualise de celui formé par les scories des amas 26 et 33 du même secteur.

- Un petit groupe composé par deux scories de type B issues des amas 191 et 192 du Bois du Parc à Saint-Fargeau, dont les teneurs en oxydes de fer sont de 45 %, les teneurs en SiO_2 de 40 % et celles en Al_2O_3 de 10 %.

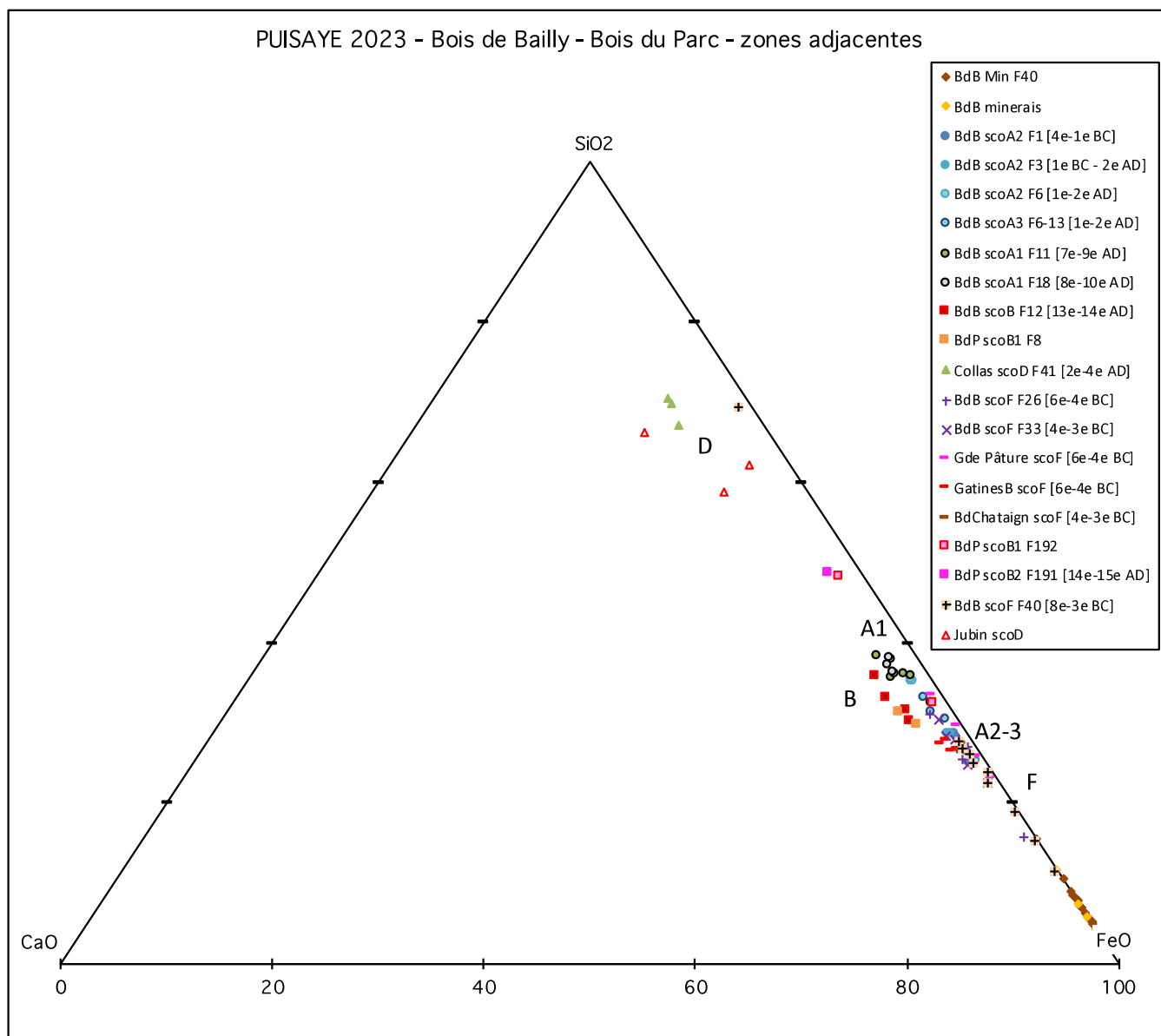


Figure n°103. Diagramme ternaire [SiO₂/FeO/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

6 Exclues deux scories de type F7 de l'amas 40, l'une très riche en Fe_2O_3 total (91 %), l'autre très pauvre (28 %). La perte au feu élevée de la première (7,4 %) indique qu'elle contenait probablement des inclusions de minerai mal réduit. La seconde très riche en SiO_2 (60 %) est probablement un mélange avec des éléments de paroi du fourneau.

Au total, ces groupes de scories se différencient sur la base de leurs teneurs en oxydes de fer (plus élevées pour les scories de type F et A2-A3, moins élevées pour les scories de type A1 et B, beaucoup moins élevées pour les scories de type D). Mais les scories de type B de l'amas 12 du Bois Bailly et les scories de type D du site Les Colas, à Saint-Fargeau, se différencient aussi des scories de types F, A1 et A2-A3 par leurs teneurs en CaO plus élevées, alors que les scories de type B des amas 191 et 192 du Bois du Parc se différencient de toutes les autres par des teneurs plus élevées en Al_2O_3 .

Une apparente filiation minerais-scories

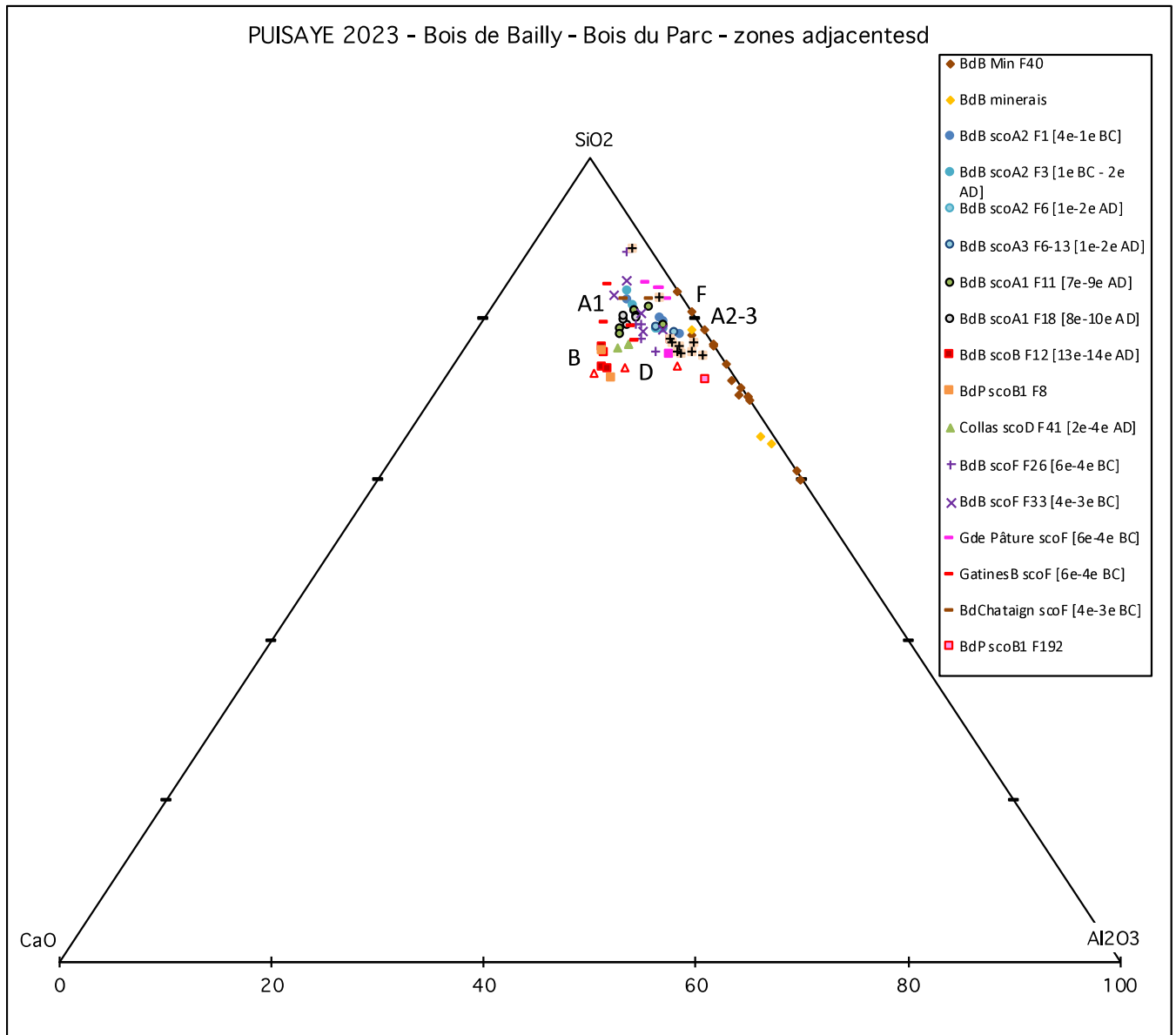


Figure n°104. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puyssaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

Sur les diagrammes [SiO₂/Al₂O₃/FeO] et [SiO₂/FeO/CaO], les groupes de scories, bien alignés entre eux, se situent dans un alignement orienté à partir du pôle FeO avec le groupe constitué des échantillons de minerai, ce qui semble souligner une filiation chimique générique entre les minerais et les scories. Comme pour la partie nord de la Puyssaye, la position des groupes de

scories apparaît légèrement décalé par rapport à celle du groupe des minerais si on considère les rapports $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ et $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$. Ce décalage révèle un léger enrichissement en silice des scories par rapport aux minerais. Il peut s'agir d'une contamination du liquide résultant de la fusion de la gangue du minerai par la fusion partielle du revêtement interne de la cuve. La composition chimique de quatre échantillons de paroi de fourneau provenant de l'amas 40 du Bois de Bailly, très riche en SiO_2 (80 à 86 % pour 5 à 8 % d' Al_2O_3), conforterait cette hypothèse (annexe 2).

En revanche, la composition plus calcaïque des scories de type A1 et des scories de type B de l'amas 12 du Bois de Bailly ne peut s'expliquer par une contamination par la fusion de la paroi, sauf à considérer que le revêtement des parois des cuves de fourneaux des ateliers qui les ont produites sont plus riches en CaO que celles analysées pour l'amas 40. Mais nous ne disposons pas encore d'analyse pour le vérifier. Il pourrait s'agir de l'utilisation d'un autre type de minerai de composition légèrement différente ou de l'ajout d'un matériau plus calcaire en complément du minerai dans la charge des fourneaux. Mais dans un cas comme dans l'autre, nous ne disposons en l'état d'aucun élément permettant d'étayer l'une ou l'autre des hypothèses. On peut aussi envisager des conditions différentes de fonctionnement des fourneaux induisant une participation accrue des cendres de charbon de bois au liquide formant les scories.

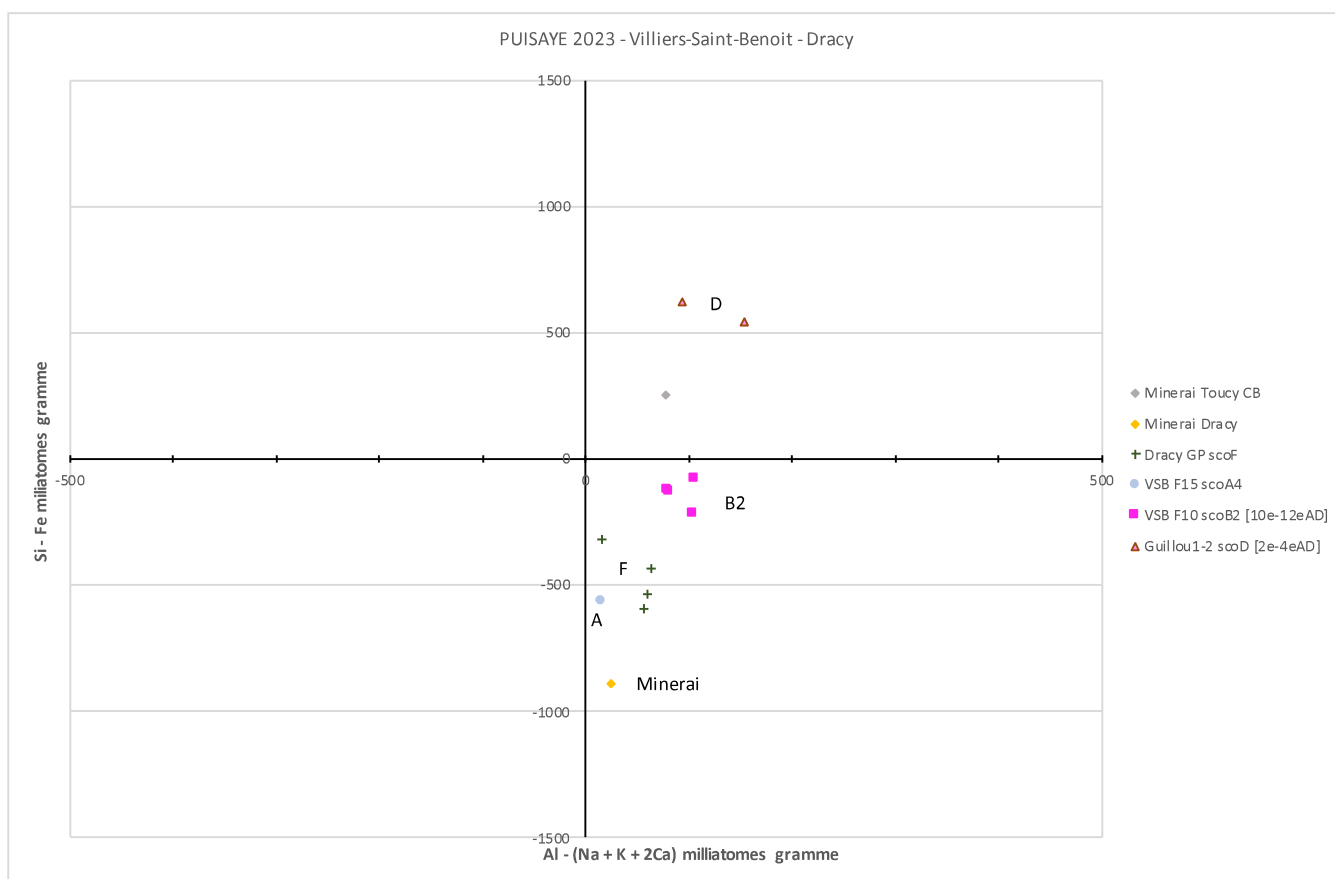


Figure n°105. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Des compositions chimiques corrélées avec la typologie des scories

Comme dans le cas de la zone nord, les groupes de composition chimique des scories sont étroitement corrélés à la typologie des scories et la différenciation majeure concerne les teneurs

en oxydes de fer :

- le groupe de scories de type F est clairement le plus riche en oxydes de fer ;
- les scories de type A2-A3 paraissent être un peu moins riches en oxydes de fer que les précédentes, sauf pour l'amas 1 du Bois de Bailly où cette différence n'est pas marquée ;
- les scories de type A1 et B sont moins riches en fer que les deux groupes précédents ; les scories de type B (amas 12) et D, et à un degré moindre de type A1, sont plus riches en CaO (cf. interprétation ci-dessus) ; les scories de type B des amas 191 et 192 du Bois du Parc sont plus riches en Al_2O_3 .
- les scories de type D sont les moins riches en oxydes de fer, avec des teneurs inférieures à 30 % de Fe_2O_3 total.

5.2.3. Les scories du centre de la Puisaye (Bois de Villiers-Saint-Benoit et de Dracy)

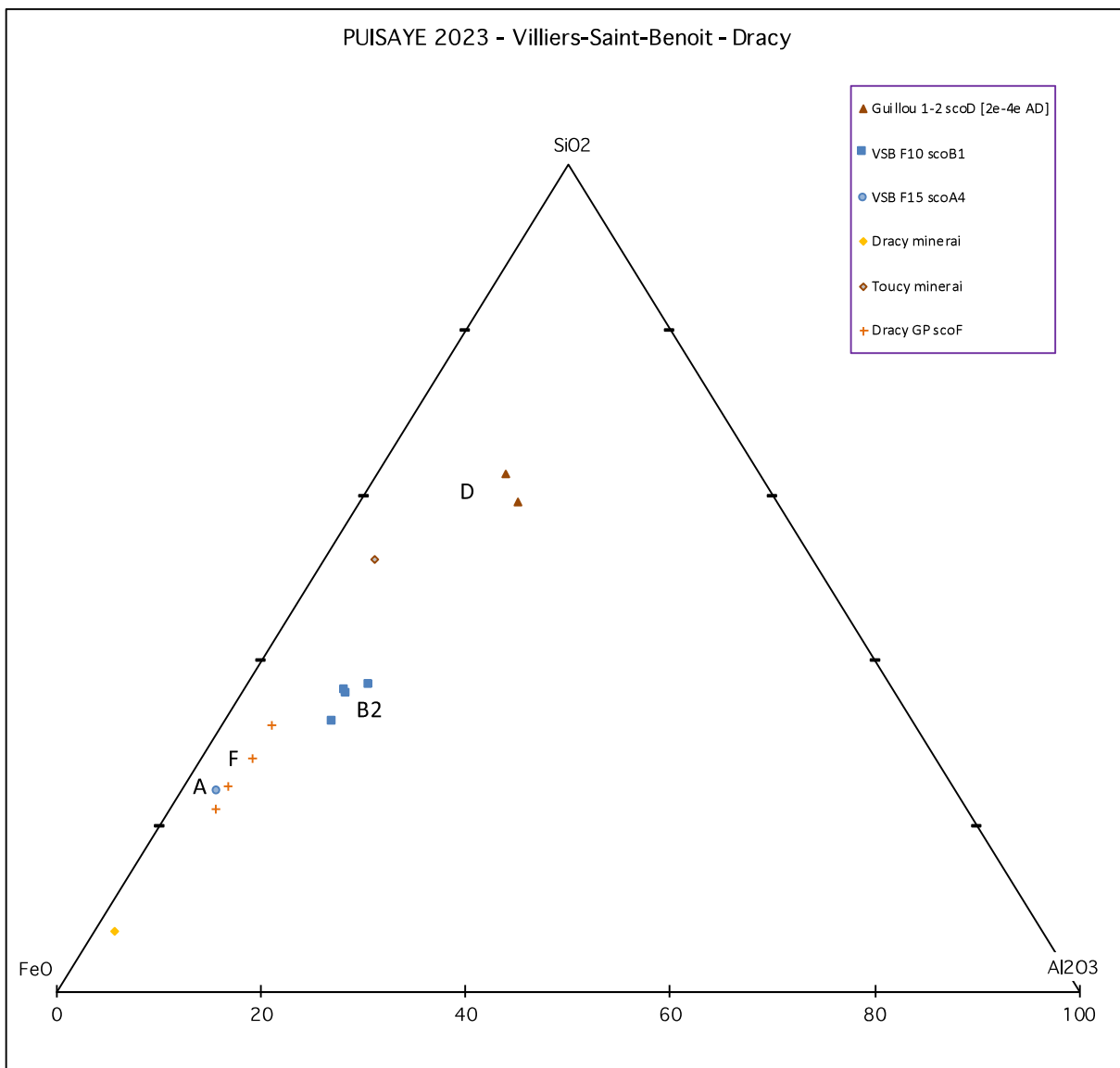


Figure n°106. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/FeO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Cinq échantillons de scories de réduction proviennent des prélèvements effectués dans deux sondages réalisés sur deux amas de déchets du Bois des Usages à Villiers-Saint-Benoit : il s'agit d'une scorie de type A4 (Villiers-Saint-Benoit 15) et de quatre scories de type B (Villiers-Saint-

Benoit 27 / amas Bois des Usages 10, daté des XI^e - XIII^e s.). Deux échantillons de scories de type D proviennent de deux gros amas situés dans les Bois de Dracy, au lieu-dit Ferrier Guillou, dont l'un Guillou 2 a été daté par ¹⁴C de la période romaine. Quatre échantillons de scories de type F proviennent d'un amas daté du milieu de l'âge du Fer (540 - 387 AD), situé au lieu-dit La Grande Pâturage sur la commune de Dracy (fig. 89).

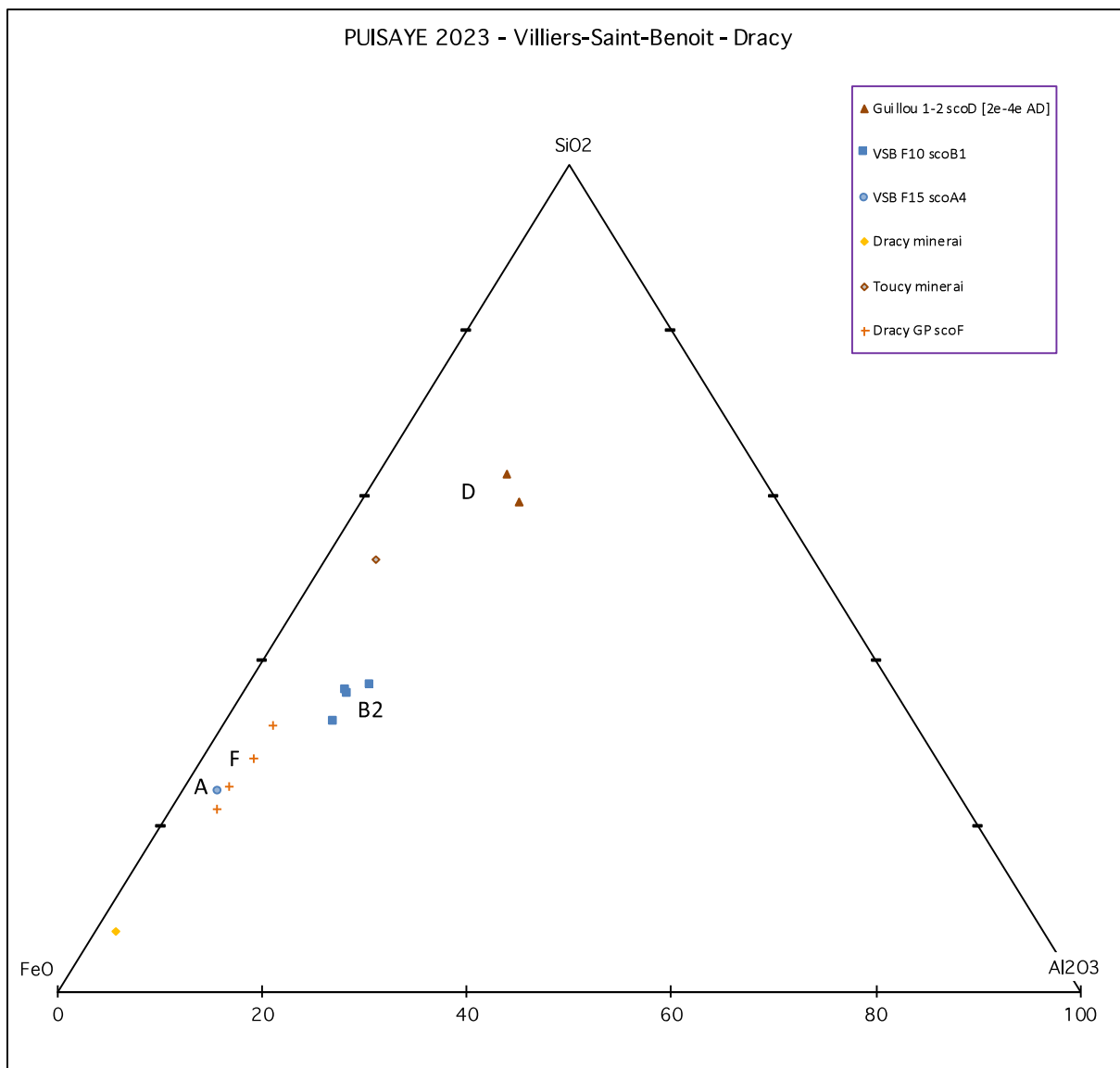


Figure n°107. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/FeO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Plusieurs groupes de composition chimique

Trois groupes de scories sont clairement différenciés sur la base de leurs teneurs en oxydes de fer (fig. 105 à 108).

- Le groupe des scories de type F, les plus riches en Fe₂O₃ (entre 65 et 75 %), avec des teneurs en SiO₂ comprises entre 20 et 30 % et des teneurs en Al₂O₃ comprises entre 4 et 5 %.

- Le groupe des scories de type B, dont les teneurs en Fe₂O₃ varient de 50 à 60 %, celles en SiO₂ étant comprises entre 30 et 35 % et celles en Al₂O₃ entre 9 et 11 %.

- Le groupe des scories de type D, dont les teneurs en oxydes de fer sont de 25 %, celles en SiO₂

étant comprises entre 50 et 55 % et celles en Al_2O_3 entre 11 et 13 %.

- L'unique scorie de type A4 présente des teneurs similaires à celles des scories de type F.

Les teneurs en CaO et en MnO séparent très nettement les scories de type F des autres (moins de 1 % de CaO et de MnO pour ces dernières, 1 à 2,5 % de CaO et 2,5 à 9,8 % de MnO pour les autres groupes). Un seul échantillon de minerai de fer ayant été analysé, il n'est pas possible de juger de la qualité de la filiation générique entre minerai et scories.

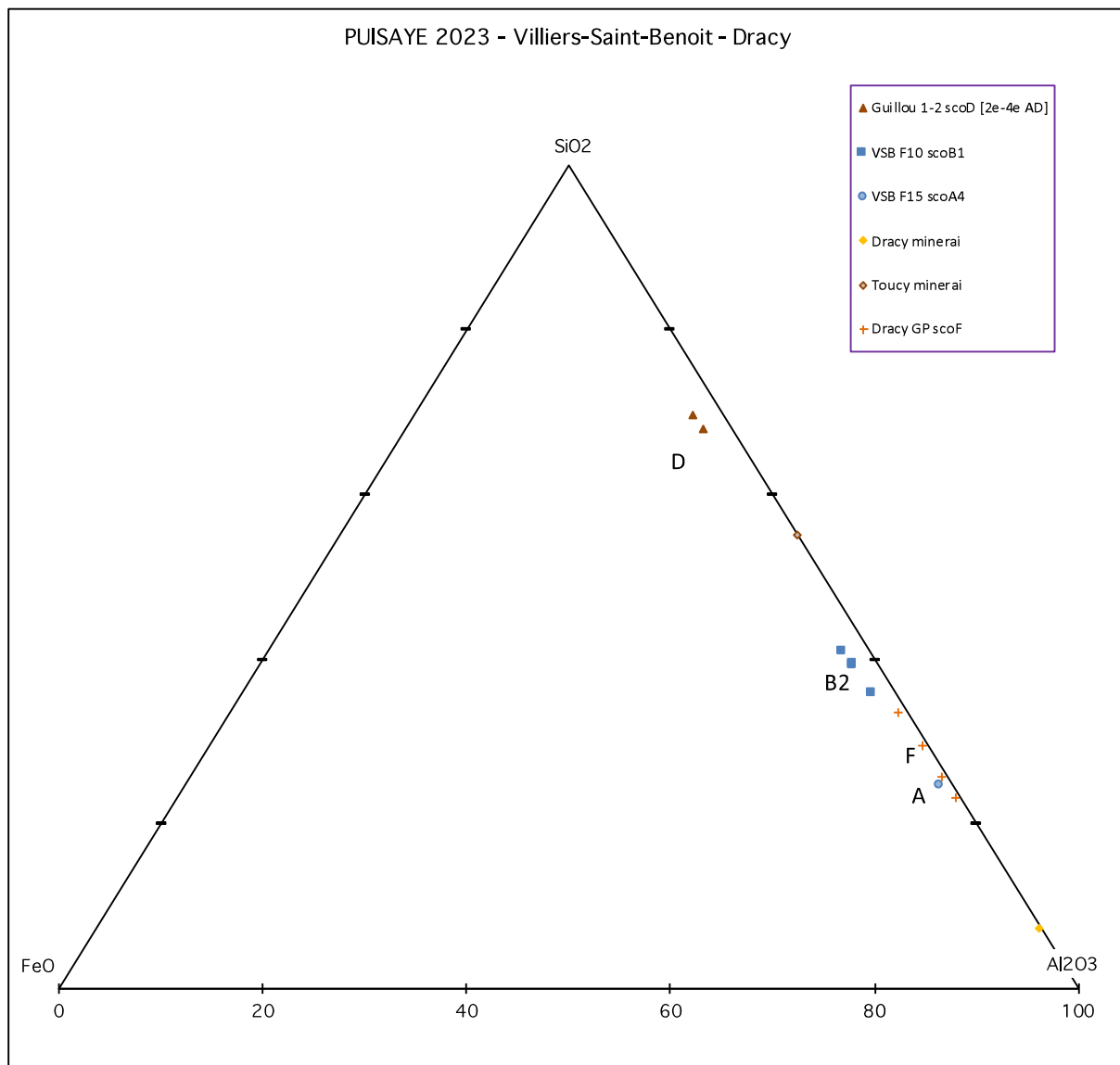


Figure n°108. Diagramme ternaire [SiO₂/FeO/Al₂O₃] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Des compositions chimiques corrélées avec la typologie des scories

Comme pour les zones nord et sud, les groupes de composition chimique des scories sont étroitement corrélées à la typologie des scories. La différenciation porte non seulement sur les teneurs en oxydes de fer, plus riches pour les scories de types F et A4 (65 à 75 % Fe₂O₃), moins riches pour les scories de type B (50 à 60 % Fe₂O₃), beaucoup moins riches pour les scories de type D (25 % Fe₂O₃), mais aussi sur les teneurs en Al₂O₃, CaO et MnO, plus élevées dans les scories de type B et D (Al₂O₃ > 10 %, CaO > 1,9 %, MnO > 4 %) que dans les scories de type F (Al₂O₃ < 10 %, CaO < 1 %, MnO < 1 %).

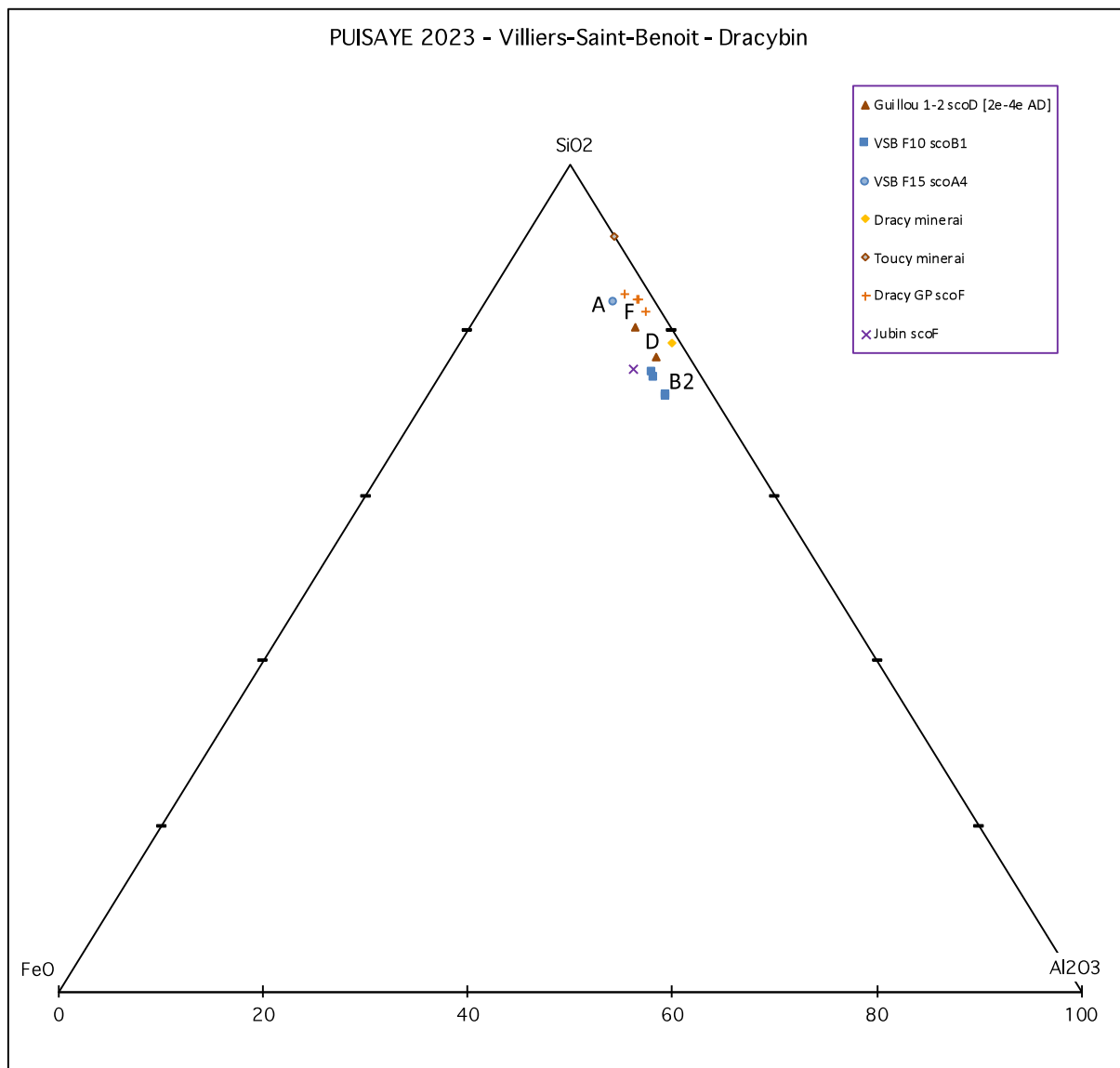


Figure n°109. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la PUISAYE (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

5.2.4. Comparaisons entre les trois zones géographiques

Scories de type F

Si on met de côté les trois échantillons les plus riches en oxydes de fer (2 de l'amas 40 et 1 de l'amas 26 du Bois de Bailly), dont la composition chimique paraît très proche de celles des minerais (il pourrait donc s'agir de scories constituées de nodules de minéral mal réduit), les teneurs des scories de type F dans les principaux éléments majeurs ne montrent pas de regroupement différencié entre les trois zones géographiques étudiées (fig. 110). Seule, l'unique scorie prélevée sur le site de Jubin à Lavau s'en écarte notablement avec une teneur en fer plus basse (65 % Fe₂O₃).

Scories de type A2-A3-A4

La répartition des gammes de composition des scories de type A2-A3-A4 sur les diagrammes paramétriques et ternaires différencie les scories des amas de la zone nord (Bois des Ferriers) des

scories des zones centre et sud (fig. 111 et *supra*). Les premières apparaissent moins riches en Fe_2O_3 et légèrement plus riches en Al_2O_3 que les secondes, différences qu'on pourrait être tenté d'expliquer par des différences de composition des minerais utilisés. Les analyses chimiques disponibles pour ces derniers (fig. 2 à 4) ne semblent toutefois pas confirmer cette interprétation.

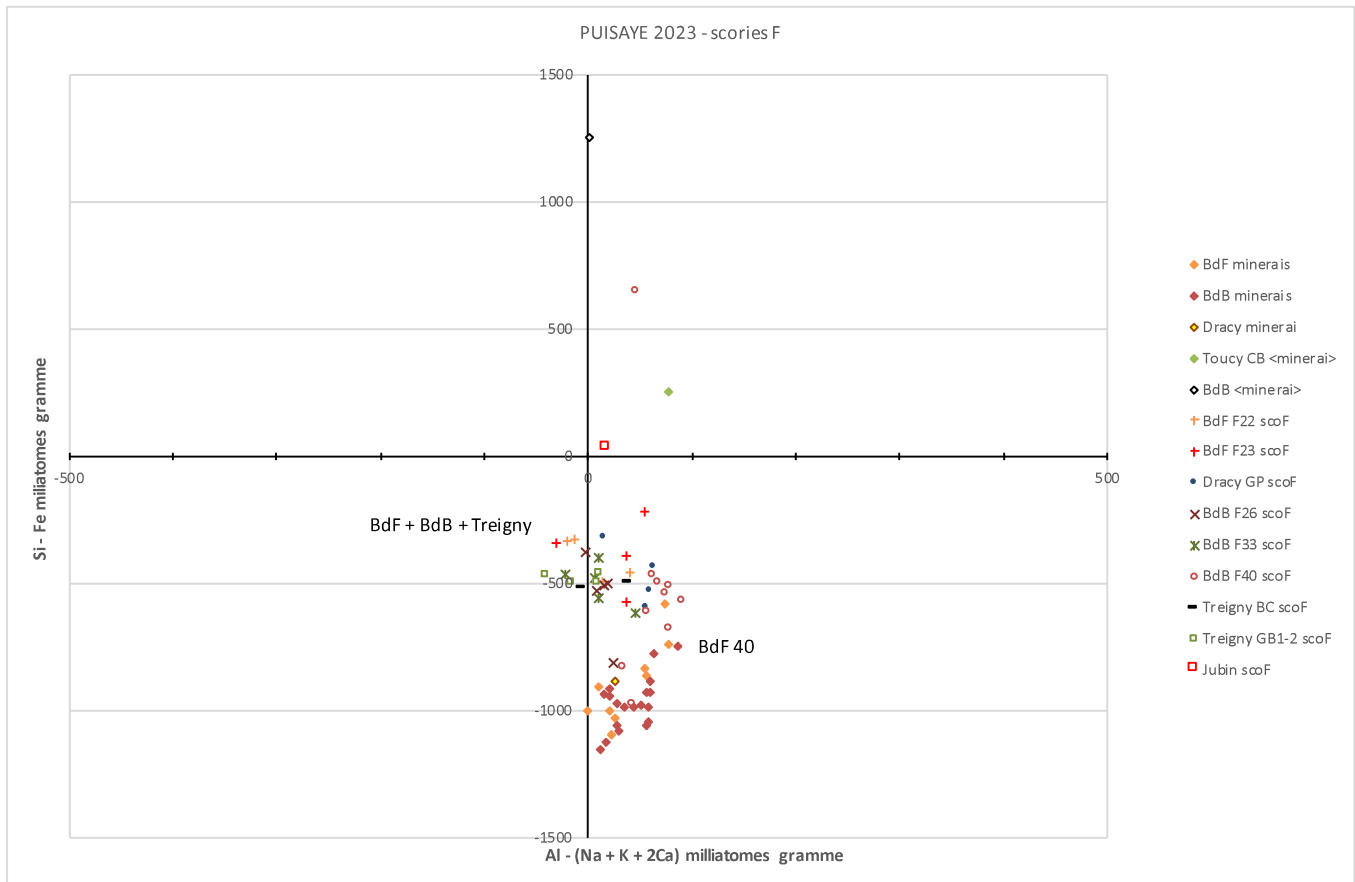


Figure n°110. Diagramme paramétrique $[Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe]$ représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type F (M. Leroy).

Scories de type A1

Les scories de type A1 de la zone nord et celles de la zone sud ne montrent pas de différence de gamme de composition chimique (fig. 112).

Scories de type B

La différence de composition chimique est très marquée entre les scories de type B de la zone sud (amas 8 du Bois du Parc et amas 12 du Bois de Bailly) et les scories de type B de la zone centre (amas 10 du Bois des Usages), (fig. 112)⁷. Les premières sont nettement plus calciques (4 à 5 % CaO) que les secondes (1,8 à 2,1 % CaO), et inversement moins alumineuses (4,8 à 5,7 % Al_2O_3 contre 8,8 à 10,8 %), pour des teneurs en oxydes de fer et en SiO_2 comparables. Il est possible que des variations dans la composition de la charge puissent expliquer ces différences (minerais de compositions différentes ou incorporation d'ajouts). Il faut toutefois signaler que les scories de type B provenant des amas 191 et 192 du Bois du Parc montrent une composition bien plus proche de celle des scories de la zone centre que de celle des scories de la zone sud où pourtant ces amas se situent. Ces scories présentent toutefois des morphologies particulières quelque peu différentes des autres scories B de la même zone.

7 Aucune scorie de type B ne provient de la zone nord.

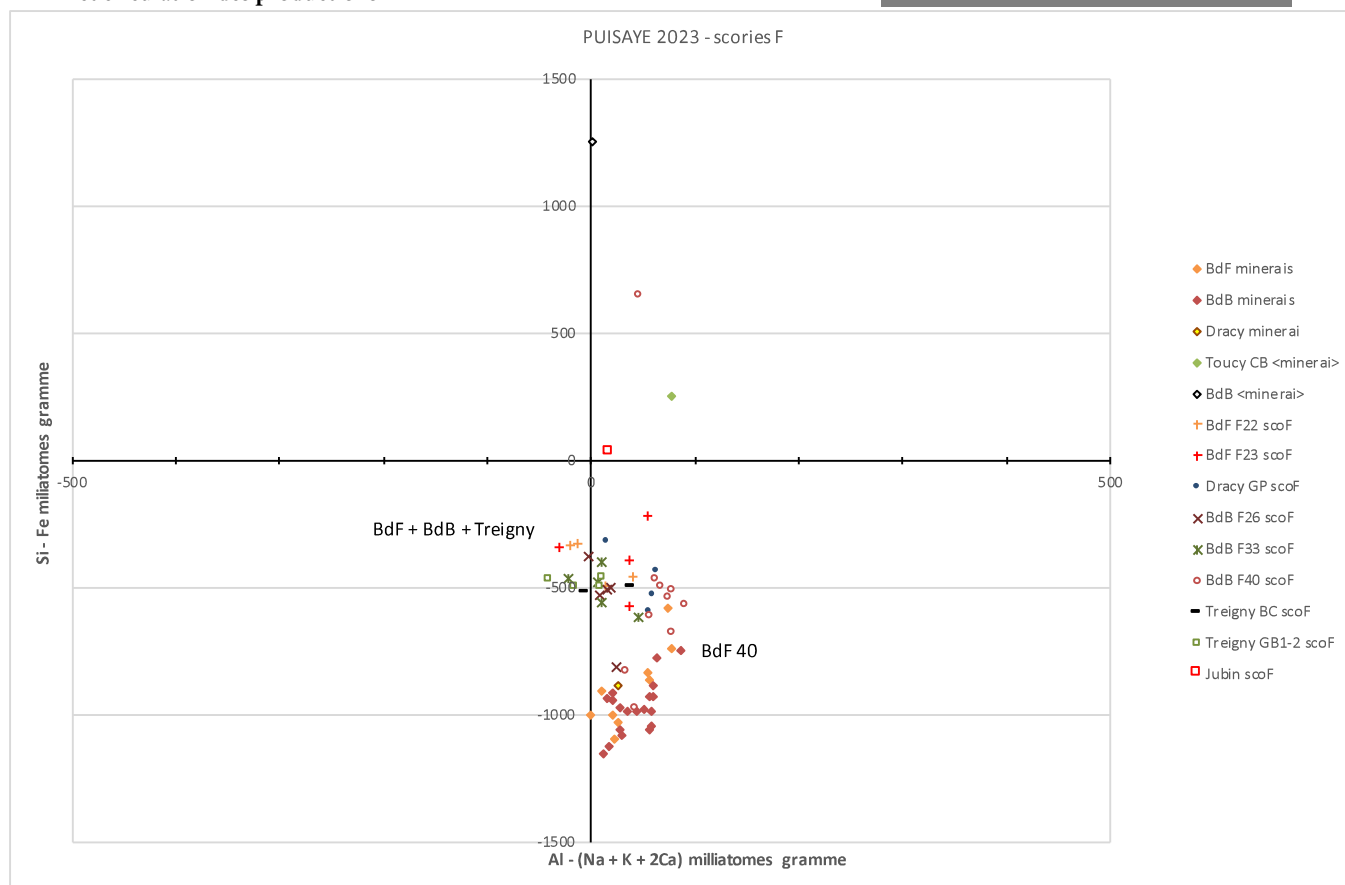


Figure n°111. Diagramme paramétrique $[Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe]$ représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type A2-A3-A4-A5. (M. Leroy).

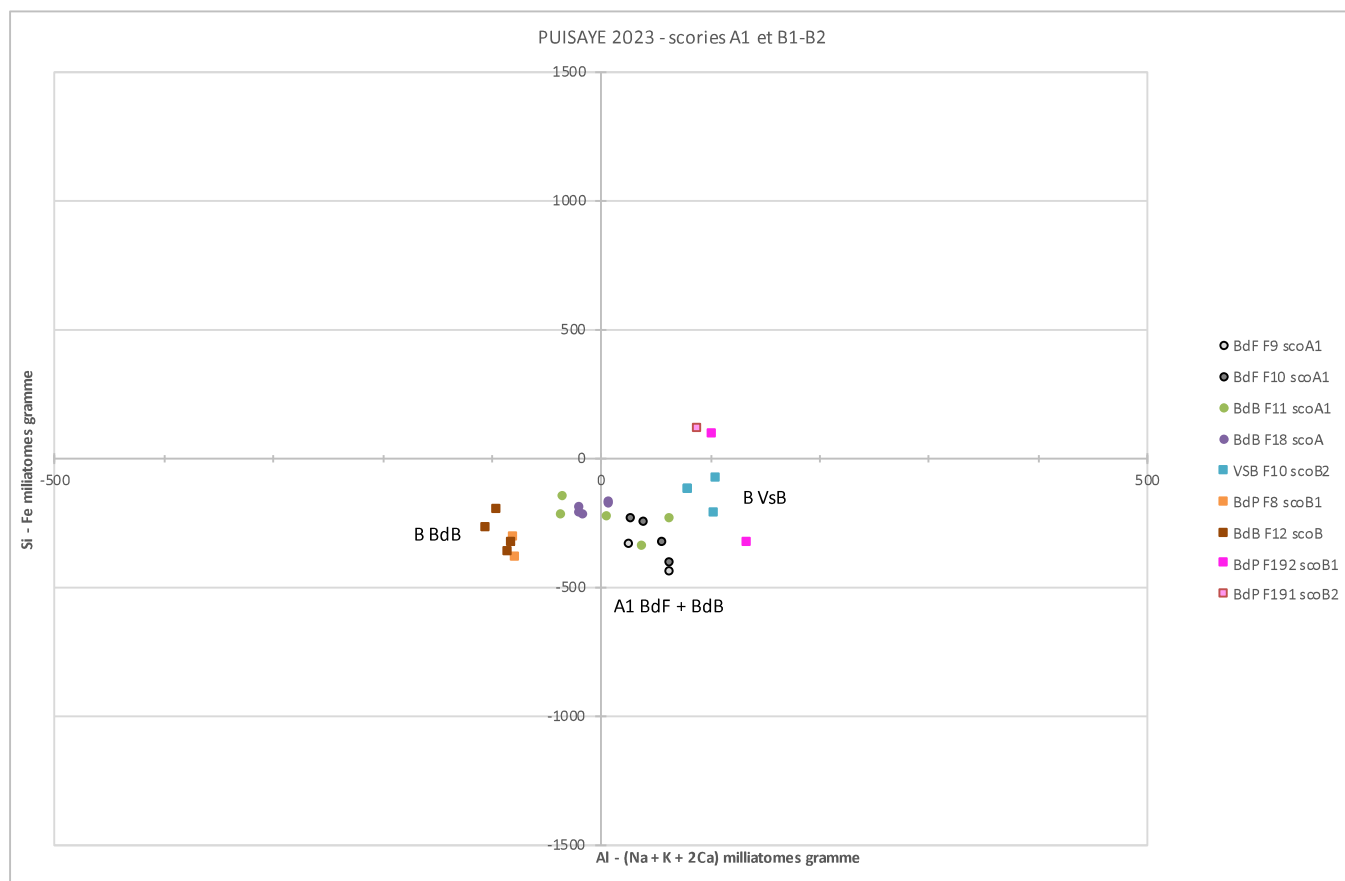


Figure n°112. Diagramme paramétrique $[Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe]$ représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type A1 et B1-B2 (M. Leroy).

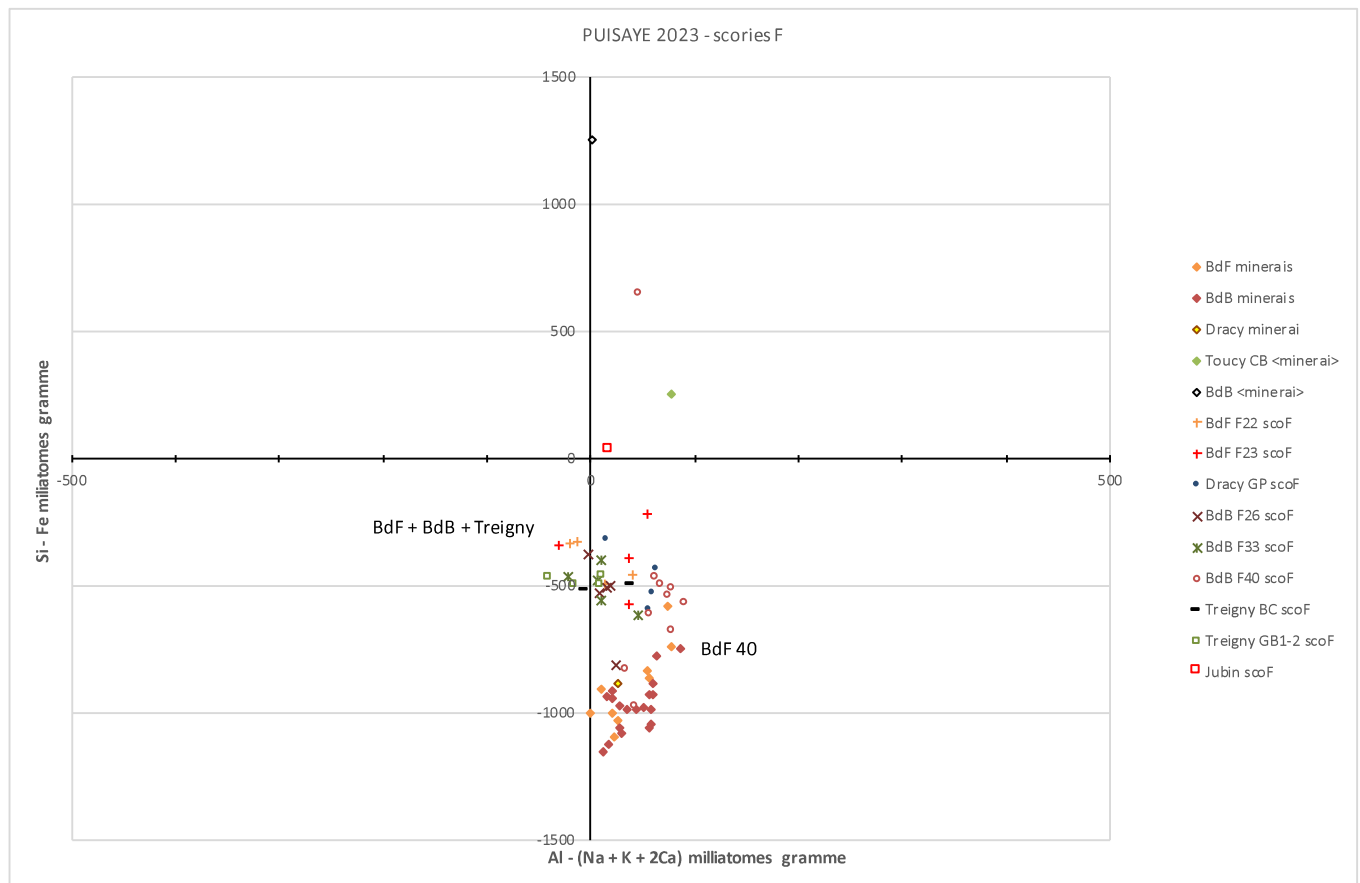


Figure n°113. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type C et D (M. Leroy).

Scories de type C et D

Une différenciation très nette sur les teneurs en CaO sépare les scories de type C et D des zones nord (Bois des Ferriers, La Prée Murée) et centre (Bois de Dracy / Ferrier Guillou), des scories de type D de la zone sud (les Colas, Jubin), bien que l'une des scories du site de Jubin présente des teneurs en CaO comparable aux scories des zones nord et centre (fig. 113). Les teneurs en oxydes de fer, en SiO₂ et en Al₂O₃ semblent en revanche du même ordre de grandeur. En premières hypothèses, ces différences pourraient être relatives à la composition de la charge des fourneaux et/ou à la conduite de ceux-ci (processus opératoire).

5.2.5. Compositions et températures

Les teneurs dans les trois principaux composés chimiques (FeO, SiO₂ et Al₂O₃) comptant pour plus de 90 % du poids des scories, il est possible en remplaçant les points représentant ces compositions sur des diagrammes de phases d'approcher les seuils de températures à partir desquels ces types de composition sont fluides, c'est-à-dire d'évaluer l'ordre de grandeur de la température minimale d'écoulement des scories (fig. 114).

Les scories de type A et F sont situées dans le domaine de cristallisation de la fayalite avec des minima thermiques situés entre 1150°C et 1200°C. De fait, les phases minéralogiques observées au microscope sur des sections polies sont constituées d'une matrice de cristaux de fayalite associés à des cristaux de leucite (scories de type F), à des cristaux de spinelle (hercynite, scories de type A2-A3-A4-A5) ou à des dendrites de wustite (scories de type A1)⁸.

8 Les phases minéralogiques observées dans les scories sont présentées dans le rapport d'activité 2020 du

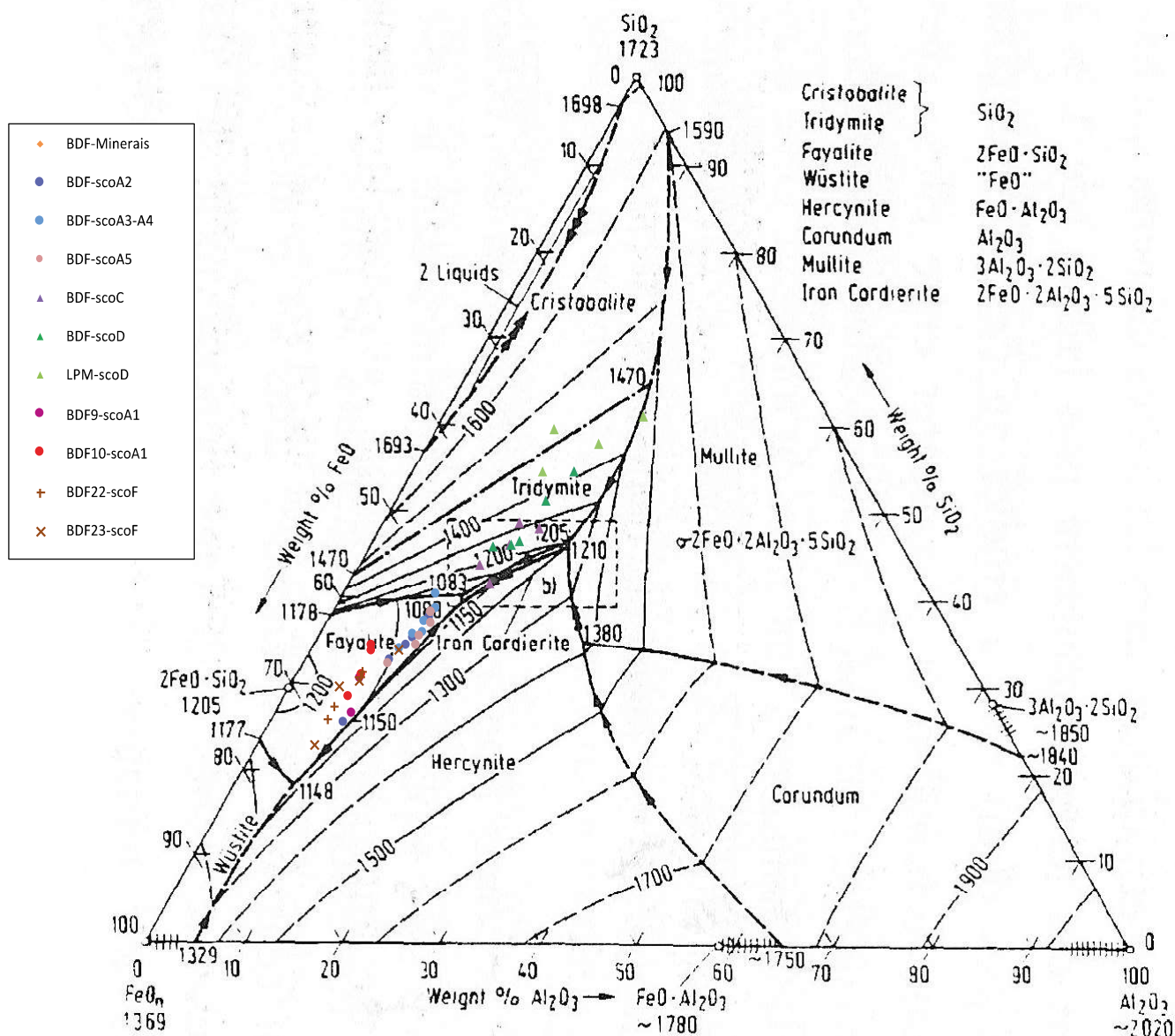


Figure n°114. Position des points représentant la composition des échantillons de scories de réduction dans le diagramme de phases SiO₂-Al₂O₃-FeO (M. Leroy).

Vu le positionnement respectif de ces groupes typologiques, il paraît même possible que les scories de types A2-A3-A4-A5 soient situées dans un domaine de fluidité inférieur à 1150°C, donc fluides à plus basses températures que les scories de type F et A1.

Les scories de types C et D sont situées hors du domaine de composition de la fayalite et dans des domaines de composition où la fluidité nécessite des températures plus élevées : supérieures à 1200°C, voire même à 1400°C pour une partie des scories de type D. La présence de grains de quartz en cours de transformation en cristobalite et de billes de fer carburé dans les scories vitreuses de type D sont deux autres indices pour envisager des niveaux de températures assez élevées. D'un point de vue minéralogique, les scories de type D sont essentiellement constituées d'une matrice vitreuse où s'observe ponctuellement des zones micro-cristallisées de composition fayalitique ou leucitique.

5.2.6. Scories, procédés techniques et chronologie

Les scories de type F caractérisent un mode de fonctionnement des fourneaux au cours duquel les éléments fusibles de la gangue du minerai s'écoulent dans le fond de la cuve et/ou dans une fosse aménagée sous celle-ci. Tous les sites ayant livré ce type de scories et qui ont pu être datés par ^{14}C sont situés dans une tranche chronologique correspondant au premier âge du Fer et au début du second, soit entre les VIII^e-VII^e et les III^e-II^e s. av. J.-C. Ce sont les scories les plus riches en fer.

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

Les différences de composition entre ces deux groupes, illustrée par leur séparation sur les diagrammes, correspondent principalement à une différence de teneurs en oxydes de fer : les scories de type A2-A3-A4-A5 sont moins riches en fer que les scories de type F, ce qui indique un meilleur rendement de l'opération métallurgique.

Les scories de type A1 proviennent de sites datés du premier Moyen Âge et du Moyen Âge central, entre le milieu du VIII^e et le milieu du X^e s. ap. J.-C. Ces scories sont moins riches en fer que les scories de type F, mais elles possèdent des gammes de teneur en fer similaires à celles des scories de type A2-A3-A4-A5.

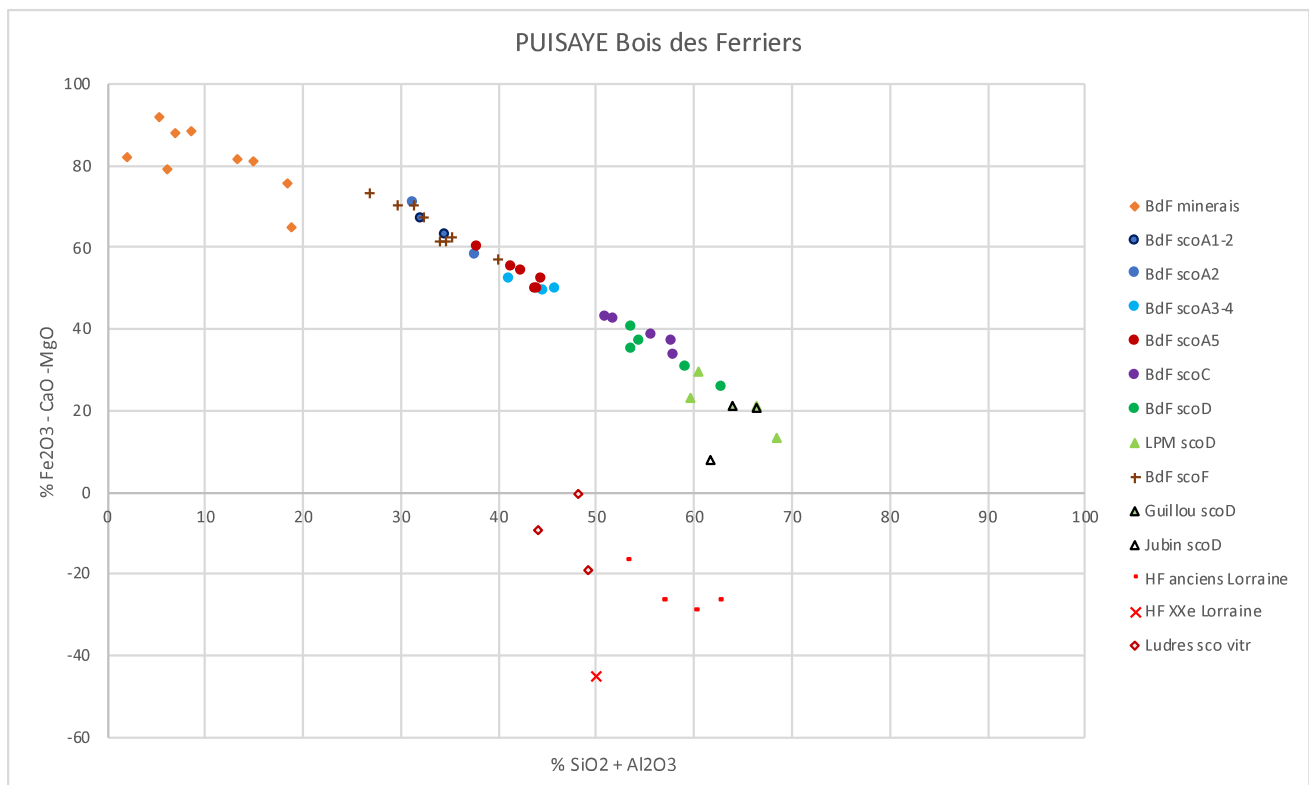


Figure n°115. Diagramme paramétrique $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3$ versus $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-CaO-MgO}$ permettant de comparer les groupes de compositions chimiques de scories de réduction de Puisaye entre eux et avec des scories issues du procédé indirect (M.Leroy).

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

Les scories de types C et D se différencient nettement des groupes typologiques précédents, à la fois par leur aspect morphologique et leurs faciès structural et textural, mais aussi (et surtout) par leur composition chimique et leur faciès minéralogique. Il s'agit d'écoulements boudinés, de grosses dimensions, partiellement (type C) ou totalement (type D) vitreux. Leur composition chimique se démarque nettement des scories de types A, B et F, notamment du point de vue des teneurs en fer inférieures à 30 % pour les scories de type C (moins de 50 % d'oxydes de fer), et même inférieures à 20 % pour les scories de type D, et donc avec en corollaire des teneurs en SiO₂ et en Al₂O₃ notablement plus élevées (ces scories contiennent jusqu'à deux fois plus d'oxyde de silicium que d'oxydes de fer). La composition de ces scories traduit probablement des conditions de formation et d'écoulement très différentes de celles qui conduisent aux écoulements de type A ou B. La texture vitreuse traduit sans doute des conditions de température plus élevées pour obtenir un état de fluidité suffisant. C'est ce que semble montrer la position des points sur le diagramme de phases (fig. 115), même si les teneurs plus élevées en MnO qu'on y observe peuvent avoir joué un rôle dans le maintien d'un état de fluidité à des températures plus basses que ne l'indique le diagramme. La présence de billes de fer carburé et de grains de quartz en cours de transformation en cristobalite sont aussi des éléments allant dans le sens de niveaux de températures élevées (> 1300°C). Par l'ensemble de ces caractéristiques, ces scories ressemblent fortement à des scories de hauts fourneaux anciens (fig. 115). Pour autant, l'état des investigations ne permet pas de prétendre que ces scories résultent d'un procédé de type indirect avec production de fonte, d'autant que les sites d'où elles proviennent sont datés de la période romaine, entre le II^e et le IV^e s. ap. J.-C. Il s'agit d'un intervalle qui recoupe celui des sites ayant livré des scories de types A2-A3-A4-A5. La caractérisation du processus conduisant à la formation des scories de type C et D est donc un axe de recherche particulièrement important, qui touche aussi à l'histoire générale des techniques sidérurgiques.

5.3. Les éléments traces des minerais et scories

Les éléments présents à l'état de trace au sein des minerais et scories sont également étudiés afin de restituer les réseaux de circulation du métal. En effet des travaux développés récemment ont permis de déterminer que durant la réduction, certains éléments chimiques présents dans le minerai se réduisent majoritairement et sont intégrés au métal (comme le cobalt ou le nickel), tandis que d'autres ne se réduisent pas et migrent intégralement dans la scorie (Schwab *et al.* 2006 ; Desaulty *et al.* 2009 ; Leroy *et al.* 2012, Disser 2014), c'est notamment le cas des Terres Rares. L'analyse des teneurs et des rapports en ces éléments peut permettre d'identifier une signature chimique caractéristique des minerais utilisés et de la conduite technique durant la réduction. A terme, l'objectif est de comparer la signature chimique de minerais et scories représentatifs d'un espace de production avec la signature chimique des scories de réduction qui restent piégées à l'échelle micrométrique dans le métal.

5.3.1. Comparaisons des profils de teneurs en éléments traces des minerais et scories de Puisaye

Dans un premier temps les profils de concentrations en éléments traces les plus représentatifs ont été comparés par secteurs étudiés (fig. 116-117). Les minerais provenant du sud de la Puisaye présentent un profil de concentration très homogène. Les principales différences concernent les teneurs en Rubidium (Rb) et en Lanthane (La). Dans le secteur nord les profils de teneurs varient également si l'on considère le Rubidium (Rr) et le Lanthane (La). Seuls deux des minerais du site n°003 d'Aillant-sur-Tholon (89.003.003.Min102 et Min104) présentent des profils légèrement différents et des teneurs plus basses que les autres minerais pris en compte.

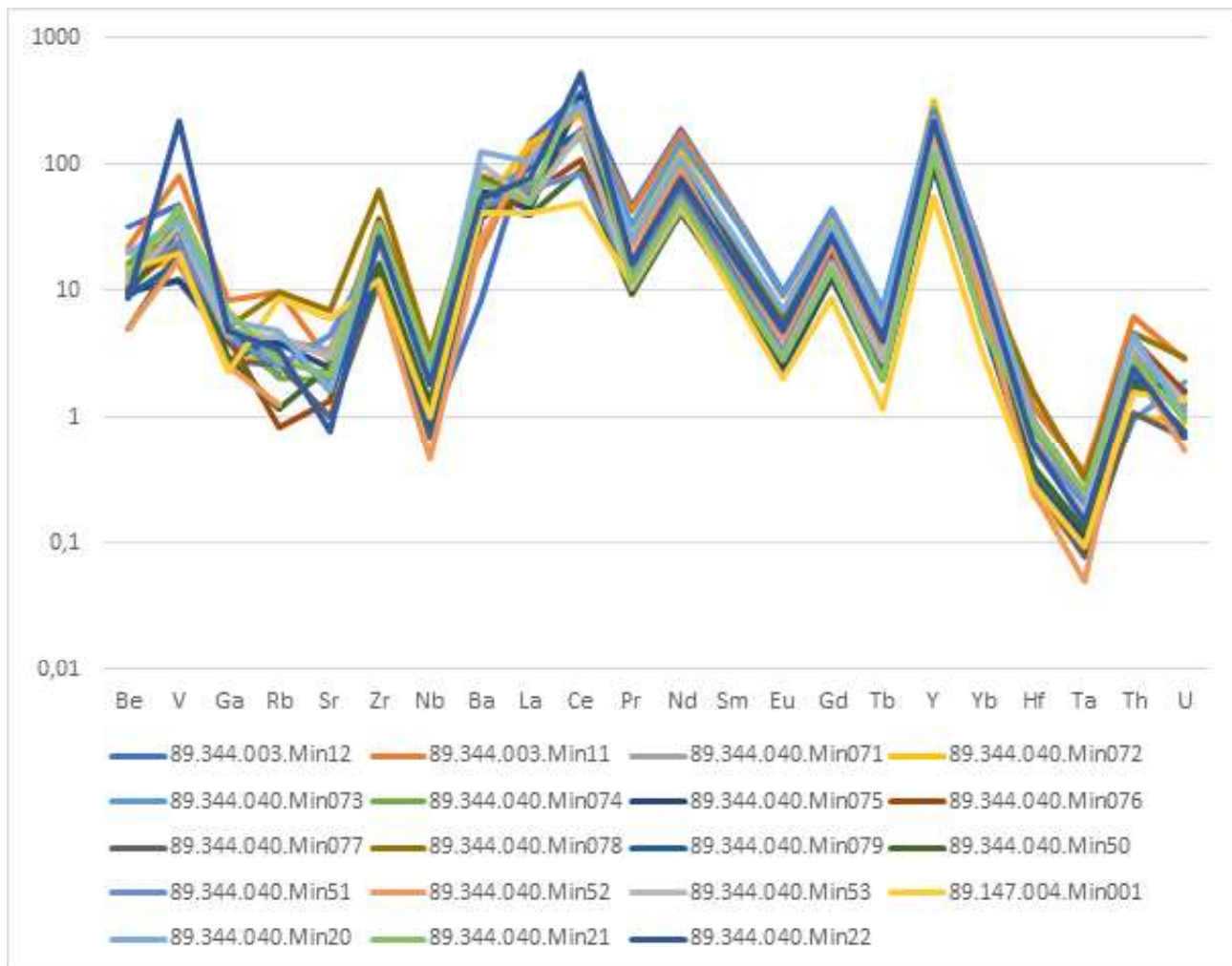


Figure n°116. Teneurs des éléments traces des minerais de la zone atelier du sud de Puisaye. Les données sont exprimées en valeurs logarithmiques (M. Berranger).

En complément des informations données par les éléments majeurs, l'homogénéité chimique constatée sur la base des concentrations en éléments traces indiquerait l'emploi de minerais de même composition sur l'ensemble de la zone prise en compte.

