UNIVERSITÉ DE TOURS

ÉCOLE DOCTORALE : Humanités & Langues – H&L

UMR 7324 CITERES – LABORATOIRE ARCHEOLOGIE ET TERRITOIRES

THÈSE présentée par :

Solène LACROIX

soutenue le : 08 décembre 2023

pour obtenir le grade de : **Docteure de l'université de Tours**

Discipline/ Spécialité : Histoire, spécialité Archéologie

Ateliers de production du fer antiques et médiévaux dans le Centre de la France : le cas des forêts de Châteauroux (Indre) et de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher)

Volume 1 : texte

THÈSE co-dirigée par :

M. HUSI Philippe	Ingénieur de recherche HDR, CNRS, Université de Tours
Mme DIEUDONNE-GLAD Nadine	Professeure, Université de Poitiers

RAPPORTEURS :

Mme ARRIBET-DEROIN Danielle	Maitre de conférence HDR, Université de Paris I
M. SERNEELS Vincent	Professeur, Université de Lausanne

JURY :

Mme ARRIBET-DEROIN Danielle	Maitre de conférence HDR, Université de Paris I
M. BRIOIST Pascal	Professeur, Université de Tours
Mme DIEUDONNE-GLAD Nadine	Professeure, Université de Poitiers
Mme DURAND Aline	Professeure, Université du Mans
M. HUSI Philippe	Ingénieur de recherche HDR, CNRS, Université de Tours
M. SARRESTE Florian	Docteur, Université de Tours
M. SERNEELS Vincent	Professeur, Université de Lausanne

Remerciements

Mes premiers remerciements sont adressés à mes directeurs, N. Dieudonné-Glad et P. Husi dont la collaboration complémentaire a favorisé un suivi optimal de ma thèse. Merci à tous les deux pour nos échanges nombreux qui ont permis de perfectionner ce travail ; et d'avoir relu et corrigé chacun de mes chapitres, même lorsque j'étais fatiguée et qu'ils étaient difficilement lisibles. Merci, Nadine, pour votre curiosité débordante et votre enthousiasme qui m'ont fait sentir que ce que je faisais était intéressant même lorsque je n'y croyais plus. Merci, Philippe, d'avoir été un véritable père pour ce travail en vous attardant notamment sur l'orthographe et en faisant en sorte que chacune des étapes se déroule dans les temps impartis.

Je remercie les autres membres du jury, D. Arribet-Deroin, P. Brioist, A. Durand, F. Sarreste et V. Serneels qui ont accepté de lire cette thèse dans son intégralité et de prendre le temps d'en discuter avec moi le jour de la soutenance.

Je souhaite également remercier la Direction Régionale de l'Archéologie du Centre, dirigée par S. Revillion, qui a financé la majorité des opérations nécessaires à l'obtention des données à la base de cette thèse. La participation du Laboratoire Archéologie et Territoire (CITERES) s'est également avérée importante tant financièrement que matériellement dans la réalisation de cette recherche. Je remercie également l'entreprise, Evéha, qui a financé plusieurs jours de recherche pour que je puisse travailler à la correction de ce travail, qui m'a permis de suivre une formation en anthracologie auprès de son personnel et qui a participé à plusieurs reprises sous forme de prêt de matériel (scie hydraulique, polisseuse) et également d'accès aux rapports d'opération à sa bonne avancée. J'ai une pensée particulière pour C. Loiseau, F. Sarreste et l'ensemble de mes collègues de l'agence de Tours qui me soutiennent depuis presqu'un an.

Merci au Service Régionale de l'Archéologie de m'avoir fait confiance pour mener l'ensemble des opérations archéologiques à la base de cette thèse ; à D. De Villebonne puis C. Poupat (Directeurs ONF région Centre) pour les autorisations de prospections et de fouilles dans la forêt domaniale de Boulogne, ainsi qu'à C. Samyn, puis Y. Vandebeulque (Chargés d'accueil public et environnement – ONF Boulogne) et à toute l'équipe des gardes forestiers de la forêt de Boulogne, principalement D. Hacquemand. Je remercie également E. Guillaumat (directeur de la chasse et de la forêt de Chambord) pour m'avoir autorisé à prospecter dans ce massif, ainsi qu'à P. Charpentier (Adjoint au directeur de la chasse et de la forêt de Chambord). Mes

remerciements vont également à F. Jarry (directeur ONF Indre) pour m'avoir autorisé à étudier le massif de Châteauroux et pour s'être autant investis dans ce projet. Je pense également aux gardes forestiers de cette forêt dont la curiosité a motivé notre travail. Enfin, je remercie N. Legrand du groupement forestier de Beauregard pour m'avoir permise de prospecter le ferrier situé dans la parcelle 546 de la commune de Velles au Lieu-dit « Chamployon ».

Je souhaite également adresser mes remerciements au programme SOLiDAR dirigé par X. Rodier (directeur MSH Centre Val-de-Loire) et C. Laplaige (CITERES/LAT) pour avoir mis à ma disposition les données Lidar du massif de Boulogne-Chambord ; le laboratoire HERMA de l'Université de Poitiers qui a prêté le matériel nécessaire à la réalisation des études métallographiques ; ainsi que l'Inrap pour m'avoir donné accès aux rapports d'opération des régions qui m'intéressaient et pour la confiance qu'ils m'ont accordées en m'embauchant sur ma première opération préventive. J'ai une pensée appuyée pour F. Couvin avec qui nos longues discussions en termes de zythologie ont adouci mes difficiles soirées de travail à la fin de cette thèse. Merci à la ville de Tour-en-Sologne (Loir-et-Cher) de nous avoir gracieusement hébergé dans son école maternelle lors de la fouille de 2018. Je remercie également E. Lorans (professeure CITERES/LAT) qui a accepté de prêter une partie du matériel de fouille de Marmoutier et d'ouvrir l'hôtellerie pour laver le mobilier et l'entreposer de façon temporaire. De même, je remercie le programme Intelligence des Patrimoines, pour leur mise à disposition d'un tachéomètre et d'un magnétomètre, outils qui se sont avérés essentiels à cette étude. Je pense plus particulièrement à D. Vurpillot qui s'occupait alors du matériel. Merci au laboratoire DATE (CITERES) pour m'avoir prêté un microscope dans leurs locaux, et plus particulièrement à C. Godichet, qui a toujours été de bon conseil en botanique. Je remercie également M. et Mme Pellerin et mes parents qui ont sponsorisé toutes les campagnes de fouilles en fournissant du matériel et qui nous ont fait le plaisir de leur curiosité en nous rendant visite sur le terrain.

J'ai une pensée pour les membres de CITERES qui m'ont toujours aidé pour que ce travail se déroule dans les meilleures conditions, malgré toutes ses contraintes. Je pense tout d'abord à J. Loullier (Gestionnaire en chef CITERES) pour s'être tant donnée afin que chaque opération se déroule au mieux ; à A. Alcuna. (Gestionnaire LAT) qui a pris la relève ; à O. Marlet et C. Scheid dont la bonne humeur et l'appui logistique s'est avéré essentiel, ainsi qu'à tous les chercheurs, docteurs, doctorants et informaticiens (oui oui) que j'ai eu le plaisir de côtoyer

pendant plusieurs années sur le plateau technique. Merci pour ces échanges autour d'un café ou d'un bureau qui se sont très souvent avérés précieux.

Je remercie également l'ensemble des spécialistes qui sont intervenus durant cette thèse pour m'apporter leurs lumières sur ses différents aspects : L. Magiorani pour son important travail de prospection à Boulogne-Chambord ; I. Gay-Ovejero (GéHCO) pour la caractérisation des éléments lithiques mis au jour sur les chantiers, S. Coubray (anthracologue - Inrap) pour la sélection des charbons de bois de Boulogne en 2018, S. Paradis-Grenouillet (anthracologue – Evéha) qui a pris le temps de me former à la science de l'anthracologie malgré son planning déjà bien chargé et avec un intérêt communicatif. Merci également à F. Epaud d'avoir pris le temps d'échanger ses réflexions et ses conseils avec moi concernant l'exploitation du bois en forêt. Je remercie les pédologues de Châteauroux, d'avoir accepté de me rejoindre dans la forêt pour partager leur connaissance des sols pédologiques, voire géologiques de la région. Merci à A. Longelin (céramologue - CITERES//LAT) pour son aide précieuse quant à l'étude de la céramique mise au jour, malgré son faible nombre ; à A. Crozet (CITERES/LAT) d'avoir partagé avec moi son important travail d'archive sur la forêt de Boulogne-Chambord ainsi que de m'avoir intégré dans la vectorisation des chemins forestiers et des charbonnières de ce massif. Enfin, je remercie infiniment A. Coulon qui a pris le temps d'écouter mes ressentis et intuitions et qui est parvenus à trouver chaque fois des solutions pour les transcrire et les vérifier grâce aux statistiques, à R et toutes ces méthodes chiffrées autrefois obscures à mes yeux. Bravo, ce n'était vraiment pas gagné.

Je remercie chaleureusement ceux dont l'énergie, la bonne humeur et l'investissement ont été à l'origine de ce travail, c'est-à-dire la promotion des L3 Archéologie 2019 de l'Université de Tours pour être venus prospecter avec moi en forêt en plein mois de novembre dans le froid et sous la pluie ; ainsi que pour leur aide deux ans plus tard afin de compter plus de 10 000 battitures provenant d'un atelier de la forêt de Boulogne. Je pense aussi à tous les fouilleurs bénévoles qui ont apporté leur pierre à ce colossal édifice lors des opérations de fouilles : Alice, Léa, Raphaël, Saubade, Camille, Nathan, Florian et Edwin. Merci également à A. Ferdière, à qui les kilomètres n'ont pas fait peur pour venir visiter tous mes chantiers, quitte à se perdre en forêt de Châteauroux, et pour avoir pensé à moi lorsqu'il rencontrait de la bibliographie sur ce sujet.

Un immense merci à ceux qui ont toujours accepté de me suivre dans mes aventures forestières sans jamais faillir malgré le froid, la pluie, la canicule, les moustiques, les incendies, les tiques et les longues heures de marches : Étienne, Pauline, Nathanaël, Arthur, Amaëlle, Sarah, Laura et par-dessus tout Kévin et Alix. Plus que des volontaires, vous m'avez aidée, écoutée et soutenue autour d'un ordinateur, d'une scorie ou d'un verre tout au long de ce travail et sans vous je n'y serai jamais parvenue.

Je remercie particulièrement Rouba, qui n'a eu de cesse d'essayer de me faire sourire lorsque l'aventure devenait difficile, ainsi qu'Aude qui a subi la relecture de cet imposant manuscrit alors qu'il n'était qu'à l'état d'ébauche. Ses conseils et ses commentaires ont toujours été bienveillants et constructifs. Tu m'as portée à bout de bras, du fond du cœur merci docteure. Je remercie également Bastien qui, en plus de sa participation régulière aux diverses opérations, m'a énormément appris. Il a pris le temps de m'expliquer comment agir en bon RO et m'a montré la voie pour développer un enseignement intéressant avec toute la patience qui le caractérise.

Je souhaite remercier ma famille, mes parents, mes frères et sœurs, mes neveux et nièces. Toujours présents même de loin, toujours fiers et prêt à aider, même lorsqu'ils ne comprennent pas tout ce que je fais. Leur soutien inébranlable, leur sourire et leur amour me permettent de déplacer des montagnes. Une mention spéciale à ma deuxième maman, marraine, qui se sera inquiétée jusqu'à la dernière seconde que je rende ce manuscrit en temps et en heure. Et à ma première maman, cette femme exceptionnelle dont je suis si fière d'être la fille, qui a relu chaque mot de ce manuscrit. Mille fois merci d'avoir pris le temps de lire et corriger ce si long texte et d'avoir toujours montré un enthousiasme débordant pour mon travail.

Enfin, un immense merci à Matthieu qui au milieu du chaos de la fin de cette thèse, m'a vue, écoutée, supportée, apaisée et m'a rappelé que le travail n'est pas tout dans la vie. Ça n'a pas toujours été simple mais tu es resté fort pour nous. Nous n'avons plus qu'à profiter de nos week-ends à présent.

Cette thèse est le résultat d'un important travail de collaboration, d'entraide et de partage. Sans votre soutien, vos encouragements et vos conseils, elle n'aurait jamais pu aboutir à ce qu'elle est aujourd'hui.

Et pour cela encore une fois, merci à tous.

Avant-propos

Ce travail est divisé en quatre volumes : trois volumes papiers et un dématérialisé.

Le volume 1 comprend le développement et la synthèse de cette recherche associée au figures et tableaux les plus significatifs.

Le volume 2 regroupe les cartes et tableaux non intégrés dans le corps du texte.

Le volume 3 rassemble les Fiches Ferriers et les Fiches métallographiques réalisées pendant cette thèse et organisées par opération.

Le volume 4 est numérique. Il comprend les tableaux de données brutes (archives consultées, enregistrement du mobilier, analyses chimiques) et est accessible en ligne, à l'adresse suivante :

https://drive.google.com/drive/u/1/folders/16Kt_z-FFrdsTljvC4esaAB4Pa_8vGg3Q

Sauf mention, tous les documents présentés (cartes, plan, photographies) ont été réalisés par mes soins.

Résumé

Le fer est un métal étroitement lié à la vie des populations anciennes. L'étude des zones sidérurgiques de Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre) documente la métallurgie et ses changements dans une région, le centre de la France, où cet artisanat est peu étudié et de façon disparate. Son approche de la période médiévale, que ce soit le haut Moyen Âge en forêt de Boulogne/Chambord ou le bas Moyen Âge dans le massif de Châteauroux, renseigne une période pour laquelle peu d'études approfondies sont actuellement disponibles en France. Il contribue également à enrichir nos connaissances de la métallurgie antique dans l'Indre. Ces résultats sont obtenus grâce à la mobilisation et au croisement de nombreuses sources d'informations: sources planimétriques et textuelles anciennes, données de prospections pédestres, géomagnétiques et LiDAR, données de fouilles archéologiques, études anthracologiques, études macroscopiques et métallographiques du mobilier ainsi que des analyses chimiques (ICP/MS et ^{14}C). Les interprétations et hypothèses établies à propos de ces deux zones sidérurgiques contribuent finalement à trouver la juste place qu'elles ont occupée dans le contexte historique, politique et social qui est le leur.

Mots-clefs :

Métallurgie, fer, archéométrie, scories, réduction, Moyen Âge, épuration, Antiquité, forêt, anthracologie

Abstract

Iron is a metal closely linked to the life of ancient populations. The study of the siderurgical areas of Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) and Châteauroux (Indre) documents metallurgy and its changes in a region, the centre of France, where this craft is little studied and in a disparate way. Its approach to the medieval period, whether it be the early Middle Ages in the Boulogne/Chambord forest or the late Middle Ages in the Châteauroux massif, provides information on a period for which few in-depth studies are currently available in France. It also contributes to our knowledge of ancient metallurgy in the Indre. These results are obtained by mobilising and crossing numerous sources of information: planimetric and ancient textual sources, data from pedestrian, geomagnetic and LiDAR surveys, data from archaeological excavations, anthracological studies, macroscopic and metallographic studies of the material as well as chemical analyses (ICP/MS and 14C). The interpretations and hypotheses established for these two iron and steel areas finally contribute to finding their rightful place in their historical, political and social contexts.

Key words:

Metallurgy, iron, archaeometry, slag, reduction, Middle Ages, purification, Antiquity, forest, anthracology

Sommaire

Remerciements ... 3
Avant-propos ... 7
Résumé ... 8
Sommaire ... 9
Introduction ... 13
Chapitre 1 - La production du fer au Moyen Âge, une histoire de société timidement développée par l'archéologie en France ... 17
1.1 Une problématique à plusieurs échelles ... 17
1.1.1 À l'échelle du massif forestier ... 17
1.1.2 À l'échelle d'un atelier ... 18
1.1.3 À l'échelle régionale ... 19
1.2 État de la recherche en sidérurgie ancienne ... 19
1.2.1 Le développement de la recherche ... 20
1.2.2 La métallurgie médiévale ... 26
1.2.3 Archéologie en forêt et métallurgie, deux domaines étroitement liés ... 30
1.3 La chaîne opératoire de la production du fer ... 35
1.3.1 Extraction du minerai ... 36
1.3.2 Réduction du fer ... 40
1.3.3 Épuration et forgeage ... 43
Chapitre 2 - Cadre de la recherche ... 49
2.1 Le massif forestier de Boulogne-Chambord ... 49
2.1.1 Description géographique et géologique ... 49
2.1.2 Contexte historique des sites métallurgiques ... 53
2.1.3 État de la recherche ... 59
2.2 La forêt de Châteauroux ... 61
2.2.1 *Description géographique et géologique* ... 61
2.2.2 *Contexte historique des sites de production du fer* ... 63
2.2.3 *État de l'art* ... 72
Chapitre 3 - Acquisition et traitement des données ... 76
3.1 Sources textuelles et cartes anciennes ... 76
3.1.1 Les archives textuelles ... 76
3.1.2 Les sources iconographiques anciennes ... 81
3.2 Méthodes d'étude sur le terrain ... 90
3.2.1 La prospection ... 91
3.2.2 La fouille ... 107

3.3 En laboratoire ... 110
3.3.1 Étude macroscopique ... 110
3.3.2 Étude microscopique ... 112
3.3.3 Analyses chimiques ... 122
3.3.4 Étude anthracologique ... 134
Chapitre 4 - Une activité métallurgique médiévale dans le massif forestier de Boulogne-Chambord ... 145
4.1 Les ateliers métallurgiques ... 145
4.1.1 Les sites métallurgiques noirs ... 145
4.1.2 Caractéristiques constitutives des ferriers ... 146
4.1.3 Organisation spatiale des ateliers métallurgiques ... 152
4.2 Les autre sites métallurgiques ... 163
4.2.1 Les épandages, formes et fonctions ... 163
4.2.2 Les dépôts ponctuels ... 168
4.3 Les déchets de réduction ... 168
4.3.1 Les scories écoulées, déchets caractéristiques d'un type de production ... 169
4.3.2 Différents types de scories internes ... 174
4.3.3 Les pseudo-laitiers ... 181
4.3.4 Les indices de structures de production ... 182
4.4 Les déchets de forge ... 193
4.4.1 Les culots ... 193
4.4.2 Les agglomérats métalliques ... 196
4.5 La datation de l'activité métallurgique en forêt de Boulogne-Chambord ... 198
4.5.1 Les documents historiques ... 198
4.5.2 Les Terres Cuites Architecturales ... 201
4.5.3 La céramique ... 203
4.5.4 Datations ^{14}C ... 204
Chapitre 5 - La forêt de Châteauroux, des espaces de production du fer de diverses périodes ... 208
5.1 Plusieurs types de sites de production ... 208
5.1.1 Description des sites métallurgiques ... 208
5.1.2 Caractéristiques des sites métallurgiques ... 210
5.1.3 Des localisation distinctes d'ateliers métallurgiques en forêt de Châteauroux ... 219
5.2 Les sites secondaires, épandages et dépôts ponctuels ... 228
5.3 Les déchets de réduction ... 231
5.3.1 Les scories écoulées ... 231

5.3.2 Les scories internes 243
5.3.3 Les pseudo-laitiers 268
5.3.4 Architecture des structures de production 269
5.4 Les déchets de forge 283
5.4.1 Les culots de forge 283
5.4.2 Les agglomérats métalliques 285
5.5 La production du fer en forêt de Châteauroux, des indices de datation variés 285
5.5.1 L'apport des documents d'archives 285
5.5.2 Les terres cuites architecturales, une information homogène 286
5.5.3 La céramique, des datations variées 287
5.5.4 Les datations ^{14}C 290
Chapitre 6 - Des régions métallurgiques abritant un ou plusieurs ensembles de production . 297
6.1 Des régions métallurgiques aux compositions chimiques différentes 297
6.1.1 Analyse multifactorielle en Composante Principale : mise en évidence des régions de production métallurgique 297
6.1.2 Les éléments aux proportions caractéristiques 310
6.2 Mise en évidence de groupes d'ateliers cohérents 314
6.2.1 Les caractéristiques discriminantes des ateliers métallurgiques 317
6.2.2 Structuration du tableau de données et méthode d'analyse statistique 322
6.3 Restitution des ensembles métallurgiques 323
6.3.1 La forêt de Boulogne, un ensemble relativement homogène 323
6.3.2 Le massif de Châteauroux : la métallurgie en héritage ? 327
Chapitre 7 - Un atelier métallurgique du haut Moyen Âge en forêt de Boulogne-Chambord 337
7.1 Un atelier organisé et délimité 338
7.1.1 L'aire de grillage 339
7.1.2 La zone de réduction du minerai de fer 340
7.1.3 L'espace de forge 350
7.1.4 Un espace limité par un fossé 351
7.1.5 La zone de rejet 352
7.2 Un site artisanal daté du haut Moyen Âge 356
7.2.1 La terre cuite architecturale 356
7.2.2 Le mobilier céramique 357
7.2.3 Les datations ^{14}C 359
7.3 Un atelier métallurgique plurifonctionnel 361
7.3.1 Les caractéristiques de la réduction 361
7.3.2 L'activité de forge 378

Chapitre 8 - Un atelier de réduction du fer médiéval dans le massif de Châteauroux 388
8.1 Un atelier à l'espace organisé 389
8.1.1 L'aire de grillage du minerai 391
8.1.2 Deux espaces de réduction 391
8.1.3 Les éléments de délimitation de l'espace 397
8.1.4 L'espace de rejet des déchets métallurgiques 398
8.2 Les indices de datation 402
8.2.1 Apport de la terre cuite architecturale 402
8.2.2 Le mobilier céramique 403
8.2.3 La datation par ^{14}C 405
8.3 Une technique de production peu connue au Moyen Âge 407
8.3.1 La réduction 407
8.3.2 Quelques indices de forge 417
Chapitre 9 - Deux régions métallurgiques, deux contextes peu différents 426
9.1 Combustible et métallurgie 426
9.1.1 Le charbon de bois employé dans les ateliers métallurgiques 427
9.1.2 Impact de l'artisanat du fer sur l'environnement 446
9.2 Deux forêts, deux contextes archéologiques similaires 451
9.2.1 Des espaces organisés (voies de communication, trame parcellaire) 451
9.2.2 Des sites anciens, de possibles pôles d'attractivité pour l'activité métallurgique 464
Chapitre 10 - Une histoire de la production du fer dans les forêts du centre de la France 470
10.1 Boulogne-Chambord : un important centre sidérurgique alto-médiéval 470
10.1.1 Un espace de passage, organisé, mais peu propice à la croissance de la forêt 471
10.1.2 Un centre métallurgique étendu et homogène 472
10.2 Châteauroux : un artisanat discontinu dans le temps 477
10.2.1 Une première phase de production pendant l'Antiquité 477
10.2.2 Une activité métallurgique médiévale à destination locale 480
10.3 La métallurgie en région Centre : organisation de l'activité et profil des métallurgistes au cours du temps 486
Conclusion générale 498
Sources manuscrites 502
Sources planimétriques 502
Textes anciens 505
Bibliographie 506
Table des figures 562
Table des tableaux 570

Introduction

Scories, ferriers, fourneaux, tuyères, sont autant d'objets d'intérêt pour étudier les ateliers de production du fer. Mais étudier l'histoire de la métallurgie, c'est aussi s'intéresser au milieu, à ses ressources et à l'impact de cette activité sur le paysage. En l'occurrence, cette thèse s'attache à l'une et l'autre de ces approches pour apporter de nouvelles données à l'histoire de la métallurgie. Depuis près de vingt ans, l'intérêt pour l'archéologie en forêt est renouvelé ; ce milieu particulier préserve les sites archéologiques grâce à son cycle lent, au faible impact de l'érosion et surtout celui de l'Homme (DARDIGNAC, GEORGES-LEROY, DUPOUEY 2007 : 10-11). En l'espèce, des amas de scories, ou ferriers, ont été identifiés dans les forêts de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre).

Le massif de Boulogne-Chambord comprend la forêt domaniale de Boulogne et le sud du parc de Chambord, attenants, mais séparés par un mur d'enceinte achevé au milieu du XVIIe s. Il sera appelé dans les pages qui suivent « Boulogne-Chambord », pour le distinguer d'une part de la forêt domaniale actuelle, d'autre part du parc de Chambord lui-même, désignant des espaces construits à des époques postérieures. Le massif forestier de Boulogne-Chambord se trouve dans la province historique du Blésois. Il s'étend sur environ 9 500 ha et constitue autant une séparation qu'un trait d'union avec l'agglomération de Blois, située à environ treize kilomètres au nord-ouest (***cf* vol.2, fig.1**). La Loire, voisine, a probablement facilité le commerce et le transport des ressources exploitées dans ce massif. Le deuxième espace du corpus, plus au sud, est constitué de la forêt domaniale de Châteauroux, située dans la province historique du Berry, à environ six kilomètres au sud de la ville du même nom. Ce massif de 5 200 ha est longé par l'Indre à l'est. Ces deux forêts sont attestées dans les sources au moins depuis le Moyen Âge central et situées non loin d'habitats groupés de second ordre, comme des agglomérations secondaires ou des petites cités. Cette situation géographique similaire, bordée d'agglomération et desservie par une rivière ou un fleuve, a pu favoriser un dynamisme commercial autour des matières premières forestières (ressources minières, bois, gibier, fourrage).

Pour produire du fer, il faut du minerai. Or, une première différence se manifeste entre les forêts de notre corpus. Le massif de Boulogne-Chambord se situe sur une formation Mio-Pliocène de sables et d'argiles de Sologne. En forêt comme aux alentours, peu de ressources en fer sont identifiées à ce jour. Pourtant, des ateliers de production y sont recensés, sans être étudiés

jusqu'à présent. À l'inverse, le massif de Châteauroux se trouve pour une grande moitié ouest sur une formation Éocène et à l'est sur une formation quaternaire. Le minerai y est abondant. Ce phénomène a fourni aux populations locales l'opportunité de développer l'artisanat du fer depuis la Protohistoire, comme à Meunet-Planches au nord-est de la forêt, jusqu'à la période contemporaine avec les « forges » d'Ardentes ou de Clavières installées sur les bords de l'Indre. La constitution d'un tel corpus offre d'abord la possibilité de documenter, à travers une démarche pluridisciplinaire, des activités métallurgiques implantées à différents moments entre l'Antiquité et le XIIIe s. Il favorise ainsi l'observation de distinctions et de similitudes techniques et historiques. C'est aussi la possibilité d'ouvrir de nouvelles questions sur les rapports entre les ateliers métallurgiques et les ressources en charbon, autre matière première indispensable à la réduction du minerai de fer. Enfin, il permet d'étudier l'impact de cette production sur le milieu forestier dans lequel elle s'installe et dont elle dépend. En répondant à ces trois grandes interrogations, l'objectif est double. Il s'agit d'abord de mettre en lumière les histoires sidérurgiques de ces territoires et de les intégrer dans l'histoire élargie de la métallurgie. Ensuite, on cherche à faire émerger des caractéristiques locales en identifiant l'origine du minerai, des spécificités techniques, le savoir-faire des artisans ou encore le profil des instigateurs de la production de fer.

Dès les années 90, de nombreuses thèses et programmes de recherche ont fourni un matériau riche concernant la métallurgie protohistorique et antique dans le Berry. Toutefois, la production du fer médiévale y reste méconnue. Cette thèse ouvre un chapitre concernant l'histoire de la métallurgie au Moyen Âge dans cette région et complète celui concernant la période antique. Elle s'adosse également aux données obtenues par le programme SOLiDAR en forêt de Boulogne-Chambord[1]. Mené entre 2015 et 2018, ses résultats ont mis en évidence les vestiges d'activités forestières comme des ferriers et des charbonnières dans ce massif.

Prospections, fouilles, télédétection, analyses anthracologiques et métallographiques ont permis d'apporter des informations inédites concernant la métallurgie, dans des secteurs géographiques encore mal documentés et pour des périodes peu étudiées (haut Moyen Âge et Moyen Âge central). Elles ont également fait naître de nouvelles interrogations sur le contexte de la production du fer, sur l'état des forêts et la gestion des ressources ligneuses. Le plan du

1. Dirigé par X. Rodier et C. Laplaige, UMR 7324 CITERES-LAT, programme de recherche financé par la région Centre-Val de Loire et le parc de Chambord.
http://citeres.univ-tours.fr/spip.php?article2133

travail qui suit s'attache à intégrer la problématique dans un cadre historiographique plus large, considérant la place de la métallurgie dans les recherches archéologiques et dans l'état des connaissances pour les deux massifs forestiers. Après avoir fait l'inventaire et la description des sources et données mises en œuvre pour ce travail, une reconstitution globale de la production métallurgique à Boulogne-Chambord et à Châteauroux est présentée. Elle est complétée par la mise en place d'une méthode de regroupement des ateliers en « ensembles métallurgiques » et par la restitution de leur contexte d'implantation. Une étude détaillée de deux ateliers métallurgiques, provenant de chacun des deux massifs, approfondit ensuite nos connaissances de ces ensembles. Enfin, une synthèse des résultats est réalisée. Elle ouvre ainsi sur le contexte social et économique de cette production dans les deux régions du corpus.

Partie 1

Corpus, sources et méthodes

Chapitre 1 - La production du fer au Moyen Âge, une histoire de société timidement développée par l'archéologie en France

1.1 Une problématique à plusieurs échelles

Le métal au Moyen Âge est un matériau qui dispose d'une place importante dans la société. Il est utilisé dans de nombreux domaines (outillage, construction, armement, etc.) et sa production nécessite l'implication de nombreux acteurs. Ce travail de recherche tente de faire la lumière sur l'ensemble des caractéristiques sociétales, économiques, techniques et environnementales au sein desquelles s'insèrent deux espaces sidérurgiques du centre de la France actuellement dans le contexte particulier qu'est la forêt. À ces fins, cette étude se fonde sur trois échelles d'analyses. Tout d'abord, à l'échelle du massif forestier, on cherche à comprendre l'implantation de l'activité métallurgique, à définir si elle est homogène ou non et à restituer le contexte anthropique et environnemental dans lequel elle s'insère. Puis, à l'échelle de l'atelier, l'objectif est de caractériser la production métallurgique dans tous ses aspects. Cette étape est importante pour déterminer le profil des artisans (niveau de spécialisation, etc.) et des potentiels commanditaires (ampleur et objectif de la production). Enfin, à l'échelle régionale, l'ensemble de ces données permet de replacer ces activités dans un cadre historique et archéologique plus vaste en étudiant la présence d'autres sites métallurgiques, les flux de matières premières, ainsi que les routes et places commerciales.

1.1.1 À l'échelle du massif forestier

Cette thèse s'efforce de caractériser les zones sidérurgiques observées à l'échelle d'une forêt. Dans ce cadre, on décrit tout d'abord les sites métallurgiques : de quand datent-ils ? ont-ils tous la même forme ? Les mêmes dimensions ? Leurs déchets sont-ils comparables ? traduisent-ils l'utilisation de structures productives similaires ? Peut-on signaler l'emploi d'une même matière première ? La fabrication de produits finis semblables ? Est-il possible de définir la signature chimique de chaque région métallurgique étudiée ? En parallèle, on cherche à mettre en évidence la présence ou non d'une forêt aux époques concernées par la sidérurgie, l'organisation spatiale des ateliers dans ces espaces ; en observant leur agencement les uns par rapport aux autres (concentrés ou isolés) et par rapport à l'occupation ancienne (localisation à proximité de voies de circulation, de lieux de commerce, de potentielles habitations, de charbonnières ?). Finalement, le croisement de ces différents types de données permet de

distinguer un ou plusieurs groupes de production aux caractéristiques similaires qui sont nommés dans cette thèse des **ensembles sidérurgiques**. Ce terme est défini dans le chapitre 6.

La mise en évidence de ces ensembles favorise une meilleure compréhension de l'histoire de la production du fer dans ces forêts. Ils permettent par exemple de déterminer si la localisation des ateliers change au cours du temps ou si plusieurs ensembles se côtoient à la même période. En outre, la compréhension de cette histoire passe par la restitution, par ensemble, de l'ampleur de leur production. Ces données peuvent alors fournir de précieuses informations pour dépeindre le profil des commanditaires, restituer l'organisation des forêts associées aux activités métallurgiques et l'impact de la production du fer sur son environnement (quantité de bois nécessaire à chaque ensemble).

1.1.2 À l'échelle d'un atelier

La seconde échelle de questionnement est plus fine, elle s'intéresse aux caractéristiques d'un atelier sidérurgique médiéval provenant de chacun des massifs du corpus. Dans un premier temps, il s'agit de caractériser les structures composant l'atelier et leur organisation spatiale. Ces ateliers ont-ils un aménagement similaire dans les deux forêts ou peut-on observer des différences ? Existe-t-il d'autres sites métallurgiques planifiés sur le même modèle dans d'autres régions ? Dans un second temps, c'est la production elle-même qui pose question. On se demande alors quelles étapes de la chaîne opératoire du fer sont réalisées sur les sites ? Quelle est la morphologie des structures de production (fours à scories piégées, écoulées, présence d'une aération, etc.) ? Quelles techniques sont utilisées (emploi d'un ajouts, type de forgeage, atmosphère, température approximative des fours, etc.) ? Enfin, quel métal est produit et en quelle quantité ? Ces interrogations permettent également d'esquisser le profil des artisans à l'origine de ces productions. Difficile à aborder sans sources écrites, ce personnage est principalement abordé à travers la question suivante : les métallurgistes présents dans les ateliers sont-ils spécialisés ou exercent-ils une activité occasionnelle ?

Le dialogue constant entre l'étude de l'artisanat du fer à l'échelle de la forêt et à celle d'un atelier est essentiel pour approfondir la nature de l'activité et des métallurgistes. Il favorise également une meilleure compréhension des relations entre l'activité métallurgique et la forêt en apportant notamment des renseignements concernant le bois employé (essence, âge, parties

utilisées) et donc l'impact de la métallurgie sur la forêt. À partir d'un artisanat, on tente ainsi d'esquisser la gestion forestière en cours à une période donnée.

Enfin, l'aller-retour continuel entre l'échelle de la forêt à celle des sites permet de répondre à une question méthodologique importante : peut-on réellement se fonder sur des observations ponctuelles réalisées sur du mobilier de surface pour caractériser la production de l'atelier qui les a engendrés ?

1.1.3 À l'échelle régionale

La dernière échelle d'étude vise à replacer les ensembles de production mis en évidence dans leur contexte régional. Pour ce faire, on mobilise les données archéologiques, ainsi que les sources écrites et planimétriques. L'objectif est de comprendre les rapports qu'entretiennent les ateliers métallurgiques avec le territoire où ils sont implantés. Il existe en effet des flux qu'il est intéressant de retracer. On se demande notamment d'où provient le minerai exploité et vers quels endroits les produits finis peuvent être envoyés (marchés, espaces castraux, cités, axes commerciaux). En outre, pour appréhender l'implantation de ces ateliers dans leur globalité, il faut situer ces ensembles dans l'histoire de l'artisanat. Les forêts de ce corpus appartiennent-elles à un espace géographique disposant d'un héritage sidérurgique important ? Si c'est le cas, comment évolue cet artisanat au cours du temps ? Finalement, cette recherche accroit les connaissances historiques de la métallurgie en France, notamment pour la période médiévale encore peu étudiée.

1.2 État de la recherche en sidérurgie ancienne

Initiée vers 1500 – 1000 avt n. è entre l'Anatolie et l'Iran, la production du fer se généralise en Europe à partir du V-IVe s. avt n. è. (BERRANGER, BAUVAIS 2020 : 643). La diffusion de cet artisanat est donc assez rapide. La technique de production connait quelques évolutions, tout d'abord avec le développement des **fours à scories écoulées** vers le IIe s. avt n. è. Ils évitent l'engorgement des fours qui fonctionnent plus longtemps et avec plus de matière première ce qui entraine une production plus importante. Leur apparition est variable en fonction des localisations géographiques. Dans la région Mancelle, bien étudiée, elle est datée entre la fin de la Tène C (260 - 150 av. n. e.) et le début de l'Antiquité (env. 52 avt n. è.) (LANGLOIS 2015 : 655-656). Les fours à scories piégées et écoulées cohabitent alors sur un même territoire. La production du fer évolue peu jusqu'aux environs des XIIe – XIIIe s., période

à laquelle les premiers textes mentionnent l'utilisation de l'**énergie hydraulique**[2]. Petit à petit, les dimensions des fours de réduction s'agrandissent entrainant une augmentation massive des masses métalliques. Il devient alors impossible de les forger à la main, c'est pourquoi les artisans inventent un mécanisme qui en est capable, le **martinet** (GIMPEL 1975 : 41). Plusieurs auteurs rédigent des ouvrages sur ces techniques de production notamment au XVIe s., les plus connus sont Vannoccio Biringuiccio avec *La pyrotechnia* daté de 1540 (BIRINGUCCIO 1572) et Georg Bauer, dit Agricola, qui écrit *De re metallica* entre 1530 et 1566 (AGRICOLA 1556).

Enfin, l'une des innovations les plus importantes en occident apparait vers le XIIe s. en Suède (MAGNUSSON 1996) et en Allemagne (KNAU, SÖNNECKEN 1994 : 121 - 124) et entre les XIIIe et XIVe s. dans la région de Liège, il s'agit des **hauts fourneaux** (TYLECOTE 1987 ; PLOQUIN 1993). Cette technique entraine la fabrication d'un nouveau type de produit métallurgique, la fonte (LAVOISY 2020). Ce matériau est dur et cassant et doit être affiné (élimination du carbone) pour être utilisable. Ce nouveau processus engendre un nouveau type de déchet. Bien que cette technique soit plus efficace, la nécessité d'affiner la fonte et l'important besoin en combustible empêche sa diffusion jusqu'au XVe s. Elle se développe ensuite en Europe (DURRER 1947 : 56-58). Cette nouvelle technologie est l'un des fondements de la révolution industrielle, période pendant laquelle la production du fer ne cesse d'innover.

La production dans des bas fourneaux persiste en France jusqu'au XIXe s., elle n'est cependant plus la technique la plus utilisée. Les mémoires des gestes anciens s'effacent alors au profit de méthodes mécanisées plus modernes. À cette époque, on signale pour la première fois dans les textes l'existence de vestiges que l'on associe à la production sidérurgique ancienne, alors même que l'archéologie est en plein essor.

1.2.1 Le développement de la recherche

Histoire de la recherche en paléosidérurgie

Les premiers textes désignant certains vestiges, appelés scories, comme étant des déchets de production du fer sont des comptes rendus détaillés qui proviennent de revues royales et locales datées des années 1830 (SARRESTE 2008 : 43). D'un point de vue archéologique, le premier à reconnaitre une structure de production, un four de réduction, est A. Quiquerez[3] au

2. Utilisation de l'énergie fournie par l'eau pour déclencher un mécanisme.
3. Ingénieur des mines suisses.

milieu du XIXe s. Il s'intéresse à la production du fer ancienne et publie des synthèses régionales du Jura suisse en 1855 et 1866 (QUIQUEREZ 1855 ; 1866). Son travail entraine plus tard la réalisation d'une importante synthèse concernant les sites métallurgiques de France et de Suisse par A. Daubrée (DAUBREE 1868, 1881). Par la suite, ce sont principalement les ingénieurs des mines et les géologues qui s'intéressent à ce sujet, notamment dans le Berry (VALLOIS 1884), dans la région de Châteaubriant (Loire-Atlantique) (DAVY 1880) et surtout en Lorraine (BLEICHER, BEAUPRE 1896). Certaines sociétés savantes s'y attachent également de façon ponctuelle comme dans le Loir-et-Cher, où les ferriers de la forêt de Boulogne font l'objet d'un article (FLORANCE 1913). Avec la Première Guerre Mondiale, la recherche s'arrête. Seule, une synthèse sur la production du fer dans l'Yonne (HURE 1919) et la réutilisation de ces déchets (GOUDARD 1936) est à signaler.

La reprise des études sur ce sujet à lieu dans la seconde moitié du XXe s., sous l'impulsion des pays d'Europe Centrale et de l'Est, notamment avec R. Pleiner en Tchécoslovaquie (PLEINER 1989 ; 2000), ainsi que J. Piaskowski (PIASKOWSKI 1960) et K. Bielenin (BIELENIN, MANGIN, ORZECHOWSKI 1995 ; 1996 ; 1998) en Pologne. Ils cherchent à comprendre et à identifier la chaîne opératoire du fer, principalement à travers la description des structures de réduction, l'organisation des zones de réduction et l'observation macroscopique des scories. En Suisse, les recherches autour de la métallurgie du fer dans le Jura Vaudois se développent dans les années 1960 avec P.-L. Pelet (PELET, STÜCHELI, DECOLLOGNY 1960 ; PELET 1973) alors que H. Cleere et R. F. Tylecote publient les premières théories concernant les différentes phases de la production du fer ancienne en Angleterre et s'essaient à des expérimentations et des modélisations (CLEERE 1970 ; TYLECOTE 1962, 1987). En Norvège, les premiers travaux sur la réduction du fer sont dirigés par A. Espelund et I. Martens (ESPELUND 1993 ; MARTENS 1961). En France, ce type d'étude se répand avec les grands programmes de recherche portés par C. Domergue sur le site de la Montagne Noire (Aude) (DOMERGUE, JARRIER, TOLLON 1999) et M. Mangin dans le Morvan-Auxois (Côte-d'Or) (MANGIN *et al.* 1992). À cette période, les chercheurs se focalisent plus particulièrement sur le processus de réduction et les conditions physico-chimiques à l'origine des déchets grâce au développement de l'archéologie expérimentale (NOSEK 1985, 1977) et de l'archéométrie.

À partir des années 1980, les recherches ainsi que les colloques et conférences internationales se multiplient pour diffuser et échanger les informations nouvellement acquises (SCOTT, CLEERE 1987 ; DOMERGUE 1989 ; BIELENIN 1991 ; MANGIN 1994 ; BENOIT, FLUZIN 1995 ;

CREW, CREW 1997 ; NICOLINI, DIEUDONNE-GLAD 1998 ; FEUGERE, SERNEELS 1998 ; FEUGERE, GUSTIN 2000 ; MILCENT 2007). Ces rassemblements permettent d'établir des synthèses des connaissances, mais également d'amorcer d'importants programmes de recherches visant à réaliser une carte des sites de production métallurgiques anciens et à établir des méthodes d'étude archéologiques et archéométriques adéquates pour l'examen des déchets sidérurgiques (DOMERGUE, LEROY 2000 ; MANGIN 2004). Les colloques les plus récents ne se limitent plus à la compréhension d'une phase de la chaîne opératoire du fer, mais cherchent à appréhender l'ensemble des étapes mises en œuvre et leur relation. Bien que l'on observe aujourd'hui une diminution de des recherches universitaires pour la métallurgie, elle est de plus en plus prise en considération en archéologie préventive.

En parallèle de ces rassemblements, les études régionales se développent et donnent lieu à des publications qui sont encore aujourd'hui le fondement de l'archéométallurgie (JACOB, MANGIN 1990 ; MANGIN *et al.* 1992 ; DOMERGUE *et al.* 1993 ; SERNEELS 1993 ; PELET 1993 ; ESCHENLOHR 2001 ; DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010), ainsi que plusieurs thèses qui permettent de mieux appréhender les sites de l'ouest de la France jusque-là délaissés (DIEUDONNE-GLAD 1991, LAÜT 1994 ; LEROY 1997 ; SARRESTE 2008 ; COLLIOU 2013 ; SAINT-DIDIER 2017a ; CAILLAUD 2017 et dernièrement ZAOUR 2021)

Le développement de l'archéologie préventive depuis les années 1990 révèle un grand nombre de sites de toute importance qui viennent compléter notre connaissance de cet artisanat et enrichir la carte des sites métallurgiques en France (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 ; DUNIKOWSKI, CABBOÏ 1995 ; LEROY, MERLUZZO 1998 ; REBISCOUL 1999 ; DAVEAU, GOUSTARD 2000 ; FOUILLET, MORTREAU 2013 ; BEYRIE 2016).

À l'heure actuelle, les chercheurs s'intéressent également à l'expérimentation et à l'ethnoarchéologie, à l'image du colloque international organisé en mars 2020 au musée du Quai Branly dans le cadre de l'exposition "Frapper le fer. L'art des forgerons africains ». On cherche également à utiliser des méthodes de détection des sites (LiDAR, prospection géomagnétique) et d'analyses des vestiges (étude de provenance, distinction entre filière directe et indirecte, etc.) de plus en plus précises pour perfectionner les connaissances de l'organisation spatiale des ateliers anciens et leurs caractéristiques techniques.

L'archéométrie

L'archéométrie en archéométallurgie comprend deux techniques d'étude, d'une part les observations microscopiques, appelées couramment métallographie, réalisées sur les déchets de production et les objets finis ; d'autre part les analyses chimiques effectuées sur ces vestiges ainsi que le minerai.

Les premières tentatives d'analyses chimiques partielles sont réalisées sur des scories de réduction par R. Pleiner et R. F. Tylecote (PLEINER 1994 ; TYLECOTE 1987). Toutefois, il faut attendre les années 1990 pour que ces méthodes se développent réellement. C. Jarrier se concentre sur les phénomènes physico-chimiques ayant lieu lors de la réduction du fer par filière directe. Elle prend l'exemple du site des Martys (Montagne Noire) (JARRIER *et al.* 1997). V. Serneels travaille sur la formation et la composition minéralogique des scories de réduction suisse (SERNEELS 1993). Une meilleure compréhension du processus de réduction et du cheminement des divers éléments chimiques, depuis le minerai jusqu'à la scorie et la masse de fer produite, permet finalement de caractériser la signature chimique des mines de fer exploitées par les populations anciennes ; c'est le cas pour la région lorraine (LEROY 1997 ; LEROY, MERLUZZO 1998 ; LEROY, MERLUZZO, LE CARLIER 2015) et la Montagne Noire (DOMERGUE, JARRIER, TOLLON 1999).

Enfin, à partir des années 2000 les études archéométriques sont de plus en plus courantes sous l'impulsion de C. Le Carlier, A. Ploquin (LE CARLIER, PLOQUIN 1999), P. Fluzin (FLUZIN, PLOQUIN, SERNEELS 2000), L. Eschenlohr (ESCHENLOHR 2001). Ces auteurs cherchent à mettre en évidence la ou les méthodes de fabrication du fer. Cette problématique est développée dans la thèse de L. Orengo pour les habitats laténiens d'Auvergne (ORENGO 2003), par S. Bauvais à propos de sites protohistoriques du Bassin parisien (BAUVAIS 2007), par G. Pagès pour les sites métallurgiques la côte méditerranéenne (PAGES 2008) et M. Berranger pour l'est de la France (BERRANGER 2009). La deuxième grande problématique soulevée par l'archéométrie est la question de la provenance du minerai et de la filiation des vestiges métallurgiques. On cherche à appréhender les échanges et la circulation du fer sur un territoire lors d'une ou plusieurs périodes. Cette problématique est approfondie par les travaux de M. P. Coustures sur les barres de fer des Sainte-Marie-de-la-Mer (Bouches-du-Rhône) (COUSTURES 2001) et sur les vestiges métallurgiques de la Montagne-Noire (COUSTURES *et al.* 2003) ainsi que par les thèses sur les vestiges métallurgiques du Pays de Bray normand (DESAULTY 2008), de Lombardie et des Pyrénées Ariégeoises (LEROY 2010), de Lorraine (DISSER 2014) et plus récemment d'Aquitaine

(CAILLAUD 2017). Enfin, les analyses chimiques ouvrent une troisième voie de recherche importante, la restitution de la quantité de métal produite sur chaque site de réduction du fer. L'estimation de la production du fer apparait dès 1976 avec H. Cleere qui tente, à partir de la quantité de déchet observée dans des ferriers et des résultats d'expérimentation, de restituer le volume de métal fabriqué (CLEERE 1976). Toutefois, ce n'est qu'à partir des années 1980, et surtout 1990, période à laquelle les données sont de plus en plus fiables, que cette préoccupation se diffuse sur tous les sites de production étudiés (DOMERGUE, REBISCOUL, TOLLON 1982 : 229 ; DUNIKOWSKI, CABBOÏ 1995 : 122). En 1991, V. Serneels propose un nouveau calcul de quantification qui s'appuie sur les analyses chimiques pour restituer la production théorique du site mérovingien des « Boulies » (Boécourt, Jura suisse) (ESCHELOHR, SERNEELS 1991 : 99-106 ; SERNEELS 1993). Cette méthode permet d'estimer le rendement de la production à partir de la teneur en fer du minerai utilisé et de la teneur en fer des scories produites ; elle est toujours employée aujourd'hui.

Finalement, les recherches actuelles se tournent vers l'application de méthodes de laboratoire de plus en plus élaborées, comme l'apport des analyses isotopiques pour la traçabilité des métaux anciens par exemple.

Les prospections géophysiques

Le domaine de l'archéométallurgie connait également, mais depuis une vingtaine d'années seulement, un développement important de l'analyse spatiale des ateliers grâce aux prospections géophysiques. Deux méthodes nous intéressent particulièrement, la télédétection LiDAR (Light Detection And Ranging) et la prospection magnétique.

La télédétection LiDAR est utilisée depuis une quinzaine d'années en archéologie, notamment pour comprendre des contextes difficiles comme le milieu forestier (COWLEY, OPITZ 2012). Cette technique met en évidence la microtopographie du sol, ce qui permet d'avoir une bonne visibilité des structures archéologiques, notamment des ferriers, des zones d'extraction des métaux ou encore des charbonnières. Cette méthode est applicable sur des dizaines, voire des centaines de kilomètres carrés, fournissant ainsi une carte complète des vestiges archéologiques en relief ; document jusque-là très difficile à obtenir à partir des simples prospections pédestres (COSTA, LAÜT, PETIT 2020 : 1). Des prospections LiDAR sont réalisées dès 2003 en forêt de Rastatt (Allemagne) (SITTLER, HAUGER 2007), puis en forêt de Dean (Grande-Bretagne) (DEVEREUX, AMABLE, CROW 2008), sur la montagne de la Leitha en

Autriche (DONEUS 2013) ou encore en forêt tropicale de Guyane française (MESTRE, HILDEBRAND, TEXIER 2008). En métropole, on l'utilise pour la première fois en 2006 sur le site de Saint-Martin-du-Mont (Côte-d'Or) (BECK 2009).

Les images LiDAR, réalisées sur un nombre de plus en plus important de forêts, sont rapidement utilisées par les archéométallurgistes. Ils y voient une façon plus simple d'obtenir des informations concernant les caractéristiques spatiales, morphologiques et dimensionnelles des structures associées à la métallurgie. On l'observe tout d'abord en 2007 avec l'étude de la forêt de Haye (Lorraine) (GEORGES-LEROY *et al.* 2011), en 2012 de la forêt de Braconne « Bois-blanc » (Charente) (RASSAT *et al.* 2016), en 2016 de la forêt de Bercé (Sarthes) (DARDIGNAC, LE JEUNE 2016), en 2018 de la forêt de Mervent-Vouvant (Vendée) (NILLESSE, WATTEAUX 2020), de Salève (Suisse) (PERRET *et al.* 2018) et de la forêt de Montholon « Le Bois des ferriers » (Yonne) (HERBRICH 2019 : 56-60). Dans ce cadre foisonnant s'insère, entre 2014 et 2018, le programme SoLiDAR qui traite des forêts de Blois, Russy et Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher) (LAPLAIGE *et al.* 2018). Ce programme fournit la matière première permettant l'analyse avancée des sites métallurgiques d'une partie de notre corpus. La liste des forêts étudiées grâce aux images LiDAR n'est pas exhaustive, mais témoigne de l'intérêt de plus en plus croissant pour cette méthode en paléométallurgie.

L'utilisation du magnétisme pour mettre en évidence la présence de structures archéologiques est développée dans les années 1950 en Angleterre (AITKEN, WEBSTER, REEDS 1958) et en France (THELLIER 1951 ; LE BORGNE 1950, 1960). Depuis les années 1970, les chercheurs n'ont de cesse d'améliorer les instruments nécessaires à l'acquisition des données, mais également leur représentation graphique pour que l'application aux sites archéologiques soit simplifiée (HESSE 1966 ; HESSE, JOLIVET, REMY 1978 ; DABAS *et al.* 2006 : 169-170). À partir des années 1990, les archéométallurgistes se tournent également vers cette méthode, capable de mettre en évidence les espaces ayant compris un foyer et toutes autres structures archéologiques liées au feu. L'objectif est de déterminer l'emplacement des ateliers métallurgiques et de leurs différents espaces de travail. Bien que d'un grand intérêt, ce type de prospection, contrairement aux images LiDAR, nécessite un espace ouvert, labouré ou en prairie et est difficile à mettre en œuvre en sous-bois.

En France, les plus anciennes études d'atelier métallurgique réalisées à l'aide de prospections magnétiques ont à Minot (Côte d'Or) (DABAS, HESSE, JOLIVET 1989 : 129-141), Oulches (Indre) (DIEUDONNE-GLAD 2000 : 63) et La Buissière (Loiret) (DABAS 1999 : 17-32). Ces travaux entrainent dès le début du XXe s. la réalisation de prospections plus importantes par L. Eschenlohr sur 13 ateliers métallurgiques du Jura central suisse (ESCHENLOHR 2001 : 93-105). Par la suite, la méthode est utilisée de plus en plus couramment notamment en 2003 sur un site de la montagne Errola dans la vallée Baigorri (Pays basque) (BEYRIE *et al.* 2003) et à Castel-Minier (Ariège) (BONNAMOUR, FLORSCH, TEREYGEOL 2007 : 38 - 40). En 2012, G. Saint-Didier effectue des prospections géomagnétiques à « La Chagnasse » (Deux-Sèvres) dans le cadre de sa thèse (SAINT-DIDIER 2017a : 189-190). Cette méthode est également appliquée dans l'atelier de Meunet-Planches (Indre) en 2014 (DIEUDONNE-GLAD 2014, Annexe 1) et de façon plus étendue en 2015 sur le site de Béroudaz sur le Mont Salève (Suisse) (PERRET *et al.* 2018). Cette méthode s'ouvre peu à peu aux opérations préventives comme en 2016 sur le site de Bois Messire Jacques à Massay (Cher) (BEYRIE 2016 : 61-62 et Annexe 6). Aujourd'hui, elle est totalement intégrée dans de grands programmes de recherches tels que le PCR sidérurgie en Bourgogne - Franche Comté, dirigé par M. Berranger, où elle est utilisée pour mettre en évidence les structures métallurgiques du site de "Bois de Bailly" à Saint-Fargeau (SANCHEZ 2020 : 108-111).

L'étude des sites métallurgiques composant le corpus de cette thèse utilise un grand nombre de méthodes dont l'histoire vient d'être détaillée. Elle s'intègre donc parfaitement dans la recherche paléométallurgique actuelle, en couplant divers types d'étude de terrain (prospection pédestre, géophysique, fouille) et de laboratoire (métallographie, analyses chimiques). Les données obtenues permettent alors d'appréhender au mieux l'organisation des ateliers, leurs caractéristiques individuelles et collectives ainsi que leur environnement.

1.2.2 La métallurgie médiévale

En France, l'archéologie médiévale est largement minoritaire face à la préhistoire et à l'Antiquité entre le XIXe et le début du XXe s. (BURNOUF *et al.* 2020 : 19). Ce phénomène résulte de l'histoire de l'archéologie en France et des choix politiques et culturels réalisés depuis le XIXe s. L'existence de textes pour cette période a longtemps valu à l'archéologie d'être considérée comme illégitime par certains historiens. Les archéologues médiévistes sont donc amenés à s'affranchir des historiens et des historiens de l'art pour développer leur domaine

d'étude. Le premier centre de recherche archéologique médiéval apparait en 1955, à Caen, sous l'impulsion de M. de Boüard. Il crée également la revue *Archéologie Médiévale* en 1971, puis fonde en 1985 la Société d'archéologie médiévale (BURNOUF *et al.* 2020 : 19).
Dans la seconde moitié du XXe s., l'archéologie médiévale s'intéresse surtout au monde rural avec la fouille de Saint-Jean-le-Froid (Aveyron) (BUCAILLE 1978 : 264), de Dracy (Côte-d'Or) (PESEZ 1978 : 262-263) et de Rougiers (Var) (DEMIANS D'ARCHIMBAUD 1980). À la suite de grands scandales tels qu'à Marseille, Metz et Orléans, l'archéologie urbaine se développe également (BURNOUF *et al.* 2020 : 22). Dans les années 80, l'archéologie médiévale prend un nouvel essor avec la naissance de l'archéologie préventive et les grands chantiers de Saint-Denis et du Louvre, ainsi que l'accroissement des études de mobiliers archéologiques (BURNOUF *et al.* 2020 : 23). Finalement, elle prend toute sa place dans la discipline dans les années 1990, grâce à de nombreuses publications et thèses soutenues à la fin de la décennie.

Parmi les thèmes abordés par l'archéologie médiévale, les techniques ont une place importante. En effet, au Moyen Âge les espaces exploités par l'Homme croissent considérablement (BURNOUF *et al.* 2020 : 255-256). Les chercheurs s'intéressent donc aux moyens employés pour aménager l'environnement et produire les objets de consommation à travers l'étude des lieux de production (extraction, construction, fabrication) et des objets fabriqués. En ce qui concerne le métal, plus particulièrement les objets ferreux, le Moyen Âge prend place à la suite d'une période où il était très largement exploité en France et en Europe. L'importance des vestiges engendrés par cette activité couplée à un large intérêt pour la période antique a très tôt favorisé l'étude de ces sites. Ainsi, on retrouve dès 1981 des fouilles sur le site d'Alésia (Côte-d'Or) (MANGIN 1983), puis dans l'atelier du domaine des Forges « Les Martys » (Aude) (DOMERGUE, JARRIER, TOLLON 1999), dans la zone sidérurgique de Mâcon (Saone-et-Loire) (BOUKEZZOULA 1995), ainsi que dans celle plus importante encore des Clérimois (Yonne) (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995). Enfin, on peut également mentionner les recherches entamées dans le centre ouest de la France dès 1988 à *Argentomagus* (Indre) (DUMASY 1993) ainsi qu'autour de la forêt d'Allogny (Cher) (BORDELOUP 1996).

Au Moyen Âge, il semble que l'ampleur des productions diminue, engendrant un volume de déchet plus restreint. En contrepartie, le nombre d'ateliers augmente (ARNOUX 1993 : 19). La visualisation de ces sites est donc généralement moins évidente que celle des ateliers plus anciens qui peuvent faire plusieurs mètres de hauteur. Cette caractéristique vient conforter l'hypothèse du début des années 1960, selon laquelle le haut Moyen Âge est une période où le

fer est très peu présent (SARRESTE 2008 : 56). Cette conception est toutefois remise en cause par les historiens, comme M. Arnoux qui s'appuie sur les sites métallurgiques de Bretagne, principalement étudiés à l'aide des documents anciens (ARNOUX 1993). Son hypothèse est rapidement étayée par les travaux de G. Larcher qui documentent environ 150 sites métallurgiques dans la forêt de Paimpont (Bretagne) (LARCHER 1994). Petit à petit, les caractéristiques de la sidérurgie médiévale se dévoilent à travers les travaux des historiens et des archéologues. En ce qui concerne l'histoire de la métallurgie à travers la documentation ancienne, la thèse de C. Verna sur les moulins à battre le fer dans les Pyrénées tient lieu de référence après celle de M. Arnoux (VERNA 1994 ; 2001). Les premières fouilles importantes sont réalisées dans les années 1990 dans le Jura central suisse, dont le site de Boécourt « les Boulies » daté des VIe – VIIe s. (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 58-63), du pays de Vaud avec les sites de Ferreyres (maison Affolter), daté des VIIe – VIIIe s., de Montcherand et Bossena I, associés au VIIe s., et de Bellaire III dont l'activité s'étend entre les IIe et VIe s. (PELET 1993 : 110-113). En France, quelques sites de moins grande envergure sont également étudiés à cette période dans le cadre de fouilles programmées comme celui de Saint-Maurice-Montcouronne (Essonne), présentant une première phase de production aux VIe - VIIe et une seconde aux VIIIe - Xe s. (GOUSTARD *et al.* 1998 : 141-142) et de Saint-Dizier « Le chêne Saint-Amand » (Haute-Marne) daté des Xe- XIIIe s. (GOUSTARD *et al.* 1998 : 140-141). Plusieurs travaux recensent également des ateliers médiévaux sans approfondir leur étude ; car en général la recherche porte sur une autre période chronologique. On peut ainsi relever cinq ateliers médiévaux dans la région de Châteaubriant-Redon (DAVY 1913) et trois ferriers dans la forêt d'Allogny (Cher) (DIEUDONNE-GLAD 1992 : 74).

Dans le même temps, plusieurs sites sont mis au jour dans le cadre d'opérations préventives, c'est le cas de trois ateliers découverts dans le cadre de la construction de l'autoroute A71 dans le Berry ; à Farges-Allichamps (Cher), qui présente une phase antique et une phase datée entre les VIIe et XIIe s., à Nozières et à Faverdines (Cher) tous deux datés du haut Moyen Âge, mais non fouillés (FERDIERE, RIALLAND 1994 : 71). On peut également citer les ateliers de Ludres (Meurthe-et-Moselle), daté des IXe – Xe s. (LEROY, FORRIERES, PLOQUIN 1990), de Montcherrand (Suisse), dont une première phase de production est antique et la seconde est datée du VIIe s. (ABETEL 1992 : 87-92), de Liestal (Bâle/Suisse), actif entre les VIIIe et XIIe s. (GOUSTARD *et al.* 1998 : 139- 140), de Vert-Saint-Denis (Seine-et-Marne), à peu près contemporain (VIIIe et Xe s.) (GOUSTARD *et al.* 1998 : 142-143), de la "La Guyonnière" à La Chaize-le-Vicomte (Vendée), daté des VIe – VIIIe s. (PETORIN 2007), et le site d'extraction et de

réduction des « ferrys » (Loiret), dont la production est surtout datée de la période antique, mais perdure au moins jusqu'au XIe s. (REBISCOUL 2003). L'archéologie préventive permet d'appréhender le développement de cet artisanat au sein d'espaces moins concentrés. Plus récemment, on trouve les sites de « Bois Messire Jacques » à Massay (Cher), daté des IVe - VIe s. (BEYRIE 2016), et du « Bois des Thibauds » dans la commune de Pêchereau (Indre), dont l'activité à lieu entre les VIe et VIIe s. (COUVIN 2021). En 2021 une thèse réalisée sur la Normandie et ses marges par N. Zaour, ouvre une large fenêtre sur la métallurgie médiévale dans ce secteur en recensant 87 ateliers mis en évidence lors de diagnostics et/ou de fouilles préventives, dont le centre sidérurgique « Le long buisson » à Guichainville (Eure) est daté entre les Ve et VIIIe s. (ZAOUR 2021 : 574, 629-651).

À partir des années 2000, quelques programmes de recherche mettent en évidence des sites de réduction médiévaux, comme à Castel-Minier ou deux ateliers sont observés, dont l'un est daté des XIIIe - XIVe s. (BONNAMOUR, FLORSCH, TEREYGEOL 2007 : 42-43), et dans la forêt de Salève (Suisse) ou 12 sites caractérisent deux phases de production, l'une entre les Ve- VIe s. et l'autre entre les XIIIe- XIVe s. (PERRET *et al.* 2018 : 75-78). Toutefois, ce sont surtout des thèses de recherches qui permettent de synthétiser les données concernant les activités métallurgiques régionales. Ainsi, les caractéristiques des ateliers métallurgiques du nord du Bassin-parisien d'une part (BAUVAIS 2007), et de Lorraine d'autre part (DISSER 2014) sont étudiées. Ces travaux ont fourni les données pour la création d'un PCR concernant les *formes d'organisation de la production en métallurgie ancienne* en Lorraine, dans le sud de l'Île-de-France et dans le nord de l'Yonne entre 2005 et 2012 (LEROY, CABBOI 2019). Par la suite, F. Sarreste signale dans le cadre de sa thèse la présence de trois sites dans le bas-Maine (SARRESTE 2008 : 509), dont « Les bourdaines » situé sur la commune de Saint-Rémy-de-Sillé (SARRESTE 2011 : 30-38), daté des XIe-XIIIe s., et G. Saint-Didier, 48 sites dans le Poitou, dont « La Chagnasse » à Viennay (Deux-Sèvres), actif entre les VIIIe et XIIe s. (SAINT-DIDIER 2017a : 181). Il faut également mentionner le site d'extraction et de réduction de Saâles « Sapin Dessus » (Bas-Rhin), comprenant cinq ferriers datés des VIIe-IXe s., actuellement étudiés par F. Magar[4] (MAGAR 2017). Le PCR intitulé *La sidérurgie en Bourgogne Franche-Comté avant le haut-fourneau - organisation et circulation des productions* est créé en 2017 avec des objectifs similaires au PCR précédemment mentionné (BERRANGER *et al.* 2019, 2020). Il reprend notamment les sites métallurgiques mis au jour en forêt d'Othe (Aube/Yonne) et datés entre l'Antiquité et le bas

4. Thèse intitulée « La métallurgie du fer dans le Bas-Rhin, des bas fourneaux aux premiers hauts fourneaux », réalisée à l'Université de Mulhouse sous la direction de P. Fluck et J.-J. Schwien.

Moyen Âge (BECK, BRAUNSTEIN, PHILIPPE 2008). Ce travail se poursuit jusqu'en 2023. Enfin, en novembre 2021, F. Sarreste dirige une prospection thématique au Bois Meillant (Cher)[5] afin de mettre en évidence la production métallurgique associée à l'abbaye de Noirlac, située en contrebas, et mentionnée dans les archives (SARRESTE 2021). Plus d'une quarantaine de sites de plus ou moins grande envergure y sont découverts. Leur datation est encore mal connue, mais le mobilier ramassé et les archives confirment qu'au moins une partie est médiévale.

1.2.3 Archéologie en forêt et métallurgie, deux domaines étroitement liés

Histoire de la recherche

La forêt est longtemps restée en marge des études archéologiques, notamment à cause des difficultés d'accès à certaines parcelles, de l'absence de travaux sur le sol empêchant la remontée des vestiges archéologiques, de l'impossibilité de réaliser des prospections aériennes et surtout de la quasi-absence d'archéologie préventive (DARDIGNAC, GEORGES-LEROY, DUPOUEY 2007 : 10-11). Il est difficile de savoir si les forêts étudiées aujourd'hui étaient déjà des massifs arborés aux périodes anciennes, cette question est intrinsèquement liée aux recherches sur ce milieu. Le milieu forestier actuel a plusieurs avantages, dont le principal est la bonne conservation des vestiges s'il ne connait pas une exploitation trop importante (COUDERC 1986 : 128).

Ce sont, tout d'abord, les historiens et érudits qui s'intéressent à ce milieu, tels que A. Maury qui travaille sur l'impact des pratiques anciennes sur les forêts actuelles (MAURY 1850). En 1966, un colloque sur la forêt rassemble historiens et géographes à Besançon pour tenter de déterminer son rôle dans l'économie des sociétés anciennes (PLAISANCE 1967). À la fin du XXe s., A. Corvol cherche à en comprendre les caractéristiques en tant qu'espace de circulation, d'habitat, de lieu d'exploitation, etc. (CORVOL 1987 ; CORVOL, DUGAS DE LA BOISSONY 1993 ; CORVOL, RICHEFORT 1995). À cette même époque, à lieu le colloque nommé « Du pollen au cadastre » qui vise, à travers différentes méthodes d'études telles que l'archéologie, la cartographie, la palynologie et la pédologie à dessiner l'évolution du paysage forestier au cours du temps et son interaction avec l'Homme (DUBOIS 1986). E. Zadora-Rio distingue dès cette époque l'existence de deux courants de recherche concernant l'étude de la forêt actuelle dont l'un s'intéresse aux traces laissées par les activités anthropiques anciennes (production du fer, extraction de minerai, charbonnage, bucheronnage, etc.). Toutefois, pour appréhender les

5. Opération pour laquelle je suis intervenue en tant que Responsable de Secteur.

vestiges archéologiques et leur implantation dans ce milieu particulier, il est nécessaire d'en comprendre toutes les caractéristiques, d'où l'importance d'une collaboration entre plusieurs disciplines.

Depuis les années 2000, cette collaboration n'a cessé de se développer notamment grâce à la création d'un pôle archéologie au sein de l'Office National des Forêts ainsi qu'à travers la réalisation de colloques pluridisciplinaires, tels que le colloque « Mémoire des forêts » en 2004 (DUPOUEY, DAMBRINE *et al.* 2007). À cette même époque, les chercheurs ne cessent d'adapter leurs méthodes d'étude, notamment en mobilisant des connaissances provenant des sciences de la terre comme l'entomologie, la xylologie, l'anthracologie, la carpologie, etc. L'accumulation de ces données et leur croisement permettent ainsi d'aller plus loin dans la compréhension des dynamiques de la forêt, que ce soit à propos de la caractérisation des occupations anciennes ou de celle de l'écosystème forestier. Une autre avancée majeure est la diffusion de la technologie LiDAR. Elle permet en effet de révéler le microrelief de ces espaces jusque-là très difficilement accessibles. Déjà présentée ci-dessus, il est inutile de revenir sur l'histoire de cette méthode.

Dans ce cadre, plus favorable, de nouveaux axes de recherche émergent comme l'étude des parcellaires, des voies de circulation, etc. (CHOUQUER 2000), mais également la restitution des limites de la forêt, la compréhension de son insertion dans le paysage, ainsi que l'exploitation des ressources et par extension l'impact de ces activités sur la forêt. Finalement, les chercheurs tentent d'appréhender l'évolution de l'ensemble de ces caractéristiques au cours du temps. Ce travail donne lieu une publication foisonnante avec F. Duceppe-Lamarre (DUCEPPE-LAMARRE 1999), I. Théry-Parisot (THERY-PARISOT 2001) et plus récemment S. Bépoix et H. Richard (BEPOIX, RICHARD 2019). Ainsi que la réalisation de nombreuses thèses, telles que celle de G. Jacquet sur la forêt en Val de Loire (JACQUET 2003), de M. Delcourte-Debarre sur les forêts d'Avesnois (DELCOURTE-DEBARRE 2016), et plus récemment d'A. Crozet sur le massif de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher) (CROZET 2021a), d'A. Giosa sur la forêt du Châtillonnais (GIOSA 2020) et de D. Vignaud sur les Landes de Gascogne[6].

La compréhension des massifs forestiers dans leur ensemble implique la réalisation de diverses études dédiées notamment aux activités qui y ont pris place au cours du temps, c'est le cas de la métallurgie. De très nombreux travaux traitent aujourd'hui de la métallurgie en milieu

6. Doctorant à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour (UPPA) / IRAA-CNRS (USR 3155).

forestier, que ce soit simplement pour recenser les sites, comme dans la forêt de Bercé (Sarthe) (LEJEUNE, DARDIGNAC, DAVID 2017) ou dans le cadre d'études plus avancées telles que dans la forêt d'Allogny (Cher) (BORDELOUP 1997), de Paimpont (Bretagne) (VIVET 2003), de Tronçais (Allier) (LAUT 2007 : 104-105), d'Othe (Aube/Yonne) (BECK, BRAUNSTEIN, PHILIPPE 2008), de Sillé-le-Guillaume (Sarthe) (SARRESTE 2008), de Salève (Suisse) (PERRET *et al.* 2018) ou encore de Saâles (Bas-Rhin) (MAGAR 2017).

Pendant longtemps l'étude de la production ancienne et celle de la forêt ont été réalisées séparément, la seconde étant seulement le contexte de la première. Seules quelques recherches mentionnent le lien étroit qui les unit, mais de façon anecdotique, comme dans l'ouvrage « Le fer contre la forêt » (DORNIC 1984) ou encore « De la forêt au métal : premières données diachroniques et archéologiques en Ariège » (DUBOIS 1992). Ce lien prend la forme d'une autre activité anthropique, le charbonnage. En effet, l'approvisionnement en combustible est nécessaire à la production du fer. Son exploitation plus ou moins intensive laisse supposer l'existence d'une gestion forestière à l'origine de la dénomination « forêts métallurgiques » (PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 22-23). Cette appellation, qui apparait dans les années 80 (HOUZARD 1980), est définie par S. Paradis-Grenouillet comme désignant « les massifs forestiers ayant pour principale vocation de produire le combustible pour les activités métallurgiques » (PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 23). Il est toutefois difficile d'établir, en l'absence de textes anciens, si le charbon produit dans une forêt est dédié à la métallurgie ou s'il est équitablement réparti pour diverses activités (commerce, fabrication de chaux, de céramique, etc.). On peut alors nuancer cette définition en parlant de « massifs forestiers ayant notamment pour vocation de produire le combustible pour les activités métallurgiques ».

La question des conséquences des activités métallurgiques sur la forêt commence à devenir plus récurrente dans les années 90 (WORONOFF 1990 ; PELET 1993 ; BONHOTE 1993). Depuis lors, de véritables études pluridisciplinaires permettent d'appréhender la majorité des aspects de ces « forêts métallurgiques » (JALUT, METAILIE 1991 ; PLOQUIN, BAILLY-MAITRE, ALLEE 2002 ; PY 2009 ; OILLIC 2011, PARADIS-GRENOUILLET 2012). On cherche à évaluer les essences d'arbres employées par les artisans, les quantités de bois prélevées, l'âge des coupes de bois et leur dimension afin de caractériser la gestion mise en place par les charbonniers et/ou les métallurgistes pour assurer la demande en combustible. Ces informations associées à la restitution des conditions de croissance des bois permettent de définir, au moins en partie, la constitution et l'histoire des massifs forestiers.

Ces problématiques et bien d'autres encore, font l'objet en septembre 2013 d'un colloque nommé « Charbonnage, charbonniers, charbonnières » qui donne lieu à deux jours de réflexions sur les connaissances et les perspectives à venir dans ce domaine. On constate alors que la métallurgie tient une place importante dans le cadre de ces recherches. Ce colloque est à l'origine d'un ouvrage de référence sur nos connaissances des forêts associées à la production du fer (PARADIS-GRENOUILLET, BURRI, ROUAUD 2018).

Apport de l'anthracologie

L'anthracologie est l'une des méthodes d'archéologie botanique qui permet de reconstituer une partie de l'environnement forestier. Les plus anciennes identifications anthracologiques sont le fait de G. Passerini (1864) et de O. Heer en Suisse (1866) (LEROYER, MARGUERIE, ZECH-MATTERNE 2018 : 117). En France au début du XXe s., L'abbé Breuil s'intéresse aux charbons des foyers préhistoriques de Maz d'Azil (Ariège), de Meije (Isère) et de Teyjat (Dordogne). Puis, P. Guinier analyse les charbons de bois des sites mésolithiques de l'île de Téviec et de Hoëdic (Morbihan) (PEQUART *et al.* 1937 ; PEQUART, PEQUART 1954). Dans les années 1960-70, le microscope optique à réflexion se diffuse, l'observation des coupes de charbons de bois développée par A. Fietz est facilitée et reprise pour l'analyse des charbons de la grotte de Lascaux par C. Jacquiot (JACQUIOT 1960). À cette époque se développent également les datations ^{14}C (LEROYER, MARGUERIE, ZECH-MATTERNE 2018 : 118). Entre les années 1970 et 2000, un grand nombre de thèse reposant sur des problématiques archéologiques et paléobotaniques utilisant l'anthracologie sont soutenues (HEINZ 1988 ; CHABAL 1991 ; DURAND 1991 ; PERNAUD 1997). L. Vernet publie un ouvrage important sur les transformations de l'écosystème forestier méditerranéen de la préhistoire au XXe s. (VERNET 1997). À cette même époque, J.-P. Métailié lance des recherches sur le charbonnage dans les Pyrénées, point de départ de deux thèses (DAVASSE 1998 ; IZARD 1999). En 1991, le colloque « Charbons, anciens écosystèmes et rôle de l'Homme », dédié à l'anthracologie, permet l'essor de cette discipline et est depuis régulièrement renouvelé. Enfin, ces quarante dernières années, l'anthracologie est particulièrement employée pour étudier le bois en tant que combustible utilisé dans le cadre d'activités artisanales diverses (THIEBAULT 2010), dont la métallurgie. Pour ce faire, les méthodes d'études se développent ; notamment grâce aux thèses d'A. Dufraisse (DUFRAISSE 2002), de V. Py (PY 2009) et de S. Paradis-Grenouillet (PARADIS-GRENOUILLET 2012).

La plus ancienne étude anthracologique associée à la production du fer date des années 70. Elle concerne plusieurs sites du Pays de Vaud en Suisse dont l'analyse approfondie, par F. H. Schweingruber, va jusqu'à l'estimation du diamètre des bois employés (PELET 1993 : 99 - 103). Dans les années 1990, ce type d'étude est plus nombreux, c'est notamment le cas sur le site des Clérimois (Yonne) (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995), de Lercoul (Ariège) (DUBOIS, METAILIE, IZARD 1997 : 525 – 540), d'« Aulnay-Truchet » à La Bazoge (Sarthe) (CABBOI 1999), de « Couédan » ainsi qu'à Plélan-le-Grand et à « Le rocher Abraham » à Saint-pierre-de-Plesguen (Ille-et-Vilaine) (MARGUERIE, GAUDIN 2001). Au début des années 2000, elles prennent une plus grande place en archéométallurgie comme à Oulches (Indre), où l'on ne se limite plus à l'étude taxonomique en s'intéressant également à l'âge de coupes et la période d'abatage des arbres (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 317-320), à Saint-Mamert-du-Gard (Gard) (CHABAL 2006 : 34-37) ou encore à Rom (Deux-Sèvres) (DABAS, DIEUDONNE-GLAD, POIRIER 2002 : 149-152). Aujourd'hui, l'apport de l'anthracologie est largement reconnu, c'est pourquoi elle se généralise, notamment lors de travaux de master (MARQUE 2007 ; QUEUILLE 2012), et surtout de thèses traitant par exemple des sites miniers des alpes du sud (PY 2009), du site métallurgique de Roche-Brune (Sarthe) (SARRESTE 2011 : 211-213), de la forêt de Paimpont (Bretagne) (OILLIC 2011), de celles du Périgord-Limousin (PARADIS-GRENOUILLET 2012), de Chailluz (Franche-Comté) (DUPIN 2018) ou encore depuis 2011 de la forêt de Braconne[7].

Cet aspect de l'archéométallurgie fait à présent partie intégrante des problématiques actuelles, il est même pris en compte dans le cadre de fouilles préventives d'ampleur comme sur le tracé de la LGV Bretagne / Pays de la Loire (SEIGNAC 2015 : 214-220). On le trouve également dans certains PCR, tel que celui sur « La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté » où une étude anthracologique est réalisée sur deux ateliers du « Bois de Ferriers » à Aillant-sur-Tholon (Yonne) (COUBRAY, GIRARDCLOS 2020 : 153-161).

Notre travail de recherche s'inscrit donc également dans la lignée des études concernant l'Homme et ses relations avec la forêt au Moyen Âge. Il prend en compte l'histoire de ce milieu, de ses caractéristiques lors de l'implantation de l'activité métallurgique et tente de le confronter aux besoins de l'Homme pour en déduire son impact sur l'environnement. Le contexte de la recherche dans laquelle s'intègre cette thèse étant à présent exposé, il est nécessaire pour étudier

7. G. Rassat, thèse intitulée « L'artisanat du fer en Charente et Dordogne avant le haut-fourneau : approche paléométallurgique et environnementale », Laboratoire Geolab, Université de Limoges.

les sites métallurgiques de ce corpus de maitriser les différentes étapes de production mise en œuvre au sein de ces ateliers.

1.3 La chaîne opératoire de la production du fer

La production du fer nécessite une succession d'opérations techniques conduisant à d'importantes modifications physiques et/ou chimiques du minerai. De façon générale, cinq phases sont identifiées au cours de cette chaîne opératoire (SERNEELS 1993 : 43). Elles font appel à l'utilisation de diverses structures et outils engendrant des vestiges archéologiques significatifs (**Fig. 1**).

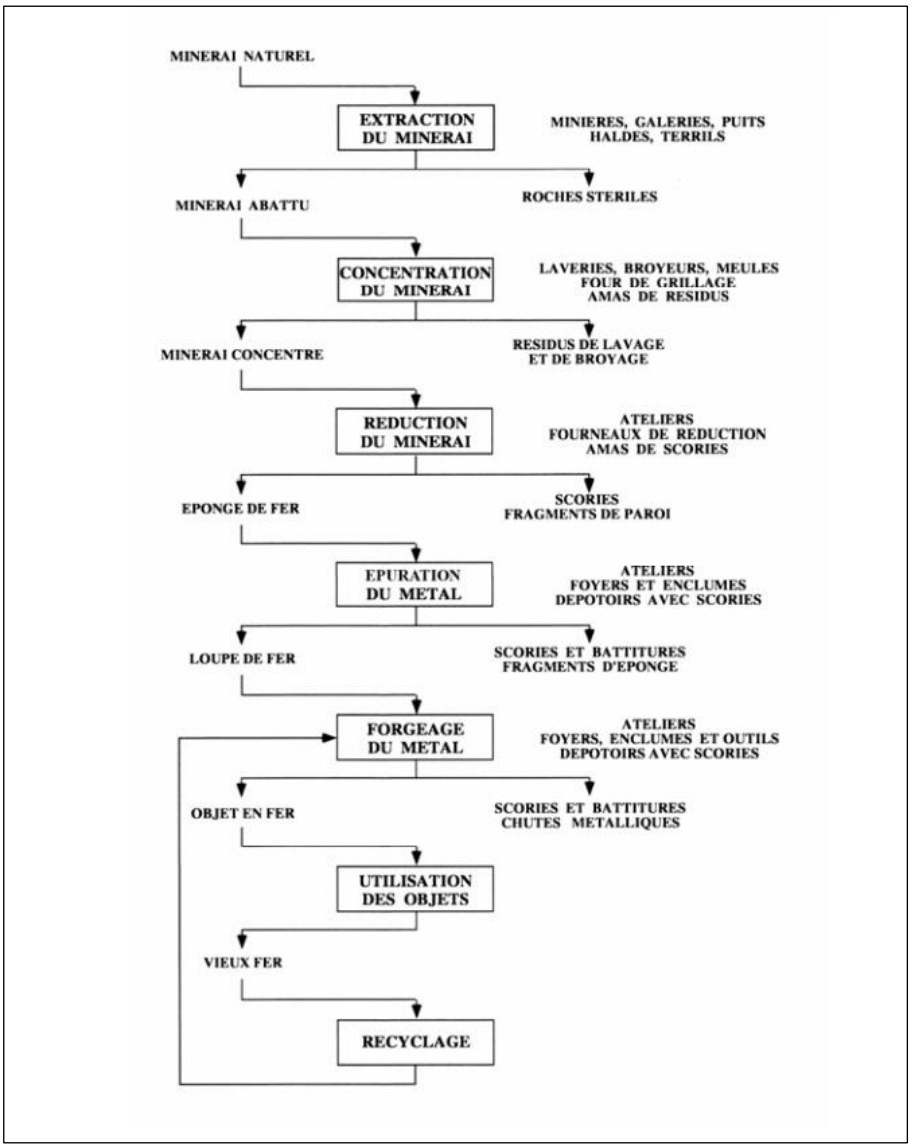


Fig. 1 : Schéma technique de la chaîne opératoire de la métallurgie du fer par le procédé direct (d'après SERNEELS 1998 : 19)

1.3.1 Extraction du minerai

La première étape comprend l'extraction du minerai. Le fer est l'un des plus importants éléments de la croûte terrestre (5 à 7 %) (FLUZIN 1983 : 18 ; SERNEELS 1993 : 32). Il n'existe toutefois à l'état de fer pur, ou état natif, que dans de très rares roches et certaines météorites (BUCHWALD 2005 : 13-38). La plupart du temps il est présent sous forme d'oxydes, mais aussi parfois de carbonates ou de sulfures et est associé à d'autres éléments chimiques qui forment la gangue du minerai. Les formations géologiques contenant du fer sont très nombreuses et largement répandues à la surface de la Terre. Les gisements sont, dans la plupart des cas, facilement identifiables notamment grâce à leur teinte rouge et jaune (MANGIN 2004 : 34). Toutefois, toutes les roches ne sont pas exploitables ; pour pouvoir être qualifié de minerai, le fer qu'elles contiennent doit être « techniquement et économiquement exploitable » (SERNEELS 2004 : 27-33). Cette qualification de minerai peut donc s'avérer variable en fonction des époques et de la technique de production employée.

Les minerais de fer utilisés en métallurgie ancienne sont composés d'un nombre restreint d'espèces minéralogiques dont les caractéristiques physiques, bien différenciées, facilitent leur distinction. La classification de ces minerais s'appuie sur l'espèce ferrifère dominante, sa dureté, sa porosité, sa teneur en fer et sa teneur en produits volatils (BUBENICEK, HESS, PAZDEJ 2017).

On peut ainsi distinguer selon P. Salesse (SALESSE 1989 : 3 - 4):
– Les **minerais à hématite** (Fe_2O_3) dont l'espèce dominante est l'oligiste ou l'hématite rouge. Ils sont généralement rocheux ou pulvérulents, à perte au feu[8] très faible, souvent fragiles, et présentant une porosité non négligeable ;
– les **minerais à magnétite** (Fe_3O_4). Ils sont généralement durs, massifs et compacts ;
– les **limonites** ($FeOOHnH_2O$) sont fragiles, scoriacées, poreuses, à forte perte au feu ;
– les **sidéroses** ($FeCO_3$) sont massives, compactes, dures, non poreuses, ces minerais présentent une perte au feu importante. Le grillage du minerai est nécessaire afin de les transformer en oxydes avant la réduction.

Toutefois, cette classification n'est pas complète. Pour aller plus loin dans la description de ces minerais, on s'appuie sur les observations pétrographiques. On peut alors distinguer plusieurs

8. Variation de masse résultant du chauffage d'un échantillon dans des conditions spécifiées. La perte au feu s'exprime en pourcentage en masse de la matière sèche (définition ISSeP).

classes de minerai ayant été utilisées par les populations anciennes en France (SALESSE 1989 : 6 - 7). Il s'agit uniquement de minerais sédimentaires, c'est-à-dire issus de l'accumulation des sédiments dans des dépressions géologiques.

Les minerais à hématite

Ils sont formés par le lessivage de la silice dans des conditions géographiques et géologiques particulières. Ils se présentent en grandes masses souvent très riches (plus de 65 % de fer). Leur composition chimique est Fe_2O_3, SiO_2. On peut y trouver de petites quantités d'alumine (jusqu'à 1,5 %). Les grès ferrugineux constitués de quartz et d'un ciment font partie de ce type de minerai (SUBTIL 2008 : 1). Ce minerai apparait souvent comme des plaques oranges à rouges (SAINT-DIDIER 2013 : 131).

Les minerais de fer oolithiques

Ce minerai se forme lorsqu'un excès de fer s'accumule sur les fonds marins peu profonds (SERNEELS 1993 : 33 ; SAINT-DIDIER 2017a : 60). Il est très répandu et fréquemment employé en métallurgie ancienne. L'importance des gisements est variable. Ce minerai a été engendré lors de toutes les ères géologiques, mais certaines périodes se sont avérées plus propices comme l'Ordovicien, le Lias et le Crétacé. Ces gisements présentent une épaisseur généralement comprise entre 3 et 20 m et peuvent s'étendre sur de grandes superficies (plusieurs dizaines de milliers d'hectares). La caractéristique principale de ce minerai est la présence d'oolithe[9]. Leur composition chimique est très particulière, car elle est constituée d'une importante variété d'éléments (chaux et silice, alumine) (BUBENICEK, HESS, PAZDEJ 2017). Ces minerais présentent généralement un taux de fer peu élevé (entre 20 et 40 %), sont pauvres en manganèse (Mn) et ont parfois des teneurs importantes en phosphore (P) (> 2%) (SERNEELS 1993 : 40).

Les minerais sidérolithiques

Ces minerais sont très fréquents et très superficiels. Tout comme le minerai oolithique, ils sont largement exploités par les populations anciennes. Ils se présentent sous la forme de nodules, ou pisolithes[10], ferrugineux de 5 à 20 cm (pouvant atteindre 1 m) englobés dans de l'argile des régions pénéplanées calcaires ou siliceuses (BUBENICEK, HESS, PAZDEJ 2017). Leur texture est

9. Concrétion géologique de petites structures minérales sphériques régulières de quelques centaines de microns, composées d'enveloppes minérales concentriques autour d'un noyau (définition CNRTL).
10. Concrétion calcaire sphérique à structure concentrique, d'un diamètre supérieur à celui d'un oolithe (LAPPARENT 1908 : 648).

fine et non poreuse. Ce minerai a une teneur en fer souvent supérieure à 40 % et est chargé en silice et parfois en manganèse. Il contient des teneurs variables en phosphore et en soufre (CAILLAUD 2017 : 46).

L'alios

Daté de l'ère quaternaire, ce minerai se forme par concrétions ferrugineuses (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 217). Il comprend de la goethite (FeOOH) et peut avoir d'importante teneur en manganèse. Sa composition est très similaire à celle du minerai sidérolithique, mais sa teneur en fer est relativement faible (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 217).

On peut rencontrer d'autres types de minerai de fer en France, dont des gisements hydrothermaux, comme à Chaillac (Indre) (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 219), ou encore les chapeaux de fer qui sont issus de l'altération des roches, notamment mis au jour dans la Montagne Noire (TOLLON, BEZIAT 2004).

Il existe différentes techniques d'extraction du minerai qui dépendent de la situation du gisement, de la nature du minerai et de sa gangue (MANTENANT 2014 : 54-55). L'extraction à ciel ouvert de gisements affleurant est la plus couramment employée. Les métallurgistes réalisent des fosses ou des tranchées peu profondes. Ces sites sont également appelés des minières. On trouve également des exploitations avec des installations de puits et de galeries plus ou moins profonds, comme sur les sites médiévaux de *Massa Maritima* (Toscane) et de *Monti della Tolfa* (Latium) en Italie, mais aussi sur le site *des Ferrys* (Loiret) en France. Elles sont toutefois moins fréquentes (REBISCOUL 2003 ; MANGIN 2004 : 36).

Les mineurs adaptent leurs techniques et leurs outils à la roche qui leur fait face (dur, meuble, superficiel, etc.) (SERNEELS 1993 : 44). L'extraction du minerai nécessite des installations qui laissent généralement peu de traces archéologiques identifiables, hormis des marques d'outils dans la roche, ou trop fragiles pour perdurer dans le temps. Cependant, les exploitations les plus importantes peuvent marquer le paysage avec la présence d'accumulations de déblais (appelées haldes) (MANGIN 2004 : 41).

Après avoir été extrait et trié, le minerai peut subir un certain nombre de traitements capable de l'enrichir[11] (MANGIN 2004 : 41). Cette opération vise à séparer le minerai et sa gangue[12]. Non essentielle, elle comprend deux types de procédés qui peuvent être utilisés ensembles ou séparément. Il s'agit d'une part de traitements mécaniques et d'autre part de traitement thermique. Le premier type de traitement fragmente le minerai en petits morceaux, il s'agit du concassage. Cela permet de séparer plus facilement le minerai de sa gangue et de le calibrer (**Fig. 2**) (SERNEELS 1993 : 44).



Fig. 2 : Exemple de scènes de concassage du minerai (AGRICOLA 1556 : 220 et 243)

Le second type de traitement nécessite le passage au feu, il s'agit du grillage. Le minerai est chauffé à quelques centaines de degrés dans un fourneau ou simplement sur une zone couverte de charbon de bois (**Fig. 3**). Ce traitement n'est pas forcément réalisé pour tous les types de minerai. Les minerais carbonatés et sulfurés sont les seuls qui en ont réellement besoin. En effet, leur chauffe en atmosphère oxydante permet d'éliminer le dioxyde de carbone des carbonates (calcination*) ou le soufre des sulfures. Le fer se combine alors à l'oxygène pour former des oxydes ce qui rend le minerai réductible. Toutefois, tous les minerais peuvent subir ce traitement, car cette étape permet également d'évacuer les molécules d'eau (déshydratation) et provoque des microfractures qui facilitent le concassage et la circulation des gaz à l'intérieur de la masse de minerai au cours de la réduction (SERNEELS 1993 : 44).

11. Ôter sa partie la moins riche en fer.
12. Roche qui n'est pas du minerai.



Fig. 3 : Représentation d'une scène de grillage du minerai (AGRICOLA 1556 : 221)

L'ensemble de ces traitements permet en principe d'obtenir un concentré pouvant atteindre 60 à 70 % d'éléments ferreux. Les gisements les moins intéressant peuvent ainsi fournir un concentré utilisable, voire bonne qualité. Ces traitements peuvent être réalisés à la sortie de la mine ou autour des fours de réduction (MANGIN 2004 : 45-46).

Ces traitements nécessitent un outillage peu développé, comme un maillet en pierre, une masse en métal ou une paroi de roche naturelle pour tenir lieu de table de concassage par exemple. Il est souvent impossible d'en retrouver des indices lors des fouilles archéologiques, sauf cas exceptionnel ayant nécessité des installations plus conséquentes, comme des fours ou des aires de grillage (SERNEELS 1993 : 44).

1.3.2 Réduction du fer

La seconde étape de la production est la réduction du minerai dans des fourneaux, c'est ce que l'on appelle une **réduction directe**. Lors de cette opération, les conditions de température et la composition des gaz (CO en excès) permettent la réduction des oxydes de fer, les séparant des autres éléments provenant de la gangue. Pour ce faire, il faut briser les liaisons entre les atomes de fer et d'oxygène en apportant de l'énergie, de la chaleur, et un agent réducteur qui capte l'oxygène et se combine avec lui en laissant les atomes de fer libres. Ces deux conditions sont obtenues lorsque l'on brûle du charbon de bois et du minerai dans un foyer semi-fermé, le fourneau. En effet, la combustion du charbon dégage la chaleur et donc l'énergie nécessaire à l'opération. Elle libère également du monoxyde de carbone (CO), qui est un agent réducteur qui capte l'oxygène des oxydes de fer (FeO) pour former du gaz carbonique (CO_2)

(MANGIN 2004 : 49). La formule chimique représentant la réduction des oxydes de fer par du monoxyde de carbone est la suivante :

Réduction des oxydes de fer

$$3Fe_2O_3 + CO \Rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$$

$$Fe_3O_4 + CO \Rightarrow 3FeO + CO_2$$

$$FeO + CO \Rightarrow Fe + CO_2$$

Cette transformation commence vers 650°C. Elle est facilitée par une température élevée, l'abondance de monoxyde de carbone et un long contact entre le gaz réducteur (CO) et le minerai (MANGIN 2004 : 50) (**Fig. 4**).

La température de fusion du fer (env. 1534°C) étant supérieure à la température à laquelle le minerai est réduit, cette réaction se déroule à l'état solide. En outre, elle est progressive et débute à la périphérie du minerai, puis partout où pénètrent les gaz. Lors de l'opération, les atomes de métal s'agglomèrent pour former une masse métallique, l'éponge de fer (MANGIN 2004 : 50). Cette masse n'est pas homogène et peut contenir du fer doux et/ou de l'acier ainsi que des fragments de scories piégés dans le métal. En outre, sa qualité et sa taille dépendent de la quantité et de la nature du minerai, mais aussi de la morphologie et de la taille du fourneau (SARRESTE 2008 : 39). Le minerai n'est toutefois pas constitué uniquement d'oxydes métalliques. Il contient de la silice, de l'alumine, parfois de la chaux (CaO) et comprend des oxydes qui ne sont pas réduits par le carbone à 1000°C. À 1100 – 1200° C, tous les constituants de la gangue du minerai deviennent pâteux et se séparent par gravité de la masse de fer (SERNEELS 1993 : 44 ; MANGIN 2004 : 50). D'autres substances s'y ajoutent, telles que la cendre engendrée par le combustible et des fragments de paroi de four fondus (SERNEELS 1993 : 45). Ce mélange forme la scorie qui, en refroidissant, conserve la forme du sol où elle se trouve. Elles possèdent différentes formes et textures selon la morphologie du fourneau et ses conditions internes (pression, température, composition de la structure) et selon la nature du minerai utilisé (SERNEELS 1993 : 45).

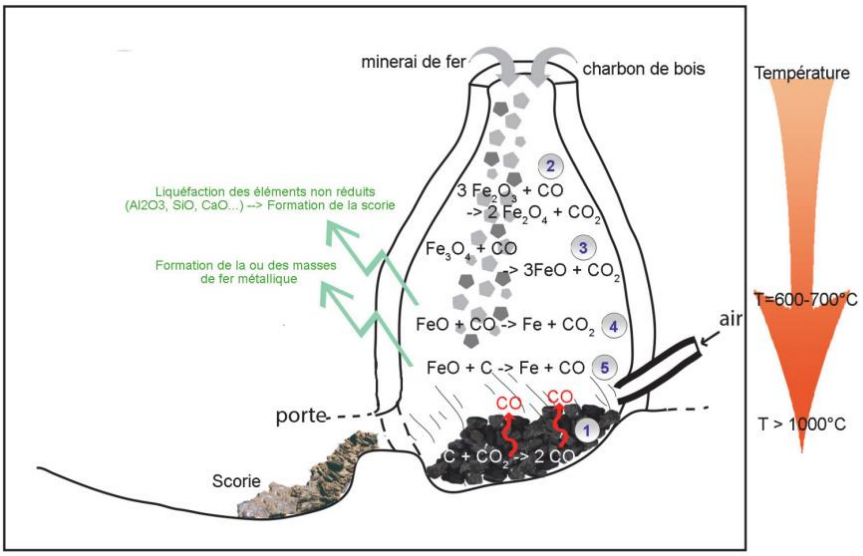


Fig. 4 : Schéma des réactions physico-chimiques qui s'opèrent lors de la réduction (CAILLAUD 2017 : 49)

Une typologie de ces scories de réduction est établie dès les années 70 en Angleterre par H. Cleere (CLEERE 1970), puis dans les années 80 par R. F. Tylecote (TYLECOTE 1987) et P. L. Pelet (PELET 1982) et est reprise par V. Serneels en 1993 (SERNEELS 1993 : 75-81). Ces typologies ont été complétées et approfondies depuis (FLUZIN, PLOQUIN, SERNEELS 2000 : 107, MANGIN 2004 : 68-79). On peut toutefois signaler que les deux principaux types, dépendant de l'emplacement où ces déchets se sont solidifiés, sont les scories écoulées et les scories internes (**Fig. 5**). À la fin de la réduction, ces déchets sont généralement rejetés en tas, formant ainsi des ferriers.

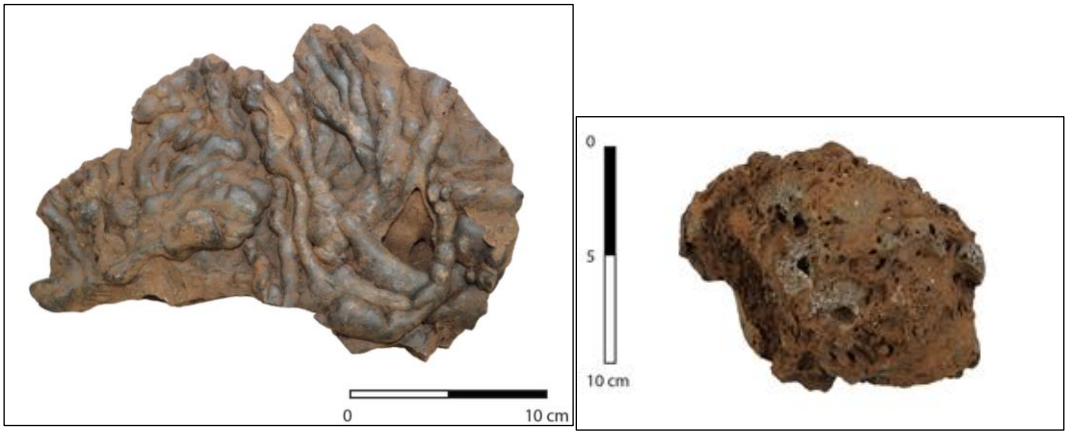


Fig. 5 : Photographie d'une scorie écoulée (à gauche) et d'une scorie interne (à droite) de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)

Le minerai est versé par la partie supérieure du fourneau, en alternance avec le combustible (MANGIN 2004 : 53). Celui-ci est principalement du charbon de bois, car son pouvoir calorifique est plus élevé que celui du bois vert ou sec et dégage plus de monoxyde de carbone lorsqu'il brûle (SARRESTE 2008 : 39). Ces fours sont constitués d'une structure maçonnée en argile et/ou en pierre (matériaux réfractaires) dont les dimensions et les formes sont variables (SARRESTE 2008 : 40). Ils sont ventilés par des éléments en argile, évents ou tuyères[13]. La ventilation peut être naturelle ou forcée (avec des soufflets). Il existe plusieurs types de fours. Les deux principaux sont :

- les fours à scories piégées (*slag pit furnaces*). La scorie y est séparée de l'éponge métallique, mais est contrainte à l'intérieur de la structure (PLEINER 2000 : 149-162) ;

Au sein de ce type de fourneaux, on peut différencier ceux disposant d'une cuve/fosse où la scorie refroidie reste piégée, ce sont les plus courants. Pour récupérer la masse de fer, il faut alors détruire la cheminée. Les métallurgistes doivent ainsi construire un nouveau four pour effectuer une nouvelle opération. Il s'agit des fourneaux à scories piégées à usage unique. L'autre sous-type comprend des fourneaux à scories piégées où des accès sont prévus pour atteindre la cuve/fosse et ainsi récupérer la masse de fer et retirer la scorie sans détruire toute la structure, il s'agit des fourneaux à scories piégées à usage multiple (DUNIKOWSKI, CABBOÏ 2001).

- les fours à scories écoulées (*tapping slag furnaces*) sont construits afin que la scorie s'écoule à l'extérieur du four (PLEINER 2000 : 163-193).

On peut distinguer plusieurs sous-types de fourneaux à scories écoulées. Ils peuvent présenter une cheminée en forme de cylindre (*shaft furnace*) ou de dôme (*dome furnace*) d'une part, et être encastrés dans une pente ou un talus artificiel d'autre part (SARRESTE 2008 : 41). Ces structures sont classées en fonction de leur architecture et de la technique de production employée.

1.3.3 Épuration et forgeage

Une fois le fer séparé de la scorie, la masse métallique récupérée est souvent vacuolaire et peut contenir des fragments de scories ou de charbons de bois. Il faut alors retirer ces impuretés et compacter la masse pour pouvoir former un objet (FEUGERE, SERNEELS 1998 : 21

13. Pièce d'argile présentant au moins un conduit tubulaire permettant la circulation d'oxygène dans un four.

; LEROY *et al*. 2000). Cette opération se nomme l'épuration. Il existe deux méthodes, la première nécessite de chauffer la masse de fer et de la marteler afin d'éliminer les inclusions non métalliques, de resserrer les vacuoles et de souder les particules de fer entre-elles. Ce travail peut être plus ou moins long et complexe en fonction du résultat souhaité. L'artisan peut réaliser une première mise en forme de la masse métallique épurée, elle est alors parfois nommée « loupe » (**Fig. 6**), ou aller jusqu'à la mise en forme d'un produit semi-fini sous la forme de barre ou de lingot par exemple (MANGIN 2004 : 83). La seconde est réalisée par cinglage à froid. Dans ce cas, la scorie est cassée, puis les parties métalliques sont sélectionnées et soudées à (SERNEELS 1993 : 47-48 ; SIM 1998 : 35). L'emploi de l'un ou l'autre traitement dépend de la qualité du métal désirée (MERLUZZO, FORRIERES 1995) et du savoir-faire de l'artisan.



Fig. 6 : Photographie d'une masse de fer épurée / expérimentation à Melle, musée des mines d'argent des rois francs – S. Bauvais

La dernière étape de la chaîne opératoire du fer est le **forgeage**. Il comprend la mise en forme de l'objet et la modification éventuelle de ses qualités physiques (SERNEELS 1993 : 48). La mise en forme peut se faire par déformation du métal à froid ou à chaud. Le forgeron utilise alors la capacité du métal à se déformer pour lui apporter la forme désirée. Lors du façonnage à chaud, on alterne des phases de chauffe appelée « chaudes » et de déformation appelées « passes » (MANGIN 2004 : 84). Afin de créer l'objet le plus adéquat à la fonction qui lui sera attribuée, l'artisan peut, comme durant l'épuration, faire varier les propriétés physiques du métal. Par exemple, en le martelant à froid (écrouissage) ou en le refroidissant rapidement par trempe. Il augmente ainsi localement sa dureté, sauf pour les fers doux. Toutefois, lorsque l'on durcit un métal sa malléabilité est altérée. Le but du forgeron est donc de trouver un compromis selon l'objet qu'il doit réaliser. Une fois l'objet mis en forme, il peut rester brut ou faire l'objet de finitions (MANGIN 2004 : 85). Durant leur vie, la plupart des objets sont entretenus et réparés grâce à une activité de forge. En ce qui concerne leur entretien, les objets en fer peuvent être

affûtés et certaines parties, usées ou cassées, être remplacées. Les objets hors d'usage, quant à eux, sont généralement reforgés si leur volume est suffisant (MANGIN 2004 : 85).

L'épuration et le forgeage sont deux phases nécessitant l'utilisation de structures similaires, soit un foyer et une enclume. Les foyers de forge sont généralement ouverts. Ils sont constitués d'une sole plate ou concave et ont une forme circulaire, ovale ou rectangulaire. L'enclume est un support de frappe qui peut être petit et mobile ou massif et fixe. Elle se trouve toujours à côté du foyer pour faciliter le travail du forgeron. Elle peut être en bois, en pierre ou en métal et a généralement au moins une surface plane (**Fig. 7**) (MANGIN 2004 : 94).



Fig. 7 : Photographie d'un forgeron contemporain de la vallée de l'Omo (Éthiopie) – *site Visoterra*

Ces deux étapes produisent des déchets argilo-sableux composés de fragments de parois du foyer, d'oxydes de fer et/ou d'ajouts de matière utilisés pour limiter leur formation à la surface de la pièce métallique. En effet, souvent l'artisan doit nettoyer la surface du métal de sa pellicule d'oxyde qui se forme à chaud au contact de l'air. Pour cela, il utilise parfois un décapant (ou fondant) qui est généralement du sable, de l'argile ou encore du calcaire (SERNEELS 1993 : 49). Il est également possible d'y trouver des fragments métalliques qui se sont détachés de la pièce au cours de la chauffe ainsi que des cendres de charbon de bois. Ces matériaux plus ou moins fondus s'accumulent dans le fond du foyer au cours d'une ou plusieurs phases de chauffes et deviennent ce que l'on nomme des scories de forge (LE CARLIER, LEROY, MERLUZZO 2007 : 25). Certaines présentent une forme plano-convexe et sont nommées culots de forge (**Fig. 8**). Ces derniers témoignent d'une partie des activités pratiquées à travers leur volume, leur aspect, leur structure interne et leur composition chimique (MANGIN 2004 : 111). Toutefois, il est très difficile de distinguer un culot de forge provenant d'une opération d'épuration et d'élaboration

en s'appuyant sur son aspect. Seule une étude métallographique peut éventuellement permettre de les discriminer.

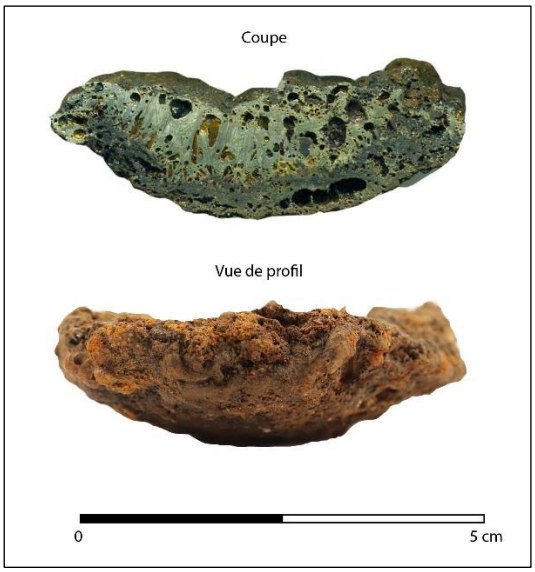


Fig. 8 : Culot de forge provenant du ferrier 155/1 de la forêt de Boulogne

La présence de ces culots peut renseigner le nombre d'opérations réalisées sur un site. Il est généralement admis qu'après chaque phase de travail le foyer est éteint, curé et le culot jeté (SERNEELS, PERRET 2004). Tout comme pour les scories de réduction, des typologies sont définies pour classer ces déchets (SERNEELS 1993 ; SERNEELS, PERRET 2004 ; ESCHENLOHR *et al.* 2007).

Le forgeage engendre également, lors du martelage, des écailles d'oxydes de fer expulsées sous l'impact du marteau et appelées battitures (**Fig. 9**) (SERNEELS 1993 : 48). Elles se dispersent dans un diamètre restreint autour du lieu de frappe et du foyer. La présence d'une forte concentration de battitures peut alors permettre de restituer l'emplacement d'une enclume qui a disparu (DABAS, DIEUDONNE-GLAD, POIRIER 2002 : 143). La quantité de ces déchets et leur volume n'est pas proportionnelle à la quantité de métal produit. Elle dépend plutôt de la taille de l'objet produit, de sa complexité et de la maitrise de l'artisan (ORENGO, BONNON, BEVILACQUA 2000 : 133).

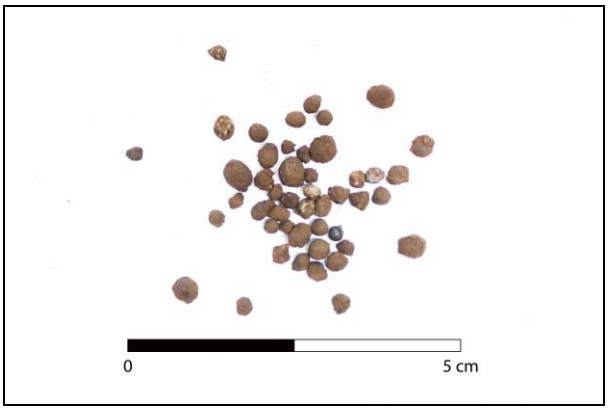


Fig. 9 : Photographie de battitures globulaires et informes observées sur le ferrier F155/1 de Boulogne

À proximité du foyer et de l'enclume, se trouve fréquemment un baquet d'eau pour le mouillage des abords du foyer, le refroidissement des grosses pièces, éventuellement des pinces, et la trempe. L'artisan utilise des pinces pour maintenir le fer au cours de son travail, un marteau pour frapper le métal de façon directe et des tranchets, des poinçons, des burins, pour une mise en forme plus précise. Ces outils sont parfois retrouvés lors de fouilles archéologiques, notamment en contexte funéraire comme dans la tombe 10 d'Hérouvillette (Calvados), ou dans celles de Mästermyr en Suède (**Fig. 10**) (LA SALVIA 1998 : 19).

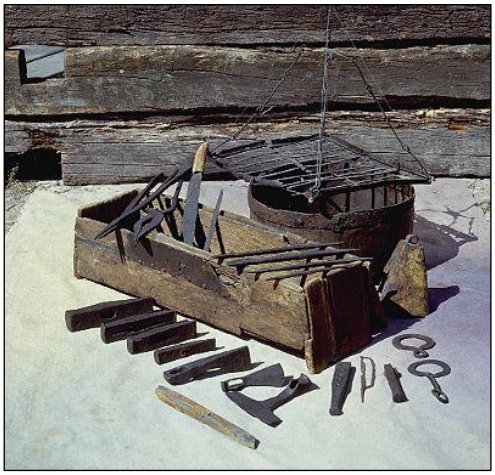


Fig. 10 : Photographie d'une reconstitution du coffre de Mästermyr et de ses outils (Suède) – Christer Ahlin (ARWIDSSON, BERG 1999)

Conclusion

Cette thèse soulève des problématiques similaires à celles développées dans chaque région où une activité métallurgique prend place tout en développant particulièrement le contexte environnemental au sein duquel les ateliers sont implantés. Elle s'avère toutefois originale par la combinaison des méthodes d'études utilisées et la localisation en région Centre du corpus.

Après avoir présenté les connaissances actuelles sur la métallurgie du fer médiévale, les problématiques générales à ce sujet et la méthodologie des études, il est à présent nécessaire d'approfondir nos connaissances concernant les sites de ce corpus, leur histoire, leur géologie et l'historiographie de la recherche dans ces régions afin de faire le point sur les savoir déjà acquis et ainsi mieux intégrer ceux apportés par ce travail.

Chapitre 2 - Cadre de la recherche

Cette thèse concerne deux espaces de production du fer situés au sein de massifs forestiers étendus. Leur implantation géographique à proximité directe d'une cité d'importance pour la région et au croisement de diverses voies de communication (terrestres et fluviales), reconnues au moins depuis l'Antiquité, est d'un intérêt certain pour comparer les trajectoires de ces espaces artisanaux médiévaux. En effet, malgré ces évidentes similitudes, ils se développent dans des régions où l'activité métallurgique fait l'objet d'un héritage culturel bien distinct. Ce phénomène est principalement dû au fait que ces sites se trouvent dans des régions géologiquement différentes. La caractérisation de leur contexte d'implantation est alors indispensable pour comprendre, au moins en partie, l'ensemble des choix réalisés par les artisans concernant le métal produit et les techniques de production utilisées.

En outre, les recherches archéologiques et historiques réalisées sur ces sites ne sont pas les mêmes. Il est donc nécessaire de les expliciter afin de rassembler l'ensemble des connaissances sur ce thème de recherche dans chacun des espaces concernés avant d'apporter de nouvelles données ; et de mettre en évidence les éventuels biais qui peuvent limiter les interprétations.

2.1 Le massif forestier de Boulogne-Chambord

2.1.1 Description géographique et géologique

Caractéristiques géographiques

Le massif forestier de Boulogne-Chambord se trouve dans le Loir-et-Cher (41), dans la région naturelle de la Sologne, à environ 13 km au sud-est de Blois (***cf* vol.2, fig.2**). Ce grand ensemble représente une superficie totale de 9 469 ha, soit 4 069 ha pour la forêt domaniale de Boulogne et 5 400 ha pour le parc de Chambord. Ces forêts s'étendent sur plusieurs communes : Chambord, Bracieux, Tours-en-Sologne, Mont-près-Chambord, Huisseau-sur-Cosson, Neuvy, Dhuizon et Thoury. Elles sont bordées par deux rivières : Le Beuvron, au sud, qui sert de déversoir à étangs. Il mesure environ 125 km et correspond à la limite occidentale de la Sologne ; et le Cosson au nord du massif qui s'écoule sur 96,4 km (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 135).

D'un point de vue topographique, Chambord est caractérisé par un terrain légèrement incliné vers l'ouest qui est traversé en son centre par la vallée du Cosson. Le point le plus haut de cette forêt se trouve au sud-est du parc et culmine à 128 m d'altitude. Le point le plus bas se trouve à l'ouest et s'élève à 72 m d'altitude. L'inclinaison maximale du massif est de 56 m (GARNIER 2014 : 13). Les données LiDAR, obtenues dans le cadre du programme SOLiDAR, montrent que la forêt de Boulogne présente la même déclivité. Toutefois, on y constate également la présence de deux plateaux, l'un à l'est et l'autre à l'ouest. Le point le plus haut se trouve au niveau du plateau oriental à 128 m d'altitude alors que le point le plus bas correspond à la pointe ouest de la forêt à 83 m d'altitude.

À Boulogne, les futaies de résineux et de feuillus alternent avec des futaies mixtes et des taillis sous futaie, ces derniers formant la majorité des peuplements. Le chêne est l'essence d'arbre la plus représentée ainsi que le charme qui a une place importante dans les sous-bois. D'importance secondaire, on trouve également le pin, le frêne, le hêtre, l'érable, l'orme, le bouleau, le saule ou encore le tilleul (GILLARDOT 1972 : 650-652). Le paysage est quelque peu différent dans le parc de Chambord qui est clos et qui possède une plus large gamme de peuplement avec une majorité de chênes. En outre, le pin sylvestre y est de plus en plus présent. Ces deux forêts comprennent de nombreuses zones humides, des landes à bruyères ou à genêts, des étangs, des marécages et des prairies (GARNIER 2014 : 16).

Caractéristiques géologiques

La formation des « Sables de Sologne »

La forêt de Boulogne-Chambord est située sur deux formations géologiques. La première est constituée de formations tertiaires[14] nommées Sables du Mio-Pliocène qui s'étendent sur 5 à 50 m d'épaisseur (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 134 ; BRGM 1978 : 13) (***cf*** **vol.2, fig.3**). Ces formations appelées communément Sables et Argiles de Sologne (M3-P1So sur la carte géologique) sont caractérisées par une assise de sable grossier à graveleux parfois associée à un plancher argileux à faible profondeur, les rendant hydromorphes (GARNIER 2014 : 13). Les Sables de Sologne correspondent à des chenaux sableux mêlés à un ensemble très argileux et discontinu. D'un point de vue chimique, les eaux souterraines de ces formations sont caractérisées par un pH acide et une très forte teneur en fer (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 110). Sous cette formation superficielle se trouve le Calcaire de Beauce, ou calcaire de Pithiviers (signalée M1Pi sur la carte géologique). Il est enfoui à une cinquantaine de mètres de

14. Formation qui se sont mises en place entre - 66 Ma à - 2,58 Ma.

profondeur en moyenne sous les points hauts, et une trentaine de mètres de profondeur dans les vallées principales. Ce calcaire présente plusieurs faciès (***cf* vol.2, fig.4**) et sa présence est moindre au sud-est de la région, traduisant le passage progressif du calcaire à la marne. L'eau analysée dans cette formation à un pH à tendance basique et une teneur en fer souvent supérieure aux normes de potabilité (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 110-111).

La présence d'argile est donc largement répandue au sein des forêts de Boulogne et de Chambord. Elle maintien l'humidité de surface et favorise la formation de marécages et d'étangs, notamment dans la partie nord du massif (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 136). En outre, la présence de cette argile contribue au développement d'une production de terres cuites dans la région (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 115).

Les alluvions quaternaires

Le second groupe géologique présent dans la région de Boulogne-Chambord comprend diverses formations quaternaires[15] composées d'alluvions résiduelles qui se sont déposées au-dessus des Sables et Argiles de Sologne (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 134 ; BRGM 1978 : 13). Ce groupe est largement minoritaire dans la zone qui nous intéresse. Ces alluvions ont deux origines différentes.

Certaines proviennent des hautes terrasses ligériennes situées sur la rive gauche de la Loire et s'étalent d'est en ouest (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 66). Sur la carte géologique, elles portent le nom de FuL et FvL et sont représentées en vert foncé. La terrasse appelée FuL est datée du Pléistocène[16] inférieur et est présente de façon continue entre Mont-près-Chambord et Bracieux. Elle s'étend entre 50 et 60 m au-dessus du lit actuel de la Loire au niveau le plus haut. Elle est formée de cailloutis constituant un plateau entre le Beuvron et le Cosson (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 63-69). Il semble que les cailloutis composant ce dépôt d'alluvions aient été déposés par un fleuve préligérien issu du Massif central qui parcourait la Sologne et la Beauce avant de se déverser dans la Manche (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 69). Ces cailloutis sont composés de « galets et graviers siliceux et de sables quartzeux (parfois très grossiers) enrobés dans une matrice argileuse jaunâtre à grisâtre irrégulièrement oxydée. Les éléments de plus grandes dimensions, et les plus abondants, sont des silex à patine noire ou à croûte blanche ou grise de 80 à 100 mm et des quartz hyalins de 20 à 30 mm » (DEBRAND-

15. Formations postérieures à 2,58 Ma.
16. 2,58 Ma – 11 700 ans avant notre ère.

PASSARD *et al.* 2010 : 71). Ces matériaux se consolident parfois en alios. Parmi ces alluvions ligériennes, certaines sont très altérées (Fv). En effet, entre le massif de Boulogne-Chambord et la ville de La Motte-Beuvron, se trouve un horizon A2[17] situé sur un horizon d'accumulation (Bt). Cette accumulation peut être divisée en deux. Elle comprend notamment une matrice argilo-ferrique épaisse de plusieurs centimètres, brune rougeâtre à rouge (B3t). Ce vieux sol apparait lessivé (Bt) et dégradé ou podzolisé (A2) (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 72, 82-83).

Les alluvions qui n'ont pas une origine ligérienne proviennent des apports de la Grande-Sauldre. Les éléments sancerrois sont moins variés que ceux de la Loire. Les terrasses de la Sauldre (FwaS, FxS, FyS) sont caractérisées par un faciès caillouteux dense. La matrice est un « sable quartzeux assez fin fourni par la couverture sableuse des argiles à silex et des corps sableux crétacés. Des argiles de couleur jaune, brun clair, grisâtre ou rouille orangé, sont associées à cette matrice sableuse » (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 67). Les dépôts d'alluvions Fy datés de l'Holocène[18] se trouvent au sein de la plaine d'inondation de la Loire. En Sologne, les alluvions Fy occupent des positions de 3 à 8 m au-dessus de la plaine alluviale (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 76). Dans le détail, FyS correspond à des alluvions de basse terrasse de la Grande Sauldre. Ces alluvions sont « sablo-graveleuses à galets de silex émoussés » et se trouvent principalement autour du Cosson et du Beuvron. Leur épaisseur dépasse rarement les 2 m (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 77). Tout comme pour des dépôts plus anciens, il s'y développe un sol podzolique. L'horizon B2h très mince (9 cm), gris violacé assez clair, est caractérisé par une faible accumulation de fer et d'aluminium libre. L'horizon B3g, gris brunâtre, comprend des taches de rouille très irrégulières résultant de la précipitation du fer. Ces niveaux surmontent un horizon à pseudo-gley[19] (16 cm) avec formation de nodules ferrugineux (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 77).

Ainsi, les ressources en fer sont exclusivement d'origine quaternaire et se trouvent à une faible profondeur, voir directement en surface. Elles sont localisées autour du Cosson et du Beuvron et entre le massif forestier de Boulogne-Chambord et la ville de Lamotte-Beuvron. Toutefois, elles apparaissent uniquement sous forme de tâches ou de nodules ferrugineux.

17. Horizon alluvial.
18. Période datée de 11 700 avant notre ère à nos jours.
19. Type de sol hydromorphe noyé de façon continue d'eau par une nappe phréatique et privé d'oxygène ce qui provoque des phénomènes d'anaérobiose et de réduction du fer.

2.1.2 Contexte historique des sites métallurgiques

L'activité métallurgique étudiée dans le massif de Boulogne-Chambord est datée de la période médiévale, plus précisément du haut Moyen Âge. Il est important de la replacer dans son contexte historique et politique afin d'essayer de comprendre au mieux son implantation.

À la fin du ve s., le dernier empereur de l'Occident romain est déposé et son ancien territoire est fragmenté en royaumes indépendants (LE JAN 2015 : 5). L'ancienne Gaule est alors divisée en plusieurs royaumes. Cette division ne dure pas puisque Clovis[20] réunit les Francs et fonde un royaume qu'il étend entre 486 et 507 (LE JAN 2015 : 12). À sa mort, en 511, le royaume est divisé en quatre parts. Blois entre dans le territoire du royaume d'Orléans dirigé par Clodomir, fils de Clovis, tout comme les territoires de Tours, de Poitiers et de Bourges. À la mort de tous les fils de Clovis, en 561, Gontran[21], son petit-fils, hérite du royaume d'Orléans (**Fig. 11**). Cet espace s'agrandit largement à la mort de son frère Charibert, en 567, pour devenir le royaume de Bourgogne (LE JAN 2015 : 18). Lorsque Gontran disparait en 592, son neveu Childebert II devient roi d'Austrasie et de Bourgogne, récupérant ainsi la plus grande partie du territoire. Après lui, le royaume est réuni par Clotaire II en 613 (LE JAN 2015 : 20).

20. (466-511)
21. (534-592)



Fig. 11 : Carte présentant le partage de la gaule 561

À l'époque mérovingienne, l'administration du territoire est légèrement revue, mais conserve un très important héritage romain. Les cités (*civitas*), caractérisent des chefs-lieux (HERVE 2012 : 147) et sont gérées par des assemblées municipales (*curiales*) jusqu'au VIIe s. environ. Elles sont administrées par un comte (*comes*), choisit par le roi, qui dispose du ban, la puissance publique. Il est assisté de centeniers qui exercent le même type de tâche, mais à une échelle plus restreinte (LE JAN 2015 : 37-39). Le territoire des cités est composé de *pagi* (LE JAN 2015 : 37). Ce terme semble correspondre à une subdivision géographique (HERVE 2012 : 147 ; ROBREAU 2012 : 53). Au VIe s., les comtes partagent la gestion de la ville avec les évêques et au VIIe s., ils leur abandonnent les villes pour s'installer à l'extérieur (LE JAN 2015 : 37). Enfin, en Francie et en Bourgogne, les rois désignent également des ducs, disposant de pouvoirs militaires, pour gérer certains territoires, initialement frontaliers. Les duchés peuvent alors contenir plusieurs comtés, mais ne sont pas permanents ; leur pérennité est liée à la personne du duc (LE JAN 2015 : 39). À partir de 639 (fin du règne de Dagobert 1er), l'autorité des Mérovingiens s'affaiblit et la monarchie décline. Les maires de palais, également nommés *major domus* ou *magister palatii* en latin, s'imposent (LE JAN 2015 : 22), ce qui permet à la lignée des Péppinides[22] de

22. Elle débute avec Pépin de Herstal en 690.

prendre le pouvoir à la fin du VIIe s. De celle-ci descend la lignée des Carolingiens établie par Charles Martel[23], maire du palais d'Austrasie, au début du VIIIe s. L'administration du royaume ne semble pas subir trop de modifications avant l'arrivée de Charlemagne[24] au IXe s. Le VIe s. apparait donc comme une période de continuité avec le monde romain, tandis que le VIIe s. prépare les importants changements de la période carolingienne (LE JAN 2015 : 9).

À proximité de la forêt de Boulogne-Chambord au Moyen Âge se trouve la ville de Blois. Après avoir été une agglomération secondaire romaine très active de la cité des Carnutes[25] du Ier au IIIe s., la ville connait une attractivité de moins en moins importante jusqu'au Ve - VIe s. (AUBOURG, JOSSET 2014 : 10). À la fin du VIe s. la *civitas* de Chartres, à laquelle appartient Blois, est divisée en 7 *pagi* : Vendôme, Blois, Châteaudun, Chartres, Dreux, Poissy et Méri (ROBREAU 2012 : 55). Cette subdivision est le résultat d'une évolution centrifuge de l'occupation qui a peu à peu affaibli le centre de la cité, Chartres (ROBREAU 2012 : 57). Grégoire de Tours mentionne pour la première fois Blois en désignant sa population dans son livre « Histoire des Francs » écrit entre 573 et 594. Il y précise : *Aurilianensis adque Blisensis vicissem*[26]et *Aurilianensis cum Blesinsibus (…) prosternunt*[27]. Plus tard, au VIIe s., le géographe anonyme de Ravenne qui énumère les villes qui se trouvent sur les bords de Loire mentionne la *Civitas Blezis* (BOUSQUET 1738a : 120). Des fouilles archéologiques, réalisées en 1991 sur le promontoire du château, signalent la présence de terres noires datées entre les IIIe et VIIIe s. Elles témoignent d'un changement dans la manière d'occuper le sol par rapport aux périodes antérieures. Les fouilles mettent également au jour un trémisse en or daté du VIIe s. et légendé « Bleso castro » (**Fig. 13**). Cette inscription caractérise la présence d'un atelier monétaire, et donc d'une certaine importance de la ville à cette époque. Ainsi, il apparait qu'un habitat stable s'est implanté à Blois à partir du Ve - VIe s. avant l'installation des comtes de Blois vers le VIIe - VIIIe s. En effet, la première mention d'un château à Blois, *Blisum castellum,* provient des Annales Bertianini[28] et est datée de 834 (BOUSQUET 1738b : 196). On y apprend la libération des populations qui se trouvent le long de la Loire par les armées de Charles le Chauve contre les Normands.

23. (688-741)
24. (742-814)
25. Le chef-lieu de la cité était alors *Autricum* (Chartres).
26. Grégoire de Tours (Livre VII, II, 8).
27. Grégoire de Tours (Livre VII, II, 19).
28. Appelées aussi Annales de Saint Bertin. Annales carolingiennes et franques qui ont été trouvées dans l'abbaye de Saint Bertin, à Saint-Omer. Elles couvrent les périodes de 830 à 882, soit principalement sous le roi Charles le Chauve.



Fig. 12 : Trémisse en or mis au jour sur le promontoire du château de Blois (VIIe s.)

À cette époque, la ville frappe encore sa monnaie ; en témoigne l'inscription *Blesianis Castro* observée sur certains deniers en argent que l'on peut notamment trouver en vente sur internet[29].

L'occupation du massif de Boulogne-Chambord est peu connue pour le haut Moyen Âge. Il semble malgré tout y avoir une continuité de l'occupation avec le bas Empire (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 93). Les quelques sites archéologiques observés dans l'actuel massif forestier sont qualifiés d'habitats ruraux, ayant certainement une fonction agro-pastorale, et sont probablement associés à un parcellaire de talus indiquant plutôt un milieu ouvert à cette époque (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 91-92). À la fin de la période carolingienne, la forêt est attestée et appartient aux comtes de Blois, dont Thibaut 1er de Blois[30], de la famille de Champagne, est le premier comte héréditaire (**Fig. 13**). Ces terres lui proviennent de la dot de sa mère, Richilde de Bourges[31], petite fille de Charles II[32] le Chauve. Ses descendants conservent ces terres jusqu'en 1230, période à laquelle elles passent à la maison de Châtillon. Chambord est alors un petit village installé près d'un gué sur le Cosson (CHATENET 2001 : 2).

29. https://www.inumis.com/shop/charles-le-chauve-denier-blois-801566/
30. (910-975)
31. (890-942)
32. (823-877)

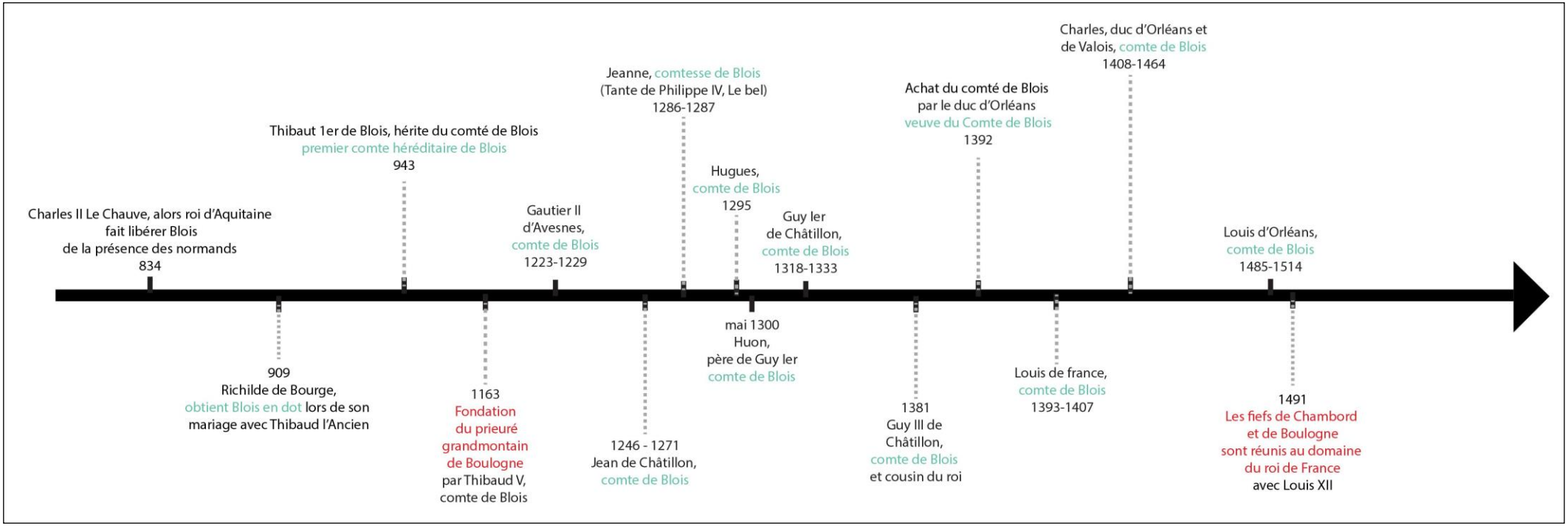


Fig. 13 : Repères chronologiques des seigneurs de Blois

Il est probable que la forêt soit séparée en deux au Moyen Âge central, engendrant les massifs de Russy à l'ouest et de Boulogne-Chambord à l'est (**Fig. 14**). Chaque massif est divisé en fiefs dont certaines parties sont soumises à des droits d'usages (CHATENET 2001 : 2). À cette époque apparaissent les premiers actes et textes qui affirment la présence de ces forêts et qui précisent leur nom. Boulogne est ainsi nommée pour la première fois en 1176 dans une charte accordant le droit d'usage du bois mort à l'Aumône de Beaugency (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 160). La première mention de Russy apparait à la même époque (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 155-159). En 1163, Thibaud V, Comte de Blois fonde un prieuré au centre de la forêt de Boulogne (BERNIER 1682 : 207). Il s'agit du prieuré Notre-Dame de Boulogne, ou maison *Bolonia*, qui dépend de l'Ordre de Grandmont[33] (GUIBERT 1877 : 59). Cet ordre est actif puisque les religieux travaillent notamment au défrichement, à l'abattage, à la construction des ponts, etc. (RENARD 1962 : 4).

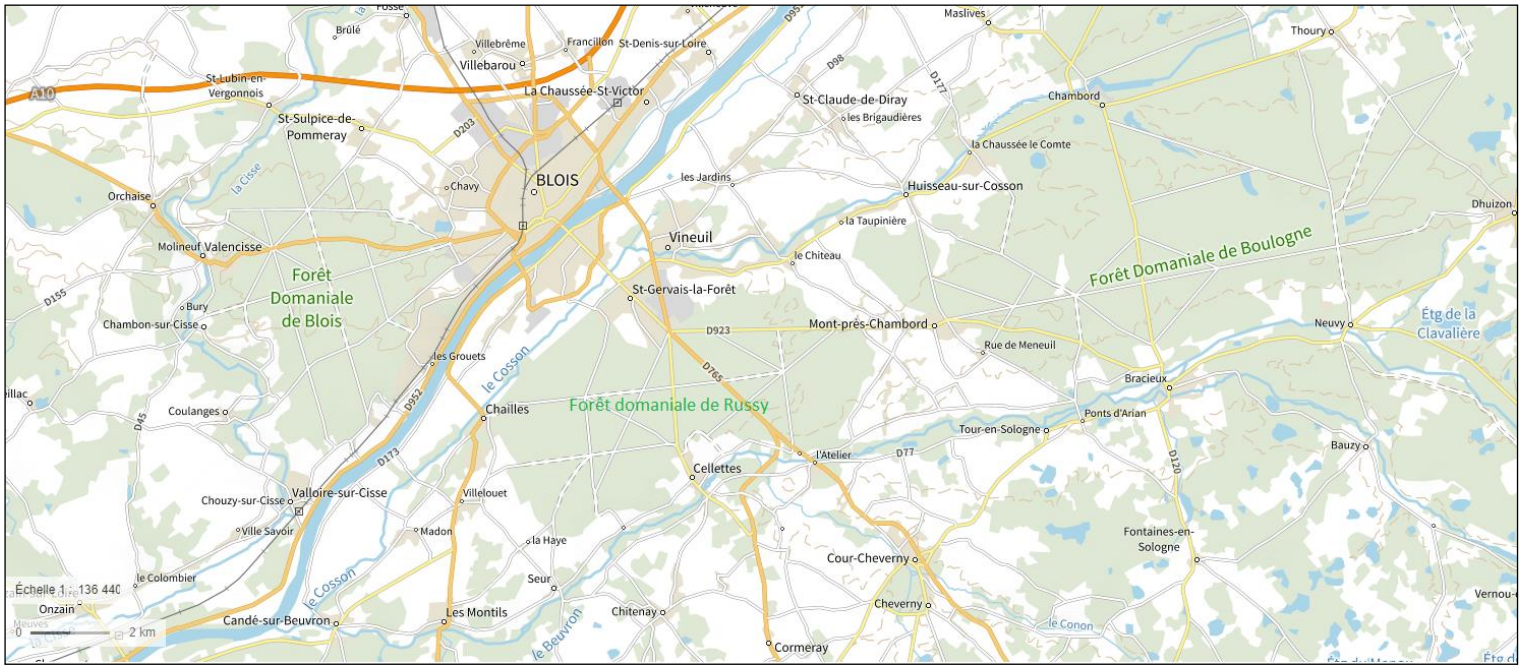


Fig. 14 : Carte localisant les forêts de Boulogne et Russy aujourd'hui (géoportail)

Au bas Moyen Âge, la partie nord de Chambord est largement occupée par des métairies et le nombre de sites archéologiques répertoriés augmente (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 96). En 1202, Louis Ier, successeur de Thibaut V, accorde la jouissance du prieuré de Grandmont aux religieux (MARTIN-DEMEZYL 1963 : 162). En outre, il les aide à terminer le prieuré en leur fournissant

33. Ordre monastique austère fondé en 1073 par Étienne de Thiers (voir Bullaire de Grandmont) (GUIBERT 1877 : 21).

du bois dans sa forêt de Chambord (BERNIER 1682 : 208). En 1232, un acte accorde aux frères de Boulogne l'usage de la forêt contre quatre muids de froment[34] (RENARD 1962 : 4). Gautier d'Avesnes leur reconnait également la possession de tout le bois situé à l'intérieur du prieuré ainsi que son libre usage, mais conserve l'exercice de la haute justice et de la chasse (MARTIN-DEMEZYL 1963 : 163). Une visite de la forêt de Boulogne datée de 1279 signale que ce massif était très étendu (SOYER, TROUILLARD 1907 : 270). Entre 1233 et 1292, les comtes de Blois rachètent à divers seigneurs laïcs et ecclésiastiques les terrains constituant la forêt, notamment le château de Montfraut et ses possessions, pour la réunifier (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 158-188 ; CHATENET 2001 : 2). Des documents décrivant ces rachats sont encore conservés aux Archives Nationales ; on trouve par exemple un acte de 1259 annonçant la vente par Jean de Saint-Brisson, chevalier au comte de Blois, d'une portion de la forêt de Boulogne située dans la paroisse de *Toyri en Salloigne* moyennant 1 000 Livres de la monnaie ayant cours à Blois[35] (GUERRIN-BROT 1960). À cette époque, les forêts représentent un important capital pour les seigneurs et ont un rôle essentiel pour les populations. Elles s'en servent de réserve de chasse, de bois et de lieu d'alimentation des porcs (MARTIN-DEMEZYL 1963 : 129). Après le remembrement du massif par les Comtes de Blois, la forêt devient principalement une réserve de chasse (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 158-188). Ils y font construire plusieurs résidences forestières, telles que Chambord et Montfraut (CHATENET 2001 : 4). En 1391, le comté de Blois comprenant les forêts de Blois, Russy et Boulogne est acquis par le duc Louis Ier d'Orléans. Son petit-fils, Louis XII, intègre finalement le territoire de Blois dans le domaine royal (DEVEZE 1961 : 168-169 ; MARTIN-DEMEZYL 1963 : 137).

2.1.3 État de la recherche

Les premiers travaux de recherches réalisés sur le Blésois datent de la première moitié du XXe s. Ils traitent plus particulièrement de géographie ou d'ethnographie (BASSEVILLE 1918 ; D'ABOVILLE 1936). D'un point de vue historique, I. Guérin Brot[36] réalise quelques synthèses sur la Sologne. Elle cite notamment dans ses travaux les forêts de Boulogne et de Chambord à travers des archives des XIVe et XVe s. (GUERRIN-BROT 1960). Quelques études ponctuelles sont menées dès le XVIIe s. sur la forêt de Chambord, notamment par Felibien (FELIBIEN 1874) et L. de La Saussaye (LA SAUSSAYE 1834), mais elles concernent le château. Il faut attendre la fin

34. AN : S/3294
35. AN : K/1207/47
36. Archiviste de l'École des Chartes.

du XIXe s. et le début XXe s. pour que des recherches historiques monographiques soient entreprises sur le massif forestier, par les archivistes J. de Croy (DE CROY 1894), puis J. M. Demézil (DEMEZYL 1963) dans le cadre de leur étude plus générale sur les forêts de la région Centre.

