



HAL
open science

Rapport intermédiaire 2022, PCR “La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions”

Marion Berranger, Franchini Vincent, Marc Leroy, Emmanuel Hamon, Margaux Herbrich, Sylvie Mouton-Venault, Matthieu Thivet, François-Xavier Simon, Dominique Sordoillet, Stéphane Venault

► To cite this version:

Marion Berranger, Franchini Vincent, Marc Leroy, Emmanuel Hamon, Margaux Herbrich, et al.. Rapport intermédiaire 2022, PCR “La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions”. IRAMAT - LMC - IRAMAT - Laboratoire Métallurgies et Cultures; MSHE Claude Nicolas Ledoux; INRAP. 2023. hal-03946728v2

HAL Id: hal-03946728

<https://hal.science/hal-03946728v2>

Submitted on 7 Mar 2023

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 intermédiaire 2022

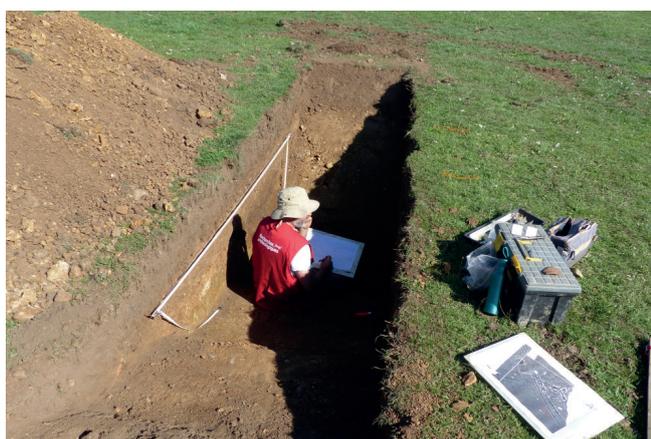
La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions



Saint-Fargeau 40 "Bois de Bailly" - Cheminées effondrées de bas fourneau en cours de fouille



Dracy 1 "Ferrier Guillou" - Grande coupe stratigraphique



Tannerre-en-Puisaye "La Garenne" - sondages

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



Projet Collectif de Recherche
Rapport intermédiaire 2022
Triennale 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
Vinçent Franchini
Marc Leroy
Emmanuel Hamon
Margaux Herbrich
Sylvie Mouton-Venault
Matthieu Thivet
François-Xavier Simon
Dominique Sordoillet
Stéphane Venault

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

Rapport intermédiaire 2022

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

Financements et moyens :

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

Sommaire

1. Présentation du programme de recherches.	9
1.1. L'archéoméallurgie dans le nord-est de la France : une longue tradition de recherche.	9
1.2. Présentation générale du programme de recherche.	10
1.3. Réalisations 2022.	17
2. Fouilles d'un atelier de réduction à Saint-Fargeau «Bois de Bailly», site n°40 (Yonne)	21
2.1. La zone-atelier de Saint-Fargeau : rappel des travaux et résultats antérieurs	26
2.2. Problématiques de l'opération de fouilles	27
2.3. Méthodologie et enregistrements	29
2.4. Description des vestiges fouillés en 2022.	32
2.5. Etude sédimentaire (D. Sordoillet).	51
2.6. Le mobilier sidérurgique.	54
2.7. Conclusions	61
3. Acquisitions LiDAR et sondages à Dracy (Yonne)	65
3.1. Rapport de prospection LiDAR aéroporté par drone au lieu-dit «le Ferrier Guillou» n°2, Dracy (89)	
3.2. Résultats des sondages sur le site du Ferrier Guillou 1 (M. Herbrich, M. Berranger, M. Leroy)	78
3.3. Conclusion.	90
4. Prospections géophysiques et sondages à Tannerre-en-Puisaye «Beauregard»	91
4.1. Rapport de prospection magnétique (F.X. Simon)	94
4.2. Rapport de sondages et interprétation archéologique des résultats des acquisitions géophysiques (S. Venault)	110
5. Un sondage sur un amas de déchets sidérurgiques à Entrains-sur-Nohain «Château du Bois» (Nièvre)	133
5.1. Cadre de l'intervention et travaux antérieurs menés à Entrains et dans son environnement dans le cadre du PCR « sidérurgie »	137
5.2. Objectifs et méthodologie de l'intervention	138
5.3. Résultats et perspectives.	139
6. Programmation 2023	141
Bibliographie	145
ANNEXE 1 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40 - Inventaire des US	149
ANNEXE 2 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40 - Inventaire des minutes	157
ANNEXE 3 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40 - Inventaires des objets particuliers	159
ANNEXE 4 : DRACY (89.147) site n°1 - Inventaire des US	165
ANNEXE 5 : DRACY (89.147) site n°1 - Inventaire des minutes	169
ANNEXE 6 : DRACY (89.147) site n°1 - Inventaires objets particuliers	171
ANNEXE 7 : TANNERRE-EN-PUISAYE (89.408) site n°2 - Inventaires divers - Inventaire des minutes	175
ANNEXE 8 : ENTRAINS-SUR-NOHAIN (58.109) site n°17 - Inventaires divers	177
Liste des figures	179

1. Présentation du programme de recherches

M. 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).

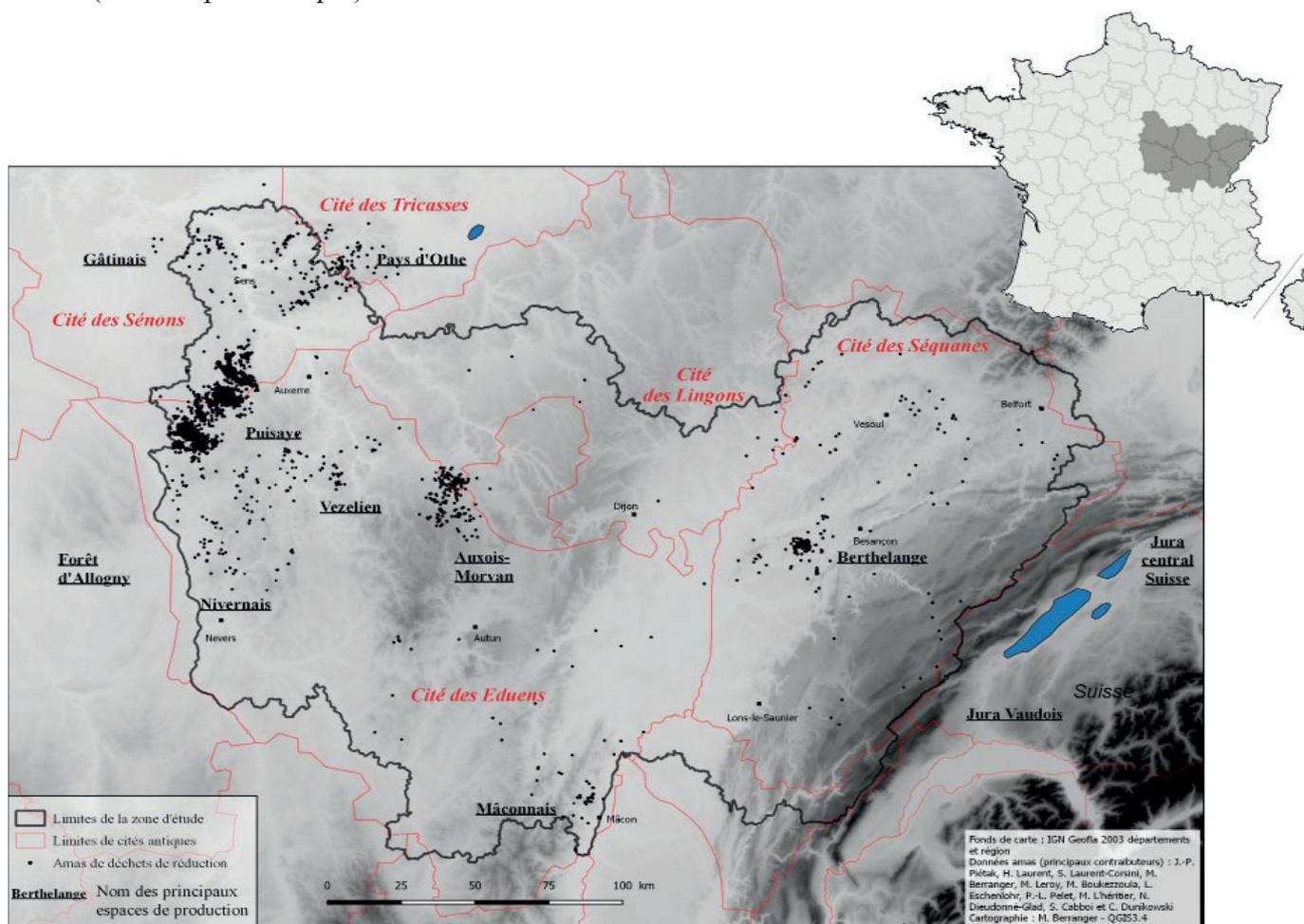


Figure n°1. Localisation des espaces de production connus au sein de la zone d'étude. Matérialisation des limites de cités antiques.

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» notamment ces quatre 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 et objectifs*

Axe 1 : la caractérisation des espaces de réduction

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

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

Dans cette dernière région, la réduction ne débiterait pas avant le haut Moyen Âge. A l'ouest, la réduction du minerai de fer remonterait au moins à l'Antiquité romaine voire aux âges du Fer, comme le confirment les datations obtenues ces dernières années dans le cadre du PCR, en Puisaye ou en forêt d'Othe (Berranger *dir.* 2020).

La normalisation des inventaires, ainsi que la datation et la caractérisation chimique de ces « districts sidérurgiques » ont été au centre des travaux du présent PCR entre 2017 et 2020, afin de tenter de saisir les rythmes de la production. Cela a nécessité une importante activité de terrain sur un grand nombre d'ateliers. Des prospections et des sondages au sein des séries d'amas de scories ont ainsi été réalisés pour prélever des scories à analyser et des charbons à dater, en stratigraphie (180 sites prospectés, une quarantaine sondée).

Deux approches sont privilégiées. Une caractérisation approfondie a été menée à l'échelle d'un nombre obligatoirement réduit d'espaces de production. Elle concernait la zone de Berthelange (25) et la Puisaye (89) où il s'agit d'appréhender plus précisément les rythmes et les caractéristiques de la production sidérurgique à partir de différentes échelles d'analyses. Une approche plus ponctuelle, a concerné les autres espaces afin d'obtenir des données de comparaisons. On s'est basés alors sur l'exploitation de données déjà existantes ainsi que sur l'acquisition ciblée de nouvelles données afin de répondre à des questionnements précis (par exemple afin d'alimenter la base de données géochimique ou pour appréhender la chronologie de certains sites).

Les travaux réalisés dans le cadre de la dernière triennale (2018-2020) ont ainsi permis de dresser un bilan cartographique des sites de métallurgie du fer à l'échelle de la région Bourgogne-Franche-Comté (fig. 1), et de proposer une première caractérisation chronologique notamment des sites de réduction du minerai de fer grâce à la réalisation de plus 200 datations radiocarbone (fig. 2). Plus de 500 analyses chimiques de scories issues de ces différents secteurs ont également été réalisées et fournissent une base solide afin de réaliser des études sur les procédés techniques et des recherches de provenance.

Dans le cadre de la présente triennale (2021-2023), l'objectif est de poursuivre les travaux de prospections et de prélèvements de charbons sur les amas de déchets métallurgiques, mais à une

moindre échelle, afin de permettre l'approfondissement de certaines thématiques de recherche, et notamment afin de mieux préciser la nature des techniques pratiquées, l'organisation des ateliers et les volumes de production en jeu.

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

Nous souhaitons à présent préciser l'architecture des fours de réduction, la dynamique de constitution des amas et l'organisation spatiale des ateliers à travers une approche plus précise d'un petit nombre de sites de réduction. L'objectif est de comparer les différences entre districts sidérurgiques en déterminant les volumes de production et donc les quantités de matériaux échangés tant en amont (approvisionnement en minerais) qu'en aval (diffusion des produits ferreux) de la chaîne de production. Il s'agit également de préciser les spécificités et différences dans les techniques mises en oeuvre en étudiant l'architecture des bas fourneau et l'organisation spatiale des ateliers.

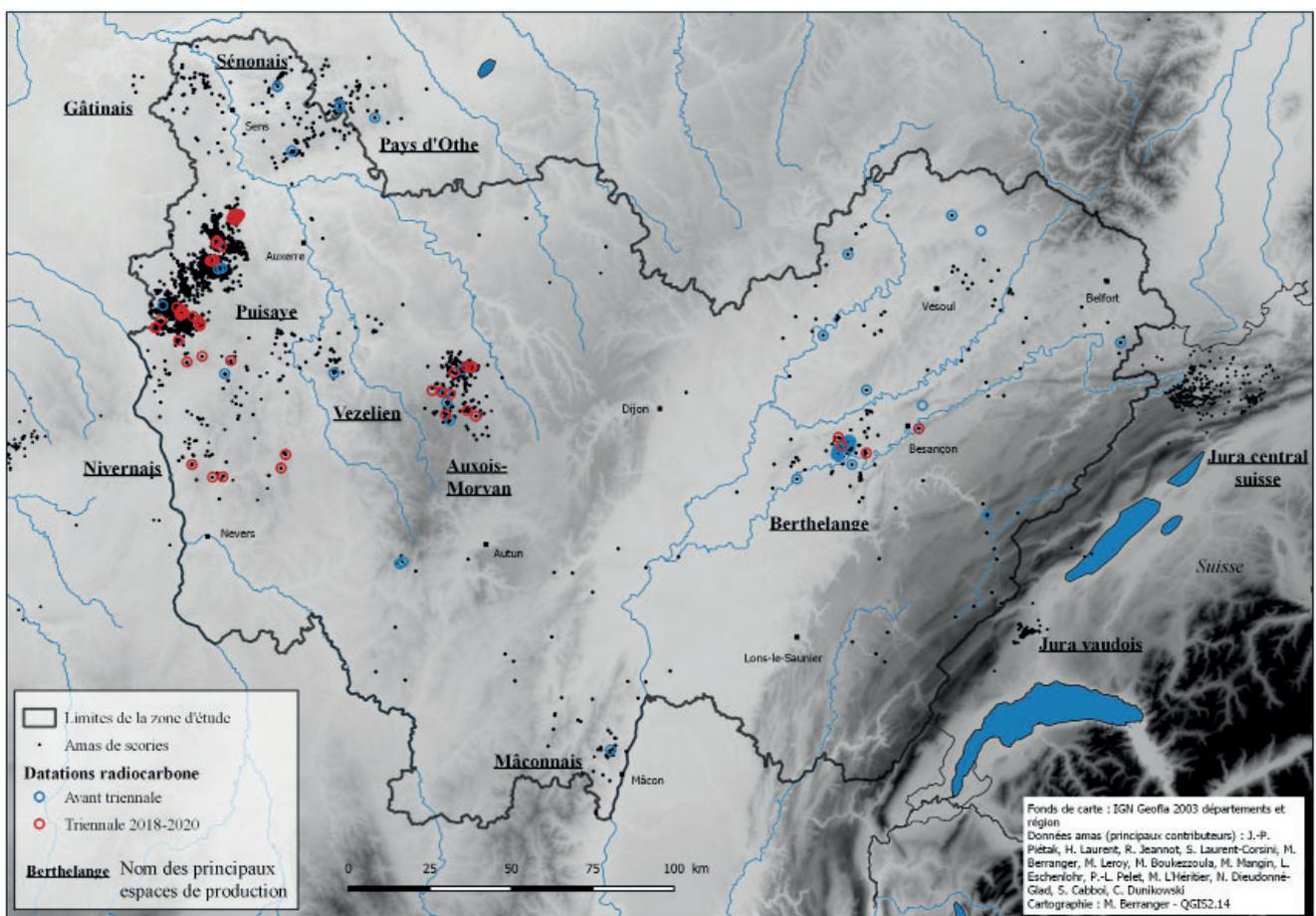


Figure n°2. Répartition des sites datés par radiocarbone et ayant subi une analyse chimique en Bourgogne Franche-Comté.

A ce stade il s'avère nécessaire de préciser si ces amas de déchets marquent la présence d'un seul four ou au contraire des concentrations de bas fourneau ? Cela passe par l'étude de l'organisation spatiale des ateliers et par la détermination des volumes de déchets présents. L'objectif est également de documenter les possibles variabilités et points communs en tenant compte de la chronologie et des différences de localisation géographique. Une attention toute particulière sera également portée à l'étude comparative de l'architecture des fours de réduction et de l'organisation des ateliers afin d'étudier les transferts de techniques et de savoir-faire.

Les relations sites métallurgiques - espaces habités

La question de l'implantation et de la nature des espaces habités, en relation avec les sites de réduction, se pose de façon récurrente. Leur séparation géographique est régulièrement pointée, mais il faut avouer que peu de données sur ces questions sont disponibles, surtout pour des sites approchés seulement en prospections pédestres.

Nous avons ainsi pu constater régulièrement, notamment en Puisaye où des prospections extensives ont été réalisées, l'association récurrente entre zones de rejets de déchets sidérurgiques (très gros amas de déchets) et indices d'habitats notamment pour l'époque romaine.

Les fouilles menées en 2018 à Montholon/Aillant-sur-Tholon ont apporté quelques indices sur l'implantation possible d'un lieu de vie à la fin du II^e - milieu III^e s. de n.è. à proximité d'une grande zone de production de fer brut contemporaine (Venault, Mouton-Venault 2018). L'étude réalisée en 2019 par Sylvie Mouton-Venault (Mouton-Venault 2019) sur des céramiques recueillies par Jean-Pierre Piétak en prospection à Toucy "La cour Batonnerie", apporte des informations complémentaires pour un autre secteur comparable par la chronologie et l'importance de l'exploitation sidérurgique à celui de Montholon. Ici encore l'étude céramologique révèle la présence d'un habitat de l'époque romaine fréquenté entre le milieu du II^e s. et le IV^e s. de n.è. A Toucy l'occupation semble plus pérenne (indices d'adduction d'eau en terre cuite) et plus étendue qu'à Montholon (matériel dispersé sur environ 2,5 ha).

Nous souhaitons ainsi approfondir les recherches sur l'étude des relations entre espaces habités et zones de production primaire du fer, afin de préciser la nature et l'importance de ces espaces occupés. Ce thème sera à ce stade uniquement abordé à partir des sites de Puisaye. Il sera coordonné par Stéphane Venault, archéologue à l'INRAP spécialiste de l'occupation du sol durant la période antique, et permettra de développer d'étroites collaborations avec deux PCR de Bourgogne France-Comté : AggloCenE (Coord. S. Venault et P. Nouvel) et Ruralia (coord. P. Nouvel).

Les interventions combineront principalement prospections géophysiques extensives et prospections pédestres. L'objectif des acquisitions géophysiques est de mettre en évidence dans un premier temps d'éventuels plans d'habitats. Dans un deuxième temps, si l'exploitation de la parcelle s'y prête, des prospections pédestres ou des sondages auront pour objectif de prélever du mobilier afin d'obtenir des éléments de datation et de caractérisation de la nature de l'occupation. Parallèlement un recensement des indices d'occupations antiques sera effectué à l'échelle de la Puisaye.

Etude des techniques de réduction

L'étude des techniques de productions et de l'évolution des savoir-faire, appréhendés à travers les caractérisations chronologiques et l'étude archéométrique des déchets de production du fer (analyses pétrographiques, analyses chimiques) se poursuivra et fera l'objet d'un thème de recherche dédié. Des expérimentations seront menées conjointement afin de tester les hypothèses de travail et étudier le comportement des éléments chimiques durant la réduction.

L'objectif est aussi de préciser la nature géologique des minerais présents dans les zones de production étudiées et de définir les choix réalisés par les artisans (qui n'exploitent pas forcément les ressources en fonction de leur proximité). L'étude des scories de réduction permettra de déterminer la composition chimique de la charge dans le bas fourneau (nature des minerais, éventuels ajouts ou polluants) et de préciser les conduites d'opérations (températures atteintes, rythmes de la charge, rendements etc).

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

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

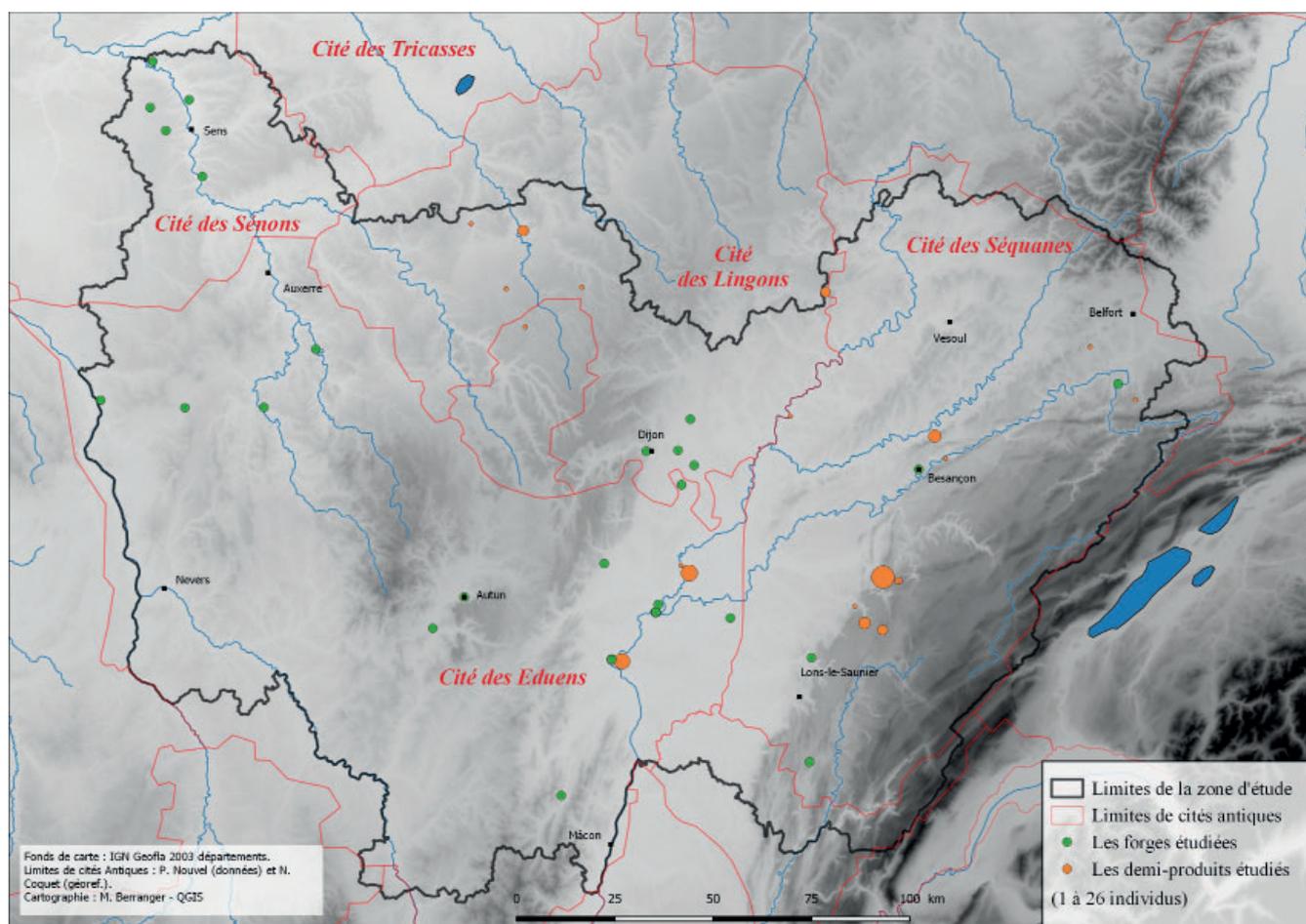


Figure n°3. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits.

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) (fig. 3). Ils font l'objet d'un examen systématique privilégiant les lots et les groupements régionaux.

Parmi les agglomérations antique accueillant des forges, Entrains-sur-Nohain (89) continuera à constituer un des champs principaux d'investigation. Les efforts seront centrés sur la synthèse de l'ensemble des données acquises suite à l'achèvement de la codification des structures métallurgiques (Vinçent 2019, Tisserand 2020, Venault 2020). Il s'agit de proposer un catalogue intégré sous SIG afin de proposer des plans interprétatifs normalisés par espaces et par phases chronologiques, qui serviront de support à l'analyse spatiale des activités. A terme cet outil est destiné à être transposé à l'ensemble des ateliers de forge traités dans le cadre du PCR. L'étude des corrélations chimiques entre les scories trouvées dans les forges d'Entrains et celles venant des espaces de réduction environnants sera également poursuivie.

Intervenant	Organisme de rattachement	Nature de la participation
AUBERT Michel	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Analyses archéométriques, DAO
BARRAL Philippe	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Encadrement d'étudiants
BERRANGER Marion	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Coordination projet, travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
CABBOI Sandra	INRAP IDF - LMC - UMR5060	Travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
COUBRAY Sylvie	INRAP - MNHM	Etude dendro-anthracologiques
DILLMANN Philippe	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
DISSER Alexandre	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Développement des méthodologies interdisciplinaires
GIRARDCLOS Olivier	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Etude dendro-anthracologiques
HERBRICH Margaux	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Topographie - Photogrammétrie
JEANNOT Rémy	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques, SIG
LAURENT Hervé	DRAC-SRA F. Comté-LMC-UMR5060	Inventaire et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
LAURENT-CORSINI Sylvie	DRAC-SRA F. Comté-LMC-UMR5060	Cartographie et travaux de terrain sur les sites métallurgiques
LEROY Marc	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Travaux de terrain, étude interdisciplinaire des sites métallurgiques
MEAUDRE Jean-Charles	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Photomodélisation 3D
MERLUZZO Paul	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Etude interdisciplinaire des sites métallurgiques
MOUTON-VENAULT Sylvie	INRAP GES - Artéhis UMR5594	Céramologie
NOGUES Patrick	INRAP GES	Topographie
PIETAK Jean-Pierre	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Prospections des sites de Puisaye
SORDOILLET Dominique	INRAP GES - UMR6249	Etudes géomorphologiques
THIVET Matthieu	Univ. F. Comté - Chrono-env. UMR6249	Acquisitions LiDAR
TISSERAND Nicolas	INRAP GES - Artéhis UMR5594	Etude du site d'Entrains-Sur-Nohain
VEGA Enrique	LMC-IRAMAT-CNRS-UMR5060	Analyses MEB-EDS
VENAULT Stéphane	INRAP GES - UMR6249	Travaux de terrain, étude des sites métallurgiques, étude d'Entrains-Sur-Nohain
VEYSSEYRE Céline	INRAP GES - Artéhis UMR5594	Documentation, gestion de la bibliothèque Zotero
VINCENT Ghislain	INRAP MED - ASM - UMR5140	Etude du site d'Entrains-Sur-Nohain

Figure n°4. Liste des participants au PCR pour la triennale 2021-2023, et détail des activités de chacun.

Deux autres sites majeurs à l'échelle régionale, par le nombre d'ateliers qu'ils ont livré, sont en cours d'étude dans le cadre de masters d'archéologie de l'Université de Franche-Comté. Ces travaux ont débuté en 2021 et seront achevés en 2023. Le premier sujet porte sur l'étude interdisciplinaire des déchets métallurgiques du site de Bragny-sur-Saône "Sous Moussière" (71). Le cas de Bragny II. Il est réalisé par L. Belhade (encadrement M. Thivet univ. de F. Comté, co-encadrement : M. Berranger, E. Dubreucq) et vise à réaliser l'étude interdisciplinaire

d'un lot de déchets issu d'une fosse fouillée intégralement par A. Guillot en 1973-1974. La reprise de la documentation en 2020 a permis d'en restituer l'organisation et la stratigraphie (Dubreucq, Thivet 2020). Près de 140 kg de déchets métallurgiques ont ainsi été collectés dans cette seule fosse datée entre la fin du VI^e/début V^e s. et la deuxième moitié du V^e s. av. n.è. Ce travail de recherche intervient tant dans le cadre du PCR sidérurgie que du PCR Confluence dirigé par M. Thivet et E. Dubreucq.

Le second sujet concerne 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 est réalisé par S. Saves (encadrement Ph. Barral univ. de F. Comté, co-encadrement : M. Berranger, P. Nouvel, S. Alix). Ce travail vise 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 s'agit également 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, ainsi que dans son cadre micro-régional et régional.

Dans la continuité des travaux menés ces dernières années nous souhaitons également poursuivre et développer les études de filiation visant à relier la composition chimique des scories de réduction présentes sur les sites de production, avec la composition chimique des scories piégées au sein des objets en fer.

De par sa vocation interdisciplinaire, le programme collectif de recherche rassemble ainsi les compétences d'archéologues, de documentalistes et d'archéométallurgistes, étroitement associés aux différents stades de travail. La figure 4 détaille les participants impliqués dans le programme dans le cadre de la présente triennale ainsi que la nature de leur participation.

1.3. Réalisations 2022

Les activités de terrain de cette année ont été centrées, comme les années précédentes, principalement sur la Puisaye (fig. 5).

Les fouilles débutées en 2021, à Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40 (89) sur un atelier de réduction du minerai de fer daté par méthode radiocarbone, entre 400 Cal. BC et 200 Cal. BC ont été achevées. En 2021, des sondages ponctuels avaient été ouverts sur la base d'acquisitions géophysiques réalisées en 2020 (Sanchez 2020). Une vision extensive a été privilégiée cette année, en décapant au plus large sur les anomalies géophysiques. Ces fouilles ont permis de poursuivre l'étude de l'organisation spatiale de l'atelier, et de mettre au jour une succession de bas fourneaux (chap. 2). Un recrutement d'un IE d'un mois, Margaux Herbrich, a eu pour objectif de réaliser les acquisitions et traitements topographiques et photogrammétriques, en fouilles et post-fouilles. D. Sordoillet, géomorphologue à l'INRAP, est également intervenue durant la fouille afin d'effectuer des prélèvements pour analyser plus précisément les dynamiques de mise en place de l'amas.

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 donné son soutien financier pour 3 ans à un nouveau programme de recherche intitulé « Dynamiques techniques et territoriales en métallurgie du fer (TerriFer) », permettant l'acquisition d'équipements et 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 est de coupler la réalisation de relevés LiDAR afin de topographier avec précision une partie de ces amas, d'étudier leur organisation, de calculer le volume des tas, et de réaliser des coupes stratigraphiques afin de déterminer la proportion de scories au sein de ces amas. Des scories seront également prélevées et analysées en laboratoire afin de calculer des rendements en métal en se basant sur la caractérisation élémentaire (Al-Si-K-Ca-Fe-Na-Mg) des déchets sidérurgiques. L'objectif est de pouvoir croiser ces notions de rendement, avec des volumes de déchets précisément calculés grâce aux acquisitions LiDAR et aux prélèvements volumiques en stratigraphie.

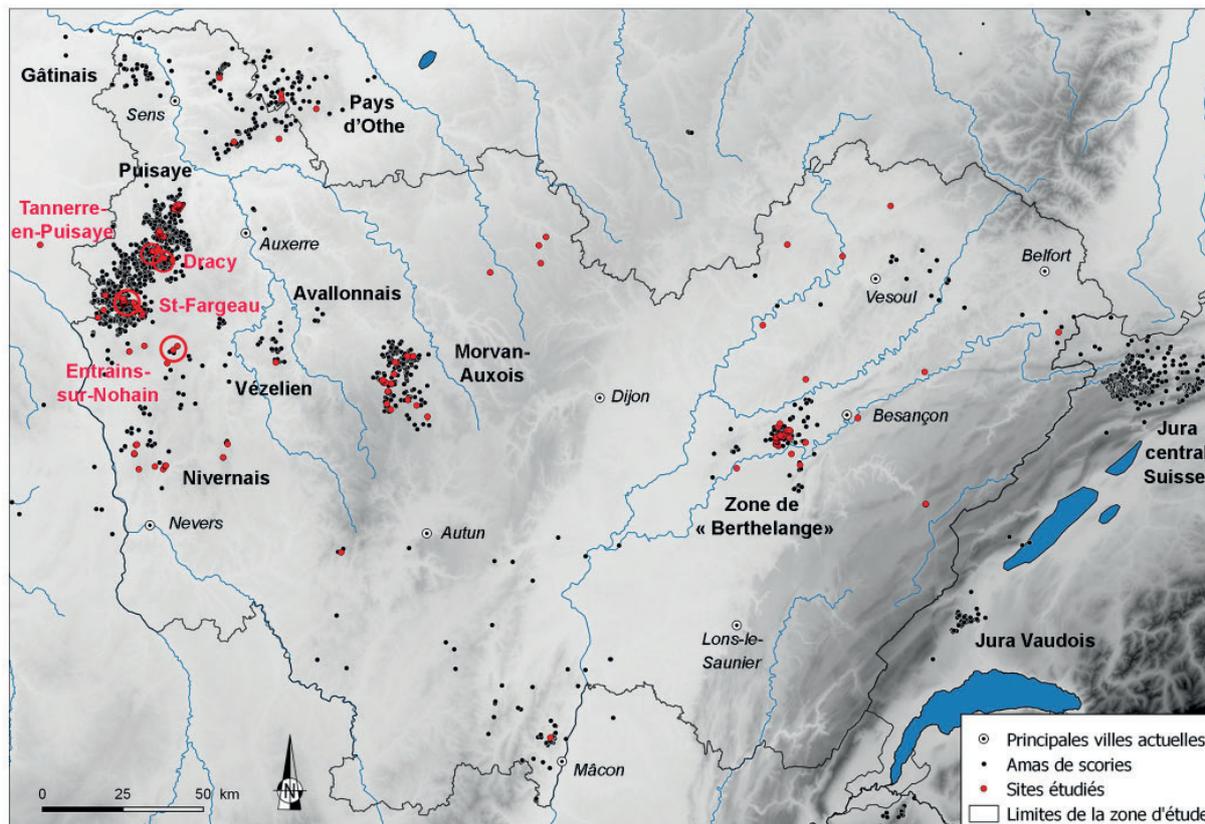


Figure n°5. Noms en rouge : localisation des sites étudiés en 2022 (M. Berranger).

Dans ce cadre, le secteur de Dracy « Ferrier Guillou » (89) a fait l'objet d'une première approche. Des relevés LiDAR ont été réalisés sur le site du Ferrier Guillou 2 (chap. 3). Parallèlement, un autre très grand amas, Ferrier Guillou 1, a fait l'objet d'une étude stratigraphique. Ce site sera topographié par LiDAR en 2023. 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. Une première analyse des résultats de ces travaux est présentée dans ce rapport, mais les résultats feront l'objet d'une exploitation plus poussée dans le cadre de la thèse de Margaux Herbrich dédiée à ces problématiques.

De manière plus ponctuelle, des prélèvements de charbons ont été réalisés sur des amas de déchets, en fonction des facilités d'accès. Un autre grand amas antique, en cours de destruction, a ainsi fait l'objet de prélèvement de scories et charbons à Dracy « Ferrier des noirs » (89), ainsi qu'à Entrains-sur-Nohain « Château du Bois » (58), à l'occasion d'un sondage autorisé dans une

parcelle cultivée (chap. 5). L'ensemble de ces charbons seront datés dans le courant de l'année 2023.

Toujours en Puisaye, l'étude des relations pouvant exister entre certains gros amas de déchets de réduction romains et des espaces habités contemporains a été poursuivie à Tannerre-en-Puisaye. En 2021 des prospections géophysiques réalisées par l'INRAP avaient mis en évidence le tracé supposé d'une voie associée à une série d'anomalies linéaires. L'un des objectifs de cette année était d'interpréter ces anomalies. Sur la base des résultats de ces prospections, des sondages à la mini-pelle ont été entrepris, sous la responsabilité de S. Venault. Une voie avec deux fossés bordiers a été identifiée, ainsi qu'un chemin et des fossés. Des prospections géophysiques complémentaires (réalisées sous forme de prestation par l'INRAP) situées dans la continuité des parcelles étudiées en 2021 et 2022 ont également été réalisées afin de préciser la continuité du tracé de la voie et déterminer l'extension de la structuration de l'espace en relation avec cette dernière. Les résultats sont présentés chap. 4.

Un axe paléoenvironnemental intègre également les travaux menés sur les espaces de réduction. L'étude des charbons issus des sondages effectués à Saint Fargeau en 2021 a été poursuivie par Sylvie Coubray de l'INRAP. Ces résultats seront présentés l'année prochaine.

L'étude morphologique et archéométrique des déchets de réduction s'est également poursuivie. 40 nouvelles analyses chimiques de scories et minerais ont été réalisées au CRPG. Les sections polies d'une dizaine de scories de réduction de Puisaye ont également été analysées au MEB-EDS par E. Vega 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 par E. Foy pour préciser leur nature. Une campagne d'expérimentation a également été menée lors de la fête de la Sciences à l'UTBM Belfort, afin de tenter de restituer des types de scories présentant des morphologies particulières et mieux comprendre leurs conditions de formation (fig. 6).



Figure n°6. Expérimentations de réduction du minerai de fer (fêtes de la Science 2022 - UTBM), afin de tenter de comprendre les conditions de formation des scories antique constituées de boudins de scories canalisés accolés (en haut à droite).

La valorisation de ces travaux a débuté sous forme de publications parues, sous presse ou soumises (liste ci-dessous) :

- 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*.
- BERRANGER (M.), BAUVAIS (S.), DISSER (A.), VEGA (E.), DILLMANN (Ph.) remis – Espaces de production et circuits d'échanges en métallurgie du fer dans l'espace nord-alpin durant le premier âge du Fer. Actes 45e colloque international de l'AFEAF, *L'Europe des matières premières au Ier millénaire av. n.è. Exploitation, transformation, diffusion*.
- LABEAUNE (R.), BERRANGER (M.) remis – Une métallurgie au fond du tamis... Les indices ténus du travail du fer avant le VIe s. av. n.è. en Bourgogne Franche-Comté. Actes 45e colloque international de l'AFEAF, *L'Europe des matières premières au Ier millénaire av. n.è. Exploitation, transformation, diffusion*.

De communications en colloque :

- 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.

2. Fouilles d'un atelier de réduction à Saint-Fargeau "Bois de Bailly", site n°40 (Yonne)

Fiche signalétique

Localisation de l'opération

Région : Bourgogne-Franche-Comté Département : Yonne (89)

Commune concernée par des fouilles : Saint-Fargeau "Bois de Bailly",

Références de la parcelle étudiée

Commune : Saint-Fargeau Occupation du sol : forêt

Références cadastrales : F17 et 19

NGF93 X : 709745 m ; y : 6722664 m

Références de l'opération

Numéro d'arrêté d'autorisation de fouilles : 2022/270 en date du 2 mai 2022

Dates d'intervention : 4 au 15 juillet 2022

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologiques

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

Résultats significatifs

Chronologie : Protohistoire

Éléments de datation : Métal, céramique, radiocarbone

Mots-clefs : métallurgie, bas fourneau, atelier, déchets

Responsable scientifique : Marion Berranger

Equipe fouilles

Equipe de fouilles : Marion Berranger (LMC-CNRS), Marc Leroy (LMC-CNRS), Jean-Pierre Piétak (DRAC-LMC), Hervé Laurent (DRAC-LMC), Sylvie Laurent-Corsini (DRAC-LMC), Margaux Herbrich (LMC-CNRS), Léna Belhalde (Univ. Besançon), Séverine Saves (Univ. Besançon), Clément Batoz (Univ. Dijon), Cyprien de Salve Villedieu (ENSTA Paris), Blandine Hérou (bénévole)

Topographie / photogrammétrie : Margaux Herbrich (LMC-CNRS)

Géomorphologie et rapport : Dominique Sordoillet (INRAP-Chrono-env)

Traitement des données archéologiques et rapport : Marion Berranger (LMC-CNRS), Marc Leroy (LMC-CNRS), Margaux Herbrich (LMC-CNRS)



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2022/270 du 2 mai 2022

portant autorisation de fouille programmée.

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° 21.68 BAG du 23 mars 2021, du Préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté portant délégation de signature à Madame Aymée ROGE, Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté du 16 mars 2022, portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272022000042, de demande d'opération archéologique arrivé le 22 avril 2022 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERRANGER est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de fouille programmée à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 30 décembre 2022, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE

Département : YONNE

Commune : SAINT-FARGEAU

Lieu-dit : « Bois de Bailly »

Cadastre : section VF, parcelles n° 17 et 19

Intitulé de l'opération : Fouille programmée d'un ferrier protohistorique

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

Code de l'opération : **043982**

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

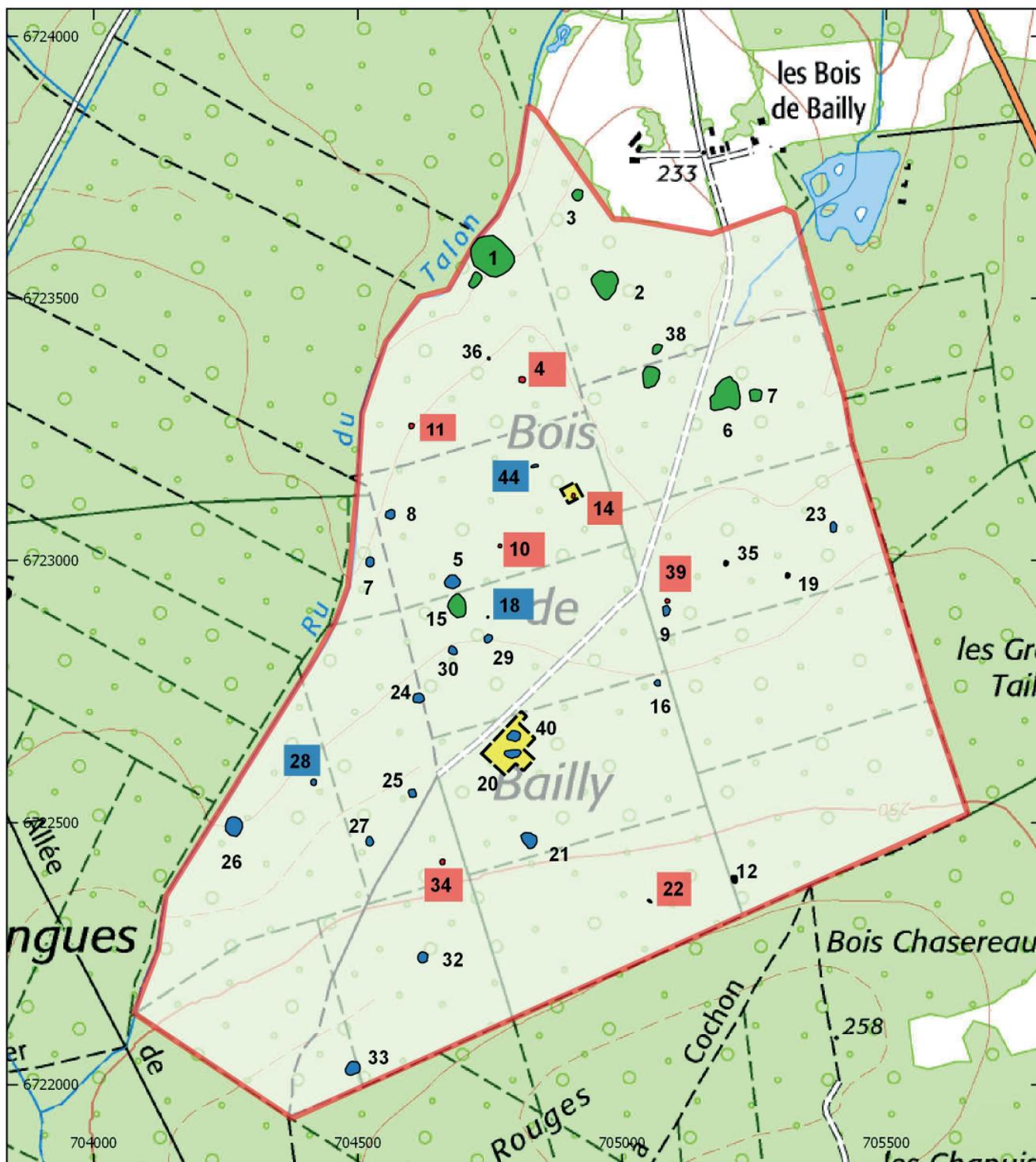
Le traitement des vestiges mobiliers et de la documentation scientifique devront se conformer aux dispositions du protocole en vigueur en Bourgogne Franche-Comté, **Art.4 de l'arrêté du 7 février 2022 (protocole ci-joint)**, pour la conservation, l'inventaire, le conditionnement et la remise de la documentation 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 2 mai 2022

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



Saint-Fargeau 89.344

Zone prospectée

Typologie des amas

"Petits" amas

"Grands" amas

Amas "discrets"

Prospections géophysiques 2020 et zones des fouilles

Figure n°7. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", localisation des amas prospectés et de la zone fouillée (M. Berranger).

2. 1. La zone-atelier de Saint-Fargeau : rappel des travaux et résultats antérieurs

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. 7). 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.

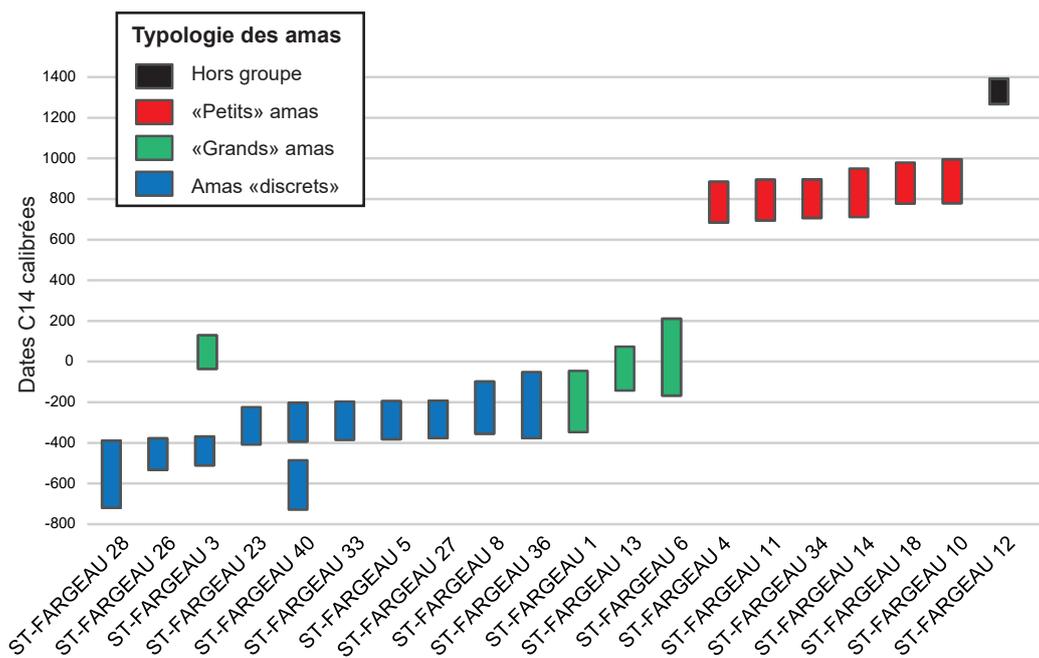


Figure n°8. Datations radiocarbone réalisées sur les amas de "Saint-Fargeau" Bois de Bailly (M. Berranger).

Les résultats des datations radiocarbone mettent en évidence plusieurs phases chronologiques, distinctes pour l'exploitation sidérurgique (fig. 8). 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 très 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.

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 (IVe-IIIe 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. Une nouvelle date acquise en 2021 indique la possibilité d'une production débutant entre 774 et 481 Cal. BC (Berranger dir. 2021).

2.2. Problématiques 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.

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. 9). 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.

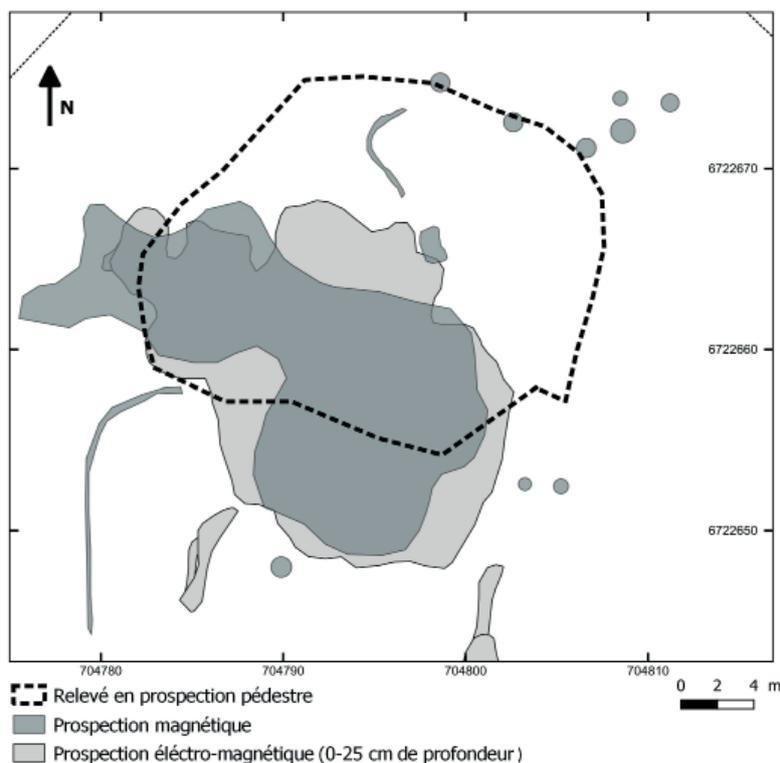


Figure n°9. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Comparaison entre les contours relevés en prospections pédestres et ceux relevés en prospections géophysiques (C. Sanchez, M. Berranger).

Une première campagne de fouilles s'est déroulée en 2021 en fonction de trois fenêtres de fouilles 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. 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. 10). Cela représente environ 90% de la surface de l'amas telle qu'estimée à partir des prospections géophysiques.

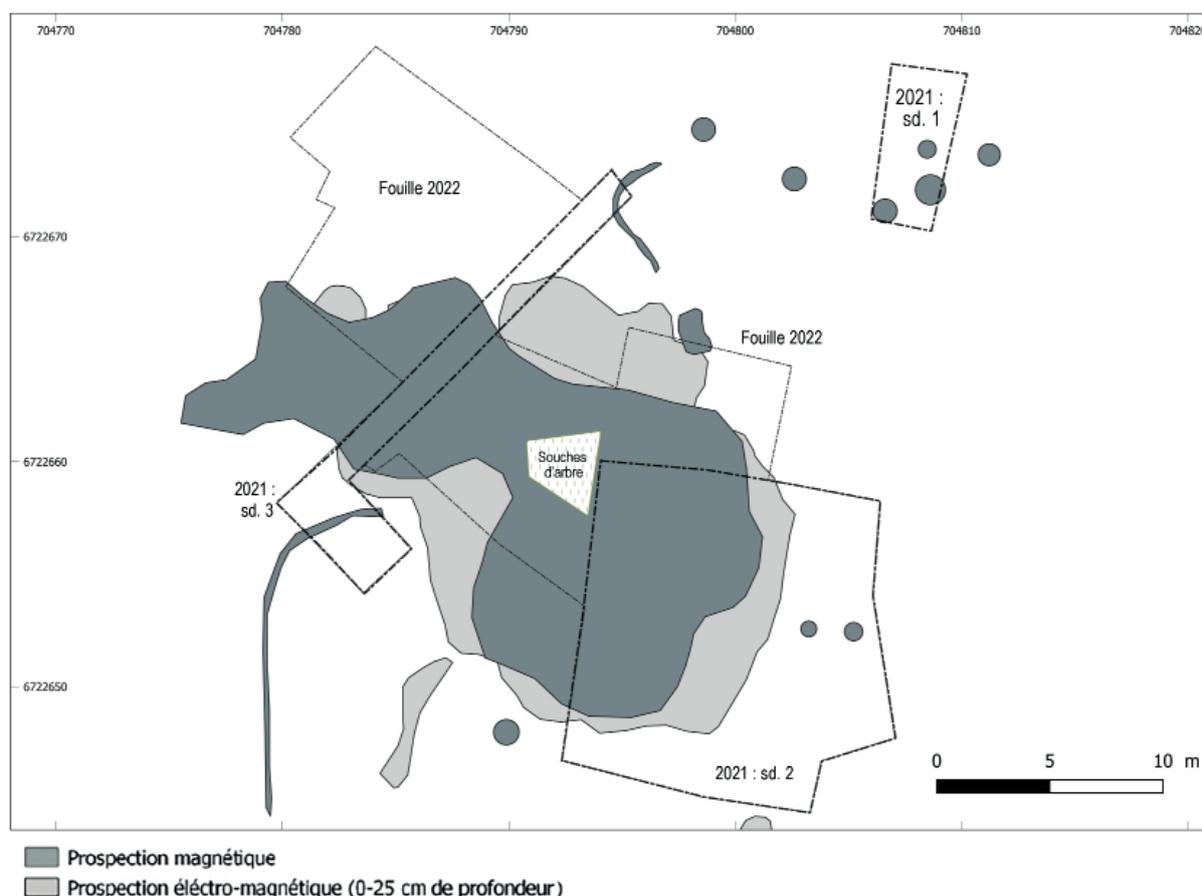


Figure n°10. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Implantation des sondages par année de fouilles, sur les anomalies géophysiques.

2.3. Méthodologie et enregistrements

2.3.1. Décapage : modalités d'apparition et d'étude des vestiges.

Le décapage a été réalisé les 17 et 18 mai, au moyen d'un tracto-pelle mis à disposition par la municipalité de Saint-Fargeau. Une première fenêtre, grossièrement quadrangulaire a été ouverte au nord du sondage 3. A cet emplacement le décapage a été interrompu sur les niveaux archéologiques qui livraient de gros blocs de scories ainsi que des concentrations importantes de déchets scorifiés de toutes tailles immédiatement sous le sol forestier (fig. 11). La plus faible concentration de déchets, puis leur absence à l'extrémité nord-est de ce secteur a permis d'envisager, dès le décapage, que les limites de l'amas avaient été atteintes dans cette zone.



Figure n°11. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Vue du niveau d'apparition des déchets au décapage au nord du sondage 3.

Le décapage a été poursuivi de manière à ouvrir la zone située entre les sondages 2 et 3 de 2021. L'enlèvement des couches archéologiques dans ce secteur a été complexe en raison de la présence de deux grands chênes avec un important réseau de racines. Il a fallu les contourner en réservant des banquettes de terre. La concentration de déchets s'est avérée bien moins importante, et le décapage a été mené jusqu'au terrain naturel. Les contours de creusements évoquant des trous de poteau sont apparus sur le terrain naturel argileux.

Une troisième extension de la zone de fouille a consisté en un élargissement du sondage 2 vers le nord. La suite des niveaux d'ateliers fouillés manuellement en 2021 a été retrouvée. Comme ces niveaux avaient déjà été étudiés en détail, le choix a été fait de les enlever mécaniquement de manière à mettre au jour d'éventuelles structures en creux visibles sur le terrain naturel. Deux zones de concentration particulièrement riches, l'une en charbon, l'autre en minerais ont été laissées en place de manière à être fouillées manuellement. La poursuite du décapage jusqu'au sol naturel n'a pas permis de mettre en évidence de nouvelles structures en creux.

L'ensemble des numéros d'US attribués cette année ont été numérotés en 400 afin de les distinguer des US attribuées l'année dernière (numérotées en 100, 200 et 300 de manière à se référer aux numéros de sondage).

En 2021 des prélèvements volumétriques avaient été réalisés afin de permettre des calculs de concentration de déchets au sein de l'amas. Deux demi-mètres cubes ont ainsi été intégralement prélevés et tamisés. Les résidus ont ensuite été pesés en distinguant les fragments de parois et de scories. Au sein du sondage 2, l'intégralité des déchets collectés dans les couches archéologiques a également été pesée en différenciant parois et scories. En 2022, ces prélèvements en volume n'ont pas été reconduits, cependant l'ensemble des déchets prélevés manuellement (mais non tamisés) a été pesé.