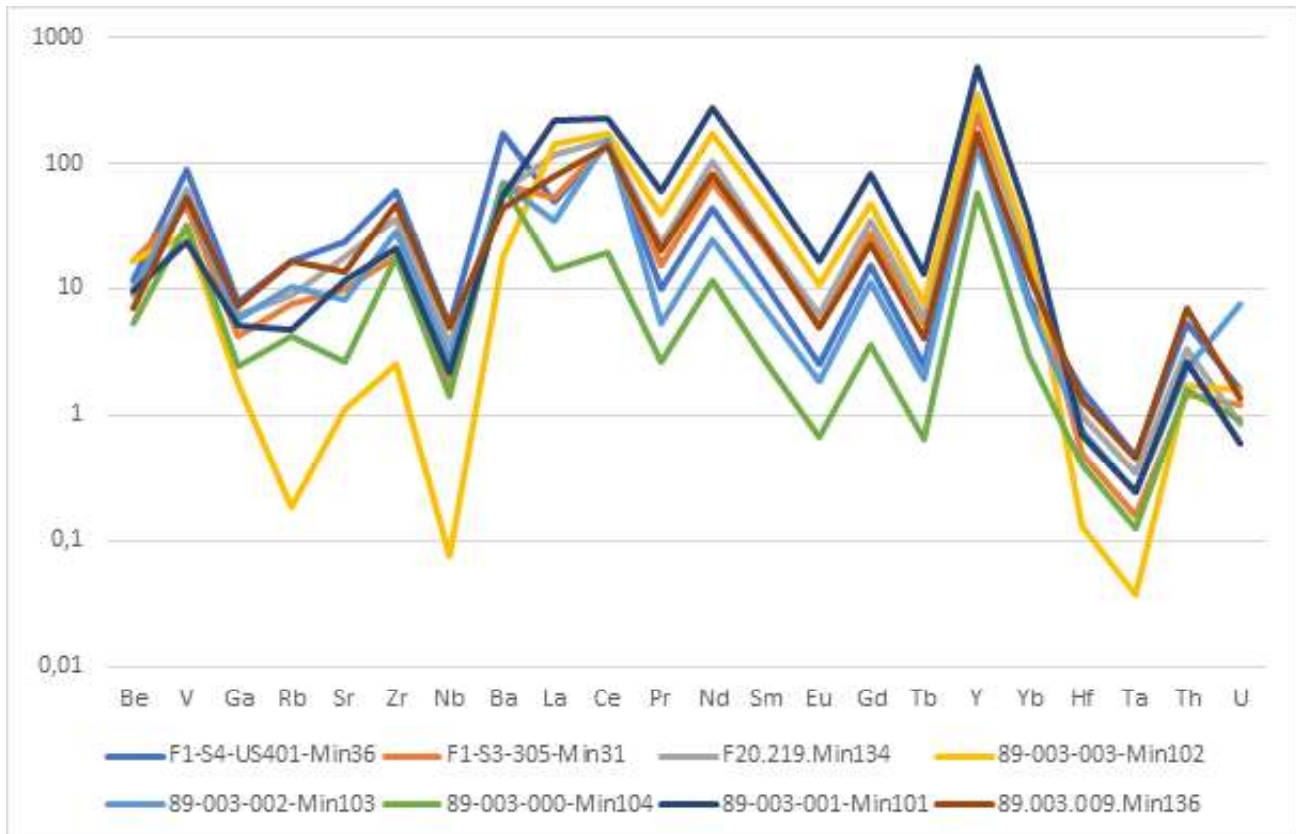
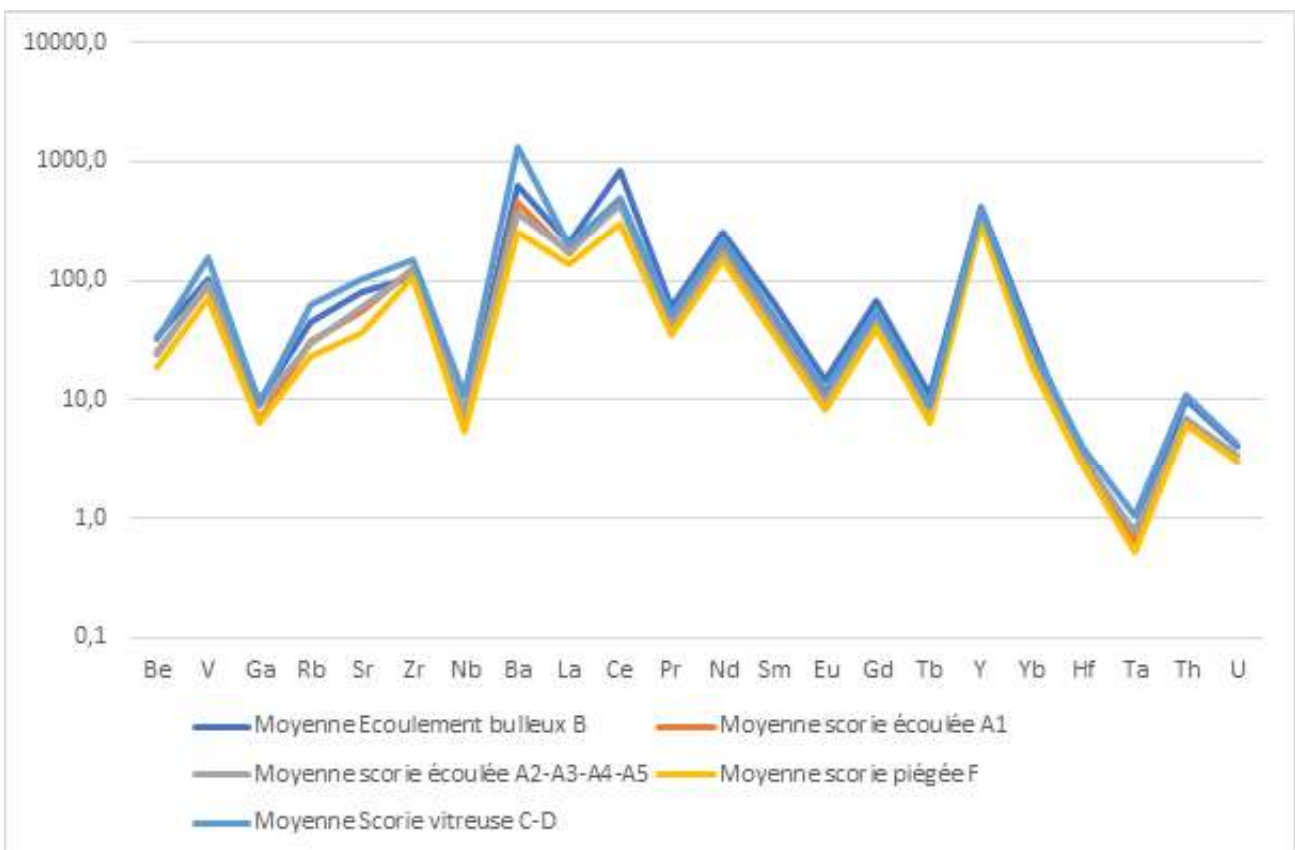
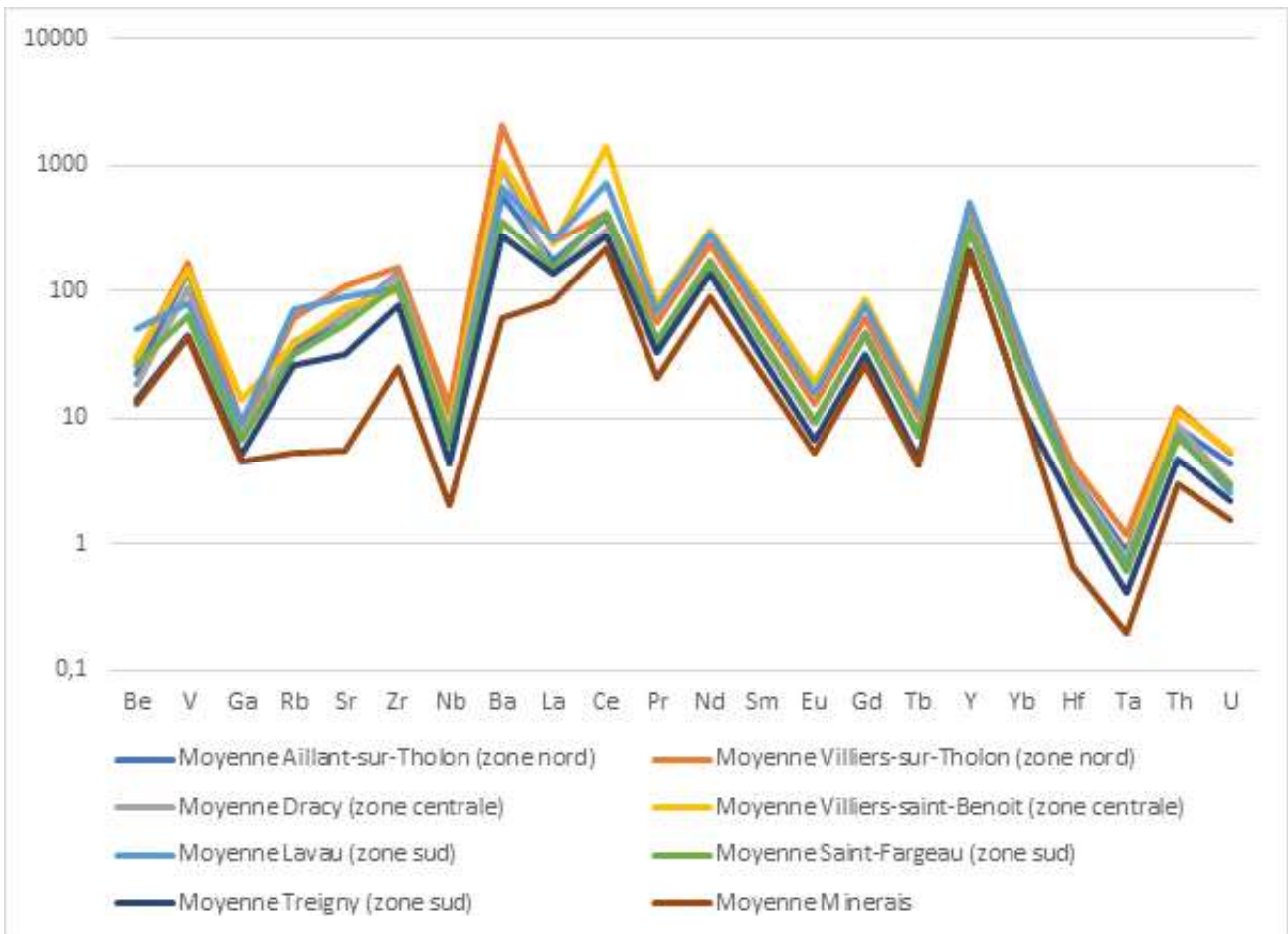


Figure n°117. Teneurs des éléments traces des minerais de la zone atelier nord de Puisaye. Les données sont exprimées en valeurs logarithmiques (M. Berranger).

Une moyenne des teneurs des minerais a ensuite été comparée aux scories par secteurs (fig. 118) et par types (fig. 119), afin d'étudier les possibilités de filiations chimiques. En ce qui concerne les scories, le profil de concentration est comparable d'un secteur à l'autre. Les principales variations de teneurs sont constatées en strontium (Sr). Si l'on compare ces moyennes à celles des minerais, il apparaît que les teneurs de ces dernières sont plus basses que celles dans les scories. Des différences de profil sont également constatées pour le Rubidium (Rb), élément pour lequel des variations de teneurs entre minerais ont déjà été notées. Les teneurs en Baryum (Ba) sont également plus élevées dans les scories que dans les minerais. Notons que ces deux éléments sont susceptibles d'être pollués par la cendre ou la contribution des parois durant la réduction (Dessaulty 2008), ce qui pourrait expliquer ici ce phénomène. Le profil de ces concentrations reste, sur la base des éléments traces, compatible avec une obtention des scories à partir des minerais étudiés, tel que cela déjà été noté à partir des éléments majeurs.

Les profils de concentration en éléments traces de la moyenne des scories en fonction des catégories typologiques sont identiques, ce qui accrédite l'hypothèse de l'utilisation de mêmes types de minerais quel qu'ait été le procédé technique utilisé.



5.3.2. L'identification d'une signature chimique spécifique

L'étude des teneurs en éléments traces des minerais, normalisées par rapport à la composition chimique de la croûte terrestre (sur la base des données publiées par Taylor et McLennan 1985) (fig. 120) tel que proposé par Rodier *et al.* 2024, permet d'identifier des anomalies géochimiques résultant à la fois de l'environnement dans lesquels les minerais se sont formés et des procédés métallurgiques. On constate au sein des minerais archéologiques analysés un enrichissement des teneurs pour plusieurs éléments tels que le Beryllium (Be) et dans une moindre mesure l'Uranium (U), ainsi que pour toutes les terres rares lourdes : le Lanthane (La), le Cérium (Ce), le Praséodyme (Pr), le Néodyme (Nd), le Samarium (Sm), l'Europium (Eu), le Gadolinium (Gd) avec un enrichissement de 1 à 12 fois supérieur à la moyenne de la croûte terrestre. Cet enrichissement est également constaté pour certaines terres rares légères : Terbium (Tb), l'Yttrium (Y) et l'Ytterbium (Yb) et ces deux dernières présentent un enrichissement encore plus significatif, de trois à quinze fois supérieur à la moyenne de la croûte terrestre. Il peut dépasser vingt fois la moyenne de l'UCC pour un minerai provenant du site 3 du Bois de Bailly à Saint-Fargeau (fig. 120).

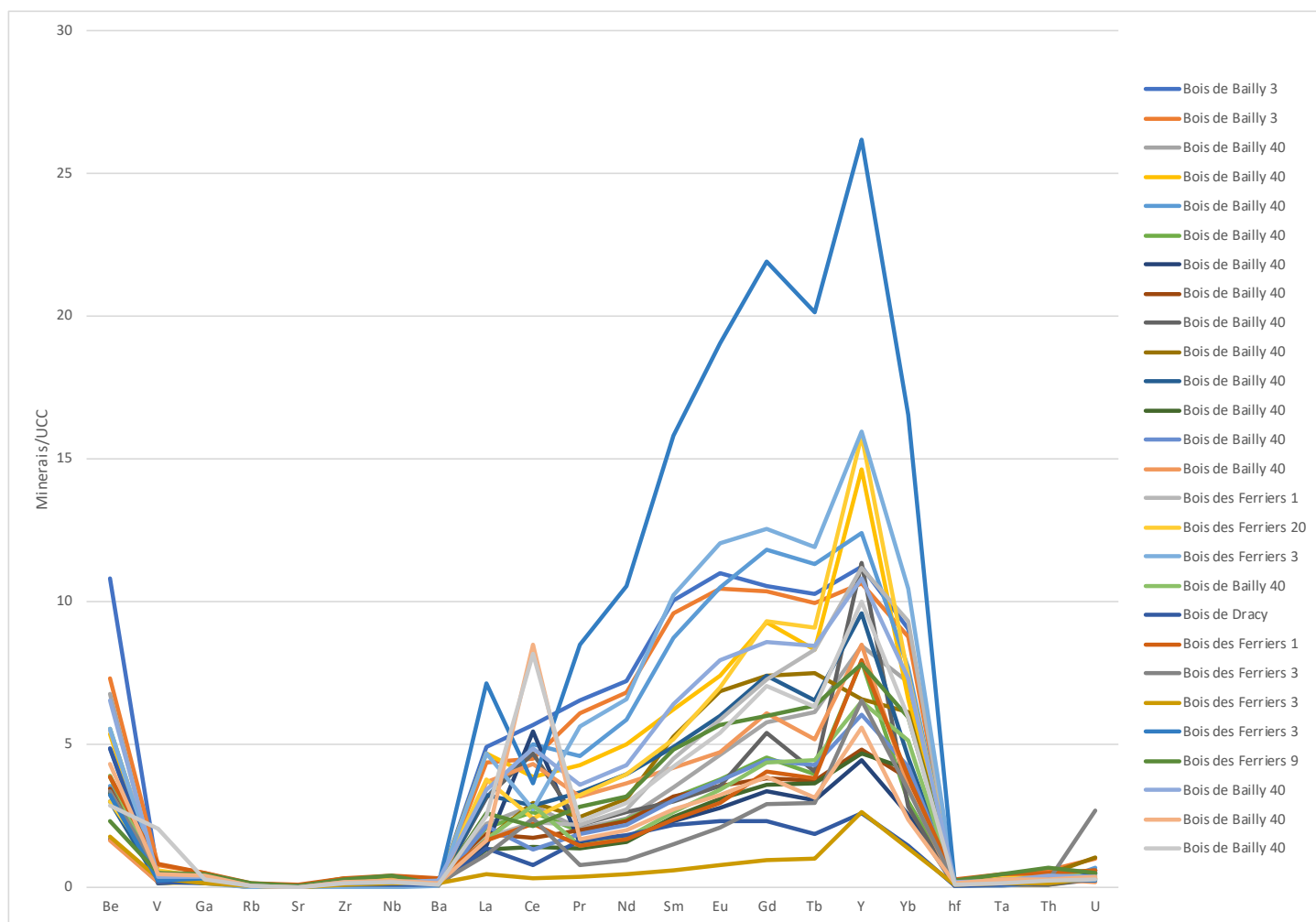


Figure n°120. Concentration en éléments traces dans les minerais normalisés à la croûte terrestre (M. Berranger).

Il est également possible de comparer les données chimiques en les normalisant à 100% en enlevant le fer. En effet la teneur en cet élément peut être très variable d'un échantillon à un autre et introduire d'importantes fluctuations dans les concentrations mesurées pour les autres

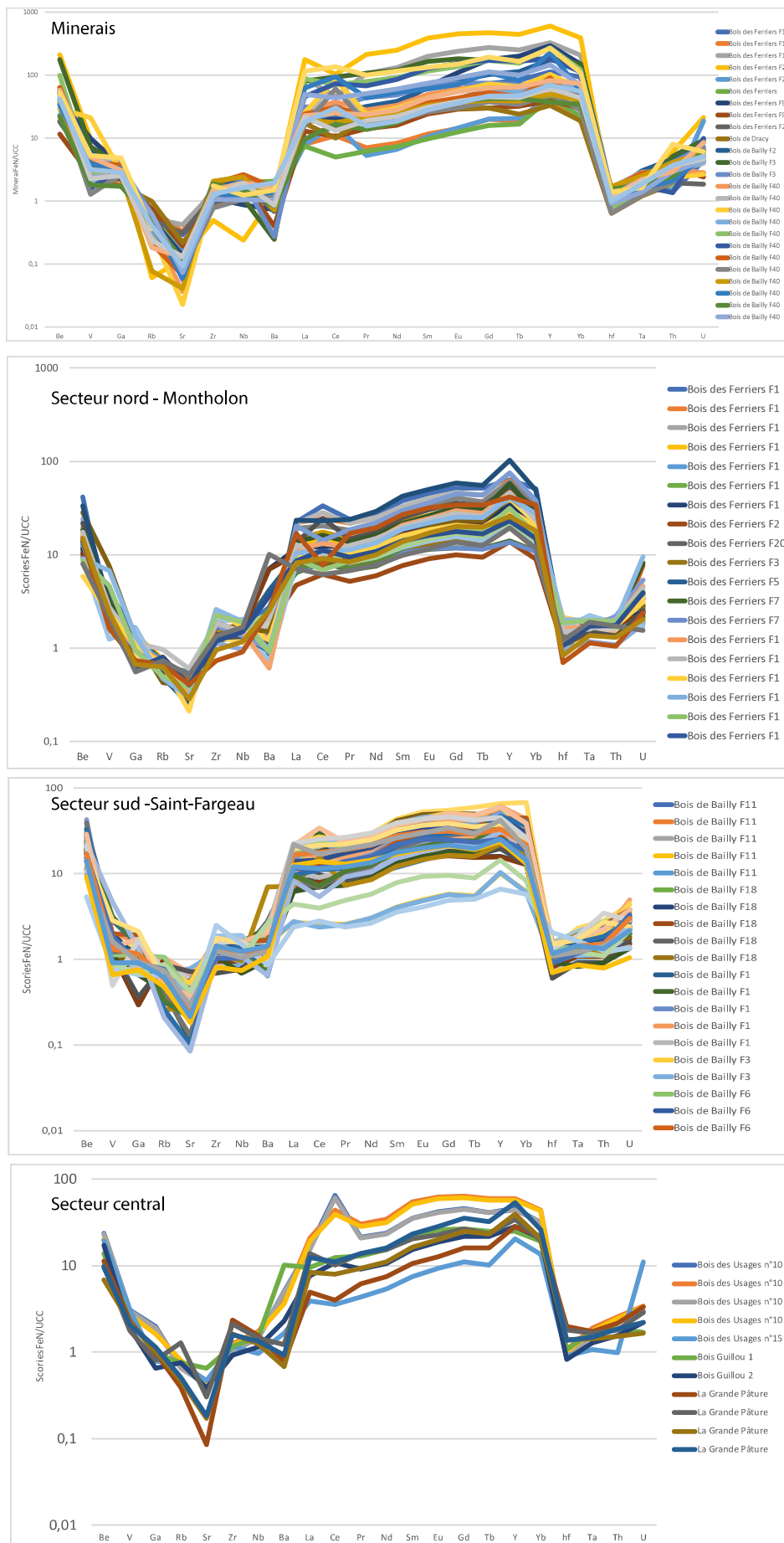


Figure n°121. Rapport de la concentration des éléments traces normalisés au fer, par rapport à la croûte terrestre pour les minerais et les scories, par zone-atelier (M. Berranger).

éléments, ce qui pose des problèmes lorsque l'on veut comparer les données. Cette démarche est particulièrement intéressante lorsque l'on veut comparer minerais et scories par exemple. La figure 121 détaille ces rapports pour les minerais et pour les scories, en fonction des zones-ateliers. Malgré une relative dispersion dans la concentration des éléments, et notamment des différences de concentrations notables entre minerais et scories, on constate que l'ensemble du corpus présente des profils de concentrations comparables. Cette homogénéité des profils de teneurs est encore plus visible dans la figure 122 qui présente la moyenne de ces données pour les minerais et les scories par zone-atelier.

Cette signature chimique très particulière peut être considérée comme un marqueur spécifique des minerais de cette zone. L'identification de ce type d'anomalie géochimique très particulier pourra être utilisé dans le cadre des études de provenance, en complément des approches statistiques (*infra*) afin d'appuyer ou d'exclure l'hypothèse de la provenance d'un objet en fer depuis la Puisaye.

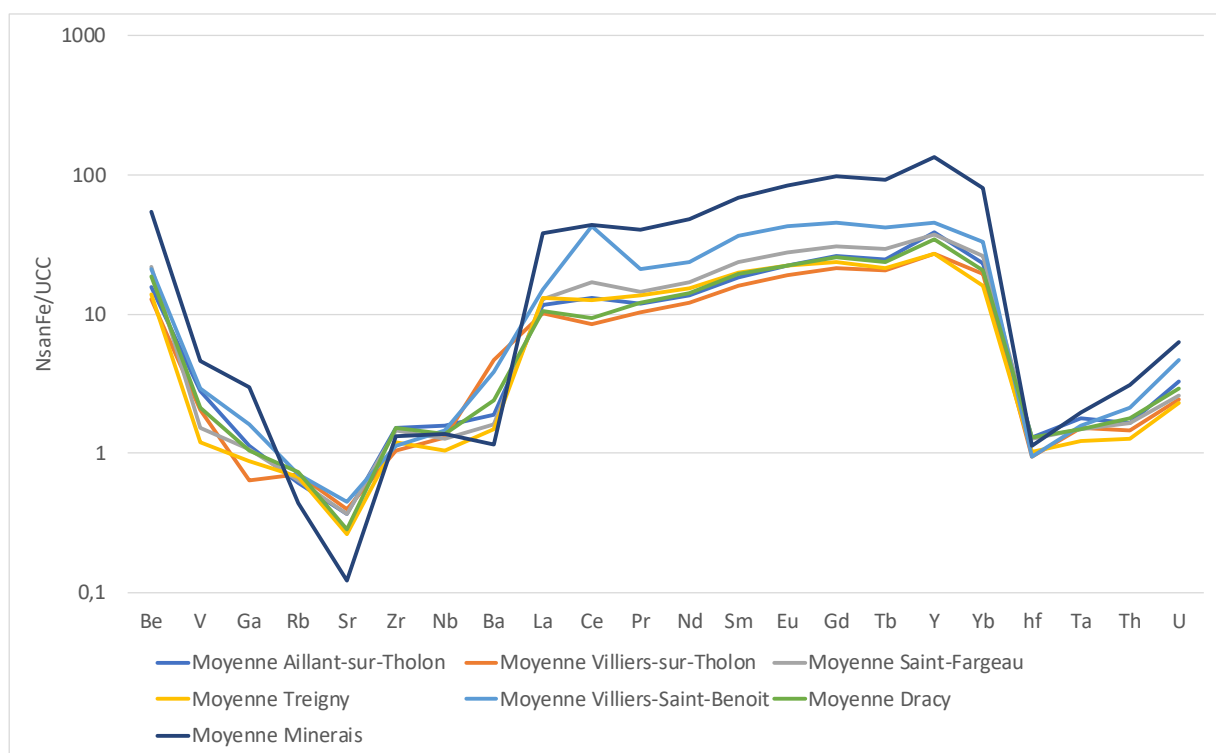


Figure n°122. Moyenne des minerais et scories de Puisaye, par zone-atelier, : rapport de la concentration des éléments traces normalisés au fer, à la croûte terrestre (M. Berranger).

5.3.3. Approche statistique de la composition chimique de l'ensemble de production de la Puisaye

L'étude des concentrations en éléments traces met ainsi en évidence la filiation entre les minerais retrouvés sur les sites archéologiques et les scories retrouvées sur les ateliers des différentes zones étudiées en Puisaye. L'homogénéité des données permet de reconnaître un ensemble de production chimiquement homogène. Les données chimiques disponibles peuvent donc être utilisées pour définir la signature chimique de l'espace de réduction de la Puisaye.

En complément de l'étude des teneurs, les rapports entre éléments traces ont été étudiés en utilisant les méthodes statistiques multivariées. A ce stade elles s'avèrent nécessaires en raison

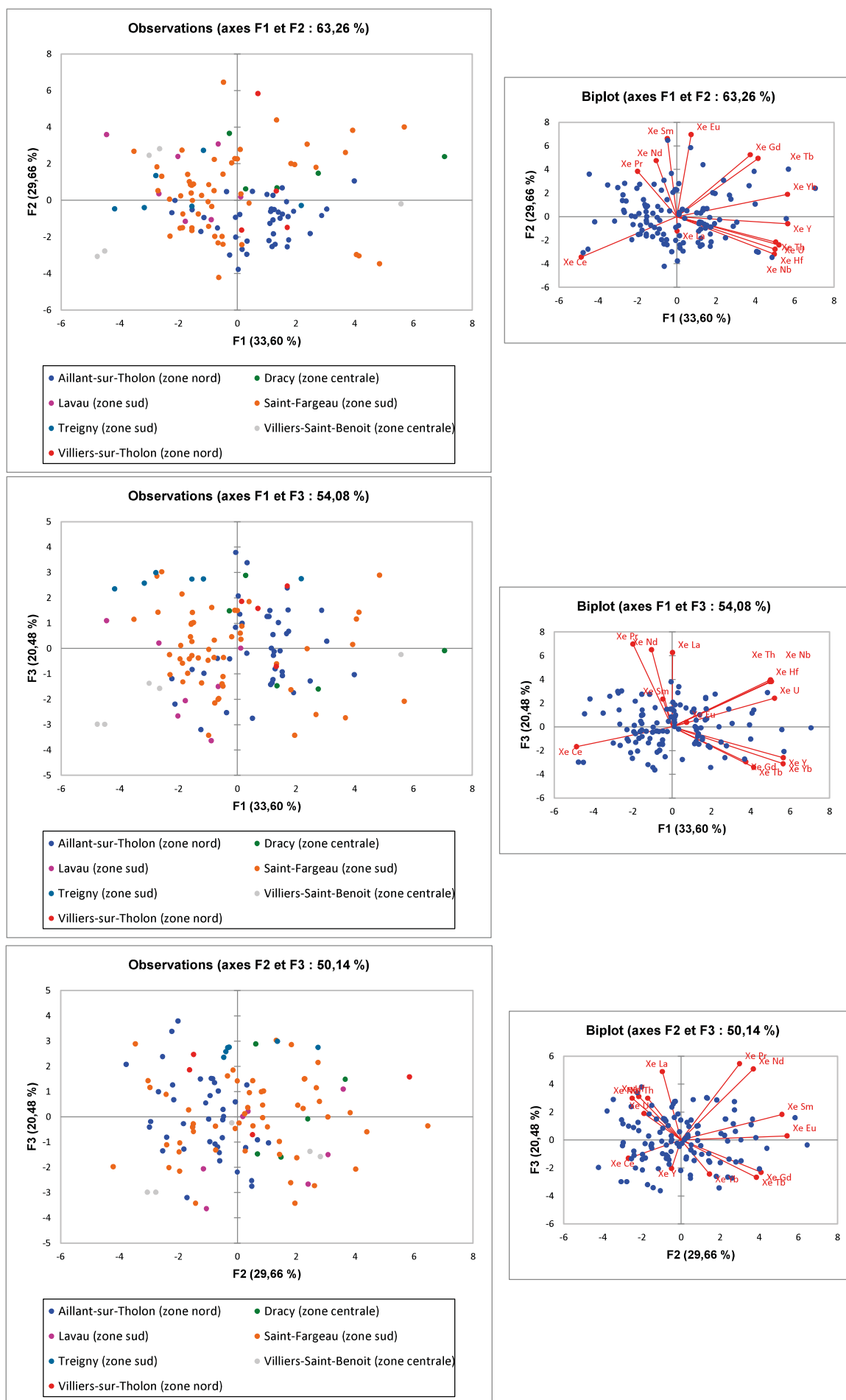


Figure n°123. Axes F1, F2 et F3 de l'ACP réalisée sur les xij des éléments traces des scories de Puisaye, par commune (M. Berranger).

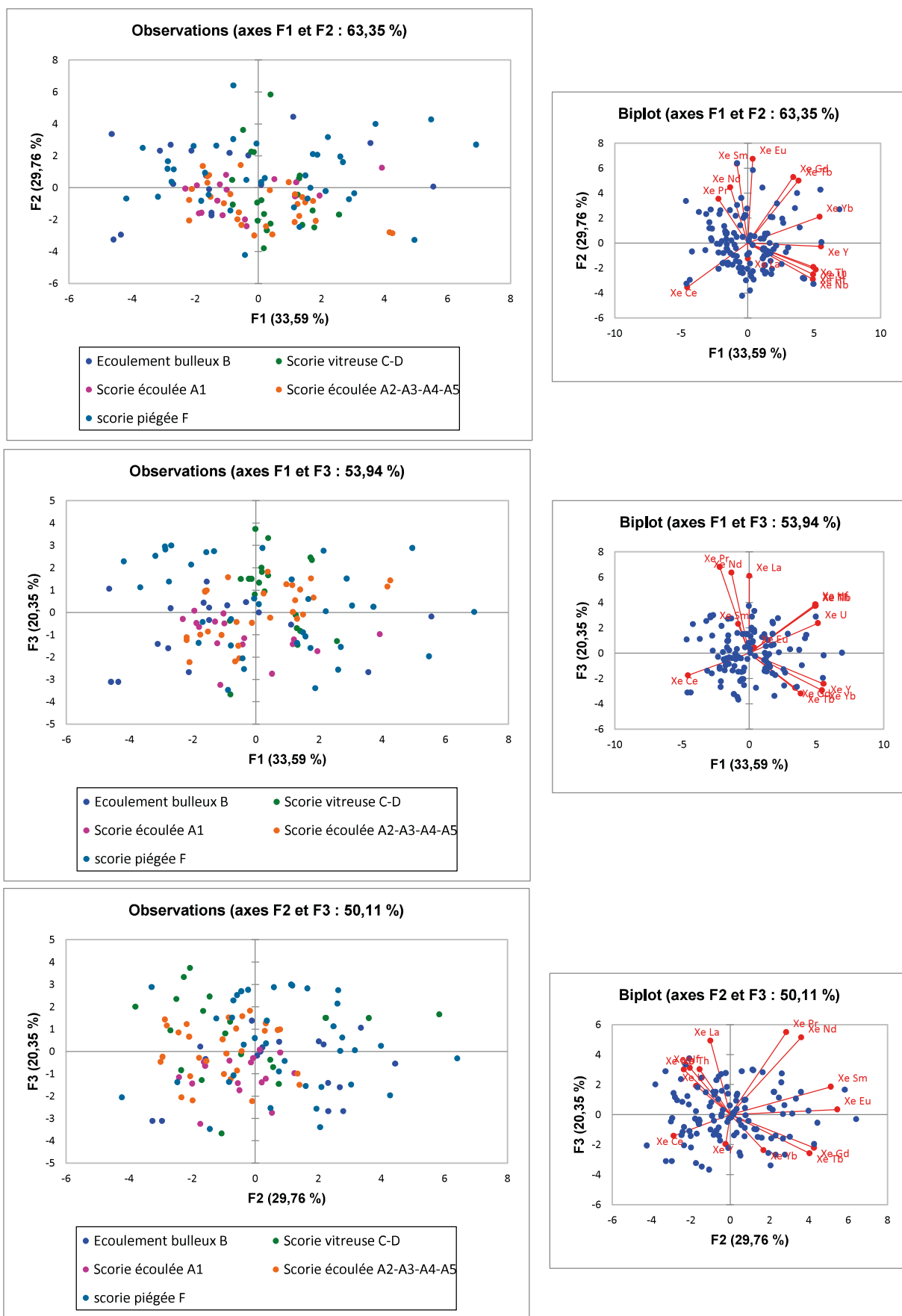


Figure n°124. ACP réalisée sur les xij des éléments traces des scories de Puisaye, par type de scories (suppression d'une scorie sans type) (M. Berranger).

du grand nombre d'observations (échantillons analysés) et d'éléments dosés pour définir la signature chimique d'un ensemble (Charlton *et al.* 2012 ; Leroy *et al.* 2014 ; Disser *et al.* 2017 ; Dillmann *et al.* 2017). Les éléments traces retenus pour cette approche sont ceux identifiés par Disser 2014: Ce, Eu, Gd, Hf, La, Nb, Nd, Pr, Sm, Tb, Th, U, Y, Yb à l'exclusion du Tantale (Ta) présent ici en faible proportion et qui n'a donc pas été pris en compte. Afin de s'affranchir des effets d'enrichissement inhérents à l'étape de réduction (diminution de la part de fer dans la scorie par rapport à la proportion de fer dans le minerai), une normalisation des données a été effectuée. La méthode de normalisation retenue est celle des *log-ratio* détaillée dans Leroy *et al.* 2012. Seuls les éléments toujours au-dessus de la limite de détection ont été retenus au dénominateur pour cette normalisation, à savoir : Y, La Ce, Sm et Eu. Seules les scories de réduction ont été prises en compte dans l'analyse.

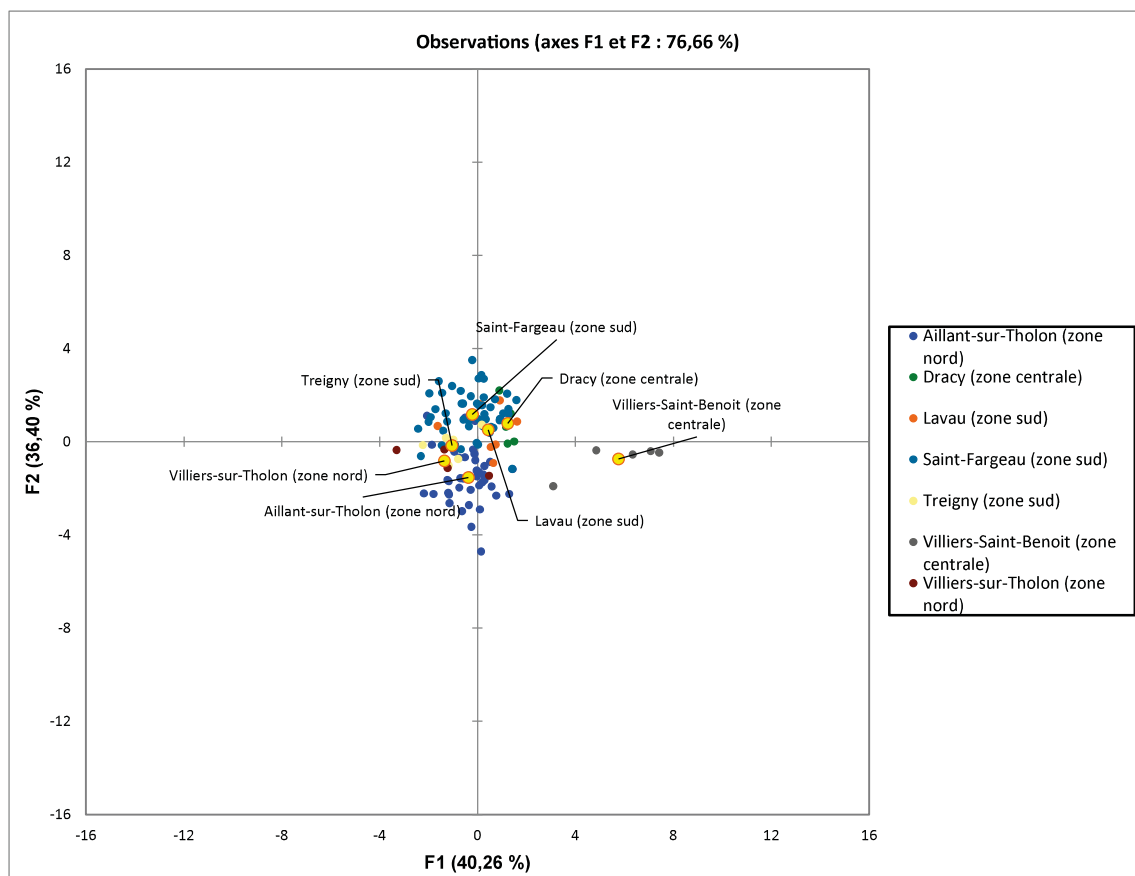


Figure n°125. Analyse factorielle discriminante réalisée sur les xij des scories, par commune (M. Berranger).

Dans un premier temps une méthode non supervisée, une Analyse en Composante Principale (ACP) basée sur les coefficients de corrélation de Pearson a été appliquée et permet de proposer une première représentation des données.

L'analyse de ces données en prenant en compte le secteur (nord, centre sud) d'où proviennent les scories ne met pas en évidence de différence notable. La prise en compte de trois premiers plans de l'ACP (F1, F2, F3) qui cumulent 83% de la variabilité montre une bonne cohérence d'ensemble (fig. 123). Le même constat peut être réalisé en analysant les trois premiers axes de l'ACP tenant compte de la typologie des déchets (fig. 124).

L'analyse de ces données à partir d'une approche supervisée, sur la base d'une analyse factorielle discriminante, davantage discriminante que l'ACP, révèle les mêmes résultats même si la zone de Villiers-Saint-Benoit est un peu plus écartée (fig. 125).

Un des objectifs de cette approche est de permettre la réalisation d'études de filiations minerais-scories de réduction-objets. Un corpus d'une centaine de masses de métal a été analysé soit dans le cadre du programme actuel (une première partie de ces résultats est publiée dans Berranger *et al.* 2019 et Berranger *et al.* 2023) ou est actuellement en cours d'analyses dans le cadre du projet TerriFer et du contrat post-doctoral de Valentina Valbi (IRAMAT-LMC-UMR7065) (fig. 126). L'ensemble des résultats de ces travaux fera l'objet de présentations synthétiques ultérieures.

Site	Occupation	Type d'objet	Chronologie	Nbr
Plombières-les-Dijon -Tallant « La Peute-Combe » (21)	Atelier	Chutes de forge	1er Age du Fer	3
Bibracte (58)	Oppidum	Fragments de métal brut, chutes de forge, clous de murus gallicus	Fin de l'âge du Fer / époque augustéenne	5
Beaune "Les Perrières" (21)	Station routière	Fragment de métal brut, chutes de forge	Haut Empire	13
Besançon « îlot Pasteur » (25)	Agglomération romaine	Fragment de métal brut, chutes de forge	Haut Empire	3
Chalon-sur-Saône « Rue Garibaldi » (21)	Agglomération romaine	Chutes de forge	Haut Empire	9
Mathay-Mandeure (25)	Agglomération romaine	Fragment de métal brut, chutes de forge	Antiquité	10
Alise Sainte Reine (71)	Agglomération romaine	Barres, bandages de roues, clous, clous murus	Antiquité	9
Autun « Saint-Pantaléon » (21)	Contexte funéraire	Clous de cercueil	IVe	6
Luxeuil (70)	Dépôt	Masses brutes de réduction	Bas Empire	1
Pontarlier (25)	Habitat	Chutes de forge	Mérovingien	7
10 sites			Totaux	66 objets

Figure n°126. Corpus des sites et des objets en fer sélectionnés pour une analyses inclusionnaire dans le cadre du projet TerriFer, pour les études de filiations chimiques.

6. Habitats et amas de scories de réduction

La rédaction des notices de sites et la cartographie des données afférentes ont été réalisées selon le protocole d'enregistrement défini dans le cadre du PCR portant sur les agglomérations antiques du Centre Est de la Gaule (AggloCenE¹, Venault et al. 2013, p. 231-257). La méthode prévoit la production de deux jeux de documents cartographiques. Le premier jeu présente les différentes zones explorées définies sous le terme Unité d'Investigation (UI) triées par technique d'investigation². Le second jeu localise les données archéologiques, identifiées sous le terme d'Unité de Découverte (UD) et présentées par grandes périodes d'occupation³. Par convention les points se rapportent aux données mal localisées alors que les polygones et les lignes correspondent aux vestiges géoréférencés. Un indice de qualité de l'information est attribué aux critères de localisation, de datation et de caractérisation⁴. Les UI et les UD sont inventoriées dans des tables attributaires récapitulatives. Enfin une frise récapitulative des découvertes et travaux dresse un état de l'avancée des recherches.

6.1. Tannerre-en-Puisaye

Stéphane Venault

6.1.1. Localisation et emprise connue de l'occupation

L'occupation romaine s'étend entre le village actuel et le ferrier de la Garenne. L'aire d'extension de la zone habitée à l'époque demeure mal connue faute de données précises, l'emprise de l'agglomération pouvant être estimée entre un et deux hectares. D'éventuels axes de cheminements aménagés devaient rejoindre une voie romaine détectée une centaine de mètres en contrebas de l'habitat groupé.

6.1.2. Cadre naturel

Le village de Tannerre-en-Puisaye se développe en bordure du cours d'eau Le Branlin, un affluent de l'Ouanne dont le bassin versant est modelé de douces vallées incisant des zones de plateaux. Cette région rurale, peu densément occupée, se caractérise par un paysage où se côtoient forêts, prairies et parcelles cultivées. Au niveau de Tannerre, Le Branlin s'écoule autour de 180 m d'altitude. Le vallon est dominé par des plateaux, culminant autour de 220 m NGF, composés de formations limoneuses sur substrat d'argiles éocènes. Les pentes du vallon sont recouvertes de matériaux colluvionnés où se mêlent passes limono-caillouteuses et couches de sable à rognons de silex. Ces complexes argilo-sableux à silex peuvent atteindre une épaisseur

1 <https://agglocene.huma-num.fr/>

2 Découvertes Fortuites (DF), Fouilles Phasées / Fouilles Non Phasées / Diagnostics / Suivis de Travaux (FP FNP D ST), Prospections Aériennes (PA), Prospections Géophysiques (PG), Prospections Pédestres (PP).

3 La Tène C, La Tène D, Haut-Empire, Bas-Empire, haut Moyen Âge

4 Qualité de localisation

0 : commune

1 : lieu-dit

2 : parcelle ou zone délimitée

3 : contour flou de l'occupation ou plan mal géoréférencé

4 : plan précis des vestiges géoréférencés

Qualité de datation :

0 : pas d'élément de datation

1 : grande phase culturelle

2 : datation d'après des éléments isolés

3 : datation précise de contextes (TPQ disponibles)

Qualité de caractérisation

0 : occupation de type indéterminée

1 : différenciation monde des morts / monde des vivants

2 : caractérisation supposée (mobilier ou plan)

3 : caractérisation certaine (mobilier + plan)

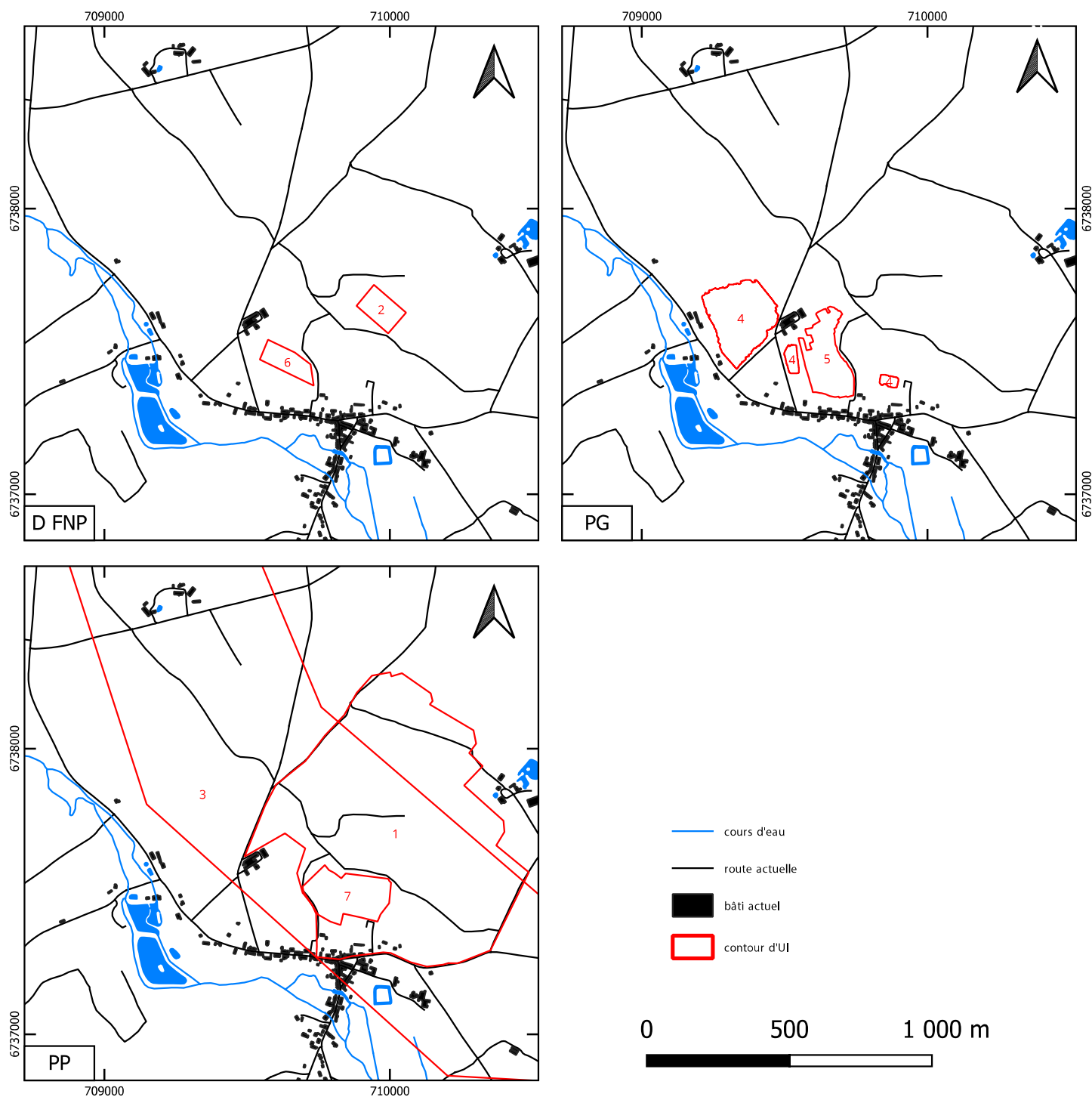


Figure n°127. Carte des Unités d'Investigations triées par types (D : diagnostic, FNP : fouille non phasée ancienne, PG : prospection géophysique, PP : prospection pédestre) (St. Venault)

ID_UI	Lieu-dit vernaculaire	Etat du terrain actuel	Mode d'investigation	plan disponible	Sources
1	Garenes	forêt	Prospections pédestres	oui	documentation https://leferrierdetannerre.net/index.php/fr/ , Plan J.-P. Piétak
2	Motte Champlay	forêt	Fouille non phasée (doc. ancienne)	oui	Forteresse de la motte Champlay Déy 1849
3		axe de circulation	Prospections pédestres	oui	prospection des segments de voies romaines Piétak 2011
4		pâturage	Prospections géophysiques	oui	Berranger 2021
5		pâturage	Prospections géophysiques	oui	Berranger 2022
6	Champ du bourg	pâturage	Diagnostic	oui	Berranger 2022
7	Champ d'aigremont, Champ de la vigne	pâturage	Prospections pédestres	non	

Figure n°128. Liste des Unités d'Investigations

de 20 m (Pomerol 1989, p. 17). Dominant le cours du Branlin d'environ 25 m, l'habitat romain s'installe avant le sommet du plateau, entre 216 et 209 d'altitudes, à hauteur d'une rupture de pente où la déclivité s'atténue passant de 10 à 3 %.

6.1.3. *Etat des connaissances*

Sources

La mention textuelle la plus ancienne relative à la localité remonte au IX^e s. sous la forme *Tanotra*, le site étant alors dépendant du diocèse de Sens et relevant du comté de Saint-Fargeau (Quantin 1862, p. 127). Le toponyme adoptera ensuite diverses formes au cours du temps : *Tannadorum* (1233), *Tannera* (1276), *Tempnera* (XVI^e s.), *Tanere* (1501), pour aboutir à l'orthographe actuelle.

Etymologie

Déy établit, très certainement à tort, un rapprochement entre le toponyme Tannerre et le radical « ana⁵ » désignant les marais (1849, p. 65). Le dictionnaire de la langue gauloise cite Tannerre (Yonne) sous la forme *Tannadorum* de 1233, pour illustrer le terme « tanno » signifiant le chêne vert (Delamarre 2003, p. 288).

Historique des recherches (fig. 127-128-129)

Couvrant une surface estimée à trente hectares, dont quinze sont exceptionnellement classés au titre des monuments historiques, le ferrier de Tannerre constitue le vestige emblématique de l'occupation du site durant l'Antiquité. Il attire l'attention dès le milieu du XIX^e s., non pas pour la connaissance de l'exploitation du fer dans l'Yonne, mais pour la présence quasi en son centre d'une forteresse médiévale érigée sur les amas de scories (Déy 1849, p. 68-69). L'étude historique réalisée à l'époque, portant avant tout sur le bourg de Tannerre dans sa globalité, présente l'intérêt de fournir une description morphologique du château accompagnée d'un plan schématique [UI 2] à un moment où le ferrier n'avait pas été encore remanié sinon détruit. Une analyse critique de ce plan sera proposée en 1976 (cf. infra, Noyé 1976).

La réexploitation du ferriers au début du XX^e s., qui a entraîné la disparition de près de la moitié de sa superficie, a permis la mise au jour d'objets datés de l'époque romaine mais aussi de vestiges construits qui ont fait l'objet d'observations succinctes par l'abbé Ragot, curé de Tannerre de 1903 à 1913 (document manuscrit non consulté, retranscrit partiellement par Chapat 1981, p. 111-127) [UI 1]. La mise en valeur du ferrier dans les dernières décennies du XX^e s., qui a conduit à son classement au titre des monuments historiques en 1982, s'est accompagnée de campagnes de prospections pédestres [UI 1 et 7] au cours desquelles ont été recueilli un lot de mobilier céramique qui a fait l'objet d'une expertise récente (Berranger 2021, p. 46-48). Les prospections pédestres ont également porté sur les axes de communication desservant le site [UI 3], les hypothèses de restitution se fondant sur les chemins vicinaux actuels (Piétak 2011, cf. infra).

Enfin, à l'occasion des travaux conduits dans le cadre du PCR « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau », il fut décidé d'engager des prospections géophysiques afin de confirmer l'existence d'un habitat groupé au sud du ferrier actuel. Les propriétaires des parcelles abritant les vestiges étant opposés à la mise en œuvre de détectations géophysiques, la décision a été prise de focaliser l'attention sur les terrains contigus libres d'accès. Les opérations de prospection magnétique ont été menées en deux temps. Une première campagne a eu lieu

5 L'auteur traduit « Tann » par rivière au milieu des marais

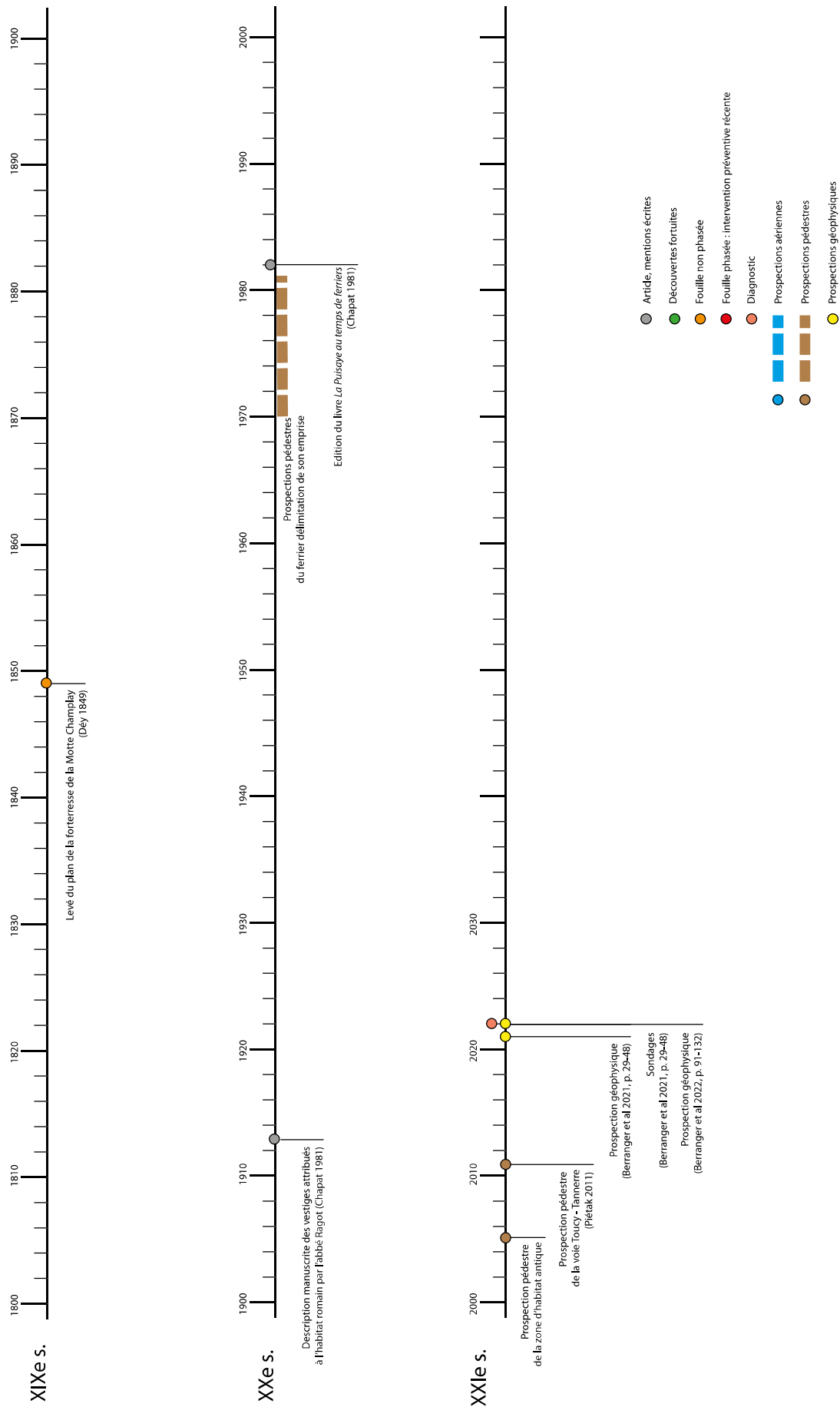


Figure n°129. Frise chronologique de l'état de la recherche sur la commune de Tannerre-en-Puisaye (St. Venault).

sur une surface de 3,6 ha [UI 5] en août 2021 qui a permis la découverte inédite d'une voie romaine et d'enclos attenants (Berranger 2021, p. 29-48). Fort de ces résultats encourageants, une seconde campagne de prospection a été réalisée en septembre 2022 sur trois parcelles disjointes pour une surface cumulée de 5,7 ha [UI 4] (Berranger 2022, p. 91-109). Les résultats se sont malheureusement révélés très décevants, en raison d'une quasi absence d'anomalies se rapportant à des vestiges et d'une signature magnétique de la voie très difficile à percevoir. Entre les deux campagnes de détection géophysique, ont été ouverts quatre sondages sur une emprise de 3900 m² [UI 6] (*id.*, p. 110-132). Focalisées sur la voie et les fossés d'enclos, les sondages ont été volontairement limités à quelques mètres carrés, l'objectif étant de vérifier des hypothèses d'interprétation à des endroits ciblés en réduisant autant que faire se peut l'impact au sol.

ID_UD	Lieu-dit	Forme UD	UI référence	qualité localisation	Nombre de plans disponibles	LTC	LTD	HE	BE	HM A	qualité date	Nature occupation	qualité caractérisation
1	La garenne	Polygone	1	4	1			1	1		1	Ferrier	3
2	La motte Champlay	Polygone	2	3	2			0	0		1	Château	3
3	Champ de la vigne	Polygone	1	3	1			1	1		1	Habitat	2
4	Champ du bourg	Polygone	5, 6	4	1			1	1		1	Autre	2
5	Champ du jardin	Polygone	5, 6	4	1			1	1		1	Autre	2
6	Champ du bourg	Polygone	5	4	1			1	1		1	Autre	3
7	Champ du bourg	Ligne	4, 5, 6	4	1			1	1		1	Voirie	3
8	Champ du bourg	Ligne	4, 6	4	1			1	1		1	Voirie	3

Figure n°130. Liste des Unités de Découvertes

6.1.4. Organisation spatiale (fig. 130-131-132-133-134)

Avant d'engager une analyse des différentes composantes structurantes du site, il convient de porter un regard sur l'emprise totale du ferrier tel qu'il est restitué. Les trente hectares qu'il occupe sont en partie toujours conservés en contexte boisé malgré les dégradations causées par la réexploitation du début du XXe s. Les parties disparues, qui s'étendaient au sud, ont quant à elles laissé place à des pâtures ou des jardins d'agrément. C'est à l'occasion du prélèvement des scories qu'ont été mis au jour les vestiges de constructions décrits par l'abbé Ragot (Chapat 1981, p. 112). Or la localisation de l'habitat groupé au cœur du ferrier ainsi que le passage de la voie découverte en 2021 [UD7] posent la question de la superficie réelle recouverte par les scories à l'époque romaine. Certes, la construction de la forteresse médiévale sur le ferrier lui-même, montre que les tas de déchets scorifiés ne constituaient pas une contrainte rédhibitoire à l'érection de bâtiments. Et dans ce cas on pourrait imaginer que l'habitat romain se soit installé sur d'anciens amas générés à de hautes époques. Toutefois, on peut supposer aussi que l'habitat ait été recouvert à des époques tardives. Quoi qu'il en soit, s'il n'y a pas de raison de douter de l'estimation faite de l'étendue maximale du ferrier d'après les prospections pédestres, force est de constater qu'il devait occuper une emprise plus restreinte durant l'Antiquité. Son extension en continu était en effet incompatible avec la zone d'habitat et le passage de la voie même si le voisinage proche des déchets scorifiés est concevable.

S'agissant de la zone d'habitat antique identifiée en frange sud de l'actuel ferrier [UD 3], elle ne permet guère d'appréhender l'organisation spatiale de l'occupation. Localisée d'après les renseignements schématiques fournis dans le texte manuscrit de l'abbé Ragot (Chapat 1981, p. 112), cette zone concentrant plusieurs vestiges maçonnés a été délimitée de manière approximative sur une surface d'un hectare d'après la répartition du mobilier ramassé à l'occasion de prospections pédestres [UI 7, UD 3] mais Fr.-P. Chapat évalue l'emprise de l'habitat à deux hectares (op. cit, p. 111)⁶. Nous ne disposons en revanche d'aucun plan des

⁶ Un puits qualifié d'antique, toujours visible au sol et figuré sur les plans d'aménagement du site actuel, suppose que l'habitat romain pouvait s'étendre davantage vers le nord sous la partie classée du ferrier.

structures observées ni de leur mode de répartition spatiale. Aussi le seul élément véritablement structurant exploitable aujourd’hui pour l’ensemble du site réside dans le segment de voie mis au jour à l’occasion des prospections géophysiques en 2021 [UI 7]. Son tracé est restitué sur une distance d’un peu plus de 600 m, dont seul un tiers de la longueur est attesté par des fossés bordiers et le revêtement de la bande de circulation. Les projections du tracé vers l’est et l’ouest se devinent quant à elles d’après quelques anomalies magnétiques longeant l’axe viaire. Cette voie décrit une légère courbe depuis le sud-est, à 201 m NGF. Puis elle fuit en direction du nord-ouest où elle atteint 209 m d’altitude. Elle remonte ainsi le coteau en coupant les courbes de niveau en écharpe de manière à atteindre le point de rupture de pente entre 209 et 211 m d’altitude. Ce tracé correspond sans doute au parcours le plus adapté aux contraintes topographiques, la zone de rupture de pente nécessitant moins de travaux d’aménagement qu’une incision dans un versant à la déclivité plus prononcée.

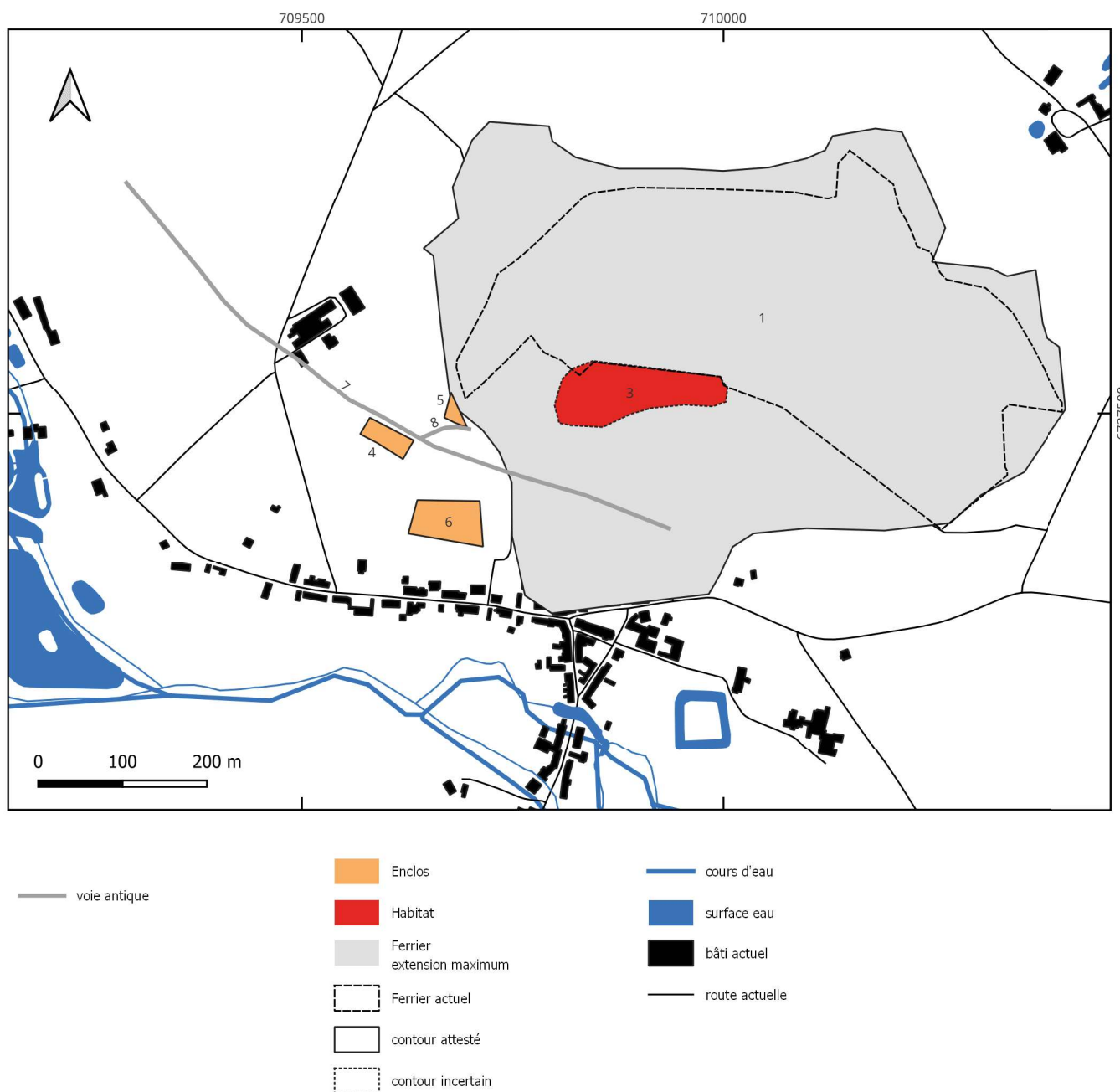


Figure n°131. Carte des Unités de Découverte pour la période romaine (St. Venault)

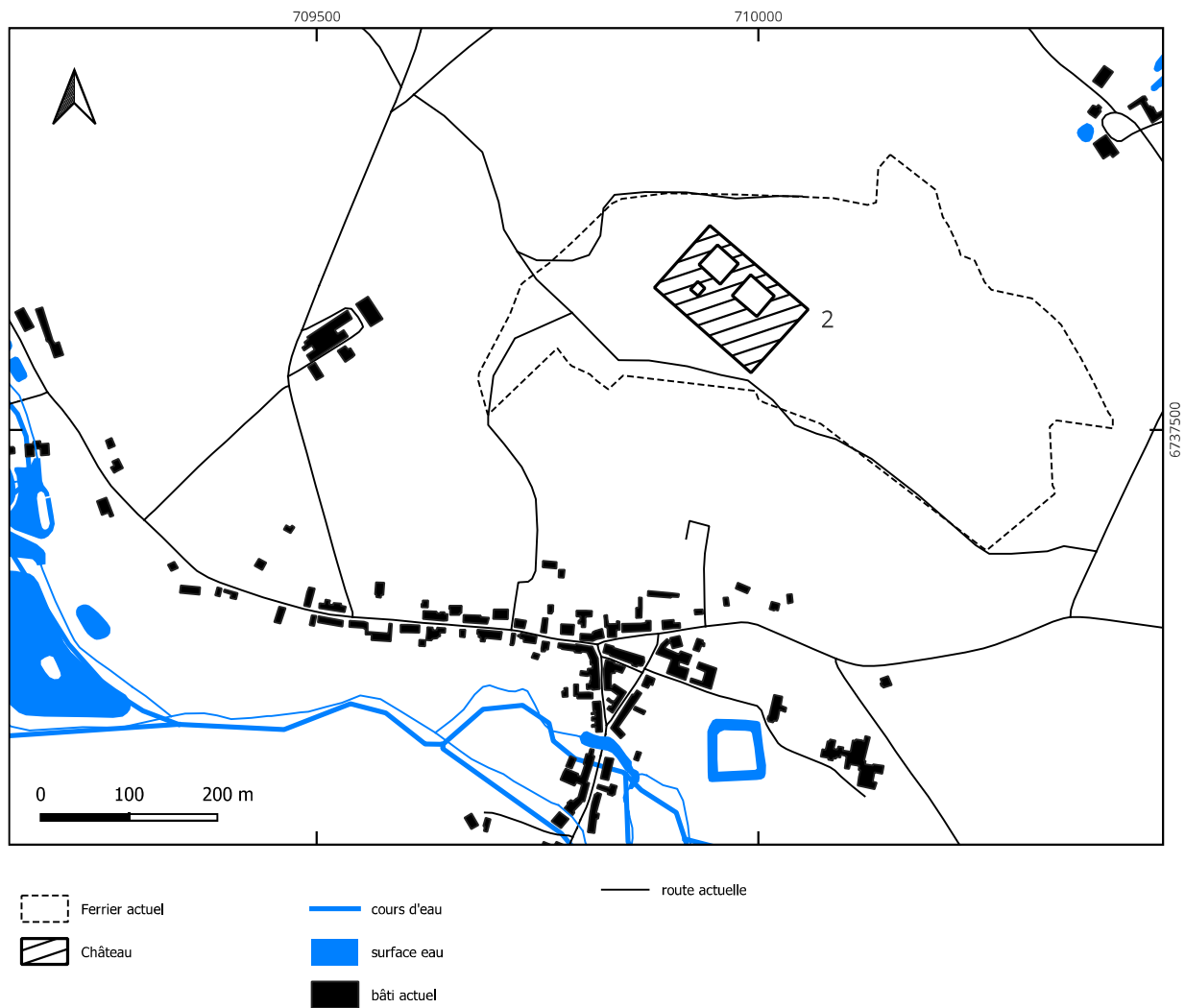


Figure n°132. Carte des Unités de Découverte pour le Moyen Age (St. Venault)

A présent, compte tenu de la découverte du tronçon de voie UD7, quel regard pouvons-nous porter sur les restitutions proposées des axes viaires d'après les actuels chemins vicinaux (Piétak 2011)? Une hypothèse consiste à faire passer une voie en travers de l'emprise du ferrier classé au titre des monuments historiques sachant que seule la présence de la zone d'habitat antique tient lieu d'argument (fig. 134). Cet axe traversant se connecterait selon un angle à 140 degrés à la voie venant de Toucy aux environs du croisement entre la route D22 et la D132 à l'est de Tannerre. A l'ouest, au-delà du ferrier, la voie se diviserait en deux branches matérialisées par deux actuels chemins ruraux qui serpenteraient sur 3 kilomètres avant de se réunir à nouveau. Faute de critères tangibles autres que les composantes du paysage actuel, il demeure difficile d'accéder sans réserve à la restitution proposée du tracé de la voie.

On remarquera que le segment UD 7 qui est attesté par des traces archéologiques s'inscrit quant à lui naturellement dans le prolongement de l'axe viaire arrivant de Toucy. A l'ouest, l'autre extrémité du segment pourrait trouver des correspondances avec le chemin rural passant au plus bas de la pente, qui est interprété comme un des prolongements possibles de l'itinéraire empruntant la vallée du Branlin.

Un des sondages ouverts en 2021 a livré un niveau empierré assimilé au revêtement d'un autre potentiel axe viaire [UD 8]. Si les excavations n'ont pas permis d'observer toutes les composantes

structurelles de cette voie, notamment ses ouvrages latéraux, son tracé peut être restitué d'après la carte des anomalies magnétiques. Celle-ci tend à montrer que l'extrémité occidentale de l'axe UD 8 vient se connecter à la voie principale UD 7 selon un angle à 60 degrés. Orientée d'abord vers le nord-est sur une trentaine de mètres, la voie UD 8 s'incurve ensuite vers l'est. Si nous ne connaissons pas la suite de son tracé, la projection du segment visible nous achemine en direction de la zone habitée à l'époque romaine, sans la traverser pour autant. Compte tenu des imprécisions qui pèsent sur l'étendue réelle de l'habitat groupé antique, on peut supposer que la voie UD 8 constituait une des dessertes possibles assurant la liaison entre la voie principale UD 7 et l'habitat groupé UD 3. En effet, en l'état des connaissances, l'emprise restituée de l'habitat aggloméré étant distante d'une centaine de mètres de la voie UD 7, l'aménagement d'un ou plusieurs axes de communication entre les deux apparaît fort plausible.

Enfin, toujours concernant la question de l'organisation du site, les détections magnétiques ont révélé la présence de trois enclos de dimensions variées (1000 à 3000 m²). Disposés de part et d'autre de la voie, ils sont implantés juste en bordure de l'axe de circulation [UD 4] ou ils en sont éloignés de 30 à 50 m [UD 5 et 6]. Exclusion faite de la question de leur usage, qui reste ouverte (cf infra), on remarque qu'ils s'inscrivent dans un système cohérent d'organisation spatiale dont le repère de référence paraît de toute évidence être la voie UD 7. Dans tous les cas, ces enclos semblent clairement à l'écart de l'habitat groupé.

6.1.5. Nature de l'occupation et pertinence des éléments de caractérisation

La présence du ferrier, et notamment sa grande superficie qui suppose une exploitation du fer sur le temps long, est bien évidemment compatible avec le développement d'un village de métallurgistes dans une orbite proche. Les quelques descriptions publiées font état de « maisons bâties en pierre non équarrie, sans fondations ni caves » couvertes de *tegulae* (Chapat 1981, p. 112), qui correspondent bien à l'idée attendue d'habitations occupées par des populations laborieuses. Des vestiges plus soignés, associant pierres de taille, lits de briques et sols maçonnés (*ibid.*), trahissent des différences de statut social des résidents ou des fonctions distinctes des édifices sans que nous soyons en mesure d'en déterminer la nature. M. Mangin propose d'établir un parallèle entre l'habitat fait de matériaux nobles à Tannerre et celui fouillé dans le centre sidérurgique du Crot-au-Port sur le territoire de la commune de Fontenay-sous-Vézelay, identifié comme le logis du *villicus* (Mangin 1994, p. 86).