D'un point de vue archéologique, le site le plus connu de la région est le château de Blois ; fouillé au début des années 1991 par V. Aubourg et D. Josset. L'activité archéologique active depuis cette date donne lieu de 2013 à 2019 à un Projet collectif de recherche (PCR). Il vise à renseigner l'évolution de la ville au cours du temps et est nommé *Blois, ville et territoire ligérien depuis les premières installations humaines jusqu'à nos jours* (AUBOURG, JOSSET 2018). D'autres projets viennent compléter les recherches archéologiques sur le Blésois comme celui sur l'*Habitat rural du Moyen Âge en région Centre* entre 2008 et 2010 sous la direction de S. Jesset et A. Nissen, qui a répertorie 200 sites ruraux (JESSET 2010). On peut également signaler le projet sur la *Céramique médiévale et moderne de la Loire Moyenne* débuté en 1996 sous la direction de P. Husi (HUSI 2013) ; ainsi que l'*Atlas des fermes et villae gallo-romaines de Beauce* qui s'est déroulé entre 2015 et 2018 sous l'impulsion d'A. Lelong et A. Ferdière (LELONG, FERDIERE 2017). Le dernier en date est le projet *AnTaReC,* porté par M.-P. Chambon, L. Fournier et É. Rivoire, depuis 2016, qui cherche à étudier les vestiges archéologiques du IIIe s. aux Ve-VIe s. en Centre – Val de Loire notamment en rassemblant les informations recueillies par les projets précédents (FOURNIER, CHAMBON, RIVOIRE 2016). En parallèle de ces études, l'inventaire du Service Régional de l'Archéologie recense tous les sites archéologiques découverts lors de prospections ou de sondages préventifs. La place de l'artisanat du fer dans ces études est toutefois anecdotique.

L'un des premiers à s'intéresser à la production du fer dans le massif de Boulogne-Chambord est C. Florance, président de la société d'histoire naturelle du Loir-et-Cher entre 1901 et 1931. Il écrit un article en 1913 pour signaler la présence de production du fer dans la région à diverses époques et recense huit ferriers dans la forêt de Boulogne, du côté de Mont-près-Chambord (FLORANCE 1913). Il précise qu'il a entendu parler d'autres structures, mais qu'il n'est pas allé vérifier. L'intérêt archéologique pour la forêt semble ensuite retomber puisqu'il faut attendre le travail de L. Magiorani pour qu'il connaisse un regain. Ce dernier prospecte et renseigne chaque structure et/ou vestige archéologique qu'il rencontre pendant plus

d'une vingtaine d'années. Il rédige plusieurs articles (MAGIORANI 2011) et notices sur ce sujet que l'on trouve en libre accès sur un site internet dédié[37].

À partir de 2015, V. Schemmama et R. Angevin du Service Archéologique (SRA Centre-Val de Loire) favorisent l'étude archéologique de ces massifs forestiers. Ils s'appuient sur les travaux de L. Magiorani pour faire un état des lieux des différentes structures archéologiques présentes dans la forêt, dont celles associées à la production métallurgique. Entre 2012 et 2018, le programme SOLiDAR, dirigé par X. Rodier et C. Laplaige du Laboratoire Archéologie et Territoire (UMR CITERES-LAT) a pour objectif l'acquisition et le traitement d'images LiDAR afin d'appréhender de façon très précise la microtopographie de ces forêts (LAPLAIGE *et al.* 2018). Dans ce cadre, une campagne de prospection est menée pour caractériser les structures archéologiques observées sur les images LiDAR. Des scories sont récupérées sur les ferriers et une étude macroscopique préliminaire est réalisée par G. Saint-Didier[38] (SAINT-DIDIER 2017b). Ce dernier identifie dans le massif de Boulogne-Chambord au moins deux phases de la chaîne opératoire du fer, la réduction et la forge.

L'étude de la production du fer en forêt de Boulogne s'inscrit donc dans la continuité des travaux de recherches sur l'archéologie en forêt initiés depuis les années 2010 dans le Blésois. Elle vise à documenter en profondeur une thématique à peine abordée dans cet espace jusqu'à ce jour, et plus encore pour le haut Moyen Âge.

2.2 La forêt de Châteauroux

2.2.1 Description géographique et géologique

Caractéristiques topographiques

La forêt domaniale de Châteauroux (Indre) est située à 6 km au sud de la ville de Châteauroux (***cf* vol.2, fig.5**). Ce massif s'étend sur 5 200 ha appartenant aux communes de Le Poinçonnet, Arthon, Jeu-les-bois, Ardentes et Velles. Sa gestion est assurée par l'Office National des Forêts. Deux cours d'eau l'entourent. L'Indre, à l'est, qui est un affluent de la Loire et qui s'étend sur environ 280 km et La Bouzanne, au sud, qui est un affluent de la Creuse et qui mesure environ 84 km.

37. http://www.archeoforet.org/ouvre/index.htm
38. Chercheur associé au laboratoire Herma, Poitiers

La topographie de la forêt est peu accidentée, les altitudes maximales sont comprises entre 160 m à l'ouest et au nord et environ 180 m au sud, à l'est et au centre du massif. On constate la présence de trois plateaux, l'un au centre/ouest de la forêt mesurant environ 3 km sur 1 km et deux plus petits au sud-est.

La forêt actuelle est principalement composée de chênes sessiles et pédonculés, de hêtre en futaie et dans une moindre mesure de taillis. On trouve également des charmes, frênes, pins sylvestres, alisiers, cormiers, merisiers et des bouleaux blancs. À part les arbres, des landes sont également présentes sur les substrats plus acides et imperméables. Enfin, dans les espaces ouverts est implantée de la bruyère rose, des ajoncs jaunes, et de la molinie blonde[39].

Caractéristiques géologiques

La forêt de Châteauroux s'étend sur des sédiments tertiaires, soit une formation datée de l'Éocène supérieur constituée de sables, de grès, d'argiles, de marnes et de calcaires lacustres et sur une formation datée entre l'Oligocène et le Pliocène comprenant des argiles (LORENZ, LORENZ *et al.* 1990 : 5) (***cf* vol.2, fig.6**). Les dépôts éocènes appartiennent à la série de Brenne (LORENZ *et al.* 1990 : 17). La majorité d'entre eux sont constitués d'une succession de sables fins plus ou moins argileux (e5-7S) et d'argiles sableuses (e5-7A). e5-7S est la couche la plus présente dans la forêt de Châteauroux. Elle est constituée de « sables argileux grisâtres (10 à 25 ou 30 mètres d'épaisseur environ) comprenant de petits quartz (inférieurs à 1 mm) liés par une matrice kaolinitique » (LORENZ *et al.* 1990 : 18). Des grès de Brenne sont également observables parmi les dépôts de l'Eocène supérieur ainsi qu'une formation d'argile à galets de quartz et à silex à patine noire (e5-7[2]). Enfin, des niveaux ferruginisés en cuirasses sont repérés (e5-7[4]) (LORENZ *et al.* 1990 : 18). Dans la Brenne, plusieurs niveaux de cuirasses superposés sont présents. On les trouve notamment au sud et au sud-ouest de Neuillay-les-Bois, au nord de Luant, et au sud-est de Buxières-d'Aillac, c'est-à-dire à moins de 15 km du massif forestier (LORENZ *et al.* 1990 : 19).

À part ces dépôts tertiaires, la région est composée de nombreuses formations géologiques quaternaires. La plus connue est la formation d'Ardentes (FA). Située entre la forêt de Châteauroux et la ville de Bommiers, elle mesure 15 km de longueur pour 6,6 km de largeur. Elle comprend des sables, des graviers, des galets et des granules ferrugineux (0 à 10 m de

39. https://www.indre.fr/la-foret-domaniale-de-chateauroux

profondeur). Aux environs de la ville d'Ardentes on trouve de grands épandages de sables grossiers, de couleur rougeâtre, associés à des argiles vertes et riches en quartz d'une dizaine de centimètres par endroit. Cette formation quaternaire repose sur des formations du Jurassique plus anciennes. On observe notamment l'existence d'une série de calcaire formés au cours du Bathonien supérieur. Le dernier d'entre eux est le calcaire **oolitique à pisolitiques** (j1-2S) (jusqu'à 100 m) (LORENZ *et al.* 1990 : 10) ; or les pisolithes peuvent être ferrugineuses et deviennent ainsi des sidérolithes. Le minerai sidérolithique est très fréquent en France, c'est le plus utilisé en métallurgie jusqu'au XIXe s. Il se présente en nodules de 5 à 20 cm (pouvant atteindre 1 m) et forme des poches dans de l'argile. Sa texture est fine et non poreuse. Il est notamment formé de limonite et contient des teneurs variables en manganèse et en phosphore (BUBENICEK, HESS, PAZDEJ 2017). Cette formation géologique est composée de dépôts hétérogènes comprennant également des silex rouges, coloration due aux oxydes ferriques (PAPY 1945 : 311). Enfin, une formation plus ancienne datée du Bajocien et nommée Bajocien décalcifié (RjL) (« terres à chailles[40] »), comprend des débris de calcaire silicifié où l'on peut observer des traces de fossiles. Ils se trouvent dans les champs et sont inclus dans une argile beige à ocre. On les rencontre notamment dans la forêt de Châteauroux (LORENZ *et al.* 1990 : 9).

2.2.2 Contexte historique des sites de production du fer

L'activité métallurgique observée dans la forêt de Châteauroux s'étend depuis l'Antiquité jusqu'au Moyen Âge. Il était donc important de relater l'histoire de cette région pour mieux en comprendre l'implantation.

Au cours de l'Antiquité, l'actuelle région de Châteauroux est occupée par les Bituriges. Tite-Live[41] est le premier à mentionner ce peuple dans ses *Histoires Romaines*[42]. Il précise que les Bituriges forment une confédération aux côtés des Arvernes, des Sénons, des Éduens, des Ambarres, des Carnutes et des Aulerques (**Fig. 15**). À cette époque, les Bituriges sont divisés en deux, les Bituriges *Vivisci* dans le Bordelais et les Bituriges *Cubi,* dans l'Indre et le Cher. La capitale des Bituriges *Cubi* est *Avaricum*, actuelle ville de Bourges, qui dispose d'une importance certaine pendant l'Antiquité (QUENTEL nd).

40. Concrétions siliceuses (De la BLACHE 1994 : 315).
41. 59 av. notre ère – 17 de notre ère.
42. Livre V, XXXIV.

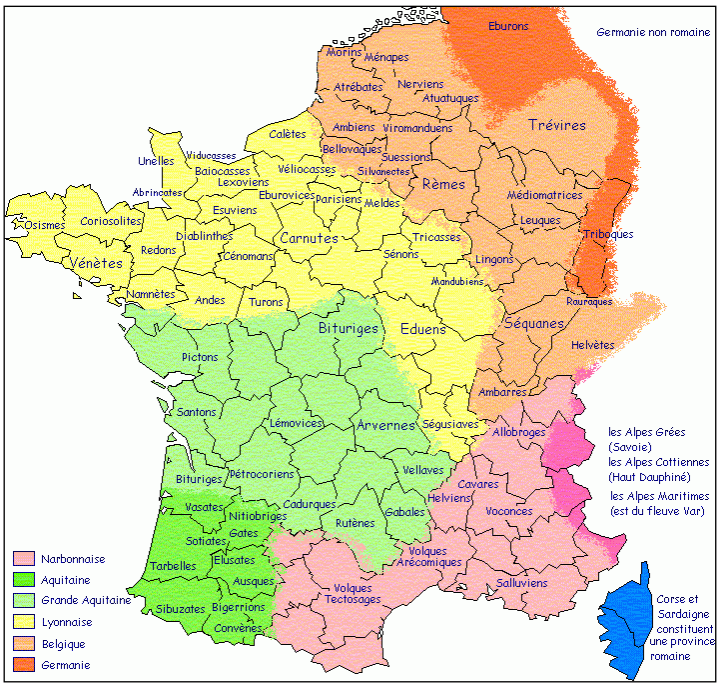


Fig. 15 : Cartes des peuples gaulois à l'époque d'Auguste (O. Blin – Inrap[43])

Ce peuple, installé dans une région particulièrement riche en minerai, semble toujours avoir produit du fer. En témoigne Strabon[44] qui, dans sa *Géographie*, précise qu'il y a « de belles forges chez les Bituriges Cubes »[45] et la *Notitia Dignitatum*[46], datée des IVe – Ve s., qui mentionne l'existence d'une *fabrica armorum omnium,* fabrique de tous les types d'armes, à *Argentomagus*[47]. En outre, de nombreuses structures et vestiges archéologiques protohistoriques et antiques, notamment sous forme de ferriers, sont recensés dans la région, surtout autour d'Argenton-sur-Creuse, de Bourges, de la forêt de Tronçais et de Meunet-Planches (**Fig. 16**) (DIEUDONNE-GLAD 1996 : 224-225 ; LAÜT 2007 : 102).

43. https://frise-chronologique.inrap.fr/antiquite
44. Env. 63 av. notre è. - env. 25 ap. notre è.
45. Strabon, *Géographie*, Livre IV, II, 315.
46. Document administratif romain, daté de la fin de l'Antiquité, sous forme de liste, qui recense tous les fonctionnaires impériaux des deux moitiés de l'empire et donne la liste des fabriques d'armes.
47. *Notitia Dignitatum*, Occ., Livre XI, 31

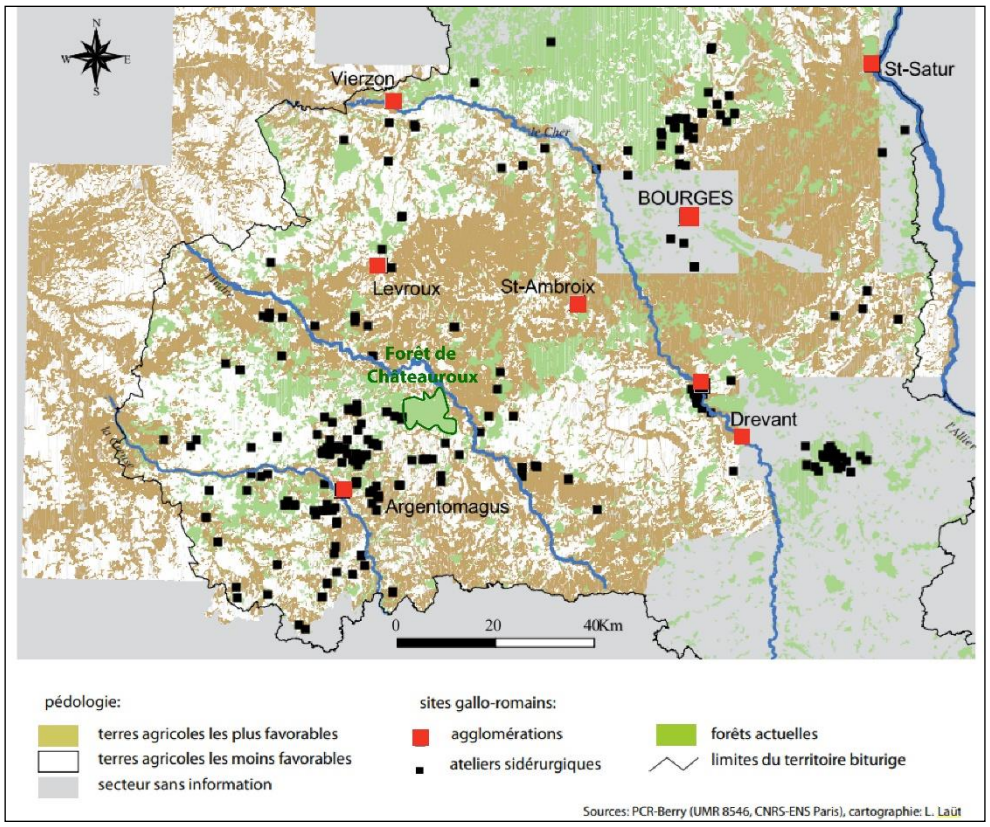


Fig. 16 : Localisation des ateliers sidérurgiques antiques sur le territoire biturige (LAÜT 2007 : 103)

Plusieurs témoignages archéologiques signalent la présence d'agglomérations non loin de Châteauroux pendant l'Antiquité ; la plus importante est Déols. En effet, de nombreux vestiges confirment son existence depuis au moins le Ier s. Leur qualité et leur nature tendent à y restituer une agglomération secondaire romaine (REVOL 2016a : 233). Plusieurs voies romaines passent par Déols à cette époque, l'une va vers Argenton-sur-Creuse *via* Velles, et l'autre dessert Ardentes puis Châteaumeillant (**Fig. 17**). Néanmoins, ces routes ne sont pas attestées tout le long de leur tracé (REVOL 2016a : 231-233).

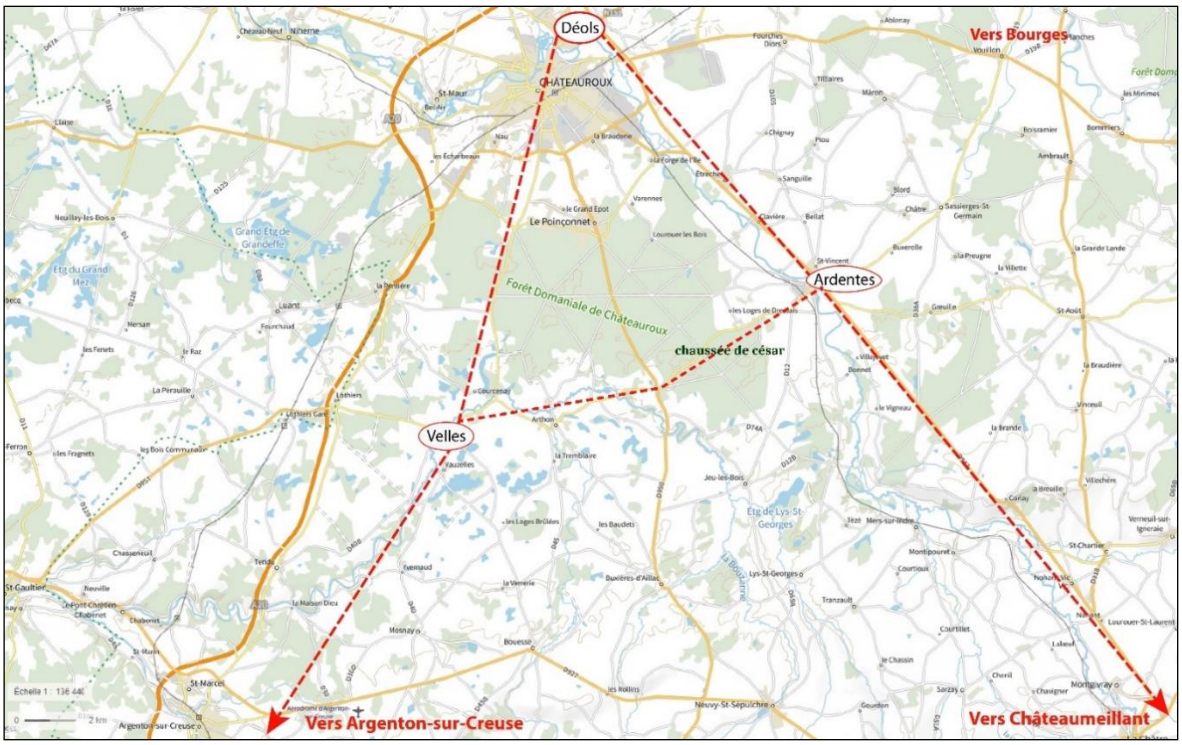


Fig. 17 : Routes antiques supposées, passant par la ville de Déols

Au haut Moyen Âge, Déols est toujours occupée. Une mention de Grégoire de Tours[48], datée du VIe s., désigne la ville avec les termes *vicus Dolensis* (REVOL 2016a : 229), ce qui semble signaler une agglomération ouverte probablement pourvue d'une *ecclesia* (HERVE 2012 : 150). En outre, plusieurs sites médiévaux sont reconnus à Déols, notamment des lieux d'habitats ruraux (FOUILLET 1999 : 174-175). Un atelier métallurgique est également mentionné dans l'inventaire du Service Régional de l'Archéologie de 2006, mais il n'est pas daté (SRA 2006). La présence de minerai de fer y est attestée (REVOL 2016a : 231). Des vestiges archéologiques antiques sont également mis au jour à Ardentes, à l'est de l'actuelle forêt de Châteauroux, sur les bords de l'Indre. On y trouve une voie, identifiée sur la table de Peutinger comme étant celle menant de Bourges (*Avaricum*) à Argenton-sur-Creuse (*Argentomagus*) en passant par Ardentes *(Alerta)* (**Fig. 18**) ; elle est associée aujourd'hui à la « Chaussée de César » qui traverse la partie sud-est de la forêt de Châteauroux (REVOL 2016b : 223).

48. Grégoire de Tours *Historia Francorum* (Livre II, XVIII).

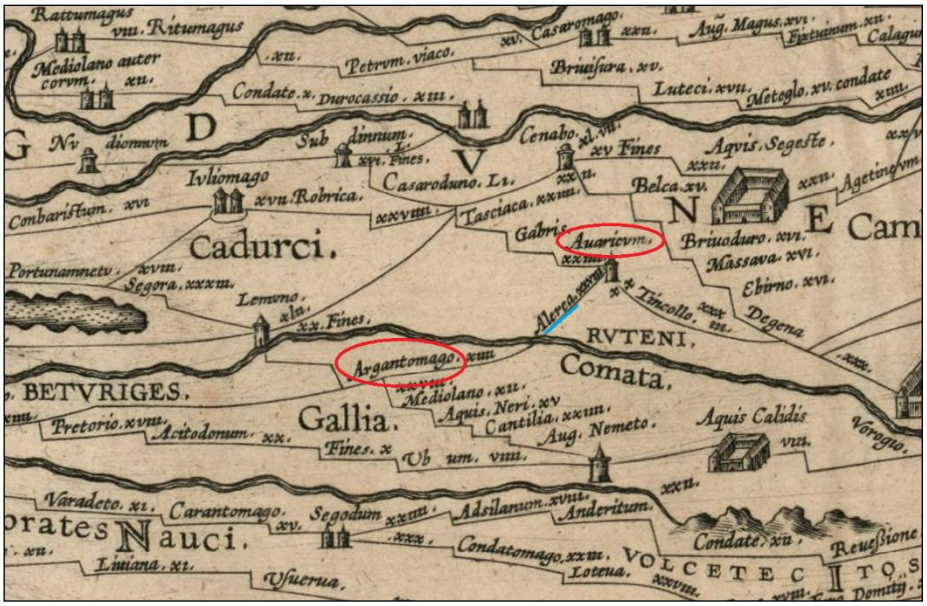


Fig. 18 : Extrait de la Table de Peutinger signalant les villes de Bourges (*Avaricum*) et d'Argenton-sur-Creuse (*Argentomagus*) passant par l'agglomération secondaire d'*Alerta* (BNF- Gallica)

Une nécropole a incinération datée des IIe – IIIe s. est également observée ainsi qu'une petite église paléo-chrétienne installée vers le VIe s. sous l'actuelle église Saint-Martin (REVOL 2016b : 223). Ardentes est donc un village très ancien dont l'implantation et le développement doit probablement beaucoup à sa situation de carrefour entre deux importantes voies antiques, sûrement toujours actives au Moyen Âge.

Au Ve s., le Berry passe sous domination wisigothe, mais est rattaché dès le début du VIe s. au royaume franc par Clovis (GANDINI 2008 : 41). À sa mort, il entre dans le territoire des Burgondes sous l'autorité de son petit-fils, Gontran. Au VIIe s., la région de Bourges est sous l'autorité du duc d'Aquitaine, Eudes[49] (DEVAILLY 1980 : 72). À cette époque, elle est instable et Bourges change plusieurs fois de main. Il faut attendre le IXe s. pour connaitre une période de calme, mais dès la fin du IXe – début du Xe s. des guerres internes perturbent la région (DEVAILLY 1980 : 78). En effet, Eudes[50], roi des francs, retire le comté de Bourges à Guillaume le pieux[51], duc d'Aquitaine qui ne l'accepte pas et défend ses terres. Les héritiers de chacun d'eux tiennent leur position, mais finissent par trouver un compromis en divisant le comté en deux. Le titre de comte de Bourges disparait définitivement en 927 (DEVAILLY 1980 : 78-79). Le Berry est alors divisé, ce qui permet aux grandes familles de la partie sud/sud-ouest qui

49. ? – vers 735)
50. (852-989)
51. (875-918)

étaient proches de Guillaume le Pieux d'acquérir leur indépendance. Le premier seigneur de Déols connu, Ebbes de Bourges[52] (DEVAILLY 1980 : 80), profite de cette opportunité pour s'imposer (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il fonde ainsi l'abbaye Notre-Dame de D éols. La charte de sa fondation, datée de 917, mentionne pour la première fois la présence d'un château nommé "château de Déols" sur un éperon rocheux à proximité du bourg de Déols (*Burgus Dolensis*). La seigneurie de Déols comprend alors de nombreux fiefs dont Châteauroux, Issoudun et Argenton. Ebbes meurt vers 937, mais ses descendants continuent d'imposer leur autorité jusqu'à la fin du XIe s. (DEVAILLY 1980 : 80). Au sud de Déols, une agglomération se développe autour du château sous le nom de "Bourg du Château". Elle s'étend progressivement et est finalement préférée par la famille de Déols dont sept générations de seigneur portent le nom de Raoul ; le château prend ainsi leur nom : *Castrum Radulphi*, soit en français Château-Raoul, qui donne finalement aujourd'hui Châteauroux[53].

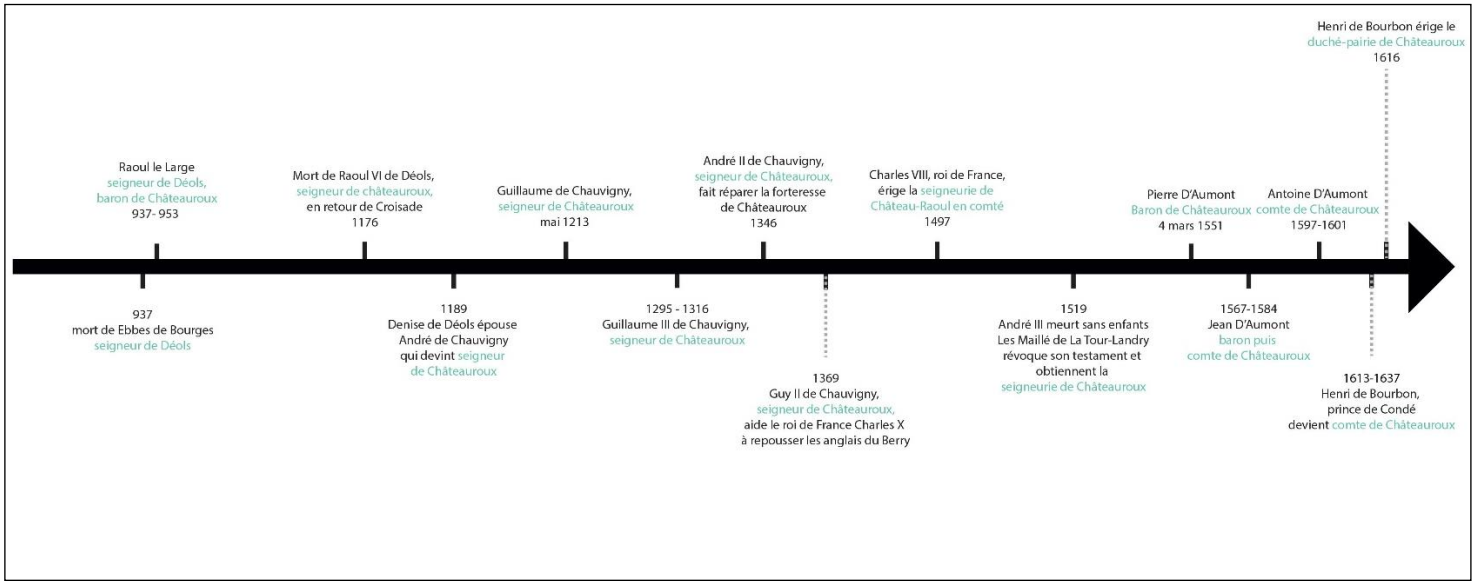


Fig. 19 : Repères chronologiques des seigneurs de Déols et Châteauroux

À la fin du XIe s., les comtes de Poitiers reprennent le duché d'Aquitaine. Les seigneurs de Déols retrouvent leur statut de vassaux, mais ne semblent pas perdre leur influence ou leur richesse. Le château en bois est reconstruit en pierre et la monnaie y est frappée avec la mention DOLEO CIVES (de Déols) au revers (**Fig. 20**).

52. (883-937)
53. http://www.archives36.fr/r/335/aux-origines-du-chateau/



Fig. 20 : Denier en argent de Eudes l'ancien (1012-1044) provenant de la seigneurie de Déols[54]

Au milieu du XIIe s., la situation change dans le Berry. Ce territoire fait désormais l'objet d'une lutte entre les rois de France et d'Angleterre. En 1137 Guillaume X, duc d'Aquitaine et comte de Poitiers, meurt et sa fille Aliénor[55] épouse le futur Louis VII[56], roi de France (DEVAILLY 1980 : 109). Après plusieurs crises matrimoniales et politiques, ils font annuler leur mariage en 1152, lors du second concile de Beaugency (Loiret), et Aliénor se remarie à Henri Plantagenêt[57]. En 1154, Henri devient roi d'Angleterre et possède la majeure partie du Berry (DEVAILLY 1980 : 110). Il parvient à placer l'un de ses vassaux, Beaudouin de Reviers[58], à la tête des seigneuries de Déols et Châteauroux en obligeant Denise de Déols, fille de Raoul VI, à l'épouser. Beaudouin meurt en 1188 alors que Denise n'a que 16 ans. Richard cœur de Lion, fils d'Henri II, la marie à André Ier de Chauvigny en 1189. Les seigneuries de Déols et Châteauroux passent ainsi aux mains de la famille de Chauvigny. La fin du XIIe s. voit l'avènement de Philippe Auguste qui cherche à récupérer les territoires des Plantagenêts. Pendant 15 ans, le Berry connait des conflits répétés (**Fig. 21**). Denise de Déols et son mari soutiennent le roi d'Angleterre et sont donc directement impliqués dans la lutte.

54. https://www.cgb.fr/berry-seigneurie-de-deols-chateauroux-eudes-lancien-denier-ttb,bfe_598354,a.html
55. (1122-1204)
56. (1120-1180)
57. (1133-1189)
58. Comte de Devon (1095-1155).

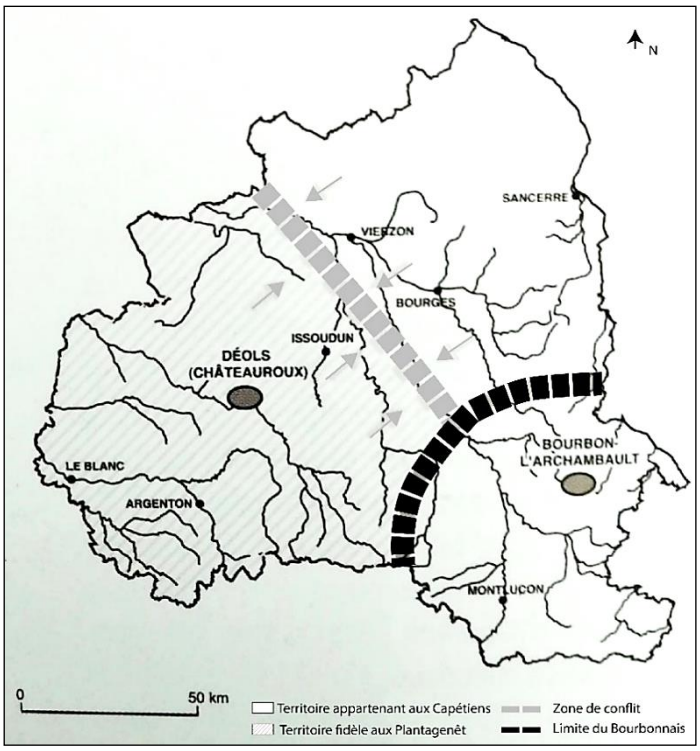


Fig. 21 : Cartographie du conflit entre Capétiens et Plantagenêt au XIIIe s.
*(*BATARDY, BUCHSENSCHUTZ, DUMASY 2001 : 14, d'après DEVAILLY 1973*)*

À la mort de Richard, en 1194, ils soutiennent Jean sans Terre qui lui succède comme duc d'Aquitaine, puis en tant que roi d'Angleterre (DEVAILLY 1980 : 114). Toutefois, en mai 1200, lors du traité du Goulet, Jean reconnait la suzeraineté de Philippe Auguste sur les possessions continentales des Plantagenêt, notamment les seigneuries de Graçay, Issoudun et Châteauroux ; en échange ce dernier renonce à tous ses droits sur la Bretagne. André de Chauvigny change ainsi d'allégeance et devient fidèle aux Capétiens. À la mort de Philippe Auguste, les seigneurs du Berry ne disposent plus d'aucune indépendance vis-à-vis du roi.

Peu d'indices archéologiques du Moyen Âge central sont connus dans cet espace, toutefois il est probable que le « Château de la Mothe » ou « chastel de la Mothe au Prince » soit construit à cette époque alors même que la forêt était déjà présente. Il ne reste aujourd'hui de ce site que deux grands fossés surmontés d'un talus ayant livré, lors des prospections pédestres, beaucoup de mobilier céramique et de terre cuite architecturale. Un autre site, mieux connu grâce aux textes anciens, est situé non loin de cette motte, c'est le prieuré de Châteauroux, ou prieuré de Sauzay (Sauzai). Ce monastère, rattaché à celui de Châteauneuf, est fondé par Raoul VI[59] qui fait construire son tombeau dans l'église (GUIBERT 1877 : 874). Ce prieuré est donné par

59. (1148-1176)

Grégoire XV à Henri II de Bourbon, prince de Condé et duc de Châteauroux, avec ceux de Saint-Gildas et de Déols en 1622. Toutefois, il est décrit comme étant déjà en ruines (GUIBERT 1877 : 874).

Au XIIIe s., il n'y a plus ni duc ni comte en Berry, le roi est en relation directe avec les seigneurs berrichons (DEVAILLY 1980 : 116). Dès 1190, des baillis[60] sont signalés dans le Berry. La population peut alors porter en justice ses affaires au Parlement, section judiciaire de la cour du roi. Les archives montrent qu'à la fin du XIIIe s. les affaires berrichonnes les plus importantes sont traitées directement à Paris (DEVAILLY 1980 : 118). En outre, entre 1220 et 1260, les monnaies locales disparaissent (DEVAILLY 1980 : 128). Un marché régulier prend place à Déols au XIIIe s. et un marché annuel à Châteaux-Raoul (FAUCONNEAU 1873 : 235-237).

Au XIVe s., la région est de nouveau touchée par la guerre contre les Anglais, c'est ainsi qu'André II de Chauvigny[61], seigneur de Châteauroux, fait réparer la forteresse de Château-Raoul en 1346. Ils arrivent finalement aux portes de la ville en août 1356. À cette période, le sud du Berry devient une frontière avec l'Aquitaine (DEVAILLY 1980 : 135). Au vu du contexte instable, le roi Jean II de France décide de créer en 1361, le duché de Berry pour Jean de France, son fils. Plus tard, en 1369, Charles V, roi de France, trouve un allié en Guy II de Chauvigny[62], petit-fils d'André II, et ensemble ils repoussent les Anglais (DEVAILLY 1980 : 136). Malgré cette instabilité, les seigneurs de Chauvigny conservent leur puissance, le prouve leur autorisation de continuer à battre monnaie malgré l'ordonnance de Louis X en 1315 (RAYNAL 1844 : 275).

Au cours du XVe s., la région, comme le reste du territoire français, connait de nouvelles perturbations dues à la guerre de Cent Ans, à la guerre civile entre Armagnacs et Bourguignons (**Fig. 22**), mais aussi à une reprise massive du brigandage, notamment par les soldats. Dans ce contexte les maisons fortes sont consolidées dès le début du siècle, comme celle de la famille de Greuille à Arthon en 1422, située au sud de la forêt de Châteauroux. Il en va de même pour les villes et villages, dont la place forte d'Ardentes en 1425 (DEVAILLY 1980 : 154). Malgré cela, la région parvient à vivre de son commerce ; des foulons et des drapiers sont en effet

60. Créé par Philippe Auguste, un bailli est un commissaire royal investi de pouvoir d'administration, de justice et de finances. Itinérants au XIIe s., ils se sédentarisent au XIIIe s. (MARIN 2017)
61. (1322-1358)
62. (1357-1422)

mentionnés dans les villes et sur les marchés de Châteauroux et d'Ardentes à cette période (DEVAILLY 1980 : 156-158).

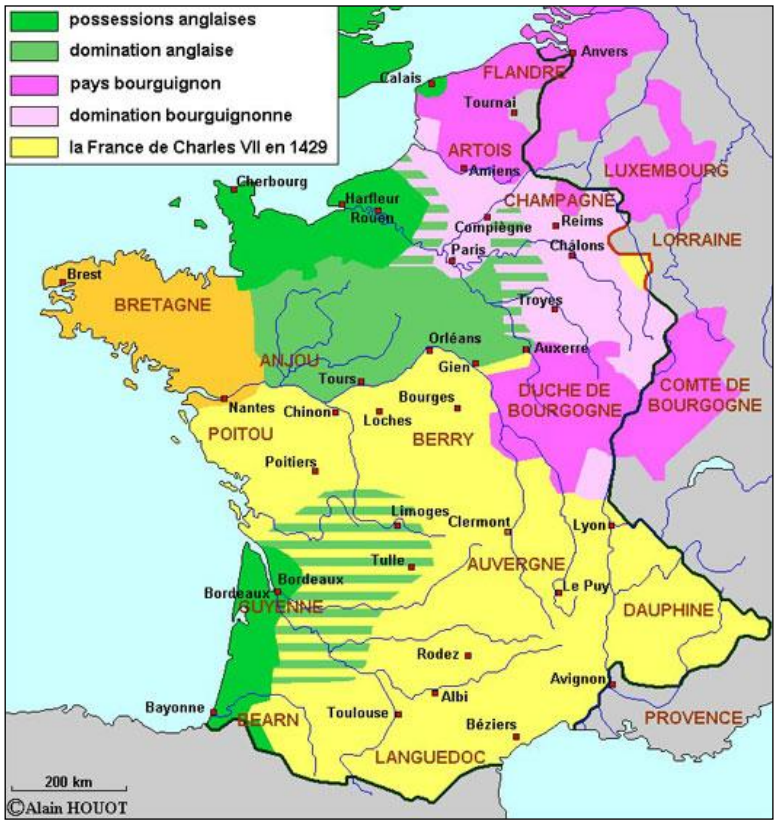


Fig. 22 : Carte décrivant la situation politique lors du sacre de Charles VII, roi de France, en 1429[63]

2.2.3 État de l'art

Le Berry est une vaste région qui suscite un intérêt historique de longue date, depuis au moins le XVIe s. En effet, Jean Chaumeau, avocat à Bourges, rédige vers 1566 son *Histoire de Berry, contenant l'origine, antiquité, gestes, prouësses, privilèges et libertés des Berruyers, avec particulière description dudit pays* pour la princesse Marguerite de Valois[64], fille de François Ier, duchesse du Berry (CHAUMEAU 1566). Ce dernier réalise plusieurs documents (textes, cartes, etc.), dont la précision et la véracité ne s'avèrent pas toujours exactes, mais qui présentent tout de même une importance indiscutable en ce qui concerne la présence de la forêt de Châteauroux ou encore la production du fer dans toute la région depuis l'Antiquité. Entre 1689 et 1691, Thaumas de la Thaumassière, avocat à Sancerre, s'essaye également à la

63. Carte issue du site internet hérodote (https://www.herodote.net)
64. (1523-1574)

rédaction d'un livre traitant de ce sujet dans l'*Histoire du Berry* (THAUMASSIERE 1865). Il semble avoir largement fantasmé son œuvre, notamment celle qui traite de la généalogie de sa famille. Toutefois, ses recherches avancées sur l'histoire de la région n'en font pas moins un support intéressant, mais critiqué, dans l'historiographie de la recherche. Au XIXe s., Louis Raynal, également avocat à la cour de Bourges, rédige son *Histoire du Berry depuis les temps anciens jusqu'en 1789* éditée en 1844 et largement encensée en son temps. Il y réalise une étude géographique et historique bien référencée pour les périodes allant du XIIe au XVIIIe s. On peut également citer les travaux d'Eugène Hubert, archiviste départemental de l'Indre, qui rédige quatre livres nommés *Le Bas-Berry, histoire et archéologie du département de l'Indre* qui traitent de l'histoire des cantons d'Ardentes (HUBERT 2010a), d'Argenton, de Buzançais et en 1930 de Châteauroux/Déols (HUBERT 2010b) depuis l'Antiquité jusqu'à la fin du XXe s. Enfin, à la fin du XXe s., Guy Devailly rédige *Le Berry du xe siècle au milieu du XIIIe siècle; étude politique, religieuse, sociale et économique*. Malgré des sources de nature principalement ecclésiastique, il tente de dépeindre le développement du Berry depuis les premiers vestiges archéologiques découverts jusqu'en 1979. Il met également en évidence les qualités et les défauts de cette région.

Les vestiges archéologiques que l'on peut associer à la métallurgie ancienne ont commencé à intéresser les érudits du Berry à la fin du XIX^e^s., notamment autour de la forêt d'Allogny avec G. Vallois (VALLOIS 1884). Il faut toutefois attendre 1956 et A. Kerleroux pour voir ce type d'étude prendre un nouvel essor avec la première fouille d'un site métallurgique (KERLEROUX 1956). Une vingtaine d'années plus tard, J. Tournaire se lance à son tour dans l'étude d'un atelier métallurgique, moderne cette fois, les forges de Clavières (Cher) (TOURNAIRE 1990). La dynamique est lancée, s'ensuit en 1991, une thèse soutenue par N. Dieudonné-Glad sur *La métallurgie du fer chez les Bituriges à l'époque gallo-romaine* qui montre notamment deux grandes concentrations artisanales autour d'*Argentomagus* et *Avaricum* (DIEUDONNE-GLAD 1991). En 1994, Laure Laüt, réalise une thèse centrée sur l'un de ces centres. Cette dernière intitulée *L'espace rural antique autour d'Argentomagus (Indre) : approche d'une région agricole et métallurgique* dénombre 79 ateliers métallurgiques (LAÜT 1994). En 1998, un Programme Collectif de Recherche nommé "Berry" est mis en place afin de synthétiser les données archéologiques connues et ainsi d'étudier l'occupation du sol dans le Berry. Ce travail traite de la métallurgie depuis la Protohistoire, avec les Bituriges Cubes, jusqu'au Moyen Âge, avec le diocèse de Bourges. Ce projet, initié par la Direction Régionale des Affaires Culturelles, est dirigé par C. Gandini et L. Laüt.

Les nombreux programmes de prospections archéologiques lancés à côté de ces travaux de recherche dans la région depuis le début des années 90 jusque dans les années 2000 permettent de compléter la cartographie des sites de production métallurgique au moins pour la période antique. On peut ainsi citer les travaux de F. Dumasy entre 1988 et 1993 pour la région d'Argenton-sur-Creuse (Indre) (DUMASY 1993), de C. Landes et J.-M. Bordeloup entre 1992 et 1997 en forêt d'Allogny (Cher) (BORDELOUP 1996, 1997), de L. Laüt entre 2000 et 2001 en forêt de Tronçais (Allier) (LAÜT 2000, 2001) et enfin plus ponctuellement R. Benarrous entre 2001 et 2003 dans la zone des étangs de la Brenne (Indre) (BENARROUS 2001, 2002, 2003). À cette période, L. Laüt continue d'étudier l'occupation antique de la région et son développement en rédigeant notamment en 2004 un article sur la « Caractérisation des sites antiques dans les forêts du Berry et du Bourbonnais » parut dans les Actes du colloque *Forêt, archéologie et environnement* (LAÜT 2007). En 2006, C. Gandini soutient à son tour une thèse nommée *Des campagnes gauloises aux campagnes de l'Antiquité tardive : la dynamique de l'habitat rural dans la cité des Bituriges cubi (IIe av. – VIIe s ap.)* où elle traite, entre autres, de la répartition spatiale des ateliers métallurgiques et essaie de définir leur rapport avec le reste de l'occupation humaine (GANDINI 2008). En 2009, R. Benarrous soutien sa thèse sur *La Grande Brenne aux périodes préindustrielles* dans laquelle il réalise une synthèse sur les ferriers présents dans des étangs, principalement datés de l'Antiquité (BENARROUS 2009 : 447-475). Cette même année, des prospections géophysiques sont entreprises, dans le cadre du projet *Celtecophys* dirigé par K. Gruel, au sein d'une zone où l'activité métallurgique est moins documentée dans le Berry, Meunet-Planches (Indre). Cette opération met en évidence, d'abord par O. Buschenschutz en 2012 et 2013 (RALSTON, BUCHSENSCHUTZ 2011 ; DIEUDONNE-GLAD, BUCHSENSCHUTZ 2013), puis par N. Dieudonné-Glad entre 2014 et 2017 (DIEUDONNE-GLAD 2014, 2015, 2016, 2017), la présence de sites de production du fer protohistoriques.

En ce qui concerne l'étude historique et archéologique de la forêt de Châteauroux elle-même, la première étude à disposition est celle réalisée en 1999 par D. Dubant et D. Andoux. Cette recherche diachronique des vestiges archéologiques est nommée *Les massifs boisés au nord-est de Châteauroux du néolithique à nos jours* (DUBANT 1999). Enfin, au cours de ces dernières années, F. Jarry, directeur de l'Office national des forêts de l'Indre, a recensé plusieurs structures archéologiques associées à une activité métallurgique (ferriers, scories réemployées, etc.) dans la forêt, soit une cinquantaine de structures environ. Cette étude s'inscrit donc dans un contexte de recherche foisonnant mais au sein duquel le Moyen Âge est peut étudié.

Conclusion

Cette étude porte donc sur des espaces présentant un grand nombre de points communs dont les plus importants sont leur implantation actuelle en milieu forestier dans des forêts ; leur localisation à proximité de villes disposant d'une influence significative sur la région au cours du temps et au centre d'un réseau de circulation peu développé, mais bien présent. Toutefois, ces espaces présentent également plusieurs différences. Tout d'abord, l'un se trouve dans une région riche en minerai ayant favorisé très tôt le développement de cette activité et donc un important héritage technique. L'autre est situé dans un espace disposant de ressources en minerai limitées ayant probablement entrainé son importation depuis des mines plus lointaines. En outre, la région de Châteauroux semble connaitre une histoire plus instable que celle de Blois. On constate également que l'ampleur et la nature des études réalisées dans ces espaces sont différentes et qu'elles fournissent des informations disparates. On dispose de plus de données sur le contexte archéologique et historique de Châteauroux que sur celui de Boulogne-Chambord ; mais on dispose d'outils d'analyse spatiale plus performants pour Boulogne-Chambord grâce au programme SOLiDAR. Ces paramètres devront être pris en compte dans l'interprétation des données archéologiques pour appréhender le biais d'analyse qui existe entre ces deux sites.

Nous allons maintenant décrire les différentes méthodes mobilisées dans cette thèse, depuis les recherches en archives, jusqu'aux opérations de terrain et aux études en laboratoire.

Chapitre 3 - Acquisition et traitement des données

Cette recherche a nécessité l'emploi d'un grand nombre d'outils et de méthodes d'analyse. Ils sont regroupés en trois catégories : les archives, les données de terrain (fouilles, prospections) et les informations acquises lors des études et analyses de mobiliers (scories, charbon de bois, etc.). La compréhension de l'ensemble des méthodes d'acquisition et de traitement des données est primordiale afin de cerner toutes les variables et ainsi de tenir compte des potentiels biais et lacunes qui peuvent être engendrés et qui auront une influence sur les interprétations. En outre, la description qui suit fournit un indice de confiance à ces méthodes afin de modérer en conséquence les interprétations réalisées.

3.1 Sources textuelles et cartes anciennes

3.1.1 Les archives textuelles

Quelles archives ?

Les documents d'archives consultés pour cette thèse sont limités à une thématique restreinte que sont les forêts du corpus, leurs propriétaires, leur gestion, leur économie et leur étendue au cours du temps. En outre, ils concernent toutes les périodes depuis les premières mentions au XIIe s. jusqu'au XVIIIe s. Ne disposant d'aucune temporalité, même approximative, à propos de l'activité métallurgique au début de ce travail, une recherche chronologique régressive est préférable. Cette méthode d'étude favorise la découverte d'indices postérieurs (toponymie, mention de réemploi des déchets, etc.). L'ensemble des documents employés pour la compréhension de l'histoire des massifs de Boulogne-Chambord et de Châteauroux proviennent des Archives Départementales de l'Indre (Châteauroux), du Loir-et-Cher (Blois) et des Archives Nationales.

Les Archives Nationales conservent les archives publiques provenant des administrations centrales de l'État, les archives des notaires de Paris et des fonds privés d'intérêt national. Les forêts de ce corpus étant aujourd'hui domaniales, à l'exception de Chambord, et ayant fait partie du domaine royal à l'époque moderne, voire médiévale pour Châteauroux, il est important de les solliciter. Dans ce cadre, les séries suivantes sont mobilisées, elles sont explicitées par ordre d'importance pour cette étude (***cf* vol. 4, tab. 1**).

Tout d'abord la série Q, c'est-à-dire les *Titres et droits domaniaux ; c*onstituée à la Révolution à partir des archives royales et du séquestre des communautés et des particuliers, elle concerne la reprise par l'État révolutionnaire des domaines de la royauté et la confiscation des biens des émigrés, des condamnés et des établissements supprimés[65]. La sous-série Q1 nommée « Titres domaniaux », rassemblant des titres royaux et privés provenant de l'ensemble du territoire, est la seule utilisée. On y trouve des documents relatifs aux titres de propriété et sentences du duché de Châteauroux et de l'arrondissement d'Issoudun, aux baux du domaine de Châteauroux ainsi que des lettres patentes signalant notamment des dons de terres à Châteauroux, les registres des duchés de Berry et de Châteauroux et les titres du comté de Blois. Cette sous-série comprend également des documents concernant les droits et offices des Eaux et forêts de Châteauroux, de Boulogne et de Chambord, tels que des procès-verbaux de vente et de visite de forêt.

La série K est largement consultée. Il s'agit de la série concernant les *Monuments historiques*. Elle comprend des collections de documents formées pendant la Révolution et provenant essentiellement des organismes gouvernementaux et judiciaires (Maison du Roi, Contrôle général des finances, Conseil du Roi, bureaux du chancelier, Parlement et Chambre des comptes, etc.), des archives privées placées sous séquestre, notamment celles des familles des princes du sang (Orléans, Condé, Conti, Penthièvre, etc.) et des chartriers ecclésiastiques (Saint-Denis, Saint-Germain-des-Prés et Longchamp)[66]. Les documents utilisés proviennent de la sous-série II : « Copie de chartes » comprenant des chartes des communautés religieuses de Grandmont dans la forêt de Châteauroux, et du prieuré de Boulogne ; de la sous-série III : « Comptes » où sont archivés les comptes des recettes et dépenses du comté et de la châtellenie de Blois, les comptes des forêts du comté de Blois (vente de bois, etc.) ainsi que l'évaluation des revenus de l'Apanage de Gaston, duc d'Orléans à Blois en 1640 ; et de la sous-série IV : « Princes du sang » recensant notamment leurs comptes, dont les rentes qu'ils ont accordé aux frères du prieuré de Boulogne et les donations faites aux religieux de Grandmont.

La série MC nommée *Minutier central des notaires de Paris* comprend les fonds de 122 études notariales de Paris entre 1600 et 1900[67]. La sous-série ET « Étude notariale » est particulièrement intéressante. Elle comporte les contrats de mariage des comtes de Chambord,

65. A. VALLEE, http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/chan/chan/fonds/EGF/SA/SAPDF/Egfn-q.pdf
66. J. GUEROUT, http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/chan/chan/fonds/EGF/SA/SAPDF/egfn_k.pdf
67.https://www.siv.archives-nationales.culture.gouv.fr/siv/cms/content/helpGuide.action?uuid=bec01f52-01f4-4f20-a263-d0b6ca2ba700&version=6&preview=false&typeSearch=&searchString=

des constitutions de rentes pour le baron, puis le comte de Châteauroux ainsi que des rentes attribuées par le duc de Châteauroux, lorsqu'il devient le Prince de France. Elle traite également des acquittements de dette du duc d'Orléans, comte de Blois, et des divers baux reçus ou payés par les seigneurs de Châteauroux.

La série P est intitulée *Chambre des comptes et Comptabilité.* À la Chambre des comptes de Paris, on enregistre entre les XIVe et XVIIIe s. les hommages, les aveux et dénombrements, les serments de fidélité et tous les actes qui concernent les finances du roi et de son domaine[68]. Deux sous-séries sont intéressantes pour cette thèse. Tout d'abord, la sous-série « Comptabilité » (P) qui comprend des documents provenant du Contrôle général des Finances, des états des finances et des rentes diverses. On y trouve ainsi, diverse *foy et Hommages* de Châteauroux, des aveux et dénombrement du comté de Blois, diverses ventes et dons aux communautés ecclésiastiques dont le prieuré de Boulogne, le registre des fiefs du comté de Blois et les rentes octroyées aux moines de la forêt de Boulogne.

Les séries J et JJ constituent le *Trésor des Chartes*. Il s'agit d'un catalogue de titres destinés à servir les intérêts domaniaux et diplomatiques du royaume. Les documents, souvent empruntés pour la défense de ces intérêts, ne sont pas toujours restitués ou correctement rangés[69]. De ce fait, le Trésor des chartes est divisé en trois parties au début du XVIIe s. Il s'agit des sous-séries « Layette », « Supplément » (Série J) et « Registres de chancellerie stricto sensu » (série JJ). On y trouve divers dons et rentes des comtes de Blois.

Dans une moindre mesure, on trouve deux documents provenant de la Série L nommée *Monuments ecclésiastiques* (sous-série « Archevêchés et évêchés »). Cette série est constituée après la révolution au cours de laquelle entre les mois d'août 1790 et de mai-juin 1795 tous les biens ecclésiastiques sont saisis. Cela comprend les écrits appartenant aux établissements du clergé séculier et régulier, des ordres religieux, de l'Université et de l'enseignement sur le territoire de la ville de Paris et de l'ancien département de la Seine[70]. Des rentes faites par les comtes de Blois au chapitre de Laon au XIIIe s. y sont archivées.

68. R. DE LA COSTE-MESSELIERE, http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/chan/chan/fonds/EGF/SA/SAPDF/Egfn-p.pdf
69. J. GUEROUT, http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/chan/chan/fonds/EGF/SA/SAPDF/egfn_j.pdf
70. J. GUEROUT, http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/chan/chan/fonds/EGF/SA/SAPDF/egfn_l.pdf

On peut également mentionner deux documents provenant de la Série X intitulée *Parlement de Paris*, plus particulièrement de la sous-série X1a « Registres du parlement civil ». Cette dernière comprend les archives du Parlement de Paris démantelé le 15 octobre 1790. Dans le détail cette sous-série rassemble des listes d'arrêts nommés Lettres, Jugés, Arrêts, Conseil et Plaidoiries ainsi que Conseil secret[71]. On y trouve deux sentences rendues par le parlement à l'encontre des seigneurs de Blois et de Châteauroux au XIVe s.

Un document s'est également avéré intéressant dans la Série O nommée *Maison du roi sous l'Ancien Régime* et la sous-série O[1] « Direction générale des Bâtiments, jardins, arts, académies et manufactures royales ». Elle est composée des registres de comptes, des dessins et des plans relatifs à la construction et aux transformations des résidences royales du Surintendant ou directeur des Bâtiments. Ce dernier décrit les comptes relatifs à la forêt et aux bâtiments de Chambord lors de sa restauration au XVIIe s.

Aux Archives Départementales de l'Indre (Châteauroux), les documents consultés proviennent de la série A, *Titres du duché de Châteauroux* (1487-1791) et de la série G, *Clergé séculier (chapitres, sociétés de prêtres, paroisses)* comprenant des documents du Xe s. à 1792 ainsi que la série F, *Travaux et notes d'érudits* (XIXe – XXe s.) et des Archives contemporaines avec la série W, *Versements administratifs* (1940 à nos jours).

Enfin, aux archives départementales du Loir-et-Cher (Blois), les documents provenant de la série complémentaire J, *Documents entrés par don, achat, dépôt*, apportent des données intéressantes concernant le prieuré de Boulogne, l'étendue et la composition du massif de Boulogne-Chambord au XVIIe et XIXe s. et la gestion de cette dernière au XIVe s. Deux documents de la série M, *Administration générale et économique*, fournissent également des renseignements sur le réemploi des déchets de production au XVIIIe s. Les archives de Chambord ont une histoire compliquée qui a entrainé la perte et/ou disparition de la plus grande partie d'entre elles (MARTIN-DEMEZYL 1986 : 2). Il est donc possible que les documents concernant l'activité métallurgique, s'ils ont existé, soient détruits.

71. M. LANGLOIS, http://www.archivesnationales.culture.gouv.fr/chan/chan/fonds/EGF/SA/SAPDF/egfn_x.pdf

Méthode d'étude

Avant de commencer à dépouiller les archives textuelles, un travail de sélection des sources est effectué à l'aide des inventaires en ligne et du personnel présent aux archives. Le premier objectif de ce dépouillement est de trouver des informations quant à l'étendue des forêts du corpus, leur économie, leur gestion et les acteurs qui s'en occupent au cours du temps. En parallèle, on tente également de restituer fidèlement la chronologie des seigneurs des deux régions concernées. Finalement, 190 documents sont retenus[72]. La majorité d'entre eux est consulté aux archives, le reste est étudié en ligne. Ce dépouillement a nécessité environ deux mois et demi de travail et a fourni 73 documents pouvant avoir un intérêt pour cette recherche.

Les six documents consultés aux archives Départementales de l'Indre, avec l'aide de Dominique Vilain[73] s'avèrent hors sujet mais six documents textuels présentent un intérêt pour la problématique de cette thèse aux Archives Départementales du Loir-et-Cher[74].

Certains des textes d'intérêt ont été transcrits. Cela représente 34 documents présentent ces caractéristiques, dont 18 sont déjà transcrits[75]. Aucune source latine n'est traitée, car cela aurait nécessité un temps de travail trop conséquent. Les textes étudiés sont tous rédigés en français, mais avec différents styles, on trouve du gothique livresque (XIIe s. - XVe s.), de la minuscule documentaire et cursive (XIe – XVe s.) et de l'écriture moderne (XVe - XVIIIe s.). La méthode utilisée pour la transcription[76] consiste d'abord en une première lecture, un repérage des abréviations connues, puis des mots difficiles à comprendre à cause de l'orthographe, du tracé des lettres ou d'un sens inconnu (PROU 1924). Lorsque toutes ces difficultés ont été résolues, une première transcription du texte est réalisée puis ce travail est recommencé jusqu'à ce qu'elle soit complète ou presque.

Une fois les textes transcrits, un certain nombre de toponymes sont mis en évidence. Un toponyme est un mot qui est attaché à un lieu (ROBERT 2011 : 131-132). Ce nom est souvent lié à une caractéristique géographique, à la présence d'un certain type d'habitat ou d'utilisation du sol, voire même d'artisanat. On relève alors tous les lieux dont le nom peut avoir un rapport direct ou indirect avec la production du fer, tels que « ferrières », « forgeux », « forgeron »,

72. Trois n'ont pas été consultés à cause de leur état de conservation trop dégradé.
73. Assistant-principal de conservation.
74. Travail réalisé conjointement avec A. CROZET ET N. LE VOGUER (UMR7324 CITERES-LAT).
75. Par A. CROZET, N. LE VOGUER (UMR7324 CITERES-LAT) et L. MAGIORANI.
76. http://theleme.enc.sorbonne.fr/

« forge à bras ». Ce genre d'indices toponymiques fournit des indications concernant la localisation possible d'un espace de production du fer ainsi qu'un *terminus ante quem* à l'activité.

Enfin, les informations géographiques présentes dans ces archives sont vectorisées dans un SIG. Cela consiste à créer des objets (point, ligne, polygone) constituant la forêt, tels que les chemins forestiers, les cours d'eau, les portes, les parcelles forestières et autres éléments topographiques. Ce travail permet ensuite de les confronter aux différentes données planimétriques à disposition, dont les cartes anciennes géoréférencées, les cartes IGN et les images LiDAR. La compilation de ces informations est la première étape pour tenter de reconstituer l'organisation des forêts au cours du temps.

3.1.2 Les sources iconographiques anciennes

Quelles sources ?

Aux Archives Nationales la série N est la plus usitée. Nommée Ca*talogue général des cartes, plans et dessins d'architecture* elle est constituée de plans et de documents figurés, extraits de fonds d'archives provenant de différentes institutions ou administrations (Maison du Roi, Conseil du Roi, papiers de familles princières ou de communautés religieuses, etc.). On y trouve des cartes et plans relatifs à la localisation et à l'extension de la forêt de Châteauroux et de sa région ainsi qu'un plan du château de Chambord et de ses dépendances. Une autre est prise en compte, la Série GE, signifiant Géographie, accessible directement depuis le catalogue en ligne de la BnF. Elle comprend plusieurs cartes datées entre le XVIe et le XIXe s. représentant notamment la forêt de Boulogne-Chambord.

Les Archives Départementale du Loir-et-Cher sont également mobilisées, notamment les cartes et plans provenant de la Série Fi correspondant aux *Documents figurés* rassemblant des documents iconographiques qui n'entrent pas dans d'autres séries précises et qui sont arrivés par voie extraordinaire (don, dépôts, etc.). Des documents de la Série A complètent cette étude. Elle concerne les *Actes du pouvoir souverain et domaine public* (antérieure à 1790). Ces plans représentent le massif de Boulogne-Chambord et le prieuré grandmontain qu'il accueille.

Méthode d'étude

L'étude de ces sources planimétriques permet d'obtenir des informations à trois échelles spatiales. La première vise à étudier l'évolution des forêts et du paysage alentour au cours du temps en les observant dans un contexte large, la région ; la seconde échelle d'analyse correspond à l'étude de documents iconographiques focalisés sur chaque massif forestier et la troisième comprend la représentation de certains éléments présents au sein de ces massifs, un prieuré ou un château par exemple. Cette documentation iconographique doit être contextualisée afin d'appréhender la qualité du travail réalisé et les éventuels biais qui peuvent en résulter. Il apparaît ainsi que ces documents sont conçus pour trois raisons. Tout d'abord pour l'administration des territoires dont l'organisation militaire et économique (mines, forges), ensuite pour leur aménagement (construction de bâtiments royaux, des routes forestières, de portes, etc.) et enfin pour leur gestion (découpage administratif en gardes et climats, etc.). Au total, 23 cartes permettent de réaliser une étude de l'évolution des forêts et de leur structuration depuis le XVIe s. Elles concernent majoritairement le massif de Boulogne-Chambord (15). Ce phénomène est probablement dû à l'importance du massif, et surtout du château, au cours de la Renaissance et de la période moderne.

La première échelle d'analyse s'appuie sur 16 documents, dont trois communs aux deux massifs de ce corpus : la carte des Cassini, l'Atlas de France et la carte d'État-major.

Atlas d'Ortelius : Ortelius regionis Biturigum exactiss (1579*)*

Cette carte représente le duché de Berry au XVIe s. Il s'agit de la plus ancienne carte signalant le massif de Châteauroux, il n'est d'ailleurs pas appelé ainsi, mais *Silva Roberti*[77] (***cf* vol.2, fig. 7**). Cette carte n'est pas fiable géographiquement, néanmoins elle signale que la forêt est continue à cette époque entre Ardente, à l'est, et La barre à l'ouest.

Description du pais Blaisois (1591)

La plus ancienne représentation du massif de Boulogne-Chambord et de sa région est un plan réalisé par Jean Du temps et daté de 1591[78] (***cf* vol.2, fig. 8**). On y voit une forêt allongée deux à trois fois plus grande que celle de Blois située sur la rive droite de la Loire. Le massif qui nous intéresse est ceinturé au nord par le Cosson et au sud par le Beuvron. À l'ouest, on constate qu'il s'étend jusqu'aux Montils et à l'est jusqu'à Huisseau. Il existe une erreur sur ce

77. BnF : GE D-15008
78. BnF : GE DD-2987 (475)

plan, car Huisseau se trouve à l'ouest de Chambord sur le Cosson et non à l'est. Toutefois, il est intéressant de constater que la forêt n'atteint pas les villes de Chambord, Neuvic (actuellement Neuvy), Duison ou encore Toury, comme c'est le cas aujourd'hui. La véracité de ce plan n'est cependant pas suffisante pour proposer des hypothèses précises sur l'ampleur de la forêt.

D*escription du pais Blaisois* (1630)

Un second plan portant ce nom date de 1630 (***cf* vol.2, fig. 9**). Réalisé par Ioannem Ianssonium[79], le massif forestier présente les mêmes caractéristiques que précédemment. Allongé d'est en ouest, il est délimité au nord et au sud par le Cosson et le Beuvron. En outre, il s'étend de Chailles, à l'ouest, jusque Huisseau, à l'est. De nouveau, la forêt ne semble pas atteindre Chambord, Neuvic (actuellement Neuvy), Duison et Toury. L'allongement de la forêt depuis les Montils ou Chailles laisse supposer que le massif de Russy n'était pas réellement individualisé de celui de Boulogne. En outre, la forêt ne parait pas encore avoir atteint l'espace au nord du Cosson. Tout comme précédemment, ce plan parait peu fiable d'un point de vue géométrique. Il fournit toutefois des informations quant à l'étendue de la forêt au XVIIe s.

Dioecese de l'archevesché de Bourges (1678)

Cette carte représente le sud-ouest du diocèse de Bourges à la fin du XVIIe s.[80]. Le massif de Châteauroux représenté précédemment comme étant large et massif, est à présent limité à l'est et à l'ouest (***cf* vol.2, fig. 10**). On y observe l'Indre à l'est et ce qui est probablement la Bouzanne au sud. Un prieuré grandmontain est signalé au nord-est de la forêt. Aucune route n'est visible. Cette carte fournit des données intéressantes concernant la constitution de la région à cette époque, mais n'est pas véridique géographiquement.

Carte générale des deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.a.S^{me} Monseigneur le Prince

Cette carte montre, entre autre chose, la forêt de Châteauroux. Datée de 1682, elle est réalisée par Henri Sengre (1632-1712), cartographe militaire devenu secrétaire du prince de Condé à partir de 1690 (***cf* vol.2, fig. 11**). Cette carte est probablement effectuée dans le cadre du recensement des biens et territoires du prince de Condé après l'achat de Châteauroux et de ses dépendances. Elle ne signale pas le détail de la voirie autour de la forêt, mais donne toutefois

79. BnF : GE DD-2987 (476)
80. BnF : GE DD-2987 (320)

un aperçu de son extension. En outre, cette carte semble déformée, sa géométrie n'est pas très fiable. Du fait de son objectif, gérer les territoires d'un grand propriétaire, on peut toutefois supposer une certaine véracité concernant la localisation et la taille des éléments la constituant.

La Province de Berry, la généralité de Bourges où sont les élections de Bourges, d'Yssoudin, de Chateauroux, du Blanc, etc. (1707)

Cette carte a été réalisée par A.H. Jaillot, pour décrire la province du Berry au début du XVIIIe s.[81]. On observe la présence de la forêt de Châteauroux avec l'emplacement de l'abbaye de Grandmont, signalée comme étant ruinée (***cf* vol.2, fig. 12**). La localisation des ruines tout comme celle de la Bouzanne montrent que cette carte n'est pas juste. Néanmoins, elle est d'un intérêt certain en ce qui concerne la toponymie.

Carte de la Beauce, du gatinois, de la Sologne et pays voisins compris dans la Généralité d'Orléans

Guillaume Delisle en 1719 réalise à son tour une carte de la région de Blois[82]. Il s'agit de l'un des premiers documents cartographiques à représenter l'étendue de la forêt telle qu'elle peut être observée aujourd'hui, c'est-à-dire allant de Bracieux au sud, Mont et Huisseau à l'ouest, St Dié et Malives au nord (bien que la position de ces deux villes soit intervertie) et enfin Thoury et Dhuison à l'est (***cf* vol.2, fig. 13**). On peut également constater que la rive nord du Cosson dans le parc de Chambord est représentée très boisée. Bien que la géométrie et la répartition des lieux sur cette carte ne soit pas fiable, elle renseigne tout de même sur le développement de la forêt au début du XVIIIe s.

Carte des Cassini

La carte de Blois représentant les forêts de Boulogne et de Chambord, feuille n°29, débute en 1747 sous Cassini III, mais n'est publiée qu'à la fin de l'Empire en 1815[83] (***cf* vol.2, fig. 14**). La carte de l'Indre, feuille n°31, représente la forêt de Châteauroux et est également réalisée sous Cassini III entre 1766 et 1768[84] (***cf* vol.2, fig. 15**). Elle est effectuée par des ingénieurs formés à la triangulation sur le terrain qui relèvent des éléments du paysage bien visibles. À ce travail topographique est associée une importante étude toponymique. Bien qu'il

81. BnF : GE D-17866
82. BnF : GE D-12927
83. BnF : GE FF-18595 (29)
84. GE FF-18595 (31)

soit considérable, il délaisse le réseau viaire absent sur la carte de Châteauroux. En outre, certains endroits ne comprennent aucune information. Dans le massif de Boulogne-Chambord, on constate que l'étendue de la forêt est globalement la même que celle perçue par Guillaume Delisle. En effet, elle s'étend de Bracieux au sud, Monts et Huisseau à l'ouest, Malives et St Dié au nord et enfin Dhuison et Thoury à l'est. Toutefois, sur ces cartes les limites forestières ne sont pas extrêmement fiables (PELLETIER 2013 : 123-124). On observe néanmoins que le réseau viaire de cette forêt est plus développé que sur la carte de 1675. La partie nord du chemin allant de Neuvy à Chambord est représentée ici comme étant aménagée en véritable route forestière. Il en va de même pour le chemin qui mène de Bracieux à Chambord.

Carte du duché de Châteauroux extraite de celle de cassini et réduite sur une echelle de 4 lignes pour 1000 toises (1780)

Cette carte décrit la carte du duché de Châteauroux à la fin du XVIIIe s.[85]. Elle est très succincte, peu de détails sont visibles (***cf* vol.2, fig. 16**). Une seule route est signalée, la plus importante du duché, ralliant Villeneuve-sur-Cher à Argenton. Une seconde est dessinée en pointillée (projet ?), elle longe l'Indre jusqu'à La Châtre. Hormis la forme générale de la forêt et ses délimitations, cette carte fournit donc peu d'information.

Plan géométrique de la Ferté Saint-Agnan et des paroisses voisines

Un plan du XVIIIe s. montre une vue élargie de la Ferté Saint-Agnan où se distingue à l'ouest, la partie est du massif de Boulogne-Chambord[86] (***cf* vol.2, fig. 17**). Néanmoins, la fiabilité de cette carte semble discutable, car les repères spatiaux ne sont pas réalistes, notamment l'emplacement de la ville de Dhuison.

Atlas National de France

Cet *Atlas National de France* est à l'origine réalisé par François d'Houdan à la suite du découpage de la France en département à la fin du XVIIIe s. Installé à la Bibliothèque historique du ministère de l'Agriculture, il rassemble 83 cartes. Cette immense carte devait initialement être installée dans l'une des salles du Palais national des Tuileries. Depuis lors, un grand nombre de copies ont été effectuées. La carte n°51 représente le département de l'Indre[87] (***cf* vol.2, fig. 18**). La forêt de Châteauroux y est encore légèrement attachée au reste d'un massif à l'ouest et

85. BnF : GE D-17207
86. BnF : CPL GE DD-2987 (1230)
87. Bibliothèque Municipale de Châteauroux : Car 1 By B 3

deux routes la traversent. La carte n° 3 correspond au département du Loir-et-Cher et montre le massif forestier de Boulogne-Chambord avec son étendue actuelle et les principales routes forestières observées précédemment[88] (***cf* vol.2, fig. 19**) La forêt est divisée administrativement en deux arrondissements dépendant d'une part de Blois et d'autre part de Romorantin. Dans le second arrondissement, aucune route forestière n'est représentée. Ainsi, bien que riche de renseignements ces cartes ne sont pas très précises d'un point de vue géographique.

Carte d'État-major

Cette carte est voulue par Napoléon pour être utilisée par tous les services publics (ROBERT *et al.* 2009 : 31). Les dessins-minutes, réalisés au cours du XIXe s., disposent d'une précision plus importante que la carte d'État-major gravée en noir et blanc. On y distingue les bois en vert jaune, le relief est hachuré et les limites de communes sont en rouge. Le parc de Chambord et la forêt de Boulogne sont représentés sur la feuille 108 NE de Sologne réalisée en 1839 (***cf* vol.2, fig. 20**). Les principales routes, les étangs, le Cosson et le mur d'enceinte sont visibles, mais pas le parcellaire forestier. La forêt de Châteauroux se trouve sur la feuille 133, publiée en 1847 (***cf* vol.2, fig. 21**). Elle signale l'ensemble des routes forestières encore utilisées aujourd'hui et l'étendue actuelle de la forêt. Ces plans ont pour but de présenter la topographie du territoire, c'est pourquoi ils se limitent à montrer les axes régionaux.

Carte de la capitainerie royale de Blois

Cette carte non datée montre la forêt de Boulogne à son extrémité nord-est[89] (***cf* vol.2, fig. 22**). Elle ne fournit toutefois qu'une information partielle et semble avoir un objectif plus esthétique que véridique.

La seconde échelle d'analyse repose sur six documents iconographiques présentés ici dans l'ordre chronologique.

Plan de la Foret de ChamBord

Ce plan, daté de 1675, est conservé à la Bibliothèque Nationale de France[90] (***cf* vol.2, fig. 23**). L'auteur de ce document est inconnu tout comme la raison de sa réalisation. Cette représentation est assez grossière et comprend plusieurs incohérences telles que le nom de la

88. BnF : GE C-3968
89. BnF : GED-4521 (RES)
90. BnF : GeD-14658

forêt de Russy, situé à l'ouest à l'intérieur du parc de Chambord par exemple. En outre, un espace religieux, que l'on peut interpréter comme étant le prieuré de Boulogne est localisé à l'emplacement du pavillon de Bracieux. Ce plan est un dessin dont la représentation des limites forestières, des routes et des parcelles s'avère peu fiable.

Plan des forests de Sologne, Russy, Boulogne et le parc de Chambort

Daté de la première moitié du XVIIIe s., ce plan est conservé aux Archives départementales du Loir-et-Cher[91] (***cf* vol.2, fig. 24**). Il comprend dans sa partie supérieure une liste des gardes et des climats de ces trois forêts ainsi que leurs étendues en arpents et en perches. La forêt de Boulogne est décrite comme possédant 7 759 arpents et le parc de Chambord 230 arpents. Ce plan détaillé semble être un document d'aménagement ou un état des lieux de forêt. À première vue il se veut donc plutôt exact, au moins pour la localisation des différents climats et leur relation avec la voirie. Enfin, il présente l'originalité d'avoir le nord dirigé vers le bas de la feuille.

Plan de la « Forêt de Boulogne »

Il s'agit d'un plan polychrome qui date du début du XVIIIe s.[92] (***cf* vol.2, fig. 25**). Il signale les différentes gardes de la forêt de Boulogne et les différents chemins qui les délimitent. Les climats représentés sont les mêmes que ceux dessinés sur la carte de 1675. Les villages qui se trouvent en bordure de massif sont nommés. Ce plan montre la plus grande extension connue de la forêt de Boulogne. Cela le date avant 1774, année où une importante partie du bois à l'ouest est aliénée par un particulier (CROZET 2021a : 107). De nouveau, il semble qu'il s'agisse d'un plan d'aménagement disposant d'un bon indice de confiance.

Plan de « Chambord »

Ce plan très soigné du parc de Chambord est inséré au centre d'un cercle qui laisse supposer une représentation géométrique[93] (***cf* vol.2, fig. 26**). Daté du XVIIIe s., il se trouve dans la collection Jean-Baptiste d'Anville, cartographe. De nombreuses indications sont visibles, dont l'emplacement du lever et du coucher du soleil pour chaque mois de l'année, le nord géographique, les différents types de végétation dans le parc (taillis, futaies, etc.), ainsi que les nombreux chemins forestiers. L'étendue de la forêt ne semble pas évoluer par rapport aux plans

91. AD 41 : 1 Fi 665
92. BNF : Ge DD-2987 (1232)
93. BnF : GE DD-2987 (1231)

antérieurs, mais le réseau viaire se complexifie surtout dans la partie sud. Malgré sa précision, initialement ce plan ne dispose pas d'échelle, elle est rajoutée *a postériori*, sa fiabilité est donc sujette à caution.

Plan du parc de Chambord (1835)

En 1835, Narcisse-Edmond-Joseph Desmadryl cartographie à son tour le parc de Chambord[94]. La partie nord du parc apparaît plus boisée que sur les cartes antérieures et les routes sont moins nombreuses (***cf* vol.2, fig. 27**). En outre, les chemins forestiers y sont représentés de façon géométrique. Dans la partie sud, ils forment un quadrillage que l'on retrouve dans le plan cadastral actuel. Cette carte semble donc pourvue d'un bon indice de confiance.

Carte des forêts domaniales des environs de Blois

Finalement, une carte de 1926 éditée par E. Girard[95] présente le massif forestier tel qu'on le retrouve sur la carte IGN actuelle, c'est-à-dire avec le même réseau de route et chemins forestiers et la présence d'une organisation administrative en parcelles (***cf* vol.2, fig. 28**). Sa véracité n'est donc pas remise en cause.

La troisième échelle d'analyse concerne la représentation d'éléments géographiques particuliers localisés au sein des forêts.

Le plan très exact du prieuré de Boulongne

Il s'agit du plus ancien plan connu de la forêt de Boulogne (***cf* vol.2, fig. 29**). Daté de 1671, il se trouve aux archives départementales du Loir-et-Cher[96]. Ce prieuré grandmontain est fondé par Thibaud V Comte de Blois en 1163 (*Supra* 2.2.2) et se situe au centre-ouest de la forêt de Boulogne. Cette carte représente l'ensemble des climats autour du prieuré et les chemins qui permettent d'y circuler. On peut y voir des routes qui serpentent vers le sud (Bracieux), l'est (Chambord), le nord-ouest (Huisseau) et l'ouest (Mont-près-Chambord). La première peut être rapprochée de l'« Allée de Boulogne » actuelle et la seconde de l' « Allée Marie Leczinska ». Les deux chemins se dirigeant vers le nord-ouest ont disparu aujourd'hui. Enfin, un étang accolé à ces chemins n'est plus visible dans le paysage actuel. Ce plan constitue la première représentation de la délimitation des terres du prieuré et leur agrandissement au début du XIIIe

94. BnF : GED-2504
95. BnF : GE C-5307
96. AD41 : 1Fi-1585.

s. (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 162-163). Il dispose d'une bonne fiabilité. Non seulement il représente un territoire de faible dimension, plus facile à topographier, mais il contient également quantité de détails.

Traitement des données

Les plans à la géographie relativement fiables ont été géoréférencés dans un SIG. Ils ne sont pas pleinement géométriques, ce qui signifie que leur forme et leurs mesures ne sont pas parfaitement similaires à la réalité, aboutissant parfois à une erreur pouvant être de plusieurs mètres. Néanmoins, ils ne sont pas dénués d'intérêt pour l'étendue des forêts, l'orientation et la localisation approximative des chemins forestiers (entre deux villes par exemple), la division parcellaire des forêts, l'existence de bâtiments, de mines, de lieu-dit dont le nom est associé à la production du fer, etc.

Cette méthode consiste à associer à des documents planimétriques, dans notre cas des plans anciens, des coordonnées pour les intégrer dans un SIG au référentiel géographique connu (RODIER 2011 : 89). Pour ce faire, on utilise des points communs entre les deux documents utilisés, celui géoréférencé et celui à géoréférencer, afin de les superposer. Ces points communs, ou points de contrôle correspondent principalement à des croisements de routes ou à la délimitation d'un espace (angle de mur, de parcelle, etc.). Afin de conserver la meilleure géométrie possible, un minimum de 50 points de contrôle est implanté pour les cartes et plans. Ce géoréférencement est réalisé pour utiliser la méthode régressive, définie par G. Chouquer comme étant « une recherche morphologique qui part de l'état actuel et d'une documentation moderne et contemporaine pour tenter de reconstituer des états plus anciens du paysage » (ABBE 2005 : 384-386). Ce concept est développé en France par M. Bloc dans les années 1920 et 1930 et prend en considération le fait qu'un paysage est le résultat de transformations multiples, qu'il faut comprendre étape après étape grâce à la confrontation de plusieurs types de sources (ABBE 2005 : 387-388). Plus tard, R. Chevalier parle de « paysage-palimpseste » pour définir ce concept. Il explique que le paysage est comparable à une succession de couches stratigraphiques qu'il faut identifier régressivement. Chacune de ces couches efface peu à peu les précédentes à travers des remodelages plus ou moins importants selon les époques (ABBE 2005 : 387-389). Dans l'optique de redessiner le paysage ancien de façon la plus exacte possible, les cartes utilisées lors de cette étude sont géoréférencées depuis les plus récentes, les plus fiables géométriquement parlant, jusqu'aux plus anciennes. Par exemple, les cartes du XVIIIe s. sont

recalées par rapport à la carte IGN actuelle et au cadastre napoléonien[97], très similaire au cadastre actuel et précis, et celles du XVIIe s. par rapport aux cartes antérieures. Finalement, onze cartes ont été redressées de cette façon. Pour réaliser ce travail, le logiciel Arcgis est utilisé, car il dispose de plusieurs algorithmes de transformations (RODIER 2011 : 94). Cela permet de choisir la méthode d'ajustement la plus adaptée. Ce sont les méthodes de transformations polynomiales de 1er et de 2^ds^ ordres qui ont finalement été employés dans cette étude.

Dans un second temps, la toponymie présente sur ces cartes est étudiée au même titre que les textes. On peut notamment lire la persistance des termes « le fourneau », « forge », « minerais » dans et autour de la forêt de Châteauroux, région où la production du fer résulte d'une tradition ancienne (*Supra* 2.2.5).

Ce travail de vectorisation effectué sur ces cartes permet d'obtenir une masse d'information qu'il est possible d'interroger et/ou de confronter aux autres données vectorisées, comme les éléments remarquables relevés dans les archives textuelles et les sites archéologiques pointés dans la base de données Patriarche. En outre, cette vectorisation favorise la comparaison de ces informations avec les autres données planimétriques à disposition telles que les cartes IGN et les images LiDAR (*Infra* 3.2.1.1). Finalement, ces données archivistiques permettent surtout d'orienter les recherches sur le terrain.

3.2 Méthodes d'étude sur le terrain

La compréhension de l'activité métallurgique présente dans ces massifs se fonde sur un important travail de prospection et de fouille d'ateliers métallurgiques. Les données recueillies ont pour objectif d'apporter une description précise des différents sites métallurgiques observés (localisation, forme, dimensions, perturbation, couleur, etc.) et de leur environnement (topographie et botanique). Pour ce faire, nous allons décrire les méthodes utilisées en archéométallurgie (SARRESTE 2011 : 136 ; SAINT-DIDIER 2013 : 103-105).

97. Géoréférencé sur Géoportail.

3.2.1 La prospection

Trois types de prospection ont été réalisée lors de cette thèse, les prospections LiDAR, les prospections pédestres et les prospections magnétiques. Elles sont décrites ci-après.

La prospection LiDAR

Méthode

Le LiDAR, ou "Light Detection and Ranging", définit à la fois une méthode de mesure et l'appareil qui effectue cette mesure (NUNINGER *et al.* 2008 : 11). Ce type de prospection appliqué à l'archéologie permet de réaliser une modélisation et une analyse fine de la microtopographie d'un terrain (NUNINGER, FRUCHART, OPITZ 2010 : 34). L'intérêt du LiDAR pour la reconnaissance de structures sous couvert forestier n'est plus à démontrer (GEORGES-LEROY *et al.* 2011 : 117-129). En effet, son principal avantage est sa capacité à pénétrer la couverture végétale pour enregistrer la microtopographie du sol. Cette technologie permet ainsi de détecter les sites archéologiques à des endroits où l'environnement peut s'avérer assez difficilement accessible lors de prospections pédestres.

Le principe est d'exécuter un relevé laser aéroporté. Les impulsions laser émises par l'appareil sont réfléchies par les différentes aspérités au sol (bâtiments, arbres, etc.) et renvoyées vers l'émetteur (**Fig. 23**). Connaissant la vitesse de la lumière, il suffit de mesurer le temps que la lumière du faisceau met pour atteindre l'objet et revenir pour connaître la distance qui le sépare de la source émettrice du faisceau. En répétant ces mesures de nombreuses fois, on obtient une description précise de l'objet sous la forme d'un nuage de points disposant de coordonnées X, Y et Z. Pour réaliser ce calcul, il est nécessaire d'avoir connaissance à tout moment de la position exacte du LiDAR aéroporté. L'appareil est donc associé à un système de géolocalisation par satellite *Global Positioning System* (GPS) (NUNINGER *et al.* 2008 : 12). Le système recueille une grande quantité de coordonnées de points dispersés et les enregistre dans un format numérique (NUNINGER *et al.* 2008 : 12).

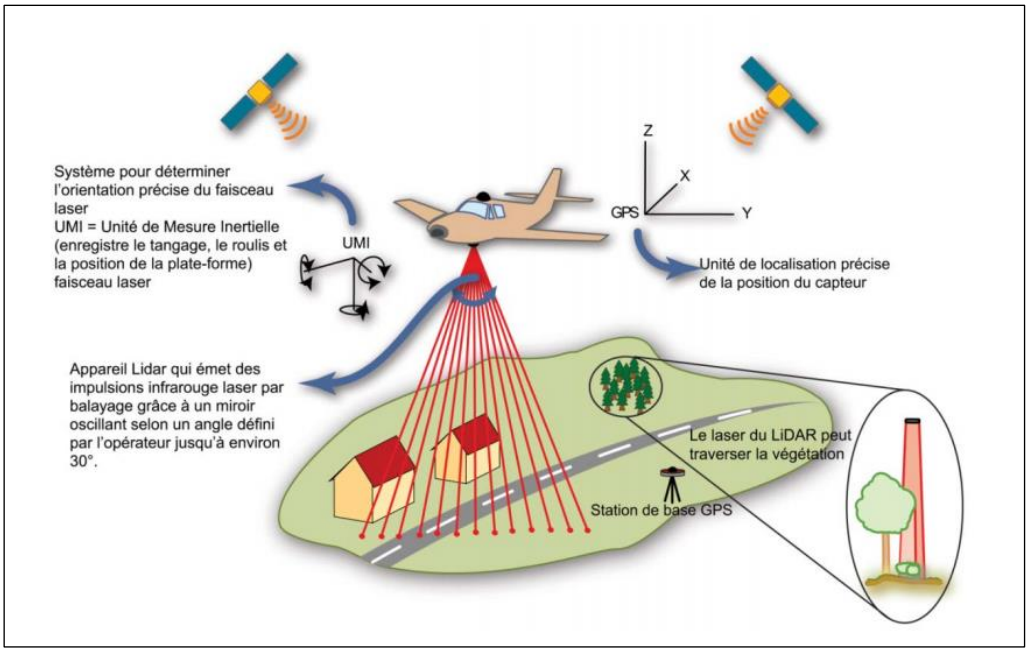


Fig. 23 : Principe de fonctionnement du LiDAR (NUNINGER, FRUCHART, OPITZ 2010 : 34)

Par la suite, ces données sont importées dans un logiciel afin d'être visualisées sous forme d'un nuage de point disposent chacun d'une localisation et d'une altitude. Ces points sont ensuite filtrés et interpolés afin d'obtenir un Modèle Numérique de Terrain qui met en évidence le relief (NUNINGER *et al.* 2008 : 24). La densité de points influe sur la précision du MNT et donc sur la mise en évidence des microreliefs. Une densité entre 7 et 10 points/m² est considérée comme acceptable pour une utilisation archéologique du LiDAR. À partir de ce modèle numérique de terrain (MNT) plusieurs protocoles d'analyses (analyse de contours, filtrage directionnel, ombrages…) sont appliqués pour visualiser avec différents points de vue la microtopographie du terrain (NUNINGER *et al.* 2008 : 26).

Cette cartographie du microrelief met en évidence des structures qui peuvent être associées à des sites archéologiques. Ce travail facilite la préparation des prospections pédestres et permet un gain de temps et d'énergie. Cette méthode est déjà utilisée pour caractériser les ferriers de plusieurs forêts françaises (*Supra* 1.2.1). En effet, d'un point de vue topographique ils sont définis comme étant des élévations souvent circulaires, plus ou moins hautes et étendues, généralement repérables sur les images LiDAR. Ces images fournissent donc des informations sur la topographie du terrain où sont implantées les ateliers (présence d'une pente, d'un replat, etc.). Elles renseignent également sur la forme et les dimensions des ferriers. Après confrontation avec les mesures relevées sur le terrain (GPS et relevé manuel), les dimensions lues sur les images LiDAR semblent toutefois légèrement inférieures à la réalité. Ce phénomène

est sans doute lié à l'épandage des scories au cours du temps. Les données altimétriques permettent également de réaliser des coupes virtuelles des ferriers, qui s'avèrent d'un grand intérêt pour restituer leur hauteur et leur taphonomie (cisaillement par un chemin forestier, un fossé ou encore récupération des vestiges qui les composent). Plusieurs hypothèses concernant l'organisation de la forêt au cours du temps peuvent être proposées grâce aux images LiDAR, notamment à travers la vectorisation des anomalies, l'étude des « chemins tressés » et des charbonnières qui possèdent des caractéristiques morphologiques particulières.

Les limites de cet outil montrent que des prospections pédestres sont nécessaires en complément. Il est par exemple impossible de différencier les ferriers des tertres, buttes ou tumulus comme cela a été pointé dans le cadre du programme SOLiDAR (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 54). La comparaison entre les observations réalisées sur le terrain et les images LiDAR a montré que la morphologie, les dimensions et l'altitude des ferriers ne sont pas des critères permettant de les identifier. La présence de scories est le seul indice décisif. Cette observation est déjà développée en forêt de Braconne (RASSAT *et al.* 2018 : 106-109). En outre, les scories de certaines structures ont largement été récupérées ce qui laisse un creux dans le paysage que l'on ne peut pas distinguer d'un étang ou de tout autre affaissement. Enfin, certains ferriers sont simplement trop petits ou arasés pour être visibles.

Description des données

L'acquisition des données LiDAR du massif de Boulogne-Chambord a été effectuée dans le cadre du programme SOLiDAR par la société SINTEGRA de Grenoble (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 19). Ce programme est dirigé par X. Rodier et C. Laplaige et s'est déroulé entre 2014 et 2017. Son objectif est d'établir un outil adapté à la bonne compréhension des dynamiques environnementales et culturelles des forêts de Blois, Russy, Boulogne et Chambord[98]. Dans ce but, les données de télédétection sont croisées avec des sources archéologiques, textuelles, géomorphologiques et écologiques.

Les données acquises couvrent un espace forestier de 267 km² au moins (**Fig. 24**). La densité minimale de points classés sol/bâti est de 8 pts/m² et la précision est, au minimum, de 10 cm dans les trois dimensions (X, Y et Z).

98. http://citeres.univ-tours.fr/spip.php?article2133.

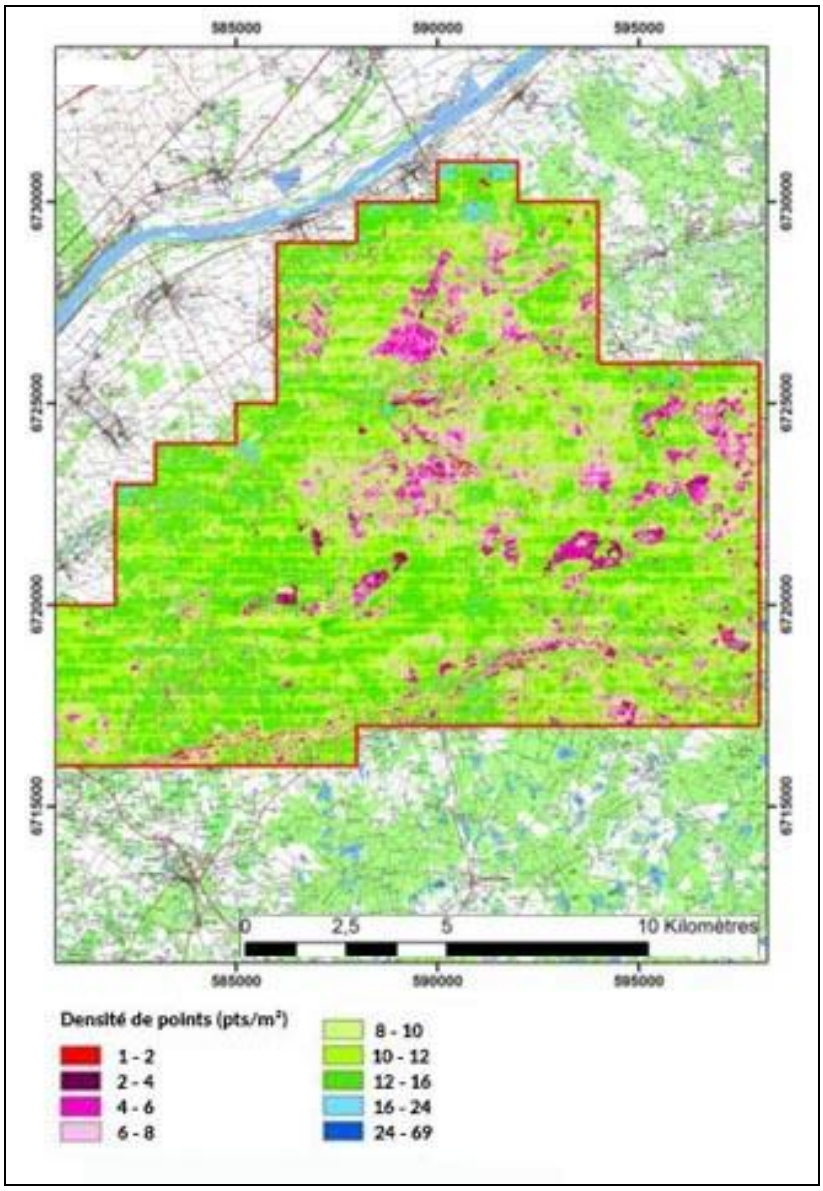


Fig. 24 : Densité de points-sol SOLiDAR (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 20)

Les données sont prétraitées par la société SINTEGRA qui a réalisé un modèle numérique de terrain (MNT) d'une résolution de 50 cm. Il s'agit donc d'une source de très bonne qualité pour l'étude de la microtopographie de la forêt. Ces données, longuement analysées dans le cadre du projet SOLiDAR, ne feront pas l'objet d'une plus longue présentation (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 19-23).

La forêt de Châteauroux ne bénéficie pas de la même couverture LiDAR que le massif de Boulogne-Chambord. On s'appuie pour ce site sur le MNT produit par l'IGN dans le cadre du programme RGE Alti 2.0 (IGN 2018). De précision métrique, il a pour objectif de constituer

un Référentiel Géographique à Grande Échelle (RGE®) en intégrant des données de références, issues de quatre composantes cohérentes entre elles :

- Les images ;
- La topographie ;
- Les parcellaires ;
- Les adresses.

Le MNT de la forêt de Châteauroux est un RGE Alti au pas de 1 m, c'est-à-dire qu'une dalle mesure 1 m de côté. Or, plus le pas d'un MNT est grand, plus les formes du terrain sont imprécises ; les sommets et lignes de crête sont peu prononcés et les microreliefs ont tendance à disparaître (IGN 2018 : 7-8) (**Fig. 25**). Il est en effet impossible d'y distinguer la forme des ferriers et encore moins leurs dimensions. La qualité de ce MNT est donc bien moindre que celle du massif de Boulogne-Chambord.

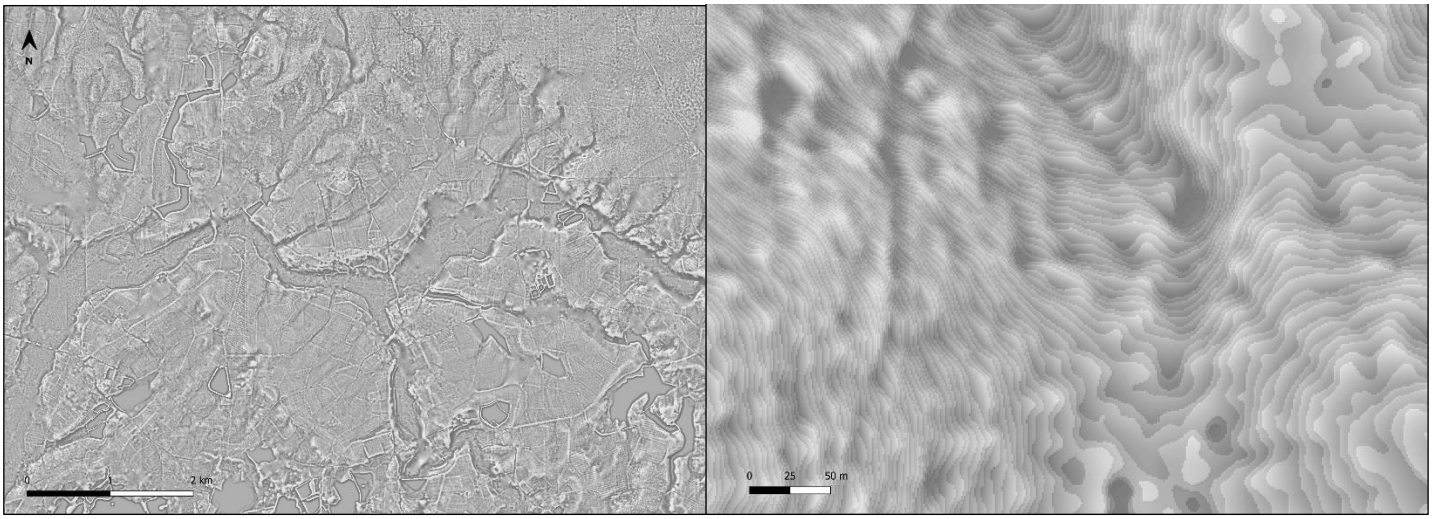


Fig. 25 : Images LiDAR de la forêt de Châteauroux à différentes échelles.
L'image de droite est un zoom du ferrier F090
(LRM (Transparence = 40 % ; Contraste = 20%) et HS_315_35 (Contraste = -20%))

Traitement des données

À partir du MNT obtenu dans le cadre du programme SOLiDAR sur la forêt de Boulogne/ Chambord, une série de données dérivées a été est créée par C. Laplaige à l'aide des outils RVT 1.1[99] et TPI[100] (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 24). Dans le but d'être cohérents, les mêmes traitements ont été appliqués au MNT de Châteauroux.

Les données dérivées finalement utilisées pour cette étude sont :

- **HS_315_35** : ombrage simple, azimut 315°, élévation 35° ;

Il offre une lecture rapide du sol forestier grâce à la vision des creux et des bosses de l'ensemble du massif (LAPLAIGE 2012 : 75).

- **Local Relief Model** : altitude de chaque pixel par rapport à un terrain "vierge", sans construction humaine, obtenu en appliquant un filtre passe-bas de 20 m de rayon au MNT originel.

Il met en évidence les anomalies, même de très faible amplitude, mais ne reflète pas leurs véritables dimensions (LAPLAIGE 2012 : 79).

Dans cette thèse, le mode de visualisation utilisé est toujours composé d'un ombrage simple (HS_315_35) auquel est superposé le Local Relief Model avec des valeurs positives en blanc et des valeurs négatives en noir (**Fig. 26**). Pour observer les ferriers, seuls certains paramètres tels que le contraste, la luminosité et la transparence de ces fichiers varient. Ces paramètres sont similaires sur chaque image présentée.

99. Description de l'outil sur http://iaps.zrc-sazu.si/en/rvt#v
100. Description de l'outil sur http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm

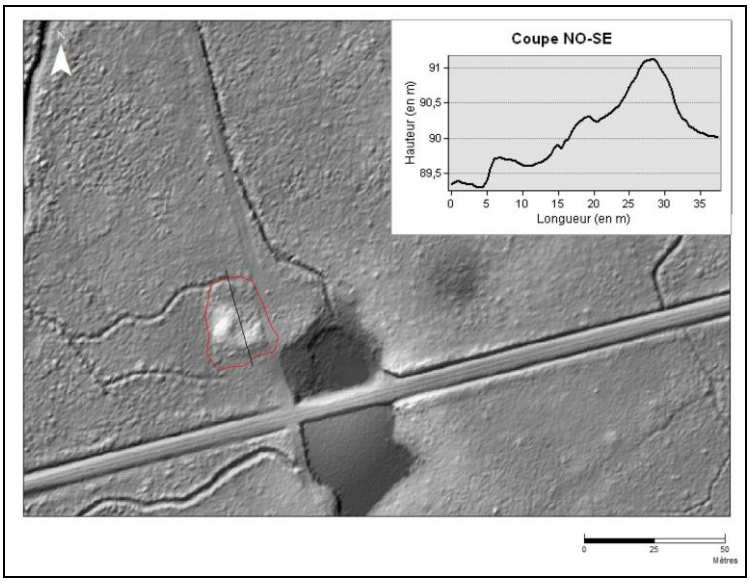


Fig. 26 : Exemple d'image LiDAR sur laquelle le ferrier F371/1 est visible
(LRM (Transparence = 40 % ; Contraste = 20%) et HS_315_35 (Contraste = -20%))

Une fois les images améliorées, les structures archéologiques associées à la production du fer sont vectorisées. Afin de mieux appréhender le contexte anthropique de cet artisanat, les chemins tressés et les charbonnières présents dans la forêt ont été identifiés et vectorisés en collaboration avec plusieurs collègues doctorants[101].

La prospection pédestre

Méthode

Environ cinq semaines de prospections pédestres sont réalisées au sein des forêts de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre) entre l'hiver 2017 et l'automne 2019. Ce travail a nécessité l'implication de 28 personnes, dont les étudiants de licence 3 d'archéologie de l'Université de Tours en 2018.

Les différentes structures métallurgiques prospectées ont été reconnues et localisées au préalable par F. Jarry[102] dans la forêt de Châteauroux et L. Magiorani dans le massif de Boulogne-Chambord. Ces premiers travaux ont largement facilité l'enregistrement des structures. La méthode de base utilisée pour ce travail est celle communément mise en œuvre, notamment dans la thèse de G. Saint-Didier (SAINT-DIDIER 2017a : 43-44). Néanmoins, dans

101. A. Crozet et N. Le Voguer (UMR7324 CITERES-LAT)
102. Responsable Unité Territoriale Sud Berry de l'ONF.

la forêt de Châteauroux, elle a été adaptée en fonction des contraintes rencontrées ; les modifications apportées sont expliquées dans un second temps.

À l'aide d'un GPS centimétrique différentiel[103], chaque site métallurgique est retrouvé au sein des deux ensembles forestiers. Une végétation particulière permet souvent de les repérer, il s'agit du fragon (*Ruscus aculeatus L.*) et dans une moindre mesure, du houx et du bouleau. Ces caractéristiques phytoarchéologiques[104] ne sont pas inédites. En effet, Q. Lemouland signale en 2009 dans sa thèse que le fragon est un indicateur de site archéologique connu depuis au moins les années 50 (LEMOULAND 2009 : 39). En Bretagne plusieurs archéologues reconnaissent particulièrement sa présence au niveau de sites métallurgiques. Son apparition dans les forêts qui nous intéressent peut s'expliquer par le prisme de plusieurs phénomènes, mais sa persistance sur les structures archéologiques est étroitement liée à son optima écologique. En effet, le fragon est une espèce qui se développe principalement sur des sols assez acides à neutres, souvent enrichis, en contexte chaud et sec (LEMOULAND 2009 : 61-62). Ces conditions sont réunies sur les ferriers composés notamment de couches de cendres et de charbons de bois qui enrichissent le sol. Une fois la présence des sites archéologiques confirmée, leurs limites[105] sont repérées en partant du centre, la zone la plus concentrée en déchets métallurgiques, vers l'extérieur (SAINT-DIDIER 2017a : 43-44) et sont relevées à l'aide du GPS.

Bien que cet outil soit d'un grand intérêt, en milieu forestier il peut s'avérer particulièrement difficile à utiliser. Dans ce contexte les GPS voient la précision de leur relevé altérée, notamment car le signal émis par chaque satellite pour calculer la position du récepteur rebondit sur les arbres, on parle de multitrajets (PIEDALLU, GEGOUT 2002 : 430). Cet effet est accentué par la présence de certaines essences comme les résineux (PIEDALLU, GEGOUT 2002 : 429). En outre, la délimitation des ferriers peut être laborieuse à cause de la végétation abondante dans laquelle la canne, supportant le récepteur GPS, peut se heurter et ainsi gêner le relevé continu. Le signal perturbé enregistre alors des positions aberrantes. Le problème de précision peut également provenir du matériel utilisé (PIEDALLU, GEGOUT 2002 : 434). Il est démontré que le Trimble XH 6000, utilisé lors des prospections, n'est pas très performant en milieu fermé

103. GNSS Trimble XH 6000.
104. Science qui étudie l'impact des occupations archéologiques sur la flore actuelle.
105. Pour ce faire, il est préétabli que les limites d'un ferrier peuvent être définies comme étant l'endroit où l'US comprenant les déchets de production métallurgique devient de plus en plus fine et que ces derniers y sont rares et éparses.

comme la forêt. Il induit même des écarts importants en prenant des mesures sur des temps d'acquisition courts (MUNOZ 2014 : 60).

Ces différents paramètres peuvent entraîner une réduction de la précision de quelques centimètres à 15 m lorsque le signal est corrigé à l'aide d'informations fournies par une antenne de position connue (GPS utilisé en mode différentiel ou DGPS) (PIEDALLU, GEGOUT 2002 : 429). L'une des premières choses à faire sur le terrain est donc de définir une méthode de relevé suffisamment précise pour obtenir des données exploitables. Cette méthode consiste, après stabilisation en milieu ouvert des signaux satellites du GPS, à relever les limites des structures grâce à un enregistrement par levés de points. Ce choix permet une plus grande exactitude, notamment lorsque l'on effectue un nombre d'enregistrements de points élevés (PIEDALLU, GEGOUT 2002 : 437 ; MUNOZ 2014 : 61-62). Des points sont ainsi enregistrés tous les 2 m avec une configuration de 100 enregistrements par point et un intervalle de temps entre deux enregistrements de 1 à 5 secondes (PIEDALLU, GEGOUT 2002 : 439). Cette méthode est toutefois extrêmement chronophage. En outre, bien que le récepteur se soit toujours trouvé à plus de 2 m du sol pour éviter les multitrajets, comme le recommande A. Munoz, il est impossible de toujours être à une distance suffisante des arbres (MUNOZ 2014 : 61-62).

Enfin, dans le paramétrage du GPS, PDOP (Position Dilution of Precision) bas (ex : 4) est sélectionné. Le DOP (dilution de précision) quantifie l'erreur de précision relative aux équations utilisées par le GPS pour résoudre sa position[106]. Ce facteur dépend de la position des satellites GPS vis-à-vis de la localisation du récepteur ; soit le nombre de satellites visibles, leur altitude et leur angle de vision. Les satellites étant continuellement en mouvement, les équations sont constamment recalculées et le DOP change souvent, mais il reste très prévisible. Le PDOP est défini comme étant le DOP pour les positions en trois dimensions. En adaptant la méthode d'enregistrement des points sur le terrain, la précision obtenue est comprise entre une vingtaine de centimètres au minimum et quatre mètres au maximum. Malgré ces difficultés, l'utilisation d'un GPS s'avère être la meilleure solution pour l'enregistrement spatial et morphologique des sites métallurgiques. Elle est complétée par des relevés manuels des dimensions de chaque structure. Ce travail a pour objectif de vérifier que les données GPS sont correctement corrigées après exportation. En plus du relevé des limites de ferriers, d'autres informations topographiques sont enregistrées, telles que la localisation d'espaces aux sédiments de couleurs

106. http://www.trakgps.com/fr/index.php/information/articles-localisation-gps/65-precision-gps

variées, des zones de fortes concentrations en déchet métallurgiques ou la présence de certains vestiges intéressants (meule, etc.).

L'utilisation du GPS n'a pas toujours été possible, c'est le cas dans la forêt de Châteauroux. Plusieurs contraintes matérielles ont nécessité une adaptation de la méthode de relevé. Ainsi, les sites situés à l'est de la forêt sont enregistrés de la même façon que dans le massif de Boulogne-Chambord, mais les autres ont fait l'objet de deux types de figuration. L'une consiste en un relevé schématique des sites et une prise de mesures. L'autre correspond à un relevé manuel, c'est-à-dire à la réalisation de dessins à partir d'un axe tendu au centre des structures. L'emploi de ces différentes méthodes résulte de plusieurs problèmes rencontrés sur le terrain. Tout d'abord, l'ampleur de certains sites, pouvant mesurer plusieurs centaines de mètres de longueur, dont les limites se perdent souvent dans la végétation. Ensuite, le temps restreint pour relever ces immenses sites au GPS. Enfin, le fait qu'un seul GPS était disponible lors des prospections et qu'il n'a plus fonctionné à partir du deuxième jour (opération prévue sur une semaine). Par conséquent, lors de l'interprétation des données il faut notamment tenir compte du fait que les sites relevés manuellement ont des surfaces calculées moins précises[107] et donc que le volume de déchet restitué est certainement surestimé.

Le recensement des informations concernant chaque site a nécessité la mise en place d'une fiche d'enregistrement. Elle comprend le nom de la structure[108], ses coordonnées GPS en Lambert 93, sa forme, ses dimensions relevées sur le terrain (sauf pour les sites de plus de 100 m de côté), sa profondeur approximative quand c'est possible, une description de son environnement immédiat (fosse, chemin, etc.) et un premier aperçu du type de matériel prélevé (localisation des scories au sein de la structure, taille, densité, et autres commentaires). Un schéma décrit la forme générale de la structure et ses particularités, notamment la présence de différentes zones de concentration de vestiges métallurgiques (visible par la présence de différentes couleurs, divers types de scories, etc.). Cette fiche permet un enregistrement homogène et complet. En outre, elle facilite le travail de terrain et les comparaisons entre les

107. La surface des ferriers dont les limites sont relevées au GPS sont calculées par l'ordinateur alors que celles des sites relevés à la main sont le résultat d'un calcul plus simple tenant moins compte de la forme précise des sites.

108. Les noms des structures sont établis en utilisant le même code pour les deux forêts, c'est-à-dire en commençant par F pour ferriers suivi du numéro de la parcelle ONF dans laquelle la structure est observée. Lorsque plusieurs structures sont enregistrées sur une même parcelle, il est ajouté un « / » suivi d'un numéro d'ordre (ex : F155/1).

différents corpus. Des photographies ont également été prises lorsque la visibilité était suffisante.

Enfin, du matériel archéologique, tel que des scories, du minerai, des fragments de parois de fours, de tuyères ou encore de la céramique et des objets en terre cuite architecturale ont été ramassés à la surface de chaque site. Le protocole est simple, des allers et retours sont effectués à la surface des ferriers, en partant du centre et en prélevant des vestiges représentatifs tous les deux mètres. Ils sont ensuite conditionnés dans des sachets portant le nom du ferrier, la date de prospection et un numéro d'identification. Une seconde observation du ferrier permet de prélever les éléments remarquables qui n'auraient pas été perçus la première fois, comme la céramique par exemple. Les vestiges prélevés sont alors placés dans un sac différent. Ce mobilier est ensuite étudié en laboratoire (*Infra* 3.3).

Les prospections dans le massif de Boulogne-Chambord ont commencé par la zone située au sud-ouest de la forêt, puis se sont dirigées vers le sud-est (**Fig. 27**). Ensuite elles ont continué dans la partie nord, puis les parcelles plus isolées et enfin celles situées dans la forêt de Chambord. Ainsi, les 44 parcelles forestières pointées par L. Magiorani pour être occupée par une ferrier sont prospectées. Cette prospection devait initialement compléter le ramassage de vestiges métallurgiques de C. Laplaige et L. Magiorani réalisé dans le cadre de prospections thématiques antérieures et du programme SOLiDAR. Toutefois, pour obtenir une étude comparative valable un nouveau ramassage a été avec la méthode établie précédemment a été réalisé.

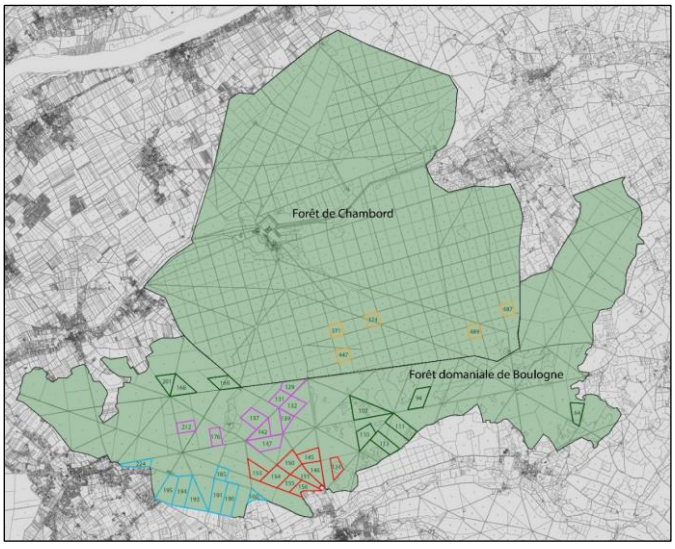


Fig. 27 : Carte de localisation des parcelles prospectées dans le massif de Boulogne-Chambord
Novembre-décembre 2017 (en bleu), janvier- février 2018 (en rouge) ; mars-avril 2018 (en mauve) ; mai 2018 (en vert) ; juin 2018 (en orange)

A Châteauroux, deux équipes ont d'abord prospecté les parties nord-ouest et sud-ouest de la forêt (**Fig. 28**). Puis, en équipe plus réduite, les prospections ont continué dans la zone nord-est et enfin au sud-est. Au total, 52 parcelles forestières, préalablement repérées par F. Jarry, ont été parcourues lors de ces opérations.

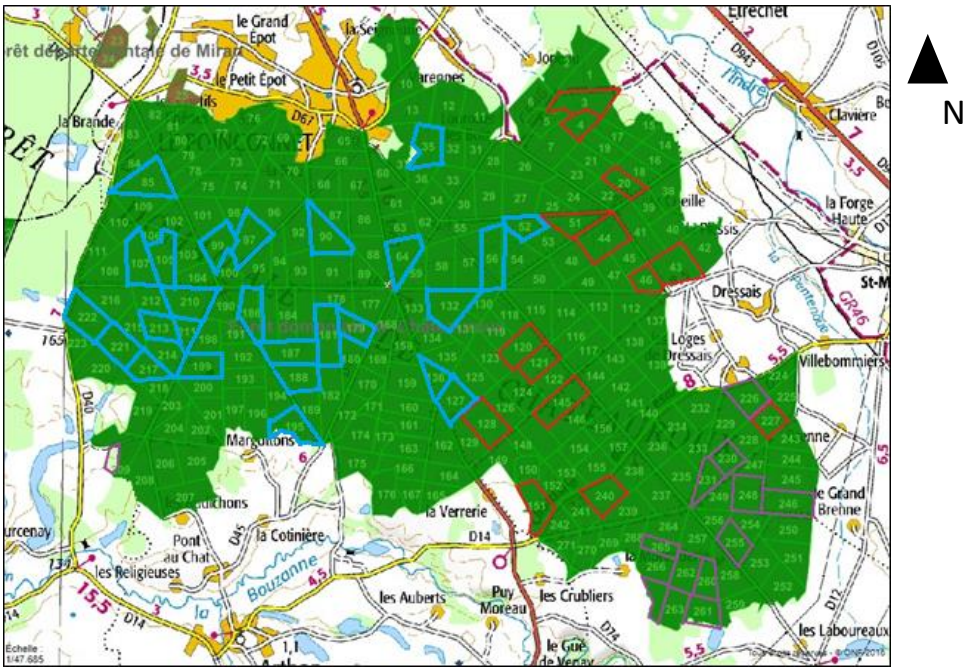


Fig. 28 : Carte de localisation des parcelles prospectées dans la forêt de Châteauroux
Octobre 2018 (en bleu), mars 2019 (en rouge) et mai 2019 (en mauve)

Description des données

Après vérification, 53 structures associées à la production du fer sont enregistrées dans le massif de Boulogne-Chambord, dont des ferriers, des épandages et des dépôts. Dans la forêt de Châteauroux ce sont 59 sites qui sont recensés, dont 37 ferriers. Au terme de ces opérations de terrain, 215 kg de vestiges sont ramassés dans le massif de Boulogne-Chambord et 793 kg dans la forêt de Châteauroux, soit un total d'environ une tonne de vestiges.

Traitement des données

Lorsque la phase de terrain est terminée, un Système d'Information Géographique intégrant les données des fiches ferriers (***cf* vol. 3, Annexe 1 et 3**) est réalisé pour chacune des forêts. Le but est de localiser les différents types de structures sur la carte IGN[109] et ainsi mettre en évidence d'éventuelle concentration. On cherche également à replacer ces structures sur la carte géologique pour localiser les ressources en minerai à proximité. Leur localisation est

109. Établies en Lambert 93.

également confrontée aux images LiDAR, afin de comparer la topographie du terrain où elles sont implantées (pente, plateau, vallée, etc.) et appréhender leur impact sur le relief du terrain. Enfin, ce SIG positionne les sites métallurgiques par rapport aux éléments topographiques vectorisés[110] à partir des cartes et des textes anciens tels que les chemins forestiers, les limites de forêts, de parcelles, etc. (*Supra* 3.1).

Les prospections pédestres fournissent ainsi les données de base pour comprendre les caractéristiques des ateliers métallurgiques (type de site, ampleur, technique de production, etc.). Néanmoins, ce travail de surface ne fournit qu'une vision limitée des ateliers métallurgiques enfouis.

La prospection magnétique

Méthode

La méthode appliquée pour l'étude des sites métallurgiques est celle de la mesure de gradient magnétique terrestre à l'aide d'un magnétomètre. Le principe de gradient magnétique consiste à mesurer le champ en deux points espacés verticalement d'un mètre. Cela dans le but de s'affranchir des variations de grande longueur d'onde et de ne garder que les variations les plus fines, de l'ordre de quelques dizaines de nanoteslas, liées, en particulier, à l'occupation humaine.

Cette mesure est très sensible aux objets magnétiques (objets ferreux) ce qui permet de discriminer la présence de métal ou d'éléments chauffés (céramiques, foyers, etc.). Elle met également en évidence des structures fossoyées (fosse, fossé) ainsi que certains bâtiments.

Les structures archéologiques sont mises en évidence par le magnétomètre uniquement si elles possèdent une aimantation induite et/ou rémanente. Si un matériau ayant la capacité de s'aimanter est positionné dans un milieu avec un champ magnétique externe de faible intensité comme le champ magnétique de la Terre, ou CMT, il acquiert une aimantation dite induite. L'aimantation thermorémanente s'obtient lorsque des matériaux ferrimagnétiques ou ferromagnétiques sont chauffés au-dessus de leur température de Curie (575° pour la magnétite, entre 575° et 675° pour la maghemite et 675° pour l'hématite). Au-delà de cette température, les grains deviennent paramagnétiques. Au refroidissement, ils redeviennent magnétiques mais

110. Cette vectorisation induit une imprécision qu'il est impossible de quantifier, mais dont il est tenu compte lors de l'interprétation de l'analyse spatiale.

leur aimantation est induite par le champ magnétique terrestre et parallèle à celui-ci. En archéologie, on retrouve ce processus lors de la cuisson d'argile dans le cas de poterie ou de structures en terre cuite comme des fours.

Dans le cadre de sites métallurgiques comme les ferriers, deux caractéristiques magnétiques sont particulièrement intéressantes à étudier. La première est l'aimantation des scories de fer et autres déchets métalliques qui composent le sous-sol. Le fer étant magnétique par nature, de nombreuses anomalies peuvent correspondre à des masses de fer contenues dans les scories (fond de four, culot de forge, battitures). La seconde caractéristique est l'aimantation thermorémanente de l'argile utilisée pour la construction des fours de réduction. Cette méthode a largement fait ses preuves pour la détection de fours de potier ou de sauniers. Malgré cela, l'interprétation des données de prospection magnétique d'un site de production du fer est assez délicate, car certains déchets produisent de très fortes anomalies dipolaires et rendent ainsi plus difficile la lecture des structures (ASPINALL, GAFFNEY, SCHMIDT 2008 : 155). Toutefois, depuis les années 1990 plusieurs études géomagnétiques réalisées sur des ferriers ont prouvé que cette technique est suffisamment efficace pour localiser, dans certains cas, les structures artisanales recouvertes par le ferrier et définir les limites de ce dernier (*Supra* 1.2.1).

Description des données

Dans le cadre de cette recherche, trois campagnes de prospection magnétique ont été mises en œuvre sous la direction de B. Gouhier[111] et avec l'aide de bénévoles. La première prospection a été réalisée à Châteauroux en juillet 2019 avant la fouille du ferrier F090 afin de guider l'ouverture des sondages (GOUHIER 2019a : 11-17). Fort de cette expérience, la deuxième campagne a été effectuée à l'automne 2019 sur le ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne pour situer les structures de production qui nous avaient échappé lors de la fouille de 2018 (GOUHIER 2019b : 11-16). Enfin, une dernière campagne plus précise a été réalisée sur ce même ferrier juste avant la fouille de 2020 afin de guider l'implantation des sondages (GOUHIER 2020 : 16-21).

Dans ces trois cas, le même matériel a été utilisé. Il est mis à disposition par le Laboratoire Archéologie et Territoire (CITERES) de l'Université de Tours et le programme *Intelligence des Patrimoines*. Il s'agit d'un magnétomètre de la marque Sensys, modèle MAGNETO MXV3,

111. Docteur en archéologie (UMR 7324 - CITERES/LAT)

couplé à un MXPDA pour l'enregistrement des mesures. Les sondes sont de type FGM650/3 et mesurent la composante verticale du gradient magnétique avec une résolution maximale de plus ou moins 3,00 nT (référence constructeur). Le chariot du magnétomètre est monté de façon à recevoir cinq sondes distantes de 0,25 cm. Les sites étant implantés en milieu forestier, l'utilisation du DGPS intégré au magnétomètre n'étant pas pertinente, car elle aurait fait perdre en précision. Il a donc été décidé de travailler dans un référentiel « local » en intégrant des coordonnées de référence (x, y, z). Le DGPS a toutefois été utilisé lors des prospections à Boulogne en 2019, car on cherchait à vérifier la présence ou l'absence d'anomalie significative et non pas à les localiser avec une grande précision.

Dans le cas des prospections précédant les fouilles, l'emprise des zones analysées est d'abord matérialisée à l'aide de piquets en bois. La contrainte due à la présence d'arbres étant importante, une multitude de petits transects sont réalisés sur et autour des ferriers. L'emprise de chaque transect est ensuite relevée au tachéomètre puis la carte du gradient magnétique du site est géoréférencée dans un SIG.

Traitement des données

Lors d'une prospection magnétique, chaque sonde enregistre un point correspondant à la variante verticale du champ magnétique local et lui associe des coordonnées. Lors de l'intégration de ces données à un SIG, chaque point dispose donc d'une valeur en nanotesla (noté nT) et de coordonnées géoréférencées. Une interpolation de ce nuage de points est réalisée afin de créer un raster des zones d'étude où chaque pixel possède une valeur magnétique exprimée en nT/m. Ce travail est exécuté grâce au logiciel de traitement MAGNETO (Sensys). Une fois ce fichier raster développé, l'échelle d'intensité permettant d'avoir l'image la plus nette possible est sélectionnée (-50 ; 50 nT ou -100 ; 100 nT). De cette façon il est possible de faire varier le gradient colorimétrique de l'intensité et ainsi d'améliorer la visibilité des structures recherchées et de hiérarchiser les anomalies. En effet, l'identification des anomalies étant dans un premier temps visuelle, il est important de bien les distinguer (**Fig. 29**). Ce travail est réalisé par B. Gouhier lors de la rédaction des rapports d'opération. Les différentes cartes obtenues permettent de distinguer trois catégories d'anomalies sur les sites prospectés :

- des anomalies ponctuelles de très forte intensité positive (en blanc) au sud associée à une forte intensité négative (en noir) au nord ;
- des anomalies linéaires de forte intensité négative et de moindre intensité positive ;

- un bruit de fond caractérisé par des anomalies de faible intensité positive et négative (en gris).

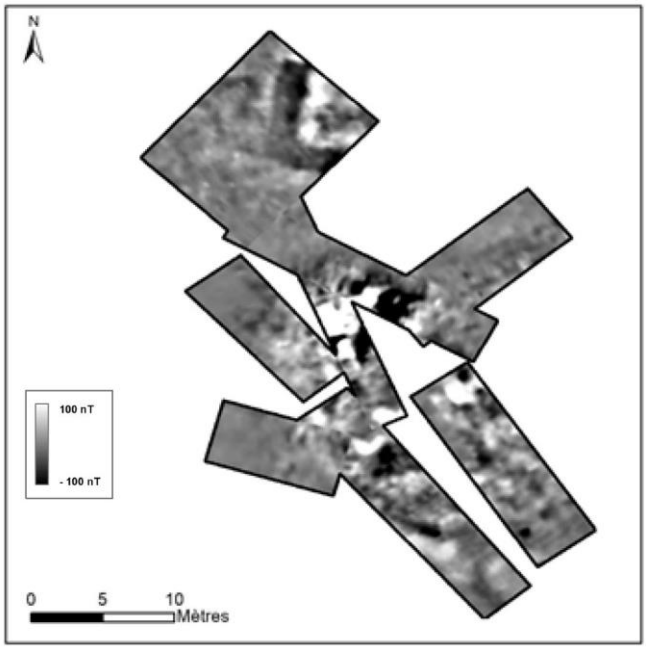


Fig. 29 : Carte du gradient vertical du CMT du ferrier F155/1 (Boulogne 2020) (© B. Gouhier)

L'usage de ce type d'outil n'est toutefois pas sans contrainte et sans limite. D'abord, dans le contexte particulier qu'est la forêt, ces prospections nécessitent une importante préparation avant l'acquisition des données. Il est nécessaire de déblayer la zone des buissons, branchages, etc. qui peuvent bloquer la progression du chariot. Il faut également définir l'emplacement des transects pour éviter les arbres et autres obstacles (fossés, etc.), installer des piquets en bois aux extrémités de ces transects pour guider la prospection et enfin relever les limites de ceux-ci au tachéomètre pour les géoréférencer en laboratoire. Les données obtenues dans ce contexte ne permettent pas d'identifier les structures archéologiques auxquelles correspondent les anomalies. Seules des fouilles archéologiques fournissent ce type d'information, c'est pourquoi elles font logiquement suite aux prospections.

3.2.2 La fouille

Protocole de fouille

Description des opérations

Trois fouilles archéologiques ont été réalisées dans le cadre de cette étude, deux sur le ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne (LACROIX 2018b ; LACROIX 2020) et une sur le ferrier F090 de la forêt de Châteauroux (LACROIX 2019b). Ces opérations ont nécessité au total 55 jours de terrain correspondant à 67 jours/hommes. À Boulogne, une surface de 64,5 m² a été ouverte en 2018 et environ 47 m² en 2020. Ainsi, pour un ferrier dont la surface est estimée à 1 614 m², environ 111 m², soit 7 % de la surface totale, a été fouillée. À Châteauroux en 2019, une surface d'environ 113 m² a été explorée sur 512,5 m² au total, soit 22 % du site.

Problématiques de fouille

Ces fouilles ont pour objectif de répondre à plusieurs questions soulevées au cours des différentes opérations de prospection.

Dans un premier temps, on cherche à caractériser les ferriers et leur processus de formation ; à localiser les différents espaces de l'atelier afin d'appréhender leur organisation spatiale (relation ferrier/four/foyer/aire de grillage, etc.) ; à observer l'homogénéité ou l'hétérogénéité des couches de rejets ; et à identifier la présence éventuelle de concentrations de mobilier. L'objectif est également de comprendre la gestion des déchets et d'établir une restitution volumique des ferriers pour appréhender l'ampleur de la production réalisée sur ces sites. Dans un second temps, on désire caractériser les structures de production (fourneaux, foyers de forge, aires de grillage, etc.) ; définir la ou les méthodes de production employées par les artisans ; mettre au jour du mobilier datant, tel que de la céramique, des Terres Cuites Architecturales et du charbon de bois pour dater les activités métallurgiques ; trouver du minerai pour connaitre son origine géologique et étudier les flux de matière première.

Méthodes de fouille

Les mêmes méthodes de fouilles sont utilisées lors des différentes opérations afin de faciliter les comparaisons. Ainsi, la zone à fouiller est délimitée, puis les branches, souches et autres végétaux sont dégagés pour faire apparaître les potentielles anomalies de couleur, de texture ou de composition.

Lors de la première opération, en 2018, la zone de fouille a été implantée en se fondant sur la topographie du ferrier. Elle est installée sur le lobe occidental, le moins boisé et donc le plus accessible, en englobant une partie du sommet du ferrier et sa limite sud-ouest. Par la suite cette zone est divisée en deux secteurs, le A comprenant le comblement du ferrier et le B correspondant au bas de la pente. Malheureusement, l'implantation à l'aveugle n'est pas favorable à la mise en évidence de la zone d'atelier recherchée. À partir de 2019, l'usage d'un magnétomètre en amont des fouilles permet de modifier la méthode d'implantation des sites. En effet, les images géomagnétiques montrent l'emplacement d'anomalies magnétiques indiquant la présence possible de structures de combustion (four, foyer) et de structures en creux (fosse, cuve, etc.). Un sondage d'environ 2 m² est implanté à l'emplacement de chacune d'entre elles. En outre, sur les deux sites, une fenêtre de fouille est ouverte au sommet du ferrier afin de déterminer sa hauteur, sa constitution et d'établir le volume de déchet par type (scories écoulées, scories internes et parois).

Ensuite, le protocole est le même sur tous les chantiers. La fouille se déroule par passe de 5 à 10 cm jusqu'à parvenir à une nouvelle unité stratigraphique. Chacune est fouillée individuellement et enregistrée sur une fiche, puis relevée en coupe et/ou en plan. Elles sont ensuite regroupées en Faits, elles-mêmes rassemblés en Structures. Cette hiérarchie stratigraphique est à l'origine d'un diagramme stratigraphique pour chaque site. Lorsque certains indices (présence de battitures, de sédiment riche en minerai) indiquent une zone de travail particulière un carroyage est implanté avant de commencer à fouiller. Une large couverture photographique et un relevé topographique au tachéomètre couplé avec un GPS centimétrique complètent la base documentaire de ces opérations.

Après implantation et fouille des sondages initiaux, des extensions sont ouvertes en prenant soin de toujours relever les coupes et plans au fur et à mesure. En effet, la stratigraphie complexe des sites métallurgiques et le mauvais état de conservation de certaines structures nous oblige à accumuler les informations afin de restituer les sites et les dynamiques sédimentaires qui les caractérisent (sol d'atelier, structures de production, couche de rejet des déchets métallurgiques, couche de destruction des structures, etc.). Finalement, l'ensemble des sondages est réuni pour aboutir à une aire ouverte qui favorise une vision globale de l'espace artisanal. Cette ouverture permet aussi de mieux appréhender l'agencement des secteurs les uns avec les autres (espace de travail/zone de rejet).

Enfin, les derniers jours de fouille sont consacrés, dans le cas où nous disposions d'image géomagnétique, à la vérification des anomalies d'intensité moindre à travers l'ouverture de tranchées de petites dimensions (1 x 0,50 m).

Limites et contraintes

La fouille en milieu forestier présente plusieurs contraintes dont il faut tenir compte. Tout d'abord, l'implantation de la fouille ne pouvant se faire au hasard, une réflexion en amont de l'opération est indispensable. Le parti pris ici est de protéger au maximum la flore et d'éviter de s'installer au milieu d'un layon ou d'un chemin, ce qui pourrait empêcher le bon déroulement des activités forestières (coupe des bois notamment).

D'un point de vue pratique, la fouille en forêt est également contrainte par la présence d'éventuelle souche ou de chablis, d'un très grand nombre de racines et d'une activité végétale et animale intense. Cette activité peut engendrer des anomalies de couleur et de texture qui peuvent être confondues avec les structures anthropiques.

Le milieu forestier est assez hostile à l'utilisation de certaines technologies telles que les GPS centimétriques pour géolocaliser la fouille (*Supra* 3.2.1.2.). Pour contrer ce problème, les fouilles font toutes l'objet d'un relevé topographique à l'aide d'un tachéomètre fonctionnant « en local » ; c'est-à-dire à partir des points de références implantés artificiellement puis géoréférencés lors de l'étude post-fouille. Ces points de références, ou Stations, restent les mêmes pendant toute la durée de la fouille et sont relevés au GPS centimétrique et/ou par cheminement depuis une station connue et fiable de l'IGN.

Le mobilier

Le mobilier métallurgique est étudié de deux façons. Dans un premier temps, la totalité des vestiges provenant des sondages de référence dans les ferriers sont prélevés. Ils sont ensuite triés par type (paroi, scorie écoulée, scorie interne) et pesés. Ce travail permet de restituer le volume total des vestiges constituant le ferrier puis, après analyse chimique des scories, d'évaluer la quantité de métal approximativement produite par site (SAINT-DIDIER 2017a : 23). Ces vestiges, pesant plusieurs tonnes, sont redéposés dans le sondage lors du rebouchage à la fin de l'opération après prélèvement d'un échantillon représentatif par Unité Stratigraphique. Les autres vestiges moins représentés, tels que la céramique, les terres cuites architecturales, les tuyères, le minerai, les objets métalliques et les agglomérats ferreux, sont conservés de façon

systématique. Ils sont enregistrés en tant qu'artefacts et leurs coordonnées sont relevées au tachéomètre. L'ensemble du mobilier collecté est ensuite lavé, trié par type (scorie, tuyère, TCA, céramique, etc.), conditionné et inventorié à partir d'une brève description afin de faciliter l'analyse post-fouille. Environ 400 kg de vestiges au total ont été prélevés pour l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne et environ 500 kg pour l'atelier F090 de la forêt de Châteauroux, soit environ 900 kg de vestiges.

Des prélèvements sédimentaires ont également été réalisés dans certaines US contenant des micro-déchets de forge (battitures). Lorsque le ou les niveaux concernés sont situés au sein du ferrier, un prélèvement d'environ 1 litre est réalisé. Le volume de sédiment ramassé dans un espace carroyé est de 50 cl/carré lors de chaque passe de 10 cm. Ainsi, la quantification des battitures lors de l'étude post-fouille facilite l'étude de leur répartition spatiale. Enfin, des charbons de bois sont également prélevés selon deux méthodes. D'une part, les individus dont les dimensions sont supérieures au centimètre sont collectés au fur et à mesure dans les différentes US, principalement celles situées dans les zones de rejet. Ces charbons sont enregistrés dans l'inventaire des prélèvements et localisés au tachéomètre. D'autre part, les charbons de bois provenant des US très charbonneuses ou de celles comblant la cuve des fours de réduction sont prélevés en motte et/ou récupérés à l'issue du tamisage des sédiments.

En conclusion, la stratégie de fouille, de relevés et d'enregistrement du mobilier mis en œuvre a fait l'objet d'une longue réflexion en amont des interventions, mais également d'une adaptation au fur et à mesure de l'avancement des opérations sur le terrain.

3.3 En laboratoire

3.3.1 Étude macroscopique

Méthode d'étude

Les vestiges provenant des prospections pédestres et des fouilles représentent environ 1, 9 t de mobilier. Après nettoyage, ils sont triés par type (scorie, tuyère, céramique, minerai, etc.), puis chaque type est étudié selon la méthode adaptée.

Les vestiges métallurgiques sont classés selon leur forme (scorie écoulée, scorie piégée, culot de forge, pseudo-laitier, paroi, etc.). Ils sont ensuite décrits, pesés, leurs dimensions sont relevées ainsi que leur réactivité à l'aimant, leur état d'oxydation et leur état de conservation. La localisation des vestiges, que ce soit en prospection (nom de la structure d'origine) ou en

fouille (Zone, US), est également notée. Toutes ces informations sont enregistrées dans un tableau par opération de manière à être interrogeables, notamment à partir du SIG associé. Les vestiges les plus intéressants sont photographiés, voire dessinés lorsque cela s'avère utile. Au vu de l'ampleur des déchets métallurgiques et de leur fragmentation, il est décidé de les représenter à partir de leur poids et non pas du nombre d'individus, comme il est courant de le faire. Ce type d'étude permet de comparer plusieurs sites entre eux.

Le même type d'enregistrement est réalisé pour les autres vestiges ramassés systématiquement (tuyères, TCA, objets finis, etc.) en l'adaptant toutefois au type de mobilier concerné. De ce fait, un plus grand nombre de mesures sont enregistrées sur les tuyères (**Fig. *30***).

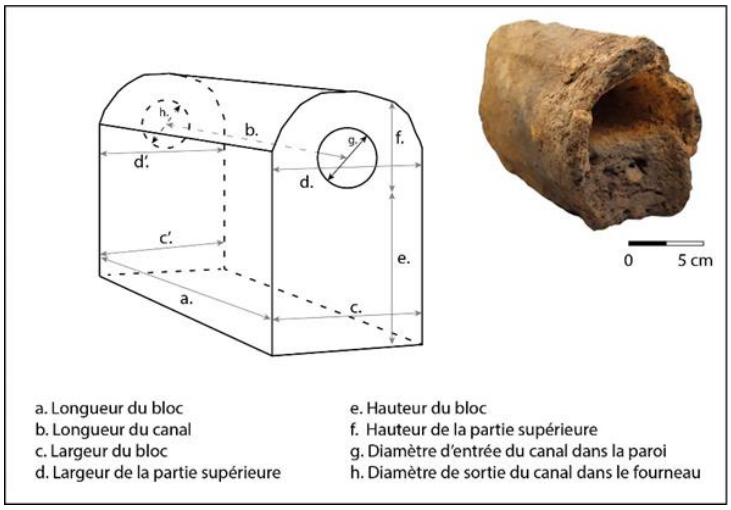


Fig. 30 : Détail des différentes mesures relevées sur les tuyères

Les céramiques ont été étudiées par A. Longelin, doctorant céramologue (CITERES/LAT). Isabelle Gay-Ovejero, géologue (GéHCO), a contribué à la description et la compréhension de l'ensemble du mobilier lithique des fouilles et prospections. Enfin, l'étude taxonomique des charbons de bois de la fouille 2018 à Boulogne a été réalisée par S. Coubray, anthracologue (Inrap Centre – Ile-de-France), et le reste de l'étude anthracologique a été réalisée par mes soins à la suite d'une formation effectuée auprès de S. Paradis-Grenouillet, anthracologue (Eveha Limoges).

Traitement des données

En premier lieu, la typologie des vestiges établie sur le terrain est vérifiée. On cherche à identifier la technologie employée (fours à scories piégées, à scories écoulées, etc.) et à signaler les particularités de chaque site métallurgique (par exemple l'utilisation de dégraissant dans la pâte des parois, tuyères ou TCA, etc.). Par la suite, les vestiges sont étudiés selon une analyse statistique simple caractérisée par une étude de la proportionnalité de chaque type de mobilier ; à l'échelle d'un ferrier lorsque le mobilier provient des prospections, et d'une US lorsqu'il est issu des fouilles. Enfin, la masse de chaque type de vestige provenant des prospections est ajoutée aux données attributaires des ferriers correspondant dans les SIG (*Supra* 3.2.1.2). Ce travail est nécessaire pour réaliser une analyse spatiale de la répartition des déchets au sein de chaque forêt.

3.3.2 Étude microscopique

L'étude microscopique des déchets de production du fer consiste à observer la structure interne des scories de réduction, de forge et des battitures puis à les décrire. On identifie ainsi les différentes phases qui entrent dans leur composition, les inclusions qui peuvent être présentes ainsi que la disposition et la forme des cristaux métalliques éventuels (BERRANGER 2014 : 129-131).

Ces observations contribuent à la compréhension des conditions physico-chimiques en place lors du processus sidérurgique (température dans le four, vitesse de refroidissement, état de la matière, teneur en carbone, etc.). Elles permettent également de définir le type de métal produit en fonction de sa composition en carbone (fer doux, acier, fonte) et sa qualité à travers la forme des inclusions (SAINT-DIDIER 2017a : 51). Enfin, elle aide à la détermination de l'étape de la chaîne opératoire du fer à laquelle la scorie appartient (réduction, épuration, élaboration) (FLUZIN 2001 : 343).