Les limites nord et est de l'amas semblent ainsi avoir été atteintes. L'atelier se poursuit vraisemblablement vers le sud-ouest, dans une zone plus dense en arbres et donc non accessible sans des travaux forestiers importants (fig. 10 et 11).

2.3.2. Enregistrement des données et photogrammétrie

Les relevés topographiques ont été réalisés avec un tachéomètre Leica, modèle TS02 (MSHE Claude-Nicolas Ledoux, USR 3124, Besançon) par Margaux Herbrich. L'implantation du site a été créée préalablement par le topographe Patrick Noguès (INRAP) avant la fouille. Les levés topographiques ont ensuite été réalisés durant la fouille en se basant sur trois stations. Les levés topographiques ont concerné les limites des sondages, les limites des unités stratigraphiques et les structures mises au jour. L'ensemble de la fouille est ainsi spatialisé sous un SIG. Cela a également permis de géoréférencer les modèles photogrammétriques et les photographies aériennes.

Des acquisitions photogrammétriques ont été réalisées pour les structures les plus significatives. Rappelons que la photogrammétrie est une technique de modélisation tridimensionnelle basée sur l'impact d'un changement de position de l'observateur, sur l'observation d'un sujet (principe de la parallaxe). Elle consiste à effectuer plusieurs mesures d'une scène acquises selon différents points de vue (fig. 12). La photogrammétrie est plus communément présentée par le principe de corrélation d'images sous logiciel. Le recours à cet outil de modélisation permet non seulement d'optimiser l'acquisition sur le terrain mais aussi de créer un modèle dont il est facile d'extraire des informations de dimensions et de volumes, nécessaire à l'étude du mobilier et des structures archéométrurgiques. La couverture photographique a été réalisée avec un appareil Lumix DMC TZ 80. Les bas fourneaux ont fait l'objet d'acquisition à différents états de fouilles. En laboratoire, une acquisition photogrammétrique a également été réalisée sur les scories piégées retrouvés dans les fours.

Les traitements photogrammétriques ont été réalisés avec le logiciel Agisoft Metashape (Professional Edition). Le premier traitement à effectuer est « d'aligner » les photos. Cette première étape consiste à comparer les photos entre elles pour reconnaître plusieurs ensembles de pixels homologues d'une photo à l'autre. Le logiciel va faire une sélection aléatoire de ces points remarquables en fonction de la précision que l'on choisit. Comme les photographies ont été faites avec un recouvrement minimum de 80%, avec un contraste suffisant et des cibles bien visibles, une précision moyenne ou haute suffit. Sachant que cette action n'influe pas sur la qualité du modèle mais seulement sur le nombre de pixels comparés d'une photo à l'autre. Durant ce traitement le logiciel va également estimer la position de chaque caméra, soit l'endroit d'où a été prise chaque photographie.

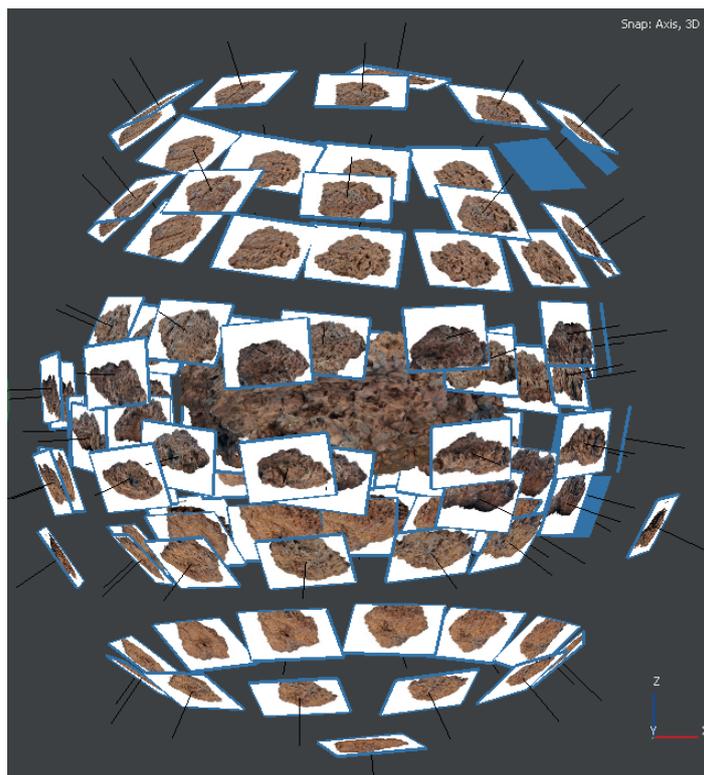


Figure n°12. Position des caméras relatives au modèle 3D d'une scorie piégée. Logiciel : Agisoft Metashape (M. Herbrich).

Le nuage de points actuel est très épars car il correspond seulement aux points de liaisons qui ont été mis dans l'espace (fig. 13). Puisque la position des photos dans l'espace est validée, la seconde étape est de construire un nuage dense. La qualité correspond cette fois-ci au nombre de pixels que le logiciel va inclure dans le modèle 3D. On peut alors s'orienter vers la qualité la plus haute tant que l'ordinateur supporte le traitement.

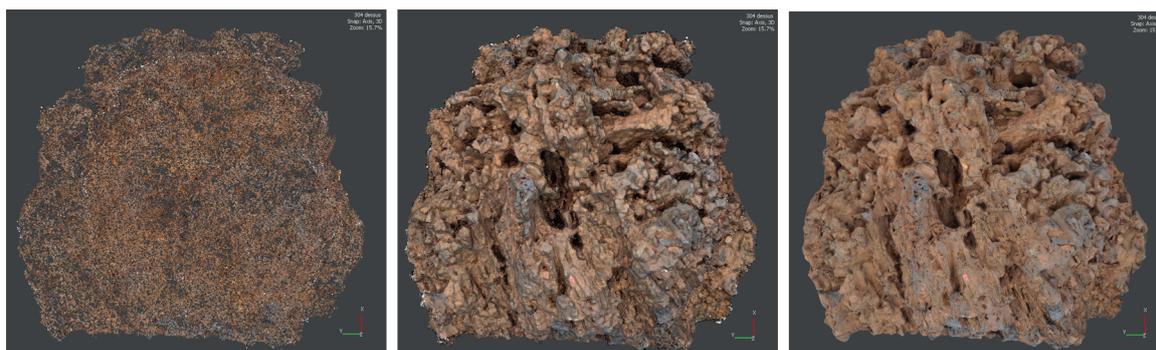


Figure n°13. Gauche : nuage épars ; milieu : nuage dense ; droite : modèle texturé. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich).

Le traitement suivant est la création d'un maillage pour créer un modèle 3D avec une « surface ». Comme source de données, c'est le nuage dense qui est utilisé car c'est celui qui présente le plus de points pris en compte. Les autres paramètres sont laissés par défaut. Deux nouveaux modèles sont créés : « ombré en couleur » et « ombré monochrome ». Chaque « triangle » qui compose le modèle à sa propre couleur échantillonnée depuis les photos. La qualité du modèle dépend du nombre de triangle créé pour faire le modèle. Peu de triangle induit peu de couleur.

Le modèle monochrome affiche tous les triangles de la même couleur avec un ombrage et permet de mieux observer la topographie du modèle. Le dernier traitement du modèle est la création d'une phototexture. Les paramètres sont laissés par défaut. On peut désormais afficher le modèle surfacique en « texturé ».

Une fois la création du modèle terminé, pour qu'il soit exploitable (prendre des mesures, calculer un volume) il faut le mettre à l'échelle. Deux techniques de mise à l'échelle sont possibles : avec une barre d'échelle ou avec des coordonnées géographiques.

La mise à l'échelle avec une barre d'échelle a été utilisée pour mettre le modèle de la scorie piégée à l'échelle. En laboratoire, la distance entre deux points caractéristiques de la scorie a été mesurée. Sur le logiciel on repère ces deux mêmes points, soit sur le modèle 3D, soit sur les photos directement, que l'on marque avec un repère. On va alors indiquer au logiciel la distance entre ces deux points. On utilise les outils « ajouter un repère » et « créer une barre d'échelle ». Il est possible de créer plusieurs barres d'échelles pour augmenter la précision et avoir un meilleur contrôle de la mise à l'échelle.

La mise à l'échelle par coordonnées géographiques présente l'avantage d'être en trois dimensions et de cette façon le modèle est déjà orienté. Cette méthode est la plus judicieuse pour une structure qui a une orientation spécifique dans l'espace, notamment en archéologie. Avant la prise des photographies, des cibles photogrammétriques avec un numéro ont été placées sur le terrain. Les cibles ont été relevées au tachéomètre. La technique dans le logiciel est la même que précédemment : on indique cette fois ci les coordonnées géographiques en X, Y et Z de chaque cible individuellement.

2.4. Description des vestiges fouillés en 2022.

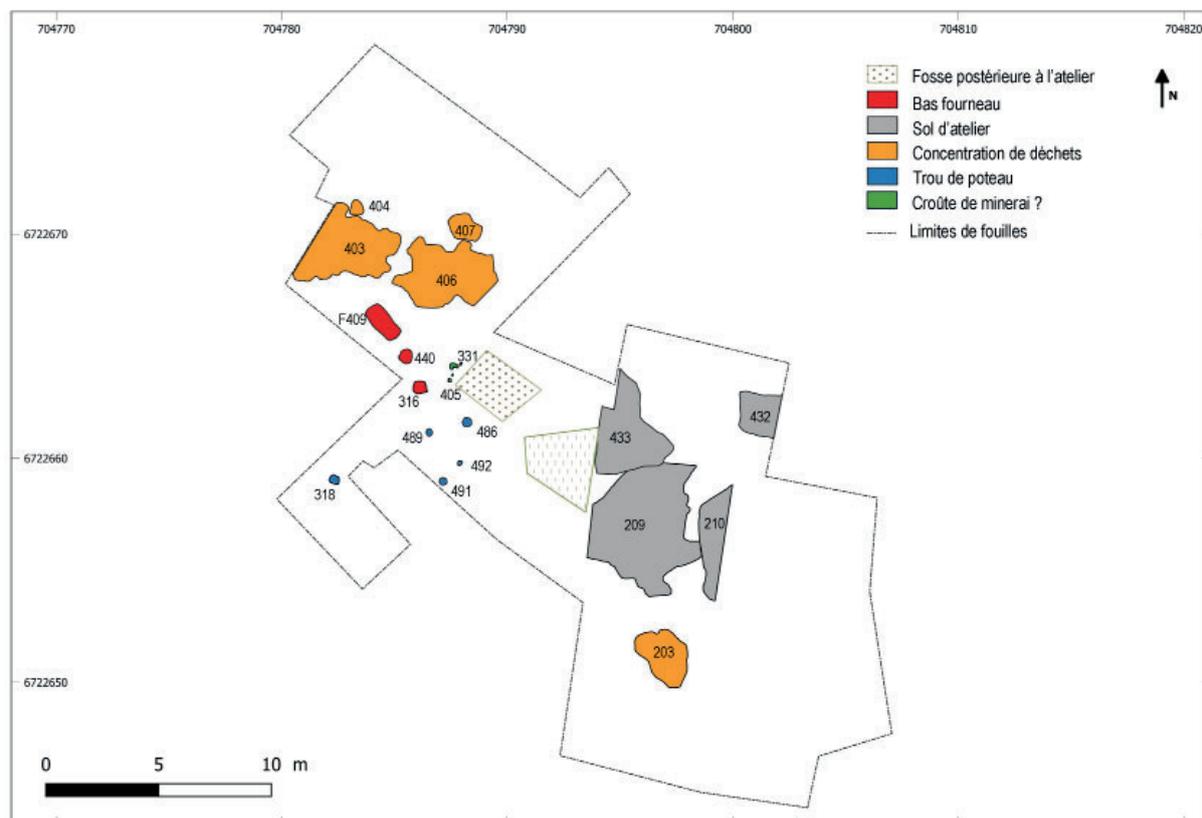


Figure n°14. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Plan général des vestiges (M. Berranger).

Une grande fosse quadrangulaire mesurant environ 2,60 m sur 2 m est implantée à peu près au centre du site. Ses contours rectilignes, son comblement relativement meuble, chargé en racines, évoquent un creusement récent, postérieur aux phases de fonctionnement de l'atelier. Elle a été nettoyée de manière superficielle, sans que du mobilier datant ne soit collecté. Les investigations n'ont pas été davantage poussées.

La description des vestiges (fig. 14) sera effectuée d'ouest en est, en commençant par la présentation des bas fourneaux, puis des zones de concentrations des déchets liés à la destruction de ces derniers. Les structures en creux identifiées en partie médiane de la zone décapée seront ensuite décrits, et les sols d'ateliers seront évoqués en dernier.

2.4.1. Au sud-ouest, une concentration de bas fourneaux : Fait 409

Le fait 409 est un ensemble d'unités stratigraphiques situé au sein de l'amas et matérialisant l'emplacement et la superposition de plusieurs structures métallurgiques identifiées par des vestiges de construction encore en place ou par des couches de remblaiement provenant de leur destruction (fig. 18). L'ensemble est localisé dans la partie occidentale de l'amas, à quelques mètres du bas fourneau 316 mis au jour en 2021. La séquence débute par la construction de la structure de combustion 470 et se termine par les vestiges du four 402.

Le four 470 (fig. 14)

La structure 470 est conservée sous la forme d'un creusement dans le substrat naturel (US 465), de forme globalement quadrangulaire et dont le fond et les bords sont recouverts par une couche de nature argilo-sableuse cuite (US 464 sur les bords, US 467 et 468 sur le fond). Ces éléments matérialisent la base d'une structure de combustion encastrée sur une quinzaine à une vingtaine de centimètres de profondeur. Elle est conservée de manière très partielle car un creusement plus profond (US 466) et des aménagements postérieurs ont détruit une grande partie de son fond et tout son côté sud-est.

Les bords du creusement US 465 n'ont pas été mis au jour car le placage argilo-sableux n'a pas été enlevé lors de la fouille, mais on peut déduire leur tracé à partir de la limite externe de la couche argilo-sableuse cuite qui les recouvre. Il s'agit d'une fosse globalement quadrangulaire, d'environ 1 m de largeur dans l'axe sud-ouest/nord-est (le seul mesurable puisque le côté sud-est est détruit) et d'au moins une vingtaine de centimètres de profondeur.

Un revêtement de nature argilo-sableuse recouvre le fond (US 467 et US 468) et la bordure (US 464) du creusement. Il a une coloration gris-bleuté assez sombre engendrée par un impact thermique dû au fonctionnement de la structure. En plan comme en coupe, la limite entre ce placage et la bordure du creusement est très nette et aucune rubéfaction de l'encaissant n'apparaît : il s'agit bien d'une couche appliquée sur les bords du creusement. En plan son épaisseur varie de 5 à 15 cm, ce qui est probablement dû à l'irrégularité du contour de la fosse. Aux endroits observés en coupe, le placage appliqué sur le fond paraît constitué de deux couches superposées de couleur différentes : à la base sur le fond du creusement l'US 467 de couleur gris-bleuté presque noire et la recouvrant l'US 468 de couleur orangée-beige terminée en surface par une strate centimétrique de couleur gris-bleuté. Chacune de ces deux strates mesure 2 à 4 cm d'épaisseur. La superposition de ces deux séquences d'impact thermique identifie une phase de réfection du revêtement du fond par application d'un nouveau placage (US 468 sur US 467). Sur la bordure du creusement, une seule couche gris-bleuté sombre est visible en coupe comme en plan. L'épaisseur du placage atteint 20 cm à sa base au raccord

avec le placage recouvrant le fond. Il est possible que cet épaississement soit dû à la réfection observée sur le fond ¹. Sur le côté nord-est, la strate gris-bleuté est surmontée par une strate de couleur jaune-orangé pâle qui pourrait provenir d'un impact thermique créé par les structures qui lui sont postérieures.

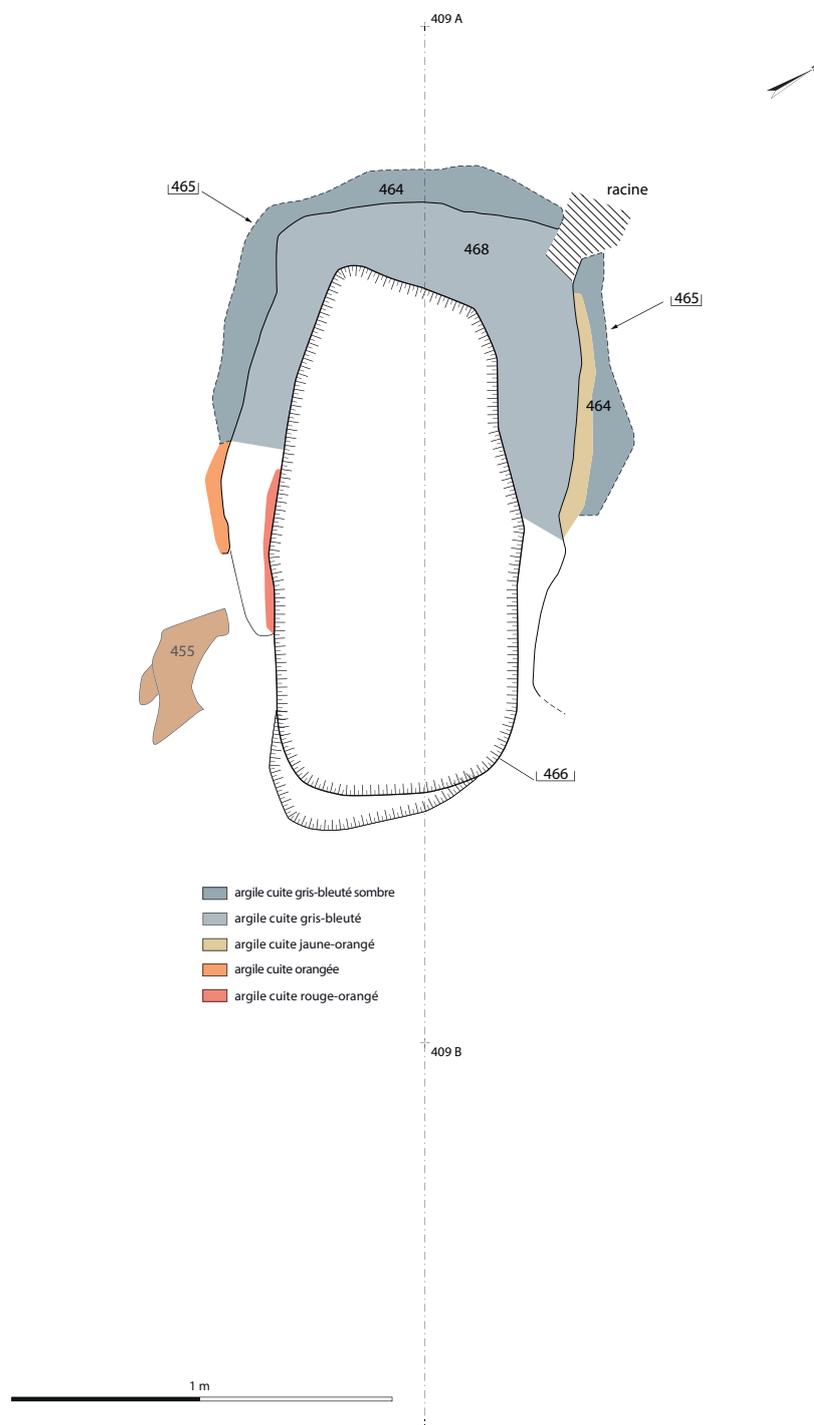


Figure n°15. Fait 409, relevé du four 470 (relevé et DAO : M. Leroy).

¹ À l'endroit de l'observation, les US 467 et 468 ne sont pas présentes à l'aplomb de l'US 464 : cet espace est occupé par une couche de composition hétérogène mélangeant des petits nodules de terre cuite gris-bleuté et jaune-orangé et des petits morceaux de charbon de bois dans un sédiment terreux brun-beige (US 469) qui paraît correspondre au remplissage d'un terrier qui a détruit cette partie du placage.



Figure n°16. Vue du fond de la structure 470, avec le creusement 466 en partie médiane (M. Leroy).

L'intérieur de la structure 470 présente la forme d'un U avec des parois globalement rectilignes et des angles arrondis du côté conservé (fig. 16). La largeur intérieure dans l'axe nord-est/sud-ouest est d'environ 0,80 m. Sur le fond, la surface du placage argilo-sableux cuit le plus ancien (US 467) est située à une vingtaine de centimètres sous le niveau d'arasement, et la surface du placage le plus récent (US 468) à une quinzaine de centimètres. Sur la coupe réalisée, le fond paraît légèrement incliné vers le centre non conservé de la structure. Les deux bords sud-ouest et nord-est se prolongent sur une soixantaine de centimètres. L'arrêt brutal de la coloration gris-bleuté d'impact thermique sur le fond et sur les flancs pourrait indiquer qu'une paroi existait du côté sud-est à environ 0,75-0,80 m de distance du bord nord-ouest, mais aucun indice n'en a



Figure n°17. Vue en coupe des US464-465 (M. Leroy).

été observé. La surface intérieure de la structure était donc probablement de l'ordre de 0,5 m². Le façonnage de la surface du placage argilo-sableux US 464 formant la paroi n'est pas très régulier mais aucune trace d'arrachage n'est perceptible (fig. 17). Il n'y a donc pas d'indice assuré qu'une partie de l'épaisseur pourrait manquer. Cette surface bien que durcie n'est pas

vitriifiée, ni scorifiée. Aucun élément pouvant se rapporter au fonctionnement de la structure n'a été identifié, le fond et la base des parois étant recouverts par une épaisse couche de morceaux de parois de four comblant le creusement qui s'implante au milieu de la structure 470 (ci-dessous).

La coloration gris-bleuté de l'impact thermique marquant le fond et les parois de la structure l'identifie comme une structure de combustion et probablement, en raison du contexte, comme un four métallurgique. L'absence de dégradé de coloration et de vitrification de surface est probablement dû au fait que ce qui est conservé est la base encastrée du four. Les destructions engendrées par les aménagements qui lui succèdent et l'absence de reliquat de fonctionnement rendent difficile l'identification plus précise de la structure.

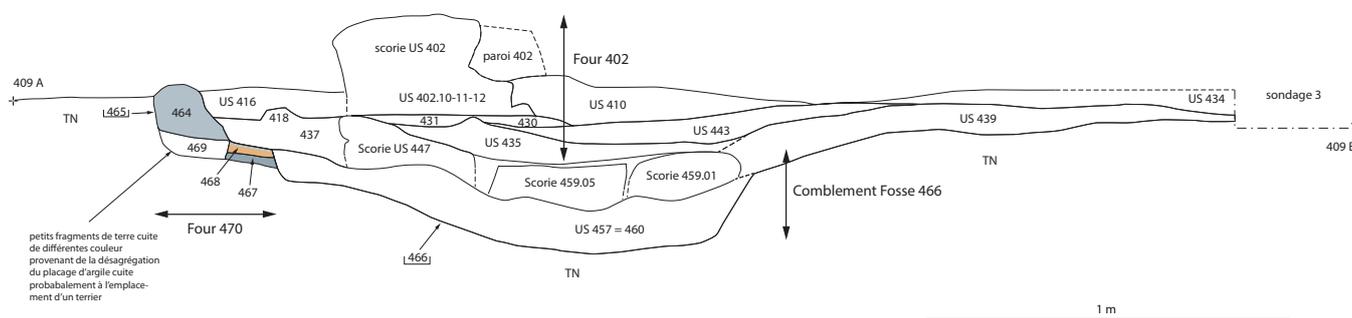


Figure n°18. Fait 409, relevé en coupe (relevé et DAO : M. Leroy).

Le creusement 466 et son comblement (US 457, US 447, US 459, US 437)

Un creusement de forme oblongue aux profils en cuvette (US 466) recoupe le fond de la structure 470 en s'étendant au-delà de ses limites au sud-est. Il entaille fortement le substrat naturel. L'excavation mesure environ 1,40 m de longueur (nord-ouest/sud-est) pour une largeur de 0,65 m au centre et de 0,40 m et 0,60 m à chacune de ses extrémités. Ces dernières ont un contour arrondi. La profondeur au centre atteint 0,45 m par rapport au niveau d'arasement de la structure 470 et environ 0,30 m par rapport à la surface conservée de l'US 468. Les profils longitudinaux et transversaux sont fortement concaves, mais le profil longitudinal présente une sorte de ressaut à l'endroit où le creusement recoupe le fond de la structure 470 avant d'être plus fortement concave. La surface occupée par le creusement est d'environ 0,4 m². Le fond et les bords du creusement ne portent aucune empreinte d'impact thermique.



Figure n°19. Vue de l'US457 à différents stade de fouille. De grosses branchettes de charbon de bois sont visibles sur le cliché de droite (M. Leroy).

Le comblement est constitué par une épaisse couche de fragments et de résidus granuleux de terre cuite (US 457 = 460), présentant différentes colorations (gris-bleuté, jaune-orangé, rouge-orangé), au sein desquels sont dispersés de gros morceaux pluricentimétriques de charbon de bois (fig. 18). Ces fragments et résidus de terre cuite proviennent clairement de la destruction de parois de four métallurgique. Cette couche est de même nature que celle qui s'étend au sud-est au-delà des limites du creusement (US 439, voir ci-dessous) : il pourrait donc s'agir de la continuité de la même couche. La surface de cette couche reproduit le même profil concave que le creusement qu'elle remplit. À sa surface, sont posés plusieurs ensembles de scories (US 437, US 447, US 459) qui appartiennent à plusieurs scories de fond de four à structure alvéolaire riche en empreintes et inclusions de charbons de bois (type F6) (fig. 20 et 21).



Figure n°20. Vue des scories de fond de four US 437, 447 et 459 comblant le creusement 466 (M. Leroy).

- US 447 : plusieurs blocs de scorie de taille pluridécimétrique ainsi que des fragments pluricentimétriques (une vingtaine de pièces, 17 645 g), sans cassure fraîche ce qui semble indiquer qu'il ne s'agit pas d'un unique bloc de scorie mais plutôt d'un ensemble de fragments disparates, donc se trouvant là en position secondaire. Au moins deux de ces blocs, l'un possédant une face courbe en appui (avec peut-être sur un bord une échancrure courbe pouvant se rapporter à l'empreinte d'un orifice de ventilation) et un autre montrant un faciès de petites coulures tortueuses opposé à une strate de terre cuite, sembleraient pouvoir se placer en position verticale : ils seraient donc initialement en appui contre une bordure de cuve et non pas contre un fond, ce qui confirmerait que ces scories sont en position secondaire. Cette couche renfermait des morceaux pluricentimétriques à décimétriques de charbon de bois comme dans l'US 457.
- US 459 : plusieurs blocs de scorie de taille pluridécimétrique ainsi que des fragments pluricentimétriques (une trentaine de pièces, 37 300 g). Aucun bloc n'est complet. Le plus gros (bloc n° 459.05) mesure environ 340 x 200 x 140 mm (18 000 g) et a une polarité convexe/concave, mais l'orientation est difficile à établir ; la face convexe est recouverte d'éléments agglomérés provenant de la couche US 457 ; les cassures montrent des empreintes de charbon de bois. Le bloc n° 459.01 est une portion de scorie concave-convexe (260 x 280 x 120 mm, 7 700 g) retrouvé face convexe au-dessus ; beaucoup d'empreintes de charbon de bois sont

visibles sur les cassures et les surfaces. Il ne paraît pas y avoir de remontage entre les différents blocs formant cette US.

- Les US 437 et 418 : situées dans l'espace entre les blocs de scories composant l'US 447 et la paroi US 464 du four 470, reposent à la fois sur le niveau de comblement US 457 et sur le fond cuit US 468 de la structure 470. Elles pourraient participer au comblement-remblaiement de la partie supérieure du creusement 466 comme les US 447 et 459. Les US 418 et 437 pourraient en fait n'être que la même unité stratigraphique :

- US 437 : une dizaine de fragments pluricentimétriques à décimétriques de scories grises rouillées de type F6 (3 000 g) et quelques fragments pluricentimétriques de terre cuite (parois de four).

- US 418 : fragments centimétriques à décimétriques de scories avec empreintes de charbon de bois (NR = 35, 4 300 g) et petits écoulements tortueux (NR = 2, 65 g).

La nature de la structure est difficile à définir. Les éléments contenus dans son comblement proviennent clairement de la destruction de four(s) de réduction (parois et scories). Les scories sont des fragments de blocs agglomérés dans le fond de cuve ou dans une fosse sous la cuve (scories piégées de type F6). Elles appartiennent à plusieurs blocs différents. Il s'agit donc de pièces en position secondaire, rejetées dans le creusement 466. Il est plausible d'envisager que le creusement puisse être l'emplacement d'une ou de plusieurs fosses successives recueillant les scories d'un ou de plusieurs fours de réduction, puisque de très nombreux exemples (et notamment sur ce site, les fosses 316 et 446) montrent que ces fosses ne sont pas obligatoirement marquées par des colorations d'impacts thermiques. Ces fours auraient été entièrement démantelés et une partie des éléments auraient servis à combler l'excavation en résultant.



Figure n°21. Vues de l'US 439 avant fouille et en cours de fouille. Le four 446 est visible au premier plan (M. Leroy et L. Belhalde).

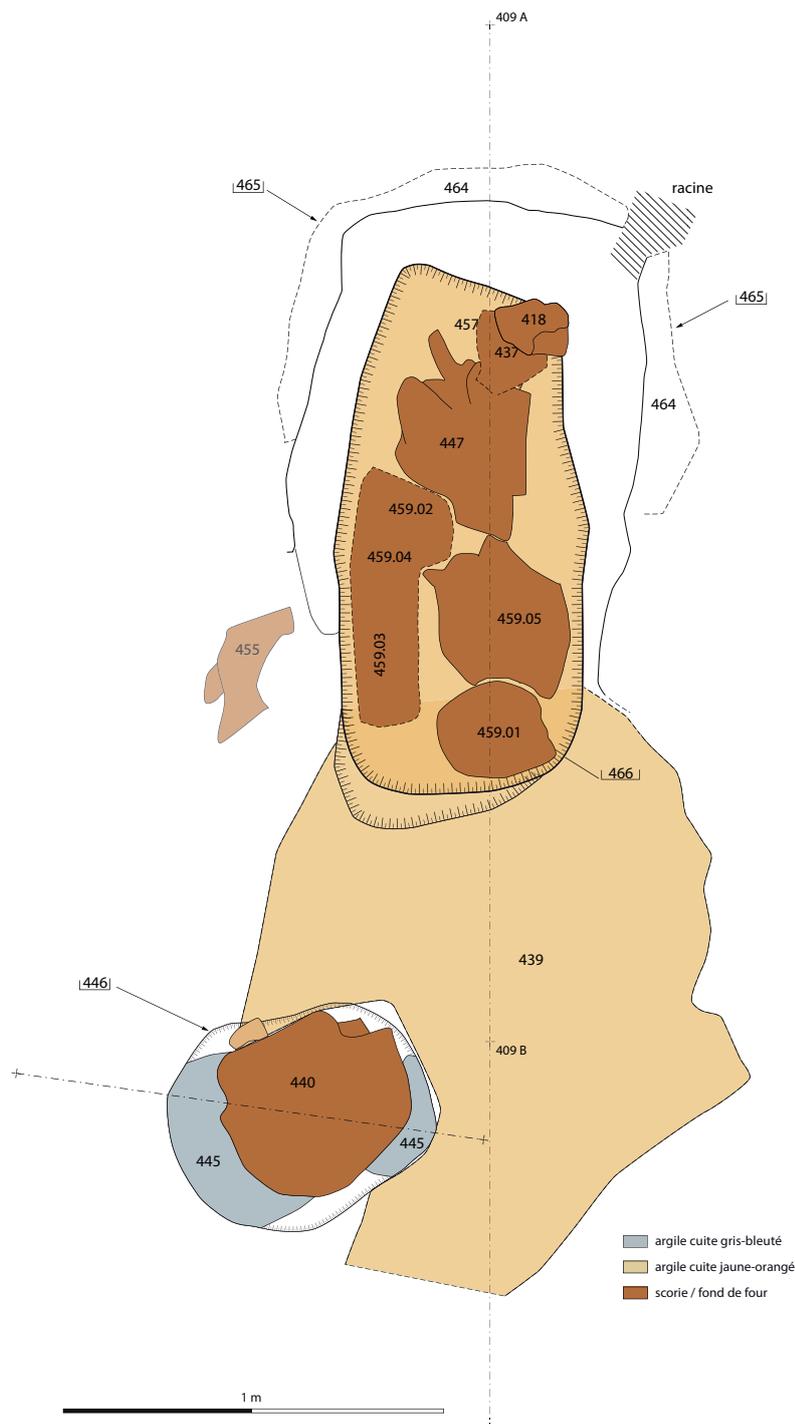


Figure n°22. Fait 409. Comblement du creusement 466 et four 446 (relevé et DAO : M. Leroy).

L'US 439 et l'US 442

L'US 439 est une couche de fragments de paroi de four en terre cuite présentant différentes colorations d'impact thermique, recouvrant tout l'espace à l'avant du creusement 466 (fig. 21 et 22). Elle contient des inclusions de charbons de bois, mais aucune scorie n'y a été observée. En revanche, deux petits morceaux de ce qui ressemble à du minerai cuit magnétique y ont été prélevés (20 et 30 g). Cette couche est très similaire à l'US 457 (= 460) qui comble le creusement US 466. Elle pourrait en être la continuité à l'extérieur du dit creusement. Elle a été reconnue sur une longueur d'environ 1,50 m au-delà du creusement 466 et sur une largeur

d'environ 1,20 m. Elle ne repose pas directement sur le substrat naturel, mais sur une couche de sédiment charbonneux d'épaisseur centimétrique, US 442, qui pourrait correspondre à un horizon d'occupation recouvert par les éléments de destruction de four. L'US 439 est recouverte par les US 434, 435 et 443. Ces deux unités stratigraphiques sont percées par la fosse US 446 dans laquelle était encastré le bloc de scorie US 440 (ci-dessous).

Le four 446 (US 445 et 440) (fig. 20 à 23)

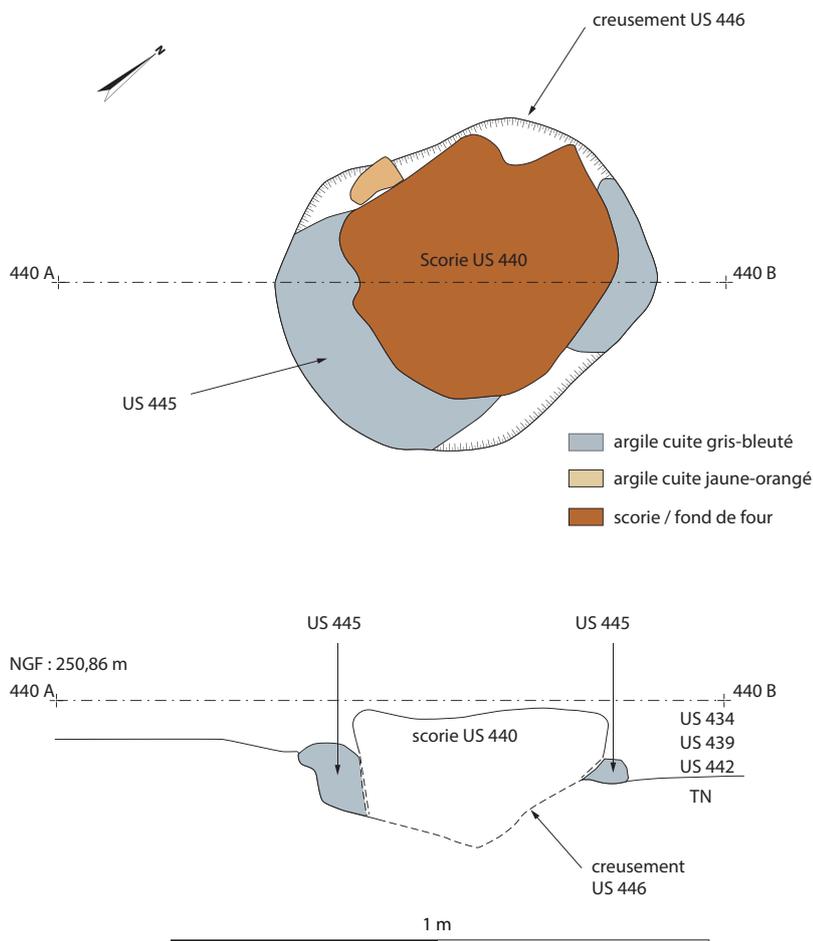


Figure n°23. Relevé en plan et en coupe du four 446 (relevé L. Belhalde, DAO M. Leroy).

Le creusement US 446 se situe à l'extrémité sud de l'extension des US 439 et 442 qu'il perfore. Il leur est donc postérieur, ce qui signifie qu'il est également postérieur au comblement du creusement 466, ainsi qu'au four 470. Le creusement est de forme subcirculaire mesurant 0,70 m dans l'axe nord-sud sur 0,60 m dans l'axe est-ouest. Sa profondeur par rapport au sommet de l'US 439 est d'une vingtaine de centimètres. Il est en grande partie creusé dans le substrat naturel. Son profil est concave, moulé au revers du bloc de scorie qu'il contenait. Sur sa bordure est plaquée une couche argilo-sableuse de couleur gris-bleuté à jaune-orangé résultant d'un impact thermique (US 445), non intégralement conservée sur tout le périmètre (essentiellement dans un tiers sud et dans un quart nord-est). Son épaisseur varie d'une dizaine à une quinzaine de centimètres. Dans son état de découverte, cette bordure forme une couronne non continue d'éléments fracturés et dissociés, mais probablement originellement continus. Le placage n'était pas conservé jusqu'à la base du creusement et cette base ne portait pas de coloration d'impact thermique. L'espace délimité par le placage argilo-sableux est occupé par un bloc de scorie, US

440. De forme plano-convexe, il mesure 500 sur 450 mm pour une épaisseur variant de 170 à 200 mm, et pèse 65 kg. Des morceaux du fond de la fosse de creusement sont restés adhérents au bloc de scorie et présentent localement une coloration beige-rosâtre. Un côté du bloc de scorie paraît moins épais que l'autre. La surface supérieure est constituée de petites coulures. Les cassures révèlent une structure moyennement dense avec de nombreuses empreintes de morceaux pluricentimétriques de charbon de bois. Cette scorie peut être interprétée comme un bloc de scorie piégée en place dans le fond de la fosse où elle s'est agglomérée. La structure 446 et son contenu correspondent donc à l'emplacement d'un four de réduction.



Figure n°24. Four 446. A gauche vue du creusement 446 bordé de fragments de paroi cuite. A droite, scorie US440 (M. Leroy, M. Berranger).

La séquence US 435 - US 431 - US 443 - US 430 - US 402 : les vestiges d'un four de réduction (St 402) (fig. 25)

Les US 447 et 459 sont surmontées par une couche argilo-sableuse cuite (US 435), de couleur gris-bleuté-beige, dont la surface a un modelé concave et présente un aspect durci. Son épaisseur qui s'affine sur les bords varie de 5 à 10 cm. La morphologie et l'état de surface évoquent un aménagement de sole d'une structure de combustion. Elle occupe une partie de l'espace (0,65 sur 0,50 m) situé entre les bords latéraux arasés sud et nord du four 470 sur une partie desquels elle vient s'appuyer. Une fine couche argilo-sableuse cuite de couleur gris-beige (US 431), recouvrant son extrémité nord-ouest, évoque un rechapage régularisant sa surface. Du côté opposé, son extrémité sud-est s'appuie sur l'US 439 : elle lui est donc postérieure.

Le fait que les écoulements de scorie composant la base de l'US 402 (ci-dessous) viennent s'appuyer contre la surface de l'US 431 confirme qu'il s'agit bien d'une sole, ce qui induit que toute la séquence stratigraphique composée des US 402, 410, 419 et 431-435 représente les vestiges en place d'un four de réduction.

L'US 402 est un ensemble de scories associées à des morceaux de parois de four qui se place au sommet de la séquence stratigraphique composant le fait 409 (fig. 17). Elle est composée d'un bloc de scorie massif (US 402.01), de plan subcirculaire (400 x 400 mm), épais de 200 mm et pesant 27 kg, qui repose sur une accumulation d'écoulements tortueux moulant des empreintes de charbon de bois (US 402.04, 402.10, 402.11, 402.12, 430) qui viennent d'appuyer sur la surface de la sole d'argile cuite US 431-435 (fig. 24). Plusieurs autres écoulements de scories moulant des empreintes de charbon de bois sont situés sur la périphérie du bloc (US 402.02, 402.03, 419). Sur cette périphérie (US 402.02), un morceau de paroi en argile cuite (taille décimétrique, épaisseur 55-60 mm, 1540 g), de couleur gris-beige et à surface vitrifiée, disposé verticalement la face vitrifiée tournée contre le bloc de scorie, paraît être le seul élément

conservé en place d'une bordure intérieure de cuve ². L'épaisseur de la vitrification de surface atteint 20 à 25 mm ³. Parmi les fragments de terre cuite recueillis dans l'US 402.02 figure une pièce portant une échancrure courbe avec une lèvre vitrifiée qui fait penser à l'extrémité d'un orifice de ventilation.

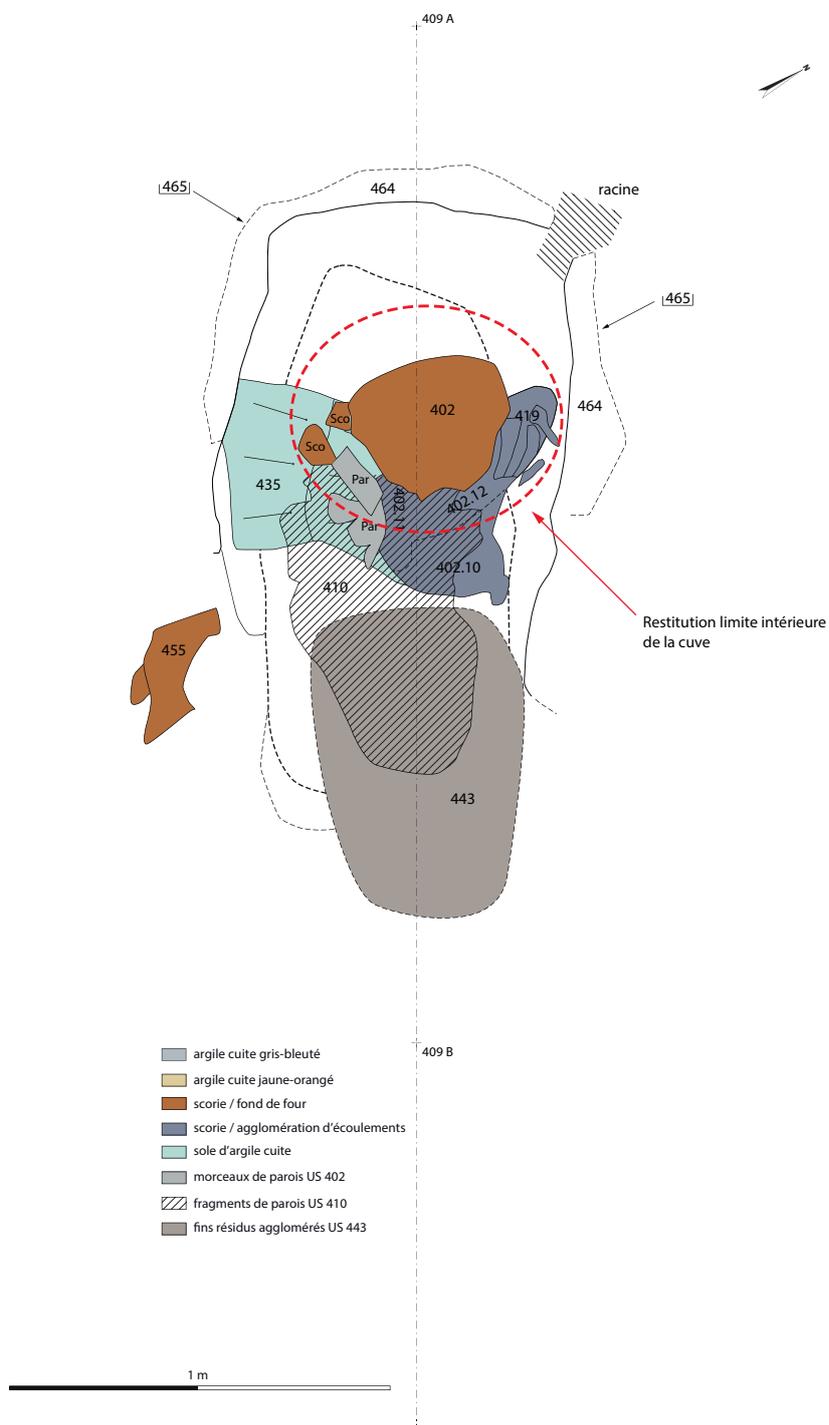


Figure n°25. Fait 409, sole cuite, scories et morceaux de parois en place et effondrés matérialisant l'emplacement du four 402 (relevé et DAO : M. Leroy).

2 Il faudrait peut-être y ajouter le fragment de scorie de taille décimétrique présent dans l'US 402.03 (contre le bord sud du bloc) auquel adhère une strate de terre cuite provenant probablement de ce même revêtement.

3 La pâte de nature argilo-sableuse contient visuellement des petits éclats plurimillimétriques de scorie et de silex, mais aussi des petits nodules de terre cuite.



Figure n°26. F409, le four 402 à différentes étapes de fouilles (M. Leroy).

La surface supérieure globalement plane du bloc de scorie et sa face inférieure, composée d'écoulements tortueux verticaux moulant des branchettes de charbons de bois de dimensions pluricentimétriques disposées horizontalement, indiquent que celui-ci est dans la position dans laquelle il s'est accumulé et solidifié. La continuité de faciès avec les accumulations d'écoulements sous-jacents au bloc et le fait qu'ils s'appuient et s'écrasent sur la sole US 431-435 concourent avec les observations précédentes (bordure de paroi verticale, bloc de scorie en position) à voir dans cet ensemble le contenu d'une cuve de four de réduction en position primaire.

L'essentiel du pourtour de la cuve n'est donc pas conservé. Certains éléments ont pu être enlevés lors du décapage. Cet ensemble (et particulièrement le bloc de scorie) est apparu à l'intérieur de la couche (ou des couches) constituant l'amas de déchets. La surface supérieure du bloc de scorie est conservée à une vingtaine de centimètres au-dessus du substrat naturel et du niveau d'arasement du four 470. Le bloc de scorie et les écoulements sous-jacents ne comblent donc pas une fosse-réceptacle creusée dans le sol. La cuve était donc construite presque entièrement au-dessus du sol. Une couche de fragments de paroi de terre cuite (US 410), épandue au sud-est des US 402, provient probablement de la destruction de la paroi. Elle repose sur une couche indurée d'épaisseur pluricentimétrique (US 443), composée d'un agglomérat de petits fragments centimétriques et infra centimétriques de scories écoullées tortueuses, de nodules de terre cuite et de particules de charbons de bois, soudés par des hydroxydes de fer, qui recouvre elle-même la surface de la sole US 435 en avant des écoulements de scories US 402.10. Cette couche indurée peut représenter un niveau de fonctionnement associé au four 402. Ces observations stratigraphiques indiquent qu'au moins cette partie du fourneau n'était pas encastré (ou très faiblement).

Synthèse : une succession de fours de réduction au même emplacement

La séquence stratigraphique constituant le fait archéologique 409 peut être restituée de la façon suivante :

1°) Implantation du four 470 : fosse d'implantation (US 465) et aménagement du fond (US 467, puis réfection US 468) et de la base de la paroi (US 464) ; l'US 442, couche charbonneuse conservée au sud-est et recouvrant le substrat naturel, pourrait être un reliquat de la couche d'occupation associée ; aucun autre reliquat de fonctionnement n'est conservé.

2°) Creusement de la fosse 466 qui recoupe le fond et la partie est-sud-est du four 470 ; aucun niveau et reliquat de fonctionnement ne lui est associé ; compte tenu des éléments qui participent à son comblement, on peut émettre l'hypothèse qu'il s'agit de la fosse-réceptacle des scories d'un ou de plusieurs fours de réduction (four à scories piégées), totalement démantelé(s).

3°) Comblement de la fosse 466 avec des morceaux de parois de four détruites (US 457) et des morceaux de blocs de scories du type piégées en fosse (US 447 et 459) ; ces éléments peuvent provenir du four ou des fours de réduction détruit(s) ; la couche de morceaux de parois détruites s'étend bien au-delà au sud-est (US 439) au-dessus du niveau d'occupation antérieur (US 442).

4°) Implantation d'un four de réduction à scories piégées dans la zone occupée par l'US 439, dont sont conservés la fosse-réceptacle des scories (US 446) avec sa bordure d'argile cuite (US 445) et le bloc de scorie qui s'y est aggloméré (US 440).

5°) Construction d'un four au sommet du comblement du creusement 466 dont est conservé une partie de la sole (US 431-435) et le contenu de scories (US 402, 419, 430), mais pas la cuve dont il ne reste qu'un morceau du revêtement intérieur en place et des fragments effondrés à l'avant des scories (US 410). Compte tenu dans sa position altimétrique, la base de ce fourneau n'est que très faiblement encastrée. Le contour du bloc de scorie 402.01 et les limites d'extension des US 402.10-11-12 et 419 dessinent le négatif d'une cuve sub-circulaire.

On peut donc considérer que les couches de parois de cuve de fourneau effondrées et étalées au nord-ouest et au nord-est du fait 409 (US 403 et 406, description ci-dessous) proviennent de la destruction de ces différents fourneaux successifs.

2.4.2. Au nord : les niveaux d'accumulation de déchets de four (US 403-404-406-407-408)

Ce groupe d'US correspond à des concentrations d'accumulation de déchets centimétriques à pluridécimétriques constituées principalement de parois scorifiées et d'une proportion moindre de fragments de scories. Ces déchets sont posés directement sur le sol naturel argileux et ils sont emballés dans un sédiment brun-rougeâtre argileux (fig. 27-29-30).

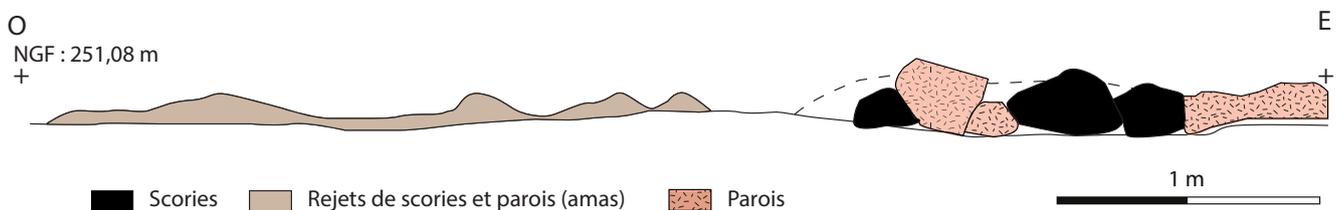


Figure n°27. US403 : coupe est-ouest (relevé : L. Belhalde ; DAO : M. Berranger).

La subdivision en différentes US correspond à l'individualisation de poches de déchets parfois séparées par du vide (fig. 14). Certains blocs particulièrement massifs se sont également vus dotés d'un numéro particulier (US 404). Les US 403 et 406 occupent chacune environ 10 m², sont de largeur comparable et s'alignent en fonction du même axe.

Elles sont séparées l'une de l'autre par une bande vide de déchets d'1,20 m de largeur maximum, peut-être créée artificiellement lors du décapage. L'US 407 se situe immédiatement au nord de 406 et correspond probablement à une subdivision artificielle. L'ensemble de ces unités est cependant vraisemblablement de même nature, et peut être interprété comme le rejet des cheminées détruites et des scories démantelées issues



Figure n°28. US403 - détail (M. Berranger).

des bas fourneaux de l'atelier. Ces accumulations successives semblent s'être développées en s'étalant dans l'espace plutôt qu'en s'accumulant en épaisseur. Il n'est pas possible d'appréhender leur enchaînement chronologique, ni le nombre d'épisodes de rejets dont elles résultent.

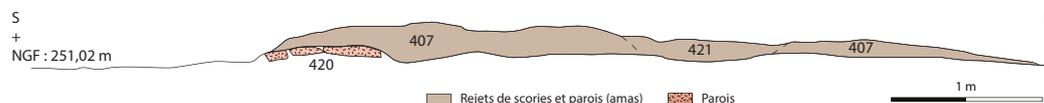


Figure n°29. US407 et 421, coupe nord-sud (Relevé : B. Hérou, M. Berranger, DAO : M. Berranger).

L'ensemble de ces US contenait au moins 950 kg de parois scorifiées mesurant de 5 à 40 cm de côté. 382 kg de blocs de scories fragmentées y ont été prélevés. La présence de quelques fragments de charbon de bois centimétrique peut être notée, mais de manière générale ils se sont avérés peu fréquents. Malgré l'attention portée à la collecte de ce type de déchet, les fragments de minerais sont quasiment absents, sauf dans l'US 406.



Figure n°30. Vue générale de l'US403 vers l'est. Concentration de fragments de blocs de parois scorifiées. La concentration de four F409 est visible en haut à droite de la photo (M. Berranger).

2.4.3. Au sud : une série de trous de poteau

En 2021 un trou de poteau (US 318) avait été mis au jour à l'extrémité sud-ouest du sondage 3. De forme sub-circulaire, il mesure 0,40 à 0,45 m de diamètre, pour une profondeur dans le substrat de 0,38 m. Malgré l'extension de la tranchée de sondage vers le sud, aucun autre trou de poteau n'avait été mis au jour (fig. 14).

Cette année, l'ouverture plus large de la zone de fouille a permis de mettre au jour quatre trous de poteaux supplémentaires. Deux (US 486 et 489) se situent dans l'alignement de celui fouillé en 2021. Ils sont légèrement plus petits, leurs creusements étant de 0,25 m de diamètre sur 0,25 m de profondeur. Deux autres trous de poteau US 491 et 492, mesurent moins d'une vingtaine

de cm de diamètre pour une dizaine de cm de profondeur. Aucun plan de bâtiment cohérent ne peut être restitué sur la base de ces creusements. Ils se situent néanmoins en bordure de décapage, il est donc possible que ces éléments s'organisent avec d'autres structures situées hors emprise de fouille.

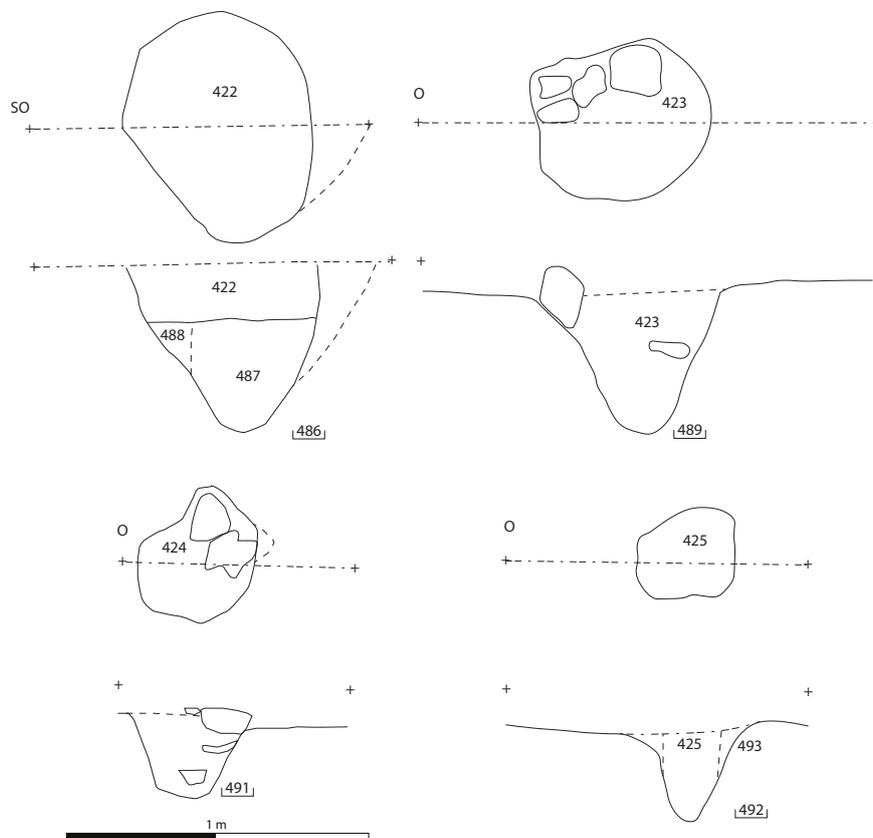


Figure n°31. Relevé en plan et en coupe des trous de poteau US486, 489, 491 et 492 (Relevés : S. Saves, L. Belhalde, C. Batoz, DAO : M. Berranger).