Le mobilier céramique prélevé dans ce secteur qui associe cruches, gobelets, jattes, marmite ne permet pas de caractériser un mode d'occupation spécifique, ce type d'assemblage étant fréquent dans nombre de sites d'époque romaine. On notera cependant dans le lot la présence d'une amphorisque qui est attestée dans des contextes culturels en Bourgogne, et qui pouvait contenir des substances médicamenteuses (S. Mouton-Venault dans Berranger 2021, p. 46-48). Toujours dans le domaine culturel, le ferrier de Tannerre a livré une quantité non négligeable de fragments de statuettes en terre cuite blanche représentant Vénus anadyomène (Chapat 1981, p. 120). Si ces statuettes renvoient aux pratiques religieuses, elles ne permettent pas de suspecter la présence d'un temple. Elles étaient en effet présentes aussi bien dans les foyers que dans les tombes. C'est d'ailleurs dans les contextes funéraires dans lesquels elles nous parviennent le plus fréquemment. Pour autant, il est difficile, en l'état des connaissances, d'en déduire la présence d'une aire sépulcrale. A ce sujet Déy évoque des « tombeaux gallo-romains très nombreux » au nord du bourg, sans plus de précisions (1849, p. 65).

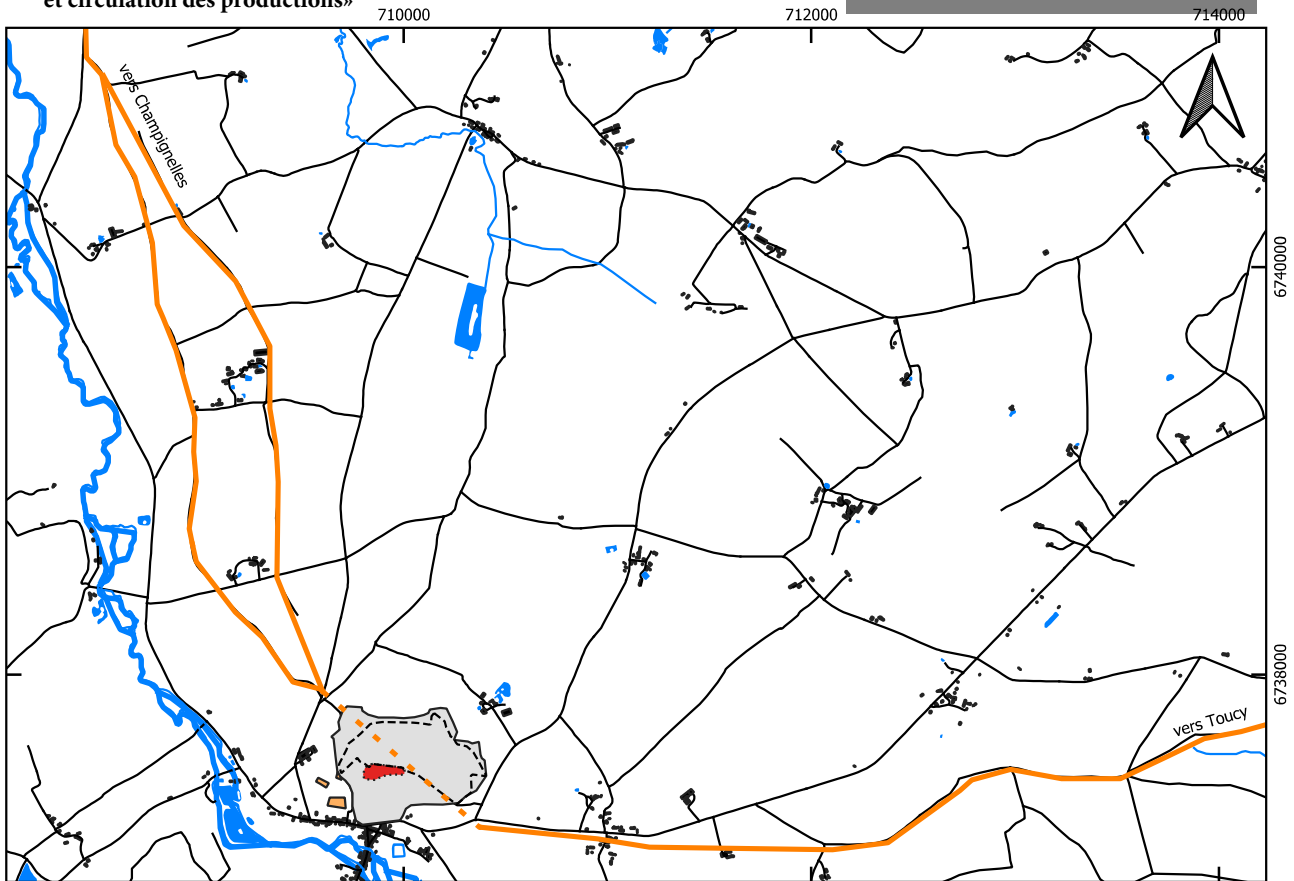


Figure n°133. Hypothèses de restitution du tracé de la voie Toucy – Champignelles : hypothèse avant la découverte du segment UD 7 en 2021

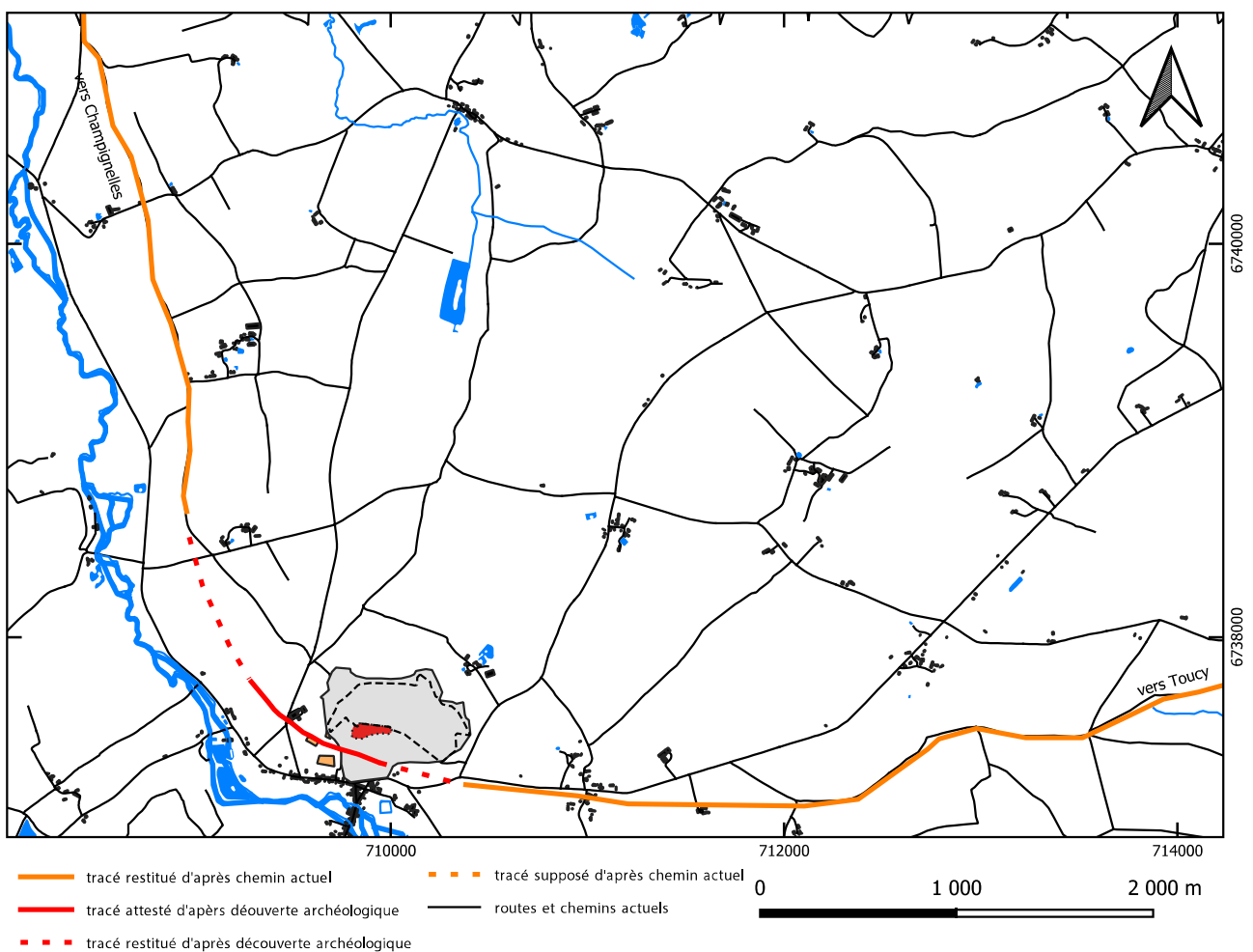


Figure n°134. Idem - hypothèse après la découverte du segment UD 7 (St. Venault).

Les enclos, qui n'ont pas livré de mobilier, nous renseignent seulement sur l'utilisation qui pouvait être faite des marges de l'agglomération. L'un d'eux situé au plus proche de la voie [UD 4] est matérialisé par des tranchées remplies de scories assimilables à des fondations d'un bâtiment. Ces dimensions relativement importantes (43 x 24 m), supposeraient des usages agricoles : grange, étable, cour fermée de murs... Les deux autres enclos ont pu servir au parcage du bétail. Un d'entre eux est relié à un fossé drainant évacuant les trop-pleins vers un des fossés bordiers de la voie UD 7 ; un dispositif technique qui témoigne d'une utilisation relativement prolongée des enclos. On remarque par ailleurs que les usages auxquels étaient destinés ces espaces semblent les avoir protégés de l'étalement du ferrier.

6.1.6. Chronologie et critères de datation

Considéré comme le plus grand ferrier de la Puisaye (Piétak et al. 2012, p.122), il est probable que sa forme la plus étendue soit le résultat d'un lent processus inscrit dans une longue période de temps. Aussi certains souhaiteraient voir dans le volume colossal de déchets générés à Tannerre le signe d'une exploitation du fer antérieure à la conquête romaine (Mangin 1994, p. 86, Chapat 1981, p. 123). Or rien dans le mobilier actuellement examiné ne permet de faire remonter l'occupation du site avant le Ier s. de n. è.

Période romaine

- Céramique

Le mobilier céramique de Tannerre s'inscrit dans un faciès de consommation qui correspond à celui identifié pour le secteur d'Entrains-sur Nohain (Venault et al. 2015, p. 458-483) et plus largement au bassin médian de la Loire (Mouton-Venault et al. 2015, Chambon et al. 2014). Les marqueurs chronologiques issus du grand commerce sont les sigillées du Centre pour les IIe et IIIe s. et les sigillées d'Argonne et les céramiques à revêtement argileux de Jaulges et Villiers-Vineux pour les IIIe, IVe s. L'ensemble des mobiliers recueillis ne remonte pas au-delà du tiers du Ier s. de n. è. , la chronologie d'occupation étant concentrée entre la fin du Ier s. et le IIIe s. Plus rarement, on relève la présence de marqueurs de la fin du IIIe s et du IVe s. dont un fond probable de Ch. 323, un fond de Gobelet Ch.335. (S. Venault-Mouton dans Berranger 2021, p. 46-48).

- Monnaies

L'ouvrage de Fr.-P. Chapat fait état de la découverte d'un nombre important de monnaies au sein du ferrier dont la chronologie des frappes s'étire de Domitien (81-96) à Constantin (312-313) (Chapat 1981, p. 121).

Moyen Age

A en juger par le mobilier, le ferrier paraît abandonné après le IVe s. Si les sources écrites mentionnent Tannerre dès le IXe s., nous ne sommes pas en mesure de savoir si l'occupation s'est déplacée sous le village actuel dès l'antiquité tardive, ou si la population a totalement déserté le secteur entre temps. Quoi qu'il en soit, il semble qu'il faille attendre le XIVe s. pour assister à une réappropriation du ferrier avec l'édification d'une forteresse dont les fondations prenaient directement appui sur les amas de scories⁷. Ce château, qui dépendait du fief de

⁷ D'après Déy et A. Hure le nom « Motte Champlay » serait mentionné dès le XIe s. (Déy 1855, p. 363 ; Hure 1920, p.44), or Gh. Noyé indique que « le nom et l'existence de la motte sont connus par des transactions entre les auxerrois et grandes compagnies au XIVe s. » (Noyé 1976, p. 183).

Champlay, a fait l'objet d'une description par M. Déy au milieu du XIXe s. à une époque où le ferrier n'avait pas été encore perturbé par la réexploitation des scories (Déy 1849, p. 68-69) (fig. 133). L'auteur rend compte d'une « enceinte générale de fossés et de murailles formant un parallélogramme dont le développement avait environ 150 mètres de l'ouest à l'est, et 100 du sud au nord » (*op. cit.*, p. 68). Deux forts et un fortin occupaient la cour intérieure (*ibid.*). Une étude des *fortifications de terre dans la seigneurie de Toucy* a donné lieu à un second descriptif suite à une inspection des lieux au cours des années 1970 (Noyé 1976., p. 183). Gh. Noyé confirme une motte en forme de parallélogramme aux angles marqués ainsi que des fossés aux angles très nets (*ibid.*). Ceci étant, elle décrit un site considérablement dégradé : terrain défoncé (p. 183), arasement, cuvette marécageuse (p. 191), si bien que si elle admet que Déy a pu voir les vestiges dans un meilleur état, elle émet également un doute sur le rendu régulier des quadrilatères, l'aspect géométrique ayant sans doute pu être exagéré. Lors d'une visite du site au cours de l'été 2022, j'ai également pu constater la difficulté à lire des aménagements ou modelés dans les amas de scories pouvant rappeler la forme de l'enceinte périmétrique ou celle des forts à l'intérieur. Aussi le plan de la forteresse sur la figure 133 a-t-il été reproduit d'après le plan géoréférencé des sentiers du ferrier de Tannerre réalisé par G. Kany consultable sur le site internet dédié⁸. Si le plan en question n'indique pas quelle méthodologie a été appliquée au recalage du tracé des fortifications, il est fort probable qu'il procède d'une mise à l'échelle du plan relevé par M. Déy, ajusté d'après des éléments structurants encore visible sur le terrain, en l'occurrence l'angle sud-ouest des douves⁹. Aussi le tracé du plan du château, tel qu'il est restitué sur la figure 133, doit-il être considéré avec beaucoup de réserves.

Selon Gh. Noyé, la construction du château pourrait être en rapport avec une exploitation minière médiévale postérieure au XIIIe s. par comparaison avec une autre motte de Puisaye (Noyé 1976, p. 183-184).

6.1.7. Synthèse sur la dynamique d'occupation

Il est impossible en l'état actuel des connaissances de rendre compte d'une évolution dans le mode d'occupation du sol durant l'Antiquité. Tout juste pouvons-nous supposer que le ferrier à progressivement gagné sur l'habitat groupé vers le sud une fois celui-ci déserté. Les habitations se sont-elles alors déplacées vers les rives du Branlin, condamnant par la même occasion la voie UD 7 ? La question reste pendante.

6.1.8. Perspectives de recherche

A moins de pouvoir procéder à des prospections géophysiques sur les parcelles où se trouve l'habitat groupé, qui restent interdites d'accès par les propriétaires, les perspectives de recherches sur ce site sont très limitées. A défaut, une reprise plus systématique et globale du mobilier serait susceptible d'apporter des éléments complémentaires d'information, notamment en termes de chronologie. La programmation prochaine d'un relevé Lidar du ferrier devrait permettre d'évaluer le volume de déchets générés et aussi de mieux percevoir les vestiges du château aujourd'hui difficilement lisibles à hauteur d'homme.

8 <https://leferrierdetannerre.net/index.php/fr/realisations/amenagements-du-site> (consulté le 22 janvier 2024)

9 Gh. Noyé indiquait en 1976 que le plan de Déy « s'est malheureusement révélé incapable de servir de guide sur le terrain » (p. 183).

6.2. La Cour Batonnerie (commune de Toucy)

Stéphane Venault

6.2.1. Localisation et emprise connue de l'occupation

L'occupation antique sur la commune de Toucy ne concerne pas le bourg principal dans lequel un très faible nombre de vestiges sont recensés¹. Il faut se rendre en direction de Mézilles, à deux ou trois kilomètres à l'est du bourg, de part et d'autre de la route D965, pour trouver des traces d'une appropriation des espaces à l'époque romaine dans une vaste zone occupée par des ferriers. Toutefois, la nature des découvertes, qui se résument pour l'essentiel à des lots monétaires plus ou moins importants, ainsi que les contextes dans lesquels elles ont été faites, que sont les amas de scories, ne permettent guère d'identifier un foyer d'occupation pérenne (Delor 2002, p.742). Seule une prospection pédestre, réalisée à la fin des années 1990 dans un champ labouré, laisse supposer l'existence d'un habitat groupé étendu sur une surface de près de trois hectares le long d'une voie romaine au lieu-dit La Cour Batonnerie (Berranger et al. 2021, p. 49-70).

6.2.2. Cadre naturel

Le territoire de la commune de Toucy est traversé par la rivière l'Ouane, un affluent du Loing. Le cours d'eau incise des formations du crétacé et de l'éocène qui affleurent en bordure du bassin parisien. La vallée plus ou moins encaissée est dominée d'une centaine de mètres par les plateaux environnants qui sont composés de niveaux sablo-argileux à l'est du bourg de Toucy (C1a, C1b sur la carte géologique²) et d'argile à silex à l'ouest et au nord (e3). Les sols sont en majeure partie exploités en terre agricole, la forêt ne représentant que 22% du territoire communale. La Cour Batonnerie occupe un rebord de plateau à faible pente autour de 270 m d'altitude, composé d'argiles éocènes.

6.2.3. Etat des connaissances (fig. 135-136-137)

Sources

Une plaque de bronze trouvée à Sens en 1839, datée de 250 de n. è., comporte la plus ancienne mention de Toucy, ou plus précisément du *pagus* de Toucy, sous la forme *Tout[iaci]* (Delor 2002, p.680). Le toponyme se rapportant au bourg apparaîtra ensuite sous diverses orthographes dans les textes : *Tociacus* au VIIe s., *Toccium castrum* vers 1100, *Tocciacum* en 1144, *Toci* en 1191, *Thocy* en 1387, *Toussy* en 1622...(Quantin 1862, p. 129).

Historique des recherches

Jusqu'à la découverte du site de La Cour Batonnerie, seuls les ferriers attestaient d'une occupation à l'époque romaine autour de Toucy. Localisés à 2 km à l'ouest du bourg et répartis sur une surface d'environ 350 ha, ils ont donné lieu à des découvertes de monnaies, dont quelques-unes ont pu être recensées dès le XIXe s., le lot numériquement le plus important étant composé de plusieurs milliers de Tétricus trouvés en 1936. On doit à J.-P. Piétak le géoréférencement de ces ferriers, dont la liste a été dressée en 2007 (Piétak 2007, p. 52-54) grâce à des campagnes répétées de prospections pédestres [UI 1 à 5].

1 Un sanglier votif en bronze dans le bourg et une tombe non datée près de l'église (Delor 2002, p. 742). Deux statères d'or illustrés dans la CAG de l'Yonne ont été découverts sur la commune mais ne proviennent pas du bourg (renseignement oral J.-P. Piétak). A. Lesire propose de placer au cœur du bourg de Toucy le site de *Vellaunodunum*, mentionné dans la Guerre des Gaules, sans autre argument que la libre interprétation du texte de César (Lesire 1908, p. 292-400).

2 Notice explicative de la carte géologique au 1/50000. Auxerre XXVI-20, par Cl. Mégnien (non daté)

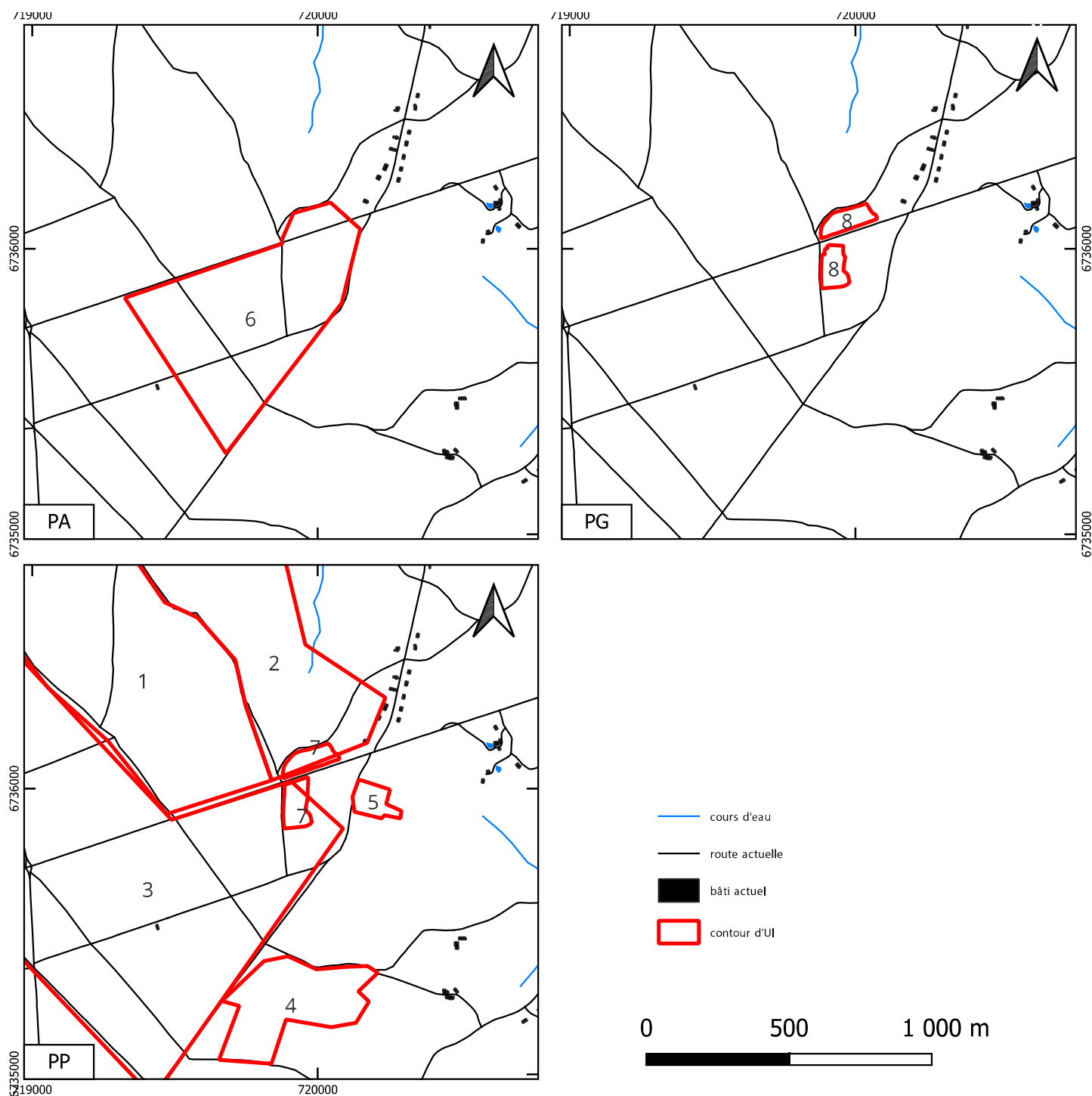


Figure n°135. Carte des Unités d'Investigations triées par types (D : diagnostic, FNP : fouille non phasée ancienne, PG : prospection géophysique, PP : prospection pédestre) (St. Venault).

Année	ID_UI	Lieu-dit	Etat du terrain actuel	Mode d'investigation	plan disponible	Sources
2007	1	Bois d'Auxerre	forêt	Prospections pédestres	oui	Piétak 2007
2007	2	Bois des Cornillats	forêt	Prospections pédestres	oui	Piétak 2007
2007	3	Bois de la plaine de Briant	forêt	Prospections pédestres	oui	Piétak 2007
2007	4	Le petit Brians	cultivé	Prospections pédestres	oui	Piétak 2007
2007	5	Les champs du Bois	forêt	Prospections pédestres	oui	Piétak 2007
2014	6	La Cour Batonnerie	cultivé	Prospections aériennes	oui	IGN
1998	7	La Cour Batonnerie	cultivé	Prospections pédestres	oui	Piétak 2000
2021	8	La Cour Batonnerie	cultivé	Prospections géophysiques	oui	Berranger 2021

Figure n°136. Liste des Unités d'Investigations

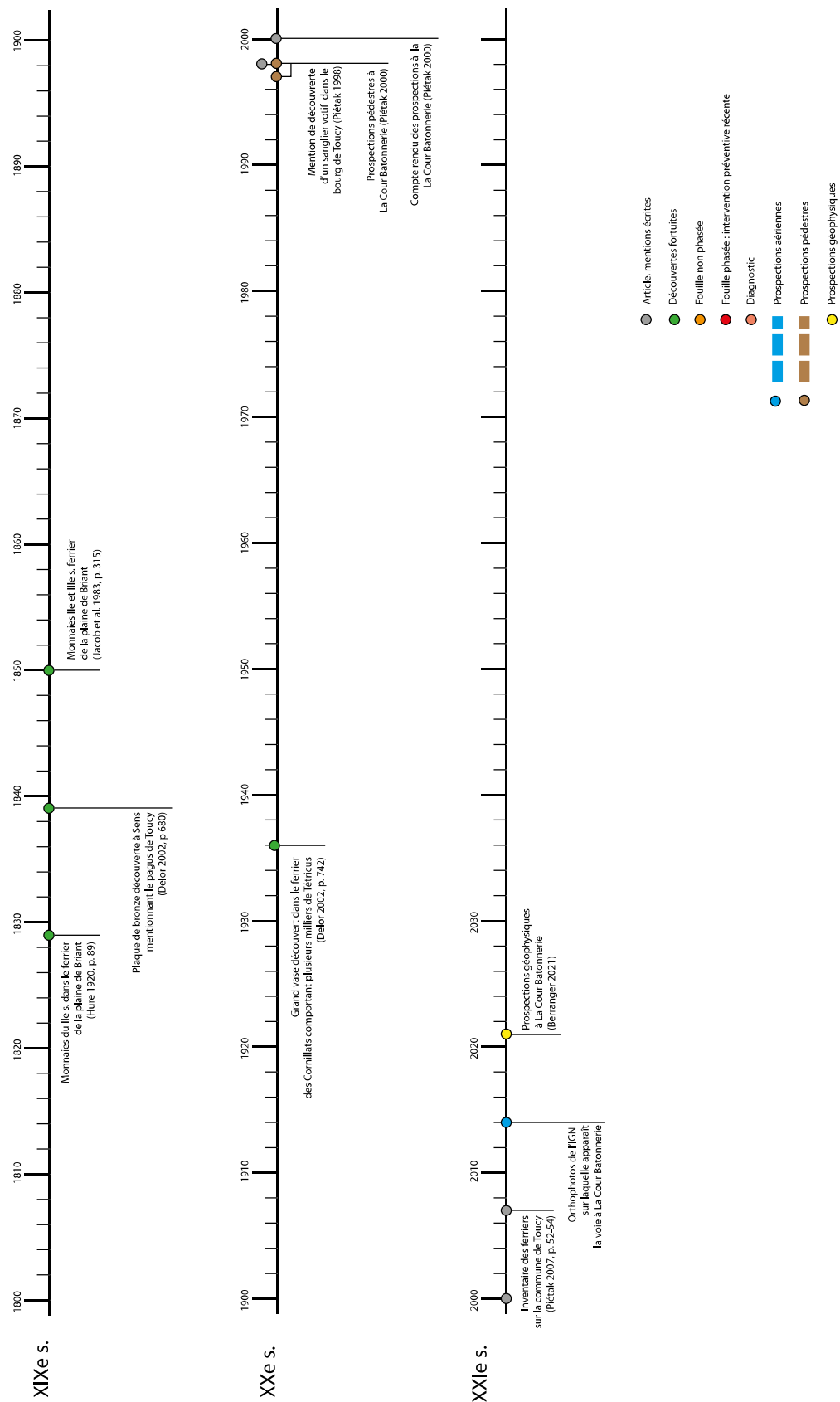


Figure n°137. Frise chronologique de l'état de la recherche sur la commune de Toucy (St. Venault).

Ils se dispersent majoritairement à l'ouest et au nord-ouest de l'habitat de La Cour Batonnerie, occupant des surfaces variant de 150 m² pour le plus petit à sept hectares pour le plus grand [UD 17]. En 1998, des observations conduites sur champs labourés au lieu-dit La Cour Batonnerie [UI 7] ont révélé des concentrations de tessons de céramique au sol interprétées comme des témoins d'un habitat d'époque romaine [UD 1] (Piétak 2000). Le site se caractérise également par le passage de deux axes viaires [UD 2 et 3], non répertoriés sur le cadastre napoléonien, mais visibles sur une orthophotographie de l'IGN de 2014 [UI 6]. Une opération de détection géophysique, menée dans le cadre du PCR « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau », est entreprise en 2021 sur une surface cumulée de 2,4 ha [UI 8], afin de mettre en évidence d'éventuels vestiges enfouis (Berranger et al. 2021, p. 49-70). Deux méthodes ont été mises en œuvre : la mesure du champ magnétique terrestre sur la totalité de l'emprise et la méthode par résistivité électrique sur une surface de 3000 m² à fort potentiel. La qualité des résultats obtenus est dans l'ensemble plutôt médiocre en raison du fort magnétisme des terrains, la nature du sol ayant notamment généré des interférences sur une grande surface dans la parcelle au nord. Les anomalies sont donc bien souvent difficiles à caractériser.

6.2.4. Organisation spatiale (fig. 138-139)

Le site, aujourd'hui traversé d'est en ouest par la route D965, s'étend sur près de trois hectares. Les données géophysiques étant peu exploitables et les zones d'occupations étant surtout appréhendées à travers les concentrations de mobilier au sol, les seules composantes véritablement structurantes du site sont les deux voies. Leur tracé, restitué d'après l'orthophoto de l'IGN, a été confirmé par les résultats géophysiques. Un des axes, que l'on qualifiera par commodité de principal [UD 2], traverse le site en écharpe, alors que le second se devine à l'ouest décrivant un arc de cercle en direction du nord-ouest [UD 3]. La voie UD 2 suit un axe rectiligne orienté NNE-SSO, le tronçon au nord de la route D965 s'incurvant légèrement vers l'est. La largeur de la bande de roulement est inégale, variant de 2,40 m à l'endroit le plus étroit à près de 6 m au plus large. Il est donc difficile de juger de la morphologie exacte de l'ouvrage en l'état, mais l'absence apparente de fossés bordiers tendrait à indiquer qu'il s'agit d'une voie de petit gabarit, les tronçons les plus larges pouvant résulter d'une dégradation ou d'un étalement des matériaux de revêtement. La voie se prolonge vers le sud-ouest sur 450 m au-delà de l'emprise du site. Le second axe de circulation, dont la largeur varie de 2,70 m à 4,5 m, suit un parcours sinueux [UD 3]. Les deux voies devaient se rencontrer en partie sud du site bien qu'aucune trace ne permette d'en attester.

Des structures se dispersent de part et d'autre de la voie principale par groupes de densité inégale. L'un d'eux, localisé au sud de l'emprise, se compose de plusieurs ensembles d'anomalies différentes. Le plus remarquable de ces ensembles correspond très probablement aux vestiges d'une structure bâtie au sud du site dont le contour reste difficile à cerner malgré la mise en œuvre des deux méthodes de détection, la lecture combinée des résultats autorisant une restitution approximative d'un quadrilatère de 29 x 24 m. Plus au nord, les rares anomalies observées sont peu pertinentes à la compréhension du site. Il s'agit d'un groupe d'anomalies maculiformes de tailles et formes variées réparties sur environ 2000 m² à l'ouest de la voie principale. Leur distribution ne semble répondre à aucun ordre apparent même si quelques alignements peuvent se deviner. Quelques anomalies du même type s'éparpillent à l'est de la voie UD 2. Aussi excepté, le très probable bâtiment repéré au sud, le reste du site ne livre aucun témoin permettant de restituer l'organisation de l'habitat de part et d'autre des voies.

ID_UD	Lieu-dit	Forme UD	UI référence	qualité localisation	Nombre de plans disponibles	LTC	LTD	HE	BE	HM A	qualité date	Nature occupation	qualité caractérisation
1	La Cour Batonnerie	Polygone	7, 8		4	1	O	O	O	1	O	1 Habitat	2
2	La Cour Batonnerie	Ligne	6, 8		4	1	NR	NR	NR	1	NR	1 Voie	3
3	La Cour Batonnerie	Ligne	6, 8		4	1	NR	NR	NR	1	NR	1 Voie	3
4	Bois d'Auxerre no1	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
5	Bois d'Auxerre no2	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
6	Bois d'Auxerre no3	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
7	Bois d'Auxerre no4	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
8	Bois d'Auxerre no5, Les Bonjours	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
9	Bois d'Auxerre no6	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
10	Bois d'Auxerre no7	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
11	Bois d'Auxerre no8	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
12	Bois d'Auxerre no9	Point		1	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
13	Bois de Briant (Les Quarante Huit Arpents)	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
14	Bois de la Réserve no1 +Plaine de Briant	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
15	Bois de la Réserve no2	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
16	Bois de la Réserve no3 +Plaine de Briant sud	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
17	Bois des Cornillats no1 (bois et champ)	Point		2	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
18	Bois des Cornillats no2	Point		2	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
19	Bois des Cornillats no3	Point		2	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
20	Bois des Racinottes	Point			4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
21	Bois du Vau	Point			4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
22	Faubourg de Narbonne (d'Orleans)	Point			4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
23	Fontaine des Fours (Fours)	Point			4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
24	La Cour Batonnerie no1	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
25	La Cour Batonnerie no2	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
26	La Cour Batonnerie no3	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
27	La Plaine de Briant no1	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
28	La Plaine de Briant no10	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
29	La Plaine de Briant no11	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
30	La Plaine de Briant no12	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
31	La Plaine de Briant no13	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
32	La Plaine de Briant no14	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
33	La Plaine de Briant no15	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
34	La Plaine de Briant no16	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
35	La Plaine de Briant no17	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
36	La Plaine de Briant no19	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
37	La Plaine de Briant no2	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
38	La Plaine de Briant no20	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
39	La Plaine de Briant no21	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
40	La Plaine de Briant no22	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
41	La Plaine de Briant no8	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
42	La Plaine de Briant no9	Point		3	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
43	Le Buisson de la Chvre	Point		4	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
44	Le Petit Briants	Point		4	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
45	Les Champs du Bois	Point		5	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
46	Les Champs du Ferrier (Les Cornillats)	Point		2	4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3
47	Les Ferriers	Point			4	1	NR	NR	1	1	NR	1 Ferrier	3

Figure n°138. Liste des Unités de Découvertes

6.2.5. Nature de l'occupation et pertinence des éléments de caractérisation

Les éléments morphologiques de caractérisation du site sont quasi absents. Les seuls vestiges assimilables à un bâtiment au sud s'organisent selon un plan qui ne s'inscrit pas dans les modèles connus des habitations antiques dans la région, notamment ceux des maisons longues. Aussi aucune interprétation fonctionnelle précise ne peut-elle être avancée. Par conséquent, il faut s'en remettre au mobilier pour essayer de percevoir la nature de l'occupation avec toutes les réserves qu'implique le mode de collecte par prospections pédestre. 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 et l'amplitude chronologique conséquente invitent 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). (S. Mouton-Venault dans Berranger 2019, p. 131-138).

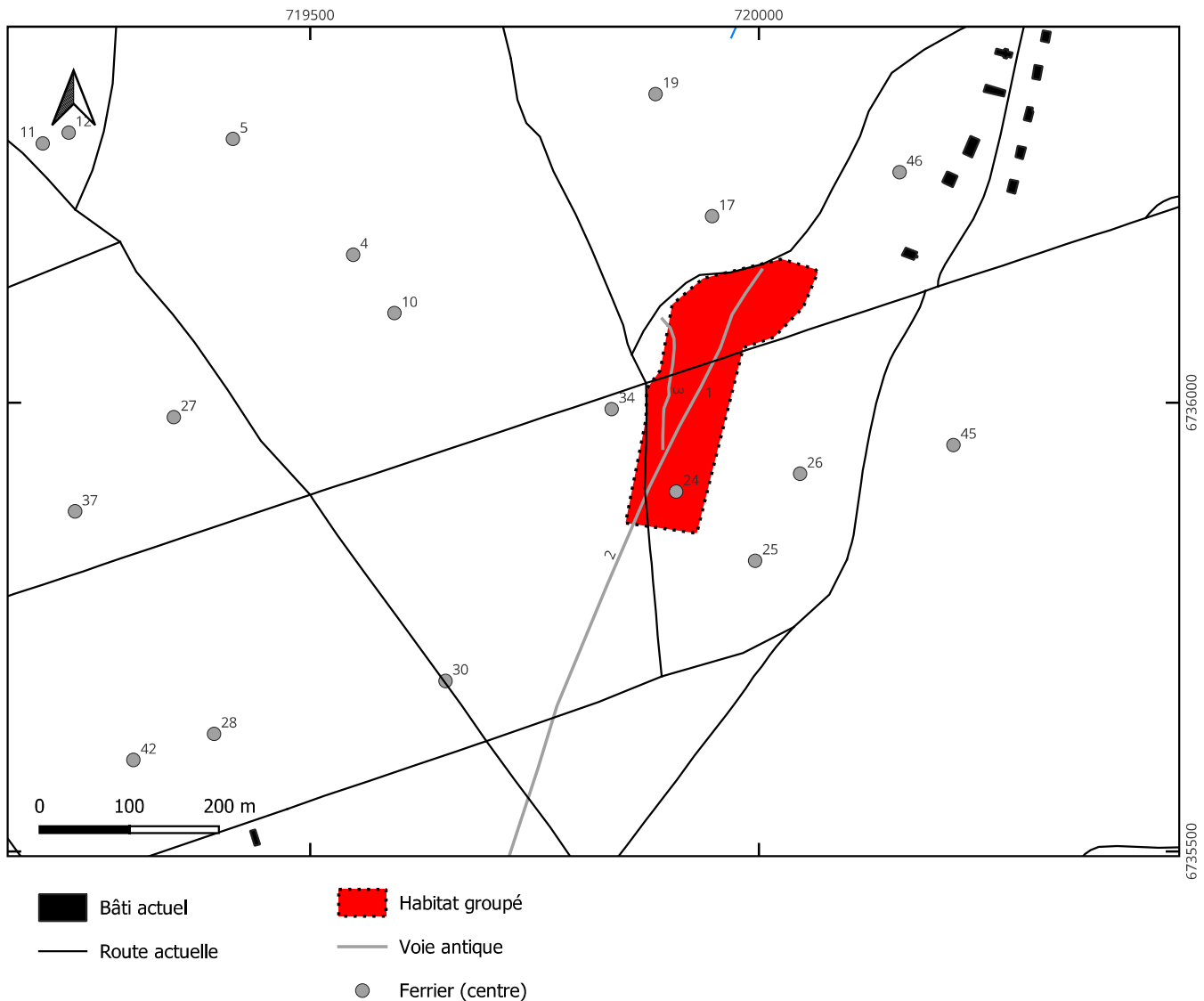


Figure n°139. Carte des Unités de Découverte pour le Bas Empire (St. Venault).

6.2.6. Chronologie et critères de datation

La chronologie de l'occupation repose exclusivement sur l'étude du mobilier céramique, réalisée par S. Mouton-Venault en 2019, dans le cadre des travaux du PCR « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau » (*op. cit.*). Le mobilier rend compte principalement d'une occupation aux IIe, IIIe et IVe 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 IIe au plus tard, mais couvrent surtout les IIIe s. et IVe 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 IVe s voire la première

moitié du Ve 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 (S. Mouton-Venault dans Berranger et *al.* 2019, p. 131-138).

6.2.7. Synthèse sur la dynamique d'occupation

En l'état des connaissances, il est impossible d'observer d'évolutions dans la manière selon laquelle s'organise l'habitat. Si une remarque doit être faite, on notera une occupation chronologiquement limitée, centrée sur le Bas-Empire, alors que les ferriers environnants notamment le plus grand, situé juste au nord au lieu-dit le Bois des Cornillats [UD 17], supposent une utilisation dans le temps long.

6.2.8. Perspectives de recherche

Excepté la mise en œuvre de prospections pédestres rationnelles et statistiquement exploitables (découpage carroyé de l'espace puis ramassage et comptage de tous les matériaux), suivi d'une étude de la totalité des mobiliers récoltés, les perspectives de recherches sont limitées pour ce site. En effet, compte tenu de la nature du sol, il serait abusif de vouloir poursuivre les investigations géophysiques. Par ailleurs, le terrain étant cultivé, l'opportunité de pouvoir pratiquer des sondages de vérification apparaît mince.

6.3. Synthèse sur le mobilier céramique provenant des prospections et sondages de Puisaye

Sylvie Mouton-Venault

L'étude du mobilier céramique des différentes campagnes de fouilles et de prospections a permis de conforter la chronologie d'exploitation des ferriers durant l'antiquité romaine et de poser la question des lieux de vie des ouvriers et/ou exploitants. La faiblesse des lots recueillis induit de nombreux biais et permet principalement de souligner quelques traits particuliers de ces contextes, sans pouvoir analyser plus avant les assemblages fonctionnels. L'étude s'appuie sur les faciès définis à Entrains-sur-Nohain (Venault dir. 2023) afin de caractériser les céramiques du secteur et permet aussi d'en présenter les grandes lignes, déclinés au travers d'horizons qui scandent les II^e et III^e s., présentés en annexe 1. Ce bilan permet d'en présenter les caractères saillants en intégrant la dernière campagne en se concentrant sur les résultats des fouilles/sondages réalisés sur les ferriers de Montholon et de Dracy dans une moindre mesure. Les données issues des prospections à Toucy sont rappelées en conclusion du bilan, notamment parce qu'elles éclairent l'occupation d'un secteur plus large, correspondant à une zone d'habitat occupée tout au long de l'Antiquité, jusqu'à la fin du IV^e s. La période d'activité des ferriers sous l'Antiquité couvre les trois premiers siècles mais semble plus intense entre les années 170 et 250 ap. J-C, au regard de la quantité de mobilier découvert, notamment dans et aux environs de l'amas 1 du ferrier de la zone-atelier de Montholon.

6.3.1. Le mobilier de la campagne 2023 : La zone-atelier de Montholon (Aillant-sur-Tholon, Montholon, le Bois des Ferriers)

La campagne 2023 a livré une petite quantité de mobilier céramique (124 NR, 36 NMIp), principalement issu des remblais du sondage réalisé sur le pourtour de l'amas 1 (sondage 7) qui concentrent plus de 56 % du nombre de fragments récoltés. Il s'agit donc d'un mobilier hors stratigraphie qui nous renseigne sur la période d'activité du ferrier, de manière globale. L'analyse stratigraphique des sondages ne permet guère de scander la vie du ferrier : le mobilier est rare au sein des US et surtout représenté par des fragments de panses qui ne permettent qu'une identification des catégories et non des types. Les comptages réalisés en NMI (nombre de bords et fonds) sont à ce titre édifiants : un seul NMI pour l'ensemble des US (US 608).

Les marqueurs fins confirment un ancrage chronologique centré sur une période comprise entre le dernier quart du II^e s. et le III^e s. Les marqueurs les plus larges permettent d'élargir la chronologie à la fin du I^{er} s. ap. J-C. Les indices d'une fréquentation dans un IV^e s. avancé manquent.

Le mobilier du Bois des Ferrier, grand amas 1.

Le fond de coupelle estampillée [PAT...] provient d'une US remaniée au XIX^e s. [608] qui se trouve directement sur l'US [603]. Les deux US livrent des marqueurs des années 150/160 à 220 ap. J-C. Le fond estampillé [PAT...] peut renvoyer à *Paternus*. Il s'agit d'un patronyme utilisé par plusieurs générations de potiers de Lezoux principalement au cours de la première moitié du II^e s. Ici la forme est produite jusqu'à la phase 7 de Lezoux, au cours de la seconde moitié du II^e s.

Sd	US		Chrono	NR	NMI	NMIp
5	505	Absence d'éléments de formes. Panse de forme ouverte (Gp Esn 5)	IIB-III	1	-	1
	Total sondage 5			1		1
6	601	Absence d'éléments de formes. Une panse de pot en commune sombre	Id-III	1		
	603	Une panse de Drag. 38 (Est de la Gaule) ; une panse de commune claire	IIB-IIIa	2		1
	608	Un fond de coupelle en sigillée (Lez. 29 ?) phase 7. Estampillée au centre : [PAT...] soit PATERNUS.	IIB-IIIa	1	1	1
	Total sondage 6			4	1	1
8	HS	Absence d'éléments de formes. Une panse en commune sombre et trois panses de cruche peinte (fond blanc et lignes rouges horizontales)	-	4	-	2
	Total sondage 8			4		2
				14	1	5

Figure n°140. Montholon, le mobilier de l'amas 1, sondages 5, 6 et 8.

US		Chrono	NR	NMI	NMIp
701/702/703	Absence d'éléments de formes. Deux panses de commune claire (cruche de grande contenance)	I-III	2	-	1
703	Absence d'éléments de formes.	-	1	-	-
704/703	Un bord de pot (ESN var P6), un bord de jatte ESN Ja3. Une panse d'amphore bétique (Dr. 7/11 ?) et une anse de Dr. 20 (chrono large entre la fin du Ier et le milieu du III ^e , mais impossible de préciser la variante donc chrono large entre Id-IIIa – variantes Dr 20d à f).	Id-IIIa	5	3	4
704	Absence d'éléments de formes. Deux panses de commune claire ; deux panses de commune sombre ; une panse d'amphore indéterminée. Un fragment de TCA (<i>Tubuli</i> ?)	-	5	-	-
706	Absence d'éléments de formes. Trois panses de formes fermées indéterminées (deux en commune claire et une en commune sombre)	-	3	-	-
709	Absence d'éléments de formes. Six panses et un fond de pot en commune sombre (Gp Esn 6) et une panse de verre à vitre bleu (cuivre)	-	6	1	1
HS couche inf	Bord de plat ESN PL2 ; panse de pot en commune sombre	IIB-IIIa	2	1	1
Hors strati déblais	Un bord de pot ESN P20 ; deux bords de pots ESN P6 ; un bord de marmite lèvre quadrangulaire épaisse ; deux bords de jattes ESN Ja3 ; neuf éléments de forme d'une assiette ESN PI1/3 ; deux panses d'un goulot de cruche ; un bord de gobelet du type JVV 6.02 ; deux panses de CRA de Jaulges et Villiers-Vineux ; une panse de Drag. 45 de Jaulges et Villiers-Vineux (TPQ 250) ; une panse de cruche peinte (décor de bandes rouges horizontales) ; un bord d'amphore régionale lèvre en poulie du type ESN AM2 mais en pâte claire calcaire ; quatre panses d'amphores régionales ; dix-neuf panses de commune claire ; vingt-sept panses de commune sombre ; un bord de jatte ESN Ja6 (220-310) délivre un TPQ identique au Drag 45 de JVV au-delà du 1 ^{er} tiers du III ^e s et jusqu'au IV ^e s.	IId-IV	70	8	17
			94	13	24

Figure n°141. Montholon, le mobilier de l'amas 1, sondage 7

Amas 89.003.011

Sd	US		Chrono	NR	NMI	NMIp
1	101	Absence d'éléments de formes. deux panses de commune claire (cruche)	Romain ou médiéval	2	-	1
	Total sondage 1			2	-	1
2	202	Absence d'éléments de formes. Panses d'une cruche de grande contenance	Romain ou médiéval	5	-	1
	Total sondage 2			5	-	1
				7		2

Figure n°142. Fig. Montholon, le mobilier de l'amas 11, sondages 1 et 2.

Site 25

Sd	US		Chrono	NR	NMI	NMIp
1	HS	Absence d'éléments de formes. Panses amphore régionale	-	2	-	1
	104	Absence d'éléments de formes. Deux panses de pot en commune sombre		2	-	1
	106	Absence d'éléments de formes. Une panse de gobelet en CRA	IId-III	1	-	1
	108	Absence d'éléments de formes. Une panse de cruche	-	1	-	1
	110	Un fragment de verre fondu. Une panse de coupe en sigillée du type Drag. 38 et deux panses en commune sombre et claire	IIB-III A	3	-	1
	Total sondage 1			9	-	5

Figure n°143. Montholon, Le mobilier de l'amas 25, sondage 1.

6.3.2. Bilan des études : quelques traits remarquables du mobilier céramique dans ces zones de production du fer brut

La zone-atelier de Montholon.

Le mobilier céramique découvert sur la zone-atelier de Montholon se caractérise par un corpus assez faible et des données variables qui sont le résultat de campagnes distinctes (sondages, fouilles ou prospections sur plusieurs années), qui imposent des méthodes de comptage adaptées (par exemple les prospections à Tannerre sont le fruit d'une sélection de formes sur plusieurs années).

Année	Zone-atelier	Type d'amas	N° site	NR	NMI	NMIp
2019	Montholon bois des ferriers	Grand amas	1, 25, 20, 21	500	26	-
2023	Montholon bois des ferriers	Grand amas	1, 20, 25	117	14	34
2022	Dracy, Ferrier Guillou	Grand amas	1	89	11	26
				706	51	60

Année	Zones d'habitats /agglomérations secondaires	Type d'opération	NR	NMI	NMIp
2021	Toucy, les cornillats, la cour de la batonnerie et « bois des racinotte	Prospections (ramassage éléments de formes)	-	-	-
2021	Tannerre	Prospections (ramassage éléments de formes)	-	110	-

Figure n°144. Rappel des données quantifiées du mobilier céramique découvert lors des différentes opérations (fouilles ou prospections).

Si l'on ne considère que les secteurs des ferriers de Montholon, la quantité de mobilier recueillie reflète néanmoins quelques tendances du point de vue de la chronologie de l'exploitation de ces ferriers. Il permet aussi de s'interroger sur l'existence d'habitats à proximité.

- Les données chronologiques

L'essentiel de ces données chronologiques sont délivrées par le sondage numérotée site 21 située à proximité d'une concentration de grands amas, non loin de l'amas 1, (Berranger 2018 ; infra p. 121) et le sondage 7 réalisé cette année dans l'amas 1 : la période qui livre le plus de mobilier est comprise entre le milieu du II^e s et le III^e s. mais les indices d'occupation permettent de balayer une occupation plus longue, comprise entre le I^{er} s. et le IV^e s.

La chronologie d'occupation

Le mobilier recueilli s'inscrit dans une fourchette chronologique cohérente, comprise entre le milieu du II^e s. et le III^e s. En revanche, il ne semble pas possible de distinguer d'éventuelles phases d'occupation, l'ensemble du mobilier, toutes US confondues (et ramassage hors stratigraphie), étant extrêmement homogène. En outre, plus de 80 % du mobilier recueilli est concentré dans l'US 101 (amas 21) et le mobilier des remblais (amas 1, sd 7), dont l'essentiel des marqueurs chronologiques. Une période d'exploitation particulièrement intense entre la seconde moitié du II^e s. et le III^e s.

La fouille de cette année permet d'élargir à la seconde moitié du III^e voire le début du IV^e s. l'activité du ferrier grâce à la présence du type JVV 7.01 du gobelet Nied. 33 ou encore le mortier de type Drag.45 de Jaulges et Villiers-Vineux. Toutefois, la période qui génère le plus de mobilier est comprise entre le dernier tiers du II^e s. et le milieu du III^e s. et correspond aux horizons chronologiques des périodes 5b et 6 définis à Entrains-sur-Nohain, au cours desquels les forges installées dans l'agglomération laissent la place à d'autres activités commerciales. Les limites de cette proposition s'accordent avec les marqueurs fins reconnus : ainsi, au sein des sigillées, ce sont les productions du Centre Gaule qui dominent, et plus précisément celles des groupes Lezoux 5 et 6, dont la production est respectivement datée des années 110 à 150 et 150/160. Les types attestés (coupelles Drag.33, Lez.042—ci-contre) sont ceux qui caractérisent les ensembles de la seconde moitié du II^e s et de la première moitié du III^e s. à Entrains-sur-Nohain (Tisserand 2012, Vincent 2014 et Venault à paraître) mais aussi en île-de-France (Séguier, Delage 2009). Quelques éléments permettraient de préciser encore la chronologie d'occupation : ainsi, la présence des gobelets tulipiformes à lèvres en corniche du Centre Gaule et de Jaulges et Villiers-Vineux (type JVV 6.02) tend à privilégier une fourchette plus concise, bornée au dernier quart du II^e s. comme limite plancher. On note par ailleurs la présence de deux exemplaires coupelles de type Lez.042 dont l'un à décor fleurette centrale de la phase 7 de Lezoux (fig. 145, n°1) livre un *Terminus Post Quem* autour des années 160/170 ap. J-C, l'autre coupelle correspondant à une production de la phase 6.

Il s'agit des marmites (fig. 145, n°2) de type Bassée 403 et 404 (Séguier, Delage 2009, p. 506) et des gobelets de type Bassée 202 ou ESN. Go1 et Go2 (fig. 145, n°6 et 7), attestés dans un groupe de pâte défini pour le secteur d'Entrains-sur-Nohain comme le groupe ESN. Gpe 5 (Chambon et al. 2014), mais aussi du pot de type ESN. P12 (fig. 145, n°8).

Seuls quelques rares éléments semblent apparaître seulement à partir du III^e et permettent donc d'élargir la fourchette d'occupation à la première moitié du III^e s : il s'agit de la cruche (fig. 145, n°11), variante du type Bassée 326 (Séguier, Delage 2009, p. 505) et des pots (fig. 145, n°9), correspondants aux types var ESN. P6 ou Bassée 209 (Séguier, Delage 2009, p. 505). Par

ailleurs, on note la présence d'une assiette de type ESN. PL2 et d'une jatte de type ESN. Ja3 ou Ja4 (le fragment de carène ne permet pas de distinguer le type, en l'absence de bord), qui sont fréquentes dans les contextes d'Entrains-sur-Nohain pour la période 6, ancrée sur la première moitié du III^e s.

Ainsi, l'ensemble des marqueurs fins mais aussi le répertoire des communes régionales invitent à privilégier une fourchette resserrée, ancrée sur le dernier ¼ du II^e s. et la première moitié du III^e s. au plus tard.

La question des lieux de vie à proximité des lieux d'extraction du minerai de fer : quels indices ?

La question de la présence de populations qui vivent ou non sur place se pose au regard de certains traits qui émergent de l'étude du mobilier céramique mais aussi au travers de la découverte en 2023 d'un fragment de verre à vitre (Fig. 146).



Figure n°146. Fragment de verre à vitre – US 709 (S. Mouton-Venault)

Ce fragment de vitre est fabriqué selon des choix techniques qui caractérisent les vitrages du Haut Empire jusqu'au III^e s. : de couleur vert-bleuté, les vitres sont coulées/étirées et non en verre soufflé (Foy, Fontaine 2008, p. 408). Trois exemples de vitres entières particulièrement bien conservées ont été retrouvés dans l'agglomération de Compièrre-Champallement (Foy, Fontaine 2008, p. 411-412) : de couleur identique à ce fragment, ils témoignent de l'utilisation des vitres dans les architectures des agglomérations secondaires de Gaule Interne, dans un secteur proche de la Puisaye. Toutefois ces attestations restent ponctuelles, même sous la forme de fragments (d'autant plus rares que ces fragments sont surtout signalés dans les inventaires mais peu exploités dans le corpus commenté des études). Il semble admis au regard des textes que l'usage des vitres concerne en particulier des habitations cossues ou des bâtiments publics (Foy, Fontaine 2008, p. 415-417). Toutefois, l'usage des vitres en verre ou en pierre spéculaire semble généralisé au Haut Empire et s'il est difficile de faire de cette généralisation une réalité archéologique, cela tient aussi au recyclage de ce matériau. Il est donc difficile d'interpréter ce fragment comme la marque d'une habitation cossue mais il pointe la présence d'un habitat à proximité. S'il on corrèle cet élément au fragment tubili d'hypocauste découvert dans l'US 704, la présence d'un habitat confortable est néanmoins une hypothèse à retenir.

- Quelques remarques sur l'assemblage ...reflet d'un habitat domestique ?

L'ensemble US 101 du site 21 (Berranger 2018) constitue l'élément le plus révélateur de la présence de lieux de vie à proximité du lieu d'extraction du minerai : il a livré un lot modeste

(194 NR, 26 NMI) mais qui rend compte d'une occupation domestique. On remarque la présence de récipients destinés à la table qui en témoigne (Coupelles de type Lez. 042, Drag. 33) mais aussi de ceux liés à la préparation des mets (mortiers) et à leur cuisson (Pots et marmites). La vaisselle à feu (cuisson des mets) est par ailleurs attestée par la présence de panses appartenant aux groupes techniques de la fin du II^e s. (Mouton-Venault et al. 2015) dans le secteur. On note par ailleurs la présence de gobelets à boire et des cruches, qui viennent compléter le service de la table par celui des boissons liquides, complétant ainsi les formes fonctionnelles attendues au sein d'un contexte domestique. Le mobilier découvert en 2023 vient compléter ces informations et les confirmer.

Si les lots, trop faibles quantitativement, ne permettent pas de proposer une analyse de l'assemblage fonctionnel, on soulignera malgré quelques points qui permettent de s'interroger sur une éventuelle particularité de l'assemblage :

- L'absence de la jatte de type Drag. 37, forme phare du répertoire des sigillées aux II^e et III^e est particulièrement notable¹. Elle est destinée à la préparation des mets et/ou au service sur la table, de mets, partagés collectivement. Ce constat prend toute son importance à l'aune de l'absence de toute autre forme destinée à un usage collectif, à l'exclusion d'un seul pot (fig. 145, n°8).

- La présence de modules « individuels » : cette remarque s'ajoute à la première, car si l'absence de formes de service collectives est criante, a contrario, la présence de petits modules (n°9) individuels est un élément à souligner. Ces modules sont récurrents qu'il s'agisse des marmites ou des pots (en moyenne de 10 à 14 cm de diamètre à l'ouverture) ou de la vaisselle de table (les coupelles pouvant participer de la présentation des sauces comme de la consommation individuelle). Cette remarque est d'autant moins anodine qu'à plusieurs reprises, des contextes d'ateliers de métallurgie du fer ont livré des assemblages caractérisés par la présence conjointe des marmites de modules individuels, à celle de formes liées au service des boissons. Ce tandem gamelle individuelle-gobelet à boire est attesté dans les niveaux de travail des forges d'Entrains-sur-Nohain (Venault et al., à paraître) et d'Autun (Quenton 2018 ; Venault dir. 2023).

- La cruche (fig. 145, n°10) relève aussi d'une consommation individuelle puisque sa contenance n'outrepasse pas 40 cl.

- Enfin, on notera la présence d'une cruche de grande taille, liée au stockage de l'eau plus qu'à son service.

D'une manière générale, les formes liées à la préparation des mets sont peu nombreuses et illustrées surtout par la présence de mortiers à la râpe très usée. L'utilisation de ces mortiers pose aussi question : leur présence est récurrente sur les sites liés à la métallurgie comme à Entrains-sur-Nohain ou à Autun (Alix 2022), au point que leur utilisation au sein de la forge, interroge. On voit cependant difficilement pour quel usage ? Broyage ? Trempage ? La question reste ouverte. Cette dernière rejoint celle de la présence de bassine : il s'agit d'une forme de très grand module, stable et lourde. Cette forme, quasi absente des contextes d'habitat est parfois identifiée en production, à Autun, principalement (Lycée Militaire, Genetoye...) et utilisée en plusieurs exemplaires à Chantenay-Saint-Imbert (Guérin 2019) (Annexe 3). Sa fonction questionne, mais le postulat d'un usage lié à une activité artisanale est envisageable, peut être liée au trempage ou au refroidissement. A défaut d'en comprendre l'usage, il apparaît que mortier et la bassine sont des formes à pister sur les sites liés au travail métallurgique, afin peut être d'en saisir leur utilisation.

En guise de conclusion, on retiendra que le mobilier céramique de l'amas 1 et de la zone 21 rend

¹ Un seul tesson sur les 500 peut être éventuellement rattaché à cette forme, avec des réserves sur son l'identification qui la rende incertaine.

compte d'une occupation principalement circonscrite aux années 175 à 250 ap. J-C, qui trahit des aspects domestiques (consommation des mets et des boissons), mais aussi des particularités. A ce titre, l'association gamelles-gobelets à boire, ou celle plus générale, de modules de consommation individuels et de formes fonctionnelles liées au service ou au stockage de l'eau apparaît comme un trait caractéristique des forges (Autun, Entrains-sur-Nohain) et peut-être plus généralement des lieux où travaillent et/ou vivent les ouvriers métallurgistes. Ces observations constituent toutefois plus des pistes de travail qu'une véritable conclusion, en l'attente de lots plus conséquents. La découverte de verre à vitre en 2023 permet de s'interroger sur la présence d'un habitat doté d'un confort certain. Il est difficile d'apprécier la fréquence de l'utilisation du verre à vitres dans les constructions, puisque ce matériau peut être recyclé. Il a été longtemps considéré comme principalement utilisé dans l'architecture des balnéaires. La comparaison avec les vitres découvertes dans l'agglomération de Compièrre-Champallement d'attester d'une pratique peut-être moins limitée dans nos régions.

Dracy « Ferrier Guillou 1 »

Le sondage réalisé dans ce ferrier n'a livré que 89 fragments, permettant un calcul de 26 NMIp² soit un lot trop peu conséquent pour constituer la base d'une réflexion sur la nature de l'occupation comme dans le cas des ferriers de Montholon. En revanche, les indices chronologiques attestent d'une exploitation du ferrier durant les trois premiers siècles de notre ère.

L'US 115 confirme le fonctionnement de ces ateliers dès la première moitié du 1^{er} s. de notre ère.

L'US 145 est en lien avec les derniers niveaux conservés qui témoignent d'une activité au cours du III^e s.

Le mobilier des US 132-138, des déblais et du décapage confirme l'activité de ces ateliers tout au long des II^e et III^e s.

L'étude du mobilier confirme que ces ateliers sont actifs dès le début du 1^{er} s. et que cette activité est continue durant les II^e et III^e s. On note l'absence de mobilier caractéristique du IV^e s., dans la succession stratigraphique comme en surface du ferrier. Toutefois, en ce qui concerne les couches superficielles, il est possible que l'information soit moins fiable et/ou ait disparu. Le marqueur le plus récent est un gobelet de type Nied.33 de Jaulges et Villiers-Vineux, dont la variante est antérieure au type 7.01 qui constitue une évolution de la forme (col haut étroit et lèvre simple verticale) au cours du IV^e. Il s'agit ici de la variante du III^e, voire début IV^e, à lèvre marquée par un petit bourrelet (le bord est trop incomplet pour pouvoir déterminer la hauteur du col, autre élément discriminant permettant de préciser l'évolution de la forme entre la fin du II^e et le milieu du III^e s.).

L'US 115 correspond à un niveau de sol d'atelier : elle livre un bord d'assiette en Terra Nigra de type Menez 22, qui constitue un bon marqueur de la première moitié du 1^{er} s., en particulier au cours de la période augusto-tibérienne C'est aussi à cette période que se rattache le gobelet en fine orangée (une panse). En revanche, le pot ESN. P3 correspond à un type en usage à Entrains-sur-Nohain, à partir des années 70 et durant le II^e s. dans les niveaux d'ateliers du 16, route d'Etai (Venaux, Nouvel et al. 2015 ; Vincent 2014).

2 Ce NMI est calculé sur les éléments de forme et pondéré sur les catégories, le cas échéant. Toutefois, nous avons choisi de ne pas appliquer de pondération pour les lots issus du décapage et des niveaux de déblais inférieurs et supérieurs ainsi que pour les panses des apports de remblais 116/119, afin d'éviter une sur-représentation des pots en commune sombre, attestés uniquement par des panses. Ceci explique le choix d'un double affichage (NMIp/NMI).

US		Chrono	NR	NMI	NMIp
Décapage	Un bord de Drag. 37 (TPQ 100) phase 5 de Lezoux ; un bord de Drag. 37 phase 7 de Lezoux (TPQ 160). Une panse en commune sombre. Un bord de Drag 37 , phase 6 de Lezoux (TPQ 150)	Ila et IIB-III A	4	3	3
Débais – niv médian	Absence d'éléments de formes à l'exception d'un bord de jatte B.505 en commune sombre et une panse de Curle 21 (panses amphores rég. et cruches ; panses de pots et gobelets en commune sombre ; une panse de gobelet (CRA)	II TPQ 150	21	1	6
Débais – niv inférieur	Une panse de Drag. 37 (TPQ 150) phase 6 de Lezoux. Deux panses de pot en commune sombre, une panse de cruche	TPQ 150	4	-	2
112	Absence d'éléments de formes. Deux panses de pot en commune sombre	-	2	-	-
115	Une assiette (3NR) de type Menez 22 en <i>Terra Nigra</i> (1-40 ap. J-C) ; une panse de gobelet en fine orangée (1-60) ; deux bords d'un pot ESN. P3 (TPQ 70) en commune sombre à surface brute fumigée, à lèvre éversée ; un fond (2NR) de pot en commune sombre grise à surface brute ; un pot ou gobelet (panses et fond 7NR) en commune sombre fumigée lissée ; panses en commune sombre (17 NR) ; deux panses de cruche en commune claire. (un micro fragment de verre brûlé ? bullé et opaque.	Ia-c	34	4	6
116	Absence d'éléments de formes. 9 panses d'une forme fermée en commune claire ; un fond de marmite (caramels de cuisson) ; panses de commune claire (2NR) et commune sombre (4NR)	-	16	-	4
117	Absence d'éléments de formes. Deux panses de pot en commune sombre (1 ^{er})	Ier	2	-	1
119	Absence d'éléments de formes. Une panse de pot en commune sombre (cf 116)	-	1	-	-
132-138	Très peu de marqueurs. Un bord de pot ESN. P8 (90-150) ; une panse de pot en commune sombre ; un pied de marmite en commune sombre	Id-IIA	3	2	2
145	Un bord de gobelet Nied. 33 de Jaulges et Villiers-Vineux (Variante du III ^e) à lèvre épaissie (TPQ 210) ; une panse de gobelet type 6 de Jaulges et Villiers-Vineux (variante impossible à déterminer) ; une panse en commune sombre.	IIIe (TPQ vers 210)	3	1	2
Total			89	11	26

Figure n°147. Tableau récapitulatif des données issues de l'étude du mobilier céramique.

En résumé, ce niveau de sol d'atelier témoigne d'une fourchette chronologique large, couvrant le Ier siècle qui dans son acceptation la plus stricte, pourrait être limitée entre 10 et 70/80 ap. J-C. Cette durée, assez longue, peut résulter du mode de constitution du dépôt, argument qui peut être considéré comme un indicateur de durée d'utilisation de ce sol. En effet, dans ce cas de figure, la présence de tessons plus anciens que le TPQ des années 70 ne relève pas automatiquement d'un phénomène de résidualité. Ainsi, dans les contextes de forges à Entrains-sur-Nohain, les sols d'ateliers livrent des objets « perdus » lors de l'utilisation de ces espaces. L'étude du matériel issu de cette succession de sols montre que le mobilier qui les constitue présente un faciès atypique (Venault dir. 2023), où se mêlent des marqueurs plus ou moins anciens, présentant un écart type d'environ une cinquantaine d'années. Ce phénomène reste difficile à interpréter (cette différence pourrait partiellement s'expliquer par un ré-emploi de vases réaffectés à un autre usage ?) mais il reste avéré que le mode de formation de ces lots relève de vases perdus ponctuellement au grès de l'utilisation de ces sols (vases écrasés en place, tessons conséquents etc...). Le mobilier de l'US 115, évoque le faciès de mobilier des sols de forges d'Entrains-sur-Nohain. Néanmoins, la faiblesse de l'échantillon invite à rester prudent dans l'interprétation de cette US et cette remarque sera conservée comme hypothèse de travail, à consolider ultérieurement.

Enfin, on notera la présence de vaisselle de service tout au long de la période d'activité des ateliers successifs (Assiette en Terra Nigra, jattes Drag. 37 en Sigillée ; mortier de service du type Curle 21 en sigillée) ou de vaisselle de consommation individuelle (gobelets de Jaulges). Ce type de vaisselle, d'un point de vue fonctionnel, constitue plutôt un attendu au sein d'espaces de vie plutôt que d'espaces de travail. Si la faiblesse de l'échantillon, là encore, constitue un frein sérieux interdisant toute forme d'extrapolation, cette remarque peut être conservée à titre d'hypothèse de travail, quant à la question des lieux de vie des artisans exploitant le minerai de fer.

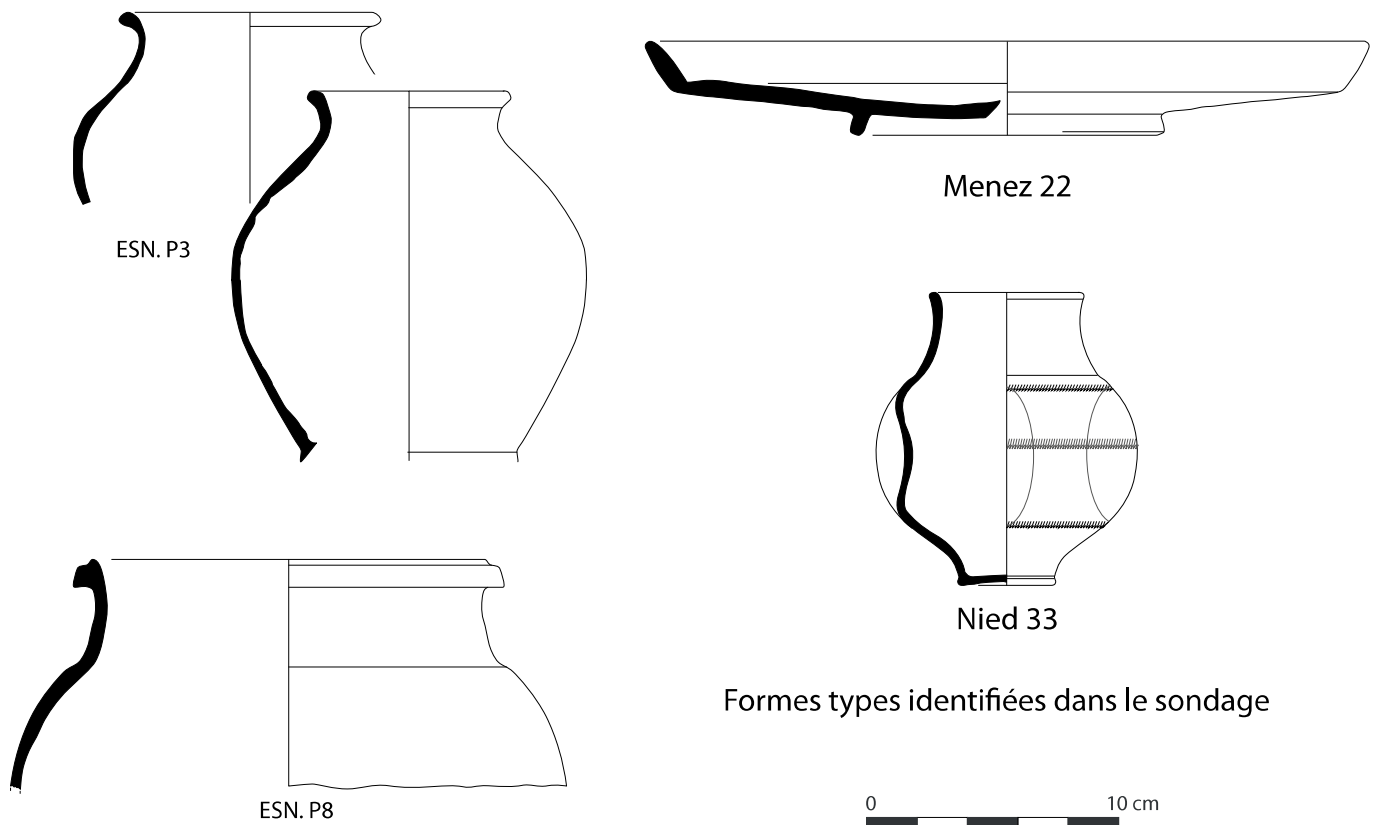


Figure n°148. Aperçu des formes types découvertes dans le sondage.