Observation macroscopique des sections de scorie

La première étape d'une analyse métallographique est l'observation de la coupe du déchet métallurgique. Pour ce faire, on commence par déterminer la face de la scorie susceptible d'apporter le plus grand nombre d'information, puis on la découpe à l'aide d'une tronçonneuse. On regarde la texture de la scorie et on cherche à distinguer une certaine stratigraphie ou au

contraire une homogénéité de la matrice pour établir si l'opération réalisée était constante ou si elle a connu des variations au cours de la chauffe (BERRANGER 2014 : 126). Ensuite on définit la quantité et la morphologie des porosités. Ces dernières sont petites et ovoïdales dans des conditions de forte fluidité de la scorie et sont déchiquetées et de grande taille lorsque la fluidité est faible. On localise ensuite les différentes inclusions visibles à l'œil (métal, charbon, cailloutis, etc.) qui apportent des informations sur la méthode de production ; puis on estime l'état d'oxydation qui renseigne sur les conditions d'enfouissement des vestiges.

Composition des échantillons

Phases vitreuses et minérales

Les scories de réduction et de forge sont principalement constituées d'une « phase vitreuse »[112] et d'une « phase minéralisée » comprenant des silicates. Les silicates se forment lors de la combinaison de dioxyde de silicium SiO_2 (Silice) avec des oxydes métalliques (Fer, Aluminium, Nickel, Crome, etc.). Dans une scorie, les silicates les plus représentés sont les olivines (SERNEELS 1993 : 24). Au sein de ce groupe, la fayalite (Fe_2SiO_4) est le minéral le plus fréquemment observé (**Fig. 31**). La fayalite est le pôle ferreux de l'olivine[113].

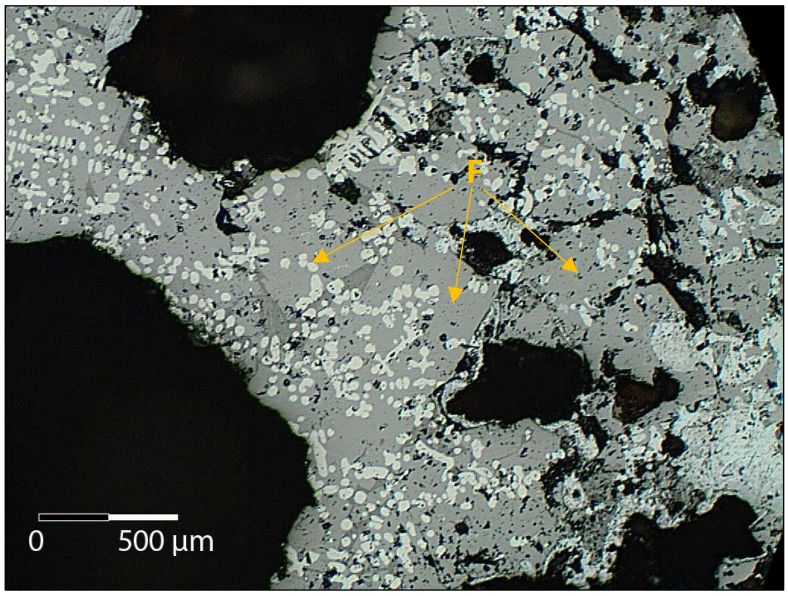


Fig. 31 : Micrographie de la composition d'une scorie fayalitique (F = fayalite)
(Échantillon CHAT085/2-2 – Prospection Châteauroux 2019)

La morphologie des cristaux de fayalite dépend de la température du four et de la vitesse de refroidissement de la scorie (SERNEELS 1993 : 25). Lorsqu'elle est lente, la fayalite cristallise

112. Le mot désigne un état de la matière dans lequel les entités élémentaires la constituant sont désordonnées.
113. https://www.gemmo.eu/fr/fayalite.php

sous forme de grains équigranulaires trapus alors que lorsque la température est élevée et le refroidissement rapide la fayalite est en forme de plaques fines, on dit alors qu'elle a une forme tabulaire (**Fig. 32**).

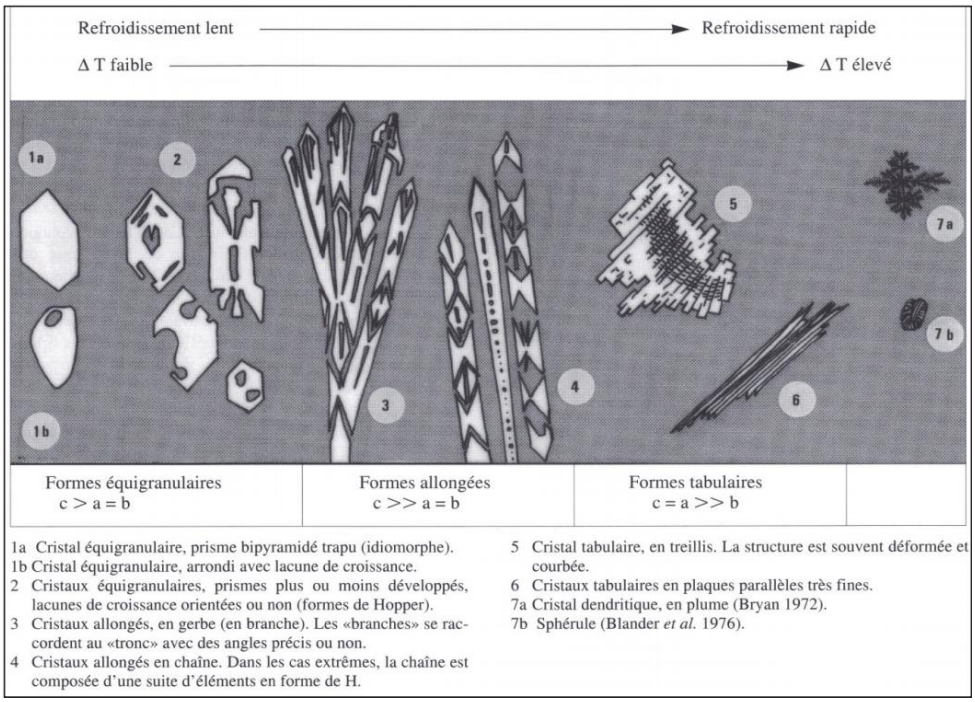


Fig. 32 : Schéma des différents types de cristallisation de la fayalite en fonction des condition sphysico-chimiques (SERNEELS 1993 : 26).

Les oxydes de fer libres

Les oxydes de fer libres rencontrés au cours de cette étude sont de deux types, la wüstite (FeO) et la magnétite (Fe_3O_4). Ils sont fréquents dans la composition des scories (SERNEELS 1993 : 23). La wüstite cristallise en milieu réducteur lors du refroidissement rapide de la scorie alors que la magnétite se forme lors de l'oxydation du fer dans un milieu riche en oxygène (DUNIKOWSKI *et al.* 1996 : 103). La wüstite présente souvent une forme dendritique, voire équigranulaire, alors que la magnétite cristallise généralement sous une forme globulaire ou pavimenteuse (CAILLAUD 2017 *:* 53) (**Fig. 33**).

La présence d'oxydes de fer libres signale une réduction non optimale. En effet, ils se forment lorsqu'il y a plus de fer dans le système que ce qui est suffisant pour former les silicates de fer. Ainsi, si le fer passe dans la scorie sous forme d'oxydes, cela signifie que la réduction n'a pas la meilleure efficacité (SERNEELS 1993 : 29).

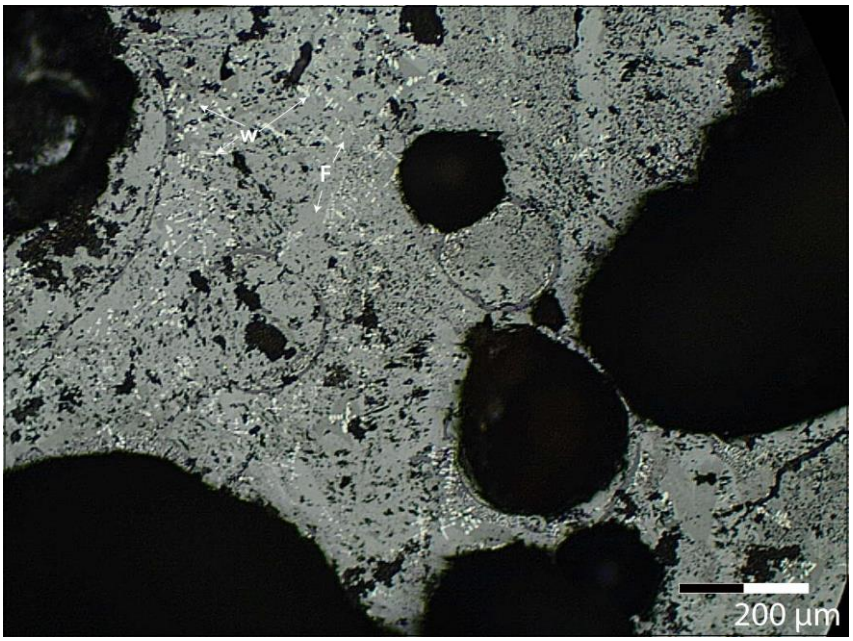


Fig. 33 : Micrographie de la composition minéralogique d'une scorie de forge provenant du ferrier F090 (W : wüstite, F : Fayalite, V : verre)

Le métal

Le métal observé dans les scories est composé de fer associé ou non à du carbone dont la teneur peut être plus ou moins importante. Cet alliage présente différentes structures en fonction de sa teneur en carbone (SERNEELS 1993 : 20). Pour le décrire on utilise un diagramme binaire fer-carbone (**Fig. 34**).

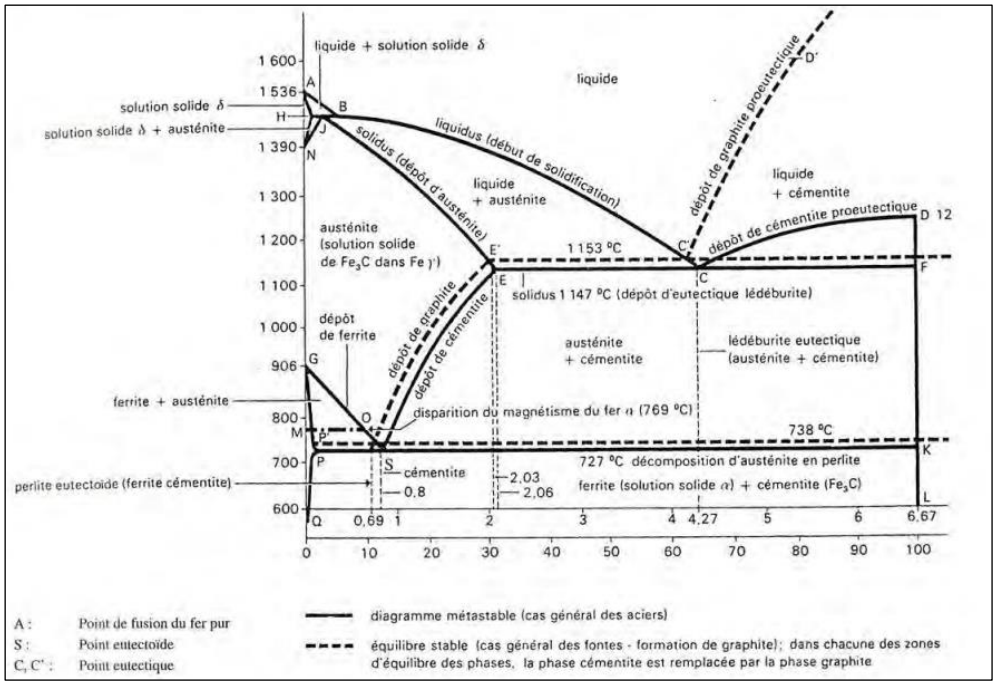


Fig. 34 : Diagramme d'équilibre Fer-Carbone (SERNEELS 1993 : 21)

Pour le caractériser, on s'appuie sur sa teneur en carbone :

- Moins de 0,02% de carbone, il s'agit de **fer pur** constitué de grains de ferrite (**Fig. 35**).
- Entre 0,02% et 2% de carbone, on parle d'un **acier**. Ce dernier contient de la perlite composée de lamelles de ferrite et de cémentite (Fe_3C).

Entre 0,02% et 0,85%, la structure du métal est constituée de perlite et de ferrite, il s'agit d'un **acier hypoeutectoïde**.

Entre 0,85% et 2%, elle dispose d'un mélange de perlite et de cémentite, il s'agit d'un **acier hypereutechtoïde**.

- Au-dessus de 2% de carbone, il s'agit de **fonte**.

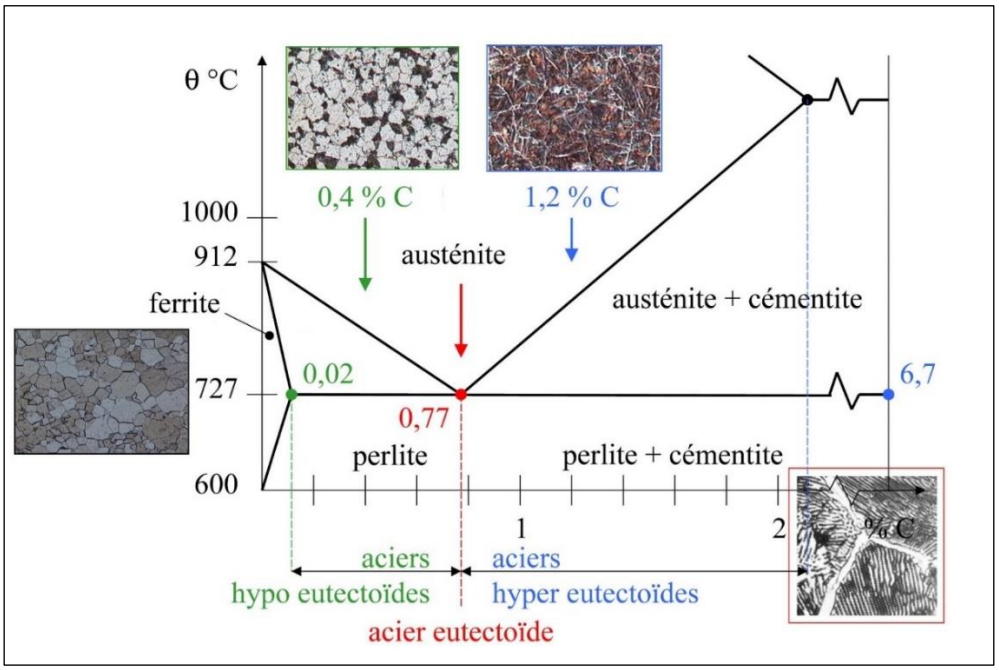


Fig. 35 : Diagramme d'équilibre Fer-Carbonne présentant l'évolution de la structure du métal en fonction de la teneur en carbone (d'après MANGIN 2004 : 121).

Différencier le type de métal produit est important pour caractériser les conditions physico-chimiques des opérations métallurgiques et les techniques de production utilisées. Il est par exemple établi que plus il y a de carbone dans l'alliage, plus le point de fusion du métal diminue, mais plus le fer formé est dur et cassant (SERNEELS 1993 : 20). En outre, la forme des

éléments métalliques peut apporter des informations sur les conditions de réduction. Par exemple, si le métal est de forme globulaire cela signale qu'il est passé par un état liquide avant refroidissement. Cette information ne permet pas de préciser la température du four, mais fournit néanmoins des indications intéressantes.

La structure du métal peut également être modifiée lors de conditions opératoires particulières, notamment pendant la forge. Un refroidissement lent de l'acier ne modifie pas les structures décrites, mais elles le sont lors d'un refroidissement rapide, comme la trempe par exemple (CAILLAUD 2017 : 87) (**Fig. 36**) Les aciers hypoeutechtoïdes prennent alors une structure en aiguille que l'on appelle la martensite et les aciers hypereutechtoïdes présentent de la martensite avec des aiguilles de cémentite résiduelle.

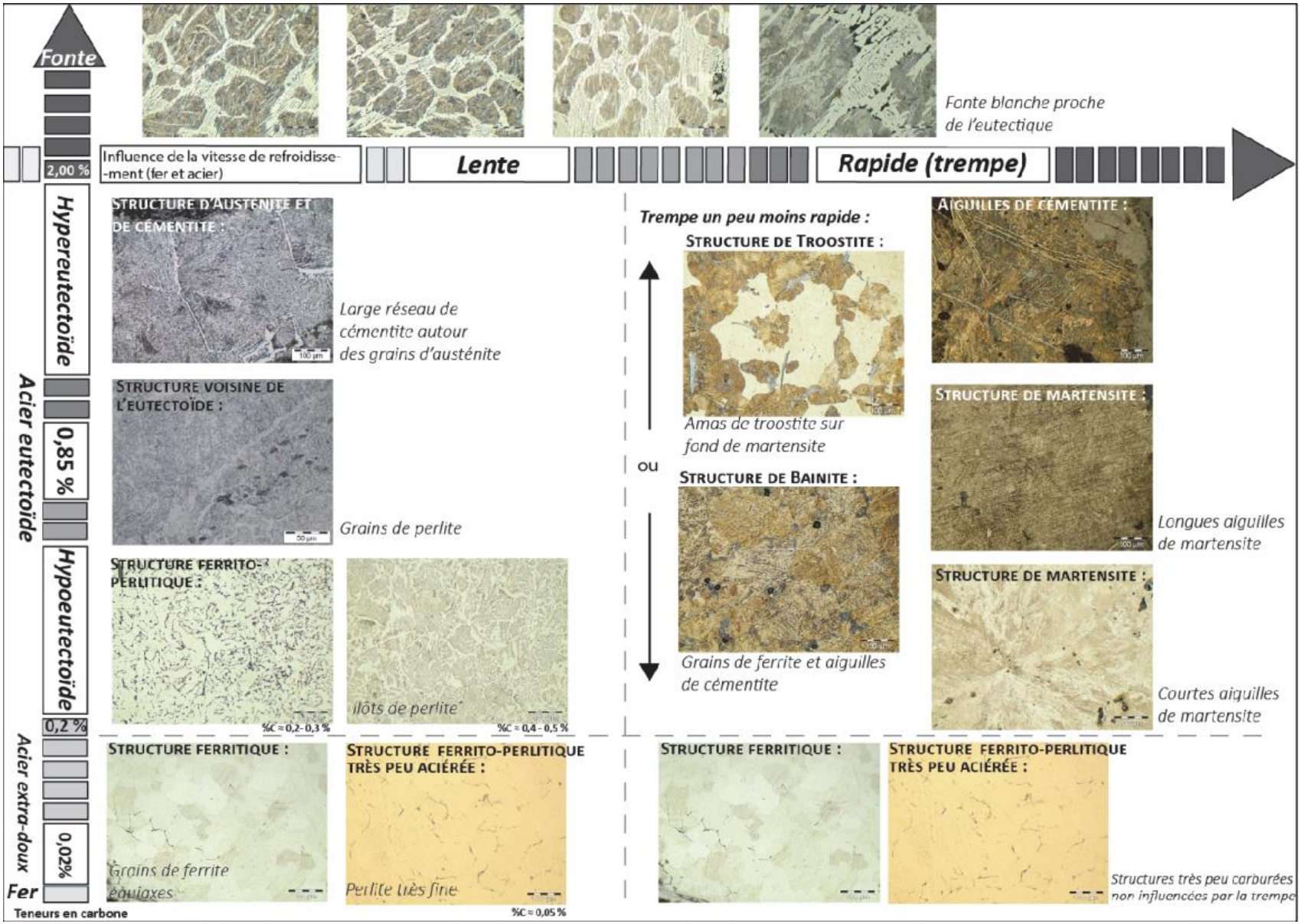


Fig. 36 : Structure de l'alliage Fer-Carbone en fonction de la teneur en carbone et de la vitesse de refroidissement après austénisation (CAILLAUD 2017 : 87)

Agglomérats métalliques

Des particules métalliques sont régulièrement observées dans les scories. Lorsqu'elles proviennent de vestige de réduction, ce sont des éléments non agglomérés à la masse métallique. Lorsqu'elles se trouvent dans des déchets de forge, elles sont probablement tombées de façon accidentelle dans le foyer lors de la chauffe du métal (LE CARLIER, LEROY 2007 : 8) (**Fig. 37**).

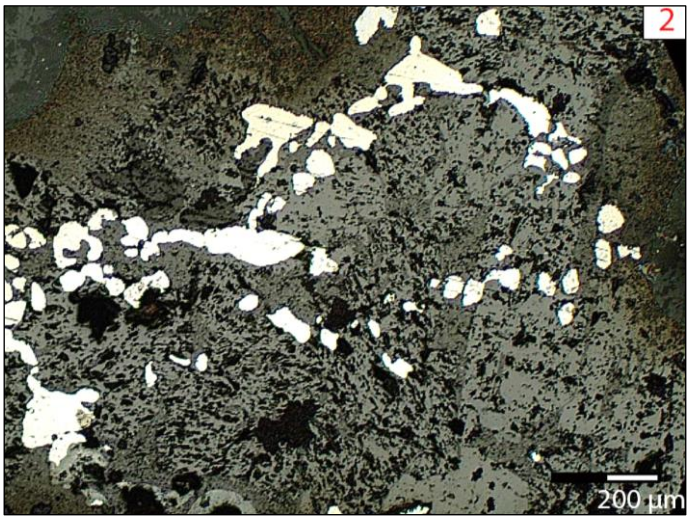


Fig. 37 : Micrographie d'agglomérats métalliques dans une scorie
(Échantillon BOU2000 - Fouille Boulogne 2020)

Les matériaux argilo-sableux

Des particules de matériaux argilo-sableux sont également observées dans certains échantillons de scorie. Leur présence indique généralement un travail de forge, car elles proviennent souvent d'ajouts déposés sur le métal chauffé pour le protéger d'une oxydation trop importante (LE CARLIER, LEROY 2007 : 8). Ces ajouts sont soit déposés sur le métal directement au-dessus du foyer, soit le métal est plongé dans la préparation hors du feu. Lors de la chauffe, ces ajouts fondent et s'écoulent au fond du foyer contribuant à la formation du culot de forge. Les particules de matériaux argileux apparaissent comme des taches sombres plus ou moins anguleuses au microscope (**Fig. 38**). En outre, la présence de grain peut signaler l'utilisation de sable (BERRANGER 2014 : 129).

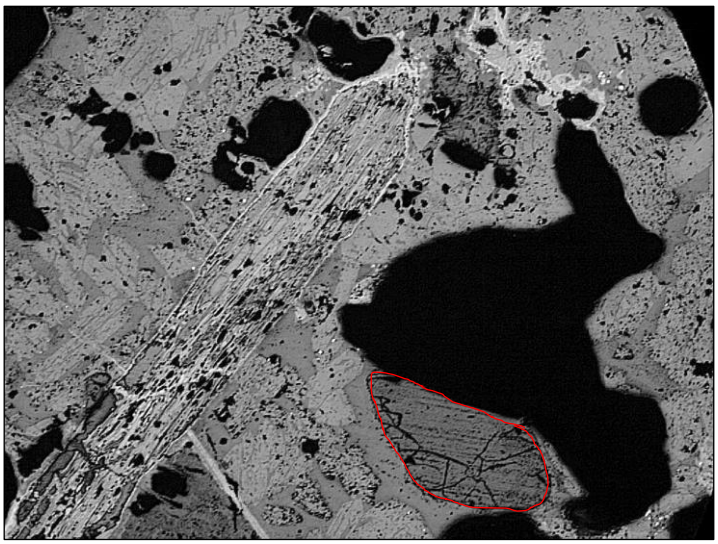


Fig. 38 : Micrographie d'un élément siliceux non fondu (surligné en rouge) dans un culot de forge

Les battitures et inclusions de scories

Les culots de forge peuvent également contenir des croûtes d'oxydes qui se sont formées à la surface du métal lors de la chauffe, les battitures. Ces éléments sont composés d'oxydes de fer ou sont un mélange d'oxydes de fer et de l'ajout, en général siliceux, apposé sur l'objet (LE CARLIER, LEROY 2007 : 4). En outre, ils peuvent soit tomber directement dans le foyer et s'agglomérer à la scorie, soit être expulsés lors du martelage du fer. Ces éléments présentent plusieurs formes : globulaires, lamellaires, informes. Lors de leur dissolution, elles se transforment en pavés puis en dendrite de wüstite (LE CARLIER, LEROY 2007 : 4).

Les hydroxydes

Enfin, le dernier type d'élément microscopique observé dans les scories sont les hydroxydes de fer (FeOOH). Il s'agit d'oxydes de fer formés à froid et combinés à l'eau (**Fig. 39**).

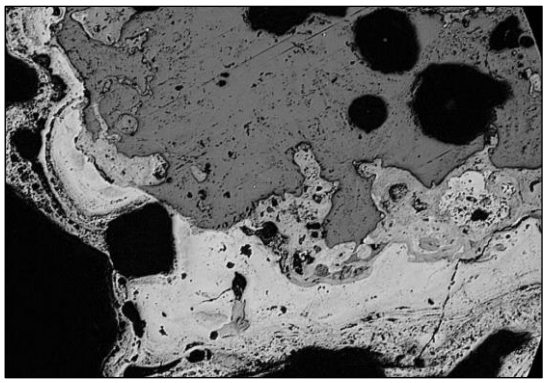


Fig. 39 : Micrographie d'hydroxyde de fer dans un culot de forge
(Échantillon BOU155.1 – Prospection Boulogne)

Description des échantillons

Au total 48 scories ont été étudiées en microscopie ; 19 proviennent du ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne, 11 du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux, 8 sont issues des prospections dans la forêt de Boulogne et 11 des prospections dans la forêt de Châteauroux. Les scories sont sélectionnées en fonction de leur type et de leur origine. Le but est d'avoir une sélection de vestiges la plus représentative possible. Une vingtaine de battitures provenant du ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne ont également été observées. Faute de temps, celles mises au jour à Boulogne en 2020, n'ont pas été traitées en métallographie. Enfin, aucune battiture n'a été découverte lors de la fouille du ferrier F090 à Châteauroux.

Pour observer les battitures, de très petites dimensions, 50 cl de sédiment contenant ces déchets sont prélevés au sein des prélèvements réalisés sur le terrain. Ces sédiments sont tamisés à l'eau en superposant un tamis de maille de 2 mm et un second de maille 0,5 mm. Chaque refus de tamis est séché séparément puis un aimant est passé pour récupérer les vestiges magnétiques. Ensuite, les battitures sont réparties en quatre grandes catégories selon leur granulométrie (10 mm et plus, entre 4 et 10 mm, entre 2 et 4 mm et entre 0,5 et 2 mm), puis elles sont classées et comptées selon leur forme. Elles sont enfin enrobées dans de la résine puis polies et scannées.

Traitement des échantillons

L'étude de chaque échantillon respecte un protocole (MANGIN *et al.* 2000 : 216-226). Tout d'abord les scories sont photographiées, puis sciées pour dégager une coupe nette (sauf les battitures). Ces coupes sont ensuite polies au tour en utilisant des disques abrasifs à granulométrie de plus en plus fine (80, 180, 320, 360) (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 312). Finalement, elles sont polies à l'aide d'un disque de feutre imprégné d'une solution d'alcool et de poudre diamantée de 8 µm. La section est ensuite scannée et dessinée (DAO) pour faciliter les observations microscopiques (hétérogénéité, stratification, porosité, répartition des différents composants…).

La section de chaque échantillon est observée avec un microscope métallographique (grossissement variant de 25 à 1 000) et microphotographiée. Après une première observation, les échantillons contenant du métal sont attaqués au réactif Nital (4%) puis de nouveau observés au microscope. Cette attaque chimique met en évidence la morphologie du métal et ses caractéristiques (fer doux, fonte, acier, etc.). Enfin, une fiche métallographique est remplie pour

chaque échantillon avec un relevé macrographique sur lequel les éléments les plus représentatifs sont localisés (***cf* vol. 3, Annexes 2, 4, 5 et 6**).

3.3.3 Analyses chimiques

Des analyses physico-chimiques de fragments de scories, de paroi et de minerai mis au jour lors des prospections et des fouilles ont été réalisées. Ces analyses élémentaires ont plusieurs objectifs. Tout d'abord, elles permettent de définir l'existence, ou non, d'une signature chimique particulière d'une zone de production et d'une filiation entre le minerai et les scories. Ces analyses fournissent également des informations concernant la technique de production utilisée par les artisans (utilisation d'ajout par exemple). Enfin, elles apportent les données quantitatives nécessaires pour évaluer le rendement de la réduction et la quantité de métal produit.

Méthode

La composition chimique d'un déchet métallurgique est caractérisée par la quantification d'éléments majeurs, mineurs et traces. Selon V. Serneels un constituant majeur représente plus de 5% de l'échantillon et un élément mineur moins de 5% (SERNEELS 1993 : 14). Les éléments dits « traces » sont les éléments dont les teneurs sont inférieures à 1000 ppm. Parmi tous les éléments constituant les échantillons, l'oxygène est toujours le plus abondant. De ce fait, l'ensemble des éléments dits majeurs sont présentés en % de masse d'oxydes[114] (SERNEELS 1993 : 14). Dans des conditions normales, la somme des concentrations des éléments majeurs est proche de 100%. Il est toutefois possible d'admettre une variation entre 98 et 101%. Lorsque cette somme est inférieure ou supérieure, l'analyse est suspecte et ne peut pas être prise en compte (SERNEELS 1993 : 14). Chaque élément trace est exprimé en ppm (1% = 10 000 ppm et 1ppm = 1gr/t). Dans des conditions normales, le total de ces éléments ne représente pas plus de 0,5 % de l'échantillon (SERNEELS 1993 : 14).

Finalement, l'analyse d'un échantillon est réalisée à partir d'une faible masse d'échantillon, soit quelques grammes. Ils ne sont donc pas totalement représentatifs (SERNEELS 1993 : 14). Il est alors nécessaire de multiplier les analyses afin d'obtenir la signature chimique la plus fiable possible.

114. Afin de lever toute ambiguïté par rapport à la prépondérance de l'oxygène.

Principe

Lors d'une opération de réduction, un fractionnement chimique à lieu puisque les atomes de fer se séparent des autres éléments chimiques présents dans le système (MANGIN 2004 : 50, 147). V. Serneels (SERNEELS 1993 : 49) et A. M. Desaulty (DESAULTY 2008 : 158-167) ont établi une modélisation du comportement de ces éléments chimiques. Ils divisent ainsi les éléments chimiques en trois catégories, les sidérophiles[115], les sidérophobes ou lithophiles[116] et les intermédiaires. Les éléments sidérophobes sont des oxydes qui sont réduits à une température plus élevée que celle atteinte dans les fours de réduction directe, il s'agit de Si, Al, Ca, Mg, K, Na, Ti, Ba, Be, Rb, Sr, Th, Y, Zr, les Terres Rares et les Lanthanides (SAINT-DIDIER 2017a : 50-52). Ils sont censés se séparer totalement de la masse de fer. Les sidérophiles (**Fig. 40**) sont les oxydes qui sont réduits à une température inférieure ou égale à celle atteinte dans le four, ce sont le Cu et le Pb. Ils passent donc dans la masse métallique produite. Enfin, les éléments intermédiaires sont réduits à une température similaire à celle du fer. On les trouve dans la masse métallique et dans la scorie dans des proportions variables (SAINT-DIDIER 2017a : 50-52).

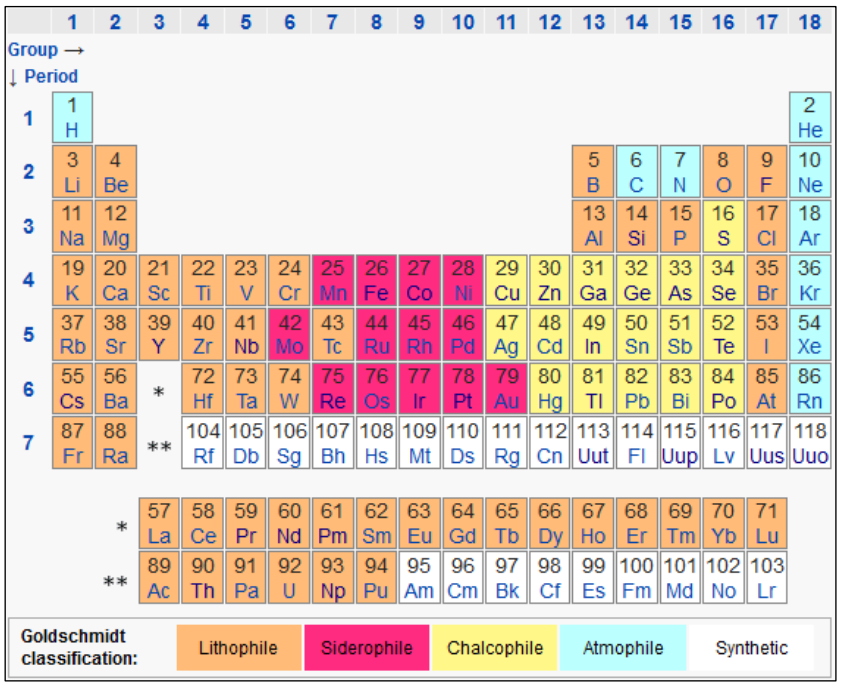


Fig. 40 : Comportement des différents éléments chimiques selon la classification de Goldschmidt

115. Éléments chimiques ayant une faible affinité pour l'oxygène et une très grande affinité pour le fer (MANGIN 2004 : 147).
116. Éléments chimiques ayant une forte affinité pour l'oxygène, c'est pourquoi ils sont fréquemment associés à des oxydes minéraux d'où leur abondance naturelle élevée parmi les silicates, et une faible affinité pour le fer (MANGIN 2004 : 147).

Ce classement est établi sur la base d'un milieu homogène et en équilibre thermique, or un four de réduction est hétérogène et les éléments chimiques n'y réagissent pas toujours comme il est prévu. Par exemple, le nickel et le cobalt sont sidérophiles pourtant ils sont retrouvés en quantité importante dans des scories d'Oulches (DIEUDONNE-GLAD 2010 : 321) et du Poitou (SAINT-DIDIER 2017a : 50). Il faut donc exclure les éléments chimiques au comportement irrégulier et rester prudent lorsque l'on s'appuie sur cette modélisation.

La réaction chimique qui se déroule dans les fours, milieu clos, s'appuie sur un principe important, la loi de conservation de la masse (SERNEELS 1993 : 14).

Loi de Lavoisier ou de conservation de la masse

« … car rien ne se crée, ni dans les opérations de l'art, ni dans celles de la nature, et l'on peut poser en principe que, dans toute opération, il y a une égale quantité de matière avant et après l'opération ; que la qualité et la quantité des principes sont les mêmes, et qu'il n'y a que des changements, des modifications. »

Lavoisier, *Traité élémentaire de chimie* (1789)

En résumé, dans un système clos « rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme ». La composition des scories est donc caractérisée par la somme de tous les matériaux présents lors de la réduction (SAINT-DIDIER 2017a : 49). Cela comprend les matières premières employées (minerai, charbon, argile, etc.) et les matériaux ajoutés dans le cadre de certains travaux (sable, etc.) (SERNEELS 1993 : 14). Il faut également prendre en compte l'air injecté et les fumées évacuées, soit Zn, As, CO et CO2 par exemple (MANGIN 2004 : 148).

Deux règles qui découlent de cette loi peuvent permettre de caractériser une partie de la signature chimique des scories, hors éléments volatils. La règle de l'héritage induit que les scories engendrées lors d'une opération de réduction conservent, dans leur composition chimique, des éléments majeurs contenus dans le ou les minerais utilisés ; c'est sur ce principe que s'appuie l'étude de la filiation des scories et du minerai. Une seconde règle, celle des coefficients de partage, indique que la répartition des éléments chimiques entre les produits de la réduction se fait généralement selon des coefficients fixes[117] (FLUZIN, PLOQUIN, SERNEELS 2000 : 114).

117. La somme de ces coefficients est égale à 1 (MANGIN 2004 : 148).

En théorie, on peut alors établir le bilan de matière qui suit :

minerai + combustible + paroi + air = métal produit + scories + gaz des fumées

Les rapports entre les éléments chimiques du minerai et de la scorie doivent donc être les mêmes (SERNEELS 1993 : 16). Le cas échéant, il faut comprendre les raisons de ce phénomène anormal (ajout, minerai non représentatif, contamination par la fusion de la paroi, etc.).

Dans les faits, ce bilan est difficile à appréhender, car les fragments de minerai trouvés en fouille ne sont pas forcément ceux qui ont été utilisés lors de l'opération, le combustible n'est pas toujours conservé, les gaz de fumés ne peuvent pas être appréhendés et les parois peuvent avoir été construites avec plusieurs types d'argile (SARRESTE 2011 : 158). De nouveau, pour pallier à ce problème, il faudrait multiplier les analyses afin d'obtenir la ou les compositions chimiques des parois, du minerai et des scories les plus fiables possible.

Les échantillons

Description

Un total de 107 échantillons a été analysé entre 2018 et 2021 par le laboratoire ALS Global. Parmi ces échantillons, 36 proviennent de la prospection pédestre réalisée à Boulogne entre 2017 et 2018. Le nombre d'analyses étant limité il a fallu faire des choix dans la sélection de ces échantillons afin qu'ils soient les plus représentatifs possible. Il a été décidé d'analyser des vestiges provenant de six ferriers sur les 43 recensés dans la forêt (F139/1, F193/2, F150/1, F154/2, F195/4, F489/1). Entre quatre et huit échantillons ont été analysés par ferrier en fonction de leur ampleur. De même, 36 échantillons proviennent des prospections dans la forêt de Châteauroux. Ils proviennent de dix ferriers distincts choisis selon leur typologie (F051, F085/1, F090, F105/3, F128, F179, F187, F188, F199 et F260). En outre, 15 échantillons proviennent des deux campagnes de fouilles réalisées sur le ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne. Enfin, 20 échantillons ont été analysés après la fouille du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux.

Préparation

La même méthode de préparation est appliquée à l'ensemble des échantillons. Ils sont lavés, puis leurs caractéristiques (dimensions, poids, description, etc.) sont enregistrées et ils sont photographiés. Les échantillons sont ensuite cassés à l'aide d'une massette ; les éléments les plus hétérogènes sont récupérés et conditionnés à part. Au moins 10 g de matière est préparé, lorsque c'est possible, afin de correspondre au mieux à la composition générale de l'échantillon et d'éviter les perturbations que peuvent entraîner certaines inclusions (effet de pépite) (MANGIN 2004 : 117-118 ; FLUZIN, PLOQUIN, SERNEELS 2000 : 113).

Lorsque certaines impuretés sont présentes, les échantillons sont polis pour les enlever entièrement et ainsi éviter de fausser les résultats. Chaque échantillon reçoit une numérotation continue caractéristique de chaque site. Il s'agit de « ECH_36_01 à n » pour ceux issus des prospections en forêt de Châteauroux ; « ECH_41_01 à n » pour ceux provenant de la prospection en forêt de Boulogne-Chambord ; « ECH_155/1_01 à n » pour les échantillons mis au jour lors de la fouille du ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne ; et « ECH_090_01 à n » pour ceux originaires de la fouille du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux. Le broyage et les analyses chimiques par ICP-MS sont ensuite réalisés par le laboratoire ALS Global. Cette méthode fournit la concentration de 65 éléments, dont 13 oxydes (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O, Cr_2O_3, TiO_2, MnO, P_2O_5, SrO et BaO) et 52 éléments traces.

Les résultats de ces analyses sont présentés sous forme de tableaux où les compositions chimiques des échantillons apparaissent en ligne. Chaque échantillon est accompagné d'une description, du lieu de provenance et d'un numéro de référence. Le tableau général comprend les éléments majeurs en premier, puis les éléments traces classés par ordre alphabétique (***cf* vol. 4, tab. 4 et 6**).

Dans la présentation des résultats, le fer se trouve sous forme d'oxydes « Fe_2O_3 », c'est pourquoi chaque échantillon est caractérisé par une « Perte au feu ». Cette dernière correspond au rapport entre le poids de l'échantillon avant traitement, et après séchage (120°C) puis grillage oxydant (1050 - 1100°C). Cela revient à faire le rapport entre le poids de l'échantillon avec et sans ses éléments volatils (eau, soufre, arsenic, etc.). Ce rapport, appelé PF (ou LOI en anglais), est généralement négatif dans les scories de réduction directe, ce qui est un bon indice de leur non-altération (MANGIN 2004 : 143).

Traitement des données

L'ensemble des analyses est réuni dans un tableau par site. Les différents types de vestiges analysés sont groupés dans le tableau afin de les individualiser au besoin. Ces tableaux sont ensuite divisés en séparant les éléments majeurs et mineurs (en %) des éléments traces (en ppm) afin de faciliter leur lecture et de différencier les traitements statistiques réalisés.

Caractérisation des techniques de production : homogène ou non ?

Des traitements statistiques simples (pourcentage, moyenne, écart-type) sont d'abord appliqués par type d'échantillons (scories, laitier, minerai, paroi) afin de définir leur degré d'homogénéité (CHENORKIAN 1996 ; MINVIELLE, SOUIAH 2003).

Les éléments majeurs sont traités en premier puis c'est au tour des éléments traces. Des projections de leur teneur sont réalisées à l'aide de diagrammes en courbes pour observer leur comportement et ainsi mettre en évidence d'éventuels comportements anormaux (SARRESTE 2008 : 345-346, SAINT-DIDIER 2017 : 158-159). Ces diagrammes de dispersion permettent de visualiser les courbes des teneurs. Si ces courbes se superposent sans se croiser, c'est que les compositions des échantillons sont proches (homogènes), même si les proportions varient. En revanche, si ces courbes se coupent, cela peut indiquer une différence de composition chimique (hétérogènes) (SARRESTE 2008 : 345-346).

Groupes de provenance et filiation

La filiation entre le minerai et un groupe de scories s'appuie principalement sur deux phénomènes. D'une part, la présence d'un ou plusieurs éléments chimiques présents en proportion exceptionnelle, d'autre part l'existence de corrélation entre certains éléments chimiques majeurs ou traces (SARRESTE 2008 : 344). Ces deux phénomènes ne s'excluent pas forcément au sein d'un même échantillon.

Éléments en proportion exceptionnelle

Pour mettre en évidence les éléments présents en proportion exceptionnelle on représente les éléments majeurs normés à 100 et exprimés en %, dans un diagramme en courbe et on observe la dispersion de leur teneur. La normalisation du poids des éléments pour 100 g d'échantillon en base anhydre (élimination de la perte au feu) permet de s'affranchir des éléments volatils (SARRESTE 2008 : 429). Pour ce faire on utilise la formule suivante :

$$\mathbf{SiO_2 + Al_2O_3 + FeOtot + MnO + MgO + CaO + Na_2O + K_2O + P_2O_5 + \Sigma\ traces = 100\ \%}$$

Une fois normés, on divise le poids de chaque élément ou oxyde analysé par sa masse molaire ou moléculaire (SERNEELS 1993 : 18). Cette opération est représentée par l'équation :

Poids des éléments/100g d'échantillon= (% poids oxyde x poids anatomique) / poids moléculaire

Son résultat s'exprime en millimole (millième de mole).

Sous les 5 %, les teneurs sont faibles. On considère ensuite les éléments les plus représentés et on compare leur teneur dans le minerai et les scories. En effet, si un élément en proportion exceptionnelle est observable uniquement dans les scories, il ne permet pas de préciser une relation minerai-scorie. Il peut tout de même permettre de caractériser le groupe de scorie dont il provient, soit le groupe de production déterminant l'atelier (SARRESTE 2008 : 345). Le premier élément chimique que l'on observe dans ces vestiges est la teneur en oxyde de fer. On réalise ensuite le même travail pour les éléments traces normés et dosés en ppm.

Des signatures chimiques définies grâce aux analyses factorielles (ACP)

Dans le but d'approfondir les similitudes chimiques qui peuvent exister entre des scories et/ou du minerai, et ainsi établir clairement l'existence d'un groupe de provenance et/ou distinguer une filiation entre minerai et scories certains chercheurs, notamment S. Leroy, travaillent depuis quelques années au développement de l'utilisation d'une méthode d'analyse multivariée (LEROY 2010 : 67-72, CAILLAUD 2017 : 150). Cette méthode s'appuie sur la présence, dans la signature chimique des vestiges, de couples d'éléments chimiques traces corrélés, c'est-à-dire de deux éléments chimiques dont les teneurs sont inversement proportionnelles. Le rapport de ces éléments est défini comme étant caractéristique du minerai d'origine (COUSTURES *et al.* 2003 : 602 ; CAILLAUD 2017 : 120).

L'ensemble des éléments traces ne peuvent toutefois pas être utilisés. Ceux dont le comportement est instable (As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V et Zn) et ceux dont les teneurs sont proches de la limite de dosage (généralement moins de 2 ppm : Cs, Ge, Hf, Nb, Sn, Ta, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se, Te, Tl, Ag, Cd, Li, Mo, Sc) sont écartés (SARRESTE 2008 : 345-346). La détermination de ces couples d'éléments dépend également de leur charge et de leur rayon ionique. La sélection finale des éléments traces pouvant être employés dans les analyses statistiques qui

nous intéressent est largement développée dans la thèse d'E. Caillaud (CAILLAUD 2017 : 137). Elle recense finalement 22 éléments chimiques fiables (**Tableau 1**).

Tableau 1 : Éléments chimiques discriminants les signatures chimiques des régions métallurgiques (CAILLAUD 2017 : 137)

La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er
Tm	Yb	Lu	Y	Zr	Cs	Ba	Hf	Sr	Th	Rb

Pour réaliser l'analyse factorielle, on ne peut pas utiliser les teneurs brutes en éléments traces des déchets de réduction. En effet, l'utilisation de ce genre d'analyse statistique est influencée par l'ordre de grandeur des variables étudiées (DISSER 2014 : 114). Pour éviter cette influence, il est nécessaire de réaliser une transformation logarithmique des rapports d'éléments corrélés définis précédemment (BAXTER 2008 : 974). Une formule mathématique développée par S. Leroy est alors utilisée (LEROY 2010 : 207-216) :

$$\mathbf{X_{ij} = \log (E_{ij}) - \frac{1}{n} * \sum_{k=1}^{n} log(Eik)}$$

Selon l'auteure, « X_{ij} est la valeur transformée de la variable j ; n, le nombre de variables élémentaires (éléments chimiques) ; Eij est la teneur de l'élément transformé » (LEROY 2010 : 208). Cette formule prend en considération les teneurs de tous les éléments chimiques. Or, les teneurs en limite de détection ne peuvent pas être considérées comme nulles. S. Leroy préconise donc de leur attribuer une valeur artificielle correspondant à la moitié de la valeur de la limite de détection (LEROY 2010 : 209). En outre, il est important de retirer aléatoirement un élément chimique du tableau de valeur transformée pour ne pas avoir de combinaisons linéaires par la suite (LEROY 2010 : 232).

Une fois les données transformées, pour définir l'existence, ou non, d'une population *k* composée de plusieurs échantillons disposant de caractéristiques chimiques communes, on effectue une analyse par composante principale (ACP). Ce type d'analyse multivariée est la plus probante en archéométallurgie (LEROY 2010 : 72-78 ; CAILLAUD 2017 : 151-512). En outre, il s'agit d'une approche non supervisée qui prend en compte chaque échantillon individuellement (LEROY 2010 : 72). Cette approche descriptive permet de visualiser toutes les variables considérées sur un graphique afin d'identifier d'éventuels « groupements ».

Le principe de l'ACP est simple, les *n* variables (composition chimique) d'un échantillon peuvent être représentées dans *n* dimensions de l'espace. Le nombre de variables étant important, il faut trouver un moyen de le réduire notamment en diminuant leur redondance en termes d'information. La réduction de la dimension est obtenue en identifiant les directions principales (composantes principales), nommées PC1, PC2, PC_n. Une fois déterminées, on projette les rapports d'éléments sur les composantes (CAILLAUD 2017 : 152). Dans le nuage de point formé, PC1 correspond à la plus grande dispersion de composition des variables élémentaires (variance maximale) et PC2, orthogonale à l'axe 1, fait apparaître les relations qui existent entre certains échantillons (individus) ou entre des ensembles d'échantillons (LEROY 2010 : 72 ; CAILLAUD 2017 : 152). Ces axes permettent d'identifier la direction principale du nuage de point et de décrire la dispersion des données. Cela revient à étudier la variabilité des données du nuage de point produit en analysant la structure d'une matrice variance-covariance (LEROY 2010 : 72 ; PHILIPPEAU 1986).

Il faut ensuite déterminer le nombre de composantes principales à retenir pour résumer l'information initiale. Pour ce faire, le logiciel R utilisé[118] calcule la variance des éléments chimiques dans chaque échantillon. La formule de la variance étant :

$$\mathbf{V = \sigma^2}$$

Où σ est l'écart type.

Une fois les variances obtenues, le logiciel définit un diagramme en barre avec les valeurs décroissantes de ces dernières. On peut ainsi sélectionner le nombre d'axes (composantes principales) représentatifs selon deux critères. Le critère du coude ; en observant les variances, on repère le décrochement (coude) des valeurs suivi d'une décroissance régulière. On sélectionne alors tous les axes situés avant ce décrochement (**Fig. 41**). Ensuite, on applique la **règle de Kaiser** qui stipule que la somme des axes (appelés aussi valeurs propres) étant égale au nombre de variables, leur moyenne vaut 1. Un axe est donc intéressant à analyser lorsque sa valeur propre est supérieure à 1. Ainsi, seuls les axes qui répondent à ces critères sont conservés.

118. Dans le cadre de cette thèse, toutes les ACP sont réalisées à l'aide du logiciel « R » (COLIN *et al.* 2017) et de la fonction « FactoMinR » (LALLOUE *et al.* 2015). Les graphiques de visualisation des résultats sont générés avec la fonction « Explor » (BARNIER 2020).

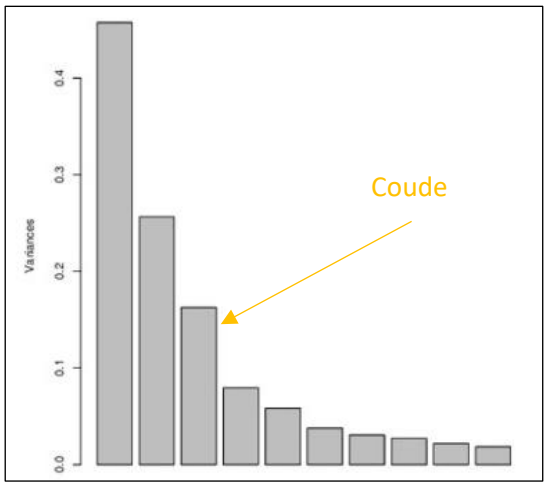


Fig. 41 : Exemple de diagramme en barre des variances d'une ACP

Le résultat d'une ACP prend la forme de deux types de représentation graphique. D'une part, une projection sur le plan principal (également nommé 1-2), celui de la plus grande variance (formé par les deux axes, PC1 et PC2) (LEROY 2010 : 72). Cette projection présente les relations qui existent entre les échantillons. Si un nuage de point est concentré, cela signifie que la signature chimique des échantillons est similaire, donc qu'ils sont issus d'une origine commune. Dans ce cas, le nuage de point résultant de l'ACP est caractéristique d'une zone de production. On peut y ajouter de nouveaux échantillons comme échantillons supplémentaires pour vérifier s'ils s'insèrent parmi les autres, et donc s'ils ont la même origine, ou au contraire s'ils s'en distinguent. D'autre part, on peut observer les composantes principales dans un cercle de corrélation (de rayon 1) (**Fig. 42**). Ce dernier signale les corrélations des variables d'un point de vue graphique. Les variables sont représentées par des flèches. La valeur des vecteurs indique globalement la variance des variables. Plus elles sont proches des axes plus elles contribuent à leur construction (LEROY 2010 : 73).

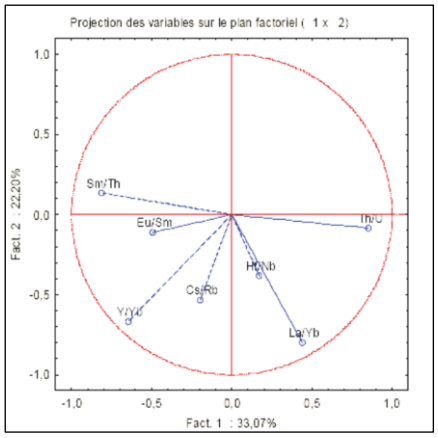


Fig. 42 : Exemple de projection d'une ACP dans un cercle de corrélation (LEROY 2010 : 78)

Restitution massique de la production du fer

Bilan de matière

À partir des analyses chimiques, V. Serneels propose une méthode d'évaluation du rendement de la réduction d'un site métallurgique. Il développe ce procédé à la suite de la fouille de l'atelier mérovingien des « Boulies » à Boécourt (Suisse, Jura) (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 99-106 ; SERNEELS 1993 : 17-19).

Cette estimation est possible grâce au bilan chimique du site de réduction que l'on cherche à caractériser. En effet, selon la loi de Lavoisier, explicitée précédemment, la masse des éléments chimiques dans le four avant la réduction sont les mêmes que ceux que l'on retrouve dans les produits formés à la fin de l'opération (SERNEELS 1993 : 18 ; SARRESTE 2008 : 429), hors éléments volatils (CREW 2000). En normalisant les teneurs à 100 en base anhydre (élimination de la perte au feu), on peut toutefois éliminer les éléments volatils (SARRESTE 2008 : 431). Dans ce cadre, si l'on soustrait la masse de fer dans le minerai d'origine et la masse de fer dans les scories, il est possible d'établir la masse de fer produite lors d'une opération (SERNEELS 1993 : 17-18 ; SARRESTE 2008 : 429).

En reprenant la formule précédemment citée et en enlevant les éléments volatils qui nous échappent, l'équation du bilan de matière est donc :

masse Minerai + masse Combustible + masse Parois = masse Scories + masse Fer

On converti ensuite le poids des oxydes en poids d'éléments pour 100 g d'échantillons. Le système dans le four de réduction s'écrit ainsi pour l'élément fer par exemple :

$$M \times (mFe/_{100g\ minerai}) + P \times (mFe/_{100g\ paroi}) = mFe/_{100g\ scorie} + mF \text{ g de fer métal}$$

Dans cette équation M et P sont respectivement la quantité de minerai et la quantité de parois nécessaire pour obtenir 100 g de scories. Pour trouver M, P et F, il faut réaliser les moyennes de composition des échantillons par type. Ce qui peut être biaisé lorsque les valeurs sont trop dispersées ou le nombre d'échantillons analysés trop faible (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 332). Pour vérifier la cohérence de ces moyennes calculées, il faut les comparer aux moyennes mesurées. Selon N. Dieudonné-Glad, un écart compris entre 10 et 20 % est satisfaisant et permet de valider les résultats (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 332). Des écarts plus importants doivent entrainer une réflexion sur la méthode de calcul utilisée ou sur la cohérence du système métallurgique.

Rendement et Indice de production

Lorsque l'on a restitué la quantité de minerai, de parois et de fer produit pour 100 g de scorie, on peut calculer le rendement de la production. Il s'agit en fait du pourcentage de fer extrait du minerai. Pour le trouver, il faut diviser la masse de fer produite à la fin de la réduction par la masse de fer présente dans le minerai. En multipliant le tout par 100, on obtient le pourcentage de fer produit à partir du minerai, soit :

$$\textbf{Rendement} = (\textbf{F g de fer métal} / (\textbf{M} \times (\textbf{Fe}/_{\textbf{100g minerai}})) \times \textbf{100}$$

L'indice de production d'un site permet d'estimer la quantité de fer produit (SARRESTE 2008 : 221-222, SAINT-DIDIER 2017a : 187-188). Il correspond à :

Indice de production : F g de fer / 100 g de scorie

Restitution de la quantité de fer produite sur un site

Finalement, pour définir la quantité de fer totale produite sur un site métallurgique, il faut multiplier l'indice de production par le volume de scorie restitué sur le site.

Quantité de fer totale = Indice de production x Masse de scorie

Ce travail nécessite au préalable de restituer la masse des scories de l'atelier. Pour ce faire, on établit tout d'abord la masse totale des déchets métallurgiques présents dans un volume de référence. On utilise les résultats obtenus lors de l'étude des sondages de références réalisés au sommet de chaque ferrier fouillé (*Supra* 3.2.2). Puis, on calcule le volume approximatif total des ferriers grâce à la formule développée par P.-M. Decombeix ; dans laquelle il estime qu'un ferrier à une forme de calotte et donc que son volume est égal à (DECOMBEIX 2004 : 196-197) :

$$\textbf{V} = \textbf{0,4} \times \textbf{L} \times \textbf{l} \times \textbf{h}$$

Le coefficient de 0,4 est obtenu à la suite de simulations mathématiques et expérimentales. P.-M. Decombeix considère que cette formule laisse une erreur géométrique de 20%, si les limites les plus évidentes du ferrier sont bien délimitées (SARRESTE 2008 : 95, SAINT-DIDIER 2017a : 85).

Enfin, disposant de la masse de déchet dans les sondages, on peut en déduire leur masse totale dans chaque ferrier.

Masse de scories = (masse des scories dans le sondage x Volume total du ferrier) / Volume du sondage

Il existe des biais concernant la restitution de la masse de fer produite sur un site. En effet, en admettant que le rendement soit constant lors de la réduction et que l'on dispose d'une restitution fiable de la masse de scories totale, il faut savoir que la totalité du fer ne s'agglomère pas à l'éponge lors de cette opération. Or, cette perte est impossible à chiffrer (SARRESTE 2011 : 222). La masse de fer restituée est donc légèrement surestimée. En outre, les scories de réduction provenant d'un même site peuvent avoir des concentrations en fer variables (scories denses, scories légères, laitiers), même si le même minerai est utilisé. Ces variations induisent généralement des différences dans l'aspect externe de ces scories. Celles qui sont distinctes sont généralement créées dans des conditions différentes (distance par rapport à la paroi, position par rapport à l'aération, etc.). Il faut donc pondérer le calcul la masse de fer restituée en fonction de la quantité des différents types de scories d'un site (SERNEELS 1993 : 16).

Un autre type de vestige fournit des renseignements sur l'une des matières premières largement employée en métallurgie, le bois. En effet, la réduction du minerai nécessite l'exploitation d'une grande quantité de bois. L'étude des charbons retrouvés dans les ateliers fouillés élargit ainsi notre vision de l'artisanat du fer à une autre activité étroitement associée, le charbonnage.

3.3.4 Étude anthracologique

Les études anthracologiques ont été réalisées sur les charbons de bois mis au jour lors des fouilles archéologiques. Ces derniers proviennent du substrat anthropique de la fouille et de quelques scories. Leur étude a deux objectifs ; le premier est de définir les échantillons les plus à même de fournir une datation absolue par le ^{14}C ; le second est de mieux comprendre la stratégie d'approvisionnement et les pratiques associées aux activités métallurgiques (essences utilisées, calibrage du bois, saison d'abattage, stockage, etc.). On cherche ainsi à restituer les pratiques depuis la collecte des bois jusqu'à leur utilisation dans les fours.

En ce qui concerne le second objectif, pour avoir des réponses suffisamment fiables il est nécessaire de disposer d'un corpus de charbons de bois représentatif et provenant d'une unité stratigraphique ou d'un groupe d'unités stratigraphiques cohérent. Pour vérifier que cette condition est bien remplie, des courbes dites « effort-rendement » sont établies (CHABAL *et al.* 1999 : 66). D'après cette courbe, L. Chabal montre qu'il faut environ 250 charbons de bois par échantillons (ou par US) pour être représentatif.

Description des échantillons

Deux méthodes de prélèvements des charbons de bois sont mises en place sur les sites. D'une part, chaque individu dont les dimensions sont supérieures au centimètre est prélevé, enregistré et localisé au tachéomètre. Ce travail est réalisé lors des fouilles de 2018 en forêt de Boulogne et de 2019 en forêt de Châteauroux. D'autre part, des charbons de bois sont récupérés par tamisage de prélèvements sédimentaires. Le volume de chaque prélèvement est d'abord mesuré afin d'évaluer la concentration en charbon, puis ils sont tamisés à l'aide d'un tamis à mailles de 2 mm. Ce travail n'est effectué que sur le site F155/1 de la forêt de Boulogne car les problématiques liées à l'anthracologie n'étaient pas développées avant 2020 dans le cadre de ce travail.

La fouille du ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne en 2018 a permis d'isoler 63 échantillons issus de 6 US différentes. En 2020, la fouille de ce même ferrier a livré 272 échantillons de charbon de bois provenant de 20 US, dont celles associées à un atelier de forge. Le nombre d'échantillons mis au jour dans ce massif est donc faible par rapport à l'attente d'une telle activité artisanale liée au feu. Leur faible nombre et leur mauvais état de conservation sont probablement le résultat d'un enfouissement dans un sol très acide. Dans la forêt de Châteauroux, la fouille du ferrier F090 a mis au jour 216 individus étudiables au sein de 19 US distinctes.

Préparation des échantillons

Le protocole impose tout d'abord un séchage à l'air libre de l'ensemble des charbons de bois prélevés, ils sont ensuite décrits et mesurés. Les charbons recueillis ne subissent aucun traitement préalable à leur observation au microscope exception faite d'un léger brossage lorsqu'ils s'avèrent être couverts de sédiment ; parmi ceux prélevés en motte, 500 mL de matière est récupéré puis le sédiment est tamisé à l'aide d'un tamis à maille de 2 mm. Une fois

que la terre est évacuée, les charbons de bois seuls sont pesés afin de définir leur concentration par prélèvement. Chaque échantillon est ensuite observé à la loupe binoculaire (grossissement x 1 à x 60) et à l'aide d'un microscope épiscopique (grossissement x 200 à x 500). Pour chacune des études, les données sont enregistrées dans un tableau et les échantillons sont conditionnés dans un sachet numéroté.

Méthode

Identification des taxons

L'identification du taxon d'un individu s'effectue sur cassure fraîche réalisée d'abord perpendiculairement à l'axe de la tige du charbon de bois (**Fig. 43**). On observe cette face, appelée coupe transversale, à la loupe binoculaire, afin d'identifier les premiers critères anatomiques propres à chaque espèce (présence ou absence de pores, organisation de ces pores, etc.). Puis, on regarde la coupe tangentielle (perpendiculaire aux rayons ligneux) et la coupe radiale (parallèle aux rayons ligneux) afin de déterminer les critères plus ténus (présence ou non d'épaississement spiralé, perforation unique ou scalariforme) à l'aide d'un microscope épiscopique.

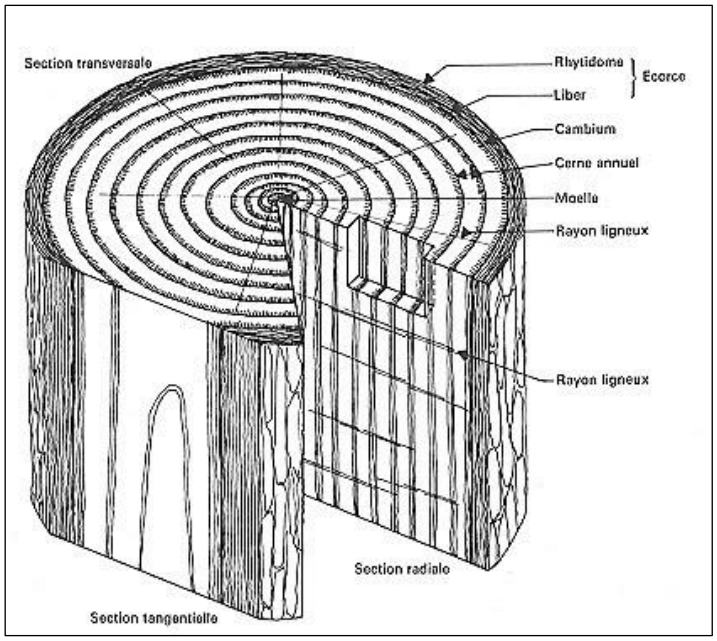


Fig. 43 : Structure anatomique du bois (SCHWEINGRUBER 1978)

Ensuite, ces diverses caractéristiques sont comparées à un atlas xylologique contenant les clefs de détermination des espèces, des photographies et des dessins afin d'établir le taxon de chaque charbon de bois (SCHWEINGRUBER 1978).

La précision de cette détermination dépend de la conservation des charbons et du type de taxon, car certains sont anatomiquement très similaires. Dans ce cas, on s'arrête à l'identification du genre du taxon (exemple : Quercus). Une fois ce travail réalisé, il est possible de proposer la liste des espèces rencontrées (RAMEAU, MANSION, DUME 1989).

Restitution du diamètre des bois

Pour restituer le diamètre initial d'un charbon, il faut comprendre le processus de fragmentation des bois carbonisés. Lors de la carbonisation, une bûche se fragmente en une multitude de charbons provenant du cœur jusqu'à la périphérie ce qui conduit à trouver des charbons de rayons de courbure, et donc de diamètre, très variés pour un même bois initial (**Fig. 44**). En outre, certains charbons sont réduits en cendre ou en poussière, ou employés pour d'autres activités. On ne retrouve donc pas la totalité des charbons provenant d'une même bûche sur un site. Une méthode en quatre étapes est utilisée pour retrouver les diamètres des bois (PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 159-165, 191- 237).

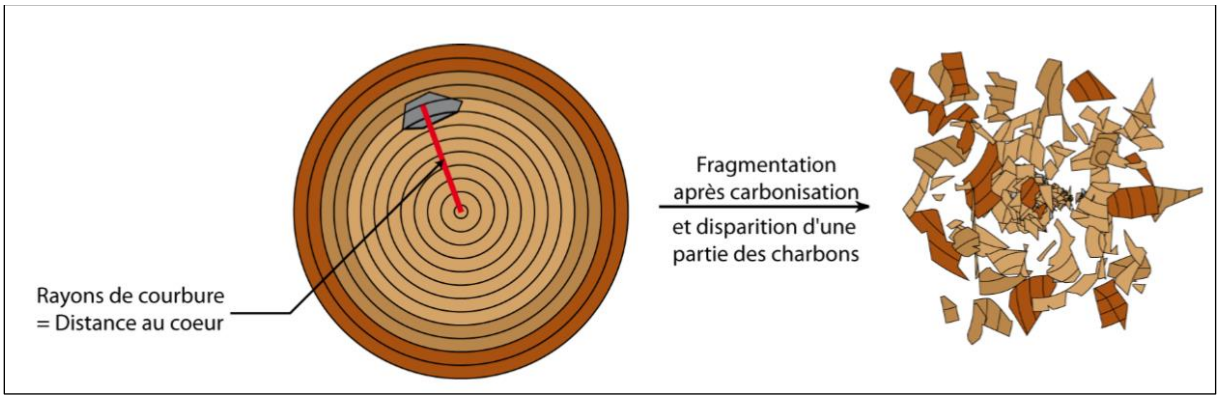


Fig. 44 : Schéma de la fragmentation d'une bûche lors de sa carbonisation
(PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 160)

Tout d'abord, il faut mesurer le rayon de courbure visible sur la coupe transversale de chaque charbon à l'aide d'une loupe binoculaire associée à une caméra. La microphotographie réalisée est ensuite ouverte dans un logiciel d'analyse d'image, ImageJ, qui permet de faire des mesures précises (PARADIS-GRENOUILLET *et al* 2010 : 197-202). Il s'agit dans les faits de mesurer la distance de chaque charbon par rapport au cœur du bois. Pour cela, il faut choisir le cerne sur lequel on veut travailler et les deux rayons sur lesquels la mesure va être effectuée. Il est important de privilégier des rayons distants d'au moins 2 mm, puis de sélectionner ensuite quatre points. Le premier doit être situé à l'intersection entre l'un des rayons étudiés et la limite de cerne choisie, le deuxième est placé sur le même rayon, mais le plus loin possible. Le

troisième point est ensuite pris n'importe où sur le second rayon. Enfin, le quatrième est situé à l'intersection entre le rayon et la limite de cerne de départ (PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 226). Il est nécessaire de reproduire la mesure au minimum trois fois sur le même cerne afin de vérifier l'homogénéité des rayons de courbure mesurés. Une fois cette manipulation terminée, l'application mesure l'angle et la distance entre les rayons afin d'obtenir automatiquement, à partir d'une formule trigonométrique, le rayon de courbure (PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 226).

La seconde étape pour restituer le diamètre des bois est de corriger les rayons obtenus. En effet, la carbonisation des bois entraîne leur réduction, c'est pourquoi les rayons mesurés par le logiciel sont sous-évalués. Il faut donc appliquer un facteur correctif afin d'obtenir les véritables mesures à traiter, cette étude s'appuie sur les travaux d'expérimentation archéologique menés par S. Paradis-Grenouillet et A. Dufraisse qui mettent en évidence un retrait distinct selon les taxons (PARADIS-GRENOUILLET, DUFRAISSE 2018 : 258-267). Elles établissent que le facteur correctif moyen pour les taxons observés lors de cette étude (chêne, hêtre) est de 20%.
La troisième étape est la réassociation virtuelle des charbons provenant de bûches de même diamètre. Pour ce faire, chaque mesure est placée dans l'une des cinq classes de rayon de courbure établie par S. Paradis-Grenouillet (PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 240). Pour interpréter les résultats, on compare les spectres dendro-anthracologiques obtenus à ceux d'histogrammes de référence réalisés à partir d'assemblages théoriques de bûches aux diamètres différents (PARADIS-GRENOUILLET 2012 : 297-307). Ainsi, on peut restituer les caractéristiques du tas de bois utilisé et carbonisé pour l'activité métallurgique.

Autres informations

L'étude macroscopique des charbons de bois permet également l'enregistrement d'un certain nombre de critères servant à appréhender les types de bois employés par les artisans. Il est ainsi possible de relever :

- La présence d'indicateurs de duraminisation

Certaines espèces de bois (chêne, châtaignier) produisent au cours de leur croissance des excroissances parenchymateuses (tissus végétaux) à l'intérieur des vaisseaux du bois de cœur (**Fig. 45**). Ces dernières sont appelées **thylles** et caractérisent le phénomène de duraminisation. Leur absence dans un fragment de charbon signale que ce dernier provient très probablement

de la partie périphérique de l'arbre, nommée aubier. L'absence de thylle associée à la présence de cernes très courbes indique l'utilisation de bois inférieur à 6 cm de diamètre. Ce sont ces échantillons qui sont préférés pour les analyses ^{14}C, car cette technique fournit la date approximative à laquelle le bois est mort [119]. Or, un bois de branche est un bois jeune, alors qu'un bois de tronc peut avoir plusieurs centaines d'années avant d'être coupé et utilisé. En supposant que les bois sont rapidement employés par la métallurgie après avoir été coupés, si l'on souhaite dater l'activité métallurgique il est préférable d'analyser le bois sans duraminisation qui apporte la datation la plus proche de celle de l'abattage.

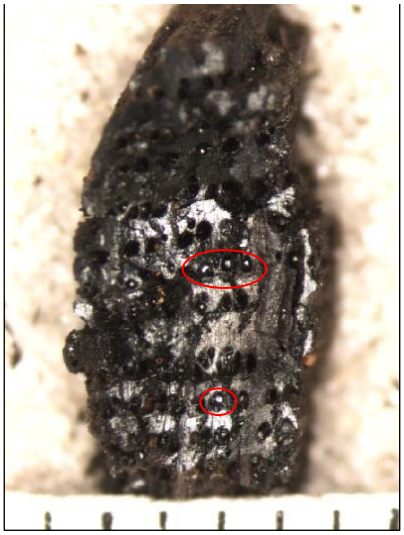


Fig. 45 : Fragment de charbon de bois présentant de nombreux thylles (entourés en rouge) – Fouille Boulogne 2020

L'évaluation qualitative de l'obturation de pores établissant le degré de duraminisation des bois s'appuie sur les classes établies par A. Duffraisse (DUFRAISSE *et al* 2018 : 242-247).

0 = Absence de thylle
1 = Quelques thylles
2 = 50% des pores présentent des thylles
3 = Quasi-totalité des pores obstrués par des thylles

- L'âge des bois exploités

Pour établir l'âge des bois employés, il suffit de compter le nombre de cernes observés, chaque cerne indique une année de vie. Ainsi le nombre total de cernes dans un fragment de charbon de bois correspond au nombre d'années minimum au cours desquelles le bois a grandi (**Fig. 46**).

119. https://www.radiocarbon.com/francais/effet-vieux-bois.htm



Fig. 46 : Fragment de charbon de bois présentant au moins huit cernes distincts – Fouille Châteauroux 2019

- Le mode de débitage

On examine si les échantillons disposent encore de leur écorce ou s'ils en sont dépourvus, s'ils présentent des traces de découpe ou non, etc.

- L'état sanitaire des bois

Cet état est déduit de la présence plus ou moins importante de fentes de retrait[120] (**Fig. 47**), de galerie d'insecte ou encore de champignons indiquant l'utilisation d'un bois vert ou plutôt sec lors de la carbonisation.



Fig. 47 : Fragment de charbon de bois présentant plusieurs fentes de retrait – Fouille Boulogne 2020

120. Fentes provoquées dans le bois par son séchage.

Ces études mobilisent un vocabulaire spécifique et des abréviations qu'il faut expliciter :

- « Fc » signifie « feuillage caduc ». Parmi le genre Quercus, il est en effet possible de différencier anatomiquement les chênes à feuillage caduc et ceux à feuillage persistant.
- « Rosacaeae Maloïdeae », ce terme regroupe plusieurs espèces difficilement différenciables d'un point de vue anatomique telles que les *Pyrus, Malus, Craeteagus, Sorbus*, etc.
- « Indet » qualifie les individus ne présentant aucun critère anatomique visible (écorce, tissu non différencié, charbon vitrifié, etc.).

Les études anthracologiques permettent ainsi de compléter nos connaissances des sites métallurgiques en se tournant vers l'étude de l'activité de charbonnage qui y est étroitement liée. Elles restituent ainsi les essences employées par les métallurgistes ; caractérisent, au moins en partie, l'environnement dans lequel ces bois ont grandi ; et informent sur les conditions d'abattage et de stockage des bois.

Conclusion

Ce travail de recherche emploie de nombreuses méthodes d'étude permettant, en croisant l'ensemble des données, de répondre aux différentes échelles de problématiques. Elles sont regroupées en trois grandes catégories : les archives, les données de terrain et les informations acquises lors des études et analyses de mobiliers.

Les archives iconographiques et textuelles ne fournissent aucune information directe concernant l'artisanat du fer, mais sont d'un intérêt indéniable pour restituer l'emplacement des ateliers, l'environnement forestier dans lequel les artisans ont pu s'implanter et le devenir des déchets au cours du temps. Les nombreuses opérations de terrain réalisées fournissent le support de documentation nécessaire à la compréhension des sites métallurgiques ; de façon large avec les prospections, puis plus détaillée avec les fouilles. Le protocole d'étude de ces travaux est identique lors des prospections de deux massifs du corpus et lors des fouilles des deux ateliers, néanmoins il peut être adapté en fonction des contraintes rencontrées. L'ensemble des vestiges mis au jour lors de ces opérations est ensuite observé en laboratoire selon diverses techniques. La participation de spécialistes et/ou leurs conseils concernant le mobilier non métallurgique sont des atouts essentiels pour une bonne compréhension des sites. Il en va de même pour

l’examen des charbons de bois apportant une vision plus large de l’artisanat du fer et des activités dont il dépend.

Finalement, les données récoltées sont acquises grâce à des méthodes et des protocoles précis et reproductibles dont les potentiels biais sont connus et pris en compte. Il s’agit donc d’une base de travail solide afin de caractériser les espaces sidérurgiques de ce corpus et de les comparer en eux.

Partie 2

Caractérisation des zones sidérurgiques des forêts de Boulogne-Chambord et de Châteauroux et mise en évidence d’ensembles cohérents

Après avoir présenté les différentes méthodes d'étude employées ainsi que le contexte historique et historiographique des espaces étudiés, la seconde partie de cette thèse vise à caractériser les régions métallurgiques. Pour ce faire, on s'appuie tout d'abord sur la morphologie, les dimensions des sites et leur mobilier. Ensuite, on cherche à comprendre leur organisation spatiale et les facteurs d'implantation qui ont pu être pris en compte par les métallurgistes. On étudie dans le détail les divers vestiges de production qui composent ces sites afin, d'une part de caractériser les activités qui y ont eu lieu (réduction, forge, techniques de production, types de structures employées, etc.) ; d'autre part de mettre en évidence l'existence d'éventuelles caractéristiques discriminantes[121] permettant de définir des « familles » de site (Chap. 4 et 5). Pour ce faire, on s'appuie notamment sur l'hypothèse selon laquelle des conditions de production similaires doivent normalement engendrer des déchets semblables (SERNEELS, MERLUZZO, LEROY 2004 : 100).

Dès lors qu'ils sont reconnus, les caractéristiques discriminantes des ateliers métallurgiques sont confrontées à d'autres données qui n'ont pas été recueillies de manière systématique. Il s'agit tout d'abord des datations (céramique ou ^{14}C) afin d'établir si certaines caractéristiques d'un ou plusieurs sites correspondent à une même période ou non. Ensuite, on les compare à la signature chimique des quelques ateliers pour lesquels cette information a été obtenue dans le cadre de cette thèse. Enfin, la composition des scories étudiées en métallographie est également prise en considération. Le croisement de ces données vise à définir si l'activité métallurgique, au sein des deux régions métallurgiques étudiées, est homogène ou non et comparer les deux régions.

Confronter les données pour mettre en évidence des groupes métallurgiques est un travail régulièrement mené ailleurs en France et en Suisse par exemple. La véritable originalité de notre recherche est de tenter d'identifier des groupes d'ateliers aux caractéristiques communes grâce à une analyse multifactorielle (Chap. 6). Cela permet de confirmer, ou non, de façon objective une interprétation fondée sur une grande masse de données. Le ou les groupes de sites aux caractéristiques similaires sont nommés des **ensembles sidérurgiques**.

121. Une caractéristique discriminante est considérée dans cette recherche comme une donnée indiquant un type de production métallurgique (ex : proportion importante de scorie interne au détriment des scories écoulées, présence d'un certain sous-type de scorie ou de paroi, etc.).

Chapitre 4 - Une activité métallurgique médiévale dans le massif forestier de Boulogne-Chambord

4.1 Les ateliers métallurgiques

Plusieurs types de structures archéologiques, associées à la production du fer, sont présents dans ce massif. On observe des sites métallurgiques noirs avec un ferrier de faible épaisseur, des aires d'épandage de scories et, plus rarement, des zones de rejet ponctuel des scories. Il est important de les différencier car les informations qu'ils apportent n'ont pas le même intérêt.

4.1.1 Les sites métallurgiques noirs

Les sites noirs sont composés d'un amas de scories qui forme une faible butte, avec une ou plusieurs élévations plus ou moins hautes. Ils sont constitués d'un sédiment sablo-limoneux noir à brun mélangé à des scories relativement fragmentées et principalement concentrées au sommet des buttes (**Fig. 48**). Ces sites sont au nombre de 43 et sont faiblement perturbés par l'homme. Il faut toutefois noter que les vestiges de douze d'entre eux sont en partie récupérés et que certains sont traversés par des chemins forestiers ou des layons[122]. Ces sites ont des vestiges métallurgiques en position primaire.



Fig. 48 : Photographie du ferrier F195/1 de la forêt de Boulogne

122. Sentier rectiligne ouvert en forêt pour séparer les parcelles et pour permettre la circulation.

L'étude de ces sites et de leurs diverses caractéristiques ne prend en compte, en première approche, aucune temporalité afin de mettre en évidence les caractéristiques discriminants chaque site et de les comparer.

4.1.2 Caractéristiques constitutives des ferriers

Les caractéristiques de trois ferriers noirs n'ont pas pu être enregistrées à cause de la végétation trop importante (F124/1, F124/2 et F129/3). L'étude qui suit s'appuie donc sur les données de 40 ferriers (***cf* vol. 2, tableau 1**).

Dans le but de comprendre les spécificités morphologiques de ces sites, nous avons allié les observations de terrain et les images Lidar. Toutefois, certains d'entre eux, dont les vestiges sont totalement ou partiellement récupérés ou dont l'élévation est trop faible, ne sont pas visibles sur ces images. Pour pallier cet inconvénient, l'étude s'appuie également sur le relevé des limites de chaque structure au GPS centimétrique (*Supra* 3.2.1.2).

<u>Morphologie</u>

Trois formes de ferrier sont observées dans la forêt de Boulogne-Chambord. Les plus nombreux, 26 individus, ont une forme en ellipse, neuf sont circulaires et cinq présentent une forme en fer à cheval (**Fig. 49**).

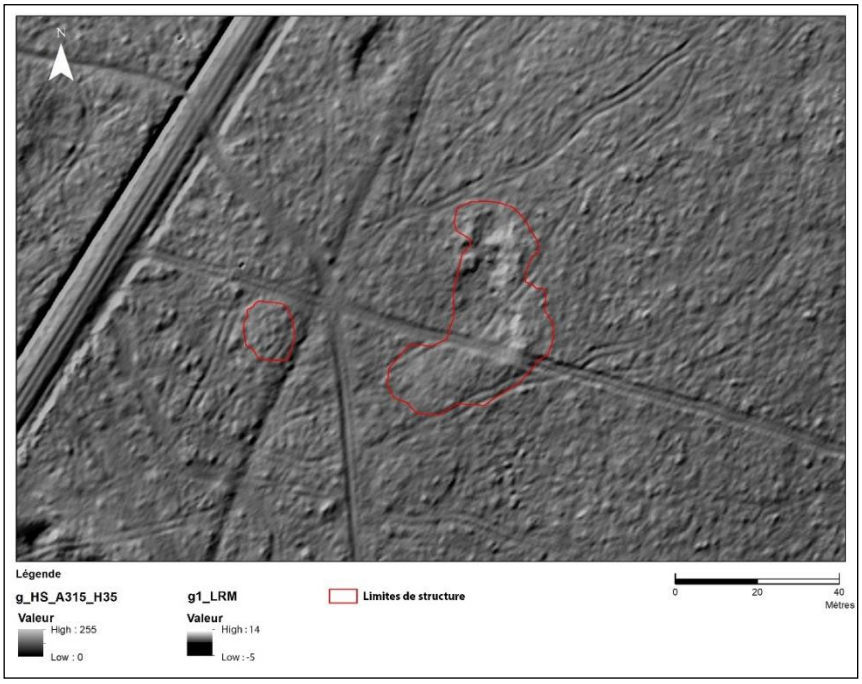


Fig. 49 : Image Lidar d'un ferrier en fer à cheval (F195/1) et d'un ferrier circulaire (F195/2)
Leurs limites ont été relevées au GPS sur le terrain

Mesures et restitution

Comme l'étude de la morphologie des ferriers, celle de leurs dimensions s'appuie sur le croisement des données Lidar, des relevés de limites au GPS centimétrique et des relevés métriques réalisés sur le terrain au décamètre (longueur, largeur, épaisseur).

Dimensions

Le plus petit ferrier mesure 5,3 m de longueur et 2 m de largeur et le plus grand environ 60 m de longueur pour 47 m de largeur. Entre ces deux extrêmes, les structures ont des dimensions très variées. Néanmoins, trois tendances apparaissent (**Fig. 50**).

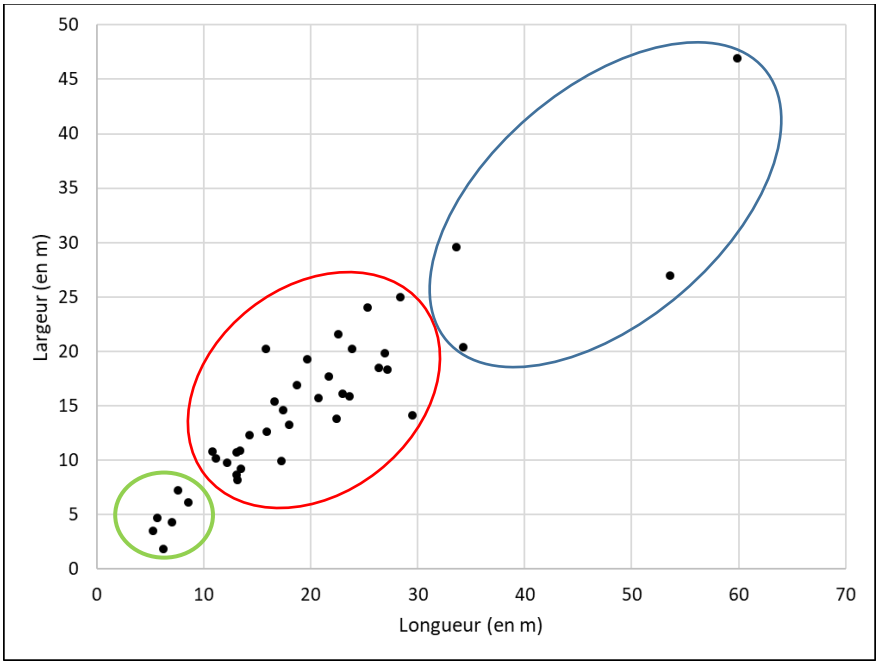


Fig. 50 : Diagramme représentant la longueur (en m) des ferriers en fonction de leur largeur (en m) (en vert les petits ferriers, en rouge les moyens et en bleu les grands et très grands)

L'étude de ces dimensions par classes de longueur permet de préciser ces trois groupes (**Fig. 51**; ***cf* vol. 2, tableau 2**). On constate ainsi l'existence de :

- 6 petits ferriers, dont la longueur est inférieure à 10 m et la largeur comprise entre 3,5 et 7 m.
- 30 ferriers de taille moyenne qui mesurent entre 11 et 30 m de longueur pour 8 à 25 m de largeur. Ils représentent 75% des ferriers présents dans la forêt.
- 4 ferriers de grandes à très grandes dimensions. Deux d'entre eux possèdent une longueur de 33 m et 34 m pour une largeur de 20 m et 29 m et deux autres ont une longueur de 53,5 m et 60 m associée à une largeur de 27 m et 47 m.

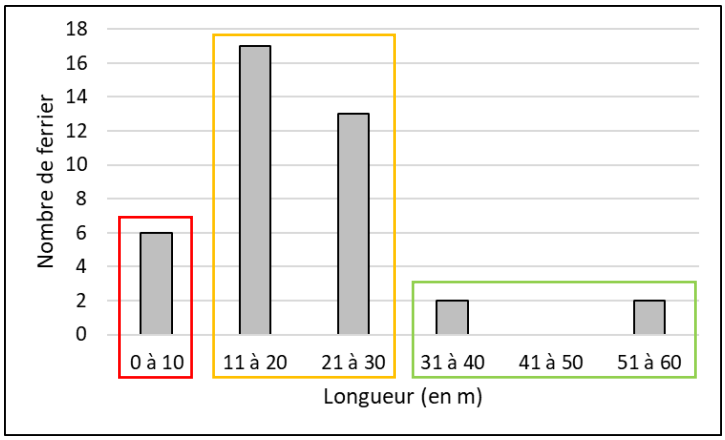


Fig. 51 : Diagramme présentant le nombre de ferrier par classe de longueur (en rouge les petits, en orange les moyens et en vert les grands)

Les 6 petits ferriers, sont de forme elliptique. Les ferriers de taille moyenne comprennent 18 individus elliptiques, neuf circulaires et trois en fer à cheval. Les grands ferriers sont tous deux elliptiques et les deux très grands ferriers sont en forme de fer à cheval. Les petits ferriers ont donc toujours une forme elliptique et les très grands en fer à cheval. Les ferriers de taille moyenne possèdent toutes les formes. On peut alors se demander si la forme d'un ferrier n'a pas un rapport direct avec sa taille. Ces formes sont communes sur les sites métallurgiques, on les retrouve notamment dans le Poitou où aucun lien entre la forme et la taille des ferriers n'est constatée (SAINT-DIDIER 2017a : 81).

Superficie

La superficie des ferriers du massif de Boulogne-Chambord est calculée à partir du SIG grâce au relevé GPS de leurs limites. Cette méthode fournit une surface assez précise car elle prend en compte la forme réelle du ferrier. Cette surface est de 10 m² pour la plus petite et 1 614 m² pour la plus grande. Lorsque l'on classe ces superficies par tranche de 100 m², trois tendances apparaissent (**Fig. 52, *cf* vol. 2, tableau 3**). Tout d'abord, on constate qu'un grand nombre de ferrier (27,5 %) ont une surface comprise entre 0 et 100 m² (groupe A). Ensuite, la majorité (60 %) ont une surface comprise entre 101 et 500 m², plus particulièrement autour de 300 m² (groupe B). Enfin, quelques ferriers ont des surfaces allant de 500 m² à 1 700 m² (groupe C).

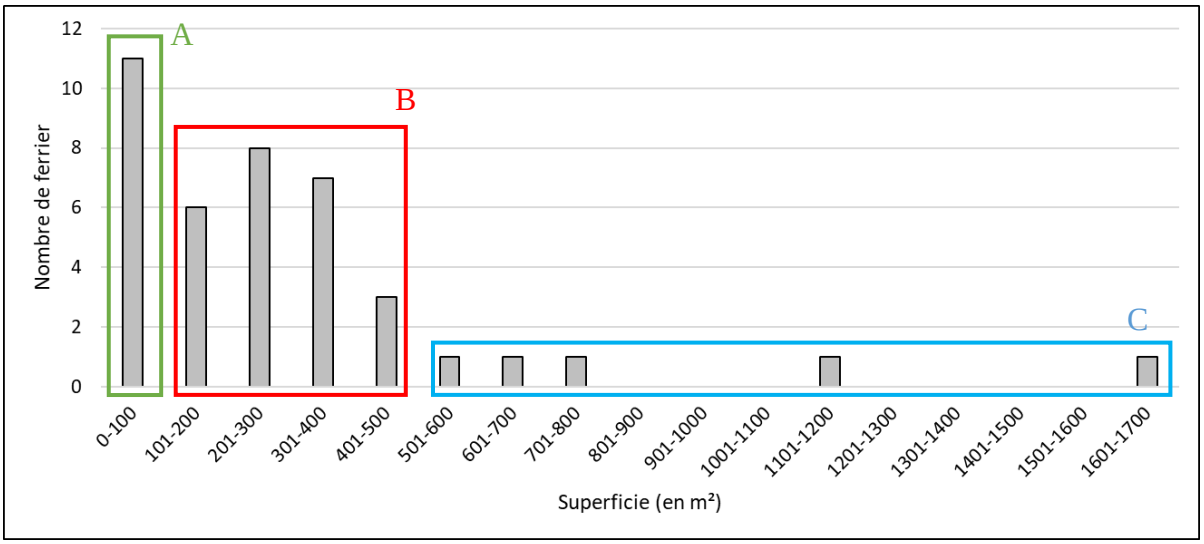


Fig. 52 : Diagramme présentant le nombre de ferrier par classe de superficie (en m²) dans le massif de Boulogne-Chambord

Dans le Poitou, la grande majorité des ferriers mis en évidence (env. 66 %) font moins de 100 m², ils sont donc comparables au groupe A (**Tableau 2**). Dans le Bas Maine, seul 6 % des ferriers mesurent moins de 100 m². Les ferriers de surface moyenne, groupe B, y sont un peu plus représentés (22,4 %). Néanmoins, ce sont les très grands ferriers qui dominent dans cette espace sidérurgique (48,7 %), soit ce qui correspond dans cette étude au groupe C (SARRESTE 2011 : 93-94). Dans la région centre, un ferrier isolé et de surface moyenne (environ 206 m^2) se trouve à Massay (Cher) (BEYRIE 2016 : 106). Les dimensions restreintes de ces ferriers sont très différentes de celles des sites métallurgiques du Berry, notamment autour d'Argenton-sur-Creuse où la plupart (72,4 %) mesurent entre 1 000 et 10 000 m² (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 223, 237)[123].

Des comparaisons géographiquement plus lointaines montrent le même phénomène. Le ferrier du site métallurgique de Boécourt, « les Boulies » (Suisse), daté des Ve- VIIe s., à une surface de 550 m² (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 12). En Puisaye, environ 50 % des ferriers ont une surface de plus de 1000 m² et seulement 5 % mesurent moins de 100 m² (PIETAK *et al.* 2012: 122)[124]. Ces sites peuvent donc être rapproché des groupes B et C de la présente étude. Sur le Mont Salève, les petites ferriers sont prépondérants (80,8 %) (SERNEELS 1993 : 71), tout comme ceux de taille moyenne en Pays de Vaud (PELET 1993 : 12-16). Ils sont donc assez similaires à

123. En l'absence de données plus précises, il a été impossible de faire une comparaison plus détaillée.
124. Idem

ceux de la forêt de Boulogne-Chambord. Enfin, les sites du Jura central Suisse ont des dimensions bien supérieures (ESCHENLOHR 2001 : 94).

	% de ferrier							
Surface en m²	**Boulogne-Chambord**	**Poitou**	**Bas Maine**	**Argenton-sur-Creuse**	**Puisaye**	**Pays de Vaud**	**Mont Salève**	**Jura central Suisse**
0 à 100	27,5	66,1	6	0	5	0	80,8	0
101 à 500	60	28,5	22,4	27,6	45	75	19,2	0
500 à 1000	7,5	3,6	22,9			25	0	7,1
> 1000	5	1,8	48,7	72,4	50	0	0	92,9

Tableau 2 : Tableau de comparaison de la proportion de ferriers en fonction de leur surface

Les dimensions des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord sont donc relativement communes pour des sites métallurgiques. Néanmoins, l'importante proportion de ferriers de taille moyenne (60 %) et petite (27,5 %) est une particularité dans cette région sidérurgique.

Hauteurs et volumes restitués

La situation sous couvert boisé favorisant une bonne conservation de la plupart des ferriers, on peut tenter de déterminer leur volume actuel. Dans ce but, on mesure tout d'abord leur hauteur en s'appuyant d'une part sur celles relevées lors des prospections et des fouilles (LACROIX 2018b, vol. 2 : 14) ; d'autre part sur les coupes effectuées à partir des images Lidar (**Fig. 53**).

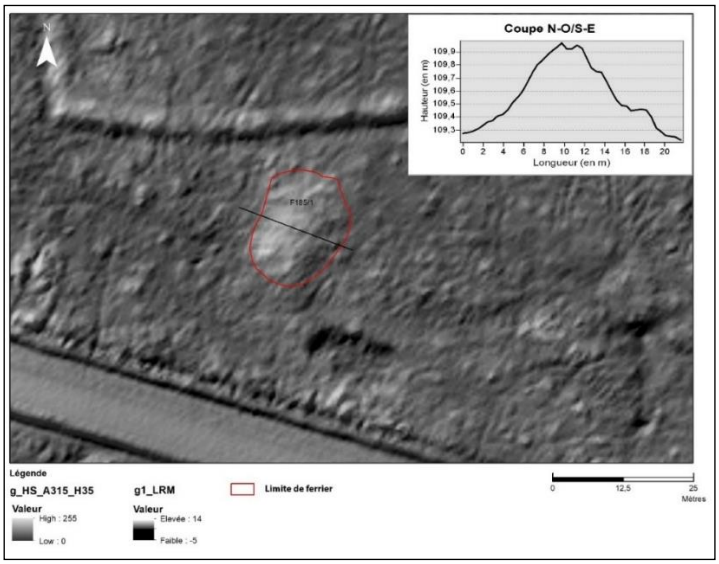


Fig. 53 : Exemple de coupe d'un ferrier réalisée à partir des données Lidar

Ces coupes montrent que la hauteur des ferriers à partir du niveau du sol actuel est comprise entre 0,2 m et 1,4 m. En outre, la prospection des sites dont les vestiges métallurgiques sont réemployés et les fouilles, révèlent que le niveau d'installation de ces ferriers est, en moyenne, 1 m en-dessous du niveau de sol actuel. L'épaisseur totale restituée des vestiges est donc comprise entre 1 m et 2 m (***cf* vol. 2, tableau 4**).

La hauteur et la surface de chaque ferrier étant connues, il est possible de proposer un volume approximatif de ces structures grâce à la formule établie par P. M. Decombeix dans le cadre de ses recherches sur la restitution du volume des ferriers de la Montagne Noire (DECOMBEIX *et al.* 1998 : 84-85 ; DECOMBEIX 2004 : 192-198). Il estime qu'un ferrier présente globalement une forme ellipsoïdale qui évolue peu à peu vers une forme circulaire avec le temps. Pour calculer le volume d'un ferrier sur terrain plat, il propose la formule suivante :

V = 0,4 x L x l x h.

Le coefficient « 0,4 » qui complète cette formule prend en compte le tassement de la forme elliptique vers une forme plus arrondie engendrée par la taphonomie, mais également la densité des scories au sein du ferrier. P. M. Decombeix obtient ce coefficient par simulation mathématique et expérimentale et évalue à moins de 20 % l'erreur mathématique relative à cette formule si les limites du ferrier sont relevées avec précision (DECOMBEIX 2004 : 197 ; DECOMBEIX *et al.* 1998 : 78-85).

Le volume des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord est estimé entre environ 5 m^3 et 1 291 m^3 de scories. Toutefois, la majorité des ferriers (85 %) ont un volume inférieur à 400 m^3 (**Fig. 54** ; ***cf* vol. 2, tableau 5**). En outre, la représentativité des ferriers décroit à mesure que leur surface augmente. En effet, les ateliers ont principalement produit entre 5 et 200 m^3 de déchet (65 % des sites) et dans une moindre mesure entre 200 et 400 m^3 (20 %).

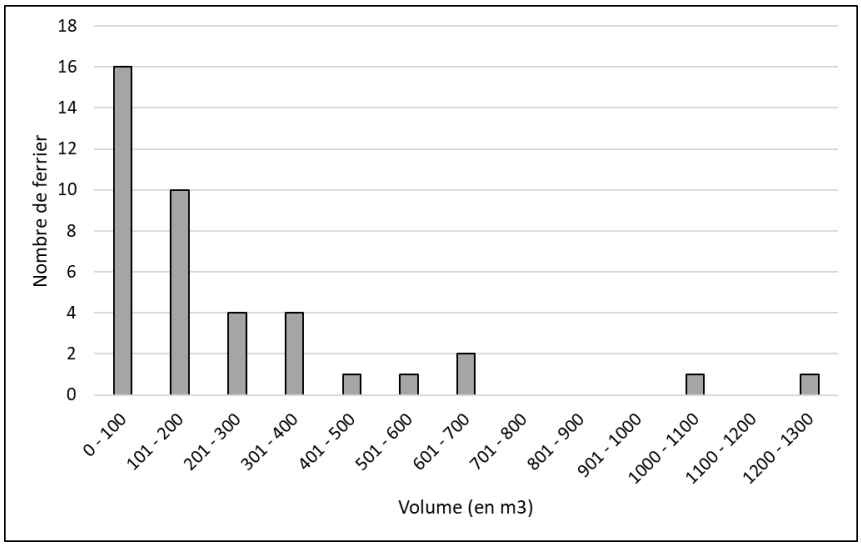


Fig. 54 : Diagramme du nombre de ferrier en fonction de leur volume (en m^3) dans le massif de Boulogne-Chambord

4.1.3 Organisation spatiale des ateliers métallurgiques

Des ateliers concentrés

Trois cartes de densité de point par maillage[125] sont réalisées pour analyser l'organisation spatiale des ateliers présents dans la forêt de Boulogne-Chambord[126]. La première montre un calcul de densité de ferrier réalisé avec une maille de 100 ha (1 000 m de côté), la seconde avec une maille de 25 ha (500 m de côté) et la troisième d'un hectare (100 m de côté) (**Fig. 55**). La carte la plus éloquente est celle dont les mailles mesurent 25 ha. Elle signale, tout d'abord, une importante concentration de ferriers dans la partie sud-ouest de la forêt de Boulogne avec trois ferriers par maille et montre, ensuite, la présence de deux autres zones concentrées au sud avec deux ferriers par maille. Finalement, cette carte permet d'établir que les 43 ferriers de ce massif sont circonscrits dans environ 55 km².

125. Les manipulations réalisées dans le cadre de l'analyse spatiale sont effectuées avec les logiciels ArcGis et Qgis.

126. La mise en évidence d'ensemble de production s'appuie notamment sur l'hypothèse selon laquelle la localisation des ateliers métallurgiques peut être une caractéristique intéressante à prendre en compte. De ce fait, aucune notion de datation n'est retenue à ce stade.

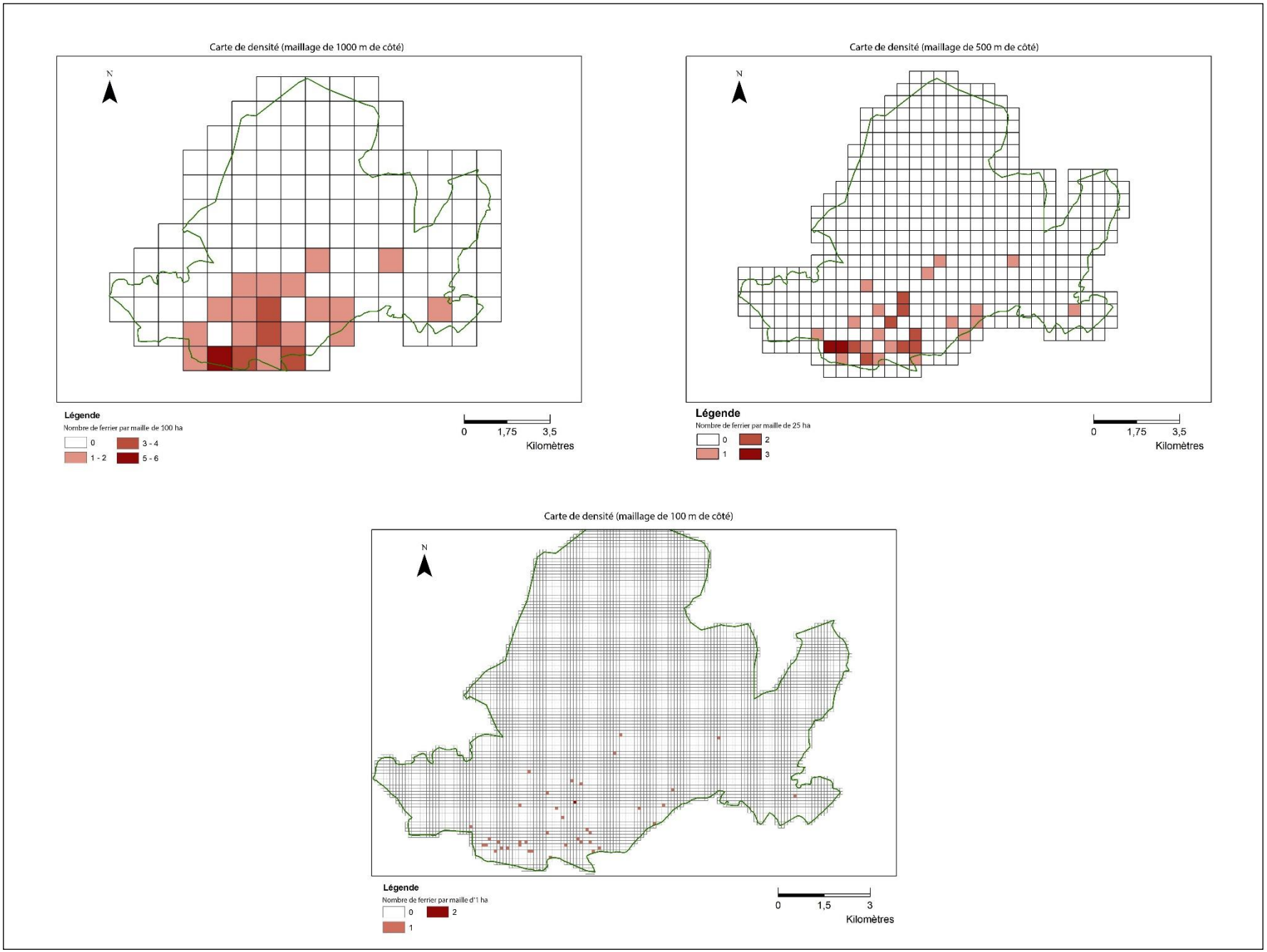


Fig. 55 : Cartes de densité par maillage des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord

Pour mieux analyser ces concentrations, il faut interroger la carte de densité par noyau. Une première carte montre la densité de ferrier dans un rayon d'1 km autour de chaque site (**Fig. 56**).

On peut alors observer la présence de deux zones où la concentration de ferrier est plus importante et d'une troisième moins dense. L'une se trouve au sud-ouest (zone 1), l'autre au sud (zone 2) et la troisième est située au nord de la zone 2 (zone 3). La zone 1 est située entre Bracieux et Mont-près-Chambord aux environs du lieu-dit *Marchais Aulneux*. La zone 2 est localisée au nord-ouest de Bracieux, autour de l'actuelle *Allée de la Chaussé*. Enfin, la zone 3 se trouve au niveau du lieu-dit *Les Teillets*, le long de l'allée Marie de Leczinska.

L'étude des distances entre les ateliers montre qu'elle est au minimum d'environ 30 m. La distance maximale est de 3 120 m et la distance moyenne de 460 m. La carte de densité permet de faire un premier état du nombre de ferriers observés dans ces zones ainsi que de ceux plus éloignés. La zone 1 comprend douze ferriers concentrés dans un espace de 6 km² (soit 2 ferriers au km²) et la zone 2 distingue sept ferriers répartis sur environ 4 km² (1,7 ferriers au km²). La zone 3, quant à elle, s'étend sur un espace d'environ 3 km², mais ne comprend que sept ferriers (2,3 ferriers au km²). Les 17 autres sites sont répartis de façon plus dispersée dans la forêt. On constate donc globalement dans le massif de Boulogne-Chambord environ 0,8 ferrier au km².

Cette densité d'ateliers métallurgiques est supérieure à celle des Hautes-Baronnies dans les Pyrénées où 33 ferriers sont recensés dans 400 km^2, c'est-à-dire 0,08 ferrier/km² (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 221) (**Tableau 3**). Elle est également plus importante que dans la région d'*Argentomagus* (Indre) où 242 ferriers sont concentrés sur 1 250 km^2, soit 0,19 ferriers/km^2. Néanmoins, dans une fenêtre de prospection systématique de 34 km^2, 17 ferriers sont observés, soit 0,5 ferrier/km² (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 222-223). Ce chiffre est plus proche de celui observé à Boulogne-Chambord. Il est également similaire à celui calculé pour la forêt de Sillé (Sarthe), où l'un des espaces de forte concentration comprend 31 ferriers dans 41 km², soit 0,7 ferriers/km² (SARRESTE 2011 : 178-179) ; ainsi que pour le Morvant-Auxois où 200 ateliers sont comptabilisés sur 400 km², soit 0,5 ferriers/km² (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 221). La densité de ferriers dans le massif de Boulogne est toutefois inférieure à celle des importantes zones sidérurgiques situées au nord de Bourges où 110 ferriers sont recensés dans 50 km^2, ce qui correspond à environ 2,2 ferriers/km² (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 223) ; en Puisaye où l'on restitue environ 6 sites/ km^2 ; et dans l'Yonne où on l'estime à environ 40 sites/km^2 (PIETAK, LE CARLIER, LEROY, MERLUZZO 2012 : 121).

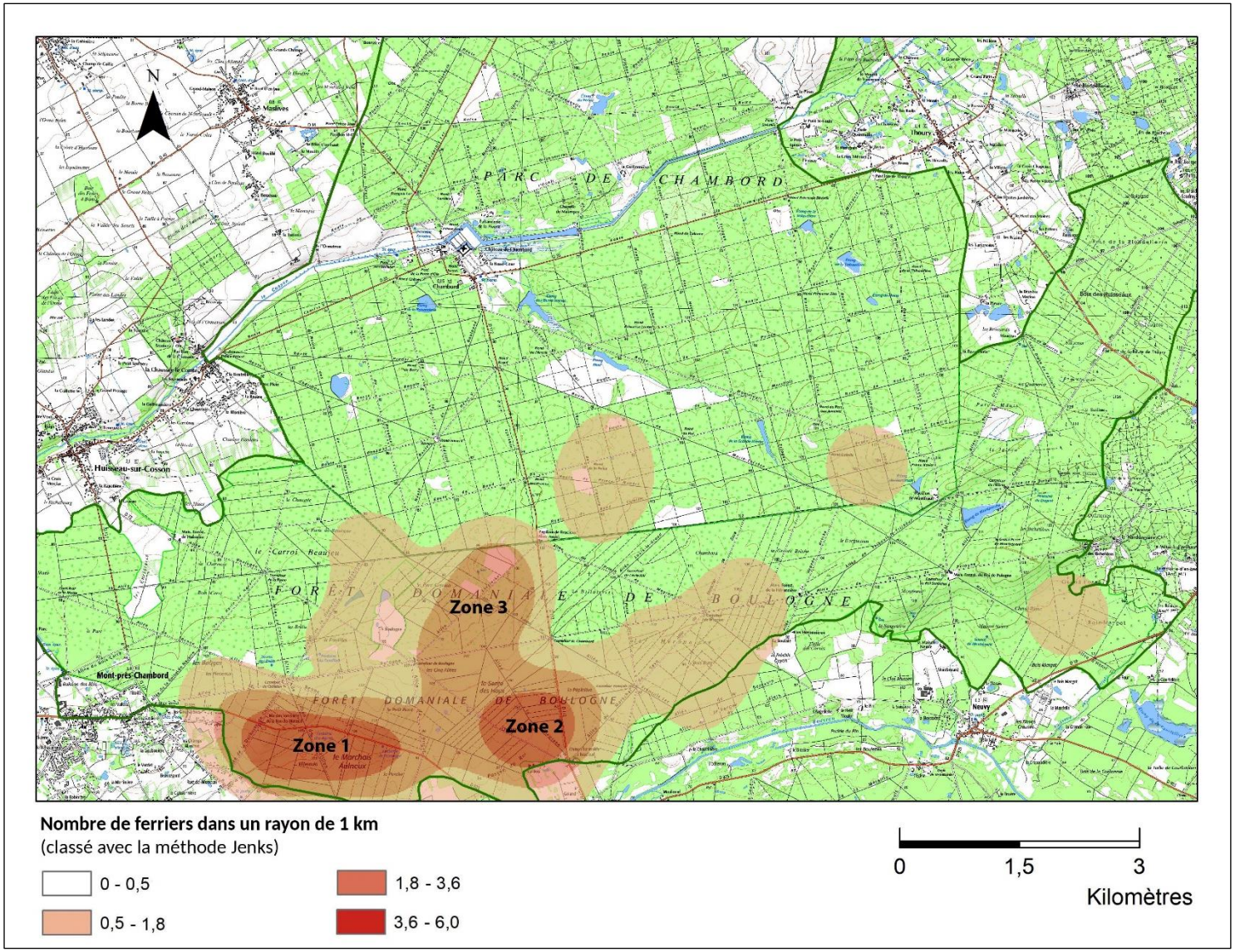


Fig. 56 : Carte de densité des sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord

Zone sidérurgique	Nombre de ferrier au km²
Hautes-Baronnies (65)	0,08
Argenton-sur-Creuse (36)	0,19
Morvant-Auxois	0,5
Forêt de Sillé (72)	0,7
Boulogne-Chambord (41)	0,8
Bourges (18)	2,2
Puisaye	6
Yonne (89)	40

Tableau 3 : Tableau comparant le nombre de ferrier au km² dans différentes zones sidérurgiques

Une seconde carte de la densité des ferriers, caractérisée par un rayon de 500 m autour de chaque site, favorise une lecture plus précise de l'organisation de ces sites (***cf* vol. 2, fig. 30 et tableau 6**). On peut ainsi détailler trois types de ferriers en fonction de la densité de sites qui lui sont associés. Tout d'abord, les ferriers « concentrés » qui se trouvent dans les zones 1 et 2 et qui sont définis par la présence à moins de 500 m d'au moins trois sites métallurgiques[127]. Ensuite, on distingue les ferriers « groupés » localisés à moins de 500 m d'un à deux autres sites métallurgiques[128]. Parmi ces sites on compte également les ferriers F154/2 et F151/3, situés à la jonction entre les zones de forte concentration 1 et 2. Enfin, les autres ferriers sont dits « isolés », car ils sont situés à plus de 500 m d'un autre site métallurgique.

Il est intéressant d'étudier la localisation de ces ateliers métallurgiques en fonction de leur volume. On observe ainsi que les sites concentrés comprennent majoritairement (55,6 %) des ferriers avec un volume de déchet inférieur à 100 m^3 et dans une moindre mesure entre 100 et 300 m^3 (27,8 %) (**Fig. 57 ; *cf* vol. 2, tableau 7 et fig. 31**). La majeure partie des ferriers groupés (62,5 %) ont un volume compris entre 0 et 300 m^3. Toutefois, un ferrier à un volume de déchet compris entre 300 et 400 m^3 et un autre entre 600 et 700 m^3. La majorité des ferriers isolés (71,4 %) sont compris entre 0 et 300 m^3. Les autres sont répartis entre 301 et 700 m^3. Les plus importants se trouvent au nord, au nord-ouest et entre les zones 1 et 2. Enfin, les deux plus importants ferriers (> 1000 m^3) se trouvent dans des zones concentrées. On peut ainsi en

127. Zone 1 : F195/1, F195/3, F195/4, F194/1, F194/2, F193/2, F193/1, F191/2, F191/3, F185/1, F190/1 et F190/2 ; Zone 2 : F155/1, F151/2, F150/1, F145/1, F146/2 et F156/2
128. F224/1, F160/1, F153/1, F137/4, F176/1, F169/1, F371/1, F447/1, F489/1, F110/2, F113/3, F111/1, F094/1 et F064/1

conclure que les plus grands ferriers se trouvent dans les espaces concentrés et que les plus importants ferriers isolés sont éloignés de ces zones concentrées. On peut se questionner sur l'existence d'une hiérarchie des ateliers dans les espaces concentrés, si toutefois ils sont contemporains.

Des éléments de réponse peuvent être apportés grâce à l'étude de l'association d'ateliers au volumes différents au sein des concentrations métallurgiques. La carte ci-dessous montre que dans la zone 1, la micro-concentration la plus à l'ouest est constituée d'un très grand ferrier[129] (> 1 000 m^3), d'un petit (entre 100 et 200 m^3) et de cinq très petits (< 100 m^3). Celle au centre-sud comprend un ferrier de taille moyenne (entre 201 et 400 m^3), un petit et trois très petits. Dans la zone 2, la concentration est composée d'un très grand ferrier, de trois moyens et de deux très petits. Les ferriers groupés présentent des volumes variés, toutefois l'un est toujours plus important que l'autre. Chaque concentration d'atelier dispose d'un très grand ferrier et de nombreux très petits.

129. Attention, les termes de très grands, grands, moyens et petits ferriers sont relatifs et uniquement valables dans le cadre de cette étude.

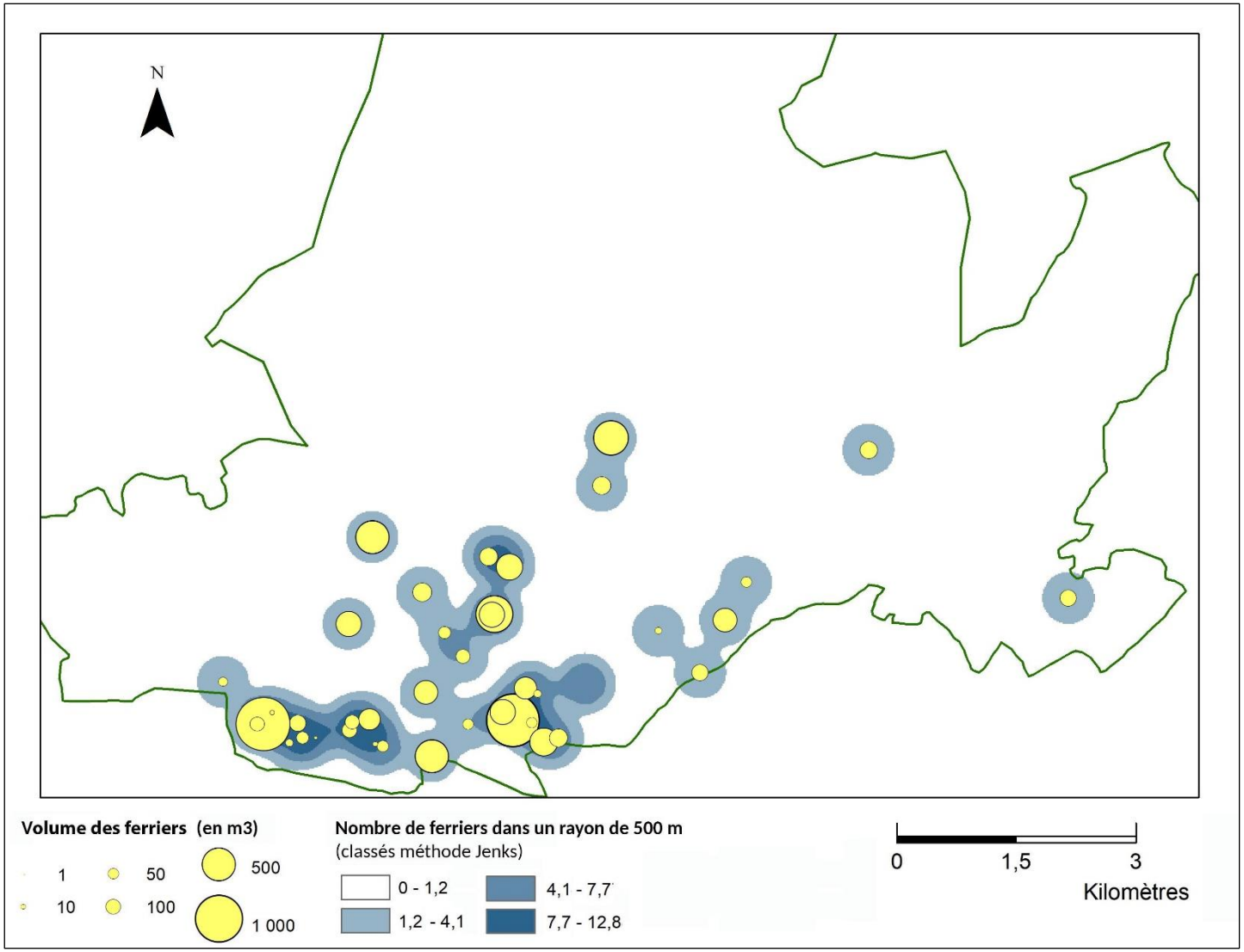


Fig. 57 : Volume des ferriers (en m^3) au sein des différentes zones de concentrations métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord

La présence de concentrations d'ateliers métallurgiques, au sens qui vient d'être développé, est également reconnue en Puisaye. Au nord, à Montholon « Le Bois des ferriers », on observe la présence d'une zone d'ateliers concentrés comprenant 16 très grands ferriers (> 1000 m^3), 2 moyens (entre 200 et 400 m^3), 3 petits (entre 100 et 200 m^3) et 2 très petits (< 100 m^3) (BERRANGER *et al*. 2019 : 63). A Saint-Fargeau « Bois de Bailly », plus au sud, on constate la présence de 25 très petits ferriers, 3 petits, 2 moyens, 3 grands et 2 très grands (BERRANGER *et al*. 2019 : 67). Plus proches que dans la forêt de Montholon, les plus grands ateliers se trouvent au nord. Les autres sont implantés de façon plus aléatoire au centre et au sud. Dans la forêt de Moulière (Poitou), on observe 26 très petits (< 100 m^3) ferriers, 2 petits/moyens (entre 100 et 450 m^3) et deux grands (> 450 m^3). Ils sont concentrés par groupes de 5 à 16 dans 3 zones différentes du massif et sont situés à quelques mètres les uns des autres (SAINT-DIDIER 2017a : 117). Deux zones de concentration comprennent un grand ferrier entourés de nombreux petits/moyens et très petits et la dernière ne dispose que de très petits ferriers. Dans la région d'*Argentomagus*, les grands ferriers (> 10 000 m²) sont distants d'au moins 1,5 km et les ateliers de taille moyenne (entre 1000 et 10 000 m²) de 600 à 800 m. Ils sont donc isolés. Seuls les petits ferriers (< 1 000 m²) peuvent être groupés par deux avec une distance de de 50 à 150 m (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 224 et 419-420). Enfin, dans la forêt de Sillé (Sarthe), les deux très grands ferriers (> 10 000 m^3) sont isolés et les grands ferriers (> 2000 m^3) sont situés à 500 m maximum les uns des autres (SARRESTE 2011 : 178-179). Les ferriers de taille moyenne (entre 500 et 2000 m^3) à petite (< 500 m^3) sont isolés ou groupés par deux ou trois.

L'étude des associations d'ateliers aux volumes différents montre que, bien qu'il n'existe aucun modèle défini, les espaces de concentration de sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord comprennent toujours une très grand ferrier avec des moyens, petits et très petits autour. On retrouve ce genre de configuration dans les espaces de "Le gachet de Villiers" et "Les deux bornes" dans la forêt de Moulière (Poitou) et dans la Forêt de Saint-Fargeau (Puisaye) (**Tableau 4**). En outre, dans ces espaces de forte concentration, les plus petits ferriers sont rarement isolés. Ils sont au moins groupés par deux. Dans la Forêt de Montholon (Puisaye), on observe une organisation inverse. La majorité des sites sont des très grands ferriers avec quelques moyens et petits situés non loin. Enfin, ces concentrations d'ateliers à moins de 500 m les uns des autres ne sont pas systématiques. Dans le Berry, dans la Sarthe ou encore dans la Montagne Noire, les sites métallurgiques sont plutôt isolés les uns des autres (situés à plus de 500 m).

Tableau 4 : Comparaison d'association de ferriers aux volumes différents présents dans plusieurs concentrations d'ateliers métallurgiques

	Forêt de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher)		**Puisaye**		**Forêt de Moulière (Poitou)**		
Volume (en m3)	Zone 1	Zone 2	Forêt de Montholon	Forêt de Saint-Fargeau	"Le gachet de Villiers"	"Les deux bornes"	"Le Coudreau"
< 100	7	2	2	25	14	7	5
100- 200	2	0	3	3	0	3	0
200- 400	1	3	2	2			
401-1000	0	0	0	3	1	1	0
> 1000	1	1	16	2			

Caractéristiques topographiques

Dans la forêt de Sillé, les ferriers sont implantés tous les 500 à 1 000 m le long du talweg présent dans la forêt (SARRESTE 2011 : 178-179). Existe-t-il également une caractéristique topographique relative à l'installation des ferriers dans le massif de Boulogne-Chambord ? Cette forêt ne comprend pas de talweg, mais sa topographie présente une légère inclinaison vers l'ouest et surtout la présence de deux plateaux, l'un à l'ouest et l'autre à l'est (*Supra* 2.2.1). Lorsque l'on place les ateliers métallurgiques sur la carte topographique de la forêt, on constate que la majorité (37/43) se trouve en bas de la pente du plateau ouest (**Fig. 58**). Elle est peu marquée, entre 10 et 20 cm de dénivelé, mais est suffisante pour favoriser l'écoulement de la scorie lors de l'emploi de fours à scories écoulées, technique reconnue dans ce massif (*Infra* 4.3.1). Cette pente a d'ailleurs été observée et relevée lors de la fouille du ferrier F155/1 (*Infra* 7.2.2). Les métallurgistes ont donc installé leurs ateliers de préférence sur une pente. Il existe néanmoins six exceptions pour lesquelles ils se sont implantés un peu plus loin des plateaux (jamais a plus de 500 m). Il s'agit majoritairement de ferriers isolés[130]. Les deux derniers sites se trouvent vers le sud à l'extrémité d'une zone de forte concentration[131].

130. F064/1, F113/3, F371/1 et F447/1
131. F151/3 et F156/2

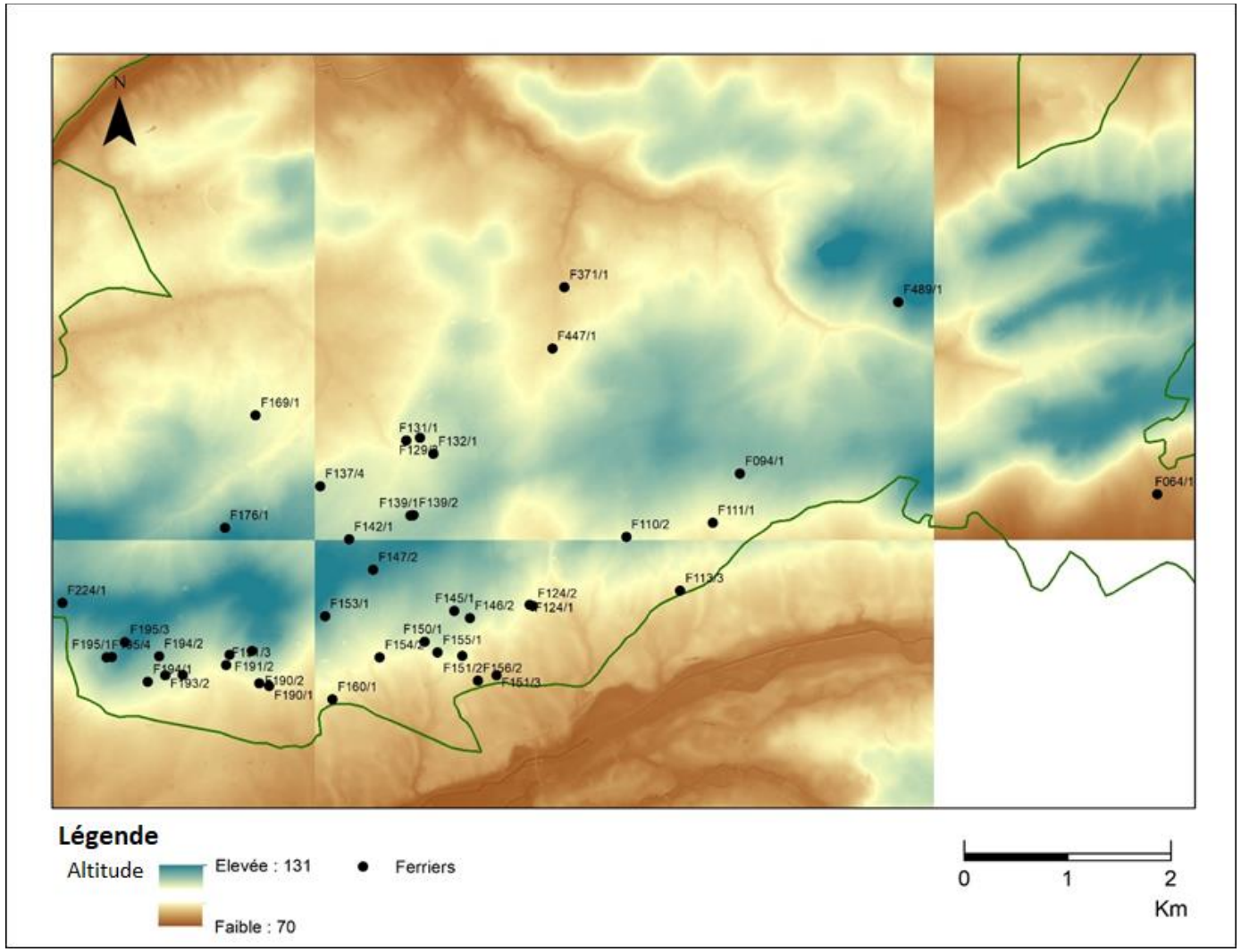


Fig. 58 : Carte de la topographie de la forêt de Boulogne-Chambord (MNT)

Les ferriers aux scories partiellement récupérées

Dans le massif de Boulogne-Chambord, 13 ferriers montrent des traces de récupération de leurs vestiges laissant aujourd'hui apparaitre de larges excavations (**Fig. 59**)[132]. Ils sont traités avec l'ensemble des ferriers, néanmoins il est important de les signaler pour la suite de cette étude.



Fig. 59 : Photographie de l'excavation réalisée dans le ferrier F150/1

En conclusion, les ferriers mis en évidences dans la forêt de Boulogne-Chambord, ont des petits volumes en comparaison de zones sidérurgiques importantes telles que celles d'Argenton-sur-Creuse, du Bas Maine, de la Puisaye, de l'Yonne ou encore du Jura suisse (**Tableau 5**). Néanmoins, ces faibles dimensions ne sont pas inhabituelles. On retrouve de petits ferriers dans toutes les zones sidérurgiques, et ils sont majoritaires dans le Poitou. La densité de ferriers à Boulogne-Chambord est relativement moyenne, elle est similaire à celle de la forêt de Sillé (Sarthe) et du Morvan-Auxois par exemple mais inférieure à celles de Bourges, de la Puisaye et de l'Yonne. Enfin, à Boulogne, une zone de concentration d'atelier comprend toujours un très grand ferriers entouré de plus petits. Ce type d'organisation spatiale à Boulogne-Chambord est également visible en Puisaye et dans le Poitou. Néanmoins, ce n'est pas la seule qui existe puisqu'on trouve également des zones sidérurgiques[133] avec une majorité

132. Il s'agit des ferriers F139/2, F191/2, F191/3, F190/2, F195/1, F145/1, F146/1, F155/1, F160/1, F169/1, F150/1, F111/1 et F064/1.

133. Une zone sidérurgique est définie ici comme une concentration de sites de réduction. Elle ne prend pas en considération les similitudes chronologiques, technologiques ou socio-économiques (*Infra* 6.2).

de très grands ferriers ou encore des zones sidérurgiques sans concentrations. Dans ce cas tous les ateliers sont relativement isolés (plus de 500 m les uns des autres). A Boulogne, les ferriers isolés ont un grand volume lorsqu'ils sont situés à distance des zones de concentration d'atelier. Enfin, les ferriers de cette forêt ont la caractéristique d'être implanté principalement en bas de pente et les scories d'une petite partie d'entre eux ont été récupérées au cours du temps par l'Homme.

Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord

Caractéristiques	
Volume	Majoritairement très petits à petits (< 200 m^3)
Densité d'atelier dans la forêt	Moyenne (0,8 ferriers/km^2)
Organisation spatiale	Majoritairement concentrés (18) ou isolés (14)
	Concentrés : 1 très grand entouré de grands/moyens/petits
	isolés : grands lorsque situés loin des zones concentrées
Implantation topographique	Bas de pente
Action anthropique post-activité métallurgique	Récupération des scories

4.2 Les autre sites métallurgiques

4.2.1 Les épandages, formes et fonctions

Dans un atelier, une fois la production du fer terminée les vestiges sont abandonnés. Néanmoins, dans la forêt de Boulogne-Chambord ce n'est pas la fin de l'histoire pour un certain nombre de ferriers.

En effet, les ferriers qui présentent des traces de récupération des scories peuvent être mis en relation avec neuf épandages observés de façon éparse dans la forêt. Il s'agit d'espaces de rejet secondaires de scories. Cela signifie qu'ils sont constitués de scories provenant d'un ferrier, généralement situé non loin de là, réutilisées pour créer ou entretenir une chaussée (radier), drainer un sol agricole, etc. Ces épandages sont constitués d'une couche de sédiment limono-sableuse brun clair, généralement peu étendue et de faible épaisseur (< 5 cm), comprenant des scories très fragmentées. Dix sites de ce type sont recensés dans le massif de Boulogne-Chambord.

Six épandages ont une forme elliptique et trois sont circulaires. Leur longueur est comprise entre 15 et 25 m de longueur pour 6 à 16 m de largeur (***cf* vol. 2, tableau 8**), sauf deux petits sites qui mesurent moins de 5 m de longueur pour moins de 4 m de largeur. L'épaisseur des

couches de scories y est de 5 cm pour les plus fines et n'excède pas 15 cm pour les plus épaisses. Leur surface ayant été relevée sur le terrain, une tentative de restitution volumique est réalisée en utilisant la même formule que pour les ferriers. On constate alors que les épandages comprennent, entre 0,1 et 14 m^3 de vestiges (**Fig. 60**). Deux sites ont un volume inférieur à 0,5 m^3, il s'agit de F195/7 et F212/1. Ils pourraient être intégrés aux sites appelés « dépôts ponctuels » si le sédiment qui accompagne les déchets n'était pas similaire à celui que l'on trouve dans les ferriers. Le volume de scories dans les épandages est donc très hétérogène.

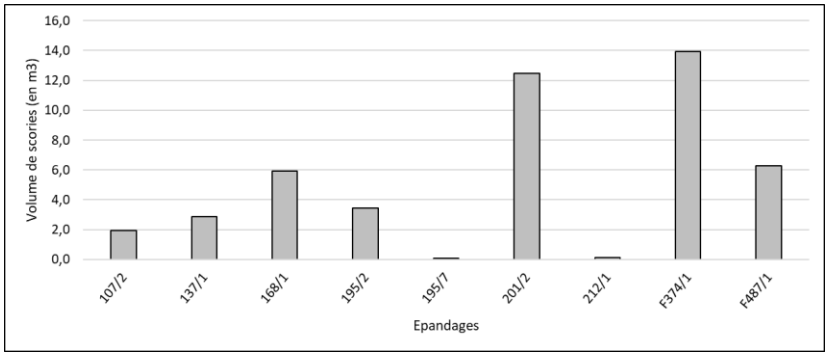


Fig. 60 : Diagramme du volume de scories restitué par épandage

Pour approfondir la question du réemploi des scories, il est intéressant de comparer le volume des déchets dans les épandages et celui récupéré dans les ferriers. Il est toutefois difficile de quantifier le volume de scories prélevées. Le recours aux images LiDAR et aux informations enregistrées sur le terrain permet de contourner ce problème. En effet, en dessinant la surface récupérée des ferriers sur les images LiDAR, on peut restituer le volume de scorie disparu à l'aide de la même formule que pour les ferriers (**Fig. 61**).



Fig. 61 : Image Lidar du ferrier F145/1 dont les scories sont en grande partie récupérées

Il existe un biais dans ce calcul, car les formes ne sont pas exactement géométriques. Il permet néanmoins d'avoir une idée du volume prélevé. Ce volume est très inégal au sein des 13 ferriers ; il est compris entre environ 5 et 227 m^3, soit 5 et 65 % du volume total du ferrier récupéré (***cf* vol. 2, tableau 9**). La plupart des ferriers ont un prélèvement de scories inférieur à 20 % de leur volume total et seul quatre ferrier voient leurs matériaux récupérés à plus de 40 % (**Fig. 62**). On peut donc supposer que le réemploi des scories n'est pas un phénomène systématique dans le massif de Boulogne-Chambord mais qu'il est probablement opportuniste. En outre, il n'apparait aucun rapport entre le volume de déchet prélevé et l'ampleur des structures.

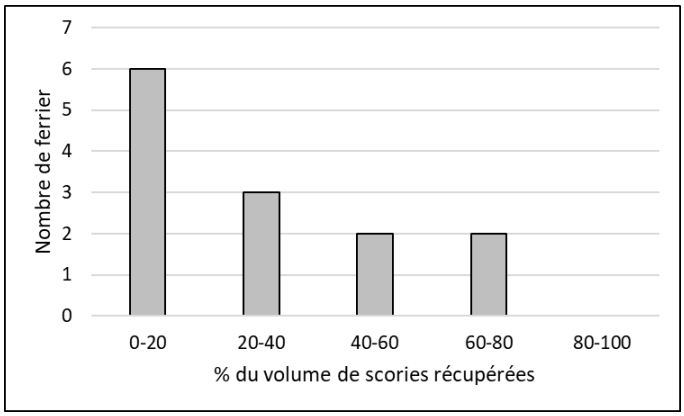


Fig. 62 : Diagramme du nombre de ferrier en fonction du pourcentage de volume de scories prélevées

Finalement, le volume total de scories prélevées restitué dans l'ensemble des ferriers est d'environ 1 013 m^3 alors que le volume total de vestiges composant les épandages est d'environ 47 m^3. Une grande partie des déchets métallurgiques ne se trouve donc pas dans les épandages de la forêt. On peut alors se demander où sont passés ces vestiges ; pour répondre au moins en partie à cette question, il est essentiel d'étudier le devenir de ces déchets au cours du temps.

Le déplacement de ces déchets à différents usages qu'il n'est pas toujours aisé de reconnaitre. Leur utilisation la plus courante est pour la construction ou la restauration de la chaussée. En effet, ce phénomène est connu au moins depuis l'Antiquité, pour certaines routes de Mayenne par exemple (DAUBREE 1868 : 307-309) et du Berry (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 382-386), jusqu'aux périodes les plus récentes, comme pour le remblaiement des routes de Puisaye au XIXe s. (PIETAK *et al.* 2012 : 118-119).

Dans le massif de Boulogne-Chambord, la majorité des épandages et des ferriers récupérés se trouvent à proximité de routes figurant sur des cartes datées entre le XVIIe et le XIXe s. (*Supra* 3.1.2) (***cf* vol. 2, fig. 32**). Les épandages F137/1, F137/3, F212/1 sont situés sur, ou non loin, de routes installées autour du prieuré de Boulogne au XVIIe s. alors que F487/1 est sur une route localisée au nord-est de la forêt. Les ferriers récupérés F150/1 et F155/1 se trouvent, quant à eux le long d'un chemin partant de Bracieux et se dirigeant vers le nord-ouest, soit à l'emplacement de l'actuelle « Allée de la Chaussée », et F169/1 est situé sur une route menant vers l'ouest et implantée au nord du prieuré de Boulogne.

Les épandages F212/1, précédemment mentionnés, F487/1 et F374/1, situés au nord et à l'est de la forêt, se trouvent non loin de routes représentées sur les cartes du XVIIIe s. (***cf* vol. 2, fig. 33**). En outre, les ferriers F169/1, F150/1, F155/1 sont toujours situés sur des routes, tout comme les sites F145/1, F146/2, implantés le long de l'axe Bracieux- Huisseau-sur-Cosson ; F191/2, F191/3, F 160/1, F190/2, localisés le long de l'axe Bracieux-Mont-près-Chambord ; F111/1 implanté sur le chemin menant de Neuvy vers le nord-ouest et enfin F064/1 qui se trouve à l'extrémité sud-est de la forêt.

La carte de 1759, dont le tracé est beaucoup plus géométrique, montre que les épandages F201/2 et F168/1 se trouvent sur une nouvelle section de route menant de Mont-près-Chambord vers Chambord (***cf* vol. 2, fig. 34**). On constate également la présence d'une nouvelle route droite reliant l'ouest et l'est de la forêt sur laquelle se trouve le site F107/2. De nouveau le site F374/1 est installé non loin d'un chemin. Enfin, on observe une proximité importante entre la nouvelle route menant de Bracieux à Mont-près-Chambord et les ferriers F195/1, F191/2, F191/3, F190/2 et F160 /1 ainsi que l'épandage F195/2.

Les ateliers F374/1, F169/1, F155/1, F150/1 sont nommés plusieurs fois. Ce phénomène est probablement dû à la résilience des chemins et des routes. Cela signifie que les populations emploient des axes de circulation ayant une orientation et un tracé similaires au cours du temps (ROBERT *et al.* 2009 : 10). Ce phénomène brouille toute hypothèse de datation pour le réemploi des scories sur ces sites. Néanmoins, la plupart des associations site/route ou chemin forestier laissent supposer une réutilisation au cours du XVIIIe s., c'est le cas pour les sites F145/1, F146/2, F201/2 et F168/1 par exemple.

Deux documents des archives départementales du Loir-et-Cher confirment cette hypothèse. Le premier document mentionne l'existence de déchets métallurgiques le long de la route menant de Bracieux à Mont-près-Chambord. Il date de 1830 et a pour vocation de faire l'état des lieux de cette route afin de la rendre plus praticable. On y précise que les scories sont un matériau qui peut être prélevé dans les climats[134] situés autour de la route en question, soit au sud-ouest de la forêt.

Les mesures à prendre seraient d'ouvrir une nouvelle route en ligne droite à partir du territoire de Mont Jusqu'à l'issue de la forêt vers Bracieux ; en là portant à droite des chemins aujourd'hui pratiqués on trouverait un sol graveleux très solide Sur lequel on ferait confectionner une chaussée en sable et mâchefer Sorte de scorie dont il existe des murgets dans les climats contigus.

AD 41 – 7 M 401

Le second document est un devis daté du 23 juin 1838 pour la réalisation de travaux sur la route allant de Chambord à Bracieux[135], décidé par le ministre des Finances Jean Lacave-Laplagne[136]. Ce document, d'une grande précision, détaille la méthode de construction des routes forestières. On y apprend alors l'utilisation de mâchefer[137], nom donné à cette époque aux scories, pour la construction de cette route.

