



HAL
open science

La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions; Rapport intermédiaire 2021 du PCR

Marion Berranger, Michel Aubert, Benjamin Fores, Rémy Jeannot, Margaux Herbrich, Marc Leroy, Sylvie Mouton-Venault, Stéphane Venault

► To cite this version:

Marion Berranger, Michel Aubert, Benjamin Fores, Rémy Jeannot, Margaux Herbrich, et al.. La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut-fourneau. Organisation et circulation des productions; Rapport intermédiaire 2021 du PCR. [Rapport de recherche] IRAMAT - LMC - IRAMAT - Laboratoire Métallurgies et Cultures; INRAP Grand Est; MSHE Claude Nicolas Ledoux; SRA Bourgogne-Franche-Comté - DRAC. 2021. hal-03549796

HAL Id: hal-03549796

<https://hal.science/hal-03549796>

Submitted on 31 Jan 2022

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

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



Institut national de recherches archéologiques préventives

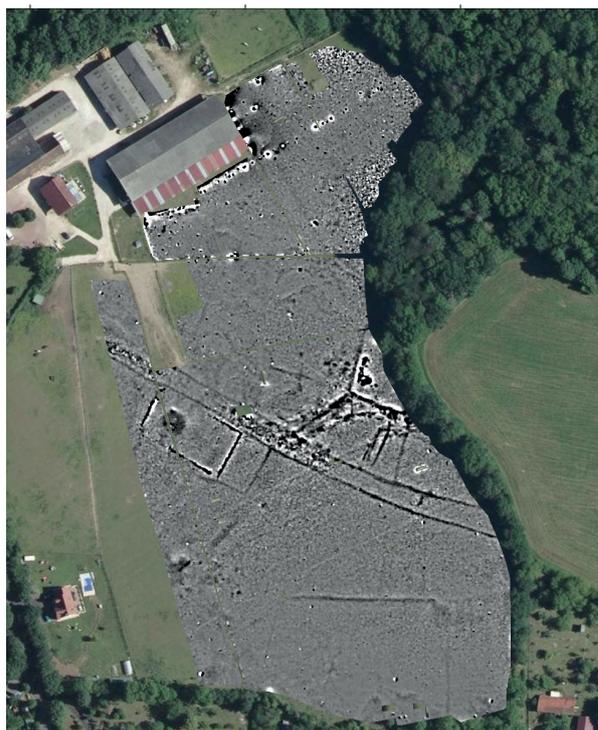


Projet Collectif de Recherche Rapport intermédiaire 2021

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



Prospections géophysiques à Tannerre-en-Puisaye (@B. Fores-INRAP)



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



Direction régionale des affaires culturelles Bourgogne Franche-Comté

Projet Collectif de Recherche
Rapport intermédiaire 2021
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
Benjamin Fores
Rémy Jeannot
Marc Leroy
Margaux Herbrich
Sylvie Mouton-Venault
Stéphane Venault

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

Rapport intermédiaire 2021

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 - UMR5060 - 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.* 2021 : BERRANGER (M.) coord., AUBERT (M.), FORES (B.), JEANNOT (R.), LEROY (M.), HERBRICH (M.), MOUTON-VENAULT (S.), VENAULT (S.) - *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau. Organisation et circulation des productions.* Projet Collectif de Recherche, Rapport intermédiaire 2021, Belfort, IRAMAT-LMC-UMR5060,

DRAC Bourgogne-Franche-Comté.

Sommaire

| | |
|--|-----|
| 1. Présentation du programme de recherches (M. Berranger) | 9 |
| 1.1. L'archéométaballurgie dans le nord-est de la France : une longue tradition de recherche. | 9 |
| 1.2. Présentation générale du programme de recherche. | 10 |
| 1.2.1. <i>Spécificités et objectifs.</i> | |
| 1.2.2. <i>Chronologie.</i> | |
| 1.2.3. <i>Corpus et objectifs</i> | |
| 1.3. Réalisations 2021. | 17 |
| 2. Interventions 2021 en Puisaye : fouilles d'un atelier de réduction et étude des relations entre ateliers et espaces habités | 21 |
| 2.1. Une voie et des systèmes fossoyés à Tannerre-en-Puisaye, « La Garenne » (89) | 29 |
| 2.1.1. <i>Rapport de prospection magnétique (B. Fores)</i> | |
| 2.1.2. <i>Interprétation archéologique des résultats (S. Venault)</i> | |
| 2.1.3. <i>Etude céramologique (S. Mouton-Venault)</i> | |
| 2.2. Une voie et des traces d'occupation à Toucy, « La Cour Batonnerie » (89) | 49 |
| 2.2.1. <i>Rapport de prospection géophysique (B. Fores)</i> | |
| 2.2.2. <i>Interprétation archéologique des résultats (St. Venault)</i> | |
| 2.3. Fouilles sur un amas de réduction protohistorique - Saint-Fargeau 40 « Bois de Bailly » (M. Berranger et M. Leroy, avec contributions de M. Herbrich) | 71 |
| 2.3.1. <i>La zone-atelier de Saint-Fargeau : rappel des travaux et résultats antérieurs</i> | |
| 2.3.2. <i>Problématiques de l'opération de fouilles 2021</i> | |
| 2.3.3. <i>Méthodologie</i> | |
| 2.3.4. <i>Résultat par sondage</i> | |
| 2.3.5. <i>Microtopographie et calculs volumiques au sein de l'amas</i> | |
| 2.3.6. <i>Présentation préliminaire des déchets sidérurgiques</i> | |
| 2.3.7. <i>Datations radiocarbone</i> | |
| 2.3.8. <i>Conclusion</i> | |
| 3. Intervention à Arbois "Pré des Noyers" (Jura) (M. Berranger) | 107 |
| 3.1. Introduction | 111 |
| 3.2. Résultats | 112 |
| 3.3. Morphologie du currency-bar retrouvé | 114 |
| 3.4. La découverte d'Arbois dans son contexte régional. | 115 |
| 4. Notes sur la création d'un SIG uniformisé pour les chantiers préventifs d'Entrains-sur-Nohain de 2008, 2011 et 2013 (R. Jeannot) | 119 |
| 4.1. Constitution du dossier documentaire initial | 119 |
| 4.2. Structure de la donnée reformatée | 119 |
| 4.3. Utilisation | 120 |
| 4.4. Perspectives pour de futurs développements | 120 |
| 4.5. Exemple d'exploitation – mise en parallèle des ateliers de la phase 80-100 ap. J.-C. | 121 |
| 5. Programmation 2022 | 129 |

| | |
|---|-----|
| 6. Bibliographie. | 135 |
| 7. Liste des figures. | 139 |
| ANNEXE 1 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40 - Inventaire des US | 145 |
| ANNEXE 2 : SAINT-FARGEAU (89.344) site n°40 - Inventaire des déchets observés | 151 |

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-UMR5060) et de Sandra Cabboi (INRAP-UMR5060), a également eu pour objectif d'étudier le grand nombre d'ateliers qu'il restait à caractériser en Lorraine, dans le sud de l'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.

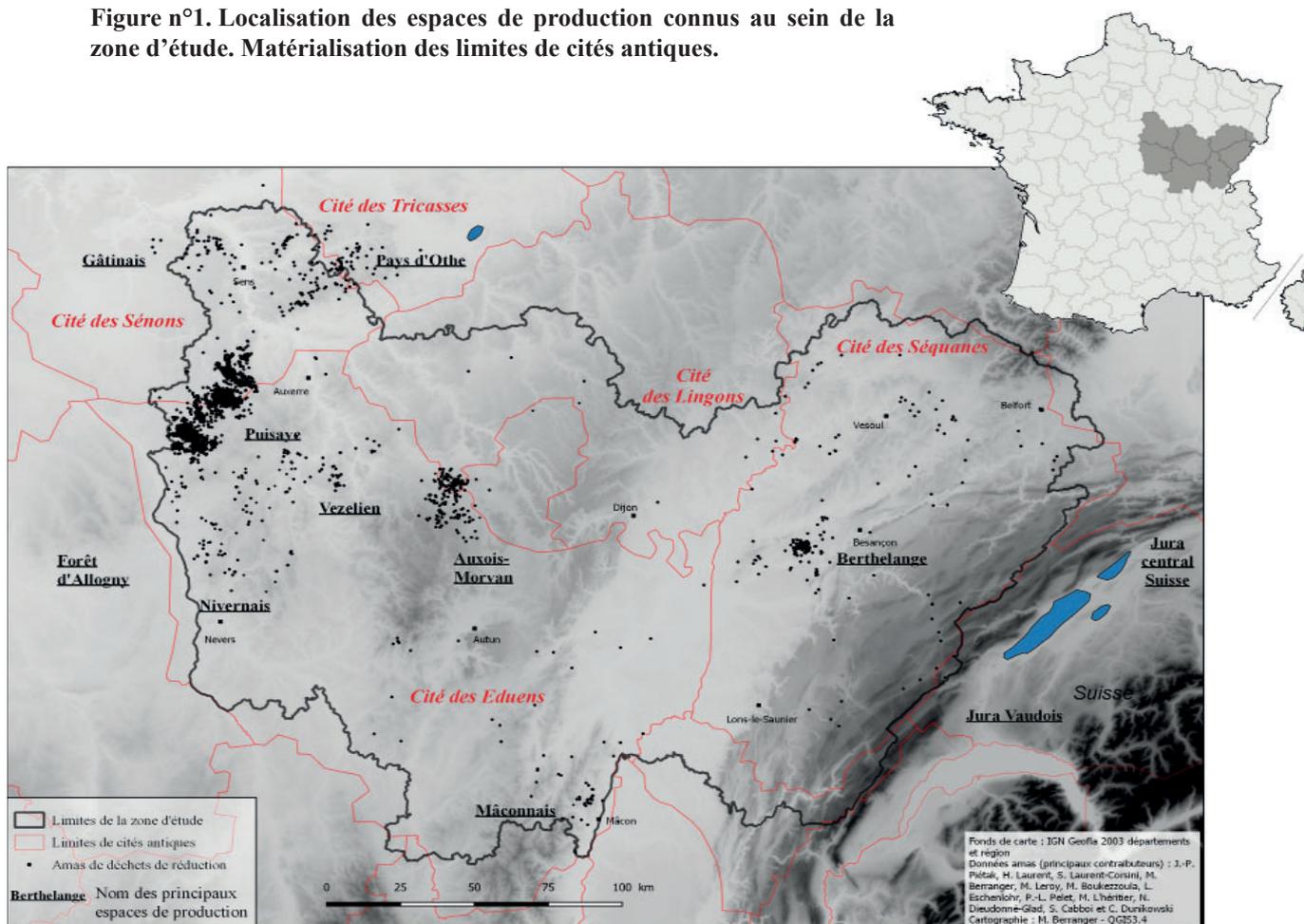
1.2. Présentation générale du programme de recherche.

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.

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 basé 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 de 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 (approvisionnements en minerais) qu'en aval (diffusion des produits ferreux) de la chaîne de production. Il s'agit également de préciser les spécificités et différences dans les techniques mises en oeuvre en étudiant l'architecture des bas fourneau et l'organisation spatiale des ateliers.

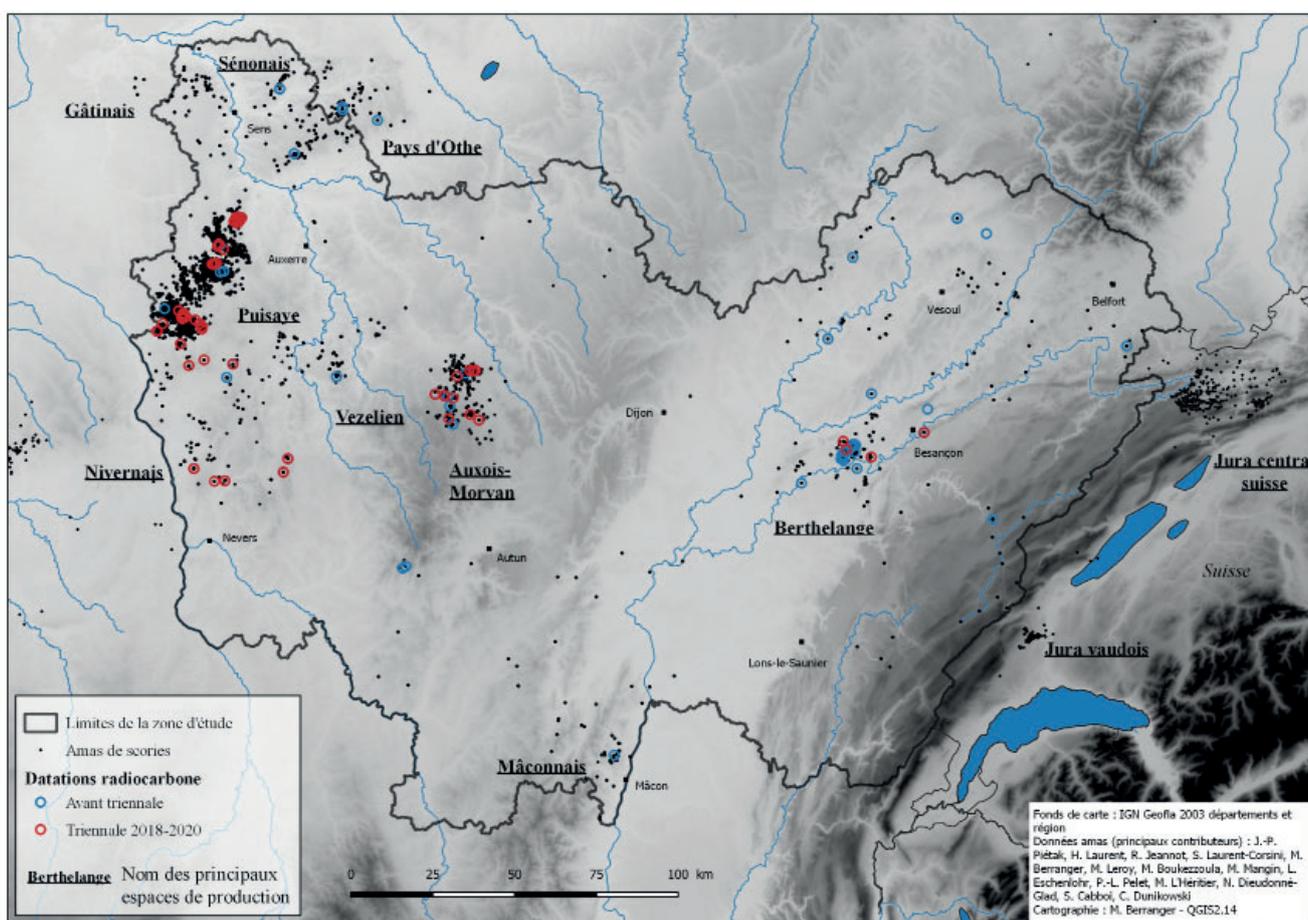


Figure n°2. Répartition des sites datés par radiocarbone et ayant subi une analyse chimique en Bourgogne Franche-Comté.

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.

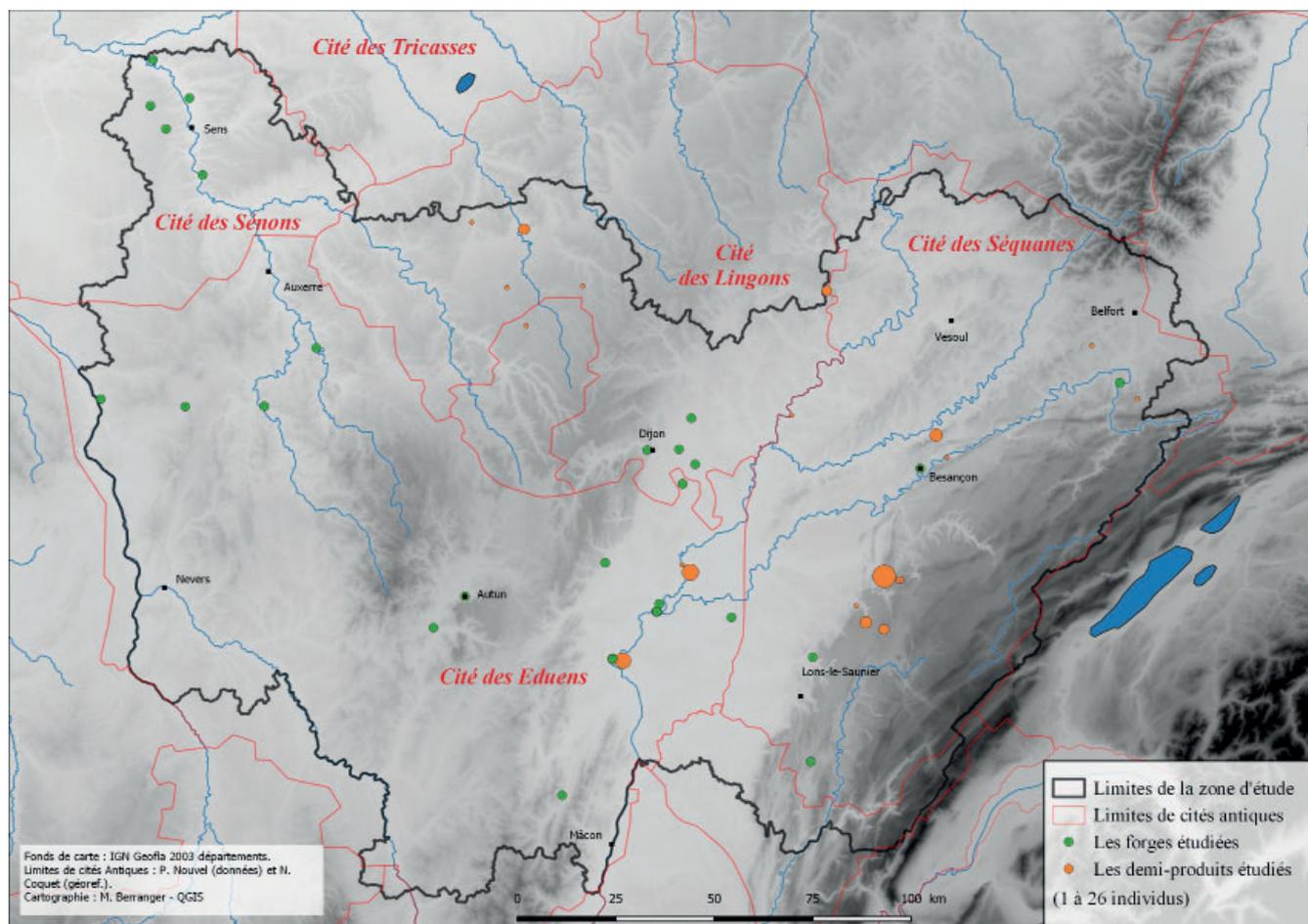


Figure n°3. Localisation des sites étudiés livrant des forges et des demi-produits

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.

Deux autres sites majeurs à l'échelle régionale, par le nombre d'ateliers qu'ils ont livré, seront étudiés dans le cadre de masters d'archéologie de l'Université de Franche-Comté. Ces travaux ont débuté en 2021 et se poursuivront sur deux ans. 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 dans le cadre du PCR Confluence 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. Savès (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.

| 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.

1.3. Réalisations 2021.

Les activités de l'année 2021 ont concerné en grande partie des opérations de terrain sur le district de Puisaye.

Une fouille de deux semaines a ainsi été conduite à Saint-Fargeau (89) sur un atelier de réduction du minerai de fer daté par méthode radiocarbone, entre 400 Cal. BC et 200 Cal. BC. L'implantation des fouilles a été réalisée sur la base d'acquisitions géophysiques réalisées en 2020 (Sanchez 2020). Ces fouilles ont permis l'étude des modalités de constitution de l'amas de déchets et l'analyse d'un four de réduction du minerai de fer à scorie piégée (chap. 2.3). Margaux Herbrich a été recrutée durant 1 mois pour réaliser les acquisitions et traitements topographiques et photogrammétriques, en fouilles et post-fouilles.

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 initiée sur deux secteurs. Des prospections géophysiques ont ainsi été effectuées sous forme d'une prestation par l'INRAP sur deux parcelles de 3 ha chacune, d'une part à Tannerre-en-Puisaye (89) (chap. 2.1) et d'autre part à Toucy (89) (chap. 2.2). Sur cette dernière, l'étude entreprise en 2019 sur la céramique recoltée

en prospections pedestres avait déjà permis de pointer l'existence d'une occupation datée entre la fin du II^e s. et le milieu du V^e s. de n.è. (Mouton-Venault 2019). A Tannerre-en-Puisaye l'étude de collections privées issues de ramassages sur la parcelle prospectée permettent d'identifier une occupation comprise entre la fin du I^{er} s. de n.è. et le III^e voire le IV^e s. (chap. 2.1.3). Dans les deux cas des vestiges d'occupations structurées ont été révélées par les prospections géophysiques.

Un axe paléoenvironnemental intègre également les travaux menés sur les espaces de réduction. Le protocole intègre dès la phase de terrain une démarche innovante dite "dendro-anthracologique" dont les objectifs sont d'étudier la structure de peuplement de la végétation exploitée : d'estimer le calibre des tiges utilisées, d'approcher des notions d'âge à l'exploitation et des caractéristiques de croissance typiques de pratiques de gestion forestière (densité, traitement en taillis). L'étude des charbons issus des sondages et prélèvements effectués en 2019 et 2020 a été poursuivi. Le rapport de ces travaux sera présenté dans le rapport du PCR de l'année prochaine.

Dans le cadre de l'étude de la consommation du fer, un sondage été réalisé sur la commune d'Arbois, afin de prélever un demi-produits de fer de type *currency-bar* (chap. 3). Cette opération est intervenue suite au repérage de cet objet au détecteur à métaux durant des prospections autorisées dans le cadre du PCR portant sur l'environnement de Salins-Les-Bains et dirigées par E. Gauthier (Chrono-environnement). Le sondage intervient dans la continuité de travaux menés depuis plusieurs années dans le cadre du PCR Sidérurgie. Ils concernent l'étude de demi-produits de fer présents en concentration dans ce secteur et ayant déjà fait l'objet de deux publications (Berranger *et al.* 2019), dont une parue cette année (voir infra - Berranger *et al.* 2021).

L'étude des ateliers de forgeage, centrée sur l'agglomération romaine d'Entrains-sur-Nohain a également été poursuivie. L'objectif est de comparer les données topographiques concernant les structures métallurgiques avec les résultats des travaux déjà menés sur les macro-déchets (chutes métalliques et scories). Suite aux catalogues des structures proposés en 2019 et 2020, un gros travail de préparation des données a été réalisé par S. Venault permettant la mise en place d'un contrat d'un mois pour Rémy Jeannot afin de normaliser l'ensemble des résultats issus de trois des fouilles récentes pour les intégrer sous SIG. Nous disposons à présent d'un outil permettant de générer des cartes de répartition et de synthèse qui serviront de base aux réflexions synthétiques (chap. 4).

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

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

De communications/Posters en colloques :

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

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

Achèvement de travaux universitaires en relation avec le PCR :

Margaux Herbrich (Université de Dijon, co-encadrement P. Nouvel, M. Thivet, M. Berranger) a également finalisé son master portant sur le traitement des données LiDAR acquises en 2018 sur le secteur de Montholon (Puisaye). L'objectif était d'étudier l'organisation spatiale de ces amas et de proposer des méthodes de calcul des amas et des volumes de déchets qu'ils renferment. Un article de synthèse devrait être mis en forme dans le courant de l'année 2022.

L'année 2021 a également été occupée par la mise en forme des données de terrain et des datations radiocarbone obtenues ces dernières années dans le cadre du présent PCR, afin de permettre la rédaction d'un article de synthèse. L'achèvement de cet article est envisagé dans le courant de l'année 2022.

2. Interventions 2021 en Puisaye : fouilles d'un atelier de réduction et étude des relations entre ateliers et espaces habités

Fiche signalétique

Localisation des opérations

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

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

Communes concernées par les prospections géophysiques : Tannerre-en-Puisaye "Bois de la Garenne", Toucy "Cour Batonnerie"

Références cadastrales des parcelles étudiées

Commune : Saint-Fargeau Occupation du sol : forêt
Références cadastrales : F17 et 19

Commune : Tannerre-en-Puisaye
Références cadastrales : CE 1114-0601-066 Occupation du sol : prairies
RGF 93X : 912 918 m RGF 93Y : 6 643 040 m

Commune : Toucy
Références cadastrales : H48-49-50-281-282 Occupation du sol : prairies
RGF 93X : 912 918 m RGF 93Y : 6 643 040 m

Références des opérations

Numéro d'arrêté d'autorisation de fouilles : 2021/318 en date du 25 mai 2021
Dates d'intervention : 16 au 27 août 2021

Numéro d'arrêté d'autorisation de prospections géophysiques : 2021/373 en date du 16/16/2021
Dates d'intervention : 27 juillet -11-12-13 août - 20 octobre 2021

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologiques

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

Résultats significatifs

Chronologie : Protohistoire, antiquité
Eléments de datation : Métal, céramique, radiocarbone
Mots-clefs : métallurgie, bas fourneau, habitat, voie, bâtiments

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), François Magar (UHA), Léna Belhade (Univ. Besançon), Séverine Savès (Univ. Besançon), Lucile Bonnard (Univ. Dijon), Loïs Robin (univ. Paris 8)

Topographie / implantation sondages : Patrick Noguès (INRAP)

Topographie / photogrammétrie : Margaux Herbrich (LMC-CNRS)

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

Equipe prospections géophysiques

Phase terrain : Benjamin Fores (INRAP), Hervé Herment (INRAP), Guillaume Hulin (INRAP), François-Xavier Simon (INRAP)

Traitement des données, Interprétation : Benjamin Fores, François-Xavier Simon

Rapport : Benjamin Fores



Arrêté n°2021/318 du 25 mai 2021
portant autorisation de fouille programmée.

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

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 25 mars 2021 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n° PGR272021000064, de demande d'opération archéologique, arrivé le 28 avril 2021 ;

ARRÊTÉ

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 31 décembre 2021, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ

Département : YONNE

Commune : SAINT-FARGEAU

Lieu-dit : Bois de Bailly

Cadastré : section VF, parcelles 17 et 19

Intitulé de l'opération : fouille programmée d'un ferrier protohistorique.

Axe 12, mines et matériaux associés.

Code de l'opération : **043855**.

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

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

Article 4 - versement des archives de fouilles

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

Article 5 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Marion BERRANGER.

Fait à Besançon, le 25 mai 2021

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

Hervé LAURENT



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n°2021/373 du 16 juin 2021
portant autorisation de prospection avec matériel spécialisé.

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

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 25 mars 2021 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n°PGR272021000084, de demande d'opération archéologique arrivé le 10 juin 2021 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERRANGER est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de prospection avec matériel spécialisé à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2021, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTÉ
Département : YONNE
- Commune : TANNERRE-EN-PUISAYE
Lieu-dit : La Garenne
Cadastre : section O, parcelles n° 600, 601, 1114
- Commune : TOUCY
Lieu-dit : La Cour Batonnerie
Cadastre : section H, parcelles n° 48, 49, 50, 281, 282

Intitulé de l'opération : Prospections géophysiques
Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.
Code de l'opération : **043872**.

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

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

Article 4 - versement des archives de fouilles

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

Article 5 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Marion BERRANGER.

Fait à Besançon, le 16 juin 2021

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

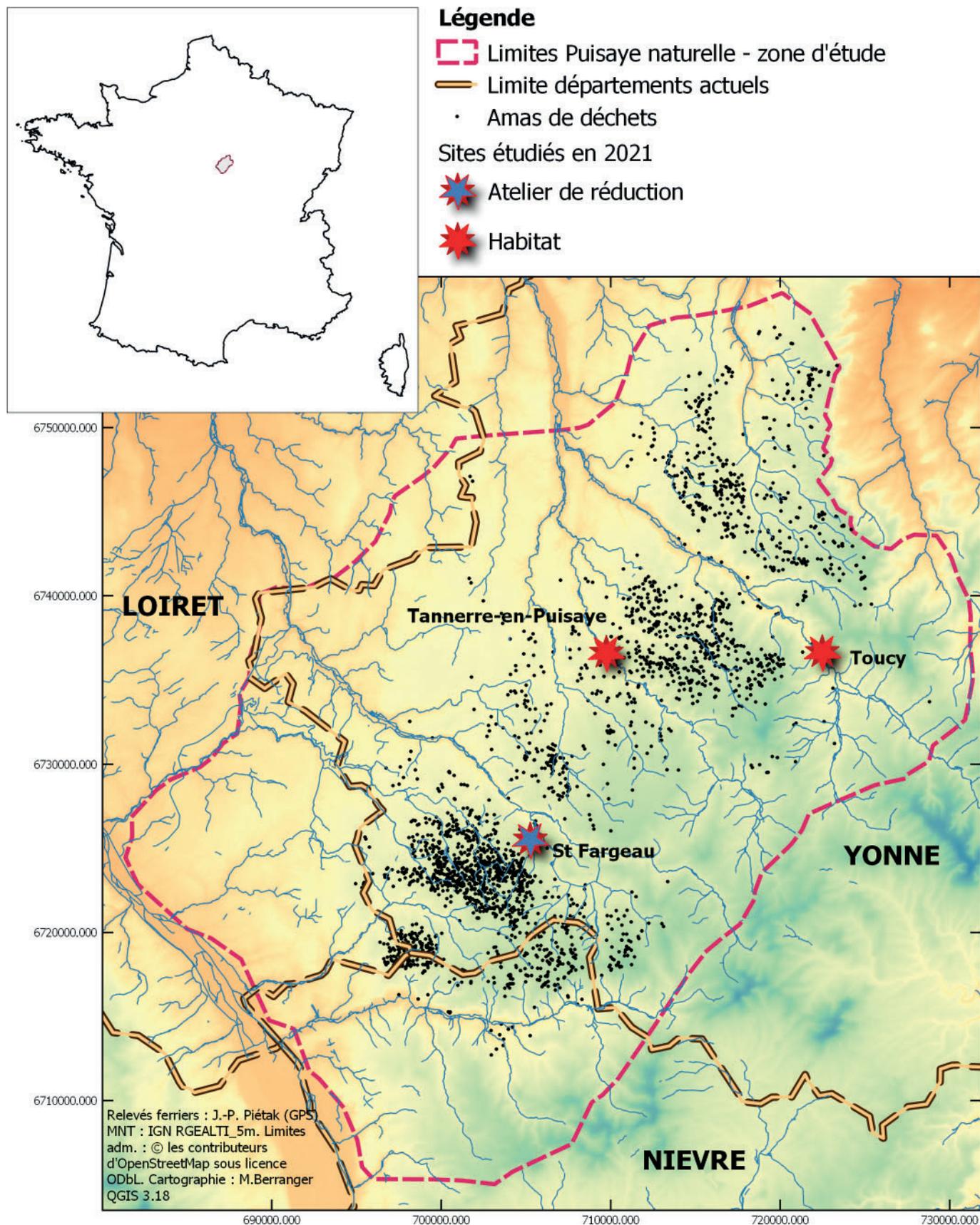


Figure n°5. Localisation des interventions 2021 en Puisaye.

2.1. Une voie et des systèmes fossoyés à Tannerre-en-Puisaye, « La Garenne» (89)

2.1.1. Rapport de prospection magnétique (B. Fores)

Contexte

Une prospection magnétique a été mise en œuvre à proximité directe du ferrier antique de la « Garenne » à Tannerre-en-Puisaye, dans l'Yonne. Cette étude a pour but de rechercher l'habitat en relation avec l'exploitation du ferrier. La parcelle étudiée est également située à proximité immédiate d'une parcelle (au sud-est) où des indices d'habitat ont été observés sur des photos aériennes. La prospection a eu lieu les 12 et 13 août 2021. Au total, 3,56 hectares ont été prospectés par méthode magnétique.



Figure n°6. Système d'acquisition magnétique à 5 sondes (MXPDA – Sensys) poussé devant l'opérateur.

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 en un chariot qui supporte cinq sondes de mesure et qui est poussé devant l'utilisateur (fig. 6).

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 (fig. 7), avec un terrain très praticable si ce n'est quelques obstacles liés à la ferme équestre dispersés et quelques dépôts de décharge (fig. 8). Lorsqu'ils étaient visibles, les objets ferreux ont été retirés en amont du passage du magnétomètre. 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.

- 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 15 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 géo-référencé 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 plus 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.

Résultats

L'ensemble des mesures de la différence verticale du champ magnétique terrestre est présenté en fig.9 et les simulations du champ magnétique total sont présentées en fig.10 et 11. L'interprétation est donnée en fig.12.

On observe sur toute la carte, mais particulièrement dans la moitié sud, de nombreuses anomalies à contraste positif témoignant de probables structures en creux, naturelles ou anthropiques, remplies d'un matériel plus aimanté que l'encaissant. Les anomalies visibles sont pour la plupart linéaires, parfois formant des ensembles fermés. L'ensemble majeur observable sur la fig.10



Figure n°7. Photos de terrain (B. Fores).

est constitué d'anomalies positives pseudo-linéaires (A1 à A4), formant deux tracés parallèles distants de 8 à 10 mètres et d'orientation nord-ouest/sud-est. Ces deux anomalies peuvent représenter d'anciens fossés bordiers d'une voie.

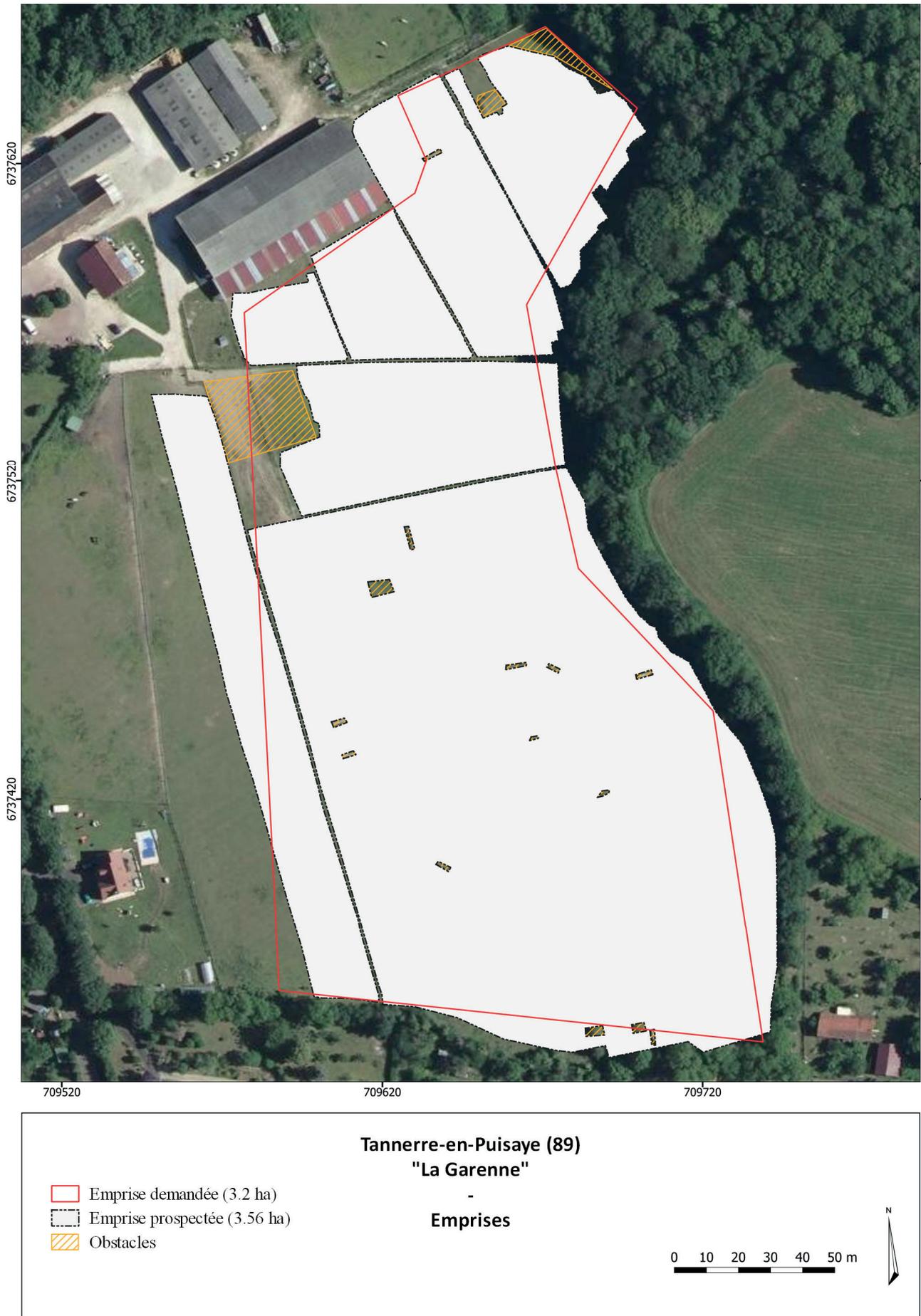
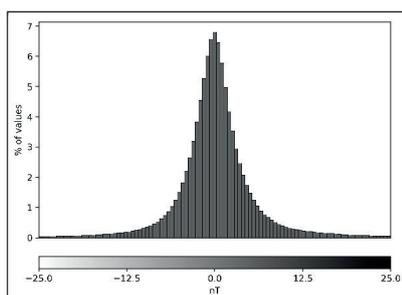
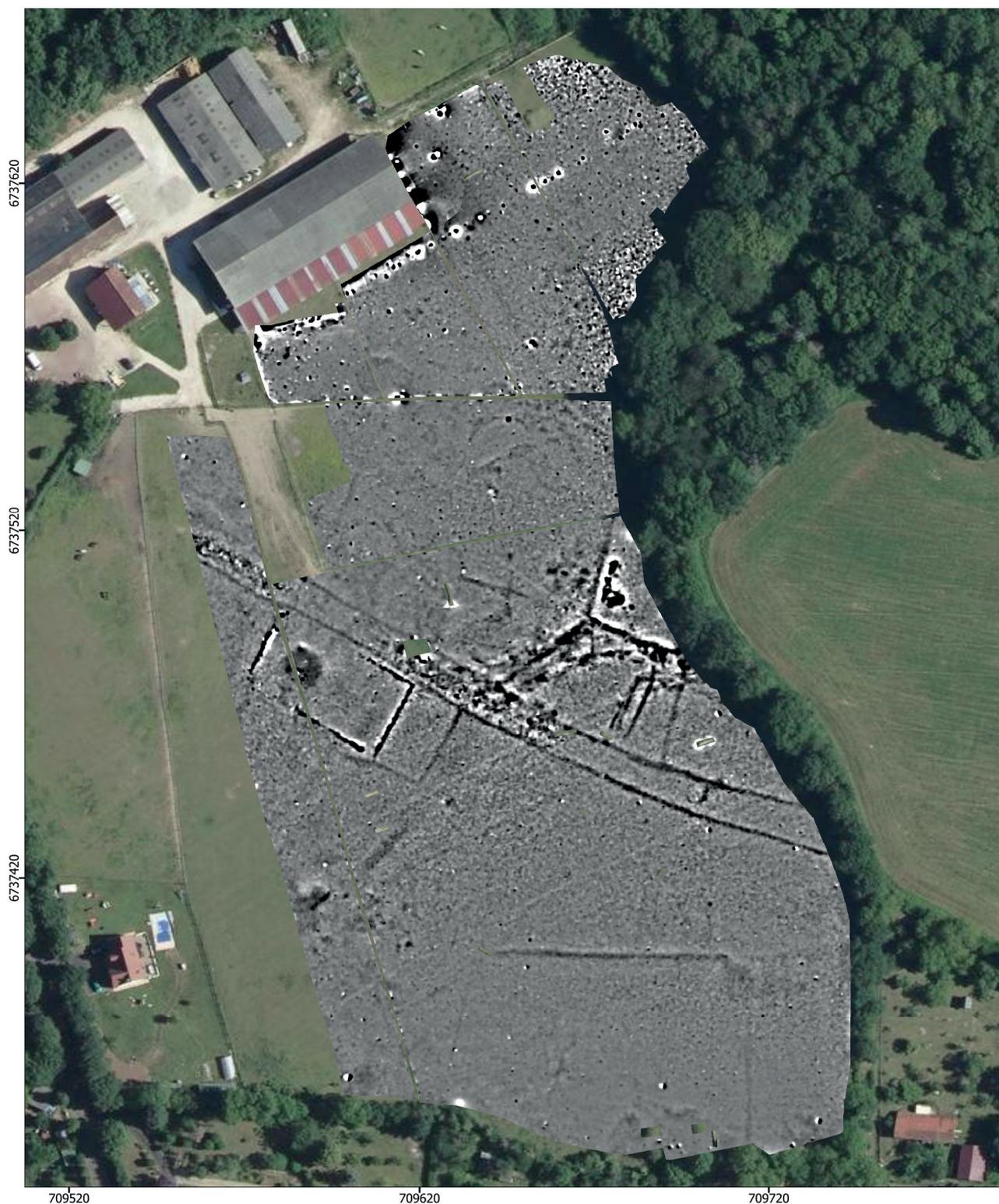


Figure n°8. Emprise de la prospection magnétique sur orthophoto (données IGN) (B. Fores)



Tannerre-en-Puisaye (89)
"La Garenne"
-
Carte d'anomalies magnétiques

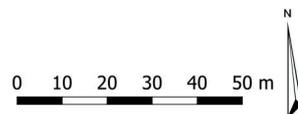


Figure n°9. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores)

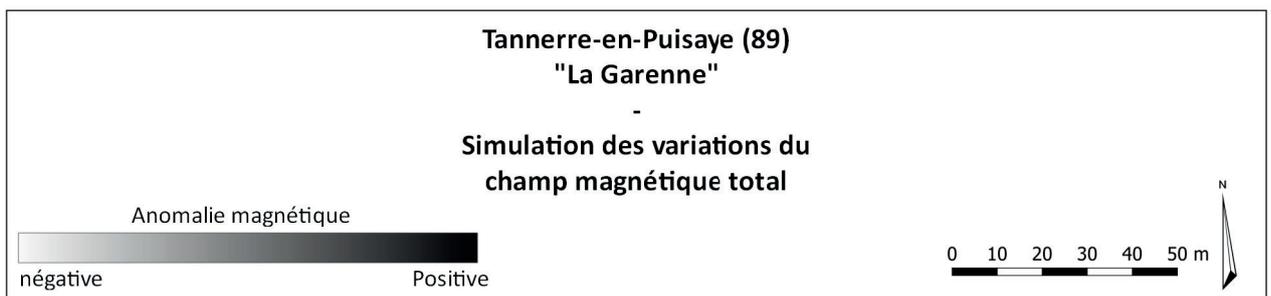
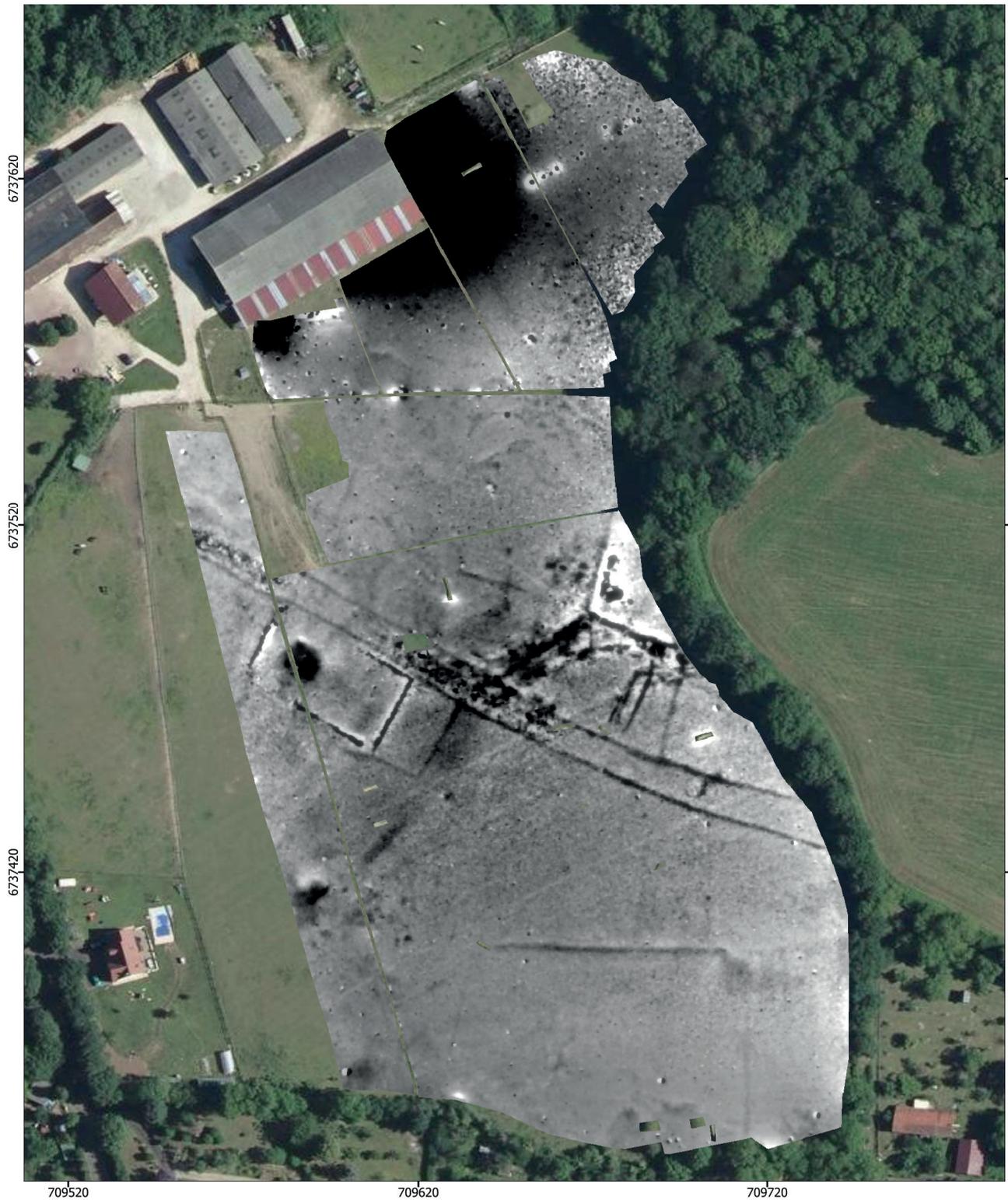


Figure n°10. Simulation du champ magnétique total sur orthophoto (données IGN) (B. Fores)