Figure n°32. Vues de coupes de trous de poteaux, de gauche à droite : US486, US489 et US491 (S. Saves, M. Leroy).

A proximité immédiate des fours et des trous de poteau ont été mis au jour des poches de résidus de couleur violacée, situés immédiatement à la surface du substrat (fig. 14). Visuellement ces éléments évoquent un bloc lithique fragmenté en plusieurs morceaux, avec un élément principal fouillé en 2021 (US331) mesurant environ 20 sur 12 cm et ne dépassant pas 2 cm d'épaisseur.

La texture est sableuse et se délite. En l'état il est difficile d'identifier ce matériau. Il peut s'agir de résidus de construction des fours ou de préparation de minerai, voire de stockage de celui-ci à proximité des fours. La couleur violacée témoigne d'un impact thermique. La continuité de cette poche, dénommée cette année US405, a été fouillée cette année (fig. 33). Elle se présente sous forme de petites poches rougeâtres mesurant de 10 à 15 cm de côté.



Figure n°33. Détail de l'US405 (M. Berranger).

2.4.4. A l'ouest : les sols d'ateliers

En 2021, une superposition de sols d'ateliers correspondant à des lambeaux de sol argileux marbrés de rouge et de noir, comprenant des poches de poudre de minerais ou de charbons inégalement réparties, avaient été fouillés manuellement. Au moins deux grands états avaient été individualisés. Cependant l'irrégularité de ces lambeaux de sols, plus ou moins compacts, imbriqués les uns dans les autres ne permet pas réellement d'individualiser des niveaux de sols bien distincts. Des zones concentrant du minerai sous forme de poudre, et d'autres plus riches en charbons avaient été observées.

La continuité de ces niveaux a été documentée cette année, lors de l'extension du décapage vers le nord. Ces niveaux ayant déjà été étudiés, ils ont été enlevés à la pelle mécanique, afin de mettre en évidence d'éventuelles structures sous-jacentes. Deux lambeaux ont été laissés en place afin d'être étudiés manuellement. Il s'agit au nord-ouest de l'US 433, qui correspond à un niveau de sol d'une épaisseur d'environ 5 cm, comprenant des scories centimétriques à pluri-centimétriques emballées dans de l'argile grisâtre. Ce niveau est très charbonneux et il a été possible de réaliser un prélèvement d'environ 4 l. de charbon pour études anthracologiques (fig. 36).

A l'opposé, au nord-est, c'est un lambeau de sol rougeâtre qui a été laissé en place (fig. 34). Il s'agit d'un lambeau mesurant de 70 à 80 cm de large, préservé sur une longueur d'environ 1,20 m. Il est constitué d'un sol taché par de la poudre de minerai grillé mêlée avec l'argile du sol naturel (US 432-458). Les niveaux d'abandon (US 461) reposent directement sur ce sol.

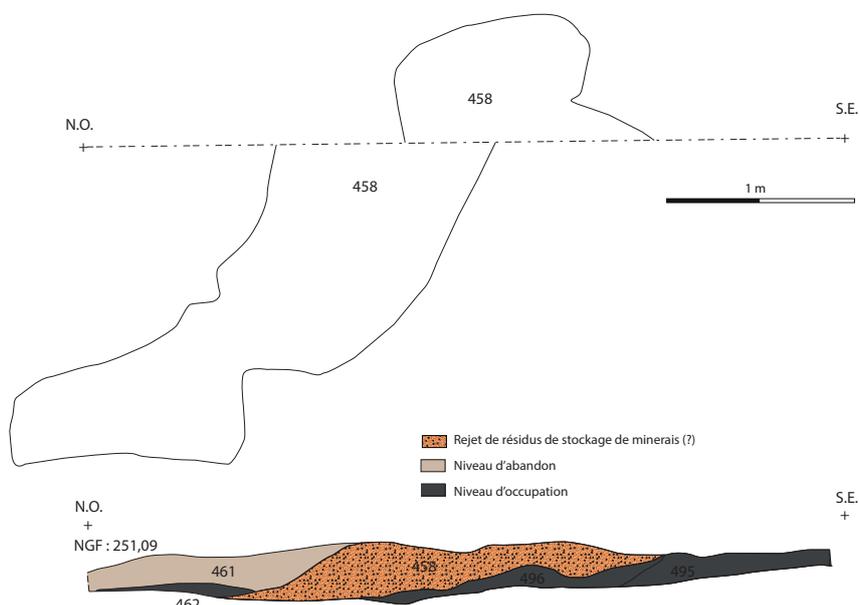


Figure n°34. Relevés en coupe et en plan de l'US 458 (Relevé :L. Belhalde, S. Saves, DAO : M. Berranger).

2.4.5. Les coupes stratigraphiques dans l'amas.

Trois coupes ont été réalisées au sein de l'amas (fig. 35-36). Les coupes 1 et 2, orientées NE/SO, sont situées sur un même axe, dans la continuité, avec un décalage d'environ 4 m. Une troisième coupe orientée grossièrement E/O est située sur une des bordures les plus septentrionales de l'amas.

Les coupes 1 et 2 documentent environ 15 m de longueur de stratigraphie, sans que les bords de l'amas n'aient été atteints. On observe l'existence de séquences présentant des colorations différentes qui ont conduit à individualiser des US distinctes. Il s'agit de niveaux épais de quelques centimètres à une quinzaine de centimètres, plus ou moins chargés en charbons et en résidus divers, qui ont coloré le sol de manière différente. Ces niveaux argilo-sableux noir à brun clair contiennent des fragments des déchets scorifiés de différentes tailles (US 427-428-411). Il s'agit ici encore probablement de lentilles hétérogènes, de faible épaisseur, comme celles fouillées en plan l'année dernière. Au-dessus, les niveaux d'abandon (US 414-412-415-426-428) constituant les parties sommitales de l'amas mesurent de 20 à 25 cm d'épaisseur. Il s'agit de niveau limono-sableux brun clair à rougeâtre semblant inclure une proportion moindre de déchets scorifiés. Le niveau d'humus est peu épais dans cette zone et représente environ 5 cm d'épaisseur. La lecture de ces coupes confirme que le sommet de la scorie du four 402 se situe quasiment à la hauteur du niveau de sol forestier actuel et donc au sommet de l'amas de déchets. Ce four a bien été aménagé dans les niveaux de destruction de fours antérieurs et son niveau de fonctionnement se situait à une altitude plus élevée que le sol naturel sur lequel le décapage a été conduit. Cette observation est similaire à celle faite en 2021 à propos de la scorie de four massive de l'US 304 qui semble avoir été versée à l'avant du four 316 dont elle proviendrait, et qui reposait sur une trentaine de centimètre de couches d'occupation et déchets.

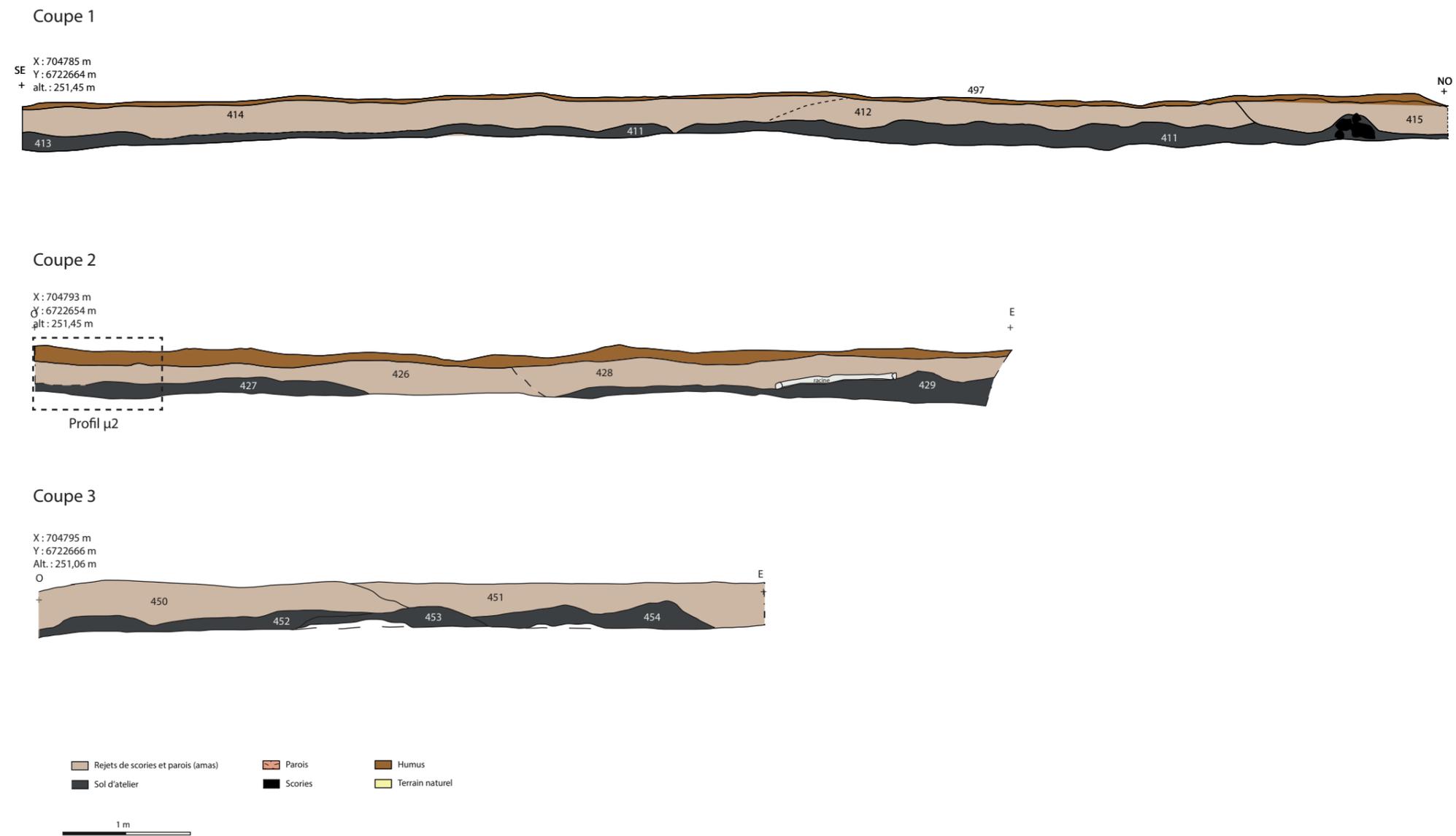


Figure n°35. Coupes 1, 2 et 3 réalisées au sein de l'amas (Relevés : M. Herbrich, L. Belhalde, S. Saves, M. Berranger ; DAO : M. Berranger).



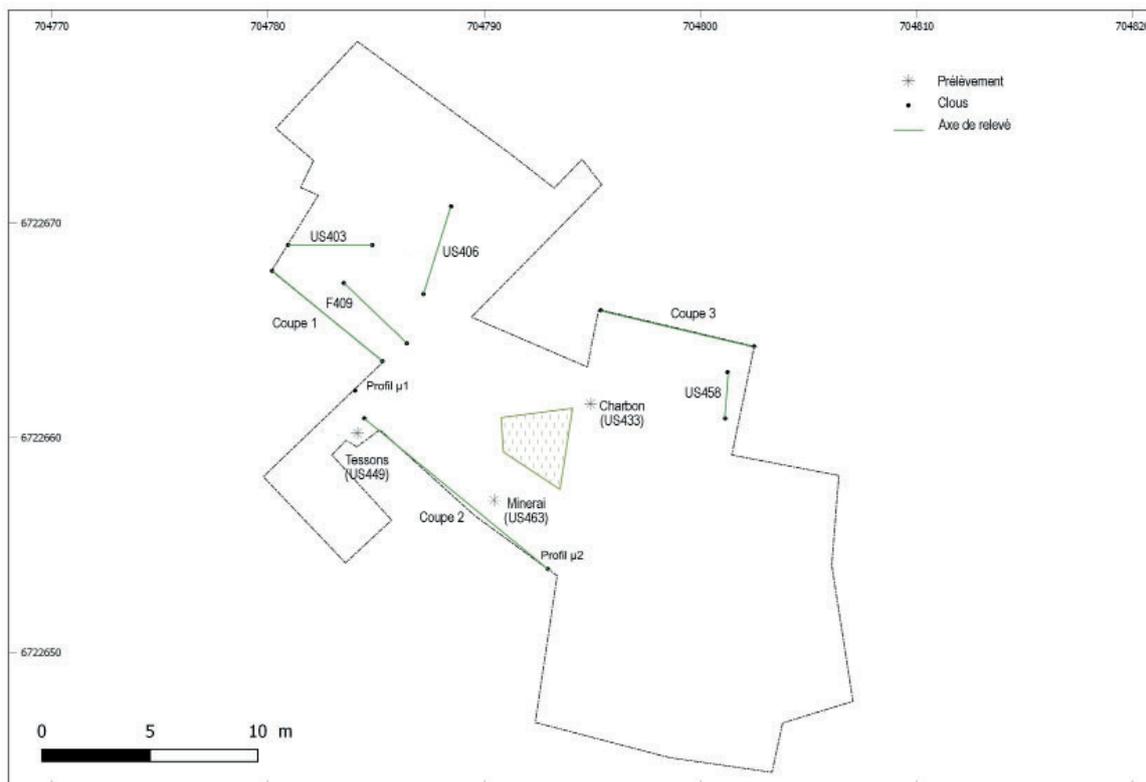


Figure n°36. Saint-Fargeau site 40. Positionnement des coupes et des prélèvements (M. Berranger).

La coupe n°3 présente des caractéristiques comparables, avec des niveaux de sols imbriqués, argileux, à argilo-sableux, de couleur noire à gris (US 452-453-454) mesurant une dizaine de centimètres d'épaisseurs, recouverts par des niveaux d'abandon argilo-sableux légèrement plus épais (US 450-451) de couleur marron à rouge.

2.5. Etude sédimentaire (D. Sordoillet)

Afin de contribuer autant que possible à la compréhension du site archéologique de Saint-Fargeau, et notamment d'apporter des éléments d'information pouvant expliquer le choix du lieu d'implantation, les processus de production métallique, et la genèse de l'accumulation stratigraphique, il a été décidé d'entreprendre une approche géoarchéologique complémentaire aux recherches archéologiques déjà en cours. La mise en œuvre de cette première approche géoarchéologique a débuté par une étude stratigraphique de deux coupes de terrain sélectionnées avec l'archéologue responsable de l'opération. La description du terrain a été suivi d'un échantillonnage sédimentologique pour analyses de laboratoire (blocs micromorphologiques et sédiments en vrac). Parmi les questions posées se trouvent l'identification des sols d'ateliers, les techniques de fabrication des fours et la mise en évidence de l'exploitation des ressources géologiques locales.

2.5.1. Cadre géologique

Les environs de Saint Fargeau, au sud de la ville, font la part belle aux forêts, aux ruisseaux et aux étangs. Les terrains sont formés de deux principales catégories de dépôts caractéristiques de la Puisaye (Fig. 37 ; Gigout 1982) :

- à l'ouest, les formations du Crétacé, avec des sables (n7b), et des craies blanches, qui deviennent plus marneuses vers le haut et renferment des silex de divers types (c1-2). Le faciès des Gaizes (c1-2S) correspond à une roche tendre litée blanchâtre, sans carbonate ni silex, mais riche en quartz et en argiles, avec pour ces dernières, des interstratifiés illite-smectite (6/10e) et de la kaolinite (4/10e).

- vers l'est, le substrat géologique est recouvert par de vastes épandages limono-argileux, parfois sableux, en partie d'origine éolienne (OE), ou issus de l'altération du sous-sol (LPS). Ces dépôts sont datés au Würm ou plus anciens et peuvent atteindre 2m d'épaisseur.

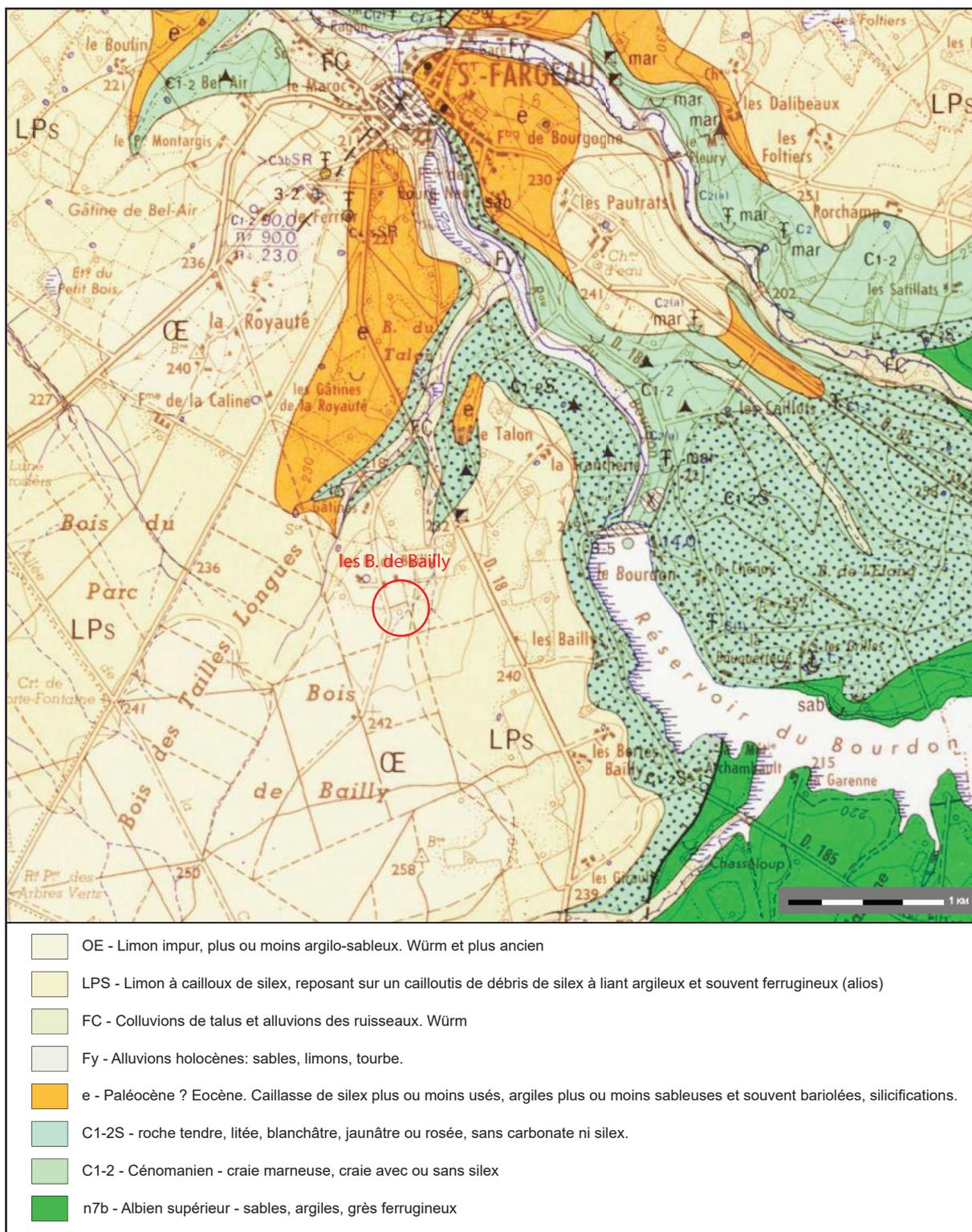


Figure n°37. Contexte géologique du site de Saint-Fargeau "Les Bois de Bailly" (D. Sordoillet, carte géologique Gigout 1982, modifiée).

Une attention particulière peut être portée aux formations LPS qui ont subi des altérations pédologiques, dont la concentration du fer pour donner des granules et des ciments responsables d'un alios fréquent à quelques décimètres de profondeur. (Gigout 1982 - p16). L'exploitation de cet alios comme minerai de fer sur le site archéologique est bien sûr envisageable et on cherchera à le vérifier lors de l'étude.

2.5.2. Profils stratigraphiques (Fig.38)

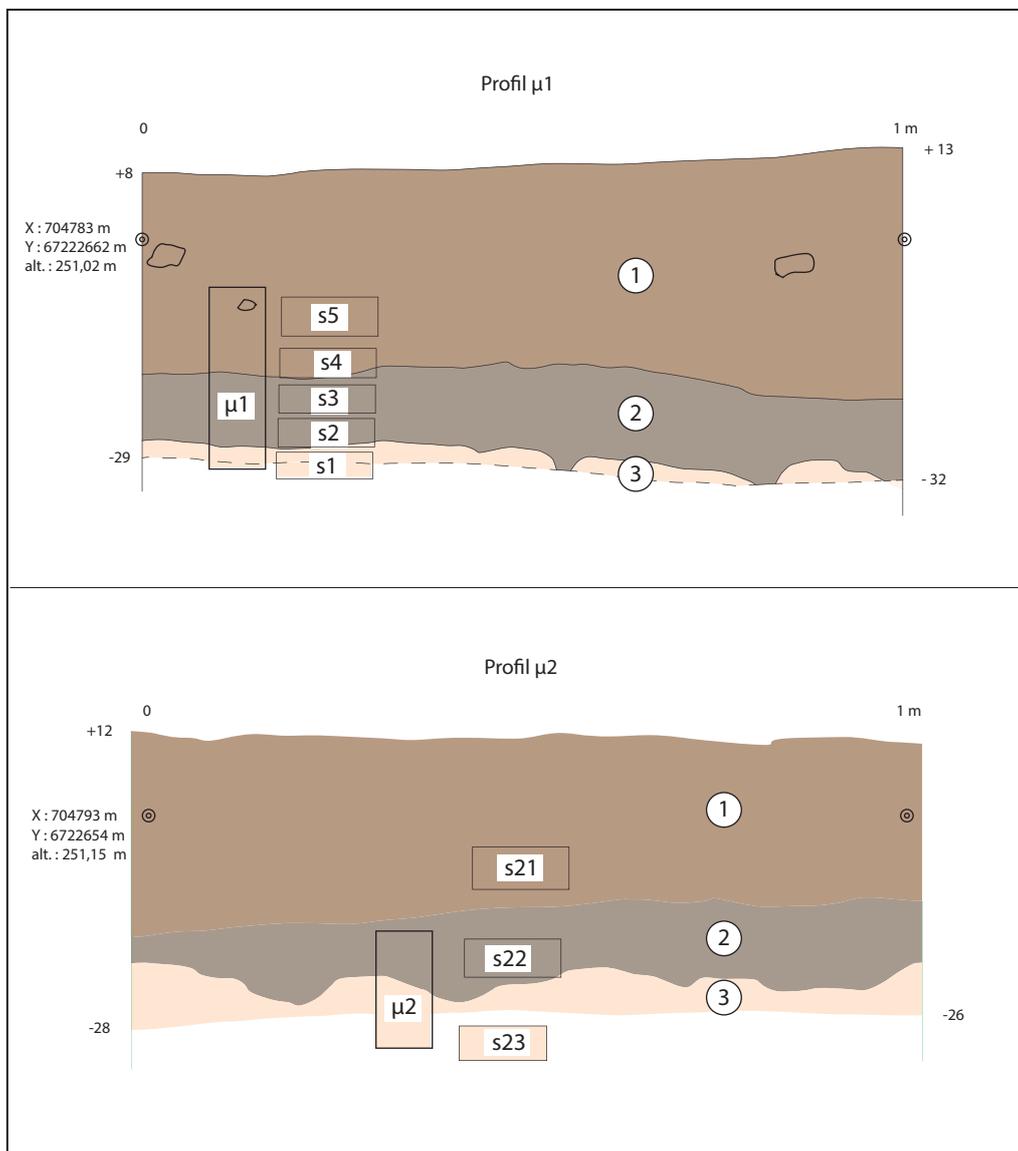


Figure n°38. Profils stratigraphiques et échantillonnage (D. Sordoillet)

Profil 1 - (échantillon µ1)

Le profil 1, d'orientation SW-NE, est situé en bordure de la zone d'activité principale, caractérisée par la présence de plusieurs fours (fig. 36).

Les dépôts observés sur ce profil sont de haut en bas :

- 1 – Une argile limoneuse brune (7,5YR 3/3), avec des scories éparses et quelques micro-charbons ;
- 2 - Une argile limoneuse brun-noir (7,5YR 2,5/2), avec de nombreux micro-charbons et quelques nodules de terre cuite rouge brique ; localement plus charbonneuse dans sa moitié inférieure (couche d'activité archéologique polyphasée) ;

3 – Limon gris clair à blanc cassé (7,5YR 7/2 à 6/4), compact mais friable, avec taches centimétriques jaune paille ou rouille, silex anguleux beige rosé - rouge brique (Craie à silex du Cénomaniens supérieur)

Profil 2 – (échantillon $\mu 2$ - fig. 35 et 38)

Le profil 2 se trouve plus à l'écart de la zone d'activité. Son étude comparée à celle du profil 1 vise à préciser l'impact des activités humaines sur la nature des accumulations sédimentaires.

Les dépôts observés sur ce profil sont de haut en bas :

- 1 – limon argileux brun-orangé (7,5YR 4/4), grumeleux au sommet, plus massif vers la base ;
- 2 - limon argileux plus hétérogène, brun-orangé, ponctué de petits nodules de terre cuite et d'oxydes ;
- 3 – limon blanc cassé à taches jaunâtres ou brunâtres, quelques charbons parfois assez gros (défrichement par brulis)

2.5.3. Discussion et échantillonnage

Le profil stratigraphique 1 pose la question de la continuité pédologique entre la couche 3 représentant la roche mère et la couche 2 anthropisée. Il semble manquer un horizon d'altération intermédiaire, qui pourrait s'expliquer par les activités d'exploitation minière. On peut se demander également si les dépôts de type LPs ont pu être remaniés à la hauteur de la couche 2 suite à l'exploitation de l'altos qui les caractérisent.

Le profil 2, a priori moins anthropisé, permettra de vérifier la cohérence de l'évolution pédologique. Comme sur le profil 1, la couche 3 est considérée comme la roche mère ou l'horizon d'altération C développé sur ces craies cénomaniennes. La couche 2, un peu anthropisée, peut correspondre à un horizon d'altération S. La couche 1 apparaît différente de celle observée sur le profil 1 et semble contenir une composante loessique. Elle pourrait ainsi correspondre à une couche de recouvrement de type OE ou LPs, moins affectée par l'exploitation minière que sur le profil 1.

L'échantillonnage effectué pour les analyses de laboratoire visent à préciser ces interprétations et à répondre aux différentes questions soulevées. Les études en lames minces vont être réalisées dans un premier temps. Les lames sont en cours de fabrication au laboratoire de Minéralogie et Pétrologie de Gent, en Belgique et devraient être étudiées au cours du premier semestre 2023. Le type d'analyses à mettre en œuvre sur les sédiments en vrac sera défini en fonction des premiers résultats de la micromorphologie.

2.6. Le mobilier sidérurgique.

2.6.1. Masses totales de déchets considérés et concentrations volumiques au sein de l'amas.

En 2021, deux prélèvements par moitié de mètres carrés ont été effectués en deux endroits afin de calculer la masse de déchets sur un volume connu (Berranger dir. 2021). Terre et déchets ont été prélevés en vrac dans des seaux de volume connu. Un tamisage a permis de récupérer les déchets de plus de 5 mm. Parois et scories ont été séparées et pesées individuellement afin de déterminer leur concentration dans le sédiment. Les deux prélèvements volumiques ont livré des concentrations un peu différentes, de 74,4 kg par m³ pour le prélèvement 1 et de 66 kg par m³ pour le prélèvement 2. Parallèlement, l'ensemble des déchets collectés sur toute la fouille a été pesé. En 2021, un total de 918 kg de déchets a été pesé, incluant 633 kg de scories et 270 kg de parois scorifiées. En 2022, le choix a été fait de peser l'ensemble des déchets

fouillés. Cet échantillonnage reste néanmoins partiel étant donné que les déchets enlevés à la pelle mécanique, lors du décapage n'ont pu être intégralement collectés. Toutefois, une partie des plus gros fragments récupérés a été prise en compte.

En 2022, un total de 769 kg de scories et 1152 kg de parois a été pesé. On peut noter cette année la très forte représentation des fragments de parois scorifiés qui représentent 58,5% de la masse des déchets pris en compte, alors que l'année dernière elles n'en représentaient que 29,5%. La plus grande part de ces fragments se situe à proximité de la concentration de fours. Cette forte représentation s'explique probablement par le rejet privilégié des cheminées d'argile à cet emplacement lors de leur destruction.

Pour l'ensemble de l'amas, ce sont donc environ 1,4 tonnes de scories qui ont été considérées pour une masse équivalente de parois scorifiées, et 7 kg de fragments de minerais.

Origine prélèvements	Total parois en kg	Total scories en kg	Volume m3	kg de scories par m3
Sondage ponctuel 2019	5	5		
(2021) Sd 3 - pvt 1	93	37	0,5	74,4
(2021) Sd 3 - pvt 2	23	33	0,5	66
(2021) Sondage 2	154	563	15,5	36,2
Fouilles 2022	1152	769		
Total	1427	1407		

Figure n°39. Masses de déchets et volumes de prélèvements pris en compte pour calculer une densité de déchets au sein de l'amas.

En totalisant la quantité de déchets prélevés lors des différentes interventions sur cet amas (sondage et deux campagnes de fouilles), ce sont 2,8 tonnes de déchets sidérurgiques qui ont été pesés, répartis de manière très inégale au sein de l'amas. Calculer une densité moyenne est donc particulièrement complexe. Dans les deux prélèvements volumiques, la densité calculée est de 66 et 74 kg de scorie par m³. Soulignons que ces prélèvements, et plus particulièrement le second, ont été effectués dans des zones de fortes concentrations. La densité estimée sur une zone fouillée manuellement en 2021 (sondage 2) est de 36,2 kg par m³. La densité moyenne des dépôts de scories sur le site est donc probablement située entre les deux extrêmes que sont 36 et 74 kg par m³. En retenant une approximation de volume de l'amas située entre 80 et 100 m³, la quantité de scories contenues dans l'amas pourrait être comprise entre 2,8 et 7,4 tonnes (fig. 40).

Volume approximatif calculé	Densité de scories minimale 36 kg m3	Densité de scories maximale 74 kg/m3
80 m3	2880 kg	5500 kg
100 m3	3600 kg	7400 kg

Figure n°40. Masse totale de scories calculée en fonction du volume de l'amas.

2.6.2. Présentation des déchets sidérurgiques.

Sur les 2,9 tonnes de déchets sidérurgiques identifiés et pesés, seule une sélection a été conservée pour études ultérieures.

Les minerais et fragments de métal.

Tous les fragments de minerais identifiés ont été conservés. En 2021, 4,2 kg ont été collectés pour 230 restes. En 2022, ce sont 83 restes d'une masse totale de 3,6 kg qui ont été collectés.

Il s'agit de fragments grillés, de couleur rougeâtre ou partiellement scorifiés. Une sélection représentative fera l'objet d'analyses en éléments majeurs et traces au SARM-CRPG, ainsi que par diffraction des rayons X pour déterminer leur composition minéralogique.

Trois débris de métal informe, dont l'un est facetté ont été identifiés cette année. Ils feront l'objet d'une étude archéométrique, dans un premier temps au microscope optique, afin de déterminer plus précisément leur nature.

Fragments de scories et scories de fond de four

Les fragments de scories se rattachent dans leur ensemble aux scories dites piégées en fond de cuve du bas fourneau (type F). Ces fragments sont distingués en fonction de quatre catégories typologiques (Berranger dir. 2020) : des écoulements tortueux individualisés (F4) ou accumulés (F5), de la scorie grise rouillée alvéolaire (F6) ou dense (F7). Ils peuvent correspondre à différentes parties de fonds de four plus volumineux. Les écoulements tortueux correspondent plutôt aux parties périphériques et inférieures. Il peut aussi s'agir d'excroissances formées en périphérie de la masse de scorie et qui ont tendance à se casser plus facilement. Certaines de ces scories écoulées se sont constituées sous une forme individualisée sans former un gros agglomérat moulant le fond de four. Les fragments de scories grise rouillée alvéolaire correspondent quant à elles plutôt aux parties supérieures, voire aux parties internes fragmentées de ces scories dites piégées.



Figure n°41. Scorie piégée de type F1, CP.043982.0033, US402 (M. Berranger)

Un fond de four massif de 42 kg, de type non compact (F2) a été retrouvé en 2021 (US 304). En 2022, ce sont deux autres fonds de four qui ont été mis au jour, en position fonctionnelle au sein de bas fourneaux. L'exemplaire CP.043982.0033, provenant de l'US 402, est de type compact (F1). Il pèse 27 kg et mesure 40 cm de diamètre pour 20 cm d'épaisseur (fig. 41). Il s'agit d'un bloc complet ne présentant pas d'autres traces de fracture que ponctuelle. En position fonctionnelle, il était cerné par une série d'écoulements de scories individualisés (US 402-410-419-430). L'ensemble de ces éléments représente une masse de 52,9 kg de scories. Le fond de four compact est de forme circulaire et de profil plano-convexe. La surface supérieure est homogène, granuleuse et oxydée. Elle présente une légère concavité centrale qui pourrait éventuellement correspondre à l'empreinte du souffle de la tuyère. La face inférieure est quant à elle constituée de coulures verticales tortueuses. Ces écoulements se sont infiltrés entre de gros fragments de branchettes de charbons (pluri-centimétriques à décimétriques) dont ils moulaient l'empreinte. Un de ces gros écoulements verticaux mesure une quinzaine de centimètres de long. On note l'orientation verticale des branchettes de charbons de bois par rapport à la surface supérieure de la scorie.

Un autre gros bloc de scorie piégée (CP.043982.0034), de type riche en charbon (F3) provient du four 446 (fig. 42). Il pèse 66 kg pour une longueur de 50 cm, une largeur de 45 cm et une épaisseur de 20 cm. Il s'agit d'un gros bloc de scorie de forme plano-convexe, retrouvé complet en place mais cassé lors de son extraction. Son épaisseur est inégale. La surface supérieure est régulière et homogène. La périphérie est moins dense et constituée d'un agglomérat de petites coulures. Les cassures apparentes dans l'épaisseur permettent de constater que la scorie enrobe des fantômes de fragments de charbon de bois pluri-centimétriques à décimétriques. En partie inférieure, une partie du fond du four est restée adhérente au bloc de scorie et présente localement une coloration rosâtre-jaune due à la cuisson.



Figure n°42. Scorie piégée de type F1, CP.043982.0034, US440 (M. Berranger, M. Aubert)

L'étude des parois scorifiées pour restituer les modalités de construction des cheminées des bas fourneaux.

Un des intérêts particuliers de la fouille de cette année est d'avoir livré un lot conséquent et parfois bien conservé de fragments de parois scorifiées dont les caractéristiques renseignent indirectement sur les techniques de construction des cheminées des bas fourneaux.

L'observation des faces non scorifiées des fragments de parois cuites a permis de noter à plusieurs reprises l'utilisation d'une argile qui conserve encore des inclusions grossières, millimétriques à centimétriques, de fragments de silex. De petits fragments de scories sont également parfois visibles en incrustation. La préparation de l'argile ne semblait donc pas exiger l'utilisation d'une argile particulièrement fine pour la construction des cheminées (fig. 43).



Figure n°43. Inclusions grossières de silex dans l'argile de parois de four (M. Berranger).

Un lot d'une dizaine de pains d'argile, issus des US 406 et 403, présente des traces de façonnage. Ces pains ont une section demi-circulaire dont les bordures ont été aplaties du côté de la face

convexe. L'observation des traces de façonnage permet de restituer leur mise en forme alors que l'argile était encore molle, par écrasement sur une matrice de section demi-circulaire. Dans un second temps, alors que l'argile était encore humide, les pains ont été appliqués sur une armature constituée de branchettes de bois disposées verticalement en fonction d'un écartement compris entre 70 et 100 mm d'après les observations faites sur les pains conservés. Les bordures supérieures et inférieures présentent des traces de lissage au doigt et peuvent être concave ou convexe. Sur l'un de ces exemplaires, on constate la superposition et la soudure partielle de deux pains d'argile. La soudure entre les deux pains n'est cependant pas visible du côté de la face scorifiée, située à l'intérieur du four. Cette dernière a dû être lissée soigneusement pour rendre le revêtement hermétique.



Figure n°44. Exemple d'un pain d'argile présentant des traces de mise en forme. Vues de face et de profil (CP.043982.0026).

Ces observations permettent de restituer la construction des cheminées de bas fourneau à partir de pains moulés sur une matrice plano-convexe. Un premier pain était ensuite pressé individuellement sur une armature de baguette de bois afin d'en combler les vides, ses bordures lissées, avant d'être surmonté par un deuxième pain lissé et soudé par lissage à la main. On peut supposer que l'ensemble de la cheminée était montée de cette manière. Les pains étudiés comportent des traces de cuisson inégales. Certains sont simplement cuits, d'autres sont profondément scorifiés, parfois sur plus de la moitié de leur épaisseur, ce qui indique leur positionnement à différentes hauteurs de la cheminée.

La présence d'une armature de baguettes de bois est également visible sur d'autres fragments de parois scorifiées sur lesquels les pains ne sont pas visibles. La mesure des empreintes permet de restituer des baguettes larges d'environ 40 à 50 mm.



Figure n°45. Traces de rechapages visibles sur un fragment de paroi (US404) (M. Berranger).

Des traces de rechapage ont été observées sur plusieurs fragments. Certains rechapages, traduisent des apports d'argile sur des épaisseurs importantes, pouvant être dans certains cas de l'ordre du décimètre. Ces observations corroborent l'hypothèse d'une réutilisation des fours émises lors de la fouille du fourneau 316 (Berranger dir. 2021).

Quelques fragments de parois présentent des angles. Il pourrait s'agir des bordures supérieures de la cheminée. On peut aussi se demander, pour certains éléments fortement scorifiés, s'il ne pourrait pas s'agir de fragment d'une ouverture (porte frontale) située plus bas dans la cheminée. Un très gros fragment de parois (33 kg) a été dégagé au niveau de la concentration de fours F409 lors du décapage. Dégagé à la pelle mécanique, il n'a pas été possible d'observer son positionnement exact. Fragmentaire, il est néanmoins conservé sur une cinquantaine de centimètre de largeur et une trentaine de centimètres de hauteur. Une des faces est fortement scorifiée et correspond à la partie interne de la cuve, tandis que l'autre face est faite d'argile, plus ou moins cuite en fonction de l'impact thermique. Ce fragment correspond à la partie inférieure d'une cheminée de four. En effet une des tranches de la paroi est intégralement revêtue de petites gouttelettes de scories écoulées. Cela tendrait à indiquer que la cheminée du four n'était pas totalement jointive avec le sol sur lequel elle reposait, mais que des vides au sein desquels la scorie s'est infiltrée, pouvaient subsister. Ce sol ne semble d'ailleurs pas être totalement plan, mais légèrement concave. On constate que, dans cette partie inférieure, la paroi semble mouler une surface plus plane non rectiligne, ce qui tendrait à restituer le placage de ce fragment contre un creusement.



Figure n°46. Paroi de four de l'US401. CP.043982.0035 (M. Berranger). A droite Superposition de la photogrammétrie de la paroi de four de l'US401 sur le four 470 (M. Herbrich).

On note la très faible concavité de ce fragment de paroi. Son modèle 3D a été superposé sur le modèle 3D de l'état conservé du four 470 (premier état d'aménagement de l'ensemble F409 - fig. 46). Les deux modèles se superposent très bien notamment lorsque l'on dispose le fragment de paroi contre la bordure nord-est du four. Il est tentant de restituer ce fragment à cet emplacement. La paroi aurait probablement été cassée et déplacée lors de la construction des fours postérieurs. Néanmoins, quel que soit l'emplacement exact de ce fragment, il documente la construction de bas fourneaux disposant d'une cuve non pas circulaire mais plus probablement quadrangulaire.

On constate également que le profil de gros fragments de parois est convexe (fig. 47). Cette convexité ne peut être restituée que dans le sens de la hauteur de la cheminée, ce qui indiquerait que ces dernières n'étaient pas totalement verticales, mais s'élargissaient, soit à leur base, soit vers le haut. La possibilité d'orienter un gros fragment de paroi, à partir du sens d'écoulement des gouttelettes de scories présentes en bordure d'un trou de ventilation partiellement conservé, permet de confirmer cette hypothèse.



Figure n°47. Exemple d'un fragment de paroi de profil convexe par rapport à la surface scorifiée (M. Berranger).

A titre de comparaison, les ateliers de réduction fouillés en Puisaye (La Bussière « Les Ferrys » – Rebiscoul 2003) ou dans la zone de production voisine, en Pays d'Othe (Les Clérimois « les Fouetteries » Dunikowski, Cabboi 1995) ont livré des bas fourneaux dotés d'une cuve en tronc de cône, surmontée par une cheminée moins large, qui dans certains cas s'achève en entonnoir vers le gueulard. Aux Ferrys, la fouille de deux bas fourneaux permet ici encore de restituer une cheminée évasée vers le haut (fig. 48). Il faut également mentionner une découverte ancienne sur la commune de Chatillon-sur-Loire (Yonne) où Tryon-Montalembert (1955) décrit un bas fourneau « disposé en forme d'entonnoir ». Soulignons cependant que les fours des Clérimois comme des Ferrys sont datés de l'Antiquité, donc bien plus tardifs, et d'un modèle typologique différents de ceux de Saint-Fargeau.

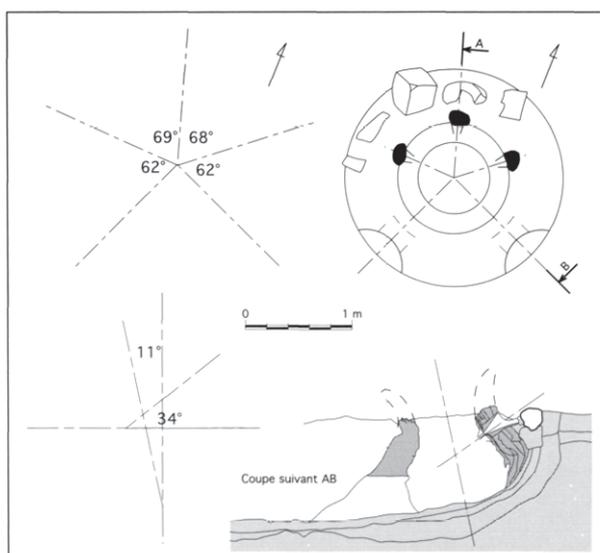


Figure n°48. La Bussière "Les Ferrys" - Plan et coupe du four de réduction FR2602 (d'après Rebiscoul 2003).

2.7. Conclusions

La fouille menée cette année sur le site 40 à Saint-Fargeau « Bois de Bailly » a permis d'achever les recherches de terrain envisagées sur ce site. Ce dernier a été caractérisé avant la fouille au moyen de prospections au sol et géophysiques qui ont permis de bien en cerner les contours. Les sondages menés en 2021 et le large décapage réalisé en 2022 ont permis d'étudier plus de 90% de la surface identifiée comme occupée par l'amas de déchets.

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.

Cinq emplacements de bas fourneau ont été identifiés. Parmi ces derniers trois sont aménagés au même emplacement, et sont superposés. Le four 446 correspond à la fosse-réceptacle des scories sous la cheminée de réduction. Cette fosse creusée à partir de l'US 439 et scellée par l'US 434 n'a pas plus de 25 cm de profondeur. Elle 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 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.

A contrario, même si les scories des US 402-419-430 sont d'un type similaire et de même module, elles 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 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 (CP. 043982.0033 provenant de l'US 402 et CP. 043982.0034 provenant de l'US440) et une dernière a été basculée immédiatement à l'avant du four 316 dont elle provient vraisemblablement (Berranger dir. 2021, p. 94-97). 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 l'estimation minimale de masse de scories présentée plus haut (2,7 tonnes), c'est au moins une cinquantaine d'opérations métallurgiques qui ont eu lieu durant toute la période d'activité de l'atelier.

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 localisation ainsi que la présence de déchets sidérurgiques dans les comblements ou comme calages permettent d'attester une 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.

La fouille de cet amas a permis d'observer une organisation du travail au sein d'un espace clairement structuré. Il semble que ces caractéristiques aient été peu étudiées sur les ateliers de cette période, nous en proposerons un bilan bibliographique l'année prochaine, pour le rapport de fin de triennale. La question du phasage de ce site reste également à préciser. Trois datations ont déjà été réalisées. Les deux dates obtenues, en provenance des niveaux de sols sont cohérentes entre elles et se situent dans un intervalle de temps compris entre 409 et 208 Cal. BC. Un charbon prélevé dans le bas fourneau 316 donne une date plus ancienne comprise entre 774-381 Cal. BC (Berranger dir. 2021, p. 103). D'autres datations devront être réalisées, notamment dans les bas fourneaux fouillés en 2022 afin de mieux déterminer les périodes de fonctionnement de cet atelier. Une nouvelle série de datations radiocarbone est prévue pour 2023.

3. Acquisitions LiDAR et sondages à Dracy (Yonne)

Fiche signalétique

Localisation de l'opération

Région : Bourgogne-Franche-Comté Département : Yonne (89)

Commune concernée par des fouilles : Dracy "Ferrier Guillou" et "Ferrier des Noirs"

Références cadastrales de la parcelle étudiée

Commune : Dracy Occupation du sol : forêt

Références cadastrales : D143 et 51

Sondage 1 - Coordonnées RGF 93 : X = 717007 / Y = 6736555

Sondage 2 - Coordonnées RGF 93 : X = 716917 / Y = 6736646

Emprises des acquisitions LiDAR : environ 10 hectares

Coordonnées RGF 93 : X = 717378 / Y = 6736723

Références de l'opération

Numéro d'arrêté d'autorisation de sondages : 2022/420 en date du 11 juillet 2022

Dates d'intervention : 22/03/2022 (acquisitions LiDAR)

22 au 25 août 2022 (sondages)

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologiques

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

Résultats significatifs

Chronologie : Antiquité

Éléments de datation : céramique, radiocarbone

Mots-clefs : métallurgie, atelier, déchets

Equipe fouilles

Responsable scientifique : Marion Berranger (LMC-CNRS)

Equipe de fouilles : Marion Berranger (LMC-CNRS), Marc Leroy (LMC-CNRS), Jean-Pierre Piétak (LMC), Margaux Herbrich (LMC-CNRS), Hugo Chabert (Univ. Sophia-Antipolis),

Photogrammétrie : Margaux Herbrich (LMC-CNRS)

Traitement des données et rapport : Margaux Herbrich (LMC-CNRS), Marion Berranger (LMC-CNRS), Marc Leroy (LMC-CNRS),

Etude céramologique : Sylvie Mouton-Venault (INRAP)

Equipe LiDAR - terrain et rapport

Coordination scientifique : Matthieu Thivet (Chrono-environnement, MSHE)

Télépilote responsable de la mission : Matthieu Thivet (Chrono-environnement, MSHE)

Analyse et traitements des données : Emmanuel Hamon et Vincent Franchini (MSHE)



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2022/420 du 11 juillet 2022
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° 21.68 BAG du 23 mars 2021, du Préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté portant délégation de signature à Madame Aymée ROGÉ, Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté du 16 mars 2022, portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272022000088, de demande d'opération archéologique arrivé le 27 juin 2022 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERRANGER est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2022, à conduire une opération de sondages sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ
Département : YONNE
Commune : DRACY
Lieux-dits : « Le Ferrier Guillou » et « Petit Bréant »
Cadastre : section D, parcelles 143 et 51.

Intitulé de l'opération : sondages archéologiques de deux ferriers.
Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.
Code de l'opération : **044054**.

Cette opération a lieu dans le cadre du projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 intitulé « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau : organisation et circulation des productions (VIII^e s. av. J.-C. - V^e s. ap. J.-C.) ».

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 11 juillet 2022

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

Le secteur Dracy "Ferrier Guillou" fait partie d'un secteur nouvellement étudié. Comme à Montholon, de très grands amas de scories sont connus dans cette zone. Deux d'entre eux ont été datés dans les années 2000, par datations radiocarbone (Piétak *et al.* 2012) et peuvent être rattachés à la période antique. L'accessibilité des amas a contraint à faire des choix. Un premier secteur, celui du Ferrier Guillou 2, daté par radiocarbone entre 127 et 325 Cal. AD, pouvait être survolé par drone. Des acquisitions LiDAR ont donc été effectuées sur une zone d'environ 10 ha. Difficilement accessible avec une pelle mécanique, il n'a à ce stade pas été sondé. Des coupes étaient par contre plus facilement accessibles, sur un autre amas, situé à faible distance, le Ferrier Guillou 1. C'est dans ce secteur qu'ont été réalisés deux sondages. Des acquisitions LiDAR sont néanmoins programmées sur ce site en 2023, au moyen d'un drone de type avion couvrant des surfaces plus étendues.

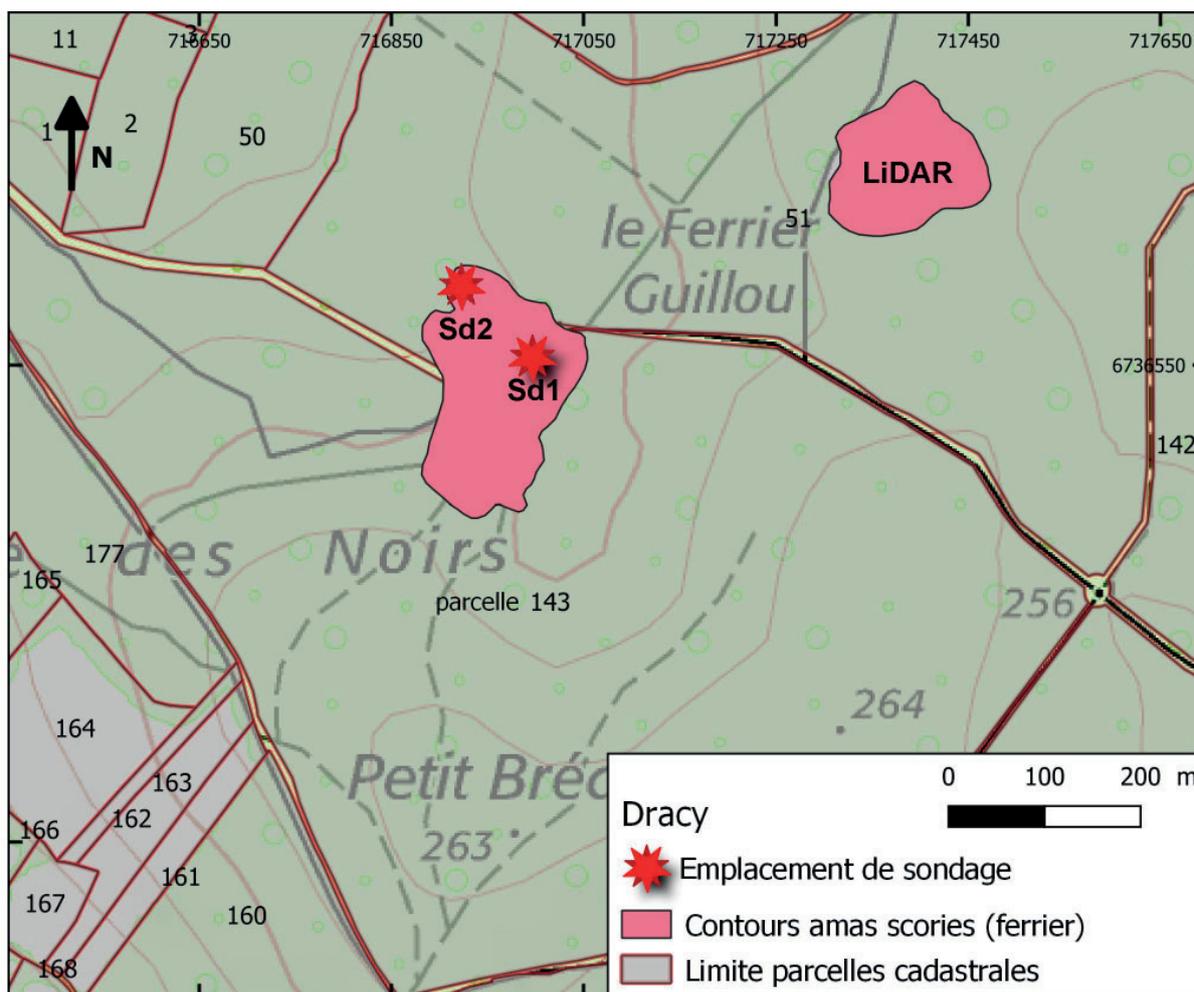


Figure n°49. Localisation des interventions 2022 (M. Berranger).

3.1. Rapport de prospection LiDAR aéroporté par drone au lieu-dit «le Ferrier Guillou» n°2, Dracy (89) (E. Hamon, M. Thivet, V. Franchini)

3.1.1. Introduction

La Bourgogne comprend plusieurs zones de production de fer brut très importantes : Morvan, Vézélien et surtout Puisaye, livrant plusieurs centaines à milliers d'amas de scories (Leroy et al. 2000). Le bourg de Dracy, à environ 25 km au sud-ouest d'Auxerre, est jouté par une forêt de feuillus ayant conservée au sol les traces d'une importante activité métallurgique.

Dans le cadre du montage documentaire d'un projet d'envergure (TerriFer) déposé à la région Bourgogne-Franche Comté, la MSHE Ledoux a été sollicitée pour effectuer un premier relevé LiDAR au lieu-dit le Ferrier Guillou. Les résultats de ce relevé se rattachent à une approche dite «intégrée», associant acquisitions LiDAR, fouilles ciblées et analyses archéométriques. L'acquisition LiDAR présente ici l'avantage de permettre, même sous couvert forestier dense, la reconnaissance planimétrique et volumétrique des indices de production.

Conformément aux dispositions prévues, ce rapport s'attachera uniquement à décrire le travail réalisé, depuis l'acquisition des données jusqu'à la fin des traitements ainsi qu'à exposer les modèles de visualisations des données traités.

3.1.2. Equipement mis en oeuvre.

Acquisition

Le drone utilisé a été financé par la Région Franche-Comté en 2020 (fig. 50). Il s'agit d'une solution multi-rotors de la gamme professionnelle de DJI, le Matrice 600 pro, reconnu pour sa stabilité de vol et sa précision. Il a été sélectionné sur la base d'un cahier des charges précis pour son autonomie (± 20 min) et ces capacités d'emport (env. 6 kg) permettant de charger un boîtier LiDAR miniature. Il est par ailleurs équipé de trois capteurs GNSS permettant une redondance analytique des données de géolocalisation. Le capteur LiDAR est un Lynx 16 développé par la société française Helicéo. Il intègre directement dans son boîtier, en plus du scanner laser (Velodyne), un récepteur GNSS et une centrale inertielle (Applanix 15), qui enregistre le tangage, le roulis et l'orientation du système.

Les spécificités techniques du système peuvent être résumées comme suit :

Faisceau Laser: 16 faisceaux

Longueur d'onde: 905nm (proche infrarouge)

Classe Laser : Classe 1

Précision: ± 3 cm

Gamme: 20cm à 150m (réflectivité de l'objet 20%)

Débit de données: 320 000 points/s

- angle de balayage du faisceau : 60°
- 80 000 impulsions par secondes
- système double écho



Figure n°50. Solution LiDAR aéroporté sur drone à la MSHE Ledoux.

Traitement

La MSHE Ledoux dispose de plusieurs solutions logiciels propriétaires dédiées au traitement de données LiDAR. La majeure partie des traitements présentés ici ont été réalisés sous les applications Terrascan, Terramatch et Terramodel (de la suite Terrasolid), fonctionnant sous le logiciel Microstation de Bentley. Le logiciel LP360 a également été utilisé, notamment pour les traitements manuels.