L'encaissement aura 4m de largeur & cinq de profondeur, le fond sera garni d'une couche serrée de bourrée ou faseiner de houx, genets ou epines liées a trois hast ayant un m de longueur & sept décimètre de circonférence, cette première couche sera recouverte de sable ou machefer de manière à conserver à la chaussée un bombement de 5 cent^{tre} *par m de largeur le sable sera tassé et battu à la some, les matériaux ne pourront être employé qu'après la vérification & la reception des agents.*

AD 41 - 7 M 435

L'utilisation de scories pour la construction et/ou la restauration des routes forestières au cours du temps, particulièrement aux XVIIIe - XIXe s., peut ainsi expliquer le fait que le volume total de scories prélevées sur les ferriers est plus important que le volume de scorie des épandages. En effet, il est probable qu'un grand volume de ces déchets se trouve actuellement sous les routes.

134. Découpage géographique d'une forêt.
135. AD41: 7M401
136. Ministre des Finances du 15 avril 1837 au 31 mars 1839 dans le gouvernement de Louis Mathieu Molé sous Louis-Philippe.
137. AD41: 7M435

On déplaçait alors ces vestiges sur de très courtes distances. Cette réutilisation est bien connue en archéologie, notamment pour les ferriers de Puisaye (PIETAK *et al.* 2012 : 118-119). Ce procédé est encore employé de nos jours pour les déchets de fonte (OCDE 1977 : 60-71).

4.2.2 Les dépôts ponctuels

Deux dépôts ponctuels sont observés au sud (F195/7) et au centre de la forêt (F137/2). Il s'agit d'espaces où l'on a déposé un petit nombre de scories (quatre - cinq individus) provenant probablement de ferriers situés non loin de là. Les raisons d'un tel déplacement sont inconnues, il est même difficile de dire si c'est le résultat d'une action anthropique ou animale. Ces sites ne sont donc pas étudiés dans le cadre de cette thèse.

Conclusion

On constate la présence de 43 ferriers concentrés au sud-sud-ouest du massif de Boulogne-Chambord. Ils présentent un profil assez commun en métallurgie : ils ont une forme circulaire, en ellipse ou en fer à cheval et sont composés d'un sédiment noir associé à des scories plus ou moins fragmentées qui dessinent généralement une butte dans le paysage. Ces ateliers sont de petite à moyenne ampleur en comparaison des sites connus dans le centre de la France (Poitou, Bas-Maine, Berry) par exemple. Enfin, sur l'ensemble des ateliers recensés, 13 présentent des traces de récupération des scories. Ils sont à mettre en relation avec les neuf zones d'épandage de scories observées dans la forêt. Leurs fonctions peuvent être diverses, mais ne sont pas toujours bien connues : restauration/entretien des chaussées, agriculture, etc.

4.3 Les déchets de réduction

Au cours des prospections 215 kg de vestiges métallurgiques ont été ramassés de façon méthodique (*Supra* 3.3.1) dans le massif de Boulogne-Chambord (***cf* vol. 4, tab. 2**). Il s'agit principalement de scories de réduction (scories écoulées, scories internes), mais également de quelques scories de forge (culot de forge), d'éléments constitutifs des fours de réduction (fragment de paroi, de tuile, de tuyère) et de vestiges lithiques, dont du minerai. L'ensemble de ce mobilier archéologique permet de renseigner les diverses étapes de la chaîne opératoire du fer, de mieux appréhender les techniques employées par les artisans ainsi que le type de minerai utilisé et de préciser la morphologie des fours.

4.3.1 Les scories écoulées, déchets caractéristiques d'un type de production

La majorité des vestiges métallurgiques ramassés sur les sites correspondent à des scories écoulées. Ces dernières représentent environ 124 kg de vestiges, soit 57,5 % (***cf* vol. 2, tableau 10**). Elles sont définies comme étant des Scories Grises Denses[138], généralement assez lourdes, qui présentent différents faciès regroupés en quatre sous-groupes. Tout d'abord, les plus représentées, environ 90 kg, sont les scories écoulées à cordons épais (> 2 cm) (**Fig. 63a**) ; puis les scories écoulées à cordons fins (< 2 cm) (**Fig. 63b**) avec 7, 8 kg ; les scories à cordons agglomérés (**Fig. 63c**) avec 5, 9 kg ; et les scories en plaque plus ou moins ridées avec environ 1 kg (**Fig. 63d**). Ces scories disposent généralement d'une face inférieure plane et d'une épaisseur dépassant peu les 5 cm.

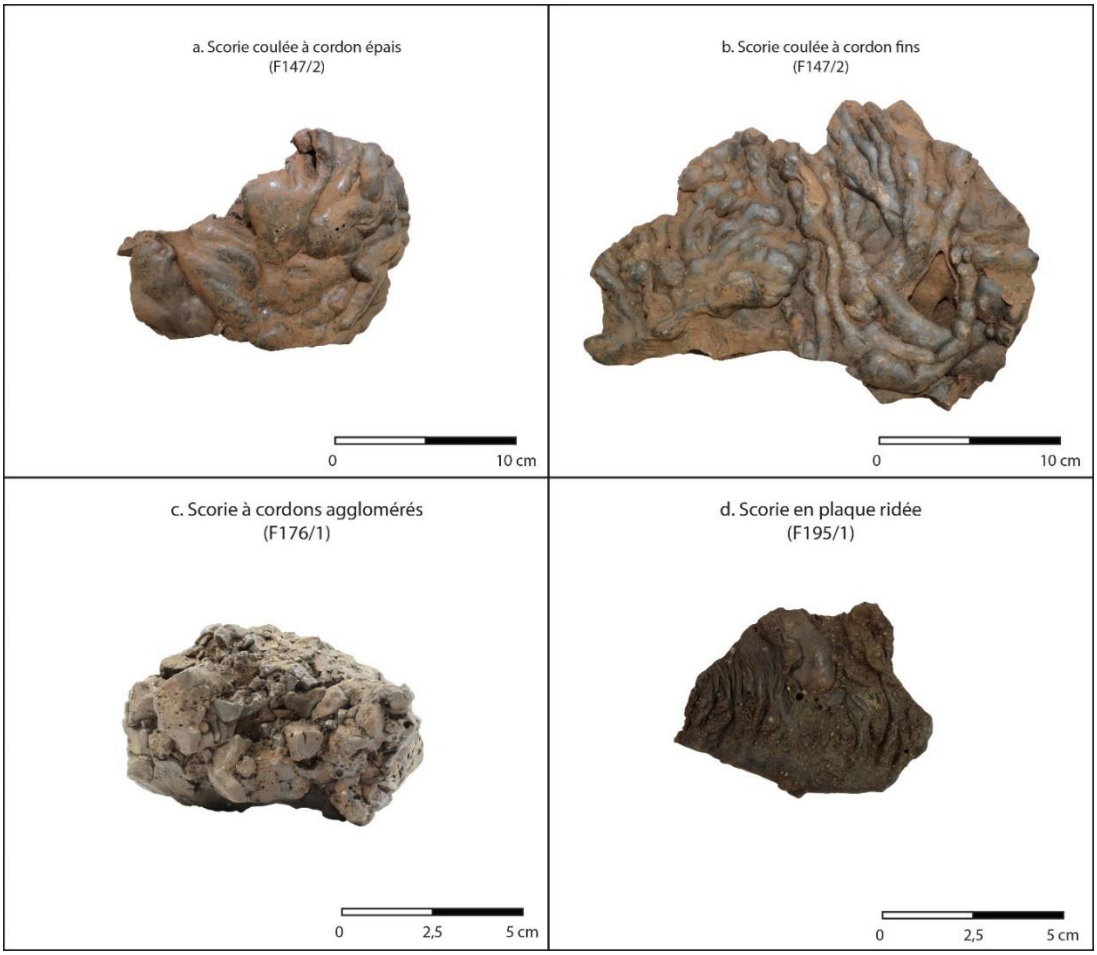


Fig. 63 : Photographies des différents types de scories écoulées ramassées dans le massif de Boulogne-Chambord

138. Catégorie de scories proposée par V. Serneels pour le site de Montcherrand (Suisse) (SERNEELS 1993 : 140-141).

La présence de ce type de scories de manière quasi-exclusive signale l'utilisation dans ce massif forestier de fours à scories écoulées. Les différentes formes que prennent ces vestiges sont principalement dues à l'état de viscosité de la scorie liquide lors de la réduction (MANGIN 2004 : 73). Elles peuvent également être contraintes par la quantité de matière qui s'écoule hors du four, la composition chimique des éléments entrant dans le système de réduction ou encore la température dans le four. Lorsqu'elles refroidissent, les scories écoulées se figent et fournissent ainsi des informations sur leur état de viscosité.

L'étude de ce mobilier ne montre aucun modèle d'association particulier en ce qui concerne les sous-types. Ils sont répartis de façon hétérogène dans les ateliers (**Fig. 64**). Toutefois, les scories à cordons épais sont prépondérantes sur presque tous les ferriers (***cf*** **vol. 2, tableau 11**). En outre, ce type de scorie est retrouvé dans tous les types de ferriers (petit, moyen ou grand). Les scories à cordons fins sont visibles sur seulement 19 sites et sont généralement peu représentées (à l'exception du site F147/2). Elles se trouvent également dans des ferriers de toutes dimensions. Les scories en plaques sont observées sur huit ferriers et un épandage et toujours en faible proportion. On les retrouve dans des ferriers de toutes dimensions, presque tous situés à la limite sud de la forêt. Elles indiquent une fluidité plus importante de la matière scoriacée sur ces sites. Les scories agglomérées proviennent de neuf ferriers et d'un épandage où elles sont légèrement plus représentées. Ces sites sont de toutes tailles et sont assez largement répartis dans la forêt.

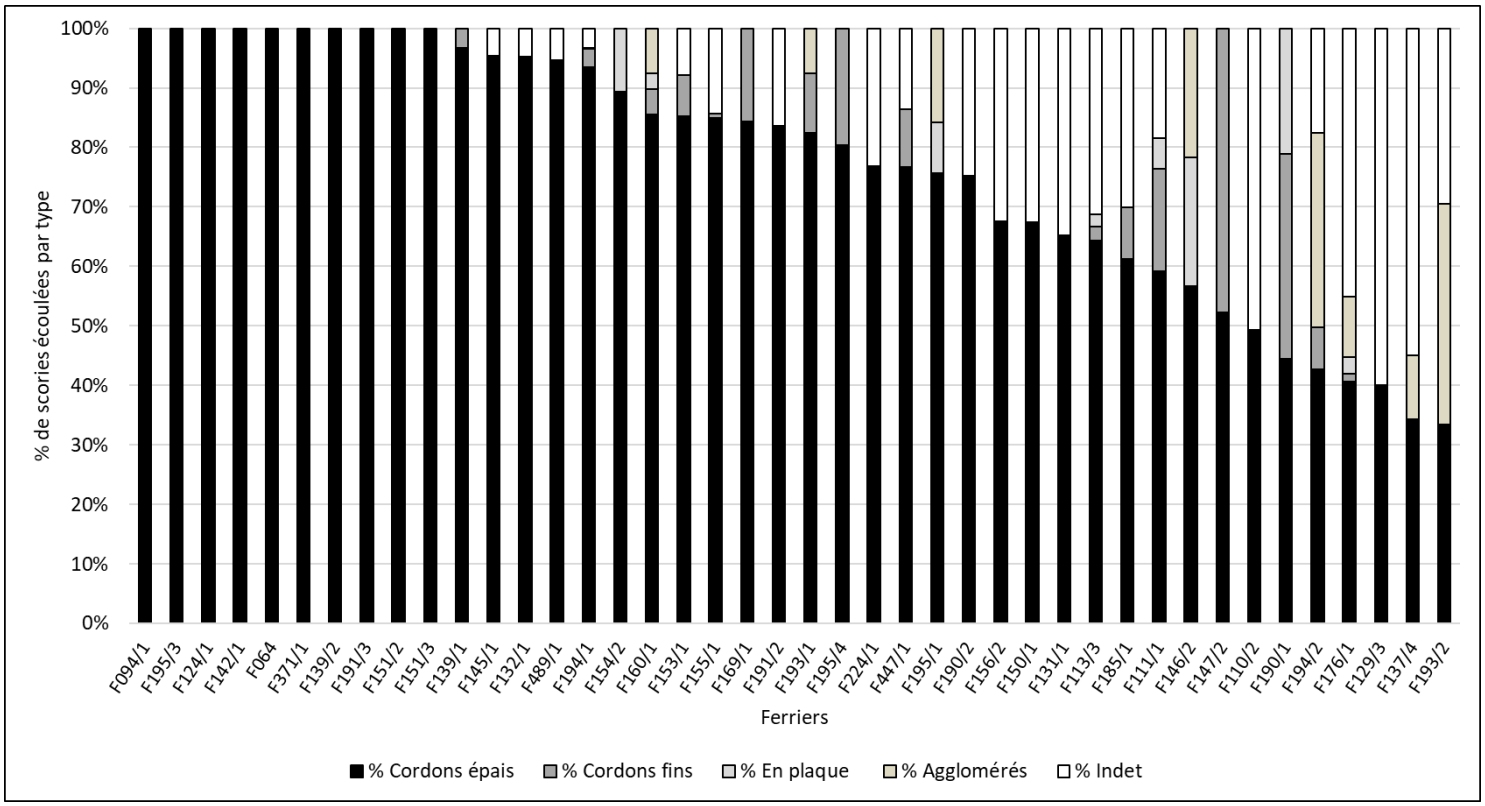


Fig. 64 : Diagramme du pourcentage de masse des différents sous-types de scories écoulées mises au jour sur les ferriers du massif de Boulogne-Chambord

La surreprésentation des scories à cordons épais (> 2 cm), relativement aux autres sous-types, signale une assez faible fluidité de la matière scoriacée lors de cette opération sur une majorité de sites. Cette viscosité peut être due à une température peu élevée dans les fours ou à la composition chimique du minerai utilisé. Néanmoins, certains sites montrent également la présence de matière plus fluide à travers quelques scories agglomérées, ridées ou encore en plaque.

La forme des scories peut être contrainte par celle de l'orifice d'écoulement. Quelques scories suggèrent que cet orifice était arrondi et d'au moins 4 cm de diamètre. En outre, un exemplaire présente une coulée de scorie figée avec un angle d'environ 55° par rapport à sa base. Cela démontre que l'orifice d'écoulement devait se situer en surplomb du sol, à environ une dizaine de centimètres de hauteur.



Fig. 65 : Scorie écoulée présentant la forme en négatif d'un orifice d'écoulement d'un four de réduction provenant du ferrier F155/1

Bien que la matière soit peu fluide, presque toutes les scories ont une surface inférieure lisse. Cela signifie que leur progression à l'extérieur du four n'a rencontré aucun obstacle qui aurait pu ralentir leur écoulement. Cette observation peut être appuyée par le fait que quatre scories présentent le négatif d'un canal semi-ouvert. Trois fragments proviennent du ferrier F176/1 et mesurent 6,5 cm, 5,5 cm et 5,5 cm de diamètre (**Fig. 66**). Le quatrième, trouvé dans le F169/1, mesure 2,1 cm de diamètre. Ces canaux sont certainement installés non loin de la base des fours par les métallurgistes afin de guider l'écoulement de la scorie.

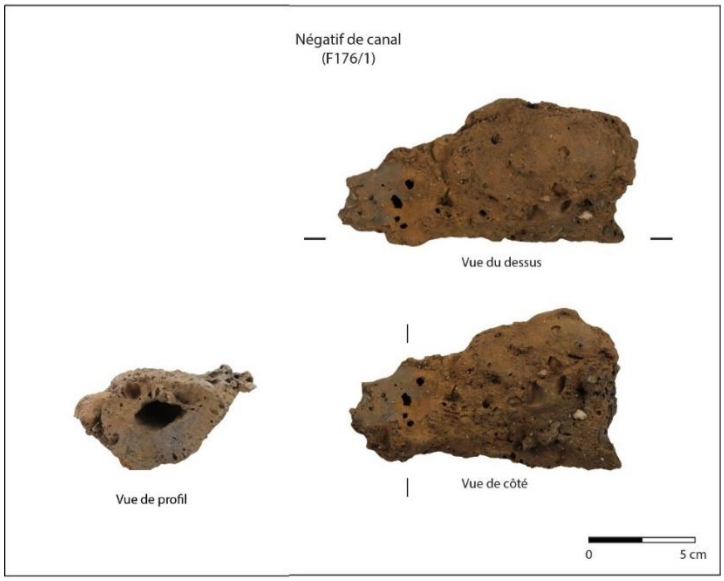


Fig. 66 : Photographie d'une scorie dont la forme évoque le négatif d'un canal

Au regard des inclusions (quartz, calcaire, grains de sable) visibles sur la face inférieure des scories, ces canaux ont probablement été creusés directement dans le sol. Aucun autre indice de l'aménagement de la zone située devant le four n'est connu.

Mis à part l'orifice d'écoulement, les scories de ce type peuvent également remplir les orifices d'aérations réalisées dans la paroi des fours. Dans le cas où les artisans ont utilisé des tuyères, la scorie peut se figer dans son canal en prenant la forme d'un tube. On la nomme alors « bouchon de tuyère » (VIVET 1997 : 68). Deux fragments de ce type sont observés dans le massif de Boulogne-Chambord. Ils proviennent des ferriers F195/3 et F155/1 et mesurent respectivement 2 cm et 2,6 cm de diamètre (**Fig. 67**). Bien que l'utilisation de tuyère soit ainsi restituée, il est impossible de préciser si elles sont issues d'une soufflerie naturelle ou artificielle.

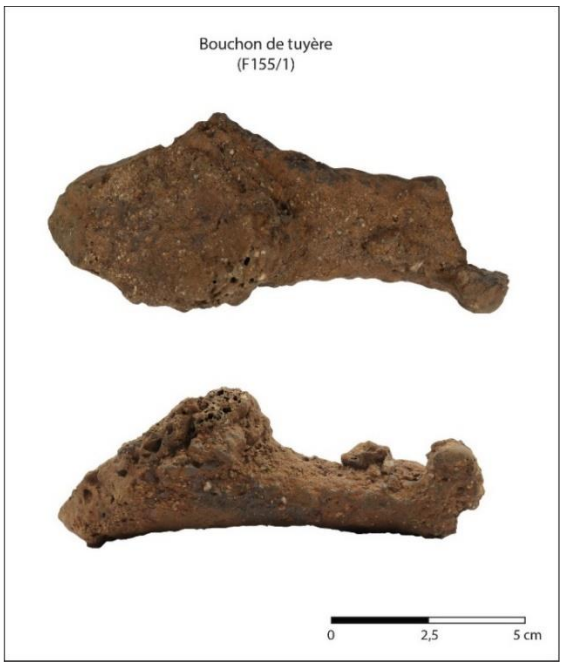


Fig. 67 : Photographie d'un bouchon de tuyère provenant du ferrier F155/1

En conclusion, ce type de scories témoigne de l'utilisation dans cet espace métallurgique de fours dont la scorie s'écoule hors de la cuve. Les proportions des différents sous-types sont hétérogènes au sein des ferriers et leur présence ne signale aucune relation particulière avec la taille du tas de déchet. On peut tout de même remarquer que la matière scoriacée engendrée dans les fours de réduction est, dans la majorité des cas, d'une viscosité assez importante. Certains sites montrent néanmoins des marqueurs d'une plus grande fluidité de la scorie. Enfin,

plusieurs indices signalent la présence d'un orifice pour la coulée, situé en surplomb dans la paroi du four, et de canaux creusés dans le sol devant les fours.

4.3.2 Différents types de scories internes

Observations macroscopiques

Le second type de scories de réduction observé dans le massif de Boulogne-Chambord correspond à des scories internes ; 56 kg de ces vestiges ont été ramassés. Il est possible de les diviser en trois sous-groupes.

Tout d'abord, les Scories Brunes Rugueuses (SBR) caractérisées, comme leur nom l'indique, par une coloration brune souvent associée à une légère oxydation de surface et un aspect externe rugueux (**Fig. 68a, *cf* vol. 2, tableau 12**). Elles représentent 26 kg des scories internes. Leur rugosité est directement liée à leur importante porosité. On les retrouve au sein de presque tous les sites. Ensuite, on trouve les Scories Brunes Denses (SBD) qui ont également une coloration brune, mais sont très compactes et lourdes (**Fig. 68b**). Ce sous-type comprend 29 kg de scories internes. De nouveau, on retrouve ces scories sur presque tous les sites. Enfin, les Scories Ferreuses (SF) (**Fig. 68c**) ont une surface très oxydée et sont très rares (0,9 kg de scories internes).

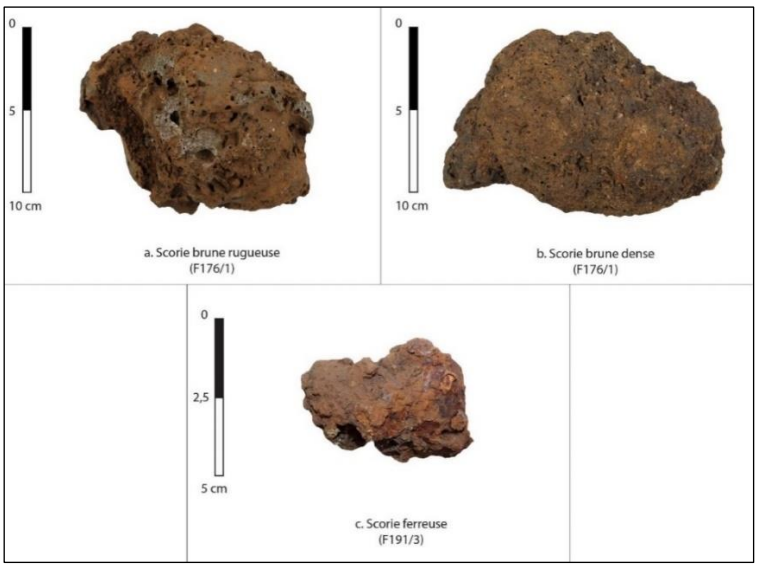


Fig. 68 : Planches photographiques présentant les différents sous-types de scories internes

Les Scories Brunes Denses sont les scories internes les plus représentées. Elles sont observées dans 34 ferriers sur 43 et représentent plus de 60 % des scories internes de 23 d'entre eux (**Fig. 69** ; ***cf*** **vol. 2, tableau 13**) [139]. Les scories Brunes Rugueuses sont légèrement moins répandues. On les observe dans 29 sites et elles constituent plus de 60 % de 13 d'entre eux. Ces deux types de scories ne sont jamais en même quantité, l'un est toujours majoritaire. On constate ainsi que les SBD prévalent dans 23 ferriers et les SBR dans 14 autres. Il n'apparait aucun lien entre cette prévalence et la taille des ferriers. Enfin, les Scories Ferreuses sont visibles dans sept ferriers, dont deux (F160/1 et F146/2) où elles sont les seules scories internes représentées. Sur les autres sites, elles sont en quantité réduite. On les retrouve sur autant de très grands/grands ferriers que de petits ferriers, mais sur aucun ferrier de taille moyenne.

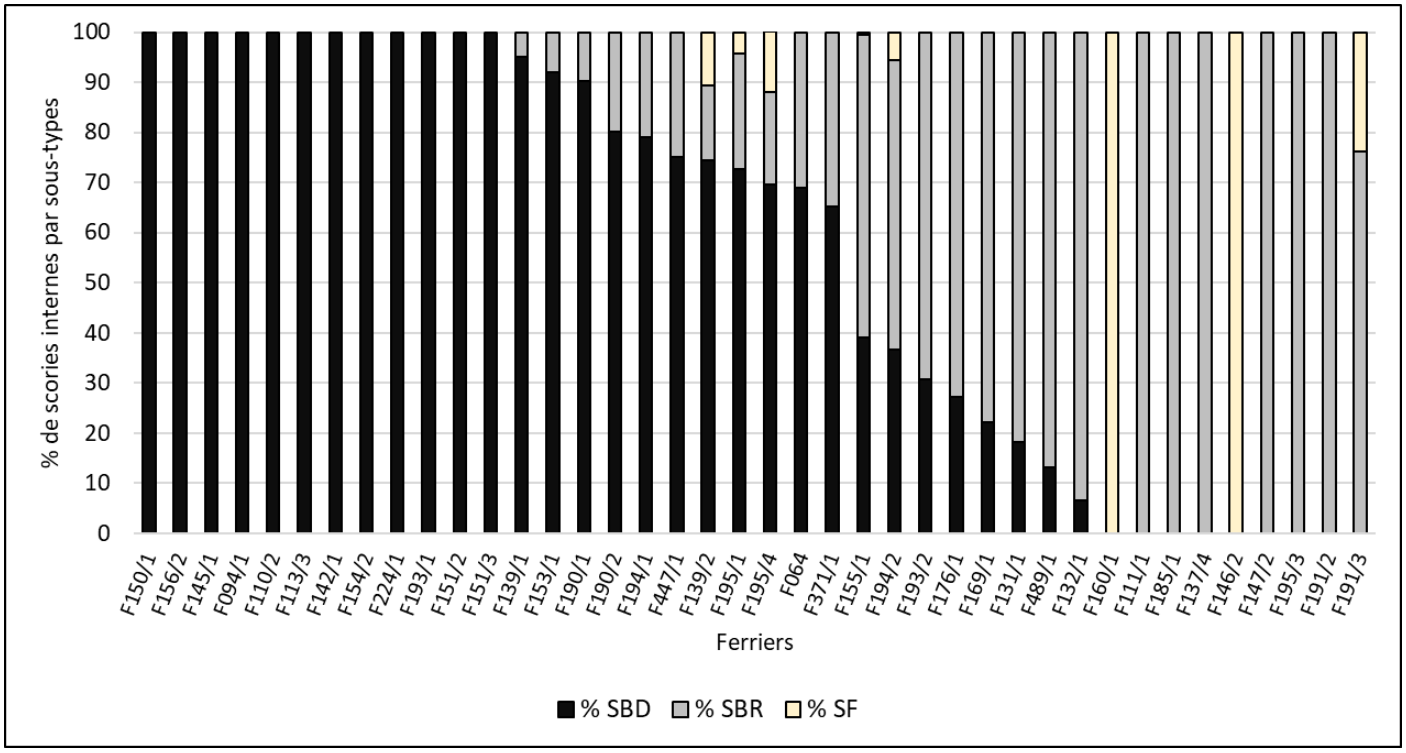


Fig. 69 : Diagramme du pourcentage de masse des différents sous-types de scories internes mises au jour sur les ferriers du massif de Boulogne-Chambord

La carte de répartition des différents sous-types de scories internes montre que les sites comprenant presque uniquement des Scories Brunes Denses, les plus nombreux, sont situés au sud de la forêt alors que ceux étant principalement composés des Scories Brunes Rugueuses se trouvent plutôt au sud-ouest (***cf*** **vol. 2, fig. 35**). Ces observations sont uniquement considérées

139. L'étude des proportions concerne ici uniquement les ferriers, seules sites en position primaire apportant des informations concrètes et fiables sur la production métallurgique ayant eu lieu dans la forêt.

comme des tendances, car l'étude de mobilier provenant de prospection de structures aussi hétérogènes que les ferriers, est soumise à un biais important. On peut toutefois supposer que la production de fer située dans ce massif a engendré des scories plus liquides sur certains sites. Il faut à présent apporter d'autres arguments pour nourrir cette hypothèse.

Certaines scories internes se sont agglomérées dans le fond de la cuve d'un four de réduction et, après refroidissement, forment un bloc plus ou moins massif (MANGIN 2004 : 74 ; ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 107-108). On les reconnait à leurs dimensions importantes et à leur forme souvent plano-convexe. En outre, on observe généralement sur la face inférieure, des inclusions de cailloutis ou de végétaux signalant un contact avec le fond du four. Les observations métallographiques permettent toutefois de distinguer plus efficacement ces scories des culots de forge, notamment d'épuration, qui sont parfois très ressemblants (*Supra* 3.3.2).

Parmi les scories internes de ces ferriers, 14 fonds de four sont distingués (***cf* vol. 2, tableau 14**), 11 d'entre eux sont des Scories Brunes Denses trouvés sur les sites F154/2, F155/1, F195/1, F371/1, F145/1, F176/1, F142/1, F113/3, F374/1 et F447/1 et trois sont des Scories Brunes Rugueuses provenant des sites F191/2, F176/1 et F489/1. Quel que soit leur type, ils contiennent souvent des inclusions d'oxydes de fer, des négatifs de charbon de bois ainsi que des fragments de paroi en argile sur leur partie externe. Parfois, on peut également y observer le négatif d'une tuyère. Des traces de vitrification bleutées sont régulièrement visibles en surface. Ces fonds de four présentent deux formes correspondant à celle du fond du four dans lequel ils ont été générés. Ainsi, 12 individus ont une forme plano-convexe et circulaire et deux sont ovales (**Fig. 70**). Ces formes signalent l'utilisation par les métallurgistes de fours de réduction circulaires disposant d'un fond légèrement creusé dans le sol, comme l'indique la présence de cailloutis blancs sur la partie inférieure de la plupart des fonds de four. Couramment observé sur les sites métallurgiques, on trouve par exemple ce type de four sur le site de protohistorique de Meunet-Planches (DIEUDONNE-GLAD 2017 : 15), le site antique de Roche Brune (Sarthe) (SARRESTE 2006 : 31-34) et le site mérovingien de Boécourt, les Boulies (Ju/Suisse) (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 52).



Fig. 70 *:* Photographie des deux types de fond de four ramassés dans le massif de Boulogne-Chambord

Ces fonds de four pèsent entre 0,6 et 2,5 kg ; les plus lourds (> 2 kg) proviennent des sites F154/2 et F145/1 et les plus légers du ferrier F447/1 et de l'épandage F374/1 (**Fig. 71**). La majorité des fonds de four pèsent moins de 1,5 kg mais quelques individus indiquent l'existence de plus grandes pièces.

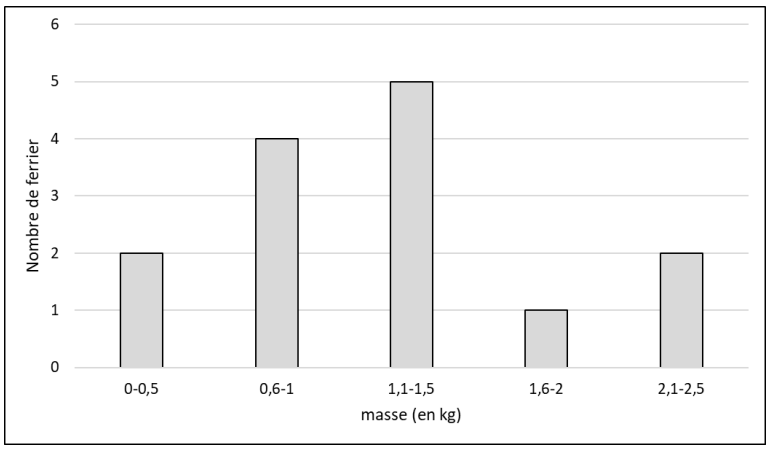


Fig. 71 *:* Diagramme du nombre de fonds de four par classe de masse (en kg)

Les fonds de four mesurent entre 10 et 20 cm de longueur, entre 8 et 14 cm de largeur et leur épaisseur est comprise entre 2, 1 et 9, 8 cm. L'épaisseur des fonds de four ramassés sur les sites F447/1 et F489/1 est particulièrement importante. Ces dimensions ne sont donc pas homogènes (**Fig. 72**), tout comme la longueur et l'épaisseur ou la largeur et l'épaisseur. Il semble

néanmoins que deux tendances apparaissent, la première comprend des fonds de four de petites dimensions (entre 10 et 15 cm de longueur pour 7 à 10 cm de largeur) et la seconde des fonds de fours plus importants (entre 13 et 20 cm de longueur pour 12 à 14 cm de largeur).

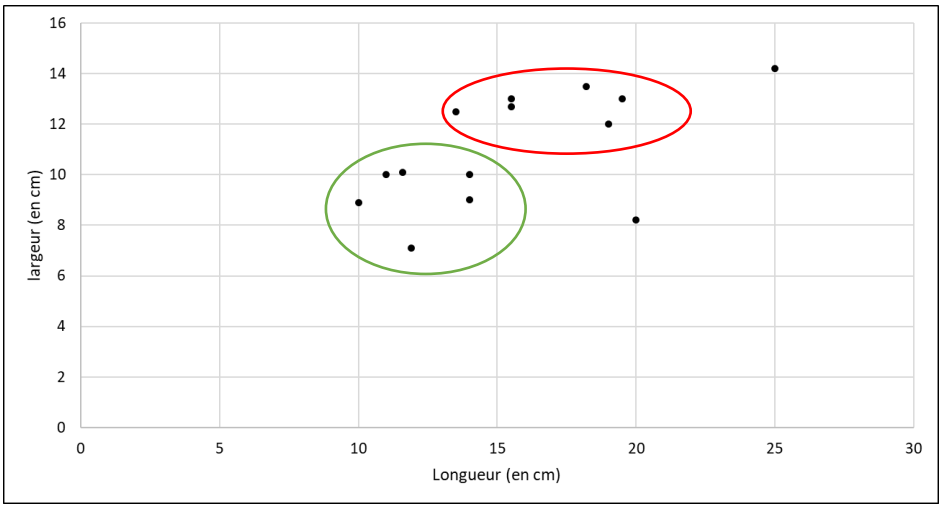


Fig. 72 : Diagrammes présentant la longueur des fonds de four (en cm) en fonction de leur largeur (en cm)

Le poids et les dimensions des fonds de four observés dans la forêt de Boulogne-Chambord sont beaucoup plus faibles que ceux des Martys (Aude) où ils pèsent entre 60 et 80 kg (DOMERGUE *et al.* 1993 : 349). Ils sont similaires à ceux mis au jours sur les sites de Boécourt « les Boulies » (Suisse) (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 108-112).

En résumé, les fonds de four comprennent deux formes distinctes et deux groupes d'individus qui diffèrent par leurs dimensions et leurs masses (**Fig. 73**). Il n'apparait cependant aucun lien entre ces différents groupes et la localisation des ferriers d'où ils proviennent ou le volume de déchets restitués pour ces ferriers.

Fig. 73 : Synthèse des caractéristiques des fonds de four de la forêt de Boulogne-Chambord

Masse	Léger (0,3-1,4 kg)	Moyen (2 à 2,9 kg)
Forme	Circulaire	Ovale
Dimensions	Petits (entre 10 à 15 cm de longueur et 7 à 10 cm de largeur)	Grands (13 à 20 cm de longueur et 12 à 14 cm de largeur)

Observations métallographiques

Ce type d'étude est l'un des seuls moyens de distinguer les fonds de four, relatif à la réduction du fer, des culots de forge. En effet, ils présentent, dans le cadre de ce corpus, les mêmes caractéristiques externes (forme plano-convexe, aspect extérieur rugueux ou dense, etc.). Après observation de l'ensemble des échantillons, il est défini que les fonds de four sont de plus grandes dimensions et comprennent une phase majoritairement fayalitique parfois associée à de la wüstite, mais faiblement représentée.

L'étude de la coupe de six fonds de fours et leur analyse métallographique permet d'approfondir la caractérisation de la production. Ces scories proviennent de plusieurs ferriers situés dans la forêt de Boulogne et dans le parc de Chambord (***cf* vol. 2, fig. 36 *; cf* vol. 3, Annexe 2**). Les trois fonds de four mis au jour dans la forêt de Boulogne (BOU191/2, BOU142/1-2, BOU176/1) ont une section très similaire (**Fig. 74**). Il s'agit de scories plus ou moins oxydées en surface avec des inclusions d'oxydes de fer, d'argile et de cailloutis par endroit. Elles présentent une matrice hétérogène, de couleur verte à grise vitreuse. La zone de couleur verte est située au centre ou en périphérie de la scorie sans préférence particulière. La scorie qui possède la partie verte la plus étendue (BOU191/2) est la seule à être une Scorie Brune Rugueuse et non une Scorie Brune Dense. Ces fonds de four comprennent de très nombreuses porosités réparties sur 70 à 80 % de la surface totale des coupes. Néanmoins, elles sont souvent plus nombreuses et/ou de plus grandes dimensions (5 - 10 cm) dans les zones périphériques. Leur forme est anguleuse. Les porosités étirées sont orientées soit parallèlement aux bords de la scorie, soit vers la partie supérieure de cette dernière. Ces observations montrent que les scories formées lors de la réduction étaient sans doute peu fluides (BERRANGER 2014 : 126). La composition de la phase minérale de ces individus signale un refroidissement assez lent qui commence généralement par la partie inférieure de la scorie et se termine dans la partie supérieure, emplacement de l'éponge de fer. Enfin, ces fonds de four contiennent peu ou pas de métal. Dans un seul exemplaire on trouve des nodules métalliques globulaires (0, 1 - 5 mm) et des grains plus ponctuels (1 - 5 mm) (BOU191/2). Au vu de la morphologie des inclusions métalliques, on peut penser que le métal n'avait pas atteint son point de fusion lorsqu'il s'est aggloméré (SERNEELS 1993 : 20). Ce métal est assez hétérogène et constitué de ferrite au centre et d'une matrice ferrito-perlitique en périphérie. Enfin, la périphérie des trois échantillons issus de la forêt de Boulogne est oxydée. Le profil homogène de ces scories laisse percevoir une même technique de réduction sur ces différents sites.

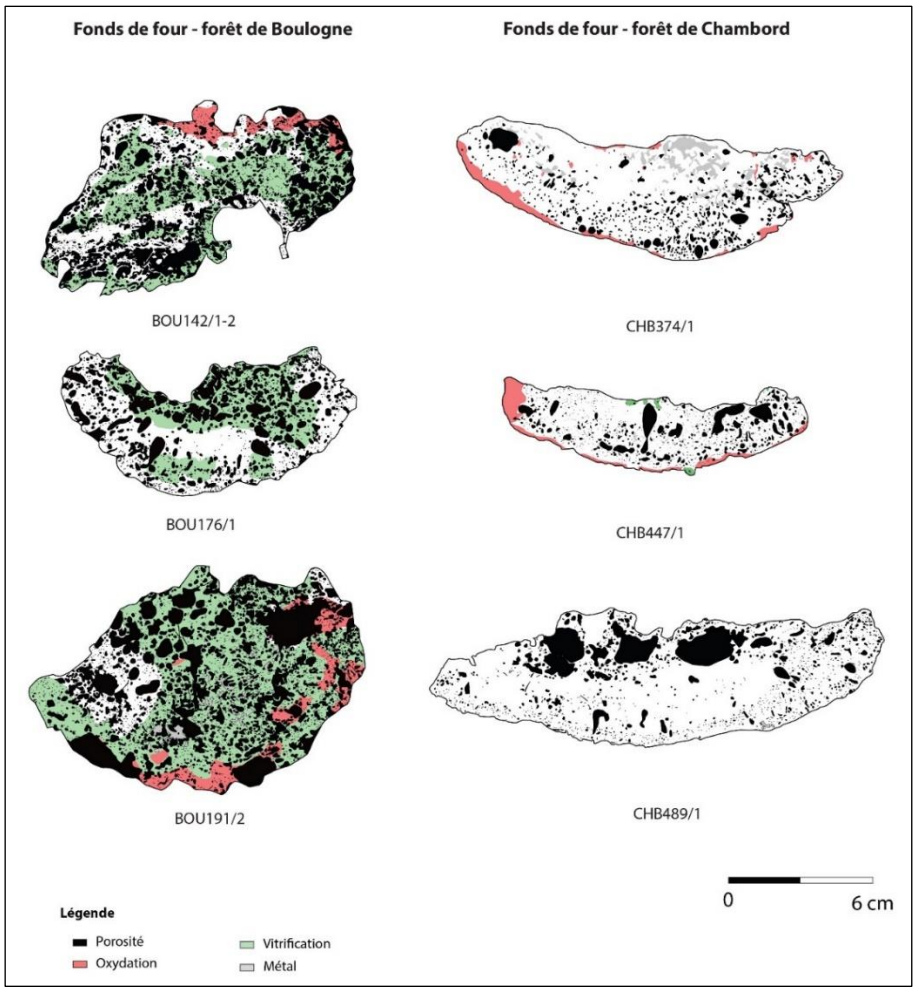


Fig. 74 : Dessins des coupes de scorie issues des prospections en forêt de Boulogne-Chambord et observées en métallographie

Les trois fonds de four (CHB374/1, CHB447/1, CHB489/1) provenant de la forêt de Chambord sont différents. Ces scories présentent également un aspect extérieur brun, dense avec des inclusions de cailloutis, d'argile et d'oxydes de fer. Elles sont moins épaisses que les précédentes, et ont une matrice homogène grise sombre à noire, vitreuse et dense. Elles sont peu poreuses et leurs vides sont généralement de petites dimensions (< 5 mm), bien que quelques-uns mesurent entre 2 et 5 cm. Les porosités sont concentrées dans la partie supérieure et périphérique de la scorie. Les plus petites sont généralement arrondies et les plus grandes sont étirées et orientées parallèlement aux bords de la scorie ou vers la partie supérieure de cette dernière. Ces caractéristiques témoignent d'une scorie plus fluide que les fonds de four de Boulogne. Une légère coloration verdâtre laisse parfois supposer une composition différente des scories ou n'ayant pas connues les mêmes conditions physico-chimiques. La forme de la fayalite dans ces fonds de four indique un refroidissement très lent et plus homogène que pour ceux de la forêt de Boulogne. La présence massive de wüstite dans l'une de ces scories appuie

cette observation et indique une efficacité moindre de la réduction. Enfin, de nombreux nodules métalliques anguleux et globulaires (entre 1 et 3 cm) sont visibles dans la scorie CHB374/1. Ils ont une structure ferritique homogène et sont très faiblement carburée. Quelques rares grains métalliques sont également observés dans la scorie CHB447/1, mais leur faible dimension ne permet pas de caractériser le métal. Enfin, une très fine pellicule d'oxydation est visible sur leur périphérie. Ces trois fonds de four sont donc similaires ce qui indique probablement l'utilisation d'une même technique de production.

Les métallographies réalisées sur ces fonds de four semble donc montrer l'existence d'au moins deux techniques de production du fer engendrant différents types de scories au sein du massif forestier (**Tableau 6**). La première, observée au sud/sud-ouest du massif, est caractérisée par de bonnes conditions de réduction associées à un refroidissement lent et peu homogène. Les scories engendrées sont de couleur verte, coloration également observée dans les scories de l'atelier de Ponte di Val Gabbia III (Italie) (FLUZIN 2000 : 25-27). Elle est toutefois observée sur un culot de forge. La seconde technique, mise en évidence dans la partie nord de la forêt, comprend des conditions de réduction plus efficace et un refroidissement plus lent et plus homogène de la scorie. En outre, les conditions physico-chimiques ne conduisent pas à l'obtention des scories vitrifiées de couleur verte.

Tableau 6 : Synthèse des caractéristiques restituées des deux probables techniques de réduction employées dans le massif de Boulogne-Chambord

	Technique 1	**Technique 2**
Conditions de réduction (température, pression, etc.)	Moyennement élevée	Plus élevée
Refroidissement de la scorie	Lent et peu homogène	Plus lent et homogène
Couleur de la matrice	Verdâtre à grise	Grise

4.3.3 Les pseudo-laitiers

En plus des scories internes, quelques fragments de pseudo-laitiers sont observés dans le massif de Boulogne-Chambord. Ils ne représentent que 0,4 kg de vestiges sur les 215 kg ramassés. Il s'agit de petits à très petits fragments verts à bleus très vitrifiés. Ces vestiges prennent souventla forme de gouttelette (**Fig. 75**).

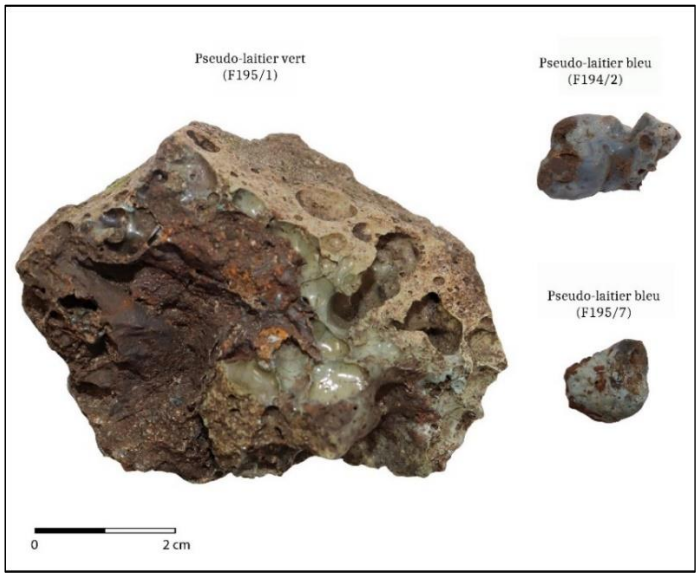


Fig. 75 *:* Photographie de pseudo-laitiers ramassés dans le massif de Boulogne-Chambord

Ils sont présents au sein de 13 ferriers (F160/1, F169/1, F195/4, F150/1, F151/2, F194/2, F151/3, F139/2, F447/1, F113/3, F131/1, F094/1) et de deux épandages (F195/7 et F374/1). Les sites d'où ils proviennent ne présentent pas de morphologie, de dimensions ou de localisation particulière (***cf* vol.2, fig. 37**). Ces vestiges ne sont pas assez nombreux pour être représentatifs.

4.3.4 Les indices de structures de production

Les parois de four

Après les scories, les fragments de paroi en argile sont les vestiges associés à la métallurgie les plus représentés au sein des ferriers de ce massif (environ 25 kg). Ces parois proviennent de huit épandages et de tous les ferriers sur lesquels du mobilier a été prélevé. Tous les fragments ramassés possèdent une pâte similaire composée d'argile beige/orangée comprenant des inclusions de quartz millimétriques à submillimétriques. La coloration de ces fragments varie de l'ocre-jaune, au blanc/gris, rose/violacé, au rouge ou encore au noir. La description de ces argiles est très similaire à celles provenant de la couche géologique des « Sables et Argiles de Sologne » sur laquelle s'étend une grande partie du massif forestier (*Supra* 2.1.1). Il est donc très probable que les fours utilisés dans les ateliers aient été fabriqués en utilisant les ressources locales. Ces vestiges de paroi sont très fragmentés, seuls quelques-uns permettent de connaitre leur épaisseur. Elle est comprise entre 3,5 et 4 cm sur tous les sites sauf sur le ferrier F176/1 où des fragments mesurent entre 6 et 8 cm d'épaisseur.

Aucune trace de fabrication (lissage au doigt, clayonnage, etc.) n'est visible sur ces vestiges. Toutefois, deux fragments retrouvés dans les ferriers F142/1 et F155/1 sont associés à de la scorie interne dont la morphologie témoigne de la forme circulaire des fours et du fait que le fond des fours est légèrement creusé dans le sol (**Fig. 76**). La paroi provenant de F155/1 comprend également un fragment de tuyère.

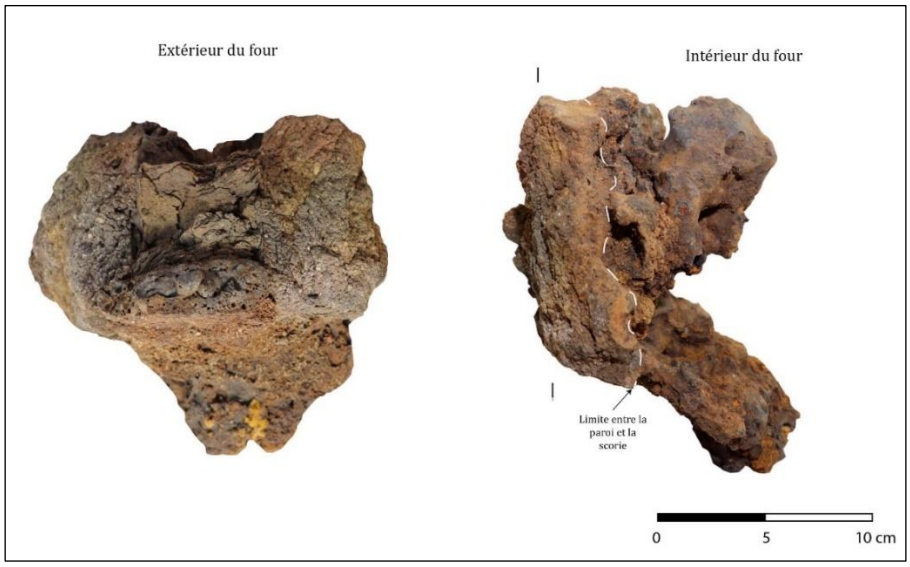


Fig. 76 : Photographie d'un fragment de paroi associé à de la scorie interne et à une tuyère (F176/1)

Les variations de couleurs observées sur ces vestiges traduisent généralement, selon les observations de P. Andrieux, les traces de chauffe des parois de four. Elles résultent du degré d'oxydation du fer présent dans la pâte ainsi que des additifs végétaux utilisés comme dégraissant (ANDRIEUX 2004 : 70-71). La couleur noire est généralement due à la chauffe des végétaux et disparait à plus de 800°C. La température et une atmosphère riche en oxygène favorisent la formation d'hématite qui donne une coloration rouge/brune à l'argile. À l'inverse dans un milieu riche en monoxyde de carbone, on favorise la réduction de l'hématite en magnétite ce qui donne une couleur blanche à grisâtre. Enfin, une coloration violine peut apparaître au niveau des zones les plus chaudes du four (ANDRIEUX 2004 : 71).

Dans la forêt de Boulogne-Chambord, la majorité des fragments ramassés présentent une coloration grise à blanche (env. 21 kg) ce qui confirme la présence d'une atmosphère réductrice dans les fours de réduction (**Fig. 77 ; *cf* vol. 2, tableau 15**). Peu de vestiges disposent d'une coloration brun/rouge (env. 3,2 kg) qui signale un contexte oxydant. Enfin quelques fragments

(1 kg) présentent une coloration beige/ocre permettant de considérer que ces pièces ont subi un faible impact thermique.

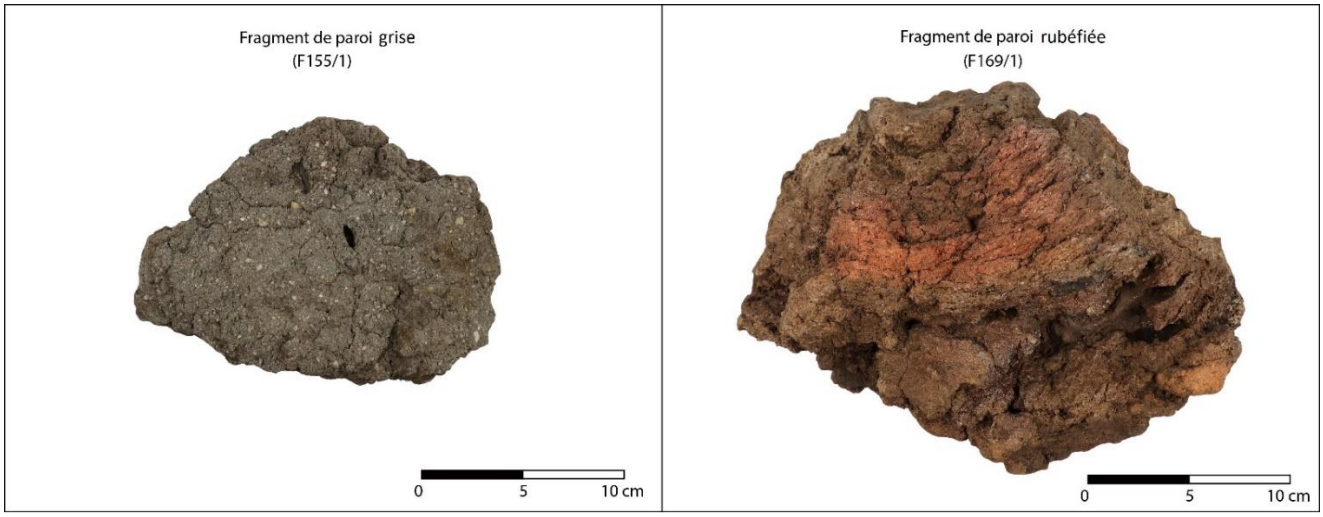


Fig. 77 *:* Photographie de fragments de paroi en argile présentant des traces de chauffe

L'atmosphère présente dans les fours est donc majoritairement riche en monoxyde de carbone, or c'est ce qui est nécessaire à la réduction du métal. Les fragments de paroi oxydés en faible nombre, quant à eux, peuvent être dus à leur proximité directe avec une source d'oxygène, comme l'embouchure de la tuyère.

En plus de leur coloration, la plupart de ces parois présentent une vitrification de leur face interne. Cette vitrification, causée par la température du four, apparait à moins de 1 000°C (ANDRIEUX 2004 : 71). La coloration de cette vitrification peut aller du bleu au vert (**Fig. 78**).

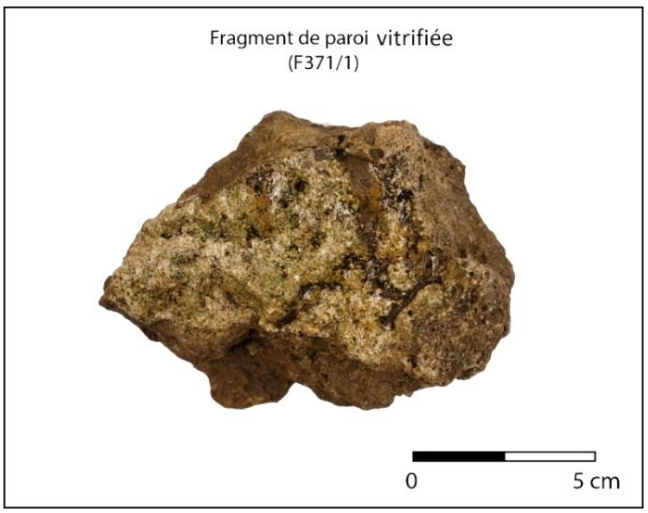


Fig. 78 *:* Photographie d'un fragment de paroi vitrifié aux reflets verts

Les fragments de paroi possèdent souvent une couche scorifiée qui repose directement sur cette vitrification (**Fig. 79**). Cela indique que les fours ont d'abord monté en température, entrainant ainsi la vitrification des parois, avant que les résidus de scories et/ou d'oxydes de fer ne s'y accrochent, c'est-à-dire avant que la réduction ait lieu.



Fig. 79 : Photographie d'un fragment de paroi vitrifié et scorifié (F195/1)

Plusieurs éléments de la charge du four se sont incrustés à l'intérieur de l'argile. On observe notamment des fragments millimétriques de charbon de bois sur les parois provenant du ferrier F142/1 et de minerai sur celles du ferrier F154/2. Enfin, un exemplaire du site F176/1 montre une réfection avec une première couche d'argile d'environ 4 cm d'épaisseur vitrifiée sur une face et recouverte d'une seconde couche d'argile vitrifiée sur la même face (**Fig. 80**). Ce phénomène signale le rechapage de la paroi du four. Il explique ainsi pourquoi les fragments de paroi qui y sont observés ont une épaisseur deux fois plus importante que ceux des autres sites de la forêt.

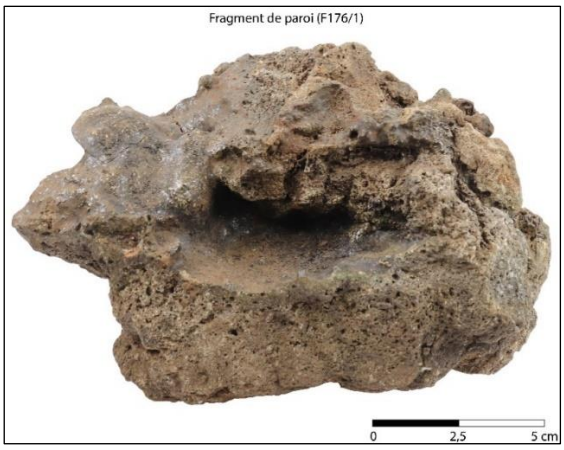


Fig. 80 : Photographie de la coupe d'une paroi de four présentant deux couches d'argile vitrifiées

La terre cuite architecturale

Les fragments de paroi ne sont pas les seuls vestiges qui proviennent des fours utilisés pour la métallurgie. En effet, 36 fragments de terre cuite architecturale (4,2 kg) ont été mis au jour dans 12 ateliers. On les retrouve au sein de neuf ferriers et de trois épandages. Le ferrier F155/1 est celui sur lequel ont été mises au jour le plus grand nombre de terres cuites architecturales (huit fragments), puis les ferriers F371/1 et F489/1 (six fragments chacun), F176/1 (cinq individus) et dans une moindre mesure F447/1 (trois fragments) et F142/1, F151/3, F185/1 et F191/2 (un individu chacun). Les terres cuites architecturales sont parfois utilisées en métallurgie lors de la construction des structures de production (fours, foyer de forge, etc.), car elles permettent d'en renforcer l'ossature. On observe ce phénomène sur les sites métallurgiques des Clérimois (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 70-80), de Boécourt « les Boulies » (Suisse) (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 92) (**Fig. 81**) et dans le Pays de Vaud (PELET 1993 : 29-65) par exemple. L'état de conservation de ces vestiges est variable, toutefois certains fragments sont assez complets.



Fig. 81 : Photographie du four 1 de Boécourt « les Boulies » (Suisse) employant de la terre cuite architecturale (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 52)

La pâte de l'ensemble de ces terres cuites est très similaire, elle présente une faible granulométrie et comprend des inclusions de quartz submillimétriques. La différence la plus évidente se trouve dans leur couleur. Les plus représentées sont oranges claires avec 15 individus (**Fig. 82a ; *cf* vol. 4, tab. 2**). Elles proviennent d'ateliers du sud et du nord-est de la forêt. On observe cinq fragments de terres cuites architecturales de couleur orange vif sur le ferrier F155/1 (**Fig. 82b**) ; cinq autres fragments issus des ferriers F371/1, F185/1 et F447/1 ont une couleur beige (**Fig. 82c**) ; et cinq trouvés dans les épandages (F201/2, F195/6, F374/1) et le ferrier (F371/1) ont une couleur rouge/rosée (**Fig. 82d**). Il est difficile d'établir si ce mobilier est en lien avec l'activité métallurgique ou s'il a été déposé à une autre période. Toutefois, quelques terres cuites architecturales (cinq individus) présentent des traces de chauffe grisées (**Fig. 82e**), voire de vitrification et de scorification, qui les rattachent à la production métallurgique. Ils proviennent des ferriers F176/1, F489/1, F191/2 et F142/1.

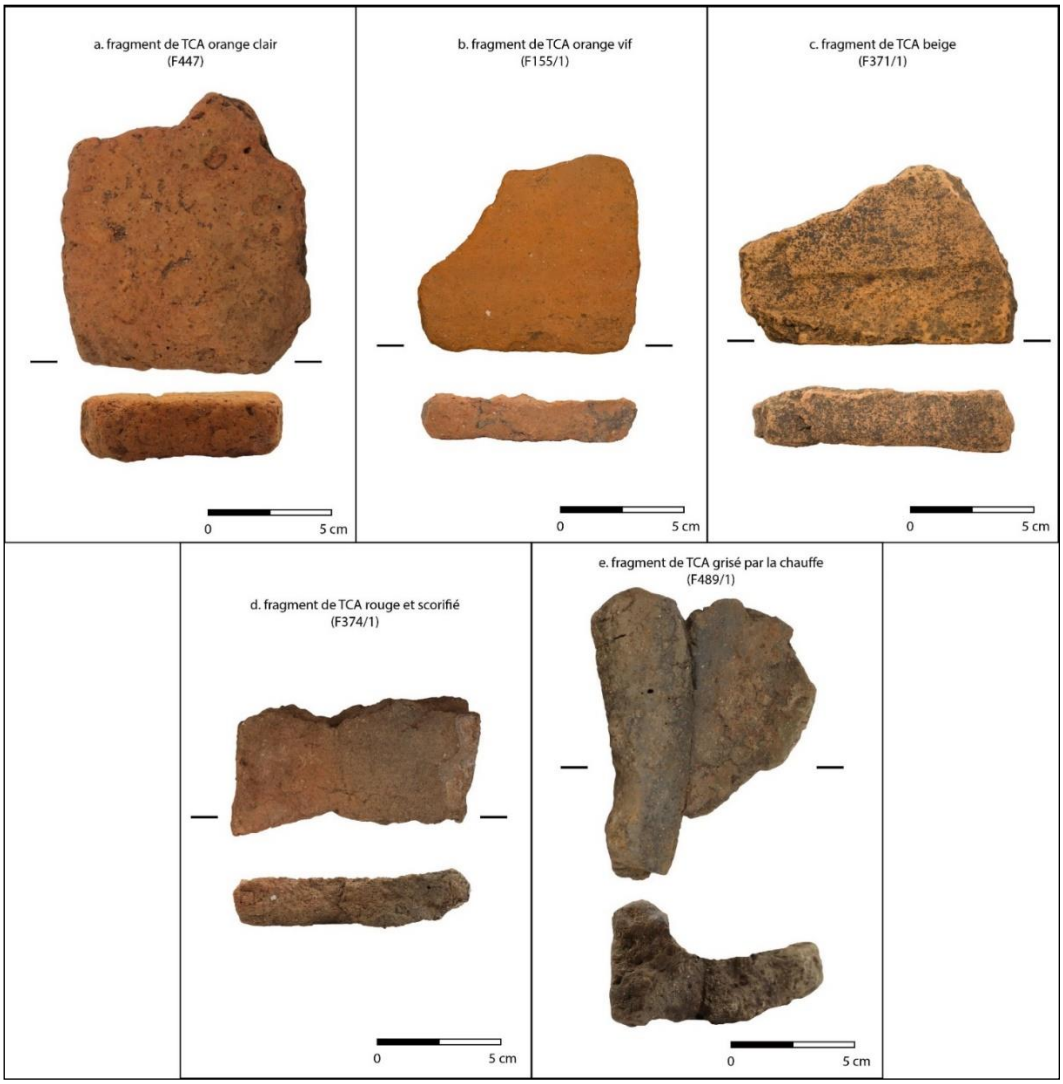


Fig. 82 *:* Photographie des différents types de terres cuites architecturales observées dans le massif de Boulogne-Chambord

La localisation de la coloration grisâtre et de la vitrification sur les terres cuites architecturales, sur une extrémité ou sur toute leur surface, et le faible nombre d'exemplaire ne permettent pas d'établir comment les terres cuites architecturales sont utilisées dans l'architecture des fours. Sur le site mérovingien de Boécourt, les Boulies (Ju/Suisse), elles sont disposées sur la tranche à la base des fours (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 52-53), tandis que dans les fours antiques des Clérimois (Yonne) elles sont à plat et jointes au mortier (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 70-80).

L'état de conservation de ces éléments rend impossible de réaliser une étude de leurs dimensions. L'épaisseur est la seule donnée analysable pour un grand nombre d'entre eux. Elle est comprise entre 1,4 et 3 cm et est très variable sur un même site (**Fig. 83**).

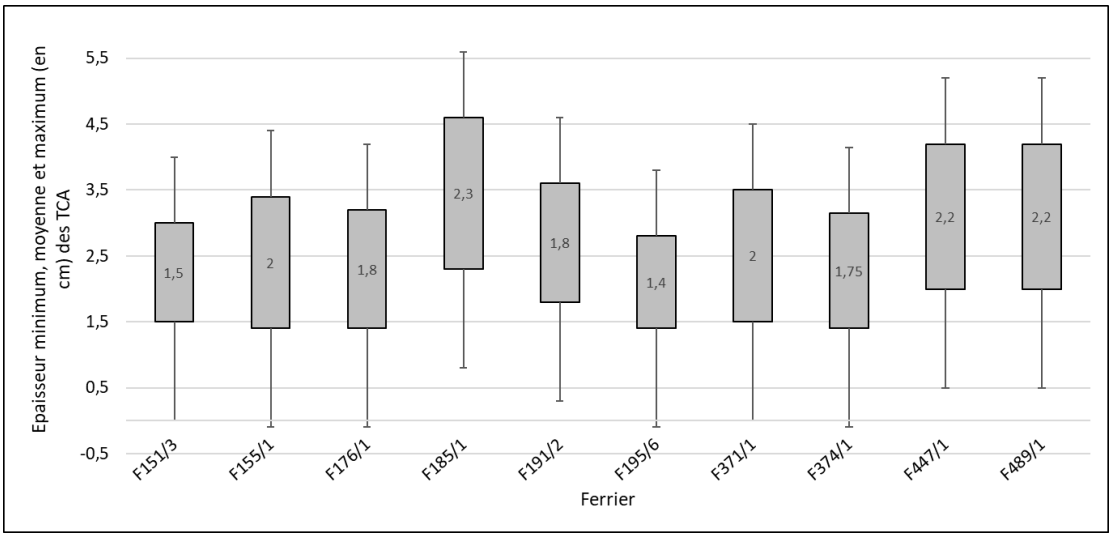


Fig. 83 : Diagramme de l'épaisseur minimum, maximum et moyenne des TCA par site dans la forêt de Boulogne-Chambord

L'état de conservation des fragments de terre cuite architecturale n'est pas non plus optimal pour déterminer leur type. Néanmoins, 15 fragments de *tegulae*[140], sept fragments de tuiles fines, deux fragments d'*imbrices* et deux carreaux de pavement sont identifiés. Ils sont décrits plus en détail dans le paragraphe sur la datation (*Infra* 4.5.2).

Les tuyères

Le dernier élément concernant d'architecture des fours métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord est la présence de tuyère[141]. Au total, 39 fragments de tuyères (2, 7 kg) ont été recueillis. Ils proviennent de 18 ferriers et deux épandages. Plus de la moitié de ces vestiges sont issus des ferriers F155/1 (14 individus), F176/1 (cinq individus) et F447/1 (cinq individus) (***cf* vol. 2, fig. 38**). Ils sont généralement très fragmentés, mais quelques-uns apportent des informations sur leur fabrication et leur morphologie.

140. Tuile plate en argile composée d'un plateau et de deux rebords (RAUX, BERTRAND, FEUGERE 2012 : 541).
141. Élément fabriqué en argile qui est inséré dans les parois des fours de réduction, et/ou des foyers de forge, afin d'apporter une ventilation à la structure.

On constate tout d'abord que l'argile utilisée pour leur fabrication n'est pas la même que celle des parois. La pâte présente un grain plus fin, mais contient également des inclusions de quartz submillimétriques. En outre, l'observation récurrente de négatifs de fibres montre que les artisans ont utilisé un dégraissant végétal pour leur fabrication (**Fig. 84**).

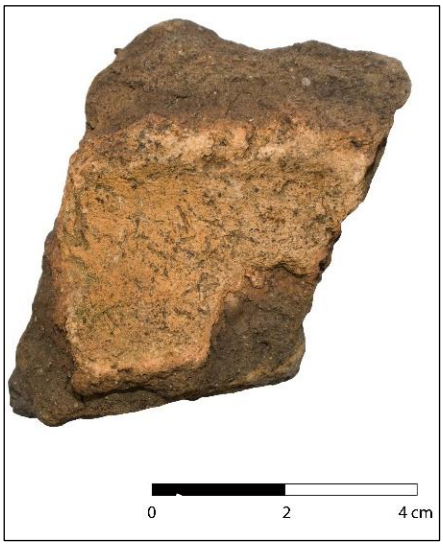


Fig. 84 *:* Photographie d'un fragment de tuyère avec des négatifs de fibres végétales (F447/1)

On dispose de peu de vestiges en assez bon état pour avoir une idée de la morphologie de ces tuyères. Néanmoins, on constate qu'il en existe au moins trois types, selon la forme de leur section transversale. Le premier type comprend des tuyères présentant une forme semi-cylindrique dans leur partie supérieure et une base dont la hauteur mesure les 2/3 de la pièce (quatre exemplaires) (**Fig. 85a**). Le second type comprend des tuyères semi-cylindriques dans leur partie supérieure et une base dont la hauteur est égale à la moitié de la pièce (un exemplaire) (**Fig. 85b**). Elles disposent d'un canal d'environ 2 cm de diamètre. Enfin, le dernier type de tuyère comprend un unique orifice s'évasant de 2,7 à 3,4 cm de diamètre (un exemplaire) (**Fig. 85c**).

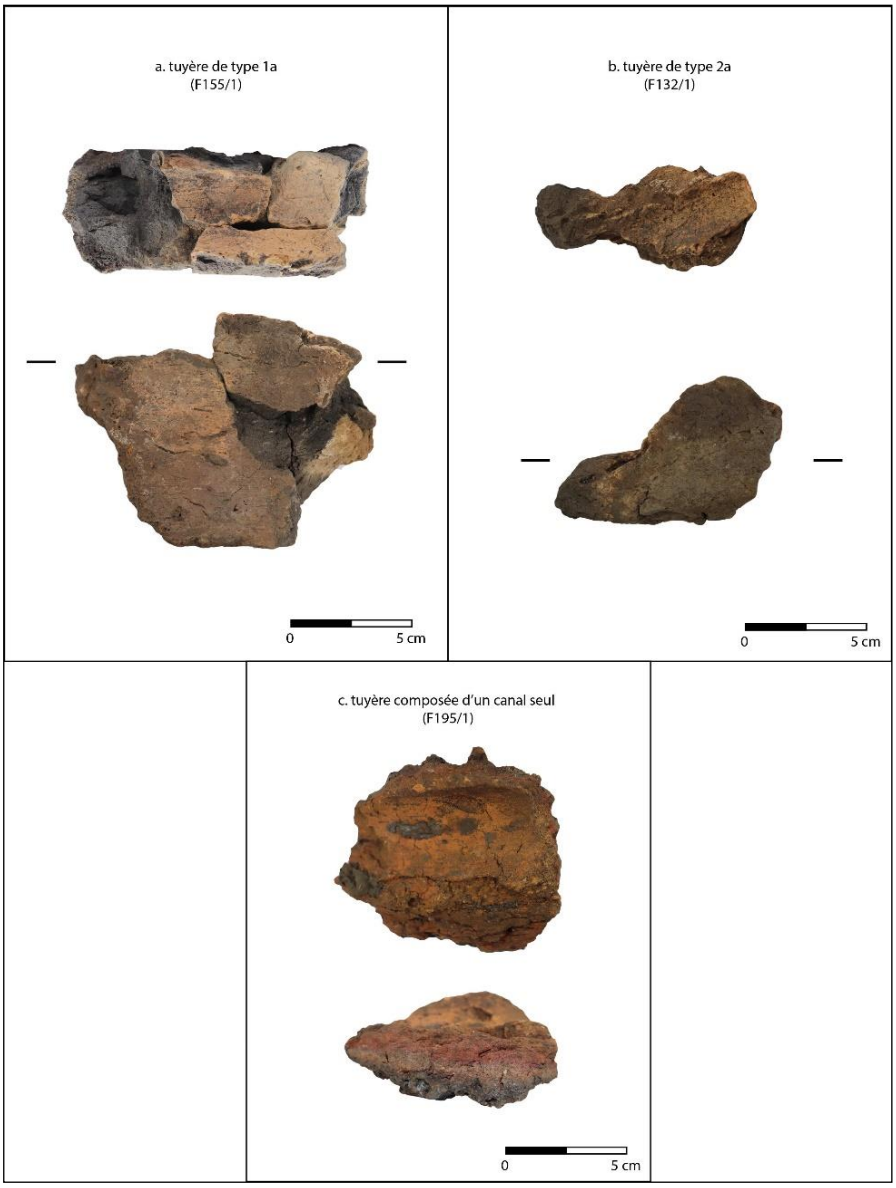


Fig. 85 *:* Photographie des différents types de tuyères observés dans le massif de Boulogne-Chambord

Ces tuyères présentent des traces de chauffe sous la forme de variations de couleur allant du beige, au rouge ou encore au gris. Tout comme pour les parois de four, ces colorations varient en fonction des conditions de température et d'atmosphère. La partie externe des tuyères est généralement grise alors qu'elle est plutôt rouge/orangée à l'intérieur du canal, ce qui témoigne de la circulation d'oxygène dans ce conduit (ANDRIEUX 2004 : 70-71). La plupart de ces vestiges sont vitrifiés et ont des reflets bleutés, verts ou rouges. En outre, dans deux cas, de la scorie obstrue le canal de la tuyère (**Fig. 86**).



Fig. 86 *:* Photographie d'un canal de tuyère partiellement obstrué par de la scorie (F155/1)

Enfin, quelques indices sur l'emplacement des tuyères dans les fours sont observés. En effet, un fragment de tuyère associé à de la paroi provenant du ferrier F155/1 montre que cet élément est inséré dans la paroi du four de façon perpendiculaire au niveau de sol (**Fig. 87**). Il ne reste de la tuyère que sa base grise et friable. Ce vestige permet d'appréhender la différence de texture des argiles utilisées pour les tuyères et les parois. En outre, il présente une importante variation de couleur allant du gris en partie inférieure de la tuyère et de la paroi au rouge dans leur partie supérieure. La zone située à l'intérieur du four est vitrifiée et recouverte de scories et d'inclusions d'oxydes de fer.

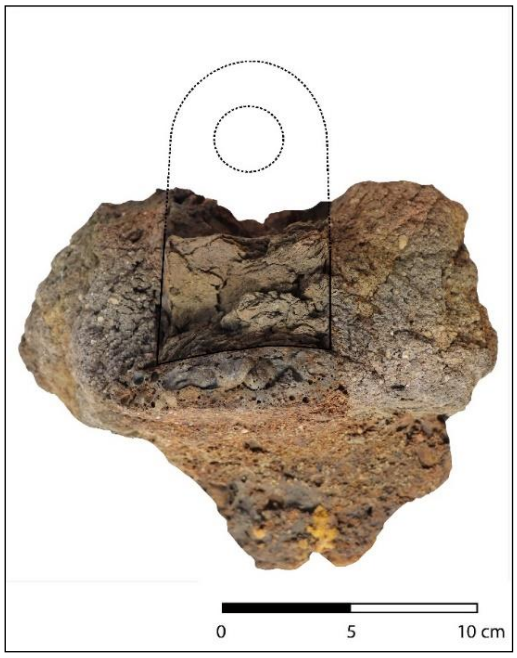


Fig. 87 *:* Photographie d'un fragment de paroi et de tuyère (F155/1). La partie supérieure de la tuyère est restituée.

4.4 Les déchets de forge

4.4.1 Les culots

En plus des déchets de réduction, quelques vestiges caractéristiques d'une activité de forge ont été mis au jour (***cf* vol. 4, tab. 2**). Il s'agit de quatre culots de forge de forme plano-convexe, bruns, denses, assez hétérogènes, souvent oxydés en surface et présentant une vitrification plus ou moins importante. Ils proviennent d'un petit (F142/1) et d'un très grand ferrier (F155/1) (***cf* vol. 2, fig. 39**).

Ces culots pèsent entre 0,087 kg et 0,402 kg. V. Serneels propose d'admettre qu'entre 0,100 kg et 0,600 kg, ces vestiges caractérisent le forgeage de petits travaux (SERNEELS 1993 : 165). En ce qui concerne leurs dimensions, leur longueur est comprise entre 5,5 cm et 8,3 cm et leur largeur entre 4,7 cm et 6 cm. Leur épaisseur est comprise entre 3 et 3,7 cm, sauf pour un individu pour qui elle est de 6,6 cm. Ces caractéristiques semblent assez communes pour une activité de forge en comparaison des sites de Roc de Pamplune (Hérault) (PAGES, SCHNEIDER, FLUZIN 2005 : 111), de la « place des Hallettes » à Compiègne (Oise) (GOUSTARD 1997 : 214-216), de Bazpches-sur-Vesk "Les Chantraines" (Aisne) (BAUVAIS, FLUZIN 2005 : 118) ou encore du prieuré de Soudaine-Lavinadière (Corrèze) (GRELIER 2017 : 42-64) (**Fig. 88**). Les culots d'épuration peuvent être plus imposants comme sur le site de Develier-Courtételle (Suisse) où ils pèsent entre 0,500 et 0,650 kg (ESCHENLOHR *et al.* 2007 : 33) ou encore « place des Hallettes » à Compiègne où un culot atteint 1,2 kg (GOUSTARD 1997 : 214-216). Les individus du massif de Boulogne-Chambord sont alors à situer parmi les plus petits et légers observés.

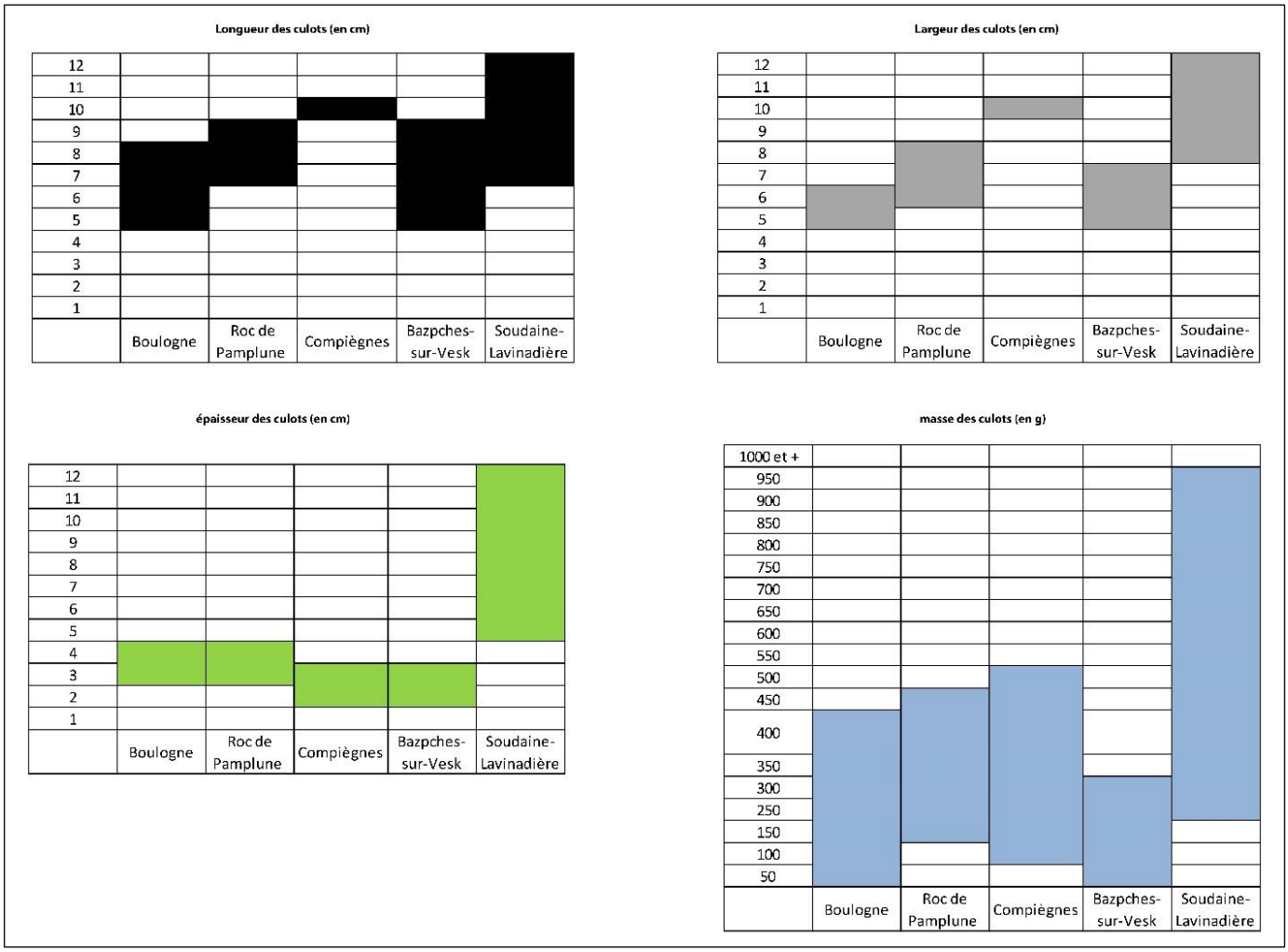


Fig. 88 : Tableaux de comparaison des dimensions et de la masse des culots de forge provenant de divers sites métallurgiques

Ces culots de forge présentent tous une forme circulaire et un profil plano-convexe qui témoignent de l'utilisation de foyers circulaires et concaves. En outre, leur partie inférieure comprend des inclusions de quartz millimétriques ainsi que des grains de sable qui montrent que les foyers étaient creusés à même le sol. Ces déchets révèlent la cohabitation d'un espace de réduction du minerai et d'une zone de forge sur au moins deux sites métallurgiques, F155/1 et F142/1.

Une étude métallographique est effectuée sur deux culots (BOU142/1-1 et BOU155/1). Les culots de forge, de par leur nature, sont plus hétérogènes : ils sont de plus petite taille, sont composés d'une phase fayalitique à la cristallisation plus inégale souvent associée à de la wüstite. Ils présentent généralement des inclusions de battitures, de grains (sable ?) et ils comprennent des hydroxydes plus développés, notamment autour des porosités. Les culots

observés sont, selon la typologie établie par V. Serneels lors de son étude sur la forge de Châbles (SERNEELS 2003 : 147-158), une Scorie Ferreuse Rouillée (SFR) et une Scorie Dense Grise (SDG) (***cf* vol. 3, Annexe 2**). Le premier échantillon est constitué d'une scorie assez fluide qui a refroidi lentement. On y observe une majorité de petites porosités globulaires, plus importantes et étirées dans la partie gauche de la scorie (**Fig. 89**). L'oxydation se limite à la surface de la scorie. Le second échantillon est caractérisé par une structure hétérogène où l'on peut observer des hydroxydes et des charbons de bois. La cristallisation de la scorie montre qu'elle a refroidi très rapidement (cristaux de grandes dimensions), surtout au centre. De très nombreuses porosités sont visibles sur l'ensemble de la section. Elles sont de forme arrondie pour les plus petites et étirées et globulaires pour les plus grandes. En outre, on décèle des nodules métalliques dont la structure est composée de ferrite.

La faible quantité de métal indique dans ces culots montre la bonne qualité du forgeage. En outre, la coloration verdâtre que l'on observe ponctuellement rappelle celle des fonds de four, trouvés notamment sur ces deux mêmes sites.

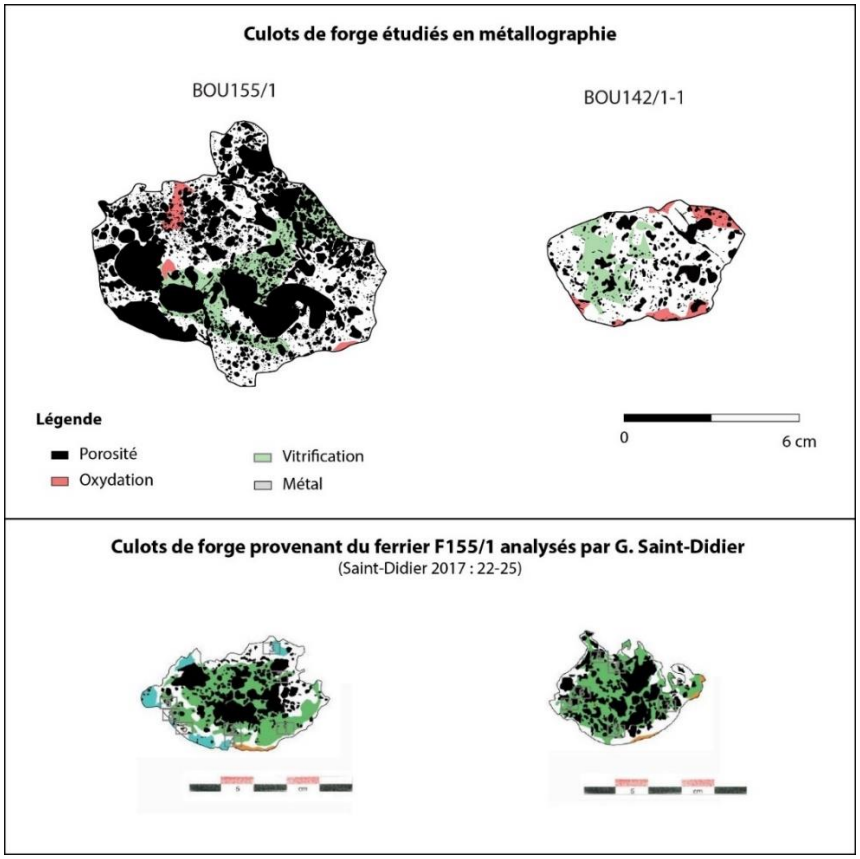


Fig. 89 : Dessins des coupes de culots de forge ramassés en prospection et étudiés par métallographie dans le massif de Boulogne-Chambord

En 2017, G. Saint-Didier a réalisé une première étude des vestiges métallurgiques prélevés dans le cadre du programme SOLiDAR. Il a effectué une analyse métallographique sur quatre culots de forge provenant des ferriers F142/1 et F155/1 (SAINT-DIDIER 2017b : 12). Cette étude comprend deux des culots qui ont fait l'objet d'une nouvelle observation microscopique dans cette thèse. Les résultats obtenus pour ces échantillons sont similaires dans nos deux études, seule la notion de présence assez importante de nodules métalliques a été revue à la baisse. Les deux autres culots de forge étudiés par G. Saint-Didier, sont des Scories Denses Grises. Leur matière est grise à verte, homogène comprenant de nombreuses porosités situées sur l'ensemble de la surface de la coupe. En outre, il a déduit des observations microscopiques des compositions similaires pour ces deux individus. Ils sont constitués d'une matière vitreuse à lattes de fayalite. Elle contient des battitures globulaires et plus rarement granulaires et lamellaires. Il a également observé la présence de plusieurs petits nodules métalliques aux contours anguleux. Ces descriptions sont comparables à la scorie BOU155/1 que nous avons analysée.

4.4.2 Les agglomérats métalliques

Cinq agglomérats métalliques (0,14 kg) ont été mis au jour dans cinq ferriers localisés au sud-ouest de la forêt (F131/1, F190/2, F193/1, F193/2, F194/2). Ces vestiges sont informes, très oxydés et comprennent parfois des inclusions de cailloux. Il est difficile, en l'absence d'étude microscopique, d'associer ces déchets de production à une activité de réduction ou de forge. Toutefois, G. Saint-Didier a étudié les deux fragments provenant du ferrier F131/1. Il les identifie comme étant issus d'une phase d'épuration du métal. Ils sont constitués d'acier hypoeutectoïde (SAINT-DIDIER 2017b : 12-13).

Conclusion

L'activité métallurgique implantée dans le massif de Boulogne-Chambord concerne principalement la réduction du fer dans des fours à scories écoulées. Les scories internes mises au jour possèdent trois faciès différents (dense, rugueux et ferreux). Il existe des tendances concernant la représentation de ces types. La plupart des sites disposent d'une majorité de Scories Brunes Denses indiquant probablement une fluidité de la matière scoriacée plus importante. Ces indices sur les conditions internes des fours ne sont pas corroborés par l'apparence des scories écoulées qui ont très majoritairement, et sur l'ensemble des sites du massif, refroidies alors que la matière scoriacée était d'une viscosité assez élevée. L'étude

métallographique indique l'existence potentielles de deux techniques de production. La première, observée au sud-sud/ouest du massif, est définie par de bonnes conditions de réduction et un refroidissement lent et peu homogène de la scorie. La seconde technique, observée dans la partie nord de la forêt, comprend de meilleurs conditions de réduction et un refroidissement plus lent et plus homogène de la scorie. Il n'apparait aucun lien entre les types de scories définis d'un point de vue macroscopique et ceux déterminés grâce aux études métallographiques. Ce phénomène peut être le résultat d'un faible corpus de scories observé au microscope. Quelle que soit la technique de production utilisée, peu de métal est observé dans les fonds de four, ce qui indique une assez bonne qualité de la réduction. Seule une scorie provenant du ferrier F191/2 permet de le caractériser, il s'agit d'acier hypoeutechtoïde, soit un fer faiblement carburé. Enfin, ces fonds de four sont de petites dimensions par rapport à ceux des fours du grand site métallurgique antique des Martys (Aude), mais ils sont similaires à ceux du centre sidérurgique mérovingien de Boécourt « Les Boulies » (Suisse).

Les indices concernant l'architecture des fours sont peu nombreux et souvent les fragments de paroi sont en mauvais état de conservation. Néanmoins, on constate qu'ils sont constitués d'une argile similaire dans l'ensemble des ateliers. Elle provient probablement de la formation géologique nommée « Sables et Argiles de Sologne » localisée sous la forêt. On peut restituer des fours de forme principalement circulaire comprenant un fond d'au moins une vingtaine de centimètres de diamètre, légèrement creusé dans le sol ou installé à plat. Un orifice réalisé à la base du four pour l'évacuation de la scorie est signalé dans au moins un atelier et des traces de canaux semi-ouverts, installés devant les fours pour faciliter l'écoulement de la scorie, sont restitués sur deux autres sites. L'utilisation de Terres cuites architecturales pour consolider les fours est attestée au moins sur les plus importants ferriers (F155/1, F176/1, F371/1, F489/1). Elles possèdent une pâte homogène, fine, avec des inclusions submillimétriques de quartz. Seule leur couleur varie du beige à l'orangé plus ou moins vif, voire au rouge. Elles sont cependant principalement retrouvées sur les épandages. La morphologie de ces vestiges n'est pas très variée, elle comprend des tuiles, des *imbrices* et des carreaux de pavage. Les assemblages de terres cuites architecturales (couleur, morphologie, épaisseur) retrouvés dans les ateliers sont très disparates. On peut en déduire que ces éléments sont issus du réemploi de matériaux probablement issus de construction situées non loin. Néanmoins, il est impossible de déterminer comment ces éléments étaient intégrés à la construction du four. L'emploi de tuyères est également attesté sur au moins 18 ferriers répartis dans l'ensemble de la forêt, sans que l'on puisse établir si leur utilisation a lieu dans le cadre

d'une ventilation naturelle ou artificielle. Elles sont toutes assez similaires, constituées d'argile beige/orangé, dont le grain est plus fin que celui des parois, associée à un dégraissant végétal. Au moins trois types de tuyères sont présents dans le massif de Boulogne-Chambord. Ces différentes formes peuvent être le résultat de localisation différente dans les fours. Seule la fouille de structures en place peut apporter plus d'arguments à cette hypothèse.

Enfin, une activité de forge a accompagné celle de la réduction du fer dans au moins trois ateliers (F131/1, F142/1 et F155/1). Les artisans ont utilisé des foyers circulaires et concaves, directement creusés dans le sol, de dimensions de l'ordre de 10 cm de diamètre. Ces dimensions sont assez habituelles pour les ateliers de forge. En outre, l'étude métallographique montre la présence de deux types de culot pouvant être le résultat de techniques de travail différentes ou d'activités diverses (épuration/élaboration ?). Ces culots indiquent le traitement d'un acier hypoeutectoïde, faiblement carburé, similaire à celui trouvé dans les scories de réduction. Enfin, la faible quantité de métal dans les culots signale une activité maitrisée de la part des artisans.

4.5 La datation de l'activité métallurgique en forêt de Boulogne-Chambord

4.5.1 Les documents historiques

Le dépouillement des archives départementales et nationales n'a pas permis de trouver mention de l'activité de production du fer au sein du massif forestier de Boulogne-Chambord. Seule la toponymie éclaire cette activité.

Le premier document mentionnant de façon indirecte la présence d'une activité métallurgique est une visitation de la forêt datée du mercredi 1er mars 1457 réalisée par :

Estienne Le Fuzelier, conseiller et auditeur des comptes de Monsr le Duc d'Orléans, Jehan Rousseau, conseiller et avocat de monsr le Duc en son comté de Blois, Guillaume le Bonnelier, conseiller et procureur général du comté de Blois, Simon Musset, conseiller et maitre des requêtes du Duc, Guillaume Tallu, clerc du baillage de Blois, Jehan Nérement, maitre des eaux et forêts du comté de Blois et Jaquet Francueur, clerc et greffier.

AN - Q1/503*1 (folio 1)

Les visitations précèdent souvent l'arpentage, elles sont généralement réalisées par des réformateurs (un commissaire ou son subdélégué, l'un des grands maîtres, le maître particulier local, un greffier, un procureur, quelques arpenteurs, voire des marchands de bois) et du personnel forestier, des consuls des lieux riverains et des propriétaires des terrains adjacents (POUBLANC 2013 : 27). L'objectif de cette visite est de faire un état des lieux de la forêt pour mieux décider de son aménagement futur. Ce document est réalisé pour le duc d'Orléans, Charles Ier, père du roi Louis XII de France. Au vu des moyens mis en œuvre et de l'objectif assigné à ce document, il est probable que les observations soient au plus proche de la réalité.

Lors de cette visitation, il est signalé :
Entre ledit chemin qui maine d'Huisseau en Bouloigne et a Bracieulx et le chemin qui maine de la Chaussée le Conte aud Bracieulx sont les ventes et choses qui s'ensuivent. C'est assavoir (...) au lieu du marchais Forgeux, a plusieurs ventes long temps a et du temps de l'autre visitaci[on], usées au lieu du marchais Forgeux, par feu Arnotin, co[mme] l'on dit.

AN - Q1/503*1 (folio 37)

D'un point de vue étymologique, le mot « marchais » provient, selon H. Cocheris, du latin *mercasius* qui signifie étang (COCHERIS 1874 : 17). Cette dénomination ne signale donc pas la présence d'un « marché », mais d'un environnement humide où l'on trouvait vraisemblablement des vestiges de production du fer ancienne au XVe s.

Dans ce document, un autre indice de la présence d'une activité métallurgique apparait « *entre le chemin qui maine de la Chaussée a Bracieulx et le chemin qui maine de Chambort a Neuvy sont les ventes et aultres bois copez qui s'ens[uivent].* »[142]. On y trouve en effet un « *lieu des Ferrière*s »[143].

Il est possible de replacer les chemins mentionnés dans ce document sur la plus ancienne carte connue de la forêt, nommée « Plan des forests de Blois, Russy, Boulogne et parc de Chambord»[144], datée de 1675. Bien que cette carte soit peu précise, elle apporte des informations intéressantes concernant le nom des lieux et l'emplacement des chemins forestiers. La plupart des noms mentionnés dans le document précédent y figurent. On constate alors que

142. AN : Q1/503*1 (folio 39)
143. AN : Q1/503*1 (folio 40)
144. AD41 : 1 Fi 665

le lieu-dit « Marchais Forgeux » se trouvait au sud de la forêt de Boulogne, entre le chemin allant d'Huisseau à Bracieux et le chemin nommé « La Chaussée » (***cf* vol. 2, fig. 40**). En outre, le « lieu des Ferrières » peut être localisé au centre du massif entre la route nommée « La Chaussée » et celle menant de Chambord à Neuvy. La localisation de ces toponymes concorde avec celle des ferriers découverts dans le massif. Il est donc vraisemblable que ces noms soient la traduction de la présence d'amas de déchet de production du fer. On peut en conclure que l'artisanat du fer marquait la partie sud-ouest de la forêt de Boulogne au milieu du XVe s., plus particulièrement à l'est et à l'ouest de l'actuelle « Allée de la Chaussée », donc qu'une partie de ces sites au moins sont antérieurs à cette date.

D'autres indices d'activités liées au feu existent dans les documents d'archives, notamment le toponyme « fourneau ». On le retrouve dans un titre de propriété de Hugues et Marie de Châtillon, comtesse de Blois, qui récupèrent le bois Sainte Solenne situé dans la paroisse d'Huisseau le 5 décembre 1230. Le document détaille les limites du terrain cédé et mentionne qu'une borne est située à proximité d'un arbre fruitier nommé « fructier du fourneau » et qu'il existe un chemin nommé « voie du fourneau ».

(…) depuis la maison dite du marchand situé a la sortie dhuisseau a lentrée de Russi entre le bois de St Solenne et celuy de la Codraye en suivant le chemin qui mesne dhuisseau aux montaignes qui sont dans le bois de la Codraie et de St Solenne iusque a la borne posé proche et joignant le fruictier qui se nomme le fruictier du fourneau et depuis ceste borne en traversant le susdit bois iusqua lautre borne qui est située dans le chemin nommé la voie du fourneau et depuis la susdite borne encore directe iusqua celle qui est posée au heurt du champ appellé poilly (…)

AD41 – 3 H 61 (folio 3)

On pourrait établir un lien entre le fourneau mentionné dans ce document et l'activité métallurgique qui s'est développée dans la forêt, néanmoins ce bois, que l'on peut restituer au niveau de l'actuel village de Huisseau-sur-Cosson, est très éloigné des ferriers observés dans la forêt de Boulogne. En outre, il est précisé un peu plus haut dans ce document que ce terrain comprend un four et que les abbés et convers de la paroisse de Blois peuvent continuer de l'utiliser sans contrainte. Il est donc plus vraisemblable de voir dans ce toponyme la présence d'un four banal.

(…) ils pouront vendre et aliener et en disposer comme bon leur semblera tant du bois que du four le tout quitte et exempt de tout droit (…).

AD41 – 3 H 61 (folio 3)

On peut rapprocher l'emplacement de la « voie du fourneau » à la présence sur une carte bien plus tardive, celle de Cassini (1756-1763), d'un lieu nommé « Le Fourneau » situé au niveau du village d'Huisseau (***cf* vol. 2, fig. 41**). Cette carte manque de précision géographique, elle permet néanmoins de révéler la présence de toponymes qui n'existent plus forcément aujourd'hui. On y constate la présence d'un lieu-dit « Les Fourneaux » au nord d'Huisseau, de l'autre côté du Cosson, non loin de la Chaussé-le-Comte. Compte tenu de leur emplacement et de ce que l'on vient d'apprendre sur l'histoire de cet espace, il est probable que ces lieux-dits correspondent aussi à l'emplacement d'anciens fours banaux.

Enfin, la carte IGN est la seule à signaler la présence d'un lieu-dit « Les Brûlis », situé à l'ouest de la forêt, à côté de la route qui mène de Bracieux à Huisseau. Ce terme est plus vraisemblablement associé à une activité agricole[145] qu'à une activité métallurgique.

Les documents d'archives apportent donc des informations intéressantes sur la localisation générale de cette activité, surtout au centre et à l'ouest du massif, et la datation relative, antérieure au milieu du XVe s. Il faut cependant trouver d'autres moyens pour préciser cette datation. L'analyse du mobilier datant découvert sur les sites, bien que peu abondant, est essentielle.

4.5.2 Les terres cuites architecturales

Certaines formes et dimensions des terres cuites architecturales peuvent, en effet, être caractéristiques de différentes périodes.

L'état de conservation des fragments de terre cuite architecturale découverts n'est pas optimal pour déterminer la typologie de ces éléments. Néanmoins, des *tegulae*[146] sont présentes dans les ferriers F155/1 (trois exemplaires oranges vifs), F371/1 (deux exemplaires beiges) et F489/1

145. *Encyclopédia Universalis* : La culture sur brûlis appartient à la famille des techniques agricoles primitives utilisant le feu comme moyen de création du champ (écobuage, essartage, feux de brousse). Cette technique est particulièrement utilisée comme moyen de défrichement et de fertilisation des sols.
146. Tuile plate en argile composée d'un plateau et de deux rebords (RAUX, BERTRAND, FEUGERE 2012 : 541)

(trois exemplaires gris et orangés) (**Fig. 90a**). Elles présentent des rebords quadrangulaires dont la hauteur mesure en moyenne 4 cm et l'épaisseur de leur plateau est comprise entre 2 et 3 cm. Ces dimensions et cette forme de rebord rappellent les caractéristiques des *tegulae* mises au jour sur le site de Saran (Loiret) (JESSET 2014 : 181). Ces éléments sont datés entre le VIe et le VIIe s. et se différencient de ceux de la période gallo-romaine grâce à leur épaisseur moins importante. Les fragments de tuiles plates retrouvés au sein des structures F371/1 (un fragment de couleur beige), F447/1 (3 fragments de couleur orangée à beige), F176/1 (un fragment de couleur gris), F155/1 (un fragment orangé) et F185/1 (un fragment de couleur beige), dont l'épaisseur est supérieure à 2 cm, semblent correspondre à des fragments de plateau de ces *tegulae*.

Des tuiles plates présentant une épaisseur inférieure à 2 cm sont également observées. Elles proviennent des ferriers F371/1 (deux exemplaires orangés), F176/1 (deux exemplaires orangés), F155/1 (un exemplaire orange vif), F151/3 (un exemplaire orangé) et F191/2 (un exemplaire de couleur grise). On retrouve ce type de tuile plate dont l'épaisseur est en moyenne de 1,4 cm et d'une couleur ocre-orangée sur le site de Jumièges (Seine-Maritime), par exemple (DESHAYES 2016 : 145), où elles sont datées des XIIe – XIIIe s., ou encore sur celui de Saint-Corneille (Sarthe), daté des XIIIe – XIVe s. (NAULEAU 2016 : 68-69).

En parallèle de ces tuiles, deux *imbrices*[147] de couleur ocre/orangés proviennent des ferriers F176/1 et F489/1 (DELENCRE, GARCIA 2012 : 374-375) (**Fig. 90b**). Ils ont une épaisseur de 1,6 et 2,1 cm. On retrouve ces mêmes ordres d'épaisseur pour les *imbrices* de Saran datés du haut Moyen Âge (JESSET 2014 : 186) comme sur les sites antiques de l'agglomération de Châteaubleau (Seine-et-Marne), datés des IIe – IVe s., (BONTROND 2013 : 62) ou encore dans l'atelier de Vrigny (Loiret) daté des IIe - IIIe s. (FERDIERE, GUILLEMARD, LANOS 2012 : 106-107).

147. Tuiles demi-rondes destinées à recouvrir les rebords jointifs de deux rangs de *tegulae* afin d'empêcher les infiltrations (JESSET 2014 : 184).

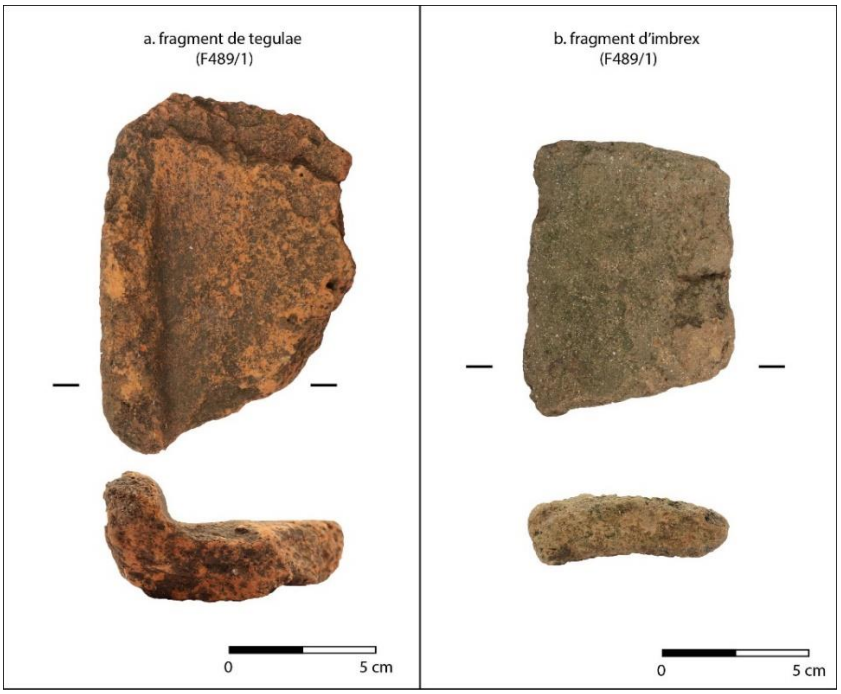


Fig. 90 *:* Photographie des différentes formes de terres cuites architecturales observées dans le massif de Boulogne-Chambord

Enfin, deux exemplaires provenant des ferriers F371/1 et F155/1 sont identifiés comme étant des carreaux de pavement. Le premier est de couleur rouge et le second orange vif.

Les assemblages de terres cuites architecturales sont disparates au sein des ferriers (***cf* vol. 2, fig. 42**). Cela indique la réutilisation d'éléments de construction divers datés entre l'Antiquité et le Moyen Âge. Ce mobilier fournit un *terminus post quem* au début de la production du fer que l'on situe à la période antique.

4.5.3 La céramique

La céramique est très peu présente sur les sites métallurgiques de ce massif. En effet, seuls quatre tessons fournissent des informations sur les ferriers F176/1 (deux tessons) et F169/1 (un tesson) ainsi que sur l'épandage F168/1 (un tesson) parmi lesquels se trouve un seul élément de forme. L'ensemble des tessons appartiennent à une production à pâte fine de couleur ocre à orangée et pourvu d'inclusions de quartz (bl08e)[148] (**Fig. 91**). Elle représente une tradition de fabrication locale maintenue dans l'aire blésoise sur une longue période englobant le haut Moyen Âge et une partie du Moyen Âge central (AUBOURG, JOSSET 2013 : 82-84). Les

148. http://iceramm.univ-tours.fr/

tessons n°3 et 4 présentent néanmoins une épaisseur légèrement plus importante qui pourrait signaler une facture un peu plus ancienne.

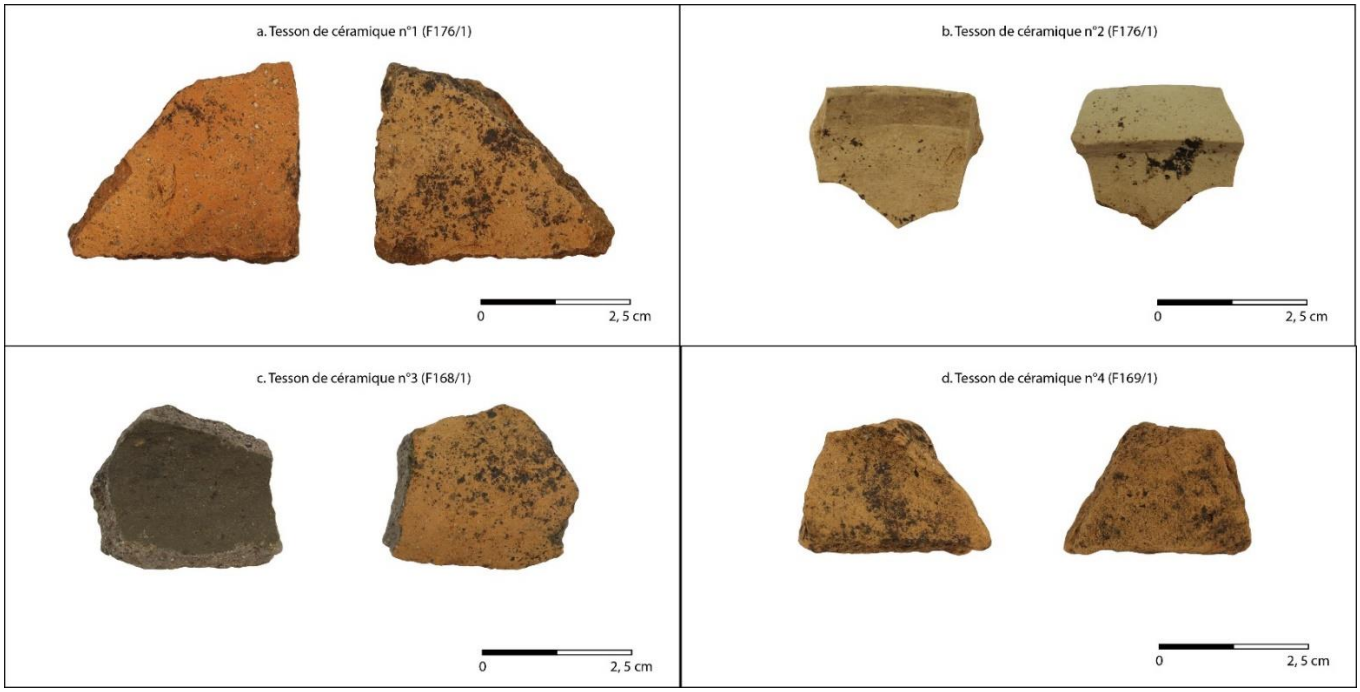


Fig. 91 : Photographie des tessons de céramique ramassés en prospection dans la forêt de Boulogne-Chambord

Les quelques tessons de céramique découverts dans le massif situent donc l'exploitation du fer entre l'Antiquité tardive et la première moitié du Moyen Âge. Néanmoins, leur très faible nombre et le fait qu'ils proviennent d'un ramassage de surface leur donnent une faible fiabilité.

4.5.4 Datations ^{14}C

Les datations ^{14}C permettent d'établir une fourchette chronologique de fonctionnement des ateliers plus précise que celle des archives et du mobilier archéologique. Elles sont réalisées sur des charbons de bois trouvés au cœur des scories[149]. À l'origine, une dizaine de ferriers devaient être datés de cette façon, mais la très faible quantité de charbon de bois inclus dans les scories n'a permis la datation que de cinq d'entre eux. Ce sont les ferriers aux volumes les plus importants et contenant le mobilier le plus diversifié, soit F489/1, F447/1, F155/1, F193/2 et F150/1 (***cf* vol. 2, fig. 43**). À l'exception du ferrier F155/1, dont la fouille a permis la réalisation d'une dizaine d'analyses, seul un échantillon de charbon de bois est daté sur chacun de ces sites

149. Les échantillons sont datés par le laboratoire Beta Analytic.

métallurgiques. L'observation préalable de presque tous les échantillons par un anthracologue confirme néanmoins l'absence d'un effet « vieux bois » qui pourrait fausser les résultats[150] (*Supra* 3.3.4).

Le diagramme ci-dessous, réalisé à l'aide du logiciel en ligne Oxcal, montre que les datations de ces échantillons ont des pics de probabilité centrés sur moins de trois siècles. Ils sont datés dans une fourchette calibrée large entre la seconde moitié du VIe et le milieu du VIIIe s.[151] (**Fig. 92** ; ***cf*** **vol. 2, fig. 44 - 48**).

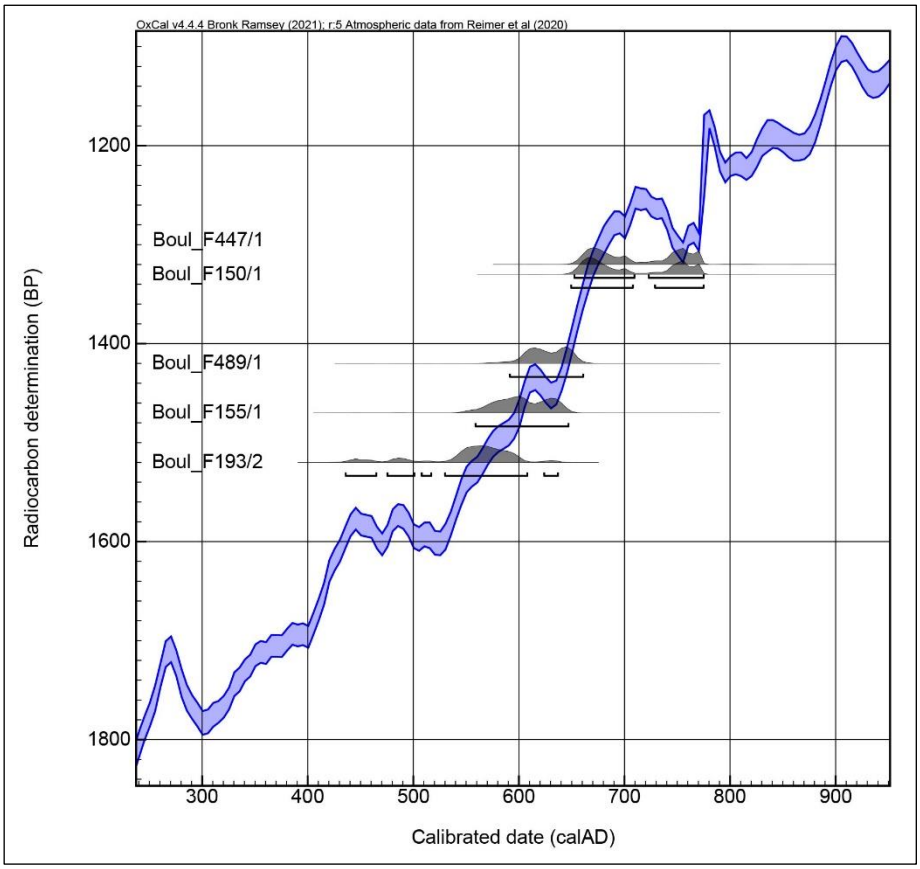


Fig. 92 : Représentation graphique des résultats de datation ^{14}C calibrée (Oxcal)

Les sites métallurgiques connus en France pour cette époque sont rares, surtout en région Centre. On peut néanmoins citer les sites de Saales (Bas Rhin) datés des VIIe-IXe s. (MAGAR

150. Observations réalisées par S. Coubray (Inrap Centre, Île-de-France) pour les autres échantillons.
151. Plusieurs datations ^{14}C ont été réalisées sur le site F155/1. Néanmoins pour ne pas déséquilibrer les observations de datation, seul l'échantillon avec la probabilité la plus importante est utilisé dans cette étude (Boul_F155/1_2020_7). Les autres seront détaillées dans la partie sur l'étude d'un atelier en forêt de Boulogne (*Infra* Chap. 7).

2017) et des Ferrys (Loiret) dont la seconde phase d'activité se termine au XIe s. (REBISCOUL 2003), ainsi que les sites de réduction de Boécourt (Ju, Suisse) (ESCHENLOR, SERNEELS 1991) ou de Chaize-le-Vicomte (Vendée) (PETORIN 2007) tous deux datés des VIe – VIIe s.

La combinaison des différents éléments de datation montre qu'au moins 11 ateliers du massif forestier de Boulogne-Chambord ont fonctionné au haut Moyen Âge. Plus particulièrement à une période située entre les VIe et VIIIe s. pour cinq d'entre eux. (***cf* vol. 2, tableau 16**). Cette période étant pour l'instant peu documentée dans le domaine de l'archéométallurgie, et même quasiment absente en Centre-Val de Loire, ces sites apparaissent d'une grande importance, d'autant plus qu'ils sont nombreux. Il pourrait donc s'agir d'un centre sidérurgique mérovingien.

Conclusion

Le massif forestier de Boulogne-Chambord comprend une cinquantaine de sites métallurgiques qui sont classés en trois catégories, les ferriers, les épandages et les dépôts ponctuels. Les ferriers, dont le mobilier est en position primaire, sont au nombre de 43 et se situent principalement au sud – sud/ouest de la forêt. Ils sont de forme circulaire, ellipsoïdale ou en fer à cheval et constitués d'un sédiment noir associé à des scories plus ou moins fragmentées formant généralement une butte dans le paysage. L'évaluation du volume moyen de déchets composant ces sites (< 400 m^3) montre que chacun est lié à une production métallurgique de faible à moyenne ampleur que l'on peut situer entre celle observée dans le Poitou par G. Saint-Didier (SAINT-DIDIER 2017a : 85-86) et celle restituée par F. Sarreste (SARRESTE 2011 : 95) sur les plus petits sites du Bas-Maine.

Cette activité est caractérisée par la réduction du fer dans des fours à scories écoulées. Les scories internes mises en évidence semblent indiquer deux types de production distinctes. L'étude métallographique tend également à signaler deux techniques de production distinctes, l'une vraisemblablement employée au sud-sud/ouest du massif, et l'autre dans la partie nord. Les fonds de four sont de petites dimensions par rapport à un grand site métallurgique antique tel que Les Martys (Aude), mais de dimensions similaires à celle des fonds de four du centre sidérurgique mérovingien de Boécourt « Les Boulies » (Suisse). Enfin, seule une scorie du ferrier F191/2 indique un type de métal produit dans ce massif, de l'acier hypoeutechtoïde.

Les métallurgistes utilisent des fours de réduction dont l'argile beige/orangée provient probablement de la forêt. Ils emploient également des éléments de terre cuite architecturale pour les consolider. Néanmoins, en l'absence de four en place, il est impossible de connaitre la façon dont ces éléments sont agencés. La cuve des fours, de forme circulaire et légèrement creusée dans le sol, mesure au moins une vingtaine de centimètres de diamètre. Un orifice est généralement présent à la base des fours pour permettre à la scorie de s'écouler. Son cheminement peut ensuite être facilité par la présence de rigoles d'environ 5 cm de largeur creusées dans le sol. De nombreux indices signalent également l'utilisation de tuyères en argile, constituées d'une base plus ou moins épaisse et d'une partie supérieure semi-cylindrique. Il est néanmoins impossible de définir s'il s'agit d'une ventilation naturelle ou forcée.

Une activité de forge est associée à au moins trois sites de réduction de la forêt de Boulogne-Chambord (F155/1, F142/1 et F131/1). Les culots de forge étudiés signalent de petits travaux sur au moins deux sites (F142/1 et F155/1). Enfin, le métal observé dans une scorie est un fer peu carburé. Les foyers de forge restitués sont de forme circulaire, creusés à même le sol et mesurent au moins 10 cm de diamètre.

Les différents indices de datation relevés sur les sites métallurgiques permettent de dater cette activité du haut Moyen Âge pour au moins 11 ateliers, et plus particulièrement entre les VIe et VIIIe s. pour cinq d'entre eux. Bien que ces sites soient de petite à moyenne dimension, ils peuvent traduire l'existence d'un centre sidérurgique mérovingien important. La production du fer au haut Moyen Âge étant peu connue en France et dans la région, ces sites sont d'un intérêt primordial. C'est pourquoi la fouille d'un de ces ateliers a été effectuée (*Infra* chap. 7).

Chapitre 5 - La forêt de Châteauroux, des espaces de production du fer de diverses périodes

5.1 Plusieurs types de sites de production

Des déchets de 47 sites de production du fer ont été découverts dans la forêt de Châteauroux. Seul un d'entre eux est impossible à observer à cause de la végétation qui le recouvre (F044). Quatre types sont distinguables : les sites métallurgiques au sédiment bicolore (noir et rouge), les sites métallurgiques au sédiment noir, les épandages et les dépôts ponctuels.

5.1.1 Description des sites métallurgiques

Les sites métallurgiques bicolores sont généralement assez étendus (plusieurs dizaines de mètres de longueur) et alternent sédiment limono-sableux brun/rouge et sédiment limono-sableux noir, associés à des scories. On recense 20 sites de ce type dans la forêt de Châteauroux[152] (***cf* vol. 2, tableau 17**). Les tas de scories sont souvent très perturbés par la récupération de matériaux au cours du temps. Ce phénomène entraine la formation de fosses et de buttes dans le paysage. Le sédiment rouge s'étale sans forme particulière sur plusieurs dizaines de mètres et sa limite avec le sol brun de la forêt est bien différenciable (**Fig. 93**). On y retrouve principalement des fragments de paroi de four, de pierre (silex, grès), et ce qui pourrait être du minerai. Ces déchets métallurgiques y sont en position primaire.



Fig. 93 : Sédiment rouge observé au sein du site bicolore F227

152. F187 à F187/3 et F188 constituant un seul site, F085/1 et F085/2 un autre.

Des sites métallurgiques avec un sédiment bicolore sont couramment observés ailleurs en France. On en observe aux Clérimois (Yonne) (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 134-135), sur le « ferrier rouge » de la forêt d'Othe (Yonne) (BECK, BRAUNSTEIN, PHILIPPE 2008 : 353), dans le secteur du « Bois des Ferriers » (Bourgogne-Franche-Comté) (BERRANGER *et al.* 2019 : 62), dans la forêt de Sillé (Sarthe) (DARDIGNAC, LE JEUNE 2016 : 84, 125), au « Marchais Véron » à Villedieu-sur-Indre (Indre) (DI NAPOLI *et al.* 2019 : 30-37) ou encore dans le Poitou où G. Saint-Didier en a repéré plusieurs centaines (SAINT-DIDIER 2017a : 77). C. Richard, qui a travaillé sur la question des sites métallurgiques bicolores dans le Poitou, proposait de voir dans cette particularité une indication chronologique. Il suppose que ces sites sont majoritairement antiques. Une autre de ses hypothèses est que la couleur rouge serait causée par la présence des fours (RICHARD 1995 : 66-69). Toutefois, G. Saint-Didier a prouvé que ces hypothèses ne sont pas valables. Il propose quant à lui que le sédiment rouge soit le résultat du traitement du minerai (SAINT-DIDIER 2017a : 191). Néanmoins, la fouille de l'atelier de Viennay (Deux-Sèvres) lui a permis d'invalider cette nouvelle supposition. Il conclut alors que cette coloration est probablement due à l'oxydation du fer présent dans le sol. En suisse, on dénombre également plusieurs ferriers présentant un sédiment bicolore, notamment sur le mont Salève (SERNEELS 1993 : 64). L'auteur arrive alors à la même conclusion, soit que la couleur rouge est due à la présence de minerai sidérolithique dans le sous-sol.

En ce qui concerne la forêt de Châteauroux, l'étude géologique révèle qu'elle est implantée sur plusieurs formations géologiques différentes. L'une, au sud-est, est constituée de sable de la formation ferrugineuse d'Ardentes (Quaternaire ancien). Une autre, à l'ouest et au sud-ouest, comprend du calcaire et du silex décalcifié (Bajocien- Bathonien). Une dernière, la plus étendue sous la forêt, présente du sable argileux grisâtre (Eocène supérieur) (***cf* vol. 2, fig. 6**) (*Supra* 2.2.1). Hormis peut-être pour les sites métallurgiques présents dans la zone sud-est de la forêt, il apparait donc peu probable que cette coloration soit naturelle (LORENZ *et al.* 1990 : 20). En outre, plusieurs carottages, dont l'un réalisé sur le site F188 par des pédologues de la chambre d'agriculture de l'Indre, a révélé la présence de micro-charbons de bois jusqu'à 1, 20 m de profondeur (MOULIN, PAQUEREAU 2002 : 180). La présence de charbons aussi profondément enfouis signale donc, au moins pour ces sites, une probable nature anthropique.

Le second type de site métallurgique dans la forêt de Châteauroux comprend des sites au sédiment noir dont le ferrier forme une butte dans le paysage. Ils sont caractérisés par la présence d'un sédiment argilo-sableux noir mélangé à des scories peu fragmentées (**Fig. 94**),

principalement concentrées au sommet des buttes. Ces ferriers sont facilement repérables, car une végétation particulière pousse à leur surface ; le fragon, le houx et le bouleau. Dans ce massif, ces sites sont au nombre de 16 et se trouvent majoritairement en périphérie ouest et sud-est de la forêt.



Fig. 94 : Site métallurgique noir (F090)

Ce type de site est très courant. On le retrouve aussi bien en région centre qu'ailleurs en France et en Europe.

Ces deux types de sites métallurgiques tendent ainsi à signaler deux organisations distinctes des ateliers. Il est intéressant de détailler plus avant leurs caractéristiques pour tenter de mettre en évidence d'autres particularités. Aucune question de chronologie n'est abordée lors la caractérisation des différents sites afin de les comparer sans parti pris.

5.1.2 Caractéristiques des sites métallurgiques

Pour chaque caractéristique (forme, dimensions, etc.), les sites métallurgiques bicolores sont traités en premier puis les sites noirs. Les sites noirs étant uniquement composés d'un ferrier, aussi nommé tas de scorie, il est possible de les comparer à ceux des sites bicolores. Ces derniers peuvent englober plusieurs tas de scories que les sites noirs sont composés d'un unique ferrier.

Contrairement au massif de Boulogne-Chambord, aucun relevé LiDAR ne facilite le relevé de ces structures ; celui mis à disposition par l'IGN est inexploitable dans ce cas d'étude, car les altitudes sont insuffisamment précises (*Supra* 3.2.1). Les relevés ont donc été réalisés sur le terrain à l'aide d'un GPS centimétrique. Ils sont complétés par un dessin schématique sur lequel sont inscrits les longueurs et largeurs mesurées. Les limites de sites sont ensuite redessinées sur un SIG. Ce travail a été accompli pour tous les sites de la moitié orientale de la forêt. Cette méthode diffère de celle utilisée pour la première campagne de prospection, dans la moitié ouest, où quelques problèmes ont été rencontrés. En effet, lors de cette opération un seul GPS était disponible pour deux équipes de travail et il a cessé de fonctionner dès le deuxième jour. Les sites y sont donc relevés de façon manuelle, en matérialisant un axe passant par leur centre, puis en mesurant leurs contours à partir de cet axe (F097, F127, F187/188, F199, F217, F220/1). L'ampleur de certains sites métallurgiques bicolores n'a pas permis de réaliser ce travail trop chronophage. Ils ont alors fait l'objet d'un simple relevé schématique accompagné d'une prise de dimension (F035, F064, F085, F105, F107, F179 et F217). En conséquence, les relevés réalisés présentent différents niveaux de fiabilité dont il faut tenir compte lors des interprétations (***cf* vol. 2, tableau 17**).

Morphologie

Les sites métallurgiques bicolores présentent des formes très variées et irrégulières. En outre, la localisation du sédiment rouge présente deux tendances ; pour 13 sites le sédiment rouge est périphérique au ferrier[153]. Ils sont répartis dans toute la forêt. Pour sept sites, le sédiment rouge est situé au sein même du ferrier[154]. Ils se trouvent principalement à l'extrémité est de la forêt. Aucune explication n'est proposée concernant la répartition du sédiment rougeâtre au sein de ces sites.

Les tas de scories des sites au sédiment noir et bicolore, ont des formes régulières. Au sein des sites bicolores, cinq tas de scories ont une forme en fer à cheval, neuf sont ovales et six sont circulaires ; parmi les ferriers des sites noirs, trois ont une forme en fer à cheval, huit sont elliptiques et cinq sont circulaires. Il n'apparait donc aucun lien entre la forme des ferriers et le type de site auquel ils sont attachés. On observe les mêmes formes de ferriers dans la forêt de Boulogne-Chambord (*Supra* 4.1.2) ; dans le Poitou, ils sont majoritairement ovales, plus

153. F051, F035, F064, F085, F097, F121, F132, F187/188, F227, F240, F246/1, F255 et F261.
154. F020, F046, F145, F179, F226, F230 et F265

rarement circulaires et parfois en fer à cheval (SAINT-DIDIER 2017a : 81) ; dans le Bas-Maine ils sont uniquement ovales ou circulaires (SARRESTE 2008 : 133). La forme des ferriers ne présente aucun lien avec leur localisation dans la forêt.

Dimensions

Parmi les 20 sites métallurgiques bicolores recensés, le plus petit est F226 avec une longueur de 28 m pour une largeur de 19 m (***cf* vol. 2, tableau 18**). Le site le plus étendu est F227 avec une longueur de 134 m pour 45 m de largeur. Trois classes sont définies : les petits sites (en rouge sur le diagramme), les plus nombreux, les sites de forme allongée (en bleu) et les grands sites (en vert sur le diagramme) (**Fig. 95**).

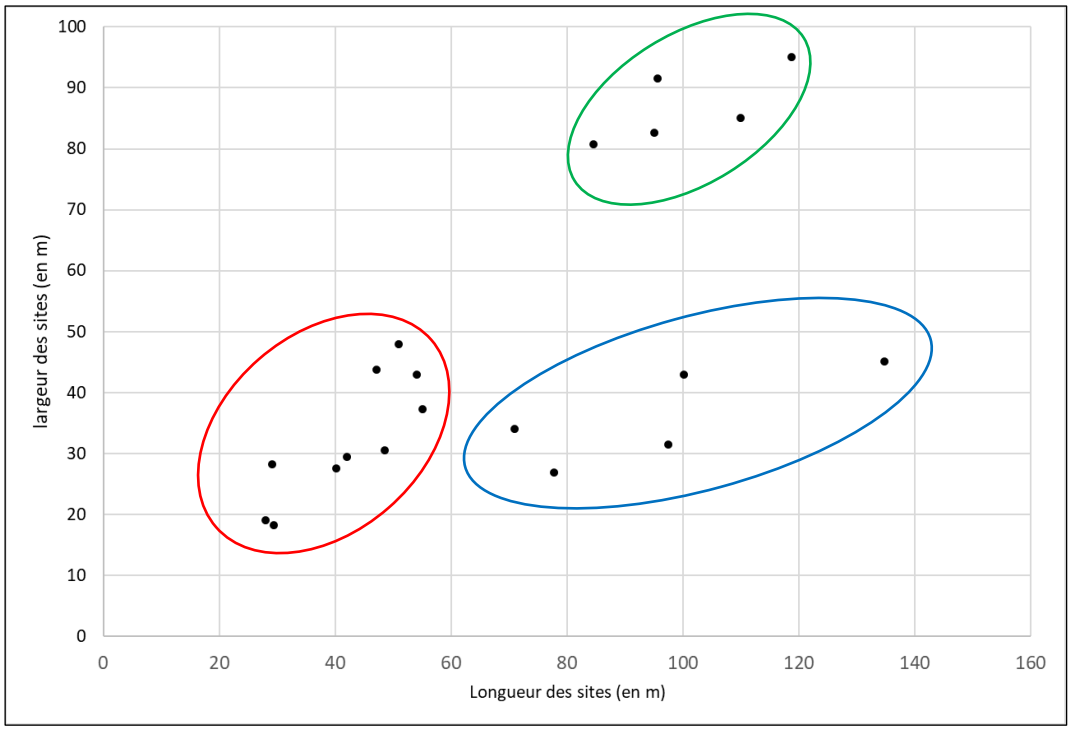


Fig. 95 : Diagramme de la longueur des sites bicolores en fonction de leur largeur

Le plus petit tas de scories des sites au sédiment bicolore et des sites au sédiment noir est F097. Il mesure 7 m de longueur pour 7 m de largeur. Le plus grand est F265 et s'étale sur 119 m de longueur pour 95 m de largeur (**Fig. 96**). On constate l'existence de :

- 28 petits ferriers de taille moyenne (entre 10 et 40 m de longueur environ), si l'on reprend les classes établies pour Boulogne-Chambord (en rouge sur le diagramme). Ils font partie aussi bien de sites métallurgiques au sédiment bicolore que noir ;

- 10 ferriers de très grandes dimensions (entre 50 et 120 m de longueur environ) (en vert sur le diagramme).

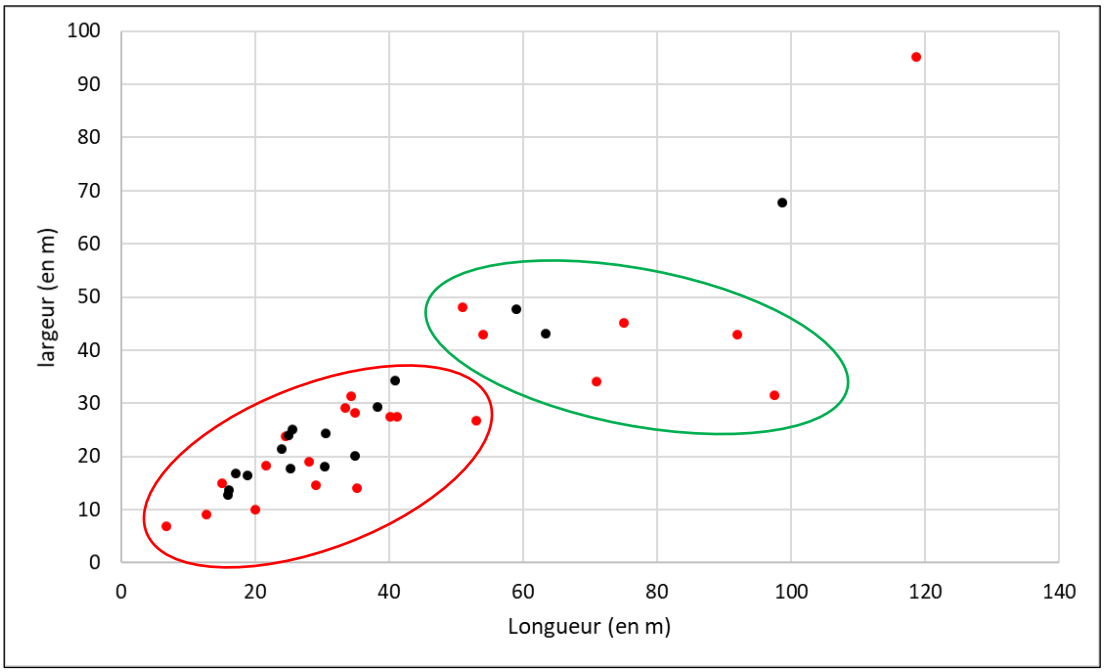


Fig. 96 : Diagramme de la longueur des ferriers en fonction de leur largeur.
En rouge, les tas de scorie associés à des sites métallurgiques bicolores ; et en noir, ceux provenant de sites métallurgique noirs.

Enfin, les ferriers de forme circulaire mesurent toujours moins de 35 m de diamètre. Cette mensuration est proche de celle observée dans le massif de Boulogne-Chambord où ils ne dépassent jamais plus de 30 m de diamètre (*Supra* 4.1.2). Les ferriers en fer à cheval, quant à eux, sont principalement de grande dimension, supérieure à 50 m. Cette caractéristique est également observée dans le massif de Boulogne-Chambord. Enfin, seuls les ferriers de forme elliptique se retrouvent dans toutes les classes de longueurs. Il apparait ainsi l'existence d'un lien entre certaines formes de ferriers et leur dimension.

Superficie

Deux méthodes de calcul ont été utilisées en fonction de la technique de relevé des dimensions sur le terrain. La première méthode concerne 16 ferriers (provenant de sept sites noirs et six sites bicolores) relevés manuellement. Leur superficie est alors calculée à l'aide de la formule mathématique : **L x l x π/4** (*Supra* 3.3.3). La seconde méthode est employée pour mesurer la surface de 22 ferriers (issus de neuf sites noirs et 14 sites bicolores) dont les limites ont été relevées à l'aide du GPS centimétrique. Pour ces sites, le calcul est réalisé directement

à partir du SIG. Cette méthode fournit une surface plus précise que la méthode mathématique, car elle prend en considération la forme réelle du ferrier. Il est important de tenir compte de ce biais lors de l'interprétation des résultats.

La superficie des ferriers de la forêt de Châteauroux est comprise entre 37 m² et 7 586 m². La grande majorité a une surface inférieure à 1 000 m² (26 individus). Il y a de moins en moins de ferriers dans les classes supérieures. On trouve finalement un seul ferrier de plus de 7 000 m² (**Fig. 97 ; *cf* vol. 2, tableau 19**).

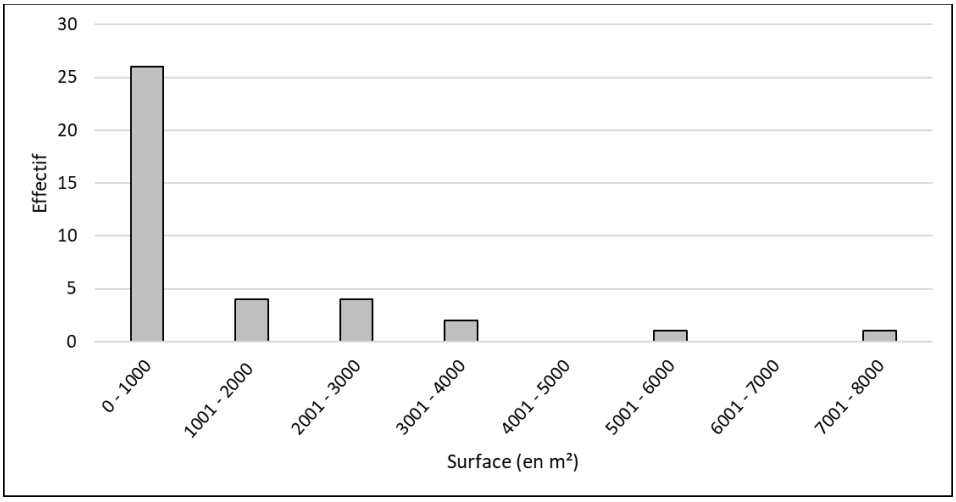


Fig. 97 : Diagramme du nombre de ferrier par intervalles 1 000 m²

12 ferriers sur 16 provenant des sites métallurgiques au sédiment noir ont une surface inférieure à 1 000 m², alors qu'on en dénombre 14 sur 22 issus des sites au sédiment bicolore. Les sites noirs sont donc principalement caractérisés par des tas de scories de petites dimensions, alors que les sites bicolores ont des tas de scories aux surfaces plus variables. L'observation détaillée des surfaces de moins de 1 000 m² ne montre aucune tendance, que ce soit par classes de 100 ou de 200 m², et ce pour les ferriers issus des deux types de sites métallurgiques (**Fig. 98 ; *cf* vol. 2, tableau 20**).

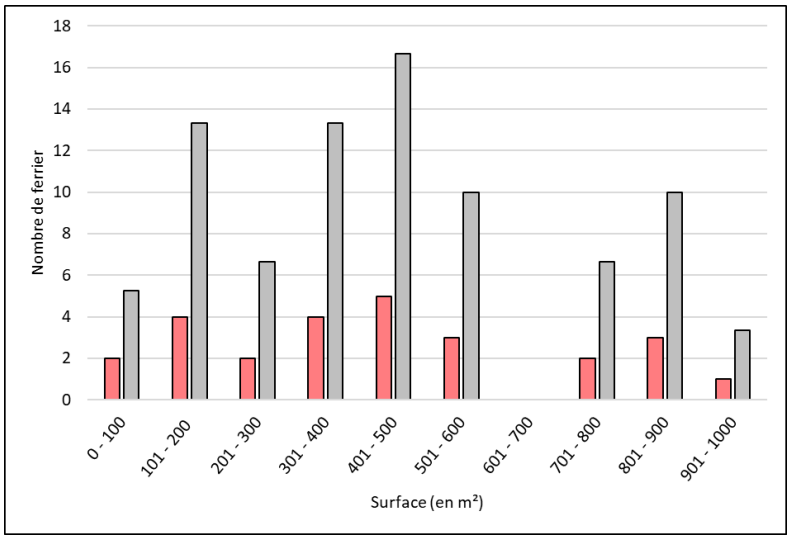


Fig. 98 : Diagramme du nombre de ferrier par intervalles de 100 m²
En rouge les sites au sédiment bicolore, en gris les sites au sédiment noir

En comparant la surface des ferrier de Châteauroux à celle d'autres régions de France et de Suisse, on constate qu'elle ne suit aucun modèle observé ailleurs pour l'instant (**Tableau 7**). On peut seulement relever que la proportion de tas de scories dont la surface est comprise entre 100 et 1000 m² est comparable à celle de la forêt de Boulogne-Chambord. Les ferriers de plus de 1000 m² sont toutefois largement moins nombreux à Boulogne. Les proportions des ferriers en fonction de leur surface sont également proches de ceux de Puisaye (PIETAK *et al.* 2012 : 122) et du Bas Maine (SARRESTE 2011 : 94-96). La surface des ferriers de la forêt de Châteauroux est donc globalement dans la fourchette moyenne à haute.

	% de ferrier								
Surface en m²	**Boulogne-Chambord**	**Poitou**	**Bas Maine**	**Argenton-sur-Creuse**	**Puisaye**	**Pays de Vaud**	**Mont Salève**	**Jura central Suisse**	**Châteauroux**
0 à 100	27,5	66,1	6	0	5	0	80,8	0	5,3
101 à 500	60	28,5	22,4	27,6	45	75	19,2	0	39,5
500 à 1000	7,5	3,6	22,9			25	0	7,1	23,7
> 1000	5	1,8	48,7	72,4	50	0	0	92,9	31,6

Tableau 7 : Tableau de comparaison de la proportion de ferriers en fonction de leur surface

Enfin, il a semblé intéressant de calculer pour les sites métallurgiques au sédiment bicolore la proportion de la surface des tas de scories par rapport à leur surface totale. Ainsi, on observe que les zones au sédiment noir représentent 100 % de la surface de cinq. Ce sont les sites dont le sédiment rouge se trouve au cœur du ferrier (**Fig. 99** ; ***cf* vol. 2, tableau 21**). La majorité des sites (neuf) ont un ou plusieurs ferriers qui englobent 90 à 35 % de leur surface totale. Enfin, seuls six sites au sédiment bicolore disposent d'un ferrier qui représente moins de

20 % de leur surface totale. Il n'apparait donc pas de norme relative à la proportion des ferriers au sein des sites bicolores, ce facteur semble assez aléatoire.