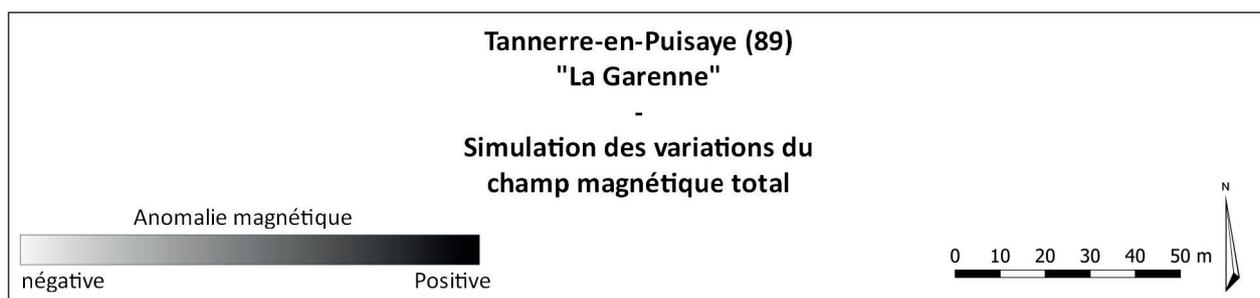
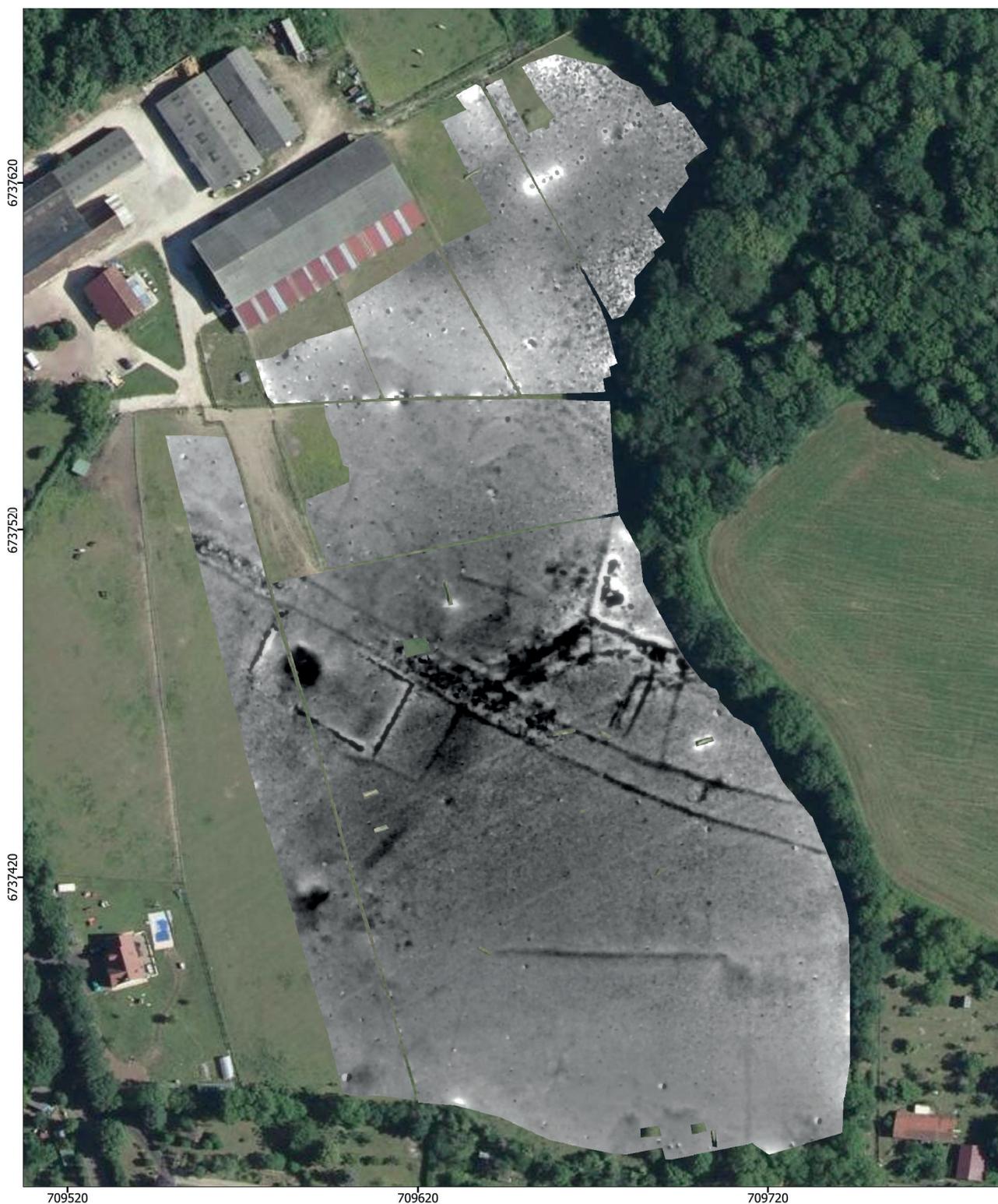


Figure n°11. Simulation du champ magnétique total (après découpe de la zone affectée par le halo de structure sur othophoto (données IGN) (B. Fores)

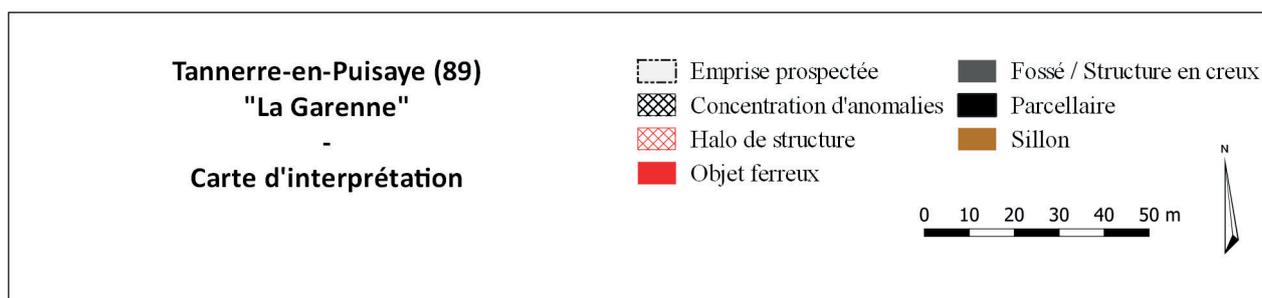
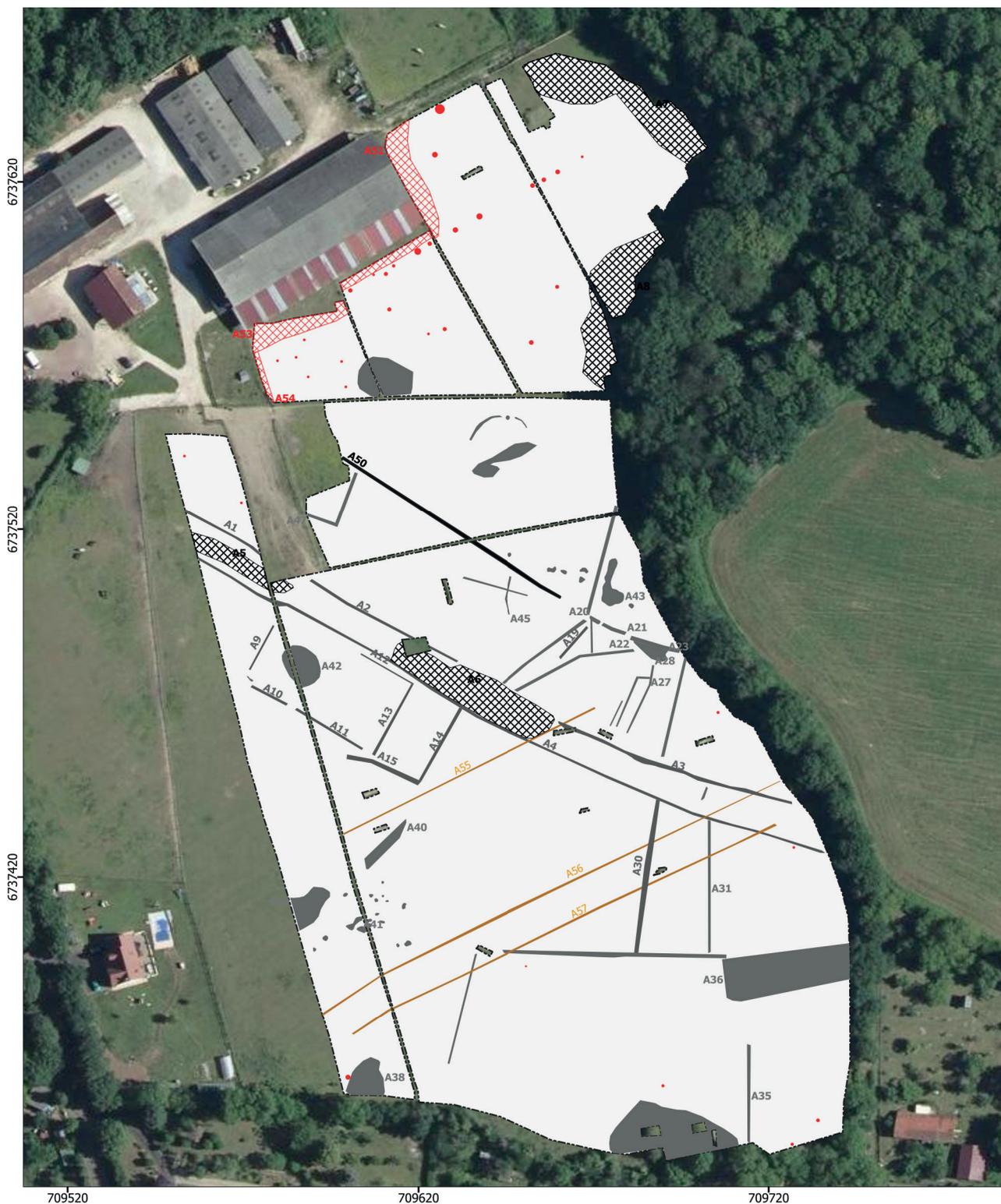


Figure n°12. Interprétation de la prospection magnétique avec anomalies numérotées, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores)

La force de l'anomalie témoigne du remplissage des fossés par un matériel à forte aimantation. Entre les deux fossés, en au moins deux endroits, de grande concentration d'anomalies (A5, A6) peuvent être la signature des scories utilisées localement pour remblayer cette voie. On observe d'ailleurs des concentrations similaires en bordure du bois, pouvant témoigner des bords du ferrier de la Garenne (A7, A8).

Parmi les autres anomalies linéaires significatives, on peut noter les 4 grandes anomalies (A9-A15), fermant une surface d'environ 900 m² (42x22 m) et présentant une grande anomalie circulaire en son sein (A42).

Les quelques anomalies linéaires négatives visibles (teintes claires sur notre échelle de couleur), sont d'orientation sud-ouest/nord-est et coïncident parfaitement avec des traces de roues ou des sillons visibles sur les orthophoto de l'IGN (A55, 56, 57).

On peut noter que les anomalies présentant un intérêt archéologique ne sont pas liées à des structures visibles sur ni sur la carte de Cassini (18^e), ni sur celle de l'état-major (19^e), ni sur les photos aériennes postérieures à 1950, à l'exception de l'anomalie A50 qui se révèle être une ancienne limite de parcelle marquée par une haie d'arbre.

Conclusions

La prospection magnétique a donné de bons résultats et a permis de cartographier un ensemble particulièrement cohérent. De nombreuses structures en creux ressortent fortement grâce au contexte métallurgique permettant l'accumulation de matériel aimanté. Plusieurs anomalies linéaires sont vraisemblablement liées à des occupations en rapport avec le ferrier. En particulier, on note deux probables fossés bordiers d'une voie traversant toute la zone prospectée, ainsi que des concentrations d'anomalies observées à proximité du bois et pouvant délimiter le ferrier.

2.1.2. Interprétation archéologique des résultats (St. Venault)

Analyse des résultats des acquisitions géophysiques

L'objectif fixé cette année s'est limité à une interprétation archéologique des résultats. Ce travail sera complété l'année prochaine par l'édition d'une notice de site retraçant l'historique des recherches qui sera accompagnée d'une cartographie de l'ensemble des découvertes sur la commune selon le protocole établi dans le cadre du PCR AggloCenE (<https://agglocene.humanum.fr/>).

Avant de produire un plan d'interprétation archéologique des vestiges, les anomalies peuvent être classées selon plusieurs critères qui tiennent compte de l'ancienneté des traces et de leur intérêt pour la compréhension générale du site (fig. 13 et 14). Cette première approche permet d'éliminer une série d'anomalies qui se rapportent à diverses composantes aujourd'hui disparues du sol ou du paysage. Il s'agit tout d'abord d'une limite parcellaire qui n'est plus matérialisée sur le terrain mais qui est toujours figurée sur le cadastre actuel [A50]. Un même type d'anomalie correspond à une série de sillons parallèles striant le sol, visibles sur une vue aérienne de 2011 [A55, 56, 57] (fig. 15). Au nord, des anomalies surfaciques sont générées par l'existence d'un bâtiment à proximité [A51 à A54]. Toujours au nord, un semis de signatures dipolaires est attribuable à des objets métalliques perdus et enfouis. Un alignement de signaux ponctuels, orientés parallèlement au bâtiment, trahit quant à lui la présence passée d'une clôture aujourd'hui arrachée. Des aplats denses d'anomalies [A7, A8] observées au nord-est renvoient aux franges du ferrier de Tannerre qui s'étend sur les parcelles limitrophes.

La détection a par ailleurs révélé un ensemble de linéaments en partie centrale de la zone prospectée qui sont identifiés comme des structures en creux d'après le rapport géophysique.

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. 16).

Proposition d'interprétation

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 [A6, A5] 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. On serait en effet tenté de reconnaître dans la régularité du tracé le plan d'un ouvrage architecturé. Toutefois, outre la nature de l'anomalie qui s'apparente plutôt, on l'a dit, à une structure excavée, on objectera à cette hypothèse les dimensions relativement importantes pour une structure bâtie, dans tous les cas pour une habitation d'époque romaine, ainsi que son implantation dans un axe parallèle à la voie plutôt que perpendiculaire. Des arguments qui militeraient plutôt en faveur d'un enclos fossoyé. Dans ce cas les interruptions constatées dans le périmètre seraient à considérer davantage comme des accès potentiels (au nord le long de la voie et dans l'angle sud-est sur 3 m de long) que comme des ruptures du signal. On note par ailleurs, une extension du rectangle vers l'est sur une longueur de 15 m matérialisée par un tracé à angle droit [A14-A15]. Un des segments [A14] est directement connecté au fossé bordier de la voie alors que celui dirigé vers l'ouest [A15] est légèrement désaxé par rapport au long côté du rectangle de telle manière que l'extrémité du tracé et l'angle du quadrilatère ne se rencontrent pas. La terminaison de l'anomalie A15 se prolonge ainsi au-delà de l'angle pour venir barrer, tout en s'en écartant de 2 m, le potentiel accès aménagé au sud-est. Un dispositif qui n'est pas sans rappeler les systèmes de contention mis en œuvre pour trier le bétail. Enfin, on remarque que l'intérieur du rectangle est occupé par une tache ovale de 9,5 x 12,4 m [A42]. Étendue dans la moitié occidentale de l'espace circonscrit, en face d'un long segment manquant du périmètre du côté de la voie, cette anomalie a sans doute pu fonctionner de concert avec le quadrilatère.

Localisé de l'autre côté de la voie, 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 est visible formé par deux segments de fossé disposés à angle droit [A18, A20, A22] étirés sur 33 m pour l'un et 28 m pour l'autre. L'angle en question est relié à la voie par ce qui semble être deux tracés linéaires dont la lecture se perd parfois dans un halo d'anomalies qui brouille la lisibilité. Ces deux fossés potentiels se connectent à la voie selon un angle oblique. Cette fois encore, nous pourrions reconnaître ici un corridor d'accès destiné à conduire des troupeaux d'animaux vers l'enclos. D'autres fossés complètent le plan vers l'est [A24 à A28]. Plus ou moins longs, et écartés suivant des intervalles variés (1m, 3 m, 9 m), ils sont cette fois implantés perpendiculairement à la voie dans l'espace intercalaire séparant l'enclos de l'axe de circulation. Il convient par ailleurs d'attirer l'attention sur une anomalie supplémentaire située

à 75 m vers l'ouest [A46, A47]. Malgré la faible intensité du signal, l'équipe de prospection propose de restituer un tracé à angle droit qui présente la particularité de s'inscrire dans un repère orthogonal commun à celui de l'enclos de l'ensemble B. On remarque en particulier l'alignement sur un même axe des segments méridionaux [A47 à l'ouest et A20-22 à l'est]. Une configuration qui inviterait à considérer l'anomalie A46-47 comme un élément constitutif d'un enclos supplémentaire vers l'ouest. Enfin, une anomalie linéaire A44 située entre ces deux enclos potentiels, toujours dans l'axe de leur limite méridionale, renforce l'impression d'une organisation de l'espace selon un schéma rationnel.

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 [A32, A33, A35]. Il est relié à la voie par deux anomalies linéaires de très faible intensité interprétées comme des fossés. Tracés dans des directions légèrement convergentes, ils sont espacés de 19 m au contact de l'enclos et de 14 m au contact de la voie. Ils constituent cette fois encore un dispositif susceptible de participer à l'acheminement des troupeaux depuis la voie vers l'enclos au sud. Une zone plus dense d'anomalies [A36] semble venir au contact de l'enclos dans son angle nord-est.

Ces ensembles sont environnés d'anomalies, dispersées dans un rayon plus ou moins proche, que nous avons considérées comme peu essentielles à la compréhension générale du site. Toutefois, cette classification fondée sur la lecture du plan global ne permet pas de préjuger de leur intérêt archéologique. Sont répertoriées deux anomalies zonales en bordure de l'emprise au sud [A37, A38]. À l'ouest deux autres aplats de faible intensité [A39, A40] se mêlent à un groupement d'anomalies ponctuelles [A41]. Enfin au nord sont identifiées des anomalies maculiformes de faible intensité.

Intérêt des résultats et perspectives de recherche

Il convient d'insister sur le caractère inédit de ces résultats qui renouvellent totalement la perception que nous avons de l'occupation ancienne de Tannerre. Si nous reviendrons plus amplement sur l'historique des découvertes dans le bilan de l'année prochaine, il est nécessaire de rappeler que les indices d'une occupation dans ce secteur étaient ténus (mentions anciennes) et localisés davantage vers le nord-est, au demeurant sans grande précision. La découverte de la voie est d'autant plus inattendue qu'elle n'a jamais été observée par photo aérienne et qu'elle n'a laissé quasi aucun stigmate de son tracé dans le cadastre actuel ou celui du XIXe s. (Fig. 17, 18). Seules les limites alignées de quelques parcelles vers l'est, au sud du cimetière, pourraient être héritées du passage de la voie. Les éléments constitutifs de l'ouvrage, composé d'une bande de circulation bordée de deux fossés latéraux, renvoient sans trop d'ambiguïté à une origine romaine de la fondation du site qui est cohérente avec la période de fonctionnement du ferrier de Tannerre.

Il ne fait pas de doute que les divers linéaments détectés au nord et au sud sont contemporains du fonctionnement de la voie. Même si cela reste à confirmer, il y a de fortes probabilités pour que ces différents tracés correspondent à des structures en creux de type fossé. Les espaces ainsi délimités seraient attribuables à des enclos utilisés pour l'élevage et le parcage du bétail, si l'on en juge par les dispositifs de circulation contraints qui les relient à la voie. Si elle devait se confirmer, cette vocation essentiellement pastorale des enclos n'est pas sans interroger, tout comme la nature des aménagements qui les relient à la voie. Quoi qu'il en soit, si le réseau fossoyé est peu dense, il n'en révèle pas moins un système rationnel de subdivision du sol. Par ailleurs, si aucune habitation n'apparaît dans l'emprise investiguée, les éléments structurants mis en évidence supposent un habitat dans une orbite proche.



Figure n°13. Carte des anomalies magnétiques (source Benjamin Fores, Inrap) (St. Venault)



Figure n°15. Vue aérienne du site montrant les sillons obliques (orthophotos 2011 source IGN) (St. Venault)

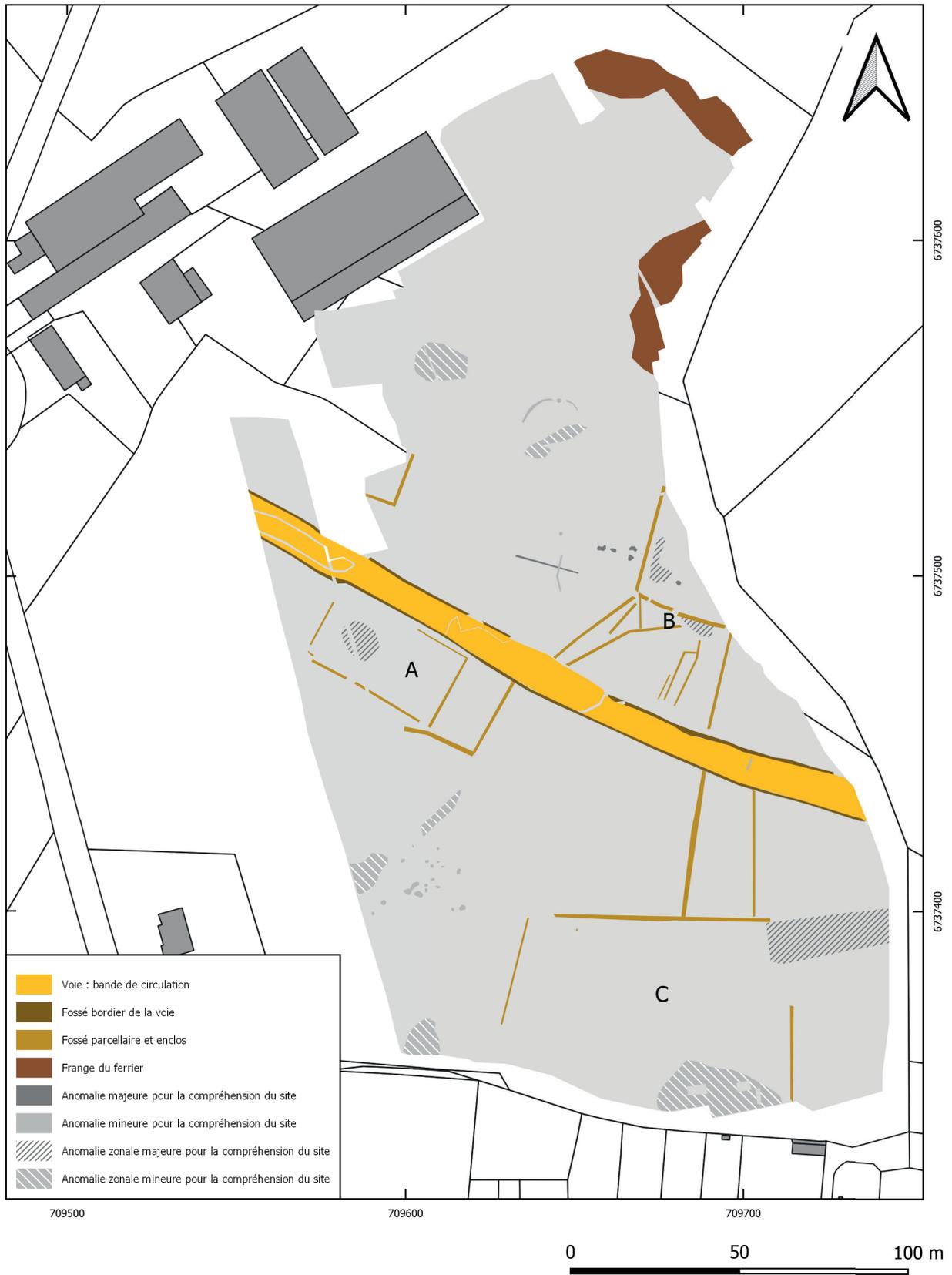


Figure n°16. Plan de restitution archéologique du site (St. Venault)



Figure n°17. Localisation de l'emprise prospectée sur le cadastre de 1842 : section B5 des Mussots (source : <https://archivesenligne.yonne.fr/>) (St. Venault)

2.1.3 Etude céramologique (S. Mouton-Venault)

Le lot prospecté correspond à une sélection de 110 éléments de formes jugés significatifs (une série de fonds, bords et quelques panses– décorées ou de grande taille– ainsi qu’une anse, deux boutons de couvercles et deux pieds de marmite). Aucune indication de localisation précise n’est mentionnée. Un ensemble de tessons avait été « isolé » comme remarquable et marqués d’un R, par le prospecteur. Lors de notre expertise, nous les avons individualisés, de 1 à ∞ (le numéro d’individu est complété par l’année du rapport, 2021). Cette première sélection, réalisée par l’inventeur a été complétée par quelques isolations de marqueurs significatifs. L’ensemble de ces isolations est identifié dans le tableau (fig. 19) et figuré dans une planche synthétique (Fig. 20), au travers des formes types, identifiées à Entrains-sur-Nohain (ou dans la typologie d’Autun, la Genetoye, pour l’amphorisque). Seuls les deux fragments de sigillée du Centre Gaule à motif figuré correspondent à un cliché présenté à l’échelle 1:2 des tessons prospectés. A l’instar du reste du mobilier prospecté à Toucy (Rapport de PCR 2019 : Mouton-Venault *in* Berranger *et al.* 2019), le mobilier de Tannerre s’inscrit dans un faciès de consommation qui correspond à celui identifié pour le secteur d’Entrains-sur Nohain (Venault *et al.* 2015, p. 458-483, disponible en ligne : <https://agglocene.huma-num.fr>) et plus largement au bassin médian de la Loire (Mouton-Venault *et al.* 2015, Chambon, Joly, Mouton-Venault 2014). Les marqueurs chronologiques issus du grand commerce sont les sigillées du Centre pour les IIe et IIIe s. et les sigillées d’Argonne et les céramiques à revêtement argileux de Jaulges et Villiers-Vineux pour les IIIe, IVe s.

| Identification et arguments chronologiques | N° iso | Fourchette chronologique |
|--|----------------|--------------------------|
| Un fond de jatte Drag. 37 | R.3 (2021) | IIe |
| Une panse de jatte de type Drag. 37 (phase 6) poinçon n°4070, p.498 (Rogers 1999). TPQ 150/160 | R.1 (2021) | IIIB |
| Une panse de type Drag. 37 (phase 4 ? non grésé) TPQ 100/110 | R.2 (2021) | IIa |
| Un fond de gobelet (atelier de Jaulges-et-Villiers-Vineux) TPQ 220 | R.5 (2021) | III-IVA |
| Une panse de gobelet Nied.33 (atelier de Jaulges-et-Villiers-Vineux), de grand module. TPQ 220 | R.4 (2021) | IIIe |
| Un fond de gobelet du type Ch.335 | R.6 (2021) | Ive |
| Une amphorisque du type AUT. GEN Div.1 | R.7 (2021) | Id-IIe |
| Une panse de Dr. 20 (Huile de bétique) | R.8 (2021) | I-IIIa-c |
| Un bord de cruche du type ESN Cr3 (70-120 ap. J-C) | R.9 (2021) | Id-IIA |
| Un bord de cruche du type ESN Cr6 (220-260 ap. J-C) | R.10 (2021) | IIIe |
| Un bord de cruche du type ESN Cr7 (220-260 ap. J-C) | R.11 (2021) | IIIe |
| Un bord de bouilloire en pâte grise | R.12 (2021) | II-IIIe |
| Un fond de pot brûlé | R.13 (2021) | - |
| Un fond de Ch. 323 ? (Jaulges et Villiers-Vineux) | R.14 (2021) | IIIB-IVA |
| Un bord de gobelet à lèvres verticale (AUT Go3) | R.15 (2021) | 100-160 |
| Un bord de gobelet L.331 (AUT Go1) | R.16 (2021) | 60-160 |
| Fond percé (réutilisé) | R.17 (2021) | - |
| TCA une tuile à crochet ? (médiéval ?) | - | médiéval |

Figure n°19. Tableau présentant les individus isolés (sac d’isolations conservé dans la caisse) et les arguments chronologiques associés.

Commentaire du tableau : On note des éléments de la période 3 d’Entrains-sur-Nohain, datée entre les années 70 et 120 ap. J-C (Cruche ESN Cr3, Pot ESN Po3, Drag. 37 de la phase 4, non grésée) et des éléments de la période 6 : 220-260 ap. J-C- (Cruche ESN Cr6, Cr7 et CR8, Gobelet ESN. Go2, Gobelet Nied.33 etc...). Plus rarement, on relève la présence de marqueurs de la fin du III^e s et du IV^e s. dont un fond probable de Ch. 323, un fond de Gobelet Ch.335.

Enfin, La présence d’une amphorisque est peut-être une découverte anecdotique mais mérite d’être soulignée. Ce type d’objet, dont l’interprétation reste en suspens, a longtemps été interprété comme un bouchon d’amphore. Il a récemment fait l’objet d’une attention particulière à la suite d’un article (Joly, Curria 2016) signalant leur présence au sein du sanctuaire de la Genetoye (Autun). Les ateliers attenants, installés à la périphérie du sanctuaire, ont produit ces

objets probablement à destination du sanctuaire (Alix *et al.* 2021). Ils sont par ailleurs recensés au sein de contextes considérés comme votifs à Grand (Dub 2016). Un exemplaire découvert dans le Rhône a donné lieu à une publication récente (Garnier *et al.* 2020) suite à une analyse de contenu, mettant en lumière un produit médicamenteux. Si la fonction de ces vases reste difficile à saisir, leur usage en contexte domestique ou comme bouchon d'amphore semble pouvoir être écartée.

Dans le cadre de notre expertise, proposer un décompte précis (permettant un calcul du NMI) n'apparaît pas pertinent, tant la sélection nous paraît aléatoire. En effet, si le lot semble dominé de prime abord par les cruches, cette remarque, fondée sur la reconnaissance des bords se trouve contredite par les fonds, appartenant essentiellement à des pots en commune sombre. Enfin, le mode de constitution du lot ne permet pas de remarques générales sur la nature de l'occupation mais livre quelques données sur la chronologie d'occupation. Cette dernière est concentrée entre la fin du 1^{er} s. ap. J-C et le IIIe s., voire pour quelques rares éléments, du IVe s.

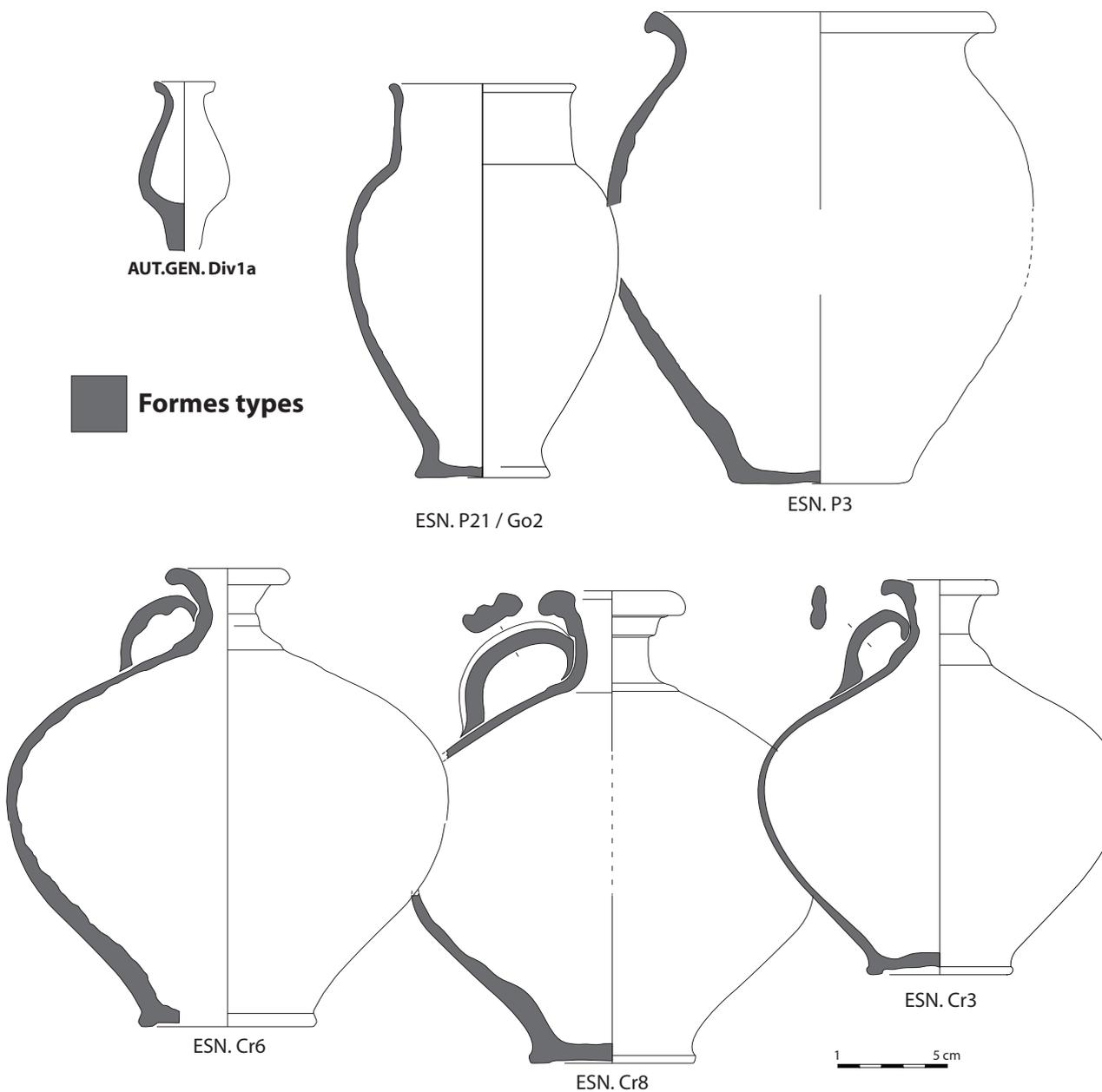


Figure n°20. Dessins des formes types retrouvées et identifiées au sein du lot prospecté, attestés uniquement par des éléments de bords. Les n° 1-2 correspondent aux exemplaires prospectés, figurés à l'échelle 1 :2. Ils s'agit de productions sigillées du Centre Gaule. (S. Mouton-Venault).

2.2. Une voie et des traces d'occupation à Toucy, « La Cour Batonnerie » (89)

2.2.1. Rapport de prospection géophysique (B. Fores)

Contexte

Une prospection magnétique a été mise en œuvre à Toucy, sur le lieu-dit « La cour Batonnerie », afin de rechercher des traces d'occupations à proximité d'un atelier de réduction. Le site présente de très nombreuses scories en surface, repérées en prospection pédestre et constatées également lors de notre passage. Un chemin a été repéré en vue aérienne et des traces d'occupation ont été relevés par J-P. Pietak.

La prospection magnétique a eu lieu, respectivement pour les parties au nord (parcelles 281/282) et au sud (parcelles 48/49/50) de la route départementale. Au total, 2,45 hectares ont été prospectés par méthode magnétique. Une prospection électrique complémentaire a ensuite été réalisée dans un deuxième temps sur une surface de 3600 m² afin de confirmer une série d'anomalies observées lors de la prospection magnétique.

Méthodologie

- Méthode magnétique

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 (Trimble R4S 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 en un chariot qui supporte cinq sondes de mesure et qui est poussé devant l'utilisateur (fig. 21).

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 Toucy, les conditions d'acquisition étaient bonnes, avec un terrain très praticable (chaume de blé au nord, pré au sud) à l'exception de la parcelle bordant le sud de la route qui était labourée (fig. 22) et qui n'a pu qu'être partiellement prospectée.



Figure n°21. Système d'acquisition magnétique à 5 sondes (MXPDA – Sensys) poussé devant l'opérateur.

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 15 cm de côté en utilisant la méthode d'interpolation *Multilevel B-spline*. 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 plus 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.

- Méthode électrique

Principe

La méthode électrique permet de mesurer la résistivité électrique des sols, paramètre qui traduit leur capacité à s'opposer au passage d'un courant. Les mesures sont effectuées en injectant un courant dans le sol par l'intermédiaire de deux électrodes dites d'injection et en mesurant la différence de potentiel générée à travers deux autres électrodes dites de potentiel. Il est alors possible de calculer la résistivité électrique et, par la multiplication des mesures, de cartographier des variations de résistivité du proche sous-sol qui peuvent être le reflet de variations d'origine naturelle ou archéologique.

Champ au nord de la route, vue depuis l'ouest



Champ retourné bordant le sud de la route, vue depuis l'ouest



Champ sud, vue depuis le nord



Figure n°22. Photos des conditions de terrain.

Pour la cartographie de résistivité électrique, la méthode pôle-pôle (une électrode d'injection et une électrode de mesure du potentiel à l'infini) est préconisée car il s'agit d'un dispositif d'électrodes présentant une bonne sensibilité aux contrastes horizontaux de résistivité, contrastes les plus communs en archéologie (fossés, fosses, et murs constituent des variations horizontales de résistivité).



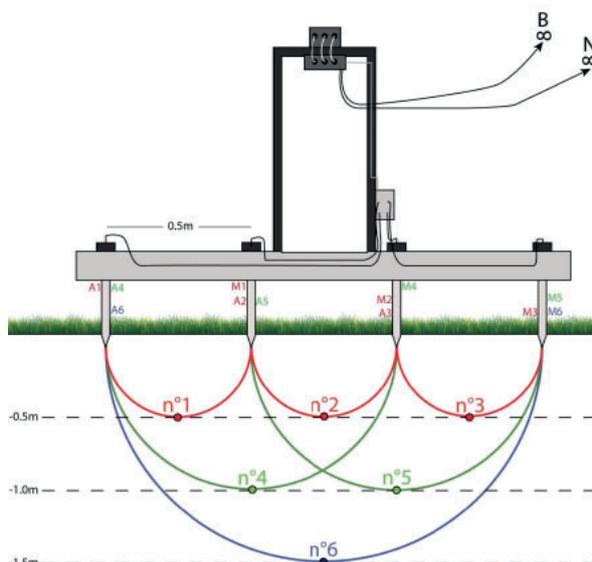
Figure n°23. Photo du RM85, système de mesure de la résistivité.

Acquisition

L'appareil utilisé est un résistivimètre RM85 (fig. 24) développé par Geoscan Research. 6 électrodes sont espacées de 50 cm sur une barre de support de 1,5 m, et l'appareil est planté tous les mètres dans le sens des profils. En interrogeant les différentes paires d'électrodes présentes sur le porteur il est possible de mesurer la résistivité intégrée sur différentes épaisseurs de sol. Il s'agit d'une résistivité « apparente », sorte de moyenne de la résistivité du volume investiguée. Ainsi, les trois écartements possibles à 0,5, 1 et 1,5 m permettent d'avoir trois profondeurs d'investigation sensiblement égales à l'écartement (fig. 25). On obtient ainsi 3 cartes de résistivité en un seul passage. La densité de points n'étant, bien sûr, pas la même: la carte à 0.5 m, la plus superficielle, possède un maillage 3 fois plus dense que celle à 1,5 m et deux fois plus que celle à 1 m.

Une grille de 60 x 60 m (3600 m²) choisie à partir des mesures magnétiques, a ainsi été prospectée. La grille a été géoréférencée à l'aide d'un GNSS centimétrique Trimble R4S avec correction du réseau Teria.

Figure n°24. Schéma du RM85, détaillant la série de mesures et leurs positions à chaque déplacement de l'instrument.



Traitement

Les données brutes ont été traitées avec le plugin AGT sous QGIS (développement Inrap). Les données ont été interpolées selon une maille carrée de 25 cm de côté en utilisant la méthode d'interpolation *Multilevel B-spline*. L'ensemble des données et interprétations a été géoréférencé dans le système de coordonnées Lambert 93.

Résultats

L'emprise des prospections magnétiques (2,45 ha) et électriques (3600 m²) sont présentées en fig. 25. L'ensemble des mesures de la différence verticale du champ magnétique terrestre est présenté en fig. 27 et l'interprétation en est donnée en fig. 27. Les mesures de résistivité pour des espacements d'électrodes de 50 cm et 1 m sont présentées sur la fig. 29, aux côtés des mesures magnétiques. Les mesures obtenues pour un espacement de 1,5 m se sont révélées très bruitées et ne sont pas présentées. L'interprétation de la cartographie électrique est donnée en fig. 28.

Le site présente une très forte réponse magnétique, en accord avec la présence de scories distribuées sur toute la zone : la carte d'anomalies présente ainsi les différences magnétiques bornées entre -100 et 100 nT, ce qui est très fort pour des différences verticales mesurées sur 65 cm comme avec cet instrument. Sur le site de Toucy, 89 % des valeurs se situent entre -50 et 50 nT et 72% entre -25 et 25 nT. Sur le second site métallurgique de l'étude, à Tannerre (chap. 2.1.), 97 % des valeurs se situent entre -25 et 25 nT. Dans un contexte moins magnétique et sans histoire métallurgique, il est commun d'avoir 95% des valeurs entre -5 et 5 nT.

- Anomalies liées à la voie visible sur les photos aériennes

Les anomalies les plus significatives sont les anomalies à contraste positif (structures plus aimantées que l'encaissant) A1 à A5 formant un ensemble linéaire traversant la zone du sud-ouest vers le nord-est. Le tracé de ces anomalies coïncide avec la voie détectée auparavant sur des photos aériennes. Au nord de la route, cette voie est interrompue par une très forte anomalie dipolaire d'origine indéterminée (A6), pouvant correspondre à une forte concentration de fer ou à un four.

Une autre anomalie linéaire (A7), à l'ouest de la prospection et sur la parcelle au nord de la route, présente une signature relativement similaire à la voie. Cette hypothèse peut donc être avancée pour cette anomalie. Celle-ci se poursuit potentiellement vers le sud (A8 et A9), toutefois l'impossibilité de prospecter la zone bordant le sud de la route ne permet pas de l'observer sur une distance suffisante et de l'affirmer avec certitude.

- Un potentiel bâtiment dans le pré sud

Dans le pré le plus au sud, des alignements d'anomalies fortes semblent former un ensemble cohérent avec une morphologie quadrangulaire. Ces ensembles atypiques d'anomalies ont défini l'implantation des mesures de résistivité électrique afin d'en affiner l'interprétation (fig. 28, 29, 30).

Tout comme sur la carte magnétique, l'effet des labours des années précédentes est visible sur la carte de résistivité électrique. Cette carte présente quelques anomalies linéaires et résistantes qui coïncident ou longent les anomalies magnétiques (fig. 29). Cela semble étayer l'hypothèse de vestiges construits de par leur caractère résistant. Il faut noter toutefois que l'anomalie linéaire la plus au nord s'aligne sur du parcellaire récent (photo de 1950-1965 semblant montrer un chemin ou un muret, fig. 30). De même, l'anomalie qui marque le côté ouest de cet ensemble semble également coïncider avec une limite dans le champ. Enfin, la voie traversant l'ensemble de la prospection magnétique est légèrement recoupée par la prospection électrique dans son angle nord-ouest. La voie est marquée par une anomalie résistante, et l'interruption entre les anomalies magnétiques A4 et A5 est également visible en électrique.