3.1.3 Présentation de la mission

L'acquisition s'est déroulée le 22/03/2022. L'équipe de terrain était composée de trois personnes: le télépilote, responsable de la mission (M. Thivet), un chargé du contrôle de la télémétrie depuis la station-sol (E. Hamon) ainsi qu'un stagiaire étudiant en troisième année de licence HAA de l'Université de Franche-Comté (V. Franchini).

Un premier vol a été réalisé à l'aide d'un drone léger (DJI phantom 4) équipé d'une caméra offrant un retour vidéo au télépilote afin de définir précisément les limites de l'acquisition ainsi que la hauteur maximum de la cime des arbres. Le reste de la mission a été réalisée de manière automatisée après définition d'un plan de vol quadrillant la zone concernée.

La vitesse de déplacement du drone a été réglée 3m/s seulement afin d'obtenir un maximum de points sol. L'altitude de vol a été définie sur une cote fixe de 40 m au-dessus du point de décollage.

3.1.4. Traitement et analyse critique des données

Données brutes

Les données acquises sur le terrain sont extraites du boîtier LiDAR sous la forme d'un corpus de fichiers (distinct pour chaque vol) qui se présente comme suit :

- Un fichier .T04 (IMU) qui regroupe les données de référencement géographique (issu des récepteurs GPS et GNSS) et les informations capturés par la station inertielle (direction, vitesse, tangage, roulis, etc.)
- Un fichier .pcap, regroupant l'ensemble des mesures enregistrés par le capteur LiDAR.

Obtention de nuages de points géoréférencés

Les données de trajectoires du drone ont été post-traitées grâce au logiciel PosPac, développé par Trimble et permettant d'analyser et d'améliorer nos mesures GNSS à partir des mesures réalisées par des stations de référence terrestre. Les trajectoires post-traitées sont exportées au format .cvs

Les mesures issues du capteur LiDAR sont découpées en bandes de vol à l'aide du logiciel VeloView avant d'être géo-référencées, en les couplant aux données GNSS, via l'application Hask Geoprocessor, afin d'être exportées au format .xyz. puis .las (format de référence des nuages de points LiDAR).

Classification

La première étape du traitement vise à déterminer, pour chaque bande de vol, la nature de chacun des points en leur attribuant une classe (sol, végétation basse, végétation haute, bâti, etc.). On parle alors de classification du nuage de point. Compte tenu du grand nombre de points à classifier (environ 80 millions), la manipulation se doit d'être la plus automatique possible. On a privilégié ici la méthode de « l'aerial low » proposée par le logiciel Terrascan, qui consiste à créer un drapé des points les plus bas, en fonction de paramètres définis. Ainsi, les valeurs d'angle d'itération maximales ont varié entre 6 et 12 en fonction de l'encaissement du terrain.

Raccordement des vols

Une fois classifiées, les différentes bandes de vols, puis les différents vols doivent être recalés les uns par rapport aux autres afin de corriger les erreurs de positionnement GPS, de dérive de la centrale inertielle (en tangage et roulis) et de positionnement du cap magnétique, inhérentes à l'acquisition.

Deux méthodes, disponibles sous forme de plugins sur le logiciel libre «Cloud Compare», ont été utilisées pour l'alignement des nuages de points. La première, «points-pairs picking», consiste à identifier manuellement des points homologues entre les différents nuages. La seconde, «cloud registration», est automatique mais plus contraignante d'utilisation et apporte des résultats inégaux en fonction des surfaces traitées et du recouvrement des nuages. L'utilisation systématique des deux plugins est recommandée.

Visualisation des résultats

Le raccordement des bandes de vols permet de fusionner les nuages de points dans un fichier unique duquel peut être extraite la classe de points « sol » permettant la production d'un MNT (Modèle Numérique de Terrain). Ainsi, après traitement, nous disposons d'un total d'environ 9 millions de points-sol mesurés sous le couvert végétal.

À partir du MNT, il est possible de proposer un ensemble de modèles de visualisation afin de renforcer la visibilité de certaines anomalies topographiques. Le logiciel Relief VisualizationToolbox (RVT) développé par l'équipe du Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts (KOKALJ et al. 2011; ZAKSEK et al. 2011), fait office de référence dans ce domaine. Il a été utilisé pour produire la totalité des documents présentés ici, avec une résolution maximale de 0.05 m :

- Les modèles de visualisations ombrés («hillshade») sont les modes de visualisation les plus communément utilisés. Ils consistent à appliquer au modèle numérique de surface une source lumineuse virtuelle dont on définit la position en azimut (A) et en hauteur (H, exprimé en degrés). L'algorithme calcule les valeurs d'éclairage de chaque cellule par rapport aux cellules voisines, simulant des ombres portées. On propose ici trois visualisations différentes de modèles ombrés. La première (fig. 51) correspond à l'application d'une seule source lumineuse à un azimut de 315 pour une hauteur de 35 degrés. L'autre modèle ombré présenté ici est multidirectionnel. Seize sources de lumières sont réparties de manière égale sur l'azimut, permettant une meilleure exposition de certains reliefs. Chaque source lumineuse est associée à une valeur RVB (fig. 52).

- La méthode de visualisation en gradient de pente («slope»), comme son nom l'indique, permet de mettre en évidence les déclivités présentes sur le modèle de surface. Il compare la côte d'altitude de chaque cellule avec celle de ses plus proches voisines pour lui attribuer une valeur d'inclinaison. Plus la pente est importante, plus la valeur est élevée (fig. 53).

- Le modèle dit «PCA» (Principal Components Analysis) a pour effet de cumuler plusieurs variables au sein de bandes RVB. Ici, l'accumulation des valeurs d'élévation, d'ombrage et de pentes permet la mise en valeur des anomalies les plus imposantes (fig. 54).

- Le «SkyView Factor» (SVF) est un indice de visualisation qui associe une valeur à chaque cellule en mesurant la portion de ciel visible depuis son emplacement. Il est particulièrement efficace pour la mise en évidence de forme en creux (fig. 55).

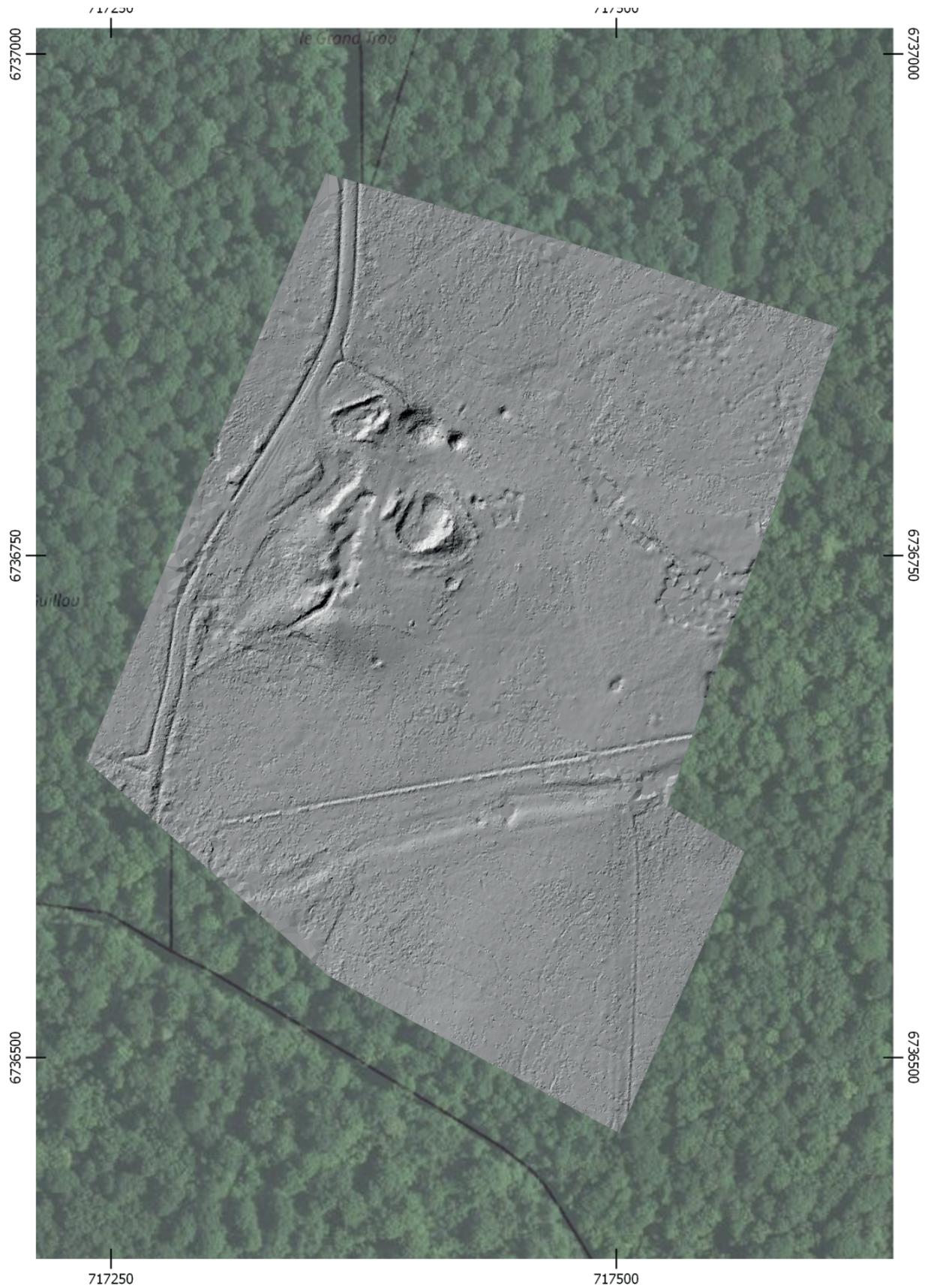


Figure n°51. Visualisation en modèle de surface ombré (Azimut éclairage = 315; Hauteur éclairage = 35)

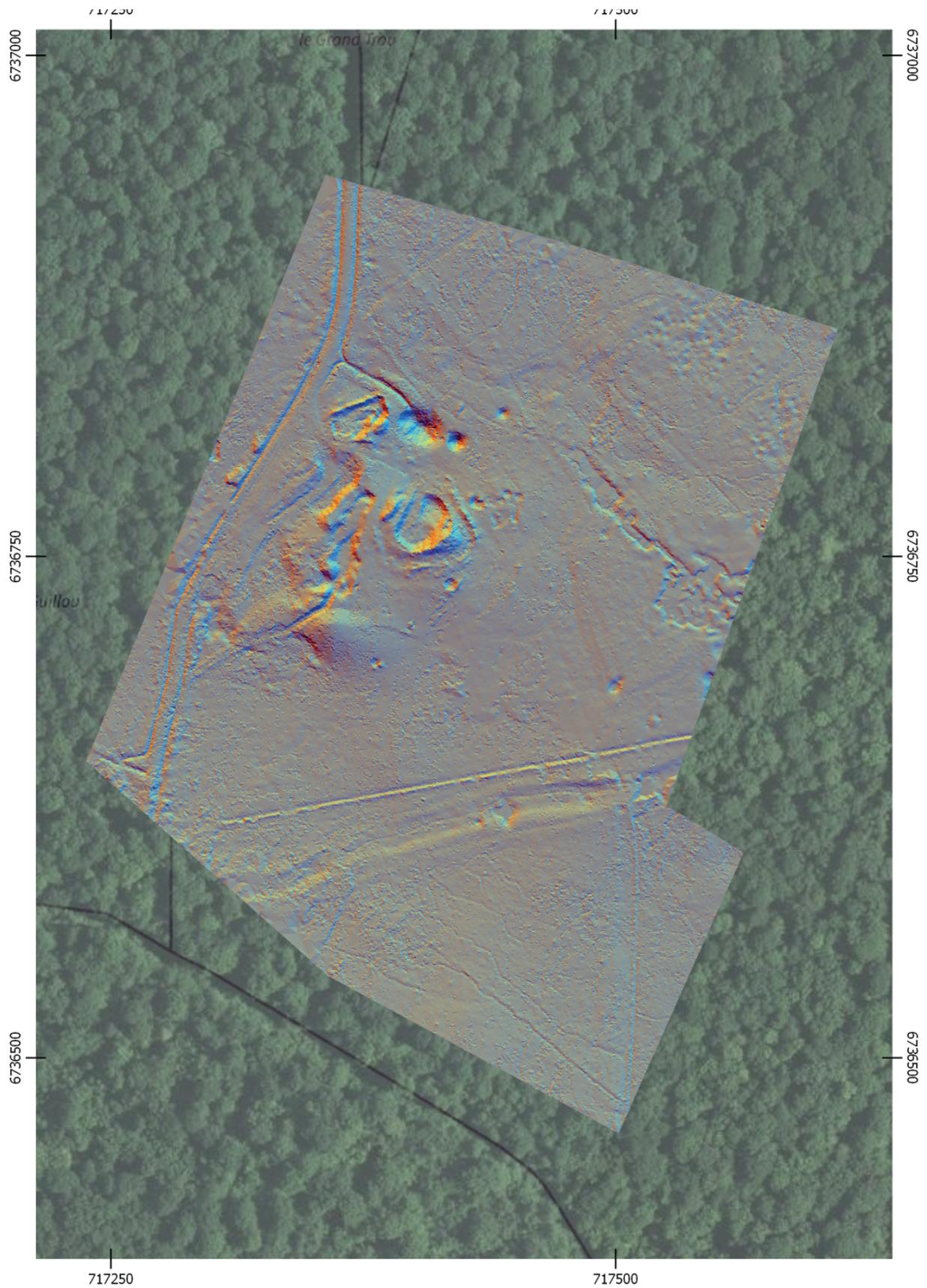


Figure n°52. Visualisation en modèle de surface ombré multidirectionnel avec valeurs RVB (16 directions d'éclairage ; Hauteur éclairage = 35)

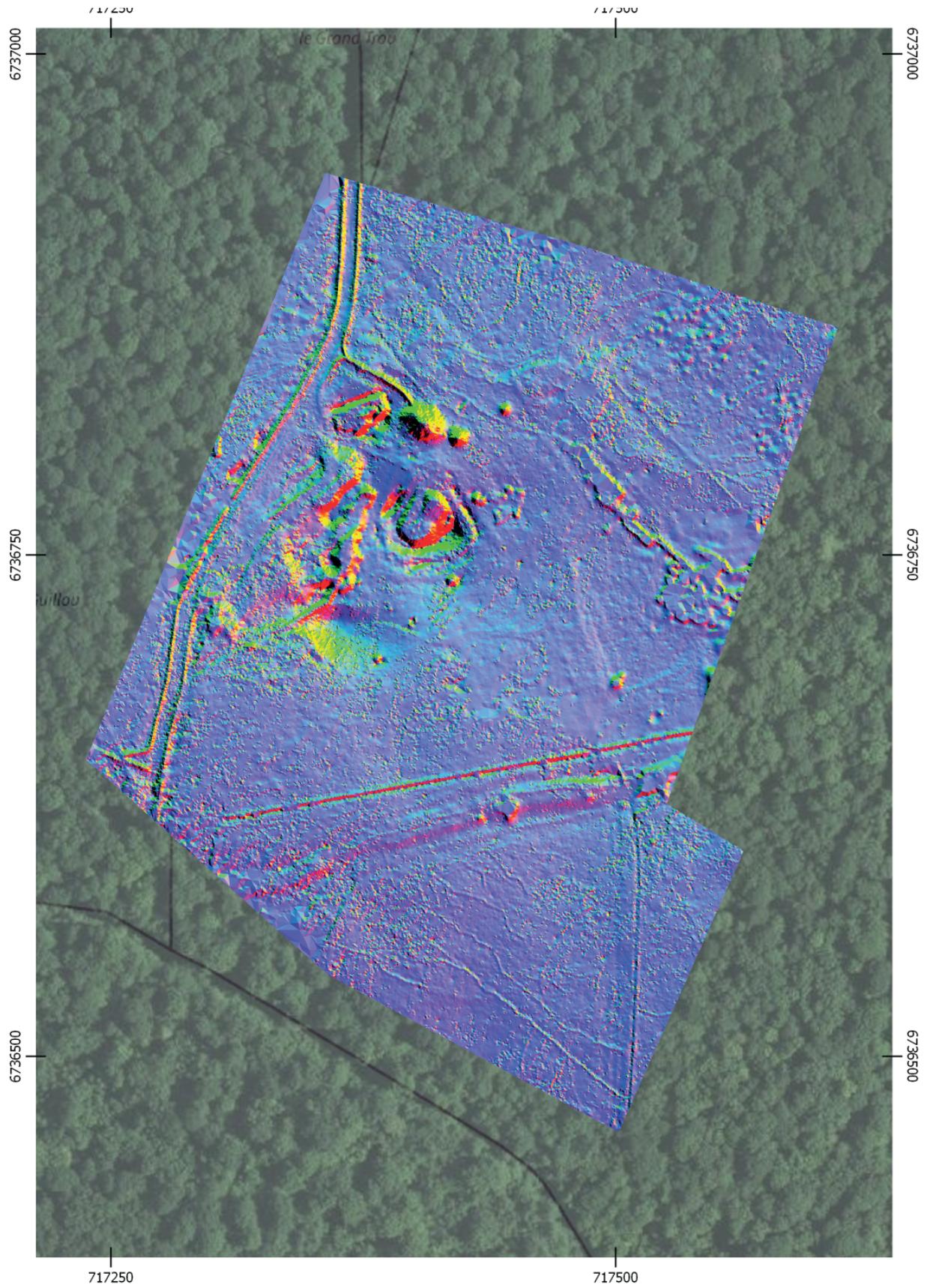


Figure n°53. Visualisation en modèle de gradients de pentes, 8bit

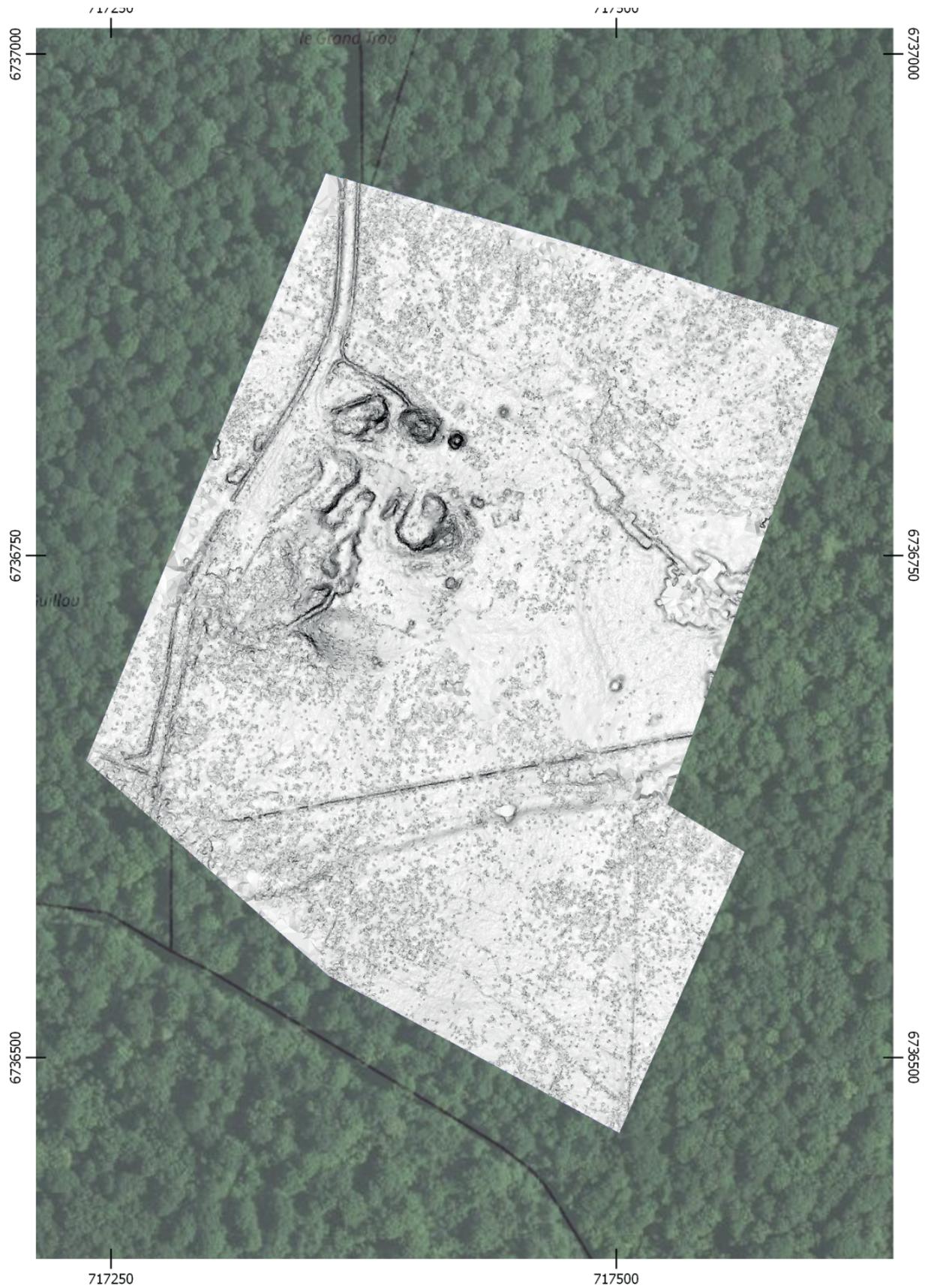


Figure n°54. Visualisation en modèle de PCA avec valeurs RVB (16 directions d'éclairage ; Hauteur éclairage = 35)

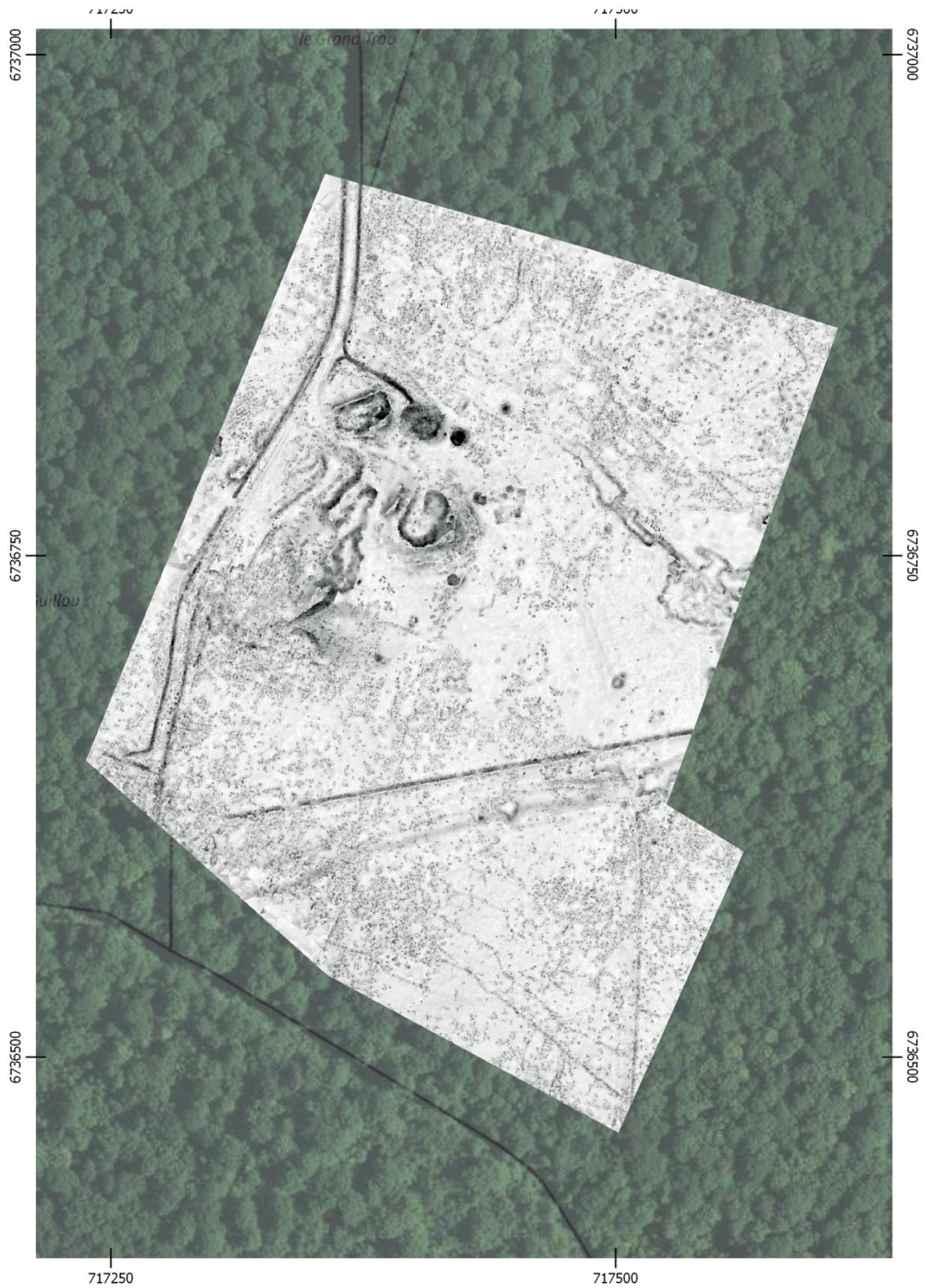


Figure n°55. Visualisation en modèle de sky view factor (rayon de recherche = 25 pixels ; direction = 16)

3.1.5. Conclusion

L'acquisition à haute résolution réalisée en mars 2022 aura permis de cartographier la microtopographie d'environ 10.8 hectares de terrain au lieu-dit le Ferrier Guillou en forêt de Puisaye, à environ trois kilomètres du bourg de Dracy (89). La précision des relevés confirme l'intérêt de l'utilisation du LiDAR aéroporté dans l'examen de sites sous couvert forestier. Le résultat de ces prospections aéroportées par drone offrent une grande lisibilité des microreliefs fossilisés. On y perçoit de manière très nette des vestiges de natures diverses parmi lesquels d'importants amas de scories, des axes de cheminement et des sillons sinueux. La poursuite de ce type d'acquisition et l'extension des fenêtres d'analyse dans le cadre du projet structurant d'envergure TerriFer devrait apporter de précieuses informations sur l'organisation et l'évolution de l'importante activité sidérurgique ayant pris place en Puisaye depuis l'Âge du Fer jusqu'à l'époque moderne

3.2. Résultats des sondages sur le site du Ferrier Guillou 1 (M. Herbrich, M. Berranger, M. Leroy)

3.2.1. Problématique et objectifs de l'opération

L'amas de déchet situé à Dracy "Ferrier Guillou 1" se classe dans la catégorie des « grands amas » caractérisés par leur extension et élévation importante (Berranger *et al.* 2020). Le site présente de nombreux points communs avec les gros amas déjà étudiés au « Bois des Ferriers » à Montholon (Berranger *et al.* 2017, 2018).



Figure n°56. Dracy "Ferrier Guillou" 1, vue générale du lambeau d'amas en place avant sondage (M. Berranger).

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. Un premier sondage a ainsi concerné un lambeau d'amas, dans un secteur relativement central

du site. L'intérêt était ici d'étudier la stratigraphie de cette partie de l'amas présentant une élévation de plusieurs mètres (Fig. 56-57). 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. Un second sondage ponctuel a été aménagé sur une des bordures de l'amas de scories.

3.2.2. Méthodologie

Les fouilles archéologiques se sont déroulées du 22 au 26 août 2022. L'ouverture des sondages a été effectuée le premier jour au moyen d'une pelle mécanique de 15 tonnes, avec un godet lisse d'1,70 m. Pour le sondage 1, trois paliers successifs d'une hauteur d'environ 1,50 m sur une largeur d'environ 6 m, ont été aménagés afin de respecter les normes de sécurité. Le sondage a été conduit jusqu'au terrain naturel. Une hauteur d'environ 5 m a ainsi pu être étudiée. Chaque palier a fait l'objet d'un relevé stratigraphique individuel au 1/20^e.



Figure n°57. Vue générale du sondage 1 (M.Berranger).

Les calculs de volume ont été réalisés à partir de prélèvements de « tout venant » en stratigraphie dans des seaux de 10 à 12L. Le tout est pesé, tamisé puis trié en séparant notamment les parois des scories. Ces dernières sont également distinguées en fonction de la typologie mise en place dans le cadre du PCR (Berranger *et al.* 2020) et pesées par catégorie. Un échantillonnage de scories a été réalisé pour effectuer des analyses chimiques globales en laboratoire.

Une couverture photogrammétrique de l'ensemble du sondage a été réalisée afin d'assembler le modèle 3D aux données LiDAR qui seront acquises sur ce secteur en 2023. Il s'agit ici d'un protocole en cours d'expérimentation. L'utilité et la fiabilité des résultats sont encore à définir. Il s'agit de construire de toute pièce la stratigraphie interne de l'amas en trois dimensions à partir de deux données 2D superposées : le relevé stratigraphique (qui donne des informations précises sur la nature et l'épaisseur de chaque strate sur une coupe donnée) et la photogrammétrie

(qui donne des informations géoréférencées de couleur et de texture) afin de pouvoir recalcr le relevé topographique sur le modèle 3D.

Un second sondage ponctuel a été aménagé en bordure nord-est de l'amas. L'ouverture en largeur correspond à la largeur du godet, c'est-à-dire 1,70 m. Le sondage a été ouvert du sommet de la terrasse jusqu'au sol naturel, soit sur une hauteur de 2,50 m. Aucun prélèvement de matériel n'a été effectué dans ce secteur. L'enregistrement des données a été effectué au moyen de photographies et la stratigraphie a été documentée sous forme de log.

3.2.3. Résultats, le sondage 1 :

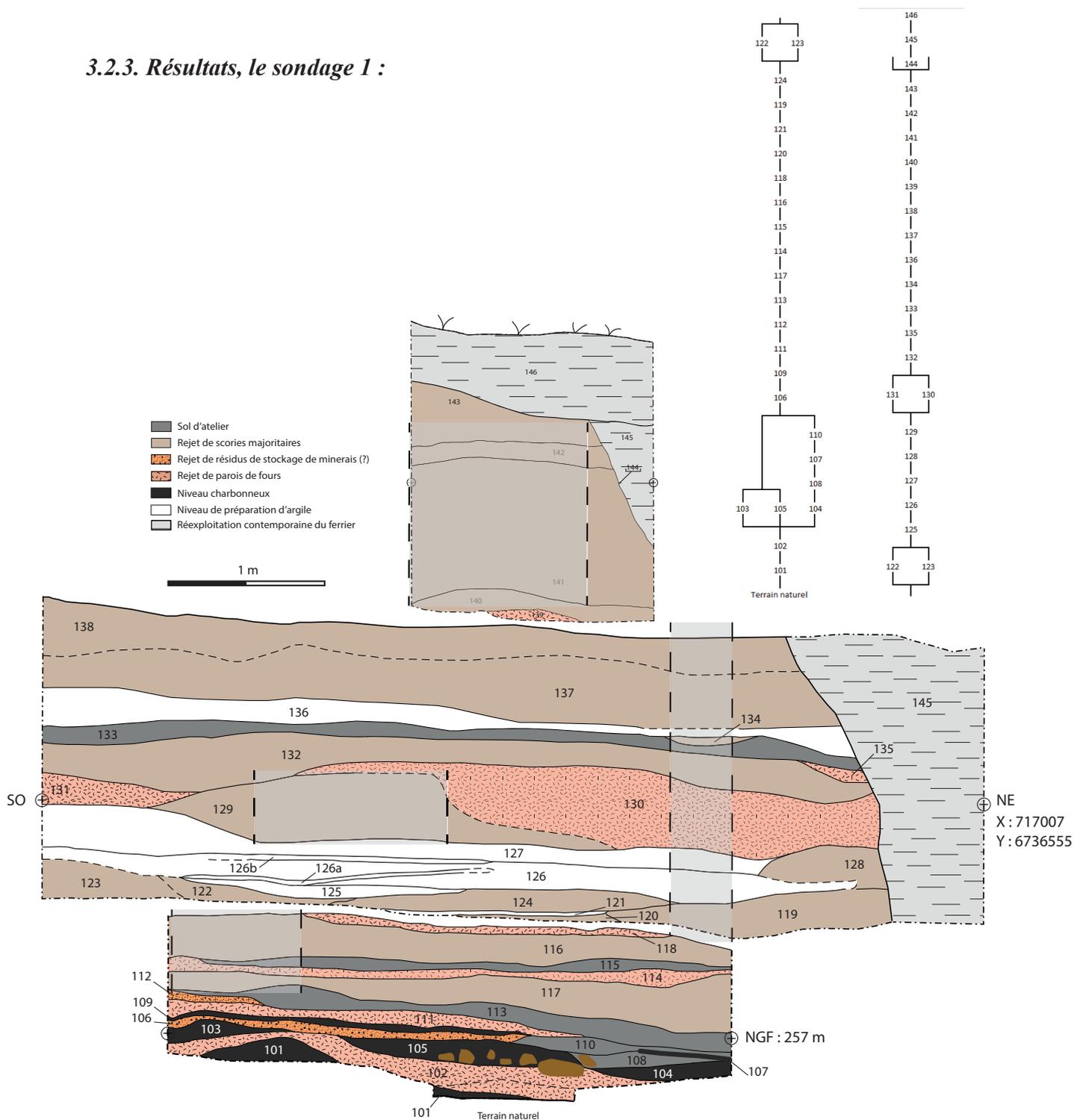


Figure n°58. Relevé de la coupe du sondage 1 et emplacement des prélèvements volumétriques. Diagramme stratigraphique (Relevés : M. Berranger, M. Leroy, H. Chabert, M. Herbrich. DAO : M. Herbrich).

Résultats par palier

Palier inférieur

La coupe du palier inférieur mesure 1,1 m de haut sur 3,6 m de long (Fig. 58). Les strates les plus profondes correspondent à des rejets de préparation de matières premières (US 101 à 112). L'US101 correspond à un niveau directement posé sur le sol naturel. Quelques gros blocs de pierre étaient posés sur le sol géologique et recouverts par un épais niveau de charbon. Ce niveau n'a pu être étudié de manière extensive en raison du caractère ponctuel du sondage. On peut cependant se demander s'il ne s'agissait pas des vestiges d'une charbonnière. Les couches 104, 105, 107 et 109 sont comparables à l'US 101 : il s'agit de niveaux très homogènes, parfois compacts, de charbons de bois de calibres centimétriques qui pourraient correspondre à des niveaux de préparation du charbon. Ils sont intercalés avec des couches compactes de poudre de minerai (US106 et 112) et de rejets de parois de fours (US102, 111).

Ces niveaux de préparation des matières premières sont imbriqués avec ce qui semble être des niveaux de fonctionnement d'ateliers, qui se matérialisent par des couches micro-stratifiées assez meubles comprenant une alternance de poudre de charbon de bois et de fragments de parois (US108 et 110). Un épais niveau de sédiment meuble comprenant de la poudre de charbon et des déchets magnétiques scelle ces niveaux (US 113). Une forte proportion de micro-déchets aimantés, correspondant à des battitures, a été prélevée au sein de l'US113, ce qui atteste de la pratique d'activités de forgeage durant cette séquence.

Les niveaux supérieurs, correspondent à une alternance entre des rejets de déchets de scories (US117 et 116) et des parois de four (US114 et 118) imbriquée entre une couche de sol d'atelier matérialisée par une couche terreuse grise mêlant charbons et petits fragments de scories (US 115). C'est dans cette US qu'ont été mis au jour 35 tessons de céramique en place, à l'interface avec l'US 114.



Figure n°59. US101 : blocs de pierre posés sur le sol naturel et forte concentration de charbon de bois (M. Berranger).



Figure n°60. Palier inférieur, vue de détail (M. Berranger).



Figure n°61. Palier médian, vue de détail (M. Berranger).

Palier intermédiaire

La coupe du palier intermédiaire mesure 1,9 m de haut sur 5,3 m de long (Fig. 61). La stratigraphie alterne entre des couches de rejets majoritairement constitués de scories (US 119, 120, 122, 123, 124, 128, 129, 132, 134, 137 et 138) et des couches argileuses (US 121, 125, 126, 127 et 137). Ces dernières se présentent sous la forme d'ensembles finement stratifiés d'argile plus ou moins cuites allant d'une couleur blanche-rose à orangée-rouge. Il est possible qu'elles matérialisent plusieurs phases de réfection/construction des fours au sein des ateliers. Les US correspondants à des rejets de scories (US 128 et 129) se caractérisent par une forte densité de scories emballées dans une faible proportion de sédiment, ce qui indiquerait leur mise en place et leur scellement rapide. Deux épais niveaux d'épaisseur pluri-décimétriques (US130 et 131) correspondent quant à eux à des niveaux de destruction de fours, et livrent des pains d'argile et des fragments de blocs-tuyères.

Quelques tessons de céramique ont été prélevés ponctuellement dans les US 119 (1 tesson), 126 (2 tessons) et dans la séquence des US 132 à 138 (3 tessons).

Palier supérieur



Figure n°62. Palier supérieur, vue de détail (M. Berranger).

La coupe du palier supérieur mesure 2,3 m de haut sur 1,9 m de long (Fig. 62). L'ensemble est fortement perturbé par les racines des arbres qui s'y enfoncent. La lecture stratigraphique est donc difficile. On distingue une succession de couches de rejets de scories et de fragments de parois de four, contenant de très gros blocs de plus de 50 cm de côté. Un creusement (US144), entaille cette séquence en diagonale sur le côté est. L'US 145 qui le remplit correspond à l'effondrement vers le bas de la couche de scories (US146) qui recouvre le sommet de l'amas. Un lot de deux tessons de céramique a été prélevé dans l'US 145.

Présentation des déchets sidérurgiques et assemblages

Un total de 745 kg de déchets sidérurgiques a été prélevé et pesé. Il s'agit de 666 kg de scories et de 79 kg de parois scorifiées. La sous-représentation des parois s'explique par le fait que les strates visées par les prélèvements ont été celles qui livraient des scories.

La classification se réfère à la typologie détaillée dans Berranger dir. 2020. Les principales catégories mises en évidence sont les scories cristallisées avec ou sans cordons individualisés en surface, correspondant aux types A2-A3-A4. Une autre catégorie de déchets scorifiés correspond aux scories vitreuses, de type C et D.

Les masses de chacune de ces catégories ont été enregistrées par prélèvement, il est donc possible d'étudier les assemblages par type et par US. Ces données sont présentées dans la figure 63. Les scories internes et les parois n'ont pas été prises en compte dans ces calculs.

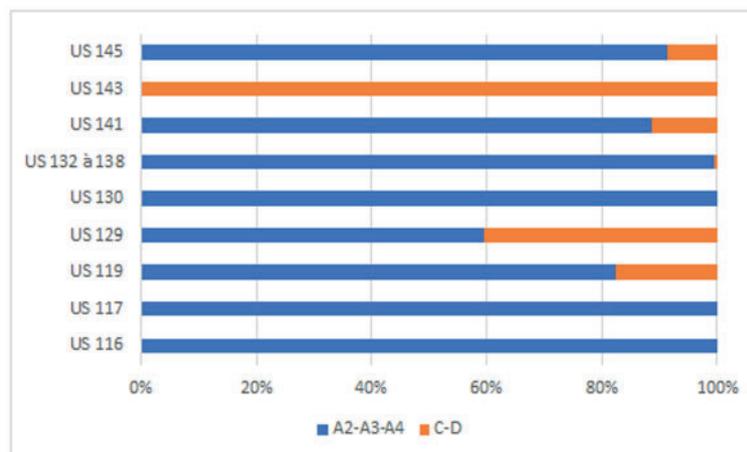


Figure n°63. Assemblage proportionnel des déchets par type et par US sur le critère de la masse (M. Herbrich, M. Berranger)

On constate que certaines strates ne livrent que des scories de type A2-A3-A4. Il s'agit des strates inférieures US117 et 116 ainsi que les US médianes 130 à 138. D'autres US sont caractérisées par une majorité de scories de type A2-A3-A4, associées néanmoins aux scories vitreuses de type C et D. Il s'agit des US médianes 119 et 129 et de l'US supérieure 141. L'US sommitale 143 est la seule à ne livrer que des scories vitreuses. Les assemblages de l'US145 sont à considérer avec prudence car elles correspondent aux effondrements des niveaux superficiels.

Prélèvements quantitatifs et calculs de masse

La fouille de Dracy a permis de tester un protocole de prélèvements volumiques en stratigraphie afin de déterminer la concentration des déchets dans l'amas. En effet jusqu'à présent les prélèvements au sein des amas de scories avaient essentiellement pour but de collecter des charbons pour datations et des scories pour caractérisations typologiques, études des assemblages et analyses. L'exploitation de ces données dans le cadre d'une étude de master a mis en évidence la nécessité de tester leur fiabilité en raison de leur caractère très ponctuel (Herbrich 2021). Un important développement méthodologique est à faire afin de mettre en place un protocole adapté et reproductible. Cette méthodologie sera développée dans le cadre de la thèse associée au projet région TerriFER et a pour but de multiplier les données volumiques sur l'ensemble des ateliers qui feront l'objet d'études détaillées.

Protocole de prélèvement in situ

Les strates concernées par les prélèvements sont les suivantes : 114, 115, 116, 117, 119,

126, 129, 130, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 141, 143, 145. Sur les coupes inférieure et intermédiaire les prélèvements ont été effectués au moyen de colonnes (fig. 64). L'ensemble des US livrant des concentrations de scories a donc été échantillonné (117, 116, 119, 129, 132, 137, 138, 140 à 143). Les US 101 à 113 correspondent à des niveaux de préparation de matière première microstratifiés dépourvus de fragment de scories et n'ont donc pas été prélevées. Les prélèvements issus des US 127, 140, et 142, ont été regroupés autour des couches jouxtant ces dernières et qui sont de même nature (US 126, 141 et 143). L'agencement stratigraphique de la coupe du palier supérieur ne permettait pas d'établir une colonne de prélèvement en raison de risques important d'éboulements. Les prélèvements ont donc été faits en vrac dans les US.

Résultats des calculs de masse

Afin de calculer la concentration de scorie au sein de chaque strate (exprimée en kg.m^3), nous utilisons la formule suivante : $x = m/V$ (x = concentration massique (kg.m^3), m = masse du matériau dans un corps (kg), V = volume du corps (m^3)). La masse de parois est bien évidemment exclue des calculs.

N°US	Nombre de seaux	Contenance seau (en L)	Volume total du prélèvement (m^3)	Masse parois (kg)	Masse scories (kg)	Concentration massique de scorie (kg.m^3)
114	1	12	0,012	8	8	667
115	2	9	0,018	2	12	667
116	10	12	0,12	10,5	121	1 008
117	5	12	0,06	5	58,5	975
119	5	12	0,06	3	75	1 250
126	5	12	0,06	17	24,5	408
129	6	12	0,072	2	47,5	660
130	7	12	0,084	/	95,5	1 137
132/133/134/ 136/137/138	10	12	0,12	11,5	87,5	729
141	5	12	0,06	9,5	35,5	592
143	4	12	0,048	8	66,5	1 385
145	3	12	0,036	2,5	40	1 111
				$x = m/V$	Moyenne = 882 kg.m^3	

Figure n°64. Inventaire des prélèvements volumétriques en stratigraphie et calculs des concentrations massiques (M. Herbrich)

La concentration massique moyenne obtenue est d'environ 882 kg.m^3 . Cette estimation paraît tout à fait cohérente avec les données concernant les ferriers de la haute vallée de la Dure pour la période antique (Mangin, 2004 p. 192), qui fournit un intervalle entre 750 et 1000 kg de scorie par m^3 .

Comparaison avec l'approche quantitative réalisée dans le cadre de l'étude de master à Montholon

En revanche ces estimations s'éloignent légèrement des estimations calculées sur les amas de Montholon dont la concentration massique moyenne s'élève à $1 155 \text{ kg.m}^3$ (Herbrich, 2021). Cet écart peut cependant s'expliquer par la méthode de prélèvement mise en place à Montholon qui n'avait pas pour but initial de calculer des concentrations de scories en stratigraphie et se révèle donc inadaptée pour une telle problématique (prélèvements trop peu nombreux et récoltés dans les strates les plus riches en scories). Le protocole d'échantillonnage à Dracy s'est fait sans distinction dans toutes les strates contenant un minimum de scories (prélèvements par colonnes), à raison d'un volume prélevé plus important. De plus, cette année les strates perturbées ou correspondant aux remaniements récents ont été prises en

compte et s'avèrent très concentrées en scories : environ 1 111kg.m³. La méthode semble donc ici certainement plus représentative. Par ailleurs on peut souligner que la coupe de Dracy présente l'avantage de cumuler une vision globale représentative de l'amas, depuis les niveaux d'humus jusqu'au terrain naturel.

Expertise du mobilier céramique (S. Mouton-Venault)

Le sondage de cette année a livré 89 fragments, permettant un calcul de 26 NMIp .

Si le NMI seul confirme la faiblesse des éléments de forme qui auraient permis de préciser la chronologie de certaines US, il est néanmoins possible de dégager quelques tendances :

- Le mobilier atteste d'une utilisation du ferrier durant les trois premiers siècles de notre ère
- L'US 115, confirme le fonctionnement de ces ateliers dès la première moitié du 1er s. de notre ère.
- L'US 145 est en lien avec les derniers niveaux conservés qui témoignent d'une activité au cours du IIIe s.
- Le mobilier des US 132-138 et celui des déblais et décapage confirme l'activité de ces ateliers tout au long des IIe et IIIe s.

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)	Iia et IIB-IIIa	4	3	3
Déblais – 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	II TPQ 150	21	1	6
Déblais – 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 lèvres éversées ; 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 IIIe) à lèvres épaissies (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°65. Tableau récapitulatif des données issues de l'étude du mobilier céramique.

L'étude du mobilier confirme que ces ateliers sont actifs dès le début du 1er s. et que cette activité est continue durant les IIe et IIIe s. On note l'absence de mobilier caractéristique du IVe s., dans la succession d'US 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 disparue.

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 IVe. Il s'agit ici de la variante du IIIe, voire début IVe, 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 IIe et le milieu du IIIe s.).

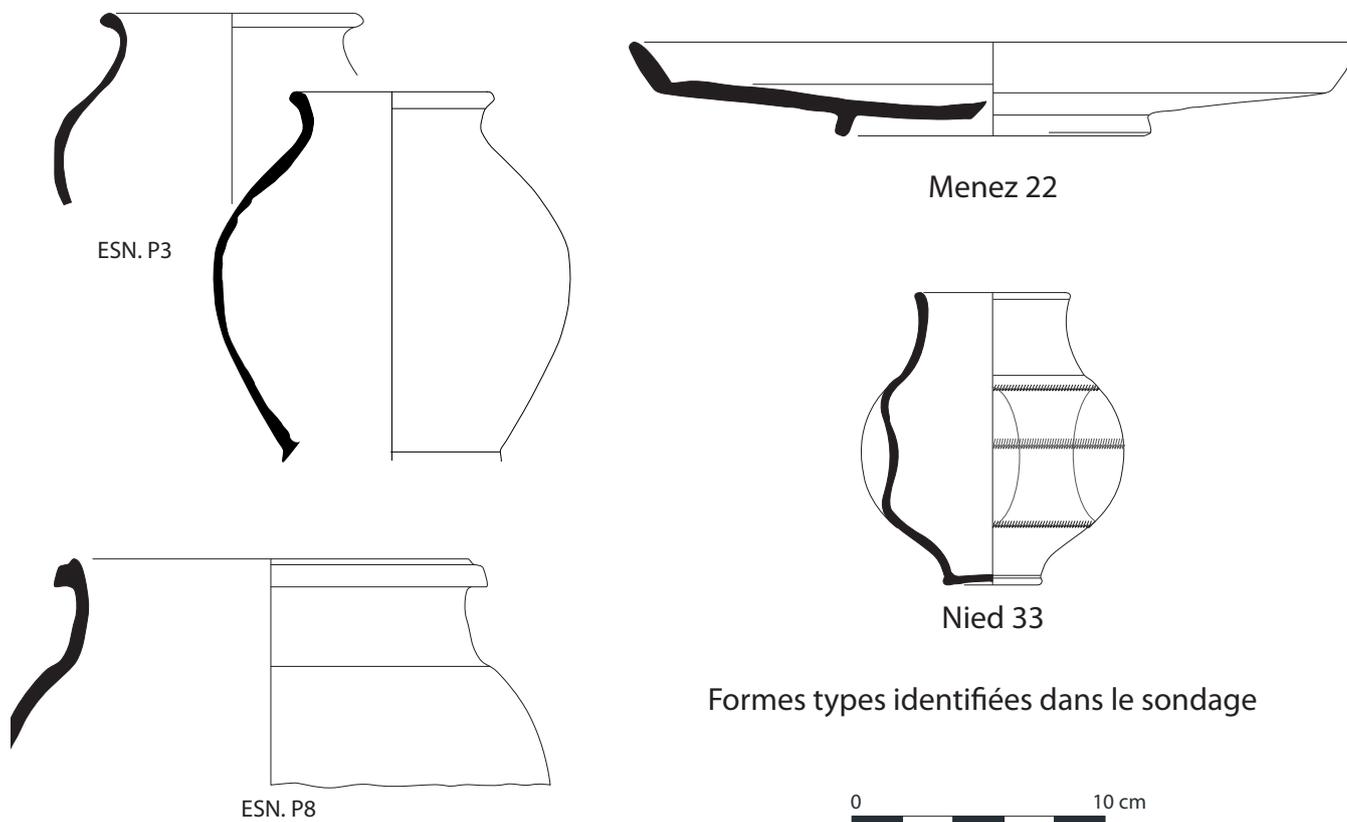


Figure n°66. Les formes types identifiées dans le sondage 1 (ESN = Typologie d'Entrains-sur-Nohain (in Venault, Nouvel et al. 2015) (S. Mouton-Venault)

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 1er 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 IIe s. dans les niveaux d'ateliers du 16, route d'Etai (Venault, Nouvel et al. 2015 ; Vincent 2014).

En résumé, ce niveau de sol d'atelier témoigne d'une fourchette chronologique large, couvrant le Ier siècle qui dans son acception 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 et al. A paraître), 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.

3.2.3. Résultats, le sondage 2.

La prospection au sol de l'ensemble de la surface couverte par cet amas a permis d'observer des aménagements particuliers sur sa périphérie. La partie plutôt centrale de l'amas est matérialisée par des lambeaux de tas, pouvant atteindre plusieurs mètres de hauteur, ré-exploités au XX^e s. 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 à Dracy mais a également été observé par exemple 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 ?



Figure n°67. Vues générales des plateformes aménagées en périphérie de l'amas 1 de Dracy. A gauche, succession de deux plateformes superposées. A droite détail d'une des plateformes (M. Berranger).

Le sondage 2 a été réalisé dans la bordure de la plateforme la plus extérieure (fig.49-67). La stratigraphie s'est révélée très homogène. Les vingt premiers centimètres posés directement sur le sol naturel correspondent à une concentration de fragments de scories, mesurant une dizaine

de centimètres de côté, tassées dans un sédiment terreux. Ils sont surmontés par un niveau homogène constitué d'un sédiment fin terreux comprenant de petits fragments de scories infra-centimétriques, quelques fragments centimétriques de parois de four et de charbons. Un léger pendage du haut vers le bas est observé et correspond au sens de déversement de ces niveaux dans la pente de la terrasse.



Figure n°68. Vue générale du sondage 2 en périphérie de la plateforme (M. Berranger).



Figure n°69. Sondage 2, log et vue générale de la stratigraphie (M. Berranger)

L'absence de gros blocs de scories tout comme l'aspect très terreux du sédiment ainsi que sa faible compacité permettent de formuler l'hypothèse que ces apports de terre correspondent aux vestiges de résidus de criblage de la ré-exploitation 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 des sédiments en surplus sous forme de terrasses, probablement afin de faciliter la circulation et les travaux d'exploitation. Dracy est l'un des gisements à avoir été les plus exploités du début jusqu'au milieu du XXe s., au même titre que Villiers-Saint-Benoît et Aillant, au point que de 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.

3.3. Conclusion.

Les travaux initiés dans le secteur de Dracy "Ferrier Guillou" se poursuivront en 2023. La priorité est donnée à l'extension des acquisitions LiDAR, de façon à couvrir l'amas n°1 sondé cette année. Des prospections au sol seront également engagées afin d'interpréter les anomalies topographiées par LiDAR. Une nouvelle vérification sur place sera également effectuée afin d'identifier d'autres zones qui pourraient être sondées, plus particulièrement sur l'amas n°2.

4. Prospections géophysiques et sondages à Tannerre-en-Puisaye "Beauregard"

Fiche signalétique

Localisation de l'opération

Région : Bourgogne-Franche-Comté Département : Yonne (58)

Commune concernée par des fouilles : Tannerre-en-Puisaye

Références cadastrales de la parcelle étudiée

Commune : Tannerre-en-Puisaye Occupation du sol : prairie

Références cadastrales : A480, B600, 601, 911, 1114

Références de l'opération

Numéro d'arrêté d'autorisation de sondages : 2022/346 en date du 31 mai 2022

Dates d'intervention :
- sondages : 4 au 7 juillet
- prospections géophysiques : 5 au 7 septembre

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologiques

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

Résultats significatifs

Éléments de datation : céramique

Mots-clefs : voie, enclos, solins

Sondages

Équipe de fouilles : Stéphane Venault (INRAP - Chrono-environnement), S. Saves

Traitement des données et rapport : Stéphane Venault (INRAP - Chrono-environnement)

Géophysique

Acquisition des données : François-Xavier Simon (INRAP), Hervé Herment (INRAP)

Traitement des données, interprétation, rapport : François-Xavier Simon (INRAP)

Remerciements : nous tenons à remercier vivament Marie Sirot pour l'accès à ses parcelles en cours d'exploitation, ainsi que Pierre-Emmanuel De Leusse pour avoir joué le rôle de relais local.



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2022/346 du 31 mai 2022

portant autorisation de prospection avec matériel spécialisé.

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° 21.68 BAG du 23 mars 2021, du Préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté portant délégation de signature à Madame Aymée ROGE, Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté du 16 mars 2022, portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272022000071, de demande d'opération archéologique arrivé le 22 avril 2022 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERRANGER est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 30 décembre 2022, à conduire une opération de prospection avec matériel spécialisé, assortie de sondages sis en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE

Département : YONNE

Commune : TANNERRE-EN-PUISAYE

Lieu-dit : Beauregard

Cadastre : section A, parcelle n° 480 et section B, parcelles n° 600, 601, 911, 1114.

Intitulé de l'opération : prospections géophysiques et sondages archéologiques à Tannerre-en-Puisaye 2022.

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

Code de l'opération : **044034**.

Cette opération a lieu dans le cadre du projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 intitulé « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté : organisation et circulation des productions (VIII^e s. av. J.-C. - V^e s. ap. J.-C.) ».

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 31 mai 2022

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

4.1. Rapport de prospection magnétique (F.X. Simon)

4.1.1. Contexte

Une prospection magnétique a été mise en œuvre à proximité du ferrier antique de la « Garenne » à Tannerre-en-Puisaye dans l'Yonne dans la continuité de la prospection réalisée en 2021. Trois parcelles ont fait l'objet d'une étude magnétique, la première à l'ouest du centre équestre a été traitée avec un système d'acquisition tracté, seule la partie la plus à l'est de ce champ a été cartographiée avec un système manuel du fait de la présence de nombreux taillis de ronces, une parcelle (partie de la parcelle 1114) au sud du centre a été traitée avec le système tracté et enfin une parcelle (ouest de la parcelle 911) a été traitée à la main à l'ouest du cimetière. L'objectif était de reconnaître l'extension vers l'ouest de la zone d'habitat détectée en 2021 et vérifiée par des sondages archéologiques réalisées en juillet 2022 ainsi que de vérifier la présence potentielle de vestiges à proximité du cimetière. La prospection a eu lieu du 5 au 7 septembre 2022. Au total, 5,6 hectares ont été prospectés par la méthode magnétique.