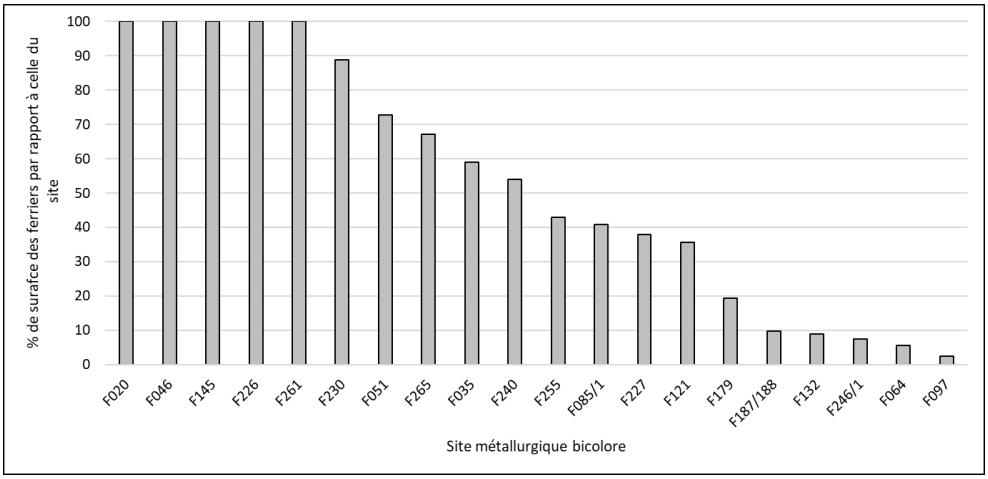


Fig. 99 : Diagramme de la proportion de la surface des ferriers par rapport à la surface totale des sites métallurgiques bicolores

Hauteurs et volumes restitués

La présence de sites métallurgiques sous couvert boisé favorise généralement leur conservation, notamment celle de leur hauteur. Toutefois, ceux de la forêt de Châteauroux sont plus souvent perturbés et leurs déchets plus souvent récupérés que dans le massif de Boulogne-Chambord. Ce phénomène est certainement dû à une réutilisation des matériaux dans les hauts fourneaux du secteur mais aussi à l'importante exploitation forestière, encore en vigueur actuellement dans cette forêt. On peut tout de même tenter de restituer le volume des déchets présents au sein de chaque ferrier en restituant leur hauteur maximale conservée. Cette hauteur est une estimation basse, car les ferriers s'étalent au cours du temps. Elle est comprise entre 0,5 et 3 m aussi bien pour les sites métallurgiques au sédiment noir que bicolore. En outre, les ferriers dont les scories sont récupérées et la fouille du ferrier F090 permettent d'avoir une idée de la profondeur de ces structures. On peut ainsi estimer qu'elle est d'au moins 40 cm sur les sites noirs et 80 cm sur les sites bicolores ; cela reste toutefois une estimation, car on ne dispose pas d'observations pour tous les sites.

Les ferriers provenant des sites noirs, mesurent donc entre 0,7 m et 3,4 m de hauteur et ceux provenant des sites bicolores entre 1,3 m et 3,3 m (***cf* vol. 2, tableau 22**). Finalement, le classement de ces hauteurs montre que les ferriers des sites noirs ont des hauteurs plus faibles que les ferriers des sites bicolores (**Fig. 100** ; ***cf* vol. 2, tableau 23**).

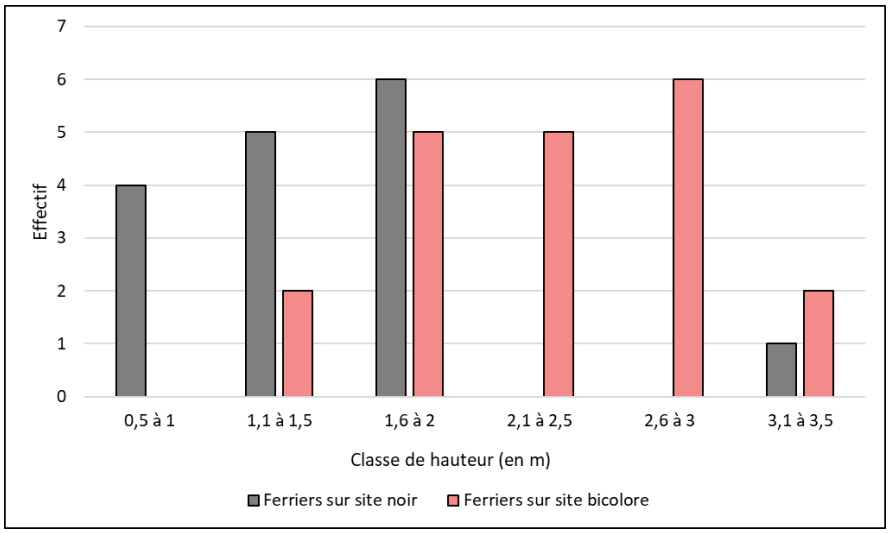


Fig. 100 : Diagramme présentant le nombre de ferrier par intervalles 0,5 m de hauteur sur les sites noirs et les sites bicolores

Ces hauteurs et le calcul des surfaces permettent de restituer le volume approximatif de déchet pour chaque ferrier. Comme pour les ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord, on s'appuie sur la formule proposée par P. M. Decombeix pour calculer ce volume (DECOMBEIX *et al.* 1998 : 84-85 ; DECOMBEIX 2004 : 192-198) (*Supra* 3.3.3).

Le volume des ferriers des sites au sédiment noir est compris entre 57 m^3 et 7 123 m^3 et celui des tas de scories associés aux sites au sédiment bicolore entre 20 m^3 et 7 283 m^3. Ces intervalles s'avèrent relativement peu différents. La répartition par classe de 1 000 m^3 montre que les ferriers de la forêt de Châteauroux ont en grande majorité un volume inférieur ou égal à 1 000 m^3 (**Fig. 101** ; ***cf* vol. 2, tableau 24**). En outre, il apparait plus de ferrier dont le volume est supérieur à 1 000 m^3 (sept individus) sur les sites bicolores que sur les sites noirs (trois individus).



Fig. 101 : Diagramme présentant le volume des ferriers par intervalles de 1 000 m^3

Lorsque l'on observe en détail les ferriers de moins de 1 000 m^3, on constate que ceux provenant des sites noirs montrent deux tendances. Neuf d'entre eux ont un volume inférieur à 300 m^3 et quatre ont un volume compris entre 500 et 800 m^3 (**Fig. 102** ; ***cf* vol. 2, tableau 25**). Les valeurs des surfaces des tas de scories des sites au sédiment bicolore sont plus hétérogènes. Ils ont toutefois principalement un volume inférieur à 500 m^3.

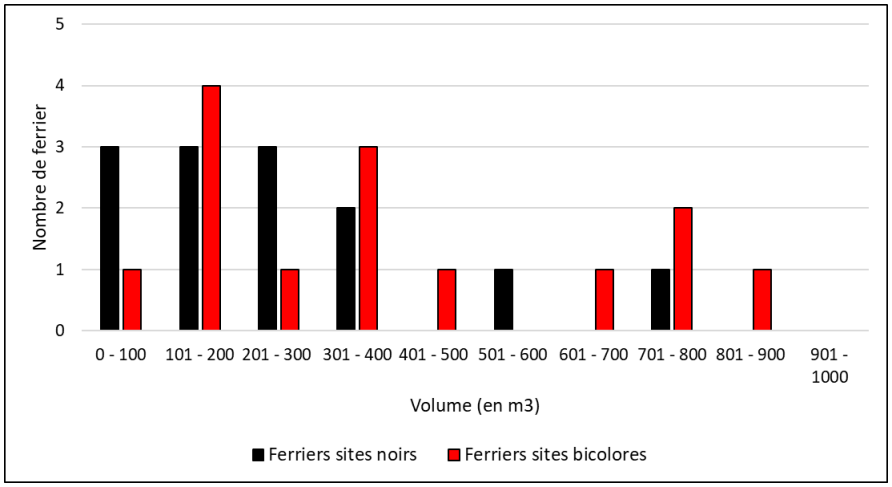


Fig. 102 : Diagramme présentant le volume des ferriers par intervalles de 100 m^3 pour ceux inférieur à 1000 m^3

Ces volumes sont comparables à ceux observés dans le massif de Boulogne-Chambord, majoritairement inférieurs à 400 m^3, dans le bas Maine (SARRESTE 2011 : 95) et, dans une moindre mesure, dans le Poitou (SAINT-DIDIER 2017a : 84-86) (**Tableau 8**). Toutefois à

Châteauroux, les volumes apparaissent plus largement répartis alors qu'ils sont principalement inférieurs à 200 m^3 dans ces deux autres régions métallurgiques. Enfin, les ferriers de plus de 1 000 m^3, associés principalement à des sites au sédiment bicolore, sont plutôt comparables aux grands ferriers des Clérimois (Yonne), où les volumes estimés sont de 4 187 m^3, 1 090 m^3 et 2 534 m^3 (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 121-122) ou encore des Martys (Aude) où le plus petit ferrier, celui de Montrouch, présente un volume estimé de 2 884 m^3 (DECOMBEIX *et al.* 1998 : 88-89). Le volume des ferriers du massif de Châteauroux comprend donc d'une part des petits ferriers, que l'on observe également en nombre dans le Poitou et la forêt de Boulogne-Chambord ; d'autres part quelques très grands ferriers dont les dimensions rappellent celles des Clérimois ou encore des Martys.

Volume des ferriers par classe de 100 m^3	Boulogne-Chambord (Loir-et-cher)	Poitou	Bas Maine	Les Clérimois (Yonne)	Les Martys (Aude)	Bellaire (Jura suisse)	Châteauroux
1-200	63	80	16	0	0	0	29
201-400	23	8	12	0	0	0	24
401 - 600	8	5	8	0	0	50	5
601-800	6	0	15	0	0	50	10
801-1000	0	4	10	0	0	0	3
1001-1200	0	indet	indet	33,3	0	0	3
> 1201	3	indet	indet	66,6	100	0	26

Tableau 8 : Tableau de comparaison de la proportion (%) de ferriers en fonction de leur volume

5.1.3 Des localisation distinctes d'ateliers métallurgiques en forêt de Châteauroux

Plusieurs espaces métallurgiques

Trois cartes de densité de point par maillage[155] ont été réalisées pour analyser l'organisation spatiale des ateliers présents dans la forêt de Châteauroux (**Fig. 103**). Les ateliers métallurgiques sont plus dispersés qu'à Boulogne-Chambord. La carte la plus significative, celle dont les mailles mesurent 500 m de côté, montre en effet une répartition homogène sur l'ensemble du massif avec un atelier par maille. On peut néanmoins indiquer la présence d'une zone un peu plus densément occupée au sud-est avec deux, voire trois ateliers par maille.

155. Toutes les manipulations réalisées dans le cadre de l'analyse spatiale sont effectuées avec le logiciel ArcGis.

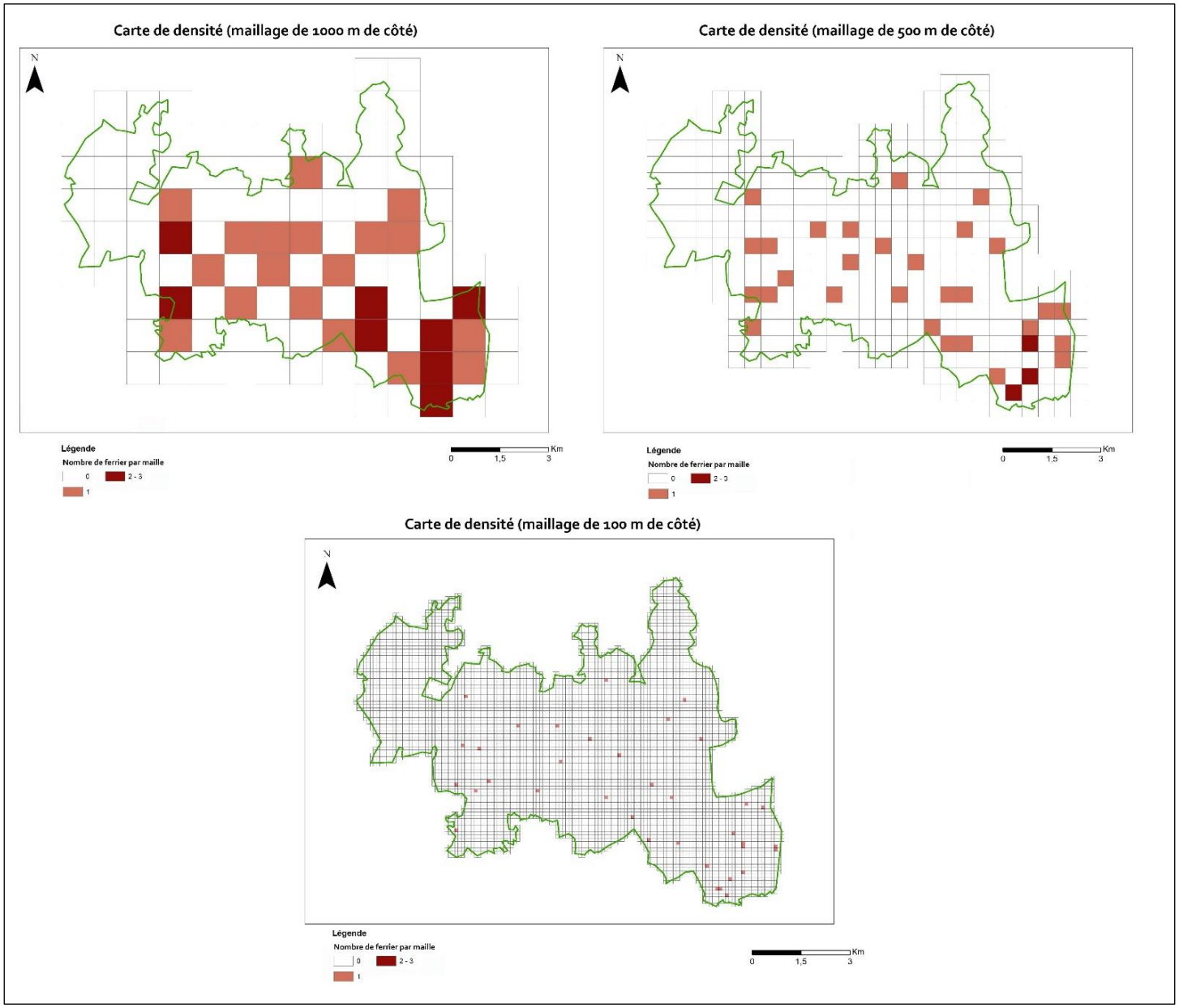


Fig. 103 : Cartes de densité par maillage des ferriers de la forêt de Châteauroux

Une autre vision de la répartition des sites est possible à l'aide d'une carte de densité par noyau. Une première carte montre la densité de ferrier dans un rayon d'un kilomètre autour de chaque atelier (**Fig. 104**). Elle confirme que les sites métallurgiques sont plus denses au sud-est du massif forestier le long d'un axe nord-est/sud-ouest (zone 1). La seconde zone se trouve à l'ouest du massif (zone 2). Enfin, trois espaces plus faiblement pourvues en atelier sont visibles au centre de la forêt (zone 3 et 4) et au nord-est (zone 5). La zone 1 est localisée entre la *route forestière de Villebommiers* et l'*Allée de la Feuge*, et la zone 2 est positionnée entre les *route forestière d'Artois, de Condé et de Beauregard*. La zone 3 se trouve au nord du lieu-dit *Buttes de Mâchefer* et la zone 4 non loin de l'*Allée des forgerons*, de part et d'autre de la *route forestière de la Haute forêt*. Enfin, la zone 4 est située de part et d'autre de la *route forestière de Clavière*, autour de l'étang de Berthommier.

La zone 1 comprend 14 ferriers localisés dans un espace de 7,5 km² (soit 1,8 ferrier au km²), la zone 2 présente cinq ferriers dans 3,7 km² (1,3 ferriers au km²), les zones 3 et 4 comprennent 6 sites métallurgiques compris dans 9 km² chacun (0,7 ferriers au km²). Enfin, la zone 5 contient uniquement de trois ferriers répartis dans 3 km² (1 ferrier au km²). Le massif de Châteauroux, qui mesure au total 52 km², comprend quant à lui en moyenne 0,6 ferrier au km². Cette densité est proche de celle de la forêt de Sillé (SARRESTE 2011 : 178-179), de Boulogne-Chambord (*Supra* 4.1.3) ainsi que du Morvant-Auxois (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 221) (**Tableau 9**). Elle est également similaire à la fenêtre de prospection systématique d'Argentomagus (Indre) avec 17 ferriers pour 34 km^2 (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 221-224). Enfin, les zones de plus forte concentration de la forêt de Châteauroux (zone 1 et 2) ont une densité légèrement inférieure à celle de la région de Bourges (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 221-224). La densité de site métallurgique dans la forêt de Châteauroux est donc moyenne.

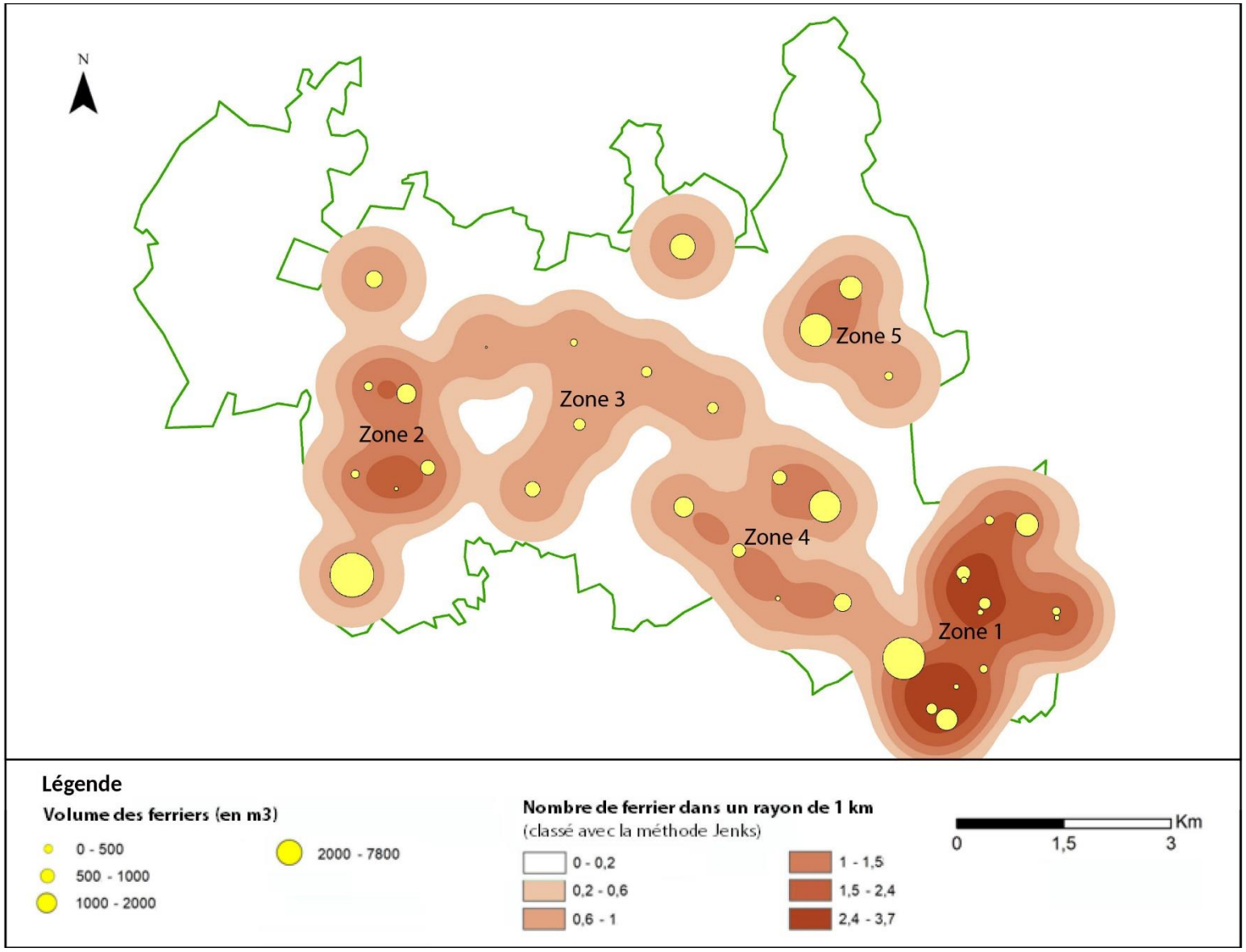


Fig. 104 : Carte de densité des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

Tableau 9 : Tableau comparant le nombre de ferrier au km² dans différentes zones sidérurgiques

Zone sidérurgique	Nombre de ferrier au km²
Hautes-Barronnies (65)	0,08
Argenton-sur-Creuse (36)	0,19
Morvant-Auxois	0,5
Châteauroux (36)	**0,6**
Forêt de Sillé (72)	0,7
Boulogne-Chambord (41)	0,8
Bourges (18)	2,2
Puisaye	6
Yonne (89)	40

L'étude de la localisation des sites en fonction de leur volume montre que les plus grands ferriers (> 1 000 m^3) se trouvent presque tous en périphérie de la forêt actuelle[156], à l'exception de F145. Les ferriers comprenant entre 500 m^3 et 1 000 m^3 de déchets sont majoritairement localisés au cœur de la forêt[157]. Enfin, les ferriers de moins de 500 m^3 sont regroupés d'une part au nord et à l'ouest de la forêt, d'autre part au sud-est. Cette répartition est différente de celle observée dans la forêt de Boulogne-Chambord.

La distance moyenne entre deux ateliers dans cette forêt est d'environ 975 m (***cf* vol. 2, tableau 26**). Elle est donc plus importante qu'à Boulogne-Chambord. La zone 1 comprend au sud-ouest cinq sites « concentrés » (F262, F263, F261, F260, F255) (**Tableau 10**). Si l'on reprend la définition utilisée pour le massif de Boulogne-Chambord, cette dénomination concerne les ateliers situés à moins de 500 m d'au moins deux autres sites métallurgiques (*Supra* 4.1.3). Au nord-est de cette zone, se trouvent six sites « groupés » (F230-F231/1, F248/1-F248/2 et F246/1-F246/2). Il s'agit d'atelier situé à moins de 500 m d'un autre site métallurgique. Enfin, trois sites sont isolés. Ils sont néanmoins situés à moins d'1 km d'au moins un autre site. La seconde zone (zone 2) comprend cinq sites, tous considérés comme étant isolés, mais installés à moins d'1 km d'un autre site (F107, F105, F220/1, F217 et F199). La zone 3 comprend des sites uniquement isolés, mais qui peuvent être divisés en deux groupes. Le premier, situé au centre de la forêt, comprend six sites (F097, F188, F179, F090, F064 et F132) tous distants de plus d'1 km d'un autre atelier métallurgique (zone 3a). Le second groupe

156. F546, F105, F085, F035, F051, F020, F127, F227, F240, F261 et F265.
157. F199, F188, F179, F132, F121, F128, F230, F248/2 et F263.

rassemble également six sites isolés (F127, F121, F145, F128, F151/2 et F240) situés au sud et proches de moins d'1 km d'au moins un autre atelier (zone 3b). Enfin, la zone 4 est composée de trois ateliers (F020, F051 et F046) isolés dont deux sont installés à moins d'1 km d'un autre. Finalement, trois sites isolés (F546, F085 et F035) sont trop distants des autres pour être rattachés à une zone.

Ainsi, il n'existe pas de regroupement spécifique des ateliers métallurgiques dans le massif de Châteauroux. Ils sont principalement isolés, soit distants de 500 m à 1 km les uns des autres. A l'exception de la zone 1. Une seconde carte de densité des ferriers réalisée avec un rayon de 500 m, met bien en évidence ce phénomène (***cf* vol. 2, fig. 49**).

Tableau 10 : Nombre de ferrier par type de regroupement et par zone dans la forêt de Châteauroux

	Concentré	**Groupé**	**Isolé**
Zone 1	5	6	3
Zone 2	0	0	5
Zone 3	0	0	6
Zone 4	0	0	6
Zone 5	0	0	3

L'étude du volume des ferriers situés dans les deux zones de plus forte localisation des ateliers métallurgiques (zone 1 et 2) permet d'affiner l'analyse. Au centre de la zone 1, se trouvent quatre ferriers groupés deux par deux avec un ferrier de 500 à 1 000 m^3 de déchet accompagné d'un second de moins de 500 m^3. Deux autres ferriers groupés à l'est comptent moins de 500 m^3 de déchets. Cette zone comprend également des ateliers concentrés avec un très grand ferrier (plus de 2 000 m^3), deux moyens (entre 500 et 2 000 m^3) et trois petits (moins de 500 m^3). Dans la zone 2, les deux ferriers au nord sont pour l'un petit (moins de 500 m^3) et pour l'autre grand (entre 1 000 et 2 000 m^3). Parmi les trois situés au sud, deux sont petits et le dernier à un volume compris entre 500 et 1 000 m^3. Les zones 1 et 2 ont donc, comme à Boulogne-Chambord, tendance à être constituées d'au moins un ferrier de grande à très grande dimension accompagné de ferriers moyens à petits.

Enfin, la carte de répartition des sites noirs et bicolores (**Fig. 105**) indique que les sites bicolores sont principalement situés dans la moitié nord et est de la forêt alors que les sites noirs sont plutôt dans la partie sud-est et ouest. Cette différence de localisation pourrait être un indice de la présence de plusieurs types/phases de production au sein du massif. L'étude des vestiges métallurgiques et de la datation des sites est à présent nécessaire pour apporter de nouveaux arguments.

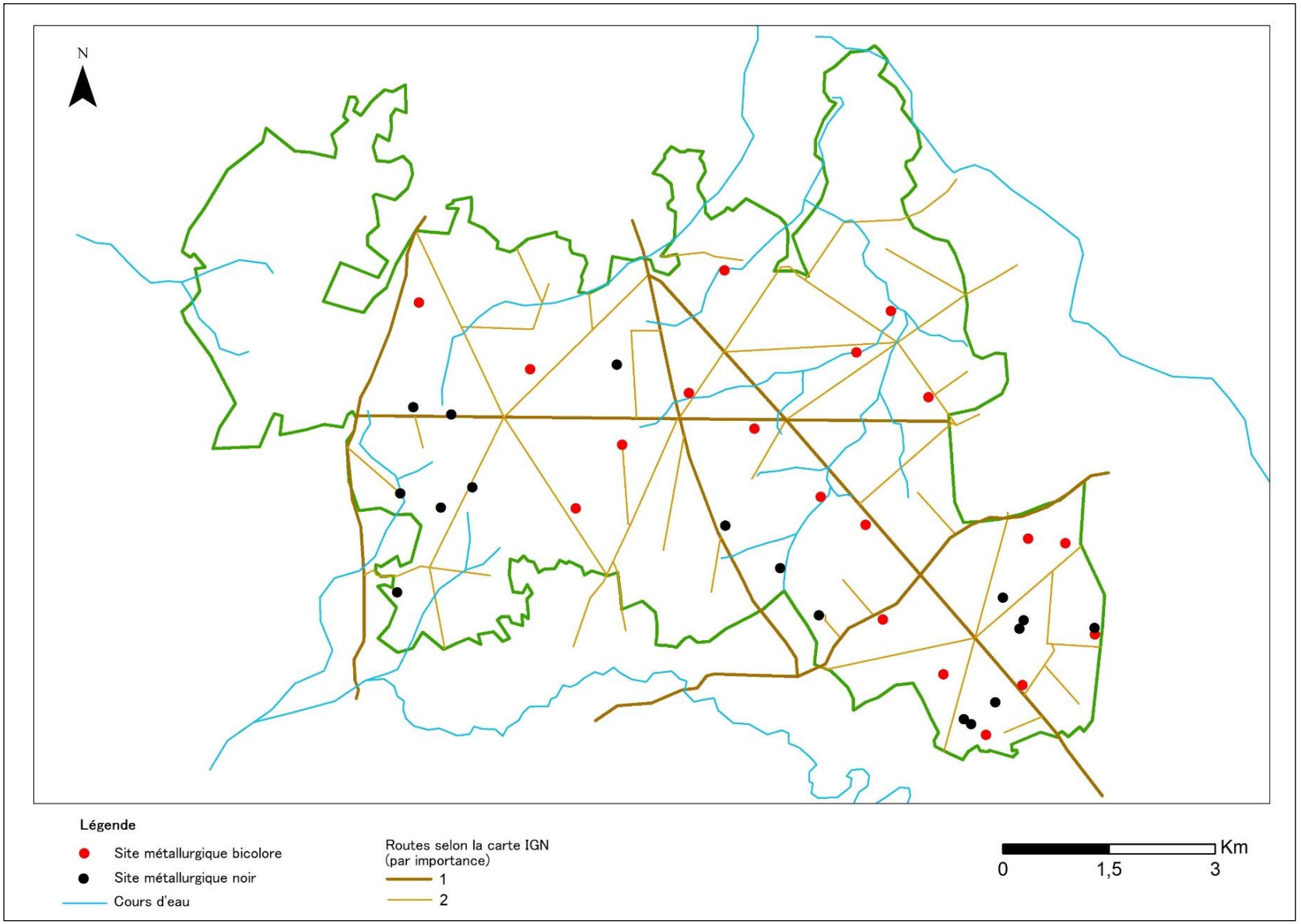


Fig. 105 : Carte de répartition des sites métallurgiques noirs et bicolores dans la forêt de Châteauroux

Une implantation qui coïncide avec certaines caractéristiques topographiques

En l'absence de données topographiques aussi précises que celles obtenues grâce aux images LiDAR dans le massif de Boulogne-Chambord, il est impossible d'établir avec certitudes la micro-topographie des ateliers métallurgiques. Néanmoins, on constate tout de même qu'à l'échelle de la forêt, la majorité des sites sont situés sur les plateaux présents au centre-ouest ou au sud-est (*Supra* 2.2.1) (***cf* vol. 2, fig. 50**). C'est notamment le cas de l'atelier F090 comme l'a démontré la fouille (*Infra* 7.2.2). En dehors de ces plateaux, il semble que les sites soient préférentiellement implantés le long du réseau hydrographique. Ce réseau est bien développé dans la forêt de Châteauroux, il rejoint l'Indre au nord et la Bouzanne au sud. En outre, il sépare les zones métallurgiques 3 et 4. Une partie de ce réseau existait déjà au Moyen Âge. Il était aménagé de plusieurs étangs, dont celui de la Motte, de l'Abbaye de Grammont et de Berthommiers à l'est (MOULIN, PAQUEREAU 2002 : 10-11). Il est possible que les métallurgistes aient profité, par endroit, de la légère pente induite par la présence de ce réseau pour installer des fours à scories écoulées. Il n'en va pas forcément de même pour les ateliers installés sur les plateaux. Aucun lien entre le type de site une localisation préférentielle en bas de pente ou sur le plateau n'a été mis en évidence.

Les ferriers aux matériaux récupérés

Dans cette forêt, 12 ferriers présentent des traces de récupération importante de leurs scories laissant aujourd'hui apparaitre des fosses. Il s'agit des sites métallurgiques noirs F105, F199, F248/1, F248/2 et F546 ; et des sites métallurgiques bicolores F046, F051, F145, F188, F240, F261 et F265. Ils sont traités avec l'ensemble des ferriers. Néanmoins, contrairement aux ferriers de Boulogne-Chambord, l'absence de LiDAR ne permet pas d'estimer le volume de déchets prélevé sur chacun.

En conclusion, les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux sont de deux types différents (**Tableau 11**). Les sites bicolores ont un sédiment de couleur noire et rouge résultant probablement d'une action anthropique. Ces sites ont des dimensions très variées pouvant aller jusqu'à plus d'une centaine de mètres de longueur. Les sites noirs sont de plus petites dimensions et volumes, sauf une exception (F546). La différence de morphologie de ces sites est probablement le reflet de l'utilisation de techniques de production distinctes engendrant des déchets différents. Les volumes des plus petits ferriers sont comparables à ceux de Boulogne-Chambord, du bas Maine ou encore du Poitou ; ceux des plus grands sont du même ordre que les ateliers des Clérimois et de certains ferriers de la Montagne Noire. La densité de ferrier dans

ce massif est relativement moyenne par rapport à d'autres régions sidérurgiques en France et en Suisse, elle est comparable à celle de la forêt de Sillé, de Boulogne-Chambord ou du Morvant-Auxois.

La carte de répartition des ferriers montre qu'ils sont rassemblés dans plusieurs espaces du massif forestier : le sud-est (zone 1), l'ouest (zone 2), le centre (zone 3 et 4) et le nord-est (zone 5). Les sites bicolores sont principalement situés dans la moitié nord et est de la forêt alors que les sites noirs sont plutôt dans la partie sud-est et ouest. Cette localisation pourrait être le témoin de l'existence de plusieurs types d'activités métallurgiques ou phases de production au sein du massif. Il faut à présent étudier les vestiges métallurgiques et les données chronologiques pour nourrir cette hypothèse (*Infra* 5.3 et 5.4). Ces ateliers sont principalement isolés. Il existe tout de même un espace de plus forte concentration métallurgique au sud-est et dans une moindre mesure à l'ouest. Aucun modèle de groupement d'atelier en fonction de leur volume n'est observé. Néanmoins comme pour le massif de Boulogne, la Puisaye et le Poitou, on trouve généralement un plus grand ferrier entouré d'un à plusieurs moyens à petits. Les plus grands ferriers isolés se trouvent principalement en périphérie alors que les plus petits sont situés au nord et à l'ouest de la forêt. Enfin, ces sites sont préférentiellement implantés soit sur un plateau ou en bas de pente, le long des cours d'eau.

Tableau 11 : Synthèse des caractéristiques des ferriers de la forêt de Châteauroux

Type de site	Noir	Bicolore
Volume	Principalement < 500 m^3	Entre < 500 m^3 et > 1 000 m^3
Densité d'atelier dans la forêt	Moyenne (0,6 ferriers/km^2)	
Organisation spatiale	Majoritairement isolés (23/34)	
	Concentrés : 1 grand entouré de moyens/petits	
	isolés : très grands et surtout en périphérie de la forêt	
Implantation topographique	Sur le plateau et en bas de pente	
Action anthropique post-activité métallurgique	Récupération des scories	

5.2 Les sites secondaires, épandages et dépôts ponctuels

En plus de sites métallurgiques, deux types de sites comprenant des déchets de production en position secondaire sont présents dans la forêt de Châteauroux. Les vestiges qui s'y trouvent sont le résultat du déplacement de scories provenant de sites métallurgiques anciens. Le premier type est constitué d'épandages de scories, huit sont recensés dans la forêt. Six sont composés d'une couche limono-sableuse brune/noire parfois associée à du sédiment rougeâtre et à des scories très fragmentées (F004, F056, F120, F181, F195, F267), deux comprennent un sédiment limono-sableux rouge avec de rares scories, des fragments de minerai et de paroi (F003 et F136). Ces couches sont peu épaisses (moins de 15 cm). Trois de ces épandages ont une forme elliptiques, deux sont circulaires, un est quadrangulaire et deux sont irréguliers. Contrairement aux épandages du massif de Boulogne-Chambord, ceux de Châteauroux peuvent prendre des dimensions très importantes. Ils mesurent entre 9 et 65 m de longueur pour 8 à 35 m de largeur (***cf* vol. 2, tableau 27**). La surface de ces sites ayant été mesurée sur le terrain, une tentative de restitution du volume de déchet est réalisée en utilisant la même formule que pour les ferriers. On constate ainsi que épandages comprennent en majorité 70 et 120 m^3 de scories (**Fig. 106**).

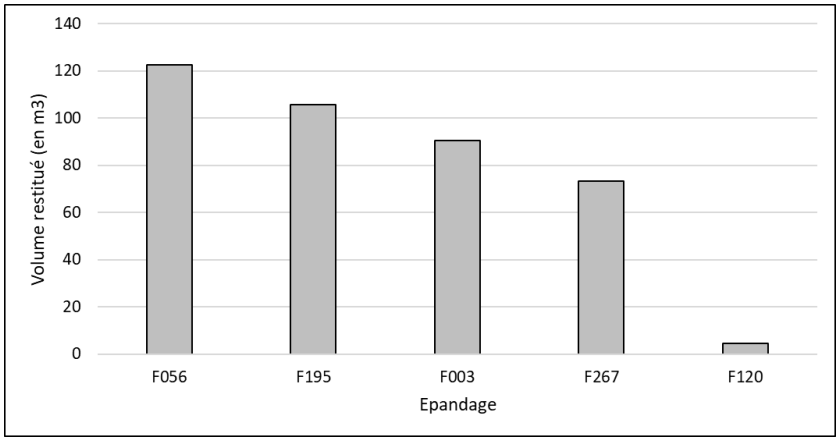


Fig. 106 : Diagramme représentant le volume des vestiges métallurgiques des épandages dans la forêt de Châteauroux

Ces chiffres correspondent à une fourchette haute du volume de scorie présent car dans les épandages ces vestiges peuvent être plus ou moins épars. Ces volumes sont supérieurs à ce qui est calculé pour les épandages de la forêt de Boulogne-Chambord (entre 0,1 et 14 m^3). On a donc un plus grand volume de scories réemployées à Châteauroux qu'à Boulogne. Ce phénomène peut être dû à l'emploi qui en est fait. Enfin, les épandages sont généralement très

distants les uns des autres (sauf F003 et F004) et se trouvent plutôt à l'est dans l'actuel massif forestier.

Bien que 12 sites métallurgiques dont les scories sont récupérées soient recensés dans le massif, aucune comparaison entre le volume de déchet présent dans les épandages et celui récupéré au sein des ferriers ne peut être proposée pour cette zone sidérurgique. L'absence d'images LiDAR n'a pas permis un tel travail. En outre, relever les fosses de récupérations des scories aurait nécessité un temps de travail trop important par rapport à la précision de l'information obtenue. On constate néanmoins que les épandages totalisent environ 400 m^3 de déchets métallurgiques alors que les observations réalisées sur le terrain indiquent une quantité plus importante de scories prélevées dans les ferriers. Enfin, les ferriers aux déchets récupérés n'ont pas de dimensions similaires. Il ne semble donc pas, tout comme à Boulogne-Chambord, que ce critère soit pris en considération pour choisir les sites sur lesquels prélever des scories.

On peut alors se questionner sur les usages de ces scories récupérées. La première utilisation concerne l'entretien ou la création de chaussée. Ce phénomène est avéré dans la forêt de Boulogne-Chambord, sur les routes antiques de Mayenne (DAUBREE 1868 : 307-309) ou sur les routes de Puisaye au XIXe s**.** (PIETAK *et al.* 2012 : 118-119)**.** À Châteauroux, la proximité entre les épandages et les routes laisse supposer le même type de réemploi. Toutefois, l'absence de cartes anciennes ou d'archives ne permet pas d'aller plus loin. Un second type de réutilisation des déchets métallurgiques est observé dans la forêt de Châteauroux. En effet, l'épandage F056 participe à la constitution d'une motte castrale d'environ 5 m à 6 m de hauteur (**Fig. 107**). Les scories sont concentrées dans la partie nord de l'amas de terre. Quelques scories ont également été aperçues à l'ouest de cette motte, mais la végétation dense n'a pas permis une prospection approfondie. Il est toutefois possible qu'il s'agisse de l'emplacement du ferrier dont provient ces vestiges.



Fig. 107 : Photographie de la motte castrale depuis le fossé bordier (vue vers le sud-ouest)

Le second type de site dont les vestiges métallurgiques se trouvent en position secondaire est nommé « zone de rejet ponctuelle ». Une seule est observée au sud-est du massif de Châteauroux (F151/1). Il s'agit d'un espace d'abandon très restreint, ne comprenant pas plus de quelques scories. Le sédiment dans lequel elles sont mises au jour est limono-sableux de couleur beige et ne présente aucune distinction avec le sédiment alentour, contrairement aux autres types de sites (**Fig. 108**).



Fig. 108 : Photographie de la zone de dépôt de scorie F151/1

5.3 Les déchets de réduction

Au cours des prospections pédestres réalisées dans la forêt de Châteauroux, environ 795 kg de vestiges métallurgiques ont été ramassés. Leur étude révèle la présence de différents types de vestiges, des scories de réduction (scories écoulées, scories internes), mais également quelques scories de forge (culot de forge), des éléments constitutifs des fours de réduction (fragments de paroi, de TCA, de tuyère) et des vestiges métalliques (***cf* vol. 4, tab. 4**). Tout comme à Boulogne/Chambord, l'étude de ce mobilier permet de caractériser les étapes de la chaîne opératoire du fer effectuées dans cette zone sidérurgique, de préciser les techniques de production utilisées ainsi que la morphologie et la composition des structures productives. En outre, l'étude du mobilier selon les types de sites permet de rechercher les différences techniques qui pourraient exister entre eux.

5.3.1 Les scories écoulées

La majorité des scories observées dans ce massif sont des scories écoulées, soit 189 kg (***cf* vol. 2, tableau 28**). Ces scories témoignent de l'utilisation dans la forêt de Châteauroux d'une technique de production utilisant des fours à scories écoulées (*Supra* 1.3.2).

Elles sont présentes au sein de tous les sites recensés dans la forêt (**Fig. 109**). La carte de répartition montre qu'elles sont particulièrement nombreuses (entre 80 et 100 % des scories du site) au sein des ateliers situés au sud-est du massif. Elles sont moins nombreuses (moins de 35 %) sur les sites métallurgiques du centre (F090, F132, F035, F105, F220/1, F199) et du nord-est de la forêt (F020, F051).

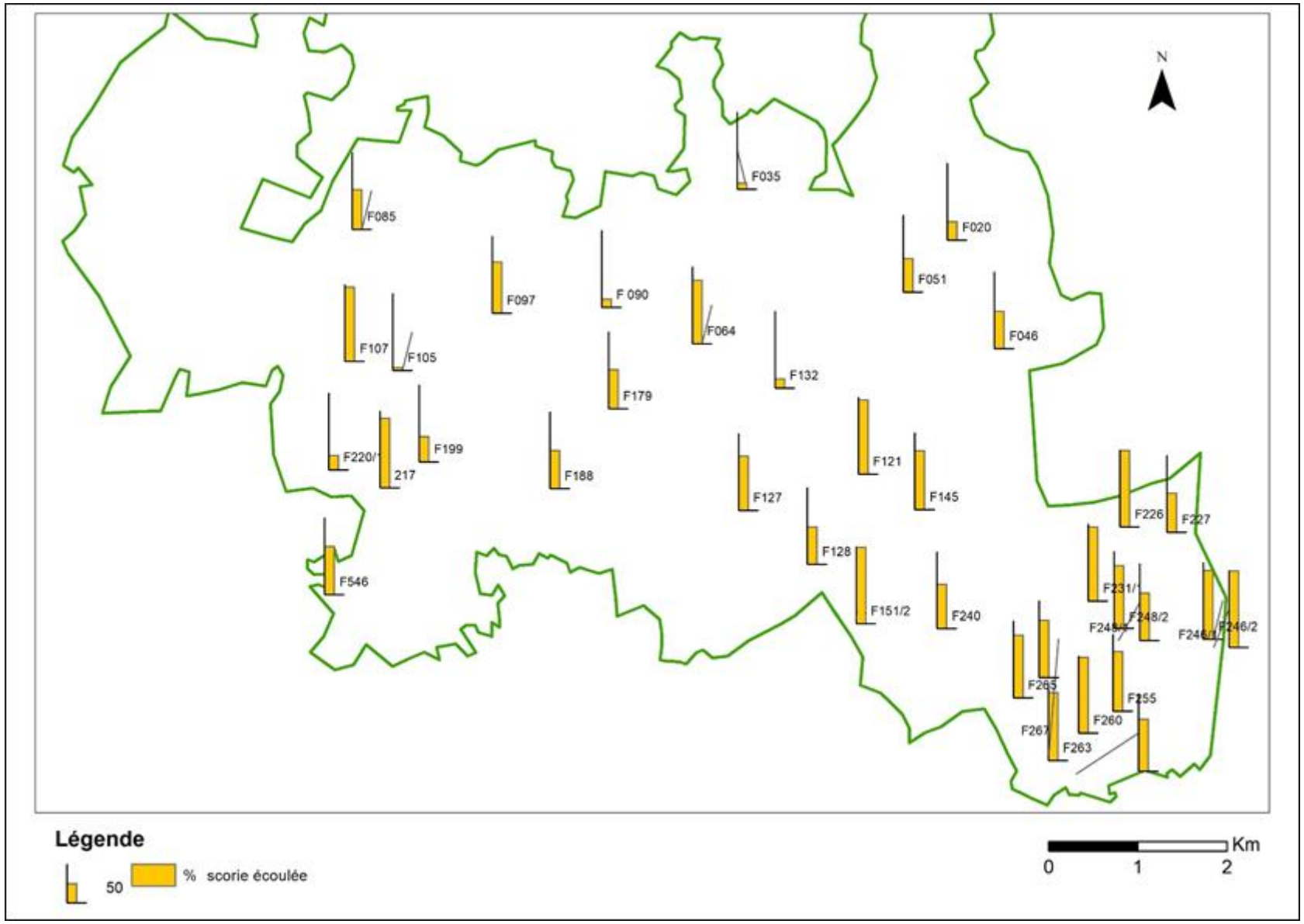


Fig. 109 : Carte de la proportion de scories écoulées par site métallurgique dans le massif actuel de Châteauroux

Il n'apparait pas de lien particulier entre le volume des ferriers et le pourcentage de scories écoulées (**Fig. 110 ; *cf* vol. 2, tableau 29**). On peut néanmoins noter une présence plus importante de ce type de scories dans les petits ferriers (inférieure à 200 m^3).

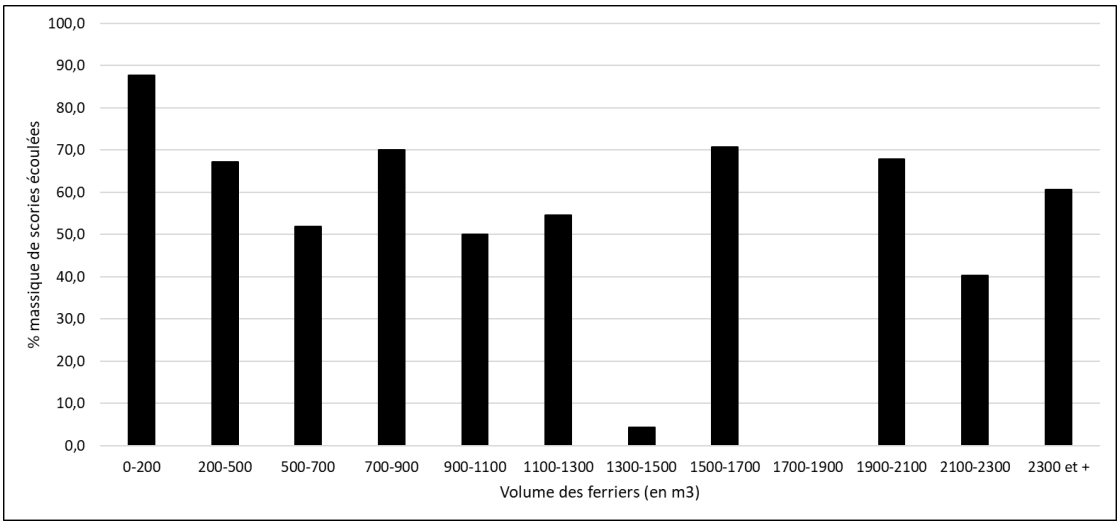


Fig. 110 : Diagramme du pourcentage en masse de scories écoulées en fonction de la taille des ferriers observés sur chaque site

L'étude de ces scories en fonction du type de site métallurgique montre qu'au sein des sites métallurgiques au sédiment bicolore, elles sont proportionnellement moins nombreuses que sur les sites métallurgiques au sédiment noir (**Fig. 111 ; *cf* vol. 2, tableau 30**). Ces caractéristiques pourraient être le signe de l'emploi de techniques de production distinctes.

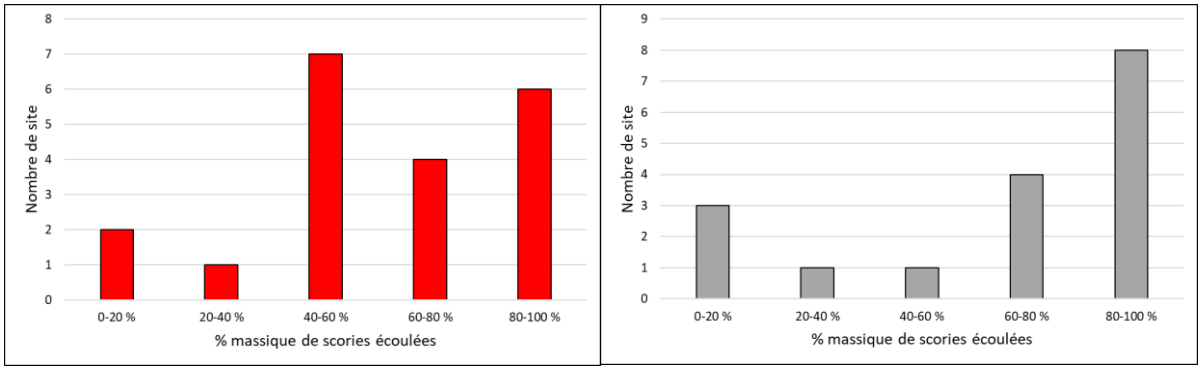


Fig. 111 : Diagramme de la proportion de scories écoulées sur les sites métallurgiques bicolores et sur les sites noirs par rapport à l'ensemble des scories ramassées
(en rouge : sites métallurgiques bicolores, en gris : sites métallurgiques noirs)

Au sein des sites métallurgiques bicolores, les scories écoulées sont présentes dans toutes les zones noires avec des proportions très variables (**Fig. 112 ; *cf* vol. 2, tableau 31**). Ce type de scorie est observé au sein de l'espace sédimentaire rouge de seulement huit ateliers où ils constituent entre 0,5 et 20 % des scories totales. Les scories écoulées sont donc plus représentées dans les espaces sédimentaires noirs que rouges, on peut alors se demander si cette prépondérance n'a pas un lien avec la fonction de ces différents espaces. Enfin, deux sites ont une proportion de scories écoulées plus élevée dans l'espace rouge que le noir (F020, F145). Ces écarts sont toutefois très restreints.

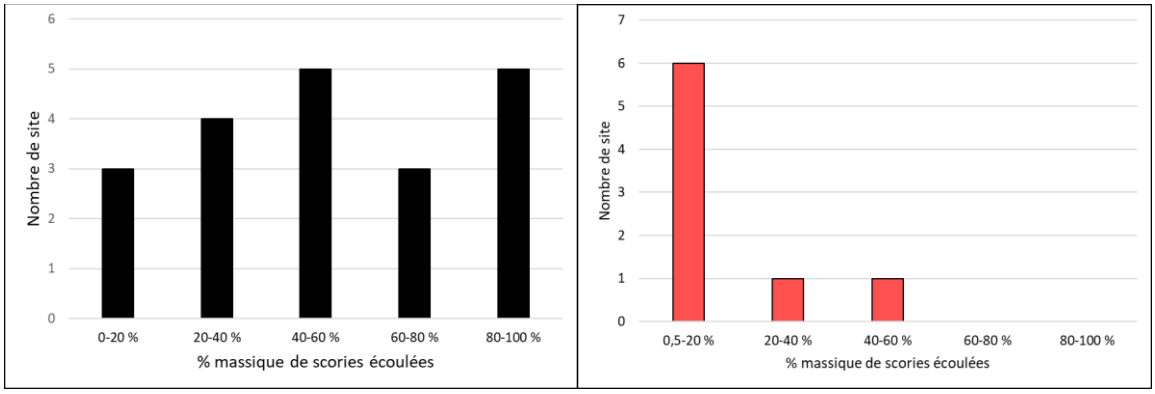


Fig. 112 : Diagramme de la proportion des scories écoulées en fonction de la couleur du sédiment des sites métallurgiques bicolores
(en rouge : espaces sédimentaires rouges, en noir : espaces sédimentaires noirs)

Les scories écoulées ont plusieurs faciès. Les plus nombreuses sont les scories à cordons épais (largeur supérieure à 2 cm). Elles représentent environ 80 kg de déchet (**Fig. 113a ; *cf* vol. 2, tableau 32**). On trouve ensuite les scories à cordons fins (entre 0,25 et 2 cm) avec environ 15 kg (**Fig. 113b**) et les scories à cordons agglomérés avec 15 kg (**Fig. 113c**). Les scories écoulées les moins représentées sont les scories en plaque et/ou ridées (7 kg) (**Fig. 113d et e**). Enfin 52 kg de scories écoulées sont trop fragmentés pour être associés à l'un de ces types, ils sont donc indéterminés.

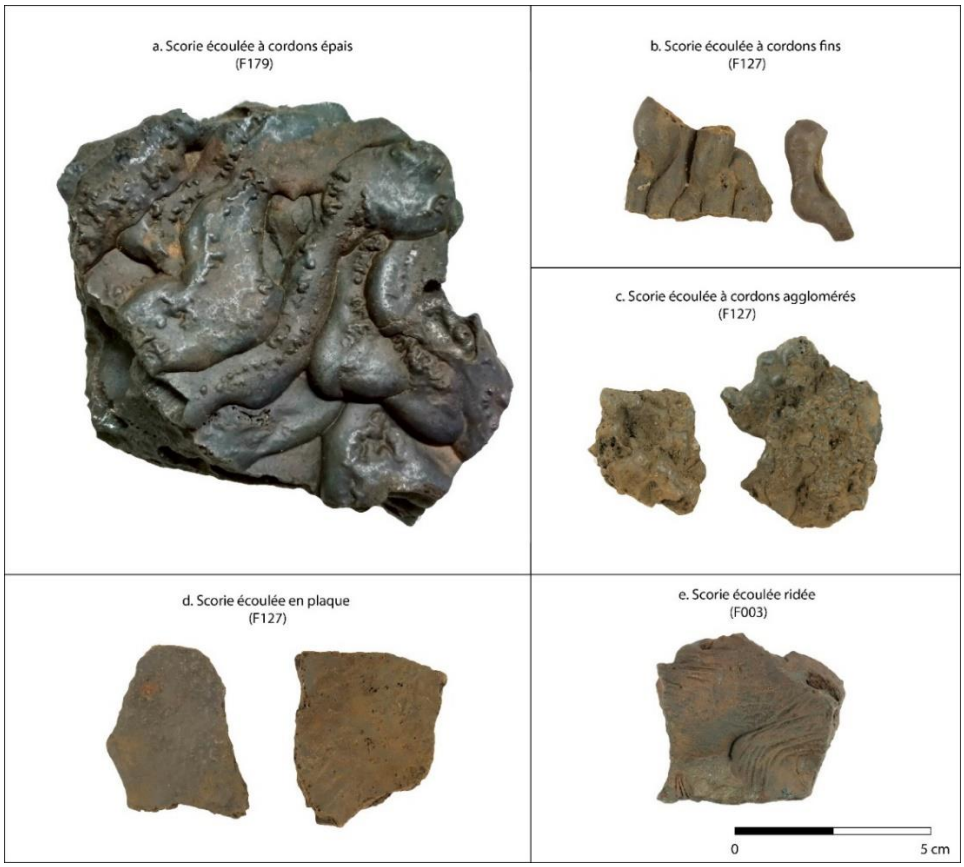


Fig. 113 : Photographie des différents types de scories écoulées ramassées dans le massif de Châteauroux

La typologie des scories écoulées de Châteauroux est la même que celle des ateliers de réduction de Boulogne-Chambord (*Supra* 4.3.1), du Bas-Maine (SARRESTE 2011 : 80-83), du Poitou (SAINT-DIDIER 2017a : 90-91) ou encore sur le site du Boécourt « les boulies » (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 71-78). Seules les scories en cordons agglomérés sont moins fréquentes et ne trouvent pas de pendant, hormis peut-être sur le site de Meunet-Planches (Indre) où elles pourraient être comparées aux « scories en cordons » (DIEUDONNE-GLAD 2017 : 5). Ces différents aspects sont dus à la viscosité de la scorie lors de sa coulée. Ils peuvent apporter des indices concernant les conditions dans les fours de réduction (MANGIN 2004 : 73).

L'étude de la répartition de ces sous-types de scories écoulées montre que les scories à cordons épais se trouvent sur presque tous les sites métallurgiques, sauf trois (**Fig. 114**). En outre, ce sous-type est presque toujours le plus représenté sauf sur les sites du nord-ouest de la forêt. Les scories à cordons fins sont principalement observées au sud-est et leurs proportions sont très faibles (généralement moins de 20 %). Les scories en plaque sont quant à elles en quantité limitée (inférieure à 25 %) et se trouvent toujours dans des ateliers situés dans la partie

sud du massif. Les scories agglomérées sont principalement observées sur des sites du nord-ouest du massif (pourcentage en masse supérieur à 30 %) et un peu au sud-est, mais en moindre quantité (pourcentage en masse inférieur à 30 %). Enfin, on constate que l'association du plus grand nombre de sous-types de scories écoulées se trouvent sur des sites localisés au sud-est : scories à cordons épais, scories en plaque et scories à cordons agglomérés. Les scories à cordons épais sont moins nombreuses que celles à cordons agglomérés au nord-ouest du massif, sur les sites F105, F107, F090, F220/1 et F199, ce n'est pas le cas des ateliers localisés au sud-est. On peut alors se demander si la morphologie, la répartition et l'association de ces déchets sont caractéristiques d'une ou plusieurs productions métallurgiques.

L'étude de la répartition des différents sous-types de scories écoulées en fonction de la taille des ateliers montre que les scories à cordons épais sont presque toujours les plus représentées (entre 30 et 90 %) quel que soit le volume des sites (**Fig. 115 ; *cf* vol. 2, tableau 33**). Les scories à cordons fins sont en plus grande proportion dans les petits ateliers (volume inférieur à 200 m^3). En outre, les scories à cordons agglomérés sont récurrentes mais dans des proportions assez faibles (entre 5 et 15 %) sur les sites dont le ferrier est compris entre 200 et 1700 m^3. On observe néanmoins une exception, la classe des 1300-1500 m^3 pour laquelle les proportions sont d'environ 65 %, mais cette classe ne comprend qu'un seul site, F105. Les scories en plaque et/ou ridées sont peu abondantes en général (moins de 10 %). Il n'apparait pas d'association de sous-types de scories écoulées particulière en fonction de la taille des sites.

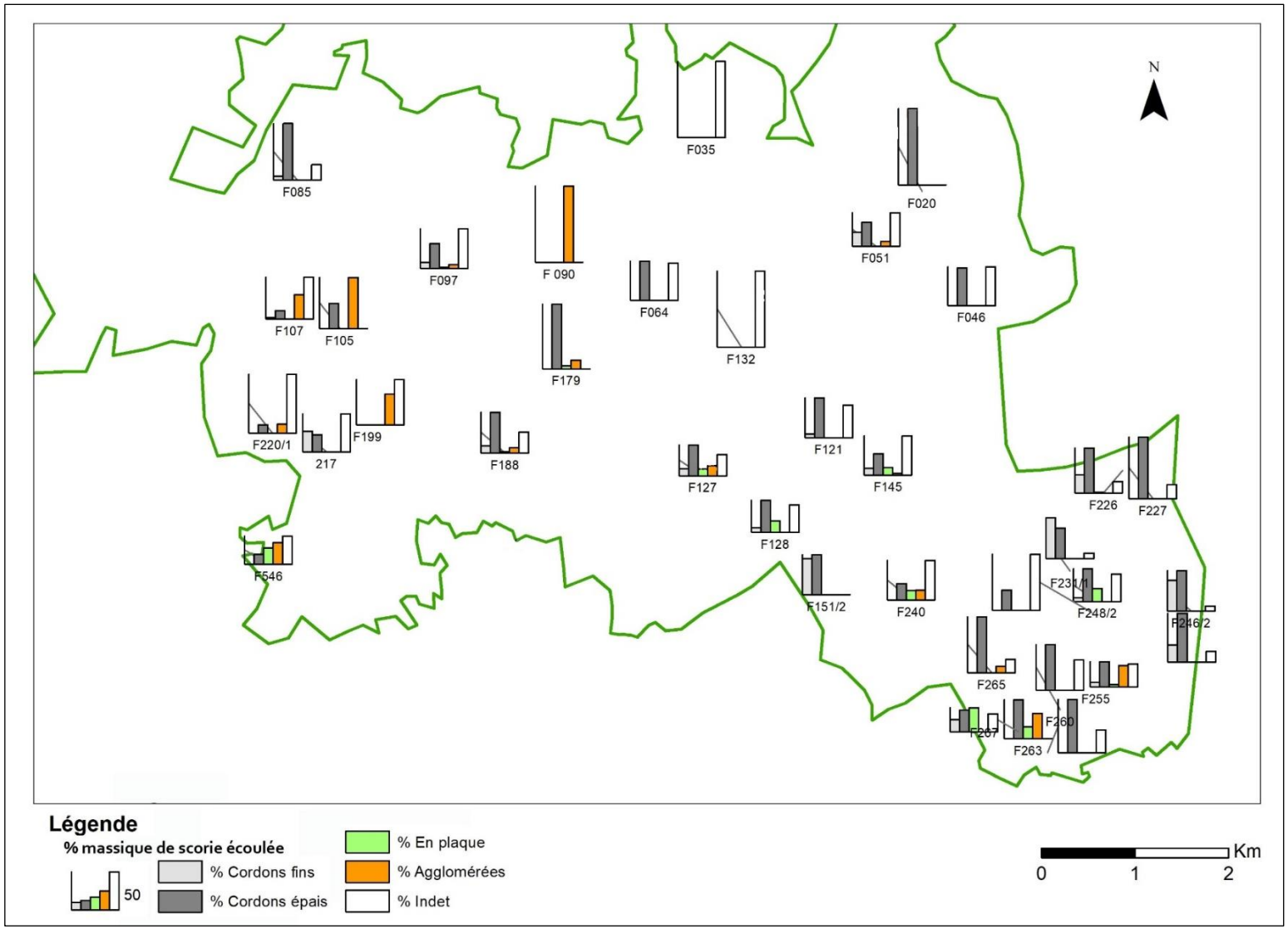


Fig. 114 : Carte de la proportion des divers sous-types de scories écoulées au sein des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

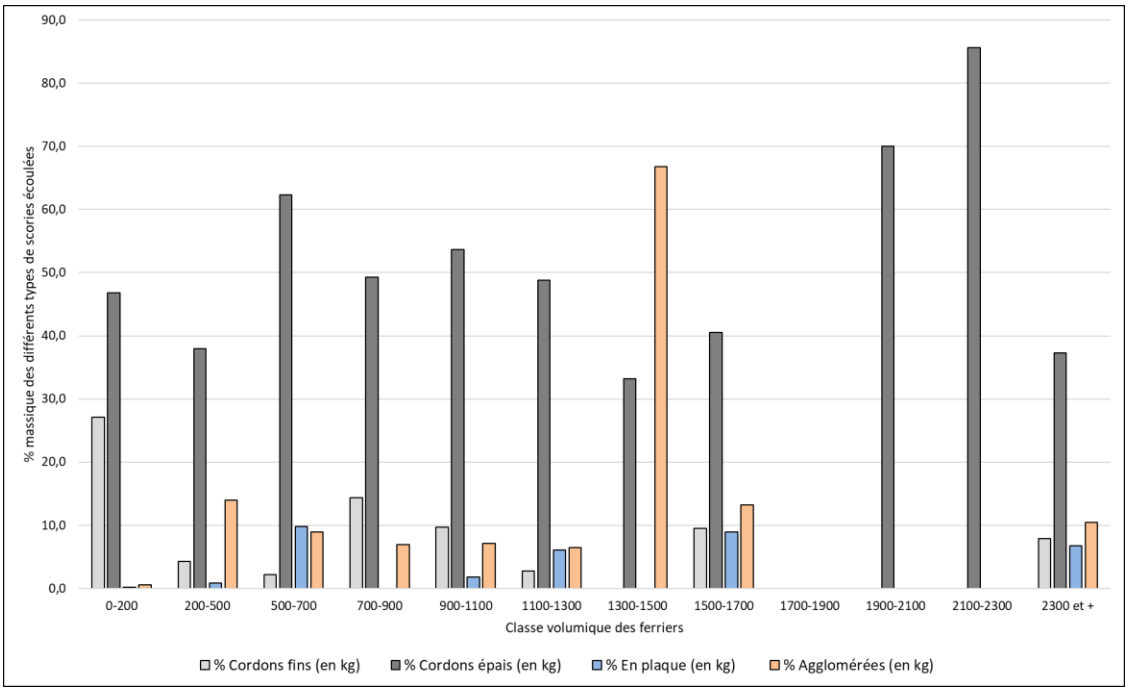


Fig. 115 : Répartition des différents types de scories écoulées en fonction du volume des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

La répartition des divers sous-types de scories écoulées en fonction de la couleur des sites métallurgiques montre que les scories à cordons épais sont plus abondantes sur les sites au sédiment bicolore ; avec en moyenne 50 % de la masse de scories totale contre 35 % sur les sites noirs (**Fig. 116 ; *cf* vol. 2, tableau 34**). Les autres sous-types sont toujours plus représentés sur les sites au sédiment noir.

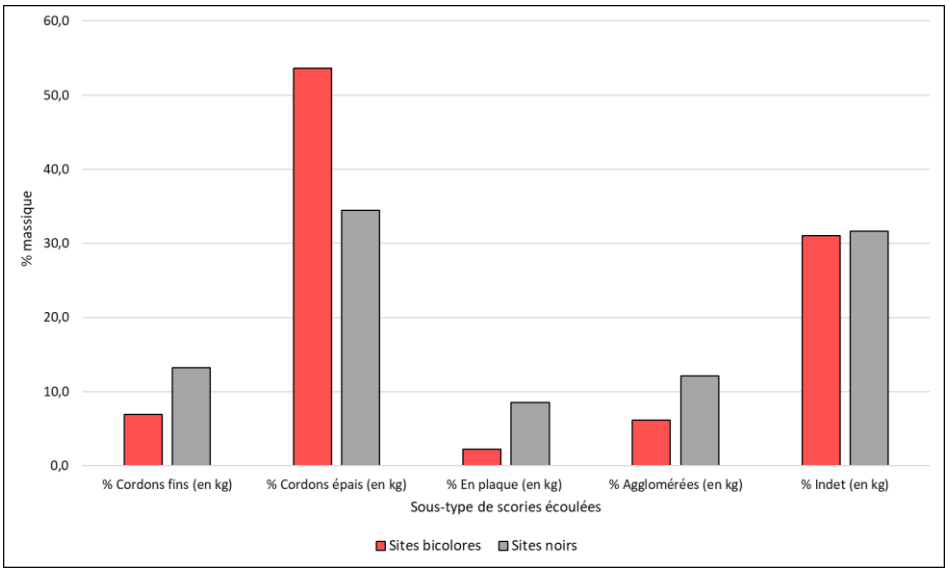


Fig. 116 : Diagramme du pourcentage en masse des sous-types de scories écoulées en fonction des types de sites métallurgiques

Enfin, la répartition des différents sous-types de scories écoulées dans les zones noires et rouges des sites bicolores montre une répartition équilibrée dans ces deux espaces (**Fig. 117 ; *cf* vol. 2, tableau 35**).

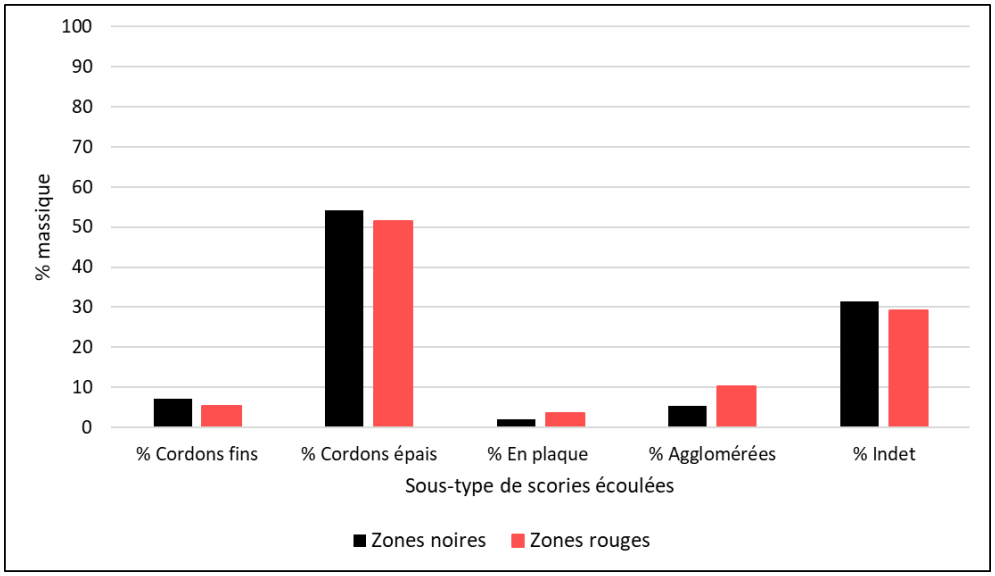


Fig. 117 : Diagramme du pourcentage en masse des sous-types de scories écoulées dans les différents espaces sédimentaires des sites métallurgiques bicolores

La forme des scories écoulées fournit des informations concernant la morphologie des fours de réduction. En effet, un fragment ramassé sur le site bicolore F179 montre une forme plano-convexe témoignant de l'écoulement de la scorie dans une petite cuvette d'environ 10 cm de diamètre et de quelques centimètres de profondeur (**Fig. 118**).



Fig. 118 : Scorie écoulée de forme plano-convexe (F179)

En outre, cinq scories écoulées provenant du site bicolore F255 et des sites noirs F546, F107, F127 et F128 montrent sur leur face inférieure le probable négatif de canaux d'écoulement. Ils mesurent 5 cm de largeur pour F127 et 7,8 cm pour F546. Ces canaux, creusés directement dans le sol, devaient se trouver devant l'orifice des fours pour guider la sortie de la scorie. Quatre scories provenant des sites bicolores F187/188 et des sites noirs F248/2 et F127 montrent également la présence de tuyère ou de trou de ventilation dans les fours. On observe en effet des cylindres caractéristiques laissé par l'arrivée d'air chez deux d'entre eux ; les deux autres correspondent à des bouchons de tuyères, de 2,9 et 2,1 cm de diamètre interne (**Fig. 119**).

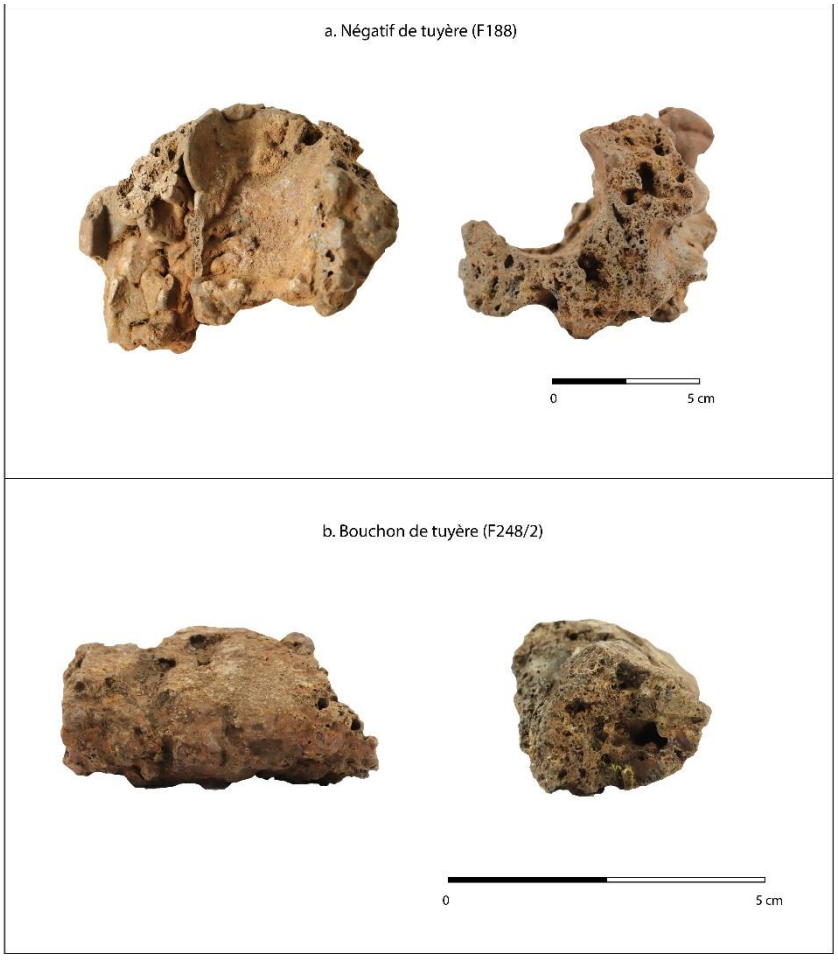


Fig. 119 : Exemple de vestiges signalant la présence de tuyère sur certains sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

En conclusion, les scories écoulées, vestige métallurgique le plus représenté dans une grande partie des sites recensés dans la forêt de Châteauroux, indiquent l'utilisation de fours de réduction à scories écoulées (**Tableau 12**). Elles sont présentes sur presque tous les sites métallurgiques et sont particulièrement nombreuses au sud-est de la forêt. Il n'apparait aucun

lien entre le volume de déchets des sites métallurgiques et la proportion de scories écoulées. Ces scories sont toutefois plus abondantes dans les sites métallurgiques noirs que dans les bicolores. Enfin, au sein de ces derniers, elles sont plus nombreuses dans les zones noires que rouge.

En ce qui concerne les sous-types de scories écoulées, la proportion de scories à cordons épais est la plus importante sur tous les sites, mais surtout ceux localisés au nord-ouest de la forêt. Les ateliers pour lesquels les scories à cordons agglomérés sont en proportions plus importantes se trouvent au nord-ouest du massif. Sur ces sites, les scories à cordons épais sont moins représentées. Les scories en plaques se trouvent en faibles proportions et principalement dans des ateliers situés au sud du massif et les scories à cordons fins sont localisées plutôt au sud-est, où la variété de sous-types de scories est la plus nombreuse. Aucun rapport ne semble exister entre les sous-types de scories écoulées et le volume des ferriers d'où ces déchets proviennent. Cependant, les scories à cordons fins sont plutôt présentes dans les petits ateliers. Une différence entre sites métallurgiques au sédiment noir et sites au sédiments bicolores réside dans le fait que les scories à cordons épais sont plus représentés dans les sites bicolores. Enfin, au sein des sites métallurgiques bicolores, la répartition des scories écoulées est équilibrée dans le sédiment noir et dans le rouge.

Tableau 12 : Synthèse des caractéristiques des scories écoulées de la forêt de Châteauroux

	Scories écoulées	**Sous-types de scories écoulées**
Morphologie	Indique l'utilisation de four avec un orifice laissant s'écouler la scorie	**Commun** - cordons épais - cordons fins - cordons agglomérés - en plaque et/ou ridées
Localisation	- Présentes sur tous les sites - Plus nombreuses sur les sites du sud-est - moins nombreuses sur les sites du centre et nord-est	**Scories à cordons épais :** - présentes sur presque tous les sites - plus représentées sur sites du nord-ouest. **Scories à cordons fins** : - surtout observées au sud-est en faibles proportions (< 20 %). **Scories en plaque :** - situées dans les ateliers du sud de la forêt et toujours en faible quantité (<25 %). **Scories agglomérées :** - en quantité moyenne sur les sites du nord-ouest (> 30 %) et un peu au sud-est (<30 %) **Association de scories :** - surtout sites du sud-est (épais, fins et agglo) - scories à cordons agglomérés plus nombreux sur les sites du nord-ouest contrairement au sud-est

Volume des sites	Pas de lien entre la présence de ces scories et le volume des ferriers	- toujours les scories à cordons épais les plus représentées quelle que soit le volume des sites - scories à cordons fins plus représentés dans des petits ateliers (< 200 m3) - scories à cordons agglomérées surtout sur des sites entre 200 et 1700 m3 - pas de lien entre le volume et les scories en plaque et/ou ridées ni avec une association de sous-types de scories écoulées
Type de site	Plus représentées sur les sites noirs	- scories à cordons épais plus représentées sur les sites bicolores - les autres sous-types sont plus représentés sur les sites noirs.
Zones sédimentaires au sein des sites métallurgiques bicolores	Plus représentées dans les zones noires	Répartition équilibrée dans les deux zones

En s'appuyant sur l'hypothèse selon laquelle des conditions de production similaires engendrent des déchets semblables (SERNEELS, MERLUZZO, LEROY 2004 : 100), la confrontation de ces données nous permet de supposer l'existence de plusieurs types de production métallurgiques dans le massif de Châteauroux :

- Au nord-ouest du massif (**Fig. 120**), cinq sites noirs ayant engendré peu de scories à cordons épais, mais de nombreuses scories agglomérées (prod. 1) ;
- Au sud-est, sept sites noirs et bicolores ayant produit une association de plusieurs sous-types de scories écoulées (prod. 2) ;
- En périphérie est et nord du massif, 11 sites principalement bicolores ayant entrainé la fabrication d'une importante proportion de scories à cordons épais (prod. 3).

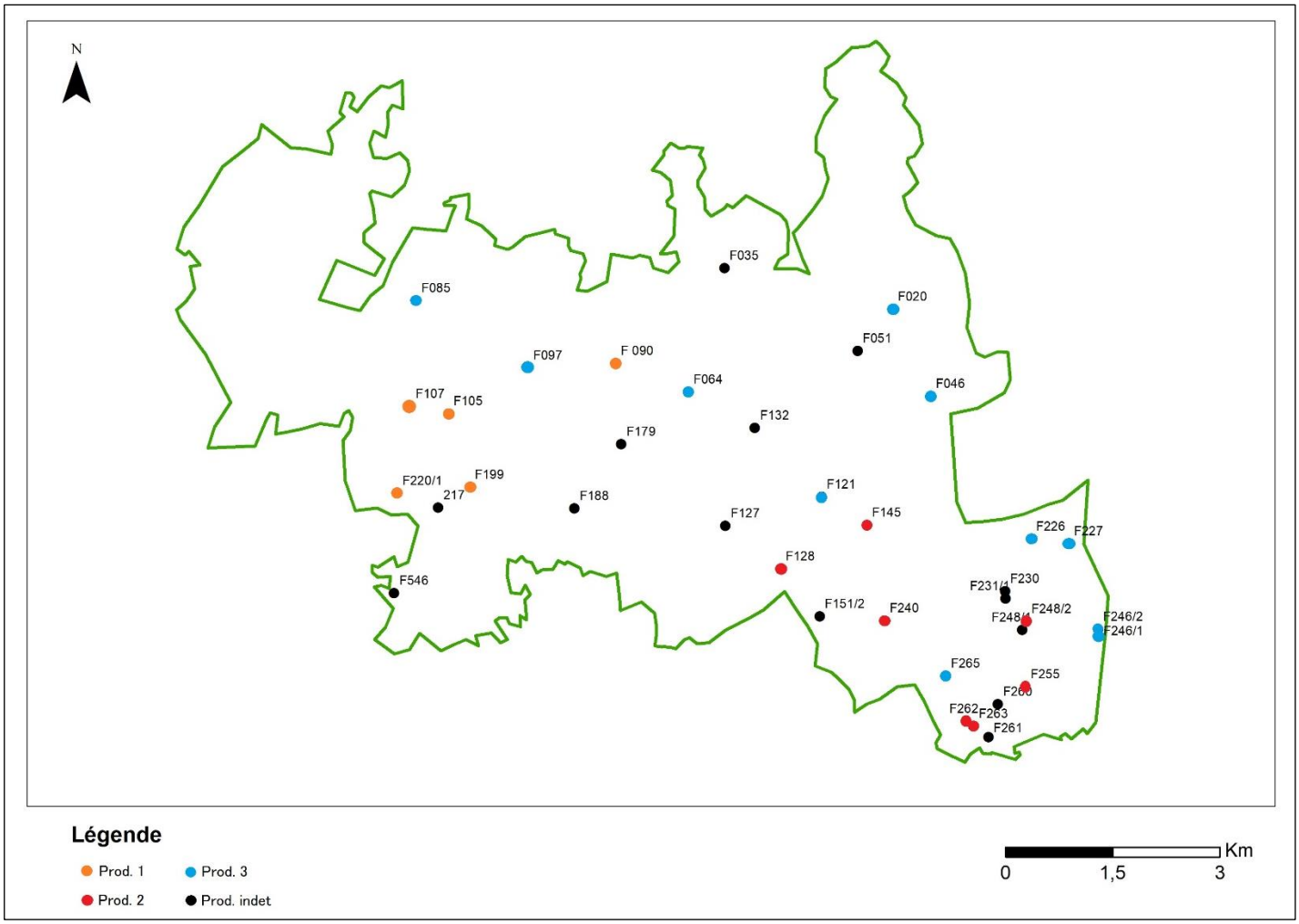


Fig. 120 : Carte des trois types de productions métallurgiques potentielles en forêt de Châteauroux restituées à partir des caractéristiques des scories écoulées

Enfin, les scories écoulées apportent quelques informations sur l'architecture des fours de réduction et l'organisation de leur environnement immédiat. On constate ainsi la présence d'une fosse sur le site F188 pour recueillir les scories et, plus régulièrement, de canaux de 5 à 8 cm de largeur pour faciliter l'écoulement de la matière à la sortie des fours. En ce qui concerne les fours, on peut restituer sur au moins trois sites l'utilisation d'une aération caractérisée par une ou plusieurs tuyères ou trou d'aération avec un conduit de 2 à 3 cm de diamètre.

5.3.2 Les scories internes

Observations macroscopiques

Le second type de scories de réduction mis au jour dans la forêt de Châteauroux est celui des scories internes. Un total d'environ 116 kg de ces vestiges provient de 30 sites métallurgiques **(*cf* vol. 2, tableau 28)**. Elles constituent au maximum 60 % du volume total des

scories ramassées sur les différents sites mais sont le plus souvent inférieures à 20 % (**Fig. 121 ; *cf* vol. 2, tableau 36**).

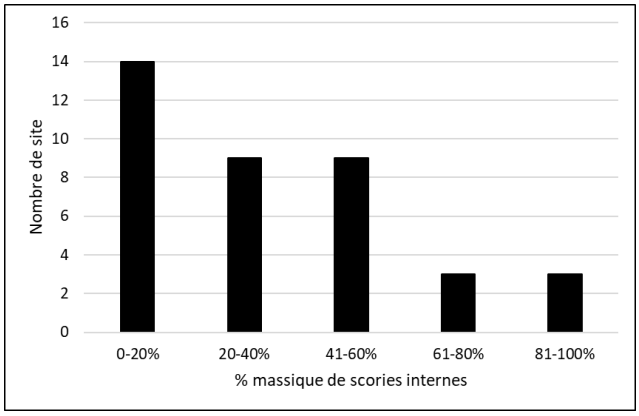


Fig. 121 : Diagrammes de la fréquence des scories internes dans les sites métallurgiques

Elles sont absentes de quatre sites, F151/2, F226, F230, F246/1, tous localisés au sud-est du massif (**Fig. 122**). En outre, elles représentent plus de 60 % de la masse de scories de plusieurs ateliers situés au nord et à l'ouest de la forêt (F020, F035, F090, F105, F220/1 et F199). Cela coïncide évidemment avec les sites sur lesquels une plus faible proportion de scories écoulées est observée.

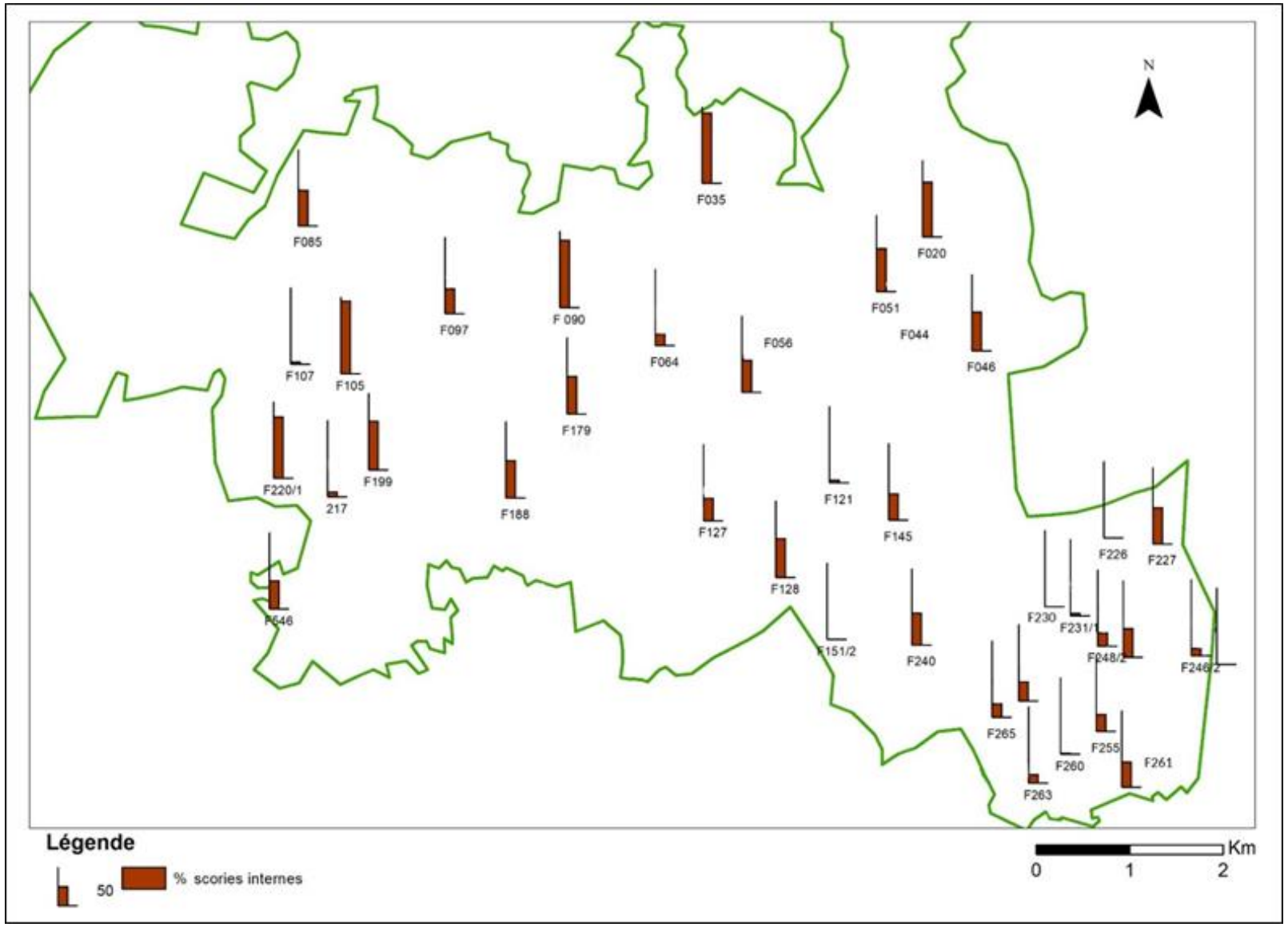


Fig. 122 : Carte de la proportions des scories internes dans les sites métallurgiques de l'actuelle forêt de Châteauroux

La proportion de scories internes est différente selon le volume des ferriers d'où elles proviennent (entre 20 et 50 %) (**Fig. 123 ; *cf* vol. 2, tableau 37**). Elles sont très représentées dans les sites de 1300-1500 m^3, néanmoins ils ne sont composés que d'un seul site. Les classes 0-200 m^3 et 2100-2300 m^3 sont largement moins fournies, environ 10 % de scories internes. La classe des 2100-2300 m^3 ne dispose que de deux ateliers. Il est donc difficile d'argumenter. Toutefois, celle des 0-200 m^3 est bien mieux documentée et reflète ce qui est perçu pour les scories écoulées. Les sites de moins de 200 m^3 ont donc tendance à disposer de plus de scories écoulées et de moins de scories internes.

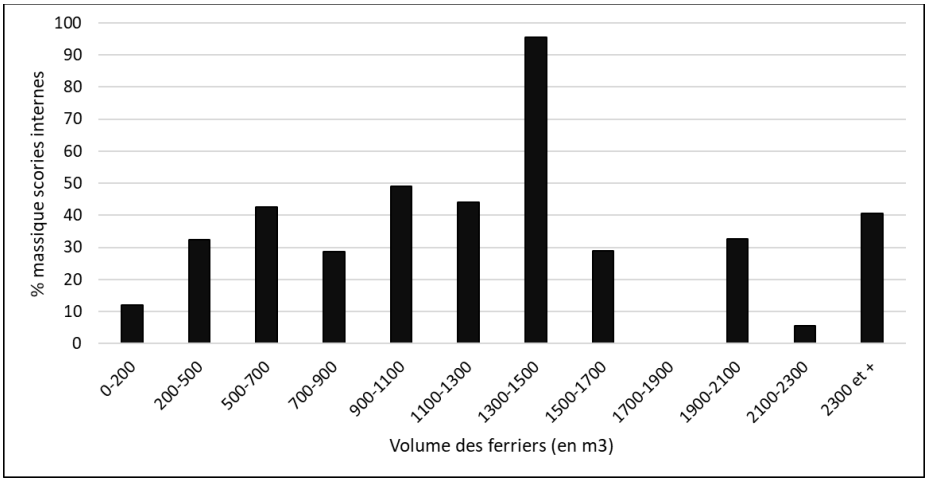


Fig. 123 : Diagramme du pourcentage en masse de scories internes en fonction de la taille des ferriers observés sur chaque site

L'étude des proportions des scories internes en fonction de la couleur du site dont elles proviennent montre qu'elles représentent moins de 60 % des sites métallurgiques au sédiment bicolore. Deux tendances apparaissent, la première concerne des sites disposant de 0 à 40 % de scories internes (11 ateliers) et la seconde montre des sites avec entre 40 et 60 % de scories internes (8 ateliers) (**Fig. 124 ; *cf* vol. 2, tableau 38**). La proportion de scories internes sur les sites métallurgiques au sédiment noir est moins dispersée. En effet, 12 ateliers sur 17 présentent moins de 40 % de scories internes. Ce type de vestige est donc plus représenté sur les sites métallurgiques bicolores.

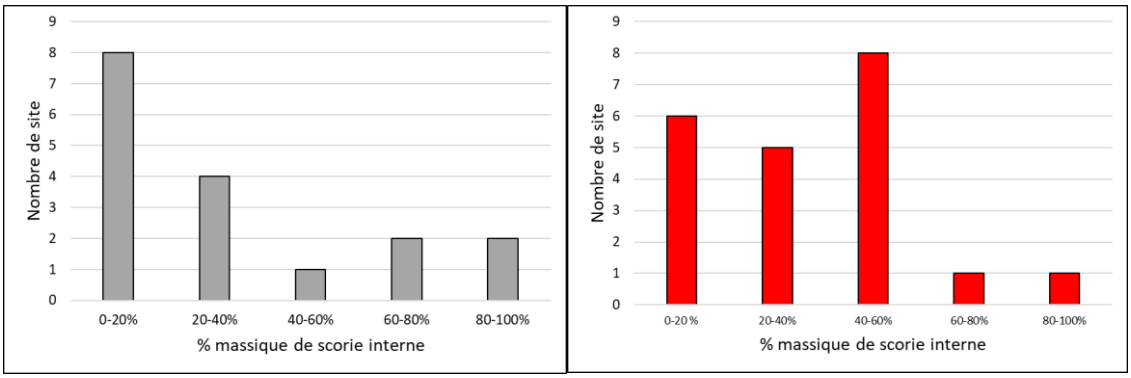


Fig. 124 : Diagramme de la proportion de scories internes en fonction du type de site par rapport à l'ensemble des scories ramassées
(en rouge : sites métallurgiques bicolores, en gris : sites métallurgiques noirs)

Les scories internes sont très peu présentes dans les zones rouges des sites métallurgiques au sédiment bicolore et même absentes de dix ateliers. En outre, lorsqu'elles y sont observées leur proportion est faible (**Fig. 125 ; *cf* vol. 2, tableau 39**). On les retrouve en plus grande proportion dans les zones noires.

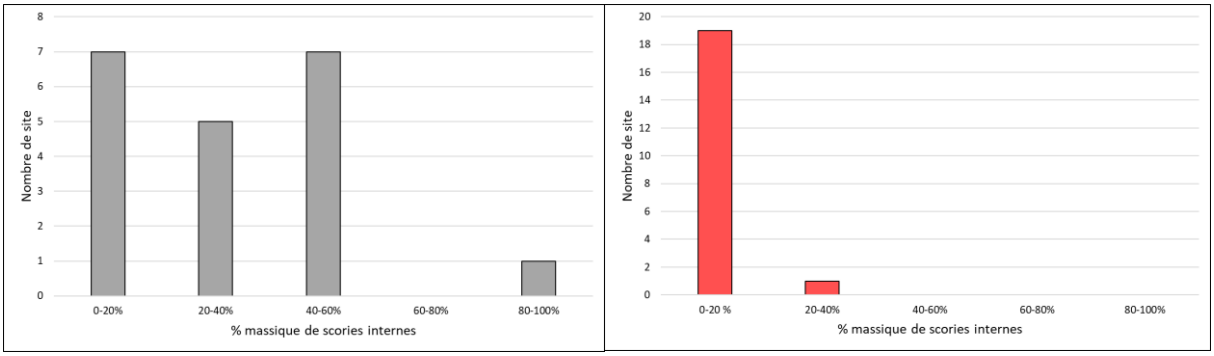


Fig. 125 : Diagrammes de la proportion de scories internes par zone dans les sites métallurgiques bicolores
(en rouge : espaces sédimentaires rouges, en gris foncé : espaces sédimentaires noirs)

Les scories internes de cet espace sont divisées en cinq sous-groupes dont trois sont également présents à Boulogne-Chambord. Les Scories Brunes Rugueuses (SBR) constituent 58 % de la masse totale de scories internes (58 kg) (**Fig. 126a ; *cf* vol. 2, tableau 40**). Les Scories Brunes Denses (SBD) représentent environ 33 % de la masse totale de scories internes (33 kg) (**Fig. 126b**). Les Scories Ferreuses (SF) constituent seulement 3 % de la masse totale de scorie interne (3,2 kg) (**Fig. 126c**). Deux autres sous-types sont présents uniquement dans la forêt de Châteauroux. Il s'agit des Scories Noires Vacuolaires (SNV), noires et très vitrifiées (**Fig. 126d**). On en recense 4,9 kg, soit 5 % de la masse totale de scories internes. Enfin, les

Scories Grises Poreuses (SGP) sont compactes, grises avec une couche superficielle poreuse (**Fig. 126e**). Elles sont très rares (0,2 % de la masse totale de scories internes) et proviennent des sites bicolores F085, F265 et du site noir F107.

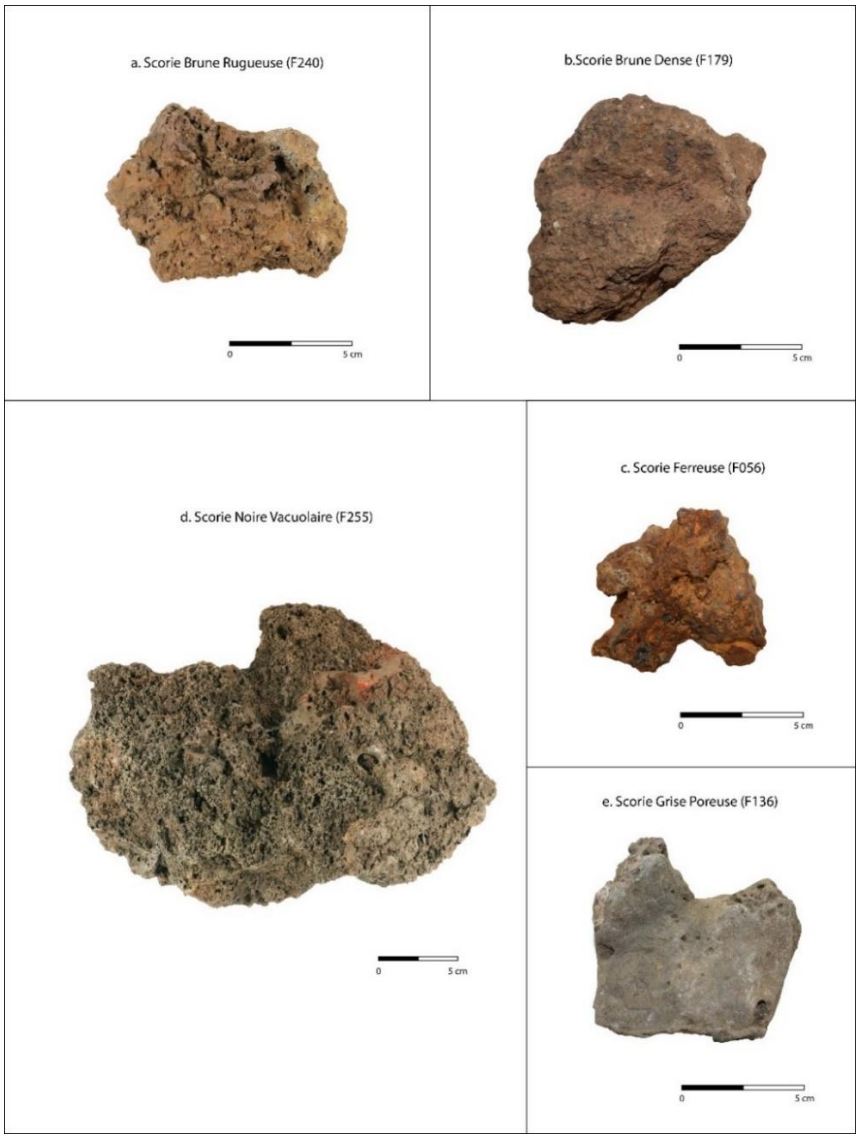


Fig. 126 : Photographie des différents sous-types de scories internes présents dans la forêt de Châteauroux

Peu de sites métallurgiques comprennent des Scorie Grises Poreuses, des Scories Noires Vacuolaires et des Scories Ferreuses (**Fig. 127** ; ***cf* vol. 2, tableau 41**). Les scories internes les plus représentées sont les Scories Brunes Rugueuses et dans une moindre mesure les Scories Brunes Denses.

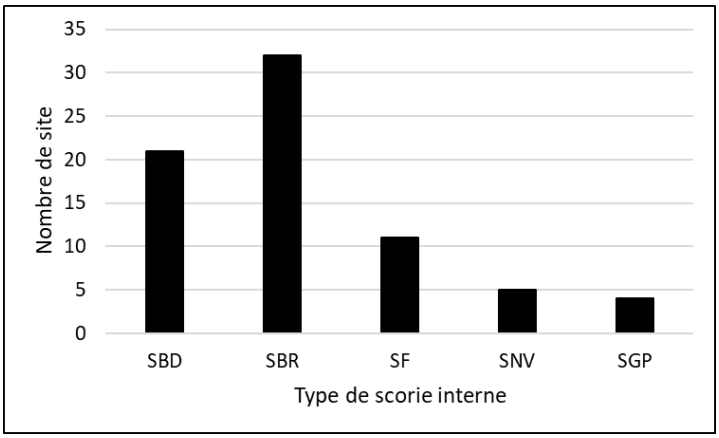


Fig. 127 : Diagramme présentant le nombre de sites métallurgiques au sein desquels sont observés les différents sous-types de scories internes

Les quelques Scorie Grises Poreuses observées sont localisées dans deux ateliers du nord-ouest du massif et un atelier du sud-est (**Fig. 128**). Les Scories Ferreuses représentent une faible proportion de la masse de scories totale (inférieure à 10 %). Les sites où elles sont le plus observées se trouvent au nord-est et au centre du massif. Enfin, les Scories Noires Vacuolaires se trouvent en quantité relativement faible (entre 15 et 40 %) dans quatre ateliers du centre et de l'ouest de la forêt. Les Scories Brunes Rugueuses sont observées sur 31 sites répartis dans l'ensemble du massif. Leur proportion est généralement la plus importante des différents sous-types, sauf sur six ateliers[158]. Les Scories Brunes Denses sont présentes sur 21 sites. Les ateliers aux proportions les plus importantes se trouvent au nord et au centre du massif[159]. De la même façon que pour les scories écoulées, on peut se demander si la production en quantité de Scories Brunes Denses ou de Scories Brunes Rugueuses est un indice de l'utilisation de deux techniques de réduction distinctes. Enfin, on remarque l'association de Scories Brunes Denses et de Scories Noires Vacuolaires en quantité au centre et au nord-ouest du massif.

158. F085, F105, F179, F127, F132 et F051.
159. F132, F051, F127 et F085.

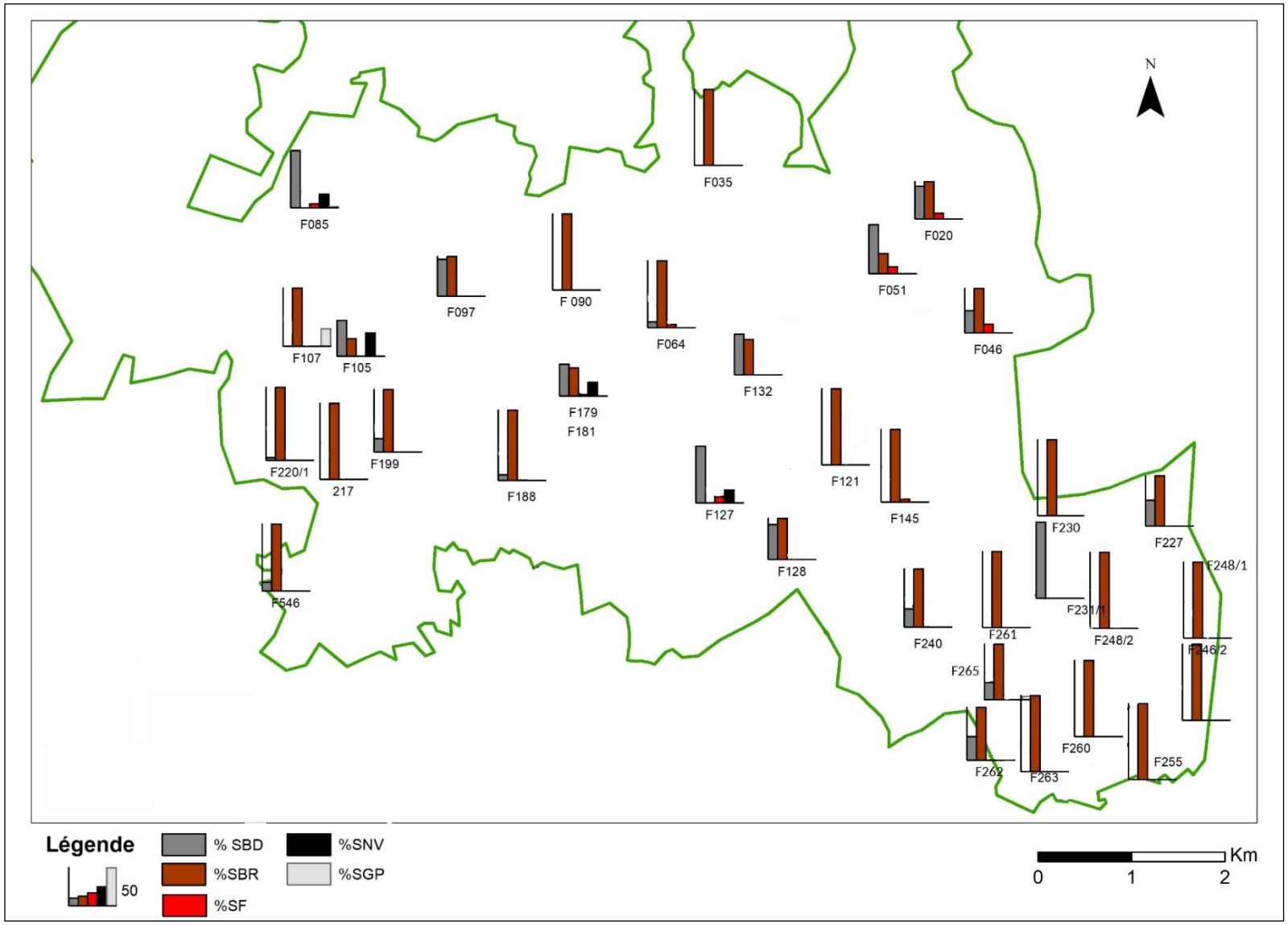


Fig. 128 : Carte de la répartition en pourcentage masse des différents sous-types de scories internes sur les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

L'étude de la répartition des différents sous-types de scories internes en fonction de la taille des ateliers indique que les proportions des Scories Brunes Rugueuses sont importantes (supérieur à 55 %) sur presque tous les sites. Ils sont tout de même moins représentés dans les ateliers ayant un ferrier dont le volume est compris entre 1100 et 1500 m^3 et absent de ceux ayant un volume compris entre 1500 et 1900 m^3 (**Fig. 129** ; ***cf* vol. 2, tableau 42**). A *contrario*, on trouve sur ces sites des Scories Brunes Denses en proportions importantes (supérieure à 50 %). Dans les autres classes, leur proportion est légèrement plus faible (autour de 50 %) ou très inférieure (autour de 10 %). Les Scories Ferreuses sont très peu représentées (inférieures à 10 %) quelle que soit le volume des ferriers. Enfin, les Scories Noires Vacuolaires sont en proportion plus importantes au sein des ateliers mesurant entre 1100 et 1700 m^3, soit ceux disposant d'une majorité de Scories Brunes Denses. Elles sont également présentes sur les sites mesurant entre 500 et 700 m^3.

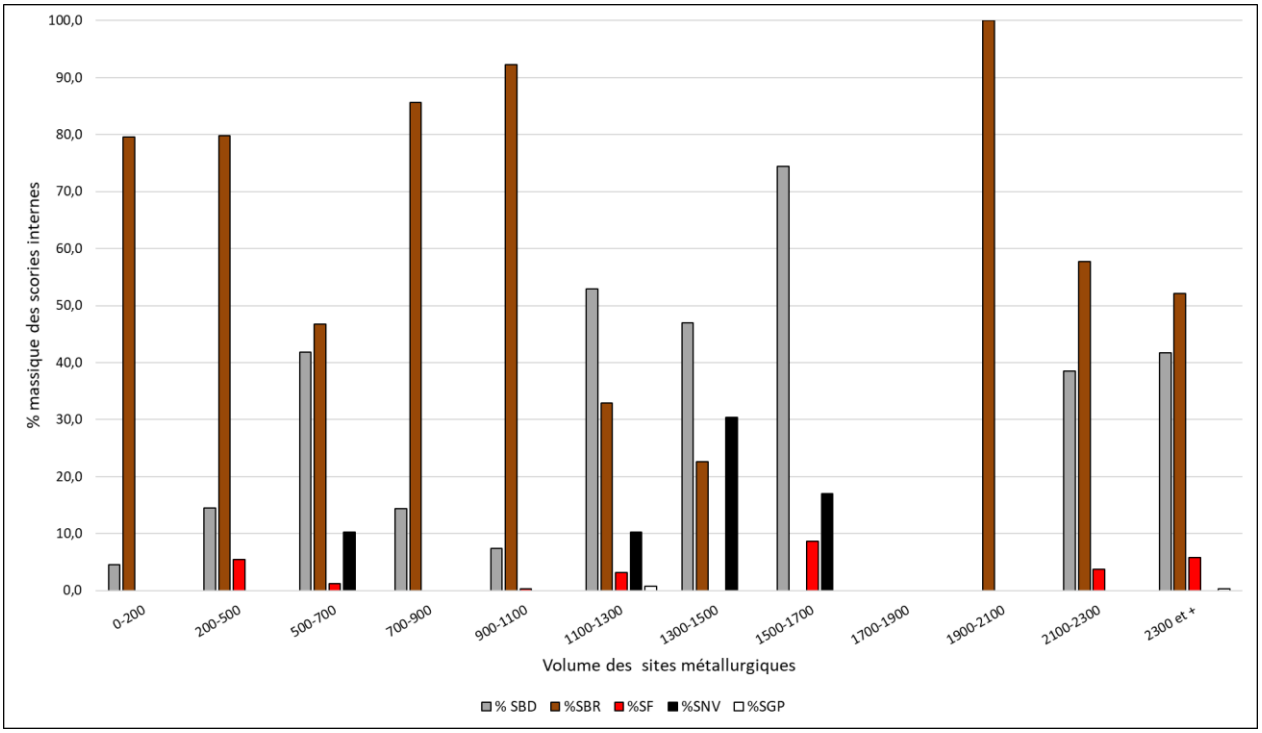


Fig. 129 : Diagramme de la répartition des différents sous-types de scories internes en fonction du volume des sites métallurgiques

L'étude de la répartition des scories internes montre que les Scories Brunes Rugueuses constituent 100 % des scories internes de huit sites et plus de 50 % de six sites (**Fig. 130** ; ***cf* vol. 2, tableau 43**), majoritairement au sédiment noir. Elles sont toutefois en minorité sur le site F105 et absentes des sites F127 et F231/1. Les Scories Brunes Denses, en opposition, sont bien représentées sur ces mêmes sites. Les sites métallurgiques bicolores comprennent cinq

sites avec 100 % de Scories Brunes Rugueuses et 10 en ont plus de 50 %. Le site F085 dispose uniquement de Scories Brunes Denses. On observe également, dans au moins six sites bicolores, l'association de ces deux sous-types de scories internes en proportions relativement équilibrées. Les sites bicolores sont donc caractérisés par deux tendances ; d'une part la présence importante de Scories Brunes Rugueuses et d'autres part l'association de Scories Brunes Rugueuses et de Scories Brunes Denses. Les Scories Ferreuses sont présentes sur un site métallurgique noir (F127) et 10 sites métallurgiques bicolores. Les Scories Noires Vacuolaires proviennent de deux sites métallurgiques noirs (F105 et F127) et deux bicolores (F085 et F179). Les Scories Grises Poreuses sont observées sur un site métallurgique noir (F107) et deux bicolores (F085 et F265). Il n'apparait donc aucun lien entre ces deux derniers sous-types de scorie interne et un type de site. Enfin, il est intéressant de constater que l'association des Scories Brunes Denses, Scories Brunes Rugueuses et des Scories Ferreuses est uniquement observée sur des sites métallurgiques bicolores.

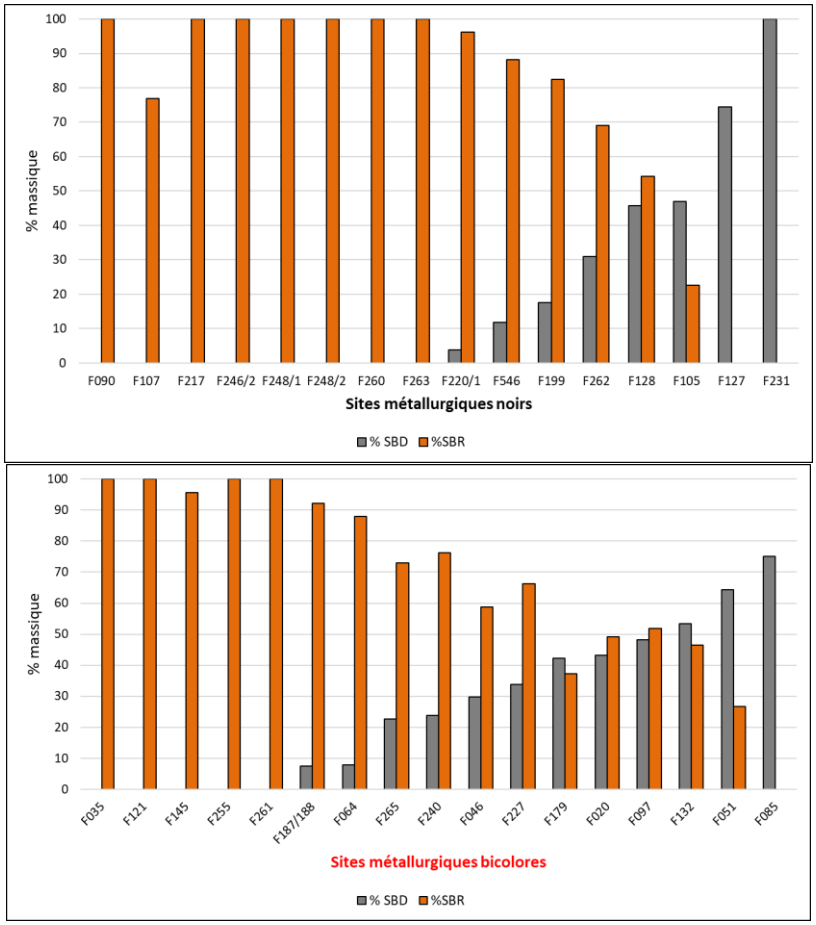


Fig. 130 : Diagramme du pourcentage en masse des SBR et SBD au sein des sites métallurgiques noirs et bicolores

La répartition des scories internes en fonction des différents espaces sédimentaires des sites métallurgiques bicolores montre que dix ateliers n'ont pas livré de scorie interne dans leur sédiment rouge et trois n'en ont pas dans leur sédiment noir (**Fig. 131** ; ***cf*** **vol. 2 tableau 44**). Les Scories Noires Vacuolaires se trouvent uniquement dans le sédiment noir de F179 et dans le rouge de F085. Il en va de même pour les Scories Grises Poreuses que l'on retrouve dans le sédiment noir de F265 et dans le rouge de F085. Les Scories Brunes Rugueuses sont présentes dans le sédiment noir de presque tous les sites bicolores et sont prépondérantes dans le sédiment rouge de cinq sites (F121, F240, F179, F145 et F187/188). Les Scories Brunes Denses quant à elles sont largement observés dans le sédiment noir de deux ateliers (F051 et F085) et dans le rouge de trois autres (F097, F132, F020). Enfin, les Scories Ferreuses sont anecdotiques quelle que soit le sédiment où elles se trouvent. Ces divers sous-types ne semblent donc pas avoir été rejetés dans un espace sédimentaire particulier.

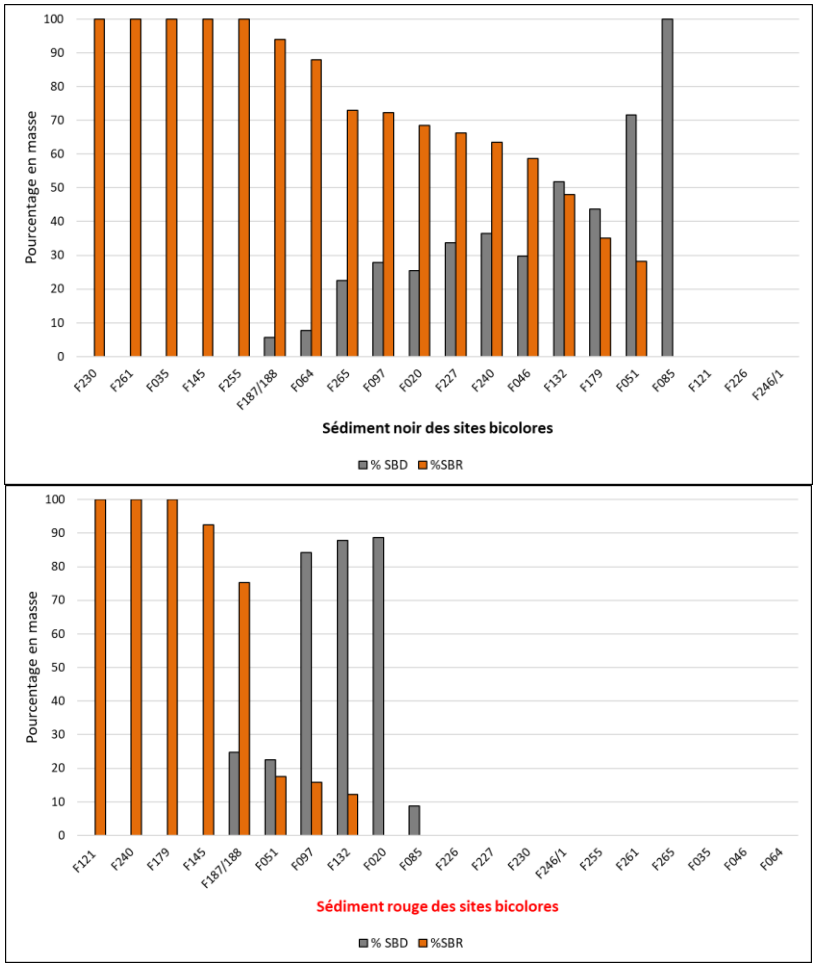


Fig. 131 : Diagramme du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes par espaces sédimentaires sur les sites métallurgiques bicolores

Les observations macroscopiques réalisées sur les scories internes apportent des informations concernant les conditions physico-chimiques dans les fours, lors de leur refroidissement, et l'architecture des fours de réduction qui les a engendrées. On observe tout d'abord de très nombreuses traces de vitrification de couleur verte à bleu, voire rouge (**Fig. 132**). Cette coloration est induite par les éléments chimiques présents dans le four lors de l'opération. La vitrification récurrente des scories signale des conditions internes suffisamment importantes pour que le matériau siliceux se transforme en verre.

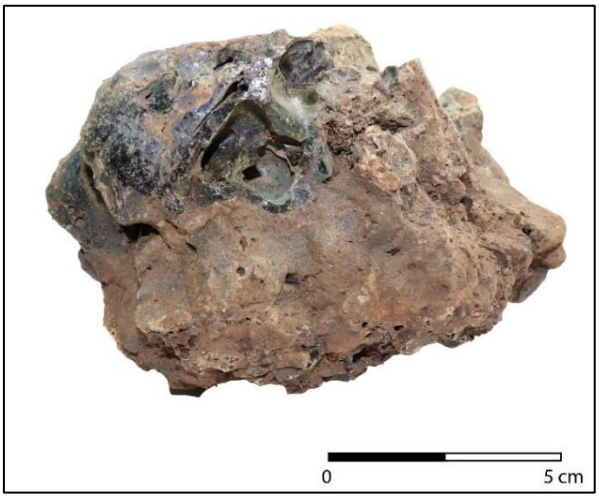


Fig. 132 : Scorie interne très vitrifiée en surface (F188)

Plusieurs indices permettent de restituer les fours utilisés. 17 scories sont encore en partie couvertes de paroi en argile de couleur beige à grise. En outre, le site bicolore F179 et l'épandage F181 ont livré sept scories avec des bombements rectilignes de 1,5 à 2 cm de largeur et jusqu'à plusieurs dizaines de centimètres de longueur (**Fig. 133**). Deux autres scories possèdent des sillons dont la largeur est comprise entre 1,5 et 2,3 cm. Ces sillons semblent être le négatif des bombements qui viennent d'être présentés. Des bombements de ce type sont également visibles sur les sites du Bas-Maine étudiés par F. Sarreste. Toutefois ces derniers ont un diamètre légèrement plus grand, entre 3 et 6 cm, et sont régulièrement associés à des graviers ou des petits fragments de scories écoulées (SARRESTE 2011 : 84). À Châteauroux, des fragments de paroi sont incrustés dans la scorie bombée. J.-Y. Langlois propose pour le site de St-Evroult-de-Monfort (Orne), de voir dans ces séries de scories a reliefs et sillons l'indice d'une technique de construction particulière de la porte des fours (LANGLOIS 2005). Cependant, dans la forêt de Châteauroux différents indices observés sur les parois de four permettent d'interpréter ces scories comme résultant plutôt de l'utilisation d'une structure de renfort en

bois de petit diamètre pour la fabrication des fours. Ce point sera détaillé dans le paragraphe sur les fragments de paroi (*Infra* 5.3.4). On constate que les deux sites sur lesquels ce type de vestige est observé sont voisins et que l'un est un épandage. Il est donc possible que les vestiges le composant proviennent du site métallurgique situé non loin.

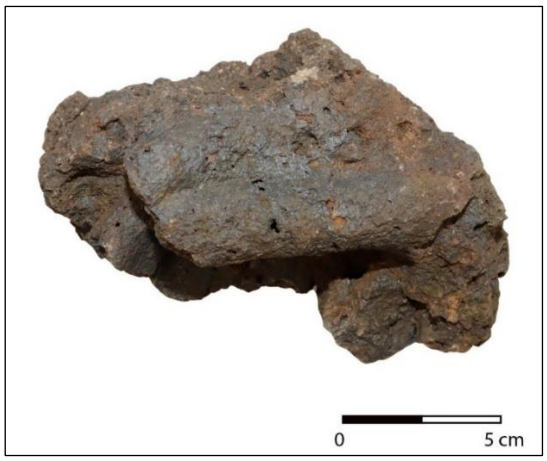


Fig. 133 : Scorie interne avec un bombement rectiligne de 2 cm (F179)

Une scorie observée dans le site bicolore F085 montre également le négatif d'une tuyère. Il s'agit toutefois d'un élément isolé. La grande majorité des scories internes contiennent des inclusions de matériaux divers. On observe souvent sur leur face inférieure des cailloux blancs à gris qui montrent que la cuve des fours devait être creusée dans le sol. En outre, leur matrice conserve la plupart du temps des inclusions de charbons de bois et/ou d'oxydes de fer qui se trouvaient à l'intérieur des fours. Enfin, un individu issu du site bicolore F132 montre le négatif d'un élément quadrangulaire et long de plusieurs centimètres (**Fig. 134**). Il pourrait s'agit de l'empreinte d'un outil, peut-être d'une sorte de barre à mine utilisée afin d'extraire la scorie du four.

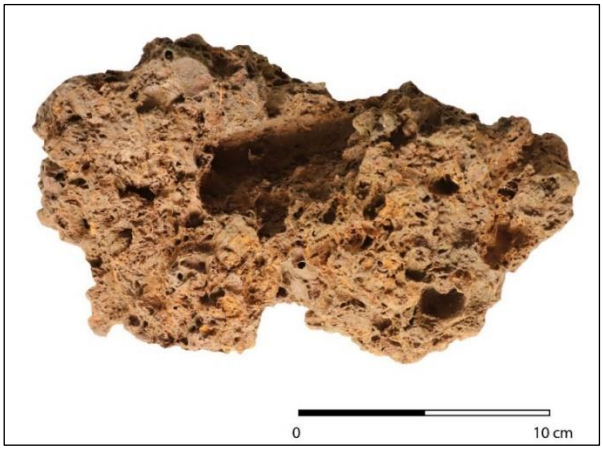


Fig. 134 : Scorie interne présentant une marque quadrangulaire (F132)

En conclusion, les scories internes sont présentes de façon hétérogène sur les sites de la forêt de Châteauroux et en plus faibles proportions que les scories écoulées (**Tableau 13**). Leur proportion est plus importante dans plusieurs sites du nord et de l'ouest du massif et anecdotique au sein des ferriers de moins de 200 m^3. Deux tendances caractérisent les sites métallurgiques bicolores, soit ils comprennent peu de scories internes (moins de 40 %), soit elles représentent environ la moitié du mobilier qui y est mis au jour (40 à 60 %). La première tendance est aussi celle qui définit les sites métallurgiques noirs. Au sein des sites métallurgiques bicolores, les scories internes semblent plus souvent rejetées dans les zones noires.

Parmi ces scories, cinq sous-types sont distingués. Trois sont régulièrement observés au sein d'ateliers métallurgiques et deux semblent plus originaux. Les Scories Brunes Rugueuses sont les plus représentées (supérieur à 55 %) sur presque tous les sites de la forêt. Les Scories Brunes Denses sont particulièrement représentées dans seulement cinq sites du nord et du centre du massif sur des sites dont le volume est compris entre 1100 et 1900 m^3. Leurs proportions sont généralement inverses à celles des Scories Brunes Rugueuses. Les Scories Noires Vacuolaires sont surtout présentes dans de grands atelier mesurant entre 1100 et 1700 m^3. On constate ainsi une association de Scories Brunes Denses et de Scories Noires Vacuolaires dans quatre sites du centre et du nord-ouest du massif. Enfin, les Scories Ferreuses se trouvent principalement dans trois sites du nord-est de la forêt. Enfin, aucun lien n'est constaté entre les différents sous-types de scories internes et le sédiment dans lequel ils ont été rejetés sur les sites bicolores. En admettant, comme précédemment, que des déchets différents ont été engendrés dans des conditions de réduction particulières, l'existence, la prévalence ou l'association de certains sous-types de scories internes auraient pu être perçus comme des indices de l'utilisation de techniques de production différentes.

Tableau 13 : Synthèse des caractéristiques des scories internes de la forêt de Châteauroux

	Scories internes	**Sous-types de scories internes**
Morphologie	-	**Communs** - Scories Brunes Rugueuses ; - Scories Brunes Denses ; - Scories Ferreuses. **Originaux** - Scories Noires Vacuolaires ; - Scories Grises Poreuses.
Localisation	- Absentes de quatre sites localisés au sud-est ;	- Les Scories Brunes Rugueuses sont les plus représentées dans la forêt ; - Les Scories Brunes Denses sont les plus nombreuses dans cinq sites au nord et au centre du massif ;

	- Proportions importantes (plus de 60 %) dans plusieurs ateliers au nord et à l'ouest	- Les Scories Ferreuses se trouvent dans trois sites au nord-est de la forêt - Association SBD + SNV dans quatre grands sites au centre et nord-ouest du massif.
Volume des sites	- Proportion hétérogène (entre 20 et 50 %) en fonction du volume des ferriers ; - moins nombreuses dans les ferriers de 0 - 200 m3 (environ 10 %).	**Scories Brunes Rugueuses** - importantes (supérieur à 55 %) sur presque tous les sites ; **Scories Brunes Denses** - proportions importantes (supérieure à 50 %) dans ferriers entre 1100 et 1900 m3. **Scories Noires Vacuolaires** - proportions plus importantes dans ateliers entre 1100 et 1700 m3. **Association de Scories** - Noires Vacuolaires et Scories Brunes Denses en quantité sur les sites entre 1100 et 1700 m3 = technique de production particulière ?
Type de site	**Sites bicolores** - 11 sites ayant moins de 40 % de scories internes ; - 8 sites ayant 40 à 60 % de scories internes. **Sites noirs** - peu de scories internes (moins de 40 %).	**Sites bicolores** : - presqu'exclusivement des Scories Brunes Rugueuses ou association de Scories Brunes Rugueuses et de Scories Brunes Denses ; - Scories Ferreuses uniquement sur ces sites. **Sites noirs** - principalement Scories Brunes Rugueuses.
Espaces sédimentaires au sein des sites métallurgiques bicolores	**Sédiment rouge** - peu présentes, voire absentes de dix ateliers. **Sédiment noir** - mieux représentées (moins de 60 %).	Pas de lien apparent

Ainsi, les caractéristiques des scories internes laissent supposer l'existence d'au moins quatre méthodes de production différentes dans le massif :

- Au nord (**Fig. 135**), six sites disposent d'une large majorité de scories internes (+ de 60 %) (prod.1);
- Au nord-ouest et au centre, quatre ateliers présentent une association de Scories Brunes Denses et de Scories Noires Vacuolaires (prod. 2). Sur les quatre, trois ferriers ont un volume compris entre 1100 et 1700 m^3 ;
- Au nord-est, trois sites, tous bicolores, montrent une association de SBD, SBR et SF (prod. 3).
- Au centre et au sud-est, la majorité des sites ont une importante proportion de Scories Brunes Rugueuses (prod. 4);

Il existe des similitudes entre ces secteurs de production et ceux mis en évidence grâce à l'étude des scories écoulées. Ils seront confrontés ultérieurement afin d'approfondir la question des techniques de production (*Infra* Chap. 6).

En outre, quelques traces observées sur les scories internes signalent l'utilisation d'un renfort en petit bois pour la construction des fours dans un site métallurgique bicolore du centre de la forêt, de tuyères au moins sur le site bicolore F085 et de l'installation à même le substrat de la cuve des fours de la majorité des sites métallurgiques.

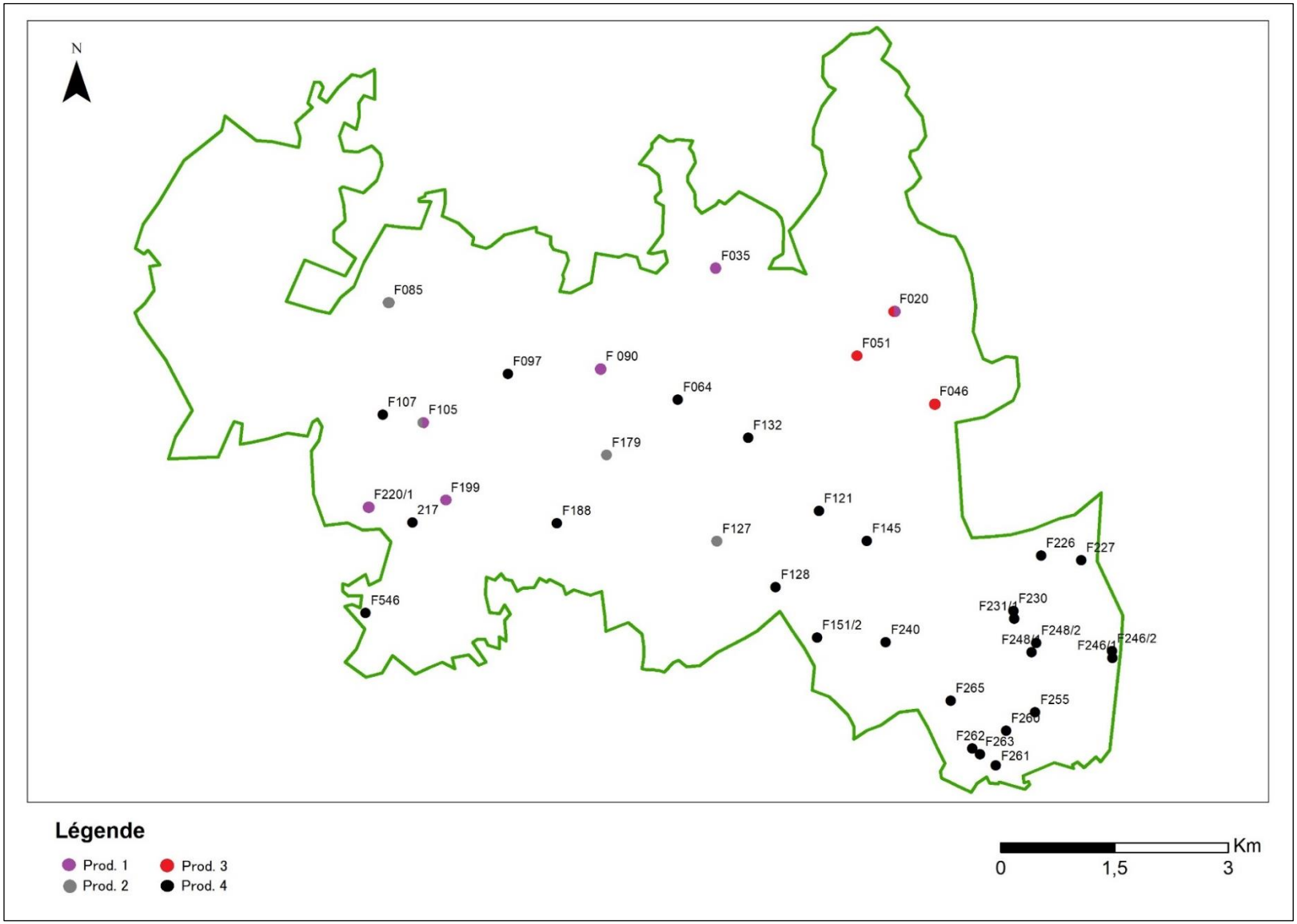


Fig. 135 : Carte localisant quatre types de productions métallurgiques potentielles en forêt de Châteauroux restituées à partir des caractéristiques des scories internes

Les fonds de four

Parmi les scories internes de la forêt de Châteauroux, 20 sont identifiés comme des fonds de four (***cf* vol. 2, tableau 45**). Tout comme à Boulogne, les fonds de four correspondent à des scories qui se sont agglomérées dans le fond de la cuve d'un four de réduction et qui, après refroidissement, forment un bloc plus ou moins massif (MANGIN 2004 : 74 ; ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 107-108). On les reconnait à leurs dimensions importantes et à leur forme souvent plano-convexe. En outre, on observe généralement sur leur face inférieure, des inclusions de cailloutis ou de végétaux. Les observations métallographiques permettent de confirmer cette identification.

Parmi ces fonds de four, sept sont des Scories Brunes Denses provenant de deux sites bicolores (F085, F051) et d'un épandage (F120) ; 12 sont des Scories Brunes Rugueuses provenant de cinq sites bicolores (F188, F255, F132, F046 et F227/1), de deux sites noirs (F220/1 et F128) et de trois épandages (F181, F056 et F 267) ; et un individu est une Scorie Grise Poreuse issue du site bicolore F085. Les plus nombreux proviennent des sites bicolores F085 et F051 (trois scories chacun), situés au nord du massif, et dans une moindre mesure de F187/188 et F220/1 (deux scories chacun), localisés au centre-ouest de la forêt. La majorité de ces fonds de four provient de sites bicolores (12 exemplaires). Peu ont été découverts sur des sites métallurgiques noirs (quatre individus). Ces vestiges présentent presque tous des inclusions de charbon de bois, d'oxydes de fer et de cailloutis.

Ils ont tous une section plano-convexe et une face supérieure ovale. Les cuves des fours de réduction étaient donc ovales avec un fond légèrement creusé dans le sol. Ce type de four de réduction est le plus courant sur les sites métallurgiques. On en trouve aussi dans la forêt de Boulogne-Chambord, sur le site antique de Roche-Brune (Sarthe) (SARRESTE 2006 : 31-34) et le site mérovingien de Boécourt, les Boulies (Ju/Suisse) (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 52) par exemple.

Les fonds de four complets de Châteauroux pèsent entre 0,5 et 3,8 kg. Trois tendances apparaissent : les scories d'environ 0,5 kg (six scories), celles d'environ 1,5 kg (neuf scories) et celles de plus de 2 kg (quatre scories) (**Fig. 136**). À l'exception des petits culots provenant uniquement de trois ateliers (F085, F220/1 et F227/1), les deux autres tendances sont observées de concert dans les ateliers F051 et F188. Enfin, les plus gros fonds de four (supérieur à 3 kg) proviennent des sites F051, F128 et F046.

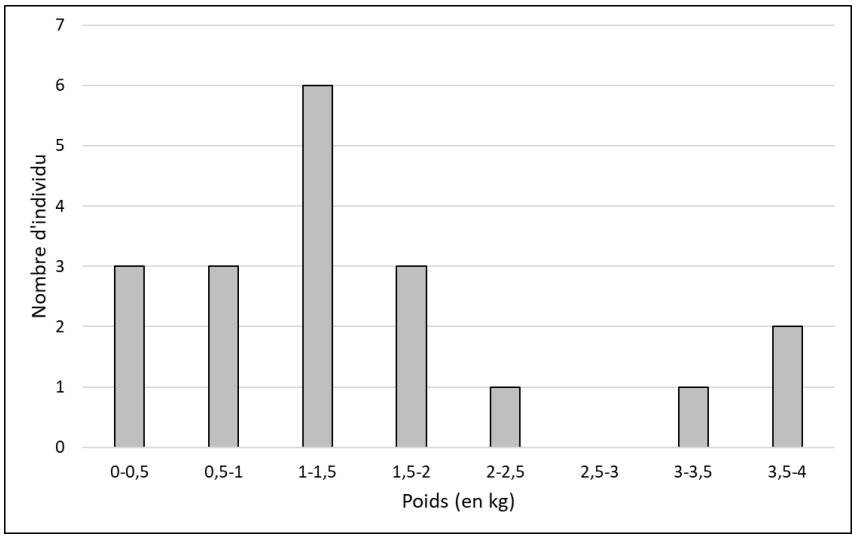


Fig. 136 : Diagrammes présentant le nombre de fond de four par classe de poids (en kg)

Il n'existe aucun lien entre le poids des scories et le type de site métallurgique sur lequel elles sont mises au jour. On relève néanmoins qu'ils sont plus couramment observés en surface sur les sites bicolores.

Ces vestiges mesurent entre 12 et 25 cm de longueur, entre 9 et 19 cm de largeur et entre 2,6 et 11 cm d'épaisseur (**Fig. 137**). Les sites métallurgiques noirs présentent des fonds de four dont la longueur est comprise entre 14 et 15,5 cm et la largeur entre 11 et 13 cm. Les scories mises au jour sur ce type de site sont donc plus homogènes. Toutefois, le faible nombre d'individu recensé peut biaiser les données. Les scories des sites bicolores ont une plus grande variabilité de longueurs, entre 12 et 25 cm, et de largeur, entre 9 et 18 cm. La majorité mesurent toutefois entre 12 et 19 cm de longueur et entre 9 et 14 cm de largeur. Il n'apparait donc pas de réelle distinction entre les dimensions des fonds de four des sites noirs et celles des sites bicolores. Il semble néanmoins que les plus grands fonds de four soient tous issus de sites métallurgiques bicolores.

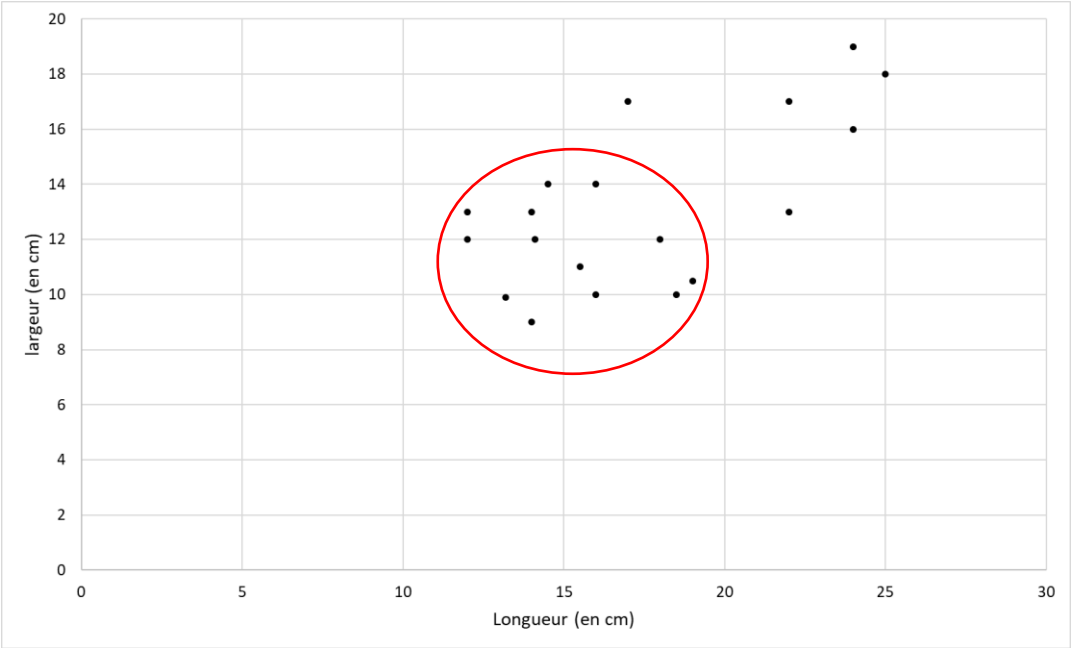


Fig. 137 : Diagramme présentant la longueur (en cm) des fonds de four en fonction de leur largeur (en cm)

Ces dimensions montrent que les cuves des fours mesuraient environ 10 à 20 cm de longueur pour 10 à 15 cm de largeur dans l'ensemble du massif. Un deuxième groupe de four de longueur supérieure à 20 cm et de largeur supérieure à 15 cm existe également.

L'épaisseur de ces scories est comprise entre 2,6 et 11 cm. Elle est très variable. Les deux fonds de four ayant l'épaisseur la plus importante proviennent des sites bicolores F188 et F046. Celui ayant l'épaisseur la plus faible provient du site noir F220/1. L'épaisseur moyenne des fonds de four provenant des sites métallurgiques noirs est de 4,9 cm alors qu'elle est de 7,2 cm pour les fonds de four provenant des sites bicolores. Le faible nombre d'individus provenant des sites métallurgiques noirs ne permet toutefois pas d'en tirer de conclusions.

Observations métallographiques

L'étude macroscopique de la coupe des fonds de four et leur observation en microscopie optique permet d'obtenir certaines informations concernant la température, la nature des matériaux usités lors des opérations de réduction ainsi que le type de métal produit dans le massif de Châteauroux. Six échantillons ont été étudiés. Ils proviennent de trois sites noirs (F128, F105 et F107) et deux sites bicolores (F051 et F187/188).

Un premier groupe d'échantillons de composition similaire comprend deux Scories Brunes Denses (CHAT051 et F128) et deux Scories Brunes Rugueuses (CHAT105-2, CHAT107) (***cf* vol. 3, Annexe 4**). Ces quatre scories contiennent des inclusions d'hydroxydes de fer. Deux d'entre elles ont des inclusions de charbons de bois et deux autres des inclusions d'argile ou de paroi orangée. Leur matrice est homogène, noire avec quelques inclusions de petits agglomérats siliceux épars (**Fig. 138**). Les porosités sont très nombreuses et réparties sur l'ensemble de la surface des scories (environ 80 à 90 % de la surface totale). De forme étirées et déchiquetées, elles sont globalement de taille moyenne à grande (entre 1 et 4 cm). La forme et la taille de ces porosités pourraient signaler une scorie peu fluide lors de la réduction (BERRANGER 2014 : 126).