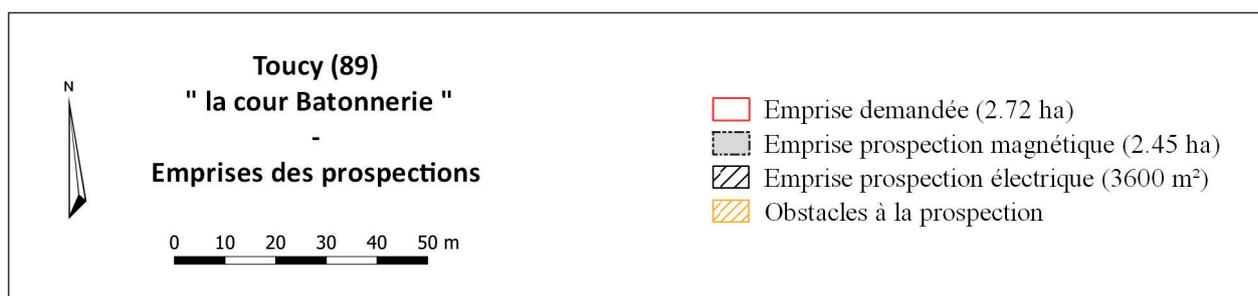


Figure n°25. Emprises des prospections magnétiques et électriques, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores)

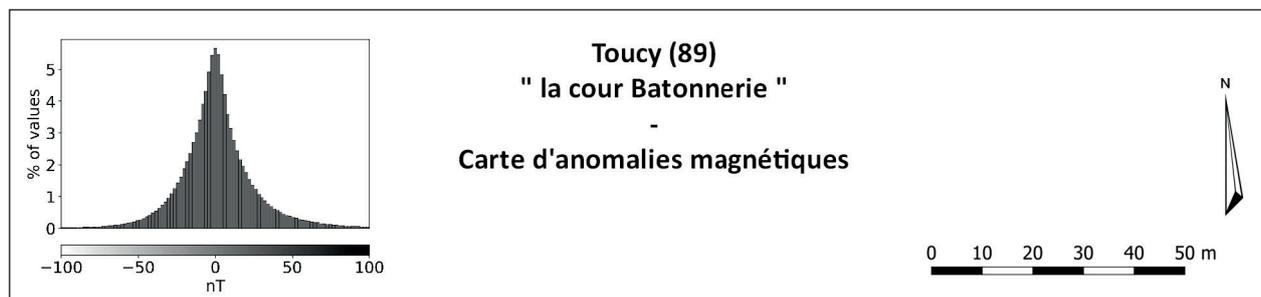
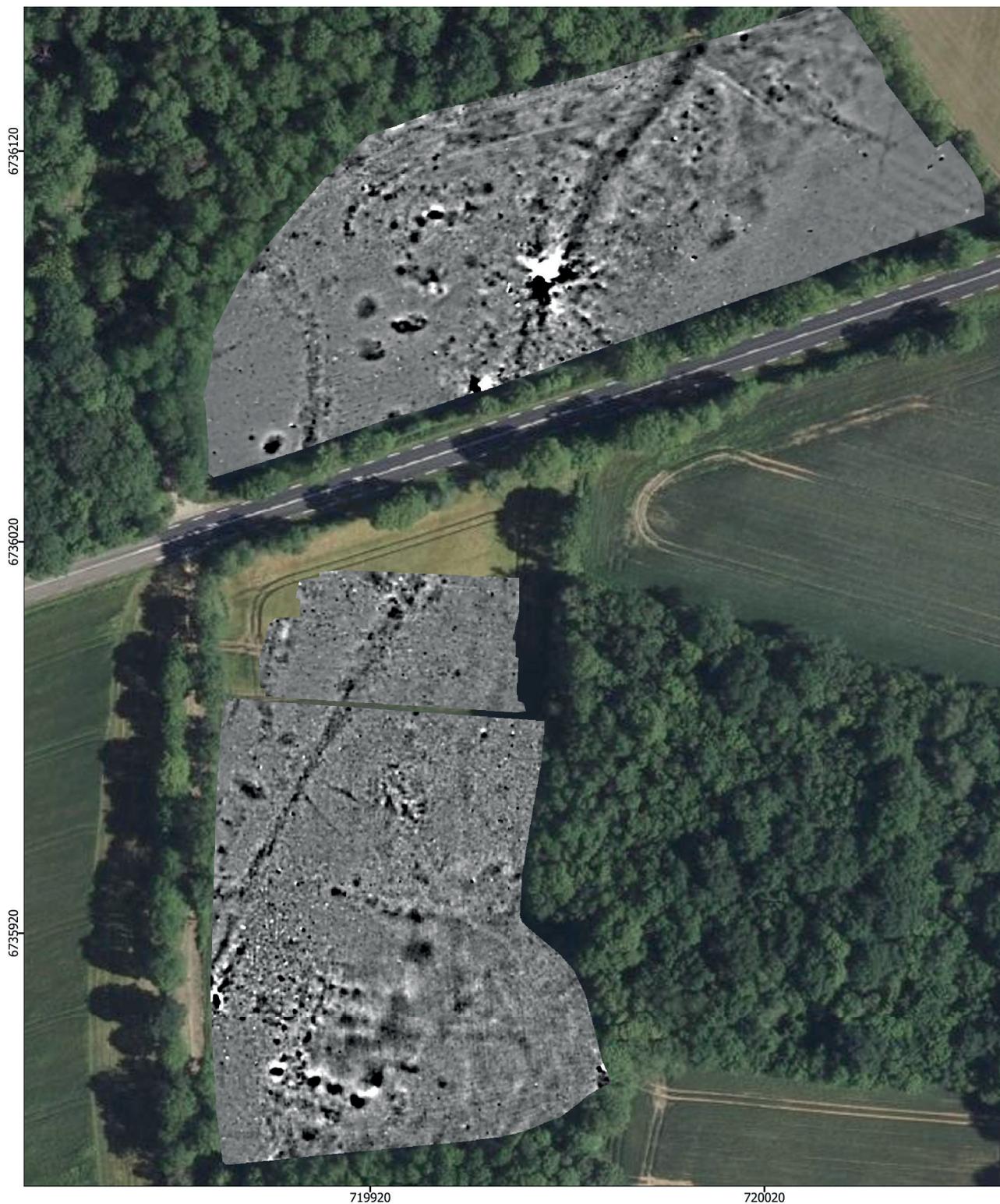


Figure n°26. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores)

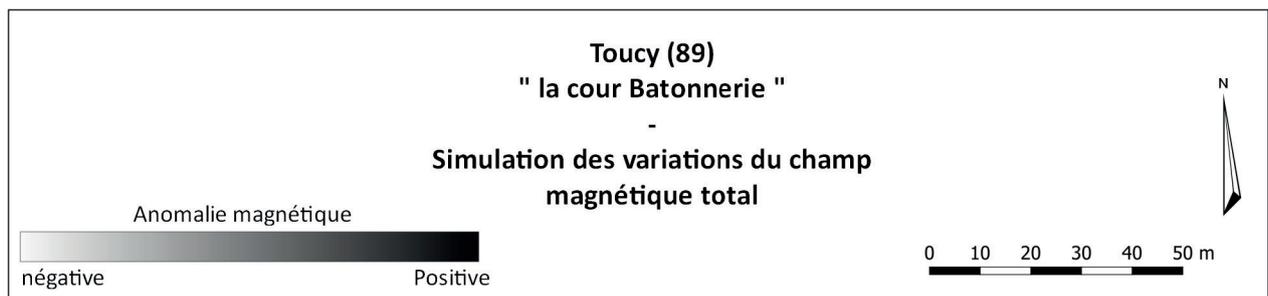


Figure n°27. Simulation du champ magnétique total sur orthophoto (données IGN) (B. Fores)

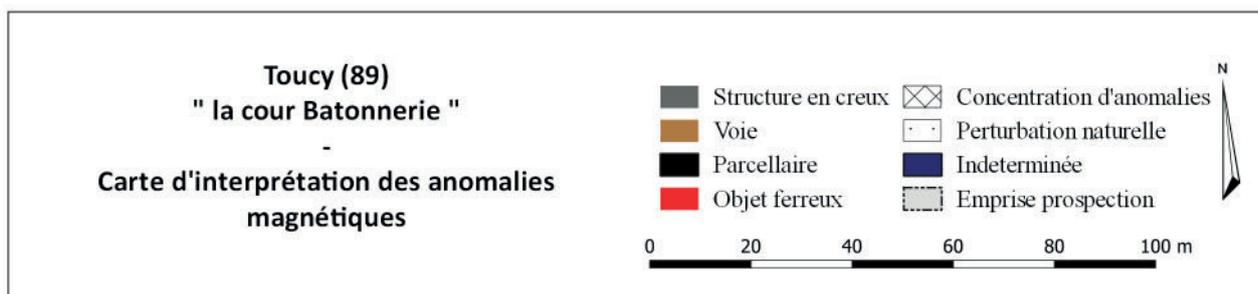
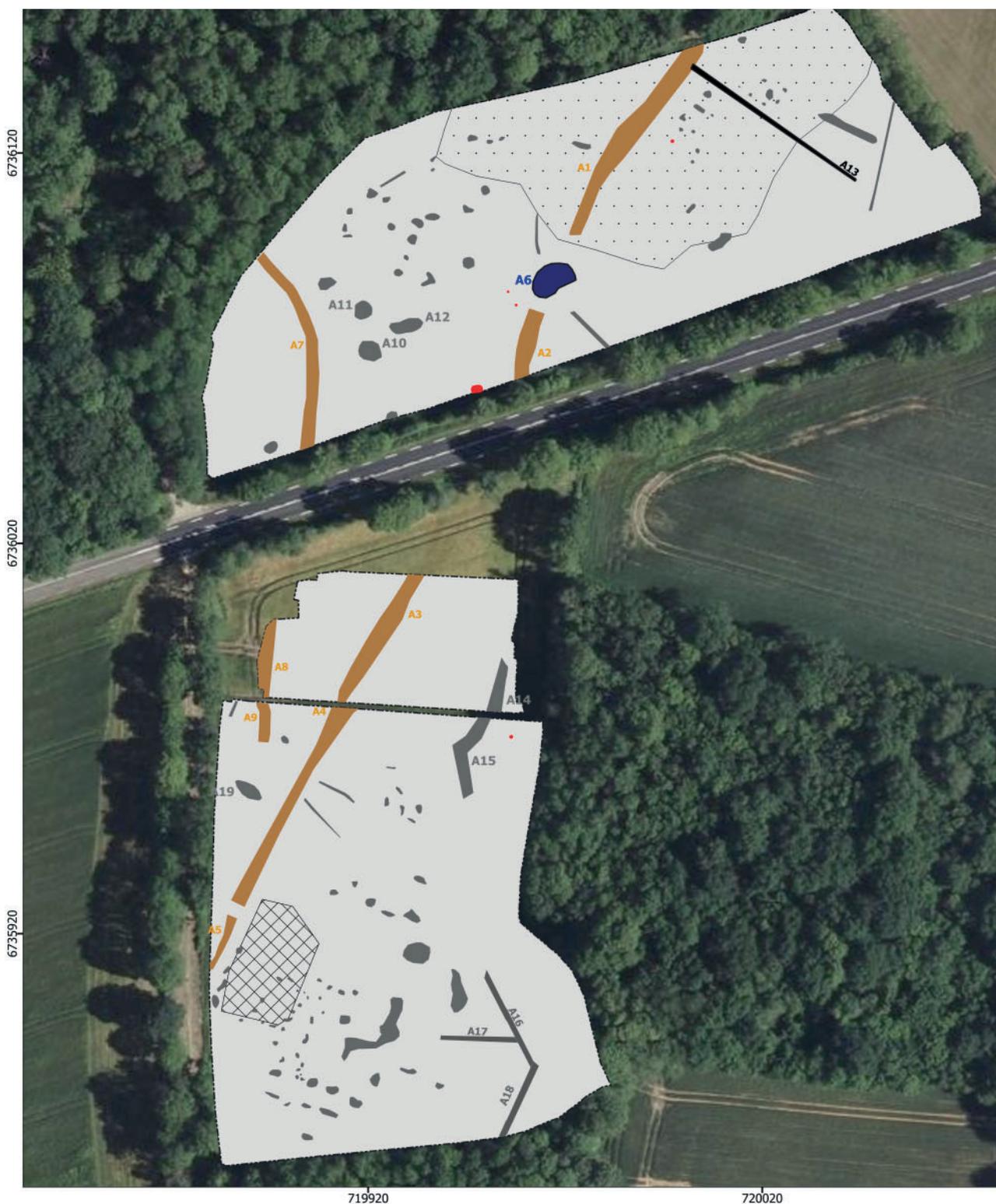


Figure n°28. Interprétation de la prospection magnétique avec anomalies numérotées, sur orthophoto (B. Fores)

- Autres anomalies magnétiques

Sur la parcelle nord, entre les deux potentielles voies, de nombreuses anomalies positives ponctuelles allant jusqu'à 5 m de diamètre (A10,11,12 et alentours), peuvent témoigner de fosses possiblement anthropiques et remplies d'un matériel plus aimanté que l'encaissant. A l'est dans cette parcelle nord, une anomalie négative marque une limite de parcelle récente (A13) visible sur les photos aériennes (1950-1965) de l'IGN. Toujours sur cette parcelle nord, une grande zone est perturbée mais potentiellement d'origine naturelle.

Sur la parcelle sud, des anomalies linéaires ou ponctuelles peuvent également marquer des fosses et fossés potentiellement anthropiques. Cependant ces anomalies sont relativement peu visibles dans ce fond magnétique très fort.

Conclusions

La cartographie magnétique présente à Toucy des variations extrêmement fortes, ce qui permet de repérer de nombreuses anomalies d'origine archéologique mais qui empêche potentiellement de voir les structures plus fines. La prospection magnétique appuie également l'hypothèse d'une voie observée sur photos aériennes. Enfin, au sud, un potentiel bâtiment est imagé par la cartographie magnétique, hypothèse appuyée par une cartographie électrique ciblée.

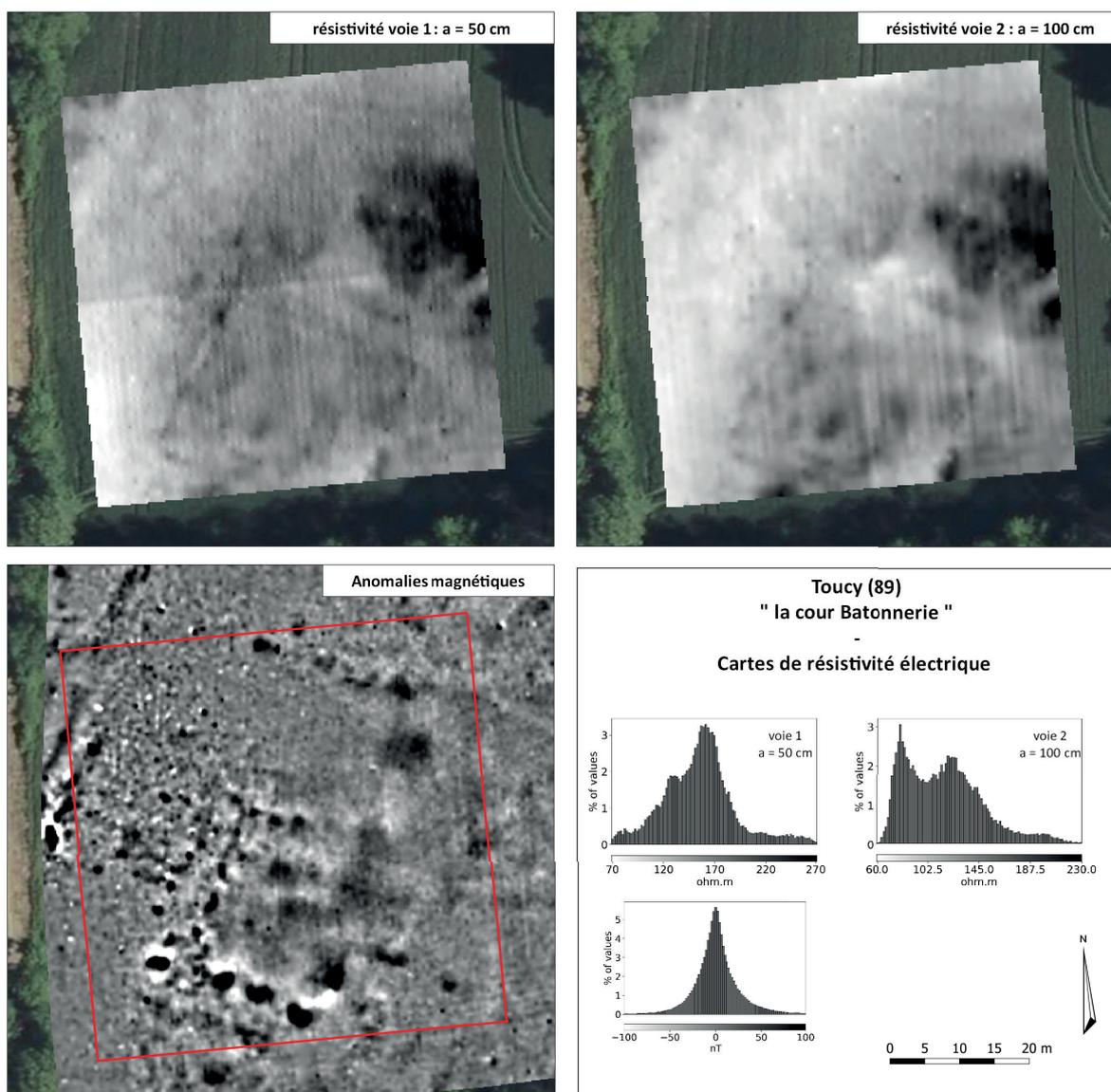


Figure n°29. Cartographie de la résistivité électrique pour des écartements de 0.5 et 1 m en dispositif pôle-pôle, et différence de la composante verticale du champ magnétique sur la même zone (données IGN) (B.Fores)

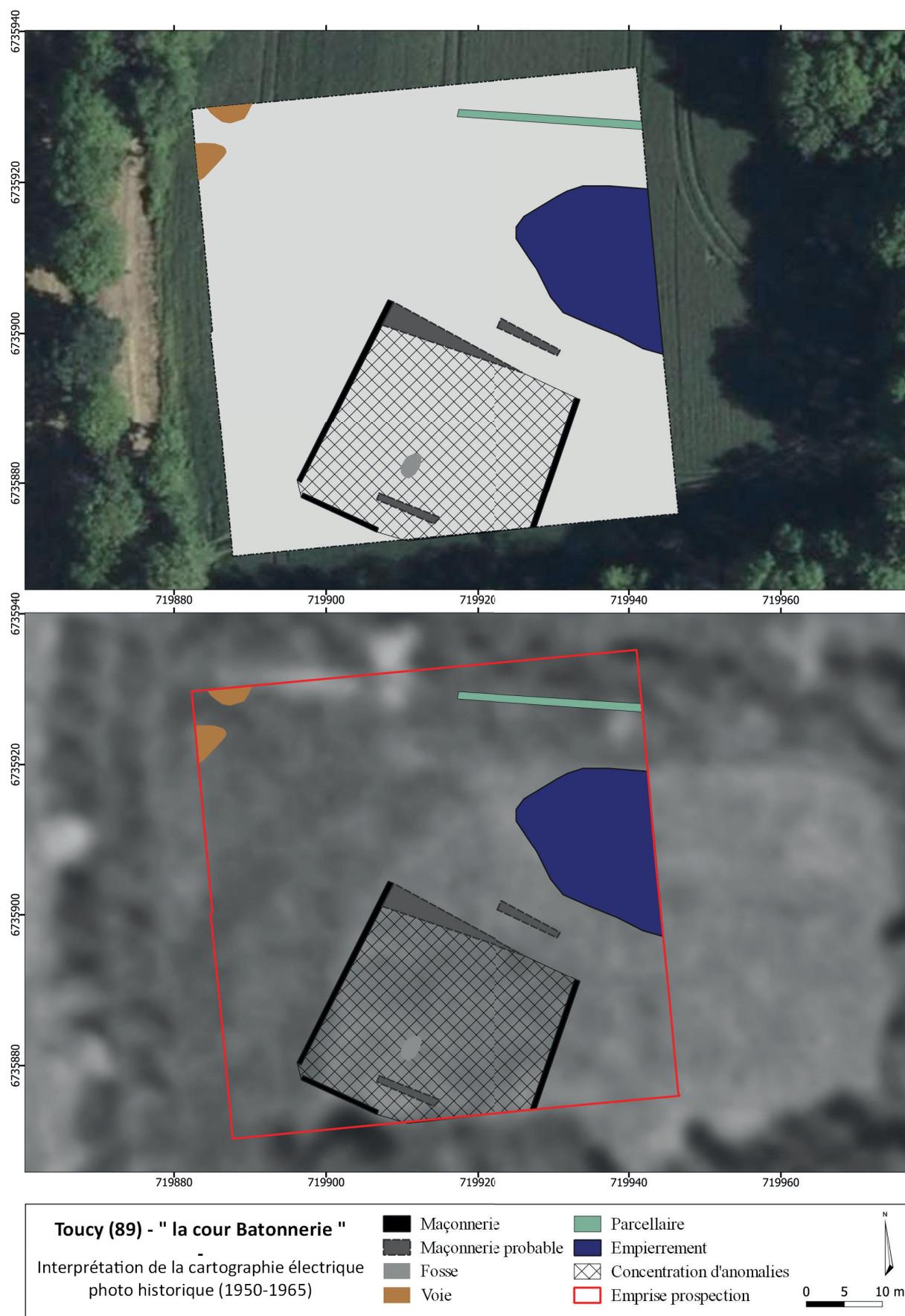


Figure n°31. En haut : interprétation de la cartographie électrique, sur orthophoto (données IGN) ; En bas : report de l'interprétation sur photo aérienne historique (1950-1965, données IGN) (B. Fores)

2.2.2. *Interprétation archéologique des résultats* (St. Venault)

A l'instar du cas de Tannerre, l'examen du site de Toucy se bornera cette année à un commentaire archéologique des résultats des prospections géophysiques, ce dossier devant être complété en 2022 par la production d'une notice et la cartographie des découvertes sur la commune. Située à 2 km à l'ouest de la ville de Toucy, la zone étudiée est traversée par la route départementale D965 de part et d'autre de laquelle ont été réalisées les détections géophysiques, chaque emprise prospectée couvrant une surface quasi équivalente d'environ 1,2 ha (fig. 32 à 35).

Le secteur en question est connu pour être traversé par deux anciens chemins visibles sur des vues aériennes, mais non répertoriés sur le cadastre napoléonien (fig. 36 et 37). Un des axes, que l'on qualifiera par commodité de principal, traverse les emprises en écharpe, alors que le second se devine à l'ouest décrivant un arc de cercle en direction du nord-ouest. Le site a par ailleurs fait partiellement l'objet de campagnes de ramassage de mobilier au sol conduites par J.-P. Piétak (Piétak 2000 et Mouton-Venault 2019).

La prospection géophysique s'est déroulée en deux étapes avec l'application de méthodes différentes. Une première opération a consisté à traiter la totalité de l'emprise par méthode magnétique. La détection d'anomalies apparentées à un imposant bâtiment au sud a justifié la mise en œuvre d'une exploration complémentaire mobilisant cette fois la méthode de mesure par résistivité électrique sur une surface de 3 500 m². La qualité des résultats obtenus est dans l'ensemble plutôt médiocre en raison du fort magnétisme des terrains (cf. rapport géophysique), la nature du sol ayant notamment généré des interférences sur une grande surface dans la parcelle au nord. Les anomalies sont donc bien souvent difficiles à caractériser. Quelques-une qui correspondent à des limites cadastrales actuelles ou à des traces repérables sur des orthophotos peuvent être exclues de l'analyse. C'est le cas de deux tracés rectilignes au nord-est et d'une suite de quelques anomalies ponctuelles au centre de la parcelle sud.

Le plan d'interprétation archéologique fait la synthèse des informations générées par les détections géophysiques et celles figurant sur les photos aériennes (fig. 38). Ce principe s'applique surtout aux axes de circulation dont le tracé est restitué d'après la combinaison de deux types de données.

La voie de circulation au nord qui traverse le site en oblique suit un axe rectiligne orientée NNE-SSO, le tronçon septentrional s'incurvant légèrement vers l'est. Nous ne saurions dire si la suite du tracé au nord se confond avec un chemin désigné sous l'appellation « ancien chemin de Mézilles à Toucy » sur le cadastre de 1838, tant les anomalies magnétiques que phytologiques renvoient une image floue du contour de la voie. Et exception faite d'une dilatation au franchissement de la route départementale, la mesure de la largeur de la bande de roulement est inégale, variant de 2,40 m à l'endroit le plus étroit à près de 6 m au plus large. Il est donc difficile de juger de la morphologie exacte de l'ouvrage en l'état, mais l'absence apparente de fossés bordiers tendrait à indiquer qu'il s'agit d'une voie de petit gabarit, les tronçons les plus larges pouvant résulter d'une dégradation ou d'un étalement des matériaux de revêtement. Le second axe de circulation, dont la largeur varie de 2,70 m à 4,5 m, suit un parcours sinueux. Les deux voies devaient se rencontrer en partie sud de l'emprise bien qu'aucune anomalie ne permette d'en attester.

Des structures se dispersent de part et d'autre de la voie principale par groupes de densité inégale. L'un d'eux, localisé au sud de l'emprise, se compose de plusieurs ensembles d'anomalies

différentes. Le plus remarquable de ces ensembles correspond très probablement aux vestiges d'une structure bâtie (A) dont le contour reste difficile à cerner malgré la mise en œuvre des deux méthodes de détection. En effet, les signaux obtenus qui se distinguent par leur morphologie (alignement d'anomalies ponctuelles mesurées par le magnétomètre, anomalies surfaciques et linéaires mesurées par le résistivimètre) ne permettent pas de dresser un plan précis des vestiges enfouis. Toutefois la superposition des résultats et leur lecture combinée autorisent une restitution approximative d'un quadrilatère de 29 x 24 m. Un examen plus attentif laisse deviner de possibles partitions internes et des aménagements latéraux.

C'est peut-être le cas de l'ensemble B qui se compose d'un alignement d'une quinzaine d'anomalies ponctuelles inscrites dans un rectangle de 12 x 8 m, sans que l'on puisse dire si ce dispositif est indépendant du précédent ou s'il en fait partie intégrante. Toujours en périphérie directe du potentiel bâtiment A, la méthode électrique a révélé une anomalie surfacique au contour irrégulier (D) qui est interprétée par les auteurs de la prospection comme une surface indurée. Vers l'ouest, s'étend une concentration dense d'anomalies sur une surface de 500 m² entre la voie et le bâtiment A. Toujours le long de la voie s'alignent quatre imposantes anomalies maculiformes (C). Enfin, à l'ouest, des anomalies magnétiques de faible intensité sont restituées sous la forme de segments jointifs, longs chacun d'une vingtaine de mètres, s'articulant selon des axes différents (E). Nous ne sommes pas en mesure de livrer une interprétation archéologique des ensembles C, D et E.

Entre le groupement sud et la route départementale, les anomalies sont rares et nous paraissent peu pertinentes à la compréhension du site. Il faut porter le regard vers l'emprise prospectée au nord de la route pour observer un autre ensemble d'anomalies susceptibles de correspondre à des vestiges contemporains de la voie (F). Il s'agit d'un groupe d'anomalies maculiformes de tailles et formes variées réparties sur environ 2000 m² à l'ouest de la voie principale. Leur distribution ne semble répondre à aucun ordre apparent même si quelques alignements peuvent se deviner. Quelques anomalies du même type s'éparpillent à l'est de la voie. Une anomalie dipolaire de forte intensité occupe l'axe de la voie (A6). L'interprétation proposée dans le compte rendu des prospections géophysiques consistant à l'assimiler à un four est peu probable étant donné sa situation. L'hypothèse de la perte d'un objet en fer apparaît de fait plus plausible.

La confrontation de la carte des prospections géophysiques à celle de la répartition du mobilier ramassé au sol ne révèle pas de corrélation directe entre les deux types de distribution, nonobstant les différences de superficies explorées (fig. 39). On remarque que les zones de concentration de mobilier s'échelonnent pour la plupart de part et d'autre de la voie principale à des endroits exempts d'anomalies.

Intérêt des résultats

L'étude de mobilier réalisée en 2019 avait confirmé l'ancrage chronologique centré sur les III^e et IV^e s. de n. è. (op. cit.). Les résultats obtenus cette année contribuent à mieux comprendre la structuration du site notamment grâce au nouvel éclairage porté sur le tracé des voies. On remarque toutefois la faible occurrence des anomalies susceptibles de se rapporter à des structures bâties comparativement aux résultats des prospections pédestres. Peut-être faut-il attribuer ces vides apparents à la nature de terrain qui tend à brouiller le signal, au nord notamment, ou encore au fond magnétique très fort, généré par l'omniprésence des scories, qui est susceptible de masquer des anomalies de plus faible intensité.

Quoi qu'il en soit, seules deux zones se détachent pouvant indiquer l'installation de structures relativement pérennes : au nord et au sud. Malheureusement la cartographie obtenue ne permet

pas une lecture détaillée des vestiges enfouis. Si les résultats obtenus grâce à la prospection géophysique confirment l'occupation du site à l'époque romaine, ils n'apportent toutefois pas toutes les réponses aux interrogations concernant la nature exacte des aménagements qui bordent la voie et surtout sur leur répartition. Il convient en effet de se poser la question de la validité des zones de vides, l'absence d'anomalies étant imputable à la nature du sol. Aussi il apparaît hasardeux de chercher à statuer définitivement sur la caractérisation de l'occupation en l'état des données, le site conservant à nos yeux un intérêt archéologique non négligeable. Ceci étant nous estimons avoir mis en œuvre les moyens suffisants à son exploration et compte tenu de la nature du sol, il serait sans doute abusif de vouloir poursuivre les investigations. Par ailleurs, le terrain étant cultivé, l'opportunité de pouvoir pratiquer des sondages de vérification apparaît mince. Aussi, à moins d'une découverte fortuite remarquable, préférons nous mettre un terme aux recherches de terrain sur ce site ainsi que sur les parcelles environnantes.

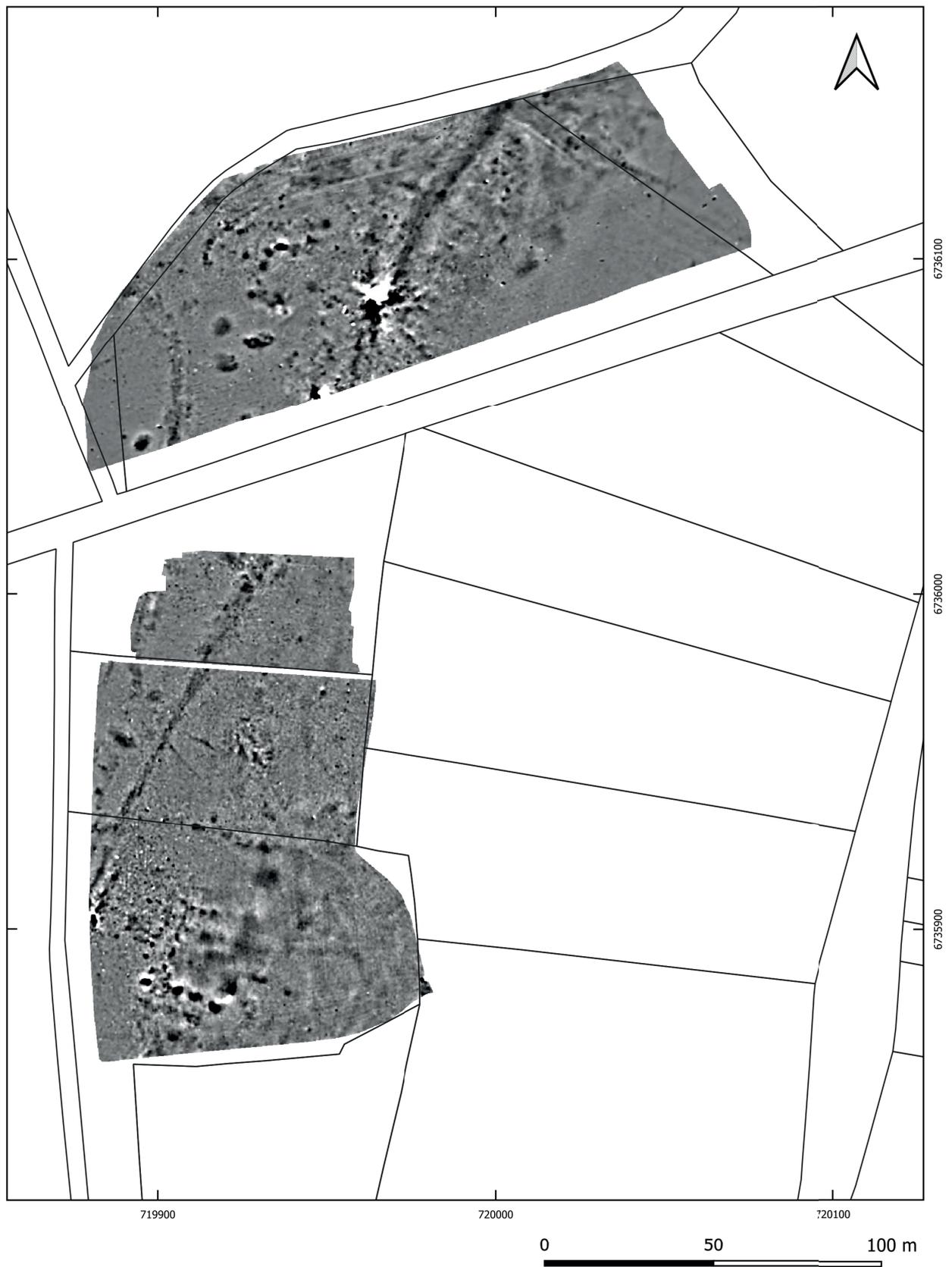


Figure n°32. Carte des anomalies magnétiques (source Benjamin Fores, Inrap) (St. Venault)



Figure n°33. Carte interprétative des anomalies magnétiques (St. Venault)



Figure n°34. Carte des anomalies électriques (source Benjamin Fores, Inrap) (St. Venault)

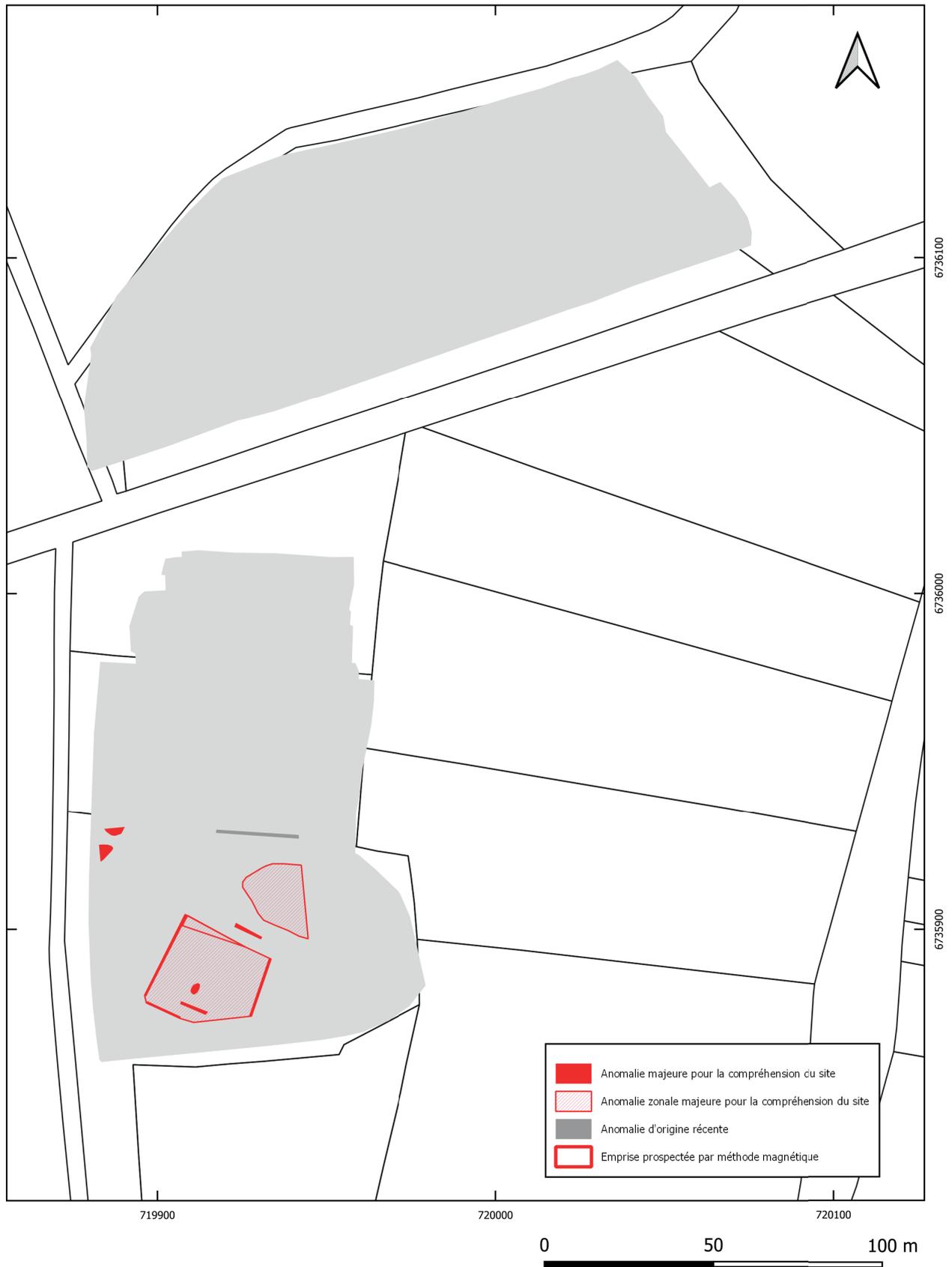


Figure n°35. Carte interprétative des anomalies électriques (St. Venault)



Figure n°36. Localisation de l'emprise prospectée sur le cadastre de 1838 : section H2 des Baillis et Fours et section G1 des Gauthiers (source : <https://archivesenligne.yonne.fr/>) (St. Venault)



Figure n°37. Vue aérienne du site montrant le tracé des voies (orthophotos 2014 source IGN) (St. Venault)



Figure n°38. Plan de restitution archéologique du site (St. Venault)



Figure n°39. Plan de localisation des concentrations de mobilier déterminée d'après les prospections pédestres (source J.-P. Piétak) (St. Venault)

2.3. Fouilles sur un amas de réduction protohistorique - Saint-Fargeau 40 «Bois de Bailly» (M. Berranger et M. Leroy, avec contributions de M. Herbrich)

2.3.1. 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. Un secteur de 4 km² est ainsi pris en compte (fig. 41), correspondant aux limites des parcelles communales du Bois de Bailly. 31 entités archéologiques ont été enregistrées, 21 de ces sites ont été datés par méthode radiocarbone (Berranger dir. 2020). Des sondages ponctuels, de moins de 1 m², ou plus extensifs menés à la pelle mécanique ont concerné 7 d'entre eux.

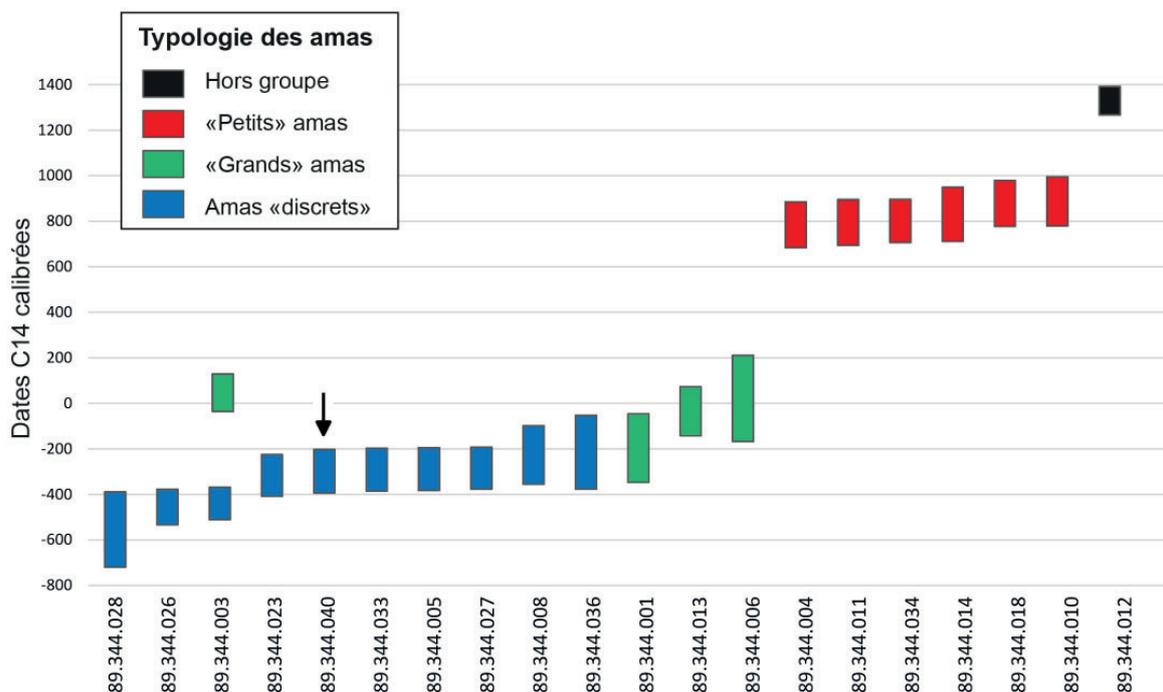
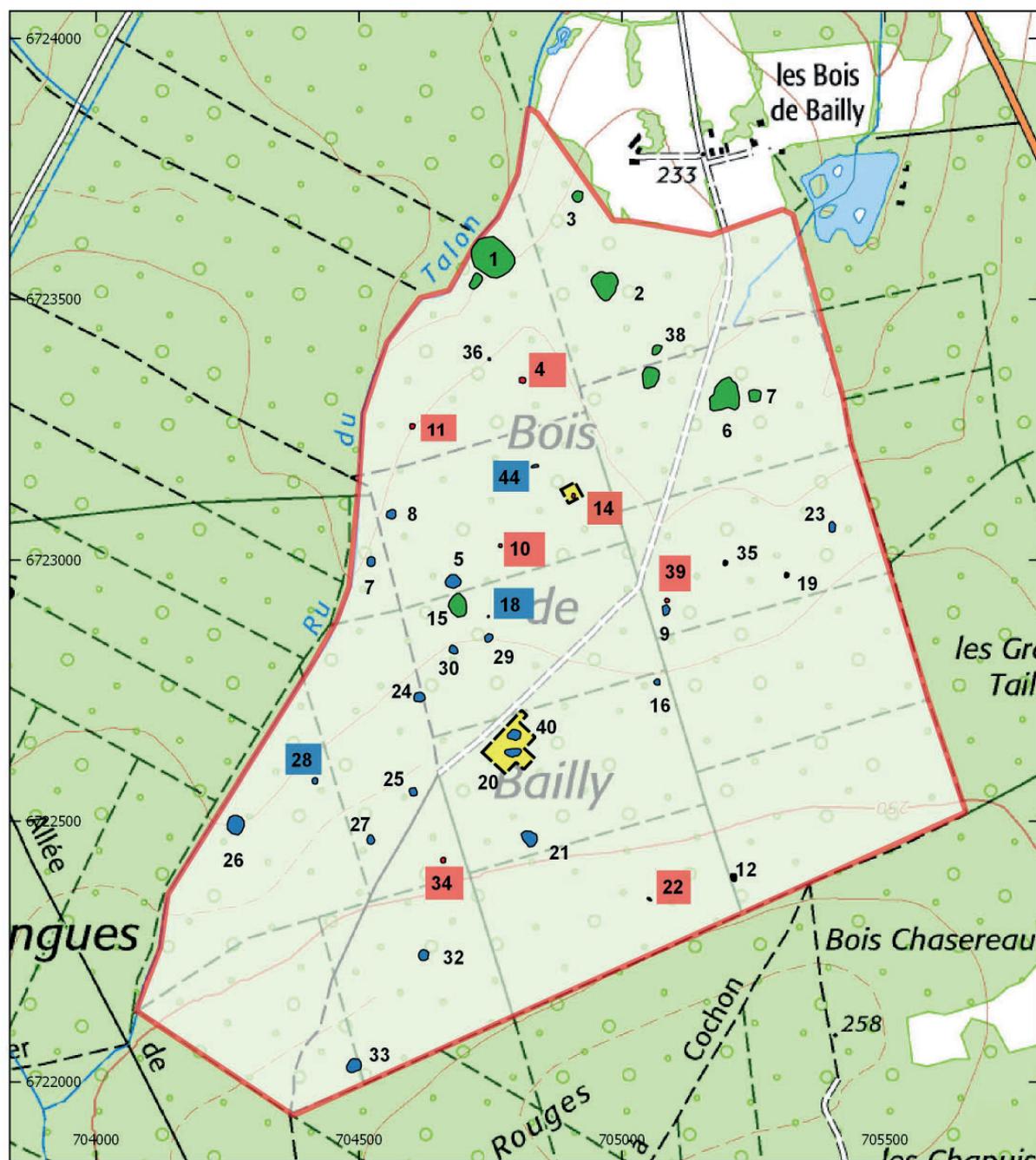


Figure n°40. Datations radiocarbone réalisées sur les amas de Saint-Fargeau "Bois de Bailly". La flèche designe le site sélectionné pour la fouille (M. Berranger).

Les résultats des datations radiocarbone mettent en évidence trois grandes phases chronologiques, distinctes et cohérentes pour l'exploitation sidérurgique (fig. 40). Les plus anciens indices de production sont à dater entre le VIII^e et le V^e s. av. n. è. Trois sites se situent dans cette fourchette chronologique. Le plus grand nombre d'amas est daté 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.



Saint-Fargeau 89.344

 Zone prospectée

Typologie des amas

 "Petits" amas

 "Grands" amas

 Amas "discrets"

 Prospections géophysiques 2020 et zones des fouilles 2021

0 200 400 m



Figure n°41. Saint Fargeau "Bois de Bailly", localisation des amas de scories prospectés, et localisation de la zone fouillée (M. Berranger).

Après avoir défini les bases de la chronologie de l'exploitation sidérurgique dans ce secteur, nous souhaitons dans le cadre de la nouvelle programmation triennale du PCR sidérurgie étudier un petit nombre de sites plus précisément. Dans ce secteur de Saint-Fargeau, étant donné le grand nombre d'amas attribué aux premiers temps du développement de la sidérurgie, il a été décidé d'entreprendre des fouilles sur l'un des amas appartenant à la période la mieux représentée (IVe-IIIe s. av. n.è.) et se rattachant au type discret. Le site n°40 dont un charbon prélevé dans un micro-sondage, en stratigraphie a été daté entre 398 et 208 Cal. BC a été sélectionné.

2.3.2. Problématiques de l'opération de fouilles 2021

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

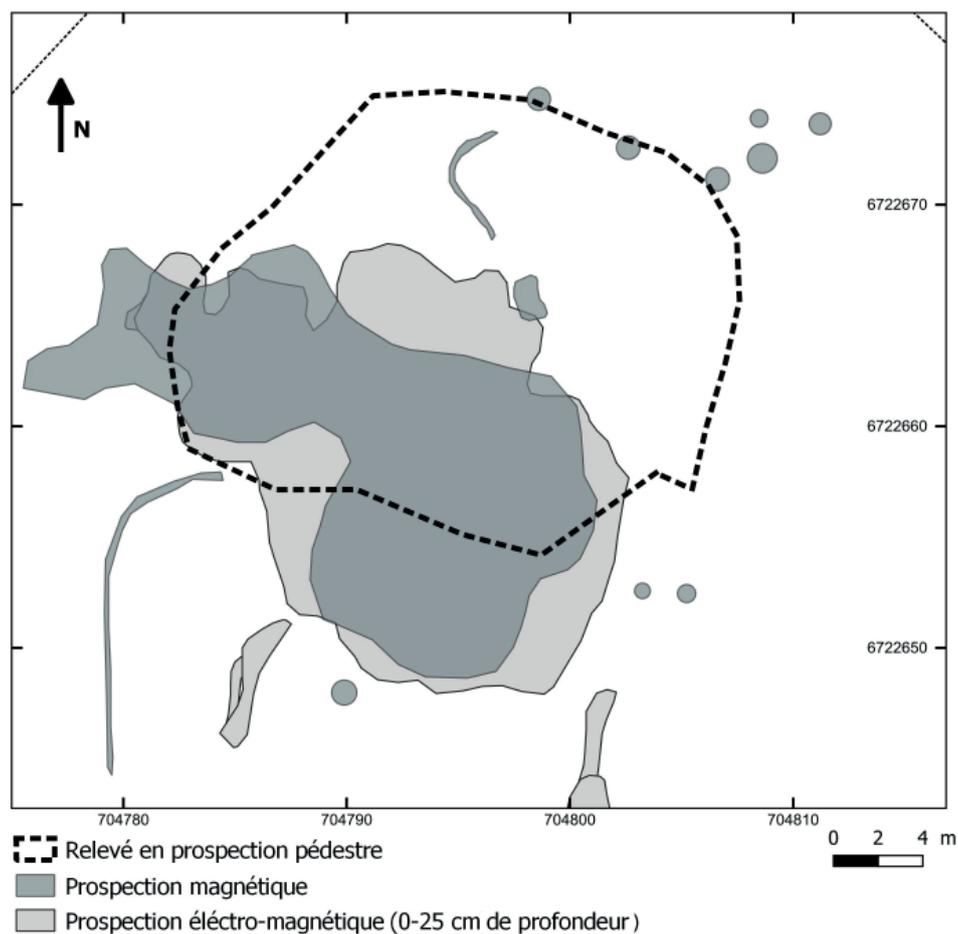


Figure n°42. Saint Fargeau, site 40. Comparaison entre les contours relevés en prospections pédestres et les relevés en prospections géophysiques (M. Berranger).

En 2020, des prospections géophysiques ont été réalisées afin de guider l'implantation des fenêtres de fouilles (Sanchez 2020). L'objectif était également de comparer l'extension de l'amas de déchets tel qu'il peut être perçu en prospections pédestres et par méthodes géophysiques, ainsi que d'aborder la question de la restitution en 3D du sous-sol. Il s'agissait enfin de déterminer s'il était possible de localiser les structures de chauffe avec ce type d'approche. L'approche a croisé prospection magnétique sur 6150 m² et électromagnétique sur une surface de 1950 m².

Un décalage planimétrique de quelques mètres est constaté entre les deux types de relevés, pédestres et géophysiques (fig. 42). Il s'explique par la moindre précision des relevés effectués au GPS de randonnée, durant les prospections pédestres, alors que les enregistrements géophysiques ont quant à eux été relevés au théodolite. Néanmoins, les principales anomalies géophysiques correspondent par leurs dimensions et leur emplacement aux concentrations de déchets identifiées en prospection.

Les prospections géophysiques ont également identifiées des anomalies ponctuelles autour de la zone de plus grande concentration de l'amas. L'interprétation de ces dernières était prioritaire dans le cadre des futures fouilles, afin de déterminer leur nature : anomalies géologiques, fosses de rejet, structures artisanales ? L'interprétation d'anomalies linéaires, correspondant éventuellement à des enclos restait également à préciser.

2.3.3. Méthodologie

Les fenêtres de fouilles.