4.1.2. Méthodologie

Principe

La méthode magnétique mesure la somme des champs magnétiques locaux, dont le champ magnétique terrestre ainsi que celui créé par les structures présentes dans la proche surface. En effet, les structures archéologiques possèdent un contraste d'aimantation plus ou moins important avec l'encaissant, induit par la présence ou l'absence de grains d'oxydes de fer magnétique. Ce contraste est à l'origine d'une anomalie locale du champ magnétique, propre à la structure, et qui pourra être détectée en surface.

De manière générale, la méthode magnétique est particulièrement bien adaptée à la recherche des structures en creux, des structures dite de chauffe et de celles liées à la métallurgie du fer. Dans les cas favorables, les éléments de constructions peuvent également être décelés comme des murs calcaires dans un sol magnétique, des murs en matériaux magnétiques (basalte, brique) ou des amas de terres cuites (tuiles, sols, etc.).

Acquisition

L'appareil utilisé est un magnétomètre différentiel MXPDA de la société Sensys. Chaque sonde mesure la différence de la composante verticale du champ magnétique entre deux capteurs distants de 65 cm. Le couplage d'un GNSS (AGGPS542 Trimble avec correction du réseau Teria) permet un calage centimétrique en temps réel des données magnétiques. La distance entre les profils est de 50 cm avec une fréquence d'échantillonnage d'un point tous les 1-2 cm environ selon la vitesse d'avancement. Le mode d'acquisition consiste soit en un chariot qui supporte cinq sondes de mesure et qui est poussé devant l'utilisateur soit en un système tracté par un quad (fig. 70).

Cette méthode permet de couvrir de grandes surfaces rapidement mais présente l'inconvénient d'être très sensible aux perturbations récentes de type clôtures métalliques, bâtiments, véhicules... qui peuvent rendre difficile voire impossible l'interprétation. Les anomalies magnétiques sont toujours constituées d'une partie positive (en noir) et d'une partie négative (en blanc). L'objet source est situé entre le maximum de la partie positive et le minimum de la partie négative. La pollution magnétique (anomalies de forte intensité et à faible longueur d'onde) est généralement créée par des objets ferreux (clous, cartouches de fusil...) présents

dans l'horizon superficiel. Il faut également noter que la taille de l'anomalie peut être beaucoup plus grande que la taille de l'objet cartographié si son aimantation est particulièrement forte. C'est également le cas des objets hors-sol, tels que les poteaux électriques, qui vont perturber les mesures dans un rayon de plusieurs mètres.

Sur le site de Tannerre-en-Puisaye, les conditions d'acquisition étaient bonnes, avec un terrain très praticable si ce n'est quelques obstacles liés à la ferme équestre dispersés et quelques dépôts de décharge. Malgré tout, de nombreux objets ferreux liés à l'activité du centre équestre ou agricole antérieure restent présents dans la proche surface et génèrent les nombreux dipôles magnétiques observables sur la cartographie magnétique.



Figure n°70. Système d'acquisition magnétique à 5 sondes (MXPDA – Sensys) poussé par l'opérateur tracté par un quad. Vues du terrain en cours d'acquisition.

Traitement

Les données brutes ont été traitées avec le plugin AGT sous QGIS (développement Inrap). La médiane a été retirée sur chacun des profils. Les points stationnaires ont également été supprimés. Les données ont été interpolées selon une maille carrée de 30 cm de côté en utilisant la méthode d'interpolation *Multilevel B-spline*. Les effets de halo liés aux constructions actuelles, comme par exemple le toit du manège équestre, ont été atténués au maximum. L'ensemble des données et interprétations a été géoréférencé dans le système de coordonnées Lambert 93.

Afin de révéler au mieux les anomalies dont le contraste horizontal varie lentement nous avons réalisé une simulation de la mesure du champ magnétique terrestre total. Cette simulation permet de mettre en évidence des structures lenticulaires. Même si le résultat n'est pas strictement conforme à ce qui aurait été mesuré sur le terrain avec un magnétomètre de type champ total, ce type de simulation permet de s'en approcher et de fournir un autre point de vue intéressant pour l'interprétation des résultats.

4.1.3. Résultats



Figure n°71. Emprise de la prospection magnétique sur fond orthophotographique (données IGN).

Les résultats des prospections magnétiques sont présentés sur les figures 72 et 73 et les prospections sur les figures 9 à 10. Les données sont ensuite présentées plus en détail sur les figures 76 à 81.

On observe, à l'échelle de la prospection réalisée en 2022, un niveau de bruit relativement faible ce qui permet une lecture assez précise des anomalies géophysiques. Les données sont de bonnes qualités, aucun souci instrumental n'a été observé lors de l'acquisition et les effets induits par les aménagements contemporains sont relativement faibles dans la partie sud et ouest du centre équestre. Seule la parcelle 0911 située à proximité du cimetière montre un niveau de bruit beaucoup plus élevé qui n'empêche cependant pas la lecture de certaines anomalies ponctuelles et linéaires possiblement en lien avec des traces de l'habitat antique.

Sur les cartes générales (Fig. 72, 73, 74), une différence assez nette est perceptible entre les résultats de cette année - avec des anomalies plus isolées et éparées - comparé à ceux de 2021 qui présentaient des ensembles plus structurées avec des anomalies linéaires pouvant être associées à des fossés mais également avec des signatures de plus fortes du fait du réemploi de matériaux magnétiques issus des ferriers tout proches. Néanmoins, lors de la campagne 2022, plusieurs secteurs avec des groupes d'anomalies sont à noter. Si leur forme ne permet pas de trancher entre des anomalies d'origine naturelle (cuvettes naturelles, fosses de chablis...) ou anthropiques (fosses, structures de chauffe...) il est intéressant de noter que ces dernières sont regroupées. Nous discuterons des résultats par zoom afin de faciliter la lecture des anomalies et les liens entre le texte et les cartes.

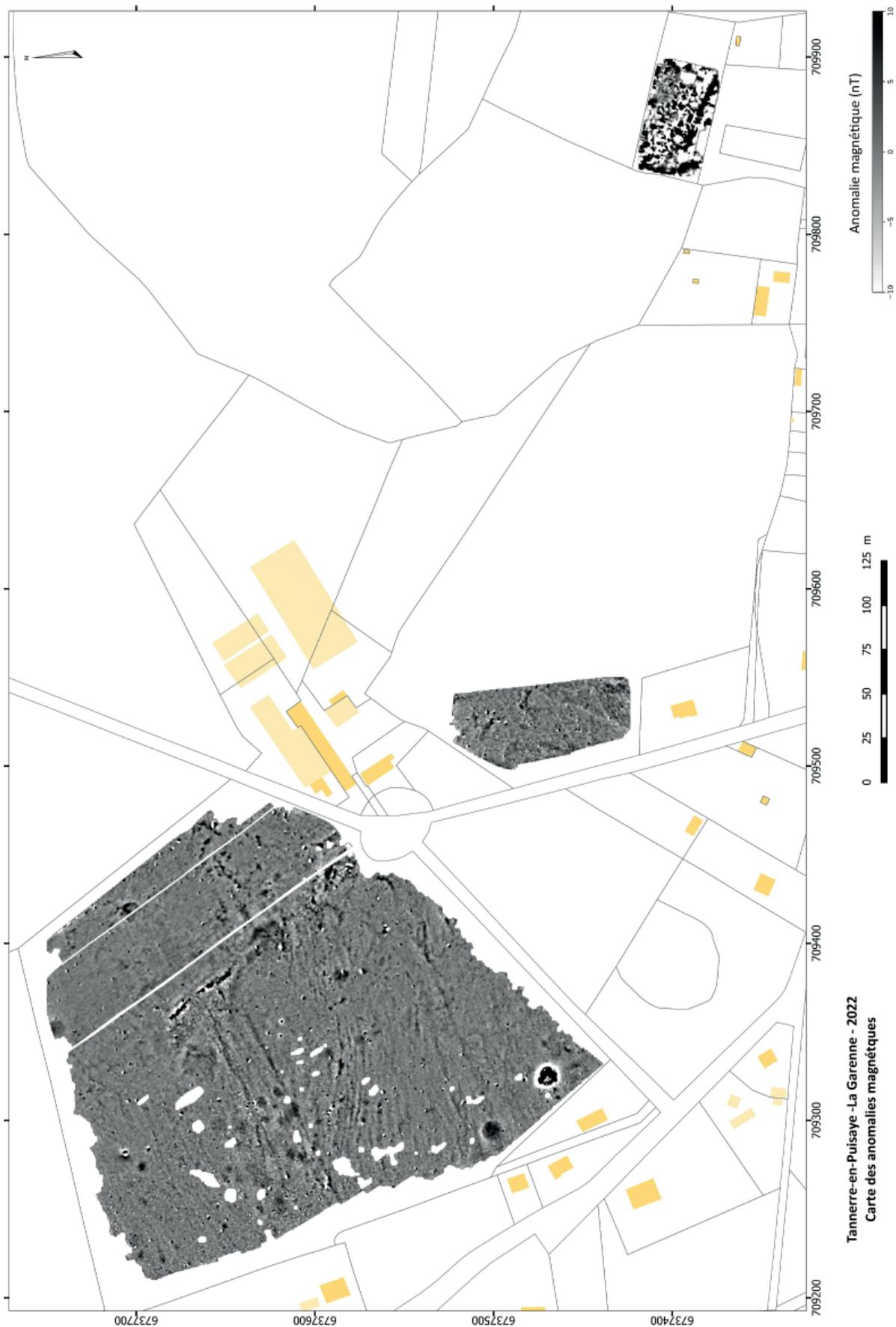


Figure n°72. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur cadastre (source cadastre.gouv).

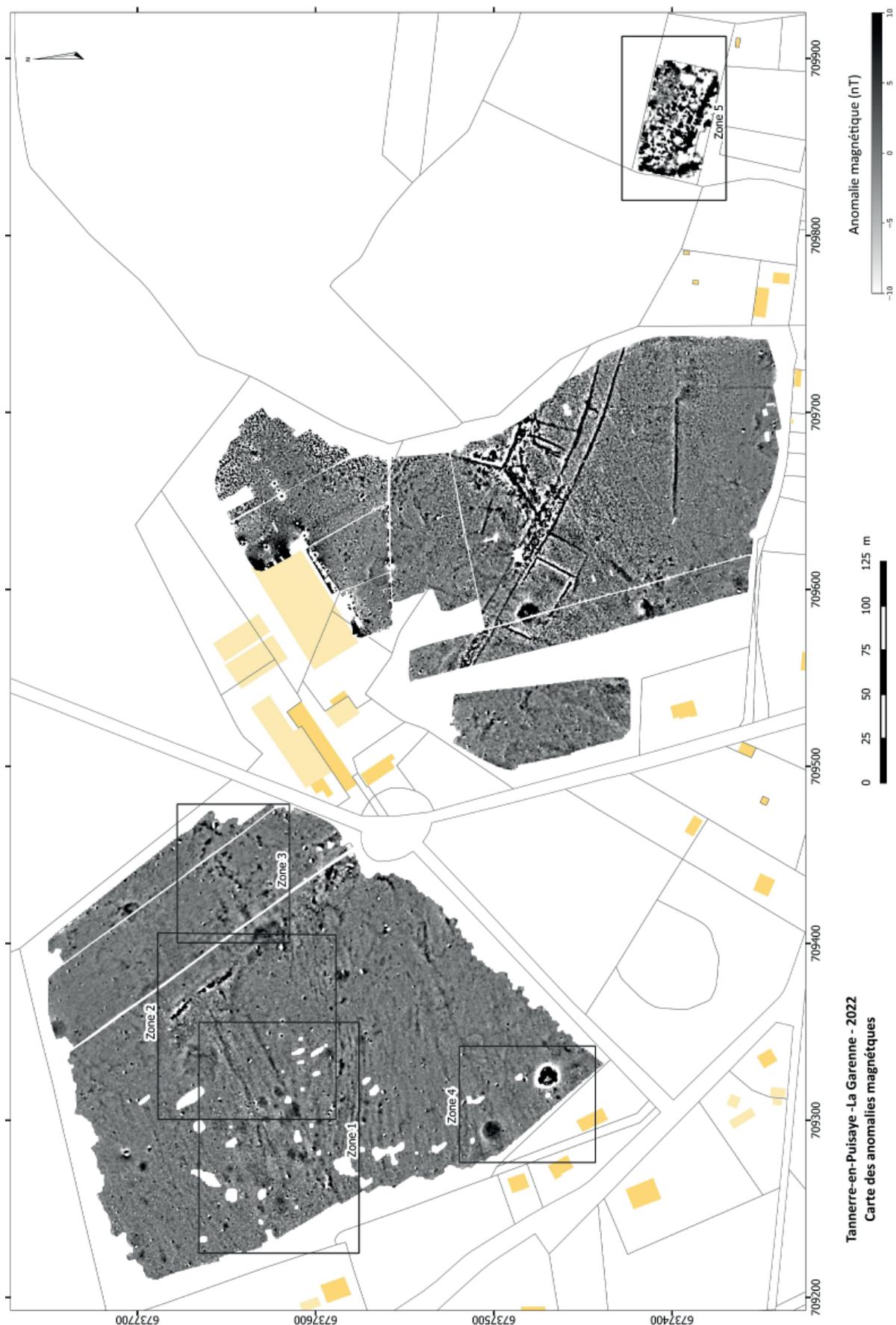


Figure n°73. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur cadastre (source cadastre.gouv). Compilation 2021-2022 avec zonage

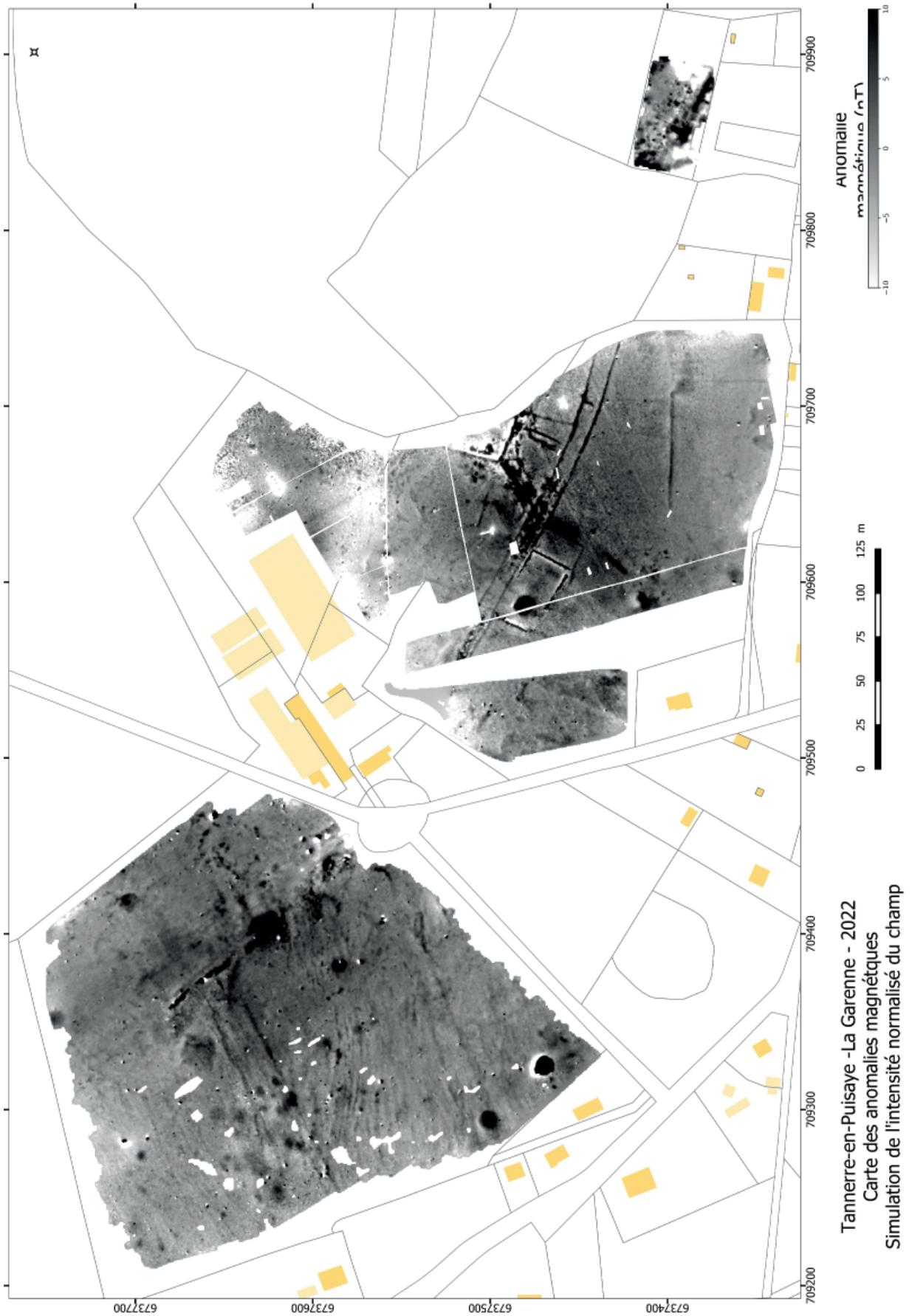


Figure n°74. Simulation du champ magnétique total sur fond cadastral (source cadastre.gouv).

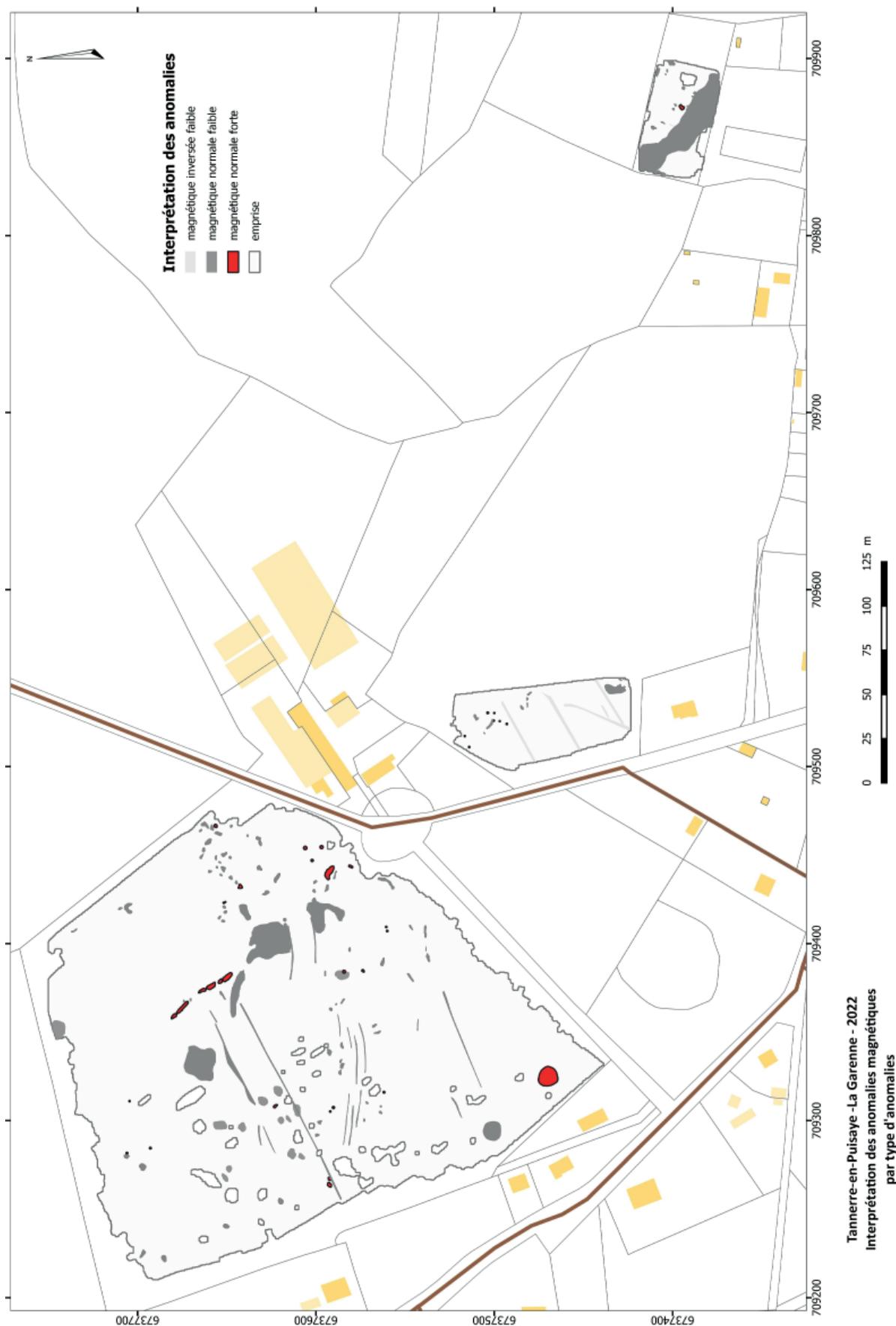


Figure n°75. Interprétation des anomalies magnétiques avec classification par types d'anomalie

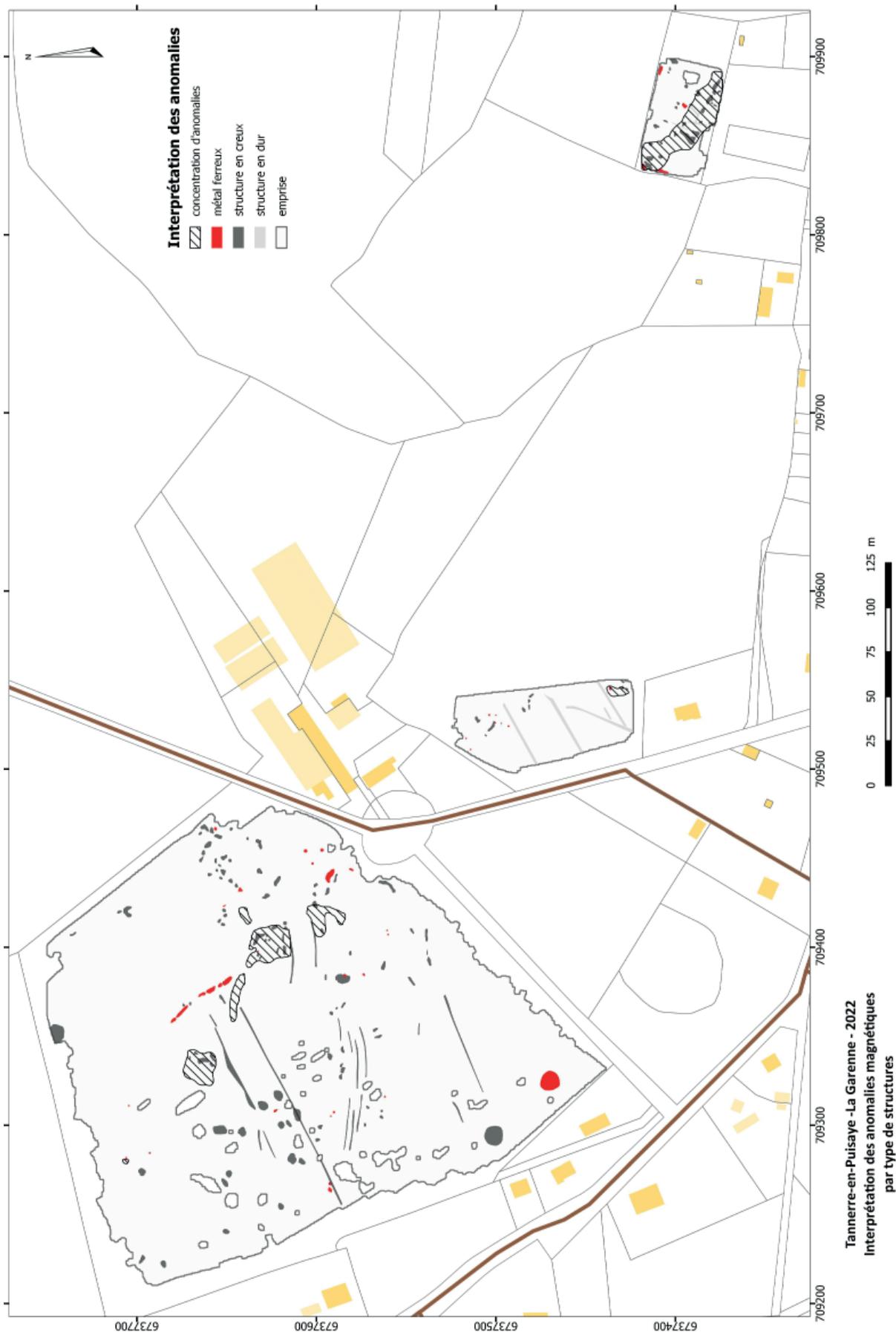


Figure n°76. Interprétation des anomalies magnétiques avec classification par types de structure.

Zoom 1 :

Le premier zoom permet de visualiser de larges anomalies notées 1 à 5 qui semblent correspondre à de larges cuvettes. L'intensité du signal est relativement faible ce qui laisse un doute entre un comblement d'origine naturel ou anthropique. Si ce dernier devait être attesté, ces structures ne semblent pas être en lien avec des remplissages de matériaux de type scories ou matériaux en terre cuite. On observe également les anomalies linéaires 6 et 7 qui pourraient correspondre à des fossés. Les bords de l'anomalie 6 étant bien marqués, il se peut que son état de conservation soit meilleur. L'anomalie 7 semble discontinue à l'est et à l'ouest.

Zoom 2 :

Sur ce secteur on distingue des anomalies assez magnétiques qui présentent une signature liée à de l'aimantation rémanente. Certaines anomalies ont une aimantation orientée sur celui du champ magnétique terrestre comme les anomalies 8 et 9. Cette caractéristique indique soit que l'aimantation a été acquise au cours de son utilisation (ex : fours) soit que les éléments magnétiques composants la structures sont mélangés. Etant donné la proximité des ferriers, et les signatures observées en 2021 pour certaines structures, il faut privilégier la deuxième hypothèse. Certaines anomalies ne sont au contraire pas orientées comme l'anomalie 10 ce qui indique la présence de métal ferreux.

On remarque également certaines grandes anomalies zonales, surtout visibles sur la simulation des anomalies de champ total (anomalie 11). Sur les cartes de différence de la composante verticale du champ magnétique terrestre on distingue à l'intérieur de ces dernières de plus petites anomalies, légèrement plus magnétiques. Cela pourrait correspondre à une cuvette contenant des structures plus profondes (ou marquées) ou d'un niveau d'occupation ou d'activités qui aurait laissé une trace visible sur les cartes magnétiques. On retrouve le même type d'anomalie un peu plus à l'est au niveau de l'anomalie 12.

Zoom 3 :

Cette zone a été choisie du fait de la présence d'un chapelet d'anomalies de moyenne amplitude comme les anomalies 13 à 20. L'origine de ces anomalies est assez difficile à établir. Il peut là encore s'agir de cuvettes ou de structures anthropiques aménagées. Seule la fouille permettra de lever cette incertitude.

Quelques anomalies magnétiques fortes (21,22) sont également visibles et très probablement en lien avec la présence d'éléments en fer dans ce secteur.

Zoom 4 :

Dans le sud de la parcelle on distingue deux anomalies circulaires de grande dimension, voisines d'une cinquantaine de mètres et de 11 m de large environ. La première d'entre elles, l'anomalie 23, présente une aimantation relativement moyenne à faible alors que la deuxième, l'anomalie 24, présente une aimantation magnétique assez marquée. Il est tout à fait étonnant d'observer deux anomalies de même dimension aussi proche l'une de l'autre. Etant donné leur localisation et leur taille similaire il s'agit sans doute du même type de structures. Il pourrait s'agir de charbonnière (bien que cette hypothèse reste à confirmer). Une structure de même dimension avait été observée en 2021 (a42) avec une aimantation moyenne également. Cette dernière était associée à une faible dépression sur le terrain, ce qui n'est pas le cas cette année. Un relevé micro-topographique permettrait peut-être de confirmer cette observation.

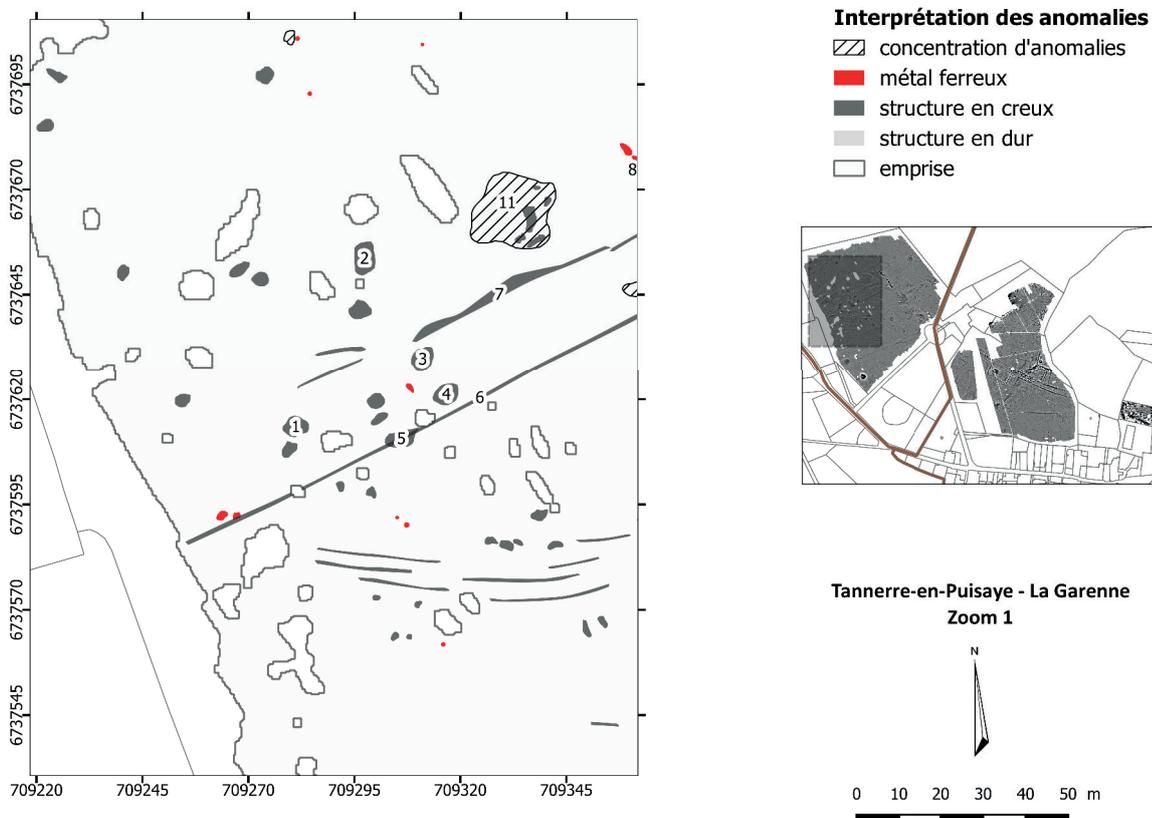
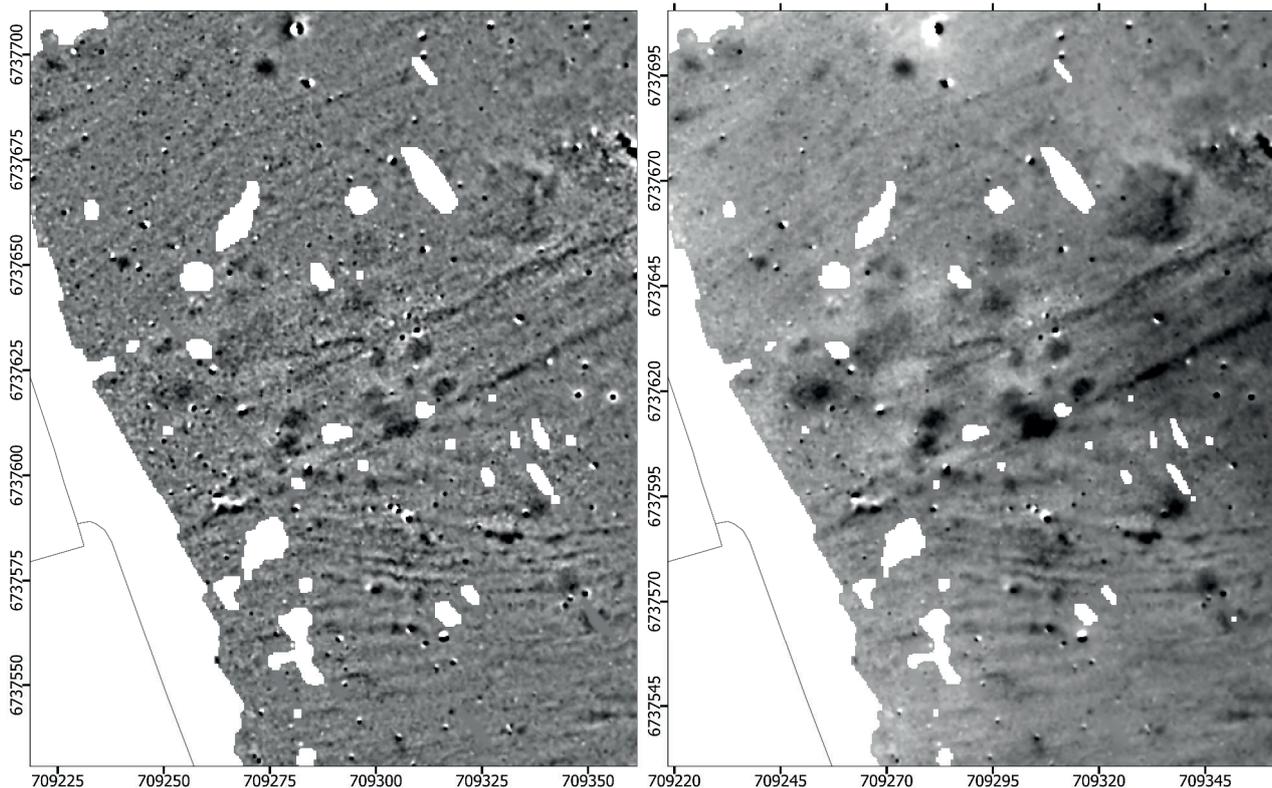


Figure n°77. Zoom 1 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation

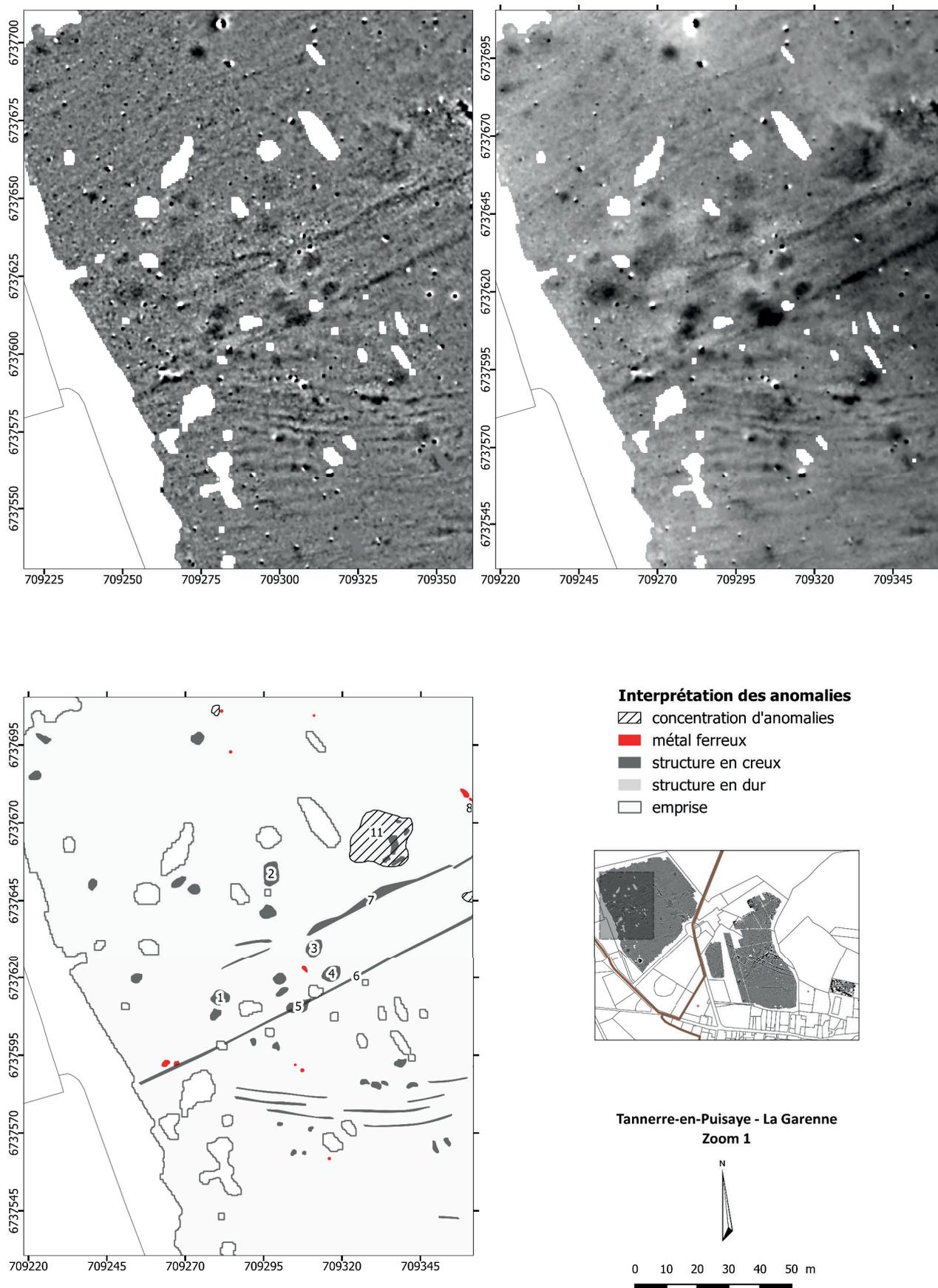


Figure n°78. Zoom 2 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation

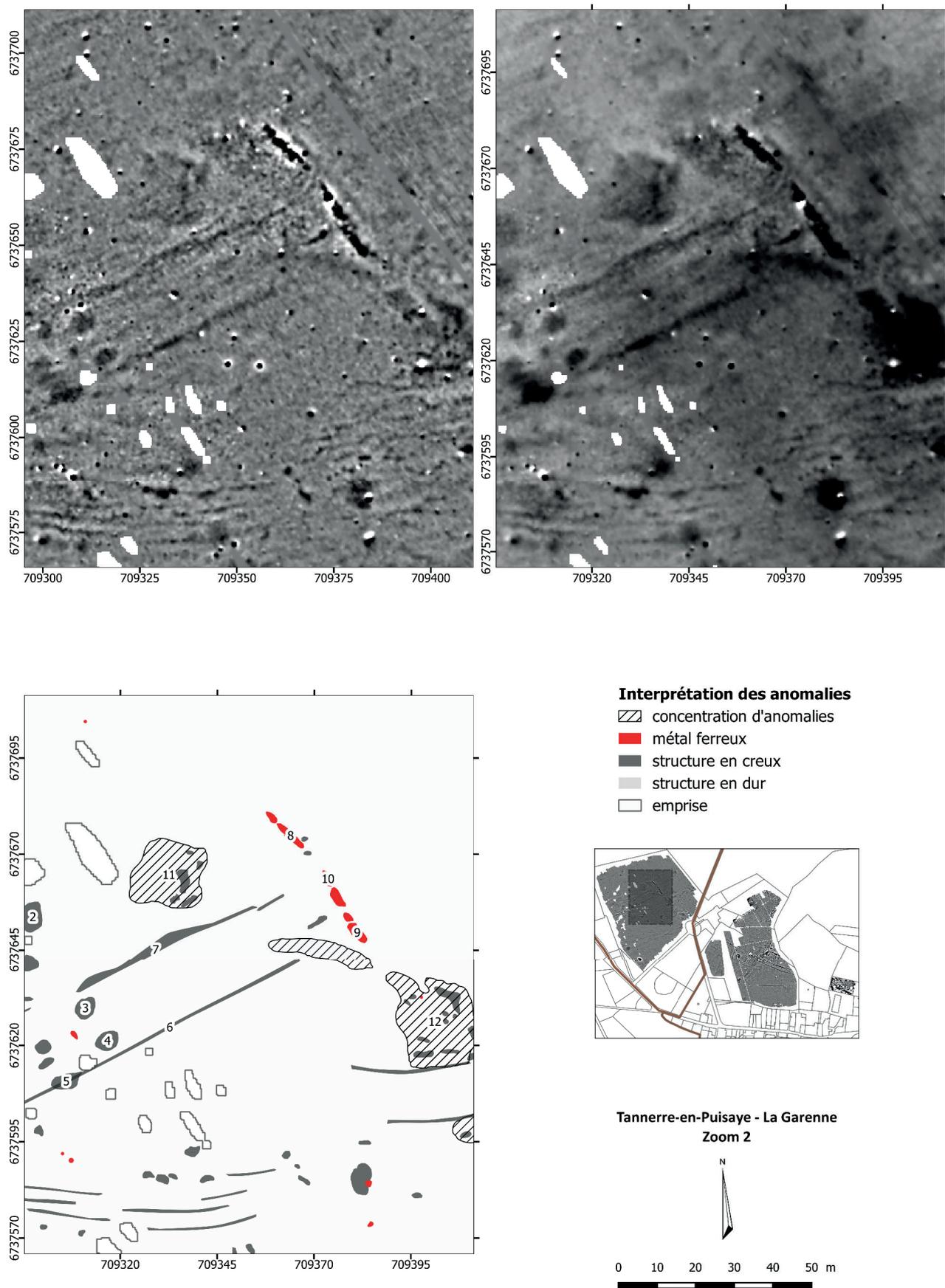
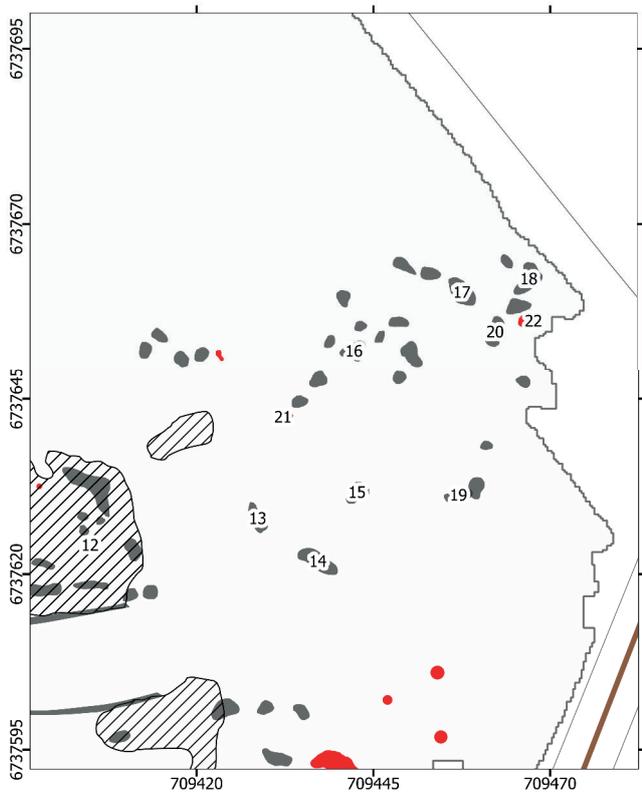
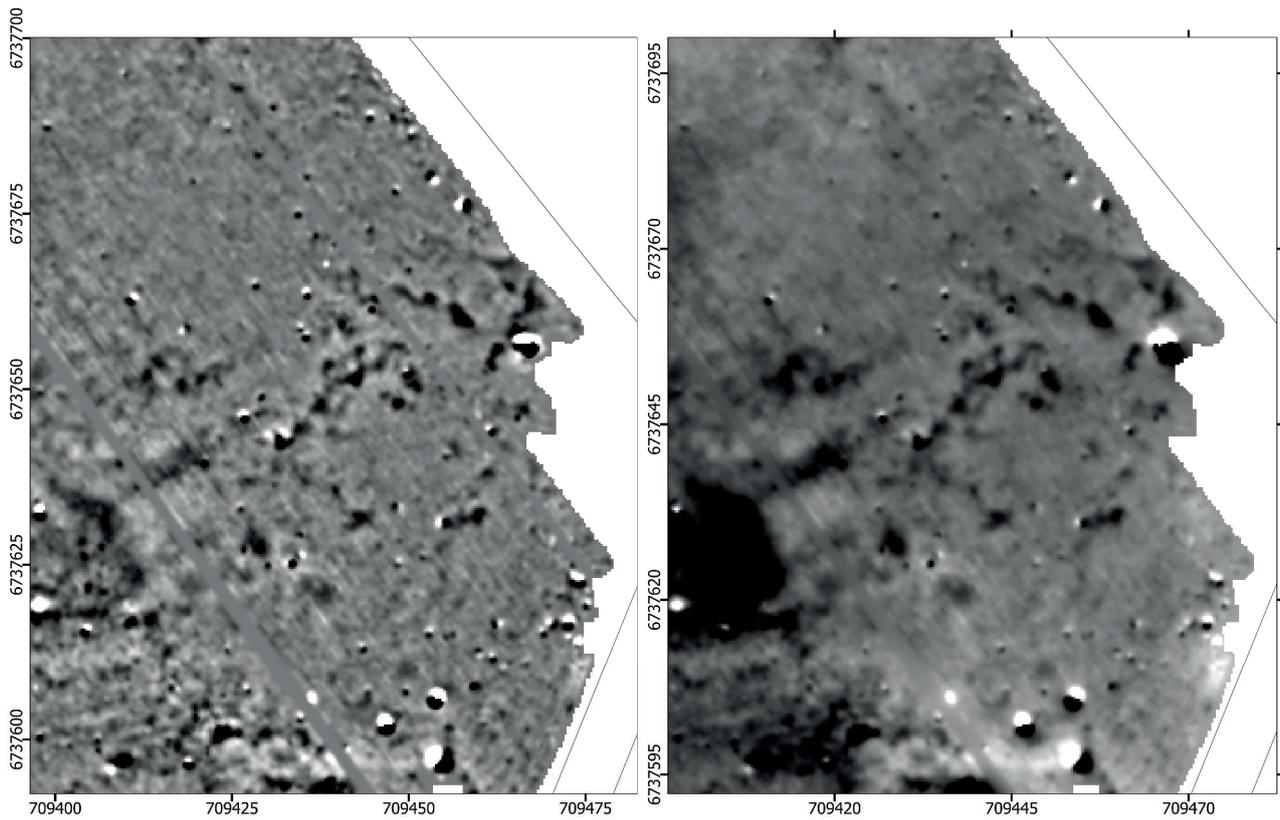
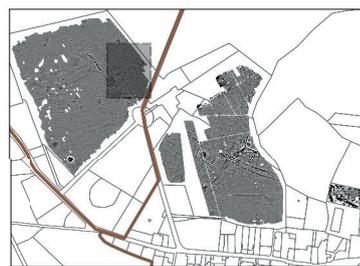


Figure n°79. Zoom 3 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation



Interprétation des anomalies

-  concentration d'anomalies
-  métal ferreux
-  structure en creux
-  structure en dur
-  emprise



Tannerre-en-Puisaye - La Garenne
Zoom 3

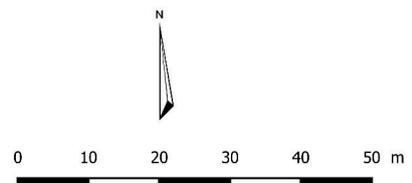


Figure n°80. Zoom 4 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation

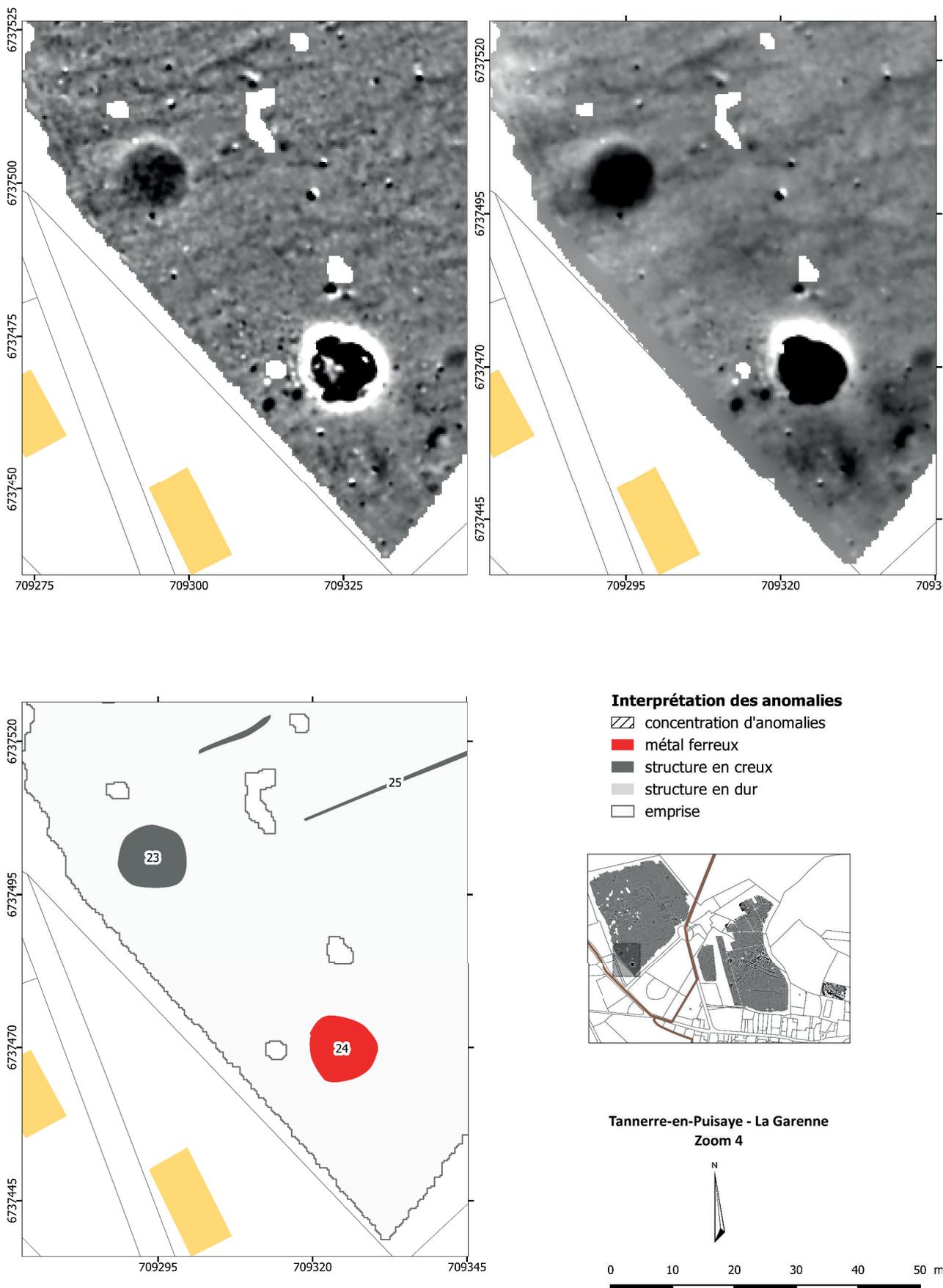


Figure n°81. Zoom 5 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation

Zoom 5 :

Le zoom 5 porte sur la zone adjacente au cimetière actuel. Dans ce secteur on observe plusieurs anomalies de moyennes à fortes amplitudes dont les délimitations restent hypothétiques. Il est difficile de s'avancer sur l'origine de ces anomalies. Il pourrait s'agir de structures en place associées à des scories de fer, ou d'éléments métalliques plus récents associés à une zone de dépôt en marge de l'aménagement actuel. Pour répondre à cette question il faudrait soit poursuivre la prospection au nord et à l'ouest au-delà du muret d'enceinte, soit réaliser des sondages de vérification qui permettraient de trancher sur ces hypothèses.

4.1.4. Conclusion :

Les résultats obtenus suite à la prospection magnétique réalisée sur le site de Tannerre-en-Puisaye La Garenne permettent de compléter l'image obtenue en 2021. Les données magnétiques de cette année montrent une diminution de la densité de structures dans la partie ouest, par-delà la route et le centre équestre. Quelques structures en creux peuvent potentiellement être associées à une occupation archéologique mais cette hypothèse reste à confirmer par des ouvertures ponctuelles. On a également pu observer plusieurs structures linéaires qui peuvent être associées à des fossés ou à des drains. La distinction entre les deux aménagements n'est pas chose aisée sur la base des résultats géophysique. Seule l'orientation et la connexion parfois inexistante ou la similitude avec d'autres systèmes mieux connus permettraient de faire un tri entre les deux. Au sud du centre, on observe peu d'anomalies qui indiqueraient une extension des aménagements repérés en 2021. Il en va de même dans la parcelle adjacente aux cimetières, la présence potentielle de scories en fer dans le comblement des structures archéologiques et la présence de métal en fer issu d'une ancienne zone de décharge ou de dépotoir est difficile à discriminer et seule une prospection au-delà du muret d'enceinte permettraient de faire le tri entre ces différentes hypothèses.

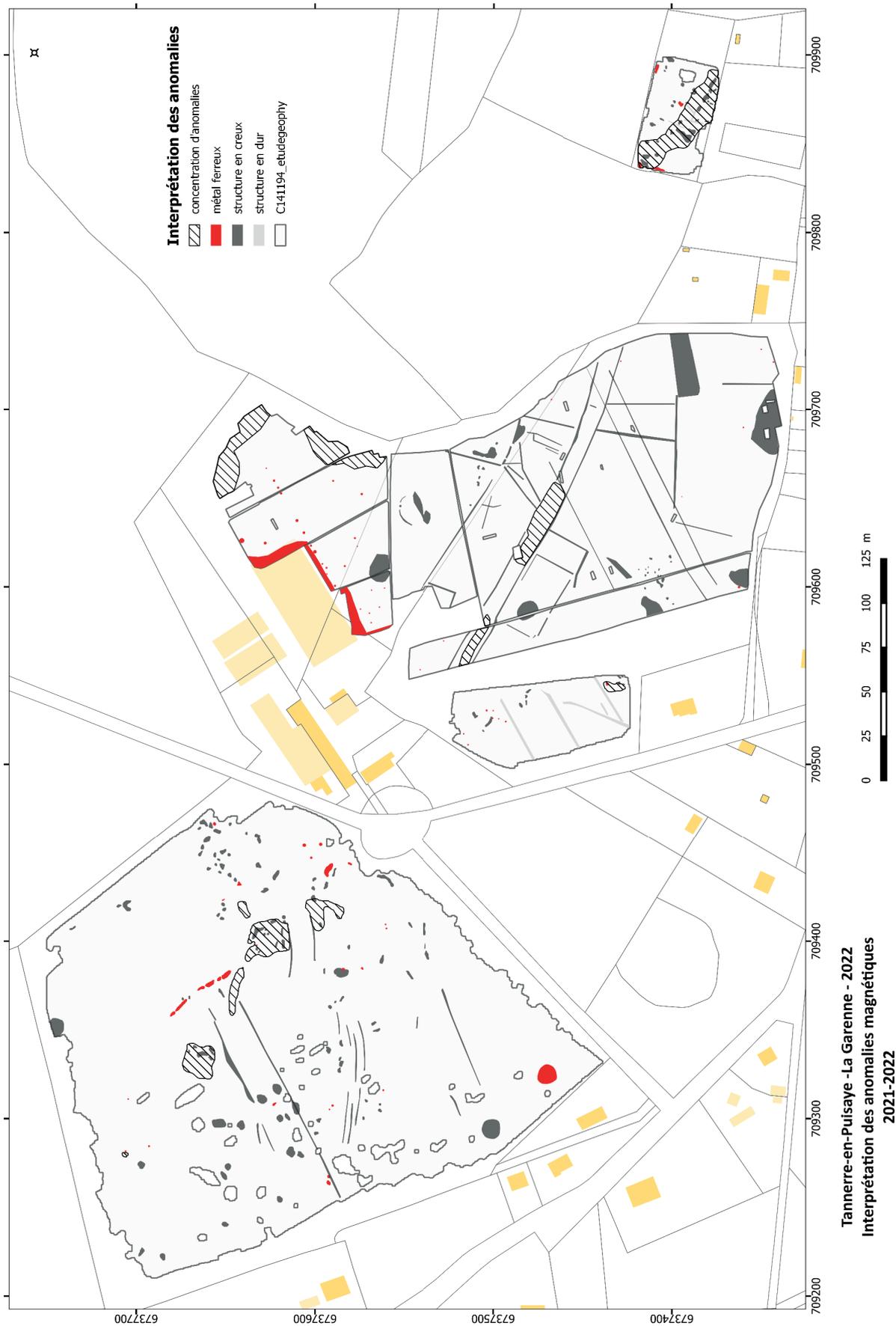


Figure n°82. Compilation des interprétations 2021 - 2022

4.2. Rapport de sondages et interprétation archéologique des résultats des acquisitions géophysiques (S. Venault)

4.2.1. Introduction

Lieu emblématique de l'exploitation du fer en Puisaye, la commune de Tannerre, connue pour abriter un des rares ferriers antique classé au titre des Monuments Historiques, fait partie des sites ciblés par le programme de recherche. A ce titre, des prospections géophysiques ont été conduites en 2021 sur une surface de 3,6 ha au sud du ferrier dans un secteur éveillant l'attention pour avoir livré quelques objets d'origine romaine. La campagne de détection a révélé la présence inattendue d'une voie environnée d'anomalies linéaires dessinant pour certaines des enclos polygonaux. La morphologie de l'axe viaire, encadré par deux fossés latéraux, ainsi que l'ancienneté du ferrier qu'elle dessert, laissaient supposer une origine romaine de l'ouvrage. Au vu de ces résultats inédits, la décision a été prise de poursuivre les investigations selon deux approches complémentaires : la réalisation de sondages de vérification à la pelle hydraulique et la poursuite des prospections géophysiques sur les parcelles voisines.