À l'issue de ces campagnes, l'étude du mobilier céramique permet de dégager quelques tendances : la première concerne la quantité de mobilier céramique : elle reste très modeste etc'est la multiplication des opérations qui permet d'asseoir la chronologie, à mesure que l'échantillonnage s'étoffe. Les arguments chronologiques mettent en avant une période d'activité intense entre la fin du II^e et le milieu du III^e s. qui pourrait apparaître comme le floruit de l'exploitation des ferriers et un démarrage dès le 1^{er} s. plus ou moins facile à cerner suivant les secteurs étudiés. En revanche, les indices d'une activité au IV^e s. et notamment à partir des années 310/320 sont absents des zones-ateliers et il faut exploiter le mobilier découvert en prospection à Toucy, les cornillats pour les voir émerger (Berranger dir. 2019). Ce ramassage livre une série de molettes (fig. 149) inédites pour ce secteur de la Puisaye qui confirme la présence d'une zone habitée notamment tout au long du IV^e s. La question des lieux de vie des ouvriers et exploitants des ferriers reste posée : le mobilier céramique est caractérisé par des traits remarquables au sein d'autres espaces de travail (forges en particulier) situés dans ou à proximité d'agglomération (Entrains-sur-Nohain ou Autun) qui permettent d'évoquer au moins des repas pris sur place et plus probablement des zones habitées situées à proximité.

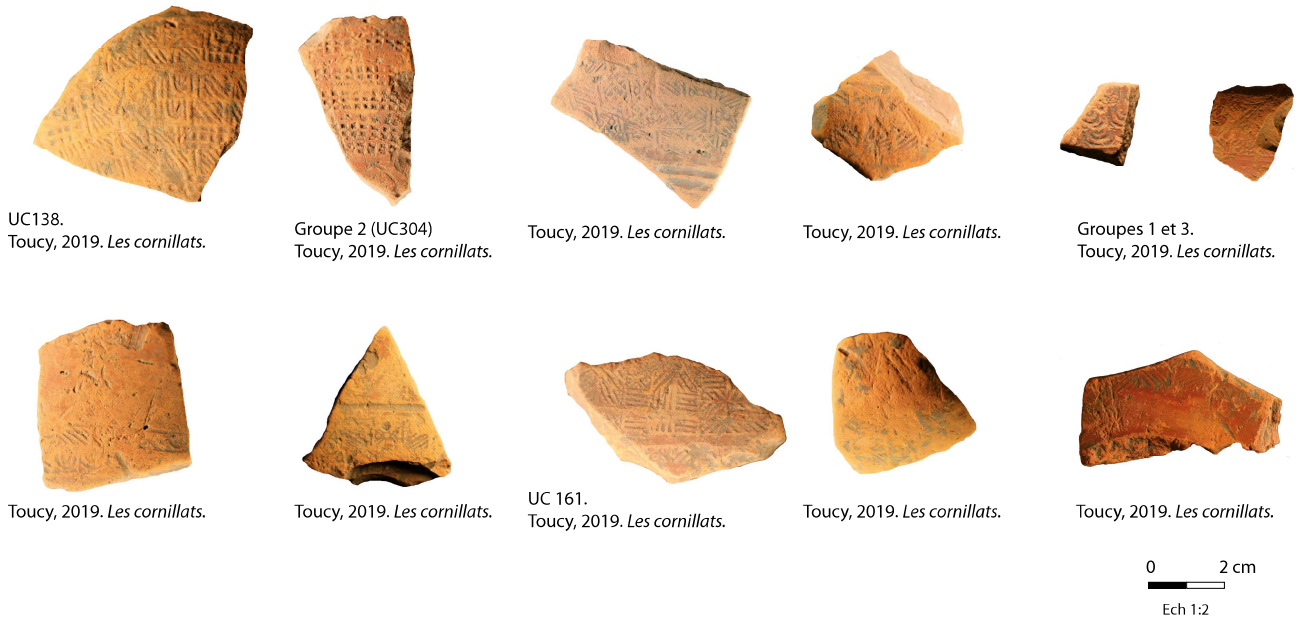


Figure n°149. Les molettes sur sigillée d'Argonne découvertes en prospection. Ech. 1/2. (S. Mouton-Venault).

7. Les travaux de terrain 2023 dans le Morvan

Données administratives, techniques et scientifiques

Localisation des opérations

Région : Bourgogne-Franche-Comté

Département : Côte d'Or (21)

Communes concernées par les sondages : Thoste (Lieu-dit : Le Bois du Champ Rouge), Champeau-en-Morvan (Lieu-dit : Le Bas de la Fiotte), Saint-Germain-de-Modéon (Lieux-dits : Le Bonjan, Gué des Beaumes, Le Gué du Piéché, La Charmée), La Roche-en-Brénil (Lieu-dit : En Lecussy).

Références cadastrales des parcelles concernées

Commune de Thoste : section OB, parcelle n° 91.

Commune de Champeau-en-Morvan : section OB, parcelle n° 215.

Commune de Saint-Germain-de-Modéon :

Lieu-dit : Le Bonjan : section OM, parcelle n° 337.

Lieu-dit : Gué des Beaumes : section OG, parcelle n° 34.

Lieu-dit : Le Gué du Piéché : section OG, parcelle n° 57.

Lieu-dit : La Charmée : section OC, parcelle n° 153.

Commune de La Roche-en-Brénil : section OP, parcelle n° 194.

Coordonnées et propriétaires des sites

Commune de Thoste : Site 21.635.002

Coordonnées RGF93 (m) : X : 793898 Y : 6705903

Propriétaire : Commune de Thoste

Commune de Champeau-en-Morvan : Site 21.139.003

Coordonnées RGF93 (m) : X 787719.8 Y : 6689351.59

Propriétaire : Emmanuel De Benoist de Gentissart

Commune de Saint-Germain-de-Modéon :

Site 21.548.007

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786143 Y : 6697853

Propriétaire : Valéry Loisier

Site 21.548.010

Coordonnées RGF93 (m) : X : 785160 Y : 6698116

Propriétaire : Claude Mazet

Site 21.548.014

Coordonnées RGF93 (m) : X : 784990 Y : 6698335

Propriétaire : SCI Forestière du Bon Rupt – Pierre-Frédéric Richard

Commune de La Roche-en-Brénil :

Site 21.525.001

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786760 Y : 6694990

Propriétaire : Joël Soilly

Site 21.525.022

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786768 Y : 6695013

Propriétaire : Joël Soilly

Site 21.525.037

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786797 Y : 6695025

Propriétaire : Joël Soilly

Référence de l'opération

Numéro d'arrêté d'autorisation de sondages :

Dates d'intervention : 07/08/2023 au 18/08/2023

Organisme de rattachement

Laboratoire de Métallurgies et Cultures
Institut de Recherche sur les ArchéoMATériaux
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
90010 Belfort Cedex

Mots-clefs des thésaurus

Chronologie : Moyen âge

Sujets et thèmes : Artisanat

Mobilier : Céramique, déchets sidérurgiques

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologique

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

Equipe de fouilles

Responsable scientifique - rédaction du rapport : Margaux Herbrich (LMC-ARTEHIS)
Marion Berranger (IRAMAT - LMC
-CNRS)

Equipe de fouille : Julien Lauzanne (ARTEHIS)
Lisa Klein (Université de Strasbourg)
Manuel Probst (Université de Dijon)
Illia Havryltsov (Université de Lille)



**PRÉFET
DE LA RÉGION
BOURGOGNE-
FRANCHE-COMTÉ**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2023/374 du 01 août 2023
portant autorisation de sondage

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté du 7 février 2022, portant définition des données scientifiques de l'archéologie et de leurs conditions de bonne conservation ;

Vu l'arrêté n° 23-56 BAG, du 16 mars 2023, de Monsieur Franck ROBINE, préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté, portant délégation de signature à Madame Aymée ROGÉ, directrice régionale des affaires culturelles de la région Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté publié le 27 mars 2023, portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272023000087, de demande d'opération archéologique arrivé le 19 juillet 2023 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Margaux HERBRICH est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire, à partir de la date de notification du présent arrêté et jusqu'au 31 décembre 2023, une opération de sondage, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE
Département : COTE-D'OR
COMMUNE : LA-ROCHE-EN-BRENIL
Lieu-dit : « En Lecussy »
Cadastre : section OP, parcelle n° 194.

Intitulé de l'opération : Sondage sur des amas de scories sidérurgiques à La Roche-en-Brenil
Programme de recherche : axe 12 - Mines et matériaux associés
Code de l'opération : **044207**.

Cette opération a lieu dans le cadre du Projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions ».

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 et versement des archives de fouilles

Le traitement des vestiges mobiliers et de la documentation scientifique devront se conformer aux dispositions du protocole en vigueur en Bourgogne Franche-Comté, **Art.4 de l'arrêté du 7 février 2022 (protocole ci-joint)**, pour la conservation, l'inventaire, le conditionnement et la remise de la documentation scientifique et du mobilier issus des opérations archéologiques.

Article 4 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Margaux HERBRICH.

Fait à Besançon, le 01 août 2023.

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

Hervé LAURENT



**PRÉFET
DE LA RÉGION
BOURGOGNE-
FRANCHE-COMTÉ**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2023/379 du 02 août 2023
portant autorisation de sondage

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté du 7 février 2022, portant définition des données scientifiques de l'archéologie et de leurs conditions de bonne conservation ;

Vu l'arrêté n° 23-56 BAG, du 16 mars 2023, de Monsieur Franck ROBINE, préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté, portant délégation de signature à Madame Aymée ROGÉ, directrice régionale des affaires culturelles de la région Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté publié le 27 mars 2023 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272023000090, de demande d'opération archéologique arrivé le 19 juillet 2023 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Margaux HERBRICH est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire, à partir de la date de notification du présent arrêté et jusqu'au 31 décembre 2023, une opération de sondage, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE

Département : COTE-D'OR

Commune : THOSTE

Lieu-dit : « Bois du Champ Rouge »

Cadastre : section OB, parcelle n° 91

Intitulé de l'opération : Sondage sur des amas de scories sidérurgiques à Thoste

Programme de recherche : axe 12 - Mines et matériaux associés

Code de l'opération : **044214**

Cette opération a lieu dans le cadre du Projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions ».

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 et versement des archives de fouilles

Le traitement des vestiges mobiliers et de la documentation scientifique devront se conformer aux dispositions du protocole en vigueur en Bourgogne Franche-Comté, **Art.4 de l'arrêté du 7 février 2022 (protocole ci-joint)**, pour la conservation, l'inventaire, le conditionnement et la remise de la documentation scientifique et du mobilier issus des opérations archéologiques.

Article 4 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Margaux HERBRICH.

Fait à Besançon, le 02 août 2023.

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

Hervé LAURENT



**PRÉFET
DE LA RÉGION
BOURGOGNE-
FRANCHE-COMTÉ**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2023/381 du 02 août 2023
portant autorisation de sondage

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté du 7 février 2022, portant définition des données scientifiques de l'archéologie et de leurs conditions de bonne conservation ;

Vu l'arrêté n° 23-56 BAG, du 16 mars 2023, de Monsieur Franck ROBINE, préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté, portant délégation de signature à Madame Aymée ROGÉ, directrice régionale des affaires culturelles de la région Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté publié le 27 mars 2023 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272023000088, de demande d'opération archéologique arrivé le 19 juillet 2023 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Margaux HERBRICH est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire, à partir de la date de notification du présent arrêté et jusqu'au 31 décembre 2023, une opération de sondage, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE

Département : COTE-D'OR

Commune : SAINT-GERMAIN-DE-MODEON

– Lieu-dit : « Le Bonjan »

Cadastre : section OM, parcelle n° 337

– Lieu-dit : « Gué des Beaumes »

Cadastre : section OG, parcelle n° 34

– Lieu-dit : « Le Gué du Piéché »

Cadastre : section OG parcelle n° 57

– Lieu-dit : « La Charmée »

Cadastre : section OC, parcelle n° 153

Intitulé de l'opération : Sondage sur des amas de scories sidérurgiques à Saint-Germain-de-Modeon

Programme de recherche : axe 12 - Mines et matériaux associés

Code de l'opération : **044212**

Cette opération a lieu dans le cadre du Projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions ».

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 et versement des archives de fouilles

Le traitement des vestiges mobiliers et de la documentation scientifique devront se conformer aux dispositions du protocole en vigueur en Bourgogne Franche-Comté, **Art.4 de l'arrêté du 7 février 2022 (protocole ci-joint)**, pour la conservation, l'inventaire, le conditionnement et la remise de la documentation scientifique et du mobilier issus des opérations archéologiques.

Article 4 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Margaux HERBRICH.

Fait à Besançon, le 02 août 2023.

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

Hervé LAURENT



**PRÉFET
DE LA RÉGION
BOURGOGNE-
FRANCHE-COMTÉ**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2023/382 du 02 août 2023
portant autorisation de sondage

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

Vu l'arrêté du 7 février 2022, portant définition des données scientifiques de l'archéologie et de leurs conditions de bonne conservation ;

Vu l'arrêté n° 23-56 BAG, du 16 mars 2023, de Monsieur Franck ROBINE, préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté, portant délégation de signature à Madame Aymée ROGÉ, directrice régionale des affaires culturelles de la région Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté publié le 27 mars 2023 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272023000089, de demande d'opération archéologique arrivé le 19 juillet 2023 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Margaux HERBRICH est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire, à partir de la date de notification du présent arrêté et jusqu'au 31 décembre 2023, une opération de sondage, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE
Département : COTE-D'OR
Commune : CHAMPEAU-EN-MORVAN
Lieu-dit : « Bas de la Fiotte »
Cadastre : section OB, parcelle n° 215

Intitulé de l'opération : Sondage sur des amas de scories sidérurgiques à Champeau-en-Morvan
Programme de recherche : axe 12 - Mines et matériaux associés
Code de l'opération : **044213**

Cette opération a lieu dans le cadre du Projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions ».

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 et versement des archives de fouilles

Le traitement des vestiges mobiliers et de la documentation scientifique devront se conformer aux dispositions du protocole en vigueur en Bourgogne Franche-Comté, **Art.4 de l'arrêté du 7 février 2022 (protocole ci-joint)**, pour la conservation, l'inventaire, le conditionnement et la remise de la documentation scientifique et du mobilier issus des opérations archéologiques.

Article 4 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Margaux HERBRICH.

Fait à Besançon, le 02 août 2023.

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

Hervé LAURENT

7.1. Connaissance générale et rappel des travaux antérieurs

La campagne de sondages qui s'est déroulée du 7 au 18 août 2023 a concerné une sélection d'amas de scories issus de la production de fer brut, situés dans le district du Morvan (chap. 2, fig. 1 et 12). Parmi les districts de production sidérurgique primaire de Bourgogne-Franche-Comté, le Morvan est l'un de ceux qui bénéficiaient des connaissances les plus importantes avant le lancement des récentes recherches. Des amas de scories sont signalés pour la première fois par le maître mineur J.-M. Gueux, qui en dresse un premier inventaire et propose de les dater de l'Antiquité, en se basant sur l'identification de céramiques et monnaies romaines (Gueux, 1872). Dans les années 1980, le Professeur Michel Mangin entreprend une étude plus approfondie de ce secteur et initie la constitution d'un large inventaire répertoriant plus de 140 sites d'extraction minière et 200 ateliers de réduction sur un espace bien délimité d'environ 400 km².

Dans le cadre de ce travail publié en 1992 (Mangin et *al.*, 1992), une première approche typo-chronologique des sites, en fonction de leur positionnement topographique, avait été abordée. Cette étude se basait notamment sur un important corpus d'analyses chimiques et sur une réflexion globale concernant l'organisation territoriale du district, ses liens avec l'habitat et les modalités d'accès aux ressources minières.

M. Mangin a particulièrement étudié une section du district du Morvan, située au nord de la commune de Saulieu, s'étendant du plateau de Thoste jusqu'à La Roche-en-Brénil sur une surface de 21 km nord-sud et 17 km est-ouest, à la confluence des départements de la Côte d'Or, de l'Yonne et de la Nièvre. La partie sédimentaire, au nord de cette zone, a été explorée depuis le XIXe siècle, révélant des vestiges souvent partiellement détruits. En revanche, la région forestière du Morvan, au sud, a attiré moins d'attention mais abrite des vestiges mieux préservés. Le plateau de Thoste, dans la zone sédimentaire, a spécifiquement attiré l'intérêt des géologues en raison de ses particularités géologiques et minéralogiques.

Dans cette région du Morvan, Michel Mangin a réalisé l'étude de deux sites en particulier : la « Comme Philippe » à Thoste, où quatre bas-fourneaux ont été fouillés, et « En Lecussy » à La Roche-en-Brénil, où cinq bas-fourneaux ont été explorés.

Lors de la campagne de 2023, les sondages ont permis de reprendre les études du site « En Lecussy » à La Roche-en-Brénil et d'intervenir sur le site du « Bois du Champ Rouge » à Thoste, situé à environ 2 km du site de la « Comme Philippe » fouillé par Michel Mangin.

Dans sa synthèse de 1992, Michel Mangin avance l'hypothèse que les installations de fours dans cette zone de production suivaient un modèle technologique similaire, utilisant des matériaux disponibles sur place tels que des fragments de tuiles, des scories lourdes, des briques d'arène granitique, de l'argile d'arène granitique ou du calcaire pour les revêtements intérieurs ou externes des fours. Les bas fourneaux fouillés sur le site de Thoste (La Comme Philippe 08) se distinguent notamment par l'utilisation de la scorie coulée comme matériau de construction, probablement en raison du manque de matériaux adaptés à proximité (Mangin 1992, page 42 à 55).

En ce qui concerne le minerai, étudié notamment par A. Ploquin (CNRS, Université de Nancy) et W. Birke (Mangin 1992, p. 120 à 142), quatre types différents ont été identifiés dans la zone

sédimentaire de Thoste : le minerai rouge de l'Hettangien, le minerai jaune-brun/noir, le minerai en grains de divers types, ainsi que des conglomérats de grains de faciès oolithique. Diverses méthodes d'extraction ont été observées pour exploiter ces gisements, allant des excavations de surface aux minières de quelques mètres de diamètre, et même à l'exploitation en galeries souterraines. Des traces de puits de mines et de fronts de taille ont été découvertes, témoignant de la diversité des techniques d'extraction.

La phase préliminaire des recherches conduites dans les années 1980 et 1990 n'a pas permis de mener des fouilles systématiques pour constituer un corpus représentatif des vestiges structurels, en raison de l'étendue considérable de la région à couvrir. Néanmoins, les ateliers sélectionnés laissaient espérer la découverte de structures diverses. Les résultats ont confirmé cette hypothèse en mettant en lumière deux catégories distinctes de fourneaux. Elles offrent des exemples contrastés qui fournissent des informations précieuses sur des types de vestiges qui étaient à l'époque inconnus dans l'est de la France.

Le dossier du Morvan, tel qu'il a été laissé après la publication de la synthèse de M. Mangin en 1992 a servi de base aux travaux engagés dans le cadre d'un programme collectif de recherche centré sur l'étude des activités sidérurgiques de Bourgogne-Franche-Comté, avant le haut fourneau. Le corpus de datations disponibles pour le district du Morvan a ainsi pu être largement renouvelé dans le cadre du PCR. La campagne de sondage d'août 2023 s'inscrit dans la continuité des opérations réalisées récemment par Hervé Laurent et Sylvie Laurent-Corsini (Laurent *in* Berranger dir. 2020) et Rémy Jeannot (Jeannot, Berranger *in* Berranger 2019).

7.2. Cadre et problématique de l'intervention

Les problématiques et développements méthodologiques engagées en août 2023 intègrent un programme de recherche, démarré en 2022, intitulé « Dynamiques techniques et territoriales en métallurgie du fer » (TerriFer) soutenu par la région Bourgogne-Franche-Comté. Ce projet fait l'objet d'une collaboration entre le LMC-IRAMAT (UMR7065), la MSHE Ledoux (USR3124) et le laboratoire ArTeHis (UMR6298). Ces travaux intègrent plus spécifiquement une thèse centrée sur l'analyse et la modélisation de l'organisation des territoires sidérurgiques de BFC, située à l'interface de l'axe 1 du projet TerriFer, centré sur l'étude des territoires et de l'axe 2, visant la restitution des techniques et des savoir-faire.

L'objectif principal de cette thèse est de proposer une caractérisation multiméthode des territoires dans lesquels s'implantent des concentrations d'ateliers de réduction. L'approche menée à l'échelle de la région Bourgogne-Franche-Comté a l'avantage de permettre une comparaison diachronique entre plusieurs zones de production. Ce travail vise à déterminer les apports de différents outils méthodologiques afin de contribuer à une connaissance plus approfondie de l'évolution des techniques de réduction, de l'organisation des activités sidérurgiques et de leur dynamique économique.

L'étude se base sur l'interprétation de données LiDAR pour restituer l'organisation spatiale des ateliers, reconnaître les principaux axes d'échanges et mettre en évidence les autres types d'occupation (habitat, exploitation minière). La MSHE Ledoux (USR 3124, Besançon) a réalisé en 2023 plusieurs acquisitions en drone sur des secteurs restreints (centrés sur un atelier ou un regroupement d'amas), orientées par les prospections et les campagnes de terrain. De plus, la couverture LiDAR de l'ensemble du parc naturel du Morvan, réalisée en 2010 par la MSH de

Dijon, a également pu être exploitée dans le cadre de cette étude. Elle a notamment permis de mieux orienter les prospections sur le terrain ainsi que les interprétations et le travail sur SIG. Des modèles 3D, extraits des données LiDAR, permettront de calculer informatiquement le volume des ferriers.

7.3. Objectifs et méthodologie de la campagne de sondage d'août 2023

La campagne de sondages a concerné une sélection de neuf amas de scories qui comptent parmi les mieux documentés du corpus du Morvan-Auxois (fig. 150). Trois se situent sur la commune de la Roche-en-Brenil, quatre sur la commune de Saint-Germain-de-Modéon, un sur la commune de Champeau-en-Morvan et un dernier sur la commune de Thoste. Les datations de ces amas concernent une large fourchette allant de 384 à 562 ap. J.-C. pour le plus ancien (amas 21.635.002 – commune de Thoste) et 1453 à 1631 ap. J.-C. pour le plus récent (amas 21.548.010 – commune de Saint-Germain-de-Modéon).

Quelques amas (21.635.002, 21.548.007, 21.548.010 et 21.139.003) n'ont fait l'objet que de prélèvements ponctuels afin de préciser la datation et la caractérisation des déchets. En revanche, deux regroupements principaux d'amas (situés à La Roche-en-Brenil et à Saint-Germain-de-Modéon) ont fait l'objet d'une étude plus approfondie (fig. 151-152).

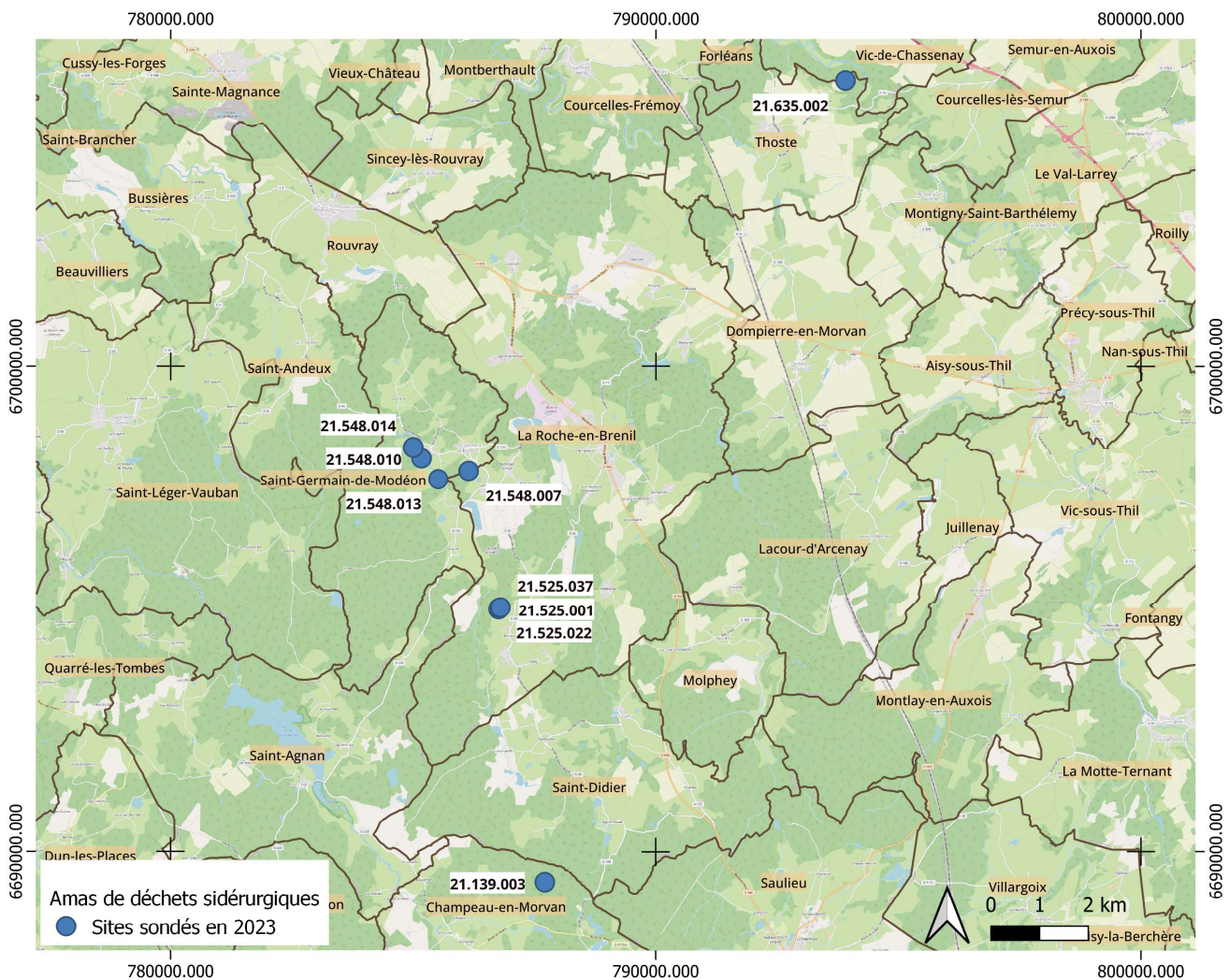


Figure n°150. Localisation des sites étudiés en 2023 (Morvan, Côte d'Or). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : Scan 25 IGN, QGIS 3.28.

Sur ces sites, les activités de terrain réalisées en août impliquaient plusieurs types d'opération. Des sondages ont été réalisés dans le but d'appréhender l'ensemble de la stratigraphie et, si possible, d'atteindre les premières couches à la base de l'amas reposant sur le sol naturel afin de déterminer l'épaisseur de scories. Il s'agit d'une donnée significative qui ne peut être appréhendée autrement que par des sondages et qui est déterminante pour préciser les volumes des tas. Des prélèvements volumétriques ont été effectués par unités stratigraphiques afin d'estimer la concentration de déchets par mètre cube (annexe 5). L'association des données de volume des amas, la concentration de scories par m³ et les résultats des bilans matières réalisés par fluorescence X portable, permettront d'évaluer l'importance de la production de ces ateliers en restituant les quantités de métal produites et échangées.

L'implantation et les relevés topographiques ont été effectués grâce à un GPS différentiel et un tachéomètre. Enfin, des prélèvements ciblés de mobilier ont été systématiquement réalisés afin d'avoir à disposition un corpus de déchets représentatif de chaque amas. Ces échantillons de scories, minerais et parois de four seront étudiés en laboratoire, notamment pour effectuer des analyses chimiques à la fluorescence X portable et établir des bilans matières. De nouvelles datations radiocarbone seront également entreprises à partir de charbons prélevés sur site ou récupérés dans les déchets échantillonnés.

7.4. Résultats

7.4.1. Thoste – « Bois du Champ Rouge » - Site 21.635.002 (fig. 151)

Coordonnées RGF93 (m) : X : 793898 Y : 6705903

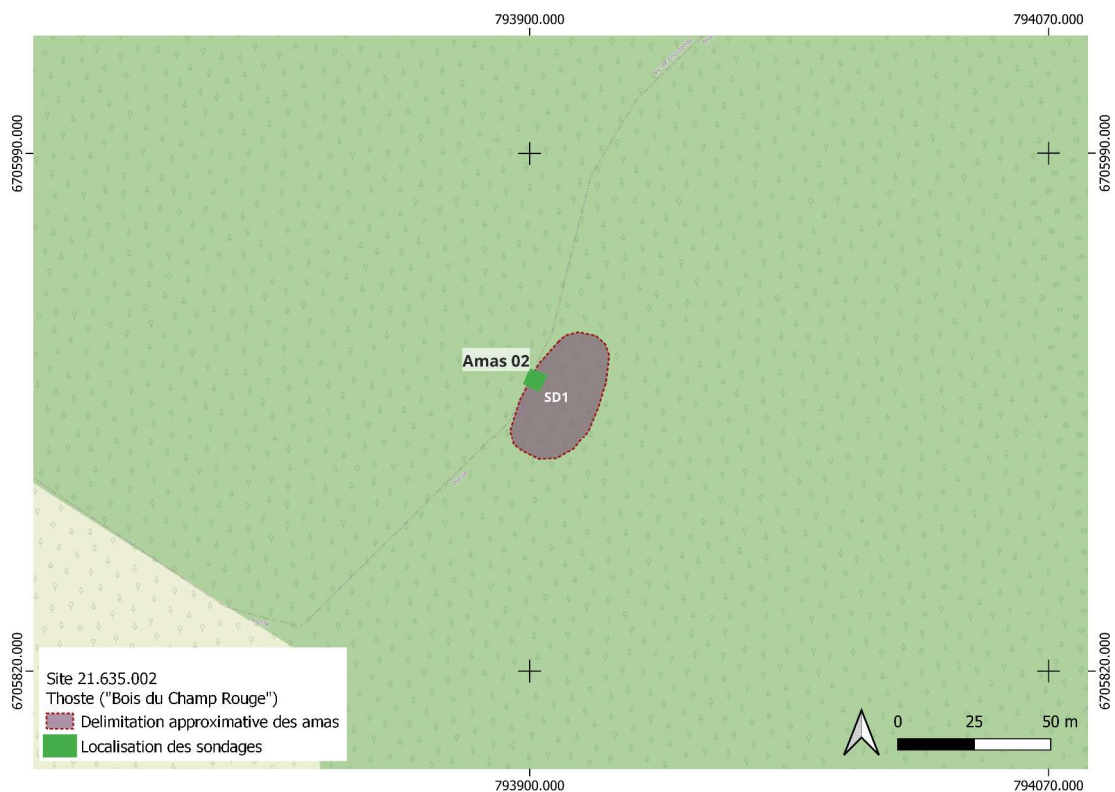


Figure n°151. Site 21.635.002, Thoste (lieu-dit : « Bois du Champ Rouge »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.

Sur la commune de Thoste, la campagne de sondages s'est concentrée sur l'amas n°2 (lieu-dit « Bois du Champ Rouge »), précédemment daté de 384 ap. J.-C. à 562 ap. J.-C. Il s'agit du site sélectionné le plus ancien du corpus étudié cette année. Les descriptions du PCR signalent un amas de terre rouge peu concentré en scories, de dimensions 40 sur 20 mètres et 2 mètres de hauteur.

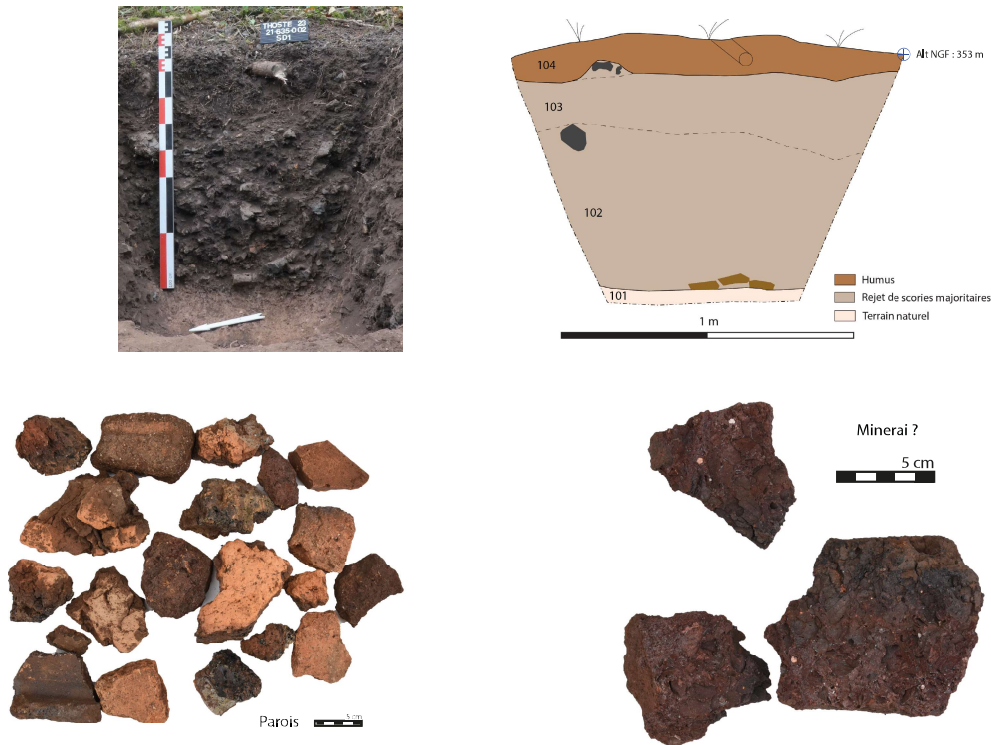


Figure n°152. Thoste - Site 21.63.002, sondage 1, coupe est et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne, L. Klein)

Le principal objectif ici était de confirmer la datation et la caractérisation des déchets ; ainsi, un seul sondage a été réalisé. Il a été positionné depuis le chemin afin de permettre un accès à une plus grande partie de la stratigraphie jusqu'au substrat naturel.

Le sondage a permis de constater que la zone de terre rouge mentionnée par le PCR ne se limitait qu'à une zone spécifique de l'amas et que les dimensions de ce dernier étaient légèrement supérieures. La couche principale de rejets de scories est constituée d'un encaissant sablo-limoneux gris foncé comprenant des blocs de scories denses de type A1, variant en taille de quelques centimètres à plusieurs centimètres. Quelques rares fragments de scories de types B2 et E ont été collectés dans l'US 102. De nombreux fragments de parois scorifiées, voire vitrifiées, sont présents dans toute la stratigraphie et affleurent également à la surface (fig. 152). Des échantillons s'apparentant à du minerai plutôt friable ont été prélevés dans l'US 102. Des analyses par fluorescence X permettront de confirmer ou non cette interprétation. Les prélèvements volumétriques ont porté sur 120 litres, et ont révélé une concentration moyenne de 54 % de scories, soit 745 kg par mètre cube. Le site n° 2 présente une concentration assez élevée, notamment au regard des résultats obtenus sur les autres sites de la sélection, s'expliquant en partie par la forte proportion de scories de type A1.

7.4.2. Champeau-en-Morvan – « Bas de la Fiotte » - Amas 21.139.003 (fig. 153)

Coordonnées RGF93 (m) : X 787719.8 Y : 6689351.59

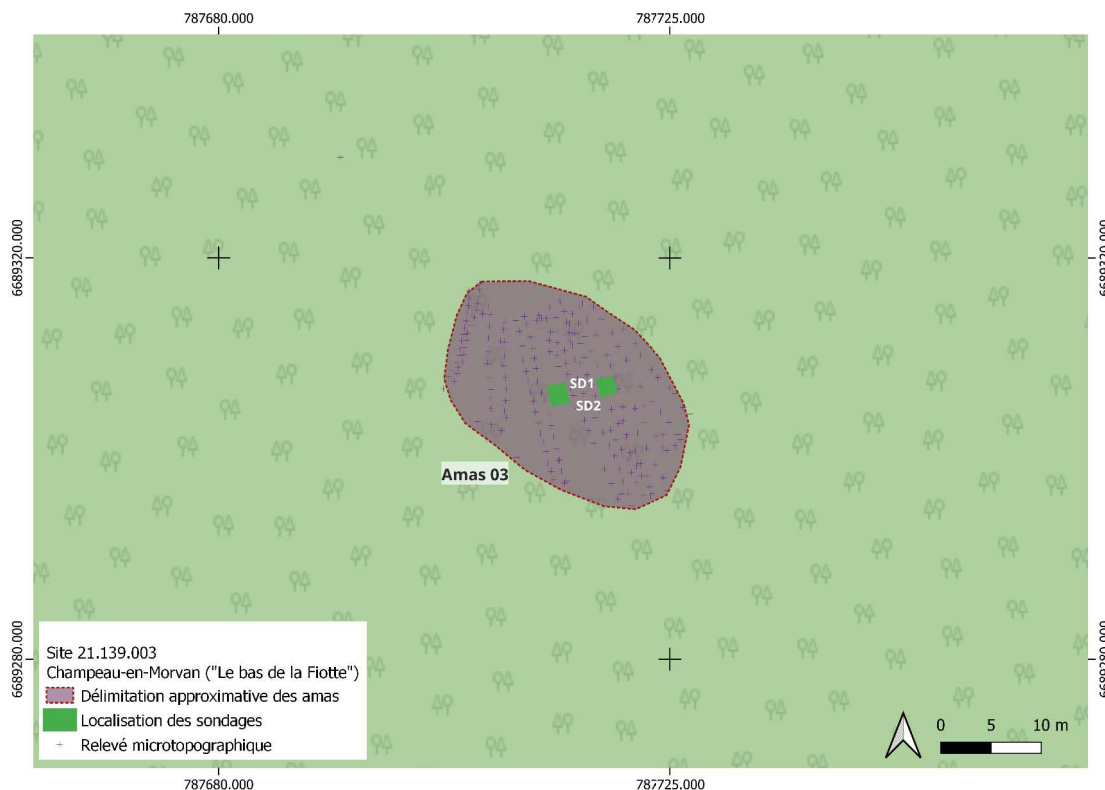


Figure n°153. Site 21.139.003, Champeau-en-Morvan (lieu-dit : « Le Bas de la Fiotte »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.

L'amas n° 003 de Champeau-en-Morvan, daté de 580 ap. J.-C. à 655 ap. J.-C., avait déjà été ponctuellement échantillonné par le passé. Dix analyses chimiques par ICP-MS (CRPG) ont été réalisées sur des scories. L'objectif de la campagne de 2023 était de recueillir davantage de données afin de compléter les analyses chimiques déjà disponibles, notamment en prélevant, si possible, des échantillons de minerais et des parois de fours. Les travaux antérieurs décrivaient un amas intact d'environ 15 mètres sur 15, mesurant environ 1 mètre de hauteur et peu concentré en scories. Les observations topographiques générales ont permis de mieux définir la limite de l'amas et de réajuster ses dimensions à environ 30 mètres sur 15, avec une hauteur variant entre 1 et 1,5 mètre.

Deux sondages ont été réalisés (fig. 154-155), révélant effectivement une très faible proportion de scories dans un limon sableux brun. Les déchets comprennent des scories de type A1 caractéristiques et quelques scories de type B, trop fragmentées pour préciser leur variante. Quatre fragments de scories de type C1 ont également été prélevés dans le sondage 1.

Environ 84 litres de déchets ont été prélevés dans le sondage 2, révélant une faible proportion de 11 %, soit 107 kg de scories par mètre cube. Par ailleurs, 10 kg de parois ont été prélevés, notamment dans l'US 102 du sondage 1.

Une microtopographie a été réalisée au tachéomètre sur l'ensemble de l'amas, totalisant 230 points, dans le but de tester un protocole de calcul de volume. Ce calcul implique la reconstruction

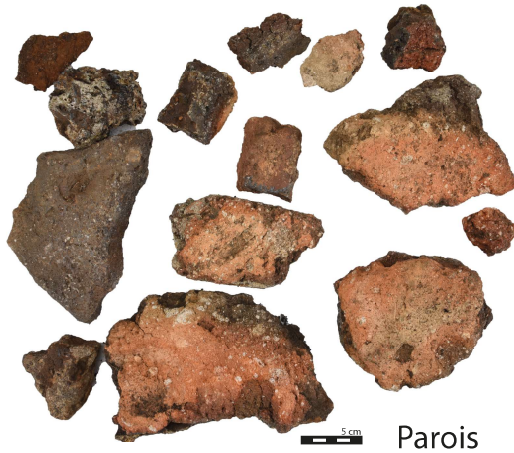
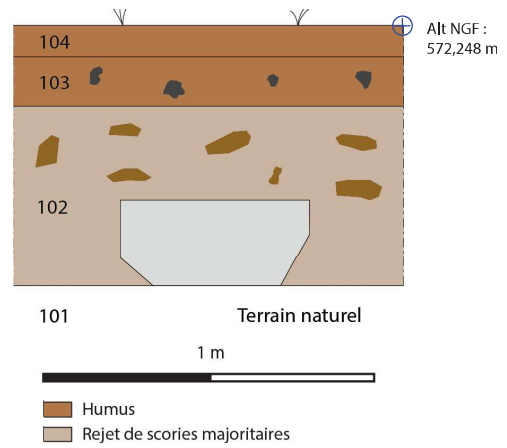


Figure n°154. Site 21.139.003, sondage 1, coupe est et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, M. Probst).

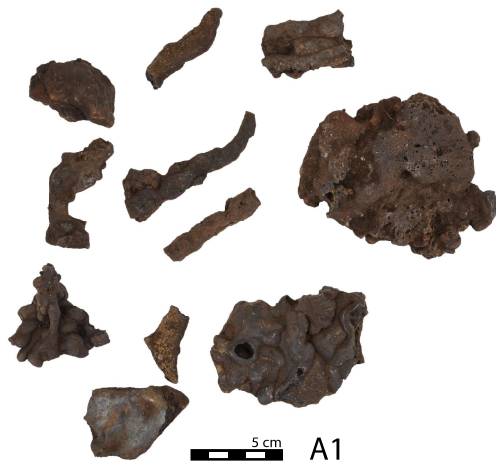
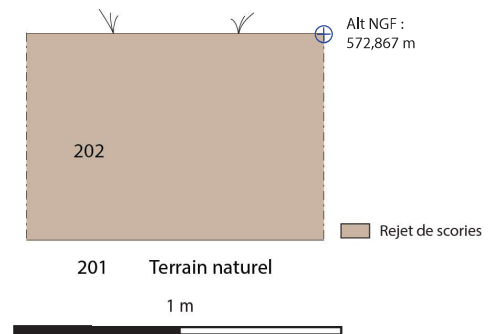


Figure n°155. Site 21.139.003, sondage 2 et assemblage des déchets (Relevé : M. Berranger, I. Havryltsov).

de la surface en utilisant un maillage sur un logiciel de création 3D (Blender). Actuellement, cette méthode de reconstruction est en cours de développement, notamment sur des amas antiques présentant une topographie plus complexe (tel que l'amas 1 du site de Montholon). Une fois mise en place, elle sera appliquée aux amas médiévaux du Morvan-Auxois.

7.4.3. Saint-Germain-de-Modéon (fig. 156)

Site 21.548.007 (Lieu-dit « le Bonjan ») :

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786143 Y : 6697853

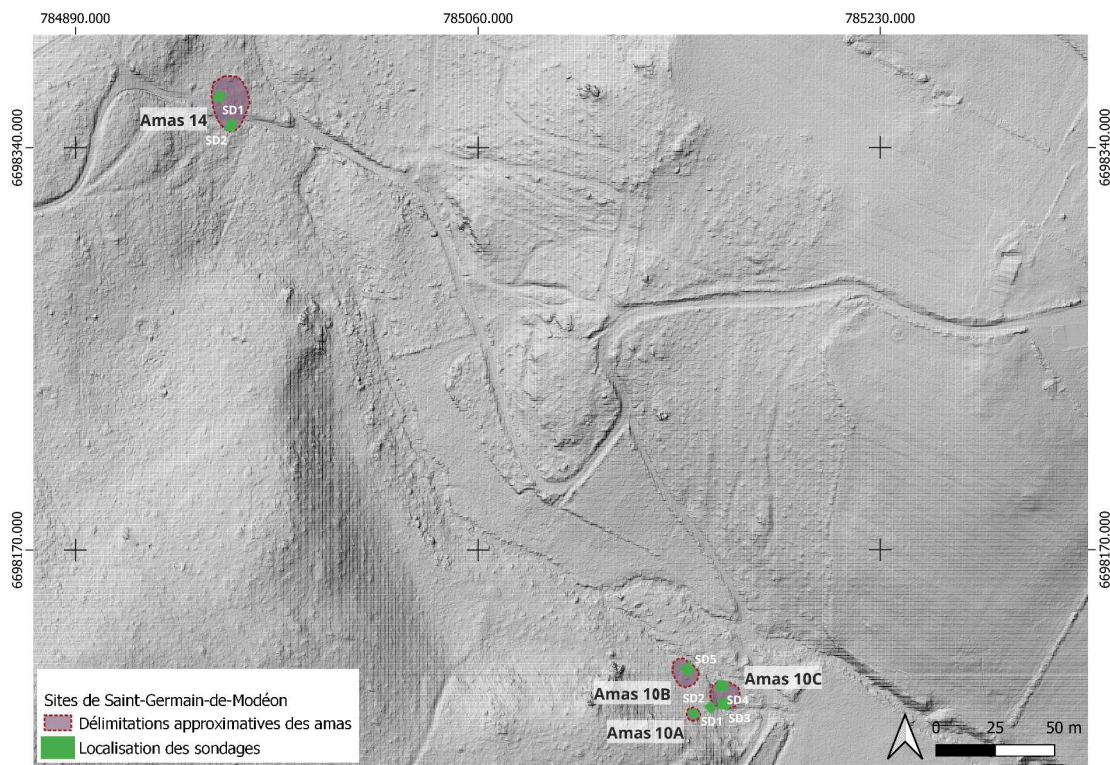


Figure n°156. Localisation de deux amas étudiés sur le secteur de Saint-Germain-de-Modéon. DAO : M. Herbrich. Fond de carte : Acquisition LiDAR GeobFC (MSH de Dijon, UAR 3516).

Sur place, le site n°7 de Saint-Germain-de-Modéon (daté de 1159 ap. J.-C. - 1267 ap. J.-C.) a été difficilement en adéquation avec les anciennes descriptions. Il est décrit par le PCR comme un petit ferrier en butte de 10 x10 mètres qui s'étale sur près de 50 mètres. M. Mangin signale dans sa synthèse de 1992 des vestiges de fourneaux in situ sur une plate-forme en granit.

Le site est localisé sur une clairière dans une pâture équestre (fig. 158). La nature du terrain prospecté ne se prête pas à l'identification de mobilier en place et les contours de l'amas n'ont pu être clairement reconnus. Trois sondages ont été effectués, répartis dans la clairière, afin de mieux cerner l'emprise du site en profondeur. Le sondage 2 s'est avéré négatif.

Quelques lambeaux d'amas, délimités par des gros blocs de granit en place, et marqués sous la forme d'une légère élévation semblaient se deviner sous les arbres (fig. 159). Le sondage 1 implanté sur cette partie est le seul à livrer une relative concentration de scories, et donc à avoir fait l'objet de prélèvements volumétriques. La stratigraphie révèle une épaisseur de ferrier d'une vingtaine de centimètres (fig. 160). Les scories, en faible proportion, de types majoritairement A1 sont présentes dans un encaissant limoneux brun clair. Quelques fragments de scories de types B et de types internes (E) sont présents dans l'US 102 ainsi que quelques fragments de

minéral. 120 litres de déchets ont été prélevés dans l'US 102. On retrouve une concentration de 27 %, soit 370 kg de scories par mètre cube et 18 kg de parois scorifiées.

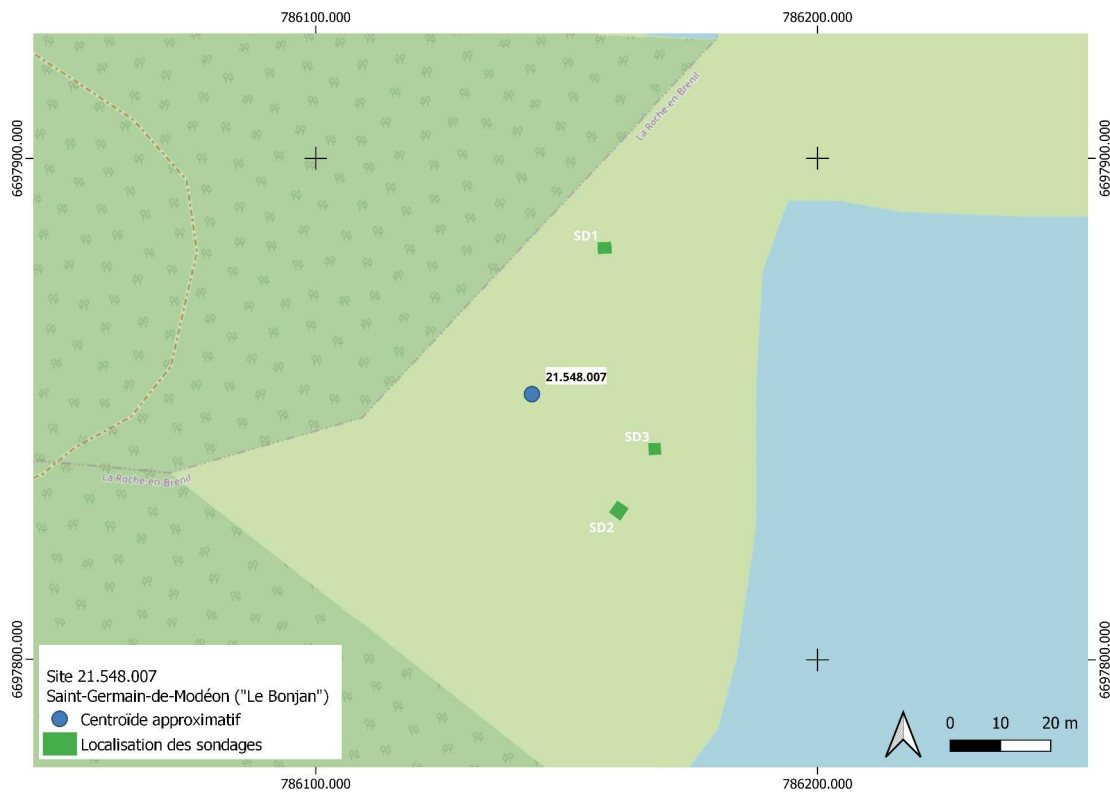


Figure n°157. Site 21.548.007, Saint-Germain-de-Modéon (lieu-dit : « Le Bonjan »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.



Figure n°158. Vue générale du site 21.548.007 (M. Berranger).



Figure n°159. Vue des lambeaux de l'amas de déchets en bordure du site 21.548.007. Emplacement du sondage 1 (M. Berranger).

Le sondage 3 (fig. 161) a été implanté au centre de la clairière sur 80 cm de profondeur. Sous la couche principale de rejet de scories (US 303), on retrouve une couche sablo-limoneuse grise compacte à graviers fins (US 302) contenant de nombreuses inclusions de charbon et d'argile. Elle a été interprétée comme étant un niveau de circulation voire de fonctionnement de l'atelier sur la plateforme en contrebas de l'amas de scories.

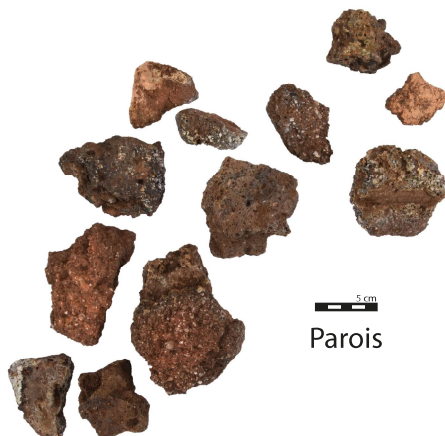
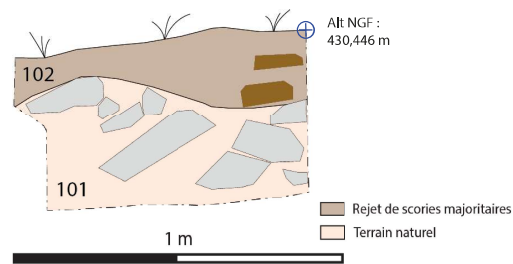


Figure n°160. Site 21.548.007, sondage 1, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Probst).

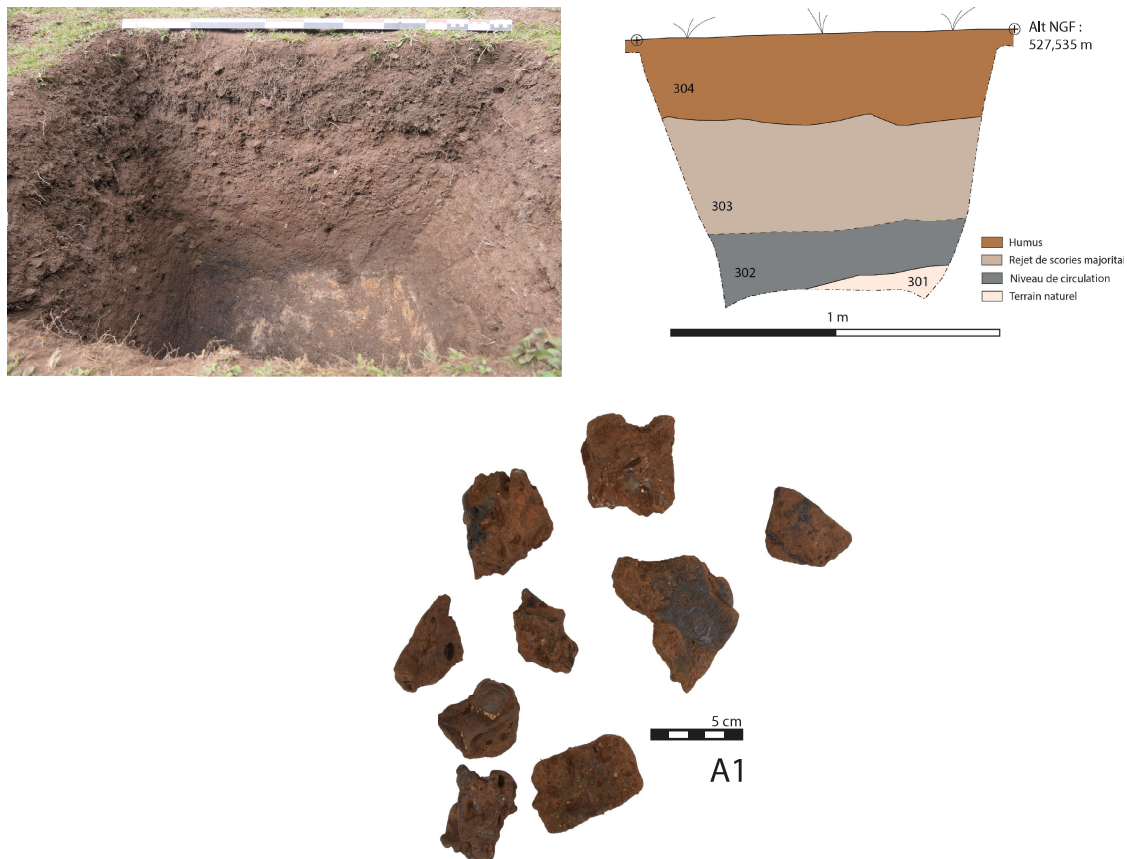


Figure n°161. Site 21.548.007, sondage 3, coupe nord et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne, L. Klein).

Le site du Bonjan semble considérablement altéré par les récentes activités de pâturage, si bien que la couche principale de rejet de scories se confond parfois avec l'humus. Les scories sont largement dispersées sur la pente descendant vers la rivière en contrebas, rendant très complexe l'identification précise des limites de l'amas et l'interprétation du site.

Site 21.548.010 (Lieu-dit « Le Gué des Beaumes ») (fig. 162)
Coordonnées RGF93 (m) : X : 785160 Y : 6698116

Le site du « Gué des Beaumes », enregistré sous l'entité n° 10, concerne en réalité trois amas distincts répartis sur une plate-forme d'environ 25 mètres sur 6 mètres en bordure d'un ruisseau. Il a été décidé d'individualiser les amas en leur attribuant une nouvelle subdivision en lettre : amas n°010A, 010B et 010C. Une seule fourchette chronologique est disponible pour l'ensemble du site : de 1453 ap. J.-C. jusqu'à 1631 ap. J.-C. provenant d'un charbon prélevé lors des prospections de 2020. Il s'agit ici du site le plus récent de la sélection de la campagne de 2023.

L'amas A est facilement identifiable car très concentré en surface (4x4 mètres et 50 cm de haut). Un seul sondage a été réalisé en son centre et 120 litres de déchets ont été prélevés. L'assemblage de scories concerne les types A1-B1-B2 et E emballés dans un encaissant peu présent de limons sableux noirs (fig. 163). Les prélèvements volumétriques indiquent une forte concentration de scories représentant 62 % de la masse prélevée, soit 790 kg de scories par mètre cube, qui correspond à des valeurs élevées. Quelques gros blocs de parois scorifiées ont

également été prélevés.

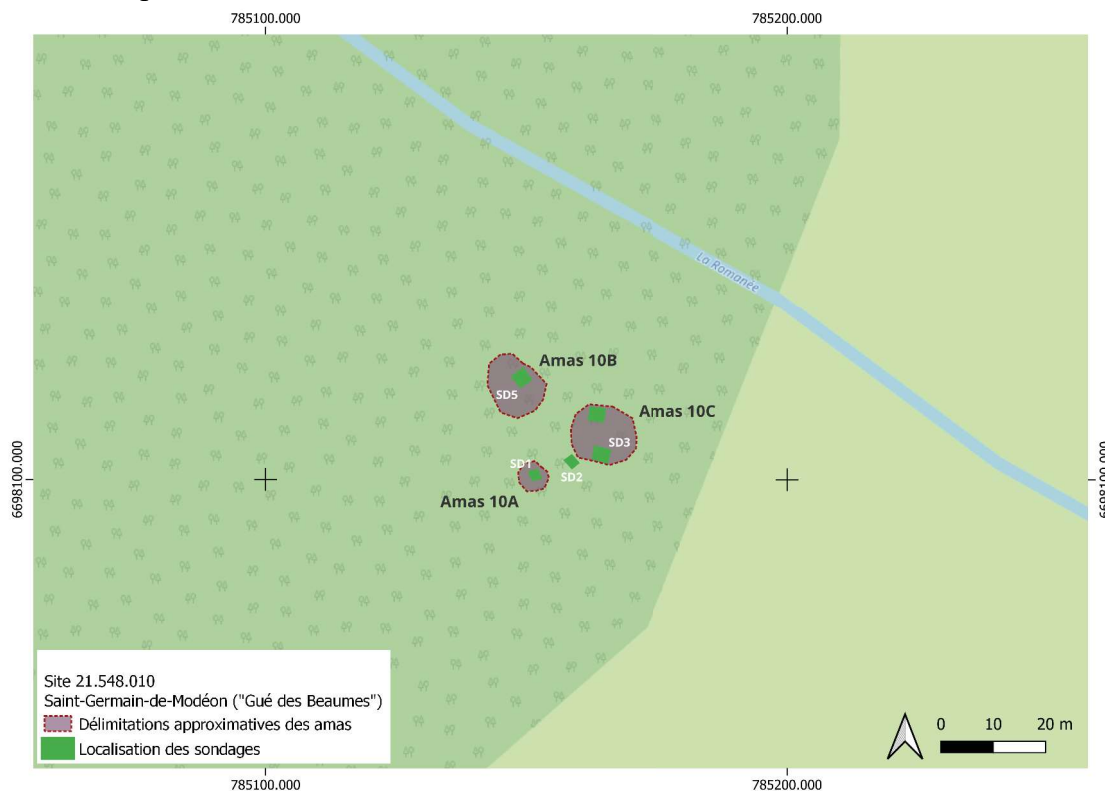
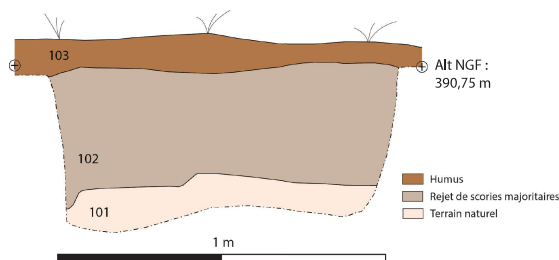


Figure n°162. Site 21.548.010, Saint-Germain-de-Modéon (lieu-dit : « Gué des Beumes »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.



A1 5 cm



B2 5 cm



Parois 5 cm

Figure n°163. Site 21.548.010, sondage 1, coupe sud-ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne, L. Klein).

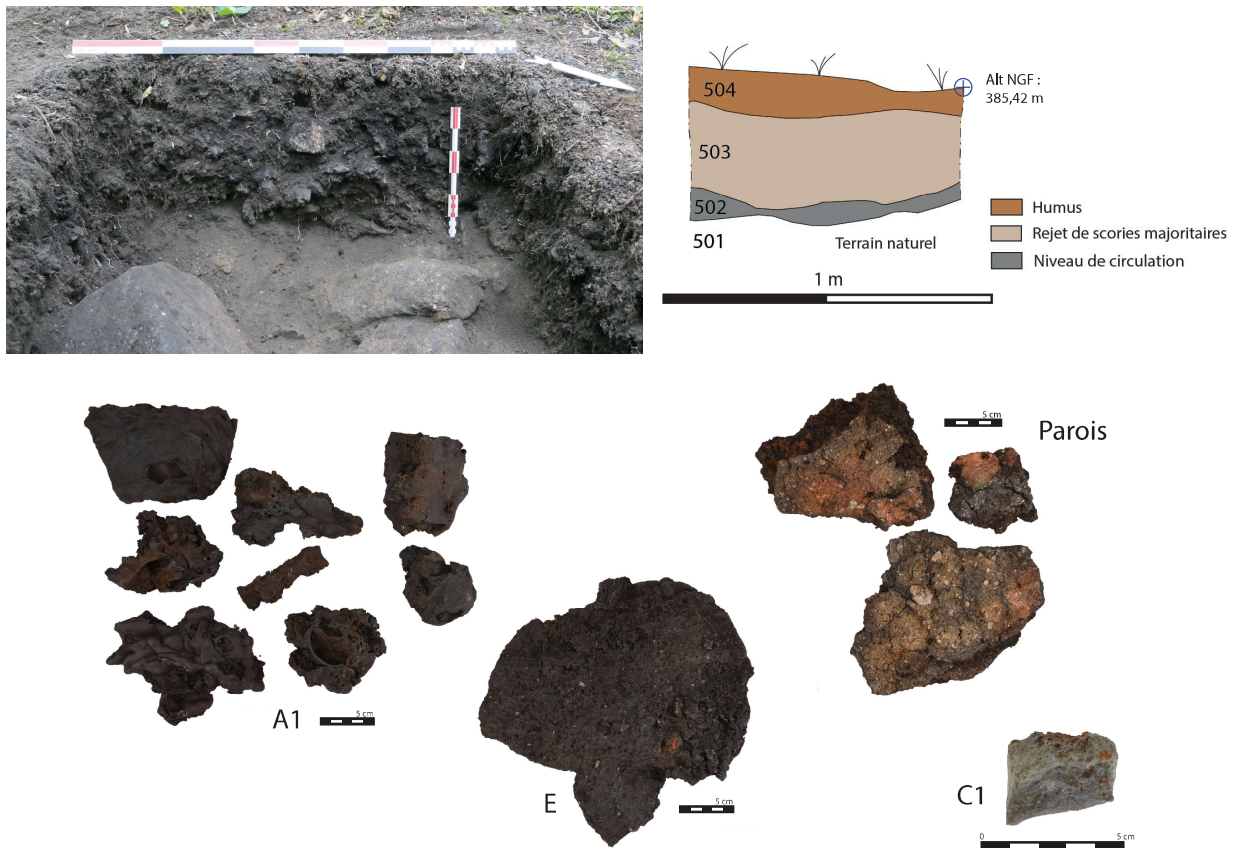


Figure n°164. Site 21.548.010, sondage 5, coupe sud-ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Probst, L. Klein)

Le sondage 5, implanté sur l'amas B (12x9x0,5 m), a fait l'objet de 144 litres de prélèvements. Les scories de types A1 et E sont présentes dans un encaissant limoneux noir meuble et concernent 50 % du volume, soit environ 611 kg de scories par mètre cube (fig. 164). Quelques rares fragments de scories vitreuses de type C1 ont également été prélevés. De nombreuses scories très denses et magnétiques ont été prélevées dans l'US 503 et sont en attente d'une caractérisation plus précise pour déterminer s'il peut s'agir de résidus de masse brute.

Trois sondages ont été implantés sur l'amas C (12 x12 x 0,8 m). Le sondage 2 a été réalisé suite à la découverte fortuite d'un tesson de céramique vernissée vert en surface. Le sondage n'a pas confirmé la présence de l'amas à cet endroit (fig. 165). L'US 201 est une couche argilo-sableuse très meuble avec une forte présence de racines et de blocs de granit. On note la rare présence de scories de taille pluricentimétrique. Il s'agit ici plus vraisemblablement d'un épandage de scories venant de l'amas A situé plus en amont dans la pente.

Deux sondages (3 et 4) ont été effectués sur l'amas C, situé le plus à l'est de la plateforme, accolé au ruisseau. Le sondage 3 révèle une couche de rejet de scories sur environ 60 cm d'épaisseur. Les scories de types A1 et E sont présentes dans un encaissant sableux noir. Dans le fond du sondage, de gros blocs de granit sont posés sur le substrat naturel. Un morceau de métal a été prélevé dans l'US 302 (fig. 166).

Le sondage 4 a été positionné à proximité du ruisseau. La couche principale de rejet de scories (US 404), d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, concerne majoritairement des scories de type A1 prises dans un encaissant sablo-limoneux noir. Un épais niveau de charbon a été mis au jour (US 402), apposé sur le substrat naturel, laissant penser à des activités de charbonnage

en relation avec l'atelier métallurgique (fig. 167). Il s'agit d'une couche sablo-limoneuse noire qui contient de nombreux charbons pluricentimétriques et quelques fragments de scories de type A1. Deux importants prélèvements ont été réalisés dans le but de mener une analyse anthracologique en plus de nouvelles datations. S'intercale ponctuellement entre ces deux niveaux l'US 403, une couche sableuse orangée qui contient quelques graviers et galets, ce qui pose l'hypothèse d'éventuels dépôts résultant des débordements du ruisseau ou de la rivière située à une vingtaine de mètres. Une scorie très dense magnétique a été trouvée en bordure du ruisseau, non loin du sondage (fig. 165).



Figure n°165. Site 21.548.010, à gauche sondage 2. A droite : scorie magnétique

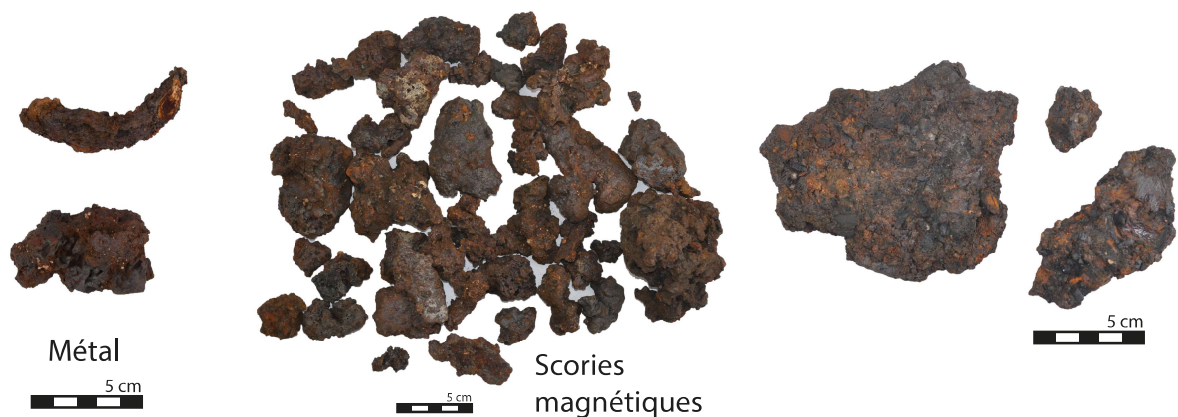
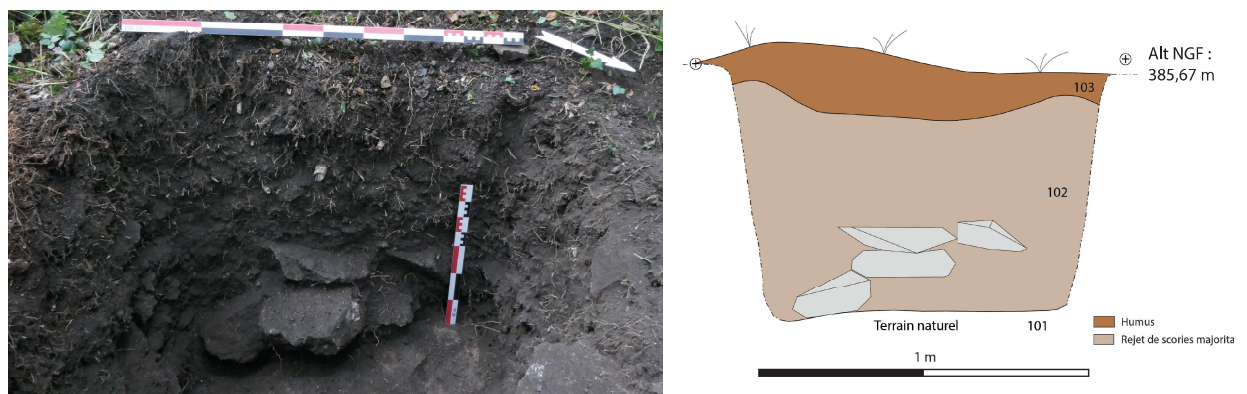


Figure n°166. Site 21.548.010, sondage 3, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne).

Le site du « Gué des Beaumes » apparaît assez complexe. Il associerait aux activités de réduction des activités de charbonnage, voire de post-réduction directement sur l'atelier, à proximité d'un ruisseau. Les nombreux charbons récoltés en stratigraphie permettront de dater chaque amas individuellement et de mieux appréhender la chronologie de l'atelier. Une caractérisation plus précise des déchets permettra également d'approfondir la compréhension du site.

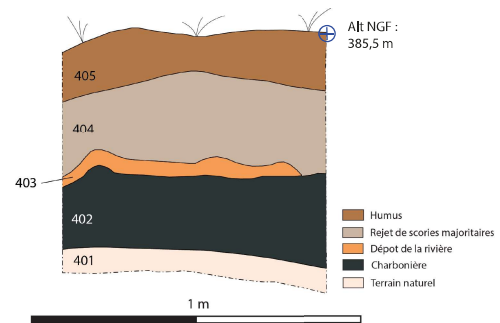


Figure n°167. Site 21.548.010, sondage 4, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, I. Havryltsov).

Site 21.548.013 (Lieu-dit « La Charmée ») :

Coordonnées RGF93 (m) : X : 785511 Y : 6697683

L'amas n°013 est décrit suite aux opérations de prospections menées par R. Jeannot, comme un petit amas allongé de 15 x 3 x 0,2 mètres, concentrant des scories vitreuses aux abords du ruisseau. Cette année, les prospections se sont centrées de chaque côté du ruisseau en le remontant sur plusieurs centaines de mètre, mais l'amas en question n'a pas été. En revanche, quelques scories vitreuses s'apparentant à des laitiers ont été aperçues dispersées par ruisseau le long de celui-ci, suggérant la présence d'un site de réduction indirecte en amont. Des vieilles bâtisses en contrebas du ruisseau suggèrent la possibilité de la présence de structures métallurgiques hydrauliques associées à la réduction indirecte. Il s'agit ici d'une piste qui nécessiterait d'être explorée à travers une recherche d'archives plus approfondie afin de confirmer ou infirmer cette hypothèse.