D'un point de vue microscopique, ces scories sont composées d'une phase vitreuse dominante. Cette phase est associée à de la fayalite équigranulaire et en lattes fines. En outre, plusieurs indices signalent un refroidissement plus lent de la scorie en partie inférieure et interne qu'en partie supérieure (absence de cristallisation/second niveau de cristallisation) (SERNEELS 1993 : 26). La présence abondante de dendrites de wüstite témoigne d'une perte en fer importante à cause d'une réduction incomplète (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). Ces scories comprennent des petites inclusions de silice qui témoignent peut-être de l'emploi d'un fondant. Enfin, seul l'individu CHAT051 contient des grains métalliques, dont la taille est trop faible pour en caractériser la structure. Enfin, presque tous ces individus comprennent une couche d'oxydation en périphérie. Le profil homogène de ces scories laisse supposer une même technique de réduction sur ces différents sites (SERNEELS, MERLUZZO, LEROY 2004 : 100).

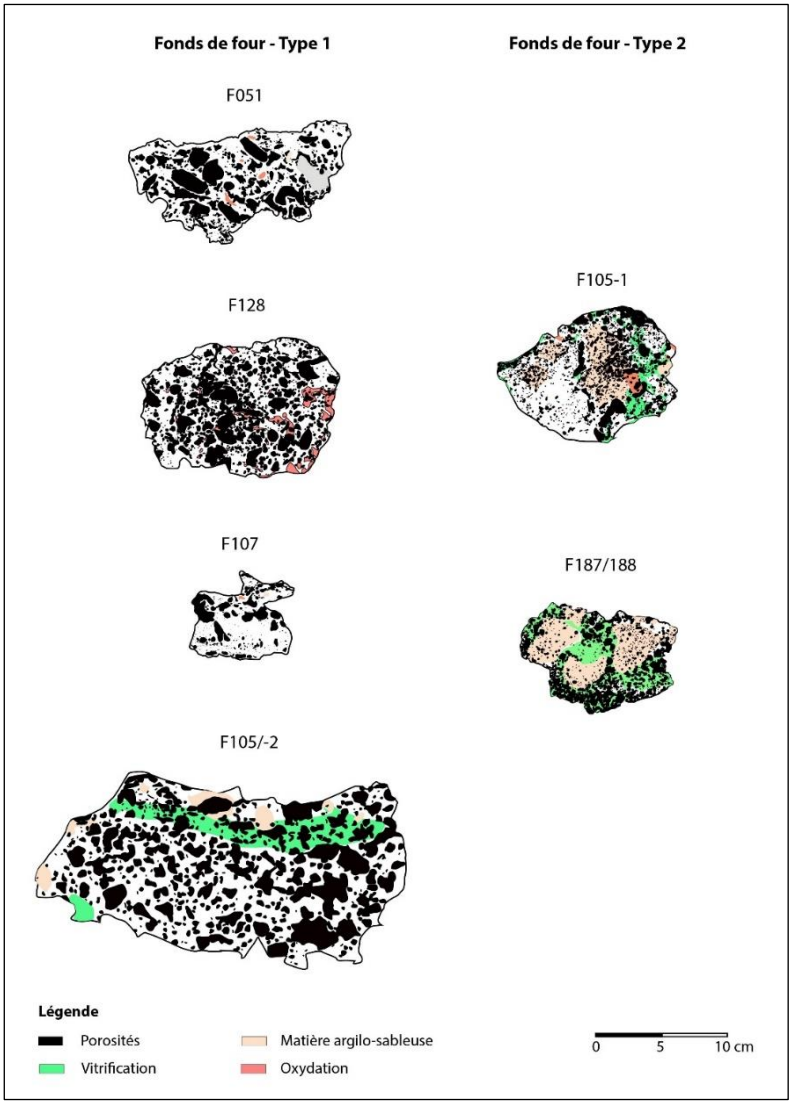


Fig. 138 : Dessins des coupes de scorie issues des prospections en forêt de Châteauroux et observées en métallographie

Un deuxième ensemble de fond de four comprend des Scories Brunes Denses oxydées en surface (CHAT105-1 et CHAT187/188). Ces scories ont une matrice très hétérogène de couleur brune à verte et sont en grande partie vitrifiées. La coloration verdâtre de ces individus signale la présence d'un composant chimique en teneur relativement importante. On observe diverses inclusions telles que des charbons de bois, des oxydes de fer et des agglomérats siliceux. Ces derniers peuvent témoigner de l'emploi d'un fondant lors de la réduction, mais le fait qu'ils ne soient pas agglomérés dans la scorie peut montrer que la température atteinte n'était pas suffisamment élevée ou que le fondant était en quantité trop importante. La technique de production diffère donc des scories décrites précédemment. Des porosités sont présentes sur environ 30 à 50 % de la surface totale. De forme arrondie et plus rarement étirée, elles sont de petites dimensions (entre 0,1 et 1 cm). Quelques porosités de tailles moyennes sont néanmoins

concentrées dans les zones vertes très vitrifiées (1 à 2 cm). Ces observations peuvent indiquer une plus importante fluidité de la scorie dans ces fours (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique indique que ces scories possèdent une phase vitreuse importante. En outre, la taille et la forme de la fayalite qui les composent indiquent qu'elles ont refroidi assez rapidement, mais de façon homogène. Hormis, dans les zones vitrifiées de CHAT187/188 où de grandes lattes de fayalites sont visibles à l'œil nu et témoignent d'un refroidissement plus lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Des nodules et grains métalliques globuleux se trouvent dans les deux scories (< 0,1 mm). Il est possible de définir la structure d'une bille provenant de CHAT105-1 (env. 5 mm). Cette dernière est largement saturée en carbone ; il s'agit d'un acier hypereutectoïde. En outre, la morphologie des nodules métalliques conforte l'idée selon laquelle le métal a atteint une température proche de son point de fusion (SERNEELS 1993 : 20). Enfin, la présence de petites dendrites de wüstite dans la scorie CHAT187/188 témoigne d'une réduction incomplète.

Ces scories sont donc très semblables, toutefois il est difficile d'établir clairement qu'elles sont issues d'une même technique de production, car certaines caractéristiques divergent. On peut néanmoins voir avec ces scories l'existence d'une production qui se distingue de celle conduisant au type 1.

Ainsi, la métallographie réalisée sur ces fonds de four témoigne de l'existence dans la forêt de Châteauroux d'au moins deux techniques différentes. La première, conduit à la formation d'une scorie potentiellement peu fluide, qui refroidit lentement et de façon hétérogène. En outre, les conditions de production employées ne laissent pas, ou peu, passer d'éléments métalliques dans la scorie (technique 1) (**Tableau 14**). On retrouve des vestiges caractéristiques de cette dernière au sein de trois sites noirs (F105, F128 et F107) et d'un site bicolore, répartis dans l'ensemble de la forêt (F051) (**Fig. 139**). La seconde technique employée dans le massif est également représentée au sein du site noir F105 ainsi que sur le site bicolore F188/187. Elle comprend la création d'une scorie qui semble plus fluide et vitreuse. La scorie présente, avec cette technique, un refroidissement moins lent et plus homogène que pour l'autre type (technique 2). En outre, les inclusions métalliques sont un peu plus nombreuses. Ces scories proviennent d'un site métallurgique noir et d'un bicolore.

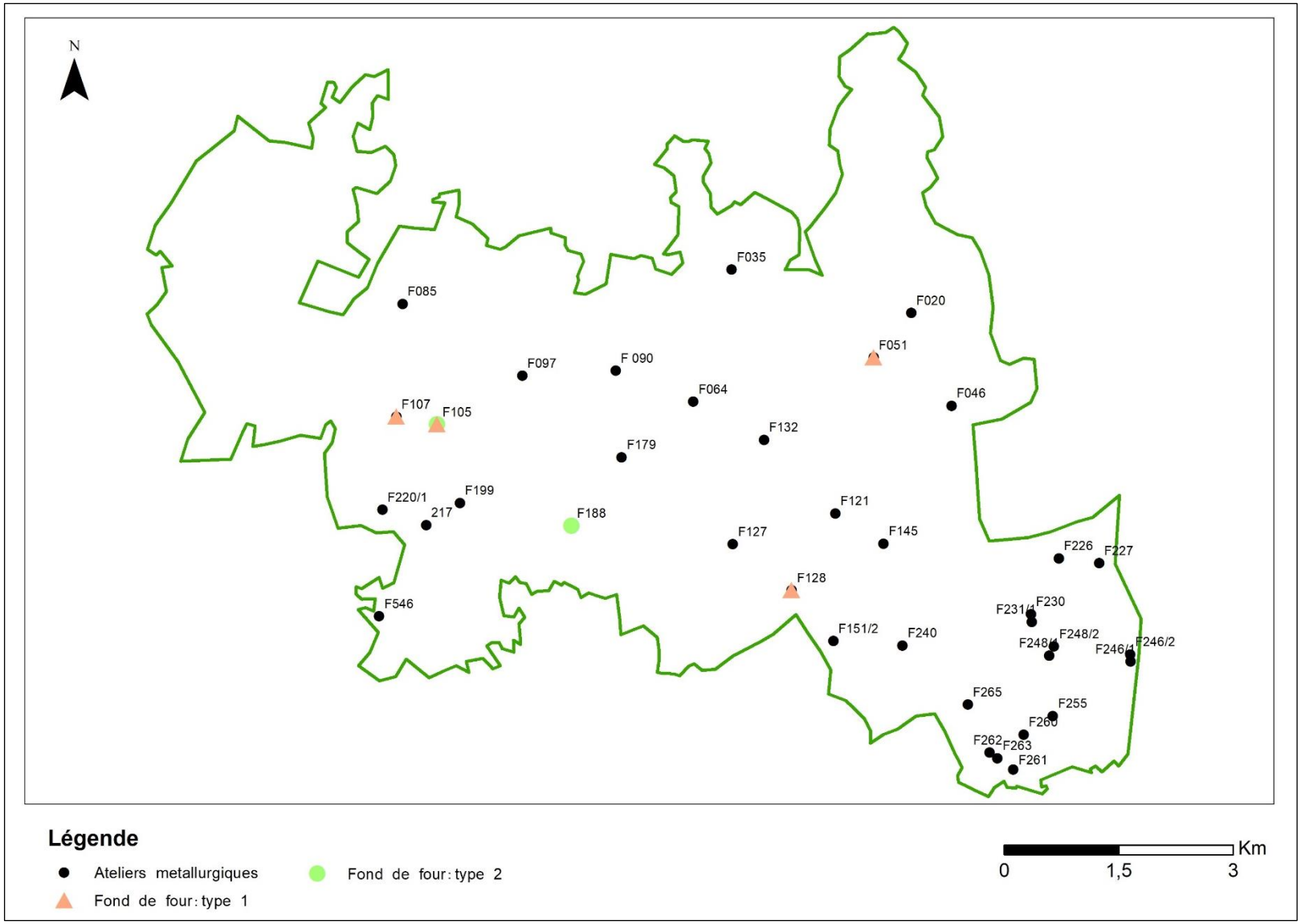


Fig. 139 : Carte des fonds de four étudiés en métallographie dans la forêt de Châteauroux

Tableau 14 : Synthèse des caractéristiques restituées des deux probables techniques de réduction employées dans le massif de Châteauroux

	Technique 1	**Technique 2**
Conditions de réduction	Moyennes	Plus efficaces
Refroidissement de la scorie	Lent et hétérogène	moins lent et homogène

Il n'apparait aucun rapport entre les deux techniques distinguées d'un point de vue microscopique et la typologie des scories internes. Il ne semble pas non plus exister de lien entre ces deux types de production et un type de site métallurgique en particulier. Le faible nombre d'individus provenant des sites métallurgiques noirs pourrait toutefois biaiser cette observation.

En conclusion, les scories internes représentent globalement moins de 20 % de la masse totale de scories ramassée dans chaque atelier. Cette proportion est généralement plus important sur les sites métallurgiques bicolores que sur les sites métallurgiques noirs. En outre, elles sont visiblement plus nombreuses dans les zones noires des sites métallurgiques bicolores que dans les rouges. Cinq sous-types de scories internes sont recensés dont trois anecdotiques (les Scories Ferreuses, les Scories Noires Vacuolaires et les Scories Grises Poreuses). Leur prévalence, leur association et leur répartition permet de supposer l'existence de plusieurs techniques de production différentes (**Tableau 15**). Au nord, six ateliers ont une large majorité de scories internes par rapport aux scories écoulées ; au nord-ouest et au centre, quatre ateliers disposent d'une association de Scories Brunes Denses et de Scories Noires Vacuolaires ; au nord-est, trois sites, tous bicolores, associent des Scories Brunes Denses, Scories Brunes Rugueuses et de Scories Ferreuses ; enfin la majorité des sites, situés au centre et au sud-est, ont une importante proportion de Scories Brunes Rugueuses.

La vitrification récurrente des scories signale des conditions internes dans les fours permettant que la silice provenant du minerai et de potentiels ajouts se transforme en verre. En outre, deux potentielles techniques de production, ayant engendré des déchets différents, sont apparues. La première semble être caractérisée par la formation d'une scorie peu fluide, ayant refroidit lentement et de façon assez hétérogène. La seconde technique est définie par la formation d'une scorie plus fluide. Cette technique est caractérisée par un refroidissement moins lent et plus homogène de la matière scoriacée ainsi que des conditions de réduction moins efficaces. Ces deux techniques ne sont pas associées à un type de site, à un sous-type de scories interne ou à l'un des groupes de production qui semblent se dessiner.

La morphologie des scories internes apporte des informations importantes sur l'architecture des fours. Ceux de la forêt de Châteauroux sont probablement de forme ovale. Ils disposent d'un fond légèrement creusé dans le sol qui mesurent en moyenne entre 10 et 20 cm de longueur pour environ 10 à 15 cm de largeur. Un autre groupe de four légèrement plus grand est également distingué (env. 20 cm de longueur pour 15 cm de largeur). Le poids des fonds de four est légèrement supérieur sur les sites bicolores par rapport à ceux provenant des sites noirs et leurs dimensions sont plus hétérogènes. Des indices signalent l'utilisation d'une structure de renfort en petit bois pour la construction de certains fours et l'emploie de tuyère ou de trous de ventilation.

Tableau 15 : Synthèse des résultats de l'étude des scories internes

Type d'information	Caractéristiques
Macroscopique	**Quatre possibles groupes de production** - Au nord (6 ateliers) ; - au nord-ouest et au centre (4 ateliers) ; - au nord-est (3 ateliers) ; - au centre et au sud-est (23 ateliers).
Microscopique	- Deux potentielles techniques de production non corrélées avec l'apparence des scories.
Architecture des fours	- Four a scories écoulées, ovales ou circulaire ; - Environ 20 cm de diamètre ; - Utilisation d'un orifice de ventilation ou d'une tuyère sur certain site ; - Utilisation d'une structure de renfort en bois pour la construction des fours sur certain site.

5.3.3 Les pseudo-laitiers

En plus des scories internes, quelques rares pseudo-laitiers sont identifiés dans la forêt de Châteauroux. Ils ne représentent que 0,56 kg et proviennent de neuf ateliers différents ; deux sites métallurgiques noirs, six sites bicolores et un épandage (***cf* vol. 4, tab. 4**). Il s'agit de petits fragments de couleur verte à bleue très vitrifiée (**Fig. 140**).

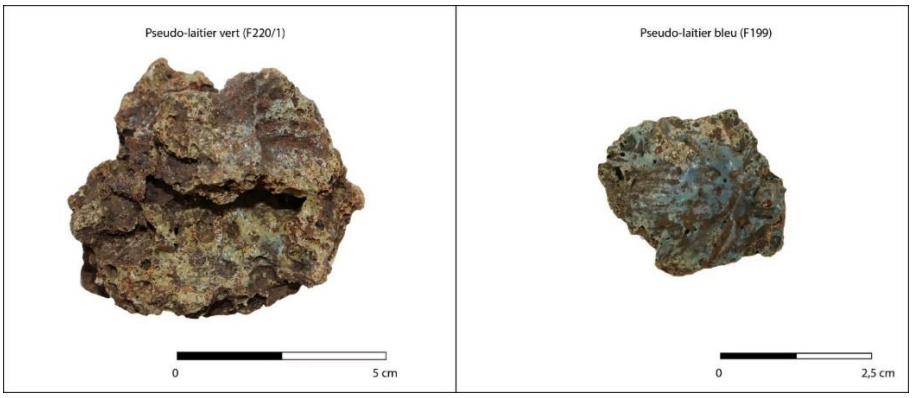


Fig. 140 : Photographie de pseudo-laitiers ramassés en forêt de Châteauroux

Les sites sur lesquels ces vestiges sont ramassés sont répartis dans l'ensemble de la forêt (***cf* vol. 2, fig. 51**). Il n'apparait aucun lien entre leur présence et un type de sites ou un volume de ferrier particulier. Au sein des sites métallurgiques bicolores, ce type de vestiges provient de six zones rouges et seulement deux noires. Seul F085 comprend des pseudo-laitiers à la fois dans l'espace noir et dans le rouge. Ces vestiges n'ont pas de forme particulière et ne sont pas assez nombreux pour signaler un certain type de technique de production.

5.3.4 Architecture des structures de production

Les parois de four

Les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux ont également fourni des fragments de paroi de four en argile. Au total, 121 kg de ces vestiges ont été ramassés au sein de 37 sites (***cf* vol. 4, tab. 4**), dont 19 sites métallurgiques bicolores et 13 sites noirs. Il est probable que l'argile utilisée pour ces parois soit issue de la même couche géologique, le Bajocien décalcifié également appelé « terres à chailles ». Cette formation superficielle est présente en plusieurs endroits de la forêt de Châteauroux, notamment à l'ouest, à l'est et au sud. Elle est constituée de débris de calcaire silicifié inclus dans une argile beige à ocre (LORENZ *et al.* 1990 : 9). Il est donc tout à fait possible que les fours de réduction utilisés sur les sites métallurgiques aient été fabriqués en utilisant les ressources locales.

Deux types de vestiges de paroi apparaissent : les fragments en argile comprenant des inclusions de quartz millimétriques à submillimétriques dont la coloration varie de l'ocre-jaune, blanc/gris, rose/violacé, au rouge ou encore au noir. Ils représentent 76 % de la masse totale des parois ; et les fragments de paroi très indurés, souvent de couleur grise à noire comprenant également des inclusions de quartz submillimétriques. La dureté de ces déchets est due à une importante

température dans les fours ou à des cuissons répétées. Ces vestiges représentent 29 kg, soit 24 % du poids total des parois. Ces parois sont plus représentées au sein de cinq sites seulement surtout localisés à l'extrémité ouest de la zone (**Fig. 141**). Il n'apparait aucune relation entre ces différents types de paroi et le volume des ferriers où elles ont été mises au jour, ni avec le type de site d'où ils proviennent.

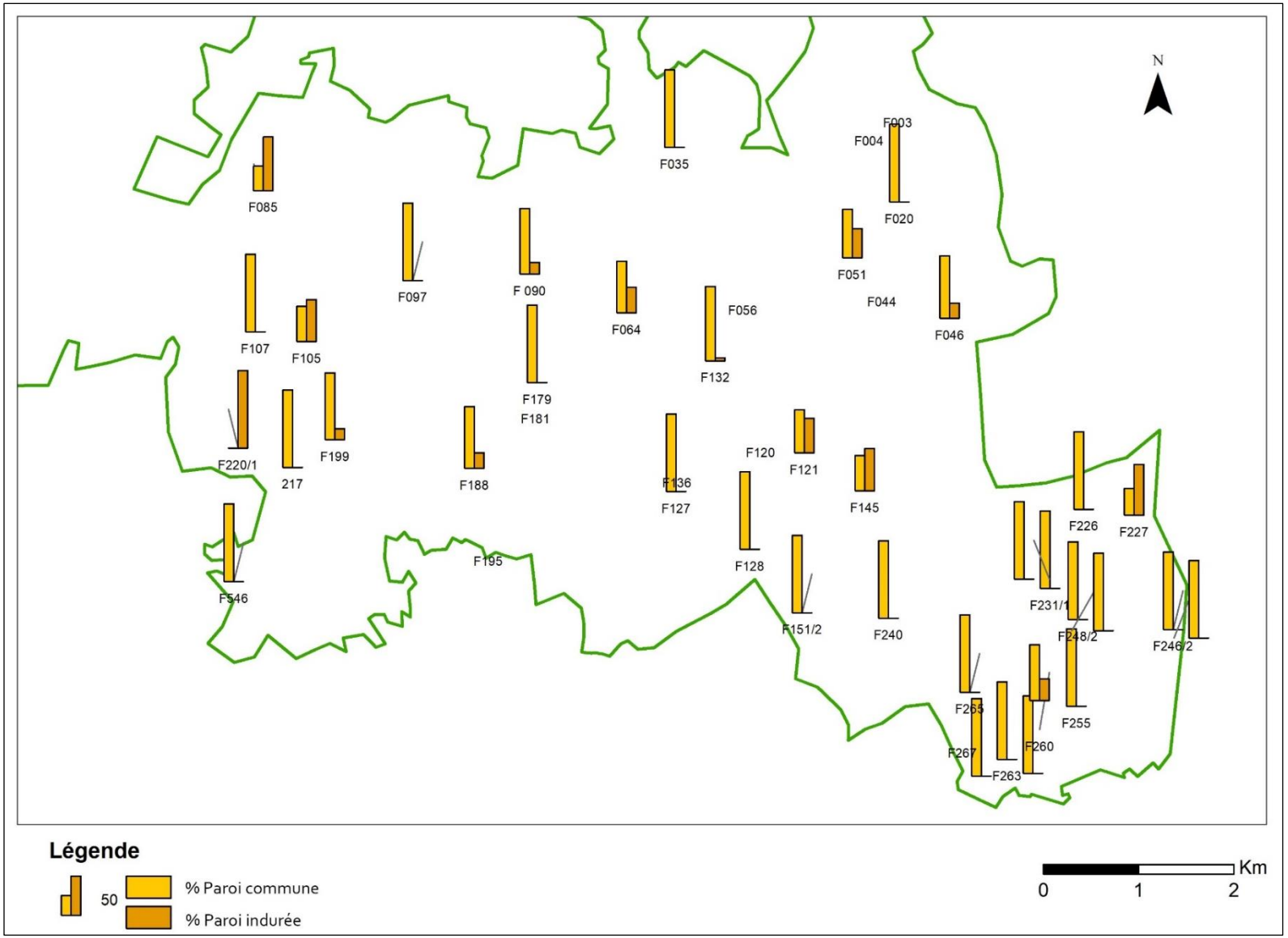


Fig. 141 : Carte de la proportion en masse des différents types de paroi observés dans le massif de Châteauroux

Les parois sont présentes au sein des espaces sédimentaires noirs de tous les sites bicolores où 32 % des parois sont indurées (***cf* vol. 2, tableau 46**). On les retrouve aussi dans les espaces sédimentaires rouges de 12 sites métallurgiques bicolores. Ils y sont les vestiges les plus représentés (45 % de la masse du mobilier recueilli dans ces zones). Seulement 18 % des parois sont indurées dans ces espaces rouges. Les fragments de paroi se trouvent donc plus souvent dans les espaces sédimentaires noirs et la majorité ne sont pas indurées. Néanmoins, la présence prépondérante de parois, souvent rubéfiée, dans les espaces rouges pourrait être l'une des explications à la coloration rouge/orangée du sédiment dans ces espaces.

Ces vestiges sont assez fragmentés. Il est possible de mesurer l'épaisseur de 17 d'entre eux. Elle est très variable car comprise entre 0,5 et 9 cm (***cf* vol. 2, tableau 47**). Ce phénomène s'explique par l'existence de deux, voire trois, couches d'argile superposées visibles sur huit fragments de paroi **(Fig. 142)**. Cela confirme l'hypothèse selon laquelle les métallurgistes de certains ateliers pratiquaient le rechapage des fours. Les parois portant ce genre de traces proviennent des sites bicolores F085, F046 et F265 et du site noir F128. Ces sites sont répartis dans l'ensemble de la forêt.

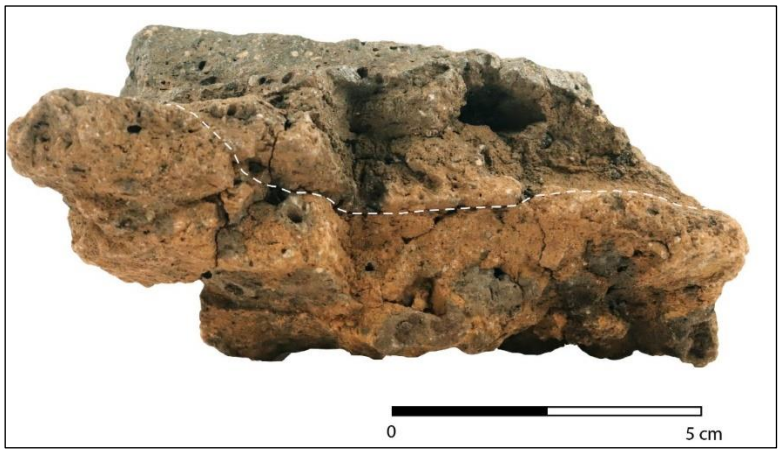


Fig. 142 : Photographie d'un fragment de paroi présentant deux couches d'argile superposées

Un grand nombre de fragments de parois conserve des traces de la construction des fours. Tout comme sur les scories internes (*Supra* 5.3.2), on y observe des sillons (**Fig. 143a** ; ***cf* vol. 2, tableau 48**) ou au contraire des bombements rectilignes (**Fig. 143b**). Ces traces sont presque toutes vitrifiées et indurées, témoignant de leur localisation à l'intérieur du four lors de sa chauffe.

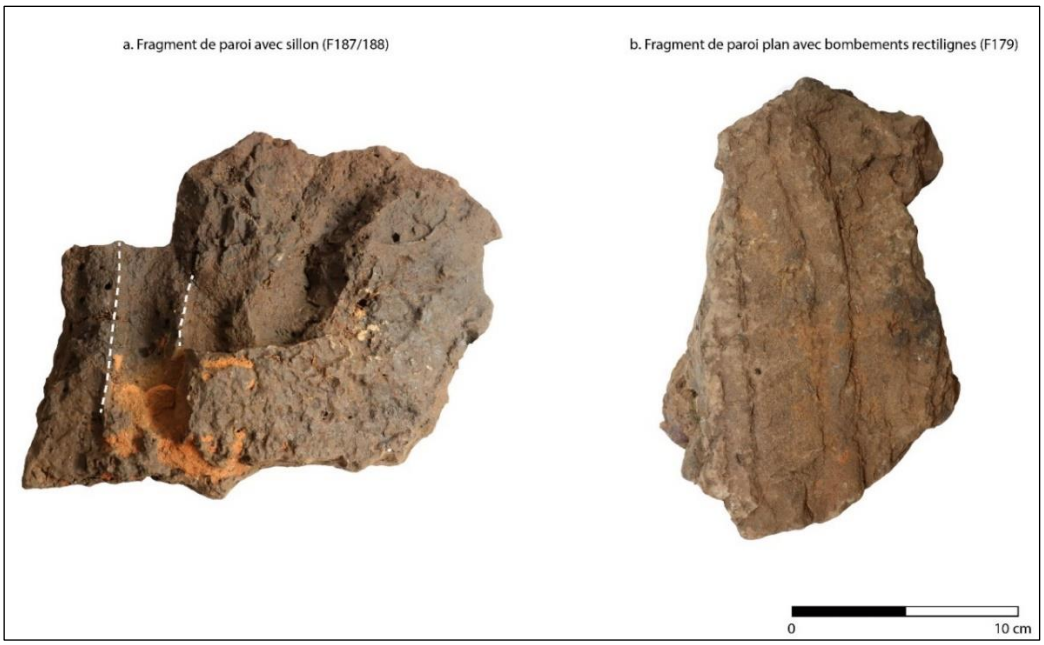


Fig. 143 : Photographie de fragments de paroi avec sillons et bombements rectilignes

Ce type de trace est observé dans sept ateliers, il s'agit de cinq sites métallurgiques bicolores (F046, F085, F179, F187/188, F230) et deux sites noirs (F199 et F248/1) répartis dans l'ensemble du massif. La plupart d'entre eux proviennent de l'atelier F179 (10 sur 21).

Ces sillons sont interprétés comme étant le résultat de l'utilisation d'une structure de soutien en bois lors de la construction des fours. Il est possible que les métallurgistes aient utilisé une ossature en bois sur laquelle ils venaient déposer l'argile. Lors de la première combustion, destinée à consolider la structure par la chaleur, le bois brûle et disparait en laissant à la place son négatif, sous la forme d'un sillon. À la fin l'issue de plusieurs opérations de réduction, les fours sont probablement en mauvais état et si l'on veut les réutiliser il faut les restaurer au moins en partie. Dans ce cas, on ajoute de l'argile aux endroits abîmés et, lorsque cette argile est plaquée dans les sillons cela entraine la formation de bombements rectilignes. Il en va de même lorsque de la scorie refroidit contre la paroi (**Fig. 144**).

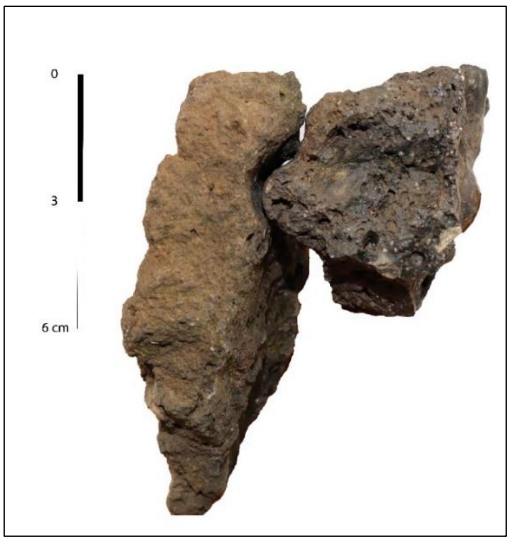


Fig. 144 : Photographie d'un fragment de paroi présentant un sillon et d'une scorie avec un bombement rectiligne en regard

Les fragments de paroi sont trop endommagés pour définir la longueur de ces traces, toutefois leur largeur est comprise entre 1,2 et 2,6 cm. L'étude de cette mesure montre que la majorité des sillons et des bombements mesure entre 1,5 et 2 cm (**Fig. 145** ; ***cf* vol. 2, tableau 49**). Ce qui conforte notre hypothèse. Toutefois, de nombreux bombements ont une largeur plus variable que celle des sillons.

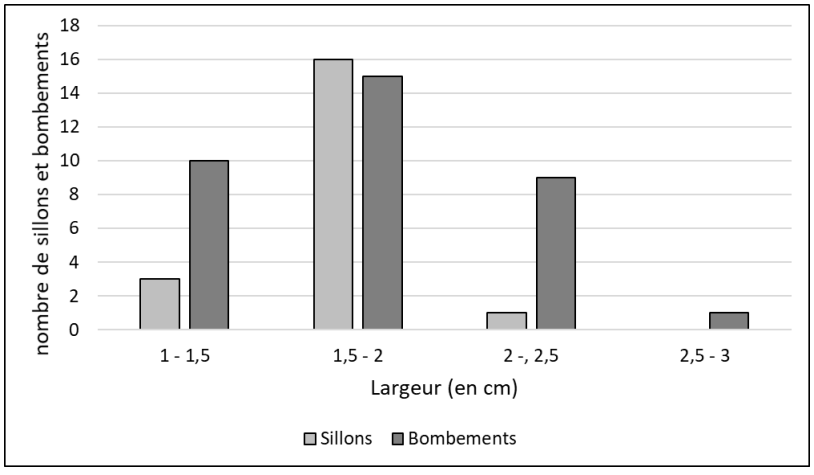


Fig. 145 : Diagramme du nombre de sillons et de bombements observés sur les parois en fonction de leur largeur

On ne dispose d'aucune autre information sur l'architecture des fours. Néanmoins, on observe plusieurs traces de leur utilisation. La première correspond aux variations de couleurs qui traduisent généralement, selon les observations de P. Andrieux, les conditions de chauffe des parois de four (ANDRIEUX 2004 : 70-71). Un milieu riche en oxygène devrait favoriser la

formation d'hématites qui donnent une coloration rouge/brune à l'argile. À l'inverse, un milieu riche en monoxyde de carbone entrainerait plutôt la réduction d'hématites en magnétites fournissant une couleur blanche à grisâtre à l'argile. Enfin, une coloration violine peut apparaître au niveau des zones les plus chaudes du four. Ces observations sont intéressantes pour comprendre quelle était l'atmosphère dans les fours de réduction. Dans la forêt de Châteauroux, la majorité des fragments de paroi ramassés sont de couleur grise à blanche (74 %). Cela semble témoigner d'une atmosphère majoritairement réductrice dans les fours (**cf vol. 2, tableau 50**). Seulement 20 % des parois sont de couleur beige/ocre indiquant qu'elles ont subi un faible impact thermique. Enfin, on trouve très peu (0,01 %) de parois brunes/rouges qui peuvent traduire une atmosphère oxydante dans les structures. Ce type de paroi est beaucoup moins nombreux à Châteauroux qu'à Boulogne-Chambord (*Supra* 4.3.4). Il est donc possible que les fours de la forêt de Châteauroux aient fonctionné en employant une atmosphère plus réductrice que ceux de Boulogne/Chambord. Il est néanmoins impossible de le confirmer avec les seules données de prospections.

En plus des couleurs variées de leurs parois, la plupart des vestiges présentent une vitrification de leur face interne. Cette vitrification est due à la température atteinte dans les fours (ANDRIEUX 2004 : 71). La coloration de cette vitrification va du bleu au vert, comme celle des pseudo-laitiers (**Fig. 146**).

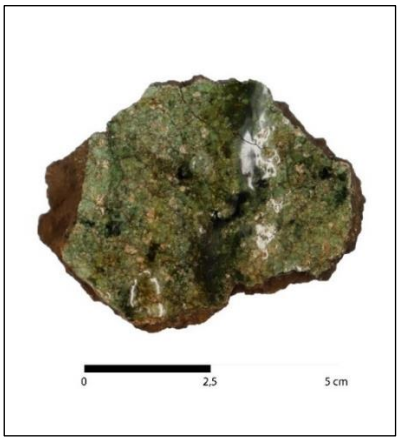


Fig. 146 : Fragment de paroi en argile à vitrification verte (F105)

Souvent, des scories sont collées sur la paroi vitrifiée (**Fig. 147**). On retrouve le même phénomène sur les sites métallurgiques de Boulogne-Chambord (*Supra* 4.3.4).



Fig. 147 : Photographie d'une paroi vitrifiée bleutée et scorifiée (F199)

Plusieurs petits éléments de matière première (fragments de minerai et de charbon de bois) employés lors de la réduction sont aussi incrustés à l'intérieur de nombreux fragments de parois.

En conclusion, les parois observées sur l'ensemble des sites métallurgiques du massif de Châteauroux ont une pâte similaire. Il est probable que l'argile utilisée pour la fabrication des fours provienne de la formation géologique présente dans forêt. L'une des différences est la dureté des parois. La majeure partie d'entre elles présente une texture poreuse alors que les autres, moins nombreuses, sont très indurées par la chauffe. Ce type de vestiges est retrouvé dans tous les ateliers de la forêt. Les fragments de paroi sont les déchets les plus nombreux dans les zones rouges des sites métallurgiques bicolores. Il est ainsi possible que la forte présence d'argile chauffée soit l'une des raisons pour lesquels ces espaces ont une coloration rougeâtre.

L'épaisseur des parois de four est comprise entre 3,5 et 5,5 cm. L'utilisation de structures de soutien en bois (ossature) de petit calibre (env. 1,5 à 2 cm) facilitant la pose de l'argile a été observée. Enfin, différentes traces de rechapage (couches superposées d'argile, bombements sur les parois) sont observées. Elles proviennent principalement des sites bicolores. La couleur des parois signale plutôt une atmosphère réductrice dans les fours, ce qui est la condition indispensable au bon déroulement d'une opération de réduction.

Les terres cuites architecturales

Des fragments de terres cuites architecturales ont également été ramassés sur les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux. Au nombre de 144, ils pèsent environ 15 kg. Ils proviennent de dix sites bicolores (F046, F064, F085, F121, F145, F187/188, F227/1, F230, F246 et F265), trois sites noirs (F090, F128 et F127) et un épandage (F056) (***cf* vol. 4, tab. 4**). La moitié de la masse de terres cuites architecturales est issue de l'épandage F056 (7,3 kg). Cette prépondérance s'explique par le fait qu'il a servi à la création d'une motte castrale où de nombreuses constructions ont été réalisées. Il est alors impossible de dissocier les terres cuites architecturales associées à la production métallurgique et celles dédiées aux constructions médiévales. Ce site n'est donc pas pris en compte pour le reste de l'étude. La majorité des terres cuites architecturales provient en fait de sites métallurgiques bicolores (**Fig. 148** ; ***cf* vol. 2, tableau 51**).

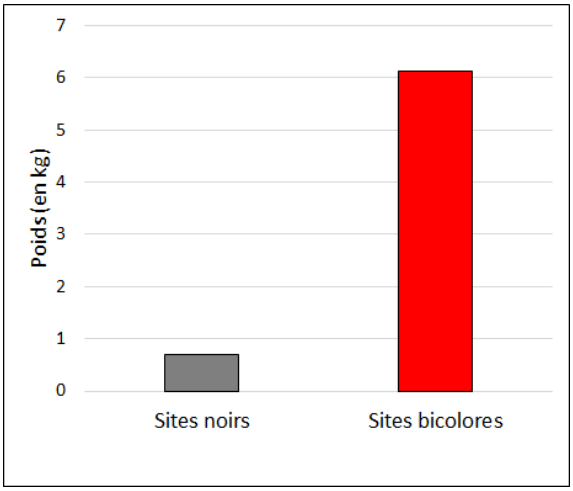


Fig. 148 : Diagramme de la masse des terres cuites architecturales ramassées par type de site

La répartition de ce type de vestige au sein des sites bicolores indique que 3,8 kg proviennent des espaces sédimentaires noirs et 2,4 kg des espaces sédimentaires rouges (***cf* vol. 2, tableau 52**). La répartition de ce mobilier est globalement homogène dans ces deux espaces des sites bicolores.

La pâte de l'ensemble de ces vestiges est très similaire, elle fine, homogène et comprend des inclusions de quartz submillimétriques à millimétriques. Parmi ces vestiges, 30 fragments (soit 2,4 kg) contiennent de la chamotte[160]. Cette interprétation est cependant remise en question

160. Mélange de céramique cuite et concassée utilisée comme dégraissant dans une pâte.

par J.-F. Nauleau dans les Pays de la Loire qui décrit ce genre de pâtes comme comprenant des « nodules d'argilite rouge et ocre » (NAULEAU 2016 : 279-280). Il remet en cause le fait que ces inclusions soient le résultat de l'utilisation d'un dégraissant, car la région qu'il étudie comprend des argiles naturellement riches en dégraissants siliceux. Il propose donc d'y voir le résultat d'une méthode de production particulière, sans aller plus loin dans son explication. En ce qui concerne les terres cuites de la forêt de Châteauroux, la taille de ces nodules indique qu'il s'agit plus vraisemblablement de chamotte. Ces vestiges proviennent des sites bicolores F046, F265, F230, F246, F064, F121 et F227/1, ainsi que du site noir F128 (**Fig. 149**). En outre, ces inclusions d'argile sont associées à des fibres végétales dans trois fragments provenant du site F046. Deux dégraissants semblent donc présents dans ces terres cuites architecturales, l'un végétal et l'autre constitué d'argile cuite.

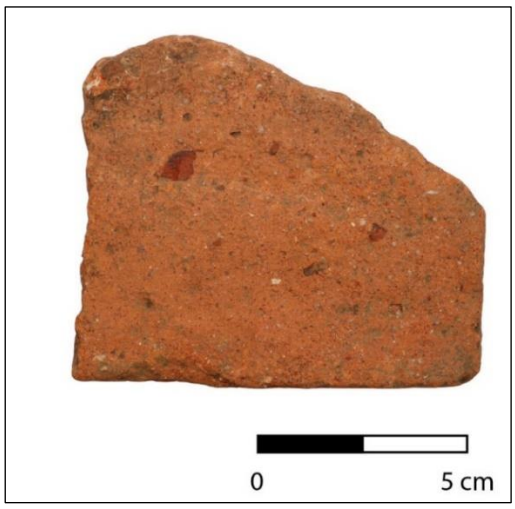


Fig. 149 : Photographie d'un fragment de terre cuite architecturale avec inclusion de chamotte (F046)

La plupart des individus sont de couleur orange clair (**Fig. 150a**). On observe également 34 fragments de Terre Cuite Architecturale de couleur orange vif, provenant uniquement du ferrier F090 et du site bicolore F187/188. En outre, un individu issu du ferrier F090 a une coloration beige (**Fig. 150b**). La couleur de ces terres cuites architecturales semble principalement liée à l'argile utilisée pour leur fabrication. Il existe également des colorations induites par la chauffe lors de la production métallurgique. On trouve ainsi un fragment de couleur gris à blanc (**Fig. 150c**) et un autre de mauve dans le site bicolore F085. Ces variations de couleurs sont à rapprocher de celles observées pour les parois et prouvent que les terres cuites architecturales ont été employées dans les fours.

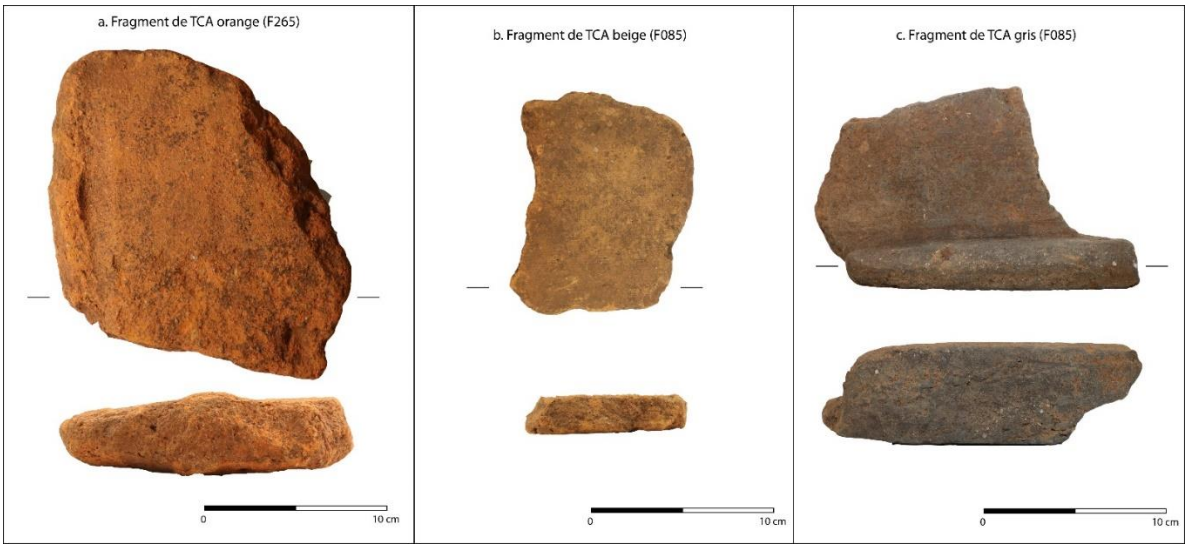


Fig. 150 : Photographie des terres cuites architecturales de colorations différentes

La carte de répartition des Terres Cuites Architecturales montre une grande homogénéité sur les sites métallurgiques du massif. La plupart ne comprennent que des terres cuites architecturales de couleur orange ; deux exceptions apparaissent tout de même, le ferrier F090 dont les terres cuites architecturales sont de couleur beige et orange vif et le site bicolore F085 qui, en plus des terres cuites architecturales oranges, en compte également avec d'importantes traces de chauffe grise à blanche et violine (***cf* vol. 2, fig. 52**).

L'épaisseur des terres cuites architecturales peut être mesurée sur 14 individus provenant presque tous de sites bicolores, sauf un (F128). Elle est comprise entre 2,3 et 5,5 cm. Néanmoins, pour la majorité des exemplaires elle est comprise entre 2 et 2,5 cm (**Fig. 151** ; ***cf* vol. 2, tableau 53**). Elle apparait donc relativement homogène.

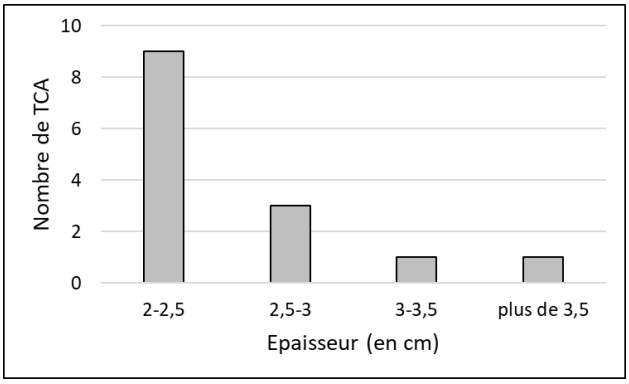


Fig. 151 : Nombre de terres cuites architecturales en fonction de leur épaisseur (en cm)

La forme de 13 fragments a pu être identifiée. Il s'agit de *tegulae*, tuiles plates rectangulaires disposant d'un rebord sur leurs grands côtés (NAULEAU 2016 : 278). Elles proviennent des sites bicolores F046, F085, F121, F145 et F265.

Enfin, il est possible de mettre en évidence plusieurs traces d'utilisation qui indiquent que ces terres cuites architecturales ont été employées dans les fours métallurgiques. On trouve ainsi des traces de chauffe, à travers une coloration blanche/grise et mauve sur le site bicolore F085 ; des traces de vitrification sur deux individus provenant du site bicolore F145 et du ferrier F090 et des traces de scorification sur cinq fragments provenant des sites bicolores F046 et F265 ainsi que du ferrier F090. Ainsi sur les 15 ateliers ayant livré des fragments de terre cuite architecturale, cinq (F085, F265, F046, F090 et F145) livrent des indices témoignant de leur utilisation dans l'architecture des fours.

En conclusion, la plupart des éléments de terres cuites architecturales ramassés dans les ateliers de l'actuelle forêt de Châteauroux proviennent de sites bicolores. Ils y sont répartis de façon homogène entre les espaces sédimentaires noirs et rouges. Ces terres cuites sont fabriquées avec une pâte similaire contenant des inclusions de quartz submillimétriques à millimétriques. La plupart des ateliers emploient des terres cuites architecturales orangées, sauf F090 qui se distingue par la présence de vestige de couleur orange vif et beige. L'utilisation d'un probable dégraissant constitué de chamotte est relevée sur huit sites et d'un dégraissant végétal sur le site F046. Les fragments de terres cuites architecturales mis au jour sont en mauvais état de conservation, néanmoins ils possèdent une épaisseur assez homogène, comprise entre 2 et 2,5 cm. Quelques individus plus épais proviennent toutefois de F145. Leur forme est rarement conservée, les seuls individus pour lesquels elle est identifiée sont des *tegulae*. Finalement, plusieurs indices témoignent de l'utilisation de ces terres cuites architecturales pour consolider les structures métallurgiques (traces de chauffes, scorification, etc.). Elles ont probablement été récupérées sur des sites d'occupation proches et réemployées pour la métallurgie.

<u>Les tuyères ou trou de ventilation</u>

Seuls trois fragments ont été découverts dans la forêt de Châteauroux (1,6 kg) (***cf* vol. 4, tab. 4**). Il est possible que leur utilisation n'y soit pas répandue. Ces éléments proviennent du site bicolore F230 et du site noir F199 (**Fig. 152**). Ils présentent une pâte similaire à celle des parois contrairement à celles de la forêt de Boulogne-Chambord. Il est donc très difficile de

les identifier lorsque le canal n'est plus présent. Il est possible que cette similitude soit l'une des raisons pour lesquelles peu de ces vestiges sont recensés dans le massif. Sur les trois fragments observés, un seul est en assez bon état pour que quelques mesures soir relevées. Il provient de F230 ; le canal, de couleur orange, fait 3 cm de diamètre et la hauteur du bloc est de 6 cm. Ces éléments montrent des traces de fonctionnement avec une vitrification plus ou moins importante, une scorification partielle et des inclusions d'oxydes de fer par endroit.

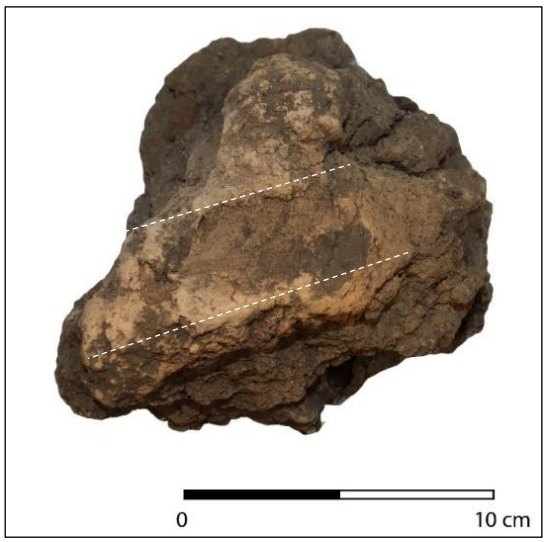


Fig. 152 : Photographie d'un fragment de tuyère (F199)

Des meules ?

Le dernier type de vestige pouvant être en relation avec l'activité métallurgique, et potentiellement la construction des fours, comprend des objets circulaires ayant la forme de meules. Ils proviennent du site bicolore F187/1888 et du ferrier F546. Ils sont composés d'une sorte d'agglomérat blanchâtre constitué d'inclusions de quartz et de grès millimétriques à centimétriques. Ces objets sont arrondis, mais incomplets. Ils disposent d'une partie centrale fine (env. 1 à 2,5 cm) et d'une périphérie plus épaisse (4 à 5,2 cm). Compte tenu du mauvais état de conservation de ces vestiges, il est difficile de restituer leurs dimensions globales. Ces deux « meules » montrent des traces d'utilisation en lien avec la métallurgie. En effet, celle découverte dans l'atelier F187/188 est couverte d'une croûte d'oxyde sur sa face interne et plus légèrement sur sa face externe (**Fig. 153a**). Celle qui provient de F546 est rubéfiée et noircie sur sa face interne (**Fig. 153b**).

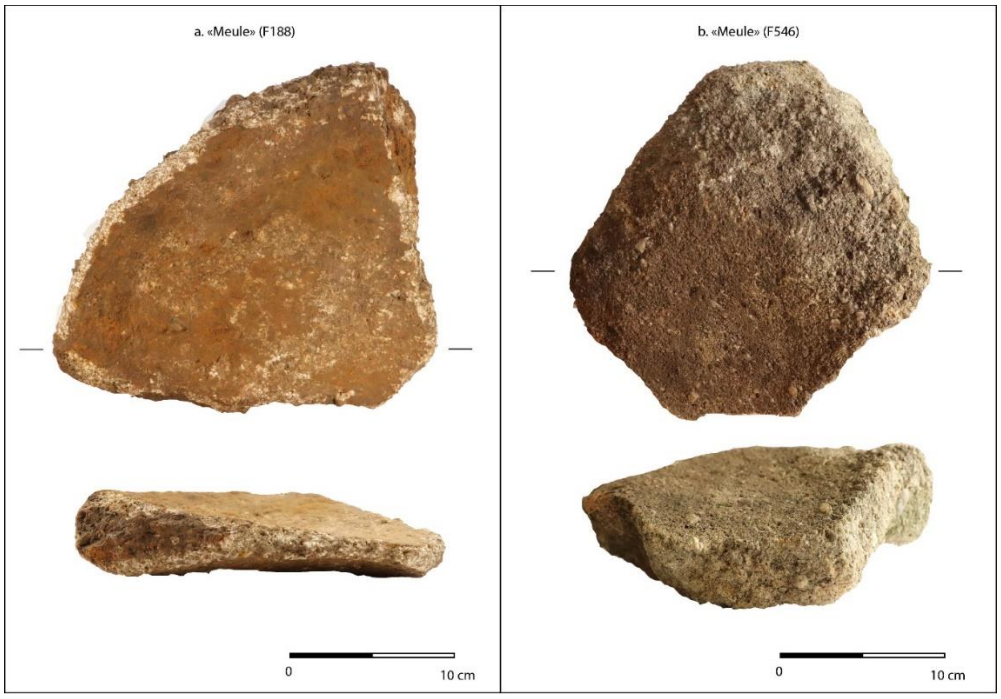


Fig. 153 : Photographie des deux « meules » observées dans la forêt de Châteauroux

Des meules sont également mises en évidence sur les sites métallurgiques des Martys (Aude) (DOMERGUE *et al.* 1993), de Roche Brune (Sarthe) (SARRESTE 2008 : 408), de Villefranche-de-Rouergue (Aveyron) (MORASZ, PULOU 1997) ou encore en forêt d'Allogny (BORDELOUP 1995 : 152). Leur fonction est interprétée dans ces ateliers comme étant dévolue au broyage du minerai de fer.

On peut rapprocher ces « meules » d'une pierre de taille en grès, de 46 cm de longueur sur 33 cm de largeur et 33 cm d'épaisseur, observée sur le site bicolore F179. Elle a probablement été réemployée pour l'activité métallurgique. En effet, elle comprend une face supérieure légèrement creusée, rubéfiée et scorifiée (**Fig. 154**). Une autre hypothèse pourrait être avancée pour identifier la fonction de ces différentes « meule ». Il pourrait s'agir d'éléments réemployés pour tenir lieu de support à un foyer, de réduction ou de forge. La présence de scorification par endroit pourrait étayer cette idée.



Fig. 154 : Photographie d'une pierre en grès (F179)

5.4 Les déchets de forge

5.4.1 Les culots de forge

En plus des déchets de réduction, quelques vestiges caractéristiques d'une activité de forge ont été mis au jour dans ce massif forestier. Ce sont quatre culots de forge plano-convexes provenant des sites bicolores F240 et F085 et du site noir F546 (***cf* vol. 4, tab. 4**). Ils proviennent tous de grands ateliers de volume restitué de plus de 1 000 m^3. Trois de ces culots pèsent entre 0,1 kg et 0,4 kg. V. Serneels propose d'admettre qu'entre 0, 1 kg et 0, 6 kg, ces culots caractérisent de petits travaux de forgeage (SERNEELS 1993 : 165). Un culot provenant de F546 pèse 1,2 kg. Il indique une opération ayant occasionné une plus important perte de matière. Ces culots mesurent entre 9 et 15 cm de longueur pour 4,1 à 15 cm de largeur et 2,2 à 4,5 cm d'épaisseur. Ils ne présentent aucune stratification, ce qui signifie que chacun d'eux représente probablement un unique cycle de forgeage (MANGIN 2004 : 111).

Trois échantillons provenant du site noir F546 et des sites métallurgiques bicolores (F085 et F240) présentent une matrice noire, homogène avec des inclusions d'oxydes de fer (***cf* vol. 3, Annexe 4**). Des porosités de faibles à moyennes dimensions (entre 0,1 et 2 cm) sont présentes sur une grande partie de leur surface (env. 30 % à 50 %) (**Fig. 155**). Elles ont majoritairement une forme arrondie et sont un peu plus étirées dans la partie centrale où elles sont également plus grandes et parfois anguleuses. L'étude microscopique montre ces scories sont composées d'une phase majoritairement vitreuse associée à une phase constituée de

fayalites équigranulaires (CHAT240 et CHAT546) ou en longues lattes (CHAT085-2). De nombreuses dendrites de wüstite sont également présentes dans les scories CHAT085-2 et CHAT546. Toutefois, CHAT085-2 contient également des grains de magnétites à l'opposé, de l'endroit où se trouve la wüstite. La présence de ces oxydes indique plutôt une atmosphère oxydante dans cette partie du foyer, proche du système de ventilation. Dans trois de ces culots on observe des inclusions de battitures globulaires en cours de dissolution, ce qui vient confirmer qu'il s'agit de culot de forge. Dans CHAT240 des nodules et des grains métalliques sont visibles essentiellement dans la partie inférieure de la scorie. Leurs faibles dimensions ne permettent pas d'en connaitre la composition (acier, fonte, etc.). Néanmoins, la présence rare du métal dans ces scories témoigne d'une technique de production qui parait maitrisée. Enfin, de nombreuses similitudes entre CHAT546 et les fonds de four (matrice mixte, présence de porosités aux contours déchiquetées (MANGIN 2004 : 163-164)) laissent supposer qu'il pourrait s'agir d'un déchet d'épuration de la loupe de fer.

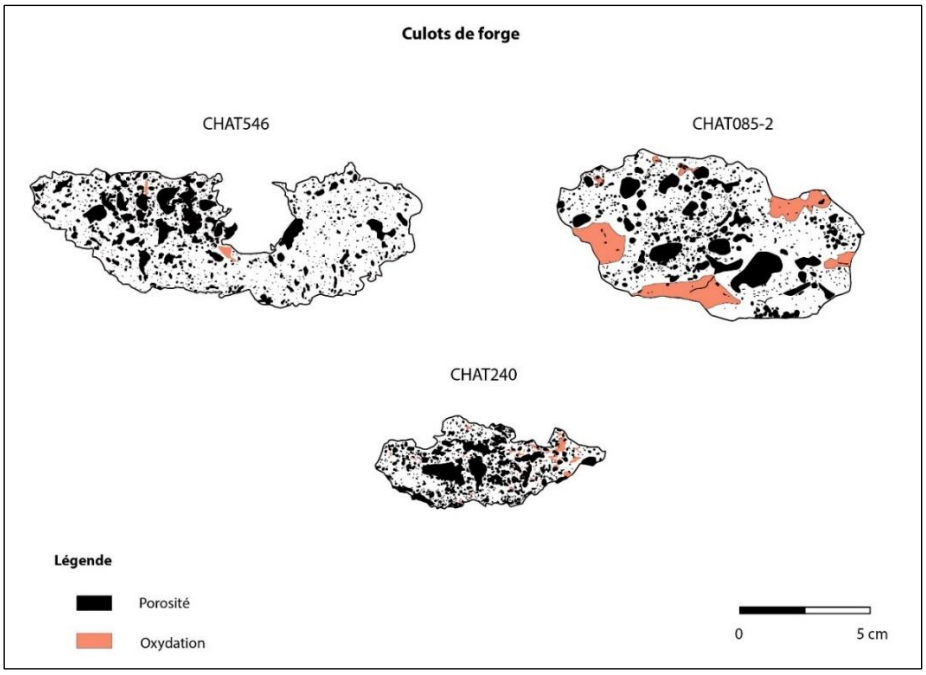


Fig. 155 : Dessin de la coupe des culots de forge dont la composition est étudiée en métallographie

Ces déchets de forge révèlent ainsi la présence d'une activité de forge associée à celle de réduction dans au moins trois ateliers dispersés dans la forêt. Les foyers qui ont été utilisés sont probablement circulaires et creusés dans le sol. L'aspect macroscopique de ces déchets est assez homogène bien que l'observation microscopique indique des conditions assez différentes dans le foyer. En outre, la faible présence de métal dans la composition de ces scories peut

indiquer une bonne maitrise de l'activité de forge. Enfin, il est possible que le culot F546 soit le résultat d'une opération d'épuration de la loupe de fer.

5.4.2 Les agglomérats métalliques

Quelques rares éléments métalliques ont également été mis au jour dans la forêt de Châteauroux. Ces trois individus proviennet du ferrier F105 et de l'épandage F056 (0,2 kg) (***cf* vol. 4, tab. 4**). Ces agglomérats sont informes et très oxydés (**Fig. 156**). Il est difficile, en l'absence d'étude microscopique, d'associer ces déchets à une étape de la production du fer.

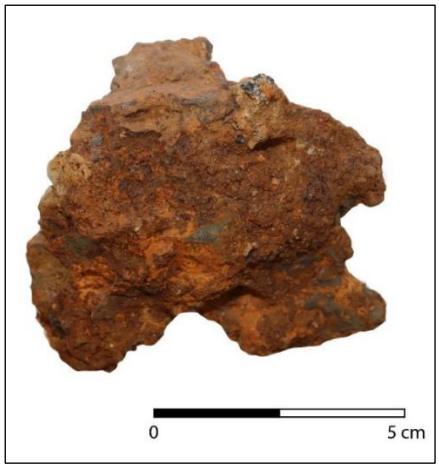


Fig. 156 : Photographie d'un agglomérat métallique oxydé (F056)

5.5 La production du fer en forêt de Châteauroux, des indices de datation variés

5.5.1 L'apport des documents d'archives

Le dépouillement des archives départementales et nationales n'a pas mis en évidence d'activité de production du fer dans le massif aux périodes anciennes. Certaines mentionnent néanmoins l'utilisation du bois de la forêt de Châteauroux pour alimenter diverses activités métallurgiques dans la région entre les XVIIe et VIIIe s[161]. À cette époque, se développent les « forges » de Clavière, d'Ardentes et de l'Isles, hauts fourneaux installés sur l'Indre à l'ouest de la forêt. Ces documents fournissent des informations pour comprendre la gestion de la forêt à la période moderne, son évolution au cours du temps et le lien étroit qui existe entre elle et la

161. AN : Q/1/373

métallurgie. Ils n'apportent toutefois aucun indice concernant les ateliers situés au cœur du massif et leur période d'activité.

Les seules indications concernant ces ateliers proviennent de la toponymie. La *Carte générale des deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.a.S^me^ Monseigneur le Prince*, datée de 1682[162], signale la présence d'un lieu-dit nommé « Les fouyneaux du Plessis » à l'est du massif (***cf* vol. 2, fig. 53**). Ce terme, d'abord associé à tort à la déformation du mot fourneau, s'avère en fait correspondre à la modification du vieux français *foene*, qui provient du mot latin *fagina* signifiant « martre des hêtres » (LENOBLE-PINSON 1977 : 32-42). Ce mot est dérivé du terme *fagus* qui désigne lui-même les hêtres, essence d'arbre couramment observée dans cette forêt. Ce toponyme correspond donc vraisemblablement à la présence de hêtres à cet endroit du massif. Il n'apparait plus sur la carte d'état-major de 1847. Sur cette carte, on trouve néanmoins un croisement situé au centre/ouest de la forêt nommé « Carrefour des 3 fouinaux » (***cf* vol. 2, fig. 54**). De nouveau, ce toponyme est associé à la présence de hêtre plus qu'à celle d'une activité liée au feu. Finalement, seule la carte IGN actuelle livre des indices plus pertinents concernant l'activité métallurgique associée à la forêt. Au centre, à proximité du carrefour du Riau de la Motte, un espace est nommé « les Buttes de mâchefer[163] » (***cf* vol. 2, fig. 55**). Bien qu'aucun ferrier ne soit observé dans cet espace précis, deux ateliers sont repérés non loin de là. Enfin, à l'est du massif, un chemin forestier porte le nom de l'« Allée des forgerons ». De nouveau aucun atelier n'est visible autour de ce chemin. Ce nom provient probablement de sa localisation sur un axe menant en direction des « forges » modernes installées sur l'Indre.

Les documents d'archives ne fournissent donc aucune information concluante concernant l'activité métallurgique implantée dans la forêt aux périodes anciennes.

5.5.2 Les terres cuites architecturales, une information homogène

Les vestiges de terres cuites architecturales présentent une grande homogénéité de forme, de dimension et de couleur. Certains d'entre eux sont interprétés comme étant des *tegulae*. Leur pâte et leur morphologie sont généralement associées à des sites antiques, comme dans les Pays de la Loire par exemple (NAULEAU 2016 : 279). En outre, l'importante épaisseur du plateau de ces tuiles (2,6 cm en moyenne) est très proche de celle observée pour les tegulae

162. AN : N/II/Indre/2
163. Mâchefer est un terme vulgarisé qui désigne des scories anciennes et modernes.

antiques de Châteaubleau (Seine-et-Marne) (2,3 cm en moyenne) (BONTROND 2013 : 266). Enfin, un autre indice de datation pourrait être la présence d'inclusions d'argilite rouge dans leur pâte. En effet, J.-F. Nauleau montre qu'en Bretagne, ce type de pâte et principalement utilisé lors de l'Antiquité et disparait au haut Moyen Âge au profit de pâtes plus siliceuses ; c'est notamment le cas au « plateau du Bouffay » et sur la « Zac Erdre-Porterie de Nantes » (NAULEAU 2016 : 281). Les terres cuites de l'atelier F090 apparaissent comme une exception. En effet, elles présentent presque toutes une pâte de couleur orange vif.

Ainsi, la grande homogénéité de fragments de terres cuites architecturales semble signaler sur une douzaine de sites métallurgiques, la réutilisation d'éléments de construction datés de la période antique.

5.5.3 La céramique, des datations variées

La céramique est légèrement plus nombreuse dans ce massif qu'à Boulogne/Chambord. 49 tessons ont été mis au jour au sein de cinq sites bicolores, deux sites noirs et deux épandages (***cf* vol. 2, tableau 54**). Bien que la céramique provenant des épandages soit la plus nombreuse, elle est étudiée à part, car les scories sont redéposées et le mobilier n'est donc pas forcément issu de l'activité métallurgique. C'est notamment le cas des tessons trouvés dans l'épandage (F056) constituant une partie de la motte castrale.

Au total, 26 tessons sont associés aux ateliers métallurgiques. 15 proviennent de sites bicolores et 11 de sites noirs. L'analyse de ce mobilier montre deux datations différentes[164]. D'une part on trouve des céramiques communes datées de la période antique sur les sites F085, F121, F187/188 et F227/1 (**Fig. 157**). Ces tessons généralement constitués de pâte fine, beige à ocre, sableuse avec des inclusions ferreuses. En outre, sur les 12 fragments datés de l'antiquité, six présentent un traitement de surface micacé. Un groupe technique est identifié, il s'agit de Bou01a. D'autre part, on observe 13 tessons de céramique commune, datés de la période médiévale avec, semble-t-il, une probabilité de datation plus importante entre les XIIe et XIVe s. Ils proviennent des sites F127, F132 et F199 et sont principalement composés de pâte ocre, fine tournée avec quelques inclusions de quartz. Trois tessons sont couverts d'une glaçure plombifère partielle. Quatre groupes techniques sont reconnus : Bou08e, Bou08c, Bou07p, Bou02a. Parmi ces types, deux formes sont observées : un pichet 8-1 issu de F127 et un pichet

164. Étude réalisée avec la collaboration de A. Longelin, céramologue (CITERES/LAT).

1-1 originaire de F199. La céramique mise au jour sur le site F132, seul site bicolore, montre une fourchette de datation plus large que les autres, comprise entre les Xe et XVe s.

La céramique découverte dans l'épandage F056 est très homogène. Elle comprend 12 tessons à pâte blanche ou beige, fine et homogène, qualifiés de type Bou01k et datés des XIIe – XIIIe s. Les formes d'anses et de lèvres décrites confirment cette datation. Ces vestiges fournissent un terminus ante quem à l'activité métallurgique dont les déchets composent l'élévation de la motte. La similitude entre ces céramiques et celles mises au jour dans les ateliers F127, F132 et F199 laisse supposer que ces sites ont peut-être fonctionnés à la même période. Enfin, la facture assez fine de cette céramique indique qu'on se trouve dans un espace géographique non reclus, qui connait un certain dynamisme.

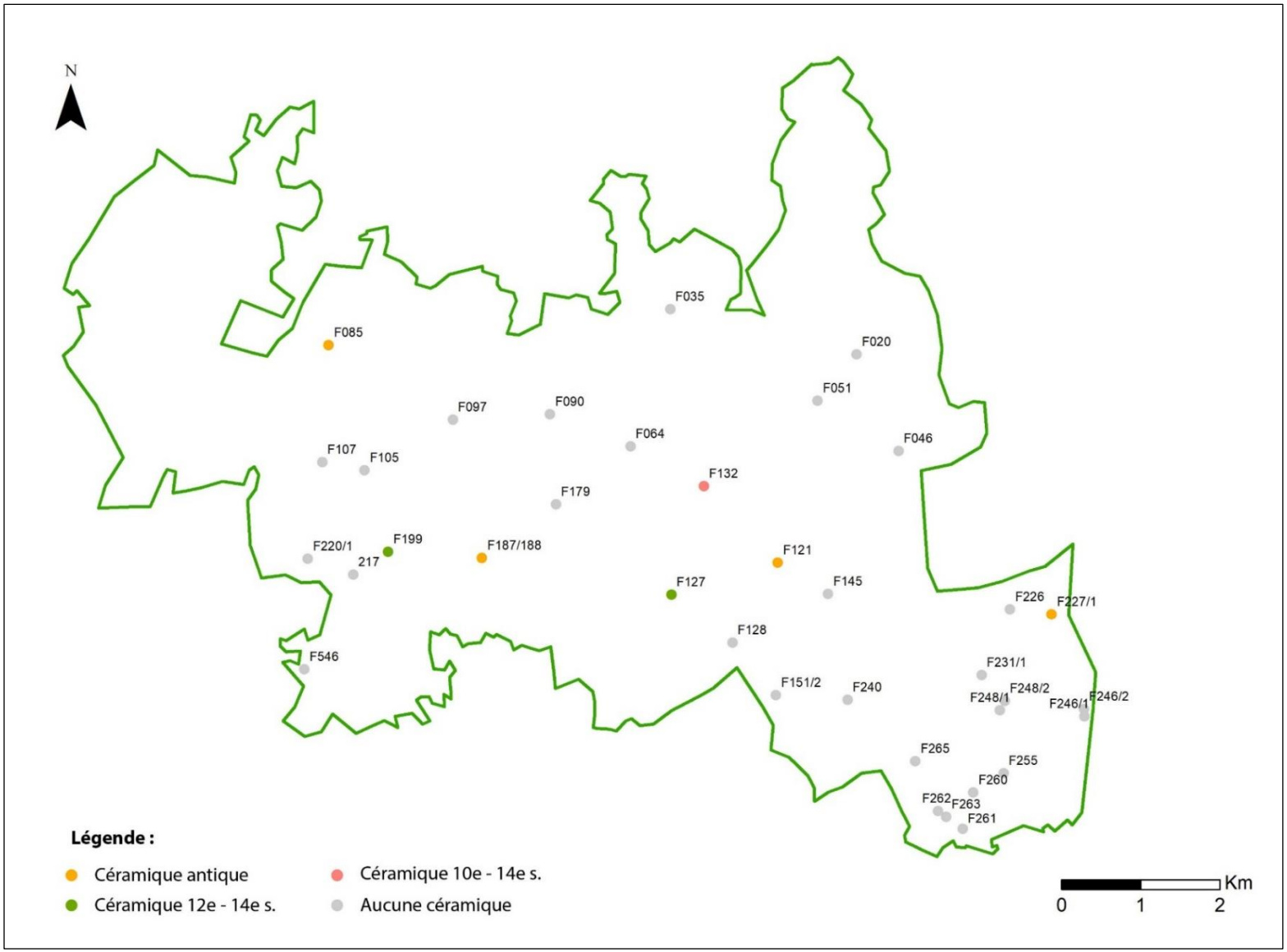


Fig. 157 : Carte indiquant la datation des céramiques ramassée dans le massif de Châteauroux

5.5.4 Les datations ^{14}C

Cinq datations ^{14}C ont été réalisées sur des charbons de bois[165] récupérés à l'intérieur de scories. Les échantillons ont été sélectionnés en fonction des types de site métallurgiques (trois sites bicolores et deux sites noirs) et de leur localisation (trois ateliers situés en périphérie et deux au centre de la forêt) (***cf* vol. 2, fig. 56**). Hormis le ferrier F090, pour lequel cinq analyses ont été réalisées à la suite de sa fouille, un échantillon de charbon de bois est daté dans chacun de ces ateliers. Tous les échantillons ont été sélectionnés après observation anthracologique pour éviter l'effet « vieux bois » qui pourrait fausser les résultats[166] (*Supra* 3.3.4).

Les diagrammes, réalisés à l'aide du logiciel Oxcal, font apparaitre deux périodes. Une première phase de production métallurgique est datée de l'antiquité[167] (**Fig. 158** ; ***cf* vol. 2, fig. 57 à fig. 59**). Ces sites, au sédiment noir et bicolore, sont respectivement datés entre 22 et 206 (95,4 % de probabilité), 73 et 226 (95,4 % de probabilité) et entre 20 et 180 (88,5 % de probabilité), soit entre la deuxième moitié du Ier s. et le début du IIIe s. Ils se trouvent au centre et au sud de la forêt. Une seconde phase de production intervient au Moyen Âge central[168] (**Fig. 159 ; *cf* vol.2, fig. 60 et 61**). Ces sites, uniquement au sédiment noir, sont datés respectivement entre 1210 et 1280 (95,4 % de probabilité) et entre 1210 et 1278 (93,6 % de probabilité), soit du XIIIe s. Ils sont localisés au nord et à l'ouest de la forêt.

165. Les échantillons sont datés par le laboratoire Beta Analytic.
166. Ces observations ont été réalisées par mes soins.
167. F128, F179 et F187/188.
168. F090 et F105/3.

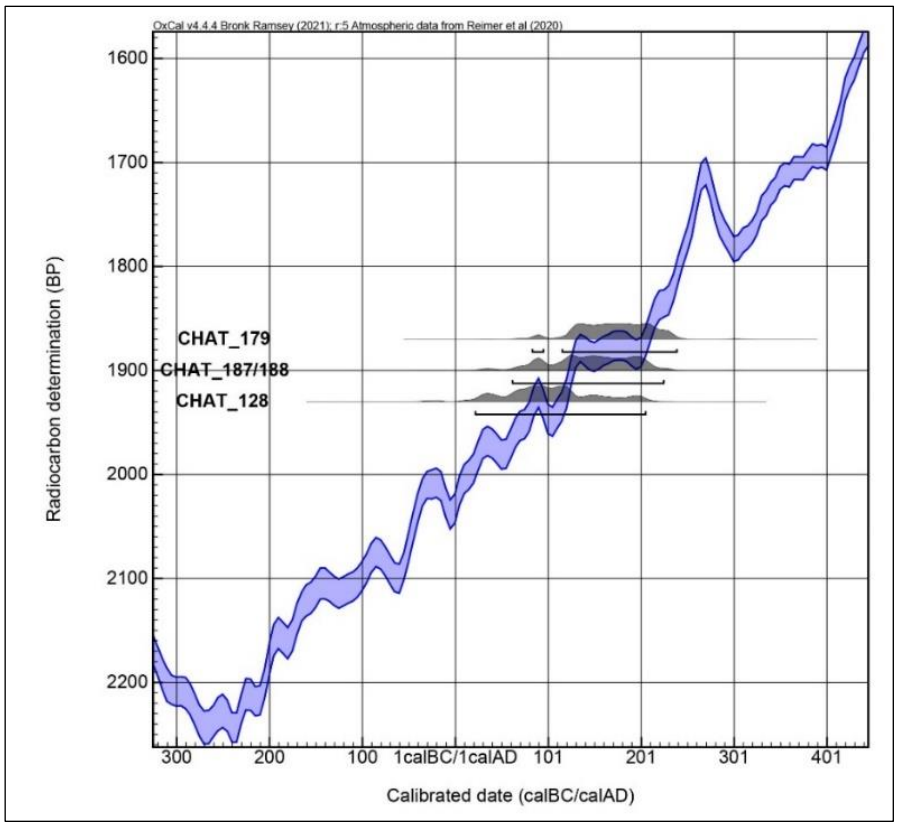


Fig. 158 : Détail des datations des trois sites métallurgiques antiques

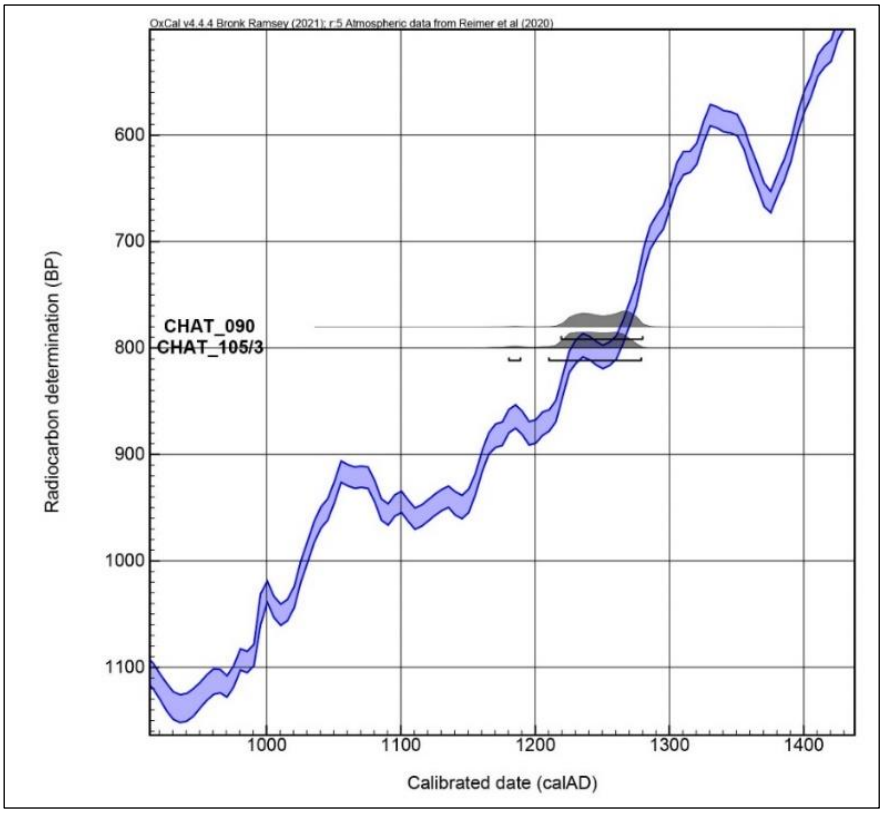


Fig. 159 : Détail des datations de deux sites métallurgiques médiévaux

L'étude des vestiges datants de la forêt de Châteauroux fournit des données inédites concernant l'activité métallurgique. Les terres cuites architecturales de 12 sites sont datées de l'Antiquité. Toutefois, ces éléments architecturaux récupérés peuvent être beaucoup plus anciens que l'activité métallurgique. Ce mobilier fournit donc un terminus *post quem* mais n'apporte pas d'informations déterminantes. La céramique apporte des éléments de datation plus précis. En effet, ce mobilier, présent sur sept sites en position primaire, indique deux phases de production dans le massif. La première est datée de la période antique et la seconde de la période médiévale, particulièrement entre les XIIe et XIVe s. Les analyses ^{14}C sont cohérentes avec ces résultats. Elles permettent de préciser qu'il y a eu une activité métallurgique comprenant plusieurs ateliers entre les Ier et IIIe s. et une autre au cours du XIIIe s. Le croisement de ces données montre une activité antique sur les sites F085, F121, F128, F179, F187/188 et F227/1 et une activité médiévale sur les sites F090, F105/3, F127, F132 et F199 (***cf* vol. 2, tableau 55**). Aucune répartition spatiale particulière n'est observée pour les ferriers antiques ou médiévaux (**Fig. 160**).

Tous les sites du massif ne sont pas datés. Il est donc possible que d'autres périodes de production aient existé. Cette question a conduit au développement d'une méthode de groupement des ateliers métallurgiques qui s'appuie sur leurs similitudes (*Infra* Chap. 6).

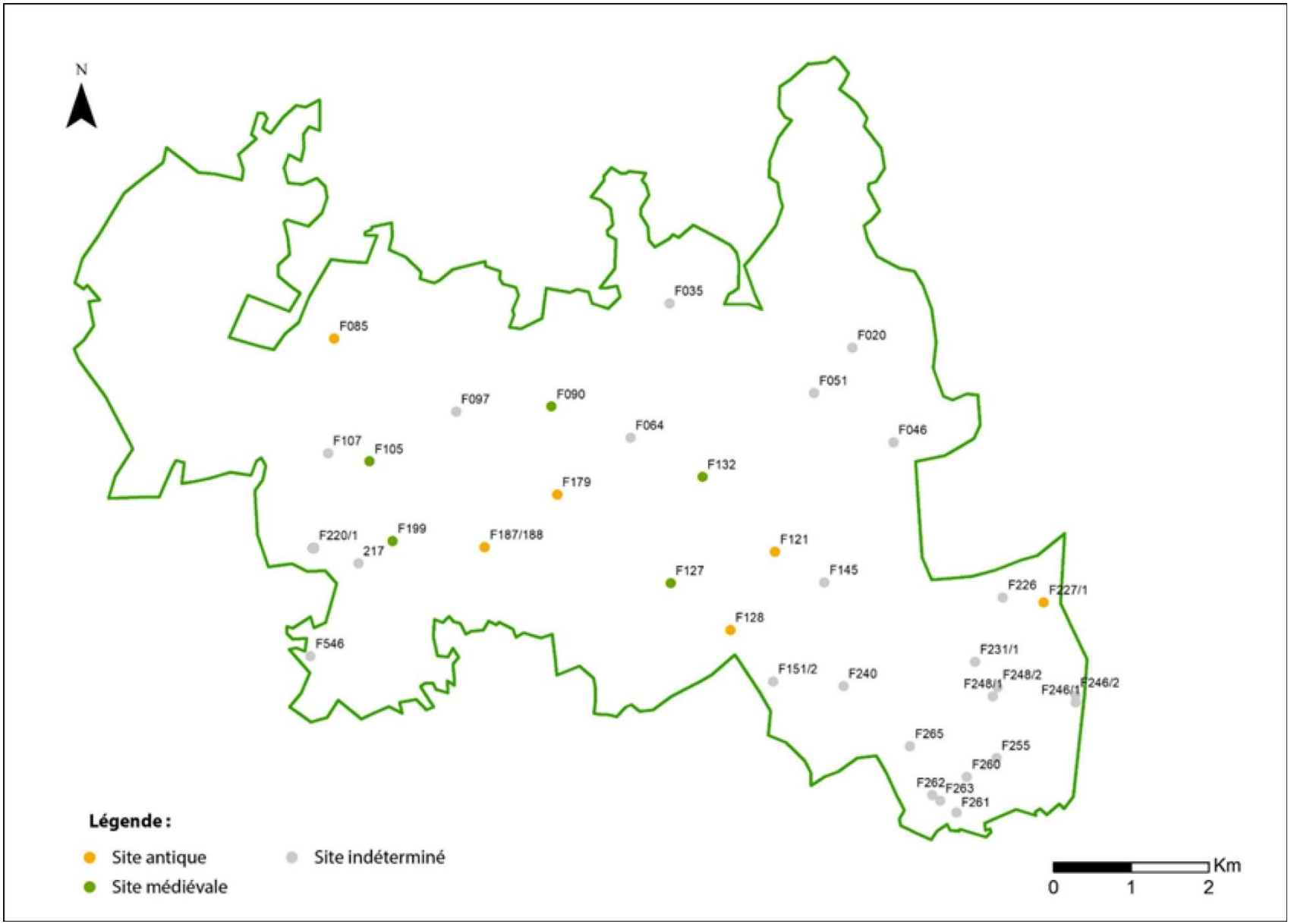


Fig. 160 : Carte représentant la datation des sites en fonction des vestiges ramassés

Conclusion

Les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux sont de deux types ; 20 sont des sites bicolores constitués de sédiment rouge et noir et répartis dans l'ensemble de la forêt ; 16 sont des sites constitués uniquement de sédiment noir et localisés surtout au sud du massif. L'existence de sites métallurgiques constitués de sédiments bicolores n'est pas inédite, on retrouve ce type de site aux Clérimois (Yonne) par S. Cabboi et C. Dunikowski (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 134-135) et dans le Poitou (SAINT-DIDIER 2017a : 77). L'idée la plus avancée est que la présence de ce sédiment rouge est le résultat du grillage du minerai sur place préalablement à sa réduction. Une autre hypothèse est que cette coloration est naturelle et causée par l'oxydation du fer présent dans le sol. En ce qui concerne la forêt de Châteauroux, l'étude géologique de la région a révélé que cette dernière option est possible au sud-est du massif. Néanmoins, les carottages réalisés sur plusieurs sites montrent qu'il est également probable que cette coloration rouge soit d'origine anthropique. On y observe d'ailleurs une surreprésentation des fragments de paroi qui pourrait en partie expliquer ce phénomène. Toutefois, en l'absence de fouille, aucune certitude n'est établie.

Les sites métallurgiques bicolores sont souvent très étendus. Le tas de scorie qui leur est associé présente généralement une hauteur plus importante et plus variable que sur les sites métallurgiques noirs. En l'absence d'image LiDAR, le calcul de la superficie des ferriers est moins précis, donc l'évaluation de leur volume est moins fiable. Toutefois, les ferriers associés aux sites noirs ont un volume principalement inférieur à 300 m^3. L'ampleur de la production de ces sites noirs peut donc être qualifiée de faible à moyenne et se positionne entre celle des ateliers du Poitou (SAINT-DIDIER 2017a : 85-86) et celle des plus petits sites du Bas-Maine (SARRESTE 2011 : 95). Les tas de scories présents sur tous ces sites ont trois types de formes : généralement circulaires et ellipsoïdaux pour les plus petits (moins de 35 m de longueur) ; en fer à cheval pour les plus grands (50 m de longueur et plus). Il existe un lien indéniable entre les dimensions d'un ferrier et leur forme dans cette région sidérurgique, comme à Boulogne/Chambord.

L'activité métallurgique mise en évidence dans le massif est la réduction directe du fer. Le concassage du minerai est également supposé sur deux sites où des « meules » rubéfiées et couvertes d'oxydes de fer ont été trouvées. Leur fonction est probablement similaire au bloc de grès rubéfié observé dans l'atelier F179. Les vestiges métallurgiques découverts permettent de restituer sur presque tous les sites l'emploi de fours de réduction à scories écoulées. Il s'agit probablement de fours circulaires dont la cuve est creusée directement dans le substrat et mesure environ 20 cm de diamètre pour 5 à 7 cm de profondeur. L'argile composant les parois des fours a une pâte similaire

sur l'ensemble des sites, il est donc probable que les métallurgistes l'aient directement prélevée dans la forêt. En outre, 12 sites montrent l'utilisation de structures de soutien en bois pour faciliter la pose de l'argile lors de la construction de la cheminée des fours. Ces structures étaient probablement constituées de bois de petit calibre (env. 1,5 à 2 cm de diamètre) qui a brûlé dès la première chauffe. Les artisans ont également réemployé des terres cuites architecturales dans l'architecture des fours de certains ateliers, en particulier sur les sites bicolores. Ces terres cuites sont très homogènes mais seules quelques *tegulae* sont identifiées. Des canaux de 5 à 8 cm de large, creusés devant les fours, devaient guider l'écoulement de la scorie. Sur quelques sites, l'emploi de tuyères ou de trou d'aération est également attesté. Elles disposaient de canaux d'environ 2 à 3 cm de diamètre. On peut penser que cette pratique n'était pas très répandue dans le massif où que ces vestiges sont en trop mauvais état de conservation pour être identifiés. Enfin, neuf sites, presque uniquement des sites bicolores, présentent des traces de rechapage des fours.

Les scories écoulées peuvent être classées en plusieurs types, dont les caractéristiques indiquent potentiellement l'existence de trois techniques de production métallurgique. Une première au nord-ouest du massif (peu de scories à cordons épais et nombreuses scories agglomérées), une deuxième au sud-est (association de plusieurs sous-types de scories écoulées) et une troisième en périphérie est et nord du massif (importante proportion de scories à cordons épais). L'étude des scories internes montre, quant à elles, quatre possible types de production différentes. Une au nord (large majorité de scories internes), une au nord-ouest et au centre (association de Scories Brunes Denses et de Scories Noires Vacuolaires), une au nord-est (Scories Brunes Denses, Scories Brunes Rugueuses et Scories Ferreuses) et une au centre et au sud-est (importante proportion de Scories Brunes Rugueuses). Il existe certaines similitudes entre les ateliers dont les productions pourraient être regroupées grâce aux scories écoulées et ceux grâce aux scories internes. Toutefois, ces analogies n'apparaissent pas clairement.

Quelques vestiges montrent qu'une activité de forge est associée à la réduction sur les grands sites bicolores F085, F240 et le site noir F546. Les foyers, restitués à partir de l'observation des culots de forge, mesurent en moyenne 10 cm de diamètre et semblent être forme circulaire. À l'exception d'un individu, ils caractérisent tous de petits travaux. L'analyse métallographique montre que les culots de forge sont relativement similaires avec de nombreuses inclusions d'oxydes de fer. Ces scories contiennent peu de métal, ce qui peut indiquer une bonne maitrise de la part des artisans. Une scorie au moins se rapport à un travail d'épuration de la loupe de fer (CHAT546).

Au moins deux phases de production métallurgique ont pu être mis en évidence dans cet espace géographique. Une première lors de l'Antiquité, entre le Ier et le IIIe s., et une seconde à la

période médiévale, entre les XIIe et XIVe s. La première phase prend place alors que la région connait une activité métallurgique très développée, notamment à travers les deux grands centres sidérurgiques que sont *Argentomagus* et *Avaricum*. Identifier et caractériser les ateliers antiques dans l'actuelle forêt de Châteauroux permet de combler un vide dans nos connaissances sur la métallurgie dans la région, relevé dans l'article de 2007 de L. Laüt sur la « Caractérisation des sites antiques dans les forêts du Berry et du Bourbonnais » (LAÜT 2007 : 103). La seconde phase de production observée apporte des données inédites quant à la production du fer au Moyen Âge dans la région. En effet, peu d'ateliers métallurgiques médiévaux y sont identifiés et étudiés. Certains sites restant non datés, il est toutefois possible qu'une telle activité ait fonctionné à d'autres périodes. Le massif de Châteauroux entretient au cours de son histoire un lien étroit avec la production du fer qui s'y implante régulièrement. Ce phénomène diffère de ce qui est observé dans la forêt de Boulogne-Chambord où la durée de l'activité est assez brève.

Enfin, les vestiges de production du fer ont parfois connu une seconde vie dans la forêt de Châteauroux. Certains ont contribué, comme dans le massif de Boulogne-Chambord, à la création ou à l'entretien de routes forestières ; d'autres ont été employés à la construction d'une motte castrale. Finalement, malgré une production active au cours du temps, la forêt de Châteauroux conserve peu de témoignages historiques de la métallurgie qui façonne en partie son histoire.

Les données présentées dans les deux chapitres précédents tendent à montrer l'existence de groupes d'ateliers de production du fer employant les mêmes méthodes de production et/ou une organisation spatiale similaire au sein des forêts étudiées. Ce chapitre vise à approfondir cette question en apportant des informations complémentaires portant sur la ou les signatures chimiques des ateliers métallurgiques ; Puis, en croisant ces nouvelles données à l'aide d'une méthode statistique avec les autres caractéristiques déjà présentées. Nous mettrons ainsi en évidence l'existence d'un ou plusieurs ensembles métallurgiques cohérents dans chaque forêt.

6.1 Des régions métallurgiques aux compositions chimiques différentes

La composition chimique de 90 échantillons de scories et possibles minerais issus des forêts de Boulogne-Chambord et de Châteauroux a été analysée par ICP-MS (***cf* vol.4, tab. 3 et 6**). Le traitement préparatoire des données brutes est décrit dans la première partie de cette thèse (*Supra* 3.3.3). Ces données ont permis la réalisation d'une analyse multifactorielle caractérisant la signature chimique des régions métallurgiques qui nous intéressent.

6.1.1 Analyse multifactorielle en Composante Principale : mise en évidence des régions de production métallurgique

Une ACP a été effectuée à partir de la composition en éléments traces de scories écoulées provenant des deux massifs forestiers étudiés et de celle d'autres sites métallurgiques principalement issus de la région Centre. Ces données viennent de publications mais aussi de quelques sites inédits (Noirlac, Barrou, etc.). Le choix de ne sélectionner que des échantillons de scories écoulées vise à obtenir des comparaisons fiables. La méthode statistique qui suit a été décrite dans la première partie de cette thèse (*Supra* 3.3.3).

Une première ACP est effectuée à partir des compositions chimiques des scories provenant de sites de l'Aude (FABRE, DOMERGUE, DABOSI 2016 : 308), du bas Maine (SARRESTE 2011 : 760-767), de Bretagne (VIVET 2001 : 61, 187 ; VIVET 2003 : 110), du Cher (REBOURS 2011 : 78-100) [169], de l'Indre[170], de l'Indre-et-Loire[171], du Poitou (SAINT-DIDIER 2013 : 711-721) et de Puisaye (BERRANGER *et al.* 2020 : 293-297). Cela représente au total 693 analyses. Les résultats de cette ACP

169. Données provenant également du site de Noirlac, en cours d'étude.
170. Données fournies par N. Dieudonné-Glad pour le site de Meunet-Planches.
171. Données fournies par F. Sarreste pour les sites d'Amboise et Barrou.

sur le plan factoriel 1-2 montre que les scories du site de Boulogne-Chambord ont une signature homogène, en bleu sur le diagramme, et bien distincte des autres zones métallurgiques auxquelles elles sont comparées (**Fig. 161**).

La signature des scories de la forêt de Châteauroux est plus diffuse, en vert clair sur le diagramme. Les principaux éléments chimiques relatifs à ces distinctions sont détaillés dans le tableau ci-dessous (**Tableau 16** ; ***cf* vol.2, fig. 62**). Cette signature est différente de celle de Bretagne, de l'Aude, d'Indre-et-Loire ou d'autres scories analysées dans l'Indre. Toutefois, elle se confond avec une partie des signatures chimiques des scories de Puisaye, du Poitou, du Cher et du Bas Maine. Les autres plans factoriels n'apportent pas de discrimination particulière (***cf* vol. 2, fig. 63**).

Tableau 16 : Éléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP n°1

	-	+	Opposés
Axe 1	Cs, Rb, Sr	Gd, Dy	Sr-Dy
Axe 2			

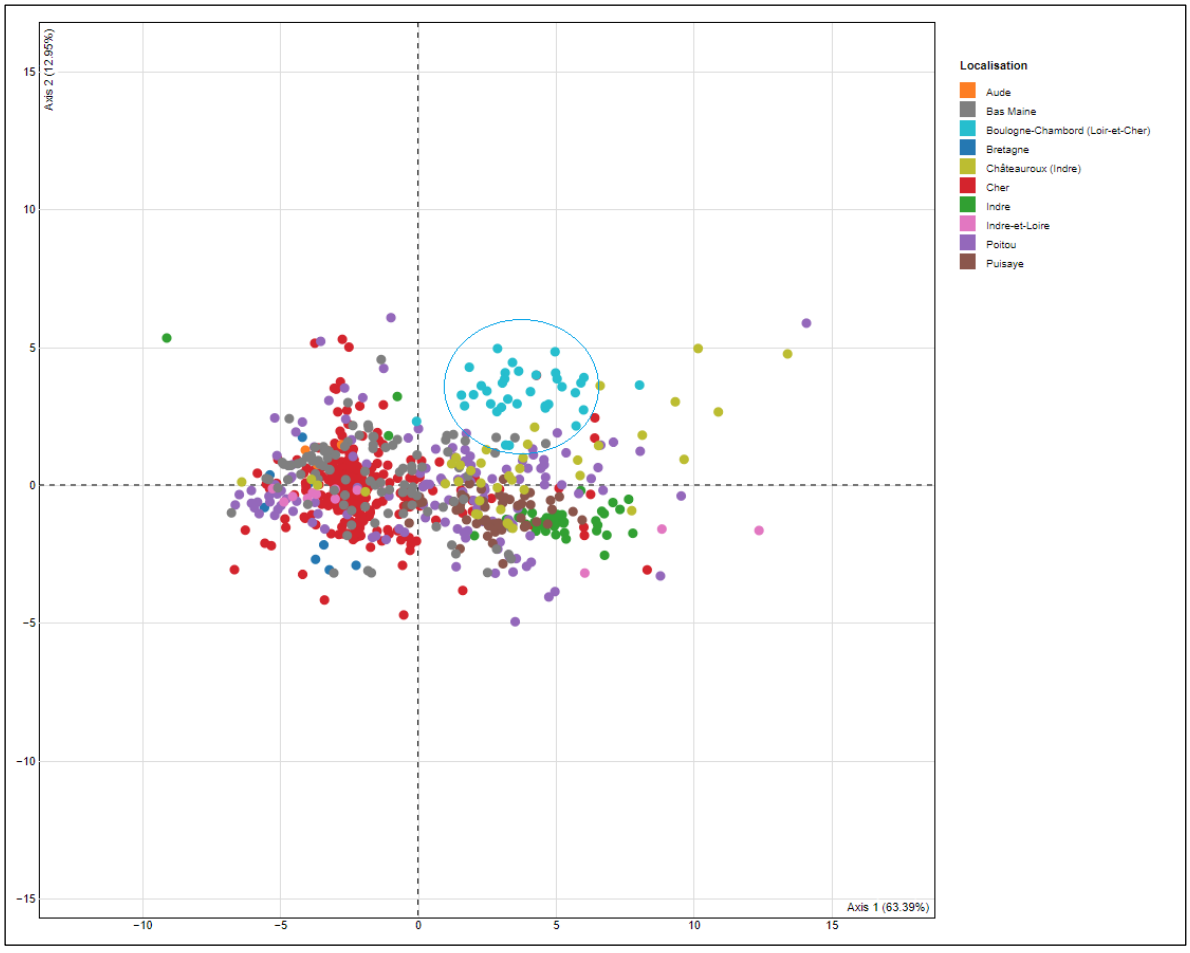


Fig. 161 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°1, réalisée à partir de la signature chimique de scories issues de huit régions de France

Châteauroux, plusieurs signatures chimiques ?

La signature chimique des scories de Châteauroux est étalée. Nous avons essayé d'en comprendre la raison. Une nouvelle ACP a été réalisée uniquement à partir des échantillons de scories écoulées du massif. Dans le plan factoriel 1-2, les résultats montrent trois groupes de signature. Le premier concerne quelques échantillons et contribue négativement à l'axe 1, alors que le second comprend un plus grand nombre d'échantillons, est plus concentré et contribue moins négativement à l'axe 1 (**Fig. 162**). La troisième signature, plus éclatée, contribue positivement à ce même axe. Elle a également plus de poids sur l'axe 2, que ce soit positivement ou négativement. Le tableau de contribution aux axes indique les éléments chimiques responsables de ces différences (**Tableau 17 ; *cf* vol.2, fig. 64**). L'observation du plan factoriel 1-3 témoigne des mêmes distinctions (**Fig. 163 ; Tableau 18**).

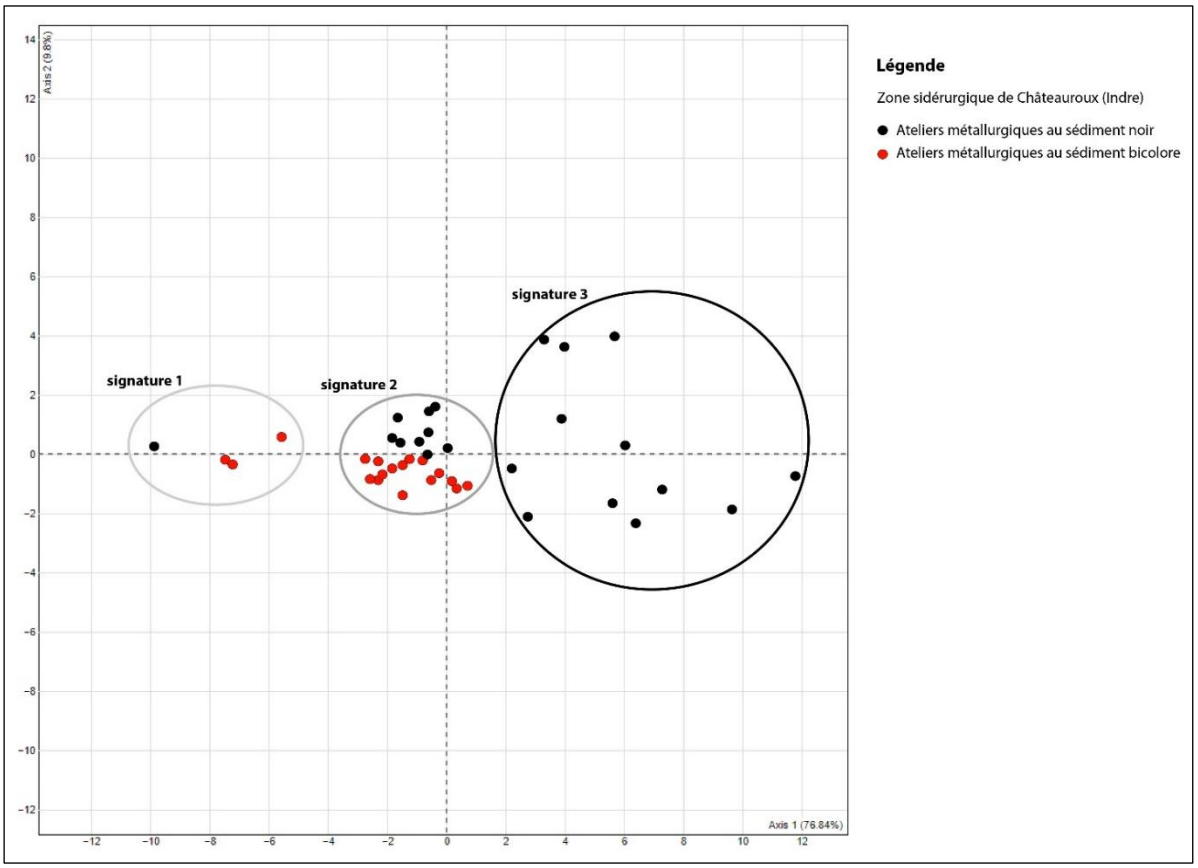


Fig. 162 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°2, réalisée à partir de la signature chimique des scories issues de sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

Tableau 17 : Eléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP n°2

	-	+	Opposés
Axe 1	Zr, Rb, Sr, Cs	Pr, La, Eu, Gd, Sm, Dy	Zr-Pr, Rb-Sm, Sr-Sm
Axe 2	Y		

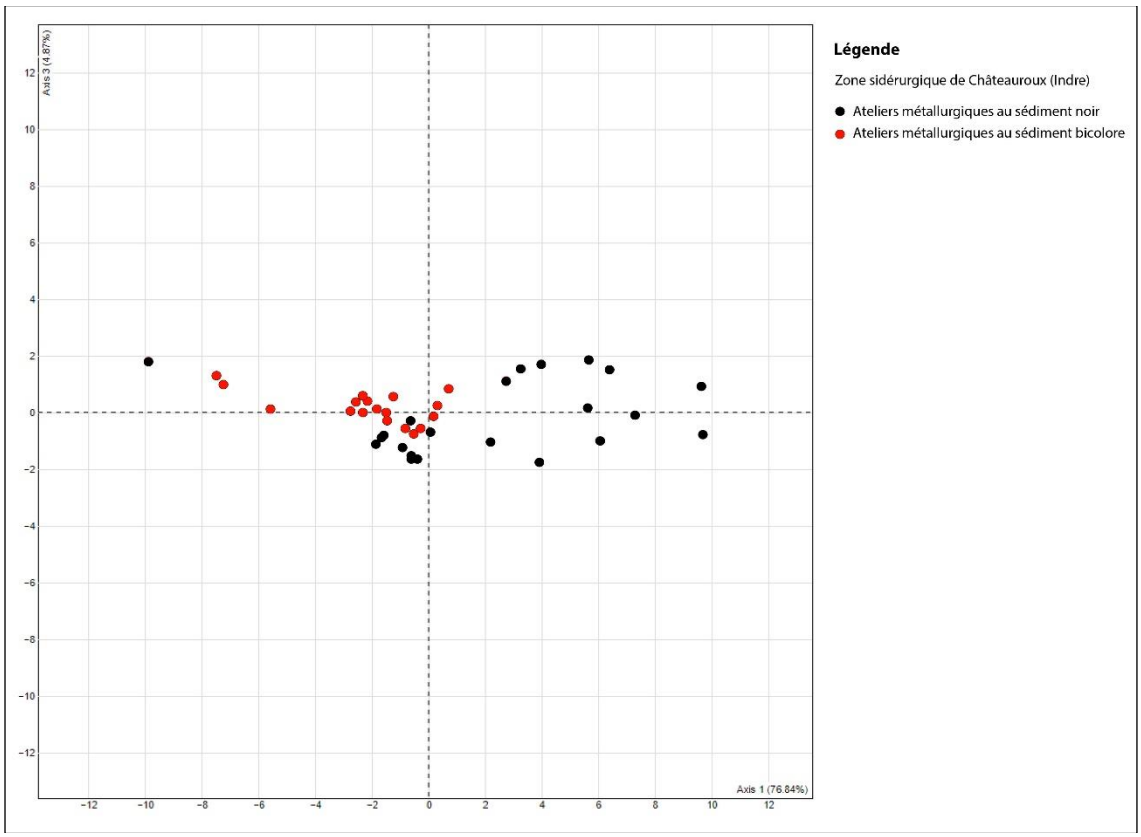


Fig. 163 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°2, réalisée à partir de la signature chimique des scories issues de sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

Tableau 18 : Éléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 3 dans le plan factoriel 1-3 de l'ACP n°2

	-	+	Opposés
Axe 1	Th, Hf, Zr, Ba	Gd, Dy, Ho, Eu, Lu	Th-Eu, Ba-Lu, Zr, Ho
Axe 3	Y		

Lorsque l'on introduit le type de site métallurgique, c'est-à-dire s'il s'agit d'ateliers au sédiment noir ou d'ateliers au sédiment bicolore, on constate une répartition particulière. La signature 1 caractérise principalement l'atelier au sédiment bicolore F179 (3 échantillons sur 3 analysés). Bien qu'un échantillon du site F105/1 y soit également observé, les quatre autres correspondent à la signature 3. La signature 2 regroupe les échantillons provenant de trois ateliers au sédiment bicolore, F085/1, F051 et F187/188 et deux ateliers au sédiment noir, soit F128 et F260. La signature 3 comprend les échantillons de deux ateliers noirs, F105/1 et F090. La composition en éléments traces des scories du dernier atelier, F199, se rattache en même temps à la signature 2 (2 échantillons) et à la signature 3 (2 échantillons).

La carte de répartition des ateliers en fonction de leur signature chimique montre que ceux de signature 2 se trouvent majoritairement en périphérie de la forêt actuelle alors que les sites à la signature 3 sont au nord et à l'ouest du massif (**Fig. 164**). F199, dont la signature n'est pas clairement établie, est localisé entre les deux.

Le nombre d'échantillon par site est trop faible pour apporter une certitude statistique. Néanmoins, il est possible de réaliser une première distinction entre des ateliers qui emploient des minerais différents. En outre, cette étude indique qu'il n'existe pas de lien strict entre le type d'atelier (sédiment noir ou bicolore) et la signature chimique des scories.

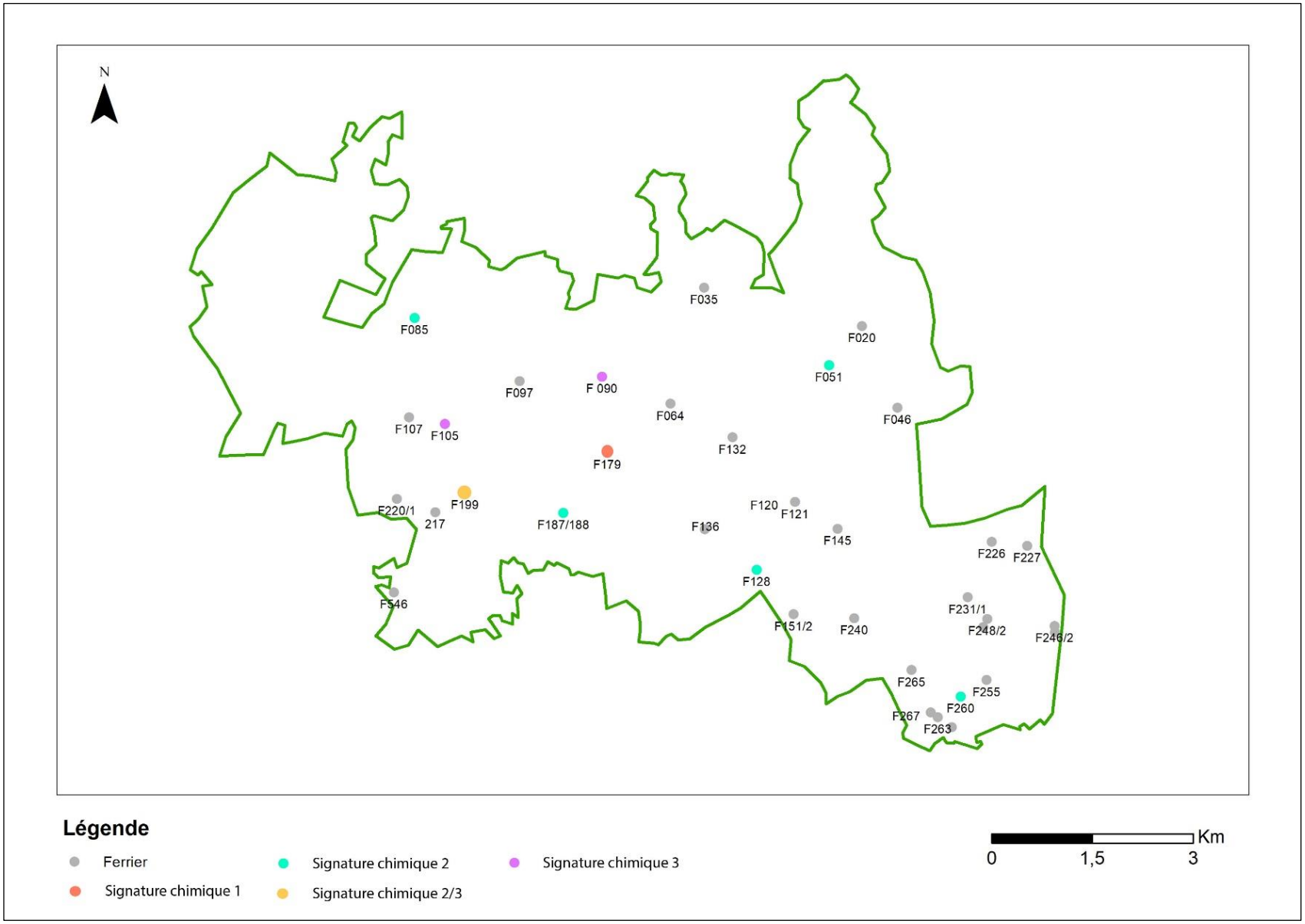


Fig. 164 : Carte de répartition des différentes signatures chimiques établies dans le massif de Châteauroux

Une troisième ACP comprenant les signatures d'ateliers de Boulogne-Chambord, de l'Aude, de la Bretagne, de l'Indre, de l'Indre-et-Loire et de la Puisaye permet de mieux visualiser la signature chimique de la région de Châteauroux. On constate ainsi que la signature 1 de Châteauroux est similaire à celle de certains sites de Bretagne et de l'Indre-et-Loire (**Fig. 165**). La signature 2 est visiblement proche de celle d'ateliers de Puisaye et de l'Indre. La signature 3 apparait plus éclatée et ne semble pas correspondre à une signature chimique connue pour l'instant. Les principaux éléments chimiques contribuant au plan factoriel 1-2 sont précisés dans le tableau ci-dessous (**Tableau 19** ; ***cf* vol. 2, fig. 65**). Les plans 1-3 et 2-3 montrent qu'une distinction entre la signature 2 et celle des ateliers de Puisaye peut être réalisée (***cf* vol. 2, fig. 66 et 67**).

Tableau 19 : Eléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 dans le plan factoriel 1-2 de l'ACP n°3

	-	+	Opposés
Axe 1	Cs, Rb, Sr, Zr, Hf, Th	Dy, Ho, Er, Gd, Sm, Nd	Th-Nd, Sr-Er, Rb-Dy
Axe 2	Ba	Y	Ba-Y

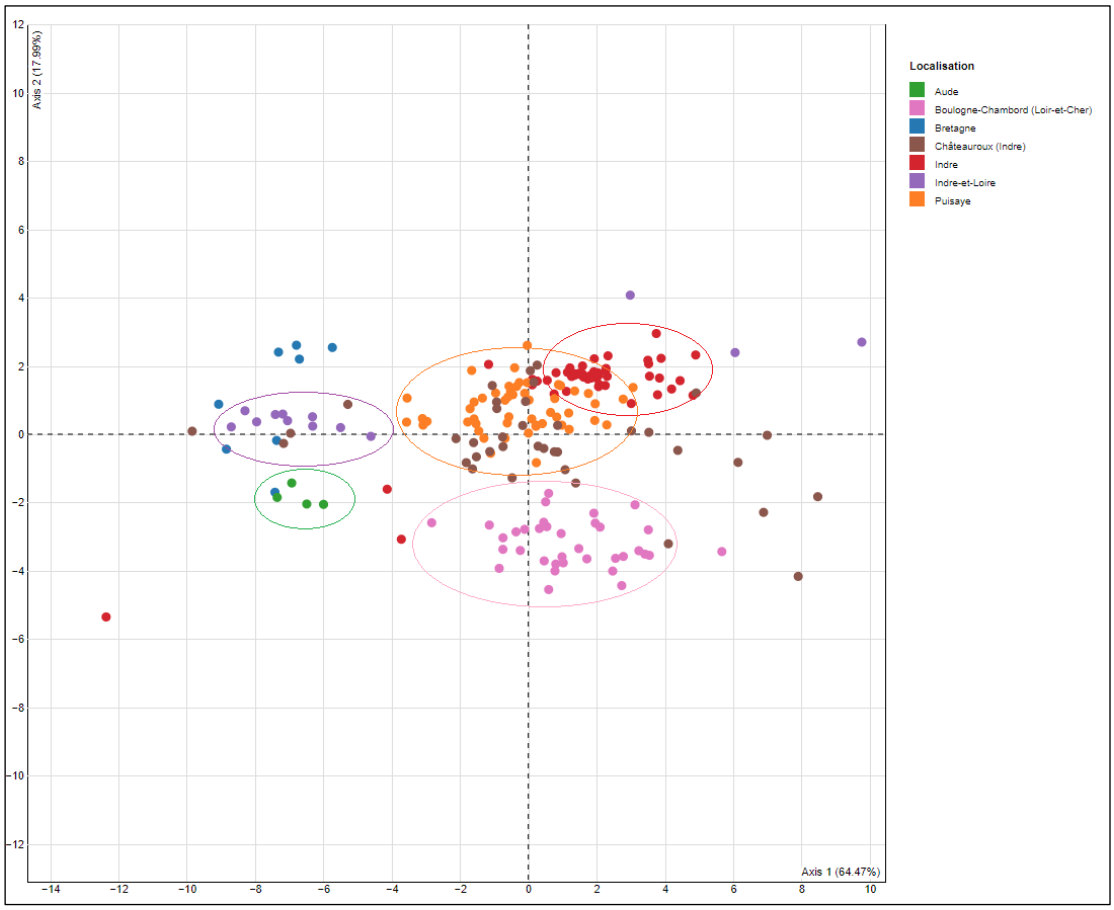


Fig. 165 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°3 effectuée à partir de la signature chimique de scories issues de l'Aude, la Bretagne, l'Indre, l'Indre-et-Loire, la Puisaye, Boulogne-Chambord et Châteauroux

Les minerais analysés sont-ils ceux employés pour la réduction ?

Les signatures chimiques des scories des zones métallurgiques de Boulogne et de Châteauroux étant établies, il est nécessaire de se questionner sur le minerai découvert sur ces sites. En effet, les fouilles d'ateliers réalisées dans chacun des massifs (*Infra* 7.3.1 et 8.3.1) ont mis en évidence la présence de fragments ferrugineux plus ou moins magnétiques qui pourraient avoir été utilisés comme minerai lors de la réduction dans ces ateliers.

La composition chimique de trois fragments provenant de l'atelier F090 de la forêt de Châteauroux et de quatre fragments issus de l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne a été analysée. Ces échantillons ont été ajoutés en tant qu'individus supplémentaires à une ACP réalisée à partir de la composition des seules scories de ces deux régions métallurgiques. La projection des données dans le plan 1- 2 indique que seulement deux échantillons sur les quatre provenant de la forêt de Boulogne pourraient correspondre au minerai employé dans l'atelier (**Fig. 166 ; *cf* vol.2, fig. 68**). Il s'agit de ECH_F155_2020_18 et 21. En ce qui concerne Châteauroux, la composition chimique des échantillons de minerai n'est pas exactement similaire à celle des scories. Une seule se rapproche des scories de prospection aussi bien dans le plan factoriel 1-2 que dans celui 1-3 (**Fig. 167**). Elle caractérise l'échantillon ECH_F090_2019_18.

Ces observations sont importantes pour restituer le bilan de matière dans les fours de réduction et ainsi tenter de déterminer la quantité de métal produit (*Infra* 7.3.1 ; 8.3.1). Toutefois, elles montrent que ce travail est plus complexe pour la forêt de Châteauroux puisque nous ne disposons pas du type exact de minerai employé dans l'atelier F090.

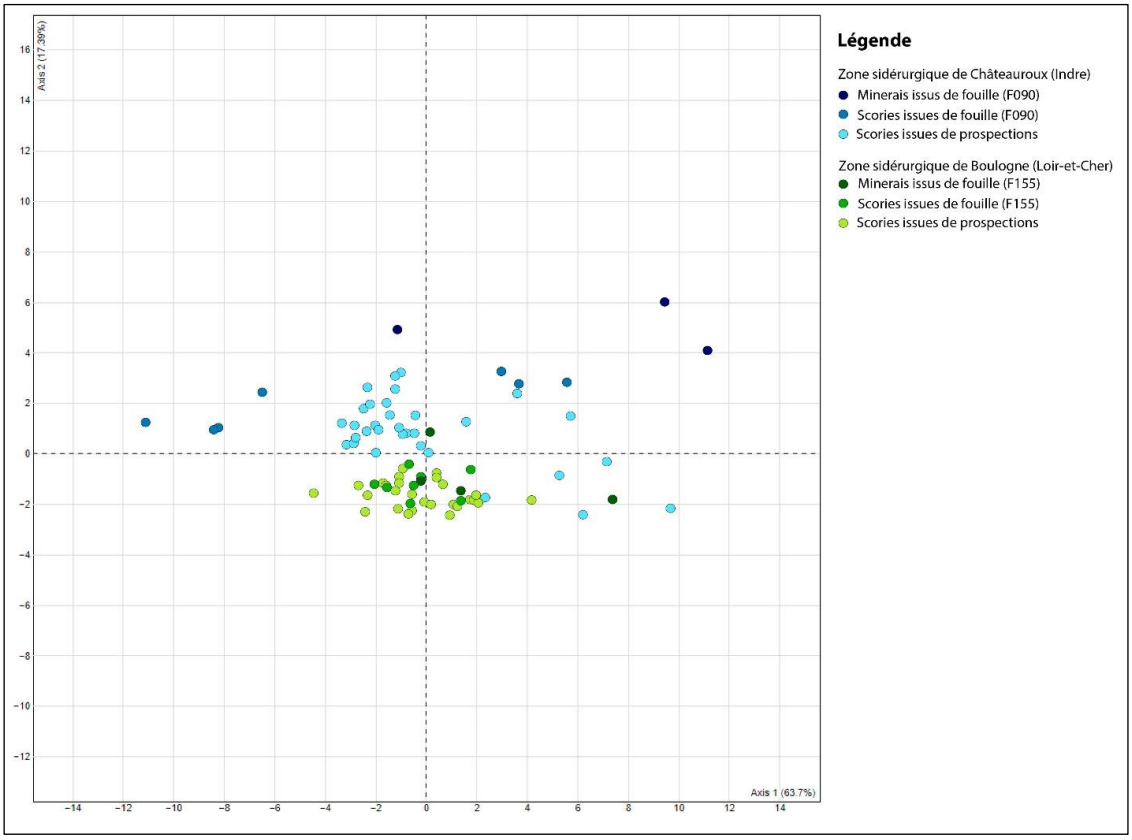


Fig. 166 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°4, réalisée à partir de la signature chimique de scories provenant des massifs forestiers de Châteauroux et de Boulogne-Chambord.

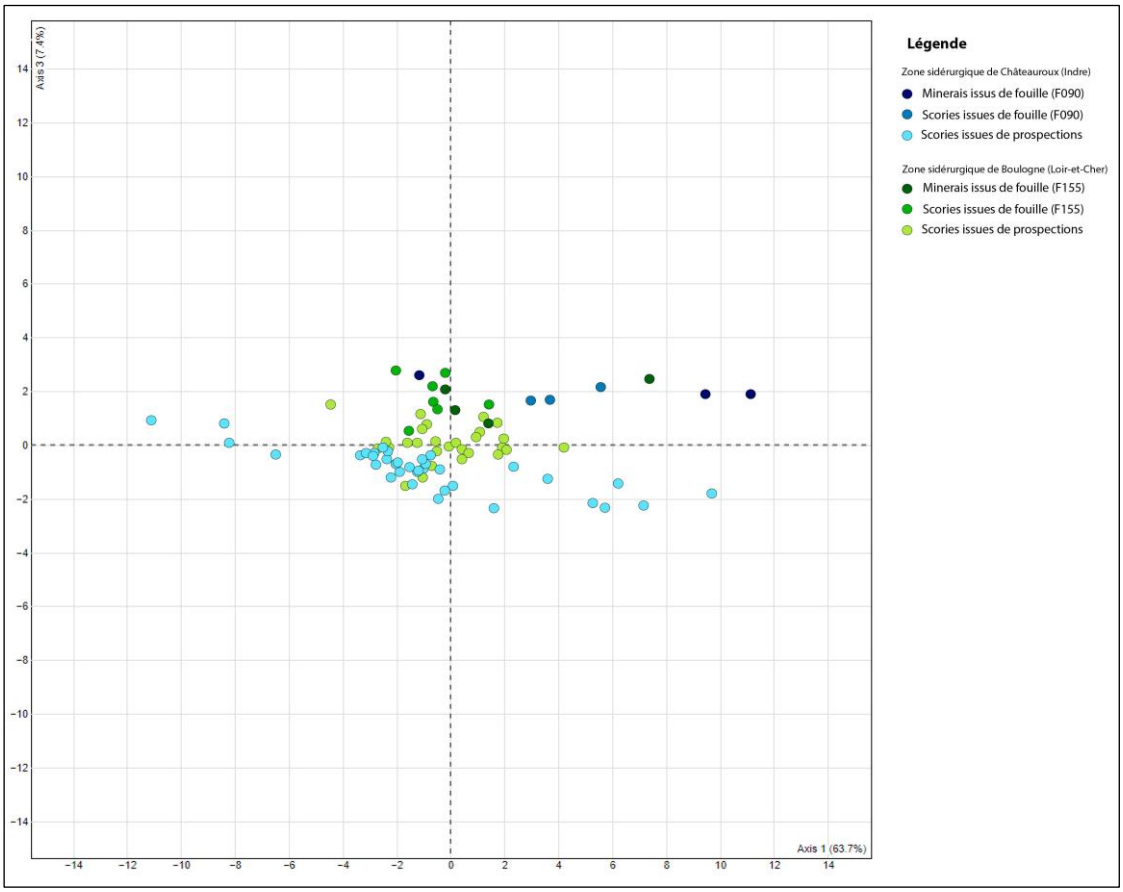


Fig. 167 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°4, réalisée à partir de la signature chimique de scories provenant des massifs forestiers de Châteauroux et de Boulogne-Chambord.

Quelles origines pour ces minerais ?

L'origine du minerai utilisé dans l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne-Chambord est difficile à établir. En effet, l'étude de la carte géologique montre peu de sources potentielles en fer dans son environnement immédiat et elles sont assez peu fournies (*Supra* 2.1.1). Il faut donc chercher une origine plus lointaine. Au sud de Villefranche-sur-Cher, la « formation d'Ardentes », située à environ 35 km à vol d'oiseau de la forêt de Boulogne-Chambord, est composée de sables, de graviers et galets, de granules ferrugineux, dans un liant argileux (Pliocène terminal ou Quaternaire ancien) (***cf* vol.2, fig. 69**). On y trouve une seconde formation géologique nommée « formation sidérolithique » qui comprend de l'argile, du grès ferrugineux, du conglomérat et des pisolithes de fer (noté Fw sur la carte) (DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010 : 29). En outre, au nord-est de Salbris (env. 40 km de Boulogne) et au nord de Châtre-sur-Cher (env. 50 km de Boulogne), des faciès sidérolithiques indifférenciés (Eocène inférieur à supérieur) comprennent de l'argile grise à rouille, des argiles sableuses, à silex, et des argiles bariolées à pisolithes. Enfin, on peut également mentionner la présence de haldes de minerai de fer et de ferriers actuels à Vierzon (env. 55 km de Boulogne).

La région de Châteauroux, contrairement à celle de Boulogne, présente de nombreux gisements de minerai de fer. Une carte de 1682 représentant la région, signale d'ailleurs une minière de fer, située entre Laage et Blenay, à l'est de Châteauroux (Lieu-dit « les Minerais »), et deux « vieilles minières de fer », l'une localisée entre Chastre, Buxerolles et Bofarderie, et l'autre entre Chastre, Sacierge et Ferriere (***cf* vol.2, fig. 70**). L'examen des microtoponymes montre l'existence d'un lieu nommé « Minière » au nord de la forêt de Châteauroux, non loin d'un lieu-dit *Taillis du gros four*. Une importante source de minerai de cette région est la formation d'Ardentes (FA), localisée entre la partie sud-est de la forêt de Châteauroux et la ville de Bommiers et datée de la période quaternaire (*Supra* 2.2.1). Elle est composée de sables, de graviers et de granules ferrugineux (0 à 10 m de profondeur). Une autre source de minerai potentielle comprend les séries d'altérations datées de l'éocène. Elles correspondent à un remaniement des couches jurassiques principalement sous forme de cuirasses ferralitiques comprenant de l'argile à minerai de fer pisolithique (e4-7, e5-7 ; e6-7), dont la formation de Brenne, et une couche à argiles marbrées, blanches et rouges, à pisolithes ferrugineuses et sables quartzeux (eS-eA). Enfin, une troisième origine du minerai peut être les plateaux calcaires jurassiques qui constituent la couverture calcaire du Poitou et qui sont régulièrement composés d'oolithes ferrugineuses. Il est donc probable que le fer, produit en quantité dans la forêt, ait été fabriqué à partir d'un minerai issu de la région. A partir de ce constat, on peut présumer que la signature chimique des ateliers métallurgiques de ce massif correspond à la signature chimique de l'une des couches géologiques susmentionnées. L'identification de ces signatures est possible en comparant le contexte géologique des sites métallurgiques ayant une signature chimique

similaire à celle de Châteauroux. Pour ce faire, une analyse multifactorielle comprenant les signatures des scories de ces sites est réalisée, soit 494 échantillons provenant de 39 sites.

Les résultats montrent dans le plan factoriel 1-2 que la signature 2 des ateliers de Châteauroux est similaire à celle de 15 autres ateliers situés entre le nord de Niort et le sud de Bourges : Nozières « Les Nounins » (18), Augé (23), Saint-Cyr (37), Luzay (79), Pas-de-Jeu (79), Puy-de-Serre (85), Béruges (86), Bonneuil-Matours (86), Civaux (86), Curçay-sur-Dive (86), Gizay (86), Haims (86), Le Vigeant (86), Liglet (86) et Liniers (86) (**Fig. 168** et **Fig. 169**). Dans cette ACP, il y a autant d'éléments chimiques qui contribuent positivement que négativement à l'axe 1 alors qu'un seul élément contribue positivement à la construction de l'axe 2 (***cf* vol. 2, fig. 71)**. Leur contribution est détaillée dans le tableau ci-dessous (**Tableau 20**). La similitude de la signature chimique de ces sites est confirmée par les résultats des plans factoriels 1-3 et 2-3 (***cf* vol. 2, fig. 72 et 73**).

Tableau 20 : Éléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 de l'ACP n°5

	-	+	Opposés
Axe 1	Cs, Rb, Zr, Hf, Sr, Th	Gd, Dy, Ho, Er, Eu, Sm	Rb-Dy, Hf-Eu, Sr-Ho
Axe 2		Ba	

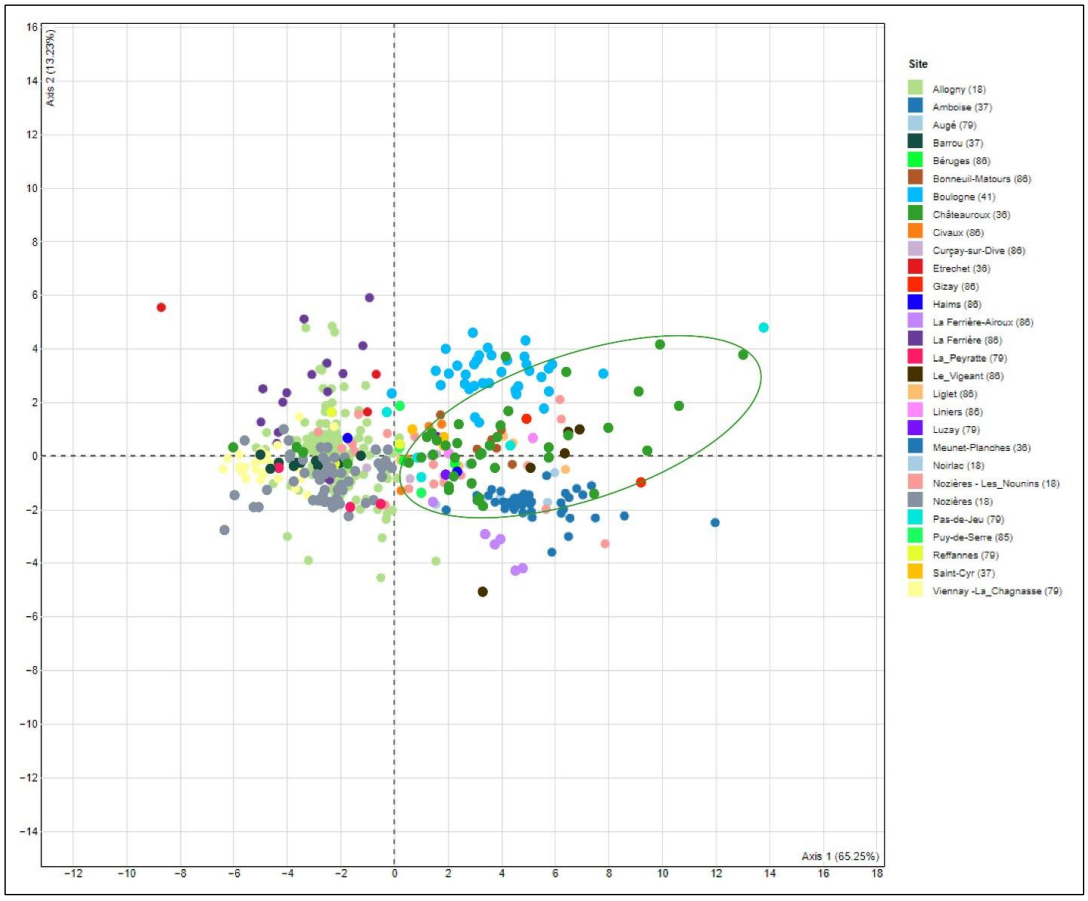


Fig. 168 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°5 réalisée à partir de la signature chimique de scories du Centre de la France (en vert : les scories de Châteauroux)

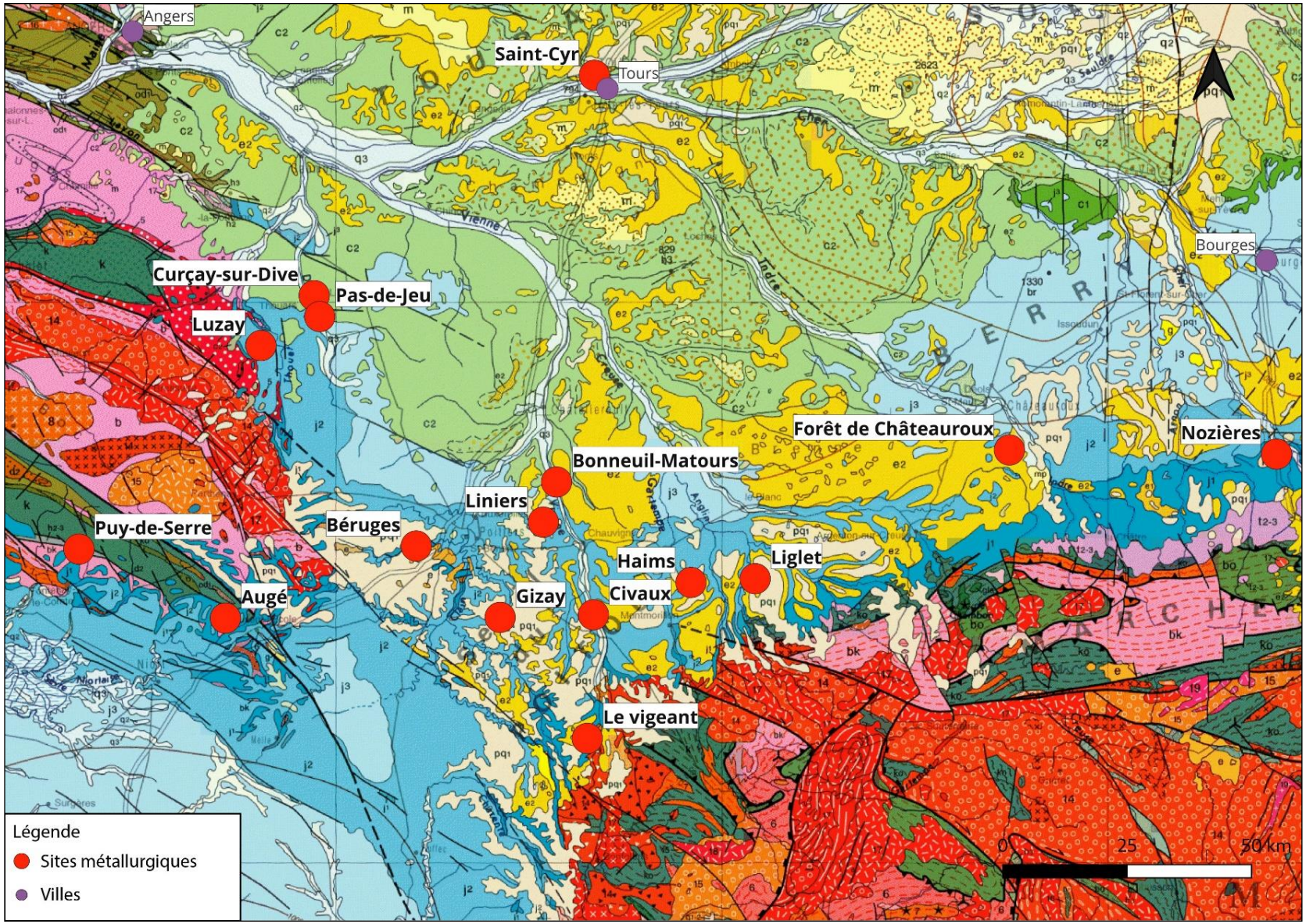


Fig. 169 : Localisation des sites métallurgiques à la signature chimique similaire sur la carte géologique

La projection sur la carte géologique des sites dont les scories ont une composition élémentaire proche de la signature 2 de Châteauroux, témoigne du fait qu'ils se trouvent tous sur ou à proximité de couches ferrugineuses jurassiques et/ou de leurs couches d'altérations éocènes (**Tableau 21**). Il est donc probable que le minerai associé à cette signature provienne de ces couches.

Tableau 21 : Tableau détaillant les couches géologiques caractéristiques des régions métallurgiques ayant une signature chimique similaire à la signature 2 de Châteauroux

Site	Couches géologiques	Couches géologiques avec minerai de fer potentiel	Référence
Saint-Cyr (37)	C2	**Crétacé supérieur : C2b.** Cénomanien supérieur : « Marnes à Ostracées ». Ce sont des marnes plastiques blanches, légèrement glauconieuses qui passent au sommet, à une craie glauconieuse tendre, grise ou blanche, fossilifère. Son épaisseur est d'environ 20 mètres. **C3 : Turonien** : Craie blanches à grises avec silex noir par endroit. Présence d'hydroxydes de fer. Présence affleurante entre Souvigné et Sonzay. Env. 20 m de profondeur	Carte géologique Tours
Pas-de-Jeu (79)	j3 -j2	J**urassique « Bathonien » : (j2)** Surface durcie entre le Bathonien sup et le Callovien. Elles comprennent des encroûtements ferrugineux et des cavités dont le remplissage comprend des oolithes ferrugineuses « **Callovien » : (j3)** sa partie inférieure est composée de calcaire fin, légèrement argileux avec oolites ferrugineuses.	Carte géologique de Thouars
Curçay-sur-Dive (79)	j3, j4, e6-e7	**Jurassique (j4)** : Marnes, calcaires argileux glauconieux, calcaires fins à oolithes ferrugineuses à ammonites. **Eocène : (e6-7) :** Poudingues siliceux, silcrètes et argiles. Poudingues et sédiments rougeâtres constitués d'un ciment ferrugineux et siliceux. Poudingues exploités localement.	Carte géologique Montreuil-Bellay
Luzay (79)	J2, j3, j4	**Jurassique (j4)** : Marnes, calcaires argileux glauconieux, calcaires fins à oolithes ferrugineuses à ammonites	Carte géologique de Thouars
Châteauroux (36)	j1, e5-7S ; FA	**Eocène : E5-7 :** Cuirasses ferrugineuses. **Quaternaire : FA** = Sables et graviers de la formation d'Ardentes. Sables grossiers, de couleur rougeâtre. Se trouve sur les formations éocène supérieure. Elle pourrait dater d'un quaternaire ancien	Carte géologique Velles
Nozières (18)	FA ; e4-7; e6-7	**Eocène : (e4-7) :** Formation de Brenne ; **(e6-7)** = cuirasse ferralitique et argilite à minerai de fer pisolithique. **Quaternaire : (FA) =** Sables et graviers de la formation d'Ardentes	Carte géologique Saint-Amand Montrond
Liglet (86)	E4-7 ; eA -eS	**Eocène : Formation de Brenne (e4-7) =** série altéritique à pisolithes de fer se trouve entre le substratum et la série détritique supérieure. Elle se trouve majoritairement sur les points hauts. Des horizons pédogénétiques rougeâtre à pisolithes de fer se trouve dans la série détritique supérieure. Cette formation représente le faciès Sidérolithique de cette carte.	Carte de Bélâbre
Bonneuil-Matours (86)	eS-eA ; P	**Eocènes (eS-eA)**: Argiles bariolées sableuses (en surface) : Des argiles marbrées, blanches et rouges, à pisolithes ferrugineuses et sables quartzeux ont été cartographiées d'une façon discontinue sous le terme général d'éocène. **P :** argiles bariolées blanches et rouges, sableuses, à graviers de quartz et pisolithes ferrugineuses. Une partie de ces matériaux correspond au remaniement des terrains éocènes.	Cartes géologiques Chauvigny
Haims (86)	eA-eS ; P	**Eocènes (eS-eA):** Argiles bariolées sableuses (en surface) : Des argiles marbrées, blanches et rouges, à pisolithes ferrugineuses et sables quartzeux ont été cartographiées d'une façon discontinue sous le terme général d'éocène. **P :** argiles bariolées blanches et rouges, sableuses, à graviers de quartz et pisolithes ferrugineuses. Une partie de ces matériaux correspond au remaniement des terrains éocènes.	Cartes géologiques Chauvigny
Civaux (86)	eA-eS ; P	**Eocènes (eS-eA):** Argiles bariolées sableuses (en surface) : Des argiles marbrées, blanches et rouges, à pisolithes ferrugineuses et sables quartzeux ont été cartographiées d'une façon discontinue sous le terme général d'éocène. **P** : argiles bariolées blanches et rouges, sableuses, à graviers de quartz et pisolithes ferrugineuses. Une partie de ces matériaux correspond au remaniement des terrains éocènes.	Cartes géologiques Chauvigny
Gizay (86)	eA-eS ; P	**Eocènes (eS-eA):** Argiles bariolées sableuses (en surface) : Des argiles	Cartes

		marbrées, blanches et rouges, à pisolithes ferrugineuses et sables quartzeux ont été cartographiées d'une façon discontinue sous le terme général d'éocène. **P** : argiles bariolées blanches et rouges, sableuses, à graviers de quartz et pisolithes ferrugineuses. Une partie de ces matériaux correspond au remaniement des terrains éocènes.	géologiques Chauvigny
Liniers (86)	eA-eS ; P	**Eocènes (eS-eA):** Argiles bariolées sableuses (en surface) : Des argiles marbrées, blanches et rouges, à pisolithes ferrugineuses et sables quartzeux ont été cartographiées d'une façon discontinue sous le terme général d'éocène. **P** : argiles bariolées blanches et rouges, sableuses, à graviers de quartz et pisolithes ferrugineuses. Une partie de ces matériaux correspond au remaniement des terrains éocènes.	Cartes géologiques Chauvigny
Le Vigeant	M-pq ; i9-j1 ; eA-eS	**Jurassique : (I9-J1) :** Aalénien. Calcaires argileux, calcaires bioclastiques à cherts et silex, calcaires à oolithes ferrugineuses (1,75 à 9,50 m). **Eocène (eA-eS):** Brèches et argile silicifiées. Argile à minerai de fer pisolithique (0 à 12 m). Formation lacustre éocène : **m-pQ =** Facies à galet de quartz Bornais. Faciès qui remanie souvent des formations antérieures et peut prendre différents aspects. Dépôt qui comprennent souvent de nombreux pisolithes de fer	Carte géologique de l'Isle-Jourdain
Puy-de-Serre	Aj (AjFe); i4-j1	**Cénozoïque : (Aj) :** allotérites plus ou moins remaniées des dépôts jurassiques = argiles à silex et pisolithes de fer ; **AjFe :** Altérites enrichi en pisolithes de fer. Ces altérites sont abondant lorsqu'elles reposent sur le Toarcien. **Jurassique moyen : (i4-j1) :** Marnes bleues : marnes et calcaires argileux (5 à 10 m). Situés sur un niveau de calcaire rougeâtre à oolites ferrugineuses ; (i4) : Toarcien (4 à 5 m), idem ; (j1) = Aalénien (0,75 à 1,40 m). Calcaire argileux à oolites ferrugineuses.	Carte géologique Coulonge-sur-l'Autize
Augé	Aj ; i4-j1 ; Aj2Cp	J**urassique supérieur : (i4-j1) :** Formations des marnes bleues. Le Toarcien débute par une mince assise de calcaire gréseux à oolites ferrugineuses Après le Jurassique : F**ormations d'altération (Aj)** : Altérites de dépôts jurassiques et oligocènes. Localement, sur les parties hautes où affleurent les calcaires bajociens, bathoniens ou calloviens, les altérites argileuses s'enrichissent en pisolites d'oxydes de fer.	Carte géologique Saint-Maixent l'école et Mazières-en-Gatine

En ce qui concerne la signature 1 de la forêt de Châteauroux, elle est proche de celle des ateliers de Nozières (18), Allogny (18) ou encore Viennay (79) qui se trouvent à proximité de la Formation d'Ardentes (FA). Il est possible que les ateliers métallurgiques y aient employé cet autre minerai. Finalement, les ateliers caractérisés par la signature n°3 ne trouvent pas de comparaison. On peut alors supposer qu'ils ont été alimentés avec un autre minerai ou un mélange de minerai provenant des diverses ressources de la région. De nouvelles informations pourraient être obtenues en analysant d'autres échantillons de minerai de la région. Ce travail, qui nécessite de nouvelles recherches sur le terrain, est un projet à part entière qui a été initié et sera développé dans les prochaines années.