4.2.2. Rappel des découvertes de 2021

L'intérêt principal des résultats réside dans la mise en évidence d'une voie et des structures d'occupations latérales qui se distribuent de part et d'autre (Fig. 83). La voie traverse l'emprise investiguée en écharpe selon un axe NO-SE. Elle est matérialisée par deux tracés linéaires distants de 7,8 m à 9,70 m qui correspondent de toute évidence aux fossés bordiers délimitant la bande de roulement, la largeur globale de l'ouvrage (fossés inclus) atteignant environ 11,5 m. Des concentrations d'anomalies, étirées dans l'axe de la bande de circulation sont assimilables aux matériaux utilisés pour le revêtement (ou plus probablement le radier), conservé par lambeau, en l'occurrence très certainement ici des scories comme c'est souvent le cas. Plusieurs structures linéaires se connectent de part et d'autre de la voie se développant de manière à former des ensembles cohérents en termes d'organisation spatiale. Trois ensembles ont été identifiés, codifiés A à C.

L'ensemble A se compose de plusieurs segments discontinus d'anomalies linéaires implantés à angles droits, le tout dessinant un rectangle régulier mesurant 43 x 24 m pour une surface interne de 975 m². L'interprétation de ce quadrilatère est en l'état équivoque : plan d'un ouvrage architecturé ou enclos fossoyé.

Localisé de l'autre côté de la voie et décalé vers l'est, l'ensemble B présente un plan relativement plus complexe. Le principal élément structurant est représenté par un enclos écarté de 30 m par rapport au bord de la voie mais implanté dans un repère cohérent avec celle-ci. Seul un angle de l'enclos est visible formé par deux segments de fossé disposés à angle droit. L'angle en question est relié à la voie par ce qui semble être deux anomalies linéaires dont la lecture se perd parfois dans un halo magnétique qui brouille la lisibilité. Ces deux tracés se connectent à la voie selon un angle oblique.

Le troisième et dernier ensemble remarquable (C) s'étend en partie sud de l'aire prospectée. Il s'agit d'un vaste enclos de 84 m de côté ouvert vers le sud sur au moins 60 m. Il est relié à la voie par deux anomalies linéaires de très faible intensité interprétées comme des fossés.

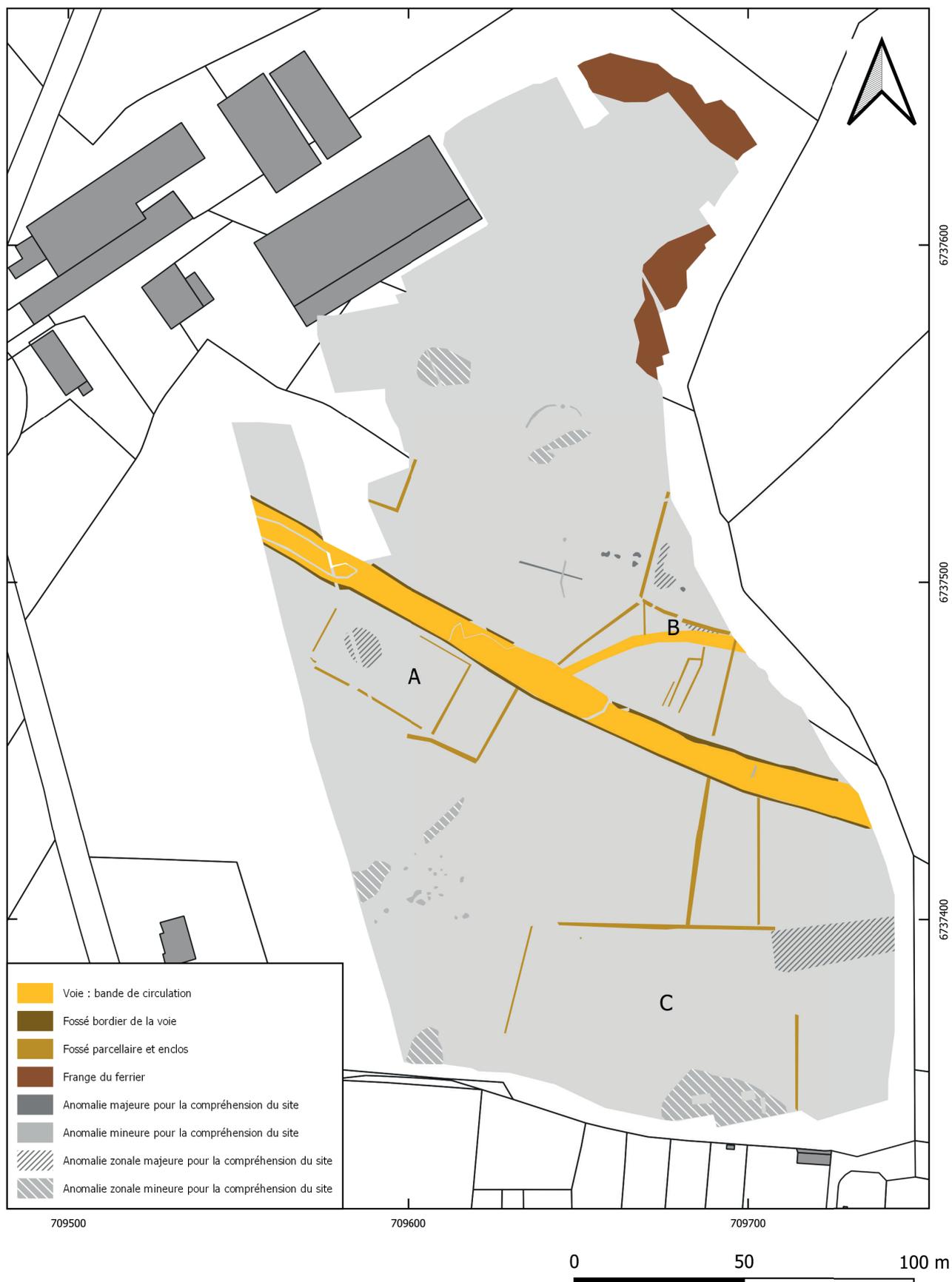


Figure n°83. Interprétation archéologique des anomalies magnétiques détectées en 2021 (St. Venault).

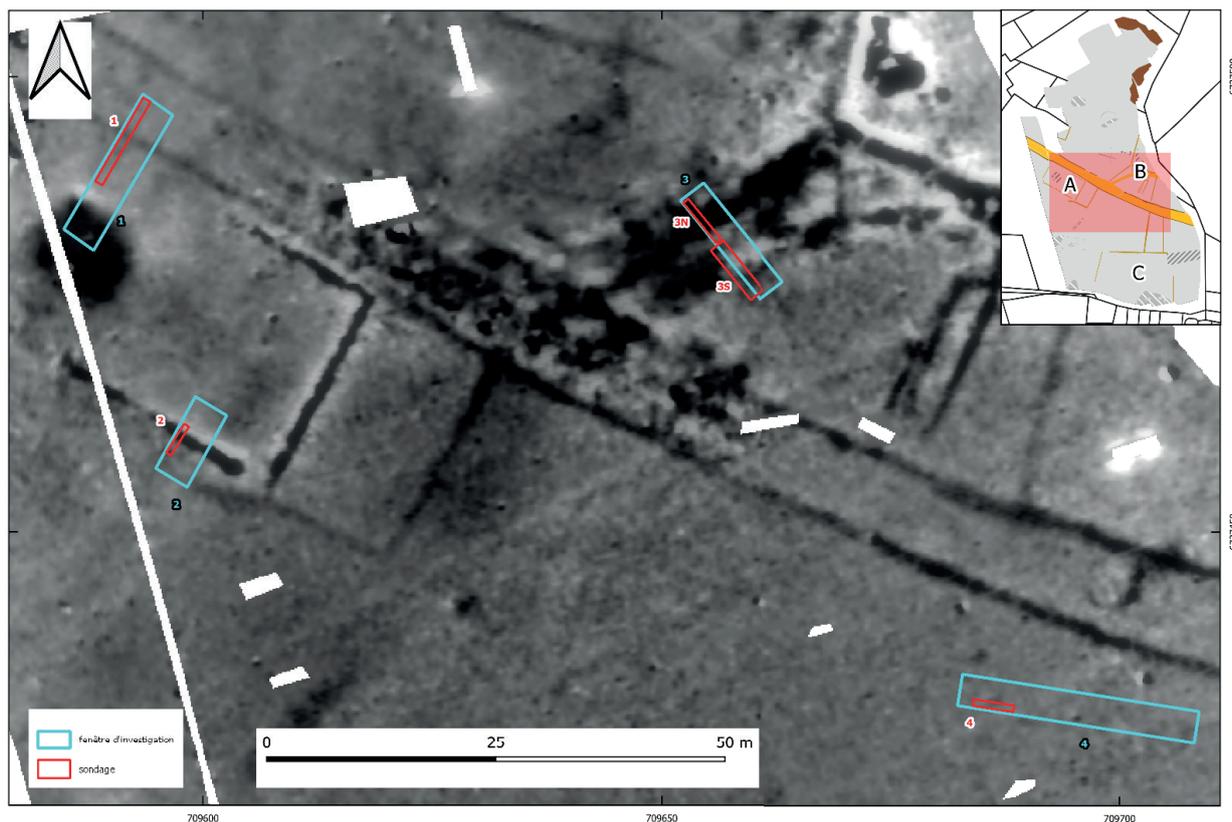


Figure n°84. Localisation des sondages sur la carte des prospections géophysiques réalisées en 2021 (St. Venault).

4.2.3. La campagne de sondage

Problématiques archéologiques et implantation des sondages

La campagne de sondage a eu pour objectif de caractériser les anomalies tout en limitant la dimension des ouvertures afin de minimiser l'impact des fouilles sur la conservation des structures. Il se dégageait de l'examen du plan général des vestiges plusieurs problématiques d'occupation qui impliquaient de cibler les investigations sur les trois ensembles identifiés. Quatre fenêtres d'investigation ont été délimitées à des endroits potentiellement porteurs d'information (Fig. 84). La matérialisation sur le terrain de l'emprise de ces fenêtres a permis de guider l'implantation des sondages (Fig. 85).



Figure n°85. Vue depuis le sud de la fenêtre no 2 matérialisée par des piquets. A droite la nouvelle clôture installée après la campagne de prospection géophysique (St. Venault).

De par sa configuration, l'ensemble A suscitait un double questionnement. Le premier concernait une grande anomalie maculiforme occupant l'intérieur du rectangle dont il convenait de vérifier la nature et éventuellement d'en extraire du mobilier. La fenêtre d'investigation a été implantée de manière à confirmer la présence d'une ouverture de l'enclos côté nord jusqu'à atteindre le fossé bordier de la voie. Le second questionnement porte sur le tracé de délimitation de l'enclos qui a été appréhendé au moyen d'un sondage implanté transversalement au long côté sud. S'agissant de l'ensemble B, la problématique principale concerne un faisceau de structures reliant la voie à l'enclos qui interrogent en termes fonctionnels. Quant à l'ensemble C, l'attention s'est focalisée sur les anomalies linéaires de faible intensité reliant l'enclos à la voie afin d'en confirmer l'authenticité.

Méthodologie, déroulement de l'intervention et contraintes d'exécution des travaux

L'intervention s'est déroulée du 4 au 7 juillet 2022, soit 4 jours ouvrés à deux personnes. Les fenêtres d'investigation ont été implantées au moyen d'un GPS en fonction des coordonnées déterminées d'après les cartes de détection géophysique. Les excavations ont été réalisées au moyen d'une mini-pelle de 3,5 tonnes équipée d'un godet lisse de curage de 1,20 m de large (Fig. 86).



Figure n°86. La pelle hydraulique utilisée pour l'excavation des sondages (St. Venault).

Les relevés en coupe des vestiges ont été effectués manuellement sur papier millimétré à échelle 1/200, les altitudes étant reportées d'après les points GPS matérialisant chaque angle des fenêtres d'investigation. Les éventuelles structures non détectées par le magnétomètre ont également été recalées d'après ces points de repère GPS.

Si les terrains, utilisés en prés, ne présentaient pas de contraintes d'accès, le parage des chevaux dans les parcelles investiguées a eu une incidence sur l'organisation du programme de fouille. Bien que les propriétaires du centre équestre ont eu l'amabilité de bien vouloir déplacer les animaux au moment des terrassements, les équidés devaient ensuite être réintroduits dans les enclos pour y passer la nuit. Aussi, nous sommes-nous engagés à systématiquement reboucher chaque tranchée avant l'achèvement de la journée de travail, afin de prévenir tout risque de chute durant la nuit. Ce mode opératoire a eu pour conséquence de réduire la taille des sondages en adaptant au mieux leur dimension à celle des vestiges de manière à disposer du temps suffisant pour procéder à l'excavation, à l'enregistrement archéologique et au rebouchage en une journée. Le segment de la fenêtre d'investigation au niveau de l'ensemble B a été subdivisé en deux

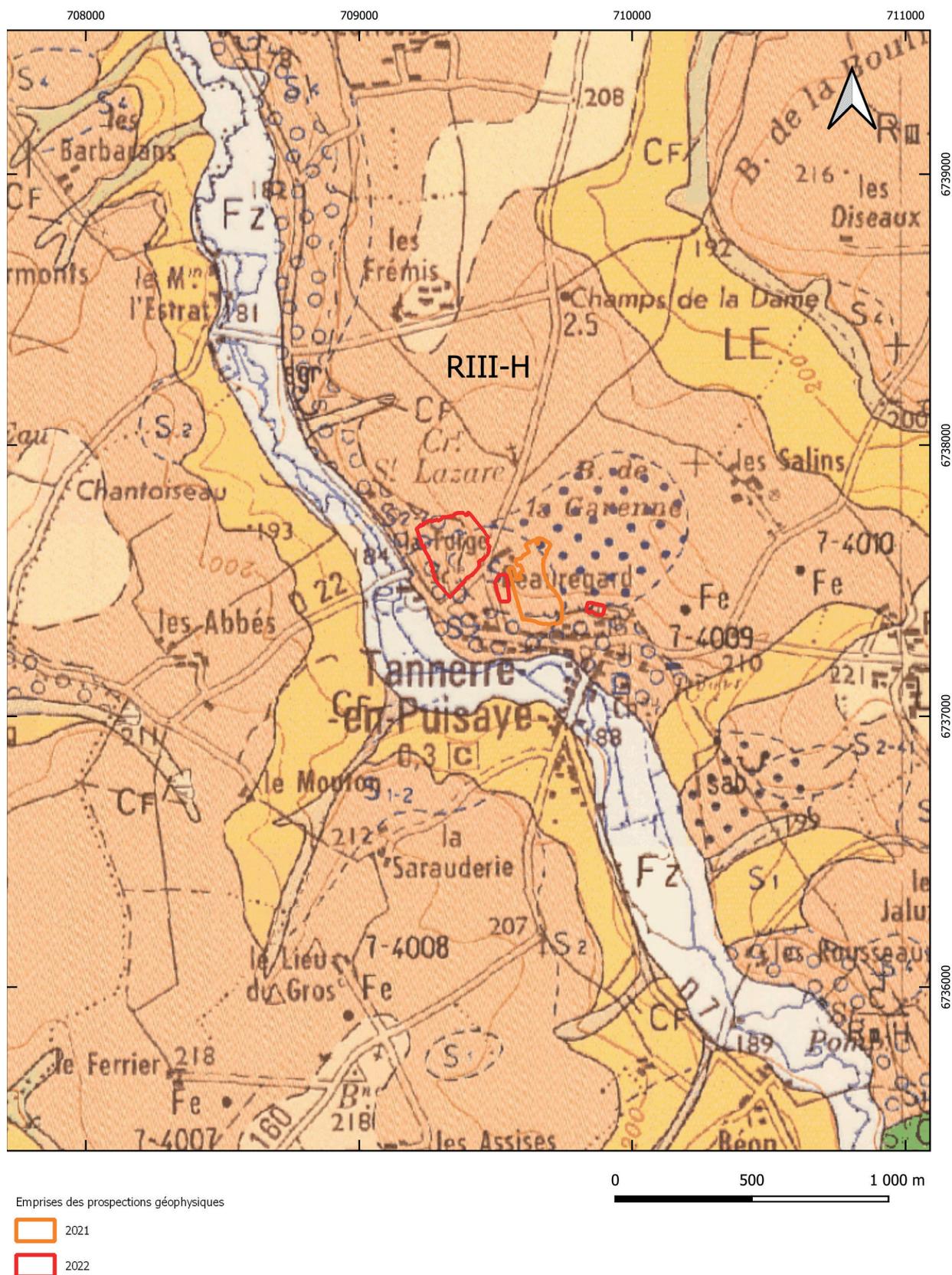


Figure n°87. Contexte géologique sur fond imprimé (fond BRGM) (St. Venault).

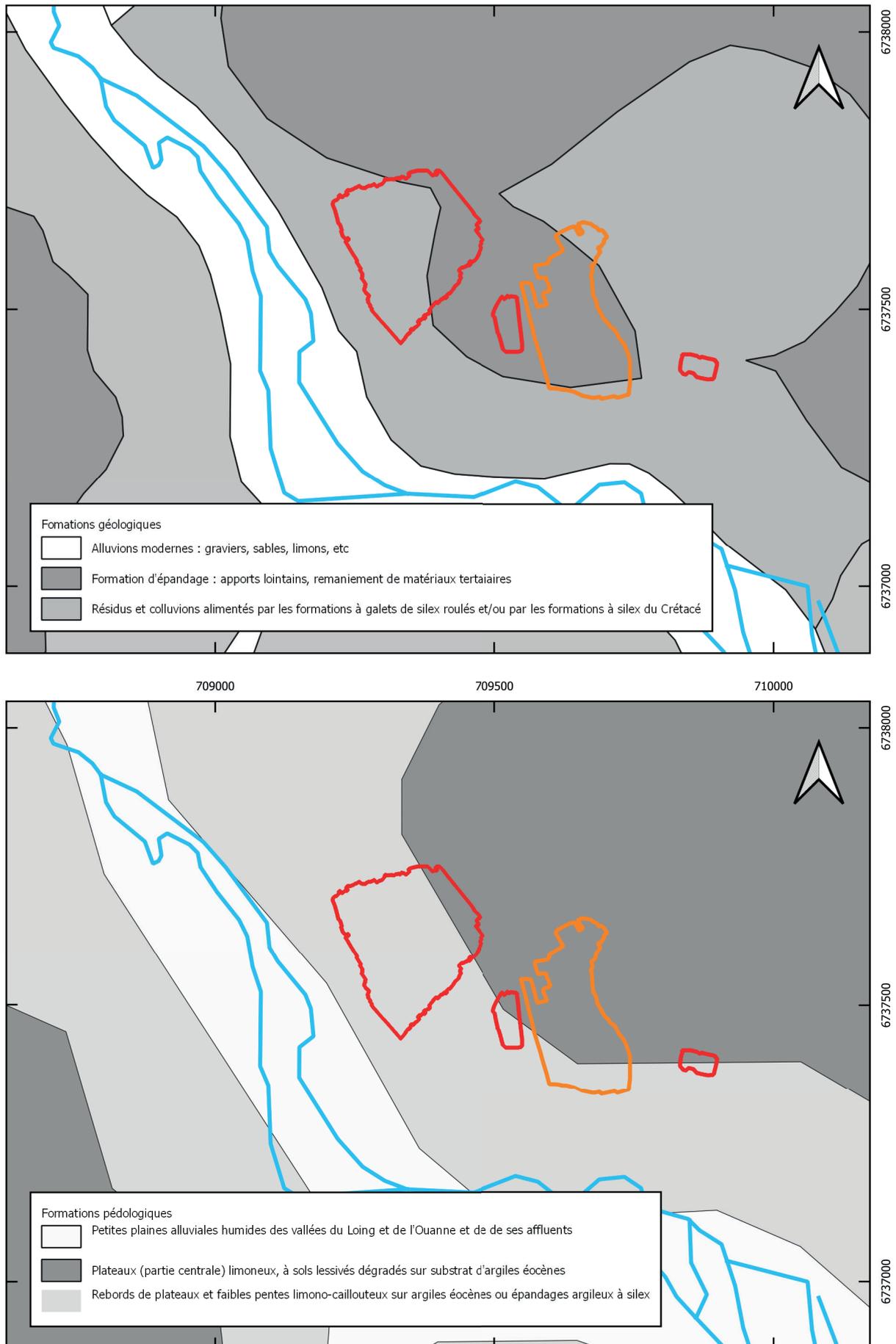


Figure n°88. Contextes sédimentaires sur fond vectorisé (fonds BRGM, <https://solsdebourgogne.fr/>) (St. Venault).

tronçons alignés afin de pouvoir procéder au remblaiement quotidien des tranchées. Par ailleurs, certains sondages ont été délibérément interrompus en fonction des résultats archéologiques et de la nature des vestiges mis au jour. Enfin, il convient de préciser que le près avait, au moment de notre arrivée, fait l'objet d'une subdivision supplémentaire, avec l'ajout d'une clôture au niveau de l'ensemble A, qui a contraint à ouvrir les sondages depuis le nord-est.

Cinq sondages ont ainsi été creusés : un sur la voie, un dans l'ensemble A, deux dans l'ensemble B, un dans l'ensemble C. Leur numéro identifiant renvoie à celui de la fenêtre d'investigation.

- Sondage 1 : recoupement du fossé de la voie
- Sondage 2 : recoupement d'un des côtés du quadrilatère caractérisant l'ensemble A
- Sondage 3N : implantation au nord de la fenêtre d'investigation n° 3 ; recoupement d'un tracé de l'ensemble B
- Sondage 3S : implantation au sud de la fenêtre d'investigation n° 3 ; recoupement d'un tracé de l'ensemble B après élargissement du sondage à l'ouest
- Sondage 4 : recoupement d'un tracé de l'ensemble C

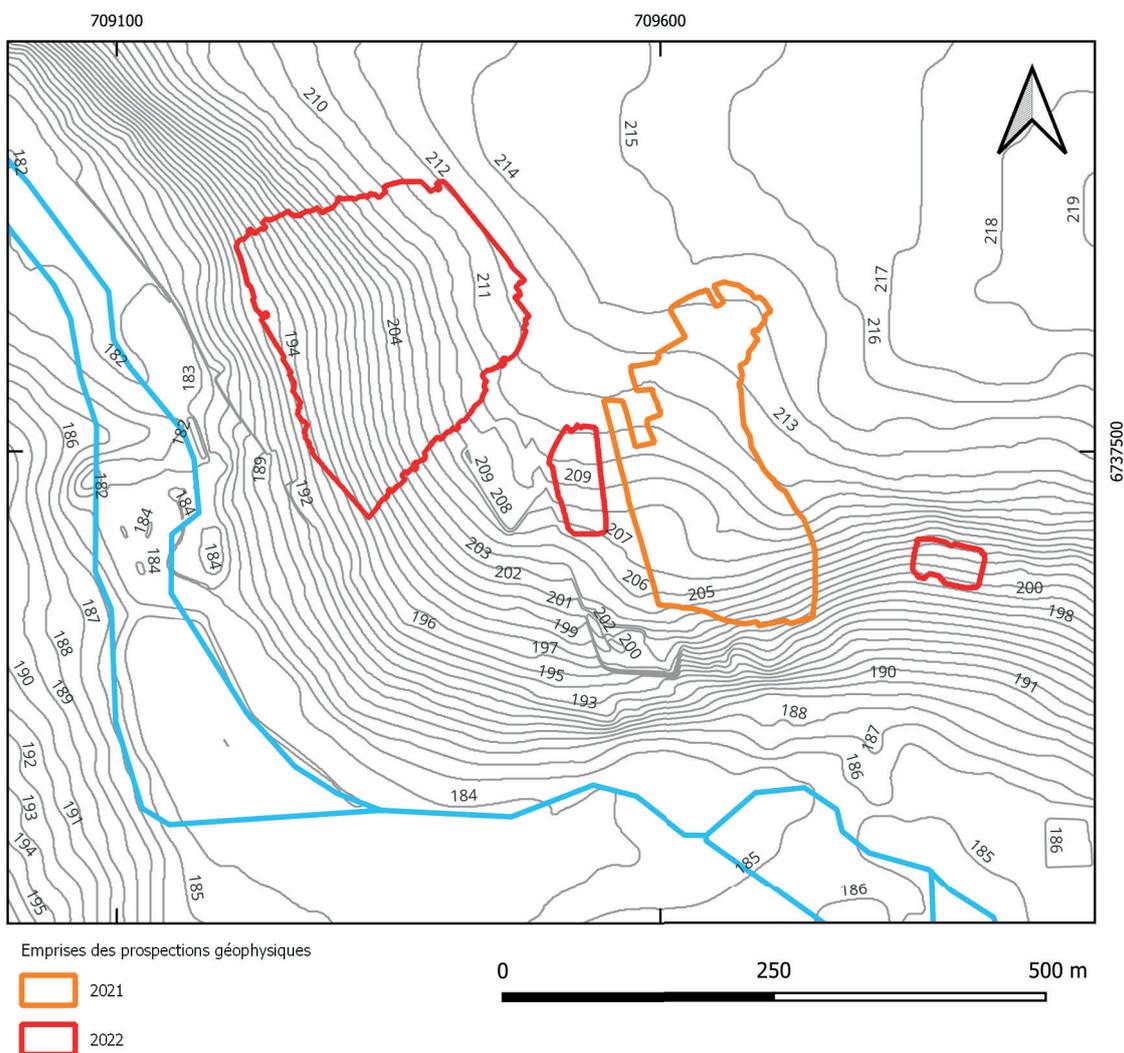


Figure n°89. Contexte topographique (St. Venault).

Contexte sédimentaire et topographie

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. La pente du vallon, dans laquelle est implanté le site, est recouverte de matériaux colluvionnés où se mêlent passes limono-caillouteuses et couches de sable à rognons de silex (Fig. 87-88). Ces complexes argilo-sableux à silex, identifiés par la codification R_{III}-H sur la carte géologique, peuvent atteindre une épaisseur de 20 m (Pomerol 1989, p. 17). La nature du terrain encaissant rencontré dans les sondages ouverts cette année, qui alterne limon argileux et sables à silex, répond aux critères descriptifs de la formation R_{III}-H. Les parcelles concernées par les recherches occupent le versant du vallon. Les terrains descendant d'abord en pente douce depuis le sommet de plateau voient leur déclivité s'accroître à partir de 210 à 208 m d'altitude, la pente moyenne passant alors de 2 à 9 % (Fig. 87).

4.2.4. Résultats archéologiques

- Ensemble A :

Deux fenêtres d'investigations ont été implantées à l'emplacement du quadrilatère correspondant à l'ensemble A. La première devait traverser la large anomalie circulaire occupant la partie centrale du rectangle pour se prolonger jusqu'à la voie de façon à couper le fossé bordier. La tâche détectée à l'intérieur du rectangle était visible au sol sous la forme d'un léger bombement du terrain généré par des apports de remblais contenant divers matériaux, dont des fragments de dalles de béton (Fig. 90). Les gérants du centre équestre ont indiqué que les déblais en question ont été transportés en 2020 pour colmater un affaissement localisé du terrain qualifié de profond mais de peu large. Bien que la cause de la formation de ce trou soit inconnue, nous proposerons dans la suite de l'exposé une hypothèse susceptible d'expliquer l'origine de ce phénomène de soutirage qui n'est pas isolé puisque les propriétaires de l'exploitation ont indiqué avoir comblé d'autres effondrements du même type à l'ouest du domaine.



Figure n°90. Vue du monticule de remblais à l'emplacement de l'anomalie circulaire de l'ensemble A (St. Venault).

Etant illusoire de fouiller cette cavité avec les moyens techniques disponibles, la décision a été prise d'abandonner toute investigation la concernant pour nous concentrer sur les abords de la voie. Le sondage 1, réalisé alors, a confirmé l'interruption du tracé périmétrique du quadrilatère

dans l'axe concerné la seule structure archéologique mise au jour étant le fossé latéral de la voie apparu à 20 cm de profondeur (209,45 m NGF).

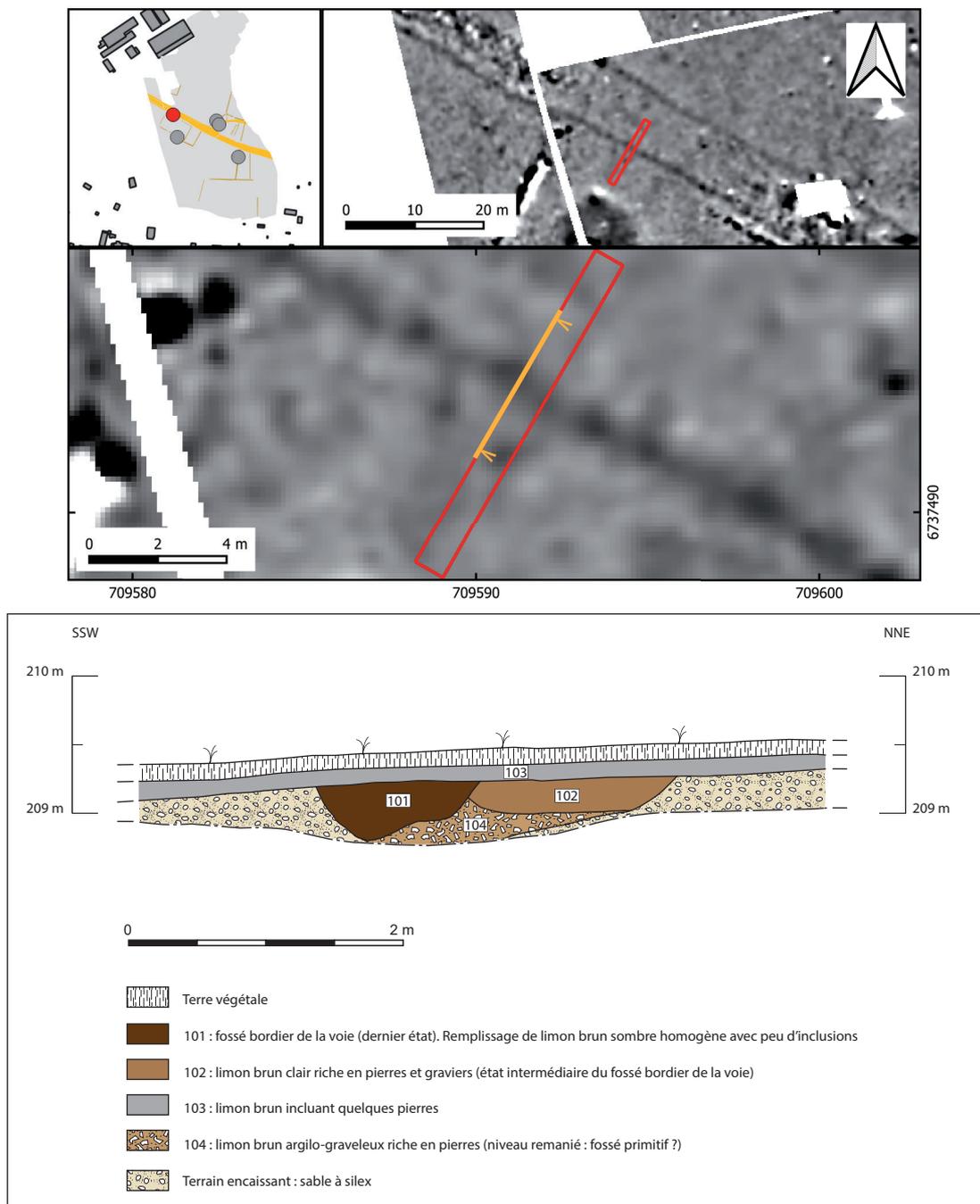


Figure n°91. Coupe du fossé bordier de la voie (St. Venault).

Le fossé bordier de la voie

La coupe du fossé présente trois états de creusements successifs (Fig. 91-92). Le premier, difficile à percevoir, car situé sous les deux précédents, se présente sous la forme d'un niveau remanié argilo-graveleux [104]. Cette couche, aux limites peu lisibles dans les sables à silex du terrain encaissant, paraît s'étirer sur la totalité de la largeur de l'ouvrage qui est matérialisée en surface par la juxtaposition des creusements ultérieurs [102 puis 101], l'ensemble formant une bande de 2,60 m de large (Fig. 93).



Figure n°92. Coupe du fossé bordier vue depuis l'est (St. Venault)



Figure n°93. Vue en plan depuis le sud-est des creusements sommitaux du fossé bordier de la voie (dans l'ordre chronologique 102 suivi de 101) (St. Venault)

Compte tenu du niveau de circulation de la voie, que l'on peut placer autour de 209,40 m, la profondeur atteignait 50 à 60 cm. Cette dimension correspondait-elle à la largeur initiale du fossé primaire ? Ce ne serait pas incohérent avec le gabarit de la voie dont la largeur atteint 11,50 m. Quoiqu'il en soit, les états ultérieurs pourraient correspondre à des phases de recreusement / curage réalisées sur une largeur inférieure à celle occupée par le fossé initial. Le premier recreusement [102] intervient depuis le bord de la bande de circulation et s'étire sur 1,50 m pour une profondeur conservée de 25 cm. Après le colmatage de cette incision par du limon graveleux, le second et ultime recreusement [101] intervient cette fois depuis le bord extérieur du fossé initial. Large de 1,20 m, il est creusé sur 40 cm de profondeur conservée. Son remplissage se compose de limon brun comportant peu d'inclusions. Si la chronologie relative des différents états est bien établie, il est impossible de préciser la datation de l'ouvrage faute de mobilier découvert dans les tronçons de fossés testés. Enfin, le sondage n'a révélé aucun niveau susceptible de se rapporter au revêtement de la bande de circulation, ce à quoi on pouvait s'attendre si l'on en juge par les résultats géophysiques. En effet, le secteur concerné de la voie se caractérise par une absence de signal renvoyé par le magnétomètre en comparaison d'autres tronçons où l'intervalle entre les deux fossés bordiers est recouvert de zones denses d'anomalies qui seraient attribuables à la présence de scories utilisées comme matériau de construction.

Tracé de délimitation de l'enclos au sud

Le quadrilatère étiré le long de la voie est matérialisé par des anomalies linéaires discontinues. L'intérêt de tester un des tronçons formant le périmètre était de vérifier si le signal renvoyé par le magnétomètre correspond à un fossé confirmant l'hypothèse d'un enclos, ou bien s'il

s'agit d'un dispositif de fondation susceptible de soutenir l'élévation d'un mur confirmant au contraire l'hypothèse d'un bâtiment.

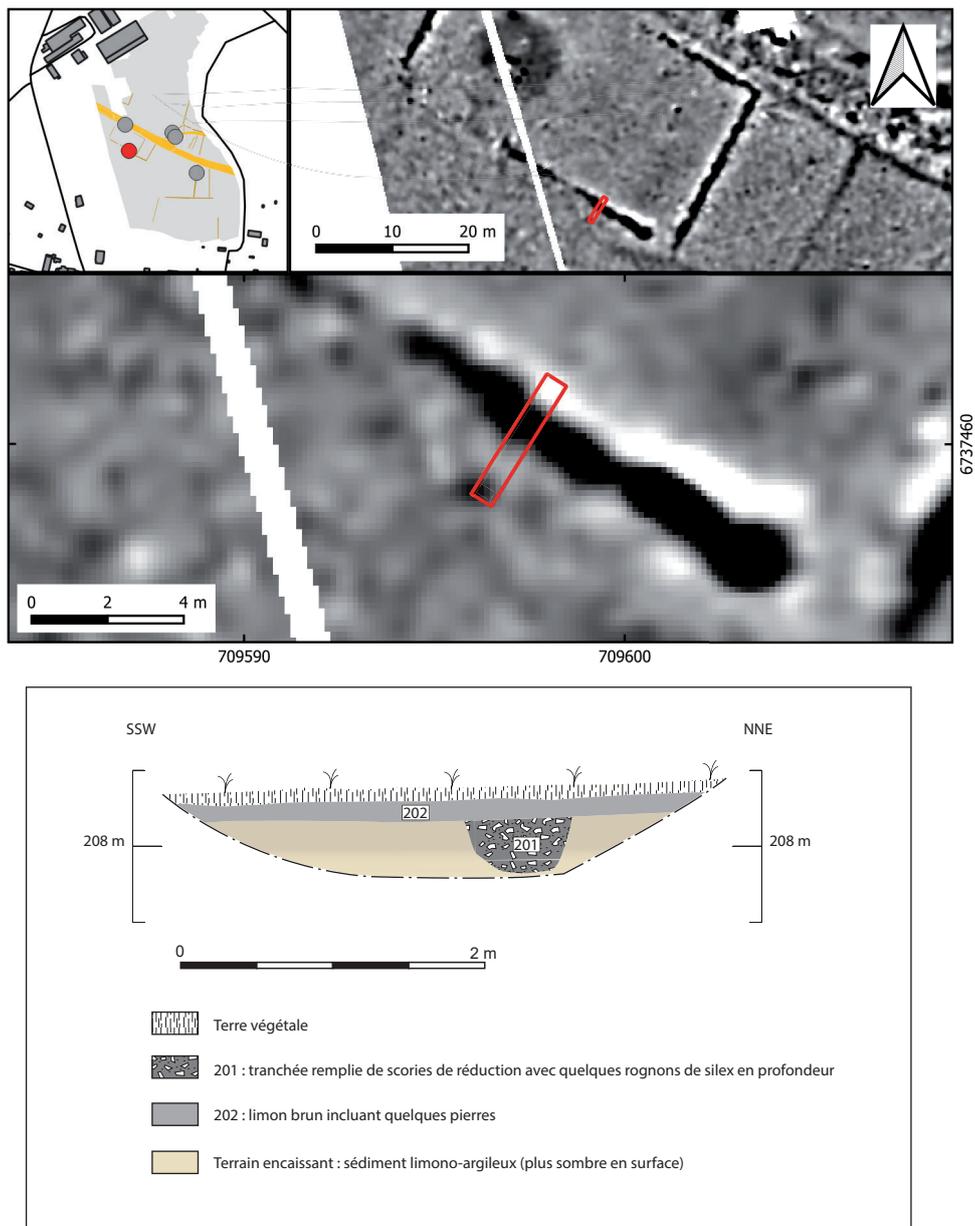


Figure n°94. Coupe de la limite périmétrique sud du quadrilatère de l'ensemble A (St. Venault).

La coupe montre que l'anomalie correspond à une tranchée apparue à 20 cm sous le sol actuel (208,25 m) creusée sur une largeur de 70 cm à l'ouverture pour une profondeur de 35 cm (Fig. 94-95). Le profil de la structure présente un creusement en « U » aux angles arrondis et aux parois subverticales légèrement évasées. Le fond est quant à lui plat, à sensiblement concave. Le remplissage de cette tranchée se compose d'une accumulation de scories de réduction relativement fragmentées mêlées à du sédiment limoneux. A ces scories se mêlent quelques parois de bas fourneaux, quelques fragments de tuiles plates potentiellement antiques¹, et des rognons de silex disposés en profondeur. Malgré les quelques inclusions d'éléments lithiques et céramiques, il se dégage du remplissage, composé pour l'essentiel de déchets sidérurgiques, l'impression que le critère déterminant dans le choix du matériau de remplissage était sa capacité

1 Fragments non prélevés. Aucun élément de bord attesté.

à constituer un assemblage homogène. Au vu du profil du creusement à bords peu évasés et compte tenu de l'aspect du remplissage non stratifié et composé d'un matériau unique, il est peu probable que la tranchée 201 soit restée ouverte longtemps. On peut donc supposer que cette structure a été creusée puis comblée dans la foulée. Cette masse de scories étant peu propice aux tassements et affaissements, elle présente l'intérêt de bien résister aux charges pondérales. Aussi n'est-il pas déraisonnable d'envisager cette tranchée et son remplissage comme un dispositif de fondation destiné à supporter une superstructure. On notera que la qualité drainante du matériau peut également constituer un critère recherché par les constructeurs. Compte tenu de l'étroite fenêtre d'observation, nous ne sommes évidemment pas en mesure d'expliquer les interruptions dans le tracé du périmètre de l'édifice en question (érosion, emploi d'autres matériaux de comblement, porte d'accès).



Figure n°95. Vue en plan et de la coupe depuis le sud-est de la tranchée 201 (St. Venault).

Si nous nous accordons à concéder du crédit à l'hypothèse selon laquelle des murs se dressaient à l'emplacement des tracés périmétriques, nous ne pouvons trancher sans réserve sur la nature de la structure architecturale à laquelle ils se rattachaient : grand bâtiment de type grange ou étable, cour fermée par des murs de délimitation contre lesquelles pouvaient éventuellement s'appuyer des appentis. Nous ne disposons d'aucune donnée pour juger du type de matériaux utilisés pour les parties en élévation même si l'emploi de la terre et du bois semble plutôt adapté au dispositif de fondation adopté. En l'occurrence les constructeurs ont utilisé le matériau approprié qu'ils avaient sous la main, à savoir les scories de réduction provenant du ferrier tout proche.

- Ensemble B :

Les investigations conduites sur l'ensemble B ont porté sur un faisceau d'anomalies linéaires reliant la voie à un vaste enclos. Les excavations se sont déroulées en deux temps sous la forme de deux sondages alignés dans un même axe visant à sectionner les anomalies selon un plan transversal.

Sondage 3N :

Le sondage ouvert dans la partie nord de la fenêtre d'investigation a montré que le signal magnétique correspondait à celui d'un fossé apparu à 60 cm sous le sol actuel (209,60 m NGF) (Fig. 96). Large à l'ouverture de 2 m à 2,40 m, il est creusé sur 50 cm de profondeur conservée (Fig. 97). Il entaille le terrain encaissant selon un profil en V dont les bords présentent quelques irrégularités, le fond étant arrondi. Les parois sont relativement évasées, celle au sud étant légèrement plus éversée.

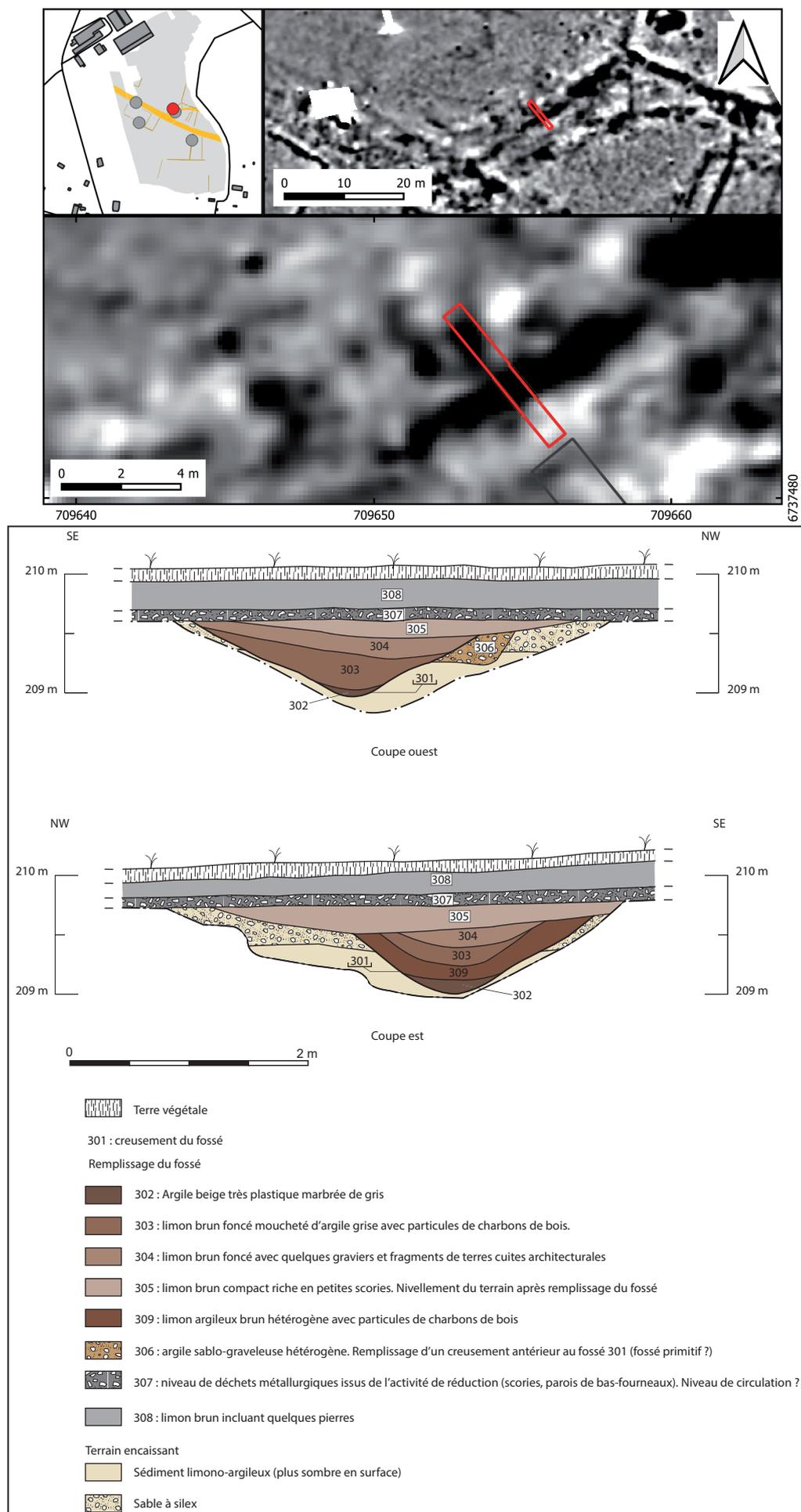


Figure n°96. Coupes du fossé 301 (St. Venault).

Le comblement grossièrement stratifié comprend jusqu'à quatre couches résultant d'apports successifs [302, 303, 304, 309]. La dominante limono-argileuse des couches rencontrées, qui se distinguent par la couleur du sédiment ou par la densité d'inclusions, suppose un remplissage naturel par apports latéraux relativement symétriques. L'épaisseur des couches trahit une sédimentation lente rythmée par des séquences d'accumulation (saisonnière ?) probablement séparées par des étapes d'activités biologiques², de mise en herbe et de tassement par gravité, notamment dans le cas de la coupe ouest. Les variations observées dans la dynamique stratigraphique d'une coupe à l'autre témoignent d'un processus de colmatage aléatoire. Aucun stigmatisme de curage n'est perceptible. Le remplissage ne livre que quelques fragments de terre cuite architecturale³ dont un élément de tegula et d'imbrex.

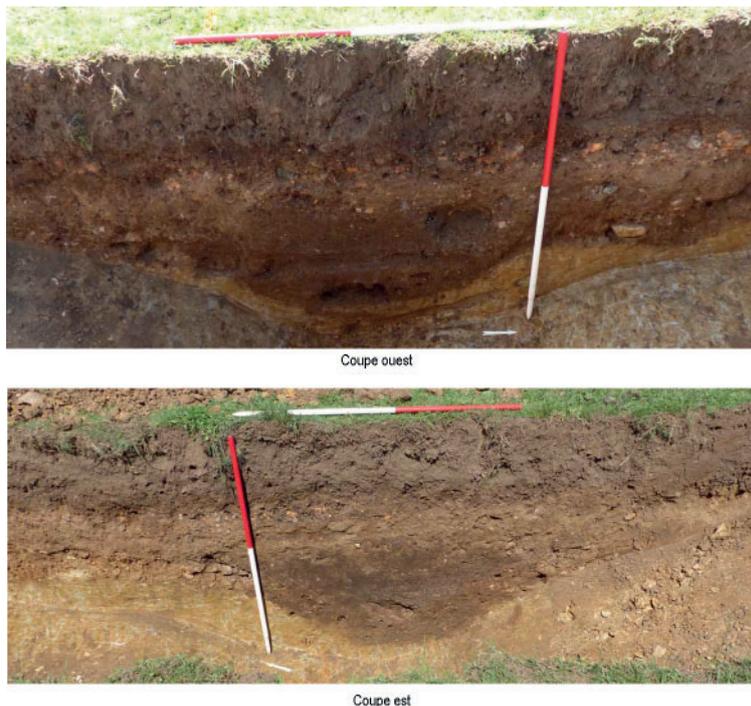


Figure n°97. Coupes du fossé 301, vues vers l'est et l'ouest (St. Venault).

On observe contre la coupe ouest une poche d'argile sablo-graveleuse [306] recoupée par la paroi nord du fossé. Cette US, qui n'est pas visible sur la coupe opposée, s'inscrit dans un creusement peu profond (25 cm) à bord oblique et fond plat, dont le sommet s'ouvre dans le même horizon stratigraphique que celui dans lequel apparaît le fossé 301. On pourrait légitimement se demander s'il ne s'agit pas du reliquat d'un fossé primitif moins imposant que celui qui lui a succédé.

Si l'on se fie à sa signature magnétique, ce fossé mesure 32 m de long, mettant en relation l'angle de l'enclos et la voie. De par sa position et sa dimension relativement imposante, il est assimilable à un dispositif d'évacuation des eaux s'écoulant depuis les fossés périmétriques de l'enclos. Si l'on concède du crédit à cette hypothèse, il faut croire que le fossé bordier de la voie présentait une taille suffisante pour accueillir ce flux d'eau supplémentaire sans inonder la bande de circulation.

2 A l'origine de l'homogénéisation de chaque niveau
3 Sept fragments prélevés



Figure n°98. Vue en plan depuis le sud-est du fossé 301 (St. Venault).

Progressivement obstrué par sédimentation naturelle, le fossé 301 a fini par être effacé du paysage suite à un réaménagement du terrain. La dépression qu'il devait générer dans le sol, alors même qu'il devait être colmaté sur une grande partie de sa hauteur, semble avoir été corrigée par l'épandage d'une couche argileuse riche en scories [305]. Il n'est pas impossible que cet apport ait été précédé d'une étape d'incision du sol visant à écrêter les rebords du fossé à en juger par le débordement de la couche en question au-delà de l'emprise de l'ouverture sommitale. Cette étape de nivellement du terrain constituait peut-être un préalable à l'étalement d'une couche de déchets métallurgiques sur une épaisseur de 10 cm [307] jusqu'à 209,70 m d'altitude (*i.e.* 35 cm sous le sol actuel). Cette strate, qui a été aussi recoupée dans le sondage sud à une altitude légèrement inférieure (cf. *infra*), est très probablement à l'origine du halo magnétique environnant les deux tracés linéaires qui ont motivé l'ouverture des sondages à cet endroit. Nous reviendrons dans la suite du propos sur l'interprétation que nous pouvons en faire.

Sondage 3S :

Le sondage sud de la fenêtre d'investigation n° 3 avait pour but de vérifier la nature d'une seconde anomalie parallèle au fossé, séparée de ce dernier par un intervalle de 3 à 4 m. Comparativement au signal magnétique particulièrement lisible renvoyé par le fossé 301, celui attribué au second tracé alterne des valeurs de plus ou moins forte intensité qui perturbent la vision d'ensemble.

Après avoir retiré les niveaux superficiels, le godet de la pelle s'est arrêté à 30 cm de profondeur (209,70 m NGF) sur un niveau très induré constitué d'un blocage de rognons de silex noyés dans une matrice marneuse [310] directement posé sur le substrat (fig. 99). Si cette couche a été observée sur toute la largeur du sondage, il fut toutefois difficile de mettre en évidence ses limites latérales en raison de son mauvais état de conservation. La fouille planimétrique n'a donc pas permis de dégager les contours de ce niveau qui s'étendait au sud au-delà de l'emprise du sondage et qui était recouvert au nord par l'épandage de scories 307. Une extension latérale du sondage a permis de procéder à une coupe, la berme ouest offrant de meilleures conditions de lecture de la stratigraphie (Fig. 99-100-101). Conservée sur une hauteur de 35 cm au plus épais, cette couche présente au profil légèrement bombé s'affinant en sifflet au nord. Bien que cette interruption puisse s'apparenter à un bord latéral du niveau concerné, nous n'avons pas pu observer de limite équivalente contre la berme orientale, la strate semblant manifestement s'étirer davantage vers le nord. Il n'est donc pas exclu que l'apparente terminaison à l'ouest corresponde en réalité à une interruption provoquée par une altération du niveau. Quoi qu'il en soit, la fenêtre d'observation est trop étroite pour pouvoir appréhender cette couche dans sa

globalité. Tout juste les données factuelles nous renseignent-elles sur la qualité de conservation de ce blocage de silex qui semble avoir fait l'objet de dégradations plus ou moins prononcées et ce, malgré la résistance des matériaux utilisés. Un médiocre état général qui paraît s'accorder avec la mauvaise lisibilité du signal magnétique perçu à l'aplomb de ce niveau.



Figure n°99. Le blocage de silex 310 vu depuis l'ouest, le nord-ouest, le nord-est et le sud-est (St. Venault).

D'un point de vue fonctionnel, ce blocage de silex pourrait trouver des parallèles avec des massifs de fondations construits à la base des voies de circulation antiques. L'hypothèse selon laquelle il s'agirait d'un axe viaire expliquerait le développement linéaire de cette couche même si son emprise exacte reste encore floue. Par ailleurs il convient de préciser qu'aucune trace d'ornièrre ne vient confirmer cette interprétation, sachant que le revêtement de la bande de roulement a pu disparaître eu égard à l'état dans lequel l'ouvrage nous est parvenu. Nous aurions donc affaire à un axe de cheminement secondaire assurant la liaison entre la voie principale et les occupations latérales se développant vers le nord. Le massif de silex disparaît en partie sous la couche de scories 307 qui vient le recouvrir sans le masquer entièrement, les flancs de l'ouvrage étant a priori davantage concernés. Ceci étant, il n'est pas impossible que le recouvrement incomplet du massif 310 résulte d'un effet de troncature des niveaux archéologiques, la couche de scories se répandant alors initialement sur la totalité du blocage de silex. On constate en effet que l'altitude du sommet de la couche de scories est inférieure d'une dizaine de centimètres dans le sondage 3S par rapport au sondage 3N. Cette différence altimétrique, qui ne peut s'expliquer uniquement par la légère pente du terrain, pourrait trahir une érosion plus prononcée au sud qu'au nord.