Site 21.548.014 (Lieu-dit « Le Gué du Piéché ») (fig. 168) :

Coordonnées RGF93 (m) : X : 784990 Y : 6698335

L'amas de scories du Gué du Piéché ne faisait pas partie des sites étudiés par M. Mangin ; il a été découvert lors d'une prospection par l'équipe du PCR en 2018 (Berranger *et al.*, 2018). La fourchette chronologique obtenue se situe entre 584 ap. J.-C. et 658 ap. J.-C. Il est indiqué que le site est en grande partie perturbé par un ancien chemin d'exploitation qui le traverse de part en part. Aujourd'hui, le site se trouve au milieu d'une zone de débardage (fig. 169). Il a pu être repéré uniquement grâce à la présence de scories sur le chemin. Les délimitations de l'amas ont été difficiles à cerner en raison de la forte présence d'arbres au sol ; néanmoins, un contour a pu être réalisé au GPS et le site mesure actuellement dans sa partie visible environ 26 m sur 17 m.

Deux sondages ont été effectués et révèlent une faible épaisseur de scories, entre 20 et 30 cm, prises dans un encaissant limoneux noir et meuble. Le sondage 1 a permis de mettre au jour un niveau compact jaune orangé correspondant à la destruction des fours (US 103). Des fragments

de tuiles, probablement réutilisées dans la construction des fours, ont été prélevés (fig. 170). Le sondage 2 a fait l'objet de 60 litres de prélèvements. Les scories représentent 19% de la masse totale des déchets, ce qui représente environ 230 kg par mètre cube (fig. 171).

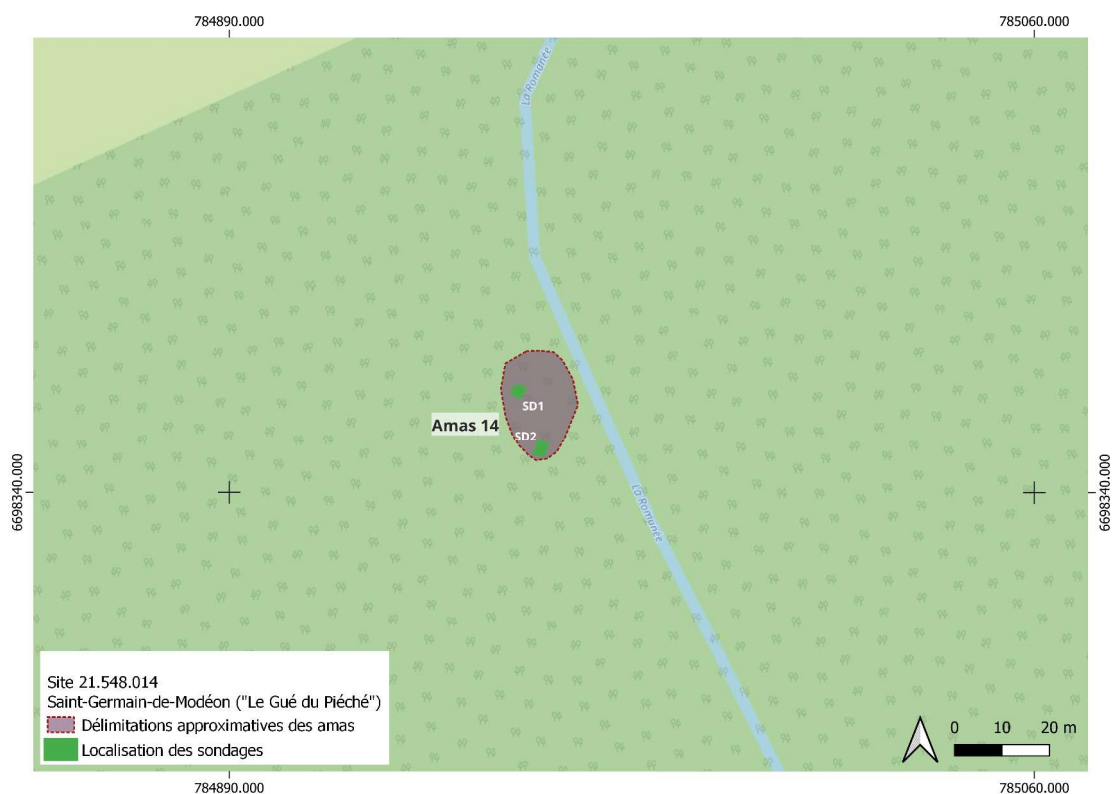


Figure n°168. Site 21.548.014, Saint-Germain-de-Modéon (lieu-dit « Le Gué du Piéché»). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.



Figure n°169. Vue générale du site 21.548.014.

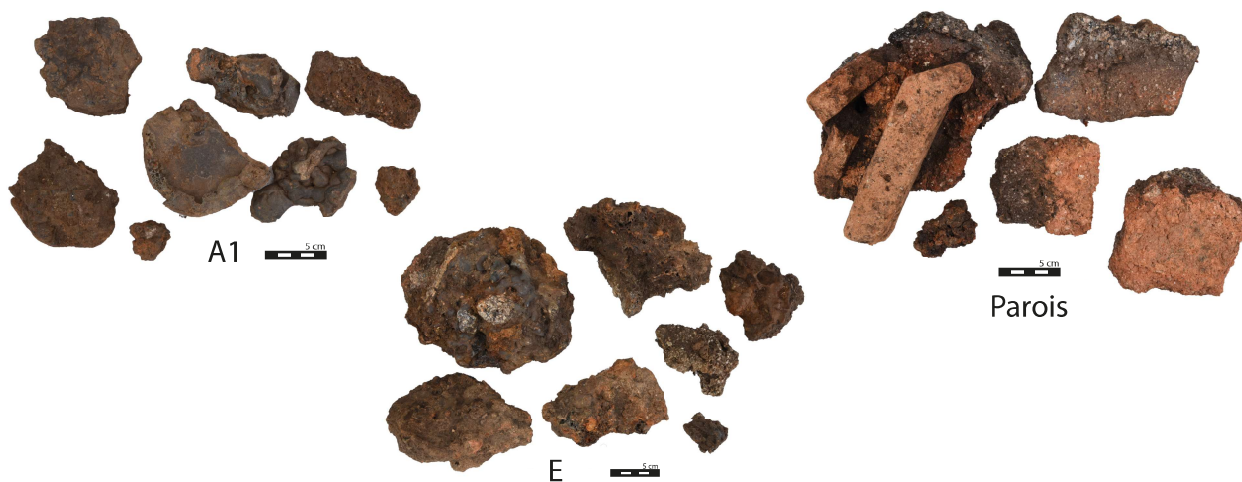
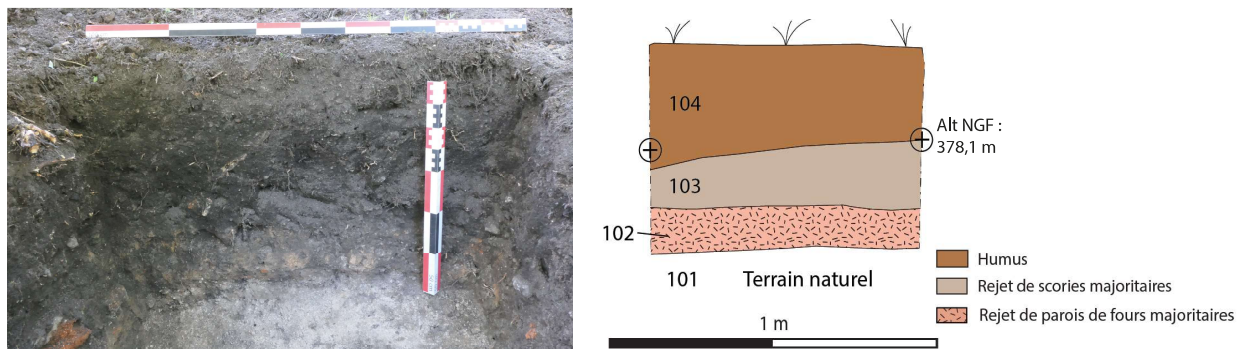


Figure n°170. Site 21.548.014, sondage 1, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Berranger, I. Havryltsov).

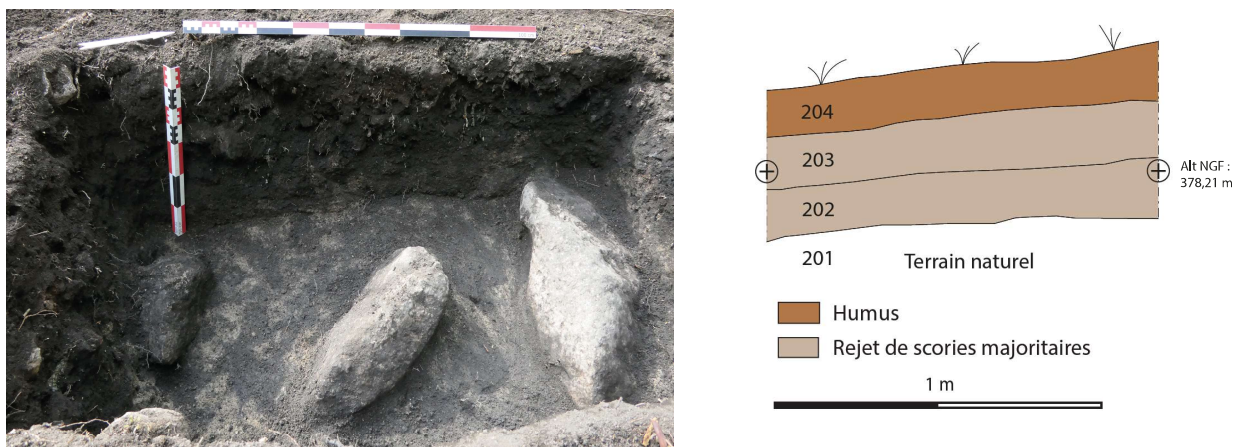


Figure n°171. Site 21.548.014, sondage 2, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Probst).

7.4.4. La Roche-en-Brénil (Lieu-dit « En Lecussy ») (fig. 172)

Le secteur de la Roche-en-Brénil au lieu-dit « En Lecussy » est le principal secteur étudié en 2023. Il avait précédemment fait l'objet de fouilles par Michel Mangin en 1985. Il s'agit ici d'un secteur comptant 3 amas présentant un fort relief, ce qui est une caractéristique peu observée à partir des autres amas étudiés.

Site 21.525.001 :

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786760 Y : 6694990

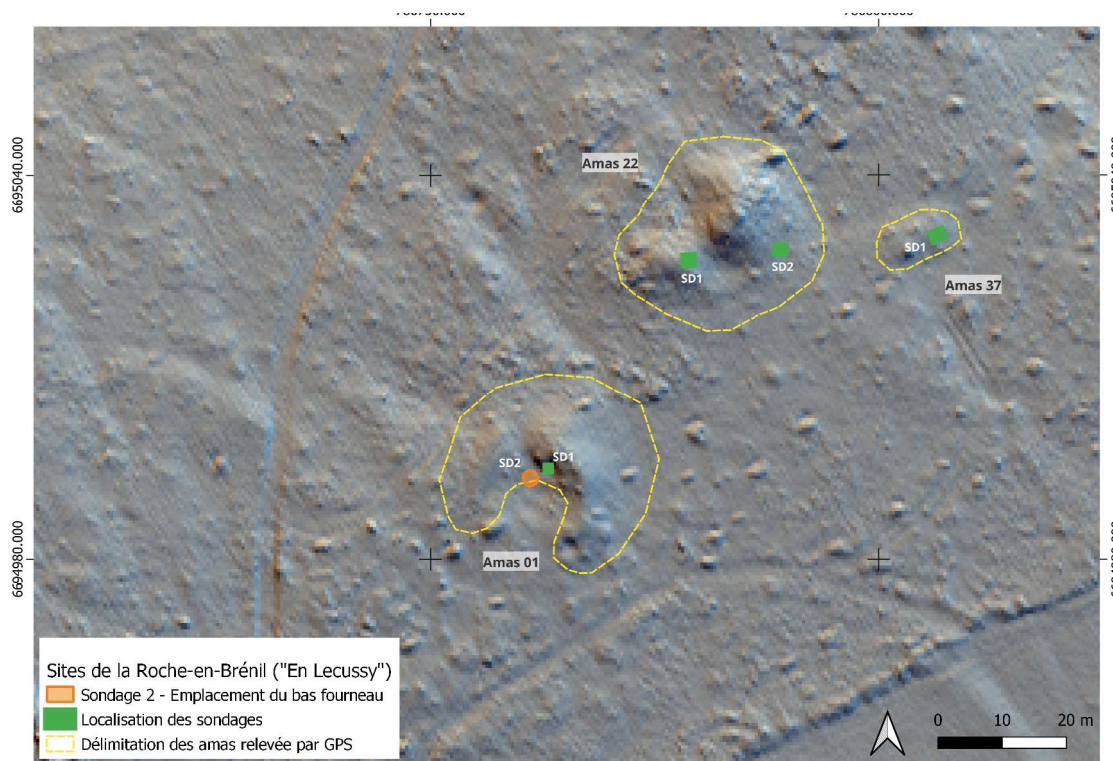


Figure n°172. Localisation des trois amas étudiés sur le secteur de la Roche-en-Brénil. DAO : M. Herbrich. Fond de carte : Acquisition LiDAR GeoBFC (MSH de Dijon, UAR 3516).

L'amas n°1 se présente sous une forme semi-lunaire. En 2015, un échantillon de charbon prélevé en stratigraphie donne une fourchette chronologique comprise entre 1035 et 1210 ap. J.-C. Cette année un sondage a été réalisé au centre de l'amas à partir d'une ancienne coupe réalisée dans les années 1980. Une stratigraphie d'environ 1,20 m a été mise au jour (fig. 173). Au sommet se situe une épaisse couche d'humus d'environ 35 cm d'épaisseur constituée de limons sableux noirs, avec une forte présence de racines, et qui comprend une importante proportion de scories de taille pluricentimétrique. La principale couche de rejet de scories (US 103), constituée d'un encaissant sablo-limoneux noir, a fait l'objet de 120 litres de prélèvements. Les scories, de types A1 et B2, représentent environ 47% du volume pour une masse de 483 kg par mètre cube.

L'un des autres objectifs de l'intervention archéologique menée à La-Roche-en-Brenil 01 « En Lécussy » a été la réouverture d'un des bas fourneaux fouillés en 1985 par Michel Mangin. L'enregistrement photographique de ces fours, tel qu'il est publié (Mangin et al. 1992 – site n°15), n'est en effet pas très qualitatif, il s'agissait donc de réaliser une nouvelle couverture photographique d'un de ces appareils.

Les travaux menés dans les années 1980 avaient porté sur une surface de fouille d'environ 60 m², et avaient mis en évidence quatre bas fourneaux situés immédiatement à l'avant d'un amas de déchets métallurgiques. Ce dernier (site 15A de Michel Mangin), en croissant de lune, est décrit comme mesurant 27 m de diamètre externe, sur 11,5 m de large, et 1,40 d'épaisseur, et avait été sondé en deux emplacements à l'est et à l'ouest. Michel Mangin indique que le sol d'arène de Leucogranite (Mangin et al. p. 55) aurait été légèrement surcreusé avant l'installation de l'atelier. Cette année, c'est une fenêtre d'environ 2,40 m sur 2,80 m qui a été rouverte à l'emplacement du bas fourneau A1.

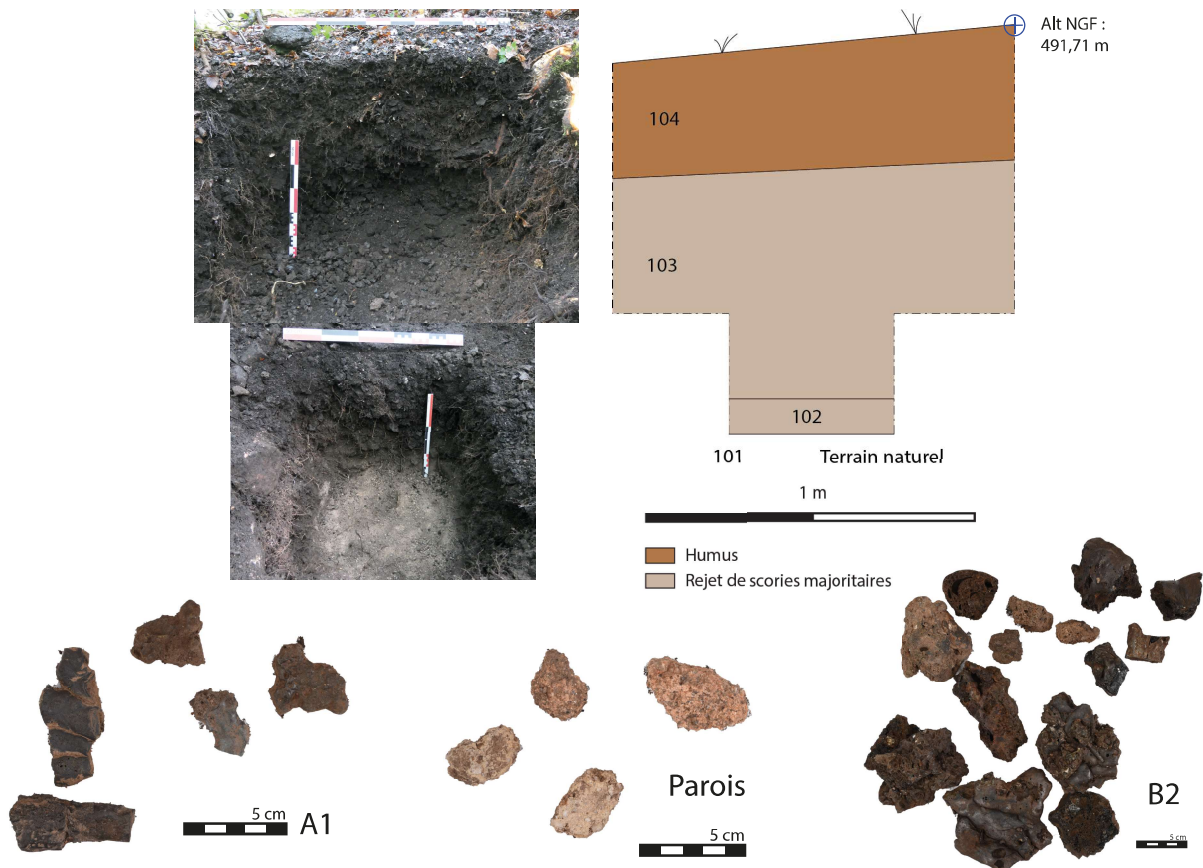


Figure n°173. Site 21.525.001, sondage 1, coupe nord-est et assemblage des déchets (Relevé : M. Berranger, M. Probst).

Michel Mangin fait la description suivante du four (Mangin *et al.* 1992 p.56) « *Le fourneau A1. Il est installé au nord-ouest, directement au pied de la masse principale du ferrier. Son creuset entaille l'arène de 10 à 15 cm ; de forme ovale, il a un diamètre de 0,45 à 0,55 m. Il est entouré, avec une lacune au nord, par une couronne de grandes dalles de granite taillé (ep. 10 cm) disposées à plat sur l'arène (diam. Ext. 0,80 m sur 0,70 m). Les dalles est et ouest sont prolongées au nord par d'autres dalles qui délimitent un couloir qui va se rétrécissant vers le nord de 0,50 m à probablement moins de 0,30 m de l'ouverture. Ce couloir qui a l'aspect d'un alandier de four de potier est ici largement détruit mais peut être restitué par comparaison avec ceux des fourneaux A2 et surtout A3 bien conservés ; il pourrait avoir 0,80 m de longueur. Sur le côté ouest du creuset, la couronne de dalles s'interrompt pour laisser place à un grand bloc de granite soigneusement taillé qui a été découvert debout, déversé légèrement vers l'extérieur (h. 0,70 m ; l. : 0,40 m ; ep. 0,10 m). La partie médiane de sa base est entaillée d'une ouverture semi-circulaire de 5 cm de diamètre en forme de lunule. La paroi interne de la périphérie de la lunule est profondément attaquée par la chaleur : le granite se délite ; immédiatement au-dessus, le granite est recouvert par des couches superposées de scories vitrifiées et de mortier d'arène cuite et dure : trois couches de vitrification sont perceptibles. La place pour un « mantelet » identique existe en position symétrique dans la couronne de dalles entourant le creuset. Ce dernier était vide ; le remplissage de l'ensemble de la structure était identique au remblai cendreux de l'espace fouillé ; il résulte du nivellement naturel. En revanche, sur la périphérie, de petites accumulations d'arène non liées au mortier et pulvérulentes, sont les vestiges – peu importants mais significatifs par leur position – d'un épais manteau qui devait entourer le fourneau quand il était en usage. »*

Les relevés publiés (*ibid*, fig. 22) indiqueraient que le bas fourneau A1 était recouvert par les accumulations de scories qui constituent l'amas. Ces niveaux n'ont évidemment pas été retrouvés. Le bas fourneau était immédiatement visible sous une bâche noire de protection, recouverte elle-même par une faible épaisseur d'humus forestier comprise entre 5 et une vingtaine de centimètres.

L'ouverture du sondage a été déterminée en fonction de l'extension des dalles qui entouraient la cuve circulaire du four : une surface d'environ 4,7 m² a été dégagée. Le grand bloc de granit taillé avec une base taillée en lunule altérée par la chaleur et scorifié, n'a pas été retrouvé. Il est possible de restituer sa position initiale à partir d'une publication antérieure (Mangin, Birke 1989 fig. 7. III). Michel Mangin l'interprète comme un mantelet protégeant la ventilation, la lunule servant de buse dans laquelle on introduisait le soufflet. En l'état de la documentation il est difficile de restituer son fonctionnement. La localisation de la couche de scorie sur une partie sommitale du bloc, de manière incohérente par rapport à l'arrivée d'air permet de supposer que ce bloc n'était probablement pas en place au moment de sa découverte.

La moitié est du four, est cernée par plusieurs dalles, dont une de plus grande taille que les autres, et elles disposées de manière à former une surface régulière, plane (fig. 174 - 175). Cet aménagement s'interrompt à l'ouest sur deux blocs de granit. Le bloc nord est effondré vers l'avant. Au sud le bloc est en place et semble avoir été taillé de manière à former la bordure d'un couloir (ou d'une porte) débouchant sur un espace plat constitué par l'arène granitique. Cette surface était recouverte par une fine couche noire tassée. Il n'est pas possible de déterminer s'il s'agit d'un niveau constitué suite aux piétinements des fouilles des années 1980 où s'il s'agit des vestiges d'un sol de l'atelier.

Le creuset du four, de forme ovale, a été retrouvé. La description de l'époque mentionne une profondeur de 10 à 15 cm. Cependant lors du nettoyage du sommet de ce creuset il est apparu que le sol naturel n'avait pas été atteint. Le nettoyage du « creuset » s'est ainsi transformé en la fouille d'une fosse sous-jacente. Elle a une forme circulaire régulière, creusée dans l'arène granitique sur une profondeur de 45 cm. Les bords du creusement sont rectilignes, légèrement évasés vers le sommet, et le fond est plat. La partie supérieure de cette fosse a été soigneusement aménagée avec de petits blocs de granit mesurant plusieurs dizaines de centimètres, qui forment un parement. Au nord, un bloc taillé profondément enchâssé dans le granit a été utilisé pour constituer une bordure rectiligne. Aucune trace de revêtement argileux n'a été observée. Les bords de la cuve sont rouge. Cette coloration ne résulte cependant pas forcément de l'impact thermique mais plus probablement de la couleur naturelle de l'arène granitique. Il faut souligner la grande dureté des bords de cette fosse directement aménagée dans le sol naturel. La fosse était comblée par deux remplissages non pas superposés, mais disposés de manière concentrique.

L'US 202, est située immédiatement sur les bords de la cuve plus particulièrement sur le côté nord, et correspond à de l'arène granitique mélangée à de la terre et à des racines, ainsi qu'à des fragments de charbons. Il s'agit d'une couche très compacte correspondant à une première phase de comblement de la fosse, par accumulation éventuellement d'éléments apportés par le ruissellement. Une seconde phase de comblement correspond à l'US 201 constituée de limon meuble comprenant des fragments et des branchettes de charbons de bois. Cette disposition permet de se demander si la cuve du four n'a pas connu plusieurs états de fonctionnement, l'US 201 marquant alors une phase d'abandon avant une nouvelle phase d'utilisation correspondant à l'US 202.

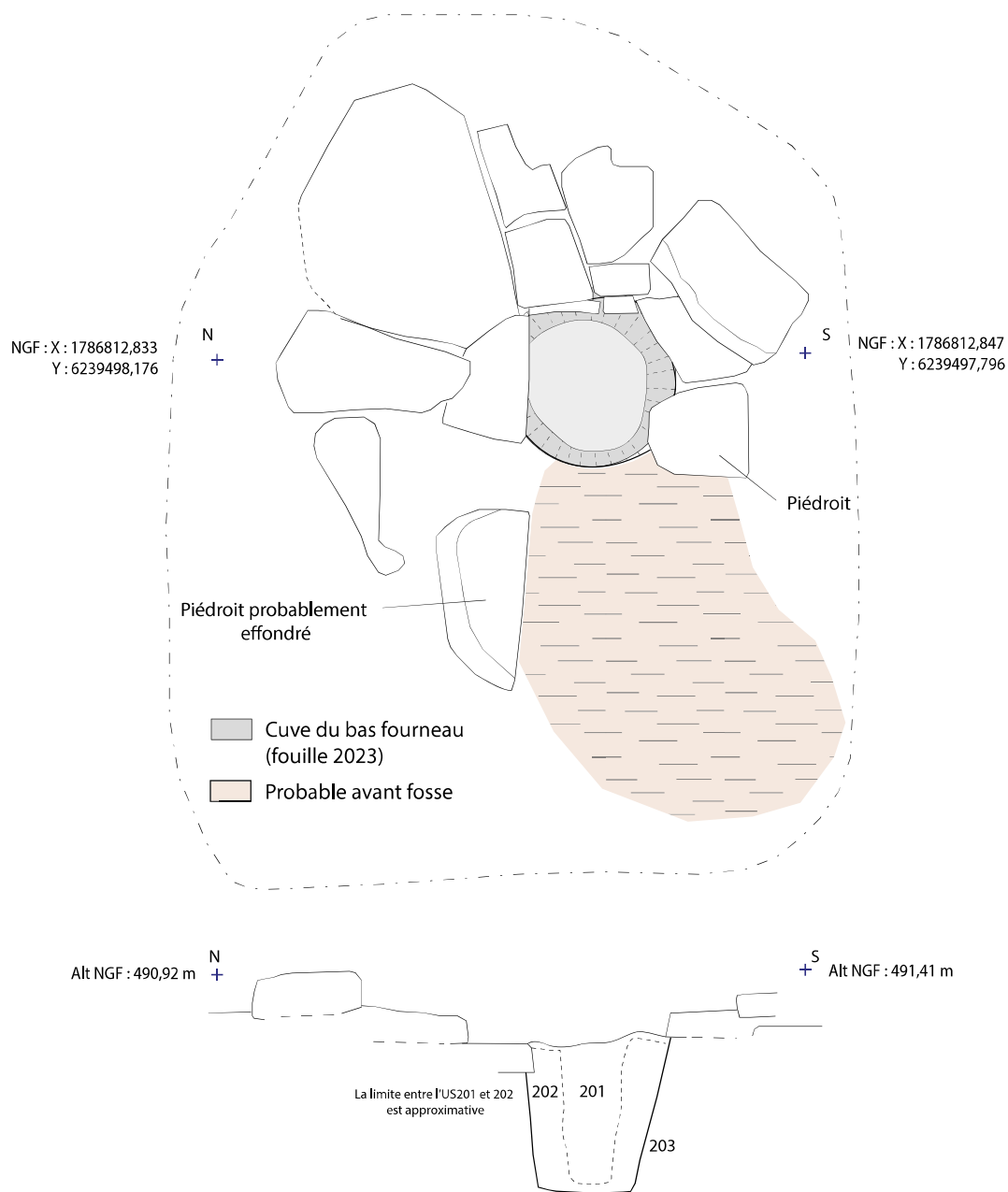


Figure n°174. Site 21.525.001, four A1, plan et coupe (Relevé : M. Mangin, complété M. Berranger, DAO : M. Herbrich).

A l'ouest, la partie avant de la cuve, est exempte de pierres. Une fine couche de sédiment, d'une épaisseur infra-centimétrique, très tassée a été dégagée avant d'atteindre directement le substrat. Ce niveau pourrait correspondre à la phase d'abandon du four, voire à la phase « d'occupation » liée à la fouille des années 1980.

L'achèvement de la fouille de ce four de réduction permet de proposer quelques éléments d'interprétation quant à son organisation générale. Il s'agirait d'un four disposant d'une fosse disposée sous l'(es) arrivée(s) d'air. L'aménagement d'une zone plane sur le côté est, permet d'envisager plusieurs hypothèses. L'emplacement de la grande dalle pourrait correspondre à l'emplacement d'un soufflet dont l'embouchure déboucherait à l'aplomb d'un bloc taillé

marquant le haut de la cuve excavée. Une autre hypothèse serait qu'il s'agisse d'une zone de circulation autour du four, voire d'un espace à partir duquel était chargée en minerai et charbon la cheminée du bas fourneau.



Figure n°175. Site 21.525.001, four A1. A : Vue générale du bas fourneau à l'aant de la butte de scories ; B : état de dégagement en fin de fouille de M. Mangin (années 1980) ; C : vué générale en fin de fouille 2023 avec la mise au jour d'un creuset central ; D : détail du creuset (M. Berranger).

A l'ouest, l'espace d'une trentaine à quarantaine de centimètres délimité par les blocs de granit qui auraient alors servi de piédroits, pourrait correspondre à l'emplacement d'une porte pour le défournement du métal et l'évacuation des scories. L'arène granitique ne semble pas avoir été surcreusée à cet emplacement, mais on note l'absence de bloc de granit dans cet espace lui-même cernée de pierre. Il est possible que la scorie ait pu s'écouler directement à cet emplacement sur l'arène granitique.

L'absence de vestiges de parois scorifiés, tant sur le four que dans le sondage pratiqué dans l'amas de déchets permet de proposer que la cheminée du bas fourneau était constituée d'un parement de blocs de granits éventuellement jointoyés par du mortier en granit comme décrit par Michel Mangin (*ibid*). Des exemples Suédois illustrent l'utilisation possible de blocs de granits non revêtus (Magnusson 1986, p. 308). A ce stade la restitution du système de ventilation du four s'avère problématique, même s'il semble que des blocs de granit taillés étaient utilisés comme protection et éventuellement comme buse. Il n'est pas possible de restituer la hauteur initiale du four, mais la taille du bloc effondré, mesurant de l'ordre de 80 cm pourrait être un indice de la hauteur de la cheminée.

- Premiers éléments de synthèse et de comparaison.

Le contexte géologique de la Roche-En-Brenil explique l'emploi de blocs de granit pour la construction des bas fourneaux. En effet les quatre exemplaires fouillés par Michel Mangin intègrent de grands blocs de granit et parfois des parements en plus petits moellons. La taille de ce qu'il dénomme comme le « creuset » présente des dimensions comprises entre une cinquantaine de centimètres de diamètres pour les fours A1 et A2, et 0,60 à 0,70 m pour les fours A3 et B1. Les trois fourneaux (A1, A2 et A3) situés à l'avant du site 15A semblent posséder dans chacun des cas un espace en avant de la cuve qui aurait pu servir de zone de travail pour extraire le métal, et permettre l'évacuation de la scorie. Le four B1 semble très différent et mériterait un nouvel examen. Aucun des autres exemplaires fouillés ne présente une fosse excavée sous la zone de chauffe, il est cependant possible que, comme cela été le cas du four fouillé cette année, elle n'ait pas été identifiée dans les années 1980.

La présence d'une fosse réceptacle sous la zone de chauffe permet d'envisager la formation de scories piégées. Cependant seuls de très fins écoulements centimétriques et peu fréquents ont été trouvés dans le comblement de la cuve (US 201). De plus, aucun fragment de scorie piégée n'a été mis au jour dans le sondage, certes d'ampleur limité, réalisé cette année. Les scories documentées sont écoulées en cordons superposés ou en boudins et associent textures bulleuses majoritaires et scories denses. Michel Mangin mentionne néanmoins (ibid p. 35) deux fragments de fonds de four de 10 à 15 cm dont la face convexe est enrobée d'arène.

Les petites dimensions des fours de La-Roche-En-Brenil sont comparables à celles d'autres bas fourneaux datés du second Moyen âge (Leroy et al. 1998, Leroy et al. 2015 – chap. 6, Saint Didier 2017, Rais 2005, Vivet 2009). La mise en évidence d'une fosse excavée sous la zone de chauffe du four A1 trouve par contre peu de comparaisons pour des périodes contemporaines du fonctionnement de l'atelier (XI^e-XIII^e d'après la datation radiocarbone d'un charbon provenant de l'amas). L'utilisation d'un four de réduction utilisant une fosse réceptacle est documenté à Champigneulle en Lorraine pour une phase XIV^e-XV^e s. (information Marc Leroy, publication en cours). D'autres exemples sont connus en Suède, notamment dans le Jutland, où l'utilisation de bas fourneaux avec une fosse réceptacle est documentée jusqu'au VII^e s. (Voss 1995).

Site 21.525.022 :

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786768 Y : 6695013

Le site 022 de La Roche-en-Brenil est l'amas conservant la plus grande élévation de la sélection de 2023. Il se présente sous la forme de deux buttes circulaires accolées (fig. 176). Un sondage a été implanté sur chaque butte (fig. 172). Le sondage 1, réalisé sur une profondeur d'environ 1 mètre 10, n'a pas pu atteindre le terrain naturel (fig. 177). L'humus peu présent laisse place à une couche de rejet uniforme s'effondrant facilement en raison de la très faible proportion de matrice sableuse enrobant les blocs de scories. Les déchets sont composés de scories de types A1 associés aux types B1 et B2, sous forme de gros blocs de tailles pluricentimétriques. Environ 180 litres de déchets ont été prélevés dans le sondage 1, révélant une concentration de 77% de scories pour une masse de 750 kg par mètre cube.

Le sondage 2 a été réalisé en contrebas de la seconde butte afin d'étudier une moins grande hauteur de stratigraphie et de définir l'altitude du sol naturel. La stratigraphie, assez similaire au sondage 1, est constituée d'une fine couche d'humus qui repose sur la couche de rejet principale composée de gros blocs de scories de type A1 et B prises dans une matrice peu abondante de

limons sableux. Le terrain naturel est atteint à une profondeur d'environ 60 centimètres. Les prélèvements volumétriques, à raison de 180 litres, ont révélé dans ce sondage une concentration moindre de 69% de scories par mètre cube, mais une masse plus élevée de 830 kg par mètre cube. Cette différence peut notamment s'expliquer par une plus forte présence de scories lourdes de type A1 dans le sondage 2.



Figure n°176. 21.525.022. Gauche, vue générale des deux buttes, droite, sondage 2 (M. Herbrich)

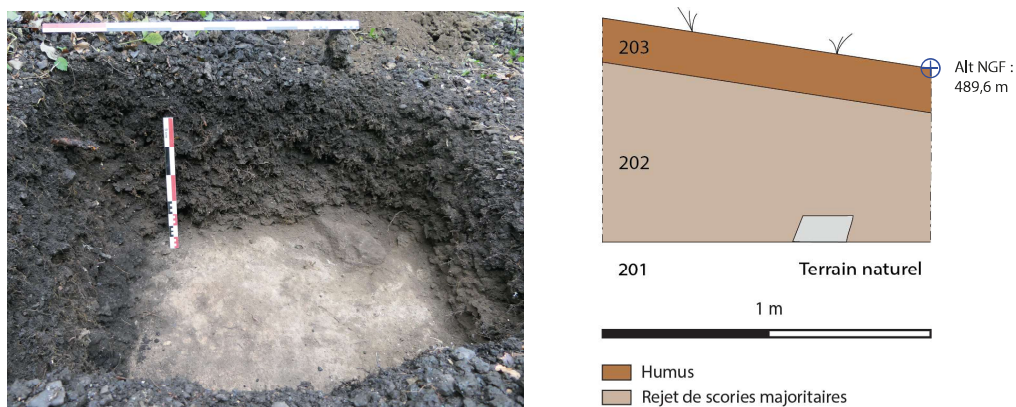


Figure n°177. Site 21.525.022, sondage 1, coupe ouest (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne).

Seule une date est actuellement disponible pour le site 022, issue d'une datation au C14 réalisée sur un échantillon de charbon prélevé dans les années 90 par M. Mangin, indiquant une fourchette de datation située entre 1045 et 1395 après J.-C. Il était donc essentiel de renouveler cette datation en prélevant de nouveaux échantillons de charbon en stratigraphie. Quelques fragments ont été collectés dans les US 102 et 202.

De petites tranchées de quelques dizaines de centimètres ont été réalisées tout autour de l'amas afin de définir non seulement ses dimensions, mais aussi la profondeur de la couche de scories. Les buttes mesurent respectivement 20 x 14 x 1,75 mètres et 27 x 18 x 3,5 mètres. L'objectif était également de reproduire le protocole de calcul de volume appliqué cette année au site 001 de Montholon (voir chap. 4), en associant les données 3D LiDAR aux relevés altimétriques du terrain naturel. Pour le moment, les données LiDAR de la MSH ne sont pas d'une qualité suffisante pour réaliser les calculs. Ce travail sera effectué sur les relevés réalisés par la MSHE Ledoux, actuellement en cours de traitement.

Site 21.525.037 :

Coordonnées RGF93 (m) : X : 786797 Y : 6695025

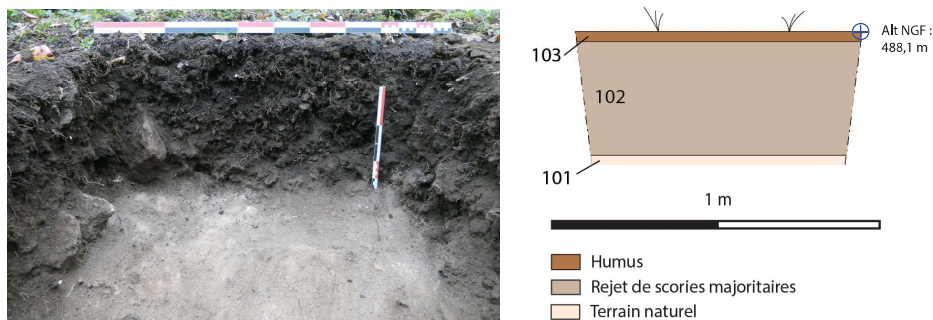


Figure n°178. Site 21.525.037, sondage 1, coupe sud-ouest et assemblage des déchets (Relevé : L. Klein, M. Probst).

L'amas 037, situé à quelques mètres de l'amas 002, se présente sous la forme d'une butte intacte très discrète (13x7x0,8 mètres). Un seul sondage a été réalisé (fig. 178). La stratigraphie est constituée par une couche de rejet de scories d'environ 30 centimètres d'épaisseur emballés dans une matrice de limons sableux de couleur marron. L'assemblage de scories est similaire aux deux autres sites d'En Lecussy, avec des scories de type A1 associées au type B. Environ 120 litres ont été prélevés dans l'US 102. L'amas présente une concentration de 58% de scories pour une masse d'environ 650 kg par mètre cube. Une datation au carbone 14 réalisée en 2021 indique une fourchette de datation comprise entre 773 et 988 après J.-C. Cette date est plus ancienne que celle des deux autres amas adjacents, et doit être confirmée.

7. 5. Conclusions et perspectives

7.5.1. Traitement des données LiDAR

La résolution actuelle des données de la couverture LiDAR effectuée par la MSH de Dijon n'est pas suffisamment élevée pour permettre des calculs de volumes fiables. Seuls les amas 001 et 022 de la Roche-en-Brénil, présentant une élévation comprise entre 2 et 3 mètres, sont visibles sur les modèles numériques de terrain. La couverture LiDAR de la MSH se révèle relativement inadaptée pour la modélisation des autres amas de scories médiévaux dont les élévations ne dépassent pas le mètre.

En 2023, le secteur de la Roche-en-Brénil a bénéficié d'acquisitions LiDAR embarquées sur un drone, menées par la MSHE Ledoux (USR 3124, Besançon). Ces données permettront d'obtenir une meilleure précision pour effectuer des calculs de volume. Bien qu'aucune autre structure associée n'ait été mise en évidence à ce stade à partir des modèles numériques de terrain accessibles, des acquisitions d'une résolution supérieure pourraient offrir un nouveau point de vue sur l'organisation spatiale de l'atelier de la Roche-en-Brénil.

7.5.2. L'étude des déchets de réduction

Les amas étudiés présentent des concentrations en scories assez variées même si une tendance principale émerge des calculs de masse : les amas présentent des concentrations comprises entre 50 et 70% que l'on pourrait qualifier de modérées à élevées, soit des concentrations plutôt

faibles, comprise entre 10 et 20% par mètre cube. Ces variations se reflètent également dans la masse, comprise entre environ 700 kg/m³ pour la moyenne haute, et entre 100 et 200 kg/m³ pour les valeurs les plus basses. Actuellement, l'étude ne permet pas d'établir de lien évident entre la concentration de déchets par mètre cube et une chronologie spécifique.

Ces estimations doivent être considérées avec prudence et ne doivent pas être interprétées comme un «indice» reflétant directement l'intensité de la production. Les scories de type B, bulleuses et donc légères sont abondantes sur les sites médiévaux, et représentent une masse nécessairement moins élevée pour un volume équivalent par rapport aux scories plus denses de type A1. L'évaluation de la production médiévale du Morvan-Auxois ne pourra se faire qu'en associant les données de concentration par mètre cube aux bilans matières par types de scories.

Le premier travail à poursuivre concernera les analyses chimiques. Les déchets prélevés dans les différents sondages sont triés par type et des échantillons caractéristiques de chaque catégorie seront tronçonnés puis analysés par fluorescence X portable. En fonction des teneurs en éléments tels que Al, Si, K, Ca, Fe, Na, Mg et Ti, des bilans matières seront établis pour déterminer le rendement théorique d'une opération de réduction sur un site donné. Combinés aux données de volume extraites des modèles LiDAR, les bilans matières permettront d'extrapoler des quantités de métal produites sur les ateliers.

Les calculs de rendement basés sur les bilans matières pourraient être éventuellement associés à des calculs de volume des cuves des bas fourneaux présents sur site, dans le but de mieux définir le rendement en fer et en scories d'une opération.

7.5.3. De nouveaux travaux sur le terrain

De nouvelles interventions sur les secteurs de la Roche-en-Brenil et de Thoste, plus spécifiquement sur le site de la « Comme Philippe » pourront être envisagés afin de renouveler la documentation ancienne, notamment afin de préciser la typologie et le fonctionnement des bas fourneaux.

Sur le site de La-Roche-en-Brenil 01, la réouverture du bas fourneau A1 et son nettoyage, initialement afin de procéder à un nouvel enregistrement photographique du four, ont conduit à la mise en évidence d'une fosse située sous la cuve du bas fourneau, et qui n'avait pas été identifiée lors des fouilles des années 1980. Cette découverte amène à réévaluer l'architecture et le fonctionnement des fours de La-Roche-En-Lecussy tel que décrit dans l'ouvrage de Mangin et al. 1992.

A ce stade la poursuite des travaux passera prioritairement par la datation du four, sur la base des branchettes de charbons nouvellement prélevées dans la cuve. Actuellement ce site est en effet uniquement daté par un charbon prélevé au sein de l'amas. Les déchets provenant de l'amas devront faire l'objet d'une étude macroscopique et archéométrique afin de mieux comprendre leurs conditions de formation, en lien avec l'étude des bas fourneaux.

A l'issue de l'intervention sur le bas fourneau A1 de La-Roche-en-Brenil 01, certaines questions restent en suspens. Seule l'organisation d'une nouvelle fouille dans un premier temps centrée sur l'espace déjà fouillé par Michel Mangin permettrait de déterminer si le four en fosse A1 est un type unique dans l'atelier, ou si cette architecture, ne trouvant quasi-aucune comparaison pour cette aire chrono-culturelle, caractérise l'ensemble des bas fourneaux de La-Roche-en-

Brenil 1. Ce type d'investigation permettrait également de proposer un nouvel examen de ces structures qui comptent parmi les premiers foyers de réduction fouillées en France et dont la documentation reste lacunaire. Dans ce cadre la recherche de charbons afin de dater les différents fours serait un autre objectif prioritaire.

Une première série de charbons à dater issus des sites sondés cet été a déjà été sélectionnée (fig. 179).

Commune	N° Site	N° US	Justification de la date
Thoste	21.635.002	102-103	Amas le plus ancien étudié en 2023. Une seule date est disponible. Il s'agirait de confirmer la date de 2021.
Saint-Germain-de-Modéon	21.548.010	102-302-402-503	Une seule date est disponible pour l'ensemble du site (3 amas, site complexe avec l'hypothèse d'activités de charbonnage et de forge). Il s'agirait de dater les 3 amas individuellement.
La-Roche-en-Brenil	21.525.001	201-202	Site étudié par M. Mangin dans les années 1980-1990. La fouille d'un bas fourneau a été complétée. Il s'agirait de dater le fonctionnement du bas fourneau à partir de charbons trouvés dans la cuve.
	21.525.022	101-202	Confirmation d'une date ancienne réalisée par M. Mangin dans les années 1990.

Figure n°179. Sélection des charbons à dater de manière prioritaire.

8. Gestion des ressources combustibles en contexte de production sidérurgique : étude dendro-anthracologique des fouilles archéologiques d'Entrains-sur-Nohain (2008-2016)

Rémy Jeannot, Olivier Girardclos

8.1. Comprendre les interactions entre ressource forestière et activités sidérurgiques

L'agglomération antique d'*Intaranum* (Entrains-sur-Nohain, Nièvre) fait depuis 2014 l'objet de nombreuses études menées dans le cadre du PCR « La Sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau [...] » : en effet, suite aux découvertes de multiples forges lors des opérations préventives de 2008, 2011, 2013 et 2014-2015 (Tisserand (dir), 2012 ; Vincent (dir), 2014 ; Venault (dir), 2023), l'agglomération est apparue comme un centre de transformation majeur des produits bruts issus de la sidérurgie primaire régionale (plusieurs tonnes de déchets de forge retrouvés ; cf. Berranger (dir), 2015) (fig. 181). De fait, elle constitue une pièce importante de la compréhension de l'organisation de la production sidérurgique pour ces périodes.

La réalisation de fouilles dans le cadre préventif sur ce site présente un intérêt tout particulier, en permettant de documenter des activités de post-réduction en contexte d'agglomération, activités difficilement appréhendées dans le cadre de recherches plus ciblées telles que les prospections et sondages programmés ; il est ainsi possible de disposer de données de natures très variées (concernant l'activité sidérurgique, mais aussi les activités et occupations associées) replacées dans une stratigraphie détaillée sur une période large, qui permettent une restitution fine des évolutions en lien avec la production.

Dans ce cadre, la reprise des corpus anthracologiques disponibles sur l'agglomération constitue une opportunité d'étudier les interactions réciproques entre combustibles disponibles et activités sidérurgiques (Dufraisse & Coubray, 2018). En effet, de par les quantités très importantes de combustibles nécessaires à ces activités, gestion de la ressource forestière et production sidérurgiques apparaissent entièrement inter-dépendantes : la consommation de bois amène une contrainte importante sur la forêt, quand les quantités de bois disponibles limitent l'intensité de l'activité de production.

L'objectif est donc ici de documenter l'évolution de la ressource en bois en fonction de l'organisation de la production sidérurgique dans l'agglomération. Différents schémas sont en effet envisageables, entre deux extrêmes que seraient l'épuisement progressif de la ressource ou la mise en place de modes de gestion adaptés aux besoins des activités sur le long terme. Il sera possible de s'appuyer dans cette démarche sur les travaux déjà réalisés sur l'agglomération, notamment le système d'information géographique mis en place dans le cadre du PCR cité pour permettre une exploitation synthétique de la documentation archéologique (Jeannot, in Berranger (dir), 2021) et des études paléo-métallurgiques des multiples opérations archéologiques.

8. 2. Corpus et méthodes d'étude

8.2.1. Témoins étudiés : maximiser la diversité des contextes

De manière à couvrir au mieux la diversité des contextes disponibles, tant dans leur lien aux différentes activités qu'à la chronologie, il a été décidé de multiplier au maximum les prélèvements enregistrés, quitte à réduire la quantité d'individus inclus dans chaque contexte.

Si cette approche peut diminuer la représentativité des individus étudiés pour l'interprétation de chaque ensemble, elle permet toutefois d'opérer des synthèses plus représentatives en groupant les ensembles selon différentes modalités (lien aux activités ou temporalité) ; par ailleurs, la représentativité de chaque contexte peut être testée statistiquement afin de pondérer les informations issues de leur étude. La figure 180 présente une synthèse des contextes étudiés.

Operation	US	Type	TPQ	TAQ	Mesures	Identifications
ESN08	134	Creusement	80	100	15	30
	202	Demolition	220	260	54	77
	211	Creusement	40	80	14	18
	220	Niveau de circulation-occupation	80	100	34	56
	297	Niveau de circulation-occupation	190	220	57	63
ESN13	2202	Creusement	170	200	1	1
	2208	Comblement	150	170	27	28
	2305	Remblai	115	120	2	2
	2556		70	75	13	13
ESN14	7109	Niveau de circulation-occupation	150	250	38	57
	7110	Niveau de circulation-occupation	150	250	15	25
	7174	Niveau de circulation-occupation	-27	73	38	53
	8003	Niveau de circulation-occupation	140	250	22	24
	8005	Niveau de circulation-occupation	140	250	20	23
	8025		140	250	21	21
	8026	Niveau de circulation-occupation	140	250	76	84
	8216	Niveau de circulation-occupation	60	160	37	55
	9010	Niveau de circulation-occupation	150	250	22	22
	9049	Remblai	101	201	38	80
	9087	Creusement	101	201	17	25
9098	Comblement	101	201	42	81	
ESN16	102	Occupation	1295	1401	0	10
	104	Occupation	51	236	0	10
	404	Occupation	-41	124	2	6
	502		121	311	2	5

Figure n°180. Table 1 : Liste des contextes livrant les témoins étudiés

Concrètement, sur les quatre opérations pour lesquels des charbons ont été mobilisés, les prélèvements sont apparus de tailles très variables, parfois découlant de stratégies de ramassage très différentes ; dans toutes les opérations étudiées, seuls les prélèvements jugés les plus riches ont été sélectionnés pour étude :

- Les individus étudiés issus de l'opération de 2008 (ESN08 : Tisserand (dir), 2012) sont issus de prélèvements en vrac tamisés. Ils totalisent 244 fragments de charbons répartis dans 5 contextes.

- Les individus étudiés de l'opération de 2013 (ESN13 : Venault (dir), 2023) sont issus de ramassages à l'oeil ; ils apparaissent donc généralement de taille plus importante mais en plus petit nombre que lorsque les prélèvements sont effectués en vrac. Les 44 charbons étudiés proviennent de 4 contextes différents.

- Les individus de l'opération de 2014-2015 (ESN14) sont issus de prélèvements en vrac tamisés. Les 550 charbons identifiés sont répartis dans 12 unités stratigraphiques, divisées en 22 prélèvements au total.

- Les individus de l'opération de 2016 (ESN16 : Jeannot, 2016) sont issus de prélèvements en vrac tamisés ; ces prélèvements, réalisés à l'origine pour caractériser les scories de réduction, n'ont livré que des charbons de très petite taille. Les 31 charbons identifiés proviennent de quatre contextes.

Au total, 869 fragments de charbon ont été identifiés, 607 ont été mesurés, livrant autant de diamètres restituables et 5045 cernes documentés.

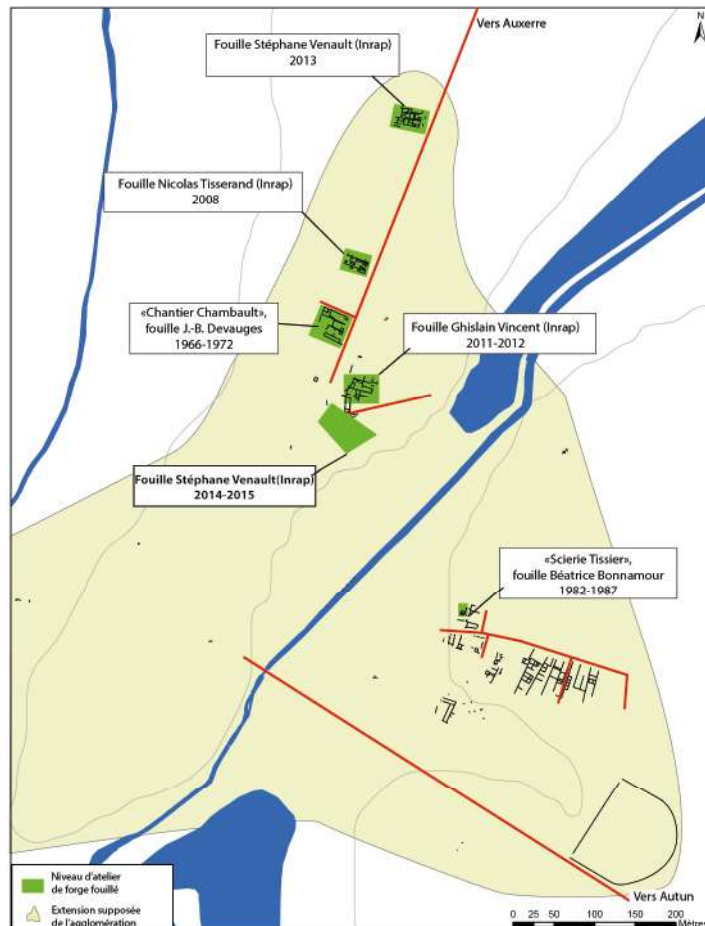


Figure n°181. Entrains-sur-Nohain (Nièvre). Localisation des emprises fouillées (L. Gaëtan).

8.2.2. Cadre pour l'enregistrement et le traitement des données

Après les éventuelles préparations nécessaires des prélèvements (lavage et flottations, Chabal et al., 1999), l'étude des restes anthracologiques débute par l'identification taxonomique d'un nombre représentatif d'individus. Cette identification est réalisée sur la base de la comparaison de structures anatomiques observées sur trois plans de coupe (transversal, tangentiel, radial) au microscope optique à lumière réfléchie (grossissements x50 à x500) avec les collections de référence et la bibliographie (en particulier Schweingruber 1990).

En parallèle, sont enregistrés plusieurs observations morphologiques ponctuelles, telles que présence de la moelle et de la zone cambiale, présence de bois final sur le dernier cerne, fentes de retrait, états de surfaces (charbon brut / angles vifs, surfaces sculptées / usées, craquelures), traces d'outils, traces d'insectes xylophages ou d'hyphes, présence de thylles chez le chêne ou aspect du charbon (mat, brillant, scoriacé : Oillic 2011). Un tableau d'inventaire est fourni en @annexe 1.

Dans un second temps, les charbons font l'objet de mesures afin de déterminer la largeur de chaque cerne conservé et le diamètre (calibre) probable des bois prélevés. L'estimation d'un rayon minimum est fournie par une construction basée sur le théorème de Thalès, réalisée à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image liée à un microscope numérique, qui produit une évaluation de la distance entre la moelle et le premier cerne conservé (Dufraisse et al, 2020) ; en multipliant ces mesures à plusieurs reprises par individu documenté, il est possible d'obtenir une moyenne

et une marge d'erreur standard pour chaque charbon et d'éliminer les mesures aberrantes. La figure 182 présente les mesures produites ici, leur répartition et leur incertitude ; la figure 183 présente la répartition de ces mesures (x2), en attribuant aux rayons considérés parallèles une mesure arbitraire déterminée par la taille du charbon. Le diamètre minimum est obtenu sur cette base en additionnant cette moyenne avec la somme des épaisseurs des cernes du charbon. Enfin, en conséquence de la fragmentation des bois lors de la combustion, il convient d'interpréter la répartition du rayon minimum obtenue pour les fragments, afin de déterminer la proportion de chaque classe de calibres de bois probablement exploités. Cette étape, après correction du retrait à la carbonisation, spécifique au taxon considéré (Garcia-Martinez & Dufraisse, 2012 ; Fouédjeu et al., 2021) est réalisée par deux méthodes complémentaires : l'une permet de déduire la répartition des calibres à l'origine de la répartition constatée des mesures effectuées sur les charbons par le calcul, utilisant en quelque sorte « la primitive » de la fonction qui transforme les bois en charbons (Dufraisse, 2006), la seconde permet de sélectionner par test statistique des répartitions « types » créées par simulation qui pourraient être à l'origine de la répartition observée (Ludemann, 2008 ; Paradis-Grenouillet et al., 2015).

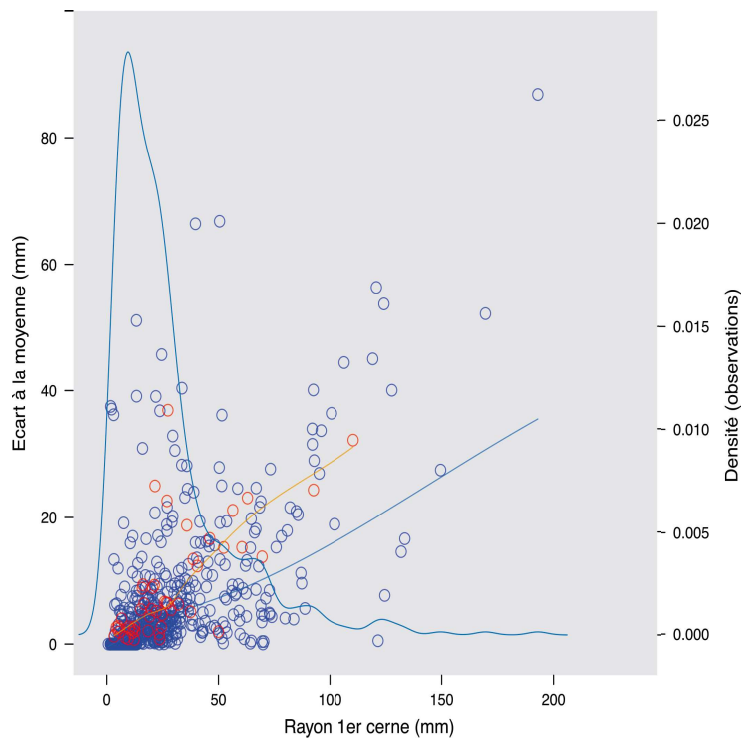


Figure n°182. Caractérisation des mesures effectuées, valeurs et précision (R. Jeannot, O. Girardclos)

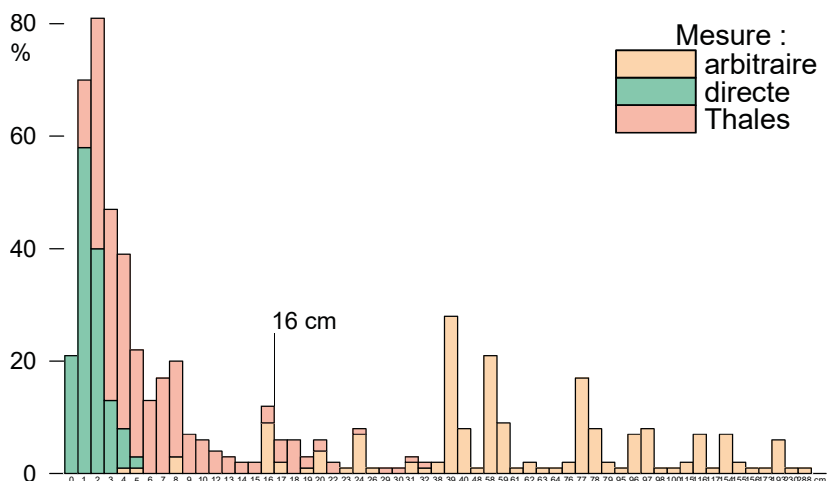


Figure n°183. Compte des mesures de diamètres attribués, valeurs et modes de production (R. Jeannot, O. Girardclos)

Enfin, la constitution de courbes de croissances moyennes des individus de chaque contexte permet de développer des hypothèses concernant la forme du peuplement d'origine des charbons de ces contextes (Girardclos et al., 2017), en particulier par leur comparaison avec des échantillons de référence dont les caractéristiques forestières sont connues (Dufraisse et al., 2018).

Pour toutes ces opérations, les transformations statistiques et les traitements destinés à réaliser les figures ont été produits au moyen du langage R (R Core Team, 2022).

8.2.3. Opérations effectuées pour la restitution des calibres exploités

Dans le contexte de cette étude, l'interprétation des mesures de « rayon estimé » comme « calibres exploités » a fait l'objet d'une attention particulière. La particularité des ensembles étudiés ici tient en effet au faible nombre d'individus observés : constater des répartitions différentes dans les lots étudiés ne permet donc pas toujours de déterminer si les stratégies de sélection des bois sont effectivement différentes. Dans un premier temps, les ensembles étudiés sont donc comparés directement deux à deux par les tests de Wilcoxon-Mann-Whitney et de Levene afin de déterminer s'ils peuvent être considérés différents ou non. Le rejet de l'hypothèse du test avec une probabilité supérieure à 5 % permet de considérer deux spectres significativement différents. Les tests ne sont pas pratiqués directement sur l'estimation moyenne du rayon de chaque charbon mais sur des tirages effectués dans l'intervalle de probabilité de ce rayon autour de la moyenne [moyenne – écart type ; moyenne + écart type].

Afin d'obtenir des représentations interprétables des répartitions des calibres exploités, les positions probables pondérées de chaque charbon sont additionnées afin de créer une règle de probabilité caractérisant un ensemble archéologique ; afin de ne pas causer arbitrairement une trop grande perte d'informations, il a été choisi de garder un pas d'1 cm de rayon dans ce calcul ; ce sont directement ces règles de probabilités qui sont transformées avec la méthode « par la primitive ». La seconde méthode consiste à comparer aux répartitions « types » des tirages effectués soit directement dans l'intervalle d'estimation de chaque charbon, soit dans la règle de probabilité caractérisant un ensemble. La figure 184 présente quelques exemples parmi les 5215 répartitions « types » utilisées dans cette approche. La figure 185 présente trois ensembles archéologiques (en colonnes) traités de cette manière : sur les trois premiers graphiques en ligne, la courbe rouge présente les valeurs brutes observées pondérées (par leur incertitude), corrigées du retrait dû à la carbonisation, pour lesquelles la somme des probabilités supérieures à 8 cm de rayon ont été réattribuées (valeurs à forte incertitude réparties artificiellement afin de simuler le plus petit calibre prélevé qui ne crée pas de paradoxe) ; la ligne verte présente les valeurs de calibre obtenues à partir de ces données par « la primitive » ; l'intervalle vert présente la différence entre le maximum et le minimum de toutes les répartitions simulées non-excluables (que le test considère à même de produire la répartition après fragmentation) en utilisant un tirage sur l'intervalle de probabilité de chaque charbon. Sur les trois figures suivantes, l'intervalle bleu présente à nouveau la différence entre le maximum et minimum de toutes les répartitions simulées non-excluables par le test, mais avec un tirage sur les règles de probabilité (courbe rouge) : si le tirage par individus (en vert) est plus « juste » (comparable à un tirage sans remplacement), la figure montre que le tirage sur la loi de probabilité (en bleu), plus simple à appliquer sur des données recomposées et pondérées (par exemple pour la synthèse chronologique) donne des résultats suffisamment similaires. Il est à noter que les répartitions « types » utilisées ici incluent des formes peu probables (pics avec équarts-types réduits même pour des grands diamètres), qui peuvent artificiellement élargir les intervalles représentés en bleu et vert sur la figure.

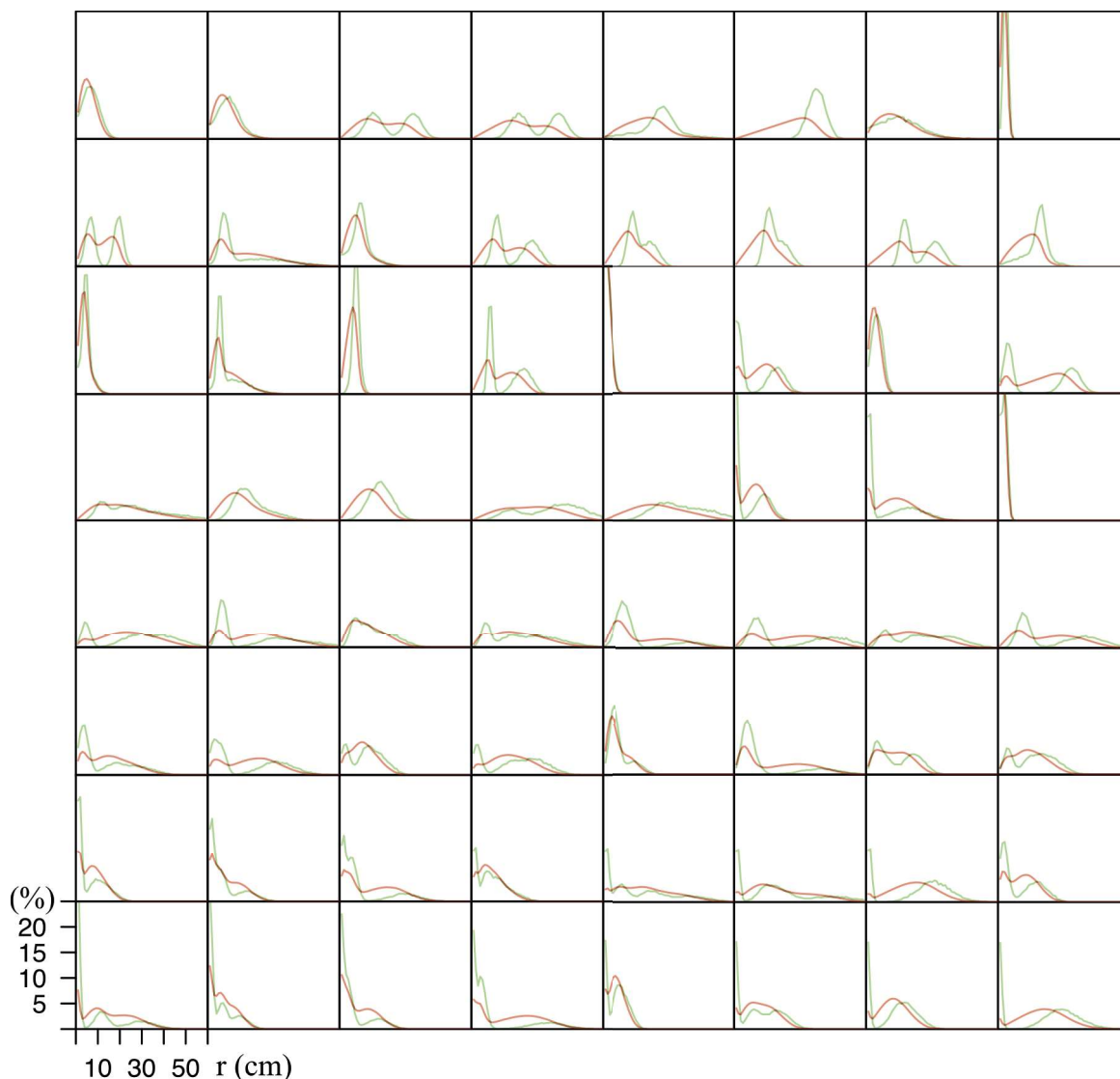


Figure n°184. Quelques exemples des répartitions « types » simulées, charbons observables en nombre (rouge) et calibres exploités en masse (vert) (R. Jeannot, O. Girardclos)

De fait, la figure 185 présente l'espace d'incertitude de la proportion de bois exploités pour chaque diamètre par classes de 1 centimètre (intervalles vert & bleu) et leur proportions si l'échantillon prélevé se résumait aux charbons étudiés (courbe verte). Avec l'augmentation du nombre de mesures, la ligne verte doit donc être de plus en plus régulière et les intervalles doivent se resserrer sur ses valeurs (un effet similaire peut être obtenu en élargissant les intervalles de mesure documentés : rectangles et courbe des graphiques de la ligne inférieure). L'intérêt de cette double méthode est de proposer graphiquement une représentation de l'incertitude, qu'elle soit due à l'imprécision des mesures ou à leur trop faible nombre, tout en validant les courbes simulées retenues par le calcul direct.

8.2.4. Structuration des données acquises et outils de synthèse

Toutes les données acquises ont pu être exploitées au moyen de la base de données créée pour le SIG synthétisant les opérations archéologiques réalisées sur l'agglomération, donnant à chaque individu enregistré un contexte chronologique, géographique et le reliant avec les ateliers sidérurgiques étudiés et les déchets qui les caractérisent. Il a donc été possible de mettre en parallèle les données anthracologiques avec ces éléments de contextes. La figure 186 présente

la structure (encore partiellement en cours de modification) de la base de données, pensée de manière à permettre une exploitation par « objet historique » (Rodier & Saligny, 2010).

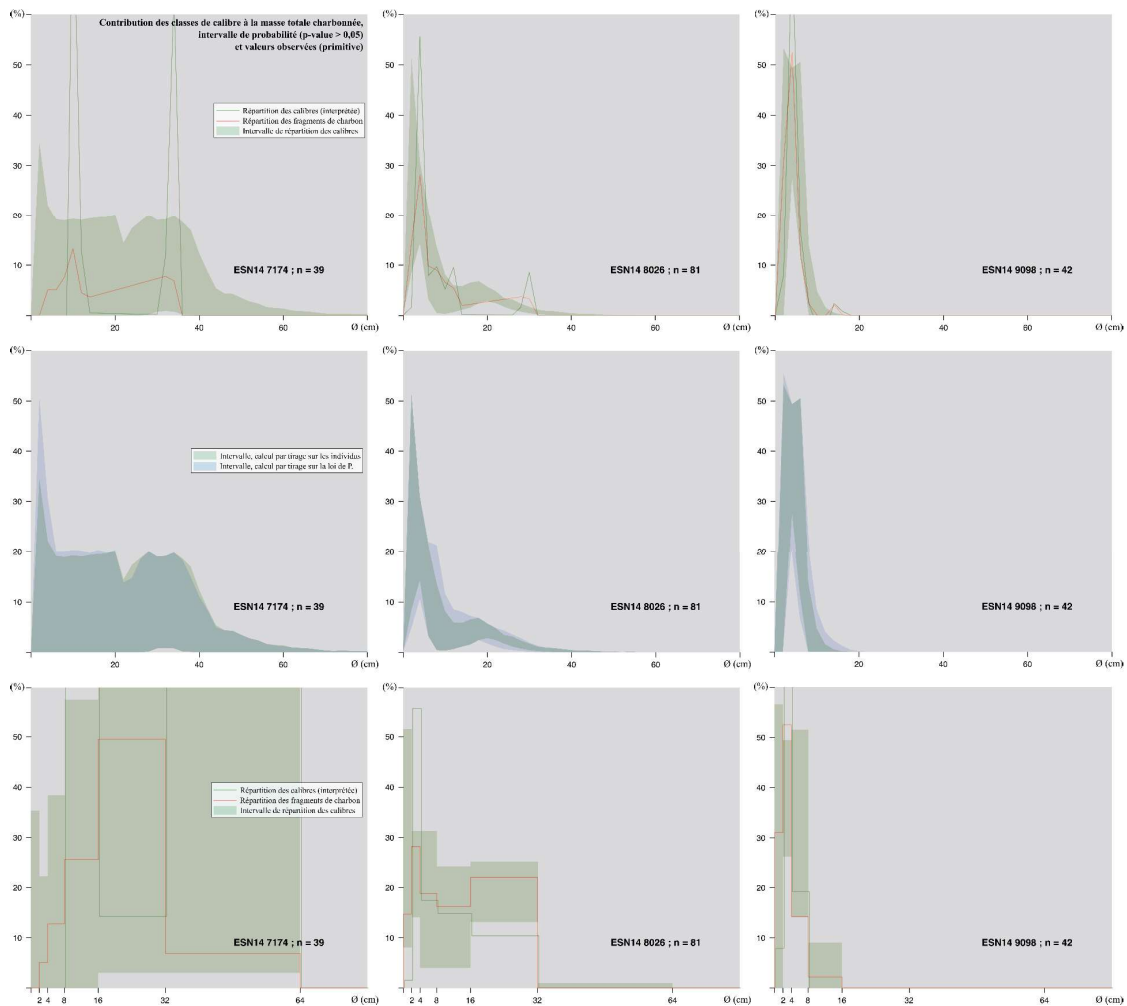


Figure n°185. Exemples de restitution des calibres exploités sur trois contextes du corpus (méthodes en lignes, contextes en colonnes) (R. Jeannot, O. Girardclos)

Afin de permettre une approche chronologique de l'évolution de la ressource forestière exploitée, il a été possible d'utiliser une démarche « aoriste » (cf. Johnson 2003 ; Crema 2012), pondérant chaque observation par sa possibilité d'exister dans un intervalle déterminé. Cette démarche permet d'éviter la simplification ou la perte d'informations découlant nécessairement d'un découpage arbitraire en phases chronologiques, en permettant à différents niveaux de précision chronologique de cohabiter. La figure 187 sert de base pour définir les intervalles les plus à même de mettre en évidence des évolutions à partir de la donnée enregistrée : le graphique de gauche sur cette figure présente le nombre de contextes (US) documentés issus de chaque opération dans chaque intervalle temporel (définis par les bornes issues de la documentation) ; chaque contexte est partagé entre les intervalles selon sa probabilité d'y appartenir. Le graphique placé au centre présente de la même manière le nombre de charbons présents dans ces mêmes intervalles. Le graphique de droite dénombre les charbons selon leurs bornes inférieures de probabilité de présence. Ces représentations permettent de sélectionner les bornes à retenir pour exploiter au mieux le corpus en faisant ressortir les intervalles les mieux documentés et les périodes montrant les changements les plus importants. Les bornes sélectionnées sont ici présentées en rouge.