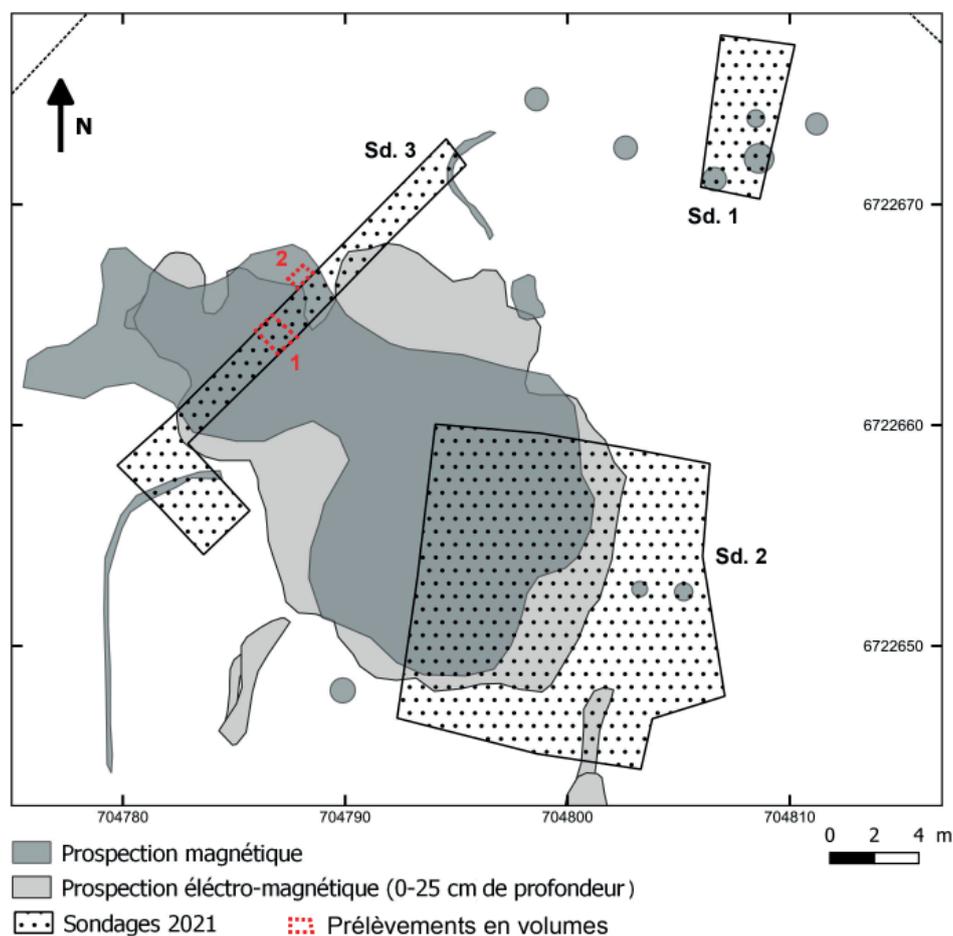


Figure n°43. Localisation des sondages sur les prospections géophysiques (M. Berranger).

Les fouilles archéologiques se sont déroulées du 16 au 27 août 2021. L'ouverture des sondages a été effectuée le premier jour au moyen d'une pelle mécanique de 15 tonnes, munie d'un godet lisse de 1,50 m de large de la société Rabourdin. La municipalité de Saint-Fargeau nous a apporté un soutien logistique tant sur le terrain que pour le lavage du mobilier, ce dont nous la remercions vivement.

Trois fenêtres de fouilles ont été ouvertes (fig. 43). Le sondage 1 correspond à une tranchée de 7 m de long implantée à l'emplacement des anomalies magnétiques ponctuelles. Le sondage 2, le plus grand, couvre une surface de 180 m². Son implantation est située en bordure sud-est de l'amas et recoupe plusieurs types d'anomalies ponctuelles et linéaires. Le sondage 3 correspond à une tranchée, de la largeur d'un godet de pelle mécanique, recoupant l'accumulation de déchets dans toute sa largeur. Elle mesure 22 m de long et a été ponctuellement élargie à l'une de ses extrémités. Les structures et niveaux archéologiques dégagés à la pelle mécanique ont été fouillés manuellement dans leur intégralité jusqu'au sol géologique.

Une fouille dédiée à la réalisation de calculs de volume a été réalisée en deux emplacements au sein du sondage 3, afin de déterminer la concentration de déchets au sein de l'amas (fig. 44). 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.



Figure n°44. Gauche : prélèvement volumique d'une banquette de fouille (demi-mètre cube). Droite : tamisage, tri et pesage des déchets issus du prélèvement (M. Herbrich).

Relevés topographiques et acquisitions photogrammétriques (Margaux Herbrich)

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 et des stations a été réalisée préalablement par le topographe Patrick Noguès (INRAP) avant la fouille. Les levés topographiques ont ensuite été réalisés durant la fouille en se basant sur 3 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. 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 archéométrallurgiques.

La couverture photographique a été réalisée avec un appareil Lumix DMC TZ 80. Trois structures ont fait l'objet d'une acquisition : une coupe du sondage 3 pour sa stratigraphie notable, le sondage 2 à son second état de décapage, la cuve du bas fourneau enregistré sous l'US 316. Pour permettre le géoréférencement des structures, des cibles photogrammétriques ont été placées au préalable. En laboratoire, une acquisition photogrammétrique a également été réalisée sur la scorie piégée la plus volumineuse trouvée à proximité du fourneau, après lavage.

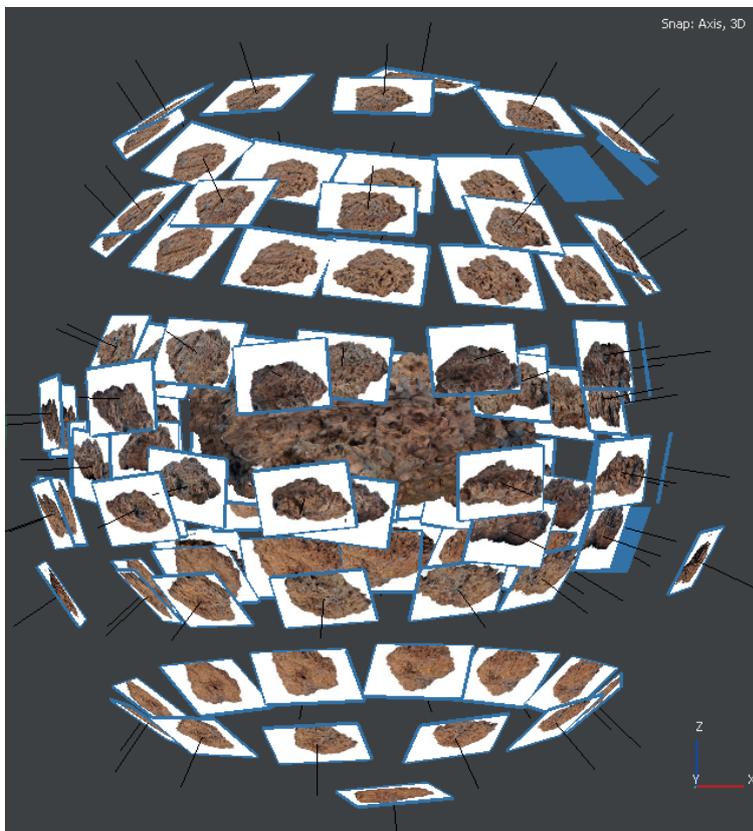


Figure n°45. Position des caméras relative au modèle 3D de la scorie piégée. Logiciel : Agisoft Metashape (M. Herbrich)

Les traitements photogrammétriques ont été réalisés avec le logiciel Agisoft Metashape (Professional Edition) sur un poste de travail mis à disposition à la MSHE Ledoux de Besançon (USR 3124). 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 photo (fig. 45).

Le nuage de points actuel est très épars car il correspond seulement aux points de liaisons qui ont été mis dans l'espace (fig. 46). 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.

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 a sa propre couleur échantillonnée depuis les photos. La qualité du modèle dépend du nombre de triangles créés pour faire le modèle. Peu de triangles induit peu de couleurs. 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 » (fig. 46).

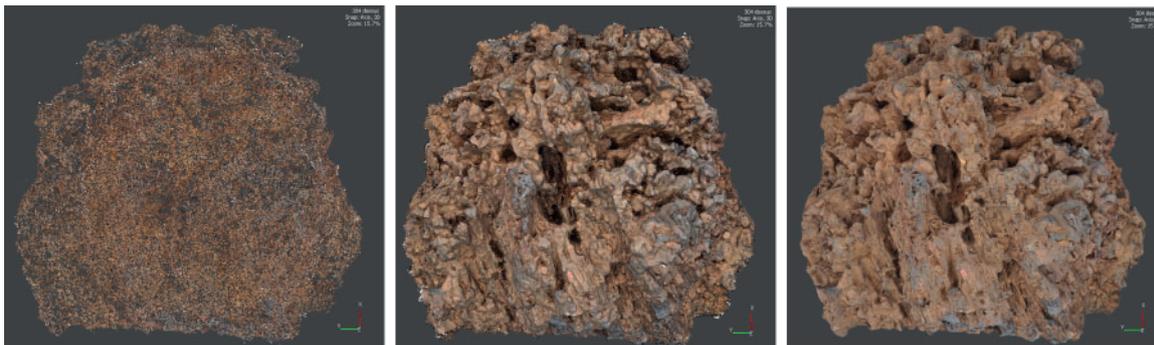


Figure n°46. Gauche : nuage épars ; milieu : nuage dense ; droite : modèle texturé. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich)

Une fois la création du modèle terminée, 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.

L'objectif initial de la création de modèle 3D des sondages était de pouvoir en tirer des orthophotographies afin d'avoir une base texturée pour l'analyse via CAO. La photogrammétrie des sondages n'a finalement pas été exploitée car les photographies aériennes se sont avérées d'une qualité supérieure dans cet objectif. Ainsi seuls les modèles de la cuve du bas fourneau et de la scorie piégée ont été exploités pour la prise de mesures.

2.3.4. Résultat par sondage

Sondage 1

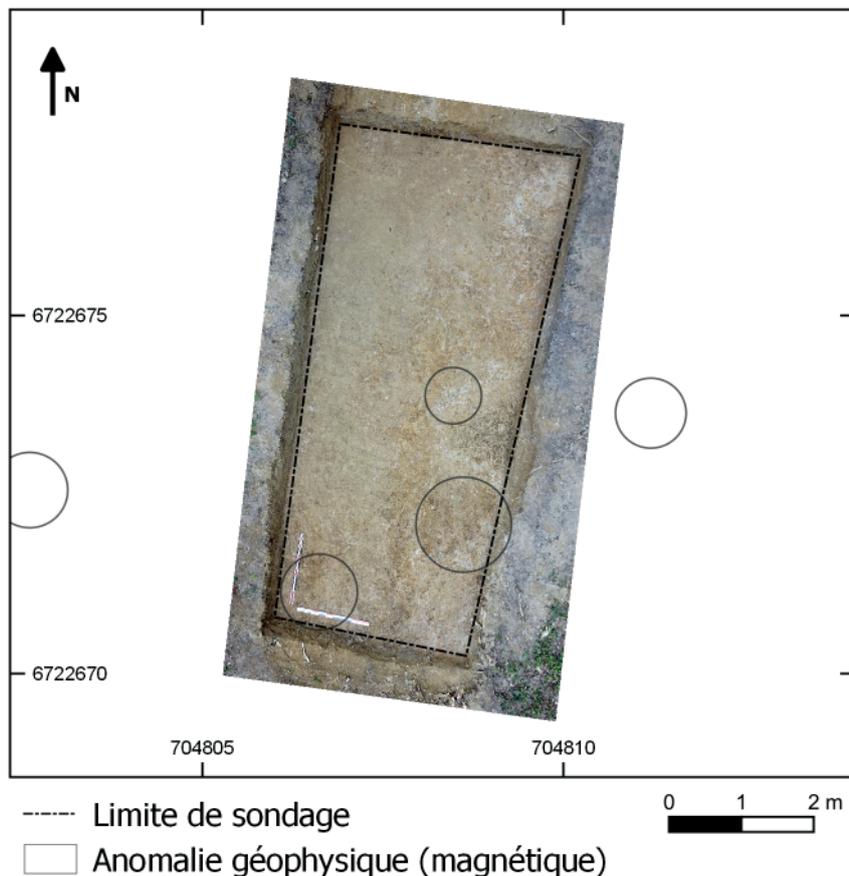


Figure n°47. Vue aérienne du sondage 1 (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger)



Le sondage 1 est une tranchée de 7 m de long, mesurant de 3,3 m à 2,7 m de large (fig. 47 et 48). L'implantation de ce sondage avait pour objectif de recouper des anomalies ponctuelles identifiées lors des prospections géophysiques (fig. 41). Il a été réalisé intégralement à la pelle mécanique sur environ 50 cm de profondeur. Après décapage de l'humus sur une épaisseur d'environ 10 à 20 cm, l'argile jaune à silex naturelle est immédiatement apparue.

Figure n°48. Vue du sondage 1, vers le sud (M. Berranger)

Elle a été légèrement surcreusée à la pelle mécanique mais aucune structure archéologique ni aucun artefact n'a été mis au jour.

Des variations dans le sol géologique ont cependant été observées, avec notamment des concentrations de pierres oxydées parfois dénommées «manganèse». Les anomalies géophysiques correspondent probablement à ces dernières.

Sondage 2 (M. Berranger)

Ce sondage est la plus grande fenêtre fouillée cette année. Elle correspond à un grand carré irrégulier d'environ 14 m de côté, pour une surface de 180 m² (fig. 50). Au nord, cette fenêtre de fouille correspond approximativement à la partie la plus épaisse de l'amas (fig. 51), tandis qu'au sud l'ouverture du sondage a été poursuivie jusqu'au-delà de la concentration de déchets, en sur-creusant légèrement le terrain naturel. L'enlèvement des couches archéologiques a été effectué au moyen d'une pelle mécanique. Le décapage a été interrompu dès l'apparition de concentrations de déchets, c'est à dire après enlèvement de la couche d'humus, sur une épaisseur comprise entre une vingtaine de centimètres au sud, et une dizaine au nord. A cet emplacement le niveau archéologique est plus épais et l'épaisseur de recouvrement plus fine. La fouille de l'ensemble des niveaux archéologiques a été poursuivie manuellement jusqu'au terrain géologique situé à une profondeur maximale de 40 cm sous le sol forestier.

Le niveau technique de décapage (US 201) correspond au sol humifère, ainsi qu'à un niveau de recouvrement limono-argileux jaune d'épaisseur irrégulière. Il n'a pas fait l'objet d'un prélèvement systématique des déchets : contrairement aux autres US la masse globale des déchets n'est donc pas connue.

Le décapage mécanique a été arrêté sur des concentrations de déchets intégrant des fragments de scories ou de parois de fours mesurant pour certains plusieurs dizaines de centimètres. La fréquence de ces fragments est plus grande au sein d'une couche de couleur brun-rouge, limono-argileuse (US 202) occupant le tiers nord-ouest du sondage et mesurant environ 7 m sur 9 m.

A moins d'un mètre au sud, une autre poche (US 203) de limon brun-orangé concentre des fragments de parois et scories. Elle mesure près de 3 m sur 1,3 m. Il s'agit d'une accumulation de déchets ne dépassant pas 10 cm d'épaisseur. Reposant directement sur le sol géologique, elle comble une faible dépression naturelle (fig. 49).



Figure n°49. US203 : vue en plan et en coupe (M. Berranger).

Au sud et à l'est le décapage a été mené jusqu'au sol naturel, sans rencontrer de concentrations significatives en déchets. Dans ces secteurs les limites de l'amas sont donc bien cernées. Deux tâches (204, 205) de sédiments gris aux contours irréguliers, dépourvues de déchets et riches en racines sont identifiées dans le sol naturel (fig. 50). Elles correspondraient à des chablis et n'ont donc pas été davantage étudiées. Bien que légèrement décalées vers le sud, elles pourraient correspondre aux emplacements d'anomalies ponctuelles identifiées en prospection magnétique.

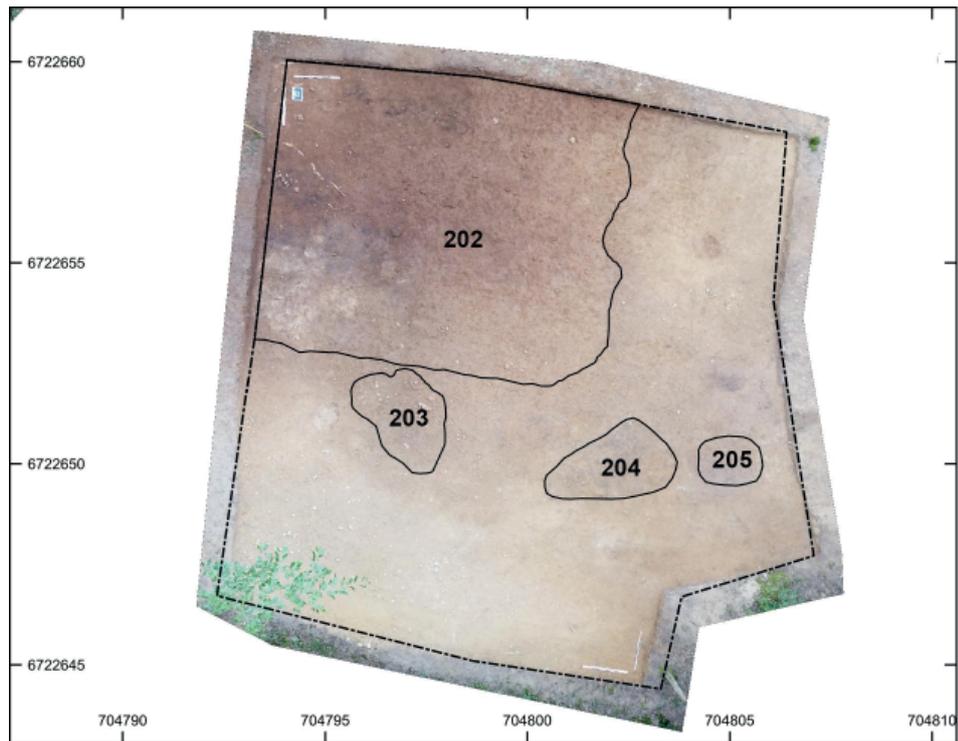


Figure n°50. Sondage 2. Plan des structures mises au jour sous le niveau de décapage (cliché M. Herbrich-DAO sous QGIS : M. Berranger)

- Banquette de fouille
- Limite de sondage
- Zone détruite par des racines
- Limites d'US

0 1 2 m



Figure n°51. Sondage 2. Vue générale de l'US 202 vers le nord-ouest, après décapage (M. Berranger)

Figure n°52. Sondage 2. Etat 2a (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger)

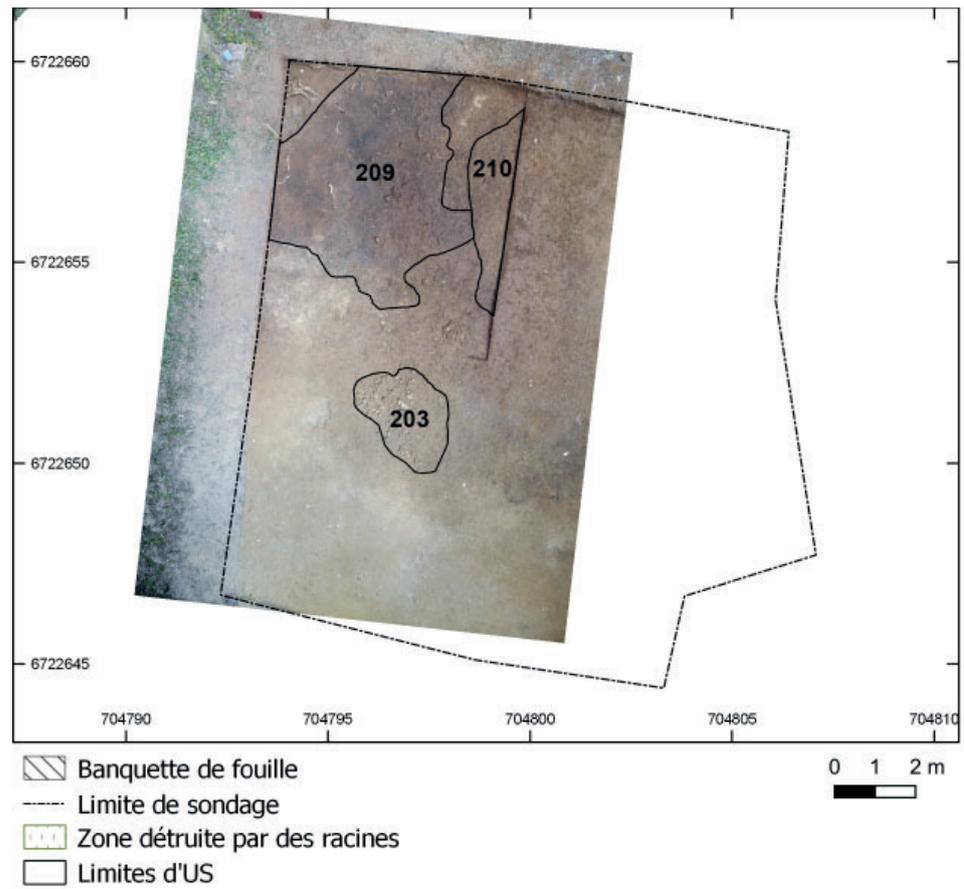


Figure n°53. Vue de l'US 209 vers le sud-ouest (M. Berranger)

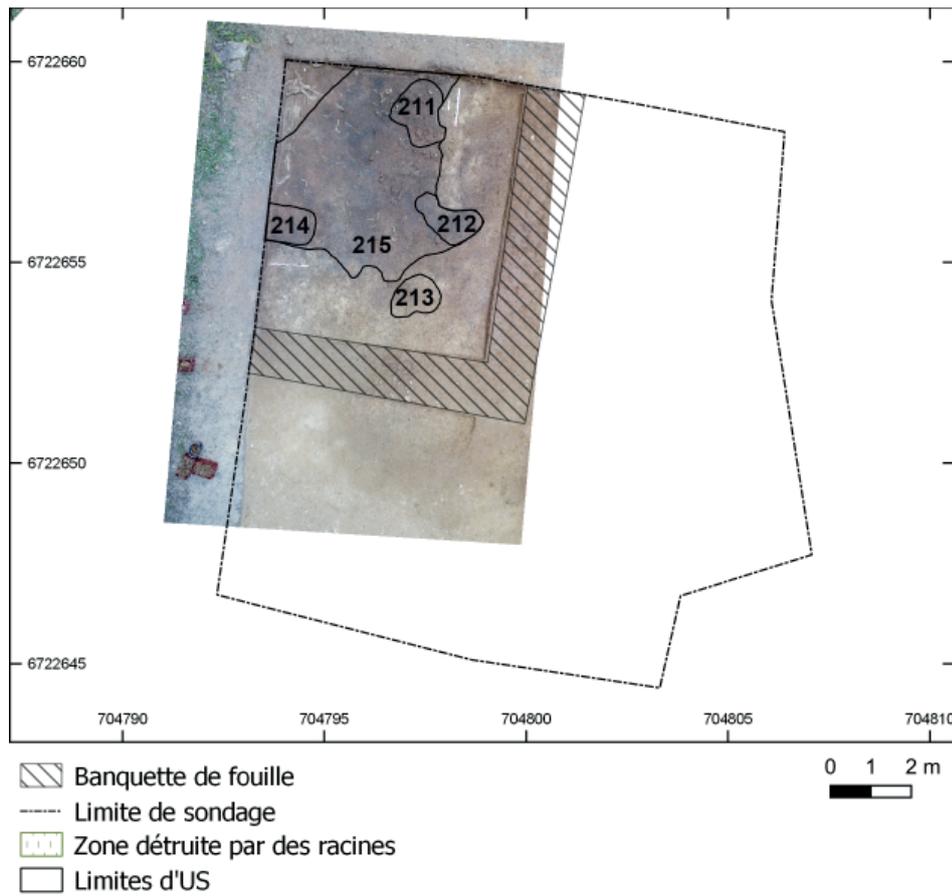


Figure n°55. Vue de l'US 215 vers le sud-est (M. Berranger)

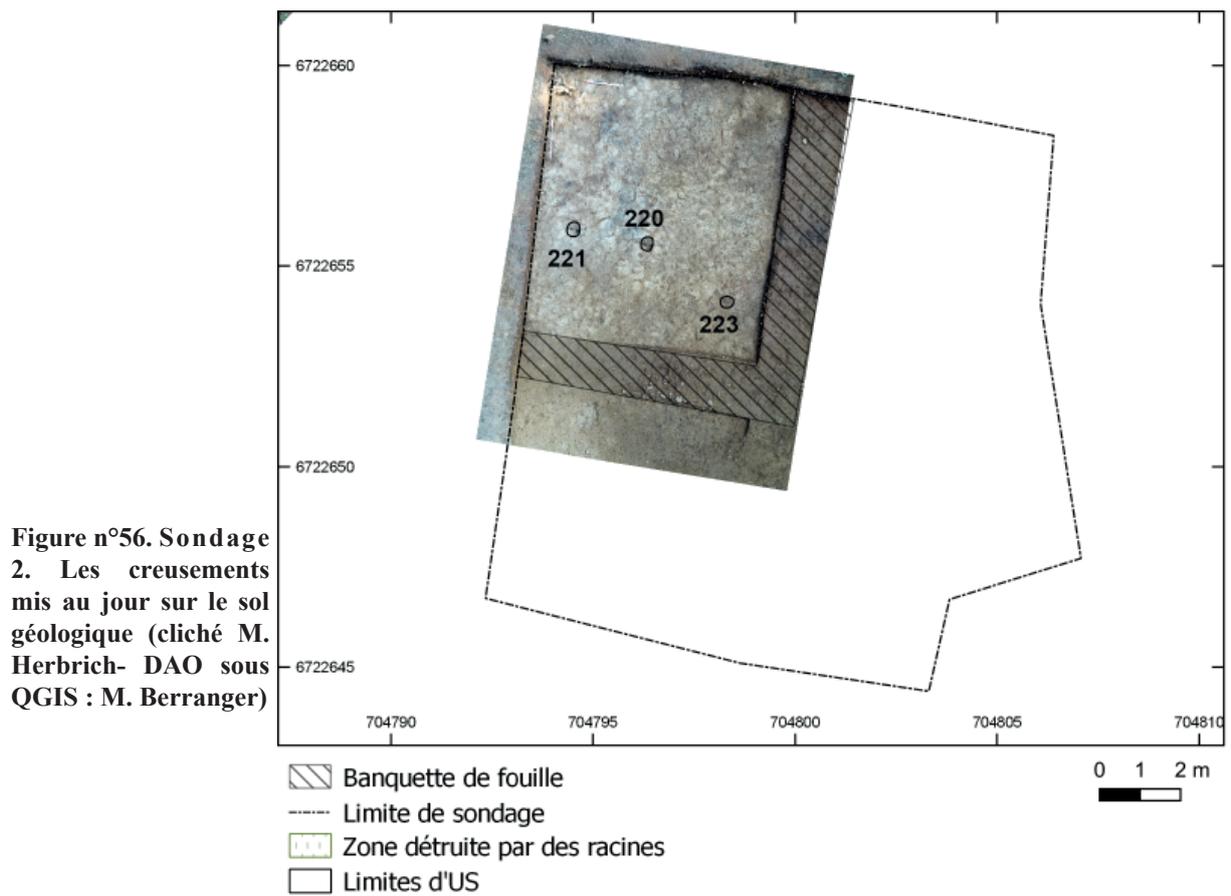


Figure n°57. Sondage 2. Vue vers le nord, des creusements mis au jour sur le sol naturel (M. Berranger).

La partie sommitale de l'amas (US202), a été fouillée manuellement en réservant une berme sur les côtés est et sud. Elle est constituée d'une accumulation de déchets pluri-décimétriques, inorganisés, et répartis en concentrations inégales. Les déchets sont emballés dans un sédiment de limon brun-orangé peu compact. Il s'agit d'une couche hétérogène aux limites difficiles à suivre. L'épaisseur de cette couche est comprise entre une vingtaine de centimètres dans sa partie la plus épaisse, au nord, et une dizaine de centimètre dans ses bordures sud et est, qui correspondent aux zones où l'amas disparaît. La relation stratigraphique avec le sol géologique n'est pas très claire dans ces zones périphériques. A l'est, il semble que l'amas repose sur un espace légèrement sur-creusé dans le sol géologique. Il pourrait en être de même au sud, mais la transition entre les deux couches est peu visible. Si cette observation se confirmait cela signifierait que l'espace de travail s'implante dans un espace aménagé.

Les US sommitales 202, ainsi que 203 correspondent aux couches de rejets de déchets proprement dites. En effet, elles livrent les plus grandes concentrations de déchets : 597,8 kg de scories et fragments de parois ont été collectées dans ces seuls niveaux (soit 70% de la masse de déchets collectés dans ce sondage).

Le niveau de rejet 202 repose sur un sol (US 209) de dureté inégale, très hétérogène, par endroit très compact (fig. 59-60). Il s'agit d'une couche marbrée rouge et noire, comprenant des inclusions de charbon, minerais et scories à l'origine de ces différences de couleurs (fig. 54-55). Les zones rouges correspondent ainsi à des concentrations de minerais en poudre et les poches noires sont tachées de charbon. En épaisseur il s'agit d'une couche très irrégulière, pouvant être très fine, voire quasi-absente localement. En coupe elle est observée sur une épaisseur maximale de 5 cm. Elle correspondrait à des lambeaux très compacts de sols de différentes natures. La partie supérieure de ce sol, plus riche en déchets, correspond ainsi à l'US 209, tandis que la partie inférieure correspond à l'US 215 (fig. 54-55). Il s'agit davantage d'US techniques correspondant à la fouille d'un millefeuille plutôt que de niveaux bien différenciés. Il faut noter que l'angle nord-ouest est détruit par une concentration racinaire. Un autre lambeau de sol de 3 à 4 centimètres d'épaisseur (US 210), très peu riche en déchets est identifié à l'est du sondage. Il s'agit d'un limon brun-rouge incluant des fragments de parois et de scories centimétriques. Plus rouge, moins noire que 209 et 215, elle constitue cependant la suite de ce niveau de sol discontinu et hétérogène.



Figure n°58. Gauche : US214, concentrant de la poudre de minerai. Droite : US212 poche de déchets sur le sol naturel (M. Berranger)

Différentes concentrations de mobilier ont été individualisées lors de la deuxième passe de fouille, correspondant au sommet de l'US 215 (fig. 58). Certaines de ces poches étaient plus

riches en scories (US211-212-213), d'autres en grains de minerais (US214). Elles ont été fouillées individuellement, cependant les contours de ces différents types de concentrations sont diffus, et ne permettent pas d'individualiser des structures réellement différentes. Ces éléments paraissent plutôt constituer un millefeuille de niveaux hétérogènes partiellement imbriqués les uns dans les autres et accumulés au cours du fonctionnement de l'atelier (sols ou couches de rejet). Il n'est pas possible d'identifier une structuration particulière de l'espace. Cependant la présence de minerais en poudre évoque le stockage ou la préparation du minerai. Le sol taché de charbon renvoie au stockage, à la préparation ou à l'utilisation du charbon de bois.

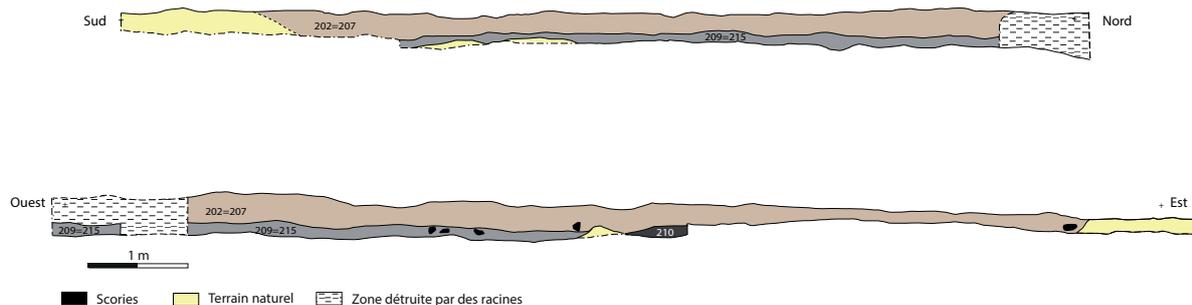


Figure n°59. Coupes stratigraphiques nord-sud et est-ouest du sondage 2 (relevé : F. Magar, L. Belhade. DAO : M. Berranger)



Figure n°60. Vues des coupes stratigraphiques du sondage 2. Haut : sud-nord, bas : est-ouest (M. Berranger).

Le sol 215 reposait directement sur le niveau géologique. Plusieurs lambeaux inférieurs de ce sol (US216-217) ont été individualisés alors qu'ils correspondaient seulement au comblement de légères irrégularités dans le sol naturel.

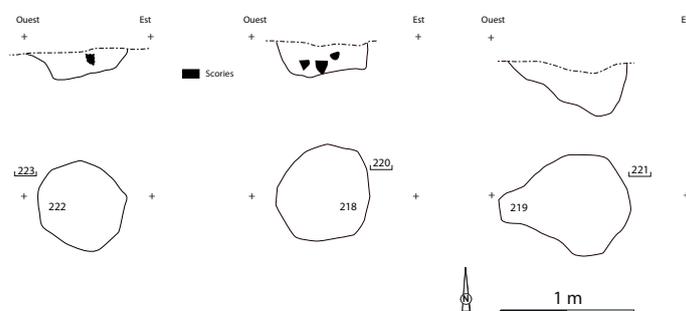


Figure n°61. Relevés des creusements mis au jour sur le sol naturel du sondage 2 (relevé S. Savès, DAO : M. Berranger)

Trois creusements sub-circulaires (US 220, 221 et 223), d'une vingtaine de centimètres de diamètre pour une dizaine de centimètres de profondeur étaient visibles dans le sol naturel, sans

que l'on ait pu déterminer à quel niveau ils ont été creusés (fig. 56). Ils étaient comblés par un limon-argileux noir à rouge, plus ou moins riche en charbon et en déchets, comparable par sa nature au sol 215-209. Il est donc possible que ces creusements aient été effectués à partir de la surface de ce sol. Leur faible profondeur apparente, tout comme leur faible diamètre permettrait de les identifier comme les bases d'ancrage d'éléments légers (fig. 61). Ils ne dessinent aucun plan régulier qui pourrait évoquer l'emplacement d'un bâtiment (fig. 57).

Sondage 3

Le sondage 3 correspond à une longue tranchée de 22 m de long sur environ 1,50 m de large implantée de manière à traverser la concentration de déchets dans toute sa largeur (fig. 62). Le décapage a été mené jusque sur le terrain naturel. Les couches archéologiques ont donc été enlevées mécaniquement de manière à appréhender la stratigraphie de l'amas sur toute son épaisseur. Lors du décapage une banquette de sédiment concentrant une grosse scorie piégée a été préservée et a été fouillée manuellement. Elle a permis de réaliser la première étude de concentration volumique des déchets sur un demi-mètre carré.

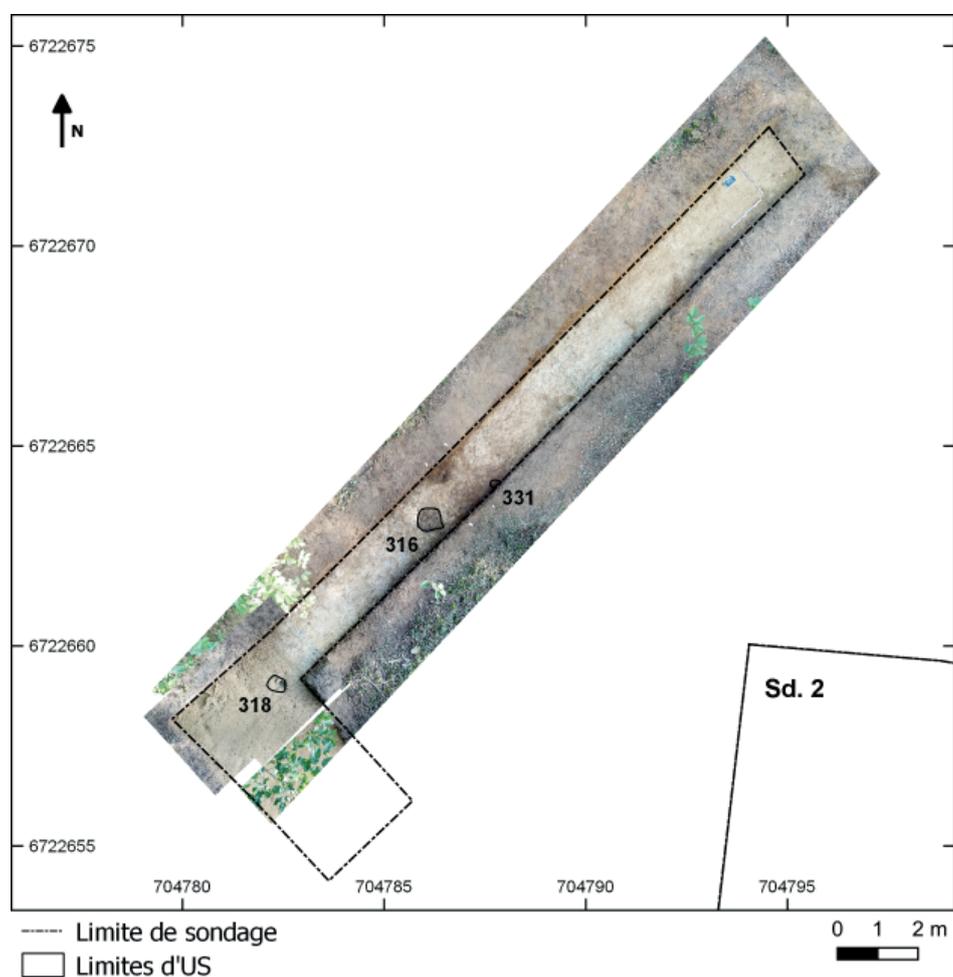


Figure n°62. Plan général du sondage 3 (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger)

- Descriptions des coupes stratigraphiques

La coupe stratigraphique n°1 NO/SE (fig. 63) correspond au relevé de la berme occidentale du sondage 3. Les coupes stratigraphiques n° 1 et 2 ont été relevés transversalement à la tranchée du sondage 3, immédiatement au nord de l'emplacement du creusement US 316 et à environ 1,50 m d'intervalle (fig. 64-65). Les coupes 2 et 3 présentent des informations identiques à celles que livrent la coupe 3.

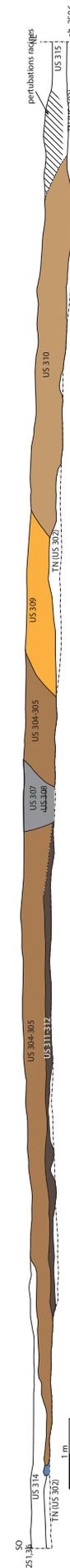
Figure n°63. Sondage 3. Relevé de la coupe n°1 sud-ouest / nord-est (Relevé : M. Leroy, M. Berranger. DAO : M. Leroy)

Longue de 22 m, la coupe stratigraphique n° 1 recoupe transversalement l'amas 040 tel qu'il est délimité au sol et sur les relevés géophysiques. À cet endroit, l'amas de déchets occupe une largeur de 19 m. Il forme un léger dôme qui apparaît directement à la surface du sol sauf sur ses flancs sud-ouest et nord-est où il est recouvert par une couche de sédiment limono-argileux, brun clair du côté sud-ouest (US 314) et jaune pâle/beige clair du côté nord-est (US 315). Épais d'environ 0,45 m dans sa partie centrale, le dôme s'affine progressivement du côté sud-ouest. En revanche, sa terminaison paraît plus brutale du côté nord-est, mais cette zone est fortement perturbée par des racines d'une souche d'arbre, ce qui ne permet plus de reconnaître les limites initiales.

À peu près au centre de la coupe, l'amas est recoupé par un creusement en forme d'entonnoir aux bords obliques (US 308), large de 1 m au sommet et de 0,50 m à la base, qui entaille le substrat. Le comblement (US 307) est un sédiment grisâtre assez aéré, riches en radicelles et contenant de nombreuses scories. Il s'agit à l'évidence d'un creusement relativement récent qui pourrait correspondre au petit sondage manuel réalisé en avril 2019.

Dans la moitié nord de la coupe, l'amas repose directement sur le substrat argilo-limoneux, de couleur blanc-beige, à inclusions de silex et de nodules ferromanganifères (US 302). La surface de ce substrat, légèrement inclinée vers le nord, présente de fortes irrégularités de modelé où alterne une succession de petits dômes et de légères dépressions. Dans la moitié sud, l'amas repose sur une couche de sédiment gris-noir (US 306 = US 311 = US 312), d'épaisseur pluricentimétrique à décimétrique, contenant de nombreux petits résidus de terre cuite plus ou moins friables et des particules millimétriques de charbons de bois. C'est dans cet horizon, qui recouvre les irrégularités de modelé du substrat, que s'inscrivent les creusements US 316 (probable emplacement d'un four de réduction) et US 318 (trou de poteau). Il peut donc être interprété comme la couche d'occupation accumulée au cours du fonctionnement de l'atelier.

Son absence dans la moitié nord révèle peut-être que seule la partie sud du terrain, initialement la plus plane,



est occupée par les structures composant l'atelier et que la partie nord a servi essentiellement (au moins dans un premier temps) à l'entreposage des déchets. Dans la moitié sud de la coupe stratigraphique, l'amas est constitué par une seule couche, l'US 304, un sédiment limoneux de couleur marron-orangé riche en scories et morceaux de parois de four en terre cuite. Aucun charbon de bois n'est visible.

Dans la moitié nord, un épais amas de fragments de parois de four en terre cuite, dont des blocs décimétriques, emballés dans un sédiment orangé pulvérulent semblant provenir de la désagrégation de terre cuite (US 309), s'intercale entre l'US 304 et l'US 310 qui compose l'unique couche de l'amas du côté nord-est. L'US 310 est de nature similaire à l'US 304.

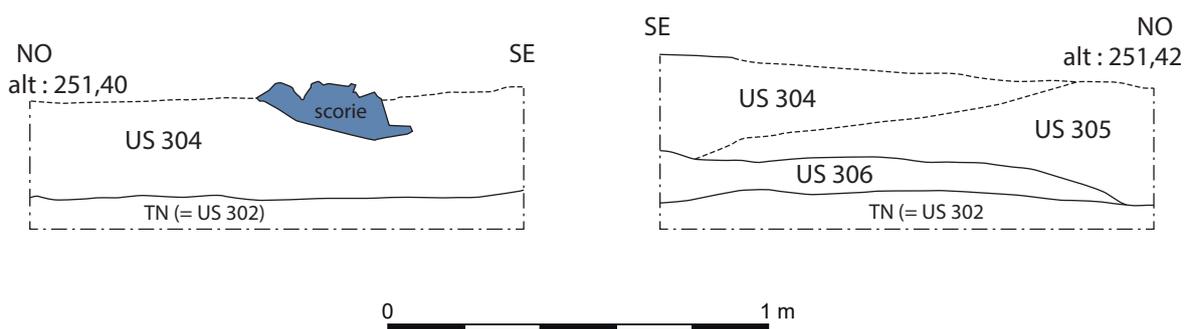


Figure n°64. Relevé des coupes transversales n° 2 et 3 dans le sondage 3 (Relevé et DAO : M. Leroy)



Figure n°65. Sondage 3. Gauche : coupe n°2 NO/SE (la tache noire dans le sol naturel correspond à US 316). Droite : coupe n°3 SE/NO (M. Leroy).

- Fosse à scories d'un four de réduction (US 316)

Creusement

Le probable emplacement d'un four de réduction est conservé sous la forme d'un creusement de forme subcylindrique (US 316) d'environ 0,55 à 0,65 m de diamètre à l'ouverture pour 0,40 à 0,45 m de profondeur, creusé dans la couche argilo-limoneuse blanc-beige à inclusions de silex (US 302) interprétée comme le substrat géologique en place (fig. 66).

Les limites du creusement sont apparues après l'enlèvement mécanique des couches constituant l'amas de déchets, dans la largeur de la tranchée du sondage 3, à l'interface avec le substrat (fig. 65). Aucune relation stratigraphique n'a donc pu être observée avec les US composant l'amas.

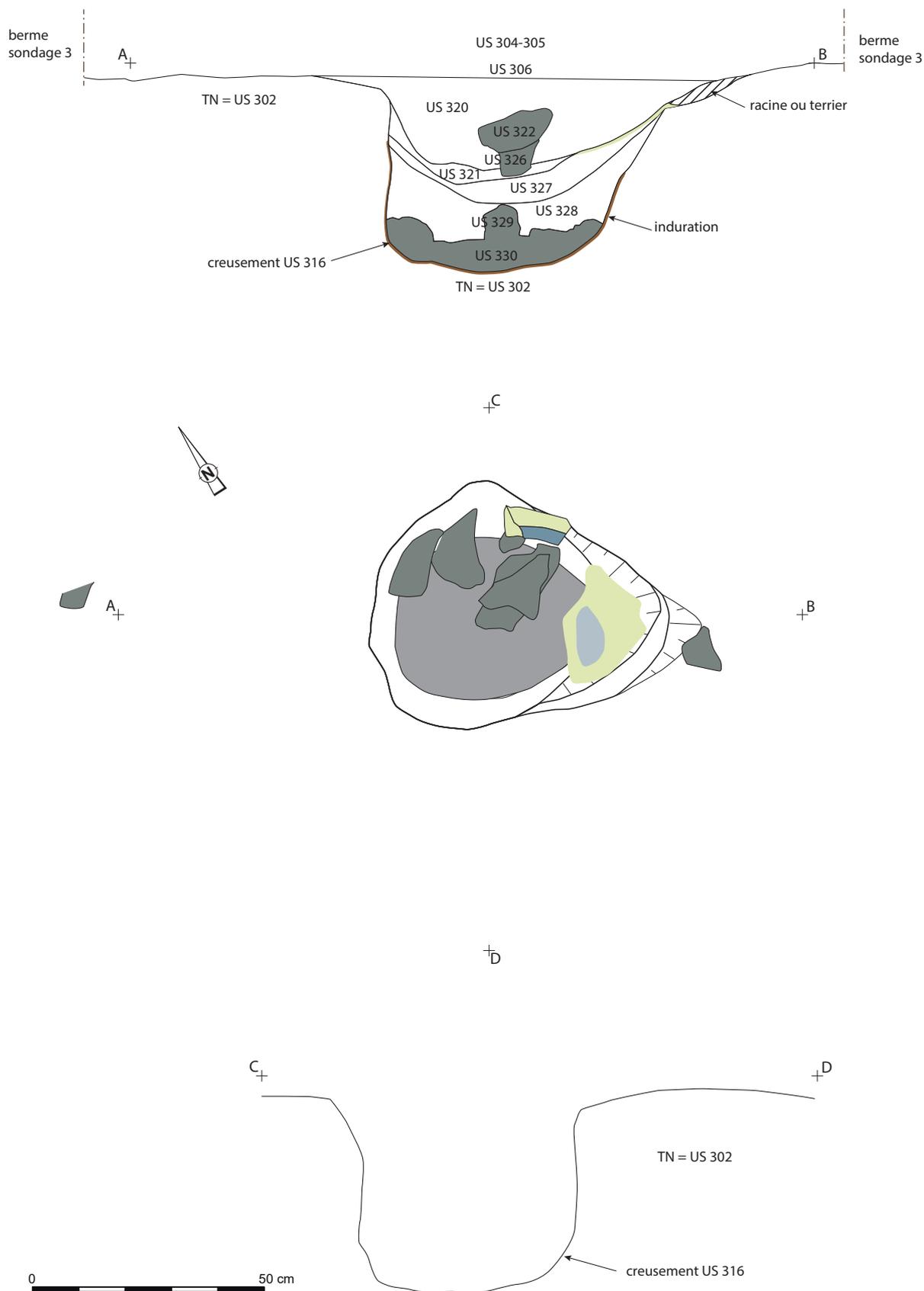


Figure n°66. Relevés en coupe et en plan de la structure 316 (relevé et DAO : M. Leroy).