6.1.2 Les éléments aux proportions caractéristiques

L'analyse des éléments chimiques majeurs normalisés indique que le fer est présent en proportions variables dans les scories de Boulogne-Chambord avec une teneur comprise entre 40 et 75 %. Dans le massif de Châteauroux, cet élément est présent avec un taux compris entre 45 et 85 %, toutefois une nette différence apparait selon le type de site. Le fer est plus largement présent dans les scories écoulées des ateliers au sédiment bicolore (entre 70 et 85 %) que dans ceux au sédiment noir (entre 45 et 70 %). Cela indique une meilleure efficacité du procédé employé dans les ateliers au sédiment noir.

Le manganèse présente des teneurs particulièrement importantes sur les deux sites. Elle est en moyenne de 7,5 % dans les échantillons de Boulogne-Chambord (***cf* vol.2, tableau 56**). Dans la forêt de Châteauroux, elle est de 2,6 % en moyenne. Néanmoins, on peut distinguer deux ensembles de sites, ceux avec des teneurs importantes (env. 4,8 % en moyenne) et ceux avec des teneurs plus faibles (env. 1,3 % en moyenne). Les échantillons les plus riches en Mn proviennent principalement des sites métallurgiques au sédiment noir, soit F199, F090, F105/3 (10 échantillons). La teneur importante en manganèse dans les scories peut s'expliquer de plusieurs façons. Une partie provient, tout comme le magnésium, du charbon de bois (CHRZAVZEZ 2013 : 75), mais surtout cet élément chimique peut être apporté par le minerai, comme il semble que ce soit le cas à Boulogne-Chambord[172]. L'utilisation de minerai au manganèse est connue dans d'autres régions comme la Vallée de Vicdessos (entre 4 et 25 %) (DILMANN, TEREYGEOL, VERNA 2006 : 11-13). Le manganèse est un réducteur qui favorise la production de l'acier en diminuant la quantité d'énergie nécessaire à l'opération. Enfin, cet élément chimique peut provenir d'un ajout. En effet, il est présent dans les argiles colorées situées à proximité de gisement de roches manganésifères. On en trouve notamment dans le sud-ouest, au sein des calcaires jurassiques de Thiviers par exemple (AZEMA 1913: 134). Ce type d'argiles est connu en Dordogne, dans la Vienne, et dans la Loire inférieure. Leur formation géologique rappelle les argiles vertes qui apparaissent régulièrement dans la forêt de Châteauroux (LORENZ *et al.* 1990 : 20). Elles ont peut-être été utilisées comme ajout lors des opérations de réduction. Toutefois, la composition des argiles utilisées pour la fabrication des parois de four montre qu'elles sont largement dépourvues en manganèse. Il est donc peu probable que cette piste soit celle à suivre.

Les teneurs en césium, lanthane et néodyme sont également élevées dans la composition des scories de nos sites. Le césium à une teneur moyenne d'environ 1029 ppm pour les échantillons de de Boulogne (**Fig. 170**). Ce qui est proche de celle des échantillons du site de Gizay (86). La teneur en lanthane de Boulogne-Chambord et de Châteauroux est parmi les plus importantes (382 ppm en moyenne) avec Liniers, Gizay, Saint-Laurent-de-Jourdes, etc. Enfin, le néodyme est également très représenté à Boulogne-Chambord et Châteauroux (entre 400 et 430 ppm en moyenne) avec Le Vigeant, Liniers, Gizay et Saint-Laurent-de-Jourdes. Dans le massif de Châteauroux, deux tendances apparaissent de nouveau. Une partie des échantillons ont une teneur importante en césium (sup. 1 000 ppm). Ils proviennent des sites métallurgiques F105/1, F199, F090, un échantillon de F128 et un de F187/188. La teneur en lanthane et en néodyme est également très élevée (sup. 400 ppm) dans une dizaine d'échantillons provenant des mêmes sites. Bien que les teneurs exceptionnelles de ces éléments soient observées dans des échantillons provenant uniquement de ces sites, d'autres

172. Une teneur en manganèse comprise entre 5 et 10 % dans la roche définit un minerai de fer manganésifère (LEVAINVILLE 1930 : 516).

échantillons de scories issues de ces mêmes ateliers ont également des teneurs plus communes. Ce sont globalement les mêmes échantillons qui présentent toujours les teneurs les plus importantes. Ils correspondent à des fragments de scories internes et un échantillon de scories écoulées provenant de la fouille de l'atelier F090[173] ainsi qu'à des fragments de scories écoulées issus des ateliers F105/3 et F199[174]. Un échantillon provenant du site F128 est également toujours concerné (ECH_36_21).

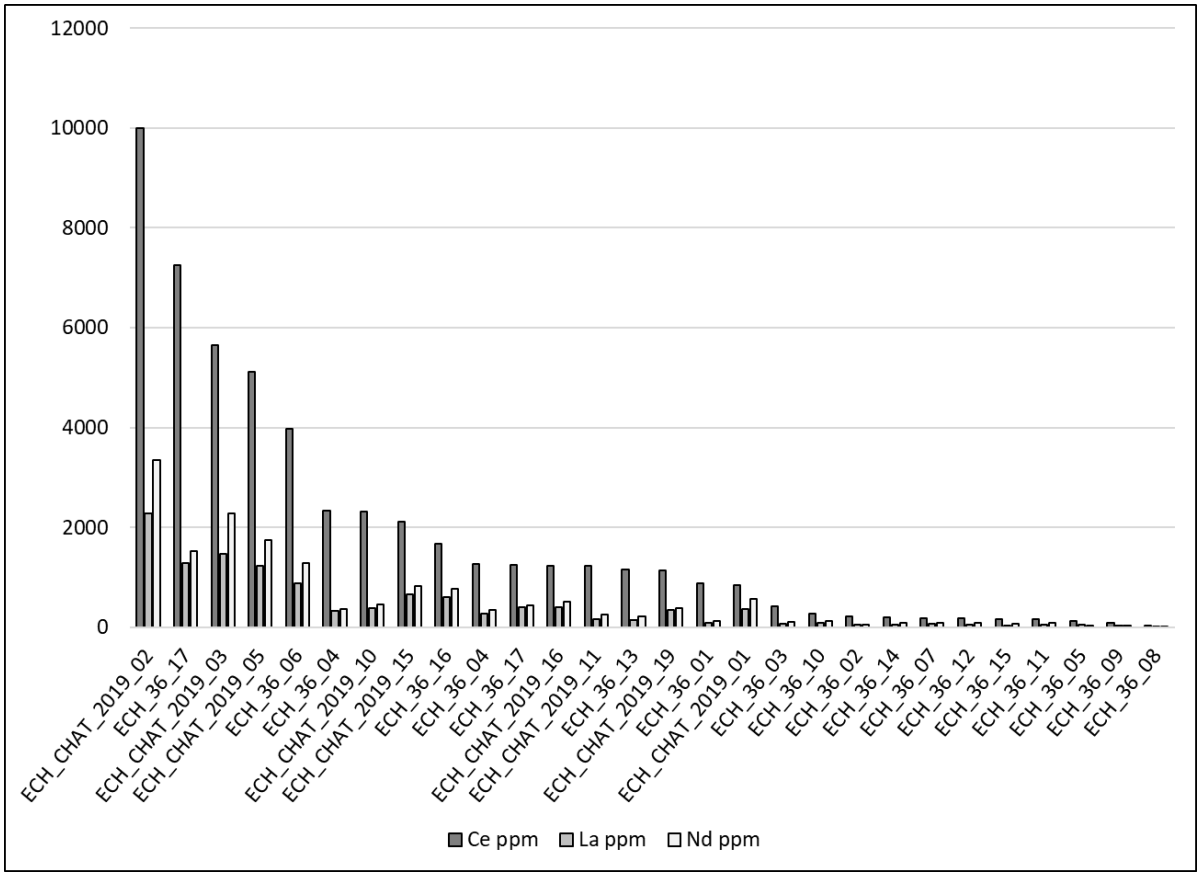


Fig. 170 : Diagramme des teneurs en Ce, La et Nd (en ppm) du massif de Châteauroux

En conclusion, l'étude de la composition chimique des scories de Boulogne-Chambord et de Châteauroux indique que ces zones métallurgiques sont chimiquement caractérisables. La forêt de Châteauroux dispose de trois signatures différentes dont la n°2 rassemblent des sites métallurgiques au sédiment noir et bicolore (F051, F085/1, F128, F188/187, F260) et la n°3 uniquement des sites métallurgiques au sédiment noir (F090, F105/3). Seul l'atelier F179 semble avoir sa propre signature (n°1) (**Tableau 22**). Les deux zones métallurgiques comprennent également cinq éléments chimiques aux teneurs caractéristiques. Elle ne concerne toutefois pas tous les ateliers de Châteauroux. Ces éléments chimiques sont le fer, le manganèse, en teneur plus élevée à Boulogne-Chambord, le césium,

173. ECH_CHAT_2019_02, ECH_CHAT_2019_03, ECH_CHAT_2019_05, ECH_CHAT_2019_15, ECH_CHAT_2019_16
174. ECH_36_06, ECH_36_16, ECH_36_17, ECH_36_28, ECH_36_36

le lanthane et le néodyme. Les échantillons ayant des teneurs plus importantes dans la forêt de Châteauroux sont les mêmes que ceux ayant la signature chimique n°3 (F105/3 et F090). On peut y ajouter le site F199 dont la signature est à la limite entre la n°2 et 3. La signature chimique et les éléments en teneur exceptionnelle semblent donc indiquer l'emploi d'une même matière première riche en manganèse et d'une même technique de production dans la forêt de Boulogne-Chambord. Elles dénombrent au moins trois méthodes de production du fer employant probablement des matières premières et/ou une technologie différente dans la forêt de Châteauroux. La signature n°2 de ce massif est très similaire à d'autres sites métallurgiques du Poitou pour lesquels on peut supposer l'emploi de minerai issus de couches géologiques ferrugineuses datées du jurassique et/ou de leurs couches d'altérations éocènes. La signature n°1 est similaire à celle des ateliers de Nozières et Allogny dans le Cher et la signature n°3 n'a pas trouvé de correspondance pour l'instant.

Finalement, seuls deux échantillons de minerai probablement employés pour la réduction en forêt de Boulogne-Chambord sont identifiés. Aucun échantillon n'a une composition chimiquement similaire à celle des scories de l'atelier F090 fouillé dans le massif de Châteauroux. Néanmoins, un échantillon se rapproche des ateliers à la signature chimique n°2.

Tableau 22 : Synthèse des caractéristiques chimiques des sites métallurgiques de Boulogne-Chambord et de Châteauroux (en gras, les teneurs très importantes)

Site	Caractéristique chimique	Eléments chimiques caractéristiques	Minerai identifié ?
Forêt de Boulogne-Chambord	1 signature chimique	Tous les sites analysés : **Mn (moy. 7,5 %)** Ce (moy. 1029 ppm) La (moy. 382 ppm) Nd (moy. 430 ppm)	**2 échantillons** correspondant
Forêt de Châteauroux	3 signatures chimiques	<u>Sites bicolores (4 sites)</u> Fe (70-85 %) Mn (1,3 %) Ce (moy. 425,5 ppm) La (moy. 114,9 ppm) Nd (moy. 162,9 ppm) <u>Sites noirs (5 sites)</u> Fe (45-70 %) Mn (4,8 %) Ce (moy. 1819,6 ppm) La (moy. 399,9 ppm) Nd (moy. 565,7 ppm)	**0 échantillons** correspondant pour la signature n°3 ; peut-être un échantillon pour la signature n°2

La caractérisation chimique des deux zones sidérurgiques qui nous intéressent est un premier pas pour mettre en évidence l'existence d'atelier ou de groupes d'ateliers ayant fonctionné sur le même modèle

dans ces massifs. Pour approfondir la question, nous allons combiner ces informations avec les caractéristiques morphologiques des ateliers et de leurs déchets à l'aide de la méthode statistique mentionnée en introduction.

6.2 Mise en évidence de groupes d'ateliers cohérents

Une précision concernant la terminologie employée dans cette thèse est nécessaire avant de détailler la méthode permettant de distinguer des groupes d'ateliers cohérents. En effet, il existe plusieurs dénominations pour mentionner des groupes d'ateliers métallurgiques. Toutefois, leurs définitions peuvent être sensiblement distinctes. Le terme le plus général correspond à une **zone de production métallurgique** (**Tableau 23**). Elle définit une concentration de sites de réduction, mais ne prend pas en considération les similitudes chronologiques, technologiques ou socio-économiques. Ce terme est notamment utilisé par N. Dieudonné-Glad (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 221-222), F. Sarreste (SARRESTE 2011 : 132-150) et G. Saint-Didier (SAINT-DIDIER 2017a : 97) dans leurs recherches. Une autre dénomination signale le même type de groupement, il s'agit de **district sidérurgique**. M. Mangin le définit ainsi : « espace géographique délimité dans lequel se concentre un nombre notable de sites miniers et/ou d'ateliers métallurgiques appartenant à une ou plusieurs périodes chronologiques, mais faisant de cette zone un secteur de production cohérent d'un point de vue spatial et métallifère » (DOMERGUE, LEROY 2000 : 148).

Ce terme est développé et critiqué dans les thèses de F. Sarreste (SARRESTE 2011 : 128) et G. Saint-Didier (SAINT-DIDIER 2017a : 97), il est donc inutile d'y revenir. Il faut néanmoins préciser qu'il pose quelques problèmes, car il considère plusieurs sites métallurgiques diachroniques, souvent miniers, et la période prépondérante est généralement surreprésentée par rapport aux autres. En outre, cette définition prend en compte un « nombre notable » de site. Or, les groupes de production organisés qui sont le sujet de la présente étude peuvent comprendre au minimum deux ateliers. N. Zaour utilise également dans sa thèse le terme de district, toutefois il n'a pas la même définition. Il s'agit alors d'un « ensemble (sous-entendu un groupe d'atelier métallurgique) ayant des caractéristiques (technologiques) communes ». Elle complète cette définition en précisant que « ces districts, généralement constitués de zones d'extractions, doivent prendre en considération des aspects temporels ou socio-économiques similaires » (ZAOUR 2021 : 62). En revanche, elle nomme **secteur de production** ce qui est défini comme un district sidérurgique par M. Mangin. Ainsi, par soucis de clarté, il est décidé de ne pas employer le terme de district sidérurgique dans cette thèse.

Tableau 23 : Détails des différentes dénominations des « groupes d'ateliers métallurgiques » et de leur définition dans le domaine de la recherche (en bleu : noms utilisés dans cette thèse)

Définitions	**Groupe de sites métallurgiques**	**Groupes d'ateliers organisés, de même époque, utilisant la même technologie et implantés selon une même organisation spatiale**
-	Zone de production métallurgique	-
-	Secteur de production	-
Groupes d'ateliers ayant des caractéristiques communes et ayant une temporalité ou des aspects socio-économiques similaires	District sidérurgique	-
-	-	Ensemble de production métallurgique
-		Tradition technique

La terminologie employée dans ce chapitre fait donc l'objet d'une réflexion afin de ne pas tomber dans le piège des dénominations à double sens. Les concentrations d'ateliers de production du fer de toutes périodes, techniques et conditions socio-économiques sont ainsi nommées dans notre étude des **zones de production sidérurgique**. Le développement d'un terme nouveau, dont la définition rassemble un plus grand nombre d'informations, s'est avéré nécessaire. On parle d'**ensemble de production sidérurgique** pour désigner un groupe d'ateliers appartenant à une même époque de production, utilisant la même technologie et/ou le même développement technologique et implantés selon une même organisation spatiale. Plusieurs ensembles de production sidérurgique peuvent fonctionner en même temps dans un massif forestier. Leurs différences peuvent par exemple s'expliquer par la présence d'artisans employant des techniques ou des matières premières différentes ou produisant un métal différent. Ces ensembles correspondent approximativement aux districts dont parle N. Zaour, sauf qu'ils prennent en considération les aspects chronologiques des ateliers. F. Sarreste, sans nommer ce genre de groupement, en propose un exemple hypothétique : la forêt de Sillé (Sarthe).

Dans un autre domaine, celui de la céramique du pays Dogon, l'ethnologue A. Gallay, nomme **tradition céramique** un « ensemble de production céramique disposant d'une part des mêmes caractéristiques techniques et esthétiques et d'autre part des mêmes conditions sociales et géographiques » (GALLAY, KALAPO, GUINDO 2002 : 9). Son discours s'appuie sur des populations récentes et relativement contemporaines, donc issues d'une même temporalité. Il explique l'existence de traditions techniques particulières par celles d'habitudes et de styles caractérisant un groupe humain occupant un même territoire. En effet, il met en évidence qu'à partir d'une base technique

commune (la production de céramique), l'utilisation de certains outils, de certaines ressources et d'un goût esthétique particulier entraine le développement de chaînes opératoires différentes (GALLAY *et al.* 2004 : 79-80). Il distingue même plusieurs traditions céramiques qui se recoupent au sein de la même zone géographique. C. Robion-Brunner, s'appuie sur le même principe pour montrer la présence d'une tradition sidérurgique en pays Dogon (ROBION-BRUNNER 2008). Dans le domaine de l'archéologie, l'étude de l'artisanat ancien ne repose pas sur les paroles et les gestes mais sur les vestiges des structures de production et leurs déchets. Le phénomène mis en lumière est toutefois similaire, qu'on l'appelle tradition technique en ethnologie ou ensemble sidérurgique en archéologie du fer. Cependant, notre réflexion est inverse. On s'appuie sur ce qui reste pour retrouver les gestes qui les ont engendrés. Cette méthode d'étude comporte plusieurs biais, dont le premier est l'observation macroscopique des déchets. Cette observation dépend en effet de la personne qui regarde. La typologie établie résulte donc de l'observateur, de son expérience et de son appréhension du monde extérieur, tout comme ses interprétations.

Dès les années 1990, et l'étude de zones sidérurgiques étendues, les chercheurs tentent de grouper les sites ayant pu fonctionner sur un même modèle. Tout d'abord, P. L. Pelet croise la datation, la localisation, la distance et la surface des ferriers du Pays de Vaud (Jura suisse). Il précise finalement qu'il est « impossible de dénouer les haldes de toutes époques » (PELET 1993 : 123). Ce problème résulte notamment du fait qu'il est difficile de dater tous les sites, soit par manque de moyen, soit à cause de l'absence de mobilier datant. En 2008, F. Sarreste approfondit la question en discriminant des groupements de sites ayant fonctionné dans un cadre commun ; il prend pour exemple la forêt de Sillé (Sarthe) (SARRESTE 2011 : 128). Il indique alors que ces groupes doivent comporter des datations communes et que les ateliers doivent avoir une même spécificité morphologique ou topographique. Il ajoute à sa réflexion la typologie des scories (internes et écoulées), la localisation des ateliers, le volume et la densité des ferriers ainsi que leur signature chimique (SARRESTE 2011 : 132-150). Ce type d'étude est également réalisé par N. Dieudonné-Glad pour la zone sidérurgique d'*Argentomagus* (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 235-251) et G. Saint-Didier pour le Poitou (SAINT-DIDIER 2011 : 95-96, 101-129). Les ateliers sont alors caractérisés par le type de sol sur lequel ils se trouvent et leur topographie. Plus récemment, en 2019, l'étude des zones sidérurgiques de Puisaye, dirigée par M. Berranger, met en évidence une typo-chronologie des ateliers en comparant les types de scories, la datation des ateliers et leur signature chimique (BERRANGER *et al.* 2019 : 77-92). La tentative de distinction des ensembles sidérurgiques n'est donc pas nouvelle. L'originalité de cette thèse est toutefois d'utiliser un traitement statistique des données pour tenter d'établir une cohérence entre les ateliers. Cette méthode pourrait en partie pallier à la complexité matérielle et financière d'obtenir des

datations, des signatures chimiques et des observations métallographiques pour l'ensemble des ateliers d'une zone de production métallurgique.

6.2.1 Les caractéristiques discriminantes des ateliers métallurgiques

Les recherches menées sur diverses régions métallurgiques indiquent qu'un ensemble d'ateliers métallurgiques est globalement caractérisé par trois types d'information. Premièrement, la technique de production employée par les artisans. Ces données proviennent de l'étude des déchets métallurgiques qui permettent notamment de restituer l'architecture des fours (type d'argile utilisé, présence éventuelle de tuyère ou non, de terre cuite vitrifiée, etc.) et la technologie utilisée (four à scories piégées ou écoulées, assemblage des différents conditions physico-chimiques, etc.). Deuxièmement, un ensemble métallurgique est défini par la morphologie et l'organisation spatiale des ateliers qui le composent, ainsi que les liens qu'ils entretiennent les uns avec les autres. L'hypothèse retenue ici est que les sites d'un même ensemble sont implantés en fonction d'une même logique. Le modèle d'implantation qui en découle peut-être commun à plusieurs ensembles. Il s'appuie généralement sur des éléments qui structurent le paysage comme les forêts, les routes, certains marchés, etc. Troisièmement, ces ensembles sont caractérisés par des données qu'il est difficile d'obtenir pour tous les ateliers : leur datation, leur signature chimique et la composition minéralogique de leurs scories. Toutefois, toutes les caractéristiques discriminantes ne se sont pas suffisamment fiables ou récurrentes pour caractériser un ensemble. Le paragraphe suivant présente ceux retenus et ceux non conservés pour les forêts de Boulogne-Chambord et de Châteauroux.

<u>Les indices technologiques de la production du fer</u>

Les types de déchets métallurgiques engendrés dépendent en grande partie de la technique de production utilisée ainsi que du minerai employé (*Supra* 1.3.2). Les proportions et la présence ou l'absence de certains types de déchet fournissent donc des indications sur les modes de production d'un atelier. Ces données sont considérées comme discriminantes. En rassemblant les ateliers présentant les mêmes caractéristiques, on peut ainsi déterminer l'existence d'un ou plusieurs ensembles de production. Les caractéristiques discriminantes (présence/absence, proportions limites[175]) sont définies à partir des études statistiques réalisées sur les déchets métallurgiques ramassés lors des prospections (*Supra* 4.3 et 5.3). Ils sont établis indépendamment dans chaque massif forestier. En effet, après comparaison, il s'avère qu'ils sont différents dans les deux forêts ou que leurs valeurs sont différentes.

175. Ces proportions limites correspondent aux seuils où l'on observe une distinction évidente des effectifs.

On relève quatre caractéristiques discriminantes pour les ateliers de la forêt de Boulogne-Chambord (**Tableau 24**). La première est la présence ou l'absence de scories en plaque (*Supra* 4.3.1 ; **Fig. 17** ; ***cf* vol. 2, tableau 11**). La présence ou l'absence de scories aux cordons agglomérés aurait également pu être prise en considération, mais cette donnée s'est finalement avérée peu indicative. La deuxième caractéristique est la proportion de Scories Brunes Rugueuses (plus ou moins de 60 %). Ce seuil est établi suite à la mise en évidence de deux familles de proportion de ces déchets dans les ferriers (*Supra* 4.3.2 *;* **Fig. 22** ; ***cf* vol. 2, tableau 13**). Ces deux caractéristiques indiquent une différence de fluidité de la matière scoriacée. La troisième est la présence ou l'absence de Scories Ferreuses. Ce sous-type est présent dans sept ferriers seulement et pourrait indiquer une technologie engendrant beaucoup de perte métallique. Enfin, la dernière caractéristique est la coloration des parois en argile (grise/noire ou rouge) (*Supra* 4.3.4 ; ***cf* vol. 2, tableau 15**). Cette information indique un contexte plutôt oxydant ou réducteur dans les fours.

Tableau 24 : Caractéristiques technologiques discriminants dans la forêt de Boulogne-Chambord

Caractéristiques technologiques			
Absence/Présence de scories en plaque	Absence/Présence de scories ferreuses	% Scorie Brune Rugueuse	Couleur des parois

Dans le massif de Châteauroux, cinq caractéristiques discriminantes sont définies (**Tableau 25**). Tout d'abord, la proportion des scories écoulées par atelier (plus ou moins de 50 %) (*Supra* 5.3.1, **Fig. 63**). Cette caractéristique est importante, car la fouille de l'un des ateliers a mis en évidence l'utilisation de fours à scories piégées (*Infra* 8.1.2 et 8.3.1). La proportion des scories écoulées permet donc de faire une première distinction entre les ateliers ayant engendré beaucoup de ces scories ou non. La seconde caractéristique est la proportion des scories à cordons agglomérés (plus ou moins de 30 %). De nouveau, on cherche à discriminer des technologies différentes. En effet, la fouille de l'atelier F090 montre que les scories à cordons agglomérés sont produites en quantité importante dans les fours à scories piégées (*Infra* 7.3.1). Ce sous-type de scories est principalement observé dans les ateliers du nord-ouest du massif avec un pourcentage massique supérieur à 30 % (*Supra* 5.3.1 ; **Fig. 68**). La troisième caractéristique est la présence ou l'absence de scories en plaque. Ce qui tend à indiquer une fluidité de la matière plus ou moins importante. Les deux dernières caractéristiques sont la proportion de Scories Brunes Rugueuses (plus ou moins 50 %) et la présence ou l'absence de Scories Ferreuses, tout comme à Boulogne-Chambord (*Supra* 5.3.2 ; **Fig. 83 ; *cf* vol. 2, tableau 42**). Deux caractéristiques initialement retenues se sont finalement avérées non discriminantes dans le massif de Châteauroux. Il s'agit de la présence de Scories Noires Vacuolaires et de la couleur des fragments de parois. Elles pourraient permettre de caractériser, respectivement, une technique de production particulière et les conditions dans le four lors de la réduction. Néanmoins, les données sont trop peu récurrentes ou trop homogènes pour être discriminantes dans ce massif.

Tableau 25 *:* Caractéristiques technologiques discriminants (en noir) et non discriminants (en rouge) dans la forêt de Châteauroux

Caractéristiques technologiques						
% scorie écoulée	Absence/Présence de scorie en plaque	% de scories à cordons agglomérés	Absence/Présence de scorie ferreuse	% Scorie Brune Rugueuse	Couleur prépondérante des parois	Absence/présence Scories Noires Vacuolaires

Finalement, ces deux massifs comprennent seulement trois caractéristiques technologiques communes (Présence/Absence de scorie en plaque, Présence/Absence de scorie ferreuse, % de Scorie Brune Rugueuse). À Boulogne-Chambord, on discrimine également la couleur des parois. En outre, la proportion des scories écoulées et des scories à cordons agglomérés sont employés uniquement dans le massif de Châteauroux.

Les ateliers, des caractéristiques spatiales et morphologiques particulières

L'organisation spatiale des ateliers peut être l'une des clefs de compréhension de la logique d'implantation des artisans et/ou des exploitants. En effet, ils sont généralement installés le long d'axes de communication ou à proximité de lieux de vente amenés à changer au cours du temps (*Infra* 9.2). La localisation des ateliers est donc une caractéristique discriminante intéressante pour les deux forêts du corpus (**Tableau 26**). Une seconde est retenue pour la forêt de Châteauroux, la morphologie des ateliers (atelier au sédiment noir ou bicolore) (*Supra* 5.1.1) (**Tableau 27**). L'analyse chimique des scories de ce massif conforte ce choix (**Fig. 162** et **Fig. 163**).

Dans le massif de Boulogne-Chambord la morphologie des sites métallurgiques est homogène, elle n'est donc pas discriminante. Deux autres caractéristiques initialement retenues sont écartées. D'une part, le type d'association des ateliers (isolés, groupés ou concentrés) (*Supra* 4.1.3), uniquement observé à Boulogne-Chambord, d'autre part, le volume des ferriers (*Supra* 4.1.2 et 5.1.2). Après vérification, ces deux caractéristiques ne sont pas associées à une période ou à une technique de production particulière, c'est pourquoi elles ne peuvent pas discriminer des ensembles de production métallurgique.

Tableau 26 : Caractéristiques spatiales et morphologiques discriminantes (en noir) et non discriminantes (en rouge) dans la forêt de Boulogne-Chambord

Caractéristiques Spatiales et morphologiques			
Localisation	Morphologie des ateliers	Type d'association	Volume du ferrier

Tableau 27: Caractéristiques spatiales et morphologiques discriminantes (en noir) et non discriminantes (en rouge) dans la forêt de Châteauroux

Caractéristiques Spatiales et morphologiques		
Localisation	Morphologie des ateliers	Volume du ferrier

Les caractéristiques ponctuelles

Les dernières caractéristiques intégrées à la distinction des ensembles métallurgiques ont été obtenues de façon ponctuelle et sont communes aux deux massifs de ce corpus. Leurs valeurs sont toutefois différentes.

La signature chimique des ateliers métallurgiques

L'analyse de la signature chimique des ateliers de Boulogne-Chambord et de Châteauroux montre que la production de ces deux régions est chimiquement distincte (*Supra* 6.1.1). Dans la forêt de Boulogne-Chambord, sept ateliers sont caractérisés par une signature chimique homogène, appelée dans cette étude statistique la signature de type 1 (**Tableau 28**). A Châteauroux, les signatures chimiques de neuf ateliers sont établies. Regroupées en une même région, trois signatures apparaissent. Nommées précédemment signature n°1, n°2 et n°3, elles sont renommées types 2, 3 et 4 dans la classification hiérarchique ascendante afin de les distinguer de celle de Boulogne-Chambord.

Tableau 28 : Synthèse des différents types de signature chimique mise en évidence

Type de signature chimique	Détail
Type 1	Signature unique Boulogne-Chambord
Type 2	Signature n°1 Châteauroux
Type 3	Signature n°2 Châteauroux
Type 4	Signature n°3 Châteauroux

L'analyse chimique des déchets de production est donc déterminante pour mettre en évidence des ensembles métallurgiques, notamment à l'échelle régionale. En outre, le site de Châteauroux montre qu'elle favorise également la distinction de production à l'échelle d'un même massif. Cette caractéristique est donc importante et fiable.

Les données de métallographie

L'analyse métallographique des scories de fond de four fournit des informations concernant les conditions de la réduction et le type de métal produit lors d'une opération. À Boulogne, deux types de production sont caractérisés (*Supra* 4.3.2) (**Tableau 29**). Le premier est défini par une certaine fluidité de la matière scoriacée dans les fours, associée à un refroidissement lent et hétérogène (technique 1). Cette technique favorise la formation de scories vitrifiées et vertes. Le second entraine la formation d'une matière scoriacée plus fluide dans les fours, associée à un refroidissement plus lent et plus homogène de la scorie (technique 2).

À Châteauroux, deux autres types de production sont distingués (*Supra* 5.3.2). Le premier a engendré une matière peu fluide dans les fours qui a refroidit lentement et de façon hétérogène. Les conditions de production ont favorisé une atmosphère réductrice à l'intérieur des fours de réduction et n'ont pas, ou, peu laissé d'éléments métalliques dans la scorie (technique 1). Le second type de production a entrainé la création de matière plus fluide dans les fours et/ou l'utilisation d'un ajout. Les scories ont refroidi moins lentement et de façon plus homogène. Elles ont été engendrées dans une atmosphère moins réductrice ce qui a probablement entrainé la présence plus abondante de nodules métalliques (technique 2). Ces deux techniques ont été respectivement renommées technique 3 et 4 dans le cadre de l'étude statistique afin de ne pas les confondre avec celles mises en évidence à Boulogne-Chambord.

Le type de scorie défini par l'étude métallographique semble donc être une caractéristique assez fiable pour qualifier plus finement les conditions de réduction.

Tableau 29 : Synthèse des différentes technique de production restituées grâce à la métallographique réalisée sur des scories de fond de four dans les massifs de Boulogne-Chambord et de Châteauroux

Technique	Description
Technique 1 (Boulogne)	- Scorie peu fluide ; - refroidissement lent et hétérogène ; - formation de scories vertes avec nodules métalliques.
Technique 2 (Boulogne)	- Scorie plus fluide ; - refroidissement plus lent et homogène ; - pas de nodules métalliques.
Technique 3 (Châteauroux)	- Scorie peu fluide ; - refroidissement lent et hétérogène ; - pas, ou, peu d'éléments métalliques.
Technique 4 (Châteauroux)	- Scorie plus fluide ; - utilisation d'un ajout ; - refroidissement moins lent et plus homogène ; - nodules métalliques plus nombreux.

La datation

La dernière information qui renseigne sur les ensembles de production est leur datation (**Tableau 30**). Elle permet notamment de discriminer des ateliers utilisant les mêmes techniques de production mais ne fonctionnant pas à la même époque. Ces données ont fait l'objet d'un développement dans chacune des parties consacrées à la datation individuelle des ateliers (*Supra* 4.5 et 5.5). Elles combinent les datations absolues (^{14}C) et relatives (céramique, TCA) obtenues au sein de chaque atelier (***cf* vol. 2, tableau 16 et 55**). Il s'agit de la dernière caractéristique discriminante relevée dans cette étude.

Tableau 30 : Synthèse des caractéristiques ponctuelles discriminantes des forêts de Boulogne-Chambord et de Châteauroux

Caractéristiques ponctuelles supplémentaires		
Type de signature chimique	Observations métallographiques	Datation

En conclusion, toutes les caractéristiques discriminantes n'ont pas la même importance pour définir un ensemble métallurgique. Leur détermination s'appuie principalement sur les caractéristiques technologiques (étude des déchets métallurgique). Elle intègre ensuite les caractéristiques morphologiques et spatiales de ces ateliers. Enfin, elle inclut des caractéristiques obtenues de façon non systématique. Toutes les caractéristiques relevées ne sont pas discriminantes d'un ensemble, il est donc important de vérifier leur fiabilité. Ainsi, les ateliers du massif de Boulogne-Chambord sont définis par quatre caractéristiques technologiques, une caractéristique spatiale et trois ponctuelles (***cf* vol. 2, tableau 57**) et ceux de la forêt de Châteauroux par cinq caractéristiques technologiques, deux spatiales et morphologiques et trois ponctuelles (***cf* vol. 2, tableau 58**).

6.2.2 Structuration du tableau de données et méthode d'analyse statistique

La méthode de mise en évidence des ensembles métallurgiques développée dans cette étude s'effectue en trois phases. D'abord, on réalise une classification hiérarchique ascendante à partir des seules caractéristiques technologiques afin d'obtenir des groupes d'ateliers disposant des mêmes particularités techniques. Le choix d'utiliser uniquement les caractéristiques technologiques résulte du fait que chacun des sites étudiés est caractérisés par ces données et que leur valeur peut être binaire. Or, cette condition est nécessaire à la création du tableau qui permet de réaliser la classification. Ensuite, on introduit les caractéristiques spatiales et morphologique et enfin les caractéristiques ponctuelles supplémentaires.

La méthode de classification nécessite dans un premier temps de transformer les valeurs qualitatives et quantitatives en données binaires chiffrées pour chaque atelier (***cf* vol. 2, Tableau 59 et 60**). Elles sont ensuite intégrées dans un tableau afin de réaliser une classification ascendante hiérarchique (CAH) (CHEVALIER, LE BELLAC 2012). Le principe est de rassembler les modalités d'une variable, définies au préalable, selon leur ressemblance. Cette classification est dite ascendante, car elle considère chaque observation comme un groupe puis les fusionne jusqu'à obtenir un seul et unique groupe qui contient toutes les observations. Elle est également hiérarchique, car elle produit une arborescence (dendrogramme) sur laquelle les différentes branches sont liées. Chaque division est construite en se basant sur la précédente. Pour réaliser des groupes d'atelier, on utilise la distance entre les observations. Il existe différentes façons de calculer une distance entre deux observations d'un point de vue mathématique. Dans le cadre de cette thèse, la classification est réalisée avec deux types de distance. D'abord, la distance euclidienne, c'est-à-dire la distance entre deux points dans un espace orthogonal classique, puis la distance binaire, plus adaptée à des données de type présence/absence (FAITH 1983). Les données sont alors considérées comme des suites binaires (0 ou 1, que l'on peut comprendre par absence/présence). On compte ainsi le nombre de fois où les symboles sont différents entre les deux observations pour avoir leur distance. En comparant les deux classifications, on peut ainsi mettre en évidence les ateliers qui sont toujours associés. Cela indique les regroupements les plus robustes mathématiquement, et ceux qui ont une tendance plus changeante. Cette méthode présente un intérêt indéniable pour regrouper les ateliers disposant des mêmes caractéristiques technologiques. Il est toutefois nécessaire dans certains cas d'apporter des arguments pour nuancer ces groupes, car la réalité est plus contrastée.

6.3 Restitution des ensembles métallurgiques

6.3.1 La forêt de Boulogne, un ensemble relativement homogène

La classification hiérarchique ascendante réalisée à partir des données des ateliers du massif de Boulogne-Chambord montre l'existence de deux groupes principaux comprenant un nombre similaire de site métallurgique (**Fig. 171** ; ***cf* vol. 2, tableau 61**).

Le **groupe 1** rassemble 21 ateliers[176] situés au centre, au sud et à l'ouest de la forêt. Il est défini par l'absence de scorie en plaque, de Scories Ferreuses, moins de 60 % de Scories Brunes Rugueuses et des parois principalement de couleur grise.

Le **groupe 2** est plus hétérogène. Il est divisé en deux sous-groupe. Le premier (groupe 2.1) rassemble 12 ateliers[177] également localisés au centre, au sud et à l'ouest du massif à l'exception de F489/1. Ils

176. F064/1, F094/1, F110/2, F139/1, F142/1, F145/1, F150/1, F151/2, F151/3, F153/1, F154/2, F156/2, F190/1, F190/2, F193/1, F194/1, F224/1, F447/1, F124/1, F124/2 et F129/3.
177. F131/1, F132/1, F137/4, F147/2, F155/1, F169/1, F185/1, F191/2, F193/2, F195/3, F371/1 et F489/1.

sont caractérisés par l'absence de scorie en plaque et de Scories Ferreuses, mais la présence de plus de 60 % de Scories Brunes Rugueuses. Ce sous-groupe est subdivisé entre les ateliers disposant d'une prépondérance de parois de couleur rouge (groupe 2.1.1) et ceux ayant principalement des parois de couleur grise (groupe 2.1.2). A ce niveau, on peut établir que cette caractéristique n'est finalement pas discriminante. Le second sous-groupe (groupe 2.2) comprend dix ateliers[178]. Ils se trouvent tous au sud-ouest du massif. De nouveau, la couleur des parois apparait comme une caractéristique qui n'est pas réellement discriminante, tout comme la proportion de Scories Brunes Rugueuses.

Les résultats obtenus sur ces ateliers avec la méthode de classification hiérarchique ascendante sont exactement les mêmes avec le calcul de distance binaire et le calcul de distance euclidienne (***cf* vol. 2, fig. 74**). Ce phénomène est probablement dû au nombre limité de caractéristiques discriminantes pour ces ateliers. Dans ces conditions, l'une des méthodes n'apparait pas plus performante que l'autre.

L'interprétation des groupes peut être précisée par les caractéristiques ponctuelles. L'étude métallographique des scories montre que celles issues de trois ateliers sont caractérisées par la technique 1[179]. Ces ateliers sont issus des groupes 1 et 2. En outre, les scories de deux ateliers des groupes 1 et 2 correspondent à la technique 2[180] (***cf* vol. 2, tableau 57**). Un atelier comprend des scories témoignant de l'utilisation de ces deux techniques de production, F155/1. Leur présence ne s'exclut donc pas. La fouille de cet atelier fournit des données essentielles pour comprendre ce phénomène. En effet, la stratigraphie laisse supposer qu'on y a d'abord employé la technique 1 puis, une technique plus performante, celle de type 2 (*Infra* 7.3.1). La signature chimique de sept sites métallurgiques[181], pour lesquels des scories ont été analysées sont similaires, qu'elles proviennent d'ateliers du groupe 1 ou 2. Cela indique l'emploi d'un même minerai et d'une technique de production proche sur tous ces sites. Enfin, lorsque l'on compare les datations obtenues par groupe, on observe que trois ateliers sur huit du groupe 2 sont datés des VIe-VIIe s. et deux ateliers sur 18 du groupe 1 sont datés entre le VIIe et le VIIIe s. La datation de ces sites est donc très proche.

178. F111/1, F113/3, F139/2, F146/2, F160/1, F176/1, F191/3, F194/2, F195/1 et F195/4.
179. F142/1, F176/1, et F191/2.
180. F447/1 et F489/1.
181. F139/1, F193/2, F150/1, F154/2, F155/1, F195/4, F489/1.

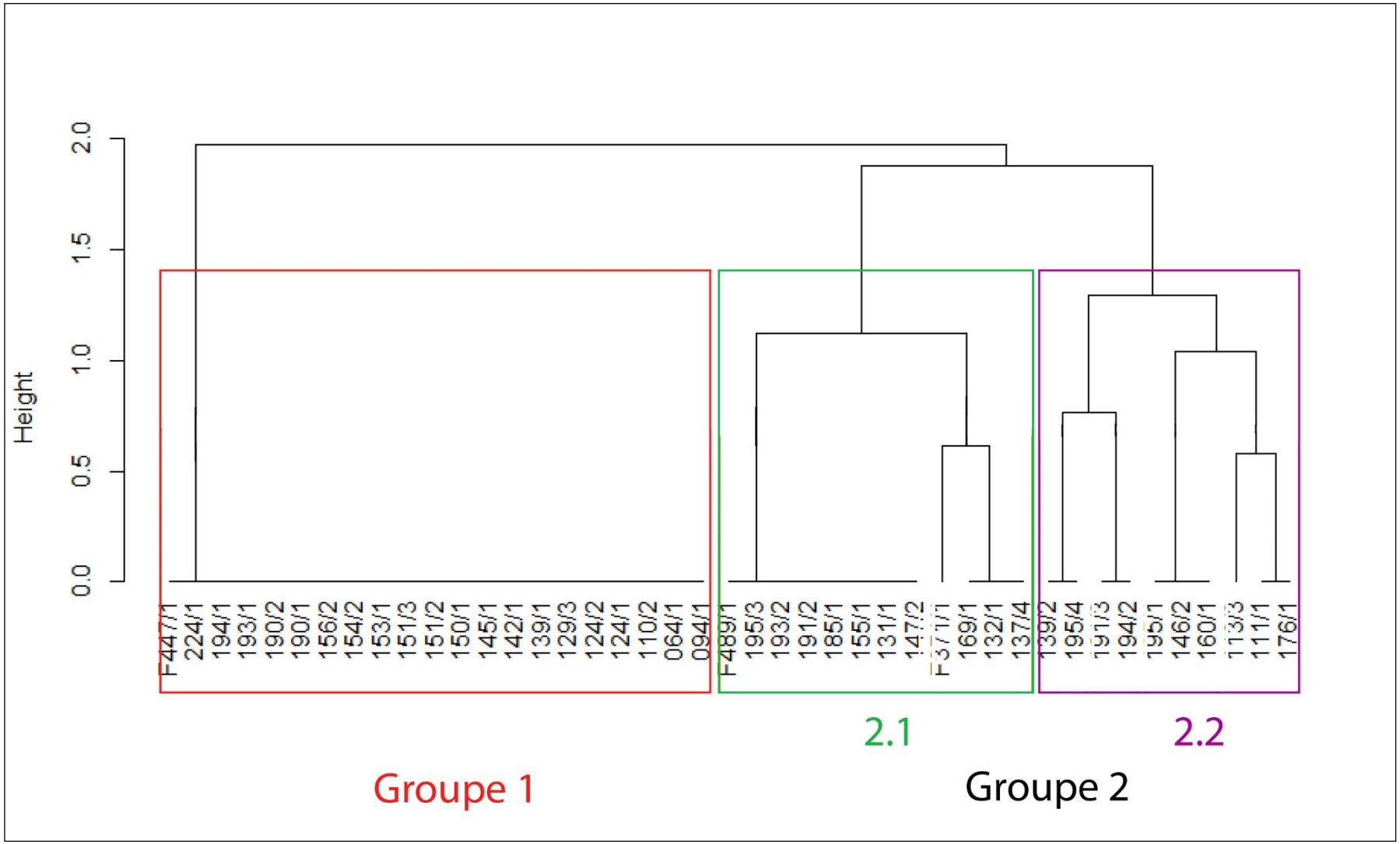


Fig. 171 : Dendrogramme présentant la Classification Ascendante Hiérarchique des ateliers de Boulogne-Chambord (distance binaire)

Finalement, deux ensembles de production sont mis en évidence grâce à la méthode de comparaison statistique (**Tableau 31**). Néanmoins, ces ensembles se trouvent globalement dans le même espace géographique (sud-ouest/centre), emploient la même matière première (minerai riche en manganèse), la même technologie (fours à scories écoulées, technique 1 ou 2) et ce à des périodes proches (entre les VIe et VIIIe s.). Dans ces conditions, les deux groupes d'ateliers identifiés dans ce massif sont moins des ensembles de production différents que des ateliers dans lesquels on décèle un savoir-faire légèrement différent ou une amélioration des techniques de production. Au regard de l'homogénéité des données, le travail de classification hiérarchique réalisé pour la forêt de Boulogne-Chambord est donc d'un intérêt limité pour l'interprétation de cette zone métallurgique. Néanmoins, il a permis, en parallèle de l'étude de Châteauroux, de développer et d'éprouver la méthode de classification hiérarchique ascendante et de confirmer sa fiabilité.

Dans ce cadre, on peut proposer une restitution de la production pour l'ensemble du massif. Cette région métallurgique est alors considérée comme comprenant un seul ensemble métallurgique regroupant 44 ateliers dont le volume total de déchet est d'environ 9 150 m³. À partir de ce volume total et des données recueillies lors de la fouille de l'atelier F155/1, on peut restituer la masse de scories totale engendrée. Pour cet atelier dont le ferrier mesure environ 1 420 m³ on estime la présence d'environ 317 t de déchets (*Infra* 7.3.1). Par extension, on peut donc restituer la production d'environ **2 040 t de scories** dans ce massif. Cette production est faible en comparaison du plus gros ferrier mis en évidence dans le Bas-Maine, soit 18 720 m^3 (SARRESTE 2011 : 263), dans le Berry, 55 000 m^3 (DIEUDONNE-GLAD 1991 : 112), ou encore de l'ensemble des sites métallurgique de Montholon (Puisaye) à la période antique (472 700 m^3) (BERRANGER *et al.* 2019 : 63).

Tableau 31 : Synthèse des différentes caractéristiques des deux ensembles métallurgiques restitués dans le massif de Boulogne-Chambord

	Nom	Description	Volume de déchet produit
Ensemble métallurgique unique	Sous-Ensemble métallurgique 1	- Classification hiérarchique ascendante : groupe 1 - localisation : centre/sud-ouest ; - technique de production (métallographie) : techniques 1 et 2 ; - minerai : riche en manganèse ; - four à scories écoulées ; - datation : VIIe et le VIIIe s.	9 150 m^3
	Sous-Ensemble métallurgique 2	- Classification hiérarchique ascendante : groupe 1 - technique de production (métallographie) : techniques 1 et 2 ; - localisation : centre/sud-ouest ; - minerai : riche en manganèse ; - four à scories écoulées ; - datation : VIe-VIIe s.	

6.3.2 Le massif de Châteauroux : la métallurgie en héritage ?

La classification hiérarchique ascendante réalisée à partir des caractéristiques des ateliers métallurgiques de la forêt de Châteauroux met en évidence l'existence de quatre groupes distincts (**Fig. 172** ; ***cf*** **vol. 2, tableau 62**).

Le **groupe 1** rassemble huit ateliers, dont six au sédiment noir[182] et deux au sédiment bicolore[183]. Ils se trouvent dans la moitié sud du massif, à l'exception de F107 qui est localisé au centre-ouest. On observe principalement sur ces ateliers plus de 50 % de scories écoulées, avec moins de 30 % de scories à cordons agglomérés et la présence de scories en plaque. Les Scories Brunes Rugueuses sont présentes à moins de 50 % et les Scories Ferreuses sont absentes. L'atelier F128 est associé à ce groupe avec la méthode binaire, mais au groupe 4.2 avec la méthode euclidienne. La localisation de cet atelier et le fait qu'il ait une seule caractéristique distincte de ce groupe contre deux pour le sous-groupe 4.2, permettent de l'y rattacher.

Le **groupe 2** rassemble 14 ateliers localisés dans l'ensemble de la forêt, mais principalement au sud-est. Il est caractérisé par la présence de plus de 50 % de scories écoulées sur les sites, dont moins de 30 % de scories à cordons agglomérés et aucune scorie en plaque. En outre, on y observe aucune Scorie Ferreuse. Deux sous-groupes se distinguent en fonction de la proportion de Scories Brunes Rugueuses (plus ou moins de 50 %). Le premier sous-groupes (2.1) comprend cinq ateliers au sédiment bicolore[184] et quatre au sédiment noir[185] et le second (2.2), deux au sédiment bicolore[186] et deux au sédiment noir[187].

Le **groupe 3**, plus hétérogène, comprend 10 ateliers, dont 9 au sédiment bicolore, situés au nord-est et au centre du massif[188]. Ce groupe est caractérisé par la présence de plus de 50 % de Scories Brunes Rugueuses et de Scories Ferreuses. Il se divise en deux avec les sites disposant de plus de 50 % de scories écoulées d'une part (sous-groupe 3.1) et ceux ayant moins de 50 % de scories écoulées d'autre part (sous-groupe 3.2). Ces sous-groupes disposent tous deux de moins de 30 % de scories à cordons agglomérés. L'atelier F046 est associé au groupe 3.2 avec la méthode binaire, mais au groupe 3.1 avec la méthode euclidienne du fait de son pourcentage inférieur à 50 % en Scories Brunes Rugueuses.

182. F107, F128, F248/2, F262, F263 et F546.
183. F240 et F255
184. F097, F121, F230, F261 et F265.
185. F217, F246/2, F248/1 et F260.
186. F226 et F246/1.
187. F151/2 et F231/1.
188. F020, F046, F051, F064, F085, F127, F132, F145, F179 et F187/188.

Enfin le **groupe 4**, tout aussi hétérogène, regroupe 6 ateliers, dont quatre au sédiment noir[189] et deux au sédiment bicolore[190], situés dans la partie nord et ouest du massif. On y observe moins de 50 % de scories écoulées, dont plus de 30% de scories à cordons agglomérés et presqu'aucune scorie en plaque. Les Scories Brunes Rugueuses sont présentes à moins de 50 %, sauf pour F105/1, et aucune Scorie Ferreuse n'est visible en surface. Une exception apparait dans ce groupe, F227, qui se trouve dans la partie sud-est du massif et qui comprend moins de 30 % de scories à cordons agglomérés. Au regard du nombre de différences avec les autres ateliers, cet atelier est dissocié du groupe 4. Cette distinction est d'ailleurs réalisée lorsque l'on emploie la méthode de classification binaire et non euclidienne. Ce site n'est finalement associé à aucun autre groupe.

De nouveau, les informations ponctuelles récoltées dans certains ateliers permettent d'affiner et/ou de compléter cette classification. Les observations métallographie montrent que les groupes 1, 3.2 et 4 comprennent tous au moins un atelier ayant livré un fond de four caractérisé par la technique 3[191] (***cf* vol. 2, tableau 58**). Le groupe 3.1 est le seul à disposer d'un atelier avec un fond de four de technique 4[192]. L'atelier F105/1, provenant du groupe 4, comprend les deux types de fond de four. La signature chimique présente, dans cette zone métallurgique, une plus grande importance qu'à Boulogne-Chambord puisqu'il en existe trois, renommées pour cette étude statistique (*Supra* 6.2.2). Un atelier du groupe 3.1 à une signature de type 2[193], cinq ateliers appartenant aux groupes 3.1, 3.2 et 1 sont de type 3[194] et enfin trois ateliers issus du groupe 4 ont une signature chimique de type 4[195]. Dans l'atelier F199, deux types de signatures chimique sont mises en évidence, la 3 et la 4. Ce site métallurgique comprend donc plusieurs caractéristiques communes aux groupes 4 et 3.1. On peut alors se demander s'il n'a pas été le lieu de développement de deux activités métallurgiques au cours du temps. Enfin, il est possible de définir une datation, même relative, pour 14 ateliers de ce massif ; cinq sont médiévaux, trois proviennent du groupe 4[196], un du groupe 3.2[197] et un du groupe 3.1[198] ; neuf sont datés de la période antique, quatre proviennent du groupe 3.1[199], deux du groupe 2.1[200], un des groupes 1, 2.2[201] et F227.

189. F090, F105, F199 et F220/1.
190. F035 et F227.
191. F051, F090, F105/1, F107 et F128.
192. F187/188.
193. F179
194. F051, F085, F128, F187/188 et F260.
195. F090, F105/1 et F199.
196. F090, F105/1 et F199.
197. F132.
198. F127.
199. F064, F085, F179 et F187/188.
200. F121 et F265.
201. F128 et F246/1.

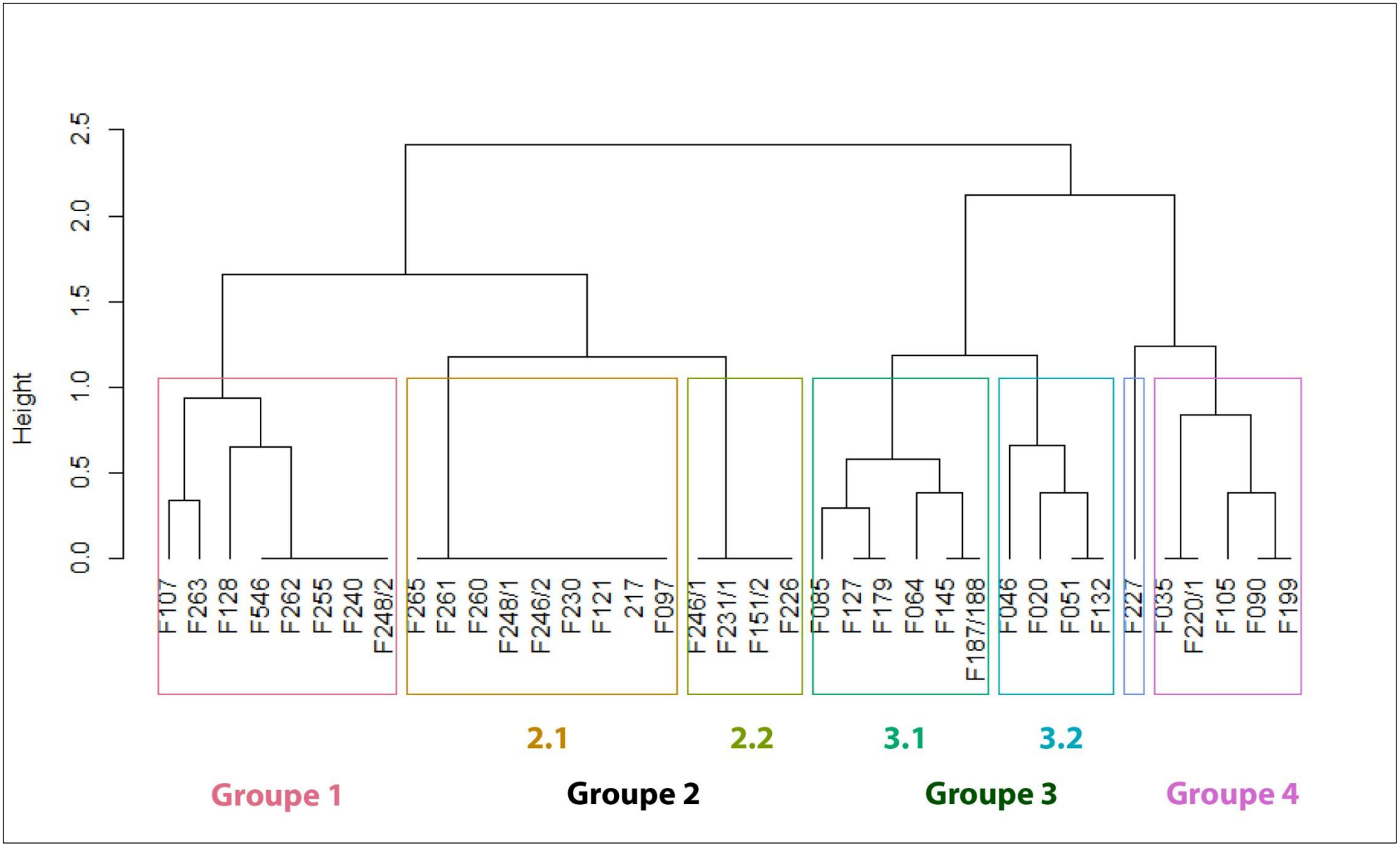


Fig. 172 : Dendrogramme présentant la Classification Ascendante Hiérarchique des ateliers de Châteauroux (distance binaire)

À partir de ces données, on peut mettre en évidence la présence de quatre ensembles métallurgiques dans la forêt de Châteauroux (**Tableau 32**).

Le **premier ensemble** identifié rassemble les groupes 1 et 2 de la CHA. En effet, ils se différencient des groupes 3 et 4 principalement à cause de leur proportion plus importante en scories écoulées. Cette caractéristique est intéressante car elle peut indiquer l'utilisation d'une technologie différente dans les ateliers de ces groupes. Il s'agit donc d'une caractéristique majeure. Au sein des groupes 1 et 2, les différences sont peu nombreuses. La principale repose sur l'absence ou la présence de scories en plaque, ce qui peut être considéré comme une caractéristique mineure car ces vestiges ne sont pas suffisamment nombreux pour être signalés par leur proportion. Ce premier ensemble comprend ainsi 21 ateliers principalement situés au sud-est de la forêt. Ils sont aussi bien bicolores que noirs et utilisent une technique de production engendrant une quantité importante de scories écoulées et de Scories Ferreuses. Deux ateliers présentent des scories caractérisées par la technique 3 (F107 et F128) et un site à une signature chimique de type 3 (F128). Enfin, cinq d'entre eux sont datés de la période antique.

Le **deuxième ensemble** correspond au sous-groupe 3.1. Il est distingué du reste du groupe 3 et du groupe 4 car il présente, comme les groupes 1 et 2, une importante proportion de scories écoulées, de scories en plaque et de Scories Ferreuses. Cet ensemble est constitué de six ateliers majoritairement bicolores et situés au centre du massif forestier actuel. Seule une scorie du site F187/188 a été observée en métallographie et caractérise la technique 4. La signature chimique de deux ateliers est de type 3 (F187/188 et F085) et une autre est de type 2 (F179). Quatre de ces ateliers sont datés de la période antique. L'atelier F127, daté de la période médiévale, est une exception tout comme le fait qu'il soit constitué uniquement de sédiment noir. Il est ainsi plus prudent de le dissocier de cet ensemble.

Le **troisième ensemble** est constitué du groupe 3.2 dont les ateliers sont caractérisés par la fabrication de peu de scories écoulées et la présence de Scories Ferreuses en surface. Ces ateliers se trouvent au nord et à l'est du massif et sont tous bicolores. L'atelier F051 présente une scorie observée en métallographie indiquant une technique 3 et dispose d'une signature chimique de type 3. Le seul site métallurgique de cet ensemble fournissant une datation est médiéval (F132).

Enfin, le **quatrième ensemble** est composé du groupe 4. Ces ateliers se trouvent au nord et à l'ouest de la forêt et le sédiment y est noir, sauf F035. Ils ont une technique de production qui produit de nombreuses scories internes ainsi qu'un grand nombre de scories à cordons

agglomérés. La technique de production mise en évidence par la métallographie dans deux ateliers (F090 et F105/1) est la 3. En outre, les scories analysées ont une signature chimique de type 4 dans trois ateliers (F090, F105/1 et F199). Trois sites de cet ensemble sont datés de la période médiévale.

L'utilisation de la classification hiérarchique ascendante à partir des caractéristiques des ateliers de la zone métallurgique de Châteauroux met ainsi en évidence des ensembles sidérurgiques distincts. Bien que cet outil soit d'un intérêt indéniable, les caractéristiques sur lesquelles il s'appuie doivent être approfondies ; notamment en fournissant un poids statistique plus important à certaines, par exemple les proportions des scories écoulées. *A contrario*, d'autres caractéristiques devraient avoir une influence moindre sur la classification, telle que la présence ou l'absence de scorie en plaque. Cette méthode de distinction est donc à perfectionner. En outre, la comparaison des deux méthodes de classification utilisée (euclidienne et binaire) met en évidence l'instabilité de la position de trois sites qui changent de groupe en fonction du type de distance utilisé (F046, F128 et F227). Les données ponctuelles permettent toutefois de rapprocher ces ateliers de la classification réalisée grâce à la distance binaire qui semble être la plus adaptée au type d'étude réalisée en archéométallurgie (***cf* vol. 2, fig. 75**).

Il est possible de restituer la quantité de déchet métallurgique engendrée par chacun de ces ensembles. Le premier rassemble 21 ateliers dont le volume de déchet est d'environ 22 200 m³. Le second ensemble comprend six sites métallurgiques dont le volume total de déchets est estimé à environ 7 790 m³. Le troisième regroupe quatre ateliers ayant engendrés environ 9 200 m³ de déchet. Enfin, le quatrième ensemble est composé de cinq ateliers dont le volume de vestiges métallurgiques est d'environ 2 390 m³.

L'ensemble 1 est donc celui qui a produit le plus de déchet dans le massif de Châteauroux. Il est légèrement supérieur au ferrier le plus important du Bas-Maine, soit 18 720 m^3 (SARRESTE 2011 : 263), mais reste tout de même moins développé que celui du Berry, 55 000 m^3 (DIEUDONNE-GLAD 1991 : 112), et surtout que l'ensemble métallurgique antique de Montholon (Puisaye), 472 700 m^3 (BERRANGER *et al.* 2019 : 63). Les trois autres ensembles comprennent au total moins de 10 000 m^3 de vestiges métallurgiques, ils ne sont donc pas parmi les ateliers les plus prolifiques. Néanmoins, les ensembles 2 et 3 devaient tout de même avoir une importance moyenne dans la production du fer de la région. Elle est comparable à celle de l'ensemble métallurgique de la forêt de Boulogne-Chambord (9 150 m^3) et, dans une moindre mesure, du plus grand ferrier du Poitou (6 472 m^3) (SAINT-DIDIER 2017a : 85). Enfin,

l'ensemble métallurgique 4 dispose d'un faible volume de scorie. Il est toutefois supérieur à ceux des ateliers médiévaux de Ludres « Chaudeau » (45 m^3) et de Frouard « Vallon de Nerbevaux » par exemple (LEROY, MERLUZZO, LE CARLIER 2015 : 294-295).

Tableau 32 : Synthèse des différentes caractéristiques des deux ensembles métallurgiques restitués dans le massif de Châteauroux

Nom	Description	Volume de déchet produit[202]
Ensemble 1	- Classification hiérarchique ascendante : groupe 1, 2 ; - localisation : sud-est de la forêt ; - morphologie : sédiment noir ou bicolore ; - Fours à scories écoulées (quantité importante de scories écoulées et de Scories Ferreuses) ; - technique de production (métallographie) : technique 3 ; - signature chimique de type 2 ; - datation : Antiquité.	22 200 m^3
Ensemble 2	- Classification hiérarchique ascendante : groupe 3.1 ; - localisation : centre de la forêt ; - morphologie : sédiment bicolore ; - Fours à scories écoulées (quantité importante de scories écoulées, de Scories Ferreuses et en plaque) ; - technique de production (métallographie) : technique 4 ; - signature chimique de type 1 et 2 ; - datation : Antique.	7 790 m^3
Ensemble 3	- classification hiérarchique ascendante : groupe 3.2 ; - localisation : nord et à l'est du massif ; - morphologie : sédiment bicolore ; - Fours à scories écoulées ? (peu de scories écoulées et présence de Scories Ferreuses) ; - technique de production (métallographie) : technique 3 ; - signature chimique de type 2 ; - datation : médiévale ?	9 200 m^3
Ensemble 4	- classification hiérarchique ascendante : groupe 4 ; - localisation : nord et à l'ouest de la forêt ; - morphologie : sédiment noir ; - Fours à scories piégées ? (nombreuses scories internes et scories à cordons agglomérés) ; - technique de production (métallographie) : technique 3 et 4 ; - signature chimique de type 3 ; - datation : médiévale.	2 390 m^3

202. Somme des volumes de déchets des ferriers appartenant à l'ensemble (*Supra* 5.1.2).

Conclusion

L'exploitation des analyses chimiques met en lumière la singularité de la signature des régions sidérurgiques qui intéressent cette recherche. En outre, elle témoigne de l'utilisation d'une même matière première riche en manganèse et d'une technique de production relativement homogène en forêt de Boulogne-Chambord. Elle permet également de distinguer trois méthodes de production du fer employant des matières premières et/ou une technologie différente dans la forêt de Châteauroux. L'une caractérise des sites métallurgiques au sédiment noir et bicolore, sa signature chimique est proche d'autres sites métallurgiques du Poitou. On y suppose l'emploi de minerai issus de couches géologiques ferrugineuses datées du jurassique et/ou de leurs couches d'altérations éocènes ; Une autre rassemble uniquement des sites métallurgiques au sédiment noir dont la signature chimique ne trouve pas de correspondance pour l'instant ; La dernière concerne un seul atelier ayant une signature chimique similaire à celle des ateliers de Nozières et d'Allogny dans le Cher. Deux échantillons de minerai, probablement employés pour la réduction du fer en forêt de Boulogne-Chambord, ont été identifiés mais aucun échantillon pour la forêt de Châteauroux. Un fragment de minerai a toutefois une signature chimique qui s'en rapproche.

La méthodologie statistique développée dans ce chapitre remplit finalement ses objectifs et montre l'existence d'un seul ensemble métallurgique concentré au sud/sud-ouest du massif de Boulogne-Chambord au haut Moyen Âge. Les ateliers qui le composent sont caractérisés par une production très homogène dont les quelques distinctions peuvent être le résultat de maîtrises différentes de la part des artisans ou de l'adaptation de la technique au cours du temps. La production qui en résulte, dédiée à la fabrication de fer doux (moins de 0,2 % de C), est d'ampleur moyenne et devait avoir pour but une commercialisation plutôt locale. Dans le massif de Châteauroux, 4 ensembles métallurgiques sont identifiés. Deux sont datés entre les Ier et IIIe s. Le premier traduit une importante production ayant vraisemblablement pour objectif un commerce régional (groupe 1 et 2). Il est caractérisé par un grand nombre d'ateliers au sédiment bicolore, de grande dimension, utilisant des fours à scories écoulées dont la réduction est efficace. Le second est relatif à une production moins importante employant une réduction moins efficace (groupe 3.1). La quantité et la qualité de fer produit pourraient indiquer que ces productions antiques sont le résultat de protagonistes différents ayant des ambitions distinctes. Une seconde phase de production se développe au Moyen Âge avec l'implantation de deux autres ensembles métallurgiques. Le plus important, concentré dans le nord-est du massif, comprend peu d'ateliers, aux dimensions importantes, dont la technologie n'est pas clairement

définie (groupe 3.2). La quantité de déchets engendrés laisse supposer une possible volonté de commercialisation. Enfin, le second ensemble médiéval est daté des XIIIe - XIVe s. (groupe 4). Il est concentré au nord-ouest de la forêt. Les fours à scories piégées, employés supposément par cet ensemble, sont une technologie inédite dans le massif et pour cette période. Ces ateliers produisent un fer très carburé (entre 0,8 et 2 % de C) en quantité restreinte que l'on peut associer à un besoin local. Enfin, il est intéressant de constater que l'atelier F105/1 est probablement implanté pendant l'Antiquité et réinvesti à la période médiévale. Il est toutefois impossible de parler d'héritage culturel, car dix siècles séparent les deux phases de production. En outre, elles présentent d'importantes différences dans leur technique de production et dans leur modèle d'implantation.

L'intérêt scientifique de l'outil statistique qu'est la Classification Hiérarchique Ascendante étant démontré, il faut tout de même souligner que cette méthode d'étude est contraignante à mettre en œuvre. Elle implique un traitement lourd de données hétérogènes (étude statistique des scories, des parois, traitement des analyses chimiques, études métallographiques, etc.). Les origines variées de l'information entrainent également l'existence de plusieurs biais potentiels qu'il faut anticiper (méthode de ramassage du mobilier, nombre d'analyses métallographiques et chimiques réalisées, etc.). En outre, les caractéristiques discriminantes employées doivent être de nouveau définies pour chaque région métallurgique étudiée. En effet, même si un grand nombre sont souvent les mêmes, leur valeur seuil varie d'un espace à l'autre. Enfin, cet outil doit être perfectionné notamment en apportant un poids statistique différent aux caractéristiques discriminantes que l'on peut qualifier de majeurs et de mineurs. Malgré ces contraintes, cette approche statistique est applicable à tous les espaces métallurgiques et fournit un premier niveau de lecture intéressant pour dénouer notre compréhension des zones métallurgiques. Dans le cadre d'une approche générale elle peut pallier les difficultés matérielles et financières que l'on rencontre en étudiant un grand nombre de sites archéologiques. Il ne reste plus qu'à approfondir les différentes pistes de réflexions soulevées grâce à de nouvelles analyses et études ciblées.

La mise en évidence des différents ensembles sidérurgiques dans ces deux massifs forestiers est la clef de compréhension d'une partie de l'histoire des artisans et/ou des exploitants à l'origine de ces activités. Afin d'approcher de plus près les populations en activité sur ces sites métallurgiques, la manière dont ils ont géré leur environnement, avec quels objectifs de production, quelles structures, etc. il est nécessaire d'étudier les ateliers plus en détail. Cette

réflexion a donné lieu à la fouille de deux ateliers métallurgiques, un dans chaque massif. Leur description et interprétation font l'objet de la troisième partie de cette thèse.

Partie 3

Des ateliers métallurgiques médiévaux aux méthodes de production différentes

Chapitre 7 - Un atelier métallurgique du haut Moyen Âge en forêt de Boulogne-Chambord

L'étude du site F155/1 de la forêt de Boulogne permet d'approfondir nos connaissances sur les ateliers métallurgiques reconnus en prospection. En effet, les observations réalisées dans le chapitre 4, sont assez générales et entrainent de nombreux questionnements concernant l'organisation spatiale des ateliers et la technologie employée. En outre, restituer la quantité de fer produite est primordial pour déterminer l'importance de ce site métallurgique, au moins dans le cadre régional. Le mobilier collecté en prospection montre que l'activité métallurgique dans cette forêt possède des caractéristiques très homogènes, tant chronologiques que fonctionnelles. Les données acquises lors de la fouille de l'un de ces ateliers sont donc probablement assez représentatives de l'ensemble. Le choix du site étudié prend en considération plusieurs critères. Tout d'abord, sa localisation au sein de l'un des deux espaces de forte concentration de ferriers, au sud de la forêt à proximité de l'actuelle route menant de Chambord à Bracieux (***cf* vol.2, fig. 76**) (*Supra* 4.1.3) ; cela correspond à l'emplacement de toponymes témoignant de la présence de l'artisanat du fer dans la forêt (*Supra* 4.5.1). Ensuite, sa forme en fer à cheval, car sur ces sites l'espace de travail se trouve généralement au milieu des amas de déchets, ce qui facilite l'implantation de la zone de fouille. Enfin, il doit être peu perturbé par l'activité forestière. L'atelier F155/1, situé au sud du massif, remplit tous ces critères. Ce site mesure environ 60 m de longueur pour 45 m de largeur (soit une surface d'environ 1 614 m²). Il se trouve dans la parcelle ONF n°155, commune de Tour-en-Sologne (**Fig. 173**), a fait l'objet d'une première campagne de fouille en 2018, puis d'une seconde en 2020 (***cf* vol.2, fig.77**).

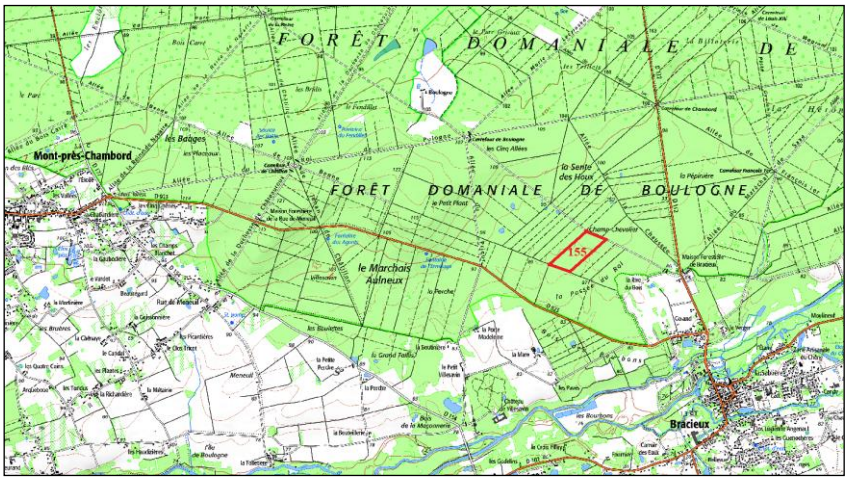


Fig. 173 : Carte localisant la parcelle F155/1 dans la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)

7.1 Un atelier organisé et délimité

L'atelier F155/1 est divisé en deux espaces, un espace de rejet au nord et à l'est et un espace de travail au sud (**Fig. 174**). L'espace de travail comprend une aire de grillage du minerai, une zone de réduction et une zone de forge.

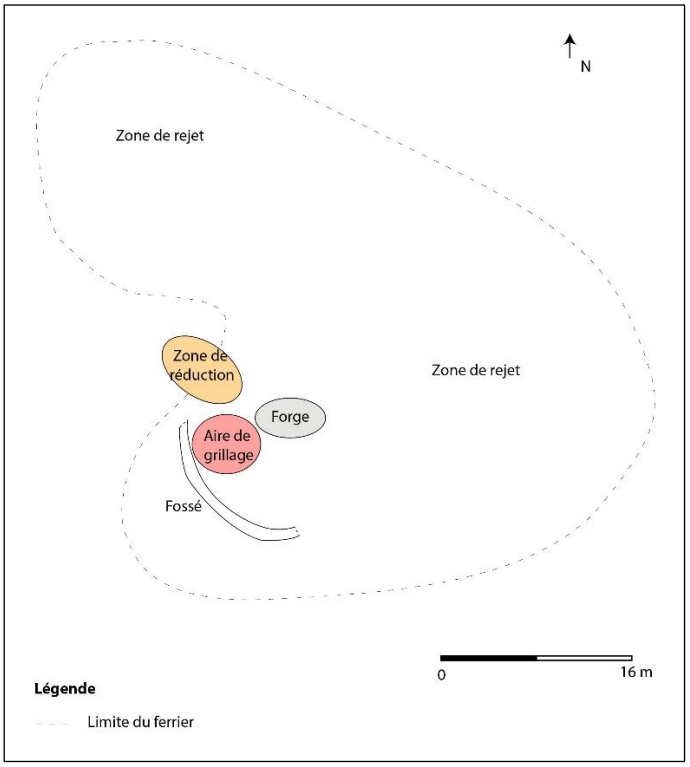


Fig. 174 *:* Carte schématique des différents espaces de l'atelier métallurgique

Les structures de combustion de ces trois zones ont été mises en évidence par les prospections géophysiques successives (GOUHIER 2019b : 47-48 ; GOUHIER 2020 : 16-23). En effet, un grand nombre d'anomalies magnétiques y ont été observées (***cf* vol.2, fig.78**). Elles sont divisées en trois catégories : les anomalies ponctuelles ; les anomalies linéaires et le bruit de fond (*Supra* 3.2.1). Une première anomalie linéaire est visible au nord du site (**Fig. 175-1a)**. Elle forme un « L » d'une largeur de 2 m. Il s'agit de l'extension de la fouille réalisée en 2018. Un second ensemble de trois anomalies bipolaires prend place au sud du site. La plus importante (**2a)** d'intensité +/- 700 nT/m, peut être divisée en trois groupes (en rouge sur la carte). Les deux autres anomalies de cet ensemble (**2b** et **2c)** ont une intensité moindre (+/- 250 nT/m) et une forme relativement ovale. L'anomalie **3a** est linéaire et légèrement courbe. Elle est de faible intensité (- 50 nT/m). Enfin, le bruit de fond correspondant aux scories du ferrier possède une

intensité de +/- 20 et 20 nT/m. Ses limites coïncident globalement avec les limites du ferrier identifiées lors des prospections pédestres et avec les images LiDAR.

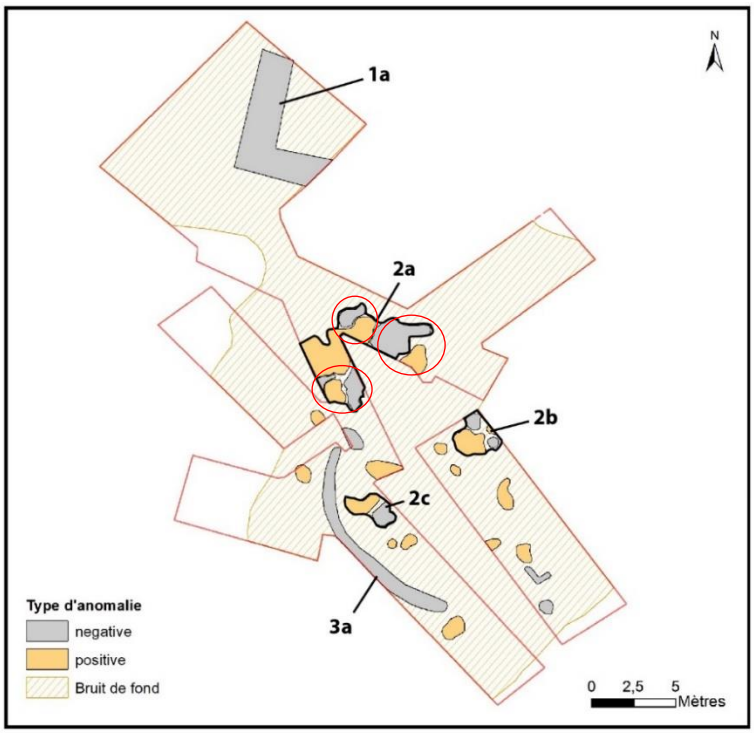


Fig. 175 : Identification des principales anomalies magnétiques dans l'espace de travail (B. Gouhier)

7.1.1 L'aire de grillage

Dans le sondage réalisé à l'emplacement de l'anomalie **2c**, une couche de sédiment rouge très foncée et indurée forme une lentille circulaire (***cf* vol.2, fig. 79**). Elle est installée directement sur le sol géologique de Sables d'Ardentes (*Supra* 2.1.1), et contient de nombreuses inclusions de minerai grillé et d'oxydes de fer. Cet espace est interprété comme une aire de grillage pour la préparation du minerai. La forme de cette structure, dont le fond est rubéfié, rappelle en effet les aires de grillages identifiées sur d'autres sites comme à Saint-Dizier « Le chêne Saint-Amand » (Haute-Marne), daté des Xe – XIIIe s. (GOUSTARD *et al.* 1998 : 141) ou à « La Châtaigneraie » (Sarthe), site fonctionnant entre la fin de l'âge du fer et l'Antiquité (RAUX, LANGLOIS 2015: 144). Ces installations sont de dimensions plus ou moins grandes, mais leur forme simple semble perdurer. Les fragments de minerai provenant de cet espace sont décrits par la suite (*Infra* 7.3.1). Au nord-est de cette aire se trouve une couche charbonneuse et meuble (US 2019) qui signale la présence d'un probable dépôt de charbon de bois (LACROIX 2020 :

30). Ce sédiment recouvre l'aire de grillage depuis le nord-est (env. 15 cm d'épaisseur) vers le sud-ouest (1 à 2 cm) (***cf* vol.2, fig. 80**).

7.1.2 La zone de réduction du minerai de fer

Un sol d'atelier mais des fours très dégradés

La zone de réduction du fer se trouve à l'emplacement de l'anomalie **2a**, dont l'intensité est l'une des plus importantes. On y trouve un sol d'atelier composé d'une couche rubéfiée et indurée d'environ 3,6 m de longueur, jusque 1,4 m de largeur et 2 cm d'épaisseur (***cf* vol.2, fig. 81**) (LACROIX 2020 : 33). Posée directement sur le sol géologique, on y observe de nombreuses inclusions de scories, de charbons et de fragments de paroi en argile. Ce sol d'atelier enrobe, à l'ouest, trois masses d'argile en très mauvais état de conservation. La première est un bloc de paroi en place, en argile orangée à noire, dense, comprenant quelques inclusions de scories par endroit. Elle est de forme circulaire au centre, mesure une quinzaine de centimètres de diamètre et est ouverte vers le sud-est (***cf* vol.2, fig. 82a**). Accolé, se trouve un bloc de paroi massif en argile orangée. Il est plus dégradé, mais montre une forme semi-circulaire d'environ 20 cm de diamètre. Une ouverture est orientée vers le sud (***cf* vol.2, fig. 82b**). Enfin, un troisième bloc de paroi en argile orangée et dense forme un arc de cercle ouvert vers le sud-ouest. Cette masse argileuse est en meilleur état de conservation que les autres (***cf* vol. 2, fig. 82c**). Ces blocs de paroi présentent des traces de chauffe et deux d'entre eux s'ouvrent vers le sol d'atelier (***cf* vol. 2, fig. 83**). Ces vestiges sont probablement ceux d'une batterie de fours de réduction. Toutefois, aucune scorie en place n'est observée.

La topographie du fond du sondage montre que ces fours sont installés sur une pente d'environ 45 cm de dénivelé pour 5 m de longueur (**Fig. 176**). Or, l'installation des fours sur une pente naturelle ou artificielle facilite l'écoulement de la scorie lorsque l'on utilise des fours à scories écoulées. On observe ce phénomène sur le site des Clérimois (Yonne) (DUNIKOWSKI, CABBBOI 1995 : 47-48). L'ouverture des blocs d'argile vers le sol d'atelier qui se trouve en contrebas de la pente tend à confirmer qu'il s'agit bien des vestiges de fours de réduction.

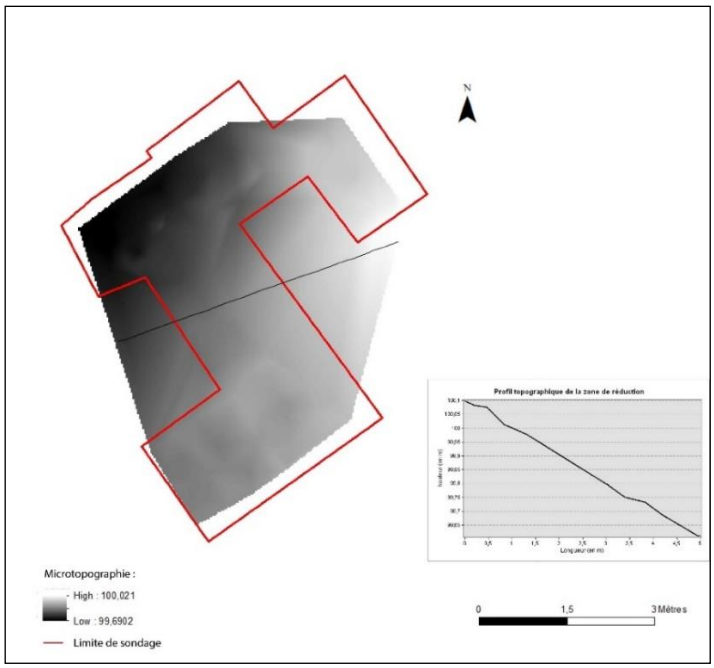


Fig. 176 : Carte microtopographique de l'espace de réduction et son profil NE-SO

La présence de traces de rubéfaction au sol aurait également apporté des arguments à ce discours. Néanmoins, le sol géologique de ce massif ne se colore pas avec les températures atteintes lors d'opérations de réduction. La seule différence observable est une très légère modification de la granulométrie qui est un peu plus importante lorsque le sol est chauffé. Malgré l'absence d'arguments irréfutables, il apparait cohérent de situer la zone de réduction du fer dans cet espace. On restitue ainsi au moins trois fours et un sol d'atelier très induré installés sur une légère pente orientée vers le sud-ouest.

L'absence de four en bon état de conservation est un important frein pour comprendre leur morphologie et leur fonctionnement, néanmoins les vestiges mis au jour permettent de les restituer en partie.

Restitution des fours de réduction

Des fragments de paroi de four ont été retrouvé en grande quantité (36 kg). Ils ont une pâte de couleur beige/orangée contenant des inclusions de quartz submillimétriques (***cf* vol.4, tab. 5**) (LACROIX 2018a : 28-29 ; LACROIX 2020 : 51-54) (**Fig. 177**). Cette argile est similaire à celle que l'on observe dans la forêt, il est donc probable que les artisans aient utilisé la matière première présente sur place.

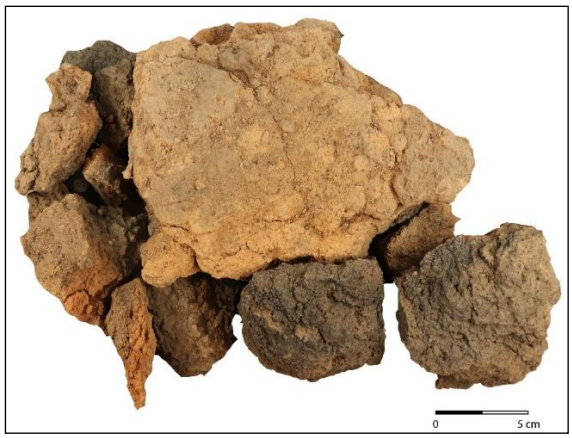


Fig. 177 *:* Photographie d'un important fragment de paroi (LACROIX 2020 : 52)

Les mesures réalisées sur ces fragments montrent des épaisseurs comprises entre 2,5 et 5 cm. En outre, un exemplaire montre la courbure de la cheminée d'un fours (**Fig. 178**). L'état de conservation de ces vestiges est cependant trop mauvais pour distinguer plus en détail leur architecture.

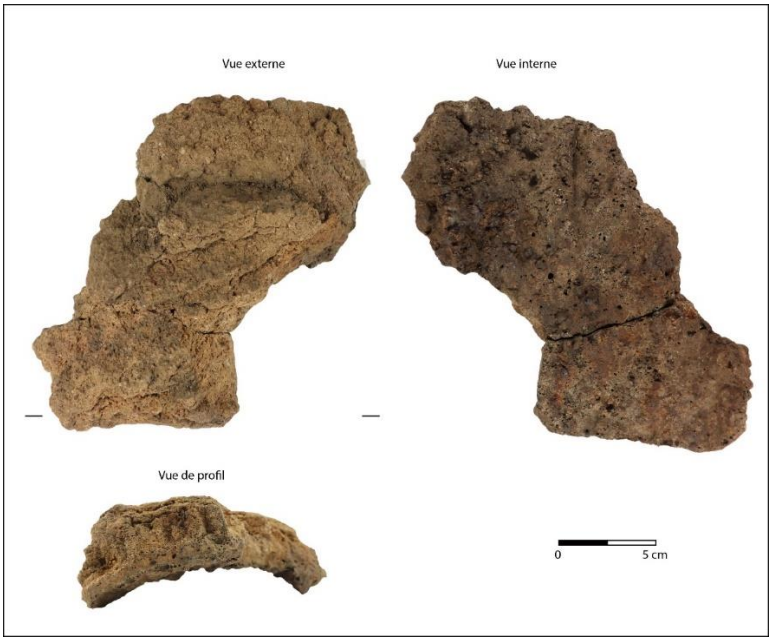


Fig. 178 *:* Photographie d'un fragment de paroi courbe, scorifié sur la face interne et induré sur la face externe (LACROIX 2020 : 53)

Des éléments de terre cuite architecturale intervenant dans la fabrication des fours ont également été recueillis (env. 20 kg). Parmi eux, des *tegulae* (30 fragments), des *imbrices* (quatre fragments), des tuiles (huit fragments) et des briques (sept fragments) (LACROIX 2018a :

29 ; LACROIX 2019a : 55-57). Ces caractéristiques indiquent le réemploi de matériaux de construction dans la fabrication des fours.

Enfin, des tuyères étaient intégrées aux fours. Dans cet atelier, 95 kg de ces éléments ont été collectés (LACROIX 2018a : 32-39 ; LACROIX 2020 : 59-68). Elles sont mieux conservées dans les couches de rejet du ferrier que dans la zone de travail. Elles sont de plusieurs types, le plus fréquent est semi-cylindrique dans sa partie supérieure et la hauteur de sa base est égale à deux fois celle du canal, il s'agit du **type 1** (30 exemplaires) (**Fig. 179**). Le **type 2** comprend des tuyères semi-cylindriques dans leur partie supérieure avec une hauteur de base inférieure ou égale à celle du canal (17 exemplaires). Le **type 3** est le moins représenté (3 exemplaires), il comprend des tuyères au profil ovale. Enfin, le **type 4** est constitué de tuyères cylindriques (13 exemplaires).

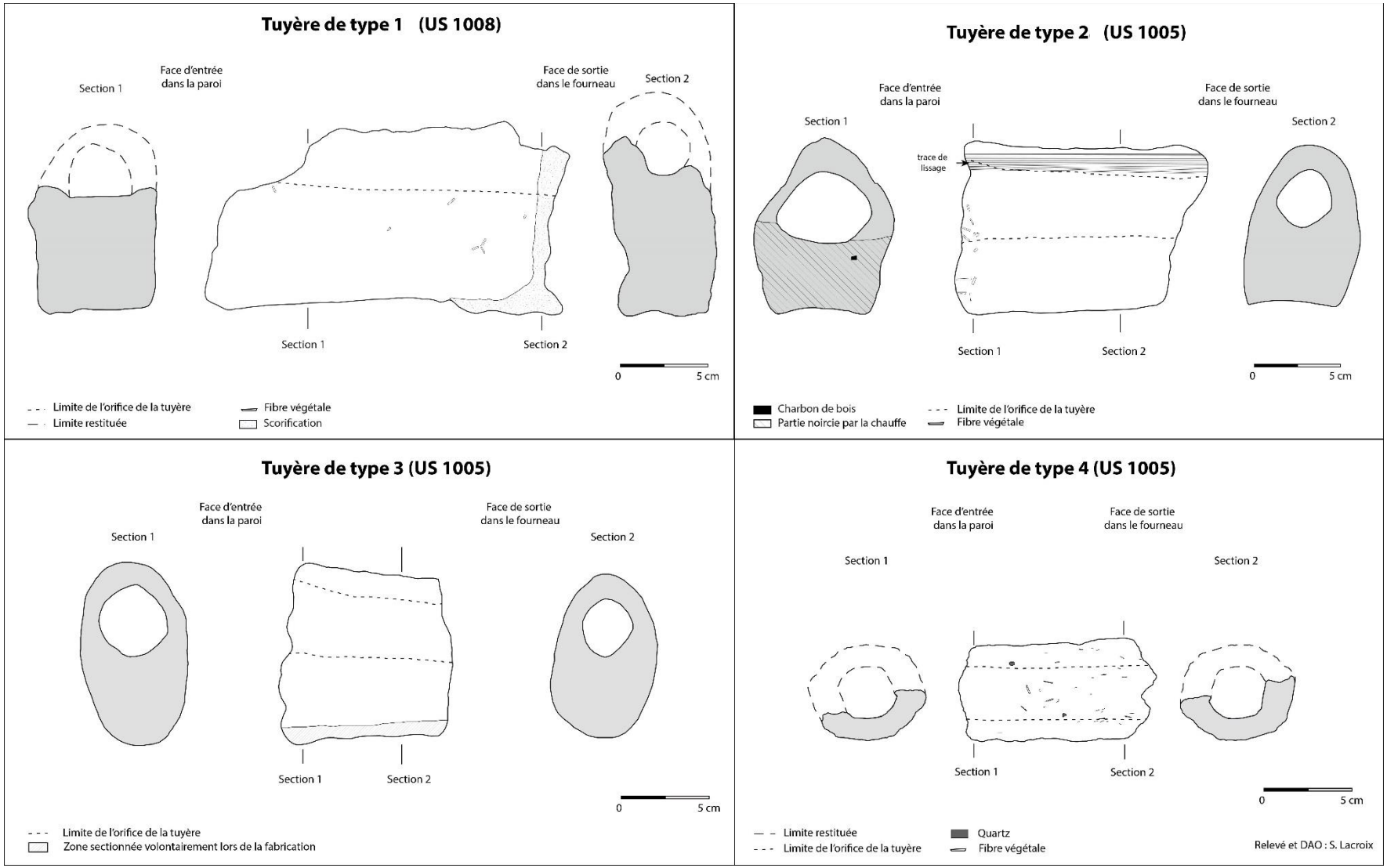


Fig. 179 : Planche présentant les relevés des différents types de tuyères mis au jour dans l'atelier F155/1

Ces formes de tuyères sont connues ailleurs en France et en Suisse à différentes époques, c'est par exemple dans l'atelier de Saales (Bas-Rhin) (MAGAR 2017), à Boécourt « Les Boulies » (Jura suisse) (ESCHENLOR, SERNEELS 1991), à Bellaire I, Bellaire II et Bellaire III (Vaud Suisse) (PELET 1993) (**Fig. 180**). Ces sites disposent de deux à trois types différents, mais aucun autre ne semble, pour l'instant, utiliser les quatre types. Le type 2 est observé au sein de presque tous les sites alors que le type 1 est retrouvé uniquement dans quatre d'entre eux. Toutefois, le type 1 est le plus nombreux (68 exemplaires contre 58 pour le type 2).

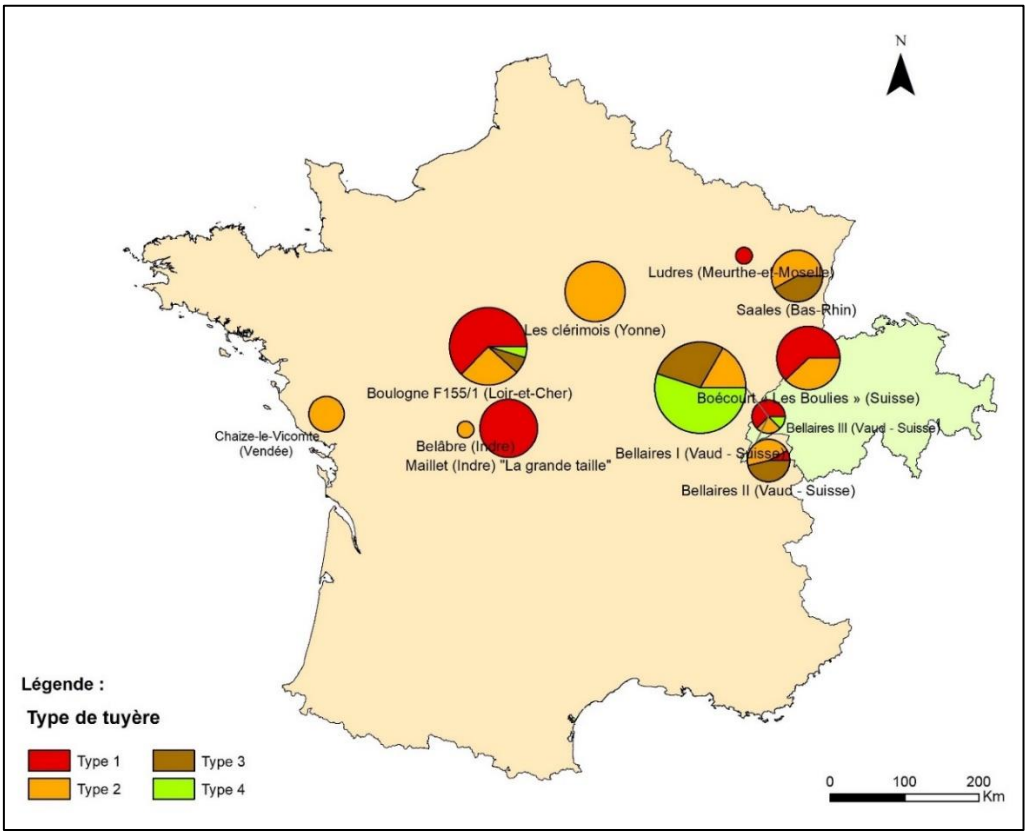


Fig. 180 : Carte localisant les différents types de tuyères étudiés en France et en Suisse en fonction de leur proportion.

La place de ces tuyères dans les fours est difficile à interpréter en l'absence de structure en place. Il est possible que leur forme facilite leur intégration dans la paroi des fours qu'elle signale l'utilisation de différentes structures de production (four de réduction, foyer de forge) ou qu'elle soit relative à l'emplacement des tuyères dans la paroi. Le site métallurgique de Boécourt « Les Boulies » répond en partie à ces questions, puisque des fours de réduction en partie en élévation y ont été fouillés avec des tuyères de type 1 et 2 encore en place dans la paroi. Les tuyères qui correspondent au type 1 du ferrier F155/1 sont principalement horizontales dans le four alors que celles du type 2 sont généralement installées avec un angle

par rapport à l'horizontale. Cette observation n'est pas vérifiée dans le massif de Boulogne-Chambord. Néanmoins, cette comparaison indique que plusieurs formes de tuyère peuvent être installées dans un même four de réduction (ESCHENLOR, SERNEELS 1991 : 63). Enfin, aucun de ces types de tuyère n'est pour l'instant observé au sein d'espaces de forge.

Ces éléments étant amovibles dans les parois des fours de réduction, leur forme permet de déterminer celle de l'ouverture réalisée pour les mettre en place. Pour restituer cette ouverture, l'étude des dimensions des tuyères est indispensable (**Fig. 181**). La longueur (« a ») des tuyères mises au jour dans l'espace de travail est comprise entre 13 et 18 cm (huit exemplaires[203]) (LACROIX 2020 : 61) alors que celle des tuyères observées dans le ferrier est comprise entre 9,5 et 11 cm (32 exemplaires) (LACROIX 2018a : 33). La largeur de la base des tuyères (« c ») provenant de la zone de travail est également plus importante que celles des tuyères provenant du ferrier. En effet, 36 exemplaires présentent une largeur moyenne de 7,4 cm, alors que cette dimension est en moyenne de 5,2 cm pour les 77 tuyères provenant du ferrier. En outre, la hauteur de la base des tuyères (« e ») est comprise entre 3,7 et 9,6 cm dans la zone de travail alors qu'elle est comprise entre 2,8 et 6,5 cm dans le ferrier. Enfin, le diamètre de l'orifice de sortie dans le four est en moyenne de 2,9 cm dans le ferrier (30 exemplaires) alors qu'il est d'environ 3,4 cm dans la zone de travail (neuf exemplaires). Il apparaît donc que les tuyères mises au jour dans la zone de travail de l'atelier ont une longueur, une largeur et une hauteur de base ainsi qu'un diamètre de canal supérieur aux dimensions observées sur les tuyères issues du ferrier[204]. Les ouvertures réalisées dans les fours associés aux vestiges provenant du ferrier étaient donc de plus petites dimensions que celles des fours dans lesquels ont servi les tuyères retrouvées dans l'espace de travail.

203. Le nombre d'individus signalés est toujours le nombre de tuyères en assez bon état de conservation pour relever la dimension désignée.
204. L'étude des mesures des tuyères n'est pas détaillée ici, mais elle fait l'objet d'un article en cours de finalisation.

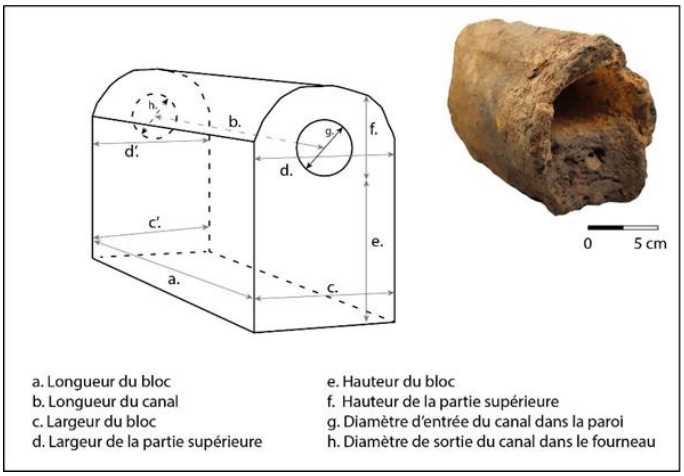


Fig. 181 : Schéma des différentes mesures prises sur les tuyères

Plusieurs raisons peuvent expliquer ce phénomène. Il est possible que les artisans aient changé de technique de production à un certain moment, employant alors des fours plus conséquents et/ou des ouvertures plus importantes pour la ventilation de la structure. En effet, les tuyères provenant de la zone de travail sont logiquement plus récentes que celles provenant du ferrier. Il est également possible que ces variations de dimensions soient le résultat d'une utilisation différente ; peut-être relative à un emplacement autre dans la paroi du four ou à des structures de production distinctes (foyer de forge ou four de réduction).

Les tuyères issues du ferrier de l'atelier F155/1 présentent des dimensions similaires à celles du site altomédiéval des « Boulies » à Boécourt (Jura suisse) avec une longueur d'environ 15 cm, une largeur de 5 cm, une hauteur de 11,5 cm et un diamètre de conduit d'environ 3 cm (ESCHENLOR, SERNEELS 1991: 58-62). Les tuyères des autres sites possèdent des dimensions toujours supérieures. L'atelier de Boécourt a également des petites et des grandes tuyères mais leurs dimensions sont associées à leur morphologie, contrairement à Boulogne-Chambord. Enfin, les dimensions relevées sur les tuyères provenant de l'espace de travail se rapprochent de celles du site médiéval de Ludres (Meurthe-et-Moselle) avec une longueur moyenne de 20 cm, une largeur, une hauteur d'environ 12,5 cm et un diamètre de sortie du conduit de 3 cm (LEROY, FORRIERES, PLOQUIN 1990 : 147). Seule la largeur de leur base est moins grande.

Plusieurs fragments de paroi permettent de mieux connaître la relation entre la paroi du four et la tuyère en place. Elles peuvent être directement intégrées dans la paroi du four (**Fig. 182**) ou être installées dans un espace préparé grâce à de la terre cuite architecturale. Cette façon de faire favorise le retrait de la tuyère lorsque de la scorie vient à la boucher.



Fig. 182 : Photographie d'un fragment de paroi associé à une tuyère (Z2S2, SDG05, US 2012)

La scorification de la plupart des tuyères est perpendiculaire à leur base, ce qui indique leur position horizontale. En outre, une dizaine de fragments encore associés à de la paroi et à de la scorie interne montre que les tuyères sont installées à même le sol (**Fig. 183**). Il existe néanmoins deux exceptions où la tuyère présente un angle de pénétration dans le four de 45°. Aucun rapport entre le type de tuyère et leur emplacement dans les fours n'est constaté.

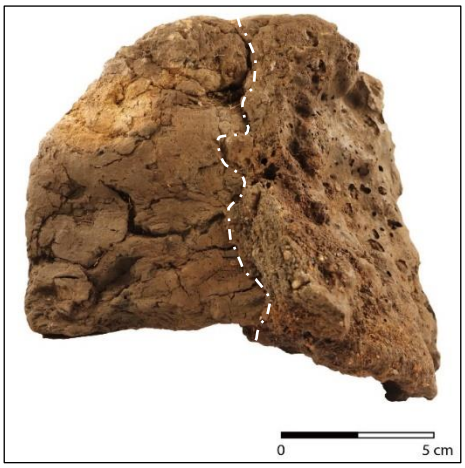


Fig. 183 *:* Photographie du profil d'une tuyère associée à de la paroi et à de la scorie interne (Z2S2, SDG01-B, US 2032)

Tous les fragments de four portent des traces d'utilisation similaires. D'une part, la coloration de l'argile qui les compose est souvent altérée par la chauffe. Elle est grise, noire, blanche ou encore mauve (**Fig. 184**). La couleur de l'argile dépend de la température du four et de l'atmosphère qui y règne (ANDRIEUX 2004 : 71). La coloration grise à noire est visible sur une bonne partie des fragments de paroi et de terre cuite architecturale. Elle témoigne d'une

atmosphère réductrice à l'intérieur des fours. La coloration brune/rouge, caractéristique de conditions oxydantes dans le four, est visible seulement sur quelques fragments de terre cuite architecturale. Le reste de ces vestiges présentent une coloration beige à orangé témoignant d'un faible impact thermique. On peut donc en conclure que l'atmosphère à l'intérieur des fours de cet atelier était principalement réductrice, ce qui est nécessaire au traitement du minerai. Ces observations confirment ce qui est aperçu sur les vestiges de prospection (*Supra* 4.3.4).



Fig. 184 *:* Photographie d'une *tegula* utilisée dans la construction d'un four et présentant des traces de chauffe (Z2S3, SDG03, US 2021)

Tous les fragments de tuyères, ou presque, ont une coloration beige/orangée à l'intérieur de leur canal et grise à noire à l'extérieur (**Fig. 185a**). Enfin, la surface des tuyères en contact avec l'intérieur des fours est souvent vitrifiée et/ou recouverte d'une couche de scorie (**Fig. 185b**).

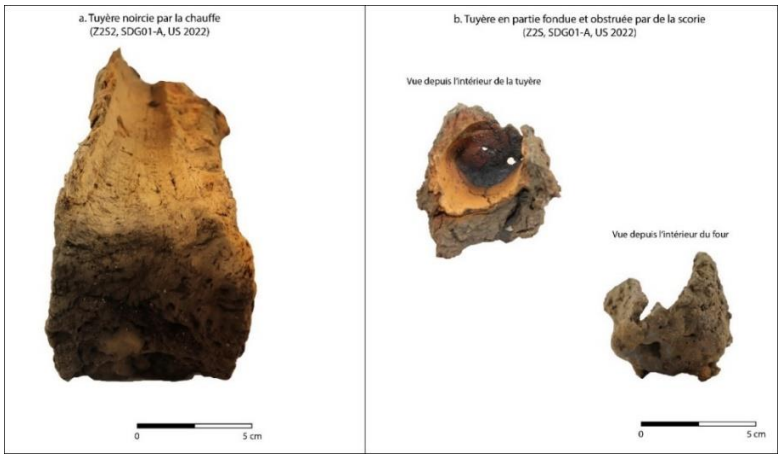


Fig. 185 : Photographie des différentes traces d'utilisation sur les tuyères

Après l'arrêt de la production, il semble que l'espace de travail ait été rebouché volontairement avant que l'étalement des déchets ne le recouvre cours du temps (LACROIX 2020 : 34).

7.1.3 L'espace de forge

La fouille à l'emplacement de l'anomalie magnétique **2b** montre la présence d'une probable zone de forge constituée d'un foyer de 70 cm de diamètre. Il est composé de sédiment blanc induré sur environ 3 à 4 cm d'épaisseur. A l'ouest, un trou de poteau est creusé dans le sol géologique. De forme circulaire, il mesure environ 20 cm de diamètre et 10 cm de profondeur (***cf* vol.2, fig. 84**) (LACROIX 2020 : 27-28). Entre ces deux structures se trouvent des inclusions d'oxydes de fer s'étendant sur 30 cm de longueur et 30 cm de largeur (**Fig. 186**) (LACROIX 2020 : 98-99).



Fig. 186 : Photographie du trou de poteau (US 2051) à gauche et du foyer composé d'une sédiment granuleux et grisâtre (US 2060) en rouge (vue vers le nord-ouest)

L'utilisation de cet espace a déposé une fine couche (env. 2 cm) de sédiment limono-sableux brun/rouge comprenant de nombreux nodules ferreux (US 2026) au niveau du foyer et dans le trou de poteau (LACROIX 2020 : 27-28). Ce sédiment se limite à la partie ouest de la zone de forge (***cf* vol. 2, fig. 85**). Derrière ces structures, au nord-ouest, se trouve une fosse de rejet. Le relevé microtopographique de ce sondage montre que le foyer et le trou de poteau sont situés sur un replat et que le départ de la fosse se situe à environ 50 cm derrière (***cf* vol. 2, fig. 86**).

De nombreuses battitures sont présentes dans cet espace. L'étude de leur répartition indique qu'elles sont très présentes dans l'espace localisé devant le foyer (B2) et le trou de poteau (A2), ainsi qu'entre ces deux structures (A3) (***cf* vol. 2, fig. 87**). On les retrouve ensuite en moindre quantité dans la zone de rejet (A1), à l'opposé du foyer (B1) et elles sont presque absentes de l'espace situé derrière le foyer (B3) (LACROIX 2020 : 98-99). Ces observations confirment que le foyer mis en évidence est bien associé à une activité de forge et que le trou

de poteau qui se trouve à côté est probablement celui d'un billot d'enclume. Les charbons de bois sont également très nombreux dans cet espace, surtout entre le trou de poteau et le foyer (A3) (***cf* vol. 2, fig. 88**). Dans une moindre mesure, ils se trouvent à l'opposé (B1) et son encore moins nombreux devant le trou de poteau (A2) et derrière le foyer (B3). La quantité importante de charbon entre le foyer et le trou de poteau peut être due aux mouvements des artisans qui travaillent au-dessus du foyer et dirigent la masse métallique vers l'enclume pour la travailler. Leur présence conséquente à l'opposé du foyer (B1) est plus surprenante. On peut alors se demander s'il ne s'agit pas de l'emplacement d'une zone de stockage du charbon.

Ces données permettent ainsi d'identifier cet emplacement comme une zone de forge. L'artisan travaillait dans un espace d'environ 1,8 m² en regardant vers le sud-est. Il avait à sa gauche un foyer dans lequel il pouvait chauffer le métal et à sa droite une enclume pour le travailler. Il est donc très probable que les métallurgistes étaient majoritairement droitiers. Une fosse de rejet se trouvait en arrière à moins d'un mètre, à droite, et une aire de stockage du charbon de bois, à gauche. Cette forge est située à 10 m au nord-ouest de la zone de réduction.

7.1.4 Un espace limité par un fossé

Au sud-ouest de la zone de fouille, à l'emplacement de l'anomalie magnétique **3a**, un fossé d'environ 1 m de largeur et au moins 15 m de longueur a été découvert (**Fig. 187**) (LACROIX 2020 : 29-30). Creusé dans le substrat sableux, il présente un profil évasé et une profondeur d'une vingtaine de centimètres (***cf* vol.2, fig. 89**). Ce fossé est comblé par plusieurs couches de remblai ; la première comprend de très nombreux fragments de scories ferreuses et de paroi (US 2022), puis les suivantes contiennent des vestiges plus hétérogènes constitués de blocs de paroi en argile, ainsi que de scories de gros calibre, de charbons de bois, de tuyères et de céramiques. Ce fossé est probablement le témoin d'une volonté des artisans de clore leur espace de travail. Néanmoins, il ne semble pas circonscrire tout l'atelier puisque la zone de réduction en est exclue. L'aire de grillage se trouve à seulement 2 m au nord-est. Des enclos circulaires enserrant une activité métallurgique sont connus, notamment dans l'atelier antique des « Robiniaux » à Martigné-Ferchaud (Ille-et-Vilaine) (ZAOUR 2021 : 601-603). Il y est toutefois de plus petite dimension (env. 10 m de diamètre) et un four de réduction est restitué en son centre.

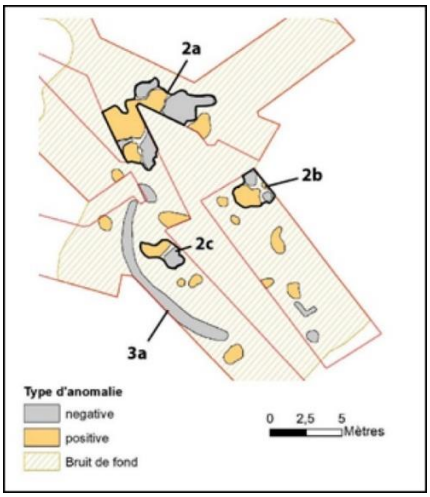


Fig. 187 : Localisation de l'anomalie magnétique 3a – le fossé bordier

7.1.5 La zone de rejet

Le ferrier recouvre l'atelier dans sa partie est et nord. La fouille de 2018, montre la présence d'un creusement (US 1014) d'une trentaine de centimètres à l'ouest du site. Elle ne permet toutefois pas de le suivre dans son intégralité (***cf* vol.2, fig. 90**) (LACROIX 2018a : 12). S'il est bien de forme circulaire, on peut supposer qu'il mesure au moins 10 m de rayon. En outre, il est creusé dans une couche argilo-limoneuse très compacte et homogène de couleur jaune-beige (US 1013), mesurant 10 à 20 cm d'épaisseur, qu'il traverse pour atteindre le sol géologique (US 1008) (***cf* vol.2, fig. 91**). La densité de cette couche et la présence de céramique à plat dans son épaisseur permettent de supposer qu'elle correspond à un niveau de circulation contemporain de l'activité de production du fer. Le niveau de rejet le plus important (US 1005) du ferrier est divisé en deux parties (***cf* vol. 2, fig. 92)** (LACROIX 2018a : 13-14). La partie inférieure (US 1005.1) est principalement composée de scories internes de grande dimension, de gros fragments de parois, de tuyères (parfois quasi complètes) et de nombreux fragments de charbon de bois. La partie supérieure (US1005.2), possède les mêmes caractéristiques avec des scories écoulées de taille plus réduite.

L'évaluation du volume de déchets présent dans le ferrier a nécessité la réalisation d'une fenêtre de 8 m de longueur sur 2,5 m de largeur (soit 16,5 m²) et environ 55 cm de profondeur[205] (LACROIX 2018a : 19-20). Cette fenêtre est implantée de façon aléatoire au centre de la partie nord-ouest du ferrier (***cf* vol.2, fig. 93**). Les vestiges métallurgiques extraits ont une masse

205. Toutes les profondeurs indiquées sont des moyennes de l'ensemble des profondeurs de cette fenêtre. Ce chiffre peut varier de 4 à 5 cm en fonction de l'endroit considéré.

d'environ 2, 7 t. La partie supérieure du ferrier remplit un volume de 4 m^3 se différencie de la partie inférieure, qui commence à environ 20 cm de profondeur, par un changement de calibre des scories dont les dimensions sont plus importantes. La couche inférieure mesure environ 35 cm jusqu'au sol géologique pour un volume de 7 m^3. Les scories écoulées y sont bien moins représentées (812 kg) qu'attendu, si la répartition des scories était homogène entre l'US supérieure et inférieure du tas de déchet (1 333 kg) (**Tableau 33**). Le poids des scories internes est assez proche de ce qui est attendu (544 kg au lieu de 523 kg). La véritable différence est visible avec les parois beaucoup plus représentées dans la partie inférieure (159 kg) que dans la partie supérieure (33,6 kg). On constate donc une différence dans la composition du ferrier entre sa partie supérieure et sa partie inférieure. La première comprenant des déchets de plus petites dimensions, beaucoup moins de déchets de paroi et plus de scories écoulées que la seconde.

Tableau 33 : Tableau indiquant la masse des différents types de déchets métallurgiques pesés dans l'espace de référence du ferrier

	Scories internes (en kg)	**Scories écoulées (en kg)**	**Paroi (en kg)**
Partie supérieure (US 1005.2)	299	762	33,5
Partie inférieure (US 1005.1)	544	812	159

En conclusion, l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne est délimité au sud-ouest par un fossé d'environ 15 m de longueur et 1 m de largeur (***cf* vol.2, fig. 94**). À l'intérieur de l'espace défini par ce fossé courbe, une aire de grillage du minerai est reconnue. Cette structure très ténue montre la chauffe du minerai sur le sol géologique. À l'est de cette aire, on distingue une zone de stockage du charbon de bois. Au nord de l'aire de grillage, sur une légère pente naturelle, ont été découverts trois probables fours de réduction à scories écoulées. Deux de ces fours s'ouvrent vers le bas de la pente, sur un sol d'atelier rubéfié, induré et comprenant de nombreuses inclusions de scories et de minerai. La morphologie des fours, très dégradés, est restituée grâce aux nombreux vestiges épars. Leur cuve devait mesurer environ 20 cm de diamètre avec des parois en argile beige, homogènes, probablement construites avec de l'argile locale. Les fours de forme circulaire ont des parois qui mesurent entre 2,5 et 5 cm d'épaisseur. Il est possible qu'elles s'affinent vers le haut de la cheminée. La plupart d'entre elles sont consolidées par de la terre cuite architecturale (tuile, brique, imbrice), sûrement récupérées de façon opportuniste. Les fours comprenaient une ventilation avec des tuyères qui peuvent

prendre quatre formes différentes. Certains sites métallurgiques montrent que ces différents types de tuyères pouvaient être combinés dans les parois d'un même four. Il est possible que ces variations de forme facilitaient leur utilisation à certains emplacements dans les fours (porte, paroi, cheminée, etc.). En outre, elles peuvent être classées en deux groupes selon leurs dimensions. Les tuyères mises au jour dans l'espace de travail ont une largeur, une hauteur de base et un diamètre de sortie dans le four plus importants (7 x 7 x 3,4 cm) que celles découvertes dans le ferrier (5,2 x 4,3 x 2,9 cm). Elles ont les mêmes dimensions que celles de type 1 du site de Boécourt, qui présentent également deux gabarits. Enfin, la plupart de ces tuyères étaient installées horizontalement.

Une zone de forge est située à un peu moins de 10 m au sud-est de la zone de réduction. Elle comprend, dans un espace d'environ 1,8 m², un foyer, un billot d'enclume, une fosse et un probable espace de stockage du charbon de bois.

On peut ainsi restituer les déplacements au sein de l'atelier (**Fig. 188**). Le minerai est d'abord grillé dans la zone dédiée avant de rejoindre la zone de réduction. Une fois le métal réduit, la masse de fer obtenue est acheminée vers la zone de forge pour être nettoyée de ses impuretés. On retrouve ces deux phases de la chaîne opératoire du fer sur les sites alto-médiévaux de Saint-Dizier (Haute-Marne) et Vert-Saint Denis (Seine-et-Marne) (DOMERGUE, LEROY 2000 : 5). Dans l'atelier de Boulogne-Chambord, on restitue ainsi un espace de travail d'environ 70 m². En comparaison, l'atelier médiéval des « Boulies » qui comprend deux fours de réduction et une aire de grillage est plus étroit car il se développe sur environ 30 m² (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 94).

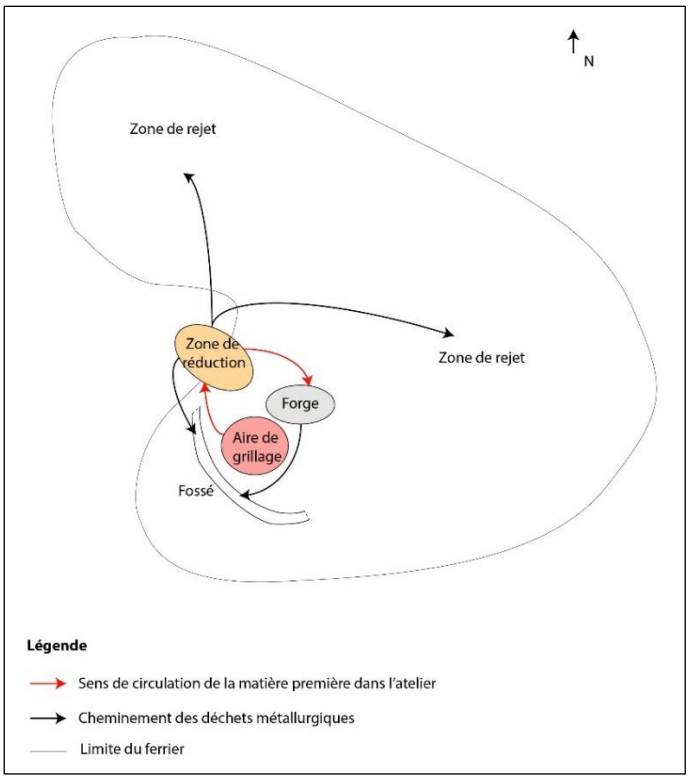


Fig. 188 *:* Carte schématisant le sens de circulation au sein de l'atelier métallurgique

L'espace de rejet des déchets, qui englobe l'atelier sur sa partie est et nord, fait l'objet d'une préparation du sol. Un creusement d'une trentaine de centimètres de profondeur est observé dans la partie nord-ouest du ferrier. Il traverse ce qui est identifié comme un niveau de circulation autour de la zone de déchet pour atteindre le sol géologique. Il est probable que ce creusement continue sous l'ensemble du ferrier, peut-être de façon circulaire. Ce ferrier comprend des couches de rejet hétérogènes constituées d'une proportion plus importante de scories écoulées dans la partie supérieure et d'une proportion plus importante de parois dans la partie inférieure. En outre, les vestiges observés dans la partie inférieure sont de plus grande taille que dans la partie supérieure. Ce phénomène clairement identifié en coupe est peut-être le résultat d'un changement de méthode de production au cours du temps.

Enfin, d'un point de vue méthodologique, l'utilisation des cartes de prospection géomagnétique s'avère être un atout indéniable pour localiser les structures de production de l'atelier métallurgique. Elles mettent en évidence les structures de combustion et autres structures en creux et facilitent l'implantation de la zone de fouille. Toutefois, toutes les anomalies magnétiques ne sont pas significatives puisque les plus ponctuelles et de moyenne intensité ne coïncident pas toujours avec une structure en place. Il est donc essentiel de coupler

les prospections géomagnétiques et la fouille afin d'obtenir une vision fiable de l'organisation de l'atelier métallurgique. En outre, les scories qui constituent le ferrier ne semblent pas être un frein à la cartographie du sous-sol, car leur magnétisme est moindre que celui des structures archéologiques. Cet outil est donc indispensable dans l'étude des sites métallurgiques en milieu forestier où un décapage extensif est difficilement envisageable.

7.2 Un site artisanal daté du haut Moyen Âge

Plusieurs catégories de vestiges viennent renseigner sur la période d'activité de cet atelier, elles sont présentées ici en fonction de leur degré de fiabilité, du moins précis au plus précis.

7.2.1 La terre cuite architecturale

Dans l'atelier F155/1, quatre types sont identifiés. On reconnait des *tegulae* ou tuiles plates à rebord, des *imbrices*, ou tuiles demi-rondes, des tuiles, des briques et des carreaux de pavement. Les *tegulae* ont des dimensions assez homogènes, on distingue toutefois les tuiles à bord épais, dont l'épaisseur de plateau est comprise entre 2 et 3 cm et les rebords quadrangulaires en moyenne 4 cm d'épaisseur. On retrouve ce type de vestiges le site de Saran (Loiret) datés des VI - VIIe s. (JESSET 2014 : 181) (**Fig. 189**). Le second type observé comprend des bords fins (env. 1,5 cm), dont la faible épaisseur signale plutôt une chronologie médiévale (DESHAYES 2016 : 139-152).

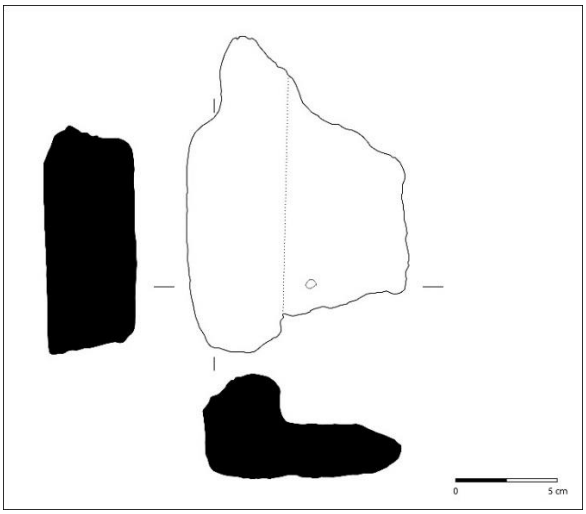


Fig. 189 *:* Dessin d'un fragment de *tegula* provenant du ferrier F155/1

Les *imbrices* proviennent de différents endroits du site. Leur épaisseur est homogène et comprise entre 1,5 cm et 1,7 cm (**Fig. 190**) (LACROIX 2018a : 29 ; LACROIX 2020 : 56). Cet élément d'architecture est caractéristique de la période antique. On retrouve le même type de mobilier avec une épaisseur similaire sur le site de Châteaubleau (Seine-et-Marne) par exemple (BONTROND 2013 : 289).

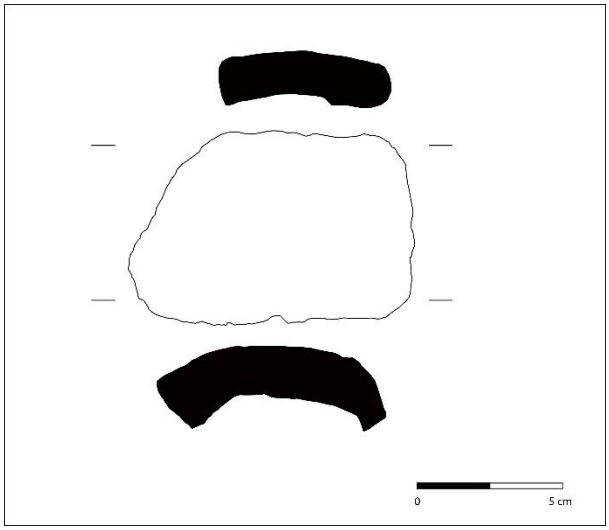


Fig. 190 *:* Dessin d'un imbrex provenant du ferrier F155/1

Enfin, plusieurs éléments sont identifiés grâce à leurs dimensions, leur forme et leur composition comme étant des carreaux de pavage médiévaux (LACROIX 2018a : 29).

L'assemblage hétérogène de terre cuite architecturale sur ce site témoigne du réemploi par les artisans d'éléments de construction que l'on peut dater entre l'Antiquité et le Moyen Âge.

7.2.2 Le mobilier céramique

Le mobilier céramique comprend quarante-huit tessons parmi lesquels se trouvent sept éléments de forme (lèvre ou fond) (***cf* vol.2, tableau 63**)[206] (LACROIX 2020 : 90-93). Ce mobilier provient d'une phase de démolition de la zone de réduction (F12) et du comblement qui lui succède (F19, F20) (**Tableau 34**). En outre, onze tessons ont été découverts dans la terre végétale (US 2001) à la surface de la fouille, dix sont issus du niveau de circulation autour du creusement du ferrier (US 1013) au nord-ouest et quatre proviennent du comblement du ferrier

206. Étude réalisée par A. Longelin (CITERES/LAT)

(US 1005). Le tessonnier de référence utilisé est celui de Blois, qui est le site de référence le plus proche géographiquement[207].

Tableau 34 : Tableau de comptage du mobilier céramique par groupe technique et par Fait/US, en Nombre de Restes (NR).

	Couche végétale	F19		F20			F12		F01	F02	
GT/ US	2001	2002	2006	2007	2008	2009	2014	2017	1005	1013	**Total**
bl08e	10	5	4	2	1	6	2	2	1	10	**43**
bl06c	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	**2**
Total	11	5	4	2	1	6	2	2	1	11	**45**

La majorité des tessons appartient à une production à pâte fine de couleur ocre à orangée et pourvue d'inclusions de quartz (bl08e). Elle est issue d'une fabrication locale qui est maintenue dans l'aire blésoise sur une longue période, englobant le haut Moyen Âge et une partie du Moyen Âge central (AUBOURG, JOSSET 2013 : 82-84). Les formes identifiées au sein de cette production sont variées et se rattachent toutes à un faciès du haut Moyen Âge. Ainsi, le pot à lèvre en gouttière (vase n°1), les rebords de cruches à collerette (vase n°3) et à bec ponté (vase n°6) sont des types connus dans des assemblages blésois de la fin du VIIIe s. - début IXe s. On les retrouve également sur le site de la Maison de la Magie[208] et du Château de Blois[209] (AUBOURG, JOSSET 2013 : 69-70) (**Fig. 191**). Deux rebords de pots à lèvre déjetée peu prononcée (vase n°4 et n°2) sont plus difficiles à rattacher à des types connus. Ils sont toutefois morphologiquement proches d'un type de pot à lèvre en poulie souvent fabriqué dans une pâte micacée et engobée, caractéristique des Ve- VIe s. (HUSI 2013 : 35). Il est possible que ces vases, réalisés en pâte orangée à Boulogne-Chambord, soient l'indice d'un faciès céramique du début du haut Moyen Âge (VIe- VIIe s.). Enfin, un tesson de céramique à pâte grise (bl06c) est un fragment de lèvre de coupe à rebord muni d'une collerette (vase n°5) sont connus dans des contextes blésois de la fin du VIII^{e}s. jusqu'au début du Xe s. Leur présence peu marquée sur le site est interprétée comme l'indice d'un changement de tradition de fabrication durant cette période. Les céramiques grises étant *a priori* plus caractéristiques de périodes plus anciennes du haut Moyen Âge (AUBOURG, JOSSET 2013 : 82-83).

207. Identification et dénomination des groupes techniques et des formes grâce à la publication du PCR sur la céramique du haut Moyen Âge dans le Centre-Ouest de la France (HUSI 2013) : http://iceramm.univ-tours.fr/
208. http://iceramm.univ-tours.fr/pdf_notice.php?notice=47
209. http://iceramm.univ-tours.fr/pdf_notice.php?notice=43

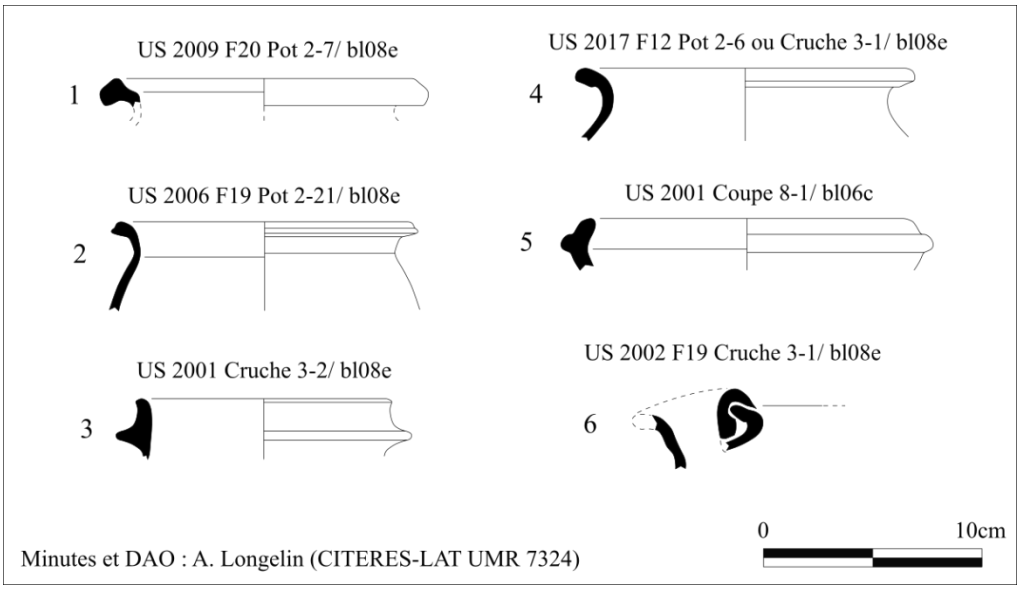


Fig. 191 : Planches des céramiques de l'espace de production associé à l'atelier F155/1

Bien que le corpus soit restreint, il forme un ensemble homogène presque exclusivement composé de productions locales, dites « blésoise », à pâte fine ocre-orangée (bl08e). Cette typologie est la même que celle esquissée par les quelques tessons de céramique ramassés dans d'autres ferriers du massif. La datation de cet assemblage, représentatif d'une vaisselle domestique destinée à la préparation et à la consommation des aliments (pots, cruches, coupes), est située au haut Moyen Âge, entre le VIe s. et le début du Xe s. Cette fourchette large est due à l'absence d'ensembles de références issus du Blésois pour les périodes antérieures à la fin du VIIIe s. (AUBOURG, JOSSET 2013 : 69).

7.2.3 Les datations ^{14}C

Sept datations ^{14}C ont été réalisées sur des charbons de bois de l'atelier F155/1 ; deux proviennent des sols d'atelier (réduction et épuration) (Boul2020_6 et 7), trois des poches charbonneuses observées dans la couche de rejet principale du ferrier (Boul2020_1, 2 et 3) et deux ont été prélevés dans des scories de cette même couche de rejet (Boul2018_4 et 5) (***cf* vol.2, fig. 95-101**). Le diagramme synthétisant toutes les datations calibrées obtenues[210] montre que l'atelier a fonctionné à une période située entre environ 420 et 700 (**Fig. 192**). Cette observation coïncide avec les datations apportées pour l'ensemble des sites métallurgiques datés dans le massif.

210. Diagramme réalisé à l'aide du logiciel OxCal.

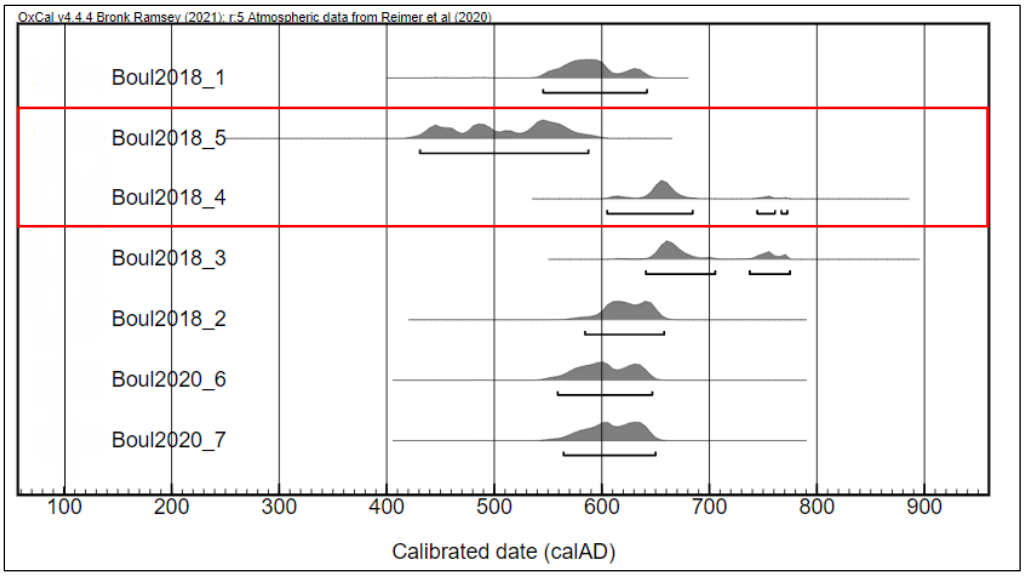


Fig. 192 : Diagramme des résultats d'analyses ^{14}C de l'atelier F155/1(en rouge : les analyses réalisées sur des charbons extraits deux scories)

Une tentative de réduction de cette fourchette très large peut être réalisée grâce à la courbe de datation calibrée (**Fig. 193**). En effet, elle permet de mieux appréhender les effets de plateaux et d'observer les fourchettes de datation les plus probables en fonction des autres échantillons. Ces effets de plateau sont visibles sur les échantillons Boul2018_3, Boul2018_4 et Boul2018_5. On peut alors proposer de recentrer la production de cet atelier à une période comprise entre 540 et 690.

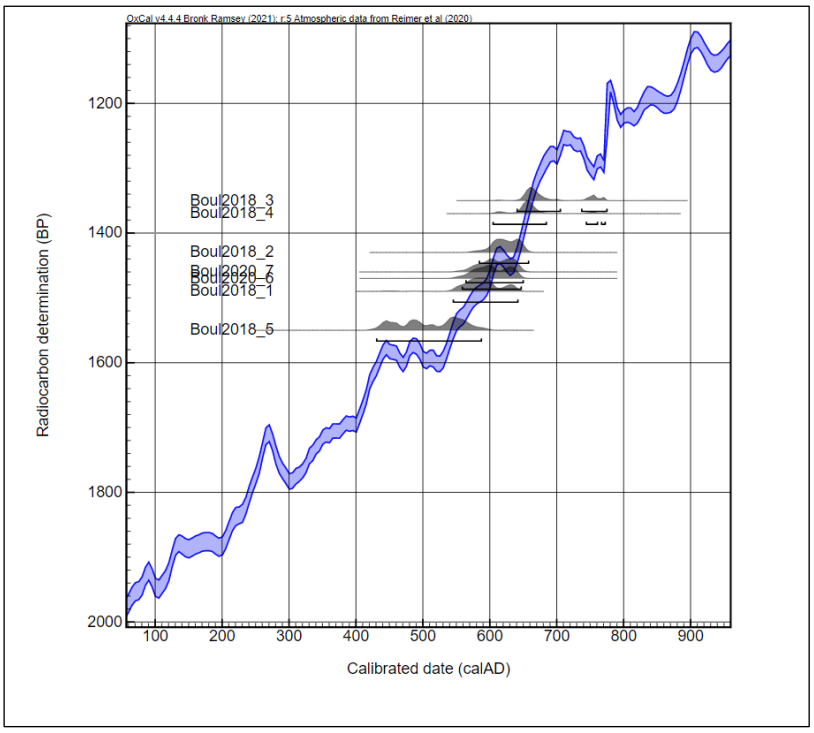


Fig. 193 : Diagramme présentant les résultats d'analyses ^{14}C sur la courbe de datation calibrée

Conclusion

Les éléments de datation observés dans l'atelier métallurgique F155/1 sont cohérents et témoignent du développement de l'activité métallurgique entre la seconde moitié du VIe et la fin du VIIe s. Ce site métallurgique, tout comme les autres sites datés du massif, fonctionne donc pendant la période mérovingienne.