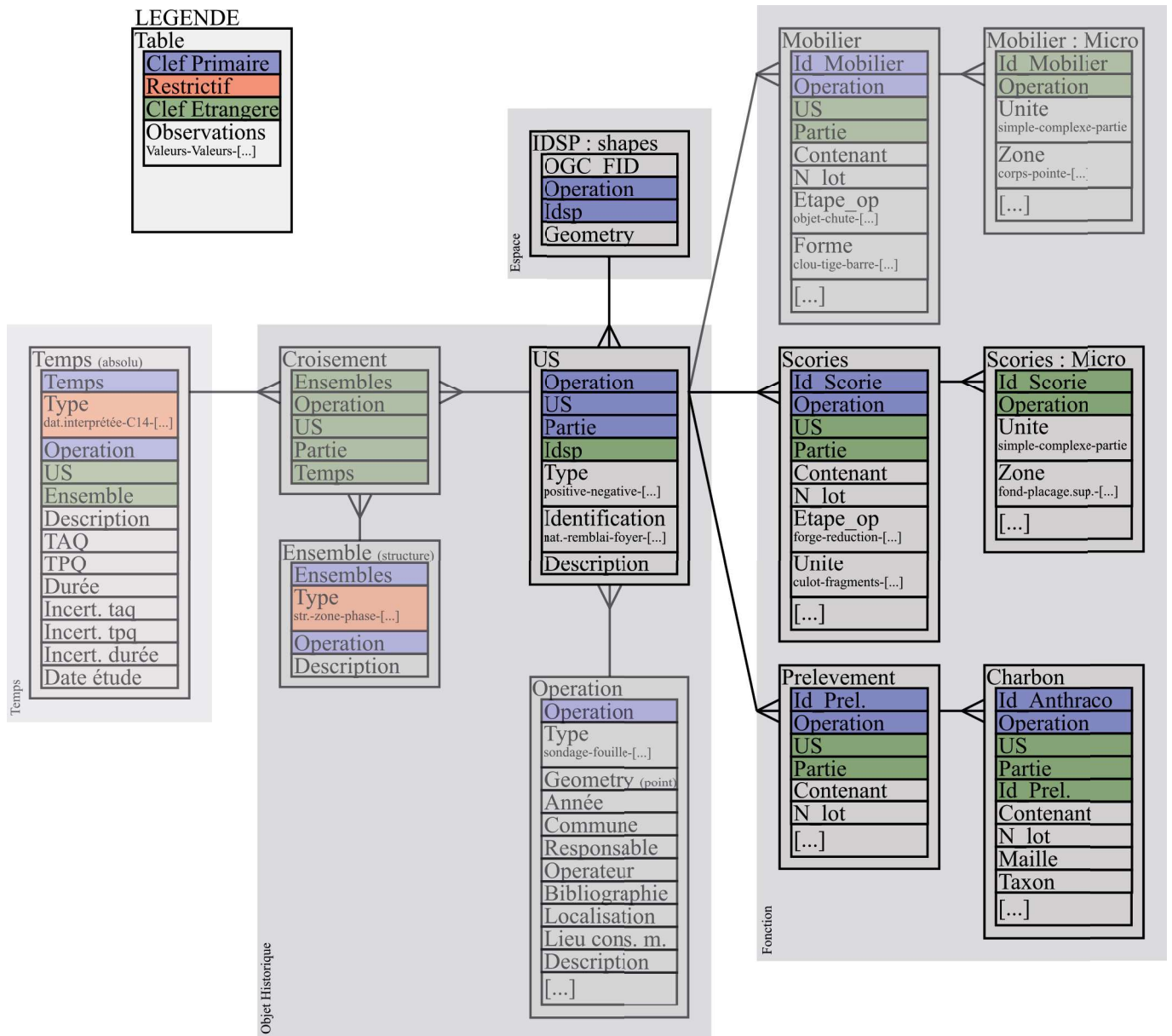
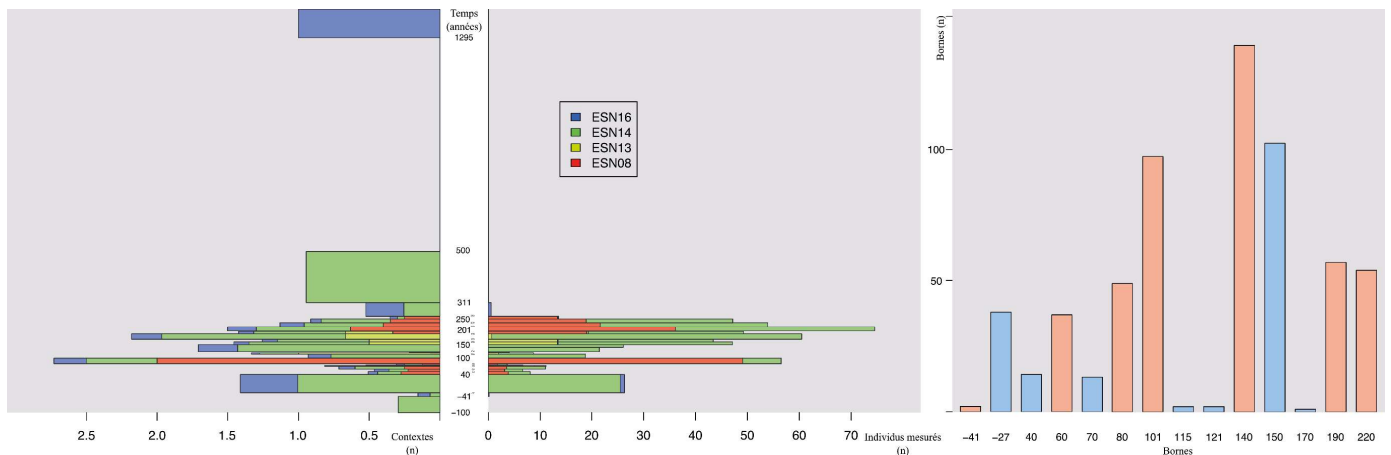


Figure n°186. Structure temporaire de la base de donnée (MLD) (R. Jeannot)



Il est important de noter que les bornes présentes dans la documentation étaient encore en partie temporaires (datations et phasages en cours) et pourront être revues ou précisées avec l'avancée des études.

8.3. Caractérisation des peuplements exploités

8.3.1. Prélèvement opportuniste ou sélection des essences ?

La figure 188 présente (à gauche) les spectres des taxons reconnus dans les prélèvements étudiés ; afin de déterminer si les différences observées sont déterminantes, ces prélèvements ont été comparés deux à deux par un test de Fisher. Le tableau accolé à droite présente ces résultats. Il est intéressant de remarquer que trois blocs clairement différenciables sont constitués par cette méthode : dans chacun de ces blocs, les assemblages apparaissent ne pas être différenciables entre eux (à l'exception de la partie basse du graphique), quand ils sont généralement différenciables des ensembles tirés d'un autre bloc.

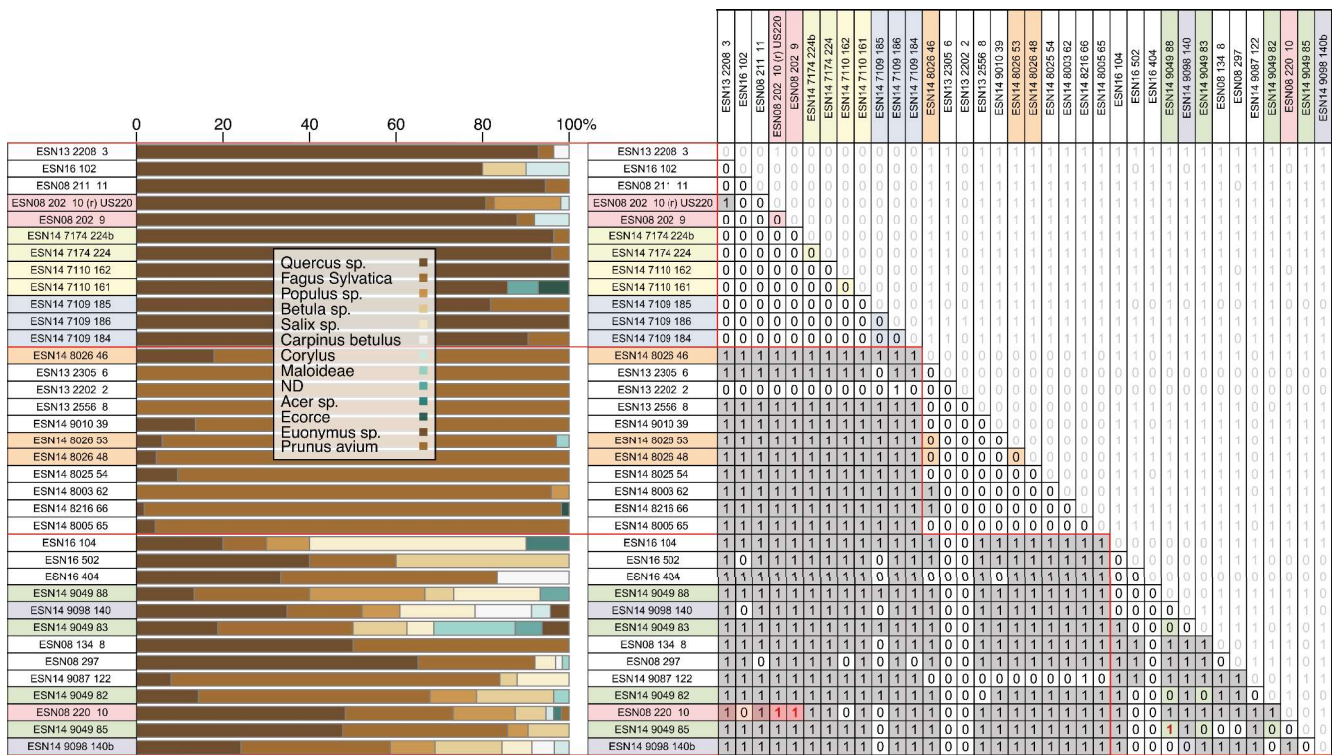


Figure n°188. Composition taxonomique des prélèvements étudiés et table de croisement (si « 1 », les prélèvements ne peuvent pas être issus du même ensemble à 5%) (R. Jeannot, O. Girardclos)

Le premier bloc rassemble des spectres constitués quasi-exclusivement de chêne, auquel ne s'ajoutent que très ponctuellement de petites proportions de hêtre, de peuplier, de noisetier ou de bouleau ; ce signal suppose une relativement forte sélection des essences centrés sur le chêne, les compositions observées s'éloignant nettement de compositions forestières « potentielles » (Leguédois et al., 2011). Le deuxième ensemble rassemble des spectres constitués exclusivement de hêtre et d'un peu de chêne ; il est intéressant de constater que ces prélèvements se différencient tous complètement d'un contexte constitué à part égale de ces deux essences [ESN08 US134] malgré le relativement faible nombre d'individus qui constituent ce dernier (30 fragments identifiés). Là encore, le signal observé est caractéristique d'une forte sélection qui porte cette fois sur deux taxons. Le dernier ensemble est constitué de spectres relativement différents entre

eux, mais qui partagent des compositions diversifiées, présentant des proportions généralement non négligeables de chêne et de hêtre, auxquels s'ajoutent des cortèges constitués en proportions variables de peuplier, bouleau, saule, charme, noisetier et différents maloidés. Ponctuellement, ces ensembles livrent aussi quelques exemples de fusain ou de merisier. Ces essences pionnières et post-pionnières sont indicatrices de peuplements plus ouverts – l'absence notable d'aulne rendant l'exploitation d'un environnement humide peu probable ; la sélection apparaît là moins stricte, le prélèvement incluant une part non négligeable d'essences considérées ailleurs comme moins adaptées à une utilisation en contexte métallurgique (peuplier, bouleau, saule).

Il est très révélateur de constater que lorsque différents prélèvements sont effectués dans les mêmes contextes, il n'est généralement pas possible de différencier les spectres qu'ils présentent (contextes colorés dans la figure). Une exception notable apparaît, entre les prélèvements attachés à un contextes de l'opération de 2008 : le contexte présenté ici sous sa forme réattribuée comme « ESN08 220 10 » enregistré comme « ESN08 202 10 », est clairement différencié des contextes « ESN08 202 9 » et « ESN08 (220 raturé) 202 10 ». Il s'agit bien d'une erreur survenue lors d'une précédente manipulation des échantillons, qui peut être ici corrigée grâce à cette approche (l'étude des calibres confirme cette interprétation, cf. ci-dessous).

La composition de ces trois ensembles apparaît particulièrement intéressante, les contrastes entre eux suggérant des changements radicaux dans la forme des peuplements forestiers exploités ou dans la sélection effectuée pour le charbonnage. Il sera particulièrement intéressant de chercher à déterminer dans l'approche synthétique si ces différences sont dues à des choix techniques ou des transformations de la ressource forestière.

8.3.2. Détermination des calibres charbonnés

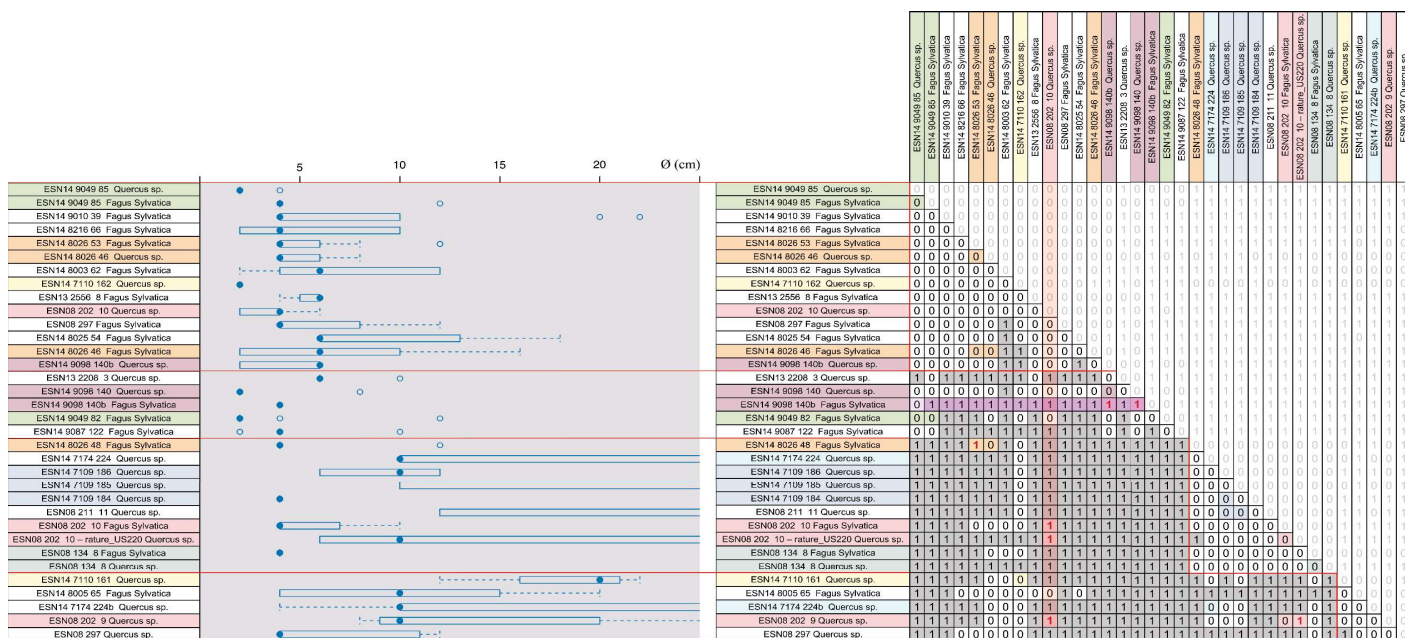


Figure n°189. Ventilation des calibres exploités et table de croisement des contextes (R. Jeannot, O. Girardclos)

La figure 189 présente la répartition des calibres charbonnés séparément pour le chêne et le hêtre (méthode « par la primitive ») et la comparaison deux à deux des prélèvements étudiés (tests de Wilcoxon-Mann-Whitney et de Levène). Quatre blocs apparaissent avec cette méthode,

réunissant des contextes indifférenciables entre eux et généralement différenciables des contextes des autres blocs. Le premier bloc (de haut en bas) présente des calibres relativement faibles (inférieures à 10 cm) ; le deuxième réunit des prélèvements pour lesquels le nombre d'individus est faible ; le troisième présente des calibres importants et une forte variabilité ; le quatrième rassemble des contextes réunissant des calibres intermédiaires et dont la variabilité est moindre. Là encore, les prélèvements issus d'un même contexte apparaissent généralement comme n'étant pas différenciables, même lorsque l'essence documentée est différente : il ne semble donc pas y avoir de différence de stratégie de prélèvement entre chêne et hêtre dans les contextes qui rassemblent ces deux essences, le même calibre est recherché. Deux exceptions sont à noter : l'US « ESN08 202 10 » est toujours à réinterpréter comme étant l'US « ESN08 220 » ; par ailleurs, les chênes et hêtres constituant l'US « ESN14 9098 » semblent être prélevés dans des populations de diamètres différents.

8.3.3. Étude des dynamiques de croissance

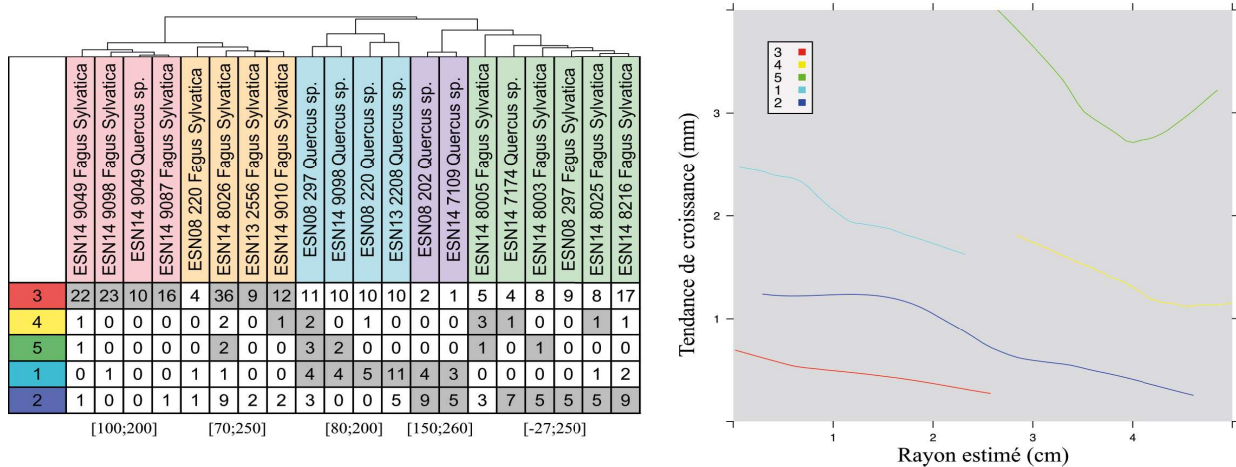


Figure n°190. Courbes « types » des croissances observées et table de répartition par contexte (R. Jeannot, O. Girardclos)

La figure 190 présente les courbes de tendance de l'évolution de la largeur des cernes en fonction du rayon estimé pour des groupes de croissance constitués en rapprochant les charbons dont les mesures de cerne sont les plus proches pour des longueurs inférieures à 5 cm de rayon estimé. En regard est présenté un tableau de comptage du nombre d'individus de chaque groupe dans chaque contexte. Cette approche permet de rapprocher plusieurs groupes ; toutefois, à l'exception du groupe réunissant les US de la zone 9 de l'opération de 2014 [US9048] [US9097] [US9098], qui rassemblent uniquement des charbons présentant de très faibles croissances de 0 à trois cm, les rapprochement semblent plus basés sur les essences reconnues que sur d'autres paramètres évidents (par exemple la chronologie). La démarche pourra toutefois être complétée dans le cadre de l'approche synthétique.

8.4. Discussion : modes d'exploitation et évolution de la ressource ligneuse

8.4.1. L'hypothèse fonctionnelle : lien entre peuplements exploités et activités

L'hypothèse d'un lien entre la sélection des essences et la nature de l'activité métallurgique est testée en mettant en relation la composition taxonomiques des contextes étudiés figure 191 à gauche) avec l'assemblage des déchets scorifiés qu'ils contiennent (types des culots enregistrés ; à droite).

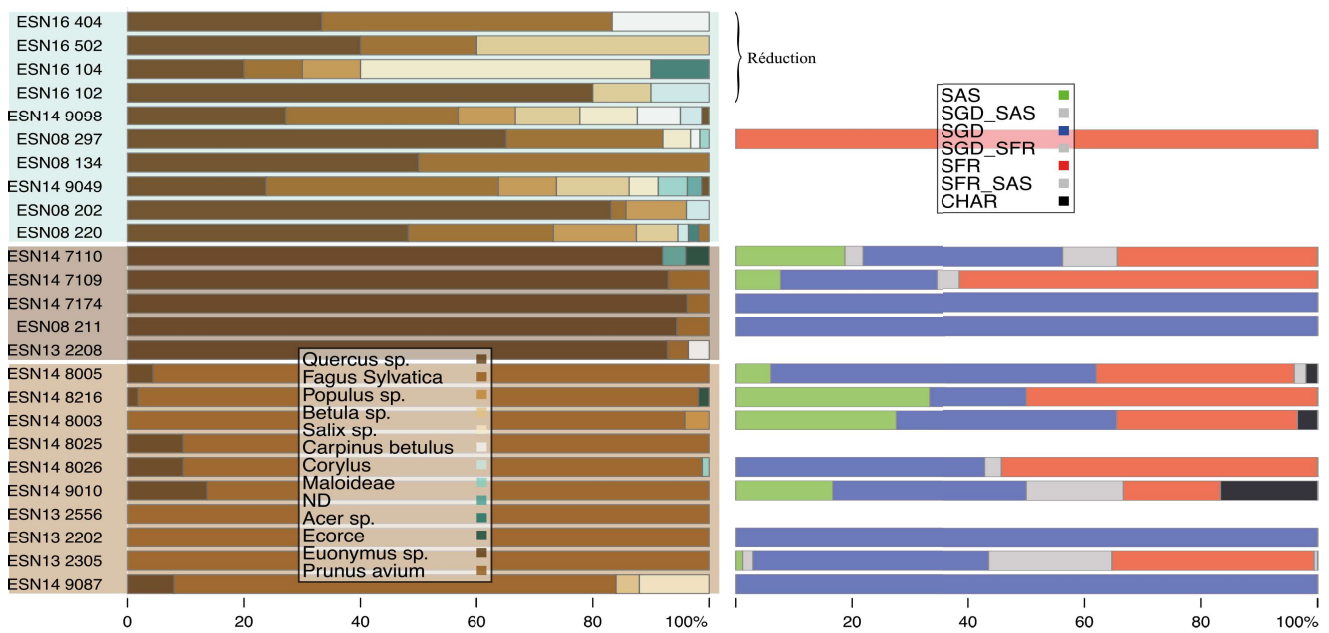


Figure n°191. Compositions en taxons et en types de culots de forge des ensembles étudiés (R. Jeannot, O. Girardclos)

Dans cette représentation, les contextes marqués par une plus forte diversité taxonomique livrent peu de scories de forge ; toutefois, seules les unités stratigraphiques étant considérées ici – non leur environnement proche – il est très incertain d’interpréter cette observation comme un indicateur de l’absence de métallurgie dans le contexte. Au contraire, à l’exception des prélèvements de l’opération de 2016 prélevés dans un ferrier de réduction, tous les ensembles étudiés semblent bien liés à des activités de forge.

Pour ce qui est des contextes dominés soit par le hêtre, soit par le chêne, il ne semble pas non plus possible de lier cette distinction avec des activités différentes sur la base de la typologie employée. Il semble toutefois possible de lire une différenciation entre ces assemblages de charbon en fonction des secteurs documentés : les contextes de l’opération de 2008 et les contextes de la zone 9 de 2014 se distinguent ainsi des contextes de la zone 7 de 2014 dominés par le chêne, eux mêmes différenciés des contextes de 2013 et la zone 8 de 2014 où le hêtre est prépondérant.

L’interprétation des liens entre les activités et les essences utilisées nécessitera donc de reprendre cette analyse en utilisant les contextes-ateliers définis par leur cohérence chronologique, spatiale et fonctionnelle, en intégrant si possible les autres indices permettant la distinction des activités (structures, fragments, mobilier, microdéchets). La constitution de ces contextes-ateliers est déjà amorcée (cf. rapports d’opérations et de PCR) et pourrait être facilement généralisée par l’utilisation du SIG, mais le temps dédié à ce rapport ne permettra toutefois pas cette approche.

8.4.2. L’hypothèse chronologique : évolution des ressources forestières

L’hypothèse d’une évolution des ressources forestières mobilisées au cours de la période d’activité du site est testée en créant une sériation chronologique de la composition taxonomique des assemblages de charbons, des calibres et d’un indicateur de la productivité annuelle : la médiane des largeurs de cerne quelque soit le diamètre. La démarche décrite paragraphe 2.4 et figure 187 suit un principe « aoriste » (cf. Johnson 2003 ; Crema 2012), la détermination

des limites de périodes est rendue la plus pertinente possible en fonction de la qualité de l'information anthracologique ; la contribution de chaque fragment de charbon dans la période est proportionnelle à sa probabilité de présence. Sur cette base, la figure 192 présente une synthèse en fonction de ces périodes de la qualité de la documentation (nombre de fragments de charbon mesurés), de l'intensité de l'activité sidérurgique (nombre d'US qui livrent 10 culots ou plus), des types de travaux sidérurgiques (selon les types de culots), de la composition taxonomique, des calibres exploités et de la productivité des bois. Elle met en évidence un lien manifeste entre temps, intensité de l'activité sidérurgique et structure de la forêt exploitée. En parallèle, la figure 193 présente le détail de la composition moyenne en calibres des contextes par périodes et la figure 194 présente l'évolution des courbes de croissance médianes de chaque essence en fonction du diamètre restitué ; la figure 195 présente quelques exemples de charbons montrant des cernes de croissance particuliers ; enfin, la figure 196 propose de comparer les croissances observées à des croissances relevées sur des peuplements vivants actuels (cf. Girardclos et al., 2017).

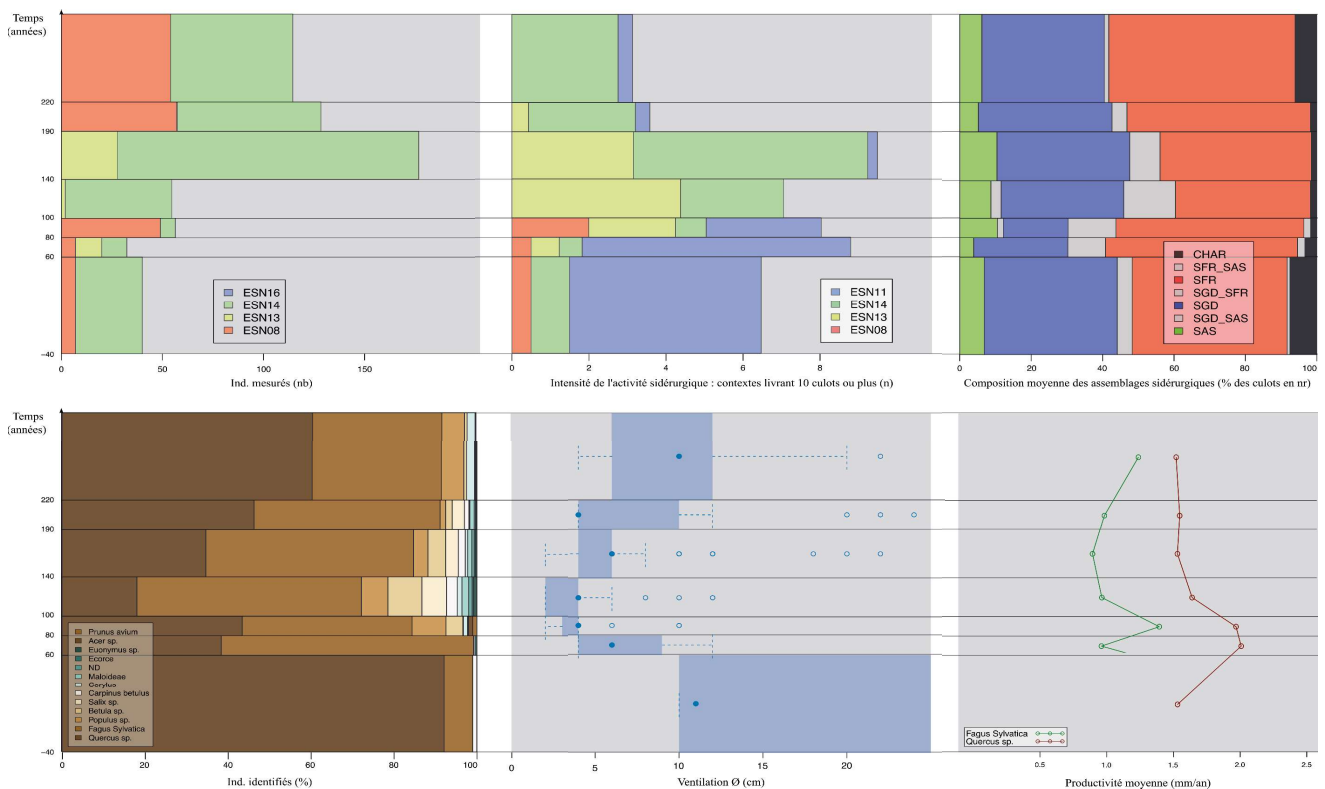


Figure n°192. Synthèse la qualité de la documentation, de l'intensité de l'activité sidérurgique, des types de travaux sidérurgiques, de la composition taxonomique, des calibres exploités et de la productivité moyenne des ensembles charbonnés par périodes chronologiques (R. Jeannot, O. Girardclos)

Ainsi, les contextes les plus anciens – rattachés à la période de 40 BC à 60 AD – semblent marqués par une exploitation centrée sur des bois de chêne de gros ou moyen diamètres (> 10 cm), dont le début de croissance, après quelques premiers cernes très larges, devient relativement lent (0,5 mm/an à 5 cm de diamètre) et augmente lentement avec le diamètre (1 mm/an à 30 cm de diamètre). Généralement, la largeur des cernes annuels diminue au cours de la vie de l'arbre, alors que son âge et son diamètre augmentent ; cette diminution suit une tendance dont le niveau et les variations sont en partie modulées par les caractéristiques du peuplement forestier où se développent les individus étudiés. La densité du peuplement est la source la plus importante de ces variations, particulièrement pour les essences comme le chêne dont la croissance est

dépendante de la quantité et de l'incidence de la lumière qu'ils reçoivent. Sur la figure 196, la croissance relativement lente des chênes récoltés entre [40 BC et 60 AD[autour de 1 mm/an est comparée à celle d'arbres vivants de peuplements référentiels, (A) de futaie et (B) de taillis. Les bois de référence proviennent d'éclaircies de futaies par le bas, dont l'objectif est de supprimer les diamètres faibles au profit des arbres dominants et de taillis simples abandonnés, c'est à dire que tous les brins d'une souche ont été récoltés simultanément à un diamètre d'environ 15-20 cm, alors que certains ont une croissance annuelle très ralentie par la compétition, à parfois moins de 0,5 mm/an. La productivité annuelle des chênes utilisés entre [40 BC et 60 AD[est moins variable et systématiquement plus faible que dans ces peuplements gérés, il est probable qu'ils se développaient dans une structure forestière plus dense. L'absence de variation de la productivité va dans le sens d'une faible éclaircie de ces forêts.

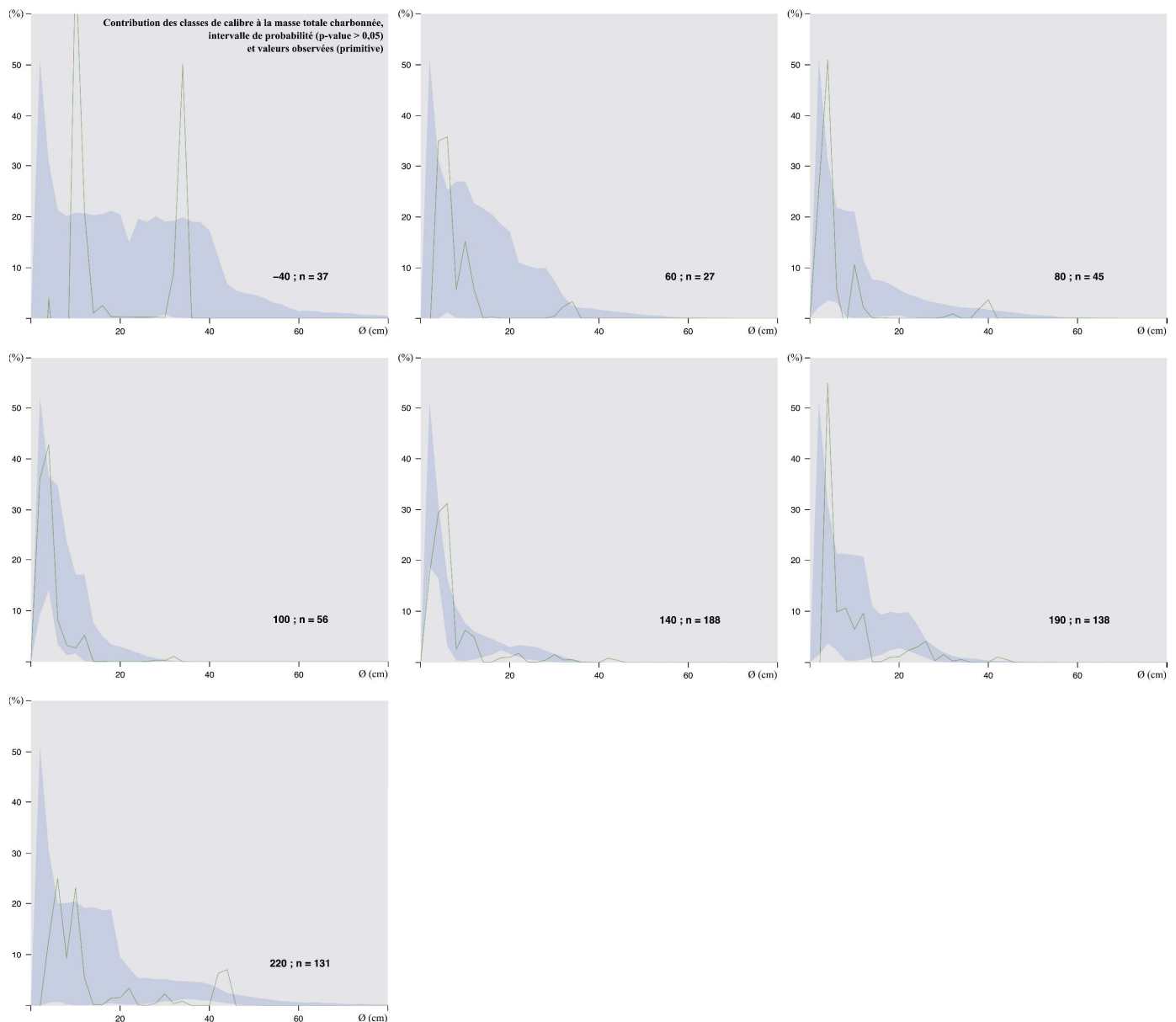


Figure n°193. Répartition restituée des calibres exploités par période chronologique (intervalle probable et calcul « par la primitive ») (R. Jeannot, O. Girardclos)

Les charbons de la période [60;100[montrent une forte baisse des calibres exploités, ainsi que l'apparition d'une forte proportion de hêtre dans les assemblages ; la productivité du chêne

augmente fortement jusqu'à ce que la médiane atteigne 2 mm/an. Cette augmentation est non seulement expliquée par l'amoinissement des diamètres récoltés, mais aussi parce que la largeur des cernes se maintient à un niveau élevé pour tous les diamètres.

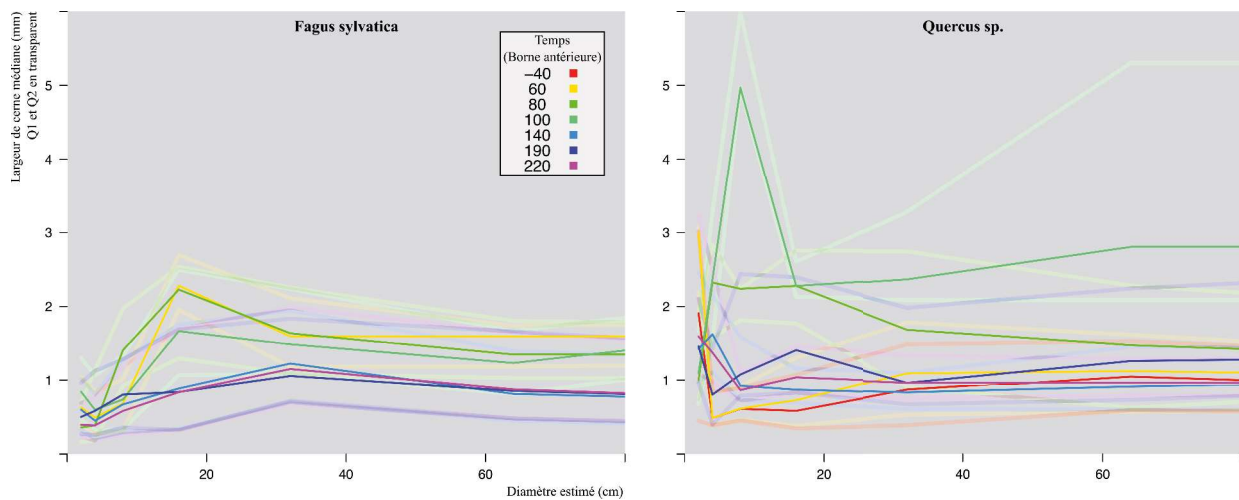


Figure n°194. Dynamiques de croissance médianes des bois exploités par période et par essence ; les Q1 et Q3 sont représentés en transparent (R. Jeannot, O. Girardclos)

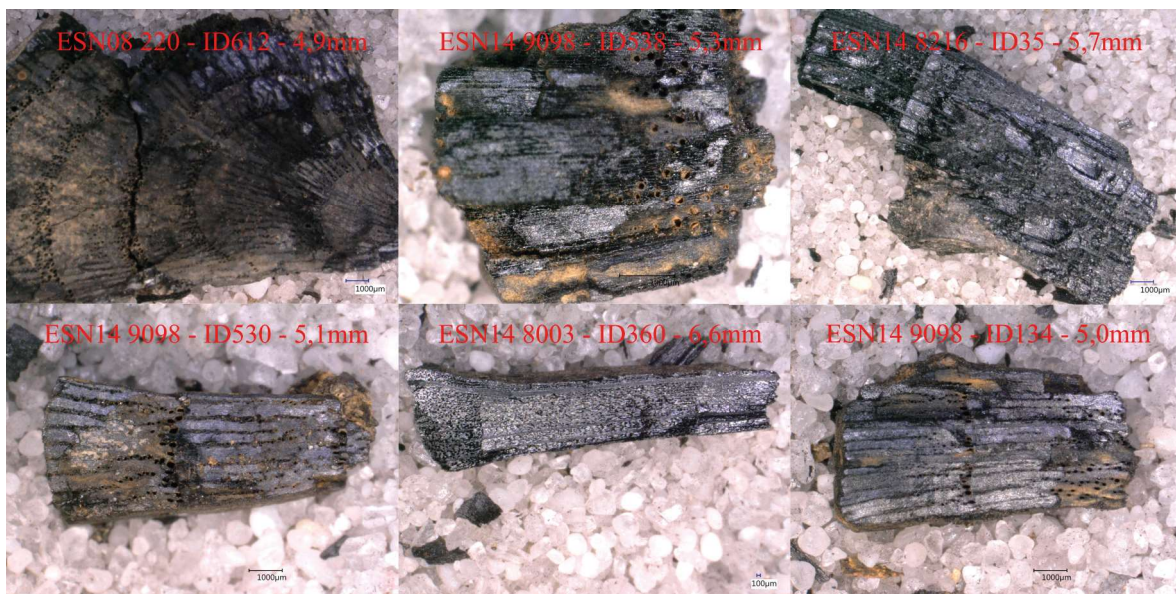


Figure n°195. Exemples de charbons étudiés montrant des croissances importantes

Les périodes du deuxième siècle [100;190[montrent l'exploitation de calibres qui restent très restreints (autours de 5 cm de diamètre) avec une forte poussée dans les assemblages d'essences pionnières, comme le peuplier, le bouleau, le saule, ou post-pionnières, comme le charme, le noisetier et les maloïdés (fruitiers à pépins) qui s'accordent très bien avec une forte ouverture du milieu ; les premières années de croissance du chêne comme du hêtre montrent des productivités très élevés en début de période, pour diminuer dans la seconde moitié du siècle. La comparaison des largeurs de cernes formés à ces périodes avec celles des arbres vivants va dans le même sens que les autres variables ; dans les assemblages de charbons de la période [60 à 140[la forêt est la plus transformée ; la tendance observée dépasse la productivité des arbres de futaie à partir de 4 cm de diamètre et celle du taillis à partir de 2 cm. La largeur reste proche de 2 mm en moyenne et très fréquemment au dessus pour des fragments provenant de la périphérie de bois de grands diamètres, difficilement interprétables entre 20 et 40 cm (figure196).

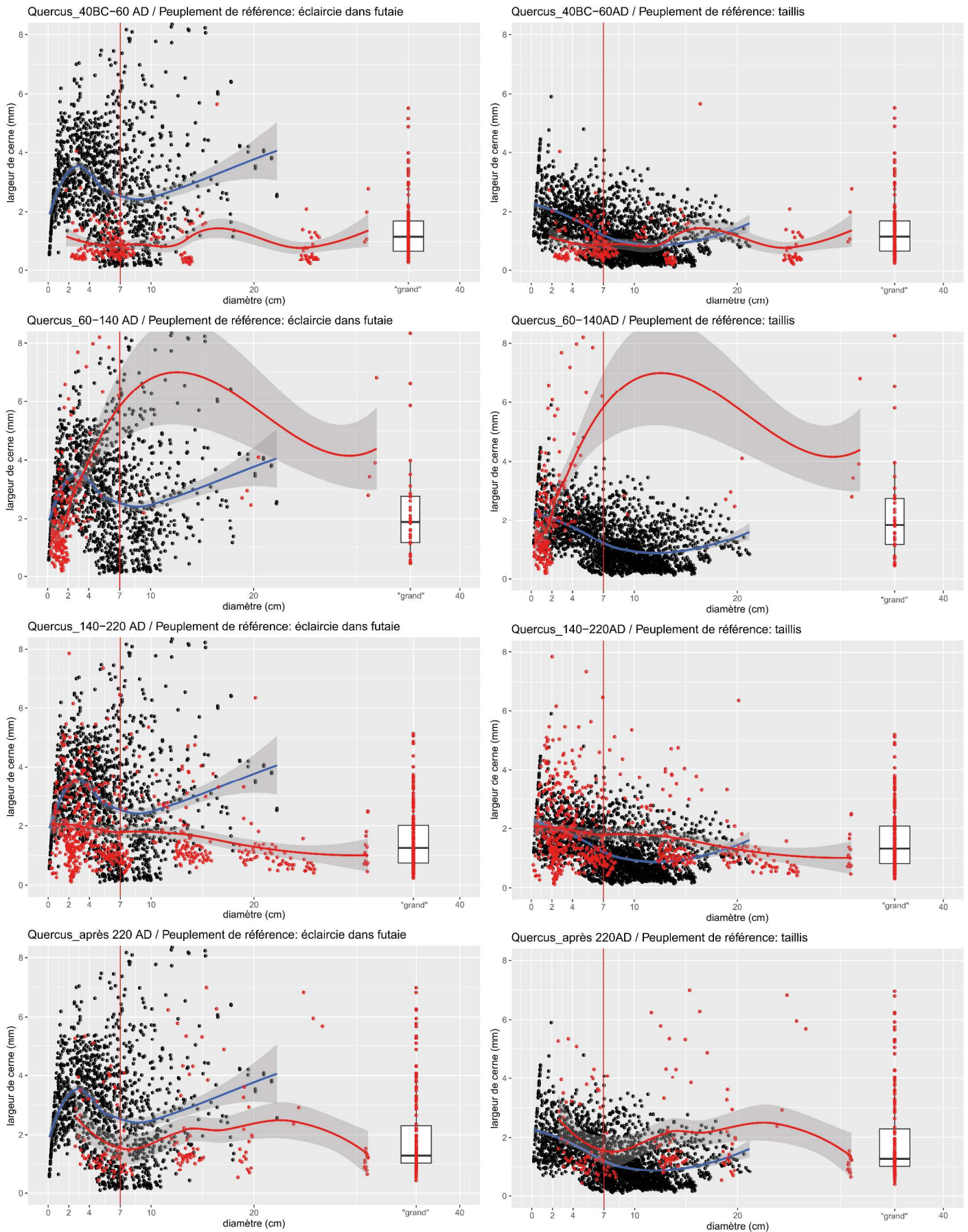


Figure n°196. Comparaison des dynamiques de croissance observées sur les charbons avec des peuplements forestiers actuels à la structure connue, par ensembles chronologiques (R. Jeannot, O. Girardclos)

Les cernes de largeurs les plus importantes (3 à 8 mm) comme ceux observés sur la @figure 14 sont le plus fréquents chez des arbres libres de compétition, c'est à dire soit en peuplement forestier ouvert, en haie ou isolés.

Les dernières périodes documentées [190;310[montrent un rétablissement progressif d'assemblages composés de plus gros diamètres dominés par le chêne et le hêtre, dont les tendances de croissance montrent des chiffres nettement plus limités, ne dépassant plus le mm/an. Là encore, la comparaison avec les populations d'arbres vivants complète ce tableau : les cernes des charbons des contextes attribués à la période [140 ;220[sont nettement moins larges que ceux de la période précédente et montrent la diminution, alors que le diamètre augmente, la plus rapide du corpus. La tendance se rapproche de celle observée dans les taillis de référence, mais avec une différence moins nette entre les premiers centimètres et les grands diamètres. Il n'est pas certains qu'un traitement en taillis soit pratiqué, mais ces arbres subiraient une densité de peuplement variable au cours de leur vie. La productivité est globalement au niveau des forêts actuelles gérées par éclaircies (utilisées en référence) en conséquence elle est plus forte que dans la période la plus ancienne ; ces arbres constituaient donc des peuplements dont la densité signe l'état forestier, mais éclaircis, sans qu'il ne soit possible de déterminer si ces éclaircies sont des pratiques de gestion ou le fruit du rythme d'exploitation. En effet, il doit être considéré que si les récoltes prélèvent plus que la productivité annuelle globale, la forêt perd de la biomasse et s'ouvre, alors que si elles restent voisines de la « possibilité » de croissance, l'éclaircie maintient un niveau de croissance annuel supérieur à la dynamique naturelle. La largeur moyenne observée pour les grands diamètres de [140 ;220[est alors majoritairement entre 1,5 et 2 mm, mais peut atteindre et dépasser régulièrement 4 mm.

Dans les contextes les plus récents, au-delà de 220 AD, la diminution de la largeur annuelle en fonction du diamètre est plus souvent inférieure à celle des futaies, mais reste supérieure à celle des taillis de référence. Les fragments qui proviennent de l'extérieur de grands diamètres portent tout de même des cernes supérieurs à 4 mm, plus abondant que dans les assemblages de la période [40 BC ;60 AD[avant la période d'apogée de la production.

Il est intéressant de noter que les données issues d'analyses polliniques menées sur une zone humide (les « Comailles » à Saint-Sauveur-en-Puisaye ; Anne-Lise Mariet, communication orale) à quelques 20 km de l'agglomération présentent un certains parallélisme avec la dynamique proposée : dans un ensemble qui comporte globalement une part de forêt non négligeable, peut-être préservée du développement agraire après l'âge du Bronze, la période d'activité métallurgique intense correspond à une forte poussée du noisetier, caractéristique de l'ouverture du milieu, couplée à un pic de la représentation du chêne (qui peut être parfaitement expliqué par cette même ouverture), suivi ensuite par l'arrivée progressive du hêtre (qui semble aussi rester bien présent dans les assemblages anthracologiques des dernières phases documentées).

Si le nombre de contextes étudiés par l'anthracologie restent limités (quatre opérations archéologiques) et le signal capté par la palynologie relativement lointain, la parfaite adéquation de ces témoignages pousse à supposer des liens directs entre signaux environnementaux et développement des activités sidérurgiques dans la région durant la période romaine. Une corrélation similaire est plus difficile à trouver avec les analyses polliniques de Prémery (Jouffroy-Bapicot, 2014), où la période romaine semble au contraire marquée par un relatif recul de la pression anthropique.

8.4.3. Des perspectives pour une meilleure compréhension des interactions entre société, économie et environnement

L'analyse menée ici a permis de dresser un premier bilan des relations entre exploitation des ressources forestières et la production sidérurgique à Entrains, en montrant une transformation importante de la forêt exploitée en lien avec les périodes de plus intense activité. La transformation de la forêt est notée dans les modifications des ressources utilisées ; les diamètres des chênes et des hêtres sont nettement plus faibles et les taxons plus diversifiés. Pour déterminer si ces modifications sont le résultat de contraintes ou d'une modification des activités, voire de la sélection associée à l'activité, il est nécessaire de disposer de davantage de caractérisations des bois utilisés dans des contextes sidérurgiques le plus varié possible. Toutefois, la baisse de l'intensité de l'activité sidérurgique, quantifiée par le biais des rejets de scories dans les secteurs fouillés, se traduit à Entrains par un retour à des caractéristiques antérieures des bois, surtout visible pour le calibre. L'évolution de la largeur de cerne – présentée ici uniquement pour des chênes car davantage de situations de référence sont disponibles – est indicatrice de la structure des forêts, alors qu'elle n'est pas perçue par l'artisan qui cherche à s'approvisionner. Les charbons sélectionnés au moment le plus intense des activités proviennent d'arbres qui enregistrent aussi la structure forestière la plus transformée. Ils montrent aussi un retour à des caractéristiques antérieures de cette structure après l'apogée des activités, ce qui peut être considéré comme une forme de résilience et de reconstitution des ressources ; ceci seulement si les surfaces concernées par la récolte ne sont pas agrandies, ce qui reste difficile à justifier à partir de l'étude du bois indispensable à l'activité. Toutefois la productivité des chênes et surtout des hêtres estimée par les largeurs des cernes annuels reste plus élevée après la forte transformation qu'avant, indiquant probablement une structure forestière toujours éclaircie. Les indices d'atteintes à l'état forestier sont alors beaucoup plus faibles, sans qu'il ne soit possible de déterminer si ce retour est entièrement à imputer à la baisse de prélèvement ou à une recherche de stabilisation des approvisionnements (éclaircie liée à la récolte ou à un système de gestion).

Ce tableau pourrait toutefois être complété et précisé, notamment en reprenant les intervalles de datation utilisés ici, en liant mieux l'analyse fonctionnelle des ensembles à ces données, en ajoutant plus de détail dans l'analyse différenciée du chêne et du hêtre, éventuellement en multipliant encore les points d'observation sur l'agglomération dans des contextes diversifiés.

Dans une perspective plus large, multiplier les points d'observation dans un cadre temporel et spatial plus étendu pourra permettre de mieux comprendre l'impact direct des activités de production du fer sur l'environnement forestier, le rôle de cette ressource dans le développement de l'économie de la métallurgie sur le long terme et les liens entre modalités de prélèvement et de sélection avec les différentes étapes du travail sidérurgique. Des études similaires à celle présentée ici sont déjà en cours dans le cadre du PCR sur d'autres sites proches (ferriers de Puisaye), ouvrant la voie à une meilleure compréhension de ces phénomènes.

9. Appréhender les datations par le radiocarbone par cumul de probabilités

Hervé Laurent

9.1. Les dates obtenues pendant la trisannuelle 2021-2023

Lors de la trisannuelle précédente (2018-2020), les prélèvements de charbons de bois avaient été effectués en grandes séries, aussi bien dans la stratification des gros amas que par sondages pratiqués dans divers sites, sur l'ensemble de la région :

- 2018 : 30 dates ; séries provenant des sondages effectués dans les ferriers 1 et 3 d'Aillant-sur-Tholon « Bois des Ferriers » ;
- 2019 : 38 dates ; séries provenant des fouilles d'Aillant-sur-Tholon « Bois des Ferriers » et prélèvements sur les sites de Saint-Fargeau « Bois de Bailly » ;
- 2020 : 45 dates ; séries provenant des prélèvements réalisés dans les ferriers de Saint-Fargeau « Bois de Bailly » et Villiers-Saint-Benoît « Les Grands Usages ».

Globalement, les campagnes 2021-2023, plus tournées vers la fouille de l'atelier de Saint-Fargeau et les prospections géophysiques de Tannerre-en-Puisaye, ont produit moins d'échantillons qu'auparavant :

- 2021 : 18 dates ; petite série provenant des sites de Saint-Fargeau « Bois de Bailly » ;
- 2022 : 3 dates ; sites de Saint-Fargeau « Bois de Bailly » ;
- 2023 : 10 demandes de datation par l'accélérateur Artemis, validées par le SRA. Elles concernent aussi bien la Puisaye (Saint-Fargeau, Dracy), le secteur « Nivernais-Vézélien-Avallonnais » (Entrains-sur-Nohain) que celui de Berthelange (Lantenne-Vertière). La panne qui a affecté l'accélérateur pendant des mois a conduit l'équipe – sur le conseil du comité Artémis – à retirer ses demandes et à confier les échantillons au laboratoire de Poznan. Les résultats sont parvenus trop tardivement pour être intégrés dans la présente contribution.

PROVENANCE	NOMBRE DE DATES
Puisaye	104
Berthelange	36
Nivernais-Vézélien-Avallonnais	19
Morvan-Auxois	18
Pays d'Othe	16
Sites dispersés	17
Total	210

Figure n°197. Provenance des 210 charbons de bois datés par le radiocarbone

A la fin de l'année 2023, le corpus de dates radiocarbone se monte à 210. Il est constitué de l'ensemble des dates obtenues dans la région depuis l'origine des recherches sur la paléosidérurgie : datations réalisées avant le lancement du PCR (8), dans le cadre du PCR à partir de 2014 (158), dépouillement de la bibliographie (42), intégration de dates non-publiées, avec l'accord des responsables d'opération (2). Comme le montre la fig. 197, les échantillons de charbon de bois analysés ont été en grande majorité récoltés dans les zones de production (193), les sites dispersés se partageant le reste (17).

Dans l'article du tome 80.2 de la revue *Gallia* paru en 2023 et joint à ce rapport chapitre 2, la description sommaire de chaque charbon analysé figure dans le champ « commentaire » du tableau annexé à l'article, ainsi que la mention de sa datation par le PCR ou hors PCR. L'« intérêt et les limites de la technique du radiocarbone » ont été présentés p. 18-19, dans la partie consacrée au cadre de l'étude et à la méthodologie. Après l'exposé des précautions d'usage, les 210 dates ont été valorisées dans le texte de l'article. Il ne semble pas indispensable de revenir ici sur les avancées – importantes et en grande partie inédites – que l'étude de ce corpus a permises.

9.2. L'effet « vieux bois »

CHARBONS Sans effet « vieux bois »	Nombre d'ÉCHANTILLONS
allure de baguette	1
aubier	27
baguette	3
baguette-aubier	3
baguette-zone cambiale	33
baguette-zone cambiale ?	1
baguette-zone indéterminée	2
branchette 50 cernes	1
dernier cerne de baguette	1
derniers cernes de baguette	24
derniers cernes de baguette ?	1
derniers cernes	7
derniers cernes de branche	1
proche zone cambiale	3
zone cambiale	10
zone cambiale ?	1
os	1
Total	120

CHARBONS AVEC effet « vieux bois »	Nombre d'ÉCHANTILLONS
POSSIBLE OU CERTAIN	
bois de cœur	3
indéterminé	73
poudre de charbon	13
Total	89

DATE DILATÉE	Nombre d'ÉCHANTILLONS
date BP à ± 180 ans	1
Total GÉNÉRAL	210

Figure n°198. Qualité des 210 charbons de bois datés par le radiocarbone

En revanche, il faut revenir sur le constat qu'un nombre important de dates sont susceptibles d'avoir été vieillies par l'effet « vieux bois », principalement en raison, soit de l'absence d'observation de l'échantillon avant l'analyse et sans témoin conservé pour un contrôle *a posteriori*, soit de l'impossibilité d'observer l'échantillon, lorsque le charbon est présent sous

forme de poudre à l'intérieur d'une scorie (chap. 2). Enfin, la quantité de carbone fournie par l'un des échantillons s'est trouvée si faible, que la date BP est donnée avec un écart type de ± 180 ans (Villiers-Saint-Benoît 2 « Les Grands Usages » : 756 BC/208 BC cal.).

Lorsque aucun autre prélèvement n'est disponible, et pour peu que l'on soit certain de la relation avec l'activité de réduction du minerai de fer, une datation radiocarbone sur un charbon quelconque permet au moins de situer approximativement la période de fonctionnement du site. Par contre, nous avons constaté à plusieurs reprises l'intérêt de re-dater un site au moyen d'un nouveau charbon bien observé au préalable et qui comporte les derniers cernes de croissance ou au moins de l'aubier.

Ainsi, pour la Protohistoire, à Petit-Mercey 36 « Aux Vernes », la première analyse avait été pratiquée sur un charbon non observé. La date obtenue en 2017 était 512 BC/233 BC cal. (2330 ± 30 BP). La seconde s'est faite sur un charbon prélevé en sondage et provenant vraisemblablement des derniers cernes d'une baguette. La date obtenue en 2018 est nettement plus jeune : 387 BC/200 BC cal. (2230 ± 30 BP). Pour le haut Moyen Âge, à Melin 1 « La Rochotte », le charbon quelconque envoyé à l'analyse avait fourni, en 2007, la date 436/640 (1515 ± 30 BP). Le prélèvement de la zone cambiale d'une baguette a été daté, en 2015, de 571/651 (1450 ± 30 BP). Pour ces sites datés deux fois, dans le corpus des 210 dates, on n'a retenu que les dates provenant des derniers cernes.

9.3. La recherche d'une chronologie « sûre »

Au total, sur les 210 analyses dont les résultats sont plausibles, 120 fournissent des dates sûrement ou presque sûrement affranchies de l'effet « vieux bois ». En sélectionnant ces 120 dates, on peut ainsi procéder à un examen « resserré » de la chronologie régionale de la production de fer brut.

Dans les rapports précédents et dans l'article de 2023, la représentation graphique s'est faite sous forme de barrettes empilées. Il est intéressant de tenter également une représentation par cumuls de probabilités. Les deux présentations fournissent des renseignements complémentaires, sachant qu'il n'est pas possible de tout montrer par le biais d'une seule méthode.

Le graphique en barrettes empilées (chap. 2 - et fig. 199) représente chaque date individuellement et permet d'indiquer le secteur géographique où elle a été obtenue. Les dates se succèdent par ordre chronologique, cet ordre étant établi en fonction du milieu de la plage de calibration. La répétition d'une même date ou la succession de dates très proches les unes des autres forme des piles proches de la verticale. Au contraire, pour les périodes où peu de sites sont identifiés, les piles de barrettes sont inclinées. Ce type de graphique présente l'inconvénient de ne pas tenir compte de la variation de la probabilité à l'intérieur de chaque plage de calibration. L'intervalle fourni par la calibration est traduit par une simple barrette, alors que la probabilité d'être la vraie date (de la mort de l'arbre) varie considérablement d'une année calendaire à l'autre. Les seules différences entre une date calibrée très resserrée, par exemple 586-659 (1425 ± 30 BP) située dans « l'optimum » radiocarbone du haut Moyen Âge et une date calibrée très dilatée, par exemple 774 BC-481 BC (2485 ± 30 BP) située sur le plateau du premier âge du Fer, sont la longueur et la position de la barrette qui les représente.

Le graphique de cumul des probabilités (fig. 200-201-202-203) représente pour chaque année calendaire la somme des probabilités de toutes les dates considérées. Chaque année de chaque

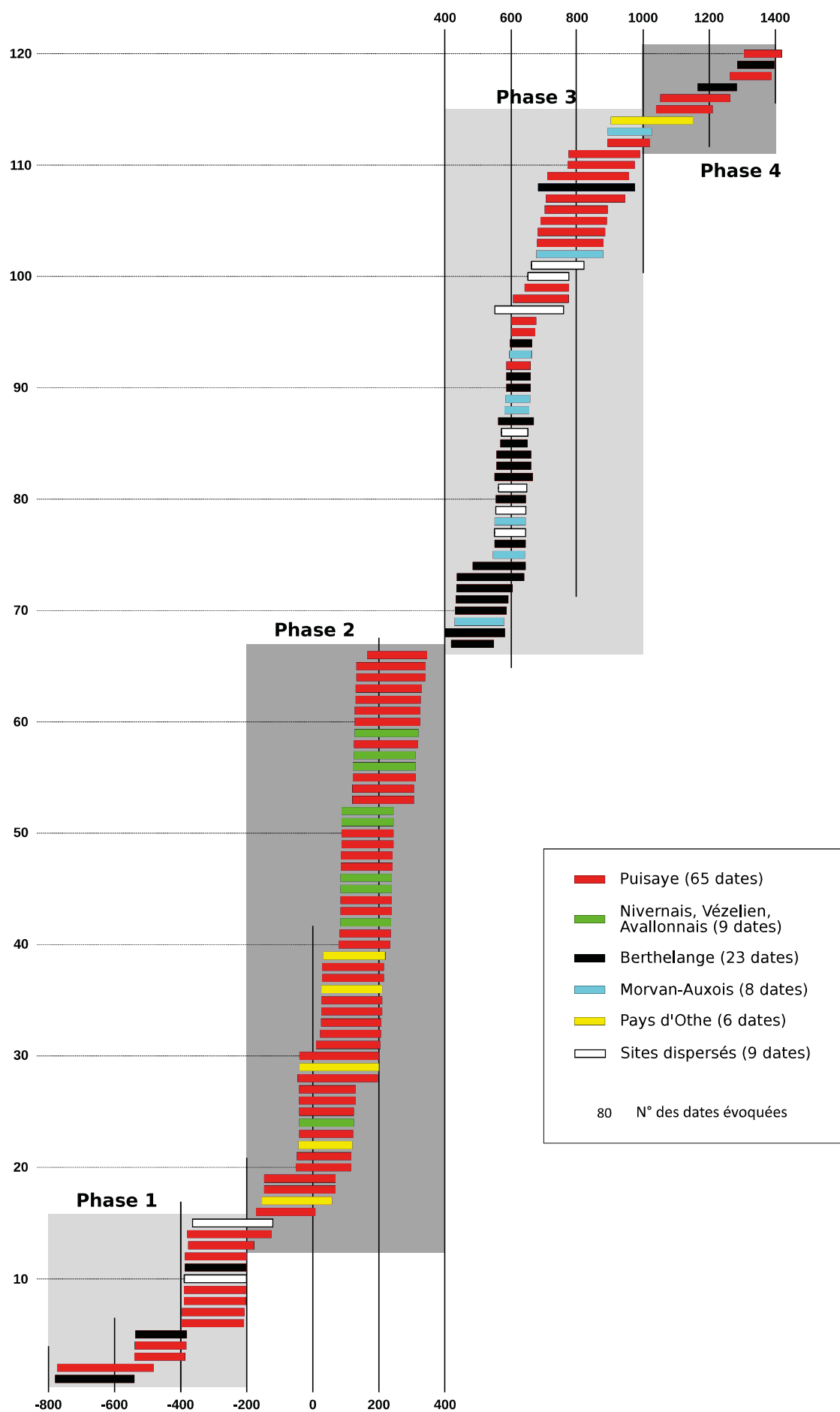


Figure n°199. Chronologie des amas de déchets sidérurgiques de l'ensemble de la région Bourgogne-Franche-Comté (120 datations sur derniers cernes) (H. Laurent)

plage calibrée contribue au tracé de la courbe, pour une vision d'ensemble tout au long de la frise chronologique : beaucoup mieux qu'avec un graphique en barrettes empilées, on repère les pics et les creux de probabilité. Comme son nom l'indique, ce type de graphique présente l'inconvénient de cumuler les données pour chaque année. Il n'individualise pas chaque date, mais permet seulement de représenter globalement chaque secteur géographique.

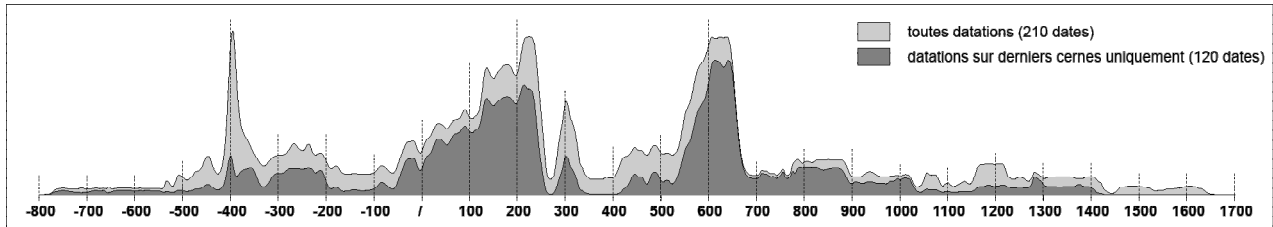


Figure n°200. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques de l'ensemble de la région Bourgogne-Franche-Comté (H. Laurent)

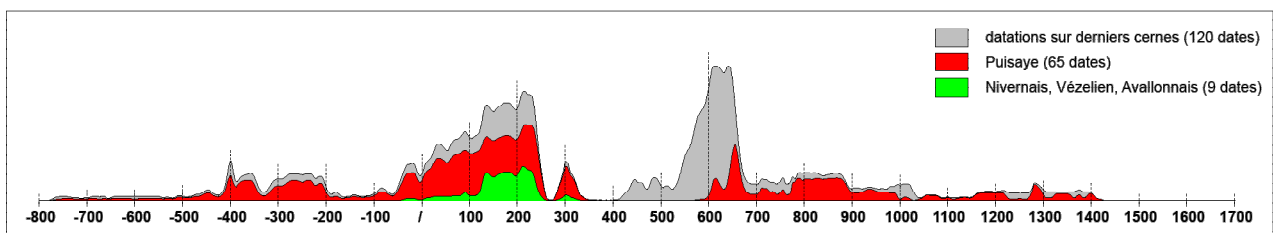


Figure n°201. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques de la Puisaye et de l'ensemble Nivernais-Vézélien-Avallonnais (H. Laurent)

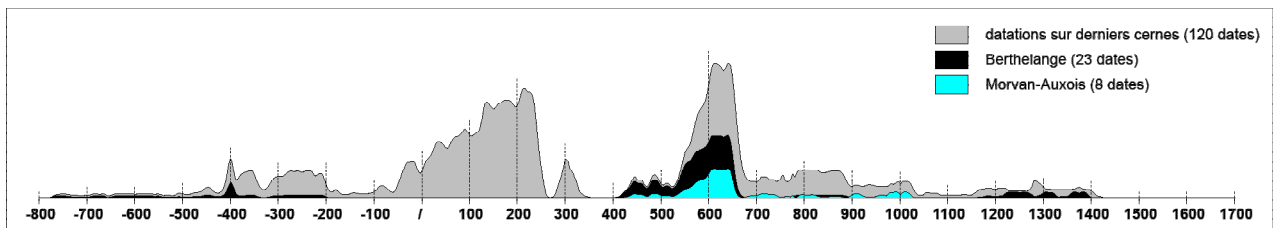


Figure n°202. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques de la zone de Berthelange et du Morvan-Auxois (H. Laurent)

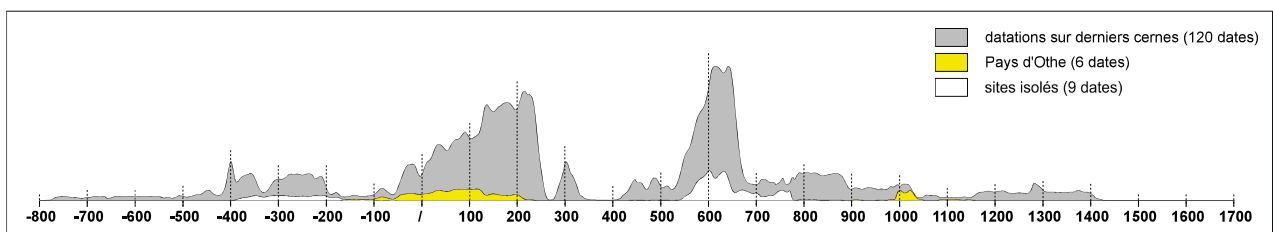


Figure n°203. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques du Pays d'Othe et des sites isolés (H. Laurent)

En aucun cas ces deux types de représentation ne figurent directement les pics de production. Cela ne serait possible qu'à condition de pouvoir associer chaque date radiocarbone à une quantité définie de déchets sidérurgiques et d'en déduire la quantité de métal produit.

9.4. Des pics et des creux de production ou de documentation ?

Du fait que les 90 dates « mises de côté » concernent toutes les périodes, la chronologie constatée n'est pas fondamentalement différente de celle obtenue à partir des 210 dates. Globalement, les

quatre grandes phases observées auparavant dans le graphique en barrettes des 210 dates se retrouvent dans celui des 120 dates et elles conservent les mêmes durées (fig. 22 chap. 2 et 199) : des « origines » à 200 av. n. è. ; de 200 av. n. è. à 400 ; de 400 à l'an Mil ; de l'an Mil à 1400. Les deux périodes centrales demeurent les plus « fournies » en dates.