Au niveau supérieur, le contour du creusement présente une forme en poire avec la partie arrondie du côté nord-ouest et la partie allongée du côté sud-est. La longueur dans cet axe est d'environ 0,65-0,70 m et la largeur à l'endroit de la courbure arrondie atteint 0,55 m. Toutefois, la présence à l'extrémité de la partie allongée d'une zone perturbée par l'emplacement d'une ancienne racine ou d'une ancienne galerie de terrier empêche la reconnaissance précise des limites initiales du creusement à cet endroit, une exagération de l'allongement pouvant être induite par cette perturbation.

À la base, la forme du creusement est plus nettement subcirculaire (environ 0,45 à 0,50 m de diamètre). Le profil du creusement présente des bords subverticaux, légèrement renflés à proximité du fond, sauf du côté sud-est où la partie allongée en plan est associée à un profil présentant une obliquité d'environ 20°.



Figure n°67. Vues de détail du fond du creusement et de la paroi (M. Leroy).

La surface du fond ainsi que la moitié inférieure des flancs du creusement sont indurées, phénomène résultant probablement d'un impact thermique, mais aussi d'un encroûtement d'hydroxydes de fer (coloration rouille). Aucune coloration de l'encaissant résultant d'un impact thermique n'est observée dans la moitié supérieure du creusement, ni au niveau de l'ouverture (fig. 67). La présence de cette induration, dont la surface est rugueuse et de modelé irrégulier, ne permet pas de savoir si la surface initiale des flancs et du fond du creusement a été lissée ou non.

Un enregistrement photogrammétrique du creusement a été réalisé pour pouvoir en calculer le volume à partir de la création d'un modèle numérique d'élévation (MNE) sur le logiciel Metashape. Deux coupes ont pu être extraites (fig. 69 et 70) afin d'observer la morphologie de la structure selon deux axes qui correspondent aux coupes des relevés de terrain. Le résultat de l'outil de calcul de Metashape indique un volume de 63 dcm³ soit 63 L (fig. 71).

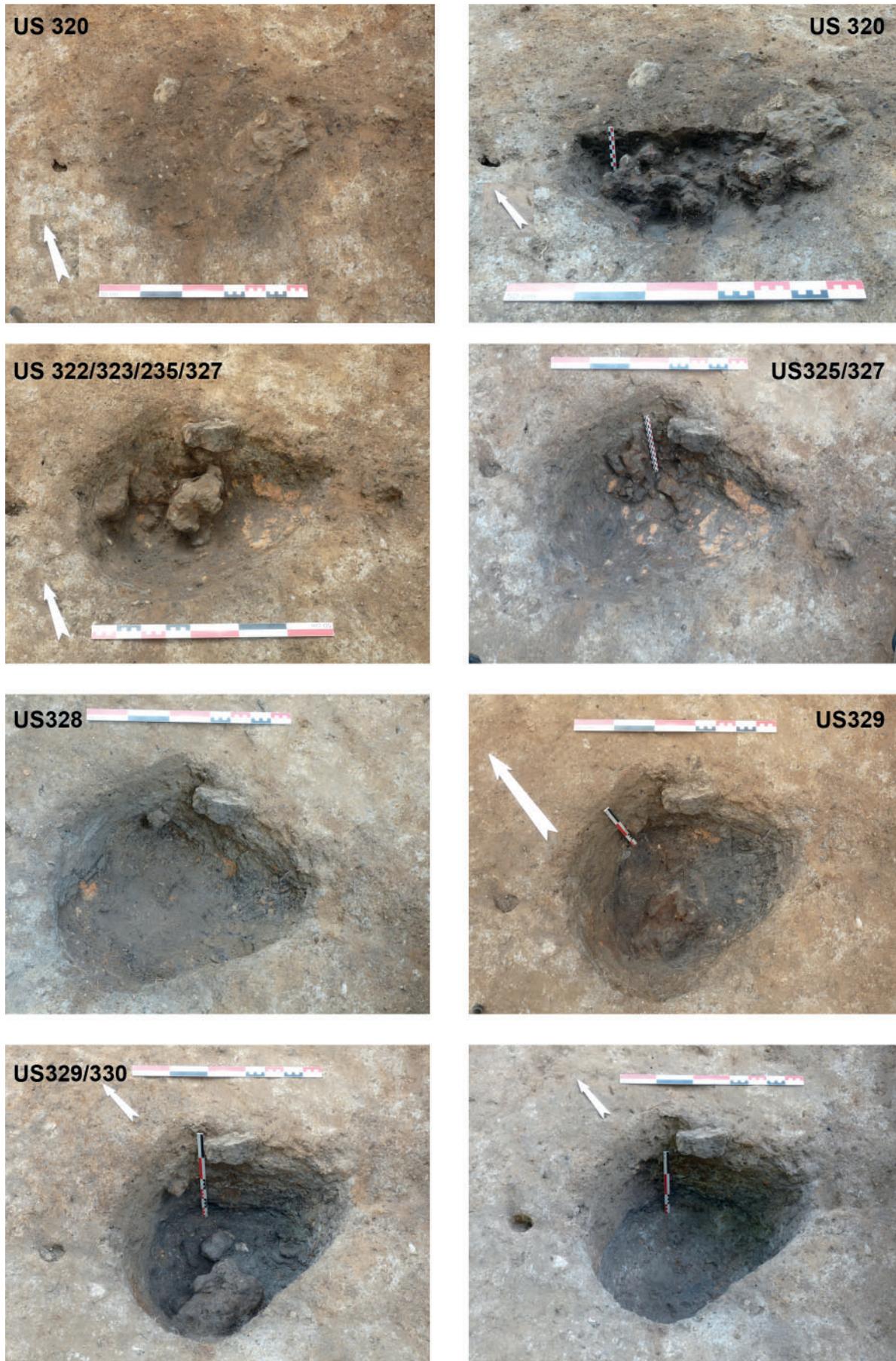


Figure n°68. Le four 316 aux différentes étapes de sa fouille (M. Leroy)

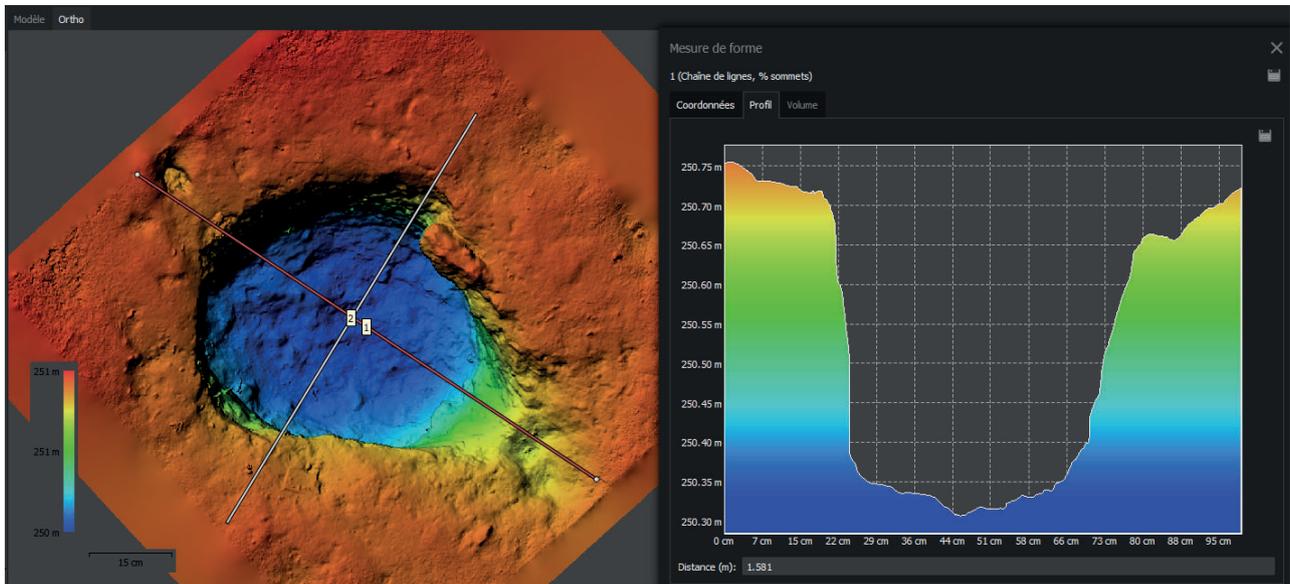


Figure n°69. Plan et coupe AB d'après le modèle numérique d'élévation de la cuve US316. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich)

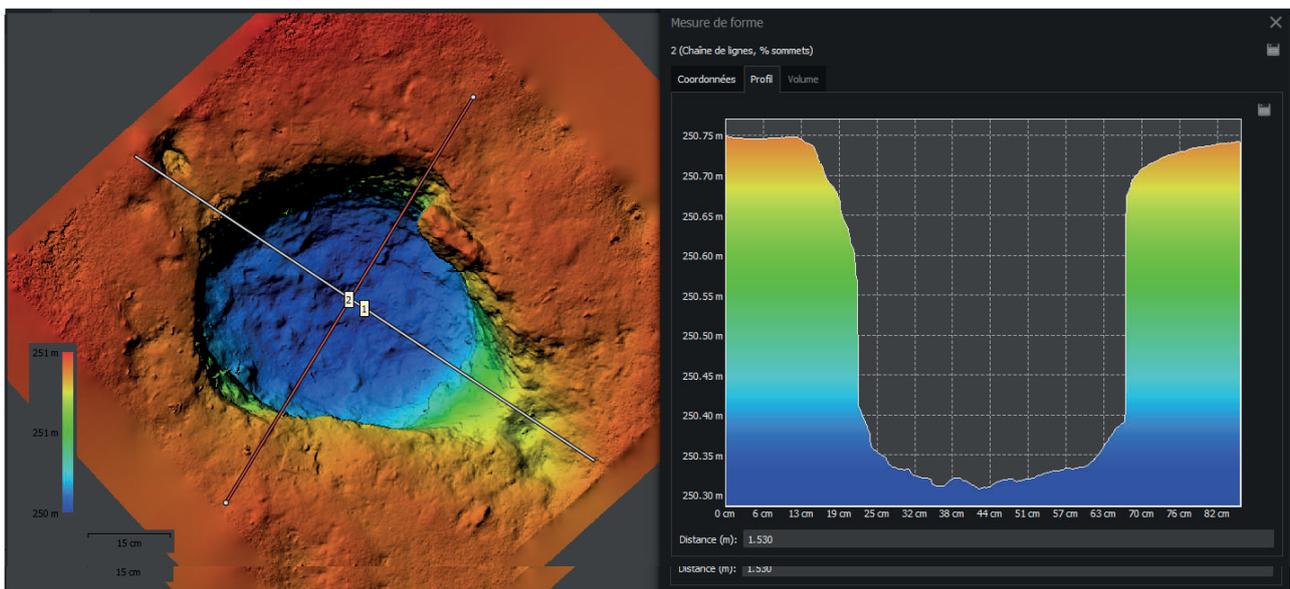


Figure n°70. Plan et coupe CD d'après le modèle numérique d'élévation de la cuve US316. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich)

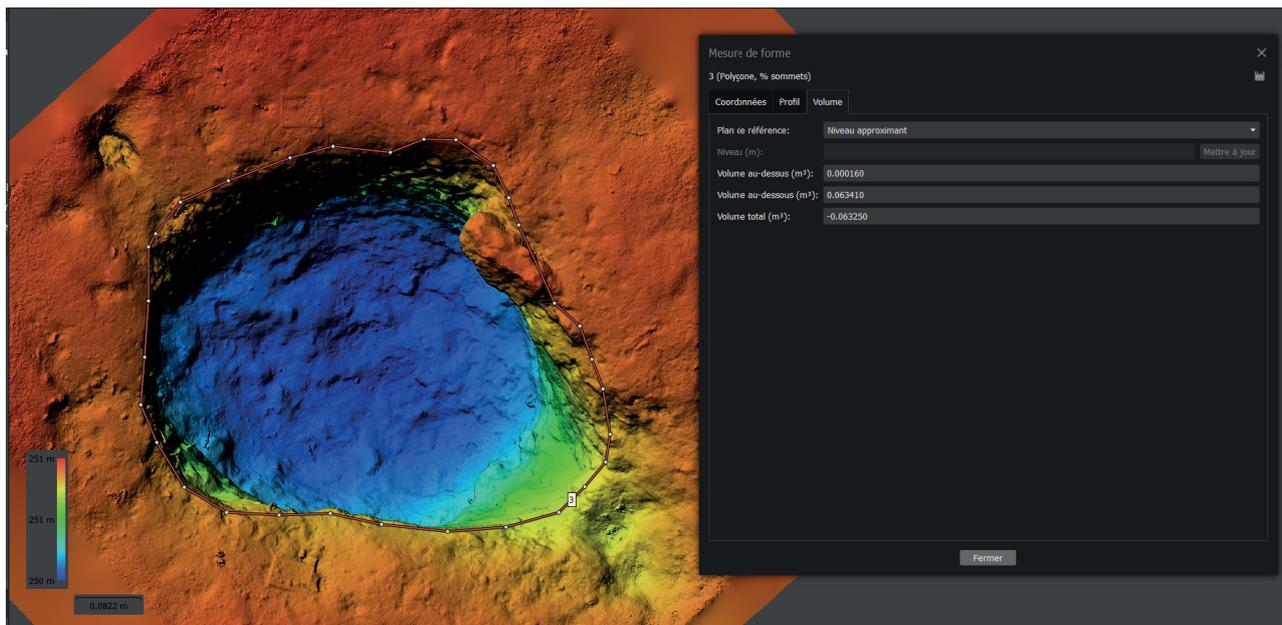


Figure n°71. Calcul du volume de la cuve d'après le MNE. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich).

Comblement (fig. 68)

Le fond du creusement est comblé, sur une épaisseur de 10 à 15 cm, par une couche de déchets métallurgiques (US 330) constituée de scories, de morceaux et d'éclats de paroi de four en terre cuite, et de nodules centimétriques rouge-violet évoquant des minerais cuits, emballés dans un sédiment gris clair contenant des morceaux centimétriques à pluricentimétriques de charbons de bois (fig. 72). Les plus gros morceaux de charbons de bois sont collés contre la base du flanc du creusement (fig. 23). La couleur gris clair du sédiment pourrait résulter de la présence de cendres de combustion. Les scories sont des pièces de formes et de dimensions diverses (centimétriques à décimétriques), aux surfaces rugueuses couvertes d'aspérités en partie masquées par un encroûtement d'hydroxydes de fer qui leur donne une coloration rouille. Il s'agit pour la plupart de pièces ayant l'aspect de rognons informes sans polarité et ne semblant pas présenter de cassure. Plusieurs fragments centimétriques ont l'aspect de petites coulures cordées jointives. Au moins deux scories décimétriques informes adhèrent sur une face à une strate de terre cuite d'un centimètre d'épaisseur composé de cernes de cuisson gris-beige et orangée pâle ; un faciès de petites coulures et des empreintes de charbons de bois sont visibles à l'interface entre scorie et terre cuite.

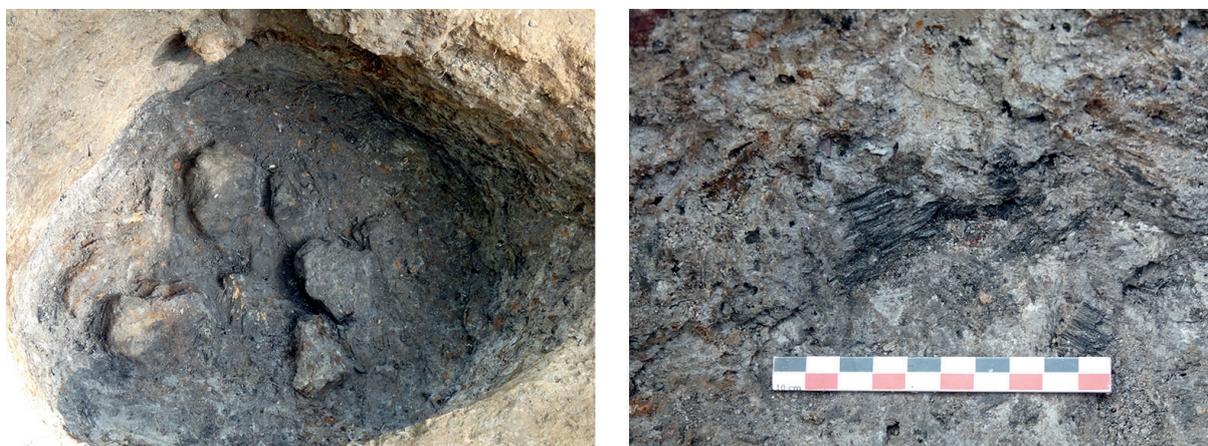


Figure n°72. Vues de détail des scories et charbons du fond du comblement (US330) (M. Leroy)

La plus grosse scorie (provenant de l'US 329 dans 330) est un bloc double décimétrique (190 x 175 x 110 mm), pesant 2480 g, qui reposait au sommet de l'ensemble dans le quart SO du creusement. L'une de ses faces présente une morphologie relativement plane et régulière qui pourrait être une surface d'appui, mais les autres ont un faciès déchiqueté, parsemées de nombreuses cavités centimétriques correspondant à des empreintes de petits charbons de bois. Cet ensemble ne forme donc pas un bloc continu et aucune scorie n'adhère au fond ou à la base des parois du creusement. Il s'agit plutôt de pièces individualisées ou cassées qui ne sont plus dans la position où elles se sont formées. Les morceaux de paroi ne proviennent pas du revêtement du creusement qui se serait détaché.

L'US 330 est recouverte par une couche de sédiment charbonneux (US 328), de couleur gris-noir, contenant des morceaux pluricentimétriques de charbons de bois, ainsi que des fragments centimétriques à pluricentimétriques de terre cuite jaune-orangé. Son épaisseur atteint 5 à 10 cm dans la partie centrale et jusqu'à 15 cm contre les flancs du creusement. Sa surface supérieure a un modelé concave. L'US 328 est recouverte par une couche de fragments et de nodules de terre cuite, de couleur jaune-orangé ou gris-bleuté, mélangé à un sédiment marron-brun (US 327). Son épaisseur varie de 3 à 7 cm. Elle épouse la forme de la surface de l'US 328 sous-jacente et sa surface présente également un modelé concave (fig. 73). Un ensemble plus continu de terre cuite, d'épaisseur centimétrique, occupe l'extrémité sud-est plus allongée du creusement donnant l'impression d'une disposition formant comme une surface aménagée. Cette disposition n'existe pas sur le reste de la surface de l'US 327. Le sommet de cette couche est situé à 0,20 m au-dessus du fond du creusement, soit à mi-hauteur.



Figure n°73. Blocs de scories adhérent au flanc du creusement (US322-323) et strate de terre cuite (US327), évoquant l'aménagement d'une surface à mi-hauteur du creusement (M. Leroy)

L'US 327 est recouverte par une couche de sédiment limono-argileux grisâtre, de 3 à 4 cm d'épaisseur (US 321), contenant des inclusions millimétriques à centimétriques de charbons de bois, des particules de terre cuite de mêmes dimensions, ainsi que des nodules rouge-violacé évoquant du minerai cuit ou d'aspect scoriacé évoquant du minerai en cours de transformation.

Au-dessus de l'US 321, les 15 à 20 cm supérieurs du comblement sont occupés par une couche de blocs et de fragments de scorie et de morceaux de paroi de four en terre cuite, de dimensions pluricentimétriques à décimétriques, emballés dans un sédiment argileux gris-noir contenant des inclusions millimétriques à centimétriques de terre cuite jaune-orangé et gris-bleuté et des particules de charbons de bois (US 320). Plusieurs blocs de scorie paraissent adhérer au flanc du creusement sur la partie arrondie (US 323 et 325) (fig. 73-74).



Figure n°74. Blocs de scories adhérant au flanc du creusement (US325) et détail de petits écoulements cordés (M. Leroy)

D'autres superposés (US 322 et 326) sont positionnés plus au centre du creusement, mais paraissent en continuité avec un ensemble d'autres scories plaquées contre le flanc sur l'arrondi nord-est. Parmi ces dernières, plusieurs présentent une morphologie de petits écoulements cordés. Elles se trouvent en-dessous mais à l'aplomb d'un morceau décimétrique de paroi en terre cuite, à surface vitrifiée, qui semble accroché au bord supérieur du creusement (US 332). Une partie des scories présentent l'aspect de gros rognons aux surfaces mamelonnées recouverte par un encroûtement d'hydroxydes de fer auquel adhèrent des parcelles millimétriques à centimétriques de charbons de bois, ainsi que des nodules ou strates de terre cuite jaune-beige, et même des éclats de silex. D'autres ont une morphologie de petites coulures enchevêtrées. La pièce la plus grosse (US 322 : 165 x 135 x 100 mm, 1740 g) possède une face au faciès déchiqueté par une multitude de petites empreintes de charbons de bois, évoquant une surface d'appui inférieure ; les autres faces, de couleur gris-noir, ont une morphologie de petites coulures cordées ou de reliefs à contours lobés ; de grosses empreintes pluricentimétriques de charbons de bois apparaissent sur les flancs dans l'épaisseur.

Interprétation

La morphologie subcylindrique de la fosse et la nature des mobiliers qui y ont été retrouvés incitent à l'interpréter comme la fosse-réceptacle des écoulements de scorie d'un fourneau de réduction, au-dessus de laquelle était construite la cuve où s'effectue la transformation du minerai de fer. Ce type de fourneau, appelé couramment « four à scories piégées » parce que celles-ci ne s'écoulent pas à l'extérieur de la structure mais s'agglomèrent dans ou sous la cuve (« slag pit furnace » en anglais), est caractéristique des fourneaux en usage en Gaule et dans une partie de l'Europe au cours du premier âge du Fer et au début du second (Pleiner 2000, Cabboi *et al.* 2007, Berranger *et al.* 2017). Généralement dans les fourneaux de ce type, un bloc de scorie plus ou moins volumineux et plus ou moins massif, conservé en place dans le fond de la fosse permet son identification. Ici, les résidus ne forment pas un tel bloc et les scories qui y ont été découvertes sont des pièces individualisées, en partie dispersées, et qui ne paraissent pas, à quelques exceptions près, dans leur position d'origine, c'est-à-dire dans la position où elles se sont agglomérées et figées.

La forme et les dimensions de la fosse s'inscrivent néanmoins dans la gamme de celles identifiées comme telle. Dans un certain nombre de cas documentés, des scories en gouttelettes ou en petites coulures sont dispersées dans le sédiment charbonneux qui comble le fond de la fosse sous le bloc de scorie plus massif. De tels exemples sont documentés notamment sur les sites *des*

Barres (commune de La Bazoge), de *Beauvais* (commune de Changé) et de *Touzeau* (commune d'Aigné), dans le département de la Sarthe, fouillés pour les deux premiers sur le tracé de l'A28 et pour le troisième sur celui de la LGV-Ouest (Cabboi *et al.* 2007, Langlois dir. 2015). On soulignera que l'absence d'impact thermique sur les parois et le fond du creusement ne peut être un argument pour rejeter cette identification, car le plus souvent ces traces thermiques dans le matériau encaissant n'existent pas même en présence d'un bloc de scorie conservé en place. Si l'on admet cette identification, l'absence de bloc de scorie d'un certain volume peut s'expliquer soit parce qu'il ne s'en est pas formé, soit parce qu'il a été retiré. L'observation des morphologies des scories présentes dans le comblement, ainsi que leur positionnement indiquent qu'elles ne sont pour la plupart pas en position primaire et donc que le comblement initial du fourneau a été chamboulé, ce dont témoigne aussi la présence de morceaux et de résidus de paroi de four provenant de la partie construite au-dessus de la fosse (fragments marqués par des strates d'impact thermique et par une face vitrifiée et/ou scorifiée, parfois adhérent à un morceau de scorie). Si un bloc de scorie massif s'est formé, il a donc été retiré de la fosse.

Ce bloc pourrait être celui retrouvé dans la couche de déchets formant l'amas à moins d'une cinquantaine de centimètres au nord de l'emplacement de la fosse US 316 (fig. 75). Il s'agit d'un bloc assez massif, mesurant 460 x 415 mm, pour une épaisseur atteignant sur un côté 210 mm, et pesant 42 kg. L'une des faces est constituée de reliefs lobés à surface rugueuse, l'autre face d'extrémités de petites coulures moulant des empreintes de morceaux pluricentimétriques à décimétriques de bois ou de charbons de bois. En se basant sur l'orientation des coulures, cette dernière paraît être la face inférieure. Or cette face est celle qui apparaissait sur le dessus lors de la découverte du bloc. Celui-ci paraît donc avoir été retourné. Outre sa proximité avec la fosse, on peut remarquer que la forme générale du bloc de scorie paraît en reproduire le contour, particulièrement de sa partie supérieure. C'est en tout cas ce que tend à montrer l'emboîtement du modèle 3D de la scorie dans le modèle 3D de la fosse (fig. 76). Dans l'hypothèse où on admet que cette corrélation est exacte, le bloc de scorie aurait été basculé hors de la fosse où il s'est formé au moment où celle-ci a été vidée au moins en partie.



Figure n°75. Localisation de la scorie piégée par rapport au four 316 et vue de détail (M. Leroy)

Le positionnement du bloc de scorie à l'intérieur de l'US 304 à 20 cm au-dessus du substrat naturel tendrait alors à montrer que le bord supérieur de la fosse serait situé plus haut que son niveau d'apparition au sommet du substrat.

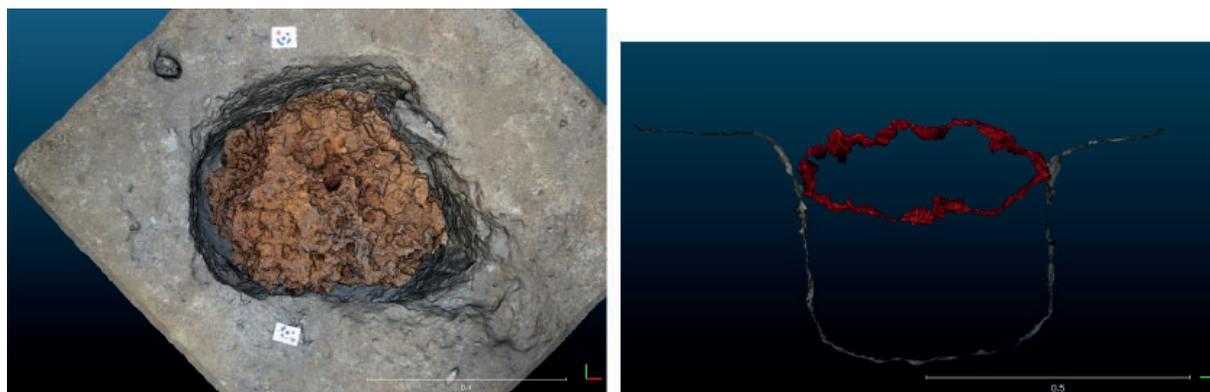


Figure n°76. Assemblage des modèles numériques de la cuve et de la scorie, en plan et en coupe. Logiciel : CloudCompare (M. Herbrich)

Rien n'empêche de considérer que les scories qui ont été retrouvées dans le comblement de la fosse sont aussi des résidus de l'opération métallurgique. C'est ce que tendrait à montrer la présence, parmi les scories, de nodules rouge-violacé évoquant du minerai non transformé et des nodules scorifiés évoquant du minerai en cours de transformation, qui seraient des résidus des dernières charges. Toutefois, la présence dans la stratigraphie du comblement de deux couches de scories associées à ces restes de minerai (US 330 à la base et US 320 dans la partie supérieure), séparées par une couche de sédiment charbonneux (US 328) et par une couche de fragments de terre cuite (US 327), impliquerait que sont conservés les résidus de deux opérations métallurgiques successives. Dans ce cas, ces résidus seraient séparés par un comblement volontaire. L'US 327 pourraient correspondre de par sa nature (terre cuite) et sa forme concave à l'aménagement d'un nouveau fond de fosse, comblant les résidus d'une opération antérieure (US 330) et sur lequel vont se déposer les scories de la dernière opération métallurgique (US 320). Si le bloc massif de scorie retrouvé dans l'US 304 appartient à cette dernière opération, celle-ci pourrait avoir produit plus d'une cinquantaine de kilogrammes de scorie (bloc : 42 kg + scories dans l'US 320 : 10 kg).

Aucun fragment et aucune trace évoquant un dispositif d'entrée d'air dans le fourneau (évent, tuyère) n'a été identifié dans les mobiliers (scories et parois) présents dans le comblement.

- Trou de poteau US 318 (fig. 77)

Le creusement US 318 est situé à l'extrémité sud-ouest de la tranchée du sondage 3. Ses limites sont apparues sous les couches constituant l'amas de déchets (séquence US 304-305) à l'interface avec le substrat (US 302). Aucune relation stratigraphique directe n'a pu être mise en évidence avec les US de cette séquence ; son niveau altimétrique et stratigraphique de creusement n'est donc pas connu.

À son niveau d'apparition sur le substrat, sa forme est subcirculaire, mais légèrement irrégulière, pour un diamètre d'environ 0,40 à 0,45 m. Le profil du creusement dans le substrat a une forme de tronc de cône : les bords ont une obliquité d'une dizaine de degrés et se terminent sur un fond plat d'un peu moins de 0,30 m de diamètre. La profondeur dans le substrat est d'environ 0,38 m. Le comblement est un sédiment limono-argileux gris clair contenant de nombreuses inclusions plurimillimétriques de charbons de bois, ainsi que de nombreux nodules centimétriques à pluricentimétriques de scories et de terre cuite. Aucun fantôme de poteau n'est observé. Du côté nord-ouest, un bloc décimétrique de paroi de four à surfaces vitrifiées (195 x 180 mm, ép. 75 à 95 mm, 2675 g) est positionné verticalement contre le bord du creusement dans la partie supérieure : il pourrait s'agir d'un élément de calage resté en place après l'enlèvement du poteau.

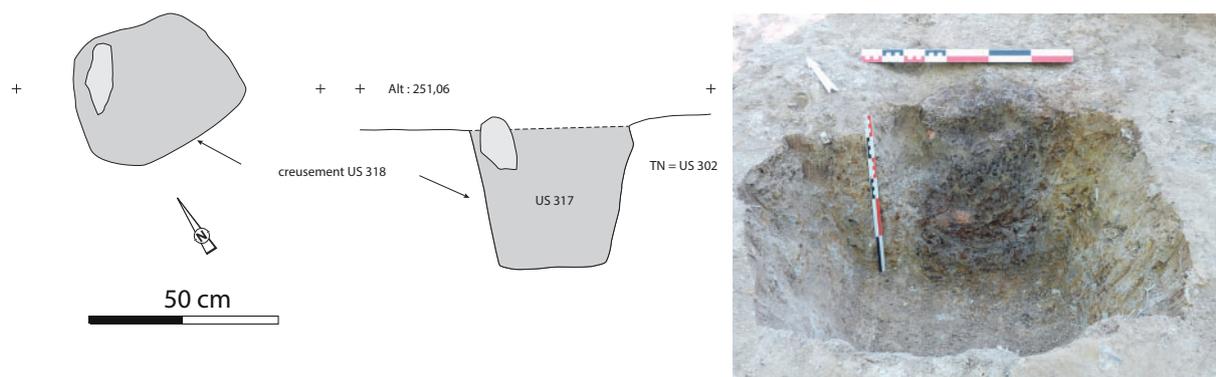


Figure n°77. Relevé et vue en coupe du trou de poteau 318 (relevé, cliché et DAO : M. Leroy)

- L'US 331 (fig. 78-79)

L'US 331 correspond à plusieurs résidus de couleur violacé observés à la surface du substrat géologique, à moins de 2 m au nord-est du creusement US 316, en partie engagés dans la berme orientale du sondage 3 et au niveau de la coupe transversale n° 2. Ils paraissent intégrés à l'US 306 et sont recouverts par la séquence US 304-305. L'aspect visuel des éléments dégagés en plan et observés dans la coupe évoquent un bloc lithique fragmenté en plusieurs morceaux, dont un principal d'environ 20 sur 12 cm, dont l'épaisseur ne dépasse pas 2 cm. L'observation du prélèvement révèle un matériau de texture sableuse, sans cohésion et se délitant au doigt. En l'état, l'identification plus précise du matériau est difficile à faire. Il peut s'agir de résidus de matériau de construction du four ou de résidus de préparation du minerai, voire de stockage de celui-ci à proximité immédiate du fourneau. À l'évidence, la couleur violacée paraît témoigner d'un impact thermique.

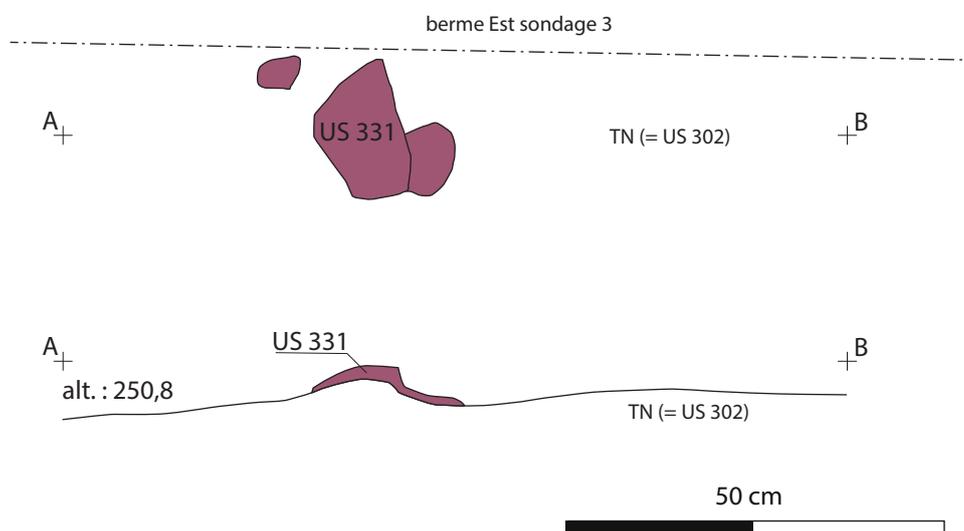


Figure n°78. Relevé en plan et en coupe de l'US331 (M. Leroy)

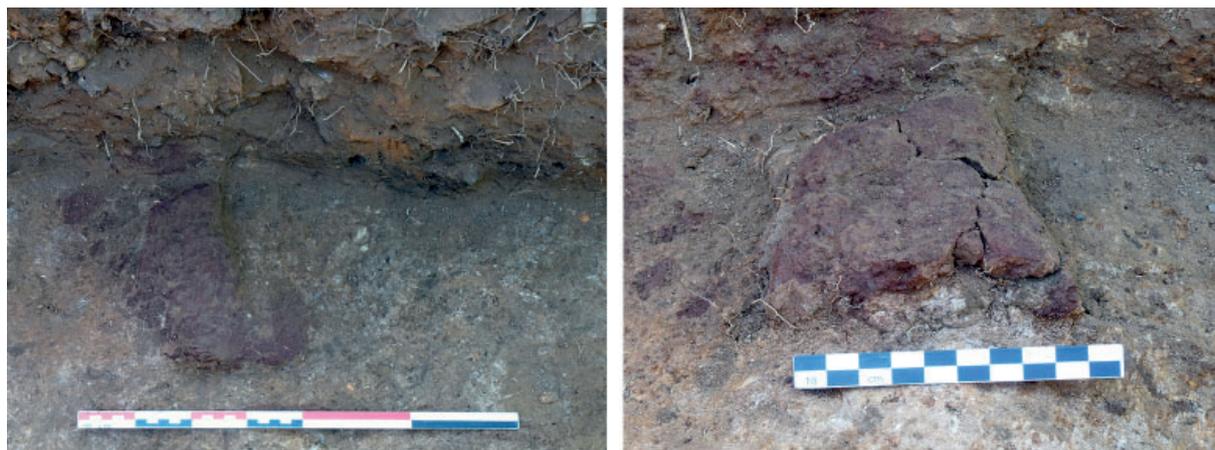


Figure n°79. Vues générales de l'US331 (M. Leroy)

2.3.5. Microtopographie et calculs volumiques au sein de l'amas

Microtopographie (M. Herbrich)

Une micro-topographie de l'ensemble de l'amas a été réalisée dans le but de faire des essais de calculs de volume à partir d'un modèle numérique de terrain. Les fichiers ont été extraits depuis le tachéomètre à l'aide du logiciel LeicaFlex. Les traitements des points et les calculs de volume sont réalisés sur le logiciel CloudCompare.

Pour des raisons de disponibilité le tachéomètre n'a pu être utilisé sur le terrain qu'à partir de la fin de la première semaine de fouille. L'acquisition topographique de l'ensemble de l'amas a donc été partiellement perturbée par la présence des sondages et tas de déblais. L'analyse de la micro-topographie se présentait comme une première tentative pour déterminer si la méthode disposait d'un potentiel exploitable pour calculer le volume d'un amas.

Avant tout, le nombre de points s'est avéré insuffisant pour produire un modèle numérique de terrain fiable. Le secteur n'a donc pas pu être observé sous différents modes de visualisation. L'amas 89.344.040 ne présentant qu'un faible relief en surface (quelques dizaines de centimètres), celui-ci ne se distingue pas sur le nuage de points. Dans ces conditions, il a été décidé de suivre les limites de l'amas déterminées par les acquisitions géophysiques.

Selon que l'on prenne en compte le relevé des anomalies magnétiques (surface minimale) ou celui de la susceptibilité électrique (surface maximale), le volume de l'amas varie entre 55 m³ et 81 m³ (fig. 80). Ces chiffres peuvent être comparés avec ceux obtenus par l'utilisation de la formule proposée par Decombeix *et alii* pour le site sidérurgique du Domaine des Forges (Les Martys, Aude), soit « 0,4 x L x l x h » (L = longueur, l = largeur, h = hauteur) qui donne une fourchette comprise entre 75 m³ et 104 m³. Les résultats, bien que peu fiables en raison du faible nombre de points, ne paraissent alors pas aberrants.

Le principal paramètre à corriger dans la réalisation de cette méthode est le nombre de points. De plus la micro-topographie a été réalisée au cours de la fouille après décapage. La surface prise en compte est donc considérablement réduite par la présence des sondages et des tas de déblais. Elle a été également réalisée sans possibilité de vérifier en temps réel la position des points sur le tachéomètre. Plusieurs paramètres sont à corriger pour une éventuelle prochaine tentative, néanmoins la méthode fonctionne et semble prometteuse.

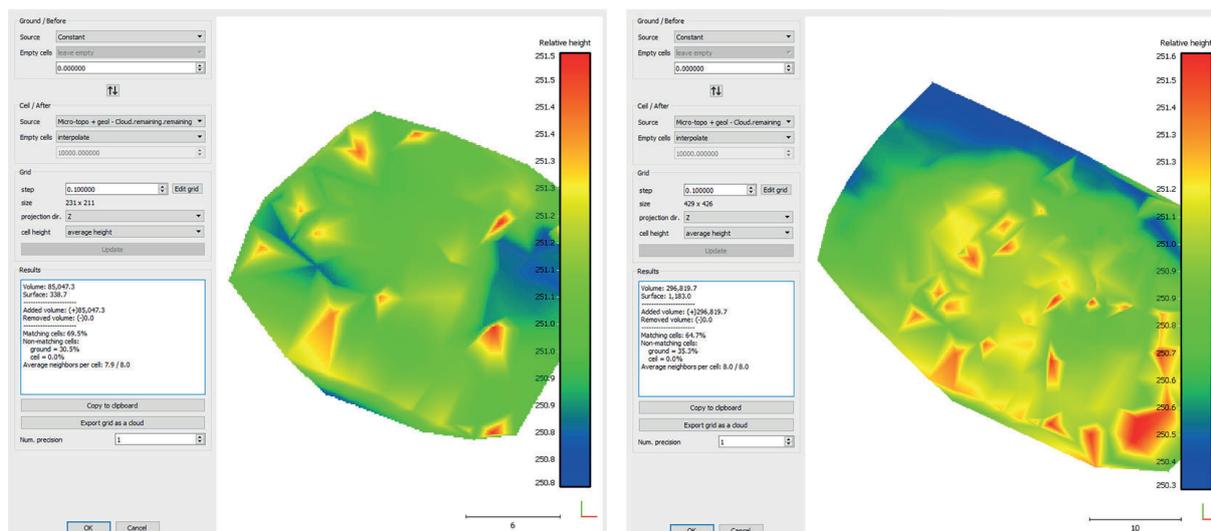


Figure n°80. Résultats des calculs de volume basés sur la microtopographie, sous CloudCompare. A gauche : emprise minimale, à droite : emprise maximale (M. Herbrich)

Calculs volumiques en fouilles

Parallèlement à l'approche par microtopographie, menée à l'échelle de l'amas, des quantifications de déchets ont été effectuées en stratigraphies. Au sein du sondage 3, des prélèvements par moitié de mètres carrés ont été effectués en deux endroits afin de calculer la masse de déchets sur un volume connu. Le premier a été réalisé en démontant la banquette de terre laissée en place sous la grosse scorie piégée, dans le deuxième tiers du sondage. Le second prélèvement a été effectué à mi-longueur du même sondage, en entamant la coupe nord-ouest. 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. Finalement parois et scories ont été distinguées et pesées individuellement afin de déterminer leur concentration dans le sédiment. Malgré des volumes comparables, quasiment deux fois plus de déchets ont été prélevés dans le prélèvement 1 par rapport au n°2 (130 kg dans le prélèvement 1, contre 56 kg dans le prélèvement 2), ce qui révèle des inégalités dans la répartition des déchets au sein de l'amas. C'est cependant principalement la masse de parois qui diffère d'un prélèvement à l'autre, la concentration en scorie restant du même ordre : 66 kg par m³ dans le prélèvement 2 et 74 kg de scorie par m³ dans le prélèvement 1. Une moyenne entre ces deux concentrations est donc retenue (70 kg) comme représentative de la densité au sein de l'amas.

Une autre approche a été privilégiée pour le sondage 2, au sein duquel les couches stratigraphiques ont été fouillées manuellement et successivement. L'ensemble des déchets collectés en fouilles a été pesé, en distinguant scories et parois. Il faut cependant mentionner que les déchets présents dans les couches de décapages n'ont pas été pesés intégralement. D'autre part les terres fouillées n'ont pas été tamisées, on peut estimer que seuls les fragments mesurant plus de 3 à 4 cm ont été collectés.

Dans ce secteur, les niveaux de rejets de déchets sont identifiés sur une surface de 62 m², et sur une épaisseur moyenne de 25 cm. 849 kg de déchets ont été pesés en provenance de ce sondage. Cela représente une densité de 54,7 kg de déchets ou plus précisément de 36,2 kg de scories au sein de l'amas. On constate que ce chiffre est bien plus faible que celui acquis à partir des prélèvements en vrac, et s'explique par l'absence de prélèvements des petits fragments de scories.

Le tableau (fig. 81) ci-dessous résume les calculs acquis par les différentes approches et ainsi la marge d'erreur potentielle.

| Référence | Mobilier pesés (en kg) | | | Dimensions prélèvements en strati. | | | Résultats densité | |
|--------------|------------------------|---------|-------|------------------------------------|------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | Parois | Scories | Total | Surface m ² | ep. moyenne en m | volume m ³ | kg de déchets par m ³ | kg de scorie par m ³ |
| Sd 3 - pvt 1 | 93 | 37,2 | 130,2 | | | 0,5 | 260,4 | 74,4 |
| Sd 3 - pvt 2 | 23 | 33 | 56 | | | 0,5 | 112 | 66 |
| Sondage 2 | 154,5 | 563 | 849 | 62 | 0,25 | 15,5 | 54,7 | 36,2 |

Figure n°81. Masses de déchets et volumes de prélèvements pour calculer la densité de déchets au sein de l'amas (M. Berranger)

2.3.6. Présentation préliminaire des déchets sidérurgiques

Si l'ensemble des déchets fouillés ont été pesés, seuls les éléments issus du bas fourneau à scories piégées et les pièces les plus remarquables ont été conservées. Ils feront l'objet de descriptions macroscopiques et d'analyses archéométriques plus poussées ultérieurement. Dans le cadre de ce rapport seule une présentation rapide est proposée (en complément de l'inventaire en annexe) ainsi que les illustrations des pièces les plus représentatives.

Quelques chiffres : 918 kg de déchets ont été fouillés et prélevés. La plupart de ces déchets proviennent du sondage 2 qui a été fouillé manuellement.

Une quantité assez importante de fragments de minerais a été collectée. L'intégralité de ces éléments ont été conservés. Ils représentent une masse totale de 4,2 kg pour 230 restes. Il s'agit de minerais à différents stades de transformation, depuis des fragments centimétriques à pluricentimétriques bruts jusqu'à des pièces scorifiées. L'étude sera poursuivie afin de déterminer les calibres de ces fragments, de préciser leur nature, notamment par diffraction des rayons X, ainsi que leur composition chimique élémentaire et trace (analyses au CRPG).

Près de 13% de la masse des déchets pesés lors de la fouille correspondent à des fragments de parois provenant de la destruction des cheminées des fours. Presque 23 kg de ces parois ont été observées plus en détail. On constate la présence de quelques pains d'argile (fig. 82), ce qui indiquerait leur utilisation pour la fabrication de la cheminée des fours de réduction. Quelques-uns présentent des traces de lissage au doigt, ou de clayonnage. Un seul fragment pourrait correspondre à un élément de ventilation. De nombreux fragments associent parois et fragments de scories internes ou en cours d'écoulements (fig. 82). Ces éléments feront l'objet d'une étude macroscopique plus poussée afin de déterminer s'ils fournissent davantage d'informations permettant de restituer l'architecture des fours.

L'ensemble des scories collectées se rattache au type des scories piégées (F), en écoulements tortueux individualisés (F4) ou en accumulation (F5), en scorie grise rouillée alvéolaire (F6) ou dense (F7) (fig. 83). Quelques pièces sont complètes ou peu fragmentées. Il s'agit d'un fond de four compact (F1) et de trois non compacts (F2). Les types de scories prélevés en fouilles sont les mêmes que ceux documentés à partir des seuls prélèvements en prospections pédestres. A ce stade aucun nouveau type de déchet n'a été identifié, ce qui fournit un retour très positif sur les approches menées en prospections seules.