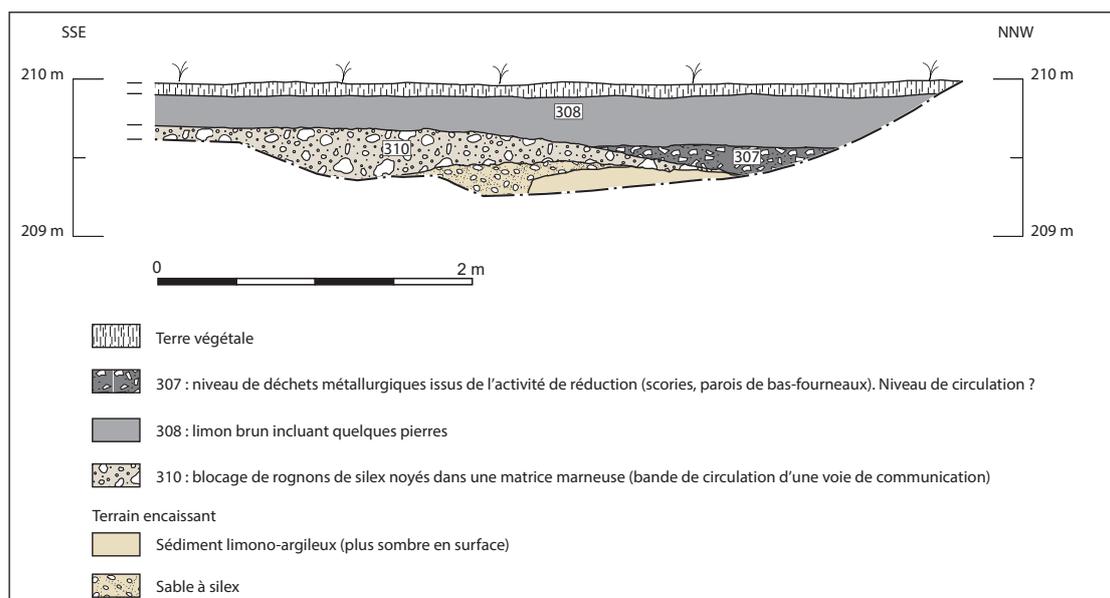
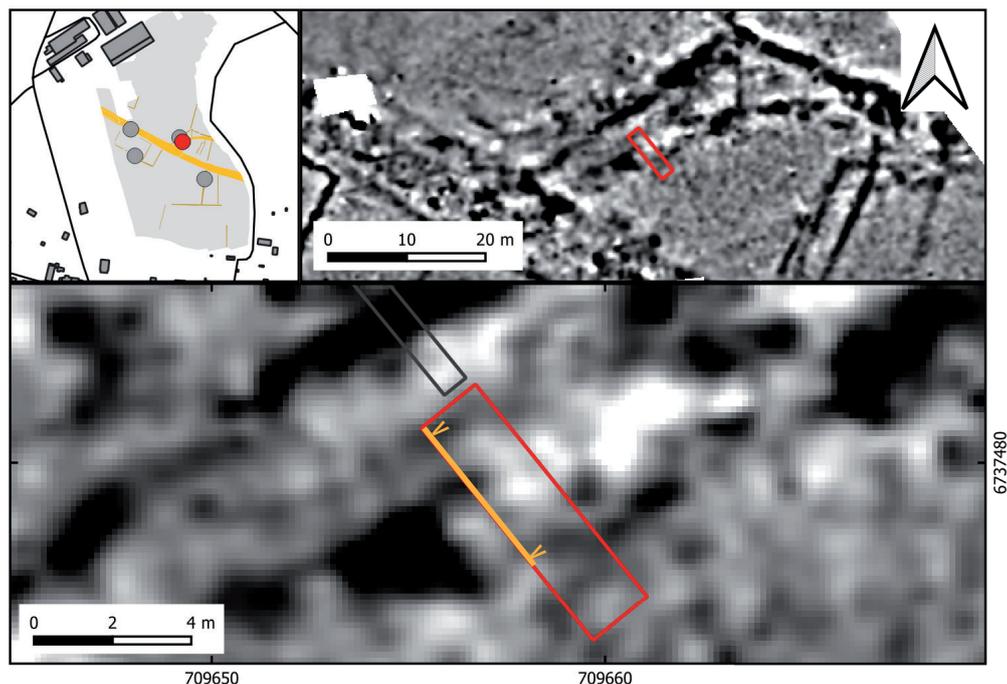


Figure n°100. Coupe du blocage de silex 310 (St. Venault).



Figure n°101. Coupe du blocage 310 vue depuis l'est (St. Venault).

En l'état des connaissances, on ne peut juger de manière univoque de la chronologie d'apparition des deux ouvrages. D'un point de vue planimétrique, l'orientation isocline des deux tracés milite en faveur d'une utilisation contemporaine. D'un point de vue altimétrique, ils apparaissent sur

un horizon équivalent, à la côte de 209,70 m NGF, qui incite cette fois encore à penser qu'ils ont pu fonctionner de manière synchrone. Si l'on considère à présent les aspects stratigraphiques, deux options opposées sont envisageables selon la manière dont on conçoit le rapport entre le massif de silex 310 et la couche de scories 307. La première option consiste à considérer l'épandage de scories comme un niveau sous lequel disparaît (et est peut-être oubliée) la bande de roulement 310. Après que l'axe de cheminement eut été utilisé pendant une durée indéterminée, les scories auraient été apportées pour combler les parties dégradées. Elles auraient dans le même temps été étalées de façon à stabiliser une bande de terrain d'une douzaine de mètres de large correspondant au halo magnétique. Dans ce cas le fossé 301 et le massif 310 s'inscriraient dans une même temporalité, car ils auraient été tous les deux condamnés au même moment par la couche de scories. La seconde option consiste à concevoir le blocage de silex et la couche de scories comme les deux composantes d'une même plate-forme aménagée d'un seul jet. Le massif de silex pouvait alors être potentiellement dédié au passage des véhicules et des charges lourdes tandis que le niveau de scories participait de l'assainissement du sol aux alentours. Dans ce cas le fossé 301 aurait fonctionné antérieurement à l'axe viaire 310 et aurait disparu avant que le cheminement en question ne soit en usage.

Que les faits concernés aient fonctionné ou non ensemble, on constate dans tous les cas que l'enclos au nord-est constituait une contrainte au déploiement rectiligne de la voie 310, dont le tracé s'incurve pour longer l'enceinte fossoyée.

Le mobilier très rare se résume à un tesson, trouvé hors stratigraphie lors de l'excavation du sondage, attribué à un Drag. 37 en circulation durant la seconde moitié du IIe s.

- Ensemble C :

La fenêtre d'investigation relative à l'ensemble C visait à vérifier l'authenticité archéologique de deux anomalies linéaires de très faible intensité espacées de 16 m, mettant en relation un vaste enclos au sud et la voie principale au nord.

Les travaux ont débuté par l'anomalie située à l'ouest avec l'ouverture d'un sondage de 5 m de long implanté transversalement au tracé. La coupe du sondage réalisée sur 60 cm de profondeur présentait la succession sédimentaire suivante (de haut en bas) :

- Terre végétale sur 10 cm d'épaisseur
- Limon gris légèrement graveleux sur 25 cm d'épaisseur
- Substrat : sable à silex.

La stratigraphie mise au jour n'a révélé aucune trace de creusement visible à l'œil nu susceptible d'être à l'origine du signal magnétique. Notre incapacité à mettre en évidence les indices matériels de cette anomalie ne doit pas pour autant faire douter de la réalité de la signature géophysique d'autant qu'elle apparaît deux fois. L'explication réside sans doute dans le fait que la modification du terrain à cet endroit, certainement induite par le creusement d'un fossé, est imperceptible visuellement. Faute d'être suffisamment profond, ledit fossé n'aurait pas laissé d'empreinte dans le substrat. Et il est fort probable que les limites du creusement et les matériaux qui composaient le remplissage se sont fondus avec les couches de limons superficielles. Ceci étant, comme le phénomène est fréquemment attesté, le sol a conservé la mémoire « magnétique » de cette structure dont la disparition d'un point de vue stratigraphique explique la très faible intensité du signal.

Compte tenu de l'absence de résultat, la décision a été prise de ne pas ouvrir de second sondage sur l'autre anomalie afin de limiter l'impact des investigations sur le pâturage.

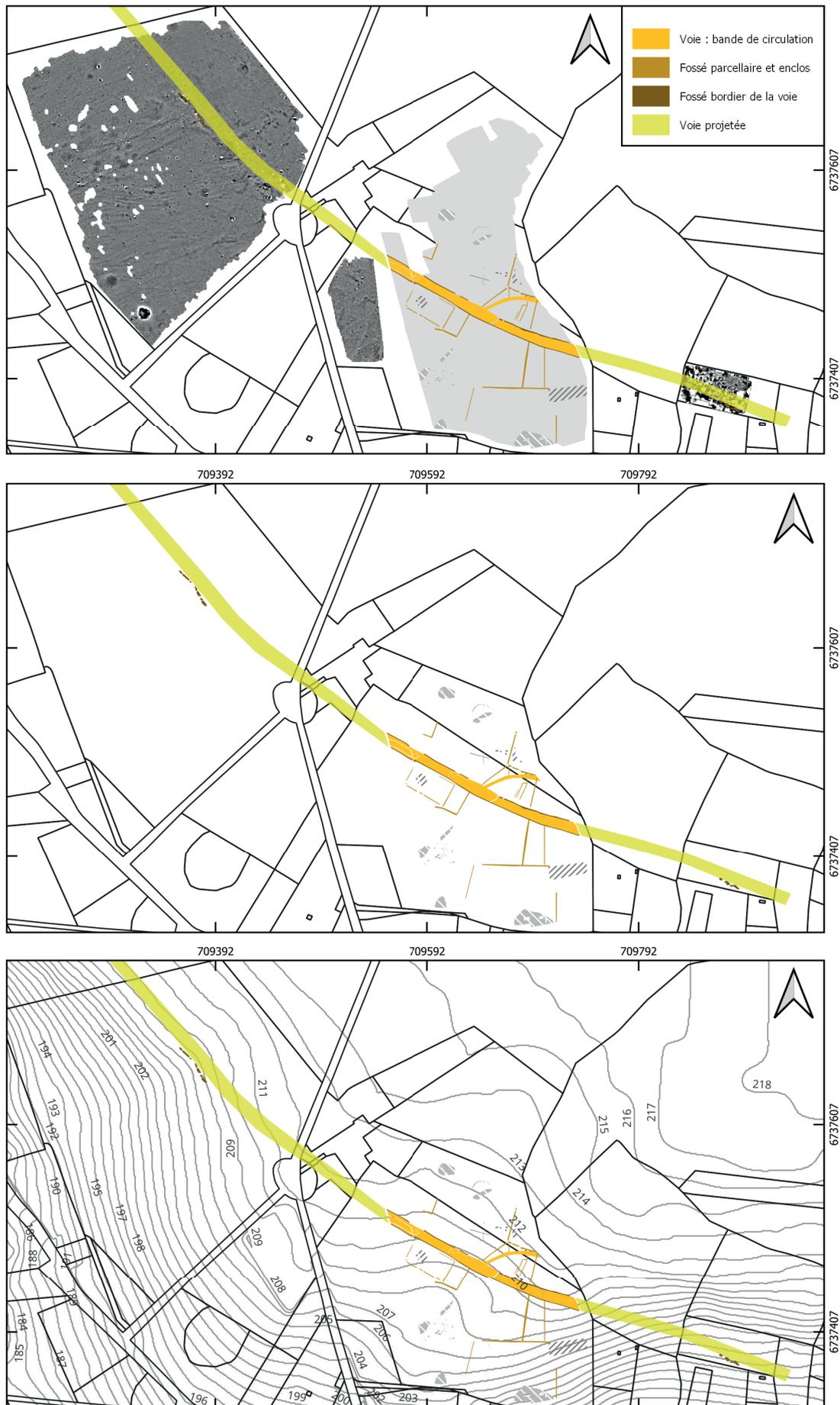


Figure n°102. Restitution du tracé de la voie (St. Venault).

4.2.4. Les prospections géophysiques : interprétation archéologique des résultats

Compte tenu des résultats très encourageants de la campagne de détection 2021, la décision a été prise de poursuivre les explorations dans le prolongement de l'axe de la voie, le but étant de suivre son tracé et surtout de mettre en évidence d'autres dispositifs d'occupation susceptibles de se développer de part et d'autre. Les investigations ont donc porté sur des parcelles pour lesquelles l'autorisation des propriétaires avait pu être obtenue, soit une emprise de 5 ha au nord-ouest, une autre de 0,22 ha juste à l'ouest des près prospectés en 2021 et une dernière de 0,4 ha au sud-est, dans le prolongement du cimetière actuel.

Les résultats des prospections géophysiques de 2022, se montrent très décevants comparativement aux cartes magnétiques obtenues l'année précédente. En effet, autant la voie se dessine distinctement sur la carte de 2021 autant elle semble absente sur celles de 2022. Nous ne percevons plus aucun signal probant se rapportant non seulement au matériau de revêtement mais aussi aux éléments structurants de l'axe viaire que sont les fossés latéraux. Sauf à considérer que la voie change brusquement de direction avant les emprises prospectées en 2022 au nord-ouest et au sud-est, ce qui apparaît hautement improbable, force est de constater que les parcelles concernées ont perdu la mémoire du parcours de l'ouvrage. Seules de rares traces linéaires seraient éventuellement assimilables aux fossés bordiers, cette interprétation n'étant évidemment possible que parce que nous avons connaissance du passage de la voie. Il s'agit au nord-ouest d'un chapelet de sept tâches alignées et séparées les unes des autres par des intervalles irréguliers, l'ensemble s'étirant sur une longueur totale de 45 m pour une largeur variant de 1,70 m à 2,70 m selon les anomalies. L'altération subie par le sol à cet endroit pourrait éventuellement correspondre au fossé sud. Outre le fait que l'alignement d'anomalies en question se place dans un axe qui prolonge naturellement la course de la voie, sans forcer outre mesure la courbure de son tracé amorcé en aval, cette interprétation repose également sur des critères topographiques (Fig. 102). On constate en effet que cette suite de structures s'implante au niveau de la ligne de rupture de pente, à 208 m d'altitude, qui semble un endroit tout indiqué pour le passage de la voie, la construction de l'ouvrage étant plus facile sur le replat de l'amorce du plateau que dans la déclivité où les travaux doivent s'accompagner de terrassements supplémentaires. Le rapport d'analyse géophysique suppose que l'aimantation prononcée de ces anomalies pourrait s'expliquer par les propriétés magnétiques des matériaux qui composent le remplissage. En l'occurrence, on peut légitimement se demander si les segments concernés ne seraient pas remplis de scories. Faut-il en déduire que seuls les tronçons de fossé comblés de scories sont décelables et dans ce cas la suite du tracé n'apparaît pas faute de matériaux discriminants ? Doit-on au contraire imaginer que le fossé a disparu sous l'effet de l'érosion et que seules sont préservées des portions surcreusées en partie colmatées de scories ? Quant au fossé nord, le magnétomètre ne détecte aucune trace de son existence dans le sol⁴. Des anomalies d'aspect comparable à celles identifiées au nord-ouest sont observables dans l'emprise au sud-est. Il s'agit d'une suite de quatre tâches, dont l'alignement s'étire sur une longueur totale de 21 m qui, cette fois encore, pourrait coïncider avec le tracé du fossé bordier sud. Tout comme dans la parcelle précédente, ce secteur ne livre aucune trace du fossé nord. La lisibilité à cet endroit est en outre brouillée par une zone dense d'anomalies qui traverse l'emprise prospectée en écharpe et à laquelle nous ne sommes pas en mesure d'attribuer une origine archéologique. De même, quelques petits segments d'anomalies linéaires interprétés comme des structures en dur posent question. Leur implantation transversale à la voie tendrait à leur accorder un intérêt archéologique limité.

4 Il convient de préciser que le passage d'une clôture le long du tracé potentiel du fossé nord a pu interférer sur la détection d'un éventuel signal à certains endroits.

Les abords de la voie largement explorés, notamment au nord-ouest, ne présentent aucune anomalie attribuable à des structures d'occupation se développant à proximité de l'axe de communication. Plusieurs anomalies linéaires, orientées pour la plupart N-63°E, strient les emprises prospectées à l'ouest et au nord-ouest. Une série d'entre-elles, de faible intensité, est attribuée selon le rapport d'analyse géophysique à la présence de structures en dur⁵. Elles trouvent des équivalents avec des sillons mis en évidence en 2021 (visibles sur une vue satellitaire de 2011). Au vu de leur distribution spatiale, qui s'avère incohérente par rapport au système d'organisation dans lequel s'inscrivent les vestiges attribués à l'époque romaine, on peut douter de leur potentiel archéologique. Leur tracé rectiligne supposerait que nous ayons affaire à des drains, sans doute en plastique dans le cas présent.

Deux segments au nord (n^{os} 6 et 7)⁶, plus un autre au sud de l'emprise nord-ouest, bien que toujours parallèles aux sillons précédemment évoqués, se distinguent par l'intensité de leur signal magnétique qui incite à les classer dans la catégorie des structures en creux. En l'occurrence l'hypothèse de fossés drainants implantés dans la pente paraît une option recevable. L'intervalle de 20 m séparant les deux lignes n^{os} 6 et 7 tend cependant à exclure la restitution selon laquelle ils pourraient matérialiser à un axe de cheminement. Par ailleurs, si les deux tracés ne paraissent pas empiéter sur l'axe de la voie et s'implantent perpendiculairement à celle-ci, on se gardera pour autant de conclure à l'idée qu'ils fonctionnent en lien direct avec l'axe viaire. En effet, on ne peut exclure que l'apparente orthogonalité dans laquelle s'inscrivent les deux fossés et la voie procède d'états successifs d'aménagement du site sans lien de causalité entre eux, la courbure de l'axe viaire créant les conditions fortuites d'une jonction perpendiculaire. Toujours au nord-ouest, on constate aussi la présence d'un faisceau de tracés d'anomalies curvilignes correspondant au signal de structures en creux qui ne trouve pas d'explication évidente (ornières ?).

Enfin, une attention particulière doit être portée à deux anomalies localisées en sud de l'emprise prospectée au nord-ouest (n^{os} 23 et 24)⁷, dont la morphologie interroge. Leur particularité réside dans leur plan circulaire d'environ 11 m de diamètre pour une surface couverte de 90 m². Distantes l'une de l'autre de 31 m, elles se distinguent par leur aimantation (moyenne à faible pour celle au nord et forte pour celle au sud) qui trahit l'emploi de matériaux distincts pour le comblement de chacune d'entre elles : pierre et/ou sédiment limoneux dans un cas et scories dans l'autre. En raison de leur dimension et de leur forme, le rapport d'analyse géophysique propose d'établir un parallèle avec des charbonnières, même si l'on peut s'interroger sur l'intérêt de venir colmater ce type de structure avec des matériaux rapportés alors qu'elles ne génèrent pas de dépression prononcée de la surface du sol. Une autre hypothèse reposerait sur la comparaison avec l'anomalie circulaire du même type détectée dans le quadrilatère de l'ensemble A (cf. supra). Rappelons que le signal en question correspond au comblement, avec divers déblais rapportés, d'un effondrement du terrain apparu en 2020, décrit par les propriétaires du centre équestre comme étroit et profond. Ces mêmes propriétaires ont par ailleurs indiqué avoir colmaté d'autres affaissements de ce type dans la partie ouest de leur domaine. La prospection géophysique ayant été réalisée après l'enquête orale, les exploitants n'ont pas pu confirmer si la position des anomalies n^{os} 23 et 24 repérées en 2022 correspondait à celles des trous évoqués. Fort de l'analogie morphologique entre les trois anomalies concernées, nous serions tentés d'en proposer une interprétation commune à savoir celle, confirmée visuellement par les propriétaires, selon laquelle qu'il s'agirait d'affaissements localisés du terrain.

5 cf. fig. 75 du rapport géophysique

6 cf. fig. 76 du rapport géophysique

7 cf. fig. 81 du rapport géophysique

Ce postulat étant posé, la question se pose de savoir si le phénomène est dû à des causes naturelles ou induit par des transformations du sol de mains d'hommes aujourd'hui oubliées en raison de leur ancienneté. S'agissant de l'origine naturelle, une analyse géologique poussée du site, non conduite dans le cadre de cette étude archéologique, serait éventuellement en mesure de démontrer que le terrain peut être soumis à des processus de subsidence occasionnant la formation de dolines. L'explication anthropique peut quant à elle résider dans la comparaison avec les vestiges d'une fouille localisée au lieu-dit Les Ferrys sur la commune de La Bussière dans le Loiret, située à une trentaine de kilomètres à l'ouest de Tannerre (Rebiscoul 2003). Ce site, dont l'occupation était dédiée à l'extraction du minerai de fer durant la période romaine, présente la particularité d'avoir conservé les puits d'accès aux filons qui apparaissent en plan sous la forme d'ouvertures circulaires. Le rapprochement des deux sites se justifie également par les formations sédimentaires comparables qui composent leur sous-sol : couche de sables de Sologne épaisse de 5 à 10 m recouvrant les argiles éocènes comportant les veines de minerai à La Bussière ; couche de sable à silex d'épaisseur indéterminée recouvrant les argiles à Tannerre. Certes le diamètre des puits à leur ouverture, qui varie de 1 m à 2 m pour les plus grands, est bien moindre que celui des anomalies détectées à Tannerre, mais peut-être faut-il tenir compte de la nature des terrains encaissants. Les sables à silex bien moins stables que ceux de Sologne sont en effet susceptibles de générer un cône sommital beaucoup plus important. D'autres altérations de la surface de sol repérées à Tannerre apparaissent sous la forme de zones de faible intensité au contour irrégulier (n^{os} 11 et 12) au sein desquelles se perçoivent des tâches plus aimantées pouvant correspondre à des creusements plus prononcés. Il est impossible en l'état des connaissances de se prononcer sur l'origine de ces anomalies qu'elles soient ou non en lien avec des activités minières.

4.2.5. Conclusion

La campagne de sondages archéologiques réalisée à Tannerre en 2022 a permis de vérifier la nature des anomalies révélées par les prospections géophysiques de 2021. Certes l'emprise des fenêtres d'observation, limitée à quelques mètres carrés, ne fournit pas toujours les clefs d'explication du fonctionnement des structures et ni celle de compréhension de l'organisation du site, sans compter les données chronologiques qui sont absentes, excepté quelques rares éléments qui confirment l'ancrage à la période romaine. On retiendra toutefois, outre le plan d'ensemble qui témoigne d'une occupation relativement structurée, que certains ouvrages ont demandé des investissements technique et humain relativement conséquents (fondation 201, épandage de scories 307, voie 310) qui supposent des installations conçues pour durer et une fréquentation soutenue du site. Etant soucieux de limiter l'impact sur les vestiges mais aussi de ne pas occasionner de gênes supplémentaires à l'usage qui est fait des lieux, nous ne jugeons pas nécessaire d'approfondir les investigations même si, bien entendu, l'ouverture de sondages à des endroits stratégiques pourrait répondre à des questions précises que posent encore certaines anomalies visibles sur les images magnétiques.

Quant aux prospections géophysiques effectuées en 2022, si elles surprennent par l'indigence de leurs résultats, elles nous renseignent sur le réel potentiel archéologique du site dans son ensemble qui s'avère moins prometteur que ce que pouvait laisser penser la carte obtenue en 2021. En l'état des connaissances, il est difficile d'avancer un quelconque argumentaire expliquant la disparition du tracé de la voie au nord-ouest : érosion, dégradation par les labours, déficit sédimentaire induit par une déclivité plus prononcée ? Au sud-est, il est possible que la parcelle située dans l'axe du cimetière, au centre de laquelle se dresse un monument, ait fait l'objet de remaniements impliquant des terrassements et/ou des apports de remblais à l'origine

du foisonnement de signaux magnétiques. Bien évidemment la faible portée informative des acquisitions géophysiques de 2022 constitue un frein aux poursuites des recherches sur les abords du ferrier de Tannerre, les quelques anomalies repérées ne légitimant pas la réalisation d'études complémentaires. Seules les potentielles structures d'effondrement pourraient justifier une intervention dédiée, leur compréhension entrant complètement dans les problématiques du PCR. A condition d'obtenir l'accord des exploitants du centre équestre pour une nouvelle campagne de sondages impactant encore davantage les pâturages, une opération de ce type demanderait des délais mais aussi le déploiement de moyens logistiques et mécaniques qui seraient sans commune mesure avec ceux mis en œuvre cette année ; une entreprise qui ne serait pas sans conséquences sur la planification budgétaire du programme de recherche. Quant aux tentatives d'extension des prospections magnétiques vers le nord-est, elles sont compromises par le refus des propriétaires d'accéder aux parcelles.

Faute de suite opérationnelle à donner à l'étude archéologique des abords du ferrier, nous achèverons nos travaux l'année prochaine par la rédaction de notices de site, au format défini par le protocole du PCR AggloCenE, qui vont concerner les deux localités objets de notre attention depuis 2021 : Tannerre-en-Puisaye et Toucy.

5. Un sondage sur un amas de déchets sidérurgiques à Entrains-sur-Nohain "Château du Bois" (Nièvre)

Fiche signalétique

Localisation de l'opération

Région : Bourgogne-Franche-Comté

Département : Nièvre (58)

Commune concernée par des fouilles : Entrains-sur-Nohain

Références cadastrales de la parcelle étudiée

Commune : Entrains-sur-Nohain Occupation du sol : labours

Références cadastrales : ZM41 et 84

Coordonnées RGF93 : X : 1723233

Y : 6253751

Références de l'opération

Numéro d'arrêté d'autorisation de sondages : 2022/429 en date du 12 juillet 2022

Dates d'intervention : 26 août 2022

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologiques

Laboratoire Métallurgies et Cultures,

Université de Technologie de Belfort-Montbéliard

90010 Belfort Cedex

Résultats significatifs

Eléments de datation : céramique

Mots-clefs : métallurgie, atelier, déchets

Responsable scientifique : Marion Berranger

Equipe fouilles

Equipe de fouilles :

Herbrich (LMC-CNRS)

Marion Berranger (LMC-CNRS), Margaux

Traitement des données et rapport :

Marion Berranger (LMC-CNRS)



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n° 2022/429 du 12 juillet 2022

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° 21.68 BAG du 23 mars 2021, du Préfet de la région Bourgogne-Franche-Comté portant délégation de signature à Madame Aymée ROGÉ, Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu l'arrêté du 16 mars 2022, portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272022000089, de demande d'opération archéologique arrivé le 4 juillet 2022 ;

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 et jusqu'au 31 décembre 2022 une opération de sondage, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ
Département : NIÈVRE
Commune : ENTRAINS-SUR-NOHAIN
Lieu-dit : « Château du Bois »
Cadastre : section ZM, parcelles 41 et 84.

Intitulé de l'opération : Sondage archéologique d'un ferrier.
Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.
Code de l'opération : **044055**

Cette opération a lieu dans le cadre du projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 intitulé « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau : organisation et circulation des productions (VIII^e s. av. J.-C. - V^e s. ap. J.-C.) ».

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 juillet 2022

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

Hervé LAURENT

5.1. Cadre de l'intervention et travaux antérieurs menés à Entrains et dans son environnement dans le cadre du PCR « sidérurgie »

L'agglomération antique d'Entrains-sur-Nohain (Nièvre), a fait l'objet ces dernières années d'une recherche archéologique particulièrement dynamique. En effet, 4 fouilles préventives réalisées par l'INRAP (Tisserand 2012, Vincent 2014, Venault à paraître) ont permis un fort renouvellement des données grâce à l'étude de plus d'une dizaine d'ateliers de forgeage en fonctionnement durant les deux premiers siècles de notre ère.

Au sein du PCR, l'agglomération antique d'Entrains est au centre des problématiques concernant la circulation des matières premières sidérurgiques : elle apparaît comme un centre de transformation majeur des produits bruts de réduction et de mise en forme d'objets finis ou semi-finis, durant les deux premiers siècles de notre ère. La proximité de plusieurs ateliers de réduction, ainsi que la position de l'agglomération aux coeurs de grands secteurs de réduction, comme la Puisaye, pose aussi la question de ses circuits d'approvisionnement en métal brut (fig. 103).

Entrains apparaît ainsi comme un secteur clef pour restituer les dynamiques de l'organisation de la production sidérurgique, tant en se questionnant sur l'origine de ses approvisionnements en métal, que sur les débouchés des produits transformés au sein des ateliers situés *intra-muros*. Si la caractérisation des sites de réduction de Puisaye est toujours au centre des activités du PCR, il est en parallèle indispensable d'engager une caractérisation des ateliers de réduction situés dans le voisinage direct de l'agglomération d'Entrains, afin d'analyser les approvisionnements de la cité antique.

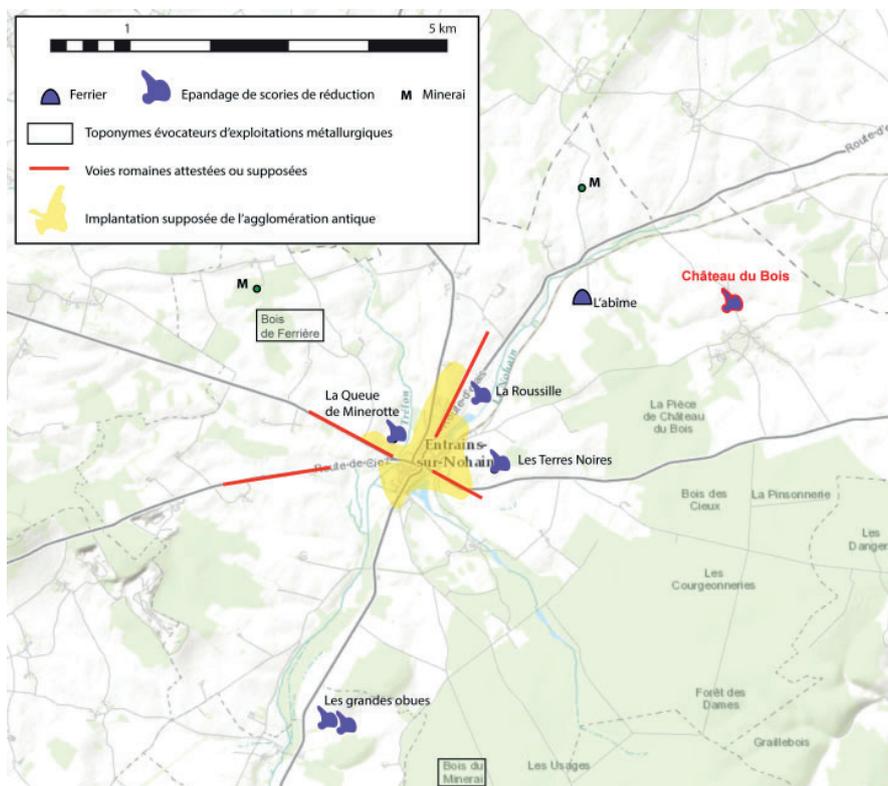


Figure n°103. Environnement du site d'Entrains-sur-Nohain et localisation de l'amas de déchet à « Château du Bois ».

Le secteur d'Entrains-sur-Nohain et plus largement du nord nivernais ont ainsi fait l'objet de plusieurs campagnes de prospections et de sondages dans le cadre du PCR (Jeannot 2016a et 2016b, Berranger dir. 2020). 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-inventaire les plus récentes qui ont eu lieu dans ce secteur (Berranger dir. 2018). Parallèlement vingt amas ou concentrations de déchets ont été prospectés et trois d'entre eux ont été sondés. Les amas situés en périphérie des agglomérations romaines d'Entrains-sur-Nohain et de Compierre - Champallement ont été étudiés en priorité, afin d'établir le lien chronologique entre ces espaces de production et l'occupation de ces villes qui accueillent des ateliers de travail du fer. Les autres sites, répartis principalement dans la forêt des Bertranges ont été choisis en fonction de leur accessibilité. Nous disposons actuellement de vingt dates issues de douze amas.

Dans la forêt des Bertranges, les quatre sites datés se situent dans une même fourchette chronologique, comprise entre la fin du I^{er} et la fin du IV^e s. de n. è. A Entrains-sur-Nohain et Champallement, les datations issues de charbons prélevés en stratigraphie sur plusieurs strates de déchets confirment la contemporanéité entre l'activité des forges développées *intra-muros* et celles de production de fer brut implantée en périphérie des villes. Cette dernière se développe ainsi entre la fin du I^{er} et le milieu du IV^e s. de n. è. à Saint-Révérien et entre le milieu du I^{er} s. av. n. è. et le IV^e s. de n. è. à Entrains-sur-Nohain.

Deux datations permettent également de pointer l'existence d'une production de fer brut plus tardive, durant la période médiévale, insoupçonnée jusqu'à présent et dont l'importance reste à déterminer. Près de Saint-Révérien un amas est daté des VI^e-VIII^e s. A Entrains-sur-Nohain « L'abîme », une seconde phase de production métallurgique datée des XIII^e – XV^e s. s'implante sur l'amas de déchets antique. On peut s'interroger sur sa relation avec une petite motte médiévale située à environ 200 m, mais non datée précisément.

En 2022, un sondage a été réalisé sur un autre très grand épandage de scories de réduction nouvellement reconnu à proximité sur la commune d'Entrains-sur-Nohain au lieu-dit « Château du Bois » (fig. 103).

5.2. Objectifs et méthodologie de l'intervention

Ce nouveau site de réduction a été signalé au LMC-IRAMAT en 2021 par des habitants d'Entrains-sur-Nohain qui l'ont identifié à l'occasion de randonnées autour de chez eux. Une vérification au sol par l'équipe a été réalisée durant l'été 2021, ce qui a permis de confirmer la présence d'une concentration de scories de réduction du minerai de fer dans une parcelle labourée. Sur des photographies aériennes datant du début des années 2000, l'épandage de scories est bien visible, matérialisé par de vastes taches sombres. La plus grande tache mesure environ 80 m sur 50 m, tandis que la plus petite tache a un diamètre approximatif de 40m. Une station d'épuration a été construite récemment et empiète partiellement sur la tâche située la plus à l'est (fig. 104).

L'objectif de l'intervention de cette année consistait en la réalisation d'un micro-sondage d'environ 1 m de côté afin de déterminer l'état de conservation du site (épaisseur de stratigraphie). L'objectif principal est de dater la ou les phases d'activités en étudiant l'épaisseur

de stratigraphie conservée et en réalisant des prélèvements de charbon qui seront datés par méthode radiocarbone. Des prélèvements de déchets scorifiés ont également été conduits pour caractérisation morphologiques et chimiques, comme cela est réalisé de manière systématique sur les sites étudiés dans le cadre du PCR « sidérurgie ». Il s'agit de continuer à caractériser l'environnement de la cité d'Entrains-sur-Nohain afin de déterminer si ces ateliers de réduction nouvellement identifiés sont contemporains de la période antique et du fonctionnement des ateliers de forgeage implantés dans l'agglomération proche, ou s'ils se rattachent à des phases de production ultérieures, dont l'importance est encore mal cernée dans ce secteur.



Figure n°104. Vues aériennes (interprétée à droite) du site localisé à « Château du Bois ». Deux vastes taches sombres semblent visibles et pourraient marquer l'emplacement de l'atelier. En grisé station d'épuration. Source géoportail.

5.3. Résultats et perspectives.



Figure n°105. Vue générale du sondage dans son environnement (M. Berranger).

Un sondage de 90 cm sur 100 cm de côté a été réalisé à la pelle et à la pioche dans le terrain labouré. L'emplacement a été sélectionné dans une zone riche en scorie. Cependant aucune réelle différence de concentration de scories n'est notable. Ces dernières se répartissent de manière éparse dans la terre labourée sous forme de fragments pluri-centimétriques. Le sondage a été mené jusqu'à une profondeur de 47 cm sous le niveau actuel jusqu'au sol naturel constitué d'argile jaune comprenant de petits cailloux calcaire. Quatre couches anthropisées ont été individualisées.

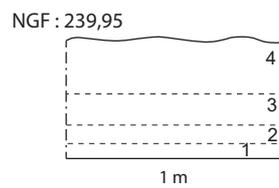


Figure n°106. Vue générale de la stratigraphie du sondage et log (M. Berranger).

La plus profonde est un niveau homogène (1) de 7 cm d'épaisseur, constitué d'argile blanche à jaune, comprenant de la poudre de minerai rouge et de la poudre de charbon. Il s'agit probablement du sol contemporain de l'atelier. Des charbons ont été prélevés dans ce niveau de sol à – 39 cm.

Cette couche est surmontée par un niveau argileux gris (2) de 10 cm d'épaisseur, comprenant des nodules centimétriques et de la poudre de charbon et quelques fragments de scories centimétriques décimétriques.

Au-dessus, se trouve un fin litage de poudre de minerai rouge (3) de 12 cm d'épaisseur. Les couches 2 et 3 correspondent vraisemblablement aux niveaux de démantèlement de l'atelier.

L'ensemble est surmonté par un niveau terreux (4), limono-argileux gris compact comprenant de petits silex centimétriques blancs et des fragments de scories décimétriques. Il s'agit du niveau de labours épais d'une vingtaine de centimètres.

Un tesson de céramique qui semble moderne a été mis au jour dans le niveau de labours entre la surface et – 30 cm. Des fragments de minerais grillés (NR : 10 – masse : 719 g), des fragments de parois scorifiées (NR : 10 ; masse : 380 g) et des scories cristallisées ont également été prélevées (3800 g). Il s'agit de scorie internes charbonneuse, d'un petit fragment cordé, et de scories non cordées. Deux tessons de céramique fine blanche ont été prélevés dans la couche 4.

Les prélèvements de charbon sont en attente d'une caractérisation anthracologique, afin de prélever les derniers cernes qui seront envoyés en datation. Un envoi en début d'année 2023 est prévu. Le sondage réalisé cette année a ainsi permis de confirmer la présence de sols d'atelier conservés, malgré la faible épaisseur de stratigraphie. La datation de la période d'activité est encore à déterminer.

6. Programmation 2023

L'année 2023 correspond à la dernière année de ce programme tri-annuel. La priorité sera donc donnée à l'achèvement des études en cours et à la synthèse des données acquises durant ces trois ans. Aucune nouvelle activité de terrain n'est programmée pour le thème "relation espaces habités – zones de production primaire du fer". L'année 2023 sera consacrée à synthétiser l'ensemble de la documentation concernant Toucy et Tannerre-en-Puisaye (Yonne) ainsi qu'à la rédaction d'un article de synthèse concernant l'ensemble des données acquises pour cette thématique.

La poursuite et la finalisation de travaux en laboratoire est prioritaire dans plusieurs domaines. Nous souhaitons néanmoins conserver une activité de terrain importante afin de poursuivre nos travaux sur la caractérisation de l'organisation des ateliers et de l'architecture des fours, et afin de répondre aux objectifs du projet TerriFer nouvellement financé par la région Bourgogne-Franche-Comté.

Les études anthracologiques

Depuis le début du PCR un axe paléoenvironnemental intègre les travaux menés sur la Puisaye. Dans cet axe, l'identification des restes de charbon permet de remplir les objectifs classiques de connaissance de la diversité taxonomique de la végétation ligneuse exploitée. Le protocole intègre dès la phase de terrain une démarche plus innovante dite «dendro-anthracologique» dont les objectifs sont d'étudier la structure de peuplement de la végétation exploitée : d'estimer le calibre des tiges utilisées, d'approcher des notions d'âge à l'exploitation et des caractéristiques de croissance typiques de pratiques de gestion forestière (densité, traitement en taillis). Il est particulièrement intéressant de décrire ces ressources vis-à-vis de la technicité des processus, mais aussi en rapport avec une demande en volume probablement forte pour une « région » où les amas de scories sont nombreux. Plusieurs semaines de travail ont déjà été consacrées à ces travaux mais il est nécessaire de réaliser une synthèse de ces résultats par le travail en commun de deux spécialistes en dendrochronologie et en anthracologie qui ont déjà publié conjointement des travaux de dendro-anthracologie.

L'année 2023 sera donc consacrée à la rédaction de la synthèse des études réalisées depuis trois ans, sur plusieurs amas de déchets sondés à Saint-Fargeau (dont un site fouillé). Une charbonnière fouillée au sein de l'amas de Dracy 1 Ferrier Guillou (89) sera également étudiée.

Les études sur les déchets métallurgiques

L'étude des scories, parois, minerais et fragments de métal se poursuit dans le cadre du programme. Si une typologie générale de ces déchets a pu être proposée, il reste encore à préciser les conditions de formation en se basant tant sur les caractéristiques morphologiques que chimiques.

Une caractérisation chimique à la fluoX portable d'une grande série de déchets scorifiés est prévue dans le cadre du doctorat de Margaux Herbrich, rattaché au projet TerriFer. Des analyses chimiques devront également être envisagées au CRPG, notamment afin de documenter les sites nouvellement fouillés à Saint Fargeau site 40 et Dracy site 1.

Parallèlement une nouvelle série d'expérimentations destinées à mieux comprendre les conditions de formation des scories trouvées en Puisaye, de type « en écoulements canalisés superposés » (type A5), daté de la fin des âges du Fer et de l'Antiquité, sera réalisée.

Des datations radiocarbone.

L'année 2022 a donné lieu à une série conséquente de prélèvements de charbons qu'il reste à dater. Leur caractérisation anthracologique par Olivier Girardclos est prévue en début d'année 2023. Suite à ces déterminations, ils seront envoyés en datations radiocarbone.

La sélection portera au moins sur les éléments suivants.

A Saint-Fargeau site 40 (89) :

- un charbon à dater dans chacune des trois scories piégées ;
- un charbon à dater dans le premier état de l'ensemble des fours F409 ;
- un charbon à dater dans les niveaux de rejets de cheminées de bas fourneau.

A Dracy « Ferrier Guillou 1 » (89), l'étude céramologique a mis en évidence une occupation continue entre la première moitié du I^{er} s. de notre ère et les II^e et III^e s. Nous souhaiterions en complément réaliser des datations radiocarbone sur trois niveaux répartis à différentes hauteurs de la stratigraphie étudiée sur plus de 5 m de haut.

Des charbons ont également été collectés sur le ferrier n°3 de Dracy au lieu-dit « Ferrier des Noirs » (89) et ils sont en attente de datation. Ils proviennent de lambeaux de stratigraphie subsistant suite à la destruction clandestine de ce site. Au moins deux dates pourraient être réalisées.

A Entrains-sur-Nohain 16 « Château du Bois » (58) un charbon prélevé à l'occasion d'un sondage pourra être daté.

Ce sont donc au moins onze datations radiocarbone qui sont envisagées.

La poursuite de l'étude des ateliers de réduction

Les travaux de terrain sur les ateliers de réduction seront engagés en fonction de deux axes prioritaires.

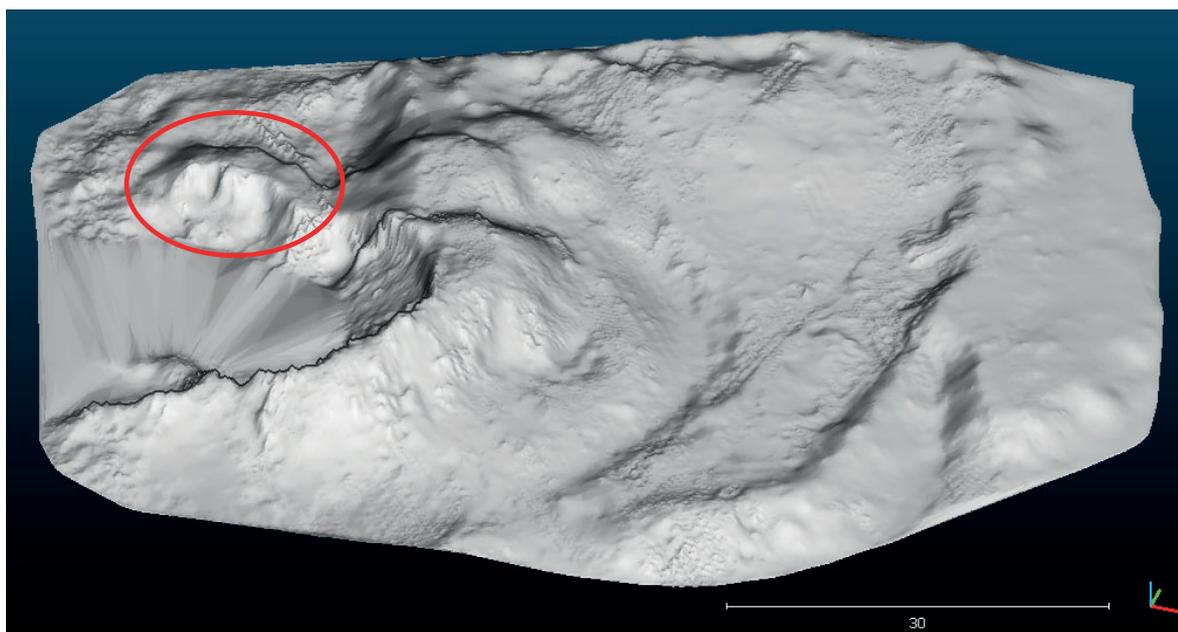


Figure n°107. Aillant-sur-Tholon "Bois des Ferrier" site n°1. Emplacement envisagé pour la réalisation d'une fouille extensive d'une partie d'un amas de déchet daté de l'Antiquité, sur fond LiDAR (données M. Thivet, traitements M. Herbrich)

Nous souhaitons organiser une campagne de sondages extensifs sur un secteur ayant déjà fait l'objet de plusieurs campagnes de sondages en 2017 et 2018, à Aillant-sur-Tholon (89). Le site n°1 a déjà été topographié en LiDAR, nous disposons donc d'une bonne documentation de sa géométrie. Il a également été appréhendé en stratigraphie de manière ponctuelle. En 2023 nous souhaitons concentrer nos sondages sur l'un des tas de déchets qui constitue ce gros amas daté de la période antique, en combinant étude stratigraphique en coupe, et fouille en planimétrie de manière mécanisée. L'objectif est, en complément des éléments de datation déjà disponibles, de quantifier plus précisément la proportion de déchets au sein de l'amas en réalisant des prélèvements volumétriques de déchets, en colonnes et par strates. Parallèlement à l'étude stratigraphique, une étude géomorphologique sera réalisée sur les coupes par D. Sordoillet, afin d'étudier les modalités de constitution de ces grands amas. S. Mouton-Venault continuera à intervenir pour l'étude des céramiques présentes au sein de ces niveaux de rejet.

Des sondages ponctuels seront réalisés sur d'autres amas d'Aillant, nouvellement accessibles afin de réaliser des coupes de moindre ampleur, permettant néanmoins de fournir des données sur la concentration volumique des déchets au sein de ces tas.

Dans le cadre du programme TerriFer, une sélection d'amas présentant des caractéristiques topographiques différentes et appartenant à des périodes chronologiques distinctes sera également étudiée. L'objectif est ici de réaliser des coupes stratigraphiques et des prélèvements volumiques, après leur relevé topographique par LiDAR. Il est envisagé que ces sondages plus ponctuels soient effectués sous la responsabilité de M. Herbrich (ArteHis – IRAMAT) dans le cadre de ses travaux de thèse. Les amas ciblés seront prioritairement sélectionnés sur les espaces de production du Morvan-Auxois et de Berthelange, étant donné que ces zones n'ont pas encore fait l'objet d'approches comparables.

Bibliographie

- 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 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 et al. 2019** : BERRANGER (M.), DILLMANN (P.), FLUZIN (P.), VEGA (E.), LEROY (S.), AUBERT (M.), DELQUE-KOLIC (E.) 2019 : Du produit d'échange à l'objet symbole : de nouvelles données sur les demi-produits de type currency-bar du Val-de-Saône et l'Arc Jurassien. Gallia – Archéologie des Gaules, CNRS Editions, 2019, 76/2, p. 165-189.
- 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, 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..
- Berranger et al. 2021** : 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.
- 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).
- 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.
- Disser 2014** : DISSER (A.) - *Espaces de production du fer en Lorraine et diffusion des produits sidérurgiques lorrains : apports des analyses par dosage d'éléments traces et statistiques*. Thèse

de doctorat, Université de technologie de Belfort-Montbéliard, sous la direction de Philippe Dillmann, Marc Leroy et Philippe Fluzin.

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 3^e cycle, Univ. De Lorraine, 2018

Dubreucq, Thivet 2020 : BUBREUCQ (E.), THIVET (M.) - La confluence Saône-Doubs à l'âge du Fer (VI^e s. av. J.-C. au I^{er} s. de n.ère). Projet Collectif de Recherche, Rapport intermédiaire 2020, 2 vol.

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).

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.

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

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.

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.

Jeannot dir, 2016a : 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.

Jeannot dir, 2016b : JEANNOT (R.) - *Menestreau (58). Le ferrier des Grandes Obues. Rapport de sondages programmés 2016*. Rapport dactylographié, SRA Bourgogne FRanche-Comté, 2016, 27 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

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. ParisX-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.
- 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, 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.
- 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, *RAE*, 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.
- 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
- 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.
- 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>
- 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.
- 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'Étais*, 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., à paraître : VENAULT (St.) - *Bourgogne, Nièvre (58), Entrains-sur-Nohain, Rue Romaine*, Rapport Final d'Opération, Inrap, Dijon, à paraître.