Dans le rapport de la trisannuelle 2018-2020, nous écrivions (p. 50) : « *Nous n'avons pas de preuve formelle de l'existence d'une activité de réduction pendant le premier âge du Fer. Les quatre dates situées sur le « plateau du Hallstatt » ont leur borne calibrée la plus récente qui se situe vers 400 av. J.-C. Les chevauchements de plages calibrées n'autorisent pas à affirmer que ces sites sont réellement les plus anciens* ». Cette preuve formelle est désormais acquise. Encore repose-t-elle sur deux dates seulement, obtenues respectivement en 2021 et 2022 (barrettes n° 1 et 2 de la fig. 199) : Lantenne-Vertière 19 « Le Châtaignier » (780 BC/540 BC cal.) dans la zone de Berthelange et Saint-Fargeau 40 « Bois de Bailly » (774 BC/481 BC cal.) en Puisaye. Avec trois dates, la période suivante, en gros du milieu du VI^e s. au début du IV^e s. n'est guère mieux représentée (barrettes n° 3 à 5). On est encore dans les zones de la Puisaye et de Berthelange. Les 10 dates suivantes couvrent la période qui va du début du IV^e s. jusqu'à 200 env. av. n. è. (barrettes n° 6 à 15, avec un débordement assez loin dans le II^e s. pour les deux dernières). Cette première phase, occupée par une pile de dates dans le graphique à 210 dates apparaît nettement découpée en trois périodes séparées par des paliers dans le graphique à 120 dates. Dans le graphique de cumul de probabilités (fig. 199), le très fort pic centré sur 400 av. n. è. disparaît. Dans toute la partie couvrant 750 à 50 av. n. è. on est certain que l'activité existe, sans en mesurer précisément l'importance. Avant 550 av. n. è., ce n'est pas étonnant car on sait que les amas de déchets sont discrets et que, d'une façon générale, la consommation de fer est faible. C'est beaucoup plus surprenant pour la période qui va de 200 à 50 av. n. è. Cela tient peut-être au fait que les couches de déchets accumulés dans ce laps de temps sont situées sous les énormes amas du Haut-Empire. Cependant, l'explication vaut pour la Puisaye où se trouvent de très gros amas de l'Antiquité (fig. 201), mais pas pour la zone de Berthelange, où il y a une production avant la conquête, mais pas pendant l'époque romaine (fig. 202).

Dans le graphique en barrettes, la période allant du début du II^e s. av. n. è. au milieu du III^e s. de n. è. est représentée par une pile de 51 dates, toutes obtenues pour une large part en Puisaye et, dans une moindre mesure, dans le Nivernais-Vézélien-Avallonnais et le Pays d'Othe (fig. 203). C'est celle des grands ferriers qui ont fait l'objet de sondages et de fouilles ces dernières années, avec prélèvements de charbons en stratigraphie. Le cumul des dates, lui, montre une sorte de « montée en puissance » assez régulière. Mais il montre aussi, après un sommet situé un peu après 200, un effondrement des probabilités.

On observe un petit pic autour de 300 en Puisaye, en rien comparable cependant avec la situation précédente. Entre 350 et 400, il n'y a « rien » nulle part, et cette fois les deux types de graphique le montrent de manière aussi nette l'un que l'autre. Entre 400 et 525 environ, on peut penser que l'activité est présente, mais elle n'est pas vraiment mesurée. Peut-être faudrait-il à nouveau avancer l'argument de la difficulté de repérer de petits amas (le sont-ils d'ailleurs réellement à ce moment-là ?) au milieu de « montagnes » de scories du Haut-Empire, mais il est encore moins solide que pour la production de la fin de la Protohistoire. Les ateliers de la fin de l'Antiquité n'ont aucune chance d'être masqués par les couches du Haut-Empire et la Puisaye n'est pas dépourvue d'amas de petite, voire de très petite dimension bien distincts des amoncellements de déchets de gros volume.

Dans le corpus de 210 dates, celles qui permettaient de faire un « pont » entre la fin de l'Antiquité et le début du Moyen Âge sont justement celles qui posent le plus problème, car elles sont vieilles par l'utilisation de bois de cœur, identifié après analyse radiocarbone, par exemple : Goux-les-Usiers 2 « Combe de Ferrière », 255/420 cal. (1695 ± 30BP) et Vandoncourt 2 « Pont Sarrazin », 382/541 cal. (1630 ± 30BP). Dans d'autres cas, comme à Petit-Mercey 1 « Puits de Cintre », 367/541 cal. (1635 ± 30BP) et Villiers-Saint-Benoît 10 « Les Grands Usages » 363/539 cal. (1640 ± 30BP), on est dans l'incertitude, les charbons utilisés étant indéterminés. Les trois premiers sites, se trouvent dans la partie est de la région, bien loin des grands amas de l'ouest. Le quatrième (10 m de diamètre pour 0,80 m d'élévation) est en Puisaye. Il est installé au sommet d'un amas de plus gros volume, lui même daté de la période laténienne et du début de l'Antiquité. Partout, qu'il y ait ou non un passé sidérurgique remontant à l'âge du Fer ou au Haut-Empire, qu'on se trouve dans une zone de forte concentration ou en présence d'une production diffuse, à l'est comme à l'ouest de la région, on peine à trouver des amas fournissant des charbons sûrement datés de la période qui encadre l'année 400.

A partir de la 67^e date et jusqu'à la 74^e, ce sont les zones d'importance modeste et les sites dispersés qui donnent, au moins en apparence, le nouveau signal du départ. La zone de Berthelange fournit à elle seule l'essentiel des dates et des probabilités entre le premier quart du V^e siècle et la première moitié du VI^e (fig. 202). C'est aussi pendant cette période qu'on voit émerger le Morvan-Auxois, où rien n'est identifié pour les périodes antérieures. L'ensemble est cependant bien modeste. Tout change ensuite brusquement : 22 dates (de la 75^e à la 96^e) se trouvent entre les bornes des années 545 et 676. L'impression de pic est en outre accentuée par le fait qu'on est en présence de plages de calibration très courtes (moins de 100 ans pour les dates calculées avec une incertitude de ± 30 ans). Dans ce concert, la Puisaye ne réapparaît – brièvement – qu'à partir de la 92^e date (Villiers-Saint-Benoît 7 « Les Grands Usages ; 586/659, 1425 ± 30BP). Ensuite, la chute des probabilités est aussi brutale que sa montée à été rapide. Alors que les ateliers sont rencontrés dans pratiquement toute la région, soit concentrés, soit dispersés, le pic de la période mérovingienne semble ne représenter qu'un épisode passager de la production.

Après 650, c'est de nouveau la Puisaye qui fournit la plus grande partie des dates, avec un « soubresaut » situé en gros entre 750 et 900. Il est cependant difficile d'en dire beaucoup plus, car ensuite et jusqu'au début du XV^e siècle, les observations reposent sur 24 dates seulement.

9.5. Conclusion

Les 120 dates « sûres » ne fournissent pas encore une vision complète de la chronologie de la réduction du minerai de fer au bas fourneau sur l'ensemble de la région, car en définitive elles ne concernent qu'une petite fraction des milliers d'amas repérés. Proportionnellement, avec 23 dates, la zone de Berthelange continue à être la mieux datée. Pour le moment, il n'y a que 8 dates disponibles pour les amas du Morvan. Quant à la Puisaye (65 dates), au Nivernais-Vézélien-Avallonnais (9 dates) et au Pays d'Othe (6 dates), on est très loin d'y avoir exploité tout leur potentiel informatif. En revanche, cette sélection sévère, accompagnée de l'utilisation concurrente d'un graphique en barrettes empilées et de graphiques de cumul de probabilités permet de dresser un état des connaissances contrasté.

Pour qu'on puisse travailler sur des bases certaines, beaucoup de dates relatives à la Protohistoire ont été écartées. Mais l'existence de sites du premier âge du Fer est démontrée. En Puisaye, la production du deuxième âge du Fer annonce celle du haut-Empire.

Si ce n'est pas un effet de la documentation, c'est à partir du milieu du I^{er} siècle av. n. è. que s'installe une production massive, toujours en Puisaye, mais aussi, sans doute dans une moindre mesure, dans le Pays d'Othe et en Nivernais-Vézélien-Avallonnais. Quelle signification donner au fait qu'on ne trouve pratiquement plus de charbon de bois après 250 dans les trois grandes zones productrices ? Et surtout, pourquoi cette quasi-absence dure-t-elle aussi longtemps ? S'il y a réellement un effondrement de la production – qui resterait à démontrer – nous ignorons si les vestiges de la sidérurgie doivent être recherchés sous la forme de quelques gros amas beaucoup moins nombreux qu'au Haut-Empire ou sous la forme de multiples amas de petite taille. Les données disponibles montrent que ce n'est sans doute pas dès ce moment-là que les zones de Berthelange et du Morvan-Auxois prennent le relais.

Comment expliquer que, toutes proportions gardées, les constats dressés pour la période romaine soient les mêmes pour la période mérovingienne ? Il n'y a plus d'amas comparables à ceux du Haut-Empire, mais les quelques dates radiocarbone disponibles font du Morvan-Auxois un secteur sans doute plus important que la zone de Berthelange. Leur production cumulée est sans doute loin d'être négligeable. Nous ignorons pourquoi elle disparaît aussi rapidement qu'elle est apparue. Enfin, nous ne parvenons pas encore à expliquer pourquoi les sites qui produisent à partir de 700 sont si difficiles à retrouver, en particulier ceux d'après l'an mil.

10. Perspectives 2024-2026

Marion Berranger, Marc Leroy

Le bilan des travaux déjà réalisés, présentés dans les pages précédentes, montre que l'étude des zones de production du fer brut est d'une importance capitale pour comprendre l'économie du fer (production, circuits d'échanges, consommation) à chacune des différentes périodes considérées et qu'il est nécessaire d'appréhender ces évolutions sur le temps long. Des changements dans les techniques de transformation du minerai et dans la façon dont est organisée la production ont été mis en évidence. Des différences dans les échelles de production durant une même période chronologique ainsi que d'une période chronologique à l'autre ont aussi été reconnues. Ces points nécessitent d'être approfondis. Une restitution plus précise des caractéristiques intrinsèques des ateliers eux-mêmes est tout aussi indispensable, car l'analyse des données techniques ne peut faire abstraction d'une meilleure compréhension de l'architecture et du fonctionnement des fourneaux de réduction. Nous proposons de poursuivre ces travaux dans le cadre d'une nouvelle programmation triennale des recherches (2024-2027) en les resserrant autour de la caractérisation des espaces de production et en poursuivant les objectifs formulés au cours des programmations précédentes. Ils se déclineront autour de trois axes.

Axe 1. Évaluation volumétrique et quantitative des amas de déchets

Comme cela a déjà été présenté précédemment, dans le cadre du projet TerriFer, une dizaine de secteurs faisant partie des différentes zones de production primaire recensées sur l'ensemble de l'espace Bourgogne-Franche-Comté vont faire l'objet d'un levé LiDAR.

Commune / département	Lieu-dit	Zone de production	Chronologie
Tannerre-en-Puisaye (89)	La Garenne	Puisaye	Antique
Montholon (Aillant et Villiers sur Tholon) (89)	Bois des Ferriers	Puisaye	Antique
Villiers-Saint-Benoît (89)	Grands Usages	Puisaye	Antique et médiéval
Saint-Fargeau (89)	Bois de Bailly	Puisaye	Âges du Fer, médiéval et antiquité
Dracy (89)	Bois Guillou	Puisaye	Antique
Vézelay (21)	Crot-au-Port	Vézélien	Antique
Saint-Aubin les Forges (58)		Nivernais	Antique
Poiseaux (58)		Nivernais	Antique
La Roche-en-Brénil (21)		Morvan-Auxois	Médiéval
Berthelange / Ferrières les Bois (25-39)		Berthelange	Plusieurs sites du haut moyen âge

Figure n°204. Principaux sites ou secteurs devant faire l'objet d'acquisitions LiDAR

Dans tous ces secteurs, des prospections au sol ont déjà permis de cartographier un panel d'amas de différents volumes et morphologies. L'acquisition d'un MNT vise à établir un calcul des volumes des amas visibles au-dessus du sol actuel. Parallèlement, les traitements des images LiDAR apporteront des éléments d'information pour préciser la topographie des amas et éventuellement restituer les dynamiques d'accumulation.

Ces relevés seront couplés à des prélèvements volumiques réalisés sur des coupes stratigraphiques ouvertes sur un certain nombre d'amas afin d'évaluer un ordre de grandeur de la concentration massique des scories par unité de volume (m³). Ces données doivent permettre à terme de

proposer des ordres de grandeur des masses de scories présentes dans les différents types d'amas. En les corrélant aux études de composition chimique des scories et de calcul de bilan matières de la réduction (axe 2) il sera possible d'approcher des ordres de grandeur de la production de fer.

En complément des prélèvements réalisés en 2022 et 2023, d'autres campagnes de prélèvement volumiques sur de nouvelles coupes stratigraphiques sont prévues sur des amas répartis au sein de différentes zones de production et datés de différentes périodes. Le traitement des données est effectué dans le cadre de la thèse de Margaux Herbrich.

Axe 2. Les techniques de réduction : caractérisation et évolutions techniques

Une typologie des scories a été réalisée sur la base des prélèvements effectués sur ou au sein des différents amas. La classification repose sur les caractéristiques morphologiques (morphologie générale traduisant ou non un flux d'écoulement, forme et dimensions des écoulements, forme et gabarit de l'empreinte du réceptacle des écoulements moulé par les scories, etc.), leur structure interne (les différents types d'inclusions et leurs dimensions, la proportion des vacuoles, les éventuelles strates, etc.) et la texture minéralogique (types et proportion des minéraux cristallisés, des phases vitreuses, reliques de matériaux non fondus, formes des parcelles métalliques). Tous ces paramètres sont des révélateurs de la manière dont a été conduite l'opération métallurgique (température, gestes techniques) et de la composition chimique des matières premières utilisées. Six grandes catégories typo-morphologiques de scories ont été mises en évidence. Les études pétrographiques (observations de sections polies, identification des phases minéralogiques, composition chimiques élémentaires) montrent que chacune de ces catégories présentent des caractéristiques propres qui sont des informations permettant d'appréhender les aspects techniques des procédés de réduction employés. Les prélèvements volumiques effectués dans les coupes stratigraphiques ont révélé plusieurs groupes d'assemblage de ces catégories de scories qui ont pu être associés à des périodes chronologiques. Par leurs propriétés intrinsèques, morphologiques et chimiques, ces assemblages vont caractériser chacune des zones de production durant la période chronologique au cours de laquelle ils sont produits. Cela permet aussi de mettre en évidence les savoirs techniques mis en œuvre pour produire du fer et observer leur évolution au cours de temps (Berranger, Leroy, Laurent 2023).

Les études archéométriques sur les déchets de production doivent être poursuivies afin de préciser ces données et d'établir les caractéristiques et les signatures chimiques des différentes zones de production. Des nouvelles analyses de composition sont en cours (SARM-CRPG). D'autres sont à prévoir pour les prélèvements qui seront effectués dans les nouvelles coupes stratigraphiques qui vont être réalisées (axe 1 ci-dessus).

Par ailleurs, plusieurs catégories de scories, comme les scories à accumulation d'écoulement en boudins de type A5 et les scories en gros écoulement vitreux de types C et D, posent d'indéniables difficultés de compréhension qui nécessitent des examens et des analyses plus poussées. Ces dernières présentent des compositions chimiques et minéralogiques qui les rapprochent des laitiers de hauts fourneaux anciens, ce qui laisse envisager que des températures de fonctionnement dépassant 1 400 °C ont pu être atteintes au moins de manière ponctuelle (présence notamment de cristobalite). Ces caractéristiques évoquent la mise en œuvre d'innovations majeures dans la conduite des opérations de réduction, dans les rendements et probablement dans la nature des produits métalliques obtenus. Une collaboration sur cette thématique avec nos collègues de l'université de Fribourg (Suisse) est en cours (Vincent Serneels et Raphaël Künz).

Pour pouvoir établir des bilans chimiques et des bilans matières du processus de transformation du minerai en fer métallique, un protocole d'analyse de composition élémentaire par fluorescence X portable sur section d'échantillon est en cours de mise au point dans le cadre de la thèse de Margaux Herbrich. Les résultats sont destinés à permettre d'approcher les d'ordres de grandeur de la production de fer (axe 1 ci-dessus).

Axe 3. L'organisation des ateliers et les caractéristiques morpho-techniques des fourneaux de réduction

Après la fouille d'un atelier protohistorique (Saint-Fargeau « Bois de Bailly », site 40), il apparaît souhaitable de pouvoir étudier un atelier de l'Antiquité. Pour cette période, la complexité d'approche réside dans l'extension spatiale des sites sur lesquels les amas de déchets s'étendent parfois sur plusieurs hectares. Aussi la mise en œuvre de prospections géophysiques, comme cela été effectué en 2019 dans le Bois de Bailly à Saint-Fargeau, s'avère particulièrement difficile à réaliser sous couvert forestier et semble finalement peu efficace dans ce type de contexte pour mettre en évidence la structuration des ateliers et l'emplacement des bas fourneaux. En revanche, une autre approche peut être envisagée à la lumière des informations collectées au cours de la campagne 2023 sur l'amas 1 du Bois des Ferriers à Montholon/Aillant-sur-Tholon.

L'amas est certes partiellement détruit par les travaux de ré-exploitation des scories au cours du XX^e s. Cependant, les sondages réalisés ont mis en évidence la préservation de niveaux archéologiques sur le sol naturel parfois du près de 80 cm d'épaisseur et même à l'emplacement de monticules constitués par les résidus de criblage de la ré-exploitation moderne. Actuellement, en raison des ré-exploitations récente, une surface d'environ 200 à 300 m², située au centre topographique de l'amas initial est accessible et comprend des niveaux archéologiques intacts qui pourraient correspondre aux potentiels niveaux d'ateliers les plus anciens, possiblement de la fin de l'âge du Fer ou du début de la période romaine, d'après les datations déjà obtenues. Des soubassements de fourneaux pourraient y être mis au jour.

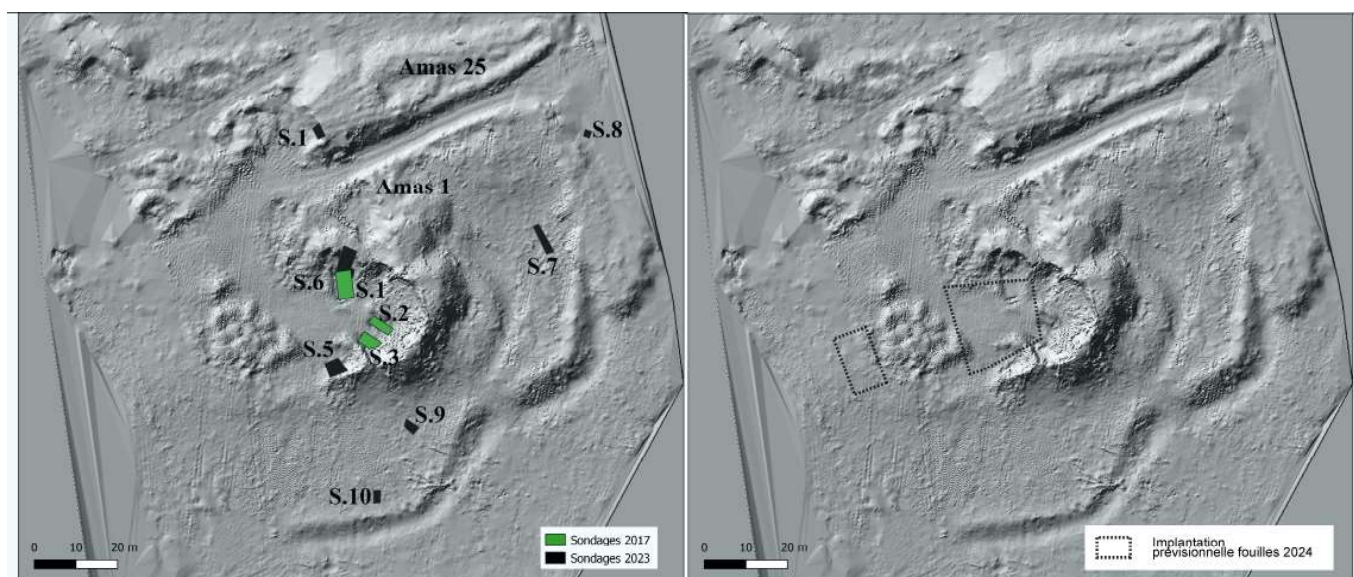


Figure n°205. Montholon site 1 - Bois des Ferriers. Implantation prévisionnelle des zones de fouilles en 2024, par rapport aux sondages des années antérieures.

Par ailleurs, la restitution que l'on peut faire de l'amas initial et de sa dynamique de constitution à partir de l'interprétation du levé LiDAR déjà réalisé, semble identifier un secteur en périphérie,

du côté ouest, où pourrait avoir été installée la zone d'atelier d'où résultent les rejets qui ont constitué les strates médianes ou supérieures de l'amas. Des sondages de vérification pourraient donc être réalisés dans cette zone. Cette opération nécessite le déplacement d'un volume de matériau conséquent.

De plus, un décapage similaire autour des deux petits amas 10 et 11, datés du Moyen Âge, situés en bordure d'une des routes forestières, et sur lesquels des coupes stratigraphiques ont été étudiées, pourrait permettre de mettre au jour les éventuels vestiges conservés d'un atelier de la période médiévale. Ces fouilles seraient réalisées sous la direction de Marion Berranger et Marc Leroy, archéométallurgistes à l'IRAMAT.

Ces travaux continueront à être développés en intégrant un axe de recherches paléoenvironnementales afin d'étudier la structure du peuplement de la végétation exploitée. Cet axe sera coordonné par Olivier Girardclos, dendro-anthracologue au laboratoire Chrono-environnement.

Publications

La publication des résultats des travaux déjà réalisés a déjà débuté. Un article présentant l'apport des plus de 200 datations radiocarbone à l'approfondissement de la connaissance des zones de production du fer de l'espace bourguignon et franc-comtois vient de paraître dans la revue Gallia. D'autres publications ponctuelles sont envisagées. Néanmoins l'objectif à moyen terme est d'aboutir à une publication monographique des travaux entrepris depuis 2017 sur les espaces de réduction.

Bibliographie

- Alix 2022 : ALIX (S.) dir. - *Le complexe artisanal de la Genetoye, Autun, Saone et Loire (71)*, Rapport de fouille programmée. Bilan de triennale.
- 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.
- 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 P., DUNIKOWSKI C., GAETAN L., LABEAUNE R., LAURENT H., LAURENT S., LEROY 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 Franche-Comté et Bourgogne, 2015.
- Berranger et al. 2017 : BERRANGER (M.), ZAOUR (N.), LEROY (M.), BAUVAIS (S.), CABBOI (L.), DUNIKOWSKI (C.), FLUZIN (P.) 2017 - Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VIIe-Ier siècle av. J.-C.) : de la réduction du métal à l'élaboration des demi-produits. In : Stéphane MARION, Sylvie DEFRESSIGNE, Jenny KAURIN, Gérard BATAILLE, *Production et proto-industrialisation aux âges du Fer*. Actes du 39e colloque de l'AFEAF tenu à Nancy du 14 au 17 mai 2015. Ausonius : Bordeaux, 2017, p. 301-334 (Mémoires, 47).
- 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, 240 p.
- Berranger dir. 2019 : BERRANGER (M.) coord., AUBERT (M.), GIRARDCLOS (O.), HERBRICH (M.), JEANNOT (R.), LAURENT (H.), LAURENT-CORSINI (S.), LEROY (M.), MEAUDRE (J.-C.), MOUTON-VENAULT (S.), MERLUZZO (P.), PIETAK (J.-P.), VENAULT (S.), VEYSSEYRE (C.), VINCENT (G.) - *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions*. Projet Collectif de Recherche, Rapport intermédiaire 2021, Belfort, IRAMAT-LMC-UMR5060, DRAC Bourgogne-Franche-Comté.
- Berranger et al. 2019 : BERRANGER (M.), DILLMANN (P.), FLUZIN (P.), VEGA (E.), LEROY (S.), AUBERT (M.), DELQUE-KOLIC (E.) - Du produit d'échange à l'objet symbole : de nouvelles données sur les demi-produits de type currency-bar du Val-de-Saône et l'Arc Jurassien. *Gallia – Archéologie des Gaules*, CNRS Editions, 2019, 76/2, p. 165-189.
- Berranger dir. 2020 : BERRANGER (M.) dir. AUBERT (M.), COUBRAY (S.), GIRARDCLOS (O.), LAURENT (H.), LAURENT-CORSINI (S.), LEROY (M.), MEAUDRE (J.-C.), MERLUZZO (P.), PIETAK (J.-P.), SANCHEZ (C.), TISSERAND (N.), 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 triennal 2018-2020, SRA Bourgogne-Franche-Comté, 2020, 297 p.
- Berranger et al. 2021 : BERRANGER (M.), DILLMANN (P.), FLUZIN (P.), VEGA (E.),

- LEROY (S.), AUBERT (M.), DELQUE-KOLIC (E.) - A new understanding of the chronology, circulation and function of iron age ferrous semi-products in north-eastern France. *Archaeological and Anthropological Sciences* 13, 102.
- Berranger dir.2021 : BERRANGER (M.) coord., AUBERT (M.), FORES (B.), JEANNOT (R.), LEROY (M.), HERBRICH (M.), MOUTON-VENAULT (S.), VENAULT (S.) - *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions*. Projet Collectif de Recherche, Rapport intermédiaire 2021, Belfort, IRAMAT-LMC-UMR5060, DRAC Bourgogne-Franche-Comté.
- Berranger et al. 2022 : BERRANGER (M.) coord., AUBERT (M.), FRANCHINI (V.), LEROY (M.), HAMON (E.), HERBRICH (M.), MOUTON-VENAULT (S.), SIMON (F.-X.), SORDOILLET (D.), THIVET (M.), VENAULT (S.) - *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions*. Projet Collectif de Recherche, Rapport intermédiaire 2022, Belfort, IRAMAT-LMC-UMR5060, DRAC Bourgogne-Franche-Comté.
- Berranger, Bauvais 2020 : BERRANGER (M.), BAUVAIS (S.), - Changements sociétaux et évolution de « l'Économie du fer » du Hallstatt D à La Tène D dans le nord-est de la France, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 117-4, p. 641-671..
- 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).
- Chabal et al., 1999 : CHABAL L., FABRE L., TERRAL J.-F., THÉRY-PARISOT I. « l'anthracologie. » IN : BOURQUIN-MIGNOT CH., BROCHIER J.-E., CHABAL L., CROZAT S., FABRE L., GUIBAL F., MARINVAL PH., RICHARD H., TERRAL J.-F., THÉRY-PARISOT I. *La botanique*. Collection Archéologiques, Errance, 1999.
- Chambon et al. 2014 : CHAMBON (M.-P.), JOLY (M.), MOUTON-VENAULT (S.) 2014 - Les céramiques de l'axe ligérien, entre le Nivernais et l'Orléanais : Concordances et discordances. In : RIVET dir., *Actes du congrès de Chartres*, Marseille, 2014, p. 261-282.
- Crema, 2012 : CREMA E. R. « Modelling Temporal Uncertainty in Archaeological Analysis » *Journal of Archaeological Method and Theory* 19:440–461, Springer, 2012
- Delamarre 2003 : Delamarre (X.) - *Dictionnaire de la langue gauloise. Une approche linguistique du vieux-celtique continental*. Paris, Errance, 2003. 440 p.
- Delor 2002 : Delor (J.-P.) - *Yonne 89/2. Carte archéologique de la Gaule*. Paris, Académie des inscriptions et belles-lettres , 2002, p. 728.
- Déy 1849 : Déy (?.) - Etudes historiques sur le bourg de Tannerre. Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne. Vol. 3. Auxerre, ed. Perriquet., 1849, p. 65-81
- Déy 1855 : Déy (?.) - Histoire de la ville et du comté de Saint-Fargeau Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne. Vol. 9. Auxerre, ed. Perriquet., 1855, p.353-379.
- Dissier 2014 : DISSIER (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.
- Dieudonné-Glad 2017 : DIEUDONNE-GLAD (N.) - La production du fer au tournant des VI^e et V^e s. a. C. Des changements techniques, économiques et sociaux ?, in S. Marion, S. Deffressigne, J. Kaurin et G. Bataille (dir.), *Production et proto-industrialisation aux âges du Fer : perspectives sociales et environnementales*, actes du 39^e colloque international de l'AFEAF (Nancy, 14-17 mai 2015), Bordeaux, Éditions Ausonius (Mémoires, 47), p.365-382.

- Dub 2018 : DUB (S.) - *La céramique antique de l'agglomération secondaire de Grand (Vosges)*, thèse de 3e cycle, Univ. De Lorraine, 2018
- Dubreucq, Thivet 2020 : BUBREUCQ (E.), THIVET (M.) - *La confluence Saône-Doubs à l'âge du Fer (VIe s. av. J.-C. au Ier s. de n.ère)*. Projet Collectif de Recherche, Rapport intermédiaire 2020, 2 vol.
- Dufraisse & Coubray, 2018 : ALEXA DUFRAISSE, SYLVIE COUBRAY. « De l'arbre à la forêt domestiquée : apport de l'antraco-typologie. » *Les Nouvelles de l'archéologie*, Maison des Sciences de l'Homme, 2018, pp.54-61.
- Dufraisse et al., 2020 : DUFRAISSE A., BARDIN J., PICORNELL-GELABERT L., COUBRAY S., GARCIA-MARTINEZ M.-S., LEMOINE M., VILA MOREIRAS S. « Pith location tool and wood diameter estimation: Validity and limits tested on seven taxa to approach the length of the missing radius on archaeological wood and charcoal fragments. » *Journal of Archaeological Science: Reports*, Elsevier, 29, 2020.
- Dufraisse et al., 2018 : DUFRAISSE A., COUBRAY S., GIRARDCLOS O., LEMOINE M., DUPOUEY J.-L., MARGUERIE D. « Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and woodland management reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. » *Quaternary International* 463, 2018.
- Dufraisse, 2006 : DUFRAISSE A. Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth. In : A. Dufraisse (ed.), « 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)
- 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).
- Dupere et al. 2016 : DUPERE (B.), BAUCHET (O.), BAUVAIS (S.), BRUNET (P.), COUSSOT (C.) et al. - *Châteaufort (78), Villiers-le-Bâcle - Saclay (91) - RD36 - Phase 1 : section de Saclay - Yvelines (78) Essonne (91)*. Rapport de diagnostic. [Rapport Technique] Inrap Centre-Île-de-France; SRA Ile de France. 2016, 143 p. □hal-02557447□
- 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.
- Fouédjeu et al., 2021 : FOUEDJEU L., PARADIS-GRENOUILLET S., LARRIEU L., SAULNIER M., BURRI S., SARAGAGLIA V. « The socio-ecological legacies of centuries-old charcoal making practices in a mountain forest of the Northern Pyrenees. » *Forest Ecology and Management*. 502, 2021.
- Foy, Fontaine 2008 : FOY (D.), FONTAINE (S.) - Diversité et évolution du vitrage de l'Antiquité et du haut Moyen Âge : un état de la question, *Gallia*, 65, p. 405-459.
- Garnier et al. 2020 : GARNIER (N.), SILVINO (T.), DJAOUI (D.) - Le mythe des amphoriques : tituli pictii et analyses... *Société Française d'Etude de la Céramique Antique en Gaule, Actes du congrès de Lyon*, Marseille : SFECAG, p. 215-228
- Garcia-Martinez & Dufraisse, 2012 : GARCÍA MARTÍNEZ M. S., DUFRAISSE A. « Correction factors on archaeological wood diameter estimation. » In : Badal et al. eds. *Wood and Charcoal. Evidence for human and natural history*. SAGVNTVM Papeles del laboratorio de arqueologia de Valencia. Universitat de Valencia, 2012.
- Girardclos et al., 2017 : GIRARDCLOS O., DUFRAISSE A., DUPOUEY J.-L., COUBRAY S., RUELLE J., RATHGEBER C. B. K. « Improving identification of coppiced and seeded trees

- in past woodland management by comparing growth and wood anatomy of living sessile oaks (*Quercus petraea*). » *Quaternary International* 1-13, 2017.
- Girardclos, Jeannot 2019 : GIRARDCLOS (O.), JEANNOT (R.) - Dendro-anthracologie, analyse exploratoire de ferriers à Montholon (Aillant-sur-Tholon). In : Berranger dir. 2019 p. 103-130.
 - Gigout 1982 : GIGOUT (M.) avec la collaboration de Michaud J.-P. et Monciardini C. - *Notice explicative de la feuille de Saint Fargeau à 1/50000*, n°2521, éd du BRGM.
 - 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*, 73, Auxerre, 1920. p.33-74.
 - Herbrich 2021 : HERBRICH (M.) - *Le complexe métallurgique antique d'Aillant-sur-Tholon. Apport de la topographie par LIDAR aéroporté à sa caractérisation*. Mémoire de master 2 de l'Université de Dijon. Sous la direction de P. Nouvel, M. Thivet et M. Berranger, 2021, 178 p.
 - 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*, 73, Auxerre, 1920. p.33-74.
 - Jacob et al. 1983 : Jacob (J.-P.), Leredde (H.), Loriot (X.) - Trésors monétaires gallo-romains du département de l'Yonne. *RAE*, XXXIV, 1983, p. 301-327.
 - Jeannot dir, 2016 : JEANNOT (R.) - *Entrains-sur-Nohain (58). Les ferriers de l'Abîme*. Rapport de sondages programmés 2016. Rapport dactylographié, SRA Bourgogne FRanche-Comté, 2016, 38 p.
 - Joly, Curria 2016 : JOLY (M.), CURRIA (A.) - A propos d'un type particulier de céramique : les amphoriques du quartier du sanctuaire de la Genetoye à Autun. *Société Française d'Etude de la Céramique Antique en Gaule, Actes du congrès d'Autun*, du 5-8 mai 2016, Marseille, p.557-564
 - Johnson, 2003 : JOHNSON, I. « Aoristic Analysis: seeds of a new approach to mapping archaeological distributions through time. » In: K. F. Ausserer, W. Börner, M. Gorianny, L. Karlhuber-Vöckl (eds.) [Enter the Past] *The E-way into the Four Dimensions of Cultural Heritage*: CAA2003, Vienna: BAR International Series, 2003.
 - Jouffroy-Bapicot, 2014 : JOUFFROY-BAPICOT I., Nouvelles données paléoécologiques issues des mares intra-forestières du plateau de Prémery (bourgogne, France). *Quaternaire*, 25, (3), 2014
 - 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.
 - 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.
 - Leguédois et al., 2011 : LEGUÉDOIS S., PARTY J.-P., DUPOUEY J.-L., GAUQUELIN TH., GÉGOUT J.-C., LECAREUX C., BADEAU V., PROBST A. « La carte de végétation du CNRS à l'ère du numérique », *Cybergeo: European Journal of Geography, Environnement, Nature, Paysage*, 2011.
 - Leroy, Merluzzo 1998 : LEROY (M.), MERLUZZO (P.) - *Les ateliers sidérurgiques médiévaux de Saint-Dizier (Haute-Marne)*. Bulletin de la Société Archéologique champenoise 91 n°4.
 - Leroy et al. 2000 : LEROY (M.), MANGIN (M.), LAURENT (H.), BOUKEZZOULA (M.), RAISSOUNI (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 M., Merluzzo P., Le Carlier C. 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*, Knutange, Fensch Vallée Éditions, 372 p.
- 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.
- Lesire 1908 : Lesire (A.) - Notes et documents pour servir à l'histoire de Toucy. Bulletin de la société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne, 61, Auxerre, 1908, p. 292-400
- Ludemann, 2008 : LUDEMANN, T. « Experimental charcoal-burning with special regard to charcoal wood diameter analysis. » In Girolamo (ed.) : *Presented at the Charcoals from the past : cultural and palaeoenvironmental implications*. Lecce. BAR International Series, Oxford, pp. 147–158, 2008.
- Mangin 1994 : Mangin (M.) - Tannerre-en-Puisaye « La Garenne » (Yonne) dans Petit (J.-P.) et Mangin (M.) dir.- *Atlas des agglomérations secondaires de la Gaule Belgique et des Germanies*, Ed. Errance; 1994, p. 86-87.
- Mangin dir. 2004 : MANGIN (M.) dir. – *Le fer*. ERRANCE : Paris, 2004 (Collection Archéologiques).
- Mangin et al 1992 : MANGIN (M.), KEESMAN (I.), BIRKE (W.), PLOQUIN (A.) - *Mines et métallurgie chez les Éduens. Le District sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois*, Paris, Annales Littéraires de l'Université de Besançon (456), 1992, 364 p.
- Mangin et al. 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 2019 : MOUTON-VENAULT (S.) - Etude céramologique du mobilier de Toucy, «La Cour Batonnerie». Dans BERRANGER M. (Dir.) Rapport d'activité 2019, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions», 2019, p. 131-139
- Mouton-Venault et al. 2015 : MOUTON-VENAULT (S.), AHÜ-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 et al. 2017 : MOUTON-VENAULT (S.), AHÜ-DELOR (A.), (dir.), BARTHELEMY (D.), JOLY (M.), MAUDUIT (C.) - Recueil des ateliers bourguignons : les productions de vaisselle culinaire. In : BARAY (L.) dir : *De silex, de terre et de faïenc. Mémoire du sol en Bourgogne, Hommages à Jean-Paul Delor*, éditions M. Mergoïl (Histoire et Archéologie romaine 36), 636 p.
- 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.
- Noyé 1976 : Noyé (Gh.)- Les fortifications de terre dans la seigneurie de Toucy, du Xe au XIIIe siècle. Essai de typologie. In: *Archéologie médiévale*, tome 6, 1976. pp. 149-217
- Oillic 2011 : OILLIC J.-C. *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire*. Université de Rennes 1, 2011.
- Paradis-Grenouillet et al., 2014 : PARADIS-GRENOUILLET S. et al., *Sustainable management of metallurgical forest on Mont Lozère (France) during the Early Middle Ages, Environmental archaeology*, 2014

- Peyrat 2009 : PEYRAT (F.) L'emploi des terres pour la construction des bas fourneaux. *Les nouvelles de l'archéologie* [Online], 116 | 2009, Online since 30 June 2012, connection on 23 November 2023. URL: <http://journals.openedition.org/nda/711>; DOI: <https://doi.org/10.4000/nda.711>
- Piétak 1998 : PIETAK (J.-P.) – Le pagus de Toucy dans l'Antiquité. *Bulletin de l'association d'études, de recherches et de prospection du Vieux Toucy et de ses environs*, n°68, 1998, Toucy, p. 15-17.
- Piétak 2000 : PIETAK (J.-P.) – Toucy. Le site gallo-romain La Cour Batonnerie. Prospection 1999. *Bulletin de l'association d'études, de recherches et de prospection du Vieux Toucy et de ses environs*, n°70, 2000, Toucy, p. 3-12.
- Piétak 2007 : PIETAK (J.-P.) – Prospections et 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°77, 2007, Toucy, 56 p.
- Piétak 2011 : PIETAK (J.-P.) – Chemins et voies de communication en Puisaye. La voie romaine Toucy-Tannerre. *Bulletin de l'association d'études, de recherches et de prospection du Vieux Toucy et de ses environs*, n°81, 2011, Toucy, p. 39-52
- 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.
- Pomerol 1989 : POMEROL (B.) - *Notice explicative de la feuille Bléneau à 1/50 000*. Ed. du BRGM, Orléans. 1989. 47 p.
- Piétak 2000 : PIETAK (J.-P.) - Toucy, le site gallo-romain. La cour Batonnerie. Prospection 1999. *Bulletin de l'association d'études, de recherches et de prospection du Vieux Toucy et de ses environs*, n°70, 2000, Toucy, p. 3- 12
- Quantin 1862 : Quantin (M.) - *Dictionnaire topographique du département de l'Yonne: comprenant les noms de lieu anciens et modernes*, rédigé sous les auspices de la Société des sciences historiques et naturelles de l'Yonne, Paris, 1862, 192 p.
- Quenton 2018 : QUENTON (P.) - *Ilot XI 13 : d'un quartier artisanal à un quartier résidentiel. Ier-fin IIIe siècle : Autun, 28 rue de la Croix Verte (Saône-et-Loire) : rapport de fouilles*, Inrap.
- Rais 2005 : RAIS (F.) – Connaissance des bas fourneaux. In : ESCHENLOHR (E.), JUILLERAT (C.), RAIS (F.) ed. *La production du fer au Moyen Âge. Expérimentations dans le Jura*. Société Jurassienne d'Emulation, 2005, p. 89-104.
- Rebiscoul 2003 : REBISCOUL (A.) - Le site paléométallurgique des "Ferrys", commune de La Bussière (Loiret). In: *Revue archéologique de Picardie*, n°1-2, 2003. Cultivateurs, éleveurs et artisans dans les campagnes de Gaule romaine. pp. 129-139; doi : <https://doi.org/10.3406/pica.2003.2361>
- R Core Team, 2022 : R CORE TEAM. *R - A langage and environnement for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- Rodier et al. 2024 : RODIER (J.), BERRANGER (M.), SERNEELS (V.) – Hammerscale and slag inclusions : new insights into metal supply during the early iron age in Western Europe. *Journal of archaeological Science*, 163, 2024 p. 10.1016/j.jas.2023.105925
- Rodier & Saligny, 2010 : RODIER X., SALIGNY L. « Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée », *Cybergeo : European Journal of Geography, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques*, 2010.
- Saint-Didier 2017 : SAINT-DIDIER (G.) – *La métallurgie du fer dans le Poitou : Extraction, réduction, forgeage (IIIe siècle av. J.-C.-XVe siècle)*, Rennes, Presses Universitaires de Rennes, (Archéologie et Culture), 360 p.

- Sanchez 2020 : SANCHEZ (C.) - Résultats des prospections géophysiques menées sur trois amas de déchets à Saint-Fargeau "Bois de Bailly". In : BERRANGER dir. 2020, p. 101-124.
- Schweingruber 1990 : SCHWEINGRUBER F. H., *Anatomy of european woods*. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf (Hrsg.). Haupt, Bern und Stuttgart.
- Séguier 2006 : SEGUIER (J.-M) 2006b, - La céramique de trois contextes de la seconde moitié du IIIe s. de l'établissement antique du bois de roselle à Balloy, In : VanOssel (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, 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, dans RIVET dir., *Actes du Congrès de Colmar*, Marseille, 2009, p. 501-562.
- Séguier 2011 : Séguier (J.-M) 2011, - Nouvelles données sur les productions à revêtement argileux de Jaulges & Villiers-Vineux, - in : Van Ossel (dir) avec la coll. de Bertin (D.) et Séguier (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.
- Sordoillet D., 2009 : SORDOILLET (D.) - *Géoarchéologie de sites préhistoriques : Le Gardon (Ain), Montou (Pyrénées-Orientales) et Saint-Alban (Isère)*. Paris : MSH, 2009. 188 p. : ill. (Daf ; 103).
- 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.
- Tisserand 2020 : TISSERAND (N.) - Les fouilles du n°17 de la rue de la voie romaine. In : BERRANGER dir. 2020, p. 173-226.
- Venault dir., à paraître : VENAULT (St.) - *Bourgogne, Nièvre (58), Entrains-sur-Nohain, Rue Romaine*, Rapport Final d'Opération, Inrap, Dijon, à paraître.
- Venault dir., à paraître : VENAULT (St.) - *Bourgogne, Nièvre (58), Entrains-sur-Nohain, 14 route d'Etats*, Rapport Final d'Opération, Inrap, Dijon, à paraître.
- Venault 2020 : VENAULT (St.) - Les fouilles du 8 de la voie romaine. In : BERRANGER dir. 2020, p. 227-240
- Venault, Mouton-Venault 2018 : VENAULT (St.), MOUTON-VENAULT (S.) - Un lieu de vie au sein de l'exploitation sidérurgique du Bois des Ferriers à Aillant-sur-Tholon ? Le sondage 89.003.021. In : : BERRANGER (M.) dir. *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions. Projet Collectif de Recherche, Rapport d'activité 2018*, p. 82-89
- Venault, Nouvel et al. 2015 : VENAULT (S.), NOUVEL (P.) coord, GAËTAN (L.), JAL (M.), MOUTON-VENAULT (S.), SAGGESE (A.), *Projet collectif de recherche, AggloCenE, Agglomérations antiques du Centre Est de la Gaule ; ,inventaire archéologique, cartographie et analyses spatiales*, rapport d'activité 2015, UMR 6249 Chrono-environnement, Besançon, 2015, 638 p.
- Venault et al. à paraître : VENAULT (S.), TISSERAND (N.), BERRANGER (M.), GAËTAN (L.), MOUTON-VENAULT (S.), *Un quartier de forgerons du Ier-IIe s. ap. J.-C. à Entrains-sur-Nohain /Intaranum (Nièvre)*. Table ronde : Le rôle de l'artisanat dans la genèse et la structuration des agglomérations, tenue à la Maison de l'Archéologie et Ethnographie et organisée par l'U.M.R. 7041 ArScAn-GAMA, Feb 2016, Nanterre, France. □hal-02529598□, à paraître).
- Venault dir. 2023 : VENAULT (S.) - *Bourgogne, Nièvre (58), Entrains-sur-Nohain, Rue Romaine, Des ateliers de forgerons au confort des maisons longues : évolution de trois parcelles urbaines à Intaranum au cours du Haut-Empire : Entrains-sur-Nohain, 17 rue de la voie romaine (Nièvre) : rapport de fouilles*, Inrap, Dijon, 2023.

- Vincent 2014 : Vincent (G.) - *Bourgogne, Nièvre, Entrains-sur-Nohain, 16, route d'étais, Evolution urbaine d'un secteur de l'agglomération d'Intaranum (1er-Ve s.)*, rapport de fouille INRAP, 3 vol., 973 p.
- Vincent 2019 : Vincent (G.) - Approche méthodologique de l'étude des forges : l'exemple d'Entrains-Sur-Nohain (58), 16 route d'Etai. In : BERRANGER (M.) dir. La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions. Projet Collectif de Recherche, Rapport d'activité 2019, p. 169-196
- Vivet 2009 : VIVET (B.) - *Métallurgie médiévale et forêt en prélude aux Grandes Forges de Paimpont (Ille-et-Vilaine)*. Les dossiers du CeRAA, n°AF, 2009.
- Voss 1985 : VOSS (O.) - Snorup - an iron producing settlement in West Jutland, 1st-7th century AD. In : MAGNUSSON (G.) - *The importance of iron making, technical innovation and Social Change*, Papers presented at the Norberg Conference on May 8-13, 1995, p. 132-139

Annexe 1 : Montholon - Inventaire des US

89.003.001									
N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Equivalence	Auteurs	Mobiliers prélevés		
501	Terre marron meuble mêlée de racines	Terre végétale forestière		503		ML			
502	Argile blanche à silex stérile et terre marron	Remblai post-antique	503	504		ML			
503	Argile blanche à silex stérile	Remblai post-antique	501	502		ML			
504	Sédiment terreux brun-marron, meuble, fin, avec racines, quelques scories et parois de fours centimétriques	Remblai post-antique	502	506		ML			
505	Couches de scories centimétriques sans sédiment alternant avec des couches noires épaisses de sédiment fin granuleux, beige-clair	Rejets de scories	504	507	506	ML	Minerais, parois, scories, charbons		
506	Couches de scories centimétriques sans sédiment	Rejets de scories	504	507	505	ML	Minerais, scories		
507	Scories en fragments décimétriques à pluridécimétriques, avec fragments de terre cuite,	Rejets de scories	505-506	TN		ML	Bloc-tuyère		
508	Scories en fragments décimétriques à pluridécimétriques avec peu de sédiment	Rejets de scories	507	509		ML	Scories, parois, minerais, charbons		
509	Scories en fragments décimétriques à pluridécimétriques A5, avec fragments de terre cuite	Rejets de scories et parois	508	TN		ML	Scories, parois, minerais, charbons		
601	Parois de four en forme de pain soit d'argile non cuite (jaune-beige), soit en argile cuite orangée à gris bleuté. Présence de gros blocs pluridécimétrique de scories en boudins accolés (A5)	Couche de rejet de déchets	603	609	602 ?	ML-CE	Minerais, parois, scories, charbons		
602	Parois de four, fragments cuits brun à gris-noir	Couche de rejet de parois de fours	604	609	601 ?	ML-CE			
603	Scories en fragments décimétriques à pluridécimétriques, avec fragments de terre cuite, sans sédiment intercalaire	Rejets de scories	608	608		ML-CE	Minerais, scories, charbons		
604	Parois de four en terre cuite orangé et jaune-orangé	Couche de rejet de parois de fours	605	602		ML-CE	Scories, parois		
605	Scories (scories vitreuses bulleuses) en fragments décimétriques à pluridécimétriques sans sédiment	Rejets de scories	606	604		ML-CE	Scories, parois		
606	Sédiment fin granuleux, marron, assez compact	Remblai ou niveau d'abandon	607	605		ML-CE	Minéral, prélèvement de terre		
607	Scories en fragments pluricentimétriques avec fragments de terre cuite et sédiment marron granuleux	rejets de scories	608	606		ML-CE	Charbons, scories, minerais		
608	Sédiment fin granuleux, brun-marron avec petits fragments de scories	Résidus de criblage ?		607-603		ML-CE			
609	Argile jaune à silex	Terrain naturel	602-601			ML-CE			
701	Couche hétérogène avec inclusions de parois de four et scories pluricentimétriques à décimétriques, sédiment marron clair, argileux très compact	Niveau de destruction de four piétiné	703	705		SD, CDSV	Scorie		
702	Couche homogène dense, terreuse à grains fins, de couleur noire charbonneuse	Remblai terreux	703	705		SD, CDSV			
703	Couche hétérogène semi-compacte marron foncé, beaucoup de scories majoritairement centimétriques, et racines. Localement une zone est plus noire, du fait de la présence de charbon	Remblai avec scories	704	701-702-		SD, CDSV	Minéral, charbon, bloc-tuyère.		
704	Couche humique marron clair, terreuses et friable, perturbée par les racines, avec rares inclusions de scories centimétriques	Remblais et humus		703		SD, CDSV	Minéral, bloc-tuyère, scories		
705	Continuité de 701 ? Même consistance argileuse compacte avec inclusions de parois et scories	Niveau de destruction de four ?	701-702	707-708		SD, CDSV	Minéral, charbon		

89.003.001							
N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Equivalence	Auteurs	Mobilier prélevés
706	Couche grise poudreuse avec inclusions de charbons et de parois de four	Destruction de four	707			SD, CDSV	Charbon, bloc-tuyère
707	Altérence de sédiment gris et rouge poudreux (minéral), nombreuses inclusions de charbons et de parois de four et de scorie de taille pluri-centimétrique	Niveaux de destruction de fours	705-702	706	708	SD, CDSV	
708	Couche argileuse compacte avec inclusions de charbon et de parois de four	Niveau de destruction de four plâtré	705	706	707	SD, CDSV	
709	Poudre de minéral	Poudre de minéral	703	710		MB	
710	Fines couches d'argile blanche et sédiment terreux compact, avec un peu de scorries de taille centimétrique. Quelques poches de minéraux						
711	Poudre de minéral	Poudre de minéral	701	711		MB	
801	Niveau humifère	Humus	710	TN		MB	
802	Poudre de minéral	Poudre de minéral	801	803		MB	
803	Niveau terreux de couleur noire enrobant des fragments de scorie de taille centimétrique	Rejets de scorries	802	804		MB	
804	Blocs pluricentimétriques à décimétrique de scorries prises dans un sédiment marron	Rejets de scorries	803	805		MB	
805	Blocs de parois rougeâtre à blanchâtre	Rejets de parois	804	TN		MB	
901	Couche argileuse compacte de couleur jaune, présence de silix	Terrain naturel	902			FP, LC	
902	Couche marron foncé à rouge, compacte, présence de rares scorries centimétriques à pluricentimétriques et de silix	Colluvionnements ?	903	901		FP, LC	
903	Couche marron claire, compacte, avec silix	Colluvionnements ?	904	902		FP, LC	
904	Couche marron foncé meuble, mélangée avec des racines, peu à pas de mobilier, Humus	Sol humifère		903		FP, LC	
1001		Sol humifère		1002		MB	
1002	Transition humus, argile à silix	Terrain naturel remanié	1001			MB	
89.003.004							
N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Equivalence	Auteurs	Mobilier prélevés
101	Niveau terreux, rougeâtre, meuble, comprenant des inclusions de scorries et de parois centimétriques à pluri-centimétriques	Rejets de scorries				MB, CSV, LC	
102	Couche de couleur plus claire, comprenant également des inclusions de scorries et de parois centimétriques à pluri-centimétriques.	Rejets de scorries				MB, CSV, LC	
201	Niveau argilo-limoneux gris beige clair dans lequel sont inclus quelques scorries centimétriques, et peut être des silix.	Terrain naturel				FP, SD, ML	
202	Couche de sédiment rougeâtre granuleux, contenant des scorries (cm à dcm) et des parois de four	Rejets de scorries				FP, SD, ML	
203	Couche de sédiment terreux gris beige moyennement compact avec des fragments de scorries et de petits cailloux centimétriques à décimétriques	Rejets de scorries				FP, SD, ML	
204	Couche de fragments de scorries dans un sédiment terreux brun gris meuble	Rejets de scorries et humus				FP, SD, ML	
89.003.009							
N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Equivalence	Auteurs	Mobilier prélevés
201	Couche sablo-limoneuse marron clair très meuble. Présence de silix et rares fragments de scorries	Interface rejets de scorries, substrat	202			MH	
202	Scorries pluricentimétriques à pluri-décimétriques dans un encaissant sablo-limoneux marron	Rejets de scorries	203	201		MH	Scorries, charbons
203	Humus encaissant sableux marron foncé. Présence de scorries pluricentimétriques. Pollution de scorries vitreuses provenant probablement du terrier 2 ou 3	Humus				MH	

89.003.011									
N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Equivalence	Auteurs	Mobiliers prélevés		
101	Couche argilo-sableuse marron clair. Présence de gros rognons de silice	Terrain naturel	102			MH, SR			
102	Couche sablo-limoneuse marron. Présence de gros blocs de scories denses en boudins fins, de taille centimétrique à pluridécimétrique	Rejets de scories Humus	103	101		MH, SR	Scories		
103	Humus			102		MH, SR			
201	Couche argilo-sableuse brune orangée. Présence de gros rognons de silice	Terrain naturel		202		MH	Scories		
202	Couche sableuse marron. Présence de gros blocs de scories denses en boudins fins, de taille centimétrique à pluridécimétrique	Rejets de scories Humus	203	201		MH	Charbons		
203	Humus			202		MH, SR			
89.003.019									
N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Equivalence	Auteurs	Mobiliers prélevés		
101	Couche de minerai pulvérulent	Couche de préparation de minerais	102	TN argile à silice		MB			
102	Scories pluricentimétriques dans un sédiment terreux grisâtre	Rejets de scories	103	101		MB			
103	Humus	Humus		102		MB			
89.003.025									
N°US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Equivalence	Auteurs	Mobiliers prélevés		
101	Blocs de silice pluri-centimétriques à pluri-décimétriques pris dans une matière d'argile jaune à blanche	Sol naturel	102-104-112			MB, CDV, CE, SS, SO			
102	Gros blocs pluricentimétriques à pluridécimétriques de scories, et quelques fragments de parois et terre cuite enrobés dans une faible proportion de sédiment fin marron gris	rejets de scories	103	101	105-103	MB, CDV, CE, SS, SO	Scories		
103	Fine couche de sédiment fin rougeâtre comprenant de la poudre de minerai et des fragments infracentimétriques de scories	Remblai terreux	106	101	112	MB, CDV, CE, SS, SO			
104	Gros blocs pluricentimétriques à pluridécimétriques de scories, et quelques fragments de parois et terre cuite enrobés dans une faible proportion de sédiment fin marron gris	rejets de scories	106	101		MB, CDV, CE, SS, SO			
105	Gros blocs de scories pluricentimétriques à pluridécimétriques, fragments de parois pris dans une faible proportion de sédiment correspondant à de la paroi désagrégée	rejets de scories	106	103		MB, CDV, CE, SS, SO	Scories		
106	Sédiment fin terreux marron gris, hétérogène, mélange de résidus de parois, de terre cuite, de fragments de minerais et de scories de taille centimétrique à pluricentimétrique. Inclusions de charbon, et de calcaire sous forme de poudre	Remblai ou niveau d'abandon	107-108	105-104		MB, CDV, CE, SS, SO	Charbons, minerais		
107	Gros blocs pluricentimétriques à pluridécimétriques de scories, et quelques fragments de parois et terre cuite enrobés dans une faible proportion de sédiment fin marron gris	rejets de scories	109	106		MB, CDV, CE, SS, SO	Minerais, scories		
108	Gros blocs pluricentimétriques à pluridécimétriques de scories, et quelques fragments de parois et terre cuite enrobés dans une faible proportion de sédiment fin marron gris	rejets de scories	109	106		MB, CDV, CE, SS, SO	Charbon, parois, scories		
109	Sédiment fin terreux marron gris, hétérogène, mélange de résidus de parois, de terre cuite, de fragments de minerais et de scories de taille centimétrique à pluricentimétrique. Inclusions de charbon, et de calcaire sous forme de poudre	Remblai ou niveau d'abandon	110	107-108		MB, CDV, CE, SS, SO			
110	Gros blocs pluricentimétriques à pluridécimétriques de scories, et quelques fragments de parois et terre cuite enrobés dans une faible proportion de sédiment fin marron gris	rejets de scories	111	109		MB, CDV, CE, SS, SO	Minerais, scories, parois		
111	Gros blocs pluricentimétriques à pluridécimétriques de scories, et quelques fragments de parois et terre cuite enrobés dans une faible proportion de sédiment fin marron gris et d'humus	rejets de scories		110		MB, CDV, CE, SS, SO			
112	Niveau de terre marron rouge prise entre deux niveaux de rejets de scorie.	Remblai ou niveau d'abandon	105	102	103	MB, CDV, CE, SS, SO			

Annexe 2 : Compositions chimiques élémentaires (éléments majeurs et traces) des échantillons de minerai, parois et scories de fer.

Annexe 3 : Planches céramologiques de référence (S. Mouton-Venault)

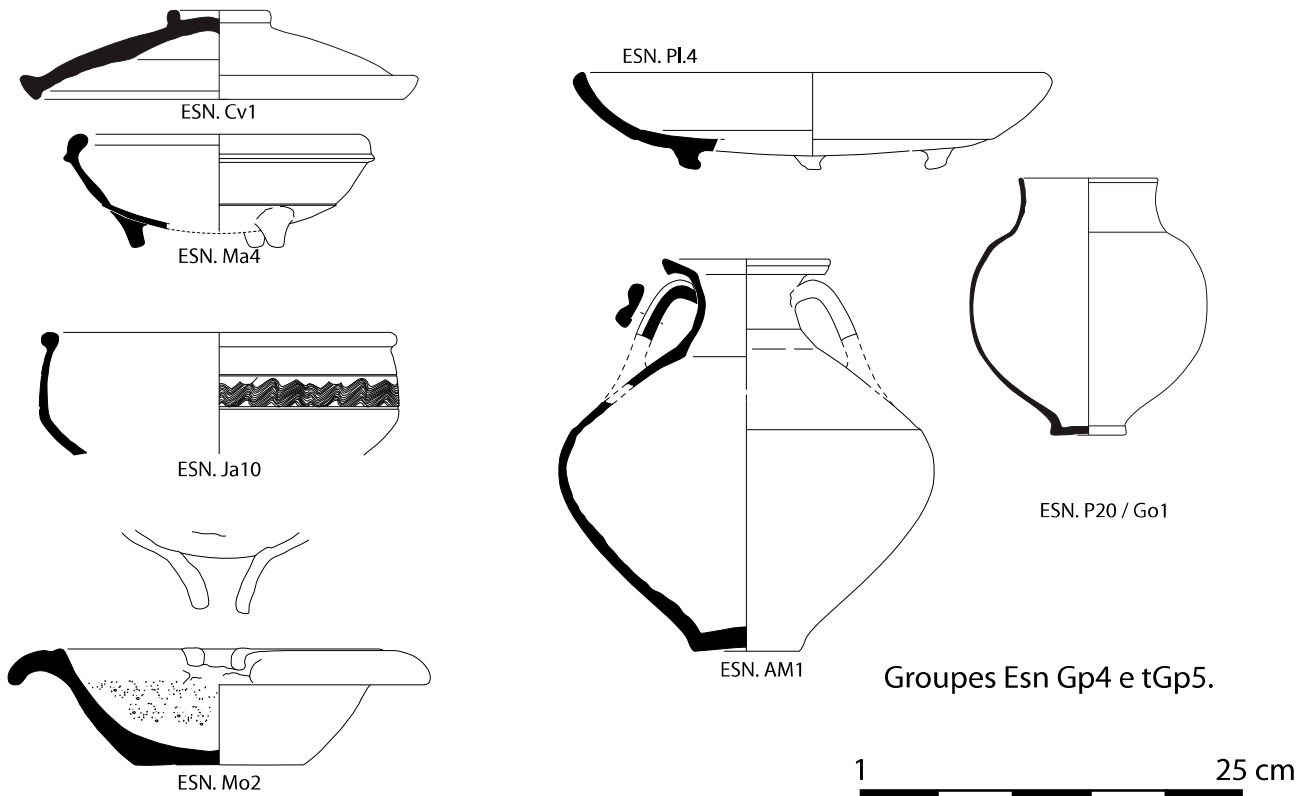
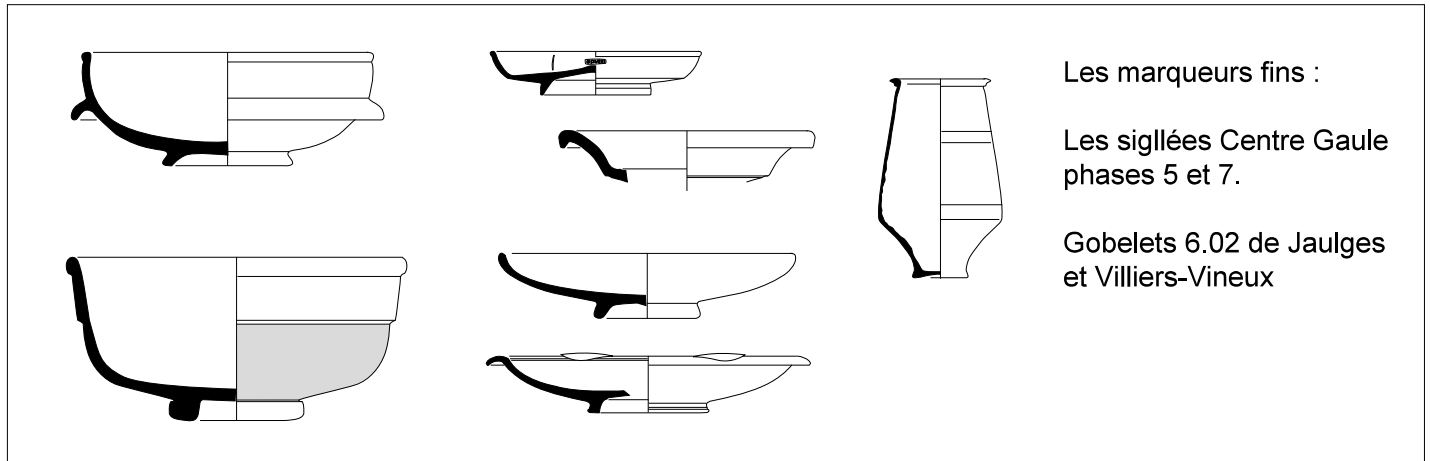
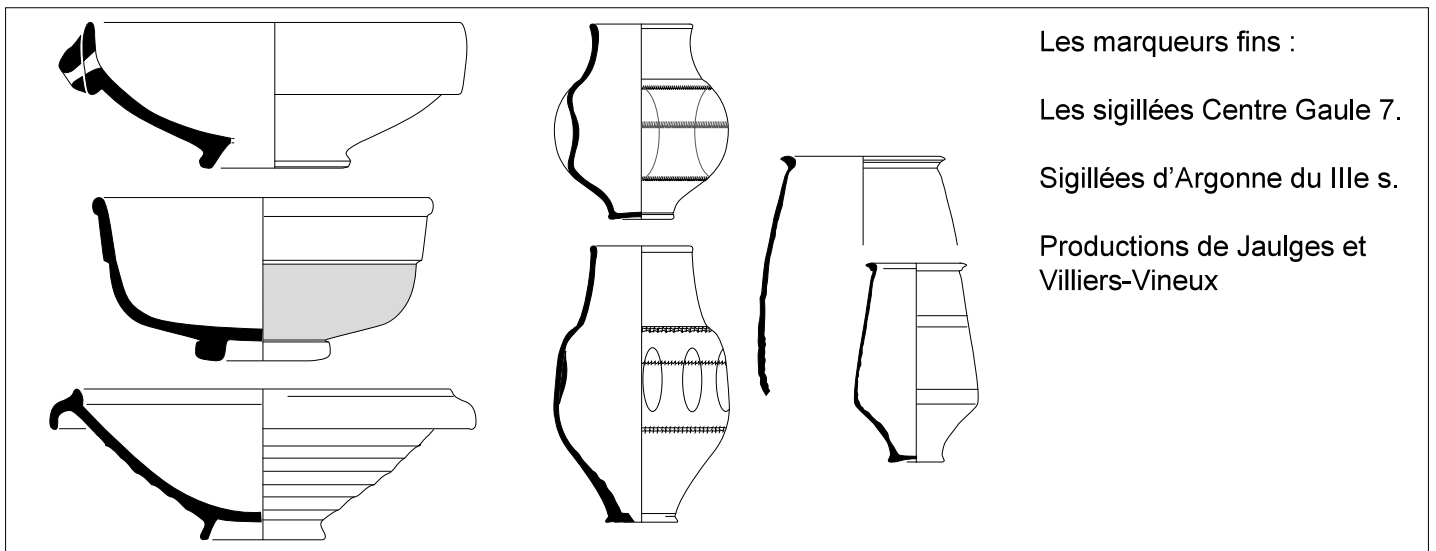


Planche n°1. Planche récapitulative des principales formes types du II^e s. (S. Mouton-Venault)



Les marqueurs fins :

Les sigillées Centre Gaule 7.

Sigillées d'Argonne du IIIe s.