Figure n°82. Gauche : exemple de parois scorifiées et pain d'argile. Droite : scorie coulée sur parois (M. Aubert)



Figure n°83. Ecoulements tortueux de scories de type F4 (US207) (M. Aubert)

Dans ce lot la pièce la plus remarquable est un fond de four quasiment complet (pesant 42 kg) provenant de l'US304, de type scorie piégée non compact (F2) retrouvé à proximité du bas fourneau et déjà évoqué *supra* (fig. 84). Il s'agit d'une scorie à faciès déchiqueté parsemée de nombreuses cavités centimétriques correspondant à des empreintes de charbons de bois centimétriques. Elle présente une forme générale irrégulière, plano-convexe, dotée de cinq petits côtés plus ou moins plans à arrondis. Les côtés qui présentent une morphologie plus plane et régulière pourraient correspondre à des surfaces d'appui. En coupe, une des faces est concave et pourrait mouler le fond d'une cavité de même morphologie. Cette face moule de très gros fragments de charbon pluri-centimétriques disposés horizontalement, ce qui incite à identifier cette face comme étant celle inférieure. La face opposée est concave et constituée d'un agglomérats d'écoulements aux contours lobés, ainsi que de petits reliefs mamelonnés évoquant des rognons de minerais en cours de transformation. Une cavité angulaire mesurant entre 20 et 30 mm de côté pourrait correspondre à une trace d'outil. Une acquisition photogrammétrique a permis de proposer une restitution de son positionnement dans le four, ainsi que de préciser son volume (*supra*). Le résultat obtenu indique un volume de 0,0169 m³ soit environ 17 L. La scorie représente donc environ 27% du volume de la cuve de la structure de réduction.

Trois autres fonds de four de même type ont été retrouvés, mais ils s'avèrent de bien plus petite taille et masse (respectivement 5 kg, 2,3 kg et 2,7 kg). On peut y observer soit un reste de paroi de cuve adhérente à un bord de la scorie, soit un effet d'aplatissement d'une bordure contre la paroi de la cuve. On peut se demander s'il s'agit de portions de fond de four ou d'éléments représentant la quantité totale de scorie générée durant une opération de réduction.



Figure n°84. Scorie piégée F2 issue de l'US 304 (M. Aubert)

L'étude macroscopique de ces fragments se poursuivra l'année prochaine, ainsi que leur analyse pétrographique et chimique.

2.3.7. Datations radiocarbone

Nous disposons de trois analyses radiocarbone réalisées au laboratoire de radiocarbone de Poznan (fig. 85). L'une de ces dates (89.344.040.C2) est issue d'un charbon prélevé en 2019 dans un micro-sondage, à 45 cm de profondeur à l'interface entre le terrain naturel et un niveau induré contenant des déchets. Les deux autres charbons ont été prélevés lors des fouilles de cette année. Le charbon 89.344.040.C3 provient de l'US 215, correspondant à un niveau hétérogène de sols et de rejets métallurgiques imbriqués situé à la base de l'amas de déchets. Celui n°89.344.040.C6 provient quant à lui de l'US 328, correspondant à un niveau charbonneux du four à scorie piégée.

| N° inventaire | US | Description | Labo C14 | Age C14 BP | Age calibré | Ref. laboratoire | Année obtention datation |
|---------------|-----|--|----------|------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 89.344.040.C2 | | Chêne, aubier sans zone cambiale, pvt de 5 cernes. - 45 cm | Poznan | 2270±30 | 398 BC - 208 BC | Poz-116065 | 2019 |
| 89.344.040.C3 | 215 | Hêtre - 6 cernes | Poznan | 2300±30 | 409 BC - 211 BC | Poz-143791 | 2021 |
| 89.344.040.C6 | 328 | Aubier sans zone cambiale. Chêne entre 5 et 7 cernes | Poznan | 2485±30 | 774 BC - 481 BC | Poz-143792 | 2021 |

Figure n°85. Saint Fargeau site 40 : dates radiocarbone disponibles.

Ces résultats permettent de distinguer deux phases chronologiques distinctes de réduction du minerai de fer. Une phase ancienne couvre le "plateau" du Hallstatt et correspond au fonctionnement du four à scorie piégée. Une phase plus récente, correspond à une phase moyenne de la période de La Tène (La Tène B-début de La Tène C1). Cette phase est déterminée à partir de deux charbons aux dates cohérentes entre elles, prélevés dans les couches de circulation constituant la base de l'amas de déchets.

Ainsi, le four à scorie piégée mis au jour cette année se rattache à une période antérieure aux activités de réduction ayant conduit à la formation de l'amas proprement dit. Cette chronologie est tout à fait cohérente avec les datations connues pour ces fours à scorie piégée, principalement datés du premier âge du fer (Berranger, Bauvais 2020). A ce stade aucun four de réduction contemporain de l'amas de déchets n'a été identifié.

2.3.8. Conclusion

Principaux apports de la fouille 2021

Les fouilles réalisées cette année ont permis de répondre à certains questionnements prioritaires. Au sein de cet atelier, tant la morphologie des déchets, que l'architecture d'un four mis au jour permettent de déterminer que la réduction était effectuée au sein de bas fourneaux dont la scorie restait piégée au fond d'une fosse excavée sous la cheminée.

Deux phases distinctes de production sidérurgiques sont cependant individualisées. Une phase ancienne, comprise entre le VIII^e et la fin V^e s. av. n.è. s'est développée à partir d'au moins un bas fourneau à scorie piégée, livrant vraisemblablement une scorie massive de 42 kg. Une datation radiocarbone sera effectuée sur la scorie afin de confirmer l'hypothèse de leur contemporanéité formulée sur la base de leurs correspondances morphologiques (voir *supra*). Une deuxième phase de production sidérurgique, immédiatement postérieure est identifiée entre le début du Ve s. et le début du III^e s. av. n.è. Elle correspond à la constitution de l'amas proprement dit, qui livre principalement des déchets scorifiés sous la forme d'éléments de taille et de masse plus réduites, évoquant la technologie des fours à scorie piégée réutilisables (Dieudonnée-Glad 2017).

A ce stade la structuration de l'espace est incomplètement appréhendée. Un trou de poteau (318) situé près du four, marqué par un creusement de 40 cm de diamètre pour autant de profondeur pourrait marquer l'emplacement d'une construction mais il est resté isolé dans la fenêtre de fouille.

Au sein du sondage 2, les niveaux archéologiques fouillés manuellement ont permis de mettre au jour des niveaux de sols d'ateliers, probablement plutôt consacrés à la préparation des matières premières. Il s'agit d'une imbrication de micro-niveaux de circulation intégrant des déchets piétinés et tassés en place. Des zones de stockage ou de préparation du charbon et du minerai sont probablement présentes, et sont identifiés à partir de lentilles diffuses concentrant ce type de déchets. Des aménagements légers étaient présents, visibles par leur empreinte fugace laissée dans le terrain naturel.

La localisation de la grosse scorie piégée au sein de l'amas pourrait indiquer que le four à scorie piégée a été partiellement démantelé lors de l'installation du nouvel atelier de production sidérurgique, ayant conduit cette fois-ci à la constitution d'une véritable accumulation de niveaux de sols et de déchets.

Au sein de l'amas, les scories et fragments de parois ont été rejetés directement sur les sols, en petites concentrations d'un à deux mètres de diamètre réparties plus particulièrement en bordure de l'amas. Un niveau superficiel plus continu, mêlant limon-argileux, scories et parois, recouvre l'ensemble sur une vingtaine de centimètres. Les prélèvements volumiques au sein de l'amas permettent d'estimer la concentration de scorie au sein de l'amas en moyenne à 59 kilogrammes de scorie par m³, soit rapporté au volume total compris entre 75 m³ et 104 m³ à une fourchette comprise 4 et 6 tonnes de scories.

Il est notable que les prélèvements effectués par demi-mètres carrés dans le sondage 2 ont livré essentiellement des fragments de déchets de petite taille, contrairement au sondage 3 qui a livré beaucoup de fragment pluri-décimétrique. Il est possible que ce secteur sud-est ait constitué une zone de rejet privilégiée, un peu à l'écart de l'emplacement de la zone de réduction proprement dite.

Comparaison entre les résultats des acquisitions géophysiques et les résultats de la fouille

La comparaison entre les anomalies géophysiques et les niveaux archéologiques révélés par la fouille permet un retour critique sur l'apport de cette méthode à la caractérisation de ce type d'amas. Aucune des anomalies ponctuelles magnétiques ne s'est révélée en rapport avec l'activité artisanale (fig. 86). Il semble plutôt s'agir de changements dans la nature du substrat géologique ou de chablis. Les anomalies linéaires n'ont quant à elles pas été retrouvées. Certaines correspondent certainement à des fossés de drainage superficiels présents sur la parcelle. D'autres situées dans les zones fouilles n'ont pas été retrouvées.

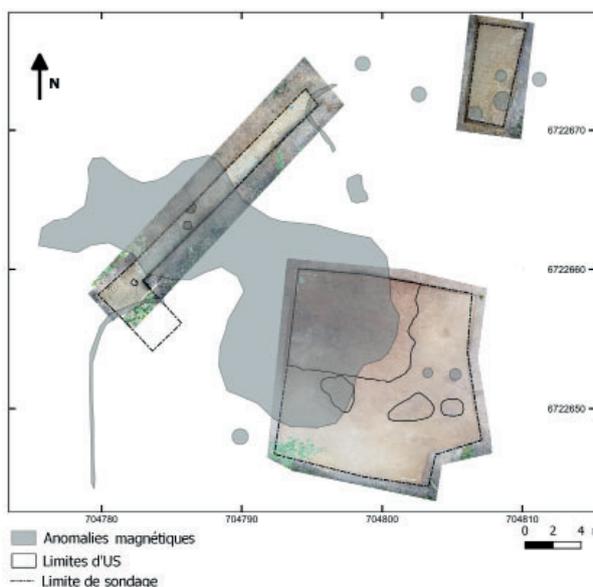


Figure n°86. Superposition entre les anomalies géophysiques enregistrées par méthode magnétique et les structures mises au jour en fouilles (M. Berranger)

Dans le cas présent, la localisation précise des contours de l'amas a été l'apport le plus évident de la méthode géophysique. En effet, on constate une bonne superposition entre les limites des concentrations de scories, telles qu'on les cerne après décapage, et les limites de l'amas telles que fournies par l'approche électromagnétique (fig. 87).

En ce qui concerne l'épaisseur de l'amas, les cartes électromagnétiques indiqueraient que les concentrations de scories se poursuivraient sur une épaisseur supérieure à 90 cm, sous le niveau de sol actuel. Lors du micro-sondage le terrain naturel a été quant à lui atteint à 45 cm sous le niveau d'humus. La fouille de cette année a confirmé que l'épaisseur de stratigraphie ne dépasse pas 50 cm.

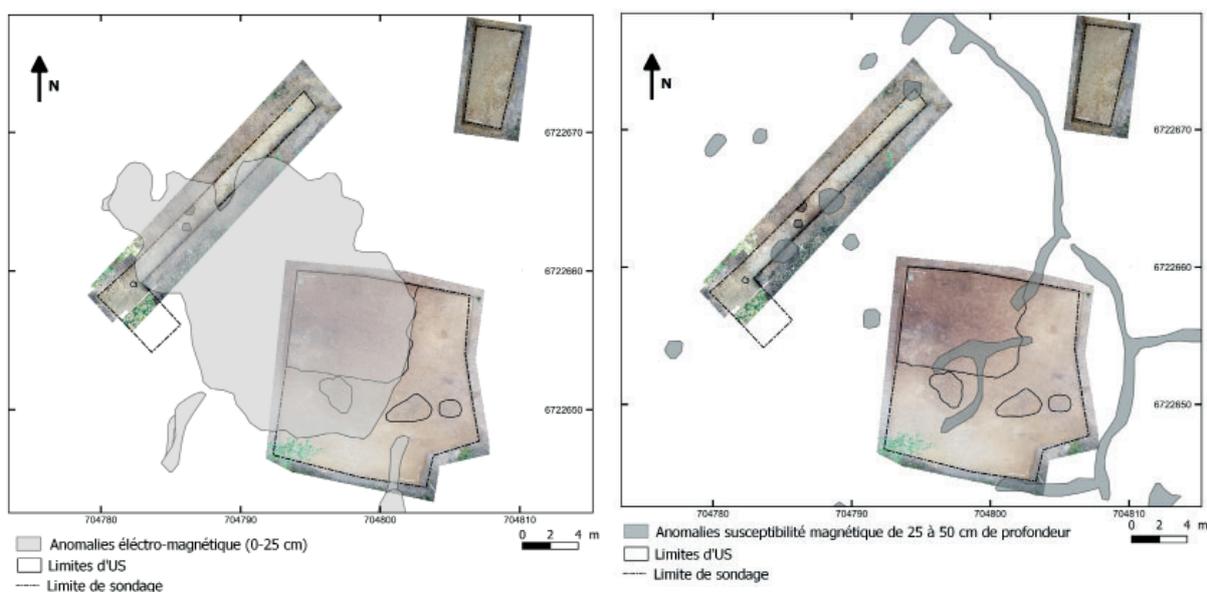


Figure n°87. Superposition entre les anomalies géophysiques enregistrées en conductivité (gauche) et susceptibilité magnétique (droite) et les structures mises au jour en fouilles (M. Berranger)

Plusieurs anomalies circulaires ont été identifiées par susceptibilité magnétique à proximité de l'emplacement du bas fourneau et de la très grosse scorie de fond de four (fig. 87). Un

décalage d'une cinquantaine de centimètre à environ 1 mètre est constaté, mais il semble que ces éléments significatifs aient bien été identifiés par la géophysique. Sept autres anomalies de même type ont été identifiées par la susceptibilité sur la zone de l'amas 40, mais elles se situent toutes en dehors des fenêtres fouillées cette année. D'autres fours ou d'autres scories volumineuses pourraient ainsi être encore à découvrir.

Perspectives.

Différents questionnements ne sont pas résolus à l'issue de la campagne de fouille de cette année. De plus, la caractérisation de ce site à partir de fenêtres ponctuelles en complexifie la compréhension. Afin de mieux cerner cet atelier dans la plus grande extension possible nous souhaiterions l'année prochaine décapier l'ensemble des niveaux de l'amas encore présents, dans les zones encore facilement accessibles sous le couvert forestier. L'un des questionnements principaux est de déterminer le nombre de four et leur répartition en fonction des deux phases chronologiques identifiées. L'atelier de la première phase d'activité étaient-ils structurés autour d'un seul four ou de plusieurs ? De plus le ou les bas fourneaux se rattachant à la deuxième phase de production sont quant à eux à identifier sous les couches de rejet.

Les structures significatives sont essentiellement visibles sur le substrat. La stratigraphie de l'amas ayant été bien appréhendée en 2021, nous souhaiterions l'année prochaine mener le décapage jusqu'au terrain naturel en enlevant mécaniquement l'ensemble des couches de rejet. Le décapage mécanique sera évidemment suspendu si des structures d'intérêt ou des concentrations particulières de mobilier étaient perceptibles au sein de l'amas afin de permettre des fouilles manuelles. Les fenêtres de fouilles de cette année n'ont pas été rebouchées afin de faciliter l'appréhension de l'organisation du site dans son ensemble. Plusieurs banquettes dédiées à l'étude stratigraphique seront réservées durant le décapage. Des prélèvements volumiques seront également à nouveau effectués pour affiner les estimations en concentrations de déchets déjà obtenues.

Une géomorphologue, Dominique Sordoillet (INRAP-Chrono-environnement), interviendra en complément et réalisera des prélèvements de lames minces afin d'étudier à l'échelle microscopique les modalités de constitution de l'amas.

3. Intervention à Arbois "Pré des Noyers" (Jura)

Fiche signalétique

Situation de l'intervention archéologique

Département : 39

Arrondissement : Arbois

Commune(s) : Arbois

Canton : Quingey

Lieu-dit : « Le pré des Noyers »

Références cadastrales : CE 37, 41, 59

Occupation du sol : Bois

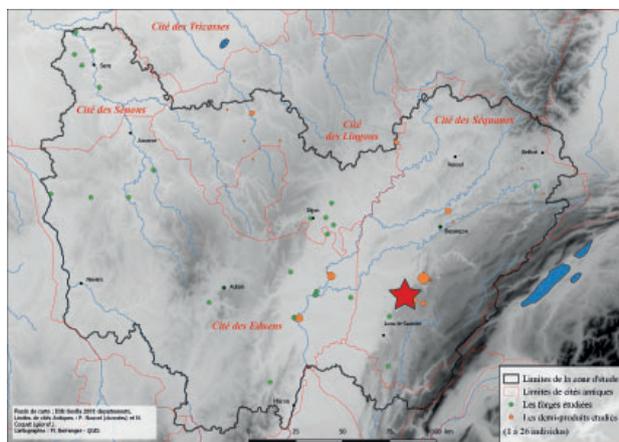
Emprise du sondage : 0,10 m²

RGF 93X : 912 918 m

RGF 93Y : 6 643 040 m

Arrêté d'autorisation de sondage : 2021/369 en date du 15/06/2021

Date d'intervention : 12 juillet 2021



Résultats significatifs

Chronologie: Protohistoire

Éléments de datation : Métal

Mots-clefs : Dépôt, métallurgie

Lieu de dépôt provisoire du matériel archéologique :

Laboratoire «Métallurgies et Cultures»
UMR 5060 - CNRS - IRAMAT
Université de Technologie de Belfort-Montbéliard
90010 Belfort cedex

Equipe de terrain

Direction scientifique : Marion Berranger (CNRS)

Intervenants : Aubert Michel (CNRS), Valentina Valbi (CNRS)

Prospections au détecteur à métaux : Patrick Guillot, Hervé Grut, Patrick Moscat

Rapport : Marion Berranger (CNRS)



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

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Direction régionale des affaires culturelles

Arrêté n°2021/369 du 15 juin 2021
portant autorisation de sondage.

Le Préfet de région ;

Vu le Code du patrimoine et notamment son livre V ;

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 25 mars 2021 portant subdélégation de signature de la Directrice régionale des affaires culturelles de Bourgogne-Franche-Comté ;

Vu le dossier, enregistré sous le n°PGR272021000083, de demande d'opération archéologique arrivé le 10 juin 2021 ;

ARRÊTE

Article 1 - Madame Marion BERANGER est autorisée, en qualité de responsable scientifique, à conduire une opération de sondage à partir de la date de notification du présent arrêté jusqu'au 31 décembre 2021, sise en :

Région : BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE
Département : JURA
Commune : ARBOIS
Lieu-dit : Pré des Noyers
Cadastre : section CE, parcelles n° 37, 41, 59

Intitulé de l'opération : sondage à l'emplacement d'un dépôt de currency-bars
Programme de recherche : Axe 12. Mines et matériaux associés.
Code de l'opération : **095221**.

Cette opération a lieu dans le cadre du Projet collectif de recherche (PCR) 2021-2023 « 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

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

Article 4 - versement des archives de fouilles

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

Article 5 - La Directrice régionale des affaires culturelles est chargée de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Madame Marion BERANGER.

Fait à Besançon, le 15 juin 2021

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

3.1. Introduction

Courant 2015, dans le cadre d'un programme de prospection inventaire conduit par un groupe de prospecteurs autorisés par le SRA Bourgogne Franche-Comté (Hervé Grut, Patrick Guillot, Patrick Mosca, René Parisot), Hervé Grut a repéré au moyen d'un détecteur à métaux, un demi-produit de fer de type *currency-bar* à Arbois « Le Prè des Noyers » (Grut *et al.* 2015).

Ce type d'objet, réserve de matière première destinée à alimenter les ateliers de forgeage pour être transformée en objet, est bien connu dans la région (Berranger *et al.* 2019, 2021). Souvent retrouvés en dépôts isolés de toute occupation humaine, leurs modalités d'enfouissement sont généralement mal établies étant donné leur découverte ancienne ou fortuite, n'ayant pas donné lieu à la réalisation de fouilles. Comme cela avait déjà été fait pour un autre dépôt de *currency-bar* situé également à Arbois «Prè des Noyers» (Berranger *et al.* 2015), les prospecteurs ont décidé de laisser l'objet en place, afin de permettre la réalisation d'une étude plus poussée qui permettrait de documenter finement le contexte d'enfouissement d'une barre de ce type. Une intervention sur le terrain s'est donc déroulée sur une journée le 12 juillet 2021. L'objectif était de préciser les conditions d'enfouissement du *currency-bar* et de déterminer s'il s'avère, ou non réellement isolé de toute structure et/ou objet contemporain.

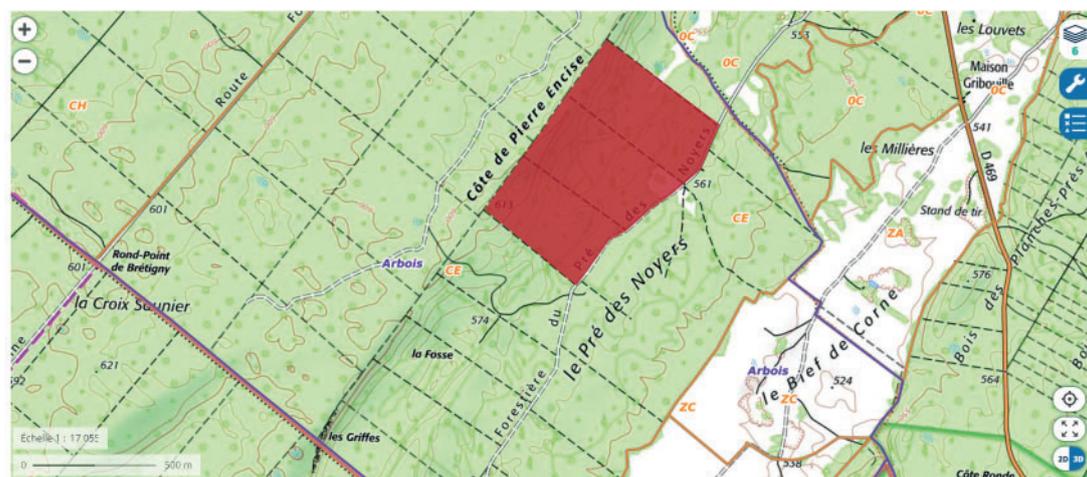
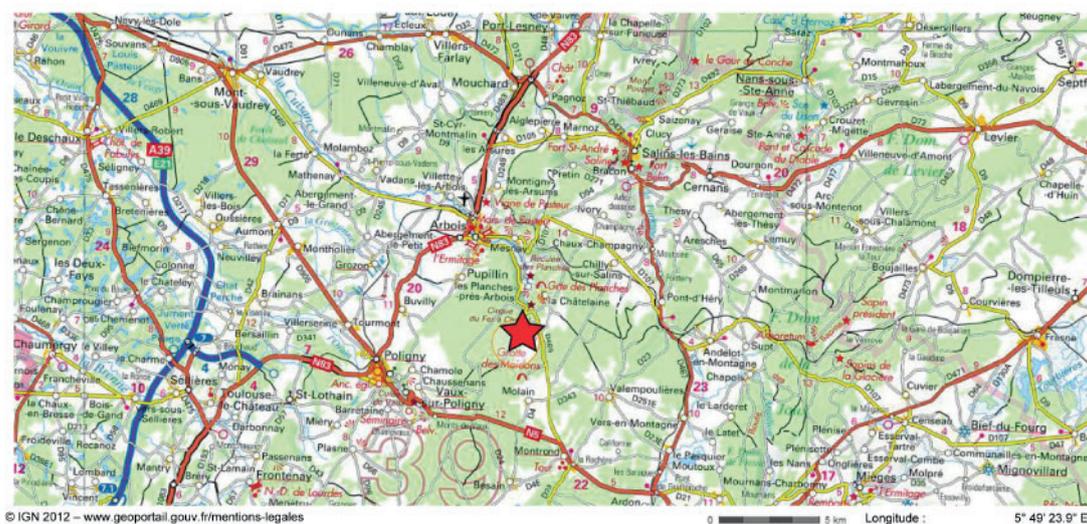


Figure n°88. Localisation de la parcelle concernée par l'intervention.

3.2. Résultats

La zone de découverte se situe en forêt, dans une zone accidentée de lapiaz. L'objet – dénommé dans le rapport (Grut *et al.* 2015) dépôt 3 - a été à nouveau localisé grâce à un GPS puis au détecteur à métaux. La zone de découverte correspond au point haut d'une accumulation de blocs calcaires erratiques caractéristiques des lapiaz de la région. Cet ensemble de blocs constitue une barre rocheuse d'une dizaine de mètres de haut, à la pente assez inclinée, et d'accès relativement accidentée en raison de l'enchevêtrement chaotique des blocs calcaire.



Figure n°89. Vue générale de l'emplacement de la découverte. A gauche : depuis le bas du lapiaz (flèche rouge) - à droite : depuis le sommet.

L'objet était situé dans une fente rocheuse au sein d'un lapiaz constitué d'une accumulation de blocs rocheux d'une dizaine de mètres d'élévation et constituant une sorte de crête dans le relief environnant (fig. 89). Il se situait dans la partie supérieure du lapiaz, un peu en contrebas du sommet. Au moment de sa découverte initiale, l'extrémité roulée dépassait des blocs. Après sa découverte en 2015, il a été recouvert de blocs calcaire et de mousse afin qu'il ne soit plus visible. Lors de l'intervention de 2021, après enlèvement des pierres ajoutées en 2015, l'objet est apparu en position légèrement inclinée, coincé entre deux grosses pierres pluridécimétriques (fig. 90-91). Après nettoyage de l'humus et de petites pierres tombées dans la cavité, l'objet a pu être facilement dégagé. La pierre sur laquelle reposait l'objet semble appartenir au lapiaz naturel, tandis que celle le recouvrant étant facilement mobile. Etant donné la situation de l'objet dans la cavité naturelle, il reste possible qu'il soit tombé depuis un point plus haut, en même temps que d'autres pierres. Il a également pu être glisser tel quel. Aucun récipient ou aucun aménagement spécifique n'a été observé. La cavité recelant l'objet a été fouillée après extraction du currency-bar et n'a pas livré d'autre objet.



Figure n°90. Vue de détail de la découverte. A gauche : avant nettoyage - à droite : après enlèvement des mousses et pierres apportés en 2015.



Figure n°91. Vue de détail de la découverte après enlèvement de la couche d'humus. L'objet était posé entre deux gros blocs calcaire.

L'opération devait également porter sur une autre découverte dénommée dépôt 2 dans le rapport 2015. Cependant, malgré la prospection au détecteur à métaux, l'emplacement de la découverte n'a pu être à nouveau localisée. De nombreux arbres sont au sol et il reste possible que l'un d'entre-eux ait chuté à l'emplacement de l'objet repéré en prospection il y a quelques années. Une surveillance de ce secteur devra donc être maintenue.

3.3. Morphologie du *currency-bar* retrouvé

Le *currency-bar* est complet et présente les particularités morphologiques classiques pour ce type d'objet (fig. 92-93). Il pèse 831 g, pour une longueur de 526 mm. Au maximum sa section mesure 36 x 10 mm. Il est constitué d'un fer plat s'amincissant et se resserrant progressivement vers une extrémité bien plus fine et qui est roulée. Cette dernière forme un décrochement par rapport à la largeur du fer plat. Le fer plat est de largeur irrégulière : il s'élargit ponctuellement dans la moitié située vers la partie roulée, se rétrécit avant de s'élargir à nouveau vers l'extrémité opposée. Dans cette zone il s'achève en arrondie et l'extrémité est amincie. Les bords du fer plat sont légèrement plus épais, ce qui témoigne de l'achèvement de l'objet par un léger matage final latéral.

L'état de conservation particulièrement bon permet d'appréhender son état de surface. De manière générale, la mise en forme est soignée, seules de légères irrégularités résultant des coups de marteau sont encore visibles. Aucune trace de soudure n'est visible à l'échelle macroscopique. Cet objet peut être rattaché au type CBE1.

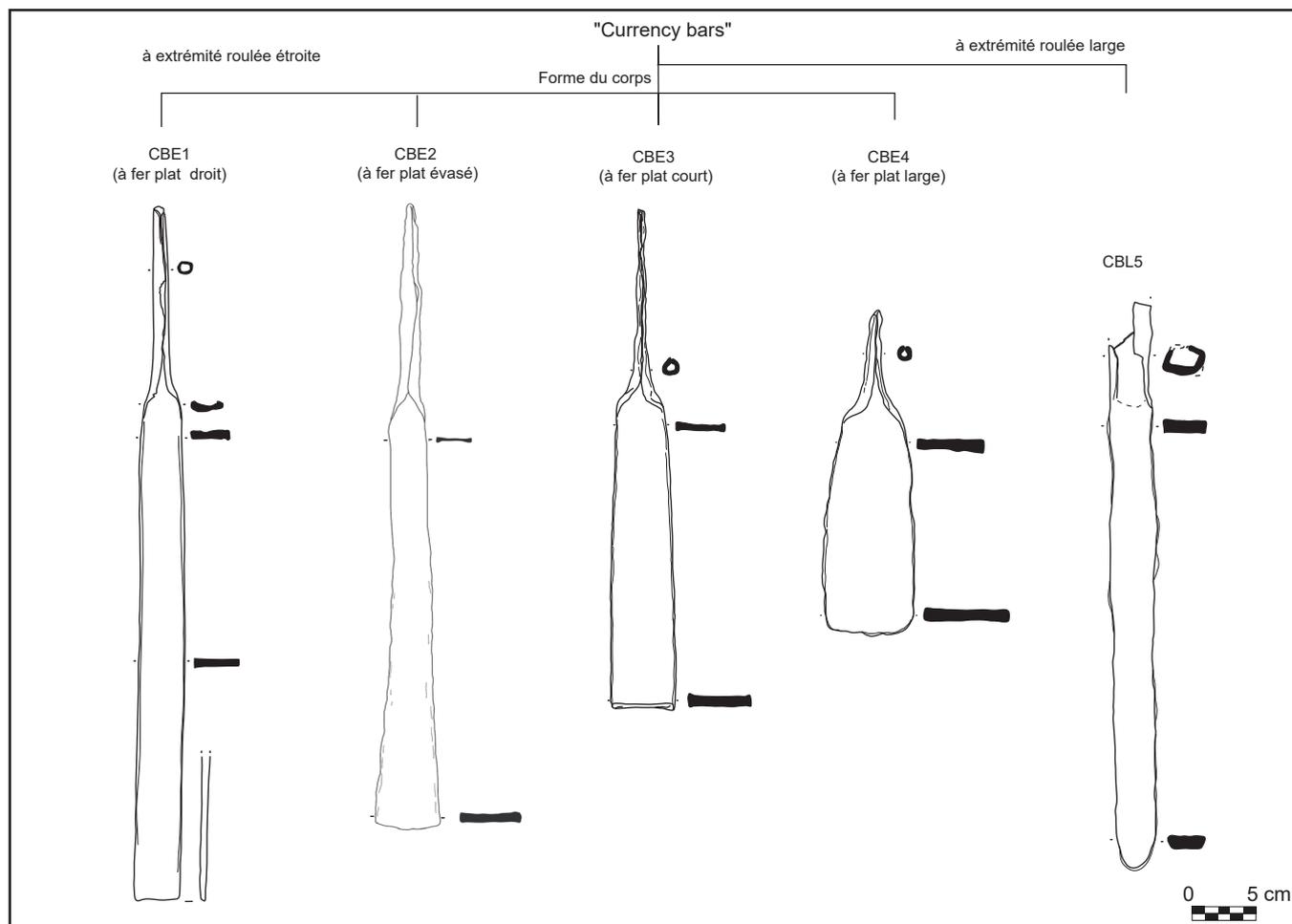


Figure n°92. Typologie des *currency-bars* (d'après Berranger 2014).



Figure n°93. Le currency-bar découvert à Arbois Pré des Noyers en 2021-. 89.013.002.M1

3.4. La découverte d'Arbois dans son contexte régional.

L'objet mis au jour à Arbois, n'est pas atypique à l'échelle régionale. Il se rattache à une série de découvertes circonscrites à un rayon d'une dizaine de kilomètres autour de la commune de Salins-les-Bains et qui rassemble à ce jour 36 demi-produits en incluant la découverte de 2021 (fig. 94). Dans cette région les demi-produits ont été mis au jour dans des contextes rocheux, sans être associés à d'autres objets. La plupart ont été retrouvés à quelques centimètres de profondeur dans des lapiaz : 26 *currency-bars* à Saint Thiébaud *Le Dafoy*, 4 à Valempoulières *Bois de Rafour* et 2 à Arbois *Prés des Noyers*. A Salins-les-Bains *Bois Bovard - les Rappes* et *Bois Bovard - est*, deux dépôts ont été effectués dans des fentes rocheuses distantes d'environ 500 m, et ont livré respectivement 1 et 2 objets. Ces dépôts ont été identifiés durant des prospections-inventaires effectuées au détecteur à métaux dans le cadre d'un Projet Collectif de Recherche dirigé par

J.-F. Piningre dans le courant des années 2000 et 2010. Une de ces campagnes de prospection a permis la réalisation d'un sondage sur l'emplacement d'un dépôt de deux *currency-bars* à Arbois en 2015 (Berranger 2015). Cette découverte est située à quelques centaines de mètres de l'intervention réalisée en 2021.

Afin de distinguer les deux dépôts mis au jour à Arbois Pré des Noyers, la découverte de 2015 sera désignée comme Arbois 1 et celle de 2021 comme Arbois 2.

Dans le secteur de Salins-les-Bains la plupart des barres considérées appartiennent à la variante CBE1, définie dans de précédentes études (Berranger 2014, fig. 26, p.73-75). C'est à ce type que se rattache la barre découverte cette année. Les deux barres découvertes en 2015 à Arbois 1 et l'exemplaire de Salins-les-Bains *Bois Bovard - Les Rappes* (WPT094-1) se rattachent quant à elles à la variante CBE3, caractérisée par un fer plat court, s'épaississant vers une extrémité éventuellement tranchée.

Le groupe cohérent de *currency-bars* de Salins n'est pas le seul connu en Bourgogne-Franche-Comté, mais il s'agit de l'un plus riches à la fois en nombre d'objet (36) et en nombre de dépôts (6) connus.

Un autre ensemble comparable, est documenté grâce aux dragages menés sous la surveillance de Louis Bonnamour dans la Saône, aux environs de Châlon-sur-Saône. Trente barres, pour certaines retrouvées en agglomérats de trois à cinq objets, ont ainsi été retrouvées dans le fleuve, sur quatre communes distinctes (Dumont 2002). D'autres découvertes, à ce jour isolées, et quantitativement plus faibles sont également connues à Champdivers où six *currency-bars* proviendraient d'un méandre du Doubs. Enfin, à Bourguignon-les-Moreys « Le Camp Romain », les fragments de cinq autres *currency-bars* proviennent des couches de démantèlement du rempart LTB/C, et devaient appartenir à un trophée incluant également de l'armement et des parures (Dubreucq, Piningre 2007). Ce groupement de découvertes fait de la Bourgogne Franche-Comté une des régions françaises les plus riches en demi-produits de type *currency-bar* appartenant tous à la même variante CBE1 (Berranger 2014, fig. 26). Elle forme la limite sud-occidentale d'une zone de concentration incluant la Suisse et l'Allemagne (Berranger 2014, fig. 33).

Les objets issus de la région de Salins-les-Bains et de la Saône ont fait l'objet d'une étude interdisciplinaire, publiée en 2019 (Berranger *et al.* 2019). Plusieurs exemplaires ont ainsi été datés par la méthode radiocarbone après prélèvement du carbone au sein de la matrice métallique elle-même. Ces datations radiocarbone qui couvrent principalement le premier âge du Fer et s'étendent jusqu'au III^e s. av. J.-C. ont permis de réévaluer la chronologie de ces objets (Berranger *et al.* 2019), attribués jusqu'à présent exclusivement au second âge du Fer sur la base des seuls contextes de découverte.

La caractérisation des techniques de fabrication (macroscopie et métallographie) et des composés chimiques caractéristiques de leur provenance, a permis de mettre en évidence leur insertion au sein de réseaux d'échanges diversifiés, codifiés et incluant probablement différents intermédiaires. Le métal utilisé pour la fabrication de ces demi-produits est issu de multiples centres de production et circule d'abord sous une forme brute avant d'être transformé au sein d'ateliers de forges dont les productions sont standardisées. La pluralité des provenances constatées au sein d'un unique dépôt pourrait indirectement témoigner de l'implication de différents acteurs dans le rassemblement de la matière première métallique.

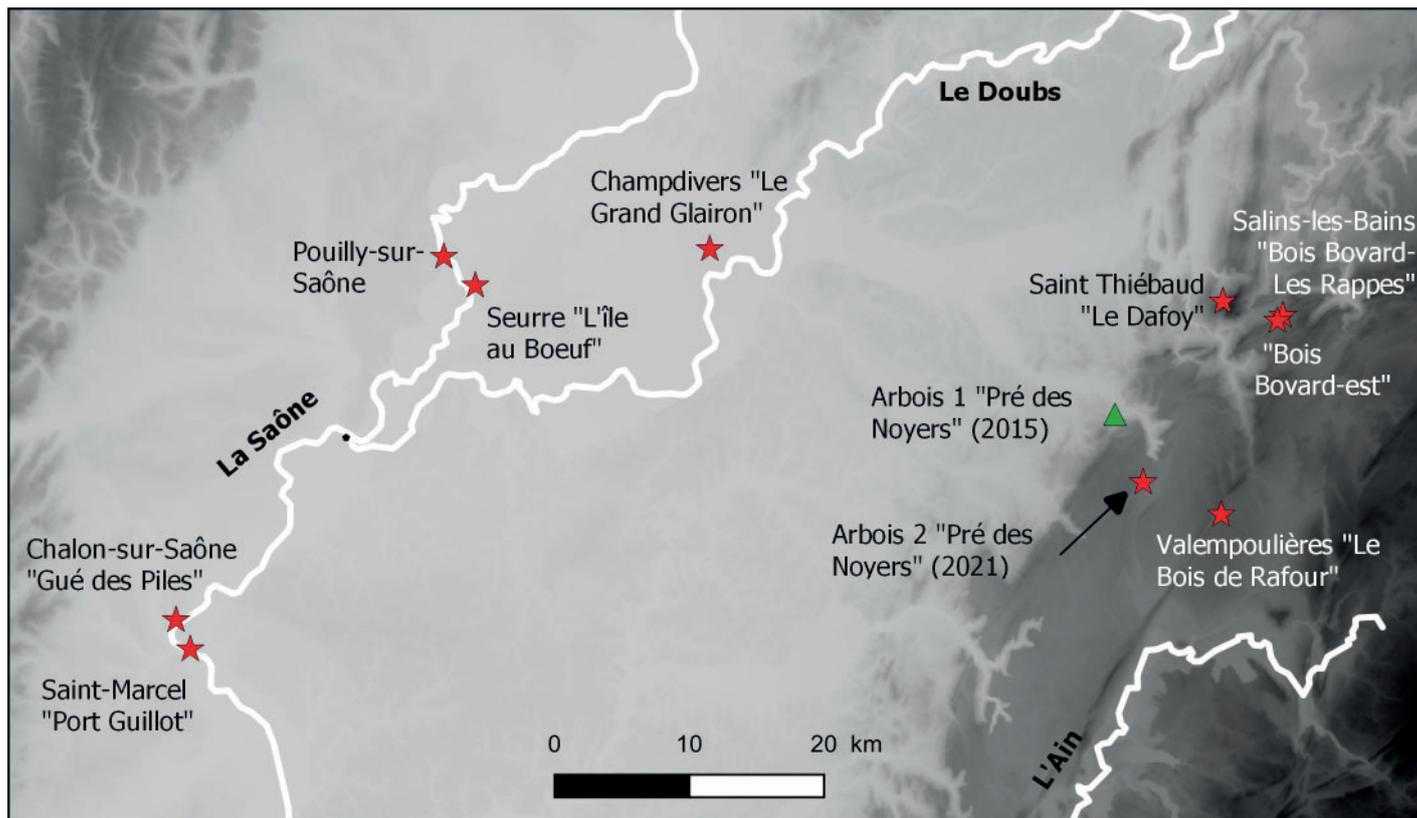


Figure n°94. Localisation des dépôts de la région de Salins-les-Bains et de la Saône / Doubs.

Les datations obtenues pour les objets de la région de Salins-les-Bains s'échelonnent sur les deux âges du Fer du fait de l'imprécision des datations radiocarbone. Néanmoins les mêmes datations très resserrées, entre 475 et 365 cal. BC, obtenues à partir d'une barre issue du dépôt de Saint-Thiébaud et une autre du dépôt d'Arbois 1 pourraient correspondre aux périodes de mise en place de ces dépôts. Les datations des dépôts de Valempoulières et de Salins *Bois-Bovard* ont pu intervenir durant cette même période. Il s'agit dans chacun des cas de dépôts cohérents comprenant des objets issus d'une même tradition de forge.

Cet ensemble de découvertes intervient dans une région caractérisée par un double atout : l'exploitation des ressources salées locales et le contrôle de voies de communication reliant le Jura, le Plateau Suisse, l'Italie du nord, la Vallée du Rhône et les plaines de la Saône. L'émergence de lignées aristocratiques manifestant leur pouvoir au sein de sépultures tumulaires accompagnées d'un riche mobilier, voire d'un char, est visible dès l'âge du Bronze (Piningre, Ganard 2004 p. 393-398). Elle s'accompagne par l'occupation discontinue du camp de hauteur fortifié du *Camp du Château* à Salins-les-Bains et la mise en place de séries de dépôts d'objets métalliques correspondant à de possibles marqueurs territoriaux pour l'âge du Bronze (Gauthier, Piningre 2016). Pour le Ha D2-D3 et LTA, la proximité des nécropoles tumulaires et la découverte d'importations méditerranéennes au sein de cet habitat permettent de l'intégrer au modèle des résidences aristocratiques du Premier âge du Fer (Piningre 2016). Il est tentant de rapprocher les derniers temps de l'occupation protohistorique du *Camp du Château* dans le courant de LTA avec la mise en place de ces dépôts de *currency-bars* dont au moins deux peuvent être datés des environs de 400 av. J.-C. Il pourrait alors s'agir des dernières manifestations ostentatoires contemporaines des profondes modifications économiques et sociales intervenant dans le courant des V-IV^e s. av. J.-C.

4. Notes sur la création d'un SIG uniformisé pour les chantiers préventifs d'Entrains-sur-Nohain de 2008, 2011 et 2013

R. Jeannot

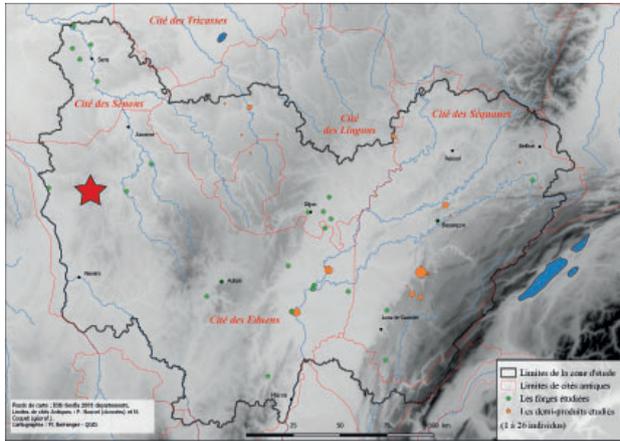


Figure n°95. Localisation d'Entrains-sur-Nohain

Le présent travail s'inscrit dans la continuité des actions réalisées dans le cadre de ce PCR sur l'agglomération antique d'Entrains-sur-Nohain depuis 2015. Cette agglomération a en effet fait l'objet de multiples prospections, fouilles anciennes, puis fouilles préventives et sondages programmés, livrant tous un abondant cortège de témoins de travail du fer durant l'antiquité (Berranger (dir) 2015). Parmi ces multiples investigations, les trois fouilles préventives réalisées par l'INRAP en 2008, 2011 et 2013 (Tisserand (dir) 2012

Vinçent (dir) 2014) ont toutes livrées plusieurs ateliers de forge ; des études spécialisées des produits et déchets ont été menées d'abord dans le cadre de ces opérations, générant d'importants inventaires ; elles se sont ensuite poursuivies pour le compte du présent PCR par des études spatiales des structures (Vinçent Gh. in Berranger (dir) 2019, p.169 ; Venault S., Tisserand N. in Berranger (dir) 2020, p.173) et des études microscopiques et chimiques des mobiliers (Berranger (dir) 2015).

Pour poursuivre ces études, permettre des comparaisons entre opérations ainsi que la réalisation d'une synthèse commune, il semblait nécessaire de rassembler toutes les données sur un outil unique permettant leur exploitation. Dans ce but, elles ont été incorporées à un Système d'Information Géographique (SIG), dont l'organisation et le fonctionnement est présenté ici.

4.1. Constitution du dossier documentaire initial

Les données fournies étaient hétérogènes selon l'opération concernée, et se divisaient comme suit :

- Opération de 2008 au 8, rue de la voie romaine (notée ESN08) : rapport d'opération, plans en image, listings des US, des déchets scorifiés et des prélèvements.
- Opération de 2011 au 16, Route d'Étais (notée ESN11) : rapport d'opération, plans en image, listings des US, des déchets scorifiés et des prélèvements.
- Opération de 2013 au 17, rue de la voie romaine (notée ESN13) : fond SIG des structures, listings des US, des déchets scorifiés et des prélèvements.

4.2. Structure de la donnée reformatée

Afin de permettre leur exploitation, ces données ont d'abord dû être spatialisées (placement de chaque unité stratigraphique dans le plan en polygone sous QGis – 945 unités ajoutées) puis rassemblées sur une base de données (SQLite). Le choix de tout rassembler sur une base unique a été déterminé par la nécessité de standardiser la donnée (structure et valeurs) et de permettre une exploitation statistique indifférenciée des trois chantiers.

Afin d'éviter la redondance des informations, plusieurs tables ont été constituées :

- la table `esn_idsp` rassemble les 1 303 entités spatiales de base (polygones), dont chacune peut contenir plusieurs US (par exemple fondation-mur-récupération). De la même manière, une US peut être illustrée par plusieurs entités spatiales (par exemple : ensemble de trous de piquets, ou couche recoupée). Aucune de ces entités ne partage de géométrie identique, elles sont individualisées de manière unique par un identifiant spécifique (`idsp`).

- la table `esn_us` rassemble les 2 619 unités stratigraphiques (dont 1 584 spatialisées), identifiées de manière unique par trois champs, leur nom d'opération, d'US et de partie (sous-division, par exemple carré « A1 », ou « nettoyage ») ; il existe donc par exemple `ESN11-2083-A1` et `ESN11-2083-A2`. Cette table contient la donnée temporelle sous la forme d'un intervalle `[TAQ;TPQ]` d'existence probable, sans mention de précision, attribué d'après la datation des phases présentées dans les rapports. Ce fonctionnement permet une interrogation de la base par date ponctuelle (`date ∈ [TAQ;TPQ]`) comme par intervalle (`□[date_inf ; date_sup] ∩ [TAQ;TPQ]`).

- les tables `esn_sco` (déchets scorifiés), `esn_pre` (prélevements), `esn_str` (structures interprétées) rassemblent les données fonctionnelles, par exemple : le listing de tous les déchets scorifiés présents dans une US. Les valeurs ont été uniformisées en partie afin de replacer les différentes opérations sur une base commune et éviter de multiplier les valeurs différentes dont le sens est similaire ('SFR' = 'sfr').