Vincent 2014 : Vincent (G.) - *Bourgogne, Nièvre, Entrains-sur-Nohain, 16, route d'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'Étais. 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

ANNEXE 1 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40

Inventaire des US

N° US	équivalence	N° ST	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobiliers enregistrés (en kg)			Autres mobiliers prélevés
								Parois	Scories	Total	
401							MB	<108	<217	325	
402.01		402	bloc de scorie massif de plan subcirculaire (400 x 400 mm), épais de 200 mm et pesant 27 kg, surface supérieure globalement plane du bloc et sa face inférieure composée d'écoulements tortueux verticaux moulant des branchettes de charbons de bois de dimensions pluricentimétriques disposées horizontalement.	Niveau de décapage contenu du four 402	décapage	402.04, 402.11, 402.12	ML	35	27	62	
402.02	402 surface	402	Périphérie contre le bord est-sud-est du bloc de scorie 402.01 : Plusieurs fragment d'un même morceau paroi TC gris-bleuté à surface vitrifiée (25 NR, 1.540 g), épais de 55-60 mm + 1 fgt de scorie F7 adhérent à une strate de terre cuite (320 g) + 28 fgts de scories F4-F5 (3290 g)	contenu du four 402	décapage	402.11	ML	1,5	3,6	5,1	
402.03	402 ouest	402	Périphérie contre le bord du bloc de scorie 402.01 : 11 fgts de paroi scorifié (1445 g) + 16 scories (4840 g) dont deux blocs décimétriques (un de 2060 g en appui contre de la paroi avec une strate de terre cuite, l'autre 1475 g portant de nombreuses empreintes de charbons centimétriques)	contenu du four 402	décapage		ML	1,5	4,8	6,3	
402.04	402 sous bloc	402	écoulements tortueux moulant des empreintes de charbons de bois sous le bloc de scorie 402.01 - partie centrale	contenu du four 402	402.01	431	ML	0,135	2,3	2,435	
402.10		402	écoulements tortueux moulant des empreintes de charbons de bois sous le bloc de scorie 402.01 - partie est	contenu du four 402	402.01	431	ML		2,6	2,6	
402.11		402	écoulements tortueux moulant des empreintes de charbons de bois sous le bloc de scorie 402.01 - partie sud	contenu du four 402	402.01	431	ML		4,7	4,7	
402.12	417	402	écoulements tortueux moulant des empreintes de charbons de bois sous le bloc de scorie 402.01 - partie est-nord-est	contenu du four 402	402.01	431	ML		0,4	0,4	
403	406-407-404		Concentration de gros blocs scorifiés, pluricentimétriques à pluridécimétriques (jusque 40 cm de large) pris dans un sédiment brun-rougeâtre. Ces rejets sont directement posés sur l'argile naturelle, et représentent une épaisseur d'accumulation d'environ 15 cm	Rejets de parois scorifiées et de scories, correspondant à l'amas de déchets.	401		MB	465	132	597	Charbons
404	403-406-407		Concentration de gros blocs scorifiés, pluricentimétriques à pluridécimétriques (jusque 40 cm de large) pris dans un sédiment brun-rougeâtre. Ces rejets sont directement posés sur l'argile naturelle, et représentent une épaisseur d'accumulation d'environ	Rejets de parois scorifiées et de scories, correspondant à l'amas de déchets. A cet emplacement les déchets ont été piégés dans une irrégularité dans le substrat formant une légère cuvette	401		MB	41	1	42	
405	331		Fines poches discontinues, granuleuses rougeâtres, constituées de fragments de minerais millimétrique, directement posé sur l'argile naturelle (déjà partiellement fouillé en 2021)	Zone de préparation de minéral grillé	401		MB				Charbons

N° US	équivalence	N° ST	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobiliers enregistrés (en kg)			Autres mobiliers prélevés
								Parois	Scories	Total	
406	403-407-404		Concentration de gros blocs scorifiés, pluricentimétriques à pluridécimétriques (jusque 40 cm de large) pris dans un sédiment brun-rougeâtre. Ces rejets sont directement posés sur l'argile naturelle, et représentent une épaisseur d'accumulation d'environ 15 cm	Rejets de parois scorifiées et de scories, correspondant à l'amas de déchets.	401	420-444	MB	399	262	661	Charbons, minerais
407	406-407-404		Concentration de gros blocs scorifiés, pluricentimétriques à pluridécimétriques (jusque 40 cm de large) pris dans un sédiment brun-rougeâtre. Ces rejets sont directement posés sur l'argile naturelle, et représentent une épaisseur d'accumulation d'environ 15 cm	Rejets de parois scorifiées et de scories, correspondant à l'amas de déchets.	401		MB	81	12	93	
408			Concentration de gros blocs scorifiés, pluricentimétriques à pluridécimétriques (jusque 40 cm de large) pris dans un sédiment brun-rougeâtre. Ces rejets sont directement posés sur l'argile naturelle, et représentent une épaisseur d'accumulation d'environ 15 cm				MB	15	14	29	
409		FAIT	Fait archéologique				ML				
410		402	couche de fragments de paroi de four en terre cuite à l'est-sud-est de l'ensemble formé par les US 402	éléments effondrés de la paroi du four 402	décapage	443	ML		3,2	3,2	
411	413		Couche appréhendée en coupe n°10. Niveau sableux, compact, de couleurs noire, comprenant des poches encore plus foncées avec des inclusions de charbon. Des scories de taille centimétrique à pluricentimétrique sont présentes.	Sol d'atelier	414-412		MH				
412			Couche appréhendée en coupe n°10. Couche limoneuse brun foncée, compacte, avec inclusions centimétriques de charbons de bois	Amas de déchets chargé en charbon	415-414-497	411	MH				
413	411		Couche appréhendée en coupe n°10. Couche limoneuse brun clair, compacte, comprenant des inclusions de charbon centimétrique	Il pourrait s'agir de la suite du sol 411, visible de manière discontinue	414-497		MH				
414	415		Couche appréhendée en coupe n°10. Niveau limono-sableux, brun-rougeâtre, homogène et compacte, comprenant quelques cailloux	Amas de déchets comprenant une moins forte densité de déchets que 412	497	411-412-413	MH				
415	414		Couche appréhendée en coupe n°10. Sédiment limoneux brun clair contenant localement des concentrations de scories pluricentimétriques. Partiellement péturé par des racines	Il s'agit d'un niveau probablement équivalent à 414, correspondant à une dernière étape d'abandon et de formation de l'amas de déchets			MB				
416		Fait 409	Couche limono-argileuse brun-beige combiant l'espace entre la bordure cuite gris-bleuté US 464 et le flanc du bloc de scorie US 402.01 et des amoncellements de scories sous-jacents. Contient de nombreuses radicales. Peu compacte.	Ressemble à un colluvionnement de terre dans un espace vide.	décapage	418	ML				
417	402.12	402		contenu du four 402			ML				

N° US	équivalence	N° ST	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobilier enregistrés (en kg)			Autres mobiliers prélevés
								Perois	Scories	Total	
418	437 ?	Fait 409	Fragments centimétriques à décimétriques de scories avec empreintes de charbon de bois (NR = 35, 4300 g) et petits écoulements tortueux (NR = 2, 65 g).		416	437	ML		0,65	0,65	
419		402	fragments de scorie en écoulements tortueux moulant des charbons de bois contre le bord nord du bloc de scorie 402.01	contenu du four 402	Décapage	402.12	ML		3,7	3,7	
420			Localement concentration de déchets similaires à 406 mais qui semble plus compacts. Repose directement sur l'argile jaune naturelle	Il pourrait s'agir d'une partie de l'amas qui a été piétinée au moment de sa mise en place	406	TN	MB				
421			Couche limono-argileuse brune jaunâtre contenant une faible concentration de fragments de parois pluricentimétriques	Il s'agit probablement d'une deuxième phase de constitution de l'amas, correspondant au comblement d'un "vide" entre les concentrations de déchets 406 et 407	401	406-407	MB				
422		486	Niveau brun foncé comprenant des inclusions de charbon et des fragments de scories pluricentimétriques	Comblement supérieur du trou de poteau 486, correspondant au sol de l'atelier partiellement effondré dans la partie supérieure du comblement		487	CB				Charbons
423		489	Terre brun foncée compacte, incluant une forte densité de fragments de scories pluridécimétriques, et de fragments de parois	Comblement de trou de poteau, marquant le fantôme du poteau		490	MB	5	9	14	
424		491	Terre brune foncée, peu compacte, comprenant des fragments de parois centimétriques, des fragments pluricentimétriques de scories et des fragments de charbon	Comblement de trou de poteau,		491	SS				Charbons
425		492	Limon marron foncé comprenant des inclusions de charbon centimétriques	Fantôme du poteau		493					
426			Couche appréhendée en coupe n°13. Couche limono-sableuse brun foncée, hétérogène, contenant de nombreux fragments de scories et parois scorifiés pluricentimétrique à décimétrique	Partie supérieure de l'amas de déchets	428	427	MH-CDSV				
427			Couche appréhendée en coupe n°13. Couche limono-sableuse noire, contenant en inclusion du charbon, des pains d'argile et scories pluricentimétriques	Sol d'atelier	426		MH-CDSV				
428			Couche appréhendée en coupe n°13. Couche argileuse brun orange, homogène, compacte, apparemment sans déchet	Dernier niveau d'abandon de l'amas		426-429	MH-CDSV				
429			Couche appréhendée en coupe n°13. Couche argileuse jaunâtre très compacte, homogène, contenant des scories centimétriques à décimétrique, à l'interface avec le niveau géologique	sol de circulation	428	TN	MH-CDSV				
430		402	fragments de scorie en écoulements tortueux moulant des charbons de bois faisant certainement partie de US 402.10	contenu du four 402	402.12	443	ML		0,4	0,4	

N° US	équivalence	N° ST	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobiliers enregistrés (en kg)		Autres mobiliers prélevés
								Parois	Scories	
431		402	couche argilo-sableuse gris-beige reposant sur US 435	rechapage sole 435	402.11, 402.12	435	ML			
432			Concentration de grains de minerais grillé de taille centimétrique répartis en une poche aux contours irréguliers	Niveau d'atelier laissé partiellement en place au décapage			MB			
433			Lambeau de sol comprenant majoritairement de petites scories centimétriques à pluricentimétriques. A l'emplacement du prélèvement le niveau comprenant un mélange de scories, de terre et de ce qui apparaît comme du minéral, reposant sur une couche de terre grisâtre très charbonneuse de 5cm d'épaisseur. Cette couche repose sur le sol naturel devenu gris. Deux prélèvements d'environ 2 l. de charbon ont été effectués dans ce niveau charbonneux	Niveau d'atelier laissé partiellement en place au décapage			HL			Charbons
434			Couche de sédiment terreux sombre hétérogène contenant de nombreux fragments de parois de terre cuite en petits modules plus ou moins désagrégés, ainsi que des petits fragments de scorie et des charbons de bois, s'étendant à l'est-sud-est du four 402.	niveau d'occupation / fonctionnement de l'atelier			ML			
435		402	couche argilo-sableuse cuite (US 435), de couleur gris-bleuté-beige, dont la surface a un modelé concave et présente un aspect durci.	sole du four 402 ?	430, 431, 443	439, 447, 459	ML			
436		402	petite zone circulaire de terre noire d'aspect charbonneux, d'épaisseur centimétrique en surface de US 443		430	443	ML			
437	418 ?	466 ?	Une dizaine de fragments pluricentimétriques à décimétriques de scories grises rouillées de type F6 (3 000 g) et quelques fragments pluricentimétriques de terre cuite (parois de four).	remblai de comblement du creusement 466 ?	418	457	ML	3,2	3,2	
438			limon gris clair comprenant des inclusions de charbon, ainsi que de déchets scorifiés de taille centimétrique à pluricentimétrique	Comblement			SS			
439	457	Fait 409	couche de fragments de paroi de four en terre cuite présentant différentes colorations d'impact thermique, contenant des inclusions de charbon de bois.	remblaiement de destruction de four ?	434, 435, 443	442	ML LB			Charbons, minéral
440		446	Bloc de scorie de type F6-F7 de 65 kg comblant le creusement	scorie piégée de fond de four	434	445 et 446	ML LB	66	66	
441	448		Concentration de grains de minerais centimétriques dans le creusement de terrier							Minéral
442		Fait 409	couche de sédiment charbonneux d'épaisseur cm	occupation / fonctionnement	439	TN	ML LB			
443		402	Couche appréhendée en coupe n°10. Couche limoneuse brun clair, compacte, comprenant des inclusions de charbon centimétrique	niveau de fonctionnement du four 402	410, 430	439	ML			
444			Niveau compact brun rougeâtre, comprenant de petits fragments infra-centimétrique de scories, minerais, parois de four et charbon	Probable lambeau de sol, qui pourrait correspondre à une zone de grillage de minéral.	406		MB			Charbons, minéral

N° US	équivalence	N° ST	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobilier enregistrés (en kg)			Autres mobiliers prélevés
								Parois	Scories	Total	
445		446	Couche de nature argilo-sableuse cuite de couleur gris-bleuté et jaune-orangé plaquée contre les bords du creusement US 446	paroi du four 446	440	446	MLLB				
446		446	creusement sub-circulaire dans US 439, US 442 et TN, contenant le bloc de scorie US 440	fosse d'implantation d'un four métallurgique	445	TN	MLLB				
447		466	Plusieurs blocs de scorie de taille pluridécimétrique ainsi que des fragments pluricentimétriques (une vingtaine de pièces, 17 645 g)	remblai de comblement du creusement 466	435	457	ML				Prélèvements de charbon
448	441		Concentration de grains de minerais centimétriques dans le creusement de terrier. Un point topo a été réalisé				CB				Mineral
449			US créée à l'occasion de la mise au jour de deux tessons, déplacés à la pioche et relevés au tachéomètre				HL				Tessons de céramique
450			Couche appréhendée en coupe n°14. Terre argilo-sableuse brun foncée, avec inclusions de silex centimétriques, ainsi que de terre cuite grisâtre à rougeâtre, et de scories, de taille centimétrique	Un des derniers niveaux d'abandon de l'amas	451	452	LB, SS				
451			Couche appréhendée en coupe n°14. Sédiment argilo-sableux, marron-clair. Présence de quelques gros blocs pluridécimétriques de scories	Dernier niveau d'abandon de l'amas		450-454	LB, SS				
452			Couche appréhendée en coupe n°14. Terre argileuse sombre à noire du fait de la présence de charbon, avec inclusions de fragments de scorie, et de terre cuite centimétriques	Sol d'atelier	450	453	LB, SS				
453			Terre argileuse brun grise, avec petits fragments centimétriques de terre cuite et de charbon	Sol d'atelier	452-454	TN	LB, SS				
454			Terre zrgileuse brun claire, avec inclusions de terre cuite, de fragments de scories pluricentimétriques et de charbon	Sol d'atelier		453	LB, SS				
455		Fait 409	Bloc de scorie fiché dans TN près du bord sud de la ST 470. Non dégagé.	en place ? En rapport avec ST 470 ?		TN	ML				
456		Annulé									
457	460	466	Couche de fragments et de résidus granuleux de terre cuite (US 457 = 460), présentant différentes colorations (gris-bleuté, jaune-orangé, rouge-orangé), au sein desquels sont dispersés de gros morceaux pluricentimétriques de charbon de bois	remblai de comblement du creusement 466	447, 459	466	ML				Charbons
458			Sédiment granuleux rougeâtre semblant contenir de la poudre de mainerai grillée (un prélèvement a été effectué)	Zone de grillage	462	496	LB, SS				
459		466	blocs de scorie de taille pluridécimétrique ainsi que des fragments pluricentimétriques (une trentaine de pièces, 37 300 g). Aucun bloc n'est complet.	remblai de comblement du creusement 466	435	457	ML				
460	457	466									
461			Terre argileuse marron claire, avec inclusions de terre cuite, de charbon de scories, centimétriques	lambeau de l'épaisseur d'amas		461	LB, SS				

N° US	équivalence	N° ST	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobiliers enregistrés (en kg)	Total	Autres mobiliers prélevés
462			Terre argileuse jaune, avec inclusions centimétriques de charbon	Niveau géologique remanié, correspondant à un niveau de sol ancien	458	TN	LB, SS			
463			US créée pour le prélèvement de minerais dans des trous de fouisseurs							Minéral
464		470	Couche de nature argilo-sableuse cuite de couleur gris-bleuté sombre plaquée contre les bords du creusement US 465	Paroi du four 470		465	ML			
465		470	creusement dans le substrat de forme globalement quadrangulaire, incomplètement consignée	implantation du four 470	464, 467	TN	ML			
466		466	creusement dans le substrat recoupant la ST 470	fosse d'implantation de four(s) métallurgiques entièrement remblayée ?	447, 459	468	ML			
467		470	couche de nature argilo-sableuse cuite de couleur gris-bleuté sombre plaquée contre le fond du creusement US 465	Terre sole du four 470	468	465	ML			
468		470	couche de nature argilo-sableuse cuite de couleur orangée avec une fine strate gris-bleuté en surface, plaquée sur US 467 dans le fond du creusement US 465	2e sole du four 470	466	467	ML			
469		470	couche de composition hétérogène contenant des nodules cm à infra cm de terre cuite gris-bleuté et jaune-orangé, des petits morceaux de charbon de bois, dans un sédiment terreux brun-beige	destruction de US 465 à l'emplacement d'un terrier qui tranverse la paroi de ST 470			ML			
470		470	Structure regroupant les US 464, 465, 467 et 468	Four métallurgique			ML			
486				Creusement de trou de poteau	488		MB			
487		486	Limon brun foncé comprenant des inclusions charbonneuses et des taches d'argile blanche correspondant au TN	Comblement de trou de poteau, marquant le fantôme du poteau	422	488	MB			
488		486	Limon gris	Comblement de trou de poteau	487	486	MB			
489		489		Creusement de trou de poteau	490		MB			
490		489	Niveau limoneux plus clair que 445	Comblement de trou de poteau,	425		MB			
491		491		Creusement de trou de poteau	424					
492		492		Creusement de trou de poteau	493					
493		492	Limon argileux jaune-blanc semblant correspondre à du terrai naturel remanié	Comblement de trou de poteau,		492				
494				Creusement de trou de poteau ?			SS			
495			Terre argileuse marron claire, avec inclusions de terre cuite, de charbon de scories, centimétriques	Niveau géologique remanié, correspondant à un niveau de sol ancien	496	TN	LB, SS			
496			Terre argileuse jaune, avec inclusions centimétriques de charbon	Niveau géologique remanié, correspondant à un niveau de sol ancien	458	495	LB, SS			
497				Humus		412-415-414				

ANNEXE 2 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40

Inventaire des minutes de terrain

- G.043982.0001 : plan four 409. US402. 1/20e - Support calque format A4. Marc Leroy.
G.043982.0002 : coupe four 409. 1/20e. Format A3. Support polyester. Marc Leroy.
G.043982.0003 : plan four 409. US402. 1/20e - Support polyester format A4. Marc Leroy.
G.043982.0004 : plan four 409. US402.11 et 12. 1/20e - Support polyester format A4. Marc Leroy.
G.043982.0005 : plan four 409. 1/20e - Support polyester format A3. Marc Leroy.
G.043982.0006 : plan four 409-US 456-447. 1/20e - Support calque format A3. Marc Leroy.
G.043982.0007 : plan four 409. US459. 1/20e - Support polyester format A4. Marc Leroy.
G.043982.0008 : plan four 409. 1/20e - Support papier format A3. Marc Leroy. 15/07/2022
G.043982.0009 : coupe US411-412-415-414-413- 1/20e - Support papier format A3. Margaux Herbrich, Léna Belhalde
G.043982.0010 : coupe US406-407-421- 1/20e - Support papier format A3. Marion Berranger
G.043982.0011 : coupe US403- 1/20e - Support papier format A3. Léna Belhalde
G.043982.0012 : coupe US426-427-428-429- 1/20e - Support papier format A3. Margaux Herbrich, Léna Belhalde
G.043982.0013 : plan et coupe four 409-US440-445- 1/20e - Support polyester format A4. Léna Belhalde
G.043982.0014 : plan et coupe US458-461-462- 1/20e - Support calque format A4. Léna Belhalde
G.043982.0015 : plan et coupe US424-491- 1/10e - Support calque format A4. Séverine Saves
G.043982.0016 : plan et coupe US494-438- 1/10e - Support polyester format A4. Séverine Saves
G.043982.0017 : plan et coupe US422-486-487- 1/10e - Support polyester format A4. Clément Batoz
G.043982.0018 : plan et coupe US423-490-489- 1/10e - Support polyester format A4. Séverine Saves
G.043982.0019 : plan et coupe US425-492-493- 1/10e - Support calque format A4. Séverine Saves
G.043982.0020 : coupe US450-451-452-453-454- 1/20e - Support calque format A4. Séverine Saves

ANNEXE 3 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40

Inventaires des objets particuliers

Rapport intermédiaire 2022, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions»

N° Inventaire Ishts	US	Matériau	Catégorie	Type déchet	NMI	NR	Masse (g)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	épaisseur (mm)	Description
C.043982.0003	401	Céramique									1 bord de tesson broie
C.043982.0002	449	Céramique									2 tessons proto
89.344.040.U5403	403	Charbons (prélèvements)									1 petit sac charbon
89.344.040.U5405	406	Charbons (prélèvements)									1 petit sac charbon 3 sacs de petits charbons
89.344.040.U5422	418	Charbons (prélèvements)									Petits fragments de charbon dans une boîte
89.344.040.U5424	422	Charbons (prélèvements)									1 petit sac charbon
89.344.040.U5433	424	Charbons (prélèvements)									1 petit sac de charbon
89.344.040.U5439	433	Charbons (prélèvements)									Trois gros sacs de prélèvement
89.344.040.U5444	444	Charbons (prélèvements)									1 gros sac de charbon
89.344.040.U5447	447	Charbons (prélèvements)									1 gros et 2 petit sacs de charbon
89.344.040.U5457	457	Charbons (prélèvements)									Prélèvement de grosse branchette de charbon au sein du four 409 et un autre gros sac de charbons prélevés en vase
M.043982.0002	401	Fer	Frag. masse brute		1	1	117	36	71	25	Fragment aux contours irréguliers, sans traces d'écrasement visibles. Fortement corrodé
M.043982.0001	403	Fer	Débris fer informe		1	1	93	45	51	24	Fragments de métal ou de scores, pas de trace de marquage
M.043982.0003	422	Fer	Chute irrégulière facettée		1	1	256	56	64	49	Fragment informe dont une extrémité semble écrasée, et de section grossièrement ovulaire. Outil ?
	401	Minéral	Minéral en cours de transformation			6	381				
	406	Minéral	Minéral en cours de transformation			1	36				
	439	Minéral	Minéral en cours de transformation			1	59				
	441	Minéral	Minéral en cours de transformation			20	1300				
	444	Minéral	Minéral en cours de transformation			4	92				
	448	Minéral	Minéral en cours de transformation			20	816				
	463	Minéral	Minéral en cours de transformation			30	580				
CP.043982.0035	401	Déchets scorifiés	(F) Score plié/gé			1	30000				Blocs prélevés au décapage, à jeter
CP.043982.0033	402	Déchets scorifiés	(F) Score plié/gé	(F1) Fond de four compact	1	1	27000	400	400	200	Il s'agit d'un bloc complet ne présentant pas d'autres traces de fracture que ponctuelle. En position horizontale, il était centré par une série d'écoulements de scores individualisés (US 402-410-419-430-431). L'ensemble de ces éléments représentait une masse de 52,9 kg de scores. Le fond de four compact est de forme circulaire, et de profil plano-convexe. La surface supérieure est homogène, granuleuse et oxydée. Elle présente une légèreté concavité centrale qui pourrait éventuellement correspondre à l'empreinte du souffre de la tuyère. La face inférieure est quant à elle constituée de coulures verticales tortueuses. Ces écoulements se sont infiltrés entre de gros fragments de branchettes de charbons dont ils mouillent l'ensemble. Un de ces gros écoulements verticaux mesure une quinzaine de centimètres de long. On note l'orientation verticale des branchettes de charbons de bois par rapport à la score.
	402 ouest	Déchets scorifiés	Paroi scorifiée	(F5) Accumulation d'écoulements tortueux	11	16	4840				Donc deux blocs décentimétriques (un de 2060 g en appui contre de la paroi avec une strate de terre cuite, l'autre 1475 g et porte de nombreuses empreintes de charbons centimétriques)
	402 sous bloc	Déchets scorifiés	Paroi scorifiée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	15	25	135				fragments centimétriques de parois grises et blancheâtre
	402 surface	Déchets scorifiés	Paroi scorifiée	(F7) Sol, grise et rouillée dense	15	25	1540				10 à 50 mm de cote
	402.10	Déchets scorifiés	(F) Score plié/gé	(F4) Ecoulements individualisés tortueux	23	895					Remontrages possibles. Dont un fragment de bord de paroi/lèvre vitrifiée, évoquant un orifice de ventilation. Ep max. 55 à 60 mm, vitrification entre 10 et 20 mm. Couleur gris blancheâtre avec inclusions infra-centimétrique de silice et score
	402.11	Déchets scorifiés	(F) Score plié/gé	(F7) Sol, grise et rouillée dense	6	1725					Fragment adhérent à une strate de terre cuite
	402.11	Déchets scorifiés	(F) Score plié/gé	F4 ou F5	28	320					
	402 surface	Déchets scorifiés	(F) Score plié/gé	(F7) Sol, grise et rouillée dense	1	320					
	402.12	Déchets scorifiés	(F) Score plié/gé	(F5) Accumulation d'écoulements tortueux	1	1	2005	140	210	120	Accumulation d'écoulement verticaux qui viennent reposer sur un bord
	403	Déchets scorifiés	Paroi scorifiée	F4 ou F5	8	425					3 fragments avec probablement empreinte d'élément de ventilation. Diam 13 mm ; 30mm et sup. à 40 mm (éventuellement partie arrêlée)
CP.043982.0027	403	Déchets scorifiés	Paroi scorifiée		1	158		132	138	78	Extrémité isolée avec trace de lissage comme observé sur les parois d'argille
CP.043982.0028	403	Déchets scorifiés	Paroi scorifiée		1	651		122	111	69	Pain d'argille scorifié sur une face relativement plane, au maximum sur 45 mm d'épaisseur. La face opposée e a été moulée sur une empreinte concave, et les bords ont ensuite été appuyés profondément contre des face planes. Une seule empreinte latérale subsiste. On constate l'inscrustation de fragments infra-centimétrique de silice dans la paroi. Bloc dessiné centrétrique de silice dans la paroi. Bloc dessiné
CP.043982.0029	403	Déchets scorifiés	Paroi scorifiée		1	490		105	104	47	Pain d'argille scorifié sur une face relativement plane, au maximum sur 17 mm d'épaisseur. La face opposée e a été moulée sur une empreinte concave, et les bords ont ensuite été appuyés profondément contre des face planes. Un des bords situés sur la verticale présente une trace de lissage au doigt et pourrait correspondre à la bordure supérieure ou inférieure du bloc d'argille. On constate l'inscrustation de fragments infra-centimétrique de silice dans la paroi. Bloc dessiné

Rapport intermédiaire 2022, PCR «La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions»

N° inventaire isolats	US	Matériau	Catégorie	Type déchet	NMI	NIR	Masse (g.)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	Épaisseur (mm)	Description
CP.043982.0030	403	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			1	805	130	123	81	Pain d'argile dont une face est au rougeâtre est fragmentaire. La face opposée a été moulée sur une empreinte concave, et les bords ont ensuite été appuyés profondément contre des faces planes évoquant l'empreinte de baguette de bois. Un des bords situés sur la verticale présente une trace de lissage au doigt et pourrait correspondre à la bordure supérieure ou inférieure du bloc d'argile. On constate l'inscrustation de fragments centimétriques de silex dans la paroi. Bloc dessiné
	403	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F5) Accumulation d'écoulements tortueux		1	180				Non conservé
	403	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		1	218				Non conservé
CP.043982.0026	406	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			5	901	111	106	101	5 fragments de pain d'argile moulés sur face concave + trace de baguette
	406	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			1	1700	130	130	98	Element semblant constitué de deux pains d'argile superposés, soudés ensemble. L'une des faces est plane et rouge. Aucune trace de soudure de pain n'est visible sur cette face. La face opposée comprend deux pains empilés l'un sur l'autre et partiellement soudés. Ils ont tous deux été moulés sur une empreinte concave, ont ensuite été soudés et leurs bords ont ensuite été appuyés profondément contre des faces planes évoquant l'empreinte de baguette de bois. La partie supérieure (ou inférieure) des deux pains comportent des traces de lissage qui évoque une finition au doigt.
CP.043982.0032	406	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			1	629	148	108	55	Bloc d'argile avec la partie moulée sur base concave qui est fragmentée. On observe cependant encore les points d'appuis sur baguettes latérales. En partie supérieure le pain est lissé, en partie inférieure il est concave. Il s'agit donc d'un pain quasiment complet.
	406	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F7) Sc. grise et rouillée dense	1955	5	3250	140	250	60	Scorie magnétique
	410	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F5) Accumulation d'écoulements tortueux		1	4300				Fragment dont un côté s'appuie contre une bordure légèrement courbe, présence d'écoulements verticaux. Scorie qui s'accumule contre un bord de cuve.
	418	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux		2	65				Fragments décimétriques, de 10 à 100 mm, avec empreintes de charbon. Prélèvements de charbon pour C14 possibles.
	418	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		35	4300				
	419	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux		23	1980				
	419	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F5) Accumulation d'écoulements tortueux		1	1740	110	190	100	Présence de grosses empreintes de charbon. Semble s'appuyer sur une bordure courbe.
	430	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux		7	450				Écoulements en appui sur un fond
	431	Déchet scorifié	Sole de four			8					Echantillonnage pour info de sole de four, four démantelé ou recharge. Terre cuite grise avec surface supérieure plane
	437	Déchet scorifié	Paroi scorifiée				225				
	437	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		9	3000				Pluricentimétrique à décimétrique
	438	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			5	108				Petits fragments non conservés
	439	Déchet scorifié	Mineral en cours de transformation			1	30				Mineral grillé, magnétique
	439	Déchet scorifié	Mineral en cours de transformation			1	20				Mineral grillé, magnétique
CP.043982.0034	440	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F3) Fond de four riche en charbon		1	66000	450	500	170200	Il s'agit d'un gros bloc de scorie de forme plano-convexe, cassé lors de son extraction du four 446. Son épaisseur est irrégulière. La surface supérieure est régulière, homogène. La périphérie est moins dense et constituée d'un agglomérat de petites coulures. Les cassures apparentes dans l'épaisseur permettent de constater que la scorie enrobe des fantômes de fragments de charbon de bois pluricentimétriques à décimétriques. En partie inférieure, une partie du fond du four est resté adhérent au bloc de scorie et est localement cuit (de couleur rosâtre-jaune).
	443	Déchet scorifié	Agglomération déchets				2960				Agglomérat constitué de petits fragments d'écoulements tortueux, parois, charbons tenus par des oxydes de fer. Epaisseur pluricentimétrique.
	444	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée			45	1205				Echantillonnage/fémoins de couche de même nature. Partiellement conservé, un fragment à Nancy.
	444	Déchet scorifié	Mineral en cours de transformation			4	85				Beaucoup de fragments centimétriques. Non conservés
	445	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			62	3970				Morceaux de terre cuite gris blanchâtre avec des parties plus rosées. Certains fragment ont une surface vitrifiée millimétrique. Centimétrique à décimétrique
	447	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			25	700				Fragments pluricentimétriques.
	447	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		23	3460				Non conservés
	447	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		1	6195	200	300	90	Centimétrique à décimétrique.
CP.043982.0023	447	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		1	6195	200	300	90	Non conservé.
CP.043982.0024	447	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		1	3475	150	220	90	Fragment possiblement orienté verticalement. Une grande face convexe et une autre concave (appui contre la paroi ?). Sur des bords longitudinaux écharcure courbe (empreinte orifice ?). Fragment qui pourrait être orienté verticalement. Strate de terre cuite adhérente sur une face, avec une empreinte en creux
CP.043982.0025	447	Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F6) Sc. grise rouillée alvéolaire		1	4515	170	190	90	Pas de polarité évidente. Un reste de charbon centimétrique posé sur une surface (date radiocarbone ?), collé avec du sédiment
457 sous 447 et 459		Déchet scorifié	Paroi scorifiée			21	3869				Fragment centimétrique à décimétrique, certains avec face plane ou trace de lissage
457 sous 447 et 459		Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F7) Sc. grise et rouillée dense		1	1235				
459.01		Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F7) Sc. grise et rouillée dense		1	7700	260	280	120	Une face convexe et une face concave, avec beaucoup d'empreintes de charbon de bois visible notamment sur les cassures et les surfaces. Sur la face convexe adhère une strate de terre cuite provenant de US457, sous-jacente. Face convexe était sur le dessus, probablement pas en place. Une bordure en arc de cercle et les autres bords sont cassés (forme de "part de tartre". Portion de fond de four.
459.02		Déchet scorifié	(F) Scorie plégée	(F4) Ecoulements individualisés tortueux		1	150				

N° inventaire isolats	US	Matériau	Catégorie	Type déchet	NMI	NR	Masse (g)	Largeur (mm)	Longueur (mm)	épaisseur (mm)	Description
	459.02	Déchet scoriifié	(F) Scorie piégée	(F=5) Accumulation d'écoulements torseaux		1	3290	140	200	90	Une portion de bord courbe semble en appui avec une paroi adhérente. Autres bords sont cassés. Une des faces constituée d'amoncellement de micro-coulures, autre face avec empreintes de charbon de bois.
	459.03	Déchet scoriifié	(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire		6	1580				De pluricentimétrique à décimétrique.
	459.03	Déchet scoriifié	(F) Scorie piégée	(F7) Sco. grise et rouillée dense		3	3370				De pluricentimétrique à décimétrique. Strates de terre entre adhérentes aux scories. Blocs cassés, dont 1 un peu plus lourd, magnétique.
	459.04	Déchet scoriifié	(F) Scorie piégée	(F6) Sco. grise rouillée alvéolaire		8	3210				Un bloc double-décimétrique (2745 g) avec une face avec micro-coulures en appui contre un potentiellement fragments d'un même bloc constitué d'un mélange de F6 et F7. Le plus gros bloc mesure environ 340 mm * 200 mm * 140 mm. Il a une pointe convexe/concave.
	459.05	Déchet scoriifié	(F) Scorie piégée	F6 ou F7		11	18000				Orientation: complexe à établir. Cassures montrent des empreintes de charbon de bois. Majoritairement du F6. La face convexe est recouverte d'éléments agglomérés de la couche US457. Ne semble pas être un bloc complet (position secondaire). Pas de remontage évidents entre les différents blocs de 459

ANNEXE 4 : DRACY (89.147) site n°1

Inventaire des US

N° US	équivalences	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobilier enregistrés (en kg)			Autres mobiliers prélevés
							Parois	Scories	Masse totale	
101		Couche homogène de charbon (Prélevée avec très gros fragments)	Charbonnière	102	TN	MB				Prélevements pour étude anthropologique
102		Niveau compact argileux constitué de petits fragments centimétriques d'argile blanche à rosâtre, tassés, intercalés avec quelques fragments de charbons. On observe une présence ponctuelle de poches de poudre de minerai.	Couche de destruction	103/104/105	101	MB				
103		Couche de charbon avec de gros fragments centimétriques et des gros pains d'argile posés sur niveaux inférieurs.	Niveaux de préparation de charbon	106	102	MB				
104		Couche de charbon avec de gros fragments centimétriques et des gros pains d'argile posés sur niveaux inférieurs.	Niveaux de préparation de charbon			MB				
105		Couche de charbon avec de gros fragments centimétriques et des gros pains d'argile posés sur niveaux inférieurs.	Niveaux de préparation de charbon			MB				
106		Fin niveau uniquement constitué de poudre de minerai.	Niveau de préparation de minerai			MB				Minerais
107		Couche de charbon avec de gros fragments centimétriques et des gros pains d'argile posés sur niveaux inférieurs.	Niveaux de préparation de charbon			MB				
108		Niveau microstratifié assez meuble avec une alternance de fines couches de charbon et de fragments de parois.	Niveau de fonctionnement de l'atelier ?			MB				
109		Couche de charbon avec de gros fragments centimétriques et des gros pains d'argile posés sur niveaux inférieurs.	Niveaux de préparation de charbon			MB				
110		Niveau microstratifié assez meuble une avec alternance de fines couches de charbon et de fragments de parois.	Niveau de fonctionnement de l'atelier ?			MB				
111		Niveau d'argile blanche à jaune avec ponctuellement des fragments centimétriques de charbon.	Pourrait correspondre à une altération de fragments de parois tassés			MB				
112		Litage de poudre de minerai.	Niveau de traitement/préparation du minerai			MB				Charbon, minerai
113		Sédiment meuble comprenant majoritairement de la poudre de charbon mêlée à de petits fragments d'argile blanche pulvérulente et à des concrétions ferrugineuses (niveau riche en déchets magnétiques).	Soi de rejet de forge			MB				Prélevements de micro-déchets
114		Couche compacte de parois et de pains d'argile plus ou moins cuits de couleur blanc à rose.	Couche de destruction de four			MB	8	8	16	12
115		Niveaux terreux gris mêlé de charbons et de petits fragments de scories sur une couche d'argile. On retrouve plusieurs tessons de pot écaillé en place posé sur l'US 114.	Niveau de fonctionnement de l'atelier ?			MB	2	12	14	18
116		Niveau gris clair très chargé en scories de taille pluricentimétriques à décimétriques prises dans un sédiment mêlant poudre d'argile (blanche claire) plus ou moins cuite et pluvierulente. On observe une présence de quelques fragments de pains d'argile centimétriques.	Couche de rejet majoritairement constituée de scories			MB	10,5	118	128,5	120
117		Niveau gris clair très chargé en scories, de taille pluricentimétriques à décimétriques, enrobés d'une faible proportion de poudre d'argile.	Couche de rejet majoritairement constituée de scories			MB	5	56,5	61,5	60
118		Niveau compact d'argile blanche.	Destruction de parois			MB				
119		Blocs de scories pluricentimétriques avec peu de sédiment.	Couche de rejet majoritairement constituée de scories			ML	3	75	78	60
120		Petites scories et petits fragments de terre cuite pris dans un sédiment charbonneux.	Couche de destruction d'atelier			ML				Céramique, charbon
121		Couche d'argile blanche.	Niveau de préparation d'argile, fonctionnement de l'atelier ?			ML				
122		Scories dans un sédiment charbonneux.	Couche de destruction d'atelier			ML				
123		Scories pluricentimétriques et quelques morceaux de terre cuite et quelques fragments de charbons	Couche de rejet majoritairement constituée de scories			ML				

N° US	équivalences	Description	Interprétation	Sous	Sur	Auteur	Mobilier enregistrés (en kg)			Autres mobiliers prélevés (en kg)
							Parois	Scories	Volume prélevé (en kg)	
124		Petits éclats de scories plus ou moins rouillées avec quelques petits fragments de terre cuite et quelques fragments de charbons.	Couche de destruction d'atelier			ML				
125		Sédiment rouge à orangé avec quelques petits fragments de terre cuite rouge à orangée.	Niveau de préparation d'argile, fonctionnement de l'atelier ?			ML				
126		Ensemble finement stratifié de sédiment rouge à orangé à texture fine et de couches d'argile blanche (126a et 126b couche d'argile blanche cm)	Niveau de fonctionnement de l'atelier ?			ML	17	24,5	41,5	60
127		Ensemble finement stratifié de sédiment gris/brun et de couches d'argile blanche crue.	Niveau de fonctionnement de l'atelier ?			ML				
128		Blocs de scories décimétriques avec peu de sédiments.	Couche de rejet majoritairement constituée de scories			ML				Charbons
129		Scories pluricentimétriques à décimétriques avec peu de sédiments	Couche de rejet majoritairement constituée de scories			ML	2	47,5	49,5	72
130		Epaisse couche de morceaux de terre cuite dans un sédiment granuleux rouge à orangé (terre cuite désagrégée) avec quelques fragments de scories A2.	Couche de destruction de four			ML		95,5	95,5	84
131		Similaire à US 130 : Epaisse couche de morceaux de terre cuite dans un sédiment granuleux rouge/orangé (terre cuite désagrégée) avec quelques fragments de scories A2	Couche de destruction de four			ML				Charbons
132		Scories dans un sédiment gris/noir avec quelques fragments de terre cuite.	Couche de destruction d'atelier			ML	11,5	87,5	99	120
133		Couche de petits déchets granuleux brun/rouille.	Niveau de fonctionnement de l'atelier ?			ML			même prélèvement que US 132	Céramiques et prélèvements de sol
134		Scories dans un sédiment grisâtre fin.	Couche de destruction d'atelier			ML			même prélèvement que US 132	Tessons de céramique + Fragment de tuyère
135		Fragments décimétriques de terre cuite.	Couche de destruction de four			ML			même prélèvement que US 132	Céramique
136		Couche d'argile blanche incluant des nodules de terre cuite grise et orangée, des nodules rouillés et des fragments de charbon centimétriques à millimétriques.	Niveau de préparation d'argile, fonctionnement de l'atelier ?			ML			même prélèvement que US 132	Céramique
137		Scories centimétriques à décimétriques dans un sédiment brun/gris avec quelques fragments de terre cuite et quelques morceaux d'argile blanche.	Couche de destruction d'atelier			ML			même prélèvement que US 132	Céramique
138		Scories centimétriques à décimétriques avec quelques fragments de terre cuite orangée et jaunes/orangée dans un sédiment noir charbonneux parfois en fines couches lités dans l'épaisseur.	Couche de destruction d'atelier			ML			même prélèvement que US 132	Céramique et charbons
139		Couche orangée plus ou moins compacte constituée de fragments de parois.	Couche de destruction de four			MB/ML				
140		Niveau poudreux noir riche en cendres, fragments de charbon et fragments centimétriques de scories.	Couche de destruction d'atelier, riche en charbon			MB/ML				
141		Litage de scories centimétriques à décimétriques, alternant avec des litages de fragments de parois.	Couche de destruction de four			MB/ML	9,5	35,5	45	60
142		Niveau meuble noir poudreux comprenant des fragments de scories centimétriques avec quelques charbons.	Couche de destruction d'atelier			MB/ML				Charbons
143		Gros fragments pluridécimétriques de scories et parois pluricentimétriques (quasiment sans sédiment).	Couche de rejet majoritairement constituée de scories			MB/ML	8	66,5	74,5	48
144		Probablement creusement du XIXe - XXe	Remaniements récents			MB/ML				
145		Niveau gris poudreux avec racines et fragments de scories centimétriques à pluridécimétriques.	Effondrement contemporain			MB/ML	2,5	40	42,5	36
146		Racines et scories (niveau très perturbé)	Sol actuel			MB/ML				

ANNEXE 5 : DRACY (89.147) site n°1

Inventaire des minutes

G.044054.001 : Coupe sondage 1, niveau inférieur, US101 à 118. 1/20. Papier calque A3. M. Berranger

G.044054.002 : Coupe sondage 1, niveau médian, US119 à 1135. 1/20. Papier polyester A3. M. Leroy

G.044054.001 : Coupe sondage 1, niveau supérieur, US136 à 146. 1/20. Papier calque A4. M. Berranger

ANNEXE 6 : DRACY (89.147) site n°1

Inventaires objets particuliers

N° inventaire	US	Matériau	Catégorie	Type déchet	NMI NR	Masse	Largeur	Longueur	épaisseur	Description
C.044054.0007	115	Céramique	Céramique		35					
C.044054.0009	116	Céramique	Céramique		16					
C.044054.0002	117	Céramique	Céramique		2					
C.044054.0003	119	Céramique	Céramique		1					
C.044054.0004	126	Céramique	Céramique		2					
C.044054.0010	132 ; 133 ; 134 ; 136 ; 137 ; 138	Céramique	Céramique		3					
C.044054.0005	145	Céramique	Céramique		3					
C.044054.0001	Décapage	Céramique	Céramique		1					
C.044054.0008	Décapage	Céramique	Céramique		3					
C.044054.0006	Tas deblais inférieur	Céramique	Céramique		4					
C.044054.0011	Tas deblais médian	Céramique	Céramique		22					
	101	Charbon (prélèvement)				9300				4 sachets A3 de prélèvement de charbons : - 2 sachets de charbons de calibre 4cm environ (2360 g + 2230 g) - 2 sachets de charbons de calibre 1cm environ (2440 g + 2270 g)
	112	Charbon			3	15				1 petit sachet A6
	115	Charbon				50				1 sachet moyen A5
	116	Charbon				80				1 sachet moyen A5
	119	Charbon			6	10				Prélèvement de charbons dans 2 sachets A6
	128	Charbon				5				1 petit sachet A6
	130	Charbon				5				1 petit sachet A6
	132	Charbon				20				1 petit sachet A6
	138	Charbon				55				1 petit sachet A6
	141	Charbon				160				1 sachet moyen A5
	142	Charbon				20				1 sachet moyen A6
	143	Charbon			3	5				1 petit sachet A6
M.044054.0038	116	Fer	Métal indéterminé	Déchets de fer informe à surfaces irrégulières	1	150	40	94	18	
CP.044054.0037	101	Mineral	Mineral en cours de		7	70				
CP.044054.0005	115	Mineral	Mineral en cours de		2	55				
CP.044054.0002	116	Mineral	Mineral en cours de		37	815				
CP.044054.0004	117	Mineral	Mineral en cours de		7	155				
CP.044054.0036	126	Mineral	Mineral en cours de		2	30				
CP.044054.0012	129	Mineral	Mineral en cours de		1	20				
CP.044054.0016	132 ; 133 ; 134 ; 135 ; 136 ; 137 ; 138	Mineral	Mineral en cours de transformation		7	200				
CP.044054.0021	141	Mineral	Mineral en cours de		2	25				
CP.044054.0024	145	Mineral	Mineral en cours de		1	130				
CP.044054.0001	116	Déchet scorifié	(A) Ecoulement cristallisé	A2-A3-A4	23	15000				Assemblage de scories de réduction A2-3-4
	117	Déchet scorifié	Paroi scorifiée		2	170				
CP.044054.0003	117	Déchet scorifié	(A) Ecoulement cristallisé dense	A2-A3-A4	28	12400				Avec un petit fragment A6 et un fragment A5 individualisés
CP.044054.0008	119	Déchet scorifié	Paroi scorifiée	Bloc tuyère	13					
CP.044054.0006	119	Déchet scorifié	(A) Ecoulement cristallisé	A2-A3-A4	8	5000				Assemblage de scories de réduction A2-3-4
CP.044054.0007	119	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D2) Ecmt vitreux, bulleux	13	4700				
CP.044054.0011	129	Déchet scorifié	(C) Ecoulement à base dense		3	1520				
CP.044054.0010	129	Déchet scorifié	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecmt cordé à limites non visibles	3	1695				
CP.044054.0009	129	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D2) Ecmt vitreux, bulleux	16	6200				

N° Inventaire	US	Matériau	Catégorie	Type déchet	NMI	NR	Masse	Largeur	Longueur	épaisseur	Description
CP 04405.4.0013	130	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			2					Surface vitrifiée
CP 04405.4.0017	132 ; 133 ; 134 ; 135 ; 136 ; 137 ; 138	Déchet scorifié	Agglomération déchets			6	795				Concrétions de sol (à vérifier en micro)
CP 04405.4.0014	132 ; 133 ; 134 ; 135 ; 136 ; 137 ; 138	Déchet scorifié	(A) Ecoulement cristallisé dense	A2-A3-A4		17	8100				Petit fragment de scorie A5
CP 04405.4.0015	132 ; 133 ; 134 ; 135 ; 136 ; 137 ; 138	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D2) Ecm vitreux, bulleux		2	530				
CP 04405.4.0018	132 ; 133 ; 134 ; 136 ; 137 ; 138	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			3					Surface vitrifiée
CP 04405.4.0019	138	Déchet scorifié	Paroi scorifiée	Bloc tuyère		1					Associé avec un fragment de scorie en tuyau.
CP 04405.4.0020	141	Déchet scorifié	Paroi scorifiée	Bloc tuyère		8					Associé avec 7 fragments de scorie en tuyau.
CP 04405.4.0022	141	Déchet scorifié	(A) Ecoulement cristallisé dense	(A2) Ecm cordé à limites non visibles		10	4100				
CP 04405.4.0023	141	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D2) Ecm vitreux, bulleux		3	1060				Scories D2HD3
CP 04405.4.0031	143	Déchet scorifié	Paroi scorifiée	(C1) Vitreux dense		1					Fragment de paroi de terre cuite orangé non vitrifié.
CP 04405.4.0028	143	Déchet scorifié	(C) Ecoulement à base	(D1) Ecm vitreux, denses		5	4000				
CP 04405.4.0030	143	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D1) Ecm vitreux, denses à faiblement bulleux		6	5300				
CP 04405.4.0032	143	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D2) Ecm vitreux, bulleux		3	960				
CP 04405.4.0029	143	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D3) Ecm vitreux, à base dense, partie sup. bulleuse		6	11800				
CP 04405.4.0033	143	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D3) Ecm vitreux, à base dense, partie sup. bulleuse		1	25000				Prélèvement individualisé
CP 04405.4.0039	143	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux	(D3) Ecm vitreux, à base dense, partie sup. bulleuse		1	10000				Prélèvement individualisé
CP 04405.4.0025	145	Déchet scorifié	Paroi scorifiée			2					Surface vitrifiée.
CP 04405.4.0027	145	Déchet scorifié	(D) Ecoulement vitreux			17	3800				
CP 04405.4.0034	HS	Déchet scorifié	Paroi scorifiée	Bloc tuyère		12					Associé à 2 fragments de scories en tuyau + 1 fragment de scorie

ANNEXE 7 : TANNERRE-EN-PUISAYE (89.408) site n°2

Inventaires divers

Objets prélevés - céramiques :

C.044034.0001 : 1 tesson de céramique

C.044034.0002 : 7 fragments de terres cuites architecturales

Inventaire des minutes :

G.044034.0001 : Coupe du fossé bordier de la voie et de la tranchée 201. Support polyester. Format A3. Ech. 1/20 (St. Venault)

G.044034.0002 : Coupe du fossé 301 et log du sondage 4. Support polyester. Format A3. Ech. 1/20 (St. Venault)

G.044034.0003 : Coupe du blocage de silex 3010. Support polyester. Format A3. Ech. 1/20 (St. Venault)

ANNEXE 8 : ENTRAINS-SUR-NOHAIN (58.109) site n°17 Inventaires divers

Objets prélevés - céramiques :

C.044055.0001 : 1 tesson de céramique - 0 à -30 cm

C.044055.0001 : 2 tessons de céramique fine blanche. Couche 4

Table des matières

Figure n°1. Localisation des espaces de production connus au sein de la zone d'étude. Matérialisation des limites de cités antiques.	10
Figure n°2. Répartition des sites datés par radiocarbone et ayant subi une analyse chimique en Bourgogne Franche-Comté.	13
Figure n°3. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits	15
Figure n°4. Liste des participants au PCR pour la triennale 2021-2023, et détail des activités de chacun.	16
Figure n°5. Noms en rouge : localisation des sites étudiés en 2022 (M. Berranger)	18
Figure n°6. Expérimentations de réduction du minerai de fer (fêtes de la Science 2022 - UTBM), afin de tenter de comprendre les conditions de formation des scories antique constituées de boudins de scories canalisés accolés (en haut à droite).	19
Figure n°7. Saint-Fargeau "Bois de Bailly", localisation des amas prospectés et de la zone fouillée (M. Berranger).	25
Figure n°8. Datations radiocarbone réalisées sur les amas de "Saint-Fargeau" Bois de Bailly (M. Berranger).	26
Figure n°9. 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).	27
Figure n°10. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Implantation des sondages par année de fouilles, sur les anomalies géophysiques.	28
Figure n°11. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Vue du niveau d'apparition des déchets au décapage au nord du sondage 3.	29
Figure n°12. Position des caméras relatives au modèle 3D d'une scorie piégée. Logiciel : Agisoft Metashape (M. Herbrich)	31
Figure n°13. Gauche : nuage épars ; milieu : nuage dense ; droite : modèle texturé. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich).	31
Figure n°14. Saint-Fargeau "Bois de Bailly" site 40. Plan général des vestiges (M. Berranger).	32
Figure n°15. Fait 409, relevé du four 470 (relevé et DAO : M. Leroy)	34
Figure n°16. Vue du fond de la structure 470, avec le creusement 466 en partie médiane (M. Leroy)	35
Figure n°17. Vue en coupe des US464-465 (M. Leroy)	35
Figure n°18. Fait 409, relevé en coupe (relevé et DAO : M. Leroy)	36
Figure n°19. Vue de l'US457 à différents stade de fouille. De grosses branchettes de charbon de bois sont visibles sur le cliché de droite (M. Leroy).	36
Figure n°20. Vue des scories de fond de four US 437, 447 et 459 comblant le creusement 466 (M. Leroy)	37
Figure n°21. Vues de l'US 439 avant fouille et en cours de fouille. Le four 446 est visible au premier plan (M. Leroy et L. Belhalde).	38
Figure n°22. Fait 409. Comblement du creusement 466 et four 446 (relevé et DAO : M. Leroy).	39
Figure n°23. Relevé en plan et en coupe du four 446 (relevé L. Belhalde, DAO M. Leroy)	40
Figure n°24. Four 446. A gauche vue du creusement 446 bordé de fragments de paroi cuite. A droite, scorie US440 (M. Leroy, M. Berranger).	41
Figure n°25. Fait 409, sole cuite, scories et morceaux de parois en place et effondrés matérialisant l'emplacement du four 402 (relevé et DAO : M. Leroy)	42

Figure n°26. F409, le four 402 à différentes étapes de fouilles (M. Leroy)	43
Figure n°27. US403 : coupe est-ouest (relevé : L. Belhalde ; DAO : M. Berranger)	44
Figure n°28. US403 - détail (M. Berranger)	44
Figure n°29. US407 et 421, coupe nord-sud (Relevé : B. Hérou, M. Berranger, DAO : M. Berranger)	45
Figure n°30. Vue générale de l'US403 vers l'est. Concentration de fragments de blocs de parois scorifiées. La concentration de four F409 est visible en haut à droite de la photo (M. Berranger)	45
Figure n°31. Relevé en plan et en coupe des trous de poteau US486, 489, 491 et 492 (Relevés : S. Saves, L. Belhalde, C. Batoz, DAO : M. Berranger)	46
Figure n°32. Vues de coupes de trous de poteaux, de gauche à droite : US486, US489 et US491 (S. Saves, M. Leroy).	46
Figure n°33. Détail de l'US405 (M. Berranger).	47
Figure n°34. Relevés en coupe et en plan de l'US 458 (Relevé :L. Belhalde, S. Saves, DAO : M. Berranger).	48
Figure n°35. Coupes 1, 2 et 3 réalisées au sein de l'amas (Relevés : M. Herbrich, L. Belhalde, S. Saves, M. Berranger ; DAO : M. Berranger).	49
Figure n°36. Saint-Fargeau site 40. Positionnement des coupes et des prélèvements (M. Berranger).	51
Figure n°37. Contexte géologique du site de Saint-Fargeau "Les Bois de Bailly" (D. Sordoillet, carte géologique Gigout 1982, modifiée).	52
Figure n°38. Profils stratigraphiques et échantillonnage (D. Sordoillet)	53
Figure n°39. Masses de déchets et volumes de prélèvements pris en compte pour calculer une densité de déchets au sein de l'amas.	55
Figure n°40. Masse totale de scories calculée en fonction du volume de l'amas.	55
Figure n°41. Scorie piégée de type F1, CP.043982.0033, US402 (M. Berranger)	56
Figure n°42. Scorie piégée de type F1, CP.043982.0034, US440 (M. Berranger, M. Aubert)	57
Figure n°43. Inclusions grossières de silex dans l'argile de parois de four (M. Berranger).	57
Figure n°44. Exemple d'un pain d'argile présentant des traces de mise en forme. Vues de face et de profil (CP.043982.0026)	58
Figure n°45. Traces de rechapages visibles sur un fragment de paroi (US404) (M. Berranger).	58
Figure n°46. Paroi de four de l'US401. CP.043982.0035 (M. Berranger). A droite Superposition de la photogrammétrie de la paroi de four de l'US401 sur le four 470 (M. Herbrich)	59
Figure n°47. Exemple d'un fragment de paroi de profil convexe par rapport à la surface scorifiée (M. Berranger).	60
Figure n°48. La Bussière "Les Ferrys" - Plan et coupe du four de réduction FR2602 (d'après Rebiscoul 2003).	60
Figure n°49. Localisation des interventions 2022 (M. Berranger)	69
Figure n°50. Solution LiDAR aéroporté sur drone à la MSHE Ledoux.	70
Figure n°51. Visualisation en modèle de surface ombré (Azimut éclairage = 315; Hauteur éclairage = 35)	73
Figure n°52. Visualisation en modèle de surface ombré multidirectionnel avec valeurs RVB (16 directions d'éclairage ; Hauteur éclairage = 35)	74
Figure n°53. Visualisation en modèle de gradients de pentes, 8bit	75
Figure n°54. Visualisation en modèle de PCA avec valeurs RVB (16 directions d'éclairage ; Hauteur éclairage = 35)	76
Figure n°55. Visualisation en modèle de sky view factor (rayon de recherche = 25 pixels ; direction = 16)	77

Figure n°56. Dracy "Ferrier Guillou" 1, vue générale du lambeau d'amas en place avant sondage (M. Berranger)	78
Figure n°57. Vue générale du sondage 1 (M.Berranger)	79
Figure n°58. Relevé de la coupe du sondage 1 et emplacement des prélèvements volumétriques. Diagramme stratigraphique (Relevés : M/ Berranger, M. Leroy, H. Chabert, M. Herbrich. DAO : M. Herbrich)	80
Figure n°59. US101 : blocs de pierre posés sur le sol naturel et forte concentration de charbon de bois (M. Berranger)	81
Figure n°60. Palier inférieur, vue de détail (M. Berranger)	82
Figure n°61. Palier médian, vue de détail (M. Berranger)	82
Figure n°62. Palier supérieur, vue de détail (M. Berranger)	83
Figure n°63. Assemblage proportionnel des déchets par type et par US sur le critère de la masse (M. Herbrich, M. Berranger)	84
Figure n°64. Inventaire des prélèvements volumétriques en stratigraphie et calculs des concentrations massiques (M. Herbrich)	85
Figure n°65. Tableau récapitulatif des données issues de l'étude du mobilier céramique.	86
Figure n°66. Les formes types identifiées dans le sondage 1 (ESN = Typologie d'Entrains-sur-Nohain (in Venault, Nouvel et al. 2015) (S. Mouton-Venault)	87
Figure n°67. Vues générales des plateformes aménagées en périphérie de l'amas 1 de Dracy. A gauche, succession de deux plateformes superposées. A droite détail d'une des plateformes (M. Berranger).	88
Figure n°68. Vue générale du sondage 2 en périphérie de la plateforme (M. Berranger).	89
Figure n°69. Sondage 2, log et vue générale de la stratigraphie (M. Berranger)	89
Figure n°70. Système d'acquisition magnétique à 5 sondes (MXPDA – Sensys) poussé par l'opérateur ou tracté par un quad. Vues du terrain en cours d'acquisition.	95
Figure n°71. Emprise de la prospection magnétique sur fond orthophotographique (données IGN).	96
Figure n°72. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur cadastre (source cadastre.gouv).	97
Figure n°73. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur cadastre (source cadastre.gouv). Compilation 2021-2022 avec zonage	98
Figure n°74. Simulation du champ magnétique total sur fond cadastral (source cadastre.gouv).	99
Figure n°75. Interprétation des anomalies magnétiques avec classification par types d'anomalie	100
Figure n°76. Interprétation des anomalies magnétiques avec classification par types de structure.	101
Figure n°77. Zoom 1 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation	103
Figure n°78. Zoom 2 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation	104
Figure n°79. Zoom 3 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation	105
Figure n°80. Zoom 4 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation	106
Figure n°81. Zoom 5 : Carte de différence, carte du champ total et de l'interprétation	107
Figure n°82. Compilation des interprétations 2021 - 2022	109
Figure n°83. Interprétation archéologique des anomalies magnétiques détectées en 2021 (St. Venault)	111
Figure n°84. Localisation des sondages sur la carte des prospections géophysiques réalisées en 2021 (St. Venault)	112
Figure n°85. Vue depuis le sud de la fenêtre no 2 matérialisée par des piquets. A droite la nouvelle clôture installée après la campagne de prospection géophysique (St. Venault)	112

Figure n°86. La pelle hydraulique utilisée pour l'excavation des sondages (St. Venault)	113
Figure n°87. Contexte géologique sur fond imprimé (fond BRGM) (St. Venault)	114
Figure n°88. Contextes sédimentaires sur fond vectorisé (fonds BRGM, https://solsdebourgogne.fr/) (St. Venault)	115
Figure n°89. Contexte topographique (St. Venault)	116
Figure n°90. Vue du monticule de remblais à l'emplacement de l'anomalie circulaire de l'ensemble A (St. Venault).	117
Figure n°91. Coupe du fossé bordier de la voie (St. Venault)	118
Figure n°92. coupe du fossé bordier vue depuis l'est (St. Venault)	119
Figure n°93. vue en plan depuis le sud-est des creusements sommitaux du fossé bordier de la voie (dans l'ordre chronologique 102 suivi de 101) (St. Venault)	119
Figure n°94. Coupe de la limite périmétrique sud du quadrilatère de l'ensemble A (St. Venault)	120
Figure n°95. Vue en plan et de la coupe depuis le sud-est de la tranchée 201 (St. Venault)	121
Figure n°96. Coupes du fossé 301 (St. Venault)	122
Figure n°97. Coupes du fossé 301, vues vers l'est et l'ouest (St. Venault)	123
Figure n°98. Vue en plan depuis le sud-est du fossé 301 (St. Venault)	124
Figure n°99. Le blocage de silex 310 vu depuis l'ouest, le nord-ouest, le nord-est et le sud-est (St. Venault)	125
Figure n°100. Coupe du blocage de silex 310 (St. Venault)	126
Figure n°101. Coupe du blocage 310 vue depuis l'est (St. Venault)	126
Figure n°102. Restitution du tracé de la voie (St. Venault).	128
Figure n°103. Environnement du site d'Entrains-sur-Nohain et localisation de l'amas de déchet à « Château du Bois ».	137
Figure n°104. Vues aériennes (interprétée à droite) du site localisé à « Château du Bois ». Deux vastes taches sombres semblent visibles et pourraient marquer l'emplacement de l'atelier. En grisé station d'épuration. Source géoportail.	139
Figure n°105. Vue générale du sondage dans son environnement (M. Berranger).	139
Figure n°106. Vue générale de la stratigraphie du sondage et log (M. Berranger).	140
Figure n°107. Aillant-sur-Tholon "Bois des Ferrier" site n°1. Emplacement envisagé pour la réalisation d'une fouille extensive d'une partie d'un amas de déchet daté de l'Antiquité, sur fond LiDAR (données M. Thivet, traitements M. Herbrich)	142