Productions de Jaulges et Villiers-Vineux

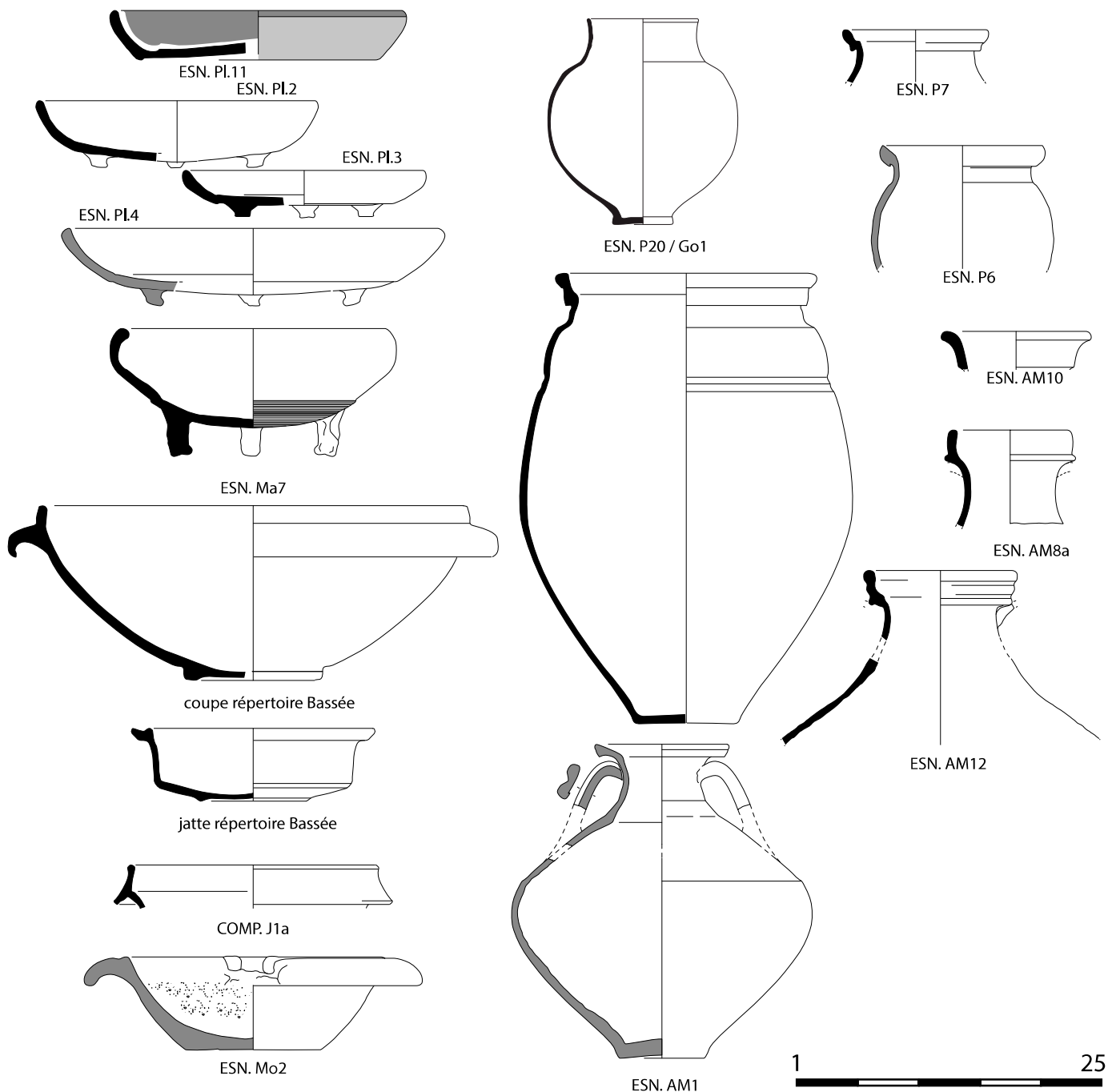


Planche n°2. Planche récapitulative des principales formes types du III^e s. (S. Mouton-Venault)

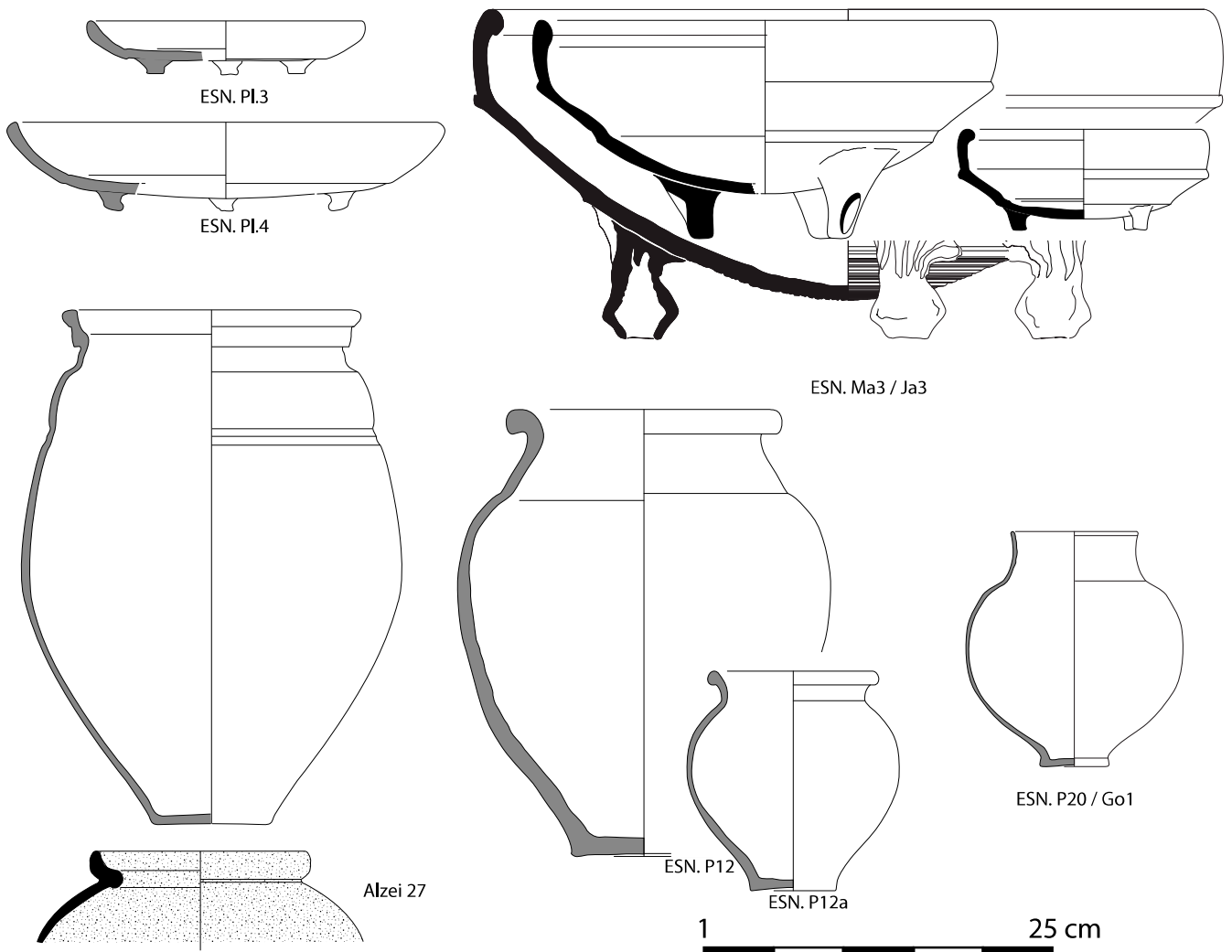
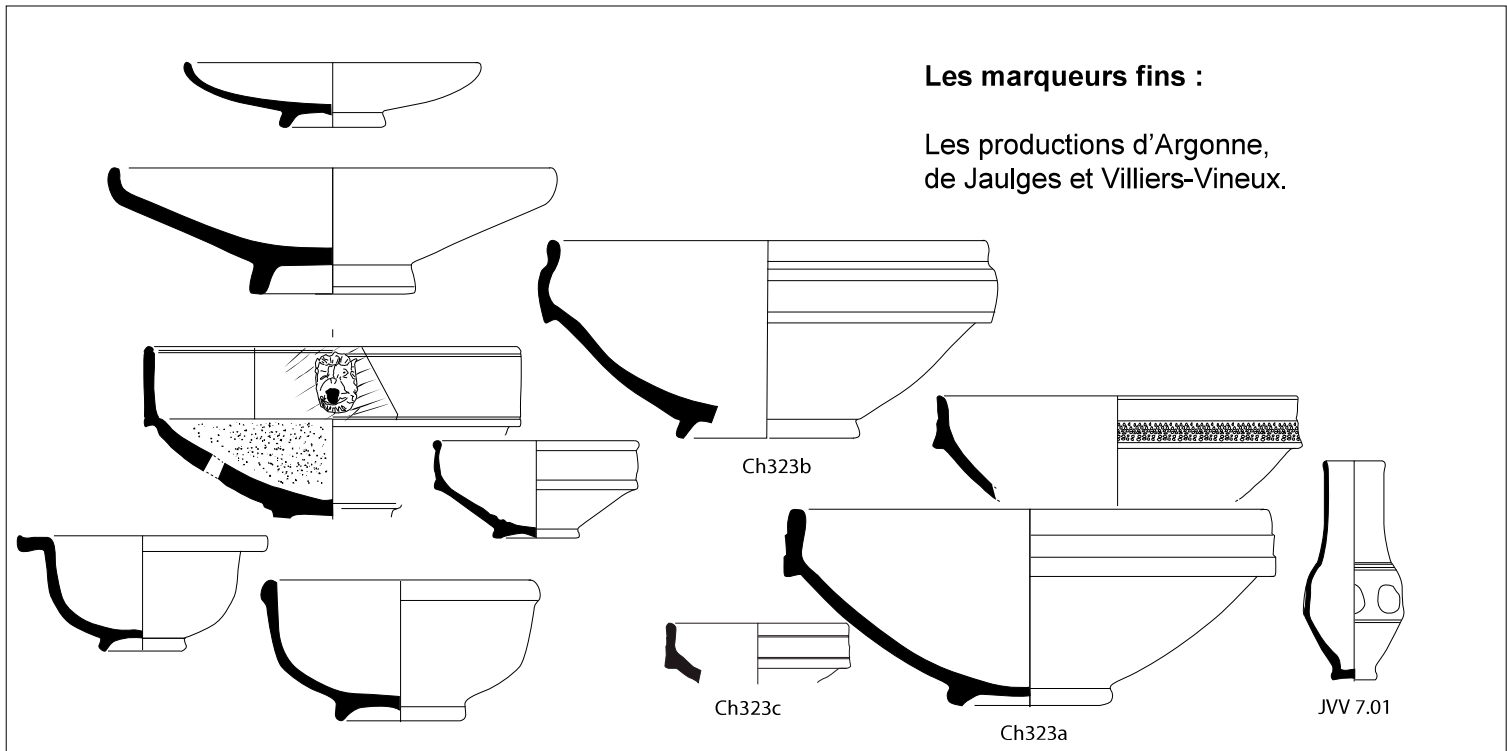
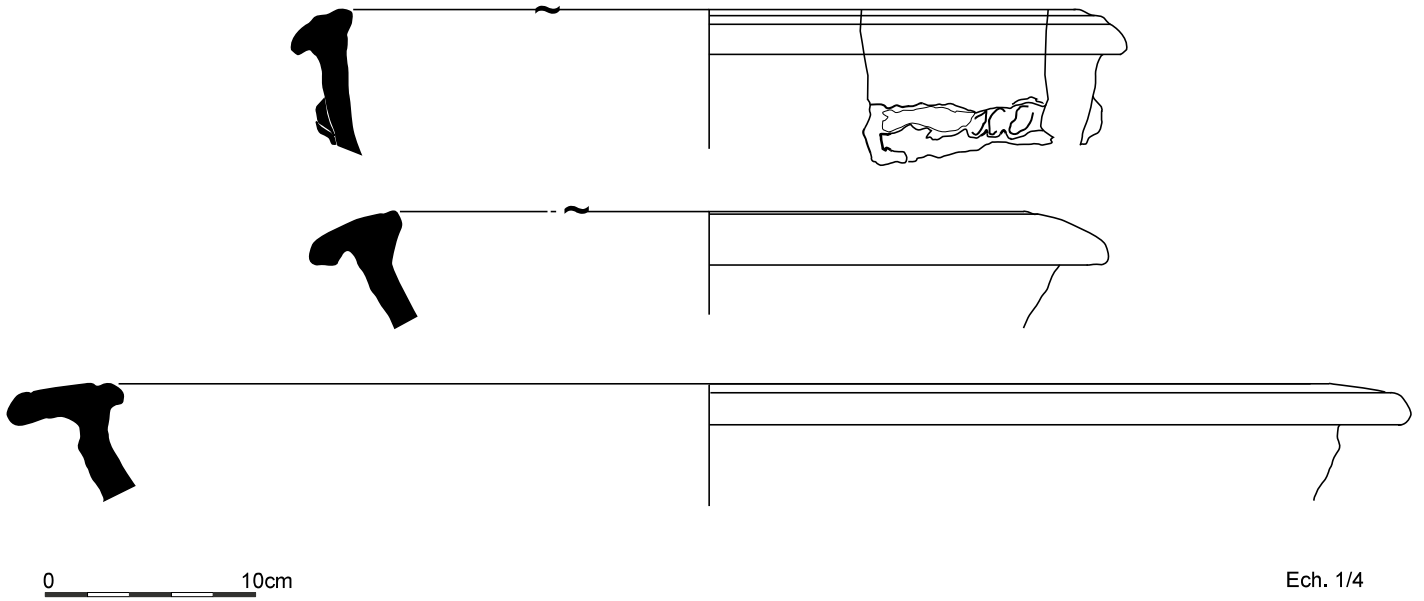


Planche n°3. Planche récapitulative des principales formes types du VII^e s. (S. Mouton-Venault)

Les bassines de Chantenay-St-Imbert



Bassine produite à Autun, Lycée Militaire

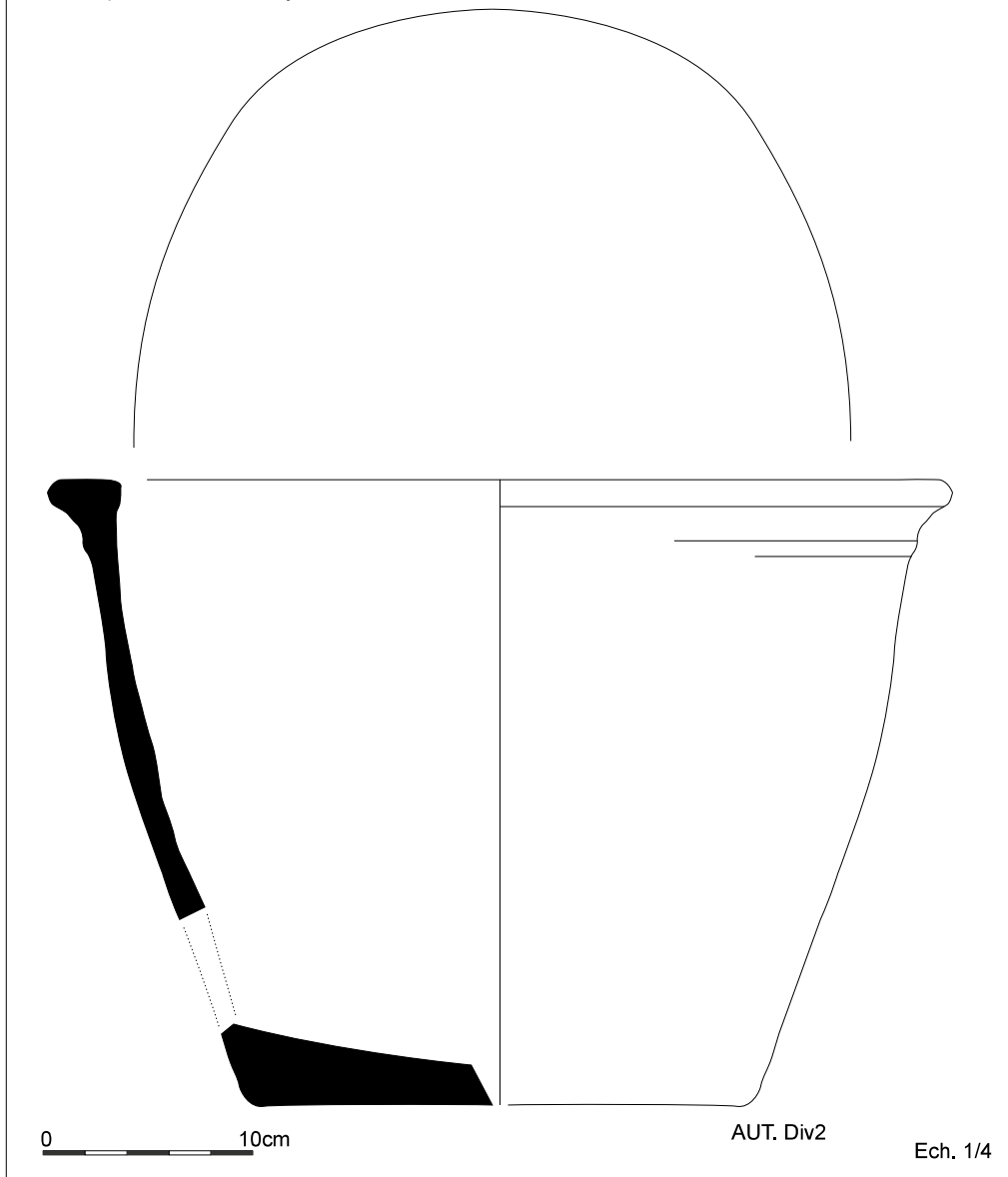


Planche n°4. Exemple de bassines découvertes dans la région (S. Mouton-Venault)

Annexe 4 : Le Morvan - Inventaire des US

Rapport de synthèse 2021-2023, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions»

Commune	N° Site	N° US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobiliers prélevés	Volume prélevé (L)
Champeau-en-Morvan	21.139.003	101	Arène granitique (présence de nombreux gros blocs de granite).	TN	102		M.H + M.P		
Champeau-en-Morvan	21.139.003	102	Limon sableux brun foncé avec un gros bloc de granite posé sur l'US 101, avec une forte concentration de parois scorifiées.	Amas, phase de rejet de parois majoritaire ?	103	101	M.H + M.P	Parois scorifiées	
Champeau-en-Morvan	21.139.003	103	Limon sableux brun foncé meuble avec une rare présence de scories de taille centimétrique.	Interface Humus/Amas	104	102	M.H + M.P		
Champeau-en-Morvan	21.139.003	104	Couche humique avec présence de petits fragments de scories infracentimétriques.	Humus		103	M.H + M.P		
Champeau-en-Morvan	21.139.003	201	Arène granitique	TN	202		M.B + I.H		
Champeau-en-Morvan	21.139.003	202	Limon fin noir riche en racines, avec une présence de scories de taille infradécimétriques et quelques parois TCA. Très rare présence de charbons.	Amas de scories		201	M.B + I.H	Scories (A1-B-C1), Charbons	84
Thoste	21.635.002	101	Arène granitique	TN	102		M.H + J.L + L.K	Charbons	
Thoste	21.635.002	102	Couche sablo-limoneuse grise foncée comprenant de gros blocs de scories coulées denses de taille centimétrique à pluridécimétrique avec présence de nombreux fragments de parois scorifiées et vitrifiées de taille pluricentimétrique ainsi que deux fragments de céramique à - 90cm.	Amas de scories	103	101	M.H + J.L + L.K	Scories A1-B2-E + Minéral + Parois scorifiées/vitrifiées + Charbons	120
Thoste	21.635.002	103	Couche sablo-limoneuse à structure grumeleuse avec présence de petites scories centimétriques à pluricentimétriques.	Interface Humus/Amas	104	102	M.H + J.L + L.K	Charbons	
Thoste	21.635.002	104	Couche humique avec présence de petits fragments de scories infracentimétriques.	Humus		103	M.H + J.L + L.K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.007	101	Sol limoneux brun clair avec grande présence de blocs granitiques et faible présence de scories et de TCA, très meuble	TN avec probable pollution de la couche supérieure donc présence de mobilier	102		M.P		
Saint-Germain de Modéon	21.548.007	102	Niveau constitué de scories centimétriques et décimétriques en grande quantité mais faible quantité de parois scorifiées et TCA, le tout pris dans un limon fin brun et meuble.	Amas de déchets		101	M.P	Scories A1-B-E + Minéral + Parois	120
Saint-Germain de Modéon	21.548.007	301	Couche limono-sableuse prenant la forme de poche de granite rose avec des tâches grises.	TN	302		M.H + J.L + L.K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.007	302	Couche similaire à 303 mais plus compacte, grise et comprenant beaucoup de charbons et d'argile.	Niveau de circulation ?	303	301	M.H + J.L + L.K	Charbons	
Saint-Germain de Modéon	21.548.007	303	Sable limoneux brun à gravier fin, présence de scories et de parois de taille pluricentimétrique ainsi que de scories en cordons fins.	Amas de déchets (très arasé et compacte en raison de la pature)	304	302	M.H + J.L + L.K	Scories A1	
Saint-Germain de Modéon	21.548.007	304	Sable limoneux à structure grumeleuse gris sombre.	Humus		303	M.H + J.L + L.K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	101	Substrat arène granitique	TN	102		M.H + J.L + L.K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	102	Niveau limono-sableux noir avec présence de nombreuses scories centimétriques à pluridécimétriques qui s'éclaircissent vers le TN.	Amas de scories	103	101	M.H + J.L + L.K	Scories A1-B1-B2-E + Parois scorifiées + Charbons	120
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	103	Argile sableux noir à structure grumeleuse, présence de scories centimétriques à pluricentimétriques.	Humus		102	M.H + J.L + L.K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	201	Couche argilo-sableuse très meuble de couleur beige clair. Forte présence de racine et de gros blocs de granite. Présence de quelques scories de taille pluricentimétriques.	Epannage de scories venant des amas 21-548-010A et 21-548-010C			M.H		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	202	Couche humique de matrice argilo-sableuse. Rare présence de scories. Tesson de céramique vernissée vert décoré trouvé en surface (taupinière).	Humus			M.H	Céramique	
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	301	Arène granitique	TN	302		M.H + J.L		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	302	Couche sableuse noire avec présence de scories centimétriques à décimétriques ainsi que de gros blocs de granite pluridécimétrique. Niveau peu concentré et présence de scories plus grosses vers le fond du sondage.	Principale couche de rejet de scories du ferrier	303	301	M.H + J.L	Métal + Charbons	
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	303	Couche composée de quelques scories centimétriques.	Humus		302	M.H + J.L	Scorie magnétique (fonte ? - Rivière)	
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	401	Arène granitique altérée	TN	402		M.H + I.H		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	402	Couche sablo-limoneuse charbonneuse. Présence de nombreux charbons pluricentimétriques et de petites scories.	Charbonnière ?	403.4	401	M.H + I.H	Prélèvements charbons A4 X2	
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	403	Couche sableuse orangée avec présence de quelques graviers et d'un galet. Couche ponctuelle.	Dépôts venant du ruisseau ?	404	402	M.H + I.H		

Commune	N° Site	N° US	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobilier prélevés	Volume prélevé (l)
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	404	Couche sablo-limoneuse noire avec présence de scories de taille pluricentimétrique.	Amas de scories	405	403	M,H + I,H	Scories A1	
		405	Humus avec scories	Humus		405	M,H + I,H		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	501	Arène granitique	TN	502		M,P + L,K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	502	Niveau sans scories, mélange de sable gris d'arène granitique avec limon noir de 503.	Interface occupation/TN	503	501	M,P + L,K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	503	Niveau limoneux noir, meuble avec scories centimétriques à décimétriques et présence d'un peu de charbon.	Rejet de scories	504	502	M,P + L,K	Scories A1-Cl-E + Scories magnétiques (fonte ?) + Parois scorifiées + Charbons	144
Saint-Germain de Modéon	21.548.010	504	Niveau noir meuble avec de nombreuses racines et scories de taille centimétrique.	Humus		503	M,P + L,K		
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	101	Arène granitique sableuse	TN	102		M,B + I,H		
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	102	Couche compacte jaune/orange comprenant des fragments de parois de four.	Niveau de destruction de four	103	101	M,B + I,H	Parois scorifiées (+ TCA)	
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	103	Niveau noir meuble limoneux comprenant des fragments de scories infra-décimétriques.	Rejet de scories	104	102	M,B + I,H	Scories A1-E + Charbons	
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	104	Niveau noir meuble avec des racines, comprend des scories pluricentimétriques.	Humus		103	M,B + I,H		
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	201	Arène granitique avec présence de blocs granitiques gris.	TN	202		M,P		
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	202	Niveau limoneux sombre avec poche grise sableuse, comprenant une faible présence de scories centimétriques à décimétriques.	Interface entre niveau d'occupation et niveau naturel	203	201	M,P		
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	203	Sol limoneux humique noir comprenant des blocs de scories et de parois de taille centimétrique à décimétrique.	Amas de scories	204	202	M,P		60
Saint-Germain de Modéon	21.548.014	204	Sol forestier avec une terre marron foncé meuble comprenant des racines et une faible proportion de scories centimétriques.	Humus		203	M,P		
La Roche-en-Brenil	21.525.001	101	Arène granitique beige sable meuble de limons clair. Présence de racine.	TN			M,B + M,P		
La Roche-en-Brenil	21.525.001	102	Sol sablo-limoneux brun clair, très meuble, avec une forte présence de scories de taille centimétriques à pluricentimétriques.	Interface TN/Amas			M,B + M,P		
La Roche-en-Brenil	21.525.001	103	Sol sablo-limoneux noir, assez meuble, avec une forte présence de racines et une très forte présence de scories centimétriques à pluridécimétriques.	Amas de scories			M,B + M,P		120
La Roche-en-Brenil	21.525.001	104	Sol de limons sableux noir à brun foncé assez meuble. Forte présence de racines et présence de scories centimétriques à pluricentimétriques.	Humus			M,B + M,P		
La Roche-en-Brenil	21.525.022	101	Couche principalement composée de scories de taille centimétriques à pluridécimétriques. Présence de blocs de scories coulées en cordons fins parfois complets. Deux types de scories mélangés dans la couche : scories en cordons fins denses et scories bulleuses légères. Rare présence de parois et très peu de matrice (sableuse marron foncée). Le TN n'a pas été atteint.	Amas de scories			M,H + J,L	Scories A1-B1-B2 + Parois scorifiées + Charbons	180
La Roche-en-Brenil	21.525.022	102	Couche humique avec présence de petits fragments de scories infracentimétriques.	Humus			M,H + J,L		
La Roche-en-Brenil	21.525.022	201	Sol naturel, arène granitique, couleur sable	TN			M,H + J,L		
La Roche-en-Brenil	21.525.022	202	Sol meuble de limon sableux brun foncé avec rare présence de racines et principalement constituée de scories pluricentimétriques à décimétriques.	Rejet de scories			M,H + J,L	Scories A1-B-E + Parois scorifiées + Charbons	180
La Roche-en-Brenil	21.525.022	203	Sol nulius limono-argileux assez meuble. Forte présence de scories centimétriques à décimétriques.	Humus			M,H + J,L		
La Roche-en-Brenil	21.525.037	101	Arène granitique beige	TN	102		L,K + M,P		
La Roche-en-Brenil	21.525.037	102	Niveau marron foncé à marron clair (dégradé vers le bas) avec scories pluricentimétriques à décimétriques avec une matrice sablo-limoneuse. Une plus forte présence de scories bulleuses légères dans le fond du sondage.	Amas de scories	103	101	L,K + M,P	Scories A1-B1-B2 + Charbons	120
La Roche-en-Brenil	21.525.037	103	Niveau marron très foncé de limon sableux avec présence de scories centimétriques.	Humus		102	L,K + M,P		

Annexe 5 : Le Morvan - calculs de volume par site

Commune	Lieu-dit	N° site	N° sondage	N° US	Volume prélevé		Masse totale du prélèvement (kg)	Masse des scories par types (kg)			Masse parois (kg)	Masse scories par m ³ (kg/m ³)	Concentration en scories (en %)
					En L	En m ³		A	B	E			
Thoste	Bois du Champ rouge	21-635-002	1	102	120	0,12	165,5	89,5			5	745	54,08
Champeau-en-morvan	Bas de la Fiotte	21-139-003	2	202	84	0,084	78	9			6	107	11,5
Saint-Germain-de-Modéon	Le Bonjan	21-548-007	1	102	120	0,12	163,5	44			18	366,7	26,9
Saint-Germain-de-Modéon	Gué des Beaumes	21-548-010a	1	102	120	0,12	154	81,5	13,5		4	791,7	61,7
Saint-Germain-de-Modéon	Gué des Beaumes	21-548-010b	5	503	144	0,144	176	88			3	611	50
Saint-Germain-de-Modéon	Gué du Piéché	21-548-014	2	203	60	0,06	74	14			7	233,3	18,9
La Roche-en-Brénil	En Lecussy	21-525-022	1	101	180	0,18	174,5	81,5	53,5		6	750	77,4
La Roche-en-Brénil	En Lecussy	21-525-022	2	202	180	0,18	217	122	28		2	830,5	68,9
La Roche-en-Brénil	En Lecussy	21-525-037	1	102	120	0,12	133,5	53	25		0	650	58,4
La Roche-en-Brénil	En Lecussy	21-525-001	1	102	120	0,12	122	27	31		0	483	47,5

Annexe 6 : Tableau d'inventaire anthracologique brut simplifié

Rapport de synthèse 2021-2023, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions»

Operation	US	Partie	Prelevement	N lot	Contenant	Taxon	Z cambiale	NR	Id anthraco
ESN08	134	vrac	8		etudies	Fagus Sylvatica		14	c(557, 558, 564, 567, 569, 570, 573, 576, 577, 578, 579, 581, 584, 585)
ESN08	134	vrac	8		etudies	Fagus Sylvatica	bois final	1	561
ESN08	134	vrac	8		etudies	Quercus sp.		15	c(559, 560, 562, 563, 565, 566, 568, 571, 572, 574, 575, 580, 582, 583, 586)
ESN08	202	vrac	10 – rature_US220		etudies	Corylus		1	716
ESN08	202	vrac	10 – rature_US220		etudies	Fagus Sylvatica		1	712
ESN08	202	vrac	10 – rature_US220		etudies	Populus sp.		8	c(668, 670, 673, 677, 678, 679, 709, 714)
ESN08	202	vrac	10 – rature_US220		etudies	Quercus sp.		42	c(669, 671, 672, 674, 675, 676, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 710, 711, 713, 715, 717, 718, 719)
ESN08	202	vrac	9		etudies	Corylus		2	c(590, 605)
ESN08	202	vrac	9		etudies	Fagus Sylvatica		1	609
ESN08	202	vrac	9		etudies	Quercus sp.		22	c(587, 588, 589, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 606, 607, 608, 610, 611)
ESN08	211	vrac	11		etudies	Fagus Sylvatica		1	735
ESN08	211	vrac	11		etudies	Quercus sp.		17	c(720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 736, 737)
ESN08	220	vrac	10		etudies	Acer sp.		1	629
ESN08	220	vrac	10		etudies	Betula sp.		4	c(622, 623, 648, 657)
ESN08	220	vrac	10		etudies	Corylus		1	664
ESN08	220	vrac	10		etudies	Fagus Sylvatica		13	c(615, 616, 621, 625, 628, 630, 632, 633, 642, 647, 649, 658, 659)
ESN08	220	vrac	10		etudies	Fagus Sylvatica	bois initial	1	644
ESN08	220	vrac	10		etudies	Populus sp.		8	c(617, 624, 626, 634, 636, 662, 663, 666)
ESN08	220	vrac	10		etudies	Prunus avium		1	639
ESN08	220	vrac	10		etudies	Quercus sp.		24	c(613, 614, 618, 619, 620, 627, 631, 637, 638, 640, 641, 643, 645, 646, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 660, 661, 667)
ESN08	220	vrac	10		etudies	Quercus sp.	bois final	3	c(612, 635, 665)
ESN08	297	vrac	15		etudies	Quercus sp.		1	738
ESN08	297	vrac	15		etudies	Salix sp.		1	739
ESN08	297	vrac	16		etudies	Carpinus betulus		1	773
ESN08	297	vrac	16		etudies	Fagus Sylvatica		11	c(746, 758, 762, 769, 775, 781, 786, 789, 790, 792, 799)
ESN08	297	vrac	16		etudies	Fagus Sylvatica	bois final	5	c(744, 749, 764, 791, 798)
ESN08	297	vrac	16		etudies	Fagus Sylvatica	bois initial	1	767
ESN08	297	vrac	16		etudies	Maloideae		1	782
ESN08	297	vrac	16		etudies	Quercus sp.		35	c(740, 741, 745, 747, 750, 751, 754, 755, 756, 757, 760, 761, 763, 765, 766, 768, 770, 771, 772, 774, 776, 777, 778, 779, 780, 784, 785, 787, 788, 793, 794, 795, 796, 797, 800)
ESN08	297	vrac	16		etudies	Quercus sp.	bois final	2	c(743, 783)
ESN08	297	vrac	16		etudies	Quercus sp.	bois initial	3	c(742, 748, 752)
ESN08	297	vrac	16		etudies	Salix sp.		2	c(753, 759)
ESN13	2202	selection	2		etudies	Fagus Sylvatica	bois final	1	842
ESN13	2208	selection	3		etudies	Carpinus betulus		1	822
ESN13	2208	selection	3		etudies	Fagus Sylvatica	bois final	1	815
ESN13	2208	selection	3		etudies	Quercus sp.		6	c(808, 818, 820, 821, 823, 826)
ESN13	2208	selection	3		etudies	Quercus sp.	bois final	14	c(801, 802, 804, 805, 809, 810, 811, 812, 814, 816, 817, 819, 824, 828)
ESN13	2208	selection	3		etudies	Quercus sp.	bois initial	6	c(803, 806, 807, 813, 825, 827)
ESN13	2305	selection	6		etudies	Fagus Sylvatica		1	844
ESN13	2305	selection	6		etudies	Fagus Sylvatica	bois final	1	843
ESN13	2556	selection	8		etudies	Fagus Sylvatica		6	831;836
ESN13	2556	selection	8		etudies	Fagus Sylvatica	bois final	7	c(829, 830, 837, 838, 839, 840, 841)
ESN14	7109	C4		185	etudies	Fagus Sylvatica		2	c(104, 107)
ESN14	7109	C4		185	etudies	Quercus sp.		9	c(102, 103, 105, 106, 108, 109, 110, 111, 112)
ESN14	7109	C4		186	etudies	Quercus sp.		23	c(56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 78, 79, 80)
ESN14	7109	C4		186	non conserve	Quercus sp.		2	76.77
ESN14	7109	C5		184	etudies	Fagus Sylvatica		2	c(93, 99)
CGN14	7109	C5		184	etudies	Quercus sp.		17	c(81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 91, 92, 94, 95, 96, 98, 100, 101)
ESN14	7109	C5		184	non conserve	Quercus sp.		2	c(90, 97)
ESN14	7110	C2		161	etudies	Ecorce		1	119
ESN14	7110	C2		161	etudies	ND		1	254
ESN14	7110	C2		161	etudies	Quercus sp.		12	c(113, 114, 115, 116, 117, 118, 248, 249, 250, 251, 252, 253)
ESN14	7110	D1		162	etudies	Quercus sp.		10	c(255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 265)
ESN14	7110	D1		162	etudies	Quercus sp.	bois final	1	264
ESN14	7174			224	etudies	Fagus Sylvatica		1	274
ESN14	7174			224	etudies	Quercus sp.		24	c(266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290)
ESN14	7174			224b	etudies	Fagus Sylvatica		1	315
ESN14	7174			224b	etudies	Quercus sp.		27	c(291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 316, 317, 318)
ESN14	8003			62	etudies	Fagus Sylvatica		18	c(342, 343, 344, 345, 346, 347, 350, 351, 352, 353, 357, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365)
ESN14	8003			62	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	5	c(348, 349, 354, 355, 356)
ESN14	8003			62	etudies	Populus sp.		1	358
ESN14	8005			65	etudies	Fagus Sylvatica		18	c(320, 321, 322, 324, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341)
ESN14	8005			65	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	4	c(319, 323, 325, 326)
ESN14	8005			65	etudies	Quercus sp.		1	334
ESN14	8025			54	etudies	Fagus Sylvatica		17	c(366, 367, 368, 369, 371, 372, 374, 375, 376, 377, 378, 380, 381, 382, 383, 384, 386)
ESN14	8025			54	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	2	c(373, 385)
ESN14	8025			54	etudies	Quercus sp.		1	370
ESN14	8025			54	etudies	Quercus sp.	bois final	1	379
ESN14	8026			46	etudies	Fagus Sylvatica		16	c(392, 394, 395, 396, 398, 400, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 412, 413)
ESN14	8026			46	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	7	c(388, 389, 390, 397, 399, 401, 414)
ESN14	8026			46	etudies	Quercus sp.		4	c(391, 393, 402, 411)
ESN14	8026			46	etudies	Quercus sp.	bois final	1	387
ESN14	8026			48	etudies	Fagus Sylvatica		18	c(415, 416, 417, 418, 419, 420, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 430, 431, 433, 434, 435, 436)
ESN14	8026			48	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	3	c(422, 429, 432)
ESN14	8026			48	etudies	Quercus sp.		1	421
ESN14	8026			53	etudies	Fagus Sylvatica		17	c(440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 449, 452, 457, 458, 459, 460, 462, 467, 468)
ESN14	8026			53	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	14	c(437, 438, 439, 448, 450, 451, 453, 454, 456, 463, 464, 465, 469, 470)
ESN14	8026			53	etudies	Maloideae		1	455
ESN14	8026			53	etudies	Quercus sp.		1	461
ESN14	8026			53	etudies	Quercus sp.	bois final	1	466
ESN14	8216			66	etudies	Ecorce		1	38
ESN14	8216			66	etudies	Fagus Sylvatica		38	c(8, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 49, 51, 52, 53, 55)
ESN14	8216			66	etudies	Fagus Sylvatica	0	2	c(4, 7)
ESN14	8216			66	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	10	c(2, 3, 6, 9, 14, 19, 20, 21, 46, 50)
ESN14	8216			66	etudies	Fagus Sylvatica	bois initial	3	c(1, 22, 54)

Rapport de synthèse 2021-2023, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions»

Operation	US	Partie	Prelevement	N lot	Contenant	Taxon	Z cambiale	NR	Id anthraco
ESN14	8216			66	etudies	Quercus sp.	0	1	5
ESN14	9010			39	etudies	Fagus Sylvatica		12	c(471, 475, 476, 477, 479, 484, 485, 487, 488, 489, 490, 491)
ESN14	9010			39	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	7	c(472, 473, 474, 478, 482, 483, 486)
ESN14	9010			39	etudies	Quercus sp.		1	480
ESN14	9010			39	etudies	Quercus sp.	bois final	2	c(481, 492)
ESN14	9049	B6		83	etudies	Betula sp.		2	c(192, 196)
ESN14	9049	B6		83	etudies	Euonymus sp.		1	195
ESN14	9049	B6		83	etudies	Fagus Sylvatica		5	c(193, 194, 197, 198, 202)
ESN14	9049	B6		83	etudies	Maloideae		3	c(189, 191, 199)
ESN14	9049	B6		83	etudies	ND		1	204
ESN14	9049	B6		83	etudies	Quercus sp.		2	c(200, 203)
ESN14	9049	B6		83	etudies	Quercus sp.	bois final	1	190
ESN14	9049	B6		83	etudies	Salix sp.		1	201
ESN14	9049	C6		88	etudies	Betula sp.		1	214
ESN14	9049	C6		88	etudies	Fagus Sylvatica		3	c(208, 211, 217)
ESN14	9049	C6		88	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	1	205
ESN14	9049	C6		88	etudies	ND		1	210
ESN14	9049	C6		88	etudies	Populus sp.		4	c(207, 209, 213, 218)
ESN14	9049	C6		88	etudies	Quercus sp.	bois final	2	c(206, 219)
ESN14	9049	C6		88	etudies	Salix sp.		3	c(212, 215, 216)
ESN14	9049	C7		85	etudies	Betula sp.		2	c(180, 184)
ESN14	9049	C7		85	etudies	Fagus Sylvatica		3	186:188
ESN14	9049	C7		85	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	5	c(168, 169, 171, 173, 185)
ESN14	9049	C7		85	etudies	Populus sp.		1	175
ESN14	9049	C7		85	etudies	Quercus sp.		7	c(172, 176, 177, 178, 181, 182, 183)
ESN14	9049	C7		85	etudies	Quercus sp.	bois final	2	c(170, 174)
ESN14	9049	C7		85	etudies	Quercus sp.	bois initial	1	179
ESN14	9049	D7		82	etudies	Betula sp.		3	c(233, 238, 243)
FSN14	9049	D7		82	etudies	Betula sp.	bois final	2	c(220, 223)
ESN14	9049	D7		82	etudies	Fagus Sylvatica		9	c(228, 229, 231, 232, 234, 235, 241, 244, 247)
ESN14	9049	D7		82	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	6	c(224, 225, 226, 227, 239, 245)
ESN14	9049	D7		82	etudies	Maloideae		1	246
ESN14	9049	D7		82	etudies	Populus sp.		3	c(221, 240, 242)
ESN14	9049	D7		82	etudies	Quercus sp.		3	c(230, 236, 237)
ESN14	9049	D7		82	etudies	Quercus sp.	bois final	1	222
ESN14	9087			122	etudies	Betula sp.		1	159
ESN14	9087			122	etudies	Fagus Sylvatica		10	c(146, 147, 148, 149, 154, 160, 162, 165, 166, 167)
ESN14	9087			122	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	8	c(143, 144, 145, 150, 151, 153, 157, 158)
ESN14	9087			122	etudies	Fagus Sylvatica	bois initial	1	156
ESN14	9087			122	etudies	Quercus sp.		2	c(155, 164)
ESN14	9087			122	etudies	Salix sp.		2	c(161, 163)
ESN14	9087			122	etudies	Salix sp.	bois final	1	152
ESN14	9098			140	etudies	Carpinus betulus		2	c(131, 137)
ESN14	9098			140	etudies	Carpinus betulus	bois final	1	122
ESN14	9098			140	etudies	Corylus	bois final	1	125
ESN14	9098			140	etudies	Euonymus sp.	bois final	1	129
ESN14	9098			140	etudies	Fagus Sylvatica		1	139
ESN14	9098			140	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	3	c(124, 135, 141)
ESN14	9098			140	etudies	Populus sp.		1	130
ESN14	9098			140	etudies	Populus sp.	bois final	1	120
ESN14	9098			140	etudies	Quercus sp.		4	c(127, 128, 134, 136)
ESN14	9098			140	etudies	Quercus sp.	bois final	4	c(126, 138, 140, 142)
ESN14	9098			140	etudies	Salix sp.		1	132
ESN14	9098			140	etudies	Salix sp.	bois final	2	c(121, 123)
ESN14	9098			140	etudies	Salix sp.	bois initial	1	133
ESN14	9098			140b	etudies	Betula sp.		6	c(514, 517, 520, 536, 543, 546)
ESN14	9098			140b	etudies	Betula sp.	bois final	3	c(493, 544, 545)
ESN14	9098			140b	etudies	Carpinus betulus		3	c(501, 505, 507)
CGN14	9090			140b	etudies	Corylus		2	512:513
ESN14	9098			140b	etudies	Fagus Sylvatica		7	c(497, 502, 515, 518, 519, 531, 533)
ESN14	9098			140b	etudies	Fagus Sylvatica	bois final	13	c(496, 498, 500, 503, 506, 516, 521, 522, 526, 528, 537, 549, 550)
ESN14	9098			140b	etudies	Populus sp.		5	c(508, 511, 527, 529, 547)
ESN14	9098			140b	etudies	Populus sp.	bois final	1	510
ESN14	9090			140b	etudies	Quercus sp.		13	c(499, 504, 509, 524, 530, 534, 535, 539, 540, 541, 542, 548)
ESN14	9098			140b	etudies	Quercus sp.	bois final	1	523
ESN14	9098			140b	etudies	Salix sp.		4	c(494, 495, 525, 532)
ESN16	102	vrac			etudies	Betula sp.		1	858
ESN16	102	vrac			etudies	Corylus		1	859
ESN16	102	vrac			etudies	Quercus sp.		7	c(855, 857, 860, 861, 862, 863, 864)
ESN16	102	vrac			etudies	Quercus sp.	bois final	1	856
ESN16	104	vrac			etudies	Acer sp.		1	846
ESN16	104	vrac			etudies	Fagus Sylvatica		1	851
ESN16	104	vrac			etudies	Populus sp.		1	854
ESN16	104	vrac			etudies	Quercus sp.		1	849
ESN16	104	vrac			etudies	Quercus sp.	bois final	1	845
ESN16	104	vrac			etudies	Salix sp.		5	c(847, 848, 850, 852, 853)
ESN16	404	selection	C3		etudies	Fagus Sylvatica		1	551
ESN16	404	vrac			etudies	Carpinus betulus		1	868
ESN16	404	vrac			etudies	Fagus Sylvatica		2	865:866
ESN16	404	vrac			etudies	Quercus sp.		2	c(867, 869)
ESN16	502	selection	C1		etudies	Betula sp.	bois final	1	553
ESN16	502	selection	C2		etudies	Betula sp.	bois final	1	552
ESN16	502	selection	C3		etudies	Quercus sp.	bois final	1	554
ESN16	502	selection	C3b		etudies	Fagus Sylvatica	bois final	1	556
ESN16	502	selection	C4		etudies	Quercus sp.		1	555

Annexe 7 : Résultats des datations radiocarbone reçues en janvier 2024 - Poznan



Poznań, 30-01-2024

Report

on C-14 dating in the Poznań Radiocarbon Laboratory

Results of calibration of ^{14}C dates – order 21279/23

Given are intervals of calendar age, where the true ages of the samples encompass with the probability of ca. 68% and ca. 95%. The calibration was made with the OxCal software.

OxCal v4.4.2 Bronk Ramsey (2020); r:5
Atmospheric data from Reimer et al (2020)

Saint-Fargeau "Bois de Bailly 40"

AMS_23_BFC_11 R_Date(2455,30) - 89.344.040.C39

68.3% probability

749BC (25.4%) 687BC

666BC (9.8%) 641BC

569BC (31.2%) 476BC

432BC (1.9%) 425BC

95.4% probability

755BC (27.7%) 680BC

670BC (17.1%) 607BC

596BC (50.6%) 414BC

AMS_23_BFC_12 R_Date(2505,30) - 89.344.040.C40

68.3% probability

769BC (11.5%) 746BC

690BC (12.5%) 665BC

644BC (44.3%) 551BC

95.4% probability

780BC (95.4%) 540BC

AMS_23_BFC_13 R_Date(2205,30) - 89.344.040.C38

68.3% probability

358BC (10.2%) 341BC

323BC (29.3%) 277BC

260BC (7.7%) 245BC

234BC (21.1%) 200BC
95.4% probability
371BC (95.4%) 176BC

Entrains-sur-Nohain "Chateau du Bois"

AMS_23_BFC_14 R_Date(1030,30) - 58.109.017.C1

68.3% probability
994AD (68.3%) 1026AD
95.4% probability
899AD (2.9%) 918AD
960AD (0.4%) 964AD
973AD (87.4%) 1047AD
1084AD (1.4%) 1095AD
1102AD (3.1%) 1124AD
1143AD (0.3%) 1147AD

Dracy - Le Ferrier Guillou 1

AMS_23_BFC_10 R_Date(1810,30) - 89.147.001.C41

68.3% probability
212AD (44.1%) 253AD
291AD (24.1%) 319AD
95.4% probability
131AD (1.9%) 144AD
155AD (58.7%) 260AD
278AD (34.9%) 336AD

AMS_23_BFC_16 R_Date(1870,30) - 89.147.001.C45

68.3% probability
130AD (14.2%) 145AD
153AD (54.1%) 212AD
95.4% probability
84AD (2.6%) 96AD
116AD (92.9%) 239AD

AMS_23_BFC_17 R_Date(1800,30) - 89.147.001.C101

68.3% probability
222AD (33.5%) 254AD
288AD (34.8%) 322AD
95.4% probability
165AD (2.1%) 188AD
202AD (45.5%) 264AD
275AD (47.8%) 346AD

Dracy - Le Ferrier des noirs

AMS_23_BFC_15 R_Date(1770,30) - 89.147.003.C1

68.3% probability
242AD (15.5%) 259AD
280AD (52.7%) 333AD

95.4% probability
223AD (95.4%) 375AD

AMS_23_BFC_18 R_Date(1755,30) - 89.147.003.C3

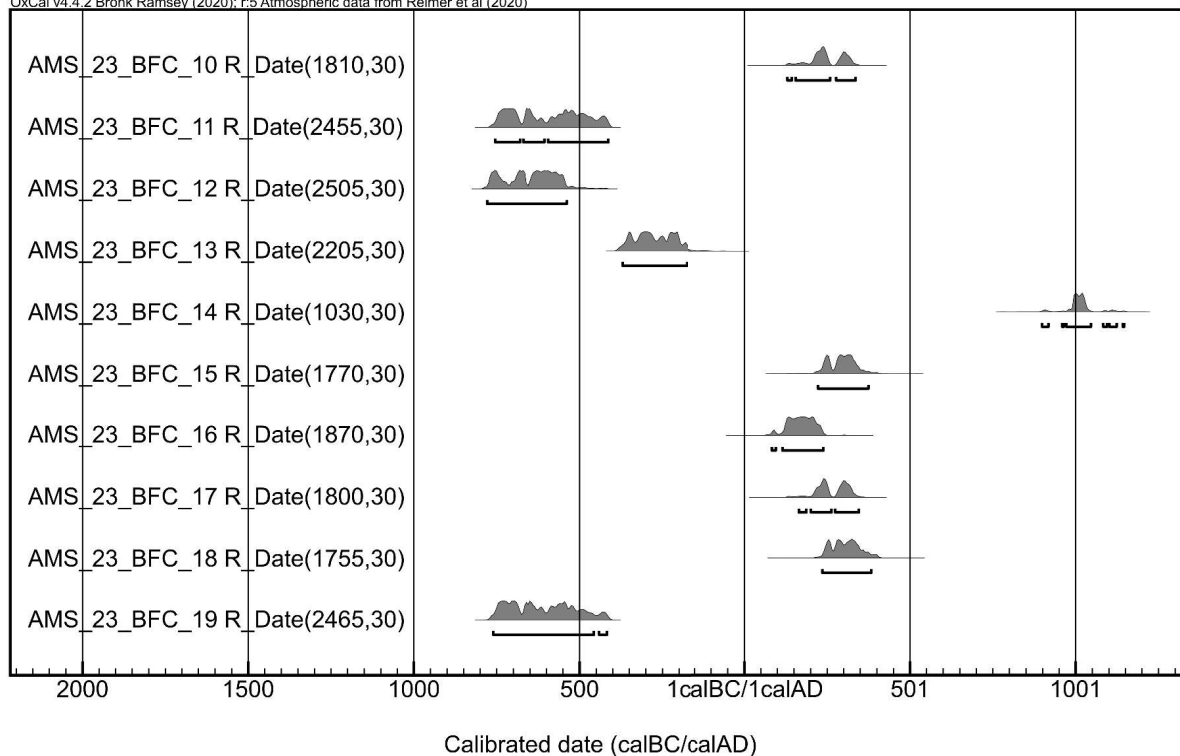
68.3% probability
247AD (12.5%) 262AD
276AD (55.7%) 345AD
95.4% probability
236AD (95.4%) 384AD

Lantenne-Vertière "Beauregard"

AMS_23_BFC_19 R_Date(2465,30) - 25.326.004.C22

68.3% probability
752BC (27.8%) 683BC
668BC (12.9%) 633BC
623BC (3.0%) 612BC
592BC (24.6%) 517BC
95.4% probability
761BC (91.6%) 458BC
442BC (3.8%) 418BC

OxCal v4.4.2 Bronk Ramsey (2020); r:5 Atmospheric data from Reimer et al (2020)



Liste des figures

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

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

Figure n°3. Liste des participants au PCR pour la triennale 2021-2023, et détail des activités de chacun.

Figure n°4. Datations radiocarbone réalisées sur les amas de "Saint-Fargeau" Bois de Bailly (M. Berranger).

Figure n°5. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", localisation des amas prospectés et de la zone fouillée (M. Berranger).

Figure n°6. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Comparaison entre les contours relevés en prospections pedestres et ceux relevés en prospections géophysiques (C. Sanchez, M. Berranger).

Figure n°7. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Implantation des sondages par année de fouilles, sur les anomalies géophysiques.

Figure n°8. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Plan général des vestiges (M. Berranger).

Figure n°9. Détail de la pâte d'un fragment de paroi de four, avec inclusions de silex

Figure n°10. Saint Fargeau 89.344.040.US 404, paroi avec orifice de ventilation et trace de rechappage

Figure n°11. Saint Fargeau, pains d'argile moulés sur matrice. 89.344.040.P28, P26, P32, P27 et P29 (DAO : M. Aubert, M. Berranger)

Figure n°12. Vue de détail des pains d'argile, et superposition de leurs profils mettant en évidence leur proximité métrique et morphologique. Il est probable qu'un gabarit était utilisé pour la mise en forme (DAO : M. Aubert, M. Berranger)

Figure n°13. Pains d'argile moulés et assemblés. 89.344.040.P31 (DAO : M. Berranger)

Figure n°14. Saint-Fargeau 89.344.040.US406

Figure n°15. Orifices de ventilation dans des parois scorifiées (89.344.040.US403)

Figure n°16. Localisation des profils $\mu 1$ et $\mu 2$ sur l'emprise de la fouille (M. Berranger)

Figure n°17. Profil 1, scan des lames et principaux traits micromorphologiques(D. Sordoillet)

Figure n°18. 1C inf. (D. Sordoillet).

Figure n°19. 1C median (D. Sordoillet).

Figure n°20. 1C sup (D. Sordoillet).

Figure n°21. 1B (D. Sordoillet).

Figure n°22. 1A (D. Sordoillet)

Figure n°23. Profil 2, scan des lames et principaux traits micromorphologiques(D. Sordoillet)

Figure n°24. 2B (D. Sordoillet)

Figure n°25. 2A (D. Sordoillet)

Figure n°26. Résultat d'identification taxonomique en nombre de restes analysés

Figure n°27. Répartition des diamètres des chênes des US 447 et 457 de l'amas 040, période Hallstatt (O. Girardclos, S. Coubray)

Figure n°28. comparaison des largeurs de cernes des chênes des US447 et 457 aux peuplements vivants gérés en futaie (à gauche en bleu jeune futaie, en vert futaie mature) et en taillis (à droite) (O. Girardclos, S. Coubray)

Figure n°29. Schémas de fonctionnement des bas fourneaux datés des âges du Fer : a, bas fourneau à usage unique et scories piégées ;b, bas fourneau à usage multiple, à scories piégées

- ; c, bas fourneau à usage multiple, à scories écoulees (d'après Berranger, Bauvais 2020, fig. 1)
- Figure n°30. Dracy - Emplacement des sites étudiés (fond de carte IGN et parcelles cadastrales)
- Figure n°31. Dracy - Ferrier Guillou 2. Proposition d'interprétation des anomalies relevées par LiDAR. Fond LiDAR M. Thivet, modification M. Berranger et M. Leroy
- Figure n°32. Visualisation de l'altimétrie en dégradés de couleur (png - Matthieu Thivet)
- Figure n°33. Exploitation linéaire traversant l'amas A. Ancien tracé de voie ferré pour l'exploitation des scories ? Correspond au n°9 de la figure 31 (M. Berranger)
- Figure n°34. Tas résiduel en bordure de route forestière (M. Berranger)
- Figure n°35. Vue de l'amas C , en cours d'exploitation, lors des prospections de mars 2002 (Marc Leroy)
- Figure n°36. Probable effondrement karstique (M. Berranger)
- Figure n°37. Dracy - Ferrier Guillou 1, tuyère 5 HS (Paul Merluzzo)
- Figure n°38. Dracy - Ferrier Guillou 1, tuyère 5 HS - Propositions de restitution (Paul Merluzzo)
- Figure n°39. Tuyère conservée au musée de Villiers-Saint-Benoit (VSB146) (Marion Berranger)
- Figure n°40. Mensurations des tuyères trifides conservées au musée de la vue rurale à Villiers-Saint-Benoit (Yonne).
- Figure n°41. Dracy - Pâturage des Noirs. Vue de la stratigraphie à l'emplacement où un charbon a été prélevé dans les années 2000 (Jean-Pierre Piétak).
- Figure n°42. Dracy - Pâturage des Noirs. Vue de la zone étudiée sur un des amas résiduels, mars 2022 (Marion Berranger).
- Figure n°43. Log et vue générale de la stratigraphie étudiée ponctuellement (Marion Berranger).
- Figure n°44. Localisation des amas étudiés dans la zone-atelier de Montholon.
- Figure n°45. Datations par méthode radiocarbone des amas de déchets de la zone-atelier de Montholon.
- Figure n°46. Détail des contours des grands amas 1, 20, 25, 18 et 19.
- Figure n°47. Levé LiDAR à l'emplacement de l'amas 1 et 25 et localisation des sondages (M. Herbrich, M. Berranger)
- Figure n°48. Amas 1 - Sondage 5, vue générale (M. Berranger)
- Figure n°49. Amas 1 - Sondage 5, relevé stratigraphique (Relevés et DAO : M. Leroy)
- Figure n°50. Amas 1 - Sondage 6, vue générale (M. Berranger)
- Figure n°51. Amas 1 - Sondage 6, relevé stratigraphique (Relevé : ML-CE - DAO : M. Leroy)
- Figure n°52. Amas 1 - Sondage 6, vue de détail (est) de l'accumulation de pains d'argile et de scories constituant la base de l'amas (M. Berranger)
- Figure n°53. Amas 1 -Sondage 7- relevé stratigraphique (Relevés : CDSV-SO-MB ; DAO : M. Leroy, M. Berranger)
- Figure n°54. Amas 1 - Sondage 7, vue vers l'est. Vue générale du niveau (US 701) sur lequel a été interrompu le décapage mécanique (M. Berranger)
- Figure n°55. Amas 1 - Sondage 7, vue de la coupe vers l'est en fin de sondage (M. Berranger)
- Figure n°56. Amas 1 -Sondage 7. Gauche : vue du sondage profond implanté à l'extrémité est de la tranchée. Droite : vue du sondage fouillé manuellement au centre de la tranchée (M. Berranger)
- Figure n°57. Amas 1 - Sondage 8, vue générale et vue de coupe vers le nord (M. Berranger)

- Figure n°58. Amas 1 - Sondage 8, log (M. Berranger)
- Figure n°59. Amas 1 - Sondage 9, gauche : vue générale. L'élévation de l'amas 1 est visible en second plan. Droite : vue (M. Berranger) et relevé de coupe (Relevés : FP-LC, DAO : M. Leroy)
- Figure n°60. Amas 1 - sondage 10 - Vue générale et vue de coupe vers le sud ouest. Le substrat est directement visible sous le niveau d'humus (M. Berranger).
- Figure n°61. Amas 25 - Sondage 1, vue générale du sondage au sein du lambeau d'amas (M. Berranger)
- Figure n°62. Amas 25 - Sondage 1, détail de la stratigraphie (M. Berranger)
- Figure n°63. Amas 25 - Sondage 1, relevé stratigraphique (Relevés : MB, SD - DAO : M. Leroy)
- Figure n°64. Amas 19 - Sondage 1, vue de coupe et log (M.. Berranger)
- Figure n°65. Amas 19 - localisation du sondage 1
- Figure n°66. Amas 4 - localisation des sondages (M. Berranger)
- Figure n°67. Amas 4 - Sondage 1, vue générale et vue de coupe (M. Berranger) F i g u r e n°68. Amas 4 - Gauche : sondage 2. Droite : relevés stratigraphiques (Relevés : MB-ML, DAO : M. Leroy)
- Figure n°69. Amas 5 - localisation du sondage ouvert en 2018 et à nouveau étudié cette année (M. Berranger)
- Figure n°70. Amas 5 - vue générale de la coupe du sondage 1 (état 2018 - M. Berranger) 154
- Figure n°71. Amas 5 - Sondage 1 - Relevé stratigraphique de la coupe réalisée en 2018, avec la localisation des prélèvements effectués cette année (M. Berranger).
- Figure n°72. Amas 9, 10 et 11 - localisation des sondages ouverts en 2017, 2018 et cette année (M. Berranger)
- Figure n°73. Amas 9 -Sondage 2 - Vue générale et vue de coupe (M; Berranger)
- Figure n°74. Amas 9 - sondage 2 - log (M; Herbrich)
- Figure n°75. Amas 10 - Sondage 1 - Relevé stratigraphique de la coupe réalisée en 2018 (R. Jeannot, M. Berranger).
- Figure n°76. Amas 11 - vue générale des sondages vers le sud-est. Au premier plan sondage 1 (Marion Berranger)
- Figure n°77. Amas 11 - Gauche : sondage 1 ; droite : sondage 2 (Marion Berranger)
- Figure n°78. Amas 11 - Relevés stratigraphiques ; Gauche : sondage 1 ; droite : sondage 2 (Margaux Herbrich)
- Figure n°79. Coupe transversale du nuage de point de l'amas 1. En jaune, le nuage de points correspondant à la surface de l'amas. En rouge, la surface inférieure théorique manquante (M. Herbrich).
- Figure n°80. Calcul de volume de l'amas 1 via l'outil « 2.5D Volume » de CloudCompare (Herbrich 2021)
- Figure n°81. A : vue de l'état irrégulier et hétérogène de la topologie du mesh obtenu par LiDAR (Delaunay 2.5D, CloudCompare) ; B : Vue de l'état régulier et homogène de la topologie du mesh après l'étape de retopologisation (Blender) (M. Herbrich).
- Figure n°82. Vue générale des deux modèles créés pour calculer le volume de l'amas 1 (Blender) (M. Herbrich)
- Figure n°83. Vue de la console et du résultat de l'outil « 2.5D Volume » (CloudCompare) calculant la différence entre les deux nuages (Before/After) (M. Herbrich)
- Figure n°84. Vue de la console et du résultat de l'outil « Compute Geometric Measures » sur le mesh de l'amas 1 (Meshlab) (M. Herbrich).
- Figure n°85. Vue générale du modèle de l'amas 1 avec, en couleur, le volume reconstruit et replacé sur le MNT issu du LiDAR. Localisation d'une coupe transversale (CloudCompare) (M. Herbrich)

Figure n°86. Assemblage des déchets par type, dans les prélèvements par US (proportion par masse)

Figure n°87. Inventaire des prélèvements livrant des charbons qui pourront faire l'objet d'une datation radiocarbone.

Figure n°88. Nord Puisaye : dénombrement par sites et par catégories typologiques des échantillons de minerais de fer, de scories et de parois de fourneaux ayant fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES au SARM-CRPG.

Figure n°89. Centre Puisaye : dénombrement par sites et par catégories typologiques des échantillons de minerais de fer, de scories et de parois de fourneaux ayant fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES au SARM-CRPG.

Figure n°90. Sud Puisaye : dénombrement par sites et par catégories typologiques des échantillons de minerais de fer, de scories et de parois de fourneaux ayant fait l'objet d'une analyse de composition chimique en éléments majeurs et traces par ICP-MS et ICP-AES au SARM-CRPG.

Figure n°91. Illustration des principaux types de minerais (M. Aubert, M. Berranger)

Figure n°92. Diagramme des teneurs en SiO_2 et en Fe_2O_3 des échantillons de minerai de fer (M. Leroy).

Figure n°93. Diagramme des teneurs de Fe_2O_3 comparativement au rapport des teneurs en SiO_2 et Al_2O_3 des échantillons de minerai de fer (M. Leroy).

Figure n°94. Diagramme paramétrique $[\text{Al}-(\text{Na}+\text{K}+2\text{Ca})/\text{Si}-\text{Fe}]$ représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Figure n°95. Diagramme ternaire $[\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{FeO}]$ représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Figure n°96. Diagramme ternaire $[\text{SiO}_2/\text{FeO}/\text{CaO}]$ représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Figure n°97. Diagramme ternaire $[\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{CaO}]$ représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Figure n°98. Diagramme des teneurs en Fe_2O_3 et en Al_2O_3 des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Figure n°99. Diagramme des teneurs en Fe_2O_3 et en SiO_2 des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon) (M. Leroy).

Figure n°100. Diagramme des teneurs en Fe_2O_3 et en MnO des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du nord de la Puisaye (Bois des Ferriers et zones adjacentes, Aillant-sur-Tholon et Villiers-sur-Tholon). (M. Leroy).

Figure n°101. Diagramme paramétrique $[\text{Al}-(\text{Na}+\text{K}+2\text{Ca})/\text{Si}-\text{Fe}]$ représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons

de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

Figure n°102. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/FeO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

Figure n°103. Diagramme ternaire [SiO₂/FeO/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

Figure n°104. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du sud de la Puisaye (Bois de Bailly, Bois du Parc et zones adjacentes, Saint-Fargeau, Lavau et Treigny) (M. Leroy).

Figure n°105. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Figure n°106. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/FeO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Figure n°107. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/FeO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Figure n°108. Diagramme ternaire [SiO₂/FeO/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Figure n°109. Diagramme ternaire [SiO₂/Al₂O₃/CaO] représentant les compositions dans ces trois composés chimiques majeurs des échantillons de minerais et des types de scories de réduction du centre de la Puisaye (Dracy, Toucy, Villiers-Saint-Benoit) (M. Leroy).

Figure n°110. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type F (M. Leroy).

Figure n°111. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type A2-A3-A4-A5. (M. Leroy).

Figure n°112. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type A1 et B1-B2 (M. Leroy).

Figure n°113. Diagramme paramétrique [Al-(Na+K+2Ca)/Si-Fe] représentant les compositions chimiques en éléments majeurs principaux (exprimés en milli-atomes gramme) des échantillons de de scories de réduction de type C et D (M. Leroy).

Figure n°114. Position des points représentant la composition des échantillons de scories de réduction dans le diagramme de phases SiO₂-Al₂O₃-FeO (M. Leroy).

Figure n°115. Diagramme paramétrique SiO₂+Al₂O₃ versus Fe₂O₃-CaO-MgO permettant de comparer les groupes de compositions chimiques de scories de réduction de Puisaye entre eux et avec des scories issues du procédé indirect (M.Leroy).

Figure n°116. Teneurs des éléments traces des minerais de la zone atelier du sud de Puisaye. Les

- données sont exprimées en valeurs logarithmiques (M. Berranger).
- Figure n°117. Teneurs des éléments traces des minerais de la zone atelier nord de Puisaye. Les données sont exprimées en valeurs logarithmiques (M. Berranger).
- Figure n°118. Comparaison entre les moyennes des teneurs des éléments traces des minerais et des scories par commune étudiées. Les données sont exprimées en valeurs logarithmiques (M. Berranger).
- Figure n°119. Comparaison entre les moyennes des teneurs des éléments traces des minerais et des scories par types. Les données sont exprimées en valeurs logarithmiques (M. Berranger)
- Figure n°120. Concentration en éléments traces dans les minerais normalisés à la croûte terrestre (M. Berranger).
- Figure n°121. Rapport de la concentration des éléments traces normalisés au fer, par rapport à la croûte terrestre pour les minerais et les scories, par zone-atelier (M. Berranger).
- Figure n°122. Moyenne des minerais et scories de Puisaye, par zone-atelier, : rapport de la concentration des éléments traces normalisés au fer, à la croûte terrestre (M. Berranger).
- Figure n°123. Axes F1, F2 et F3 de l'ACP réalisée sur les xij des éléments traces des scories de Puisaye, par commune (M. Berranger).
- Figure n°124. ACP réalisée sur les xij des éléments traces des scories de Puisaye, par type de scories (suppression d'une scorie sans type) (M. Berranger).
- Figure n°125. Analyse factorielle discriminante réalisée sur les xij des scories, par commune (M. Berranger).
- Figure n°126. Corpus des sites et des objets en fer sélectionnés pour une analyses inclusionnaire dans le cadre du projet TerriFer, pour les études de filiations chimiques.
- Figure n°127. Carte des Unités d'Investigations triées par types (D : diagnostic, FNP : fouille non phasée ancienne, PG : prospection géophysique, PP : prospection pédestre) (St. Venault)
- Figure n°128. Liste des Unités d'Investigations
- Figure n°129. Frise chronologique de l'état de la recherche sur la commune de Tannerre-en-Puisaye (St. Venault).
- Figure n°130. Liste des Unités de Découvertes
- Figure n°131. Carte des Unités de Découverte pour la période romaine (St. Venault)
- Figure n°132. Carte des Unités de Découverte pour le Moyen Age (St. Venault) 210
- Figure n°133. Hypothèses de restitution du tracé de la voie Toucy – Champignelles : hypothèse avant la découverte du segment UD 7 en 2021,
- Figure n°134. Idem hypothèse après la découverte du segment UD 7 (St. Venault).
- Figure n°135. Carte des Unités d'Investigations triées par types (D : diagnostic, FNP : fouille non phasée ancienne, PG : prospection géophysique, PP : prospection pédestre) (St. Venault).
- Figure n°136. Liste des Unités d'Investigations
- Figure n°137. Frise chronologique de l'état de la recherche sur la commune de Toucy (St. Venault).
- Figure n°138. Liste des Unités de Découvertes
- Figure n°139. Carte des Unités de Découverte pour le Bas Empire (St. Venault).
- Figure n°140. Montholon, le mobilier de l'amas 1, sondages 5, 6 et 8.
- Figure n°141. Montholon, le mobilier de l'amas 1, sondage 7
- Figure n°142. Fig. Montholon, le mobilier de l'amas 11, sondages 1 et 2.
- Figure n°143. Montholon, Le mobilier de l'amas 25, sondage 1.
- Figure n°144. Rappel des données quantifiées du mobilier céramique découvert lors des différentes opérations (fouilles ou prospections).
- Figure n°145. Montholon, le mobilier du site 21 - US 101. Photo en haut à droite, aperçu d'une coupelle Lez. 042 : un exemple de forme complète, cassée sur place. (S. Mouton-Venault)

- Figure n°146. Fragment de verre à vitre – US 709 (S. Mouton-Venault)
- Figure n°147. Tableau récapitulatif des données issues de l'étude du mobilier céramique.
- Figure n°148. Aperçu des formes types découvertes dans le sondage.
- Figure n°149. Les molettes sur sigillée d'Argonne découvertes en prospection. Ech. ½. © S. Mouton-Venault.
- Figure n°150. Localisation des sites étudiés en 2023 (Morvan, Côte d'Or). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : Scan 25 IGN, QGIS 3.28.
- Figure n°151. Site 21.635.002, Thoste (lieu-dit : « Bois du Champ Rouge »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.
- Figure n°152. Thoste - Site 21.63.002, sondage 1, coupe est et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne, L. Klein)
- Figure n°153. Site 21.139.003, Champeau-en-Morvan (lieu-dit : « Le Bas de la Fiotte »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.
- Figure n°154. Site 21.139.003, sondage 1, coupe est et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, M. Probst).
- Figure n°155. Site 21.139.003, sondage 2 et assemblage des déchets (Relevé : M. Berranger, I. Havryltsov).
- Figure n°156. Localisation de deux amas étudiés sur le secteur de Saint-Germain-de-Modéon. DAO : M. Herbrich. Fond de carte : Acquisition LiDAR GeoBFC (MSH de Dijon, UAR 3516).
- Figure n°157. Site 21.548.007, Saint-Germain-de-Modéon (lieu-dit : « Le Bonjan »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.
- Figure n°158. Vue générale du site 21.548.007 (M. Berranger).
- Figure n°159. Vue des lambeaux de l'amas de déchets en bordure du site 21.548.007. Emplacement du sondage 1 (M. Berranger).
- Figure n°160. Site 21.548.007, sondage 1, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Probst).
- Figure n°161. Site 21.548.007, sondage 3, coupe nord et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne, L. Klein).
- Figure n°162. Site 21.548.010, Saint-Germain-de-Modéon (lieu-dit : « Gué des Beaumes »). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.
- Figure n°163. Site 21.548.010, sondage 1, coupe sud-ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne, L. Klein).
- Figure n°164. Site 21.548.010, sondage 5, coupe sud-ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Probst, L. Klein)
- Figure n°165. Site 21.548.010, à gauche sondage 2. A droite : scorie magnétique
- Figure n°166. Site 21.548.010, sondage 3, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne).
- Figure n°167. Site 21.548.010, sondage 4, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Herbrich, I. Havryltsov).
- Figure n°168. Site 21.548.014, Saint-Germain-de-Modéon (lieu-dit « Le Gué du Piéché). DAO : M. Herbrich. Fond de carte : OpenStreetMap. QGIS 3.28.15.
- Figure n°169. Vue générale du site 21.548.014.
- Figure n°170. Site 21.548.014, sondage 1, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Berranger, I. Havryltsov).
- Figure n°171. Site 21.548.014, sondage 2, coupe ouest et assemblage des déchets (Relevé : M. Probst).
- Figure n°172. Localisation des trois amas étudiés sur le secteur de la Roche-en-Brénil. DAO :

- M. Herbrich. Fond de carte : Acquisition LiDAR GeoBFC (MSH de Dijon, UAR 3516).
- Figure n°173. Site 21.525.001, sondage 1, coupe nord-est et assemblage des déchets (Relevé : M. Berranger, M. Probst).
- Figure n°174. Site 21.525.001, four A1, plan et coupe (Relevé : M. Mangin, complété M. Berranger, DAO : M. Herbrich).
- Figure n°175. Site 21.525.001, four A1. A : Vue générale du bas fourneau à l'aant de la butte de scories ; B : état de dégagement en fin de fouille de M. Mangin (années 1980) ; C : vue générale en fin de fouille 2023 avec la mise au jour d'un creuset central ; D : détail du creuset (M. Berranger).
- Figure n°176. 21.525.022. Gauche, vue générale des deux buttes, droite, sondage 2 (M. Herbrich)
- Figure n°177. Site 21.525.022, sondage 1, coupe ouest (Relevé : M. Herbrich, J. Lauzanne).
- Figure n°178. Site 21.525.037, sondage 1, coupe sud-ouest et assemblage des déchets (Relevé : L. Klein, M. Probst).
- Figure n°179. Sélection des charbons à dater de manière prioritaire.
- Figure n°180. Table 1 : Liste des contextes livrant les témoins étudiés
- Figure n°181. Entrains-sur-Nohain (Nièvre). Localisation des emprises fouillées (L. Gaëtan).
- Figure n°182. Caractérisation des mesures effectuées, valeurs et précision (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°183. Compte des mesures de diamètres attribuées, valeurs et modes de production (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°184. Quelques exemples des répartitions « types » simulées, charbons observables en nombre (rouge) et calibres exploités en masse (vert) (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°185. Exemples de restitution des calibres exploités sur trois contextes du corpus (méthodes en lignes, contextes en colonnes) (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°186. Structure temporaire de la base de donnée (MLD) (R. Jeannot)
- Figure n°187. Détermination des intervalles temporels exploités, représentation pondérée du nombre de contextes et de charbons présents dans chaque intervalle disponibles et représentation des changements, nombre de charbons nouveaux à chaque borne (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°188. Composition taxonomique des prélèvements étudiés et table de croisement (si « 1 », les prélèvements ne peuvent pas être issus du même ensemble à 5%) (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°189. Ventilation des calibres exploités et table de croisement des contextes (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°190. Courbes « types » des croissances observées et table de répartition par contexte (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°191. Compositions en taxons et en types de culots de forge des ensembles étudiés (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°192. Synthèse la qualité de la documentation, de l'intensité de l'activité sidérurgique, des types de travaux sidérurgiques, de la composition taxonomique, des calibres exploités et de la productivité moyenne des ensembles charbonnés par périodes chronologiques (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°193. Répartition restituée des calibres exploités par période chronologique (intervalle probable et calcul « par la primitive » (R. Jeannot, O. Girardclos)
- Figure n°194. Dynamiques de croissance médianes des bois exploités par période et par essence

; les Q1 et Q3 sont représentés en transparence (R. Jeannot, O. Girardclos)

Figure n°195. Exemples de charbons étudiés montrant des croissances importantes

Figure n°196. Comparaison des dynamiques de croissance observées sur les charbons avec des peuplements forestiers actuels à la structure connue, par ensembles chronologiques (R. Jeannot, O. Girardclos)

Figure n°197. Provenance des 210 charbons de bois datés par le radiocarbone

Figure n°198. Qualité des 210 charbons de bois datés par le radiocarbone

Figure n°199. Chronologie des amas de déchets sidérurgiques de l'ensemble de la région Bourgogne-Franche-Comté (120 datations sur derniers cernes) (H. Laurent)

Figure n°200. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques de l'ensemble de la région Bourgogne-Franche-Comté (H. Laurent)

Figure n°201. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques de la Puisaye et de l'ensemble Nivernais-Vézélien-Avallonnais (H. Laurent)

Figure n°202. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques de la zone de Berthelange et du Morvan-Auxois (H. Laurent)

Figure n°203. Graphique des cumuls de probabilités des dates des amas de déchets sidérurgiques du Pays d'Othe et des sites isolés (H. Laurent)

Figure n°204. Principaux sites ou secteurs devant faire l'objet d'acquisitions LiDAR

Figure n°205. Montholon site 1 - Bois des Ferriers. Implantation prévisionnelle des zones de fouilles en 2024, par rapport aux sondages des années antérieures.