4.3. Utilisation

Dans le but de faciliter l'exploitation statistique et la représentation de la donnée, plusieurs outils ont été incorporés au SIG :

- un ensemble de requêtes-type (document en Annexe) ont été créées en SQL afin de permettre une interrogation facile de la donnée, qui peuvent être aisément modifiées selon les besoins de l'utilisateur. Les requêtes proposées permettent d'extraire les US spatialisées dont la datation probable est incluse dans un intervalle de temps donné, un comptage en masse par types des déchets, un comptage en NMI par types des culots, la composition moyenne en pourcentage des battitures présentes dans ces US et l'interprétation proposées des structures concernées. Les résultats de ces requêtes peuvent ainsi être simplement ajoutés à la représentation QGIS à travers le module « Base de données...>D B Manager », après connexion de la base de données, « Fenêtre SQL>US_temps>Charger en tant que nouvelle couche ».

- un ensemble de symbologies ont été préparées pour la représentation des données extraites selon les listes de valeurs établies

- enfin, un ensemble de mises en pages correspondant à chaque type de données ont été pré-enregistrées pour permettre un export rapide.

4.4. Perspectives pour de futurs développements

Ci-dessous sont listées les opérations qui n'ont pas pu être réalisées lors de cette année, mais qu'il serait intéressant de reprendre à l'avenir dans le cadre d'une éventuelle poursuite de ce travail, par exemple avec l'ajout d'autres opérations, anciennes ou préventives.

- il pourrait être intéressant d'ajouter les données non prises en compte dans cette première approche, par exemple données microscopique et chimiques des culots, dans le but de mettre en évidence les contrastes temporels et spatiaux qui organisent ces données ; de la même manière, il serait intéressant d'ajouter les mobiliers en fer issus de ces chantiers, parfois nombreux (exemple : `ESN11`, 441 déchets de travail).

- dans l'hypothèse d'un ajout de données temporelles plus complexes, il sera nécessaire de créer une table dédiée, afin qu'un objet (US) puisse par exemple se rapporter à plusieurs intervalles temporels (tel que ce peut être le cas lors de l'utilisation de données ¹⁴C) ou pour pouvoir inclure des données de durée et de précision.

- manques plus anecdotiques : ajout d'une couche technique « vrac » pour ESN08 et ESN13 ; le champs description n'est pas présent dans esn13_us (non fourni) ; le carroyage d'ESN13 n'a pas été ajouté ; les US sans géométrie d'ESN13 (observées en coupe) n'ont pas non plus été ajoutées, mais il serait intéressant de le faire ; une approche plus complète sur les battitures (par types) pourrait se révéler très riche en informations.

4.5. Exemple d'exploitation – mise en parallèle des ateliers de la phase 80-100 ap. J.-C.

Cette première approche a pour but de donner une idée plus précise de la donnée considérée et d'une exploitation possible, en présentant quelques observations dénuées d'interprétation.

Afin de déterminer les rythmes de la production sur tous les chantiers, des diagrammes résumant la masse de déchets et le nombre de culots présents ont été représentés sur la donnée extraite de la base SQLite (fig. 96). L'interrogation a été opérée dans cet exemple par opération, sans prendre en compte les différentes zones (ateliers) interprétées. Ces diagrammes sont présentés sur la fig. 96.

Ces représentations permettent de mettre en évidence plusieurs tendances ou contrastes entre les chantiers. Tout d'abord, la masse de déchets étudiés varie considérablement entre les opérations (de 1 à 10x) ; de la même manière, la précision de la définition temporelle varie fortement. Du point de vue des déchets, il est intéressant de remarquer que les scories de réduction n'apparaissent en nombre que tardivement, vers 140 sur ESN13, vers 170 sur ESN11 ; les culots de type SAS ne sont présents qu'en très petit nombre et quasiment exclusivement sur la fin du 1^{er} siècle sur tous les chantiers.

Cette période, en particulier l'intervalle [80 ;100] semble être un point intéressant, pendant lequel des ateliers sont en fonctionnement sur toutes les parcelles fouillées. Les figures 104 à 114 présentent les structures, masses de déchets, taux de battitures et décompte de culots étudiés dans les contextes de cette période. Deux ateliers apparaissent en fonctionnement sur le chantier ESN11, un sur ESN08, deux ou trois sur ESN13. Les types de foyers comme les assemblages de déchets apparaissent ici relativement variés, avec par exemple la présence de culots SAS dans un seul atelier sur deux d'ESN11, alors qu'ils sont toujours présents dans ESN08 et ESN13. Dans chacun de ces cas, les culots SFR sont toutefois majoritaires, suivis de près par les culots SGD.

Cette première approche, bien que très limitée, montre les possibilités d'analyse offertes par la centralisation de toutes ces données sur une base spatiale unique, qu'il est possible d'augmenter et d'interroger de multiples manières.

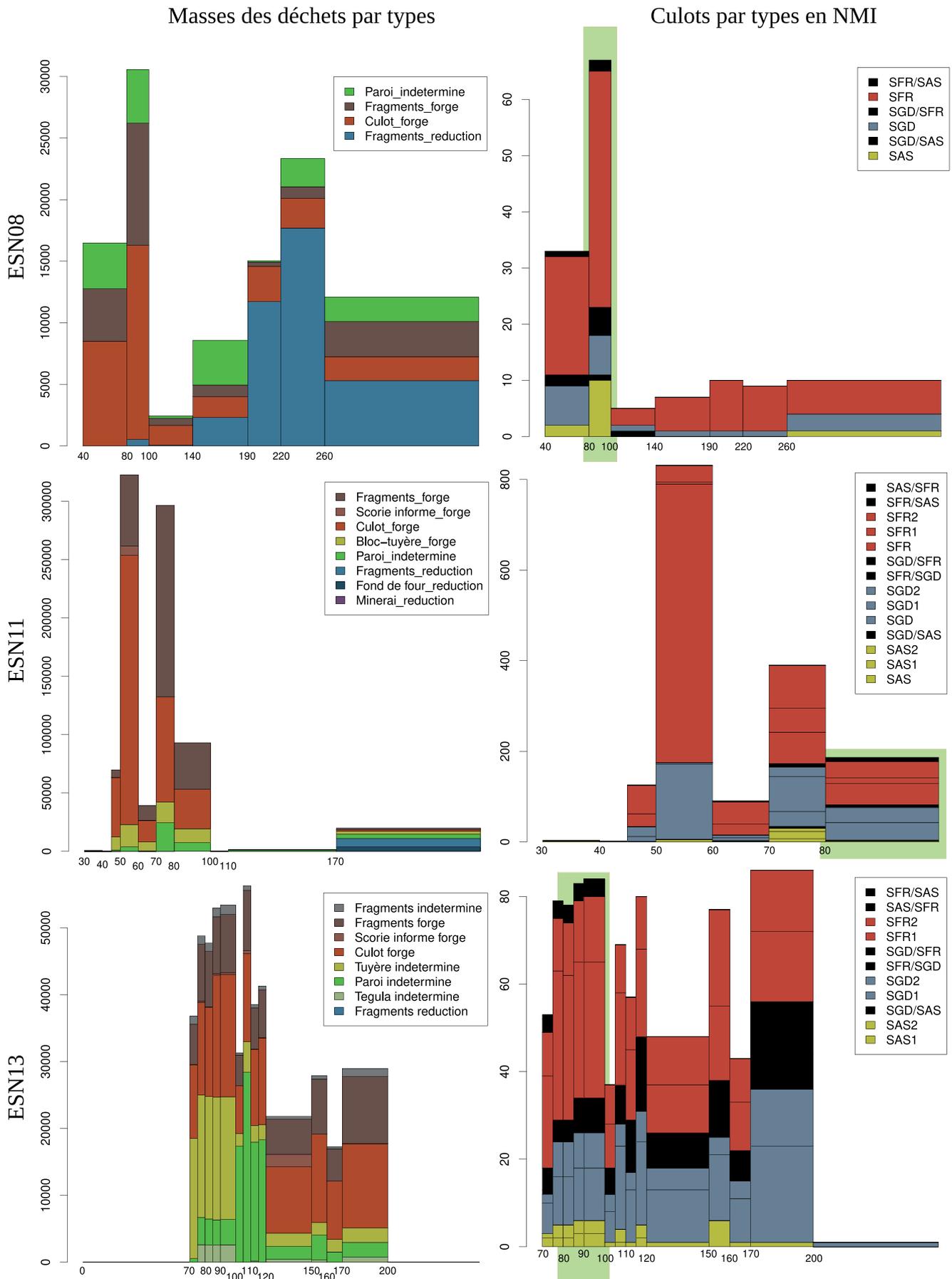


Figure n°96. Comparaison chiffrée des activités documentées sur les trois chantiers. Surligné en vert : période d'activité étudiée ici [80;100]

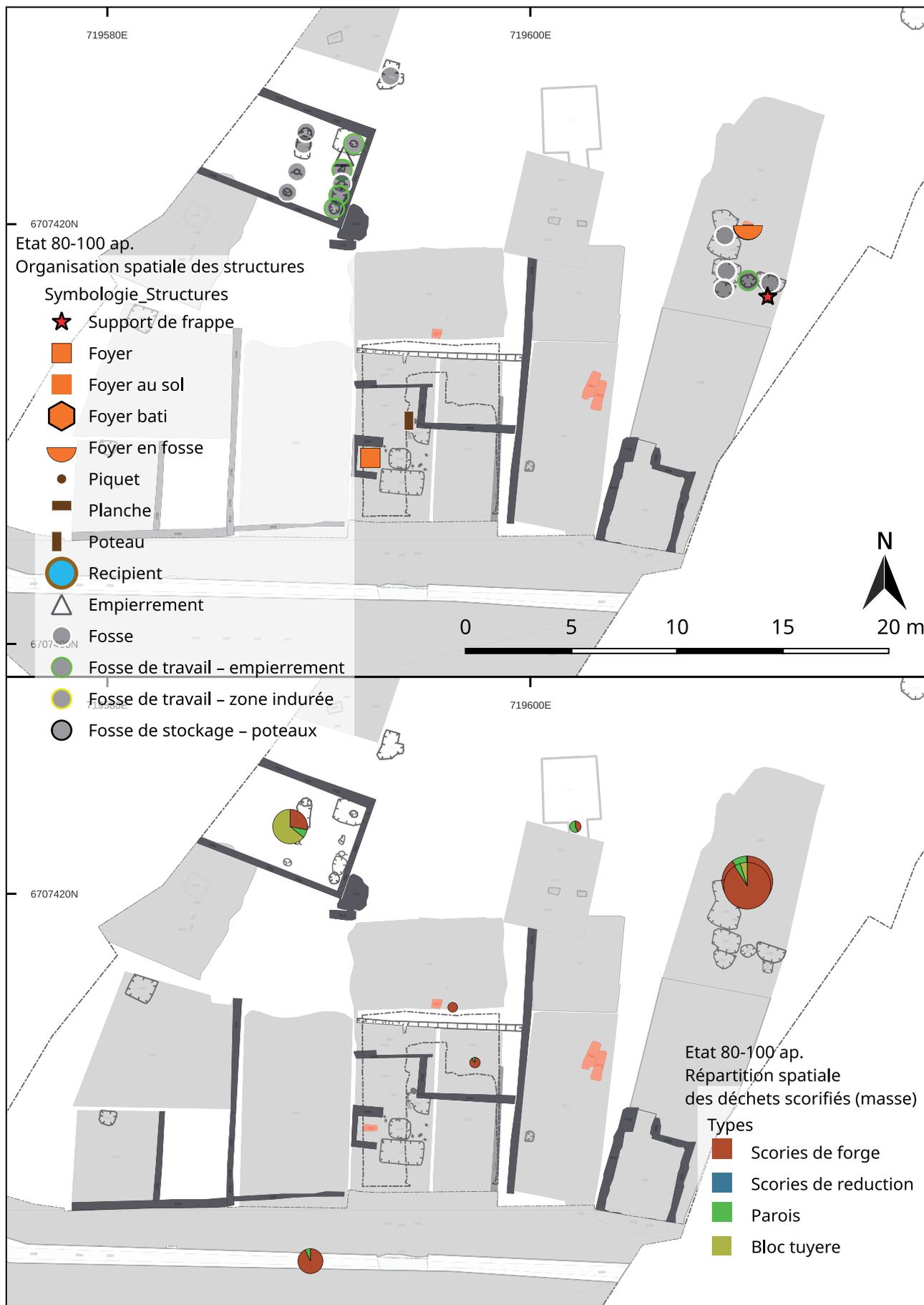


Figure n°97. Structures et déchets issus de l'opération ESN 2011.

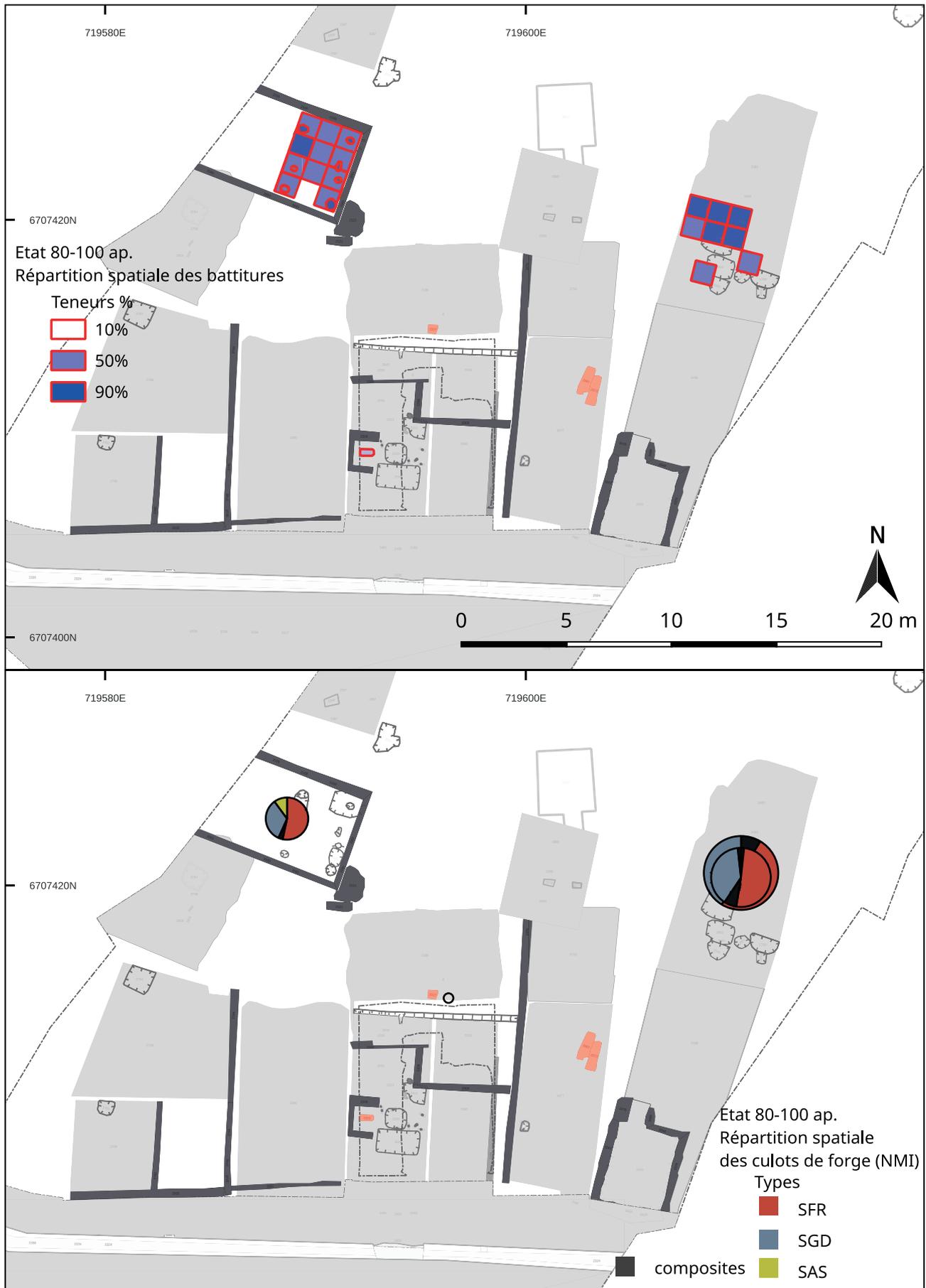


Figure n°98. Densité de battitures et répartition des culots en NMI issus de l'opération ESN 2011.

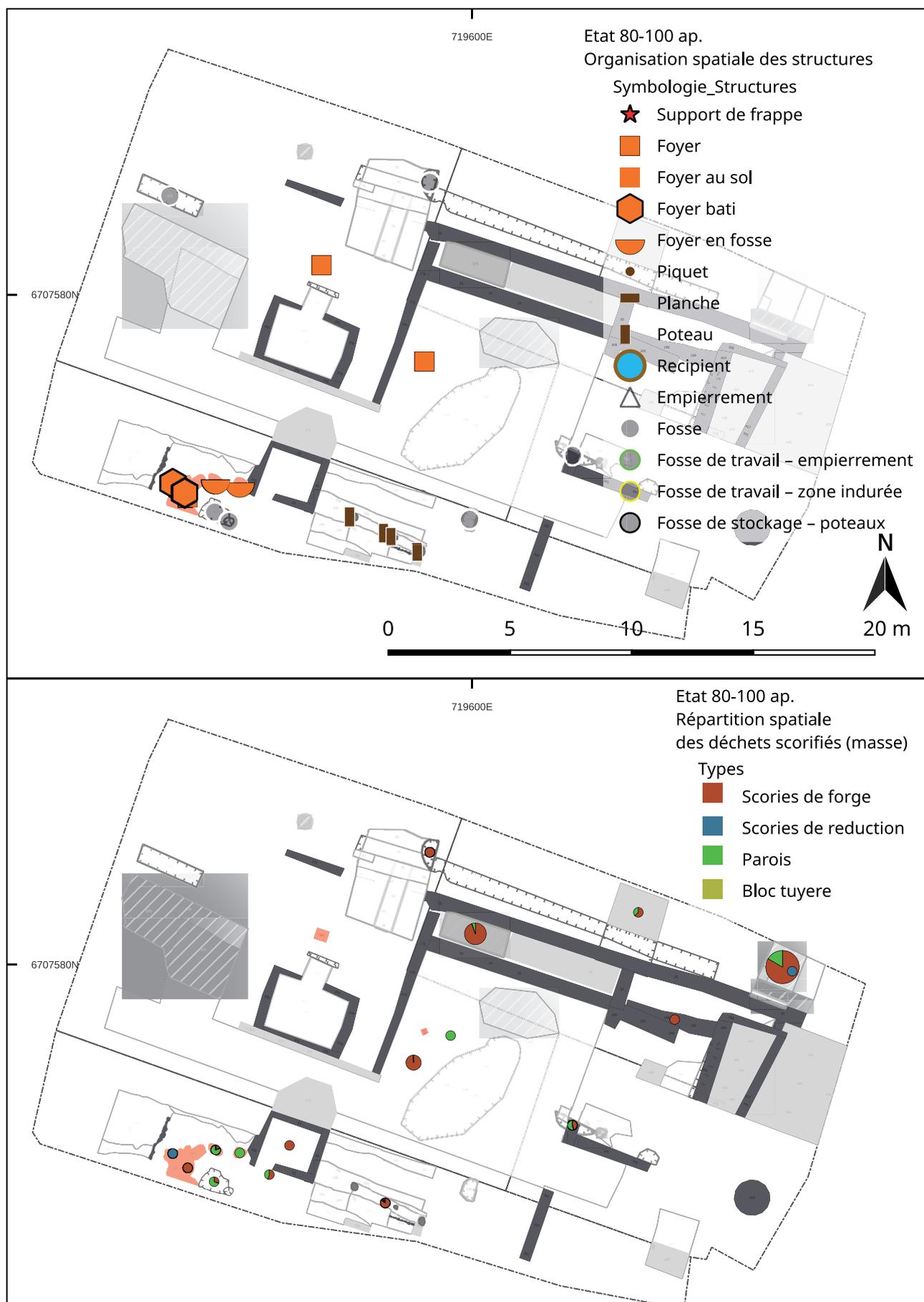


Figure n°99. Structures et déchets issus de l'opération ESN 08



Figure n°100. Densité de battitures et répartition des culots (NMI) issus de l'opération ESN 08

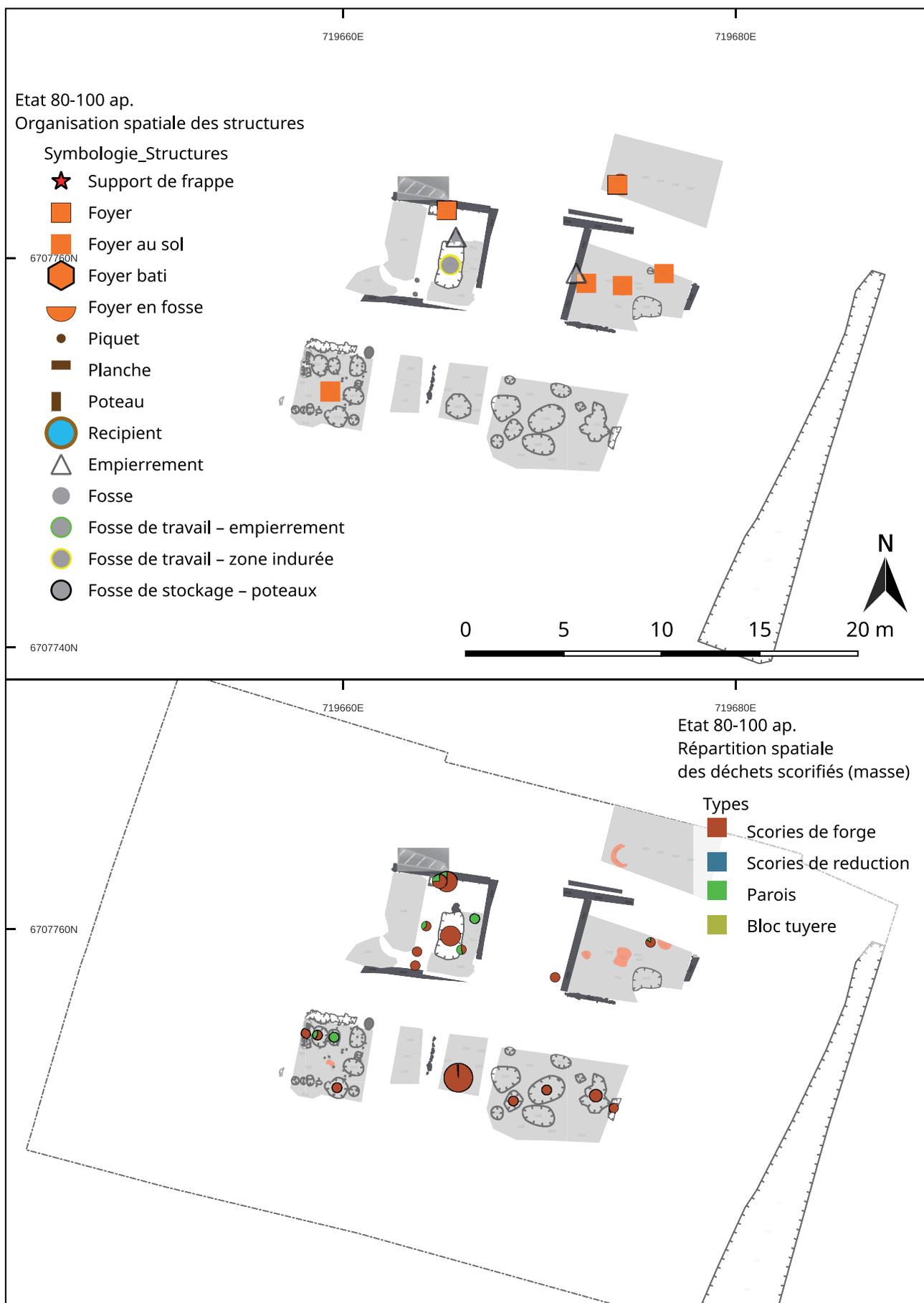


Figure n°101. Structures et déchets issus de l'opération ESN 13

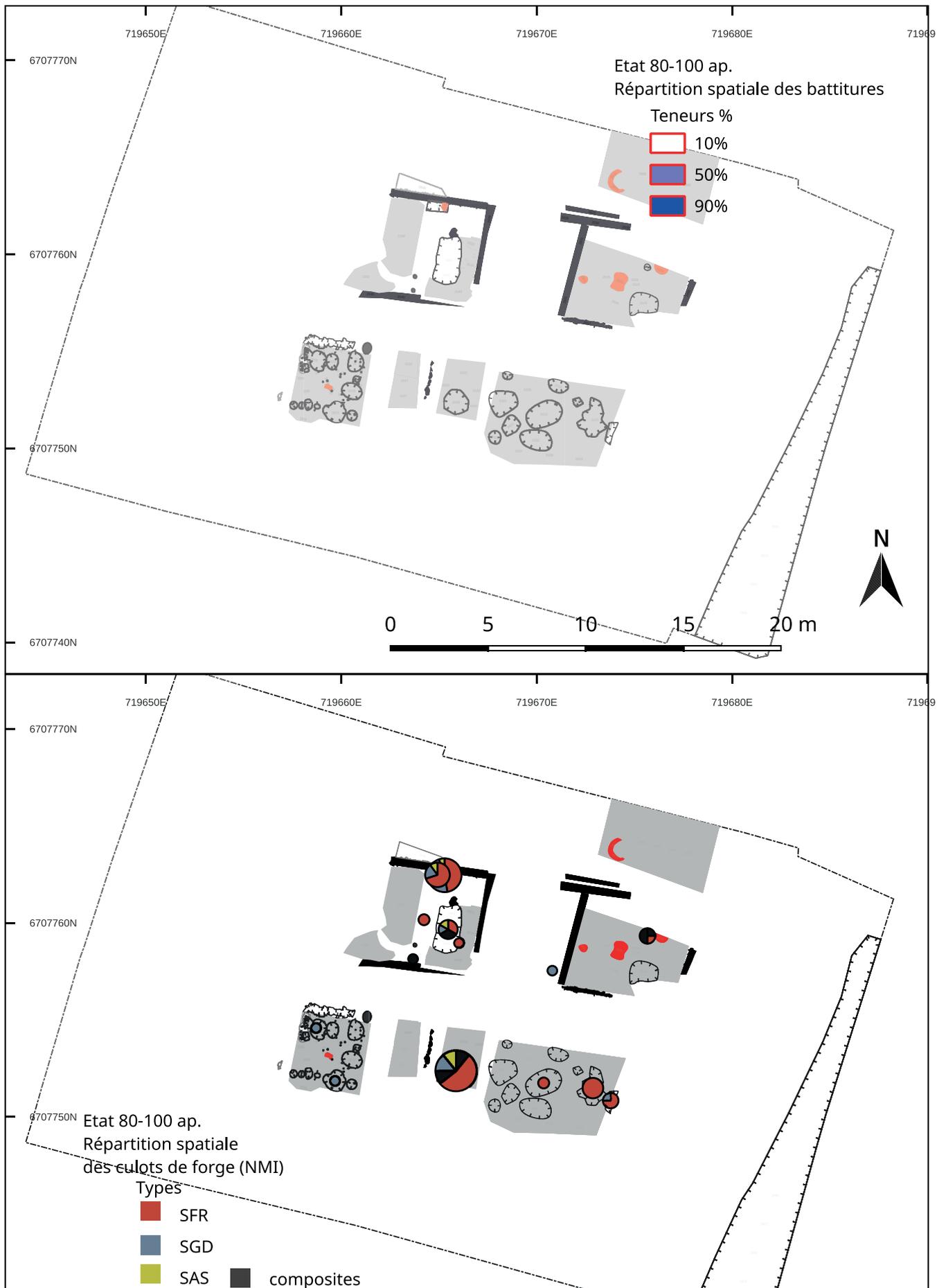


Figure n°102. Densité en battitures et répartition des culots (NMI) issus de l'opération ESN 13

5. Programmation 2022

En 2022, les interventions sur le terrain concernent principalement la Puisaye et les alentours d'Entrains-sur-Nohain.

Poursuite des fouilles sur un amas de déchets à Saint-Fargeau (Yonne - Puisaye)

Le premier objectif est de poursuivre la fouille sur l'amas 40 de Saint Fargeau. Cette année, la stratigraphie de l'amas a été étudiée en détail, et des prélèvements volumiques, en stratigraphie ont été réalisés. Le questionnement principal subsistant à l'issue de cette campagne de fouille, est le nombre de four et de structures annexes potentiellement en lien avec l'amas.

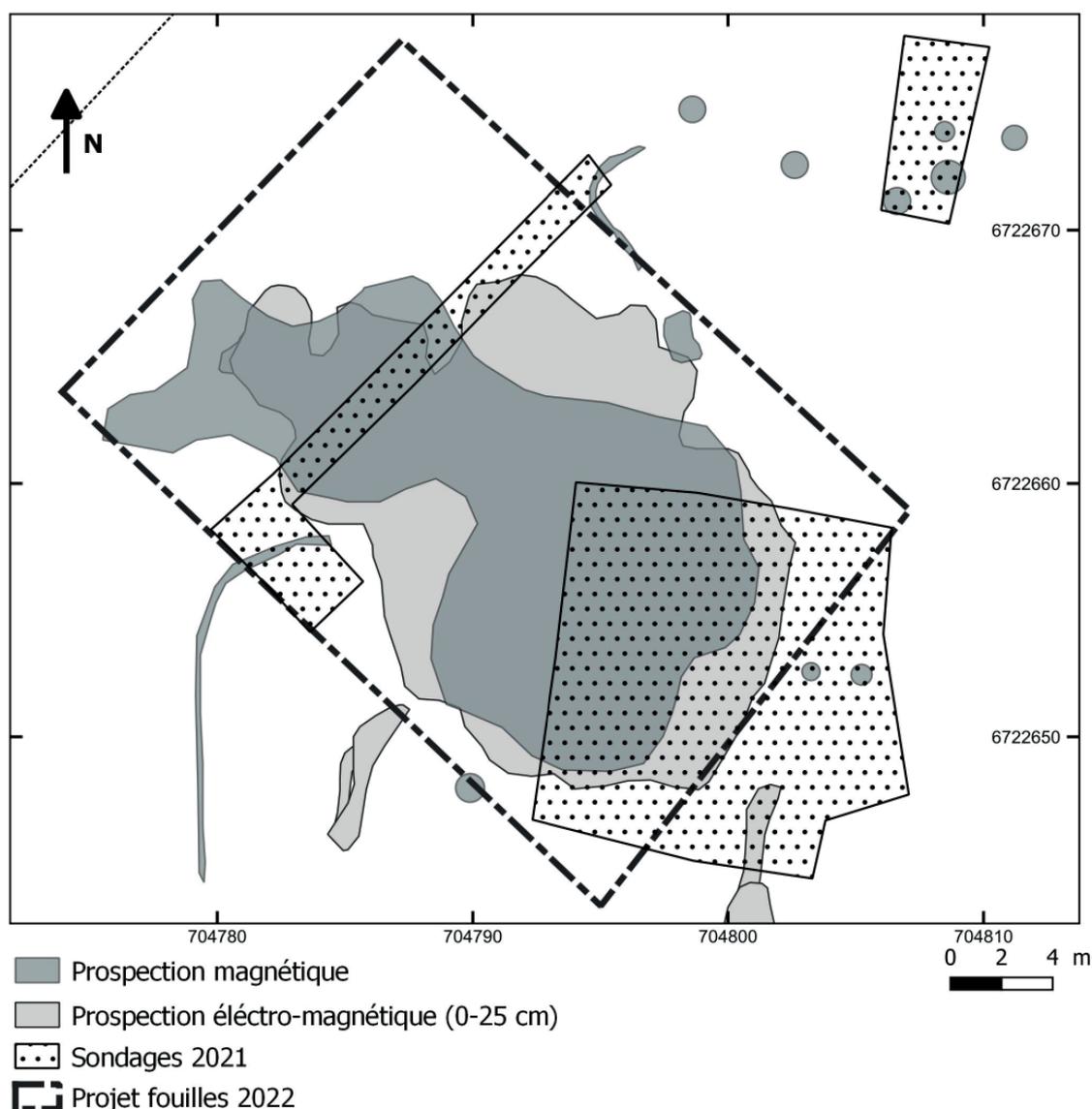


Figure n°103. Saint-Fargeau site 40. Projet d'implantation de la future fouille 2022

A la suite des sondages de cet été il apparaît que ces structures sont visibles après décapage sur le niveau d'argile naturelle. En 2022, nous proposons donc de décaper intégralement l'amas jusqu'à l'argile naturelle, en englobant les sondages réalisés en 2021, qui n'ont pas été rebouchés (fig. 103). Ce décapage sera réalisé au printemps, afin de pouvoir ensuite constituer l'équipe

de fouille en fonction du nombre de structures visibles. Comme en 2021, il sera nécessaire de recruter un IE durant au moins 1 mois afin de réaliser les acquisitions et les traitements photogrammétriques.

A titre expérimental, une étude géomorphologique sera réalisée par D. Sordoillet (INRAP-Chrono-environnement) afin d'étudier la microstratigraphie de l'amas et ses modalités de constitution. A ce stade l'étude de deux lames sédimentaires est envisagée. Une autre problématique concernerait la caractérisation de la nature des parois des fours métallurgiques, et leur comparaison avec l'argile du sol géologique afin de déterminer les modalités de fabrication et l'aire d'approvisionnement.

Tannerre-en-Puisaye : prospections géophysiques et sondages (Yonne - Puisaye)

Les prospections géophysiques réalisées cette année à Tannerre-en-Puisaye, ont révélé une structuration de l'espace à partir d'enclos semblant se répartir de part et d'autre d'une voie passant au sud du "grand ferrier". La poursuite des recherches en 2022 est envisagée à partir de sondages archéologiques ainsi que de prospections géophysiques complémentaires.

La mise en oeuvre de sondages archéologiques doit permettre la vérification de la nature des vestiges tout en limitant leur impact au sol dans un souci de préservation patrimoniale mais aussi afin de gêner le moins possible l'usage du terrain par son propriétaire. Nous proposons de cibler les tests sur les trois ensembles identifiés (fig. 104, 105).

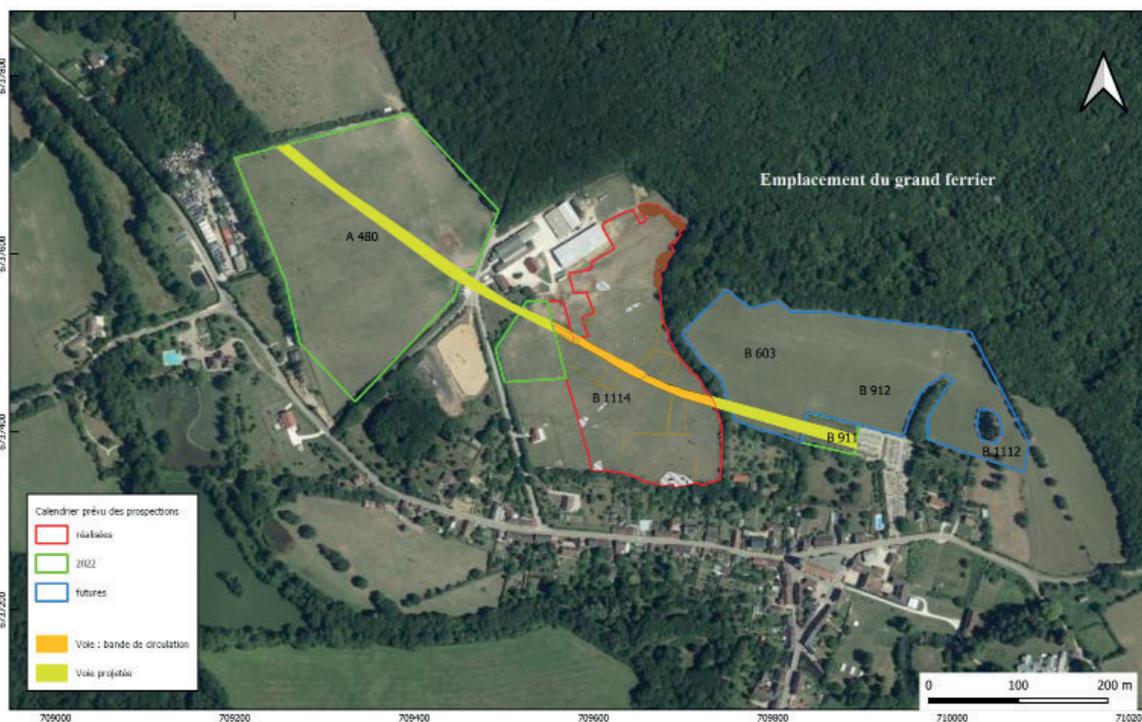


Figure n°104. Carte de localisation des futures parcelles à prospector sur fond orthophotographique (source IGN) (St. Venault)

L'ensemble A peut faire l'objet de deux sondages. Le sondage 1 a pour objectif de tester l'anomalie localisée à l'intérieur du rectangle pour en vérifier la nature mais également pour en extraire un éventuel lot de mobilier datant. La tranchée sera prolongée jusqu'au niveau de la voie afin de contrôler l'absence effective de limite périmétrique vers le nord. Nous en profiterons pour couper le fossé bordier de la voie. Le sondage 2 visera à examiner la morphologie des structures

délimitant le rectangle. Nous privilégions l'implantation des sondages en bordure de parcelle en raison de la présence d'un obstacle d'équitation vers l'angle nord-est. Outre le fait que cet obstacle risque de gêner l'évolution de la pelle hydraulique, il est préférable de ne pas déstabiliser les sols à son approche.

L'ensemble B sera appréhendé à travers l'exécution d'un unique sondage destiné à recouper le faisceau de structures reliant la voie à l'enclos qui interrogent en termes fonctionnels. Il ne nous paraît pas indispensable de vérifier la nature des vestiges qui délimitent l'enclos.

Figure n°105. Plan d'implantation des futurs sondages archéologiques sur le plan d'interprétation archéologique (St. Venault)



Nous proposons de réaliser un quatrième sondage à hauteur de l'ensemble C qui s'appliquera à s'assurer de l'authenticité archéologique des anomalies linéaires reliant l'enclos à la voie. Il est possible que la tranchée proposée se réduise à deux tests ponctuels à l'emplacement du passage des fossés potentiels, si le volume de terre mobilisé constitue une difficulté à la libre jouissance du terrain par le propriétaire. Cette opération de terrain, d'une durée de quelques jours, sera dirigée par S. Venault (INRAP).

En ce qui concerne les prospections géophysiques complémentaires, nous proposons de poursuivre les investigations le long de tracé de la voie tel qu'il peut être projeté vers l'ouest et l'est. Compte tenu des parcelles pour lesquelles les autorisations sont susceptibles d'être d'ores et déjà acquises, l'année 2022 pourrait être consacrée à l'exploration des lots cadastraux suivants (fig. 104) :

- Parcelles A480 à l'ouest complétée par une portion de la parcelle B1114 à la jonction de la surface traitée en 2021 (total : 6 ha).
- Parcelle B911 à l'est : surface en herbe située dans le prolongement du cimetière (2 000 m²).

Ces prospections feront l'objet, comme cette année, d'une prestation par l'INRAP.

La détection des parcelles B603, B912 et B1112 pour lesquelles nous n'avons pas encore obtenu le plein accord des propriétaires pourra être envisagée dans le cadre d'une programmation à échéance 2023 ou 2024 en fonction des crédits (4 ha).

Acquisitions LiDAR sur le ferrier Guillou 1 à Dracy (Yonne - Puisaye)

L'acquisition de nouvelles données topographiques tridimensionnelles haute résolution sont envisagées sur un grand ferrier situé au Bois des Ferrier à Dracy. Ces acquisitions feront l'objet d'un projet piloté par M. Thivet (Chrono-environnement) en lien avec la MSH, ce qui nécessitera le recrutement d'un IE pour un mois.

Ce site présente de nombreux points communs avec certains des amas déjà étudiés à Aillant-sur-Tholon "Bois des Ferriers" (Berranger *et al.* 2017, 2018), notamment par son élévation et son extension importantes. Les contraintes d'accès à Aillant n'ont cependant pas permis d'obtenir des relevés tridimensionnels extensifs. L'intérêt de Dracy est d'offrir un large accès à l'avant du ferrier et de le rendre ainsi plus favorable à des acquisitions LiDAR par drone. Il s'agirait de réaliser en 2022 les relevés tridimensionnels, afin de programmer en 2023 une intervention de terrain basée sur l'interprétation de ces acquisitions. Ces dernières devraient nous permettre de mieux identifier l'organisation de l'amas et cerner des structures fugaces présentes entre les tas, comme a pu le montrer le travail de master de Margaux Herbrich réalisé à partir des acquisitions menées à Aillant-sur-Tholon (Herbrich 2021).

Sondages sur des amas de déchets de la région d'Entrains-sur-Nohain (Nièvre)

Une dernière intervention de terrain concernera la réalisation de micro-sondages (maximum 1 m de côté) sur deux amas de déchets visités cette année suite au signalement de promeneurs. Une visite sur site a permis de révéler la grande extension de l'aire de répartition de déchets au sein d'une large tache noirâtre couvrant plus dizaines de mètres. La datation de cet amas, situé à proximité de l'agglomération antique d'Entrains-sur-Nohain paraît prioritaire dans le cadre de nos problématiques visant à étudier les liens entre milieux exploités et milieux habités.

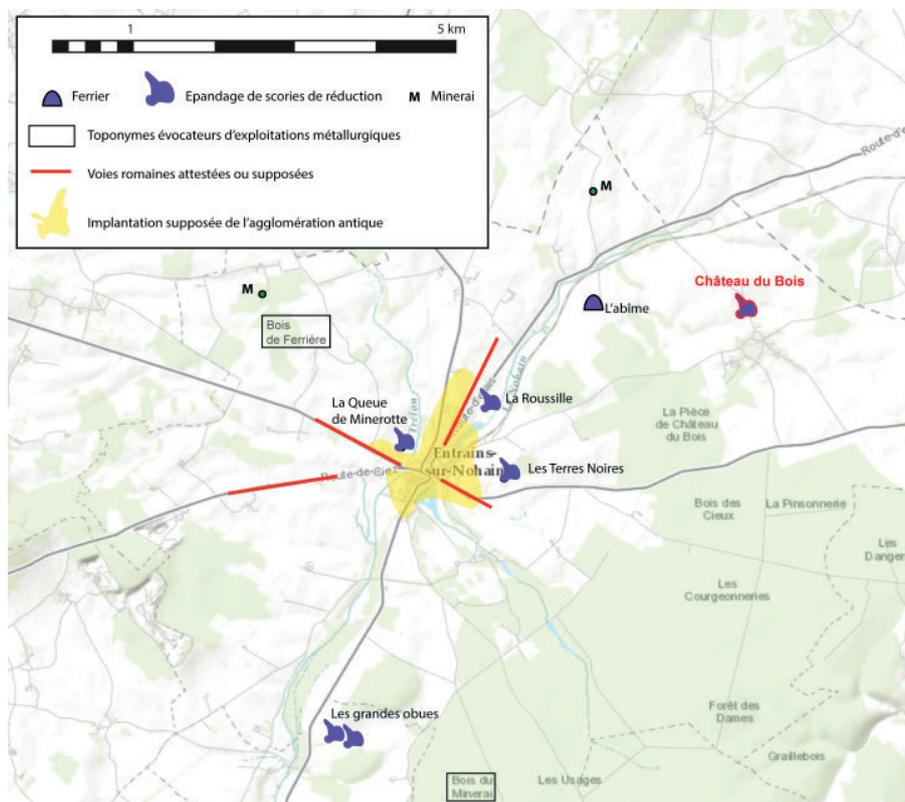


Figure n°106. Localisation des deux nouveaux amas de scories identifiés en périphérie de l'agglomération antique d'Entrains-sur-Nohain

Un sondage sera réalisé sur chacune des taches, en adoptant le protocole de prélèvement mis en place ces dernières années. Il s'agira de prélever des charbons en stratigraphie pour datations radiocarbone. La durée de cette intervention est estimée à 1 journée et pourra être groupée avec une des interventions prévues en Puisaye. Trois autres amas, situés à peu de distance ont déjà été datés ces dernières années : deux sont antique (Menestreau "Les grandes Obues", Entrains "L'abîme"), un autre est daté des environs du XIIe s. (Entrains "L'abîme").

Une intervention sur un bas fourneau des Clérimois menacé de destruction (Yonne - Pays d'Othe)

A l'issue des fouilles des années 1990 menées sur le complexe métallurgique des "Clérimois" (89) (Dunikowski, Cabboi 1995), plusieurs bas fourneaux ont été prélevés. L'un d'entre-eux a été déposé au Centre de loisirs EDF à Serbonnes, sans faire l'objet d'une mise en valeur particulière. EDF souhaite à présent vendre ce terrain et se débarrasser du four. Sans une intervention archéologique programmée rapidement il sera détruit.

Suite à l'intervention de la DRAC, et sur proposition du musée de Sens qui organisera en 2023 une exposition sur Sens à l'époque romaine, un projet de documentation du four a été proposé. L'objectif est de dégager la cuve du fourneau, recouverte de sable, afin de réaliser une acquisition photogrammétrique et de proposer une modélisation 3D. Une acquisition photogrammétrique d'une cheminée partiellement remontée, présente dans les réserves du musée de Sens serait également réalisée. Ces restitutions pourront être immédiatement valorisées durant l'exposition prévue à Sens.

D'un point de vue scientifique, l'étude concernerait un four de type II, daté de l'époque romaine (four F106-Ferrier 1). La partie arrière était initialement encastrée dans le substrat naturel dans une rupture de pente. Actuellement l'arrière est encastré de la même façon dans une coque de plâtre. Le dégagement de la structure porterait donc sur l'avant du four, sa cuve, la fosse avant destinée à l'écoulement de la scorie, et la couronne lithique qui renforçait l'ensemble.

Dans le cadre du PCR, il s'agit d'une opportunité unique de pouvoir étudier à partir d'une approche actualisée un type de bas fourneau probablement comparable à ceux en usage en Puisaye. En effet, les types de scories documentés aux Clérimois sont les mêmes que ceux enregistrés ces dernières années sur les sites antiques de Puisaye.

L'équipe mobilisée comprend des agents INRAP, S. Cabboi et Ch. Dunikowski responsables de la fouille des Clérimois dans les années 1990, et des agents du LMC-IRAMAT, archéométallurgistes (M. Berranger, M. Leroy, P. Merluzzo) et spécialistes des acquisitions photogrammétriques (J.-C. Méaudre). La conservatrice des collections archéologiques du musée de Sens, C. Bourdin), sera également présente. Le travail sur le terrain de l'ensemble de l'équipe est estimé à une semaine.

Figure n°107. Four106 lors de son prélèvement (D'après Dunikowski, Cabboi 1995)



La poursuite des travaux en laboratoire

Les travaux en laboratoire sur les déchets de réduction, tout comme les études dendro-anthracologiques permises par une collaboration engagée entre Sylvie Coubray de l'INRAP et Olivier Girardclos du laboratoire Chrono-environnement seront poursuivis. L'étude anthracologique sera basée sur les mêmes méthodologies que celles présentées dans Girardclos, Jeannot 2019. Elle intègrera les lots encore non exploités, provenant des fouilles réalisées cette année à Saint Fargeau. Dans la mesure du possible, la programmation de cette étude sera à prévoir après la fouille 2022, afin de prendre en compte l'ensemble des charbons prélevés lors de la fouille du site n°40.

L'étude archéométrique des scories se poursuivra à travers la réalisation de nouvelles analyses chimiques au CRPG. Suite au bilan des études archéométriques sur les déchets, présenté dans le rapport de l'année dernière (Berranger 2020), un nouvel échantillonnage de types de déchets encore non analysés est prévu. Il faut également mentionner qu'une collaboration avec V. Serneels professeur à l'Université de Fribourg (Suisse) a débuté. Elle se concrétise par l'étude de minerais et de scories vitreuses dans le cadre d'un mémoire de master de géologie. L'étude macroscopique, destinée à mieux comprendre les conditions de formations des différents types de déchets sera également approfondie à travers l'étude des types de déchets les plus complets et représentatifs.

6. Bibliographie.

- Alix et al. 2021** : ALIX (St) - Le quartier artisanal de la Genetoye (Autun), rapport du PCR
- 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 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 VIe 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.
- Herbrich 2019** : HERBRICH (M.) - *Le complexe métallurgique antique d'Aillant-sur-Tholon. Apport de la topographie par LIDAR aéroporté à sa caractérisation*. Mémoire de master 1 de l'Université de Dijon. Sous la direction de P. Nouvel, M. Thivet et M. Berranger, 2019.
- 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, 42^e 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 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) I^{er} siècle av- VIII^e 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.

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.

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, 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 2020 : VENAULT (St.) - Les fouilles du 8 de la voie romaine. In : BERRANGER dir. 2020, p. 227-240

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

Vincent 2014 : Vincent (G.) - *Bourgogne, Nièvre, Entrains-sur-Nohain, 16, route d'états, Evolution urbaine d'un secteur de l'agglomération d'Intaranum (1er-Ve s.)*, rapport de fouille INRAP, 3 vol., 973 p.

Vincent 2019 : Vincent (G.) - Approche méthodologique de l'étude des forges : l'exemple d'Entrains-Sur-Nohain (58), 16 route d'Etats. 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

7. Liste des figures.

| | |
|---|----|
| Figure n°1. Localisation des espaces de production connus au sein de la zone d'étude. Matérialisation des limites de cités antiques. | 10 |
| Figure n°2. 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. | 17 |
| Figure n°5. Localisation des interventions 2021 en Puisaye. | 27 |
| Figure n°6. Système d'acquisition magnétique à 5 sondes (MXPDA – Sensys) poussé devant l'opérateur. | 29 |
| Figure n°7. Photos de terrain (B. Fores). | 31 |
| Figure n°8. Emprise de la prospection magnétique sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 32 |
| Figure n°9. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 33 |
| Figure n°10. Simulation du champ magnétique total sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 34 |
| Figure n°11. Simulation du champ magnétique total (après découpe de la zone affectée par le halo de structure sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 35 |
| Figure n°12. Interprétation de la prospection magnétique avec anomalies numérotées, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 36 |
| Figure n°13. Carte des anomalies magnétiques (source Benjamin Fores, Inrap) (St. Venault) | 40 |
| Figure n°14. Carte interprétative des anomalies magnétiques (St. Venault) | 41 |
| Figure n°15. Vue aérienne du site montrant les sillons obliques (orthophotos 2011 source IGN) (St. Venault) | 42 |
| Figure n°16. Plan de restitution archéologique du site (St. Venault) | 43 |
| Figure n°17. Localisation de l'emprise prospectée sur le cadastre de 1842 : section B5 des Mussots (source : https://archivesenligne.yonne.fr/) (St. Venault) | 44 |
| Figure n°18. Localisation de l'emprise prospectée sur le cadastre de 1842 : section A3 des Côtets (source : https://archivesenligne.yonne.fr/) (St. Venault) | 45 |
| Figure n°19. Tableau présentant les individus isolés (sac d'isolations conservé dans la caisse) et les arguments chronologiques associés. | 46 |
| Figure n°20. Dessins des formes types retrouvées et identifiées au sein du lot prospecté, attestés uniquement par des éléments de bords. Les n° 1-2 correspondent aux exemplaires prospectés, figurés à l'échelle 1 :2. Ils s'agit de productions sigillées du Centre Gaule. (S. Mouton-Venault). | 48 |
| Figure n°21. Système d'acquisition magnétique à 5 sondes (MXPDA – Sensys) poussé devant l'opérateur. | 50 |

| | |
|---|----|
| Figure n°22. Photos des conditions de terrain. | 51 |
| Figure n°23. Photo du RM85, système de mesure de la résistivité. | 52 |
| Figure n°24. Schéma du RM85, détaillant la série de mesures et leurs positions à chaque déplacement de l'instrument. | 52 |
| Figure n°25. Emprises des prospections magnétiques et électriques, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 54 |
| Figure n°26. Cartographie de la différence de la composante verticale du champ magnétique, sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 55 |
| Figure n°27. Simulation du champ magnétique total sur orthophoto (données IGN) (B. Fores) | 56 |
| Figure n°28. Interprétation de la prospection magnétique avec anomalies numérotées, sur orthophoto (B. Fores) | 57 |
| Figure n°29. Cartographie de la résistivité électrique pour des écartements de 0.5 et 1 m en dispositif pôle-pôle, et différence de la composante verticale du champ magnétique sur la même zone (données IGN) (B.Fores) | 58 |
| Figure n°31. En haut : interprétation de la cartographie électrique, sur orthophoto (données IGN) ; En bas : report de l'interprétation sur photo aérienne historique (1950-1965, données IGN) (B. Fores) | 59 |
| Figure n°32. Carte des anomalies magnétiques (source Benjamin Fores, Inrap) (St. Venault) | 63 |
| Figure n°33. Carte interprétative des anomalies magnétiques (St. Venault) | 64 |
| Figure n°34. Carte des anomalies électriques (source Benjamin Fores, Inrap) (St. Venault) | 65 |
| Figure n°35. Carte interprétative des anomalies électriques (St. Venault) | 66 |
| Figure n°36. Localisation de l'emprise prospectée sur le cadastre de 1838 : section H2 des Baillis et Fours et section G1 des Gauthiers (source : https://archivesenligne.vonne.fr/) (St. Venault) | 67 |
| Figure n°37. Vue aérienne du site montrant le tracé des voies (orthophotos 2014 source IGN) (St. Venault) | 68 |
| Figure n°38. Plan de restitution archéologique du site (St. Venault) | 69 |
| Figure n°39. Plan de localisation des concentrations de mobilier déterminée d'après les prospections pédestres (source J.-P. Piétak) (St. Venault) | 70 |
| Figure n°40. Datations radiocarbone réalisées sur les amas de Saint-Fargeau «Bois de Bailly». La flèche designe le site sélectionné pour la fouille (M. Berranger). | 71 |
| Figure n°41. Saint Fargeau «Bois de Bailly», localisation des amas de scories prospectés, et localisation de la zone fouillée (M. Berranger). | 72 |
| Figure n°42. Saint Fargeau, site 40. Comparaison entre les contours relevés en prospections pédestres et les relevés en prospections géophysiques (M. Berranger). | 73 |
| Figure n°43. Localisation des sondages sur les prospections géophysiques (M. Berranger). | 74 |
| Figure n°44. Gauche : prélèvement volumique d'une banquette de fouille (demi-mètre cube). Droite : tamisage, tri et pesage des déchets issus du prélèvement (M. Herbrich). | 75 |

| | |
|--|----|
| Figure n°45. Position des caméras relative au modèle 3D de la scorie piégée. Logiciel : Agisoft Metashape (M. Herbrich) | 76 |
| Figure n°46. Gauche : nuage épars ; milieu : nuage dense ; droite : modèle texturé. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich) | 77 |
| Figure n°47. Vue aérienne du sondage 1 (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger) | 78 |
| Figure n°48. Vue du sondage 1, vers le sud (M. Berranger) | 78 |
| Figure n°49. US203 : vue en plan et en coupe (M. Berranger). | 79 |
| Figure n°50. Sondage 2. Plan des structures mises au jour sous le niveau de décapage (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger) | 80 |
| Figure n°51. Sondage 2. Vue générale de l'US 202 vers le nord-ouest, après décapage (M. Berranger) | 80 |
| Figure n°52. Sondage 2. Etat 2a (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger) | 81 |
| Figure n°53. Vue de l'US 209 vers le sud-ouest (M. Berranger) | 81 |
| Figure n°54. Sondage 2. Etat 2b (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger) | 82 |
| Figure n°55. Vue de l'US 215 vers le sud-est (M. Berranger) | 82 |
| Figure n°56. Sondage 2. Les creusements mis au jour sur le sol géologique (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger) | 83 |
| Figure n°57. Sondage 2. Vue vers le nord, des creusements mis au jour sur le sol naturel (M. Berranger). | 83 |
| Figure n°58. Gauche : US214, concentrant de la poudre de minerai. Droite : US212 poche de déchets sur le sol naturel (M. Berranger) | 84 |
| Figure n°59. Coupes stratigraphiques nord-sud et est-ouest du sondage 2 (relevé : F. Magar, L. Belhade. DAO : M. Berranger) | 85 |
| Figure n°60. Vues des coupes stratigraphiques du sondage 2. Haut : sud-nord, bas : est-ouest (M. Berranger). | 85 |
| Figure n°61. Relevés des creusements mis au jour sur le sol naturel du sondage 2 (relevé S. Savès, DAO : M. Berranger) | 85 |
| Figure n°62. Plan général du sondage 3 (cliché M. Herbrich- DAO sous QGIS : M. Berranger) | 86 |
| Figure n°63. Sondage 3. Relevé de la coupe n°1 sud-ouest / nord-est (Relevé : M. Leroy, M. Berranger. DAO : M. Leroy) | 87 |
| Figure n°64. Relevé des coupes transversales n° 2 et 3 dans le sondage 3 (Relevé et DAO : M. Leroy) | 88 |
| Figure n°65. Sondage 3. Gauche : coupe n°2 NO/SE (la tâche noire dans le sol naturel correspond à US316). Droite : coupe n°3 SE/NO (M. Leroy). | 88 |
| Figure n°66. Relevés en coupe et en plan de la structure 316 (relevé et DAO : M. Leroy). | 89 |
| Figure n°67. Vues de détail du fond du creusement et de la paroi (M. Leroy). | 90 |

| | |
|--|-----|
| Figure n°68. Le four 316 aux différentes étapes de sa fouille (M. Leroy) | 91 |
| Figure n°69. Plan et coupe AB d'après le modèle numérique d'élévation de la cuve US316. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich) | 92 |
| Figure n°70. Plan et coupe CD d'après le modèle numérique d'élévation de la cuve US316. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich) | 92 |
| Figure n°71. Calcul du volume de la cuve d'après le MNE. Logiciel Agisoft Metashape (M. Herbrich). | 93 |
| Figure n°72. Vues de détail des scories et charbons du fond du comblement (US330) (M. Leroy) | 93 |
| Figure n°73. Blocs de scories adhérant au flanc du creusement (US322-323) et strate de terre cuite (US327), évoquant l'aménagement d'une surface à mi-hauteur du creusement (M. Leroy) | 94 |
| Figure n°74. Blocs de scories adhérant au flanc du creusement (US325) et détail de petits écoulements cordés (M. Leroy) | 95 |
| Figure n°75. Localisation de la scorie piégée par rapport au four 316 et vue de détail (M. Leroy) | 96 |
| Figure n°76. Assemblage des modèles numériques de la cuve et de la scorie, en plan et en coupe. Logiciel : CloudCompare (M. Herbrich) | 97 |
| Figure n°77. Relevé et vue en coupe du trou de poteau 318 (relevé, cliché et DAO : M. Leroy) | 98 |
| Figure n°78. Relevé en plan et en coupe de l'US331 (M. Leroy) | 98 |
| Figure n°79. Vues générales de l'US331 (M. Leroy) | 99 |
| Figure n°80. Résultats des calculs de volume basés sur la microtopographie, sous CloudCompare. A gauche : emprise minimale, à droite : emprise maximale (M. Herbrich) | 100 |
| Figure n°81. Masses de déchets et volumes de prélèvements pour calculer la densité de déchets au sein de l'amas (M. Berranger) | 101 |
| Figure n°82. Gauche : exemple de parois scorifiées et pain d'argile. Droite : scorie coulée sur parois (M. Aubert) | 102 |
| Figure n°83. Ecoulements tortueux de scories de type F4 (US207) (M. Aubert) | 102 |
| Figure n°84. Scorie piégée F2 issue de l'US 304 (M. Aubert) | 103 |
| Figure n°85. Saint Fargeau site 40 : dates radiocarbone disponibles. | 103 |
| Figure n°86. Superposition entre les anomalies géophysiques enregistrées par méthode magnétique et les structures mises au jour en fouilles (M. Berranger) | 105 |
| Figure n°87. Superposition entre les anomalies géophysiques enregistrées en conductivité (gauche) et susceptibilité magnétique (droite) et les structures mises au jour en fouilles (M. Berranger) | 105 |
| Figure n°88. Localisation de la parcelle concernée par l'intervention. | 111 |
| Figure n°89. Vue générale de l'emplacement de la découverte. A gauche : depuis le bas du lapiaz (flèche rouge) - à droite : depuis le sommet. | 112 |
| Figure n°90. Vue de détail de la découverte. A gauche : avant nettoyage - à droite : après enlèvement des mousses et pierres apportés en 2015. | 113 |

| | |
|---|-----|
| Figure n°91. Vue de détail de la découverte après enlèvement de la couche d'humus. L'objet était posé entre deux gros blocs calcaire. | 113 |
| Figure n°92. Typologie des currency-bars (d'après Berranger 2014). | 114 |
| Figure n°93. Le currency-bar découvert à Arbois Pré des Noyers en 2021-. 89.013.002.M1 | 115 |
| Figure n°94. Localisation des dépôts de la région de Salins-les-Bains et de la Saône / Doubs. | 117 |
| Figure n°95. Localisation d'Entrains-sur-Nohain | 119 |
| Figure n°96. Comparaison chiffrée des activités documentées sur les trois chantiers. Surligné en vert : période d'activité étudiée ici [80;100] | 122 |
| Figure n°97. Structures et déchets issus de l'opération ESN 11. | 123 |
| Figure n°98. Densité de battitures et répartition des culots en NMI issus de l'opération ESN 11. | 124 |
| Figure n°99. Structures et déchets issus de l'opération ESN 08. | 123 |
| Figure n°100. Densité de battitures et répartition des culots (NMI) issus de l'opération ESN 08 | 126 |
| Figure n°101. Structures et déchets issus de l'opération ESN 13 | 127 |
| Figure n°102. Densité en battitures et répartition des culots (NMI) issus de l'opération ESN 13 | 128 |
| Figure n°103. Saint-Fargeau site 40. Projet d'implantation de la future fouille 2022 | 129 |
| Figure n°104. Carte de localisation des futures parcelles à prospector sur fond orthophotographique (source IGN) (St. Venault) | 130 |
| Figure n°105. Plan d'implantation des futurs sondages archéologiques sur le plan d'interprétation archéologique (St. Venault) | 131 |
| Figure n°106. Localisation des deux nouveaux amas de scories identifiés en périphérie de l'agglomération antique d'Entrains-sur-Nohain | 132 |
| Figure n°107. Four106 lors de son prélèvement (D'après Dunikowski, Cabboi 1995) | 133 |

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

Inventaire des US

Saint Fargeau - Bois de Bailly site 89.344.040

| N°US | Equivalence | Egal | Description | Interprétation | Sous | Sur | Auteurs | Mobilier enregistrés (en kg) | | | Autres mobiliers |
|------|-------------|------|---|--|------|---------------------|--------------------------|------------------------------|---------|-------|-------------------|
| | | | | | | | | Parois | Scories | Total | |
| 101 | | | US de nettoyage sur le décapage sondage 1 | | | | | | | | |
| 201 | | | US de nettoyage sur le décapage sondage 2 | US artificielle - Nettoyage | | 202 | M. Berranger | | | < 44 | |
| 202 | 203-208 | 207 | Sédiment brun-rougeâtre, limono-argileux sur lequel le décapage a été arrêté. Niveau riche en déchets métallurgiques pluricentimétrique à pluridécimétrique | Dernier niveau de rejet de déchets métallurgiques constituant l'amas Poche de rejets | 201 | 209 | M. Berranger | 23 | 332 | 355 | Minerais |
| 203 | 202-208-207 | | Concentration de déchets métallurgiques directement posés sur le sol naturel, emballé dans un limon brun-orangé | Concentration de rejets métallurgiques | 201 | géol. | M. Berranger | 56 | 131 | 187 | Minerais |
| 204 | | | Grande tâche de couleur grisâtre aux contours diffus apparaissant au décapage, riche en racines | Non fouillée - probable chablis | 201 | géol. | M. Berranger | | | | |
| 205 | | | Grande tâche de couleur grisâtre aux contours diffus apparaissant au décapage, riche en racines | Non fouillée - probable chablis | 201 | géol. | M. Berranger | | | | |
| 206 | | | Grande tâche de couleur grisâtre aux contours diffus apparaissant au décapage, riche en racines | Chablis | 201 | géol. | M. Berranger | | | | |
| 207 | 203 | 202 | Limons gris-noir plus ou moins compacte chargée en charbon, aux contours irréguliers, comprenant de gros blocs de scories | US technique, interprétée au décapage comme une structure distincte dans 202, mais se révélant durant la fouille identique | 201 | 209 | M. Berranger | 4 | 20 | 24 | |
| 208 | 203-207 | 202 | Limons argileux de couleur brun rouge enrobant une accumulation de scories et de parois. Poche aux contours ténus | Poche de concentration de mobilier dans 202 | 201 | géol. | M. Berranger, S. Savès | 8,5 | 23 | 31,5 | |
| 209 | 215-210 | | Niveau compact, comportant des inclusions de charbon, minerais, scories. Il s'agit d'une couche marbrée rouge et noire. Les zones rouges correspondent à des concentrations de minerais en poudre, et les poches noires sont tachées de charbon. Il s'agit d'une couche indurée, très hétérogène, s'amincissant vers le sud sur le géol. En épaisseur il s'agit d'une couche très irrégulière, très fine par endroits, voire quasi-absente, laissant apparaître des lambeaux très compacts correspondant à des niveaux de sols comprenant par zones de gros blocs de parois et de scories | Sol d'atelier micro-feuilleté. 209 et 215 correspondent tous deux à ce niveau pour lequel il était difficile de suivre une surface cohérente (recharges). 209 correspond à un niveau supérieur plus riche en déchets | 207 | 211-212-213-214-215 | M. Berranger, L. Belhade | 20 | 77 | 97 | Charbon, minerais |
| 210 | 209 | | Fine couche située dans le prolongement de 209, éventuellement équivalente. De couleur plus rougeâtre et moins noire, moins chargée en scories. Limon-brun rougeâtre comprenant des inclusions centimétriques de charbon et des inclusions de terre cuite centimétrique. Il s'agit d'un niveau discontinu moins riche en déchet | Sol d'atelier ? | 207 | géol. | M. Berranger | | 8 | 8 | Minerais |
| 211 | | 215 | Concentration de scories pluridécimétriques dans un sédiment brun noir très compact, avec des inclusions pluricentimétriques de parois | Concentration de rejets dans le sol d'atelier 215 | 209 | géol. | M. Berranger | | 30 | 30 | |
| 212 | | 215 | Concentration de scories pluridécimétriques dans un sédiment brun noir très compact, avec des inclusions pluricentimétriques de parois | Concentration de rejets dans le sol d'atelier 215, piégé dans une dépression naturelle- US artificielle | 209 | géol. | M. Berranger | | 46 | 46 | |
| 213 | | 215 | Concentration de scories pluridécimétriques dans un sédiment brun noir très compact, avec des inclusions pluricentimétriques de parois | Concentration de rejets dans le sol d'atelier 215, piégé dans une dépression naturelle- US artificielle | 209 | géol. | M. Berranger | | 15 | 15 | Minerais |
| 214 | | 215 | Fine couche indurée constituée de grains de minerais millimétriques à centimétriques | Poche de mineral (zone de préparation, de stockage ?) dans sol d'atelier 215 | 209 | géol. | M. Berranger | | | | |

| N°US | Equivalence | Egal | Description | Interprétation | Sous | Sur | Auteurs | Mobiliers enregistrés (en kg) | | | Autres mobiliers |
|------|-------------|-----------------|---|---|---------------------------------|-----------------|------------------------|-------------------------------|---------|-------|-------------------|
| | | | | | | | | Parois | Scories | Total | |
| 215 | | 209-212-213-214 | Niveau très compact, micro-feuilleté, localement rouge du fait de la concentration de grains de minerais, et comprenant un limon argileux noir riche en charbons. | Sol d'atelier micro-feuilleté. Partie inférieure, moins riche en déchets | 209 | 216-217 | M. Berranger | 8 | 8 | 8 | Charbon, minerais |
| 216 | | | Niveau très charbonneux, piégé dans la partie supérieure du creusement 220, avec quelques scories pluricentimétriques | Il s'agit probablement d'un lambeau de sol inférieur de 215 | 215 | 218 | M. Berranger | 0,6 | | 0,6 | |
| 217 | 215 | | Niveau très charbonneux posé sur le terrain naturel, piégé dans une irrégularité du sol naturel | Il s'agit probablement d'un lambeau de sol inférieur de 215 | 215 | géo. | M. Berranger | | | | |
| 218 | | | Scories centimétriques à pluricentimétriques enrobées dans une matrice limoneuse avec inclusions de charbon millimétriques, peu compacte. | Remplissage du creusement 220 | 216 | 220 | M. Berranger | 0,485 | 1,955 | 2,44 | |
| 219 | | | Limon argileux noir-rouge compact. La partie supérieure est riche en charbon | Remplissage du creusement 221 | 215 | 221 | M. Berranger | | | | Minerais |
| 220 | | | Creusement | | 218 | géo. | M. Berranger | | | | |
| 221 | | | Creusement | | 219 | géo. | M. Berranger | | | | |
| 222 | | | Limon argileux noir, rouge charbonneux, comprenant des fragments centimétriques de parois, charbons et minerais | Remplissage du creusement 223 | 215 | 223 | M. Berranger, S. Savès | 0,53 | 0,53 | 0,53 | |
| 223 | | | Creusement | | 222 | géo. | M. Berranger | | | | |
| 301 | | | Décapage et nettoyage superficiel | | | 304-305-309-310 | M. Leroy | > 1,15 | > 42 | 43,15 | |
| 302 | | | Argile-limoneuse de couleur blanc-beige contenant des silex et des nodules ferro-manganésifères | Substrat naturel | 304-306-310-312-316-318-319-331 | | M. Leroy | | | | |
| 303 | | | sédiment terreux brun-gris riche en racines et radicelles ; présence de scories | sol forestier ; peu épais ; enregistré théoriquement : limite avec couches sous-jacentes impossible à définir | 314 et 315 | | M. Leroy | | | | |
| 304 | 305 | Amas | sédiment limoneux de couleur marron-orangé riche en scories et morceaux de parois de four en terre cuite. Aucun charbon de bois n'est visible. | Déchets générés par les opérations métallurgiques et la refraction et destruction des fours. La coloration est probablement due à la désagrégation de la terre cuite. | 314, 315 | 305, 309, 302 | M. Leroy | 0,876 | 0,638 | 1,514 | Minerais |
| 305 | 304 | Amas | Idem 304. Délimité sur la coupe 2 en raison d'une moins grande richesse visuelle en scories | Idem 304 | 305 | 306 | M. Leroy | | | | |
| 306 | 311 | | sédiment gris-noir d'épaisseur pluricentimétrique à décimétrique, contenant de nombreux petits résidus de terre cuite plus ou moins friables et des particules millimétriques de charbons de bois | couche d'occupation accumulée au cours du fonctionnement de l'atelier | 304-305 (TN) | 302 | M. Leroy | | | | Minerais |

| N°US | Equivalence | Egal | Description | Interprétation | Sous | Sur | Auteurs | Mobiliers enregistrés (en kg) | | Autres mobiliers |
|------|-------------|------|--|--|-----------|------|----------|-------------------------------|---------|------------------|
| | | | | | | | | Parois | Scories | |
| 307 | | | | comblement du creusement US 308 | surface | | M. Leroy | | | |
| 308 | | 308 | sédiment grisâtre assez aéré, riches en radicules et contenant de nombreuses scories | creusement postérieur à l'amas 040. La faible consistance du sédiment indique probablement un âge récent (sondage avril 2019 ?) | 307-305 | | M. Leroy | | | |
| 309 | | Amas | | couche de destruction d'un ou de fours de réduction | 304-305 | | M. Leroy | | | |
| 310 | | Amas | sédiment orangé pulvérulent semblant provenir de la désagrégation de terre cuite, contenant des morceaux décimétriques de parois de four | Déchets générés par les opérations métallurgiques et la réfection et destruction des fours. La coloration est probablement due à la désagrégation de la terre cuite. | 309, 315 | (TN) | M. Leroy | | | |
| 311 | 306 | | | couche d'occupation accumulée au cours du fonctionnement de l'atelier | 304-305 | | M. Leroy | | | |
| 312 | 311 | | | couche d'occupation accumulée au cours du fonctionnement de l'atelier individualisée car remplissant une légère creux dans le substrat | 304-305 | (TN) | M. Leroy | | | |
| 313 | | | ANNULÉE | | | | M. Leroy | | | |
| 314 | | | sédiment limono-argileux, brun clair | couche recouvrant l'amas 040 à l'extrémité sud-ouest du sondage 3 | 303-305 | | M. Leroy | | | |
| 315 | | | sédiment limono-argileux jaune pâle/beige clair | couche recouvrant l'amas 040 à l'extrémité sud-ouest du sondage 3 | 303-305 | | M. Leroy | | | |
| 316 | | 316 | | Fosse à scories d'un four de réduction | 330 | | M. Leroy | | | |
| 317 | | 318 | sédiment limono-argileux gris clair contenant de nombreuses inclusions plurimillimétriques de charbons de bois, ainsi que de nombreux nodules centimétriques à pluricentimétriques de scories et de terre cuite. | comblement du creusement US 318 | 304-305 ? | | M. Leroy | 2,72 | 2,72 | Minerais |
| 318 | | 318 | | creusement de forme cylindrique dans substrat | 317 | | M. Leroy | | | |
| 319 | | | Plusieurs blocs de scories décimétrique à la surface du substrat à l'extrémité sud-ouest du sondage 3 | trou de poteau | 317 | (TN) | M. Leroy | | | |
| 320 | | 316 | couche de blocs et fragments de scorie et de morceaux de paroi de four en terre cuite, de dimensions pluricentimétriques à décimétriques, emballés dans un sédiment argileux gris-noir contenant des inclusions millimétriques à centimétriques de terre cuite jaune-orangé et gris-bleuté et des particules de charbons de bois | comblement supérieur du creusement 316 | 306-311 ? | | M. Leroy | 0,685 | 7,685 | Minerais |

| N°US | Equivalence | Egal | Description | Interprétation | Sous | Sur | Auteurs | Mobilier enregistrés (en kg) | | Autres mobiliers |
|------|--------------|------|---|----------------|-------------------|-------------|----------|------------------------------|--------------|----------------------|
| | | | | | | | | Parois | Scores Total | |
| 321 | | 316 | sédiment limono-argileux grisâtre contenant des inclusions millimétriques à centimétriques de charbons de bois, des particules de terre cuite de mêmes dimensions, ainsi que des nodules rouge-violacé évoquant du minerai cuit | | 320 | 327 | M. Leroy | 1,07 | 1,07 | Minerais |
| 322 | dans 320 | 316 | scorie décimétrique incluse dans US 320 | | | | M. Leroy | 1,74 | 1,74 | |
| 323 | dans 320 | 316 | scorie décimétrique incluse dans US 320, reposant sur US 321 contre le bord du creusement 316 | | | | M. Leroy | 0,33 | 0,33 | |
| 324 | dans 306-311 | 316 | scorie décimétrique posée sur le substrat à l'extrémité est du creusement 316 | | | | M. Leroy | 0,815 | 0,815 | |
| 325 | dans 320 | 316 | scorie décimétrique incluse dans US 320, reposant sur US 321 contre le bord du creusement 316 ; incluse dans US 320 | | | | M. Leroy | 0,975 | 0,975 | Minerais |
| 326 | dans 320 | 316 | scorie décimétrique sous la scorie US 322 et reposant sur US 321; incluse dans US 320 | | | | M. Leroy | | | |
| 327 | | 316 | couche de fragments et résidus de terre cuite, de couleur jaune-orangé et gris-bleuté, mélangé à un sédiment marron-brun. Son épaisseur varie de 3 à 7 cm. | | 321 | 328 | M. Leroy | 0,425 | 0,425 | |
| 328 | | 316 | couche de sédiment charbonneux, de couleur gris-noir, contenant des morceaux pluricentimétriques de charbons de bois, ainsi que des fragments centimétriques à pluricentimétriques de terre cuite jaune-orangé. | | 327 329 330 | | M. Leroy | | | Charbon |
| 329 | dans 330 | 316 | scorie décimétrique au sommet de l'US 330 et enrobée par l'US 328 | | 328 | 330 | M. Leroy | 2,78 | 2,78 | |
| 330 | | 316 | couche formée de scories de taille diverses ne formant pas un bloc jointif mais adhérent partiellement au fond du creusement 316, emballées dans un sédiment gris clair d'aspect cendréux | | 328, 329 | 316 | M. Leroy | 1,125 4,385 | 5,51 | Charbon, minerais |
| 331 | | | Plusieurs fragments d'un matériau de nature lithique et d'aspect gréseux posés sur le substrat | | 306, 311 | 302 (TN) | M. Leroy | | | Minerais |
| 332 | dans 320 | 316 | Fragments décimétrique de paroi de four en terre cuite, fortement durcie et présentant une surface vitrifiée, posé contre le bord supérieur du creusement 316 | | | | M. Leroy | 0,475 | 0,475 | |

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

Inventaire des déchets observés

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

| US | N° Inventaire | Catégorie | Type déchet | Description | NR | Masse (g) | Largeur (mm) | Longueur (mm) | Épaisseur (mm) |
|-----|-----------------------|------------------------------------|--|---|----|-----------|--------------|---------------|----------------|
| 201 | | (F) Scorie piégée | | F6 et F7 dont adhérents parois | 11 | 24925 | | | |
| 201 | | Paroi sur baguettes | | Traces de baguette diam. 17 mm | 2 | 144 | | | |
| 202 | | (F) Scorie piégée | (F6) Sco. grise rouillée alvéolaire | Dont scores sur parois | 9 | 20160 | | | |
| 202 | | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | Dont 2 grandes | 3 | 2705 | | | |
| 202 | | Mineral en cours de transformation | | 3 gros blocs dont un de plus de 10 cm | 10 | 840 | | | |
| 202 | 89.344.040.US202.Min2 | Mineral en cours de transformation | | Petit bloc de mineral rouge,pulvéruent et feuilleté sur la face interne | 1 | 13 | 40 | 43 | 22 |
| 202 | | Paroi scorifiée | | | 5 | 1180 | | | |
| 203 | | (F) Scorie piégée | F6 ou F7 | Types F6 et F7 | 7 | 12225 | | | |
| 203 | | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | Scores F6 et F7 sur parois | 7 | 2650 | | | |
| 203 | | (F) Scorie piégée | F6 ou F7 | | 3 | 14140 | | | |
| 203 | 89.344.040.US203.SC7 | (F) Scorie piégée | (F7) Sco. grise et rouillée dense | Types F5+F6 | 1 | 1505 | | | |
| 203 | 89.344.040.US203.SC8 | (F) Scorie piégée | F5 et F6 | | 1 | 1115 | | | |
| 203 | 89.344.040.US203.SC9 | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | Gros bloc avec gouttelettes écoulées sur plusieurs épaisseurs de parois | 1 | 217 | | | |
| 203 | 89.344.040.US203.SC1f | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | | | 2910 | | | |
| 203 | 89.344.040.US203.SC1f | (F) Scorie piégée | (F2) Fond de four non compact | | 1 | 2300 | 130 | 170 | 96 |
| 203 | | Mineral en cours de transformation | | Fond de four classique avec moulage de chatbon, complet ou faiblement fragmenté, avec accrochage à la paroi | 2 | 318 | | | |
| 203 | | Paroi scorifiée | | Dont pains d'argile et éventuellement moulage de bloc tuyère | 2 | 7670 | | | |
| 207 | | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | Avec effet de bord | 1 | 846 | | | |
| 207 | | (F) Scorie piégée | (F4) Ecoulements individualisés tortueux | | 1 | 74 | | | |
| 207 | | Paroi scorifiée | | Dont un élément circulaire (diam. 30 mm) et deux fragments avec traces de doigt ou clayonnage | 3 | 345 | | | |
| 208 | | (F) Scorie piégée | (F6) Sco. grise rouillée alvéolaire | Un gros fragment de scorie avec empreintes de charbon 25 à 30 mm | 1 | 3615 | | | |
| 209 | | (F) Scorie piégée | F6 ou F7 | Types F6 et F7, dont certains avec moulage de parois, certains avec minerais visibles | 11 | 15620 | | | |
| 209 | 89.344.040.US209.SC1f | (F) Scorie piégée | | Score avec deux écoulements accolés, et moulage de charbon | 1 | 340 | | | |
| 209 | | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | | 15 | 4355 | | | |
| 209 | | Mineral en cours de transformation | | | 1 | 45 | | | |
| 209 | | Mineral en cours de transformation | | Probablement éléments issus de deux blocs | 5 | 68 | | | |
| 209 | | Paroi scorifiée | | Parois et scorie imbriquées, avec sur l'une peut être une trace d'outil. Sur les autres les parois et/ou écoulements moulent une surface. L'un moule une cuvette demicirculaire | 3 | 6334 | | | |
| 210 | | Mineral en cours de transformation | | | 3 | 16 | | | |
| 211 | 89.344.040.US211.SC1f | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | Gouttelettes coulées sur face plane | 1 | 2005 | | | |
| 211 | 89.344.040.US211.SC1f | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | Score alvéolaire charboneuse associée avec larges écoulements en cordons | 1 | 1345 | | | |
| 212 | | (F) Scorie piégée | (F6) Sco. grise rouillée alvéolaire | Dont un gros bloc de 3225 g | 5 | 6837 | | | |
| 212 | | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | | 1 | 293 | | | |
| 213 | 89.34.040.US213.SC14 | (F) Scorie piégée | (F1) Fond de four compact | Fond de four bien conservé, avec une face moulant des charbons et une bordure avec la paroi encore accrochée | 1 | 5795 | 221 | 265 | 88 |
| 213 | 89.344.040.US213.Min1 | Mineral en cours de transformation | | Gros bloc de mineral fendu en deux, rouge vif en périphérie, plus sombre noirâtre au centre, poudreux à l'intérieur. Envoyé à V. Semmeels pour analyses. Rognon de mineral en roche | 1 | 133 | 45 | 67 | 45 |
| 213 | 89.344.040.US213.Min1 | Mineral en cours de transformation | | Rognon de mineral en roche. Envoyé à V. Semmeels pour analyses. Rouge à violet. | 1 | 55 | 40 | 50 | 26 |
| 213 | 89.344.040.US213.Min1 | Mineral en cours de transformation | | Rognon de mineral en roche, fragmentaire, poudreux à l'intérieur. Envoyé à V. Semmeels pour analyses. Rouge à violet. | 1 | 26 | 33 | 35 | 26 |
| 213 | 89.344.040.US213.Min1 | Mineral en cours de transformation | | Rognon de mineral en roche, fragmentaire, poudreux à l'intérieur. Envoyé à V. Semmeels pour analyses. Rouge à violet. | 1 | 40 | 38 | 40 | 19 |

| US | N° inventaire | Catégorie | Type déchet | Description | NR | Masse (g.) | Largeur (mm) | Longueur (mm) | épaisseur (mm) |
|---------|-----------------------|------------------------------------|--|---|----|------------|--------------|---------------|----------------|
| 213 | | Mineral en cours de transformation | | | 5 | 101 | | | |
| 215 | | Mineral en cours de transformation | | Fragment de 35 mm à 10 mm tous rouge | 50 | 505 | | | |
| 215 | 89.344.040.US215.Min2 | Mineral en cours de transformation | | Petit bloc de mineral rouge | 1 | 16 | 20 | 30 | 17 |
| 215 | 89.344.040.US215.Min2 | Mineral en cours de transformation | | | 1 | 15 | 31 | 37 | 18 |
| 219 | | Mineral en cours de transformation | | | 16 | 162 | | | |
| 219 | | Mineral en cours de transformation | | | 16 | 162 | | | |
| 301 | | (F) Scorie piégée | (F2) Fond de four non compact | Grosse scorie dans la strati sondage 3 | 1 | 42000 | 415 | | 210 |
| 301 | | Paroi scorifiée | | Gros fragment de paroi scorifiée quasiment droit; un morceau pluri dcm de paroi de four en terre cuite très peu cuite (coloration rose), trace de façonnage, silex inclus cm et éclats de scories dans la pâte | 1 | 1150 | | | |
| 304/305 | | Mineral en cours de transformation | | | 1 | 39 | | | |
| 304-305 | | (F) Scorie piégée | (F5) Accumulation d'écoulements tortueux | Plaque de petits cordons | 1 | 638 | | | |
| 304-305 | | Paroi scorifiée | | 2 frgts dcm de paroi de four en terre cuite. 1 entièrement gris sombre avec une surface plane mais sans vitrification, éclats de silex mm inclus, 565 g. 1 en terre cuite gris-beige avec une strate rose, informe, éclats de silex cm inclus, 310 g. | 2 | 876 | | | |
| 306 | | Mineral en cours de transformation | | | 2 | 30 | | | |
| 317 | | Paroi scorifiée | | 1 morceau de paroi de four pluri dcm, 195x180 mm ép. 75 à 95 mm, 2675 g. vitrification des deux côtés (à revoir et décrire en détail) | 1 | 2720 | 180 | 195 | 95 |
| 320 | | (F) Scorie piégée | | Scories (7000 g). Fragments cm à dcm. Des morphologies d'écoulements en coulures cordées de 2 à 3 cm d'épaisseur ; des morphologies de petites coulures tortueuses enchevêtrées ; des morphologies déchetées avec des empreintes de charbons de bois ; des morphologies de rognons mamelonnés recouverts par une croûte d'hydroxydes de fer (cf. description facies dans US 330). | | 7000 | | | |
| 320 | | Mineral en cours de transformation | | Dont un fragment de plus de 5 cm. 14 nodules infra cm à pluri cm (< 30 mm, 55 g) + 1 nodule pluri cm (55x55x40 mm, 125 g) à l'aspect de rognons avec des surfaces granuleuses, présentant des colorations rouille et rouge-violacé, et aux cassures présentant le même aspect : évoquent des nodules de mineral calibrés pour l'enfournement. Total 180 g. | 11 | 185 | | | |
| 320 | | Mineral en cours de transformation | | 18 nodules oxydés cm (180 g) aux surfaces ressemblant à celles des scories en rognons : évoquent des nodules de mineral en cours de transformation. | 20 | 188 | | | |
| 320 | | Paroi scorifiée | | 2 morceaux dcm de paroi (685 g) + 15 fragments cm à pluri cm (655 g), total 1545 g ; strates de cuisson gris-bleuté ou blanchâtre avec strate orangée et/ou rosée, avec ou sans strate vitrifiée. Les 2 plus gros : 110x90 ép. 60 mm, cuisson beige avec vitrification de surface et peut-être un rechapage ; 110x75 ép. 65 mm, cuisson gris-bleuté avec en surface un encroûtement oxydé/scorifié. | 17 | 685 | | | |
| 321 | | (F) Scorie piégée | | * des nodules rouge-violacé évoquant du mineral cuit et des nodules d'aspect scoriacé évoquant du mineral en cours de transformation * des fragments cm de scories * des fragments cm de terre cuite (paroi) | 20 | 1070 | | | |
| 321 | | Mineral en cours de transformation | | | 6 | 50 | | | |

| US | N° inventaire | Catégorie | Type déchet | Description | NR | Masse (g) | Largeur (mm) | Longueur (mm) | Épaisseur (mm) |
|-----|---------------|------------------------------------|-------------|---|----|-----------|--------------|---------------|----------------|
| 330 | | (F) Scorie piégée | | scories cm à dcm (NR=58 dont 4 dcm, total : 4385 g), surfaces rugueuses avec aspérités (reliefs mameionnés ou plus acérés, creux) recouvertes de concrétions d'hydroxydes de fer qui masquent en partie les reliefs. Les cavités sont soit des bulles de gaz, soit des empreintes de charbons de bois. De nombreuses empreintes de charbons de bois minéralisés sont visibles, ainsi que de manière récurrente des petits fragments mm à pluri mm adhérents aux surfaces. La plupart des scories ont l'aspect de rognons informes sans polarité et ne semblent pas présenter de cassure. Plusieurs fragments cm ont l'aspect de petites coulures cordées jointives. 2 scories dcm semblent montrer une polarité, une face ayant un effet plus plan ; on observe sur les surfaces des inclusions mm de terre cuite jaune-orangé et de charbon de bois. 2 scories dcm (120x110x90 mm / 1285 g et 90x85x60 mm / 565 g) adhèrent sur une face à un morceau de paroi en terre cuite d'1 cm d'épaisseur composé d'un strate gris-beige et d'une strate orangée pâle ; à l'interface avec la paroi, la scorie laisse entrevoir un faciès de petites coulures et sur la plus grosse des scories des cavités pluri cm avec empreintes de charbons de bois. | 58 | 4385 | | | |
| 330 | | Minéral en cours de transformation | | 43 nodules infra cm à pluri cm (< 50 mm), 305 g, à l'aspect de rognons avec des surfaces granuleuses présentant des colorations rouille et rouge-violet, et aux cassures présentant le même aspect ; faciès évoquant des nodules de minéral calibrés pour l'entourement. Plus grands : 42x40x25 mm / 50 g ; 45x27x25 mm / 25 g ; 45x35x25 mm / 35 g Plus petits : éclats < 10 mm | 43 | 305 | | | |
| 330 | | Minéral en cours de transformation | | • Plusieurs dizaines de nodules oxydés de même gabarit que le lot précédent (485 g), mais dont les surfaces ressemblent à celles des scories en rognons ; évoquent des nodules de minéral en cours de transformation.. | | 485 | | | |
| 330 | | Paroi scoriifiée | | • morceaux de paroi en terre cuite, cm, dcm et pluri cm (NR = 11, 1125 g), de couleur gris-beige à gris sombre. Les 3 plus gros fragments possèdent une surface vitrifiée de couleur gris-noir ou blanchâtre. L'épaisseur du plus gros morceau atteint entre 85 à 90 mm (410 g) ; un autre 55 à 60 mm (330 g). Des nodules de silic cm cuits rougeâtres sont visibles dans la pâte | 11 | 1125 | | | |
| 331 | | Minéral en cours de transformation | | Fragment de 35 mm à 10 mm tous rouge | 20 | 334 | | | |
| 332 | | Paroi scoriifiée | | fragment de paroi de four à strate vitrifiée en surface : longueur 135 mm, hauteur 60 mm d'un côté, 80 mm de l'autre, épaisseur 50-55 mm, 475 g. Recto : couche de terre cuite gris sombre de 20 à 35 mm d'épaisseur avec une surface vitrifiée d'épaisseur millimétrique. Revers : strate de terre cuite de couleur gris-bleuté clair contenant des inclusions mm de scories en forme de petites billes. L'élément bien que plaqué contre le bord supérieur de la fosse dans la bonne position ne paraît toutefois par en place car il y a des cassures sur tous les côtés et aucun autre fragment de ce type n'a été découvert. | 1 | 475 | 60 | 135 | 5055 |
| | | Minéral en cours de transformation | | Issus de calcul de densité 2 du sondage 3 | 10 | 62 | | | |

| US | N° inventaire | Catégorie | Type déchet | Description | NR | Masse (g.) | Largeur (mm) | Longueur (mm) | épaisseur (mm) |
|-----|---------------|------------------------------------|-------------------------------------|--|----|------------|--------------|---------------|----------------|
| 322 | | (F) Scorie piégée | (F6) Sco. grise rouillée alvéolaire | 1 scorie pluri dcm (165x135x100 mm / 1740 g) ; 1 face au faciès décheté par une multitude de petites empreintes mm à cm de charbons de bois, évoque une surface d'appui inférieure ; les autres faces en scorie gris noir à la morphologie de petites coulures cordées ou de reliefs à contours lobés, en grande partie recouverts par une couche de concrétions d'hydroxydes de fer ; grosses empreintes pluri cm de charbons de bois sur les flancs dans l'épaisseur. | 1 | 1740 | 135 | 165 | 100 |
| 323 | | (F) Scorie piégée | (F6) Sco. grise rouillée alvéolaire | 1 scorie dcm (80x75x55 mm / 330 g), à l'aspect de gros rognons aux surfaces mamelonnées recouvertes par une couche de concrétions hydroxydées à laquelle adhèrent des parcelles mm à cm de charbons de bois, ainsi que des nodules ou strates de terre cuite jaune-beige et des éclats de silex. | 1 | 330 | 75 | 80 | 55 |
| 324 | | (F) Scorie piégée | (F6) Sco. grise rouillée alvéolaire | 1 scorie dcm (110x100x80 mm / 815 g), une surface avec des extrémités de petites coulures cordées cm, une surface avec une empreinte de charbon de bois longue de 60 mm, les autres légèrement mamelonnées, recouvertes de concrétions rouillées incluant des petits charbons de bois mm. | 1 | 815 | 100 | 110 | 80 |
| 325 | | (F) Scorie piégée | F5 et F6 | <ul style="list-style-type: none"> • 4 scories pluri cm avec morphologie de petites coulures enchevêtrées dont une avec une empreinte pluri cm de charbons de bois (425 g). • 2 scories pluri cm à l'aspect de nodules informes et aux surfaces identiques à celles des scories de l'US 330 (mamelonnées, rouille, empreintes et inclusions charbons de bois) (265 g). • 37 petites scories cm (< 40 mm), soit en fragments de petites coulures, soit en nodules informes aux surfaces rouillées (cf. description US 330) dont certaines pourraient évoquer des nodules de minéral en cours de transformation (285 g). | 40 | 975 | | | |
| 325 | | Minéral en cours de transformation | | | 2 | 9 | | | |
| 327 | | Paroi scorifiée | | 7 fragments pluri cm + 4 fragments cm (425 g) de terre cuite jaune-beige clair dont deux adhérant à de la scorie à faciès déchetée et empreintes de charbons de bois. | 7 | 425 | | | |
| 329 | | (F) Scorie piégée | (F2) Fond de four non compact | une scorie pluri dcm (190x175x110 mm / 2480 g), faciès décheté parsemé de nombreuses cavités cm correspondant à des empreintes de charbons de bois ; nombreux petits fragments de charbons de bois noirs adhérant aux surfaces ; une seule surface qui présente une morphologie plus plane et régulière, sur laquelle adhère un sédiment gris clair ; pourrait être une surface d'appui. + une trentaine de fragments de même aspect qui pourraient être des éclats de ce bloc (310 g). | 1 | 2790 | 175 | 190 | 110 |



Saint Fargeau 2021 - L'équipe de fouilles