On connait peu d'ateliers pour cette période, hormis le site de Boécourt « les Boulies » (Ju/Suisse), daté entre le Ve et le VIIe s. (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 14), et de Bellaire I (Vaud/Suisse) qui fonctionne entre les VIe et VIIe s. (SERNEELS 1993 : 99). En France, l'atelier des « Noires Terres » à Messein (Meurthe-et-Moselle) est daté des VIe-VIIe s. Le site de Frouard « Nerbevaux » (Meurthe-et-Moselle) fonctionnait entre le Ve et le début du VIe s., et celui de Ludres (Meurthe-et-Moselle), composé de deux ateliers successifs, entre les VIe - Xe s. (DOMERGUE, LEROY 2000 : 3-4). Un faible nombre d'atelier de cette époque ont conservé leurs structures de production. Ils sont surtout perçus à travers leurs déchets ; c'est le cas du site de Chaize-le-Vicomte (Vendée), dont l'activité est datée entre les VIe et VIIIe s. (PETORIN 2007 : 144-180), de Saales (Bas-Rhin), actif à une période située entre les VIe – IXe s. (MAGAR 2017 : 37-39). Les seuls sites du centre de la France connu pour cette période sont les ateliers de « Bois Messire Jacques » à Massay (Cher), daté des IVe - VIe s. (BEYRIE 2016) et du Pêchereau « Le bois des Thibauds » (Indre), dont la période d'activité est comprise entre les VIe et VIIe s. (COUVIN 2021 : 48).

7.3 Un atelier métallurgique plurifonctionnel

L'étude des déchets de réduction (environ 226 kg) (***cf* vol. 4, tab. 5**), apporte des informations sur la technologie employée et le type de production réalisée dans cet atelier.

7.3.1 Les caractéristiques de la réduction

Les vestiges de réduction

Les scories écoulées

Ce type de scorie, ou Scories Grises Denses, est observé en quantité parmi les déchets métallurgiques étudiés (environ 92 kg) (LACROIX 2018a : 22 ; LACROIX 2020 : 41- 44). Sa présence en abondance confirme l'utilisation de fourneaux à scorie écoulée. On retrouve les mêmes types que ceux vus en prospection dans la forêt avec tout d'abord des **scories à cordons épais** (sup. 2 cm) (49,1 kg) (**Fig. 194a**), principalement mises au jour dans l'espace de travail

(35,7 kg) et plus particulièrement dans le comblement du fossé (US 2022) délimitant l'atelier (17,6 kg) et dans une moindre mesure dans le ferrier (13,4 kg) ; des **scories à cordons fins** (inf. 2 cm) (20, 4 kg) (**Fig. 194b**), également plus représentées dans l'espace de travail (15,2 kg) et dans le comblement du fossé (7 kg) que dans le ferrier (5,1 kg) ; des **scories à cordons agglomérés** (9,6 kg) (**Fig. 194c**) dont les fragments sont plus nombreux dans le ferrier (4,1 kg pour 40 individus), mais beaucoup plus lourds dans l'espace de travail (5,5 kg pour 7 individus) ; et de façon plus ponctuelle, on observe des **scories en plaque** fine plus ou moins ridées (0,8 kg) (**Fig. 194d et e**). Elles sont aussi présentes dans l'espace de travail (0,398 kg) que dans le ferrier (0,396 kg).



Fig. 194 : Planche photographique des différents types de scories écoulées provenant de l'atelier F155/1

La comparaison des proportions de ces différents sous-types ramassés en prospection et en fouille indique que les scories à cordons épais sont plus représentées parmi les vestiges de prospection alors que les scories à cordons fins sont moins visibles (**Tableau 35**). Les scories aux cordons agglomérés et en plaque sont plus anecdotiques et leurs proportions sont relativement justes. Ainsi, même avec une méthode de prospection bien établie, il est impossible d'avoir une vision totalement représentative de la production des ateliers. Bien que les proportions des vestiges issus des prospections et des fouilles ne soient pas identiques, les

mêmes tendances sont observées. La méthode de prospection utilisée produit des résultats suffisamment représentatifs pour justifier leur utilisation dans les analyses statistiques du chapitre 6.

Tableau 35 : Comparaison des proportions des différents sous-types de scories écoulées ramassés en fouille et en prospection

	Prospection (en kg)	Prospection (en %)	Fouille (en kg)	Fouille (en %)
Cordons épais	87,7	75,5	49,1	53,5
Cordons fins	5,3	4,6	20,4	22,2
Cordons agglomérés	4,1	3,5	9,6	10,5
En plaque	0,8	0,7	0,8	0,9
Indéterminé	18,3	15,7	11,9	13,0

La morphologie des scories écoulées ayant un rapport avec leur état de viscosité, les conditions physico-chimiques dans les fours de cet atelier étaient propices à la formation de scories peu fluides.

Huit scories de forme cylindrique, interprétées comme des bouchons de tuyère, précisent la morphologie de celles-ci. Elles peuvent être composées d'un canal simple (**Fig. 195a**) et plus rarement doubles (**Fig. 195b**). Leur diamètre est compris entre 2,2 et 2,9 cm, ce qui correspond aux diamètres moyens mesurés sur les tuyères (*Supra* 7.1.2).



Fig. 195 : Photographie des différents types de bouchons de tuyère observés sur le site F155/1

Enfin, la forme de 21 scories montre la présence de canaux creusés devant les fours afin de guider l'écoulement de la scorie. Ils sont semi-cylindriques et ont un diamètre compris entre 2,2 et 10 cm. La moyenne étant toutefois autour de 3,8 cm. Ces négatifs de rigoles sont présents uniquement sur des scories à cordons épais et, dans une moindre mesure, agglomérés.

Les scories internes

Ces scories représentent une masse d'environ 114 kg (LACROIX 2018a : 20-22 ; LACROIX 2020 : 37-41). Elles regroupent trois sous-types dont les plus représentés sont les **Scories Brunes Rugueuses** (**Fig. 196a**) (56 kg) que l'on retrouve de façon relativement similaire dans l'espace de travail (29 kg), notamment dans la fosse de la zone de forge (US 2026) ainsi que le comblement du fossé (US 2017), et dans le ferrier (27 kg). On observe ensuite les **Scories Brunes Denses** (**Fig. 196b**) (45 kg) dont 23 kg proviennent du ferrier, notamment de la couche de rejet principale (US 1005) (14 kg), et 21,5 kg de l'espace de travail, surtout du comblement du fossé (US 2017). Enfin, le troisième sous-type est constitué des **Scories Ferreuses** (**Fig. 196c**) (13 kg) dont la majorité provient de l'espace de travail (9 kg), surtout du comblement du fossé (US 2022) et de la fosse de l'espace de forge (US 2026).

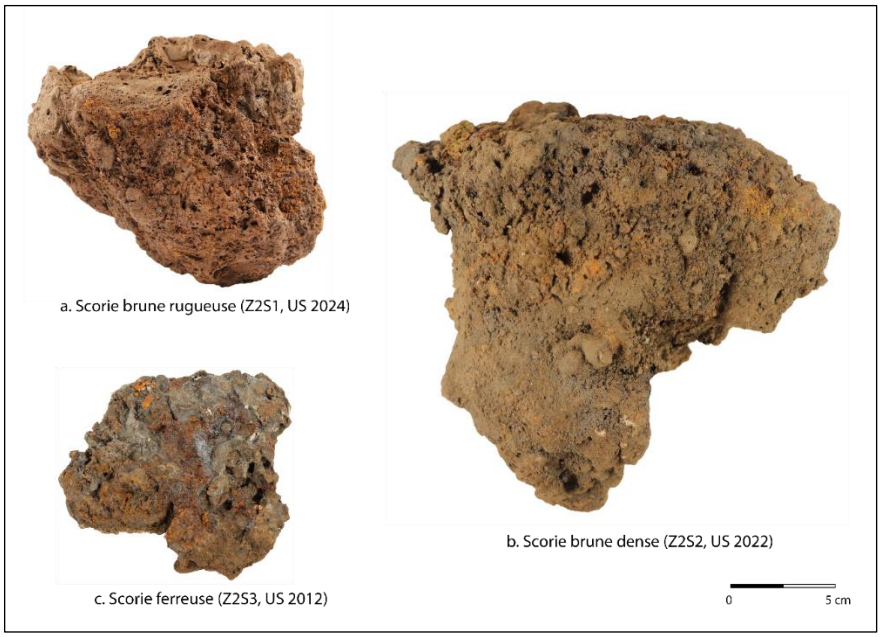


Fig. 196 : Photographies des différents sous-types de scories internes observées sur le site F155/1

De nouveau, les proportions de ces différents sous-types de scories ne sont pas tout à fait similaires à celles du mobilier de prospection. Toutefois, les tendances sont les mêmes (**Tableau 36**).

Tableau 36 : Comparaison des proportions des différents sous-types de scories internes ramassés en fouille et en prospection

	Prospection (en kg)	Prospection (en %)	Fouille (en kg)	Fouille (en %)
SBR	26	46,4	56,2	49,3
SBD	29	51,8	44,8	39,3
SF	0,9	1,6	12,9	11,3

Parmi l'ensemble de ces scories, 47 sont des fonds de four. Il s'agit de 20 Scories Brunes Denses, 24 Scories Brunes Rugueuses et deux Scories Ferreuses. Elles pèsent entre 0,3 et 5,5 kg (***cf* vol.2, tableau 64**). Lorsque l'on observe la répartition de ces individus par classe de poids, on constate que la majorité d'entre eux pèse entre 0,4 et 0,8 kg (25 individus, soit 53%), puis en moindre quantité entre 1,2 et 1,4 kg (7 individus) et entre 0,9 et 1,1 kg (5 individus) (**Fig. 197** ; ***cf* vol. 2, tableau 65**). Les autres fonds de four pèsent plus de 1,5 kg. Ces vestiges semblent donc traduire en majorité des petites opérations de réduction.

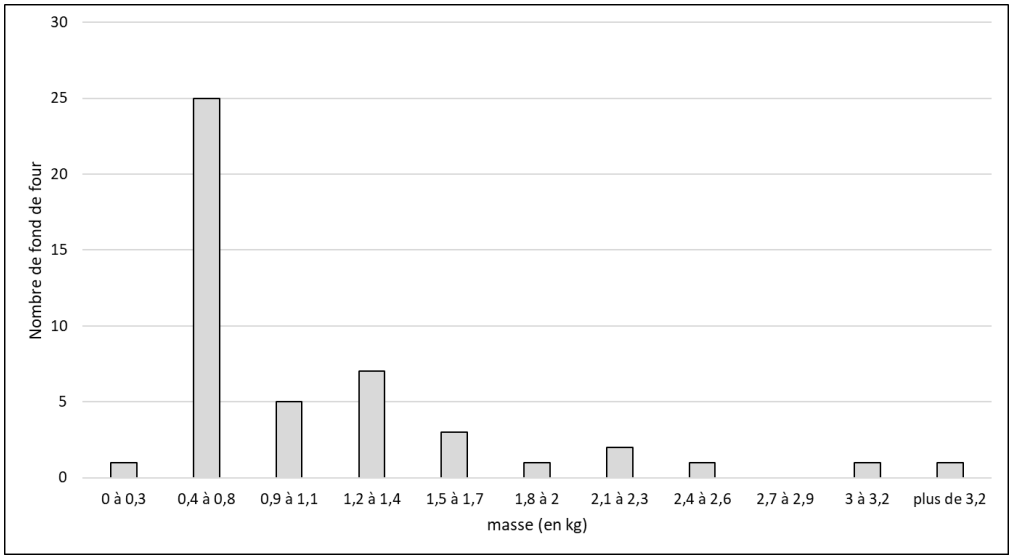


Fig. 197 : Diagramme de la masse des fonds de four de l'atelier F155/1

Leurs dimensions suivent deux tendances. La majorité a une longueur comprise entre 10 et 18 cm pour une largeur allant de 7 à 14 cm. Sept sont plus grands, avec une longueur comprise entre 18 et 20 cm et une largeur d'environ 14 à 18 cm (**Fig. 198**). Les fours sont donc globalement circulaires et leurs dimensions présentent deux tendances qui pourraient peut-être correspondre à l'existence de deux tailles de four. Deux fonds de four s'écartent de la norme, un particulièrement petit et un beaucoup plus important. Enfin, l'épaisseur des culots est

comprise entre 2,2 et 10 cm, ce qui est très hétérogène, et il n'apparait aucun rapport entre l'épaisseur et le poids des scories.

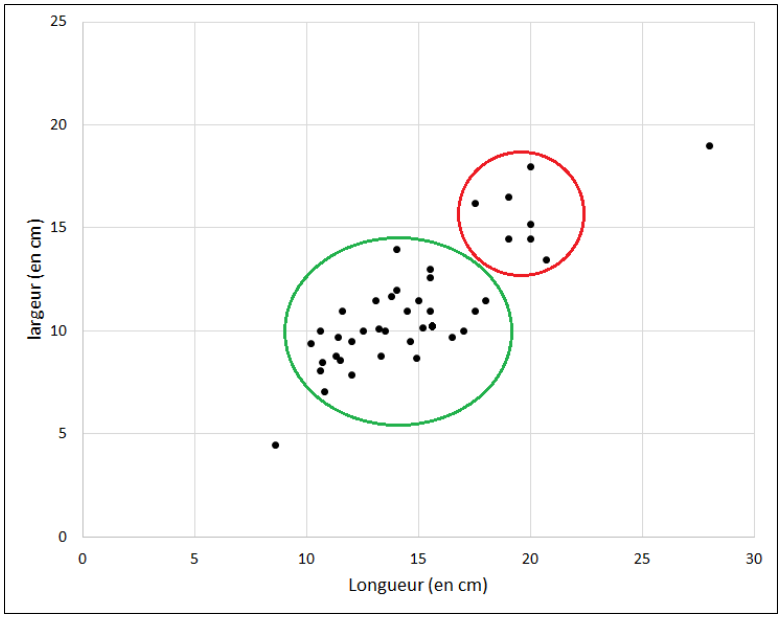


Fig. 198 : Diagramme de la longueur (en cm) des fonds de four en fonction de leur largeur (en cm)

Ces vestiges proviennent principalement de la couche de comblement principale du ferrier (US 1005), soit 29 exemplaires. En outre, dix individus sont issus des couches de comblement du fossé (US 2017 et 2022). Les autres proviennent de plusieurs couches de comblement du ferrier et de l'atelier (US 1010, 1013, 1100, 1101, 2009, 2013 et 2024).

Les fonds de four sont tous plano-convexes. Un certain nombre sont associés à de la paroi en argile beige. Deux sont également liées à de la scorie écoulée signalant la zone par laquelle la scorie est sorti du four (**Fig. 199a**). Enfin, une troisième scorie présente le négatif d'un canal de 6,1 cm de diamètre indiquant la présence d'un orifice de cette dimension à la base du four (**Fig. 199b**).

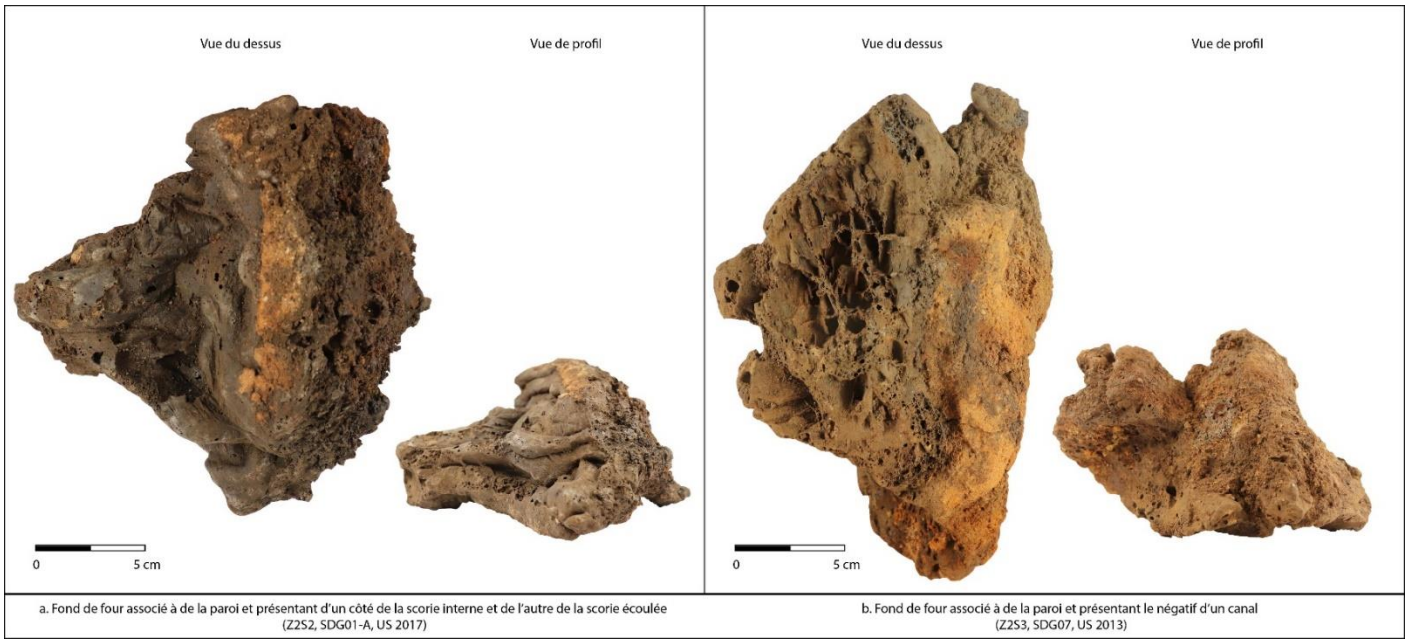


Fig. 199 : Photographies des deux fonds de four associés à de la paroi en argile

L'observation microscopique de 13 fonds de four montre que tous sont très vitrifiés et que 12 ont une coloration verdâtre (***cf* vol. 3, Annexe 5.1**). Cette coloration recouvre 100 % de la coupe de cinq individus, au moins 60 % de cinq autres et moins de 30 % des deux derniers exemplaires.

On peut distinguer trois types de scories dont les deux premiers sont les mêmes que ceux observés en prospection (*Supra* 4.3.2). Les fonds de four les plus fréquents sont ceux de type 1 (huit individus). Ils comprennent de nombreuses porosités réparties sur l'ensemble de leur surface (**Fig. 200**). Les porosités de plus grandes dimensions sont souvent concentrées dans cette zone. Les plus petites sont arrondies alors que les plus grandes sont étirées. Cet ensemble d'indices témoigne d'une scorie peu fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Les individus présentant une coupe totalement verdâtre (BOU1005-1, BOU1005-4 et BOU1005-8) ont une matrice très homogène. Leur phase cristallisée, visible à l'œil (cristaux jusqu'à 1 cm), comprend de la fayalite en fines lattes (BOU1005-4), en larges lattes (BOU1005-1) ou en larges lattes et cristaux équigranulaires (BOU1005-8). Cette cristallisation montre un refroidissement très lent de la scorie. Les scories bicolores ont un refroidissement hétérogène. Parmi elles, quatre ont un refroidissement qui s'opère depuis la zone verte vers la zone noire, soit depuis la périphérie vers le centre (BOU1010, BOU1005-7, BOU1100) soit depuis le centre vers la périphérie (BOU1005-2). Cinq d'entre contiennent des nodules métalliques. Ils sont plus nombreux dans les scories à matrice verte, situés au centre et/ou en partie supérieure, que dans

celles bicolores. Les nodules métalliques observés dans BOU1005-1, BOU1010 et BOU1100 sont entièrement constitués d'une structure ferritique équiaxe légèrement carburée (moins de 0,02 % C), soit du fer doux. Ils présentent la même composition au centre de BOU1005-4, mais sont plus carburés en partie supérieure où ils ont une structure ferrito-perlitique, traduisant un acier hypoeutectoïde. Le métal produit est donc hétérogène dans cette scorie, mais reste globalement assez peu carburé. La forme globuleuse des inclusions métalliques indique une température assez élevée dans le four.

Les fonds de four de type 2 sont de plus petites dimensions. Ils ont de nombreuses petites à moyennes porosités dans leur partie inférieure et leur partie supérieure est plus dense. Ces porosités sont de formes arrondies à étirées vers la partie supérieure. Cette répartition peut traduire une augmentation de la température dans les fours entre le début et la fin de l'opération. Hormis l'un de ces fonds de four (BOU1013), leur matrice est principalement de couleur noire. En outre, on n'observe aucun nodule métallique dans leur coupe et un individu comprend des inclusions de charbon de bois (BOU2009). D'un point de vue microscopique, ces scories sont constituées d'une phase vitreuse et d'une phase cristallisée ; fayalite équigranulaire et en larges lattes dans la partie dense et en fines lattes, parfois associées à une seconde cristallisation de fine latte de fayalite, dans la partie vacuolaire. Cela témoigne d'un refroidissement hétérogène de la scorie ; lent en partie supérieure et plus rapide dans la partie inférieure. Enfin, BOU2009 comprend également des nodules argilo-sableux pouvant provenir de la paroi ou de l'utilisation d'ajouts lors de la réduction.

Le troisième type de fond de four (type 3) est dense sur une partie de sa coupe et comprend de nombreuses porosités sur l'autre partie. Seuls deux individus (BOU1005-3 et BOU1005-6) sont de ce type. Les porosités sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à étirée. Ce phénomène s'explique différemment pour les deux scories. BOU1005-3 à une matrice stratifiée signalant probablement deux phases de production. Lors de la première, la scorie est fluide et pendant la seconde sa viscosité est plus importante. L'hypothèse est que cette modification de la fluidité de la matière est le résultat, volontaire ou non, d'un changement dans la méthode de production en cours d'opération (aération ? augmentation de la température ?).

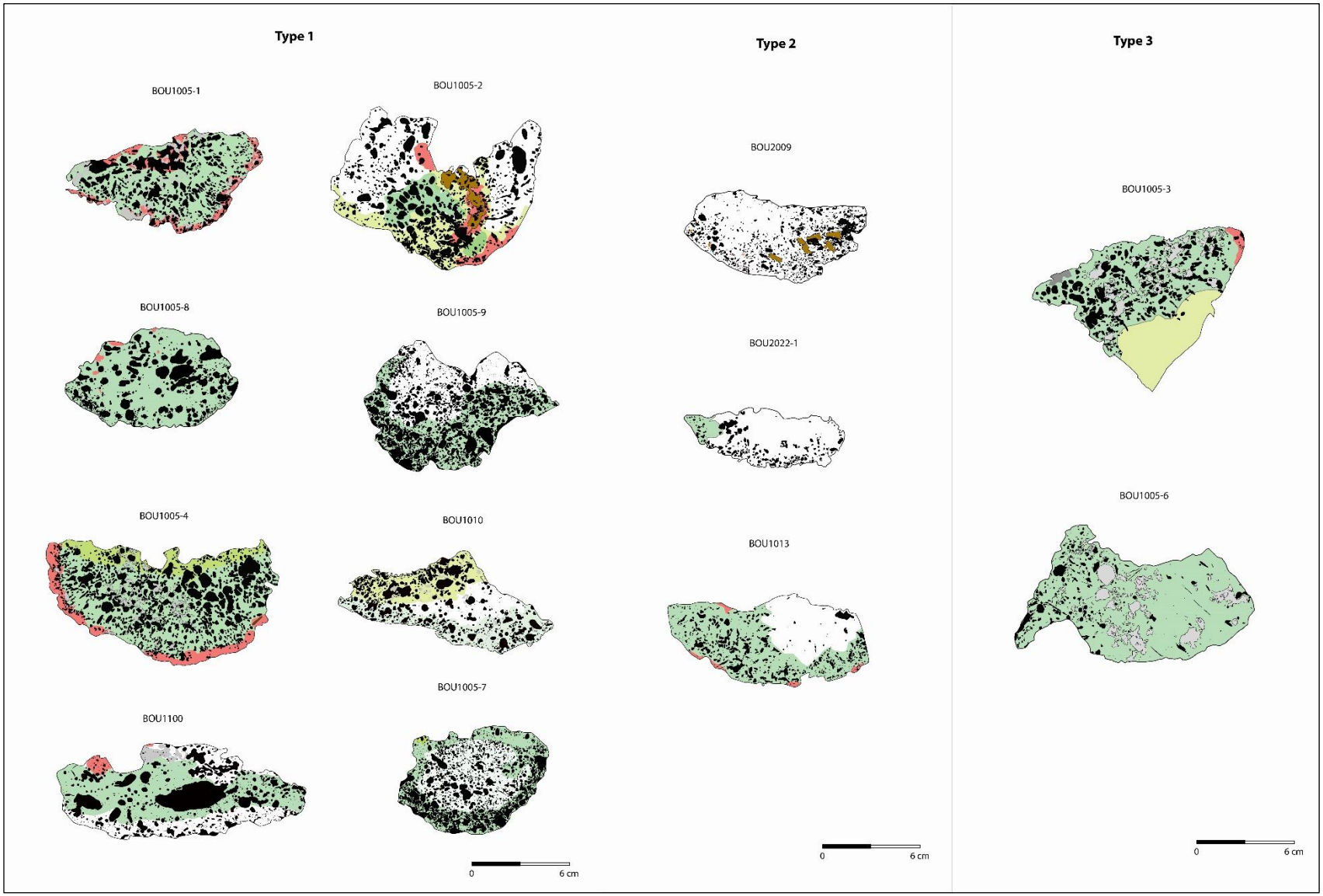


Fig. 200 : Planche des coupes des fonds de four de l'atelier F155/1 classés par type

En ce qui concerne BOU1005-6, la scorie est globalement fluide, mais la prévalence des porosités d'un côté plutôt que de l'autre montre une différence de conditions dans le four. Il est possible que les artisans aient employé une ventilation plus importante d'un côté du four. Ces scories sont toutes les deux constituées d'une phase vitreuse et d'une phase cristallisée au refroidissement hétérogène. Les cristaux de fayalite, visibles à l'œil nu, ont néanmoins un refroidissement général assez lent dans les deux scories (SERNEELS 1993 : 26).

Les fonds de four de cet atelier ont donc deux points communs : une importante vitrification et une coloration verte pour la plupart d'entre eux. La cristallisation très importante de la fayalite dans ces zones vertes indique un refroidissement très lent de la matière. Le métal observé dans certaines scories est peu carburé, il s'agit presque toujours de fer doux. Ces fonds de four peuvent indiquer l'utilisation de deux modes de production différents. Le premier produit une scorie peu fluide (Technique 1). Les fonds de four engendrés ont une perte de métal plus importante, sous forme de nodules, ce qui peut signaler une réduction de moins bonne qualité. La seconde méthode de production engendre des scories de plus petites dimensions et plus fluides vers la fin de l'opération (Technique 2). L'absence de nodules métalliques dans la coupe de ces vestiges indique une réduction plus efficace. Finalement, le troisième type de fond de four ne semble pas correspondre à une méthode de production différente. Il parait plutôt être le fruit d'opérations moins efficaces, peut-être des accidents. Elles contiennent notamment une quantité plus importante de nodules métalliques (15 à 20 % de la surface), indiquant des opérations moins performantes.

L'étude de la répartition spatiale de ces déchets montre que les fonds de four de type 2 proviennent du comblement de la zone de forge (US 2009), du fond du fossé (US 2022) et de l'espace de circulation autour du ferrier (US 1013) alors que ceux de type 1 sont principalement issus du comblement nord-ouest du ferrier (US 1005). D'un point de vue stratigraphique, les déchets composant le ferrier sont plus anciens que ceux provenant du comblement de la zone d'atelier, sinon elle n'aurait pas pu fonctionner. Dans ces conditions, les fonds de four de type 2 seraient les plus récents. Une hypothèse émerge alors : le type 2 ne pourrait-il pas être un indice d'une modification ou d'une adaptation de la méthode de production au cours du fonctionnement de l'atelier ? Le but étant de fabriquer plus efficacement un même métal, le fer doux. Il faudrait multiplier les observations métallographiques sur d'autres fonds de four pour vérifier cette hypothèse.

Les pseudo-laitiers

Un troisième type de scorie de réduction est présent dans ce ferrier, il s'agit de scories ayant l'apparence de laitiers, ou pseudo-laitiers (LACROIX 2018a : 23 ; LACROIX 2020 : 44-45). Ils représentent environ 1,2 kg de vestige et ont un aspect très vitrifié de couleur verte, bleue à blanche avec de nombreuses porosités (**Fig. 201**).



Fig. 201 : Photographie d'un pseudo-laitier vert

Les pseudo-laitiers proviennent majoritairement de l'espace de travail (0,9 kg) et sont moins représentés dans le ferrier (0,3 kg). La présence de ces déchets peut signaler des conditions particulières dans les fours de réduction, mais leur faible quantité montre que ces conditions sont sans doute le résultat d'actions involontaires. Cette même hypothèse est avancée sur le site d'Oulches (Indre). Sur ce site la production de pseudo-laitiers est associée à celle de la fonte, ou tout au moins à celle d'acier hypereutectoïdes (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 345). Dans l'atelier F155/1, l'étude métallographique des différents déchets de production (fonds de four, culots de forge et battitures) met uniquement en évidence la fabrication d'un fer doux. Les pseudo-laitiers ne semble donc pas caractéristiques de la fabrication d'acier carburé.

Les vestiges lithiques

Le seul élément possible fragment de minerai de fer mis au jour dans l'atelier F155/1 est identifié comme étant de l'argilite compacte, peu dense avec des arêtes plus ou moins tranchantes (ces arêtes ont probablement été engendrées par un éclatement lors d'une chauffe) (LACROIX 2020 : 68-71). Il s'agit de minerai sidérolithique rubéfié qui présente une coloration non uniforme avec des faces rouges vives à orangées et des faces brunes[211] (**Fig. 202**). L'analyse de la composition chimique de certains de ces fragments de minerai confirme qu'au moins deux d'entre eux sont probablement ceux utilisés pour la réduction dans cet atelier (*Supra* 6.1.1).

211. Je remercie Isabelle Gay-Ovejero (GEHCO) pour son aide quant à la description et l'identification de ces éléments lithiques.

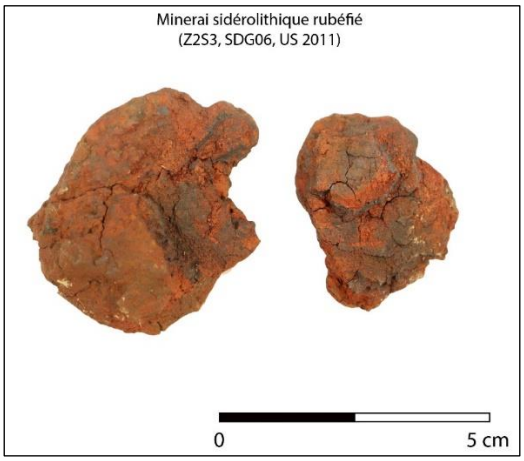


Fig. 202 : Photographie de fragments de minerai mis au jour sur le site F155/1

Les fragments de ce minerai sont rares (1,3 kg) (***cf* vol.4, tab.5**). On constate que 0,2 kg provient de la zone de forge (US 2026, US 2033 et US 2018), et 0,8 kg de l'aire de grillage du minerai (US 2029, US 2032, US 2017, US 2019, US 2010 et 2011). Quelques fragments viennent également de la zone de réduction (0,01 kg), du niveau de circulation autour du ferrier (0,05 kg) et du ferrier (0,02 kg). Les fragments de minerai sont donc principalement présents au niveau de l'aire de grillage et dans la zone de forge.

Deux autres types de roches sont mis au jour dans cet atelier, il s'agit de grès blanc à gris avec par endroit des liserés de couleur jaune, rouge vif à bordeaux (2,3 kg) (**Fig. 203a**). Ces vestiges ont presque tous été mis au jour dans la zone de grillage et dans une moindre mesure dans la zone de réduction. Le second type correspond à du calcaire blanc et poreux (7,3 kg) (**Fig. 203b**). Il provient de la zone de grillage et de la zone de forge.

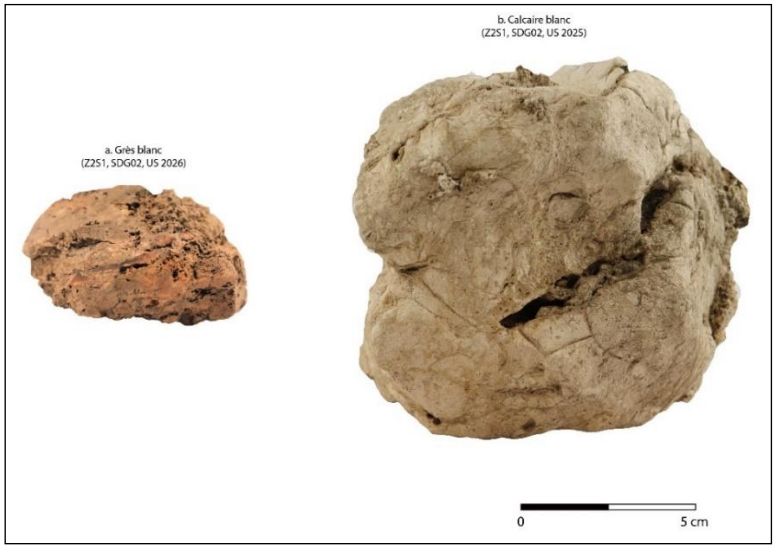


Fig. 203 *:* Photographie des différents types d'éléments lithiques mis au jour sur le site F155/1

Les vestiges lithiques mis au jour dans l'atelier F155/1 sont exogènes dans un sous-sol essentiellement composé de sables, d'argiles et de quartz plus ou moins roux. Ils ont donc probablement été amené dans l'atelier en même temps que le minerai de fer. Cette combinaison d'éléments lithiques correspond à ce que l'on peut trouver dans la formation géologique sidérolithique (argile, grès ferrugineux, conglomérat, pisolithes de fer), localisée entre Villefranche-sur-Cher et Gièvres, et recensée parmi les possibles sources d'approvisionnement en minerai de fer autour de Boulogne-Chambord (*Supra* 6.1.1) (SUBTIL 2008 : 1). Cet espace est accessible par voie fluviale ou terrestre. Une analyse de la composition chimique des minerais provenant de cette formation pourrait permettre de vérifier cette hypothèse.

Les conditions de la réduction

Les analyses par ICP/MS réalisées sur différents échantillons provenant de l'atelier F155/1 permettent de faire le bilan des matières produites lors de la réduction du métal. Ce bilan de matière est réalisé à partir de la masse des éléments chimiques pour 100g d'échantillon. Les résultats bruts des analyses élémentaires ont été préalablement traités selon la méthode décrite dans le chapitre 3 de cette thèse (*Supra* 3.3.3) (***cf* vol. 2, tableau 66 ; vol.4, tab.6**).

L'équation de la réduction est résolue à l'aide de la moyenne des teneurs des deux échantillons de minerai identifiés comme étant probablement ceux utilisés pour la réduction à cause de leur signature chimique compatible avec celle des scories (*Supra* 6.1.1). Elle est complétée par celle de sept échantillons de scories écoulées et de deux échantillons de paroi (**Tableau 37**). Les pseudo-laitiers, dont il est établi la fabrication involontaire d'après leur faible nombre, ne sont pas pris en considération dans cette équation, de même que les scories internes pour lesquels aucune analyse n'est réalisée pour l'instant.

Tableau 37 : Moyenne des masses d'éléments chimiques pour 100g d'échantillon par type d'échantillon

	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Cr	Ti	Mn	P	Ba
Scorie écoulée	16,8	2,1	33,4	2,0	0,3	0,1	1,1	0,0	0,1	5,5	0,1	0,5
Paroi	38,5	4,4	3,2	0,4	0,2	0,2	2,3	0,0	0,2	0,6	0,0	0,1
Minerai	6,8	1,1	54,2	0,2	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	3,7	0,0	0,2
Charbon	8,7	3,7	2,1	42,5	1,1	0,2	0,6	indet	0,2	0,2	0,3	indet

Les teneurs en éléments chimiques de charbons de bois archéologiques, issus du site d'Oulches, sont également intégrées à l'équation afin de pallier l'absence d'analyse sur ce type d'échantillon dans l'atelier F155/1 (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 328-330, figure 11) (**Tableau 38**).

Tableau 38 : Moyenne des masses d'éléments chimiques des charbons de bois archéologiques du site d'Oulches pour 100g d'échantillon

	Si	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	Na	K	Ti	P
Charbon 1	7,6	2,8	1,7	0,1	1,2	47,1	0,3	0,7	0,2	0,2
Charbon 2	9,9	4,6	2,5	0,3	1,1	37,9	0,2	0,6	0,2	0,3
Moyenne	8,7	3,7	2,1	0,2	1,1	42,5	0,2	0,6	0,2	0,3

Ces conditions précisées, on réalise le bilan de matière de la réduction (*Supra* 3.3.3). L'équation est : **Minerais (M) + Parois (P) + Charbon (C) => Scories + Masse métallique**

Sa résolution est facilitée par le fait que le manganèse est presqu'absent des parois de four et du charbon alors que la silice est majoritairement issue des parois et que le calcium provient presqu'exclusivement du charbon. On peut ainsi définir les équations suivantes :

Mn : éléments Minerai = éléments Scories

Ca : éléments charbon = éléments Scories

Si : éléments Paroi + éléments Minerai = éléments Scories

Manganèse : $3,7M = 5,5$

$M = 5,5/3,7 = 1,48$

$\boxed{M = 1,48}$

Calcium : $42,5C = 2$

$C = 2/42,5 = 0,047$

$\boxed{C = 0,047}$

Silice : $(6,8x1,48) + 38,5P + (8,7x0,047) = 16,8$

10,064 + 38,5P + 0,4 = 16,8

38,5P = 6,336

P = 0,16

Vérification

Calcium : (0,2x1,48) + (0,4x0,16) + (42,5x0,047) =

0,296 + 0,064 + 1,99 = 2,35

Mesuré : 2 Calculé : 2,35

Une variabilité de 17 % est constatée entre la masse attendue et celle mesurée. Ce pourcentage d'erreur est acceptable (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 332).

Aluminium : (1,1x1,48) + (4,4x0,16) + (3,7x0,047) =

1,628 + 0,704 + 0,17 = 2,5

Mesuré : 2,1 Calculé : 2,5

Une variabilité d'environ 19 % est constatée entre la masse attendue et celle mesurée. Ce pourcentage d'erreur est acceptable (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 332).

Magnésium : (0,1x1,48) + (0,2x0,16) + (1,1x0,047) =

0,148 + 0,032 + 0,0517 = 0,2317

Mesuré : 0,3 Calculé : 0,23

La masse de magnésium est 30 % supérieure à ce qui pouvait être attendu dans les échantillons de scorie. La variation est supérieure aux 20 % acceptables (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 332). Il faut donc réfléchir à une autre source de magnésium possible dans le système. Cet élément chimique étant principalement apporté par le charbon de bois, on peut se demander si le charbon issu de la forêt de Boulogne-Chambord n'est pas plus riche en magnésium que celui de Oulches.

Potassium : (0,2x1,48) + (2,3x0,16) + (0,6x0,047) =

0,296 + 0,368 + 0,0282 = 0,7

Mesuré : 1,1 Calculé : 0,7

La masse de potassium est environ 70 % supérieure à ce qui pouvait être attendu dans les échantillons de scorie. Toutefois, N. Dieudonné-Glad démontre, en comparant des charbons archéologiques et d'autres issus d'archéologie expérimentale, que le potassium des charbons de bois archéologiques est

dissout par l'eau de ruissellement lors de leur enfouissement (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 334). Ce phénomène pourrait expliquer la grande différence observée entre le taux attendu et celui réellement mesuré.

L'équation chimique du système chimique en jeu dans les fours de réduction étant établie avec une bonne fiabilité, on peut tenter de restituer la quantité de fer produite pour 100 g de scorie.

Fer : (54,2x1,48) + (3,2x0,16) + (2,1x0,047) = 33,4 + Fe

80,216 + 0,512 + 0,098 = 33,4 + Fe

80,826 – 33,4 = Fe

Fe = 47,4

Bilan général pour 100 g de scories :

148 g de minerai + 16 g de paroi + 0,5 g de charbon = 100 g de scorie + 47,4 g de fer

Rendement de la réaction :

F g de fer métal / (M x ($Fe/_{100g\ minerai}$))

Fg de fer métal = 47,4 g

M = 1,48

$Fe/_{100g\ minerai}$: 54,2 g

R = 47,4 / (1,48 x 54,2)

= **0,59**

Indice de production :

I = 47,4/ 100

= **0,47**

La technique de production employée à donc un rendement relativement moyen au regard des autres ateliers (**Tableau 39**). Son indice de production apparait également assez moyen (0,47). Cet atelier présente un meilleur rendement que sur celui de Saint-Dizier (Haute Marne), ainsi qu'un meilleur indice de production. Cela signifie que dans cet atelier les métallurgistes obtiennent moins de fer à partir de leur minerai et que la réduction engendre une quantité de déchet plus importante pour 100g de minerai (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 335). Il en va de même sur le site de Boécourt « les Boulies » et « La Chagnasse » (Deux-Sèvres) (SAINT-DIDIER 2013: 360), alors que l'on utilise la même technique de réduction employant des fours à scories écoulées sur ces sites. *A contrario*, les

sites d'Oulches (Indre) (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 335) et de Roche Brune (Sarthes) (SARRESTE 2011 : 433) ont un rendement et un indice de production supérieur. Cela signifie que plus de fer est extrait de 100 g de minerai. Le rendement de Boulogne-Chambord est donc supérieur à celui des ateliers contemporains.

Tableau 39 : Comparaison des rendements et indices de production de plusieurs sites métallurgiques de France et de Suisse

Site	Rendement	Indice de production
Roche Brune (Sarthes)	0,79	1,49
Oulches (Indre)	0,69	1,07
Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher)	0,59	0,47
Saint-Dizier (Haute Marne)	0,44	0,36
Boécourt « les Boulies » (Suisse)	0,37	0,2
« La Chagnasse » (Deux-Sèvres)	0,13	0,15

Restitution de la quantité de métal produite à Boulogne

La fenêtre de fouille test réalisée dans le ferrier, d'un volume de 11 m^3, a mis au jour environ 2,7 t de déchets (*Supra* 7.1.5). Le volume global de déchet évalué pour le ferrier F155/1 étant d'environ 1 290 m^3 (*Supra* 4.1.2), on peut restituer la présence d'environ 317 t de déchets métallurgiques ; soit, grâce à l'indice de production, la fabrication d'environ 150 t de métal pour environ 470 t de minerai. Cette production est plus importante que dans les ateliers de Montcherrand (Suisse) où l'on a produit environ 50 t de fer pour 300 m^3 de déchet (SERNEELS 1993 : 148) et de Bellaires I (Vaud/Suisse) où 30 t de fer sont fabriqués pour la même quantité de déchet (PELET 1993 : 93).

À partir de ces données, il est possible de restituer la masse de fer produite par l'ensemble métallurgique du massif de Boulogne-Chambord. L'atelier F155/1 mesure environ 1 420 m^3 et comprend environ 317 t de déchets, par extension cet ensemble de 9 150 m^3 de déchet à produit environ **2 040 t de scories.** En multipliant la quantité de scories restituée par l'indice de production (0,47) on peut également estimer la fabrication d'environ **960 t de fer** à partir d'environ **3 000 t de minerai**. Cette production est supérieure à celle des Clérimois où l'on restitue environ 654 t de fer pour 1 090 m^3 de vestige produit (DESAULTY *et al.* 2010 : 342). Cette observation permet d'associer l'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord à ce que M. Leroy nomme un « centre de production alto-médiéval » comme Ludres « hôtel de ville » (Meurthe-et-Moselle) ou Bellaires I (Vaud/Suisse) (CABBOI, DUNKOWSKI, LEROY, MERLUZZO 2000 : 3). Ce type d'atelier produit

probablement plus de métal que la consommation locale n'en nécessite. Il peut donc être enserré dans un réseau commercial.

7.3.2 L'activité de forge

Outre les vestiges de réduction, on trouve également sur le site F155/1 des scories caractéristiques d'une activité de forge (LACROIX 2018A : 23-25 ; LACROIX 2020 : 45-49). Les plus facilement identifiables sont les culots de forge (2 kg) (***cf* vol. 4, tab. 5**). Au nombre de dix, ils sont plus petits et hétérogènes que les fonds de four. Bruns et denses (six individus), rugueux (deux individus) ou ferreux (deux individus), ils contiennent de nombreuses inclusions d'hydroxydes de fer, de charbons de bois et parfois d'argile (**Fig. 204**). Ils ont un profil plano-convexe et une forme relativement circulaire.

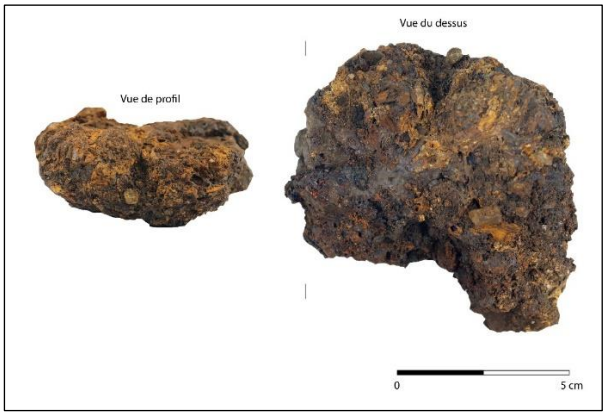


Fig. 204 : Photographie d'un culot de forge plano-convexe (Z2S2 – US 2019)

Ces culots pèsent entre 0,08 et 0,5 kg, or il est habituellement admis qu'entre 0,1 kg et 0,6 kg ils caractérisent de petits travaux de forgeage (SERNEELS 1993 : 165). Ils mesurent entre 5,6 et 10,6 cm de longueur pour 4 à 8,1 cm de largeur. Ces dimensions sont donc assez hétérogènes. Leur épaisseur est comprise entre 1,6 et 5,4 cm, mais pour la majorité elle est de 2 à 4 cm (huit culots). Aucune stratification, pouvant témoigner d'une reprise d'activité après refroidissement, n'est visible. Enfin, il n'apparait aucun lien entre la taille de ces culots et leur type (dense, rugueux ou ferreux).

La plupart des déchets de forge ont été rejetés dans le comblement du fossé et ses alentours (US 2011, 2017, 2019, 2022). Seuls trois individus proviennent du ferrier. L'absence de culot de forge dans la fosse de rejet située dans la zone de forge est surprenante. Il est probable qu'elle ne soit finalement pas un lieu de rejet des déchets de forge mais peut-être le négatif d'un contenant.

L'étude métallographique des culots de forge porte sur six culots. On constate la présence de très nombreuses porosités arrondies ou allongées sur l'ensemble de la surface de trois des scories[212] (**Fig. 205**) (***cf* vol. 3, Annexe 5.2**). Elles sont de petites à moyennes dimensions, sauf pour BOU1002 où elles apparaissent beaucoup plus grandes. En ce qui concerne BOU2019 et BOU2011, les porosités sont moins nombreuses et ont une taille moyenne plus homogène. Enfin BOU1006 comprend des petites porosités de forme étirée aux deux extrémités de la scorie. Ces culots de forge sont divisés en deux catégories. D'une part ceux présentant une section homogène, très vitrifiée avec une coloration verdâtre sur l'ensemble ou la majorité de la surface[213] ; d'autre part les culots avec une section hétérogène, noire, où l'on observe des inclusions métalliques, des agglomérats argilo-sableux et des charbons de bois (BOU2011 et 2022-2). Ces culots de forge sont toujours composés d'une phase vitreuse et d'une phase cristallisée plus ou moins développée.

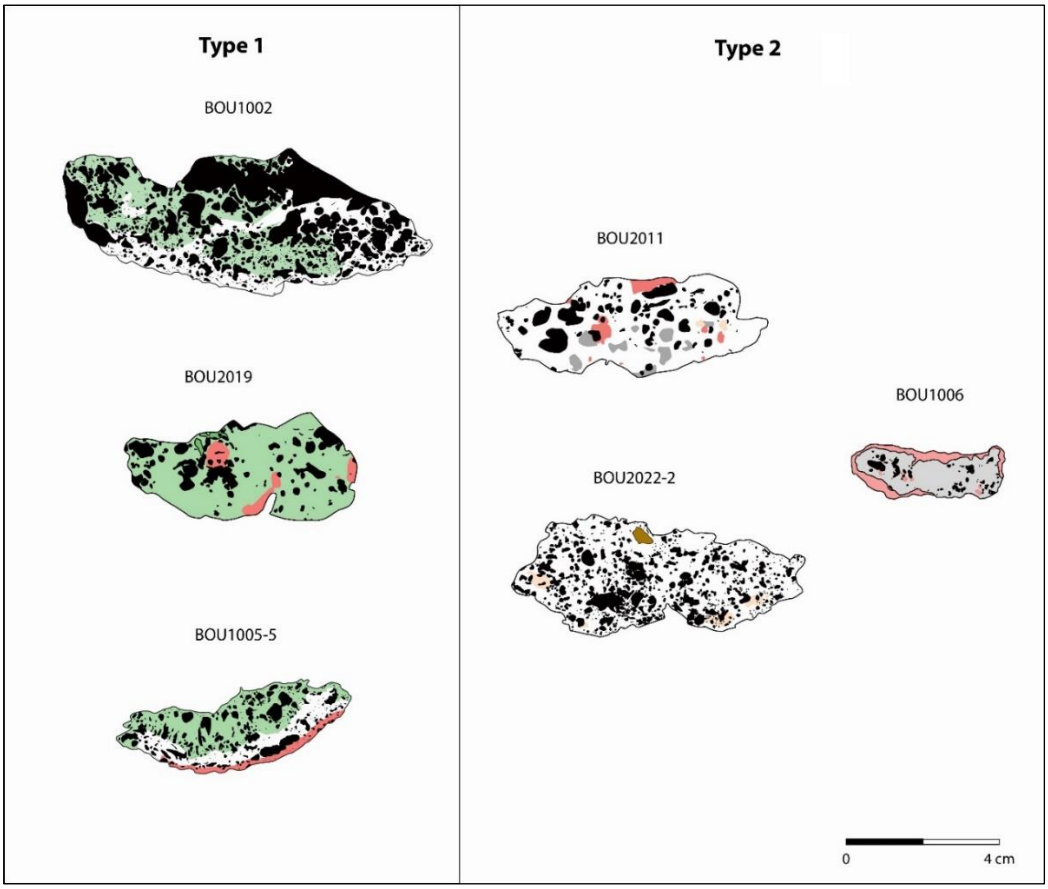


Fig. 205 : Planche des coupes de culots de forge de l'atelier F155/1 classés par type

212. BOU1002, BOU1005-5 et BOU2022-2
213. BOU1002, BOU2019 et BOU1005-5

Aucun nodule métallique n'est observé dans les scories de type 1, seuls quelques grains sont visibles dans BOU1002. Ces quelques éléments métalliques montrent parfois d'une légère réoxydation à chaud. Des battitures globulaires en cours de dissolution sont également visibles. On en trouve aussi dans BOU1005-5 et BOU2019, mais en plus faible nombre. Parmi les culots de type 2, BOU2011 possède des nodules métalliques en partie inférieure et BOU2022-2 uniquement quelques grains en cours de dissolution. Les nodules métalliques ont tous une structure ferritique (moins de 0,02 % de carbone). Quelques éléments de wüstite sont visibles autour des porosités de BOU2022-2. Les culots de ce type comprennent des agglomérats argilo-sableux en plus grande quantité, probablement issus de l'utilisation d'un ajout. En effet, le sable est souvent utilisé dans les activités de forge pour nettoyer la surface du métal (MANGIN 2004 : 84). Enfin, un culot est entièrement métallique (BOU1006). Sa matrice, assez homogène, comprend une structure ferrito-perlitique peu carburée au centre (0,02 % de C) et dont la perlite est plus développée en périphérie (entre 0, 02 et 0,85 % de C). Des inclusions de scories sont visibles par endroit. Il est possible que ce fragment métallique soit issu d'une pièce plus importante et soit tombé dans le foyer lors de son forgeage.

Ainsi, la présence de battitures globulaires, la quasi absence de wüstite et la réoxydation d'éléments métalliques semble indiquer que ces culots sont produits lors de l'épuration de la loupe de fer (MANGIN 2004 : 163-164). Deux phases sont supposées, d'abord le dégrossissage de l'éponge de fer puis la mise en forme du produit semi-fini. Le dégrossissage pour les culots de types 1, plus homogènes et à la matrice proche des fonds de four, et l'élaboration pour les culots de type 2, plus hétérogènes et comprenant plus d'inclusions de battitures. Les inclusions rencontrées sont composées de fer doux ou peu carburé, similaire à celui observé dans les fonds de four. Le fer produit est donc homogène depuis sa réduction jusqu'à sa mise en forme. Le fer doux, ou ferrite, possède une bonne souplesse, mais est très peu résistant. On peut donc le déformer aisément sans qu'il ne se rompe. Ce métal peut être utilisé pour la fabrication d'un grand nombre d'objets comme des clous, des roues, de la vaisselle, etc. et peut être associé à de l'acier (PAGES 2008 : 206).

Les battitures

Bien que quelques battitures aient été observées dans le ferrier, la majorité d'entre elles a été découverte dans l'espace de travail (***cf* vol.2, tableau 67**). Elles proviennent de l'espace de forge (4,6 kg), du comblement du fossé (0,4 kg) et du sol d'atelier de la zone de réduction (0,2 kg). Leur prélèvement a été réalisé de façon systématique dans l'espace de forge où elles étaient visiblement en place[214].

214. Mise en place d'un carroyage de 50 cm de côté dans lesquels des prélèvements réguliers de sédiments ont été réalisés à chaque passe.

Dans cette zone, elles sont majoritairement granulaires et dans une moindre mesure globulaires et lamellaires (**Fig. 206**). Les expérimentations menées par J.- C. Leblanc indiquent que la morphologie des battitures peut caractériser les opérations qui les ont engendrées. Il montre que les battitures granulaires sont caractéristiques d'une activité d'épuration à chaud ou à froid de l'éponge de fer (LEBLANC 2002 : 123). Pour lui et L. Enschelohr, les battitures globulaires sont plutôt le résultat d'un travail de dégrossissage (épuration par cinglage à chaud, carroyage, etc.) (ESCHENLOHR *et al.* 2007 : 65). Enfin, tous deux s'accordent sur le fait que les battitures lamellaires sont engendrées à partir d'une pièce de métal présentant des surfaces planes.



Fig. 206 : Photographie des différents types de battitures observées dans la zone de forge

On compte plus de 7 200 battitures granulaires[215] dans les niveaux du sol de forge (US 2025, 2052, 2026 et UC 2004) (**Tableau 40**). Les battitures globulaires et lamellaires sont bien moins nombreuses avec respectivement environ 140 et 160 individus. Si l'on se base sur les observations macroscopiques de J.-C. Leblanc, la zone de forge hébergeait donc probablement une activité d'épuration de l'éponge de fer.

215. Nombre de battitures prélevées dans 500 ml de sédiment/carré de 1 x 1 m dans les couches de fonctionnement de la forge.

Tableau 40 : Tableau du nombre de battitures par forme dans l'espace de forge

Carroyage	US	Nombre battitures globulaires	Nombre battitures lamellaires	Nombre battitures globu	Total
A1	2025	30	42	666	738
A2	2025	16	43	1791	1850
A3	2052	0	15	407	422
A3	2026	53	38	870	961
B1	2026	4	11	526	541
B2	2026	35	17	2973	3025
B3	UC 2004	9	0	13	22

Pour des raisons de temps, seul un échantillon provenant du ferrier (US 1005) a été étudié. Cet échantillon, d'un volume de 500 ml, a également livré une majorité de battitures granulaires (684) et autant de globulaires (52) que de lamellaires (62) (**Tableau 41**).

Tableau 41 : Tableau du nombre de battitures par type et par dimension présent dans l'échantillon provenant de l'US 1005

Forme des battitures	Moins de 2 mm	2 à 7 mm	Plus de 7 mm	Total
lamellaires	56	6	0	62
globulaires	43	8	1	52
granulaires	599	67	18	684
Total	698	81	19	798

Parmi les battitures identifiées, 26 ont fait l'objet d'une étude métallographique (***cf* vol.3 Annexe 5.3 : 411-423**). Parmi elles, 13 mesurent plus de 7 mm (2 globulaires, 4 lamellaires et 5 granulaires) et 15 moins de 2 mm (7 lamellaires, 2 globulaires et 6 granulaires) (***cf* vol.2, tableau. 68**). A l'origine, 48 échantillons ont été préparés mais une vingtaine, surtout identifiées comme granulaires, ce sont avérés être composés uniquement d'hydroxydes.

La majorité de ces battitures à une coupe brune vacuolaire plus ou moins oxydée. D'un point de vue microscopique, on constate la présence de trois phases cristallines. Elles se distinguent par leur coloration plus ou moins grisée (**Tableau 42**) (SERNEELS 1993 : 22-23). La phase grise foncée correspond à de la **silice** (verre), la phase légèrement plus claire à des **silicates de fer,** généralement visibles sous forme de lattes plus ou moins épaisses et dans une moindre mesure de cristaux larges (**Fig. 183**). La troisième phase, la plus claire, renvoie à des **oxydes de fer** qui peuvent être massifs avec des bords irréguliers typiques de la magnétite (Fe3O4), en forme de globules ou de pavés indiquant de la magnétite ou de la wüstite (FeO) ou en forme de dendrites caractérisant la wüstite. Cette morphologie montre le passage de la battiture par un état liquide.

Tableau 42 : Description des différents phases cristallisées visibles dans les battitures

	Forme des composants	Correspondance	Couleur
Oxydes de fer	Massif avec aspérité	Magnétite	gris très clair
	globules ou pavés	Magnétite ou wüstite	
	Dendrites	wüstite	
Silicates de fer	Lattes, cristaux trapus	fayalite	gris moyen

Les battitures de ce site se distinguent en trois grandes familles. On trouve tout d'abord des battitures dont la matrice est constituée d'une petite phase vitreuse associée à une phase cristallisée généralement composée de larges et longues lattes de fayalite au centre et de fines lattes désordonnées en périphérie (Type 1). Cette phase est associée à des dendrites de wüstite éparses. Quelques battitures présentent de légères variations (fayalites équigranulaires ou absence de wüstite) mais leurs caractéristiques principales permettent tout de même de les associer à ce même type. Un autre type de battiture est composé d'une phase vitreuse plus étendue insérée dans une phase cristallisée de globules/pavés de magnétite et/ou de wüstite (Type 2). Cette phase cristallisée comprend également des grains ou dendrites de wüstite par endroit. En outre, la magnétite prend souvent la forme d'un liseré en périphérie de la battiture. De nouveau, quelques variations sont visibles dans trois battitures. Elles sont composées d'une phase vitreuse importante mais sont uniquement accompagnée d'une phase cristallisée constituée de dendrite de wüstite en périphérie de la battiture. Enfin, le dernier type de battiture mis en évidence est uniquement dispose d'une matrice vitreuse avec quelques grains métalliques éparses (Type 3).

On constate que les battitures de type 1 sont majoritairement de forme lamellaire (**Tableau 43**). Ces battitures fayalitiques sont observées par J. C. Leblanc lors de ses expérimentations (LEBLANC 2002 : 85), ainsi que sur le site du Latté à Oulches (DIEUDONNE-GLAD 2010 : 351-353), dans le Poitou (SAINT-DIDIER 2017 : 286), dans le bas Maine (SARRESTE 2008 : 822) ou encore sur le site de Touffréville (Calvados) (BERRANGER *et al.* 2014 : 196). J. C. Leblanc montre la relation qui existe entre la présence de lattes de fayalites massives dans les battitures, reliquats des scories de réduction, et le travail d'épuration de la loupe de fer par cinglage à chaud ou à froid (LEBLANC 2002 : 91). La morphologie et la dimension des battitures de ce type (catégorisé B6 et C2 selon le travail de l'auteur) semble donc indiquer l'épuration d'éponge de fer sur ce site.

Tableau 43 : Croisement des données de dimensions, typologie et morphologie des battitures observées en métallographie

	de 2 à 7 mm			moins de 2 mm			
	Lamellaire	Globulaire	Granulaire	Lamellaire	Globulaire	Granulaire	Total
Type 1	4	1	1	4	0	1	11
Type 2	0	0	4	1	0	3	8
Type 3	0	0	1	2	2	2	7

Les battitures de type 2 sont majoritairement granulaires et globalement de plus petites dimensions (< 2 mm). La présence de magnétite et de wüstite témoigne d'une alternance de phase oxydante et réductrice dans le foyer. Ce type de battitures est également mis en évidence sur le site de "Taillis des Boissières" (SARRESTE 2008 : 818) et de Touffréville (Calvados) (BERRANGER *et al.* 2014 : 195). Elles correspondent aux groupes C1, C2 et C3 établis par J. C. Leblanc et indiquerait également une activité d'épuration, peut-être associée à opération de forge par martelage (catégorie A2 et B2).

Enfin, il est impossible, à partir d'un corpus aussi ténu, d'établir un lien entre le type 3 et une morphologie particulière. On remarque simplement qu'elles sont toutes de petites dimensions (< 2 mm). Ce type de battitures vitreuses pourrait, selon C. Dunikowski indiquer l'utilisation d'un ajout siliceux lors de l'opération de forge (DUNIKOWSKI *et al.* 1996 : 102). Ce phénomène est étayé par la présence de nombreux grains de silice violacés dans la plupart des battitures. Ce type de déchet est également observé sur le site du Latté à Oulches (DIEUDONNE-GLAD 2010 : 351-353) ou encore à "Taillis des Boissières", dans le bas Maine (SARRESTE 2008 : 822).

L'étude des battitures de l'atelier F155/1 confirme les observations réalisées sur les culots de forge. En effet, leur morphologie et leur composition indiquent qu'ils seraient caractéristique d'un travail d'épuration de l'éponge de fer. Cette étape de la chaîne opératoire du fer comprendrait deux phases, d'abord un dégrossissage de la masse de fer (type 1), puis une première mise en forme du métal (type 2 et 3). Lors de cette dernière phase, un ajout sableux est utilisé pour protéger la surface du métal.

Les agglomérats métalliques

Le dernier type de déchet de forge mis au jour sur ce site comprend des agglomérats métalliques informes composés d'hydroxydes de fer et de métal (1,6 kg) (**Fig. 207**). Ils sont principalement issus de la couche sédimentaire associée au fonctionnement de la zone de forge (US 2026) (0,4 kg) et du comblement du fossé délimitant l'atelier (US 2022) (0,4 kg).



Fig. 207 : Photographie de différents fragments d'agglomérats métalliques (Z2S1, SDG02, US 2026)

On retrouve le même type de vestige sur le site de Boécourt « Les Boulies » (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 83-84) ou sur le site de post-réduction de Develier-Courtételle (ESCHENLOHR *et al.* 2007 : 61-62). Ces déchets y sont interprétés comme étant des chutes d'éléments métalliques scorifiés provenant de l'éponge de fer et détachées lors de son épuration. Ils sont également appelés « gromps ».

Conclusion

D'un point de vue méthodologique, l'utilisation de cartes géomagnétiques apparait comme un atout essentiel pour localiser les structures de production d'un atelier métallurgique, surtout en milieu boisé. La réalisation de relevés microtopographiques du sol d'atelier fournit de nouveaux éléments pour identifier certains espaces. Ce travail, bien que chronophage, favorise la compréhension du site, notamment lorsque les vestiges sont en mauvais état de conservation ou ont laissé des traces ténues. L'étude macroscopique des vestiges métallurgiques a, quant à elle, démontré que les échantillons de déchets ramassés en prospection sont globalement représentatifs du mobilier de fouille.

Le site F155/1 est un atelier métallurgique daté des Ve-VIIe s., période pour laquelle on connait peu de sites métallurgiques en France, et plus particulièrement en Centre-Val de Loire. Il est probablement contemporain des autres ateliers métallurgiques similaires du massif forestier. Il s'agit d'un atelier organisé au sein duquel chaque espace de travail, ou de rejet, est pensé, préparé et délimité. Ce phénomène est visible à travers la réalisation d'un creusement pour assoir le ferrier, l'installation des fours de réduction sur une pente douce ou l'optimisation de l'espace dans la zone de forge. Ces différents espaces forment un ensemble cohérent, d'environ 60 m², délimité au sud-

ouest par un fossé bordier curviligne d'environ 15 m de longueur et 1 m de largeur. Les artisans se déplacent ainsi depuis l'aire de grillage jusqu'à la zone de forge, sans se gêner.

Les structures et techniques de production employées sur ce site sont bien connues. L'aire de grillage est constituée d'un léger creusement sur lequel sont déposés le charbon de bois et le minerai. La morphologie de cette structure est notamment connue sur le site antique de « La Châtaigneraie » (Sarthe) (RAUX, LANGLOIS 2015: 144) ou sur le site médiéval de Saint-Dizier « Le chêne Saint-Amand » (Haute-Marne) (GOUSTARD *et al.*1998 : 141). La zone de réduction comprend trois fours à scories écoulées dont l'ouverture débouche en bas d'une légère pente. Ces structures ont une cuve ovale d'environ 20 cm de longueur et 15 cm de largeur et des parois en argile, matériaux provenant probablement de la forêt. L'architecture de ces fours utilise de la terre cuite architecturale récupérée et des tuyères. Néanmoins, l'absence de structures en place ne permet pas de restituer leur agencement. En outre, des canaux sont restitués à la base de la cuve pour guider l'écoulement de la scorie. L'ensemble de ces caractéristiques est commun à la production métallurgique ancienne. Il en va de même pour les éléments de la zone de forge. On y trouve un foyer circulaire d'une dizaine de centimètres de diamètre en partie creusé dans le sol, un billot d'enclume, une fosse et un probable espace de stockage du charbon de bois. Plusieurs étapes de la chaîne opératoire du fer sont donc réalisées dans cet atelier, cette organisation est visible sur d'autres sites altomédiévaux tels que Saint-Dizier (Haute-Marne) et Vert-Saint-Denis (Seine-et-Marne) (DOMERGUE, LEROY 2000 : 5).

La méthode de réduction utilisée emploie des conditions qui favorisent la vitrification des scories internes. Deux méthodes de production légèrement distinctes peuvent être perçues sur ce site. La première engendre une scorie de fond de four peu fluide associée à des pertes métalliques. La seconde est caractérisée par la fabrication d'une scorie stratifiée indiquant probablement une modification progressive des conditions physico-chimiques (température, pression) dans le four. Ce phénomène pourrait être expliqué par l'utilisation d'un fondant. En outre, l'absence de métal dans les scories tend à indiquer une production plus efficace. On peut alors se demander si ce changement de production a un rapport avec les différents gabarits de tuyères et de fonds four mis au jour. En effet, les tuyères sont plus petites dans le ferrier que dans la zone de réduction et les fonds de four sont plus grands dans les couches de rejet les plus anciennes du ferrier par rapport aux couches plus récentes. Il est toutefois difficile de répondre à cette question en l'absence de four en place. Le minerai de fer utilisé sur ce site est sidérolithique et possède une teneur particulièrement élevée en manganèse. Les opérations de réduction réalisées ont un rendement que l'on peut qualifier de bon puisque les artisans parviennent à extraire environ 60 % du fer présent dans le minerai.

La forge, située à côté de la zone de réduction, a probablement hébergé une activité d'épuration des éponges de fer. Plusieurs indices signalent un travail en deux temps, d'abord le dégrossissage de l'éponge, puis une première mise en forme du métal. La phase de dégrossissage produit vraisemblablement les agglomérats métalliques, les culots de type 1 et des battitures fayalitiques et à magnétites. Les artisans alternent alors de longues phases de chauffe et de cinglage. La mise en forme du métal entraine la création de culots de forge de type 2 (plus hétérogènes) ainsi que celle de battitures globulaires vitreuses. Les métallurgistes travaillent alors par martelage de chaud à tiède avec ajout sableux pour protéger la surface du métal. La taille réduite des culots de forge et la faible présence de métal dans leur matrice sont autant d'indices qui indiquent une bonne maitrise de la production du fer de la part des artisans

La production de fer restituée pour cet atelier est d'environ 150 t. à partir d'au minimum une cinquantaine d'opération de réduction. Cette ampleur de la production est supérieure aux importants ateliers du haut Moyen Âge de Bellaires I (Vaud/Suisse) (PELET 1993 : 93) et de Montcherrand (Vaud/Suisse) (SERNEELS 1993 : 148). La quantité de fer restituée pour l'ensemble métallurgique de ce massif forestier (env. **960 t** de métal), disposant des mêmes caractéristiques technologiques, chimiques et chronologiques, permet de l'identifier comme un « centre de production alto-médiéval » comme les ateliers de Ludres « hôtel de ville » (Meurthe-et-Moselle) (CABBOI, DUNKOWSKI, LEROY, MERLUZZO 2000 : 3) et de Boécourt « Les Boulies » qui (ESCHENLOHR 1991 : 120). Le métal produit a donc vraisemblablement un but commercial. Dans l'atelier F155/1, il est homogène depuis la réduction jusqu'à la forge ; et composé d'un fer doux ou tout au moins peu carburé. Ce type de fer est très souple, facilement déformable, mais peu résistant. Il est aisé à mettre en forme mais ne peut pas permettre de produire des outils performants sans traitement élaboré comme la cémentation et la soudure.

Chapitre 8 - Un atelier de réduction du fer médiéval dans le massif de Châteauroux

L'étude des caractéristiques de la production du fer dans le massif de Châteauroux, à travers les données de prospection, met notamment en évidence l'existence d'une phase de production médiévale comprenant les sites F090, F105/1, F199 et F220/1 (*Supra* 6.3.2). Ces sites métallurgiques sont constitués d'un petit ferrier au sédiment noir. Cette caractéristique est similaire à celle des sites observés dans la forêt de Boulogne-Chambord. La fouille de l'un de ces ateliers en forêt de Châteauroux, en plus de documenter un espace inédit, permet de réaliser un parallèle avec ce qui est perçu au Moyen Âge dans le massif solognot.

L'objectif de cette fouille est de mettre en évidence l'organisation spatiale de l'atelier, les différentes étapes de la chaîne opératoire du fer pratiquées, les techniques de production mises en œuvre et la morphologie des structures de production utilisées (fours maçonnés ? structures de soutien en bois ? système de ventilation ?). Les données obtenues en prospection fournissent déjà un certain nombre d'informations à ce sujet qu'il est nécessaire d'approfondir. Cette opération avait également pour but de préciser la datation de cet atelier et de définir le type de minerai utilisé.

L'atelier F090 a été choisi parmi l'ensemble des ferriers médiévaux car il est peu perturbé, il a une forme de fer à cheval et des pierres dessinant un arc de cercle (**Fig. 208**) ont été observées en son centre lors de la prospection.



Fig. 208 : Photographie des pierres en arc de cercle autour d'un arbre du ferrier F090

Ce site, localisé dans la parcelle 090, est constitué d'un ferrier de 28 m de longueur pour 25 m de largeur, soit environ 512 m² de surface (**Fig. 209**). La fouille a eu lieu en juillet 2019 et a permis d'étudier une surface de 113 m², soit environ 22 % de la surface totale du ferrier (***cf* vol.2, fig. 102**).

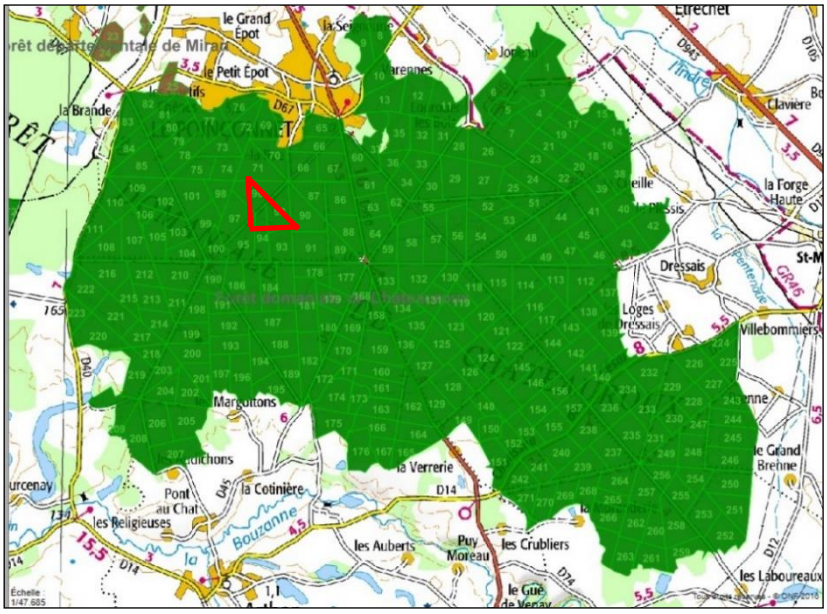


Fig. 209 : Localisation de la parcelle 090 (en rouge) en forêt de Châteauroux (Indre)

8.1 Un atelier à l'espace organisé

La fouille de cet atelier met en évidence la présence de structure de production à l'intérieur du fer à cheval formé par le ferrier. Elle a livré trois espaces de travail relatifs à deux étapes de la chaîne opératoire du fer : l'un pour le grillage du minerai et les deux autres pour sa réduction (**Fig. 210**).

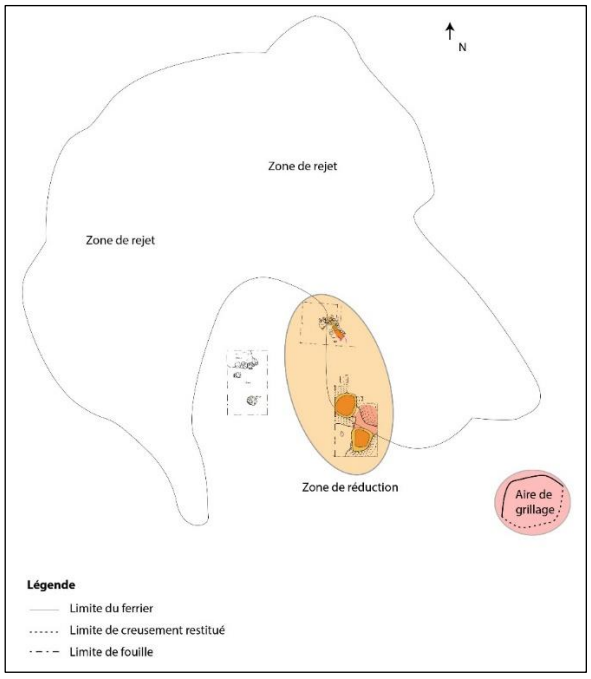


Fig. 210 : Plan schématique des différents espaces de l'atelier métallurgique F090

En amont de la fouille, une prospection géophysique a été réalisée afin de comparer les limites du ferrier observées sur ces images et celles relevées en prospection pédestre. Elle cherchait également, et surtout, à localiser des anomalies magnétiques pouvant correspondre à des structures métallurgiques (***cf* vol.2, fig.103**).

Deux types d'anomalies ont été observées : les anomalies ponctuelles et le bruit de fond (*Supra* 3.2.1). En dehors du bruit de fond provoqué par les scories et autres résidus ferreux (-20 et 20 nT/m), plusieurs anomalies bipolaires de forte intensité sont visibles (**Fig. 211**) (GOUHIER 2019a : 13-16). La première (**1**) est située au sud-est, à une dizaine de mètres du ferrier. Elle est de forme relativement circulaire (env. 2 m de diamètre) et son intensité moyenne est de +/- 70 nT/m. Une seconde anomalie (**2**) assez étendue (env. 5 m) et de forme ovale est visible dans la partie centrale du ferrier. Son intensité moyenne est de l'ordre de +/- 100 nT/m. À l'ouest, une troisième anomalie de forme ovale est observée (**3**) (+/-90 nT/m). Elle présente des dimensions à peu près équivalentes (env. 4,5 m) à la précédente. Enfin, au sud, se trouve une dernière anomalie de forme ovale (env. 2 m) et d'environ +/- 110 à 120 nT/m (**4**). Ces ensembles sont identifiés comme étant de probables structures de combustion ou des éléments ferreux en masse. En outre, les transects transversaux nord-sud et est-ouest mettent bien en évidence les limites du ferrier.

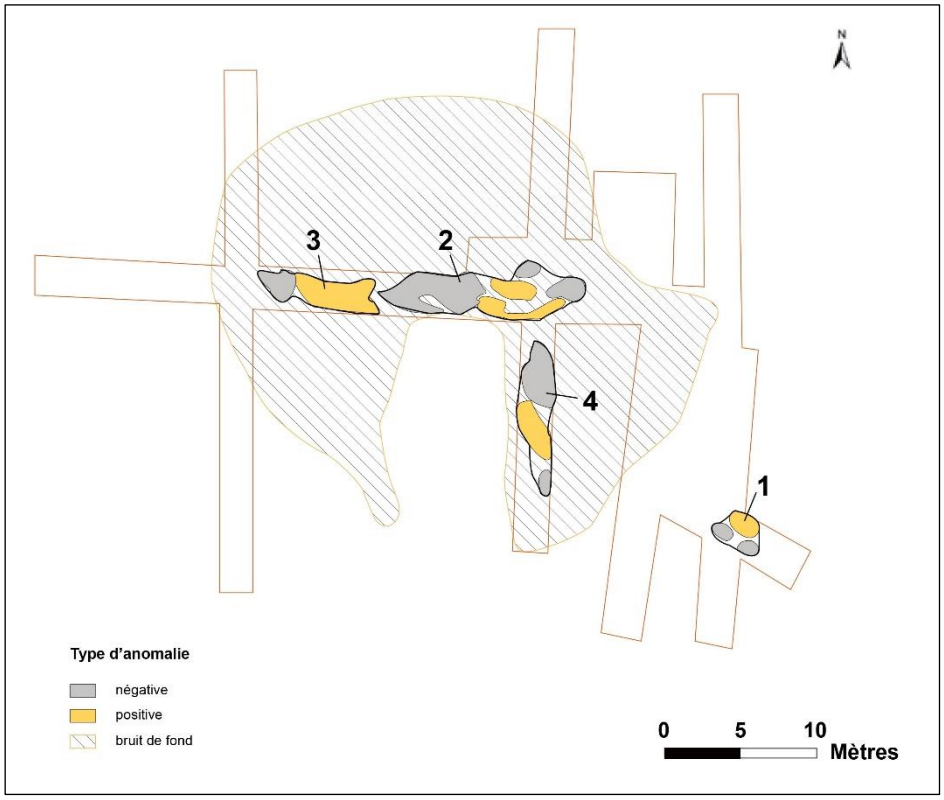


Fig. 211 : Identification des principales anomalies magnétiques de l'atelier F090

8.1.1 L'aire de grillage du minerai

Au sud-est du site, à l'emplacement de l'anomalie magnétique **1**, se trouve une couche argilo-limoneuse meuble comprenant un mélange de sédiment brun et d'importantes inclusions argileuses blanches, similaires au sol géologique (US 1015). Un creusement circulaire (US 1032) de plus de 2 m de diamètre pour 0, 20 m de profondeur y est observé (***cf* vol. 2, fig. 104**) (LACROIX 2019b : 27). Il s'arrête sur le sol géologique composé d'un limon blanc très compact (US 1020). Le sédiment perturbé (US 1015) provient probablement d'un creusement réalisé à proximité. Il aurait été déposé dans ce secteur pour délimiter l'espace de grillage. Cette méthode permettrait de creuser moins profondément tout en réemployant un sédiment mobilisé ailleurs. Cette hypothèse expliquerait la nature mixte et meuble de ce sédiment. La forme circulaire de cette aire de grillage rappelle celle de l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne et celle de l'atelier de Saint-Dizier « Le chêne Saint-Amand » (Haute-Marne) (GOUSTARD *et al.* 1998 : 141). Toutefois, son creusement dans un sédiment remobilisé n'a pas trouvé de comparaison. Le comblement de cette aire de grillage est constitué de plusieurs couches argilo-limoneuses très rubéfiées comprenant principalement des fragments de minerai (1,7 kg), du silex gris et rouge, du grès (2,9 kg) et de nombreux fragments de charbons de bois (***cf* vol.4, tab. 7**).

A l'est de ce creusement se trouve une structure en creux quadrangulaire d'environ 0, 50 m de côté (UC 1005) dont la fonction est indéterminée (***cf* vol, 2, fig. 105**). Il est possible qu'il s'agisse du négatif d'un poteau destiné à soutenir une structure. Cependant, sur le site de « La Châtaigneraie » (Neuville-sur-Sarthe) une pierre est présente à l'intérieur de l'espace de grillage (RAUX, LANGLOIS 2015: 144). Les artisans s'en servaient pour faciliter le concassage du minerai avant et/ou après sa chauffe. Compte tenu de la dimension de la structure en creux de Châteauroux et de sa proximité avec l'espace de grillage, il pourrait s'agir d'une structure similaire, telle qu'un billot d'enclume.

8.1.2 Deux espaces de réduction

À une dizaine de mètres à l'ouest de l'aire de grillage, se trouve une première zone de réduction du minerai. Elle se situe à l'extrémité sud de l'anomalie magnétique **4**. Cet espace de travail est creusé dans le sol géologique sur une quarantaine de centimètres de profondeur (***cf* vol. 2, fig. 106**). Il est possible que ce soit le sédiment extrait ici qui ait été réutilisé pour l'aire de grillage voisine. En outre, il est occupé par deux structures très arasées (***cf* vol. 2, fig. 107 et 108**). La première est orientée nord-est/sud-ouest et mesure 1,40 m de longueur, 1 m de largeur dans sa partie la plus étroite et 1,40 m de largeur dans sa partie la plus large (LACROIX 2019b : 28-29). Dans la partie la plus étroite, on distingue les vestiges d'un fond de four en argile morcelé (***cf* vol.2, fig. 109**). Cette structure est bordée par des fragments de paroi en argile beige formant un arc de cercle. Elle correspond à un four de réduction,

nommé four n° 2. Ce four est encastré dans le creusement, probablement dans le but de renforcer sa cheminée lors de la chauffe. En outre, il est adjacent à un second four et séparé de lui par un étroit passage d'environ 0,30 m de longueur sur 0,40 m de largeur. Cet autre four a la même forme mais est orienté sud-ouest/nord-est et mesure environ 1,20 m de longueur, 0,75 m de largeur dans sa partie la plus étroite et 1,30 m dans sa partie la plus large. Seule la présence de fragments de fond de four extrêmement morcelés et de quelques rares fragments de paroi en argile beige en place indique qu'il s'agit d'un four de réduction, appelé four n° 3 (***cf* vol.2, fig. 110**). Il est, comme le four n° 2, situé dans la partie la plus étroite du creusement. La rubéfaction du sol montre que ces fours sont installés tête-bêche. Le four n° 2 s'ouvre vers le nord-est et le n° 3 vers le sud-ouest. Leur proximité indique qu'ils sont probablement contemporains. Il est alors possible d'imaginer qu'ils fonctionnaient alternativement. Peu d'exemples d'ateliers organisés de cette manière sont connus.

Un troisième four de réduction a été mis au jour à moins de 5 m au nord. Il se trouve sur l'un des points les plus hauts de l'atelier, au nord de l'anomalie magnétique **4**. Appelé four n° 1, des parois en argile beige sont en élévation sur une quinzaine de centimètres (***cf* vol. 2, fig. 111**). Ces parois mesurent environ 10 cm d'épaisseur, toutefois un peu moins de la moitié de la structure est encore visible, l'autre partie de la paroi et du fond de four est détruite par un arbre enraciné au milieu de la cuve. On peut néanmoins restituer un four d'environ 40 cm de diamètre interne. La cheminée a été montée à la main grâce à l'ajout successif de boudins d'argile (**Fig. 212**). En outre, quelques sillons longitudinaux sont visibles dans cette la cuve. Il est possible que ces négatifs soient les traces d'utilisation d'une structure de soutien en bois pour la fabrication du four. Malgré le fait que cette structure de réduction soit la mieux conservée du site, son état ne permet pas de déterminer la technologie utilisée (four à scories piégées ou écoulées). Aucune scorie n'a été trouvée dans ce four, bien que ses parois présentent des traces de chauffes noires à orangées.



Fig. 212 : Photographie de l'intérieur de la cuve du bas-fourneaux n°1

Au sud-est de la cuve, des fragments d'argile disposés horizontalement sur le sol s'étendent depuis le four vers le sud-est sur 1, 80 m. Ils sont très arasés, mais on distingue tout de même trois couches d'argiles rubéfiées superposées (***cf* vol. 2, fig. 112**). Cette stratigraphie laisse supposer que ce four a fait l'objet de plusieurs restaurations.

Les très nombreux fragments d'argile mis au jour lors de cette fouille complètent nos connaissances concernant l'architecture des fours (***cf* vol.4, tab. 7**). Tout comme ceux trouvés en place, il s'agit de fragments de paroi beige comprenant des inclusions de quartz millimétriques à sub-millimétriques. Il est probable que cette argile provienne de l'une des diverses formations géologiques présentent dans la forêt (*Supra* 2.2.1).

En outre, 12 fragments ont une face avec des sillons mesurant en moyenne 1,4 cm de diamètre et cinq autres fragments ont des bombements rectilignes d'environ 1,5 cm de diamètre (***cf* vol.2, tableau 69**). On observe jusqu'à quatre bombements parallèles sur un fragment de paroi. Ces vestiges sont souvent indurés, voire vitrifiés, indiquant qu'ils étaient à l'intérieur des fours lors de la chauffe. Plusieurs fragments de paroi avec le même type de traces existent sur d'autres sites de la forêt de Châteauroux. Ces traces sont interprétées comme étant le négatif d'une structure de soutien en bois utilisée lors de la construction des fours.

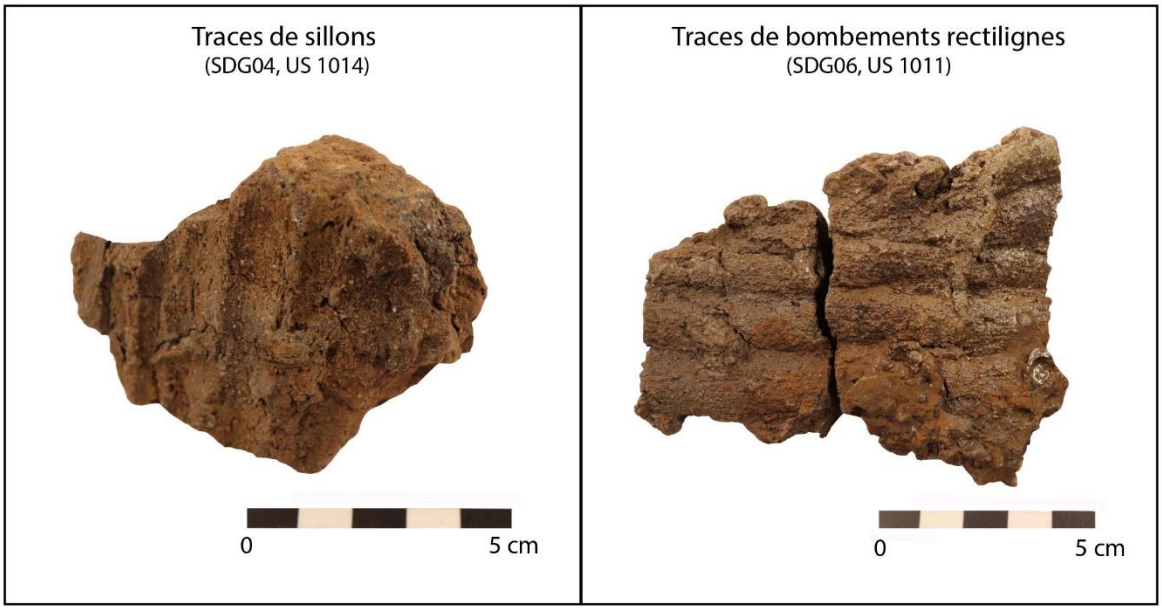


Fig. 213 : Photographie des différentes traces de structure de soutien en bois pour la construction des fours

Quelques indices plus ténus de la technique de construction des fours sont également observés, tels que des traces de lissage de l'argile au doigt ou à l'outil (**Fig. 214**).



Fig. 214 : Photographie de fragments de paroi avec des rainures parallèles régulières à gauche, lissage à l'outil, et des rainures irrégulières à droite, lissage au doigt (US 1019, SDG02)

On constate également la présence des quelques exemplaires faits de deux à trois couches d'argile témoignant du rechapage de parois abîmées (**Fig. 215**).



Fig. 215 : Photographie d'un fragment de paroi composé de deux couches d'argile (US 1019, SDG02)

Les fragments de terres cuites architecturales sont peu nombreux (7,1 kg). Ces vestiges correspondent presque uniquement à des tuiles à pâte beige ou rouge avec des inclusions de quartz sub-millimétriques (**Fig. 216**). Des petits orifices arrondis sont visibles sur plusieurs d'entre elles ; ils permettent de les fixer à l'aide de clou.



Fig. 216 *:* Planches présentant deux exemples de tuiles plates à pâte beige

Ces tuiles sont pour la plupart assez mal conservées et les plus complètes sont friables. Elles mesurent entre 1,2 et 1,9 cm d'épaisseur mais la plus épaisse atteint 2,6 cm d'épaisseur. Deux sont archéologiquement complètes, l'une mesure 13,5 cm de longueur pour 10 cm de largeur et 2 cm d'épaisseur et l'autre 20 cm de longueur pour 13,5 cm de largeur et 1,6 cm d'épaisseur.

Enfin, quelques vestiges confirment l'utilisation de bloc-tuyère en argile dans l'atelier (env. 1,8 kg). Le plus significatif est un fragment de paroi en argile beige de 19,5 cm de longueur pour 18 cm de largeur et 1,8 cm d'épaisseur (**Fig. 217**). Des fragments de terres cuites architecturales sont visibles de chaque côté, facilitant son insertion dans le four. Leur présence laisse supposer que cet élément était amovible. Ce bloc-tuyère est constitué d'une base épaisse percée par un orifice dans sa partie supérieure (type 1a selon la typologie établie pour l'atelier de Boulogne-Chambord).

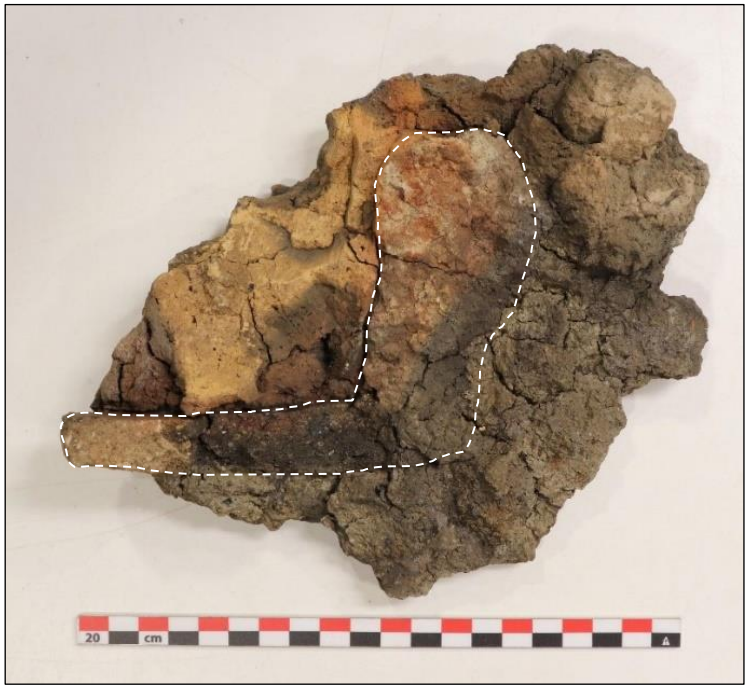


Fig. 217 *:* Photographie de la face externe d'un fragment de paroi comprenant les vestiges d'une tuyère et de terre cuite architecturale (en blanc)

On trouve également de nombreux fragments d'argile à pâte claire et grain fin, similaires au fragment retrouvé dans la paroi. L'argile utilisée pour la fabrication des tuyères et pour les parois a en effet une granulométrie différente. Néanmoins, les fragments de tuyères sont très rares sur ce site. Cette caractéristique peut être due à une utilisation ponctuelle de ces éléments ou à leur mauvaise conservation.

L'ensemble de ces éléments en argile présente des traces d'utilisation en lien avec les fours. Tout d'abord, ils ont des colorations variées (noire, blanche ou encore mauve) signalant une altération due à la chauffe (**Fig. 11 et 12**). L'observation de ces colorations sur les parois montre que la moitié des exemplaires n'est pas altéré (beige et/ou orangée) alors que l'autre moitié est de couleur grise signalant une atmosphère réductrice dans les fours. Enfin, quelques fragments sont de couleur blanche ou mauve témoignant de températures élevées. Ces indices confirment ce qui est perçu à travers les fragments de paroi ramassés en prospection (*Supra* 5.3.4).



Fig. 218 *:* Photographie d'un fond de four présentant une coloration beige à rouge (US 1019, SDG02)



Fig. 219 *:* Photographie d'un fragment de paroi présentant une coloration grise à mauve (US 1019, SDG02)

Il est également courant d'observer sur la face en contact avec l'intérieur des fours une première couche vitrifiée incolore à verdâtre, puis une seconde couche scoriacée.

Lorsque les fours n° 2 et 3 sont devenus inutilisables, les artisans ont nettoyé la zone, ne laissant pour toute trace de leur fonctionnement qu'une fine couche de sédiment rubéfié, le fond des fours et des fragments de parois en argile. L'absence de couche de destruction comprenant des fragments de paroi et des scories sur ou à proximité directes le confirme. Les artisans ont probablement rejeté ces déchets dans le ferrier, et ont fait place nette avant que la zone ne soit rebouchée avec un sédiment charbonneux lors ou après leur départ. Au contraire, le four n° 1, encore en élévation, semble avoir été abandonné après une dernière utilisation. Il s'agit donc probablement du dernier four utilisé sur ce site.

8.1.3 Les éléments de délimitation de l'espace

La zone de réduction comprend des aménagements destinés à délimiter les différents espaces de travail. Au nord, on observe deux alignements de pierres constitués principalement de blocs de silex et plus rarement de grès dont les dimensions sont assez homogènes. Ces blocs sont exogènes, leur présence sur ce site pourrait être associée à celle du minerai.

Le premier alignement s'étend sur environ 2 m et est orienté est-ouest (UC 1001). Le second mesure approximativement 2,50 m et est orienté nord-sud (UC 1002) (***cf* vol. 2, fig. 113 et 114**) (LACROIX 2019b : 21-22). Ces alignements de pierres forment un angle de 90°. Ils séparent l'espace de réduction de l'espace de rejet situé directement au nord. À l'intersection entre ces deux alignements est installé le four n° 1. Lors de sa construction un nouvel alignement de blocs de silex (UC 1012), parallèle à l'UC 1002 et perpendiculaire à l'UC 1001, a probablement été réalisé pour entourer le four et

circonscrire l'espace de travail en avant de celui-ci. L'aménagement du sol devant ce four est d'ailleurs bordé à l'est et à l'ouest par ces pierres. Il est possible qu'un quatrième alignement (UC 1003), localisé au sud-ouest de l'espace de réduction et s'étendant sur environ 1, 25 m, soit la continuité du premier car il présente la même orientation (***cf* vol. 2, fig. 115**). Enfin, au sud-ouest de cette zone de travail, se trouve une petite structure en creux quadrangulaire (US 1035) (***cf* vol. 2, fig. 116 et 117**). Elle mesure environ 0, 50 m de côté et ses parois sont creusées verticalement dans le sol géologique (Strc 004). Il s'agit peut-être d'un trou destiné à recevoir un poteau appartenant à une structure en bois de type auvent, mais aucun autre trou de poteau pouvant fonctionner avec celui-ci n'a été observé au cours de la fouille.

8.1.4 L'espace de rejet des déchets métallurgiques

L'espace de rejet des déchets métallurgiques se trouve au nord et au nord-ouest de la zone de réduction. Il est creusé (US 1039) dans le sol géologique sur moins d'une vingtaine de centimètres de profondeur (***cf* vol.2, fig. 118**). Le diamètre total de ce creusement est inconnu car seule une petite partie de celui-ci a été mise au jour. Toutefois, s'il est circulaire, sont diamètre doit être supérieur à cinq mètres.

Tout comme dans l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne, un sondage a été ouvert au niveau de l'un des sommets du ferrier (**Fig. 220**) (***cf* vol.2, fig. 119**) (*Supra* 3.2.2). Ce sondage, qui a atteint le sol géologique, mesure 5,5 m de longueur et 2,8 m de largeur pour 60 cm de profondeur dans sa partie la centrale et 30 cm en périphérie, soit, si l'on prend une hauteur moyenne de 45 cm, un volume total d'environ 7 m^3. Les 1 326 kg de vestiges métallurgiques provenant des différentes US (1003, 1013, 1014 et 1018) ont été triés en trois grandes catégories : les scories écoulées, les scories internes et les parois.



Fig. 220 *:* Photographie du sondage de référence après la fouille (N. Le Voguer)

La répartition des déchets montre que les scories internes sont majoritairement présentes dans toutes les couches du comblement de ce ferrier (**Tableau 44**). Elles sont toutefois plus nombreuses dans les US 1003 et 1014 avec respectivement 68 % et 65 % des vestiges tandis que dans les US 1013 et 1018 elles constituent environ 55 % des déchets. Ces scories ne sont donc pas réparties de façon uniforme dans le comblement du ferrier. On observe le même phénomène avec les fragments de paroi en argile, également très abondants. Ils sont plus nombreux dans les US 1013 et 1018 (env. 42 %) que dans les US 1003 et 1014 (entre 26 et 30 %). Enfin, les scories écoulées ne représentent que 3 à 5 % des déchets. Le ferrier F090 est donc constitué de plusieurs couches de rejets hétérogènes. Les US 1003 et 1014 ont la même composition ainsi que les US 1013 et 1018. Une hypothèse peut être soulevée ici, cette alternance de couches stratigraphiques est-elle le reflet de l'utilisation de deux structures de production (four n° 2 et 3 ?) ? ou de deux types de production ayant fonctionnés en alternance ?

Tableau 44 : Tableau du poids des vestiges métallurgiques par type en fonction des US dans le sondage de référence

US	Scorie interne (en kg)	Scorie interne %	Paroi (en kg)	Paroi %	Scorie écoulée (en kg)	Scorie écoulée %	Total (en kg)	Volume (en m3)
1003	160,8	68,3	61,5	26,1	13,2	5,6	235,5	3,1
1013	73,3	55,1	56	42,1	3,8	2,9	133,1	0,1
1014	559,8	65,0	255,4	29,7	45,9	5,3	861,1	4,6
1018	58,1	55,5	44,2	42,2	2,4	2,3	104,7	3,1

L'importante représentation des fragments de paroi et le faible nombre de scories écoulées, principalement à cordons fins ou agglomérés, laissent supposer l'emploi d'une technique de production différente de celle utilisée dans l'atelier de Boulogne-Chambord. Dans cet atelier, où l'utilisation de fours à scories écoulées est confirmée, le sondage de référence du ferrier contient presque 60 % de scories écoulées, 30 % de scories internes et 7 % de parois (**Tableau 45**). À Châteauroux, les scories écoulées constituent seulement 5 % des vestiges, les scories internes 63 % et les parois 31 %. On peut alors proposer l'utilisation de fours à scories piégées à Châteauroux. En effet, avec cette méthode de production, les artisans détruisent à chaque opération une partie de la cheminée des fours afin de récupérer la masse de métal, ce qui entraine une grande quantité de déchet de paroi.

Tableau 45 : Comparaison de la composition en vestiges métallurgiques dans l'espace de référence des ateliers de Boulogne-Chambord et de Châteauroux

	Scories écoulées (en kg)	% scories écoulées	Scories internes (en kg)	% scories internes	Parois (en kg)	% paroi
Atelier de Boulogne	1574	58,5	843	31,3	193	7,2
Atelier de Châteauroux	65,3	4,9	852	63,4	417	31,2

Enfin, l'espace de rejet est composé de deux importantes couches limono-sableuses noires au sud-est (US 1002) et au sud-ouest (US 1022). Elles sont caractérisées par la présence de très nombreux fragments de charbon de bois de tailles diverses. Épaisses de 50 à 60 cm, leur localisation est symétrique par rapport à l'axe qui partage le ferrier en deux (***cf* vol. 2, fig. 120**). Ces US sont interprétées comme des couches de rejet ou de stockage du charbon de bois en lien avec les fours de réduction. La première hypothèse semble plus plausible car des scories sont mélangées aux charbons dans cette couche et les zones de stockage du charbon de bois sont généralement aménagées dans une fosse, par exemple. On trouve des comparaisons de ces deux structures dans l'atelier 3b des Clérimois (Yonne) (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 135).

L'atelier, apparait donc bien organisé. Les scories, fragments de paroi et autres déchets métallurgiques sont déposés au nord de la zone de production et les charbons de bois, provenant probablement du curage des fours de réduction, à l'est et à l'ouest. Ces rejets ont fini par se rejoindre donnant ainsi sa forme en « fer à cheval » au ferrier.

L'atelier métallurgique F090 regroupe plusieurs étapes de la chaîne opératoire du fer au sein de différents espaces. L'organisation de cet atelier, d'environ 150 m², semble être le résultat d'une réflexion visant à optimiser l'espace et sa préparation. La probable réutilisation de sédiment provenant du creusement de la zone de réduction ou du ferrier pour installer l'aire de grillage ainsi que l'installation d'un four à l'intersection de deux alignements de pierres délimitant l'espace vont dans ce sens. En outre, les structures de production sont installées à moins de 15 m les unes des autres et leur position entraine un cheminement linéaire au sein de l'atelier, en partant de l'aire de grillage, jusqu'à la zone de réduction et finalement l'espace de rejet (**Fig. 221**). Ce phénomène traduit une organisation méthodique des déplacements comme dans l'atelier de Boulogne (*Supra* 7.1). Enfin, la division de l'espace de rejet, avec les vestiges métallurgiques au nord et les rejets de charbons de bois à l'est et à l'ouest, confirme une certaine maitrise de l'espace artisanal. D'autres sites métallurgiques tels que celui du Latté à Oulches (Indre), daté du IVe s. (DIEUDONNE-GLAD 2000 : 68-70), et de La Chagnasse à Viennay (Deux-Sèvres), daté du Xe s. (SAINT-DIDIER 2017a : 172-175) présentent ce type de gestion de l'espace. On peut alors se demander si ce type d'organisation, similaire dans des espaces géographiques et à des périodes différentes, est le résultat d'une tradition artisanale largement diffusée ou s'il s'agit d'une optimisation fonctionnelle empirique.

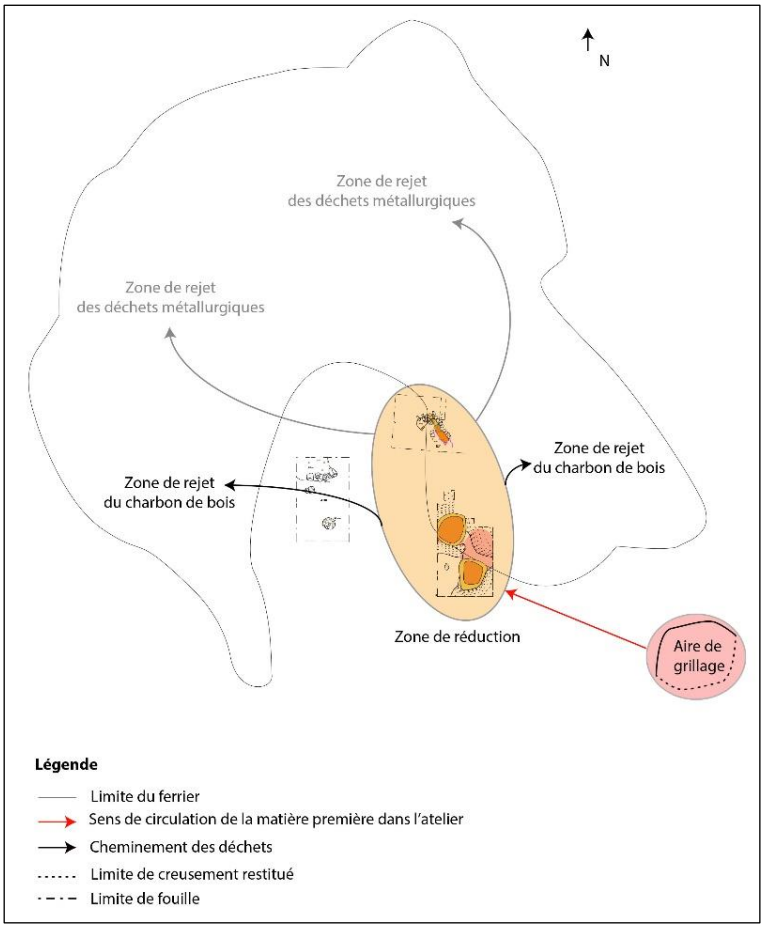


Fig. 221 : Schéma de l'organisation spatiale de l'atelier F090

Dans l'atelier de Châteauroux, deux fours de réduction sont restitués à une dizaine de mètres au nord-ouest de l'aire de grillage. Ces structures sont très arasées mais laissent percevoir une implantation tête-bêche et une cuve d'assez grande taille (1 m). Compte tenu de leur implantation, il est probable qu'ils fonctionnaient en alternance. Un troisième four en meilleur état de conservation est situé au nord de ces structures. Il appartient probablement à la phase de production la plus récente de l'atelier. Il est installé sur son point le plus haut, entre deux alignements de pierre séparant la zone de travail de la zone de rejet. Dans le ferrier, la surreprésentation des fragments de paroi et une très faible masse de scories écoulées tend à signaler que les fours étaient du type « four à scories piégées ». Malgré leurs différences d'architecture, ces trois fours sont construits avec le même type d'argile, provenant certainement d'une des formations géologiques du massif forestier. Les artisans ont vraisemblablement utilisé des éléments de soutien en bois de petit calibre (env. 1,5 cm) pour la construction de la cheminée. L'argile devait être déposée sur l'ossature en bois et lissée à l'aide d'un outil ou directement avec les doigts. Enfin, les métallurgistes ont ponctuellement employé des tuyères et des terres cuites architecturales pour la construction de ces fours.

De même qu'à Boulogne-Chambord, la prospection magnétique en amont de l'opération s'est avérée efficace pour trouver les structures de combustion. Néanmoins, une anomalie importante est apparue négative lors de la fouille (anomalie **3**). Deux possibilités peuvent expliquer ce phénomène, soit la structure associée à cette anomalie est décalée d'un à plusieurs mètres, ce qui est possible au vu des conditions d'acquisition difficiles sur ce site (sol forestier perturbé, acquisitions des données géographiques en local) ; soit cette anomalie est uniquement engendrée par la présence de scories très ferreuses.

8.2 Les indices de datation

8.2.1 Apport de la terre cuite architecturale

Les terres cuites architecturales sont presqu'exclusivement des tuiles et majoritairement à crochet (**Fig. 222** ; ***cf* vol.4, tab. 7**). Cette particularité et leur épaisseur très uniforme (entre 1,5 et 1,9 cm) rappellent les « tuiles plates à crochet », datées entre les XIIe et XVe s., provenant de l'aile ouest de l'abbaye de Jumièges (Seine-Maritime) (DESHAYES 2016 : 139-152). Bien que cette comparaison soit éloignée géographiquement, elle pourrait fournir un *terminus post quem* pour l'atelier de Châteauroux.



Fig. 222 : Photographie d'un fragment de tuile plate avec un trou destiné à la fixation d'un clou (SDG04, US 1003)

8.2.2 Le mobilier céramique

Au total, quatre-vingt-douze tessons de céramique proviennent de cet atelier (***cf* vol.2, tableau 70**)[216] (LONGELIN 2019 : 51-53). Ils permettent d'établir un Nombre Minimum d'Individus (NMI) de trente-quatre (**Tableau 46**). La faible importance de ces effectifs est contrebalancée par la grande homogénéité des productions céramiques[217]. Le manque d'ensembles céramiques de référence pour la région de Châteauroux conduit à utiliser le tessonnier élaboré à Bourges pour toutes comparaisons. Bien que cette ville soit située à une soixantaine de kilomètres du site, ce choix est justifié par la similarité technologique observée entre les productions du corpus et celles répertoriées à Bourges, notamment la présence presque systématique d'inclusions micacées.

Tableau 46 *:* Tableau de comptage en NMI par US et Groupes Techniques de la céramique du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux

US / GT	Bou2a	Bou1d	Bou6a	Bou7p	GR	HMA	TOTAL
1001	2	2					**5**
1002	1	1				1	**3**
1004	1	1					**3**
1006	2	1					**3**
1008	1	1	1				**4**
1013		1					**1**
1014	1						**1**
1015	2						**2**
1017	2	1	1				**4**
1018	1	1			1		**3**
1019	1	1					**2**
1021	1	1		1			**3**
1022	1	1					**2**
1030						1	**1**
TOTAL	**15**	**12**	**2**	**1**	**1**	**2**	**34**

216. Étude réalisée par A. Longelin (céramologue CITERES/LAT)
217. La détermination de ces productions ainsi que des formes qui leur sont associées repose sur les outils typologiques élaborés dans le cadre du PCR sur la céramique du Centre-Ouest de la France (HUSI 2003 ; HUSI 2013), consultable en ligne sur le site du réseau ICERAMM : http://iceramm.univ-tours.fr

La quasi-totalité du corpus (88 % du Nombre de Restes) est constitué de céramiques à pâte fine blanche ou beige micacée (Bou1d) couverte partiellement d'une glaçure plombifère sans ajout d'oxyde colorant (Bou2a). Les cinq vases dont la forme peut être identifiée appartiennent à ce type de production. On distingue deux pots à col droit, légèrement évasé, dont la lèvre est peu prononcée (pot 12-1) (**Fig. 223b** et **c**) ; un pichet à bec pincé et anse plate attachée au col (pichet 8-1) (**Fig. 223a**) ; deux fragments de rebords qui pourraient correspondre à un pichet à lèvre déjetée (pichet 10-2) (**Fig. 223e**) et à une cruche (**Fig. 223d**). Un fragment de céramique à pâte fine beige possède une glaçure « mouchetée », colorée à l'oxyde de cuivre, posée sur un engobe rouge (Bou7p). Enfin, sept tessons à pâte brune et à surface fortement micacée peuvent être attribués au haut Moyen Âge et un autre fragment à pâte orangée et micacée à l'antiquité romaine. La faible présence d'éléments antiques au sein du corpus indique un phénomène de redéposition très ponctuel.

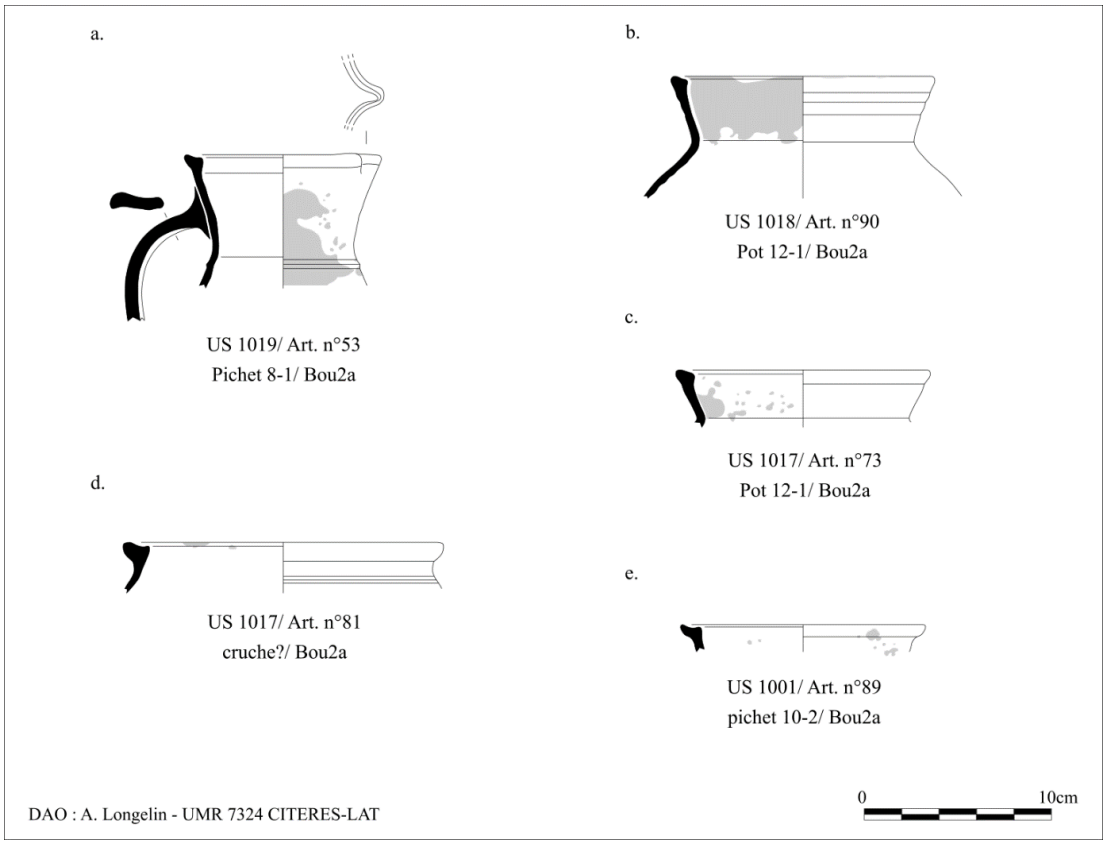


Fig. 223 *:* Céramique du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux : fragments de rebords déterminés typologiquement.

L'utilisation de céramiques à pâte fine blanche ou beige (Bou1d, Bou6a) pourvue d'une glaçure plombifère translucide (Bou2a) ou « mouchetée » (Bou7p) est datée à Bourges entre le milieu du XIIIe s. et le début du XVe s. environ (FINET 2014a ; FINET 2014b). En revanche, à l'échelle du Centre-Ouest de la France, l'utilisation conjointe de pots à lèvre peu prononcée et col droit (pot 12-1) et de pichets à lèvre épaissie (pichet 10-2) ou à lèvre à gorge interne et pourvus d'un bec pincé

(pichet 8-1) peut-être datée du XIVe s. (HUSI 2003 : 79-80). Les vestiges céramiques fournissent donc une fourchette chronologique pour cet atelier comprise entre le XIIIe s. et le début du XVe s.

8.2.3 La datation par ^{14}C

Cinq échantillons de charbon de bois ont été datés par radiocarbone. Un échantillon provient du comblement de l'aire de grillage (CHAT2019_2) et fournit une datation à l'activité entre 1260 et 1387 (***cf* vol.2, fig. 121**). Deux échantillons issus de la couche de démolition recouvrant les fours (CHAT2019_5) et de la cuve du four n° 1 (CHAT2019_1) datent le site entre 1260 et 1390 (***cf* vol.2, fig. 122 et 123**). Enfin, la datation de deux échantillons provenant de différentes couches de rejet du ferrier (CHAT2019_3 et 4) indique que la production prend place aux environs de 1210 – 1390 (***cf* vol.2, fig. 124 et 125**). La synthèse des datations[218] montre que l'atelier a fonctionné à une période située vers 1210-1390 (**Fig. 224**).

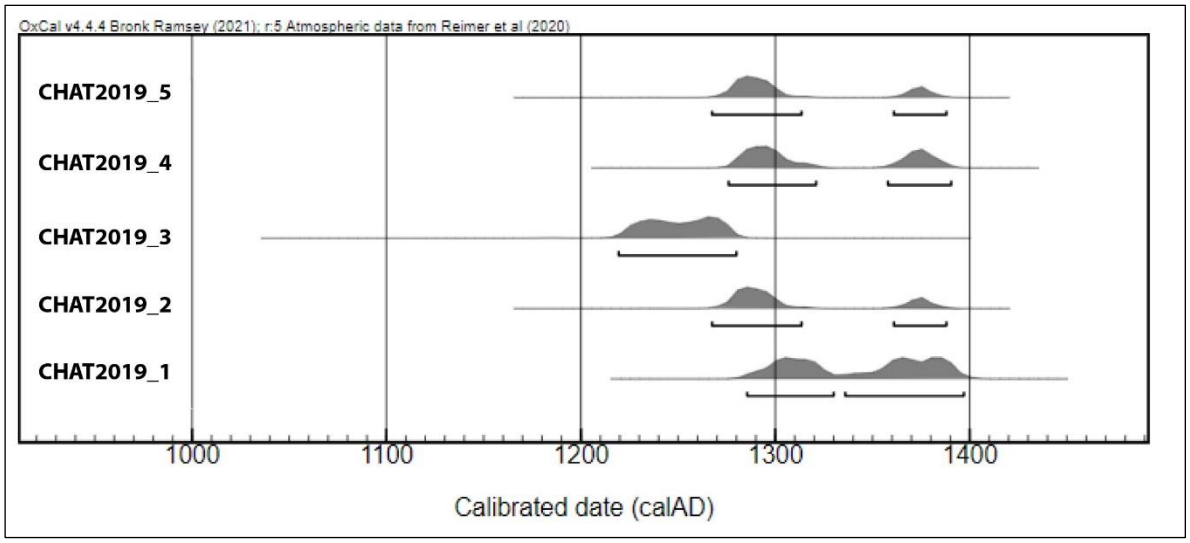


Fig. 224 : Diagramme présentant les résultats des analyses ^{14}C réalisées dans l'atelier F090 (94,5% de fiabilité)

Cette fourchette peut être détaillée grâce à la courbe de datation calibrée (**Fig. 225**). Lorsque l'on y place les datations obtenues pour l'atelier, on constate que quatre d'entre elles se trouvent sur des microplateaux. Ainsi, deux périodes peuvent être avancées pour la production du fer, soit vers 1220 et 1330, soit vers 1350 et 1390. La première période est toutefois celle qui semble rallier le plus de résultat.

218. Diagramme réalisé à l'aide du logiciel OxCal.

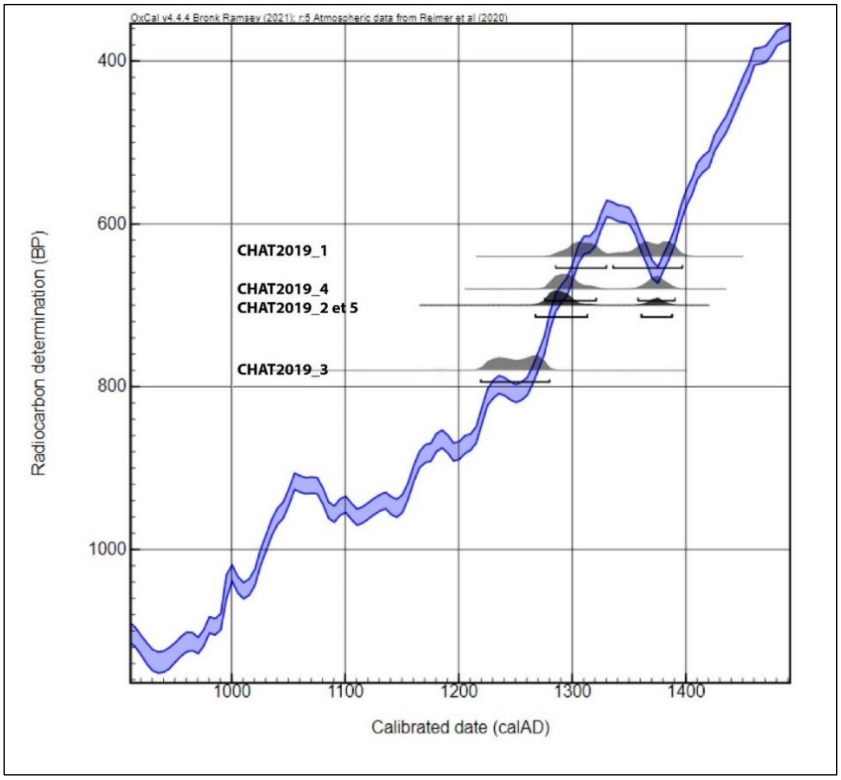


Fig. 225 : Restitution des analyses ^{14}C de l'atelier F090 sur la courbe de datation calibrée

Les éléments de datation disponibles pour cet atelier sont limités, mais convergents. Ils témoignent d'une activité de production du fer sur ce site entre le milieu du XIIIe et la première moitié du XIVe s. La durée de cette activité est cependant inconnue. Les sites de réduction du fer datés de cette période sont généralement connus à travers les textes. On en trouve des mentions en Bretagne, notamment dans la forêt de Paimpont (Ille-et-Vilaine) (LARCHER 1994 : 114), en Mayenne (SARRESTE 2008 : 509) ou encore dans l'Aube avec la forêt d'Othe (SAINT-DIDIER 2017a : 236). Ce n'est toutefois pas le cas de Châteauroux. D'un point de vue archéologique, bien qu'un certain nombre de sites métallurgiques de cette période soient connus dans l'ouest et l'est de la France, très peu ont fait l'objet de fouilles. On peut mentionner les ateliers de la forêt d'Othe (Aix-en-Othe, Yonne), nommés « Le grand Gollot », « Bois de l'Essert » et « Le Mineroy », datés des XIIIe – XIVe s. (BECK, BRAUNSTEIN, PHILIPPE 2008 : 355-358). Un sondage a été réalisé sur chacun de ces sites, toutefois ils ne sont pas très grands et ne permettent pas d'obtenir d'informations concernant l'organisation des ateliers. Contrairement à la forêt d'Othe, où le type de scories laisse supposer l'utilisation de fours à scories écoulées, dans la forêt de Moulière (Vienne), l'exploitation datée entre le XIe et le XVe s. a principalement engendré des scories internes (SAINT DIDIER 2017a : 117). Cette caractéristique pourrait signaler l'emploi du même type de four qu'à Châteauroux, c'est-à-dire à scories piégées. Il faudrait néanmoins fouiller l'un de ses ateliers pour le vérifier. L'utilisation de fours à scories piégées au Moyen Âge n'est donc probablement pas si rare que l'on pourrait le penser. Toutefois, nos

connaissances actuelles concernant la métallurgie de cette époque ne permettent pas d'en comprendre l'ampleur à l'échelle régionale ou nationale.

8.3 Une technique de production peu connue au Moyen Âge

8.3.1 La réduction

Les déchets métallurgiques recueillis dans cet atelier sont principalement caractéristiques de la réduction du fer (87 kg) (***cf* vol.4, tab. 7**). Leur étude permet d'en apprendre davantage concernant la technique de production.

Les déchets de l'opération

Les scories écoulées

Il a déjà été mentionné précédemment que les scories écoulées sont très peu représentées dans cet atelier. Environ 20 kg de ces vestiges sont tout de même observés. Ces scories, appelées aussi Scories Grises Denses, sont lourdes et compactes, de couleur grise avec des reflets métalliques. Plusieurs types de scories écoulées sont distinguées. On trouve les scories écoulées à cordons agglomérés (42 %), à cordons fins (31 %) et plus rarement à cordons épais (17 %) ou en plaque (3 %) (**Fig. 226** ; ***cf* vol. 2, tableau 71**). Cette typologie est la même que celle observée sur les autres sites de la forêt ainsi que celle utilisée dans la forêt de Boulogne/Chambord. Néanmoins, l'abondance des scories à cordons agglomérés et fins est peu courante. Ce phénomène n'est pas visible dans le massif de Boulogne/Chambord, mais correspond aux observations faites à partir des données de prospection dans la forêt de Châteauroux (*Supra* 5.3.1). Les scories de ce type ont une morphologie similaire à celles appelées scories « en cordon » par N. Dieudonné-Glad sur le site de Meunet-Planches (Indre). Elles sont toutefois de plus grandes dimensions. Sur ce site, elles sont définies comme étant un marqueur de bas-fourneaux « à scories piégées et usage multiple » (DIEUDONNE-GLAD 2015 : 367). En effet, ce type de scories est composé d'une matière scoriacée peu fluide qui semble s'être agglomérée car elle ne pouvait pas s'écouler. Malgré son aspect en cordons, ce type de déchet pourrait donc être intégré aux scories internes plutôt qu'écoulées. Il faudrait toutefois vérifier cette hypothèse grâce à l'archéologie expérimentale. L'abondance de ce type de scories écoulées par rapport aux autres semble donc bien être un nouvel indice de l'utilisation de four à scories piégées dans cet atelier.



Fig. 226 : Photographie d'une scorie écoulée à cordons agglomérés (SDG04, US 1014)

La forme de certaines scories écoulées fournit également des informations concernant les fours et leur architecture. Deux d'entre elles ont une forme tubulaire identifiée comme étant des bouchons de tuyère (**Fig. 227**). Leur diamètre et leur longueur indiquent l'utilisation dans cet atelier de tuyères longues d'au moins 10 cm avec un conduit d'environ 2 cm de diamètre. Il est impossible de comparer ces dimensions avec celle des fragments de bloc-tuyères mis au jour car ils sont trop dégradés. Seul le fragment associé à de la paroi décrit précédemment (*Supra* 8.1.2, **Fig. 217**) permet d'apporter un élément de comparaison, et il est deux fois plus long.



Fig. 227 : Photographie d'une bouchon de tuyère (SDG04, US 1014)

Les scories internes

Les vestiges les plus abondants sur ce site sont les scories internes (env. 151 kg étudiés) (***cf* vol.4, tab. 7**). La quasi-totalité de ces scories sont des Scories Brunes Rugueuses (SBR) (141 kg) avec des inclusions d'hydroxydes de fer, de charbon de bois et des nodules d'argile orangée (**Fig. 228**) (***cf* vol.2, tableau 72**). Les Scories Brunes Denses (SBD) ne représentent que 6,7 kg, les Scories Ferreuses (SF) 0,6 kg et les Scories Légères (SL) 2 kg. Ces types de scories sont présents dans les autres ateliers du massif ainsi que dans la forêt de Boulogne. Il s'agit donc de déchet communs. Les

scories internes proviennent principalement des couches de rejet du ferrier (US 1014 et 1011) et des couches de destruction et de comblement de l'atelier.



Fig. 228 : Photographie d'une Scorie Brune Rugueuse (US 1011, SDG06)

La surreprésentation des Scories Brunes Rugueuses correspond à ce qui est perçu lors de l'étude du mobilier ramassé en prospection sur ce site (*Supra* 5.3.2). Ce phénomène est similaire pour de nombreux ferriers de la forêt aussi bien issus de sites bicolores que de sites noirs. Il n'est donc pas caractéristique d'un type de site ou d'une période.

Les scories internes ont régulièrement une partie inférieure formée de cordons bruns/gris fins et/ou agglomérés (**Fig. 229**). Cette caractéristique, visible sur 33 individus, pourrait expliquer les scories à cordons agglomérées précédemment décrites. Il s'agirait de fragments de scories internes plus importantes dont la face inférieure s'est agglomérée en cordons fins.



Fig. 229 : Photographie de la face supérieure (à gauche) et inférieure (à droite) d'une scorie interne (SDG04, US 1019)

Les scories internes présentent différentes traces laissées par la réduction. Elles sont souvent vitrifiées et cette vitrification peut prendre certaines colorations (rose, bleue, verte) ; Cette coloration est probablement induite par les éléments chimiques présents dans le four lors de l'opération. Enfin, certaines disposent de traces indiquant l'utilisation de ventilation (**Fig. 230**).



Fig. 230 : Photographie d'une scorie avec l'empreinte d'une tuyère (US 1014, SDG04)

Parmi les scories internes, 25 individus sont des fonds de four, c'est-à-dire des scories qui se sont agglomérées dans le fond de la cuve d'un four de réduction. Ils mesurent entre 10 et 23 cm de longueur pour 9 à 17 cm de largeur (**Fig. 231** ; ***cf* vol.2, tableau 73**). Les dimensions de ces scories sont cohérentes avec celles de la cuve du four n°1. Leur épaisseur est comprise entre 3 et 11 cm, ce qui est très hétérogène. Enfin, ces fonds de four sont tous plano-convexes et de forme circulaire ce qui confirme l'utilisation de fours circulaires ou ovales.

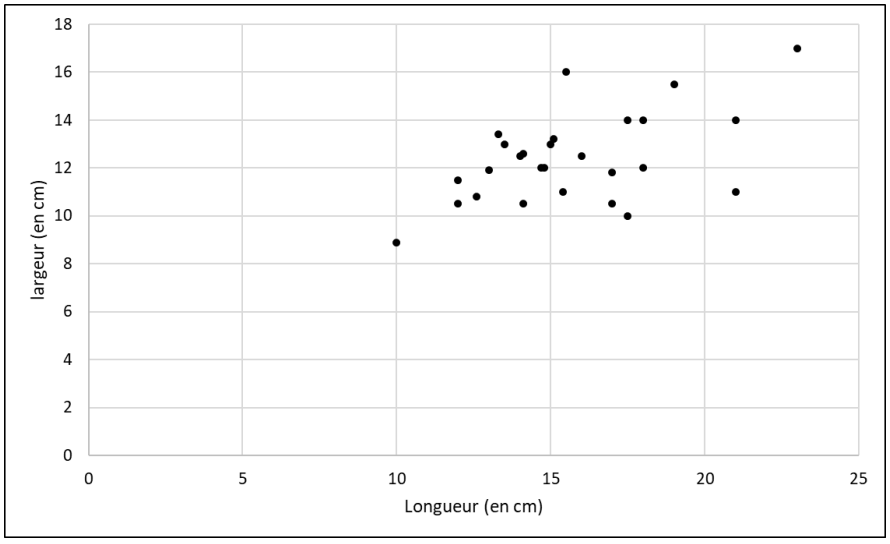


Fig. 231 : Diagramme de la longueur (en cm) des fonds de four en fonction de leur largeur (en cm)

Ces scories pèsent entre 0, 3 et 2 kg mais la moyenne de ces masses est de 1 kg. Leur répartition par classe de masse montre que le plus grand nombre (12 individus) pèsent entre 0,8 et 1,2 kg (**Fig. 232** ; ***cf* vol. 2, tableau 74**). Dans une moindre mesure six individus pèsent entre 0,4 et 0,8 kg et trois entre 1,4 et 1,6 kg. Le nombre d'individus dans les autres classes est plus anecdotique. La majorité de ces fonds de four a donc un poids supérieur à ceux observés dans l'atelier F155/1 de Boulogne-Chambord où ils sont principalement compris entre 0,4 et 0,8 kg (*Supra* 7.3.1). Ces fonds de four sont donc assez lourds sans être aussi impressionnants que dans l'atelier protohistorique de la Bazoge « Les Barres » dans la Sarthe par exemple (ZAOUR 2021 : 155-158).

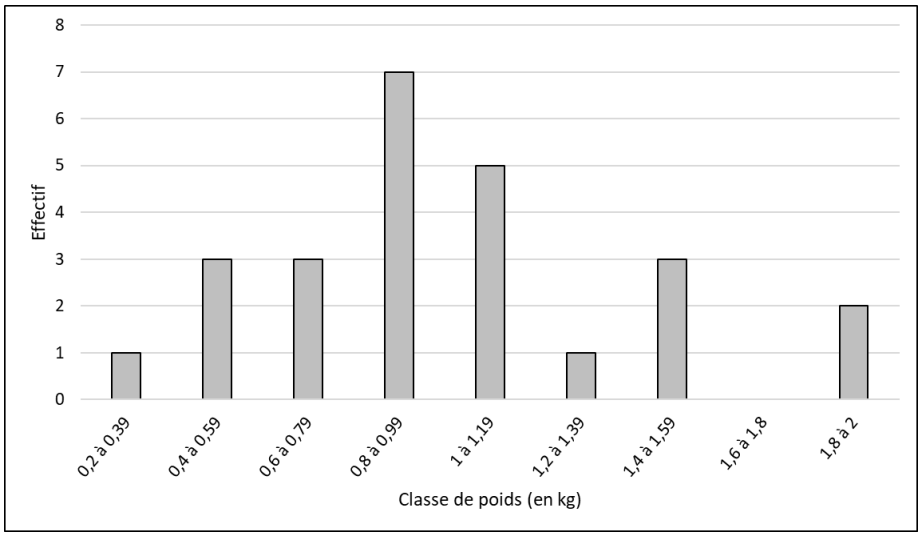


Fig. 232 *:* Diagramme du nombre de fonds de four par classe de poids dans l'atelier F090

Cinq fonds de four et deux scories internes ont fait l'objet d'une étude métallographique (***cf* vol.3, Annexe 6.1**). Elle montre que ces scories sont très semblables malgré leur différence de taille (**Fig. 233**). Leur coupe est noire à verte et composée de nombreuses petites porosités globulaires réparties de façon homogène. Ces observations témoignent d'une scorie assez fluide (BERRANGER 2014 : 126). Quatre scories (CHAT1011-1, CHAT1011-2, CHAT1014-2 et CHAT1014-4) possèdent des inclusions globulaires dont l'épaisseur du pourtour et la coloration rosée les différencient des battitures. Compte tenu du type de minerai mis au jour, il est plus vraisemblable qu'il s'agisse de pisolithes de fer. Les grains anguleux et rosés observés dans quatre de ces scories pourraient également correspondre à des fragments de ce matériau. Des nodules métalliques centimétriques sont visibles dans deux scories (CHAT1011-2 et 1014-2). Des nodules métalliques millimétriques sont également observés dans deux autres fonds de four (CHAT1004 et CHAT1011-3). Ils sont globulaires et en cours de dissolution. Les teneurs en carbone sont assez hétérogènes dans les différents échantillons ; on trouve des exemples d'acier hypoeutectoïde à hypereutectoïde et même de la fonte

blanche. Ce dernier métal semble toutefois être un raté de production. L'atmosphère dans les fours devait donc être particulièrement réductrice.

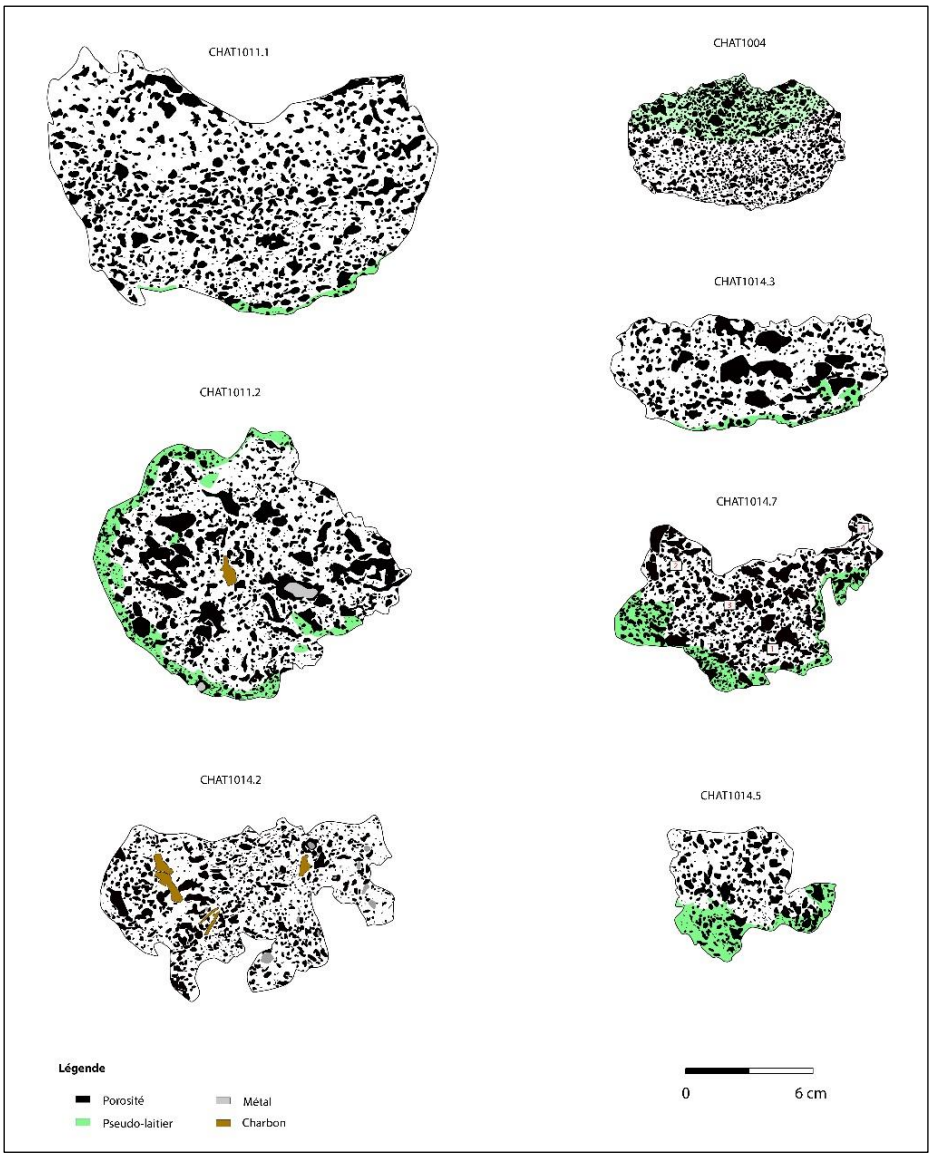


Fig. 233 : Coupes des fonds de four mis au jour dans l'atelier F090

Les pseudo-laitiers

Ces vestiges sont très peu présents (0, 8 kg) dans cet atelier (LACROIX 2019b : 39). Ils sont de petites dimensions (pas plus de quelques centimètres de longueur) et ont un aspect très vitrifié de couleur verte, bleutée, rosée ou parfois bicolore (**Fig. 234**). Leur faible quantité indique qu'ils ont probablement été formés de façon involontaire.



Fig. 234 : Photographie d'un pseudo-laitier vert/bleu (US 1001)

Le minerai

Environ 1,6 kg de minerai sidérolithique a été découvert sur ce site. Il provient principalement de l'aire de grillage (US 1015, 1006 et 1036) et des couches de rejet du ferrier (US 1003, 1004 et 1022). Il s'agit d'argilite compacte, peu dense avec des arêtes plus ou moins aigües (ces arêtes ont probablement été engendrées par l'éclatement de la gangue du minerai lors de sa chauffe). Ces fragments contiennent des pisolithes ferrugineuses. Ce minerai est souvent rubéfié, avec une coloration non uniforme comprenant des faces violacées, rouges vives à orangées et des faces plus brunes (**Fig. 235a**). À l'état naturel, il est jaune (**Fig. 235b**).

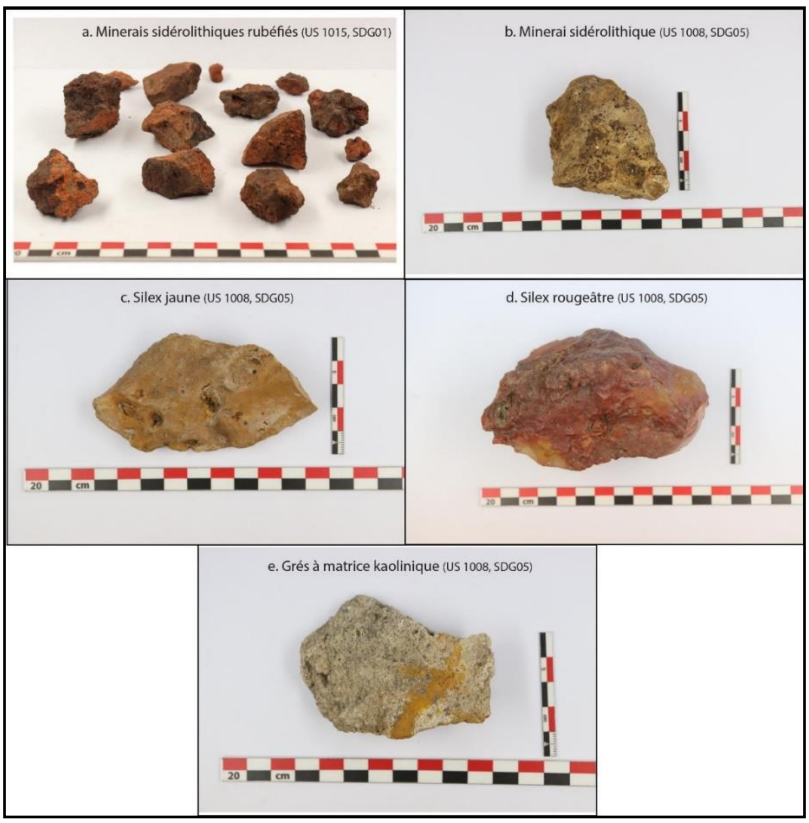


Fig. 235 : Photographie des différents types de vestiges lithiques mis au jour sur le site de Châteauroux

D'autres types de roches ont été observé dans cet atelier (env. 55 kg), plus particulièrement dans l'aire de grillage. Tout d'abord, on trouve des fragments de silex rouge à jaune de dimensions variées (**Fig. 235c et Fig. 235d**). Il s'agit des mêmes types de silex que ceux qui délimitent l'espace de travail (Supra 8.1.3). Ils portent généralement des arêtes saillantes probablement engendrées par la chauffe. Ensuite, on observe des grès ferrugineux à matrice argileuse, voire kaolinique, avec des inclusions de quartz. Ces éléments naturels sont généralement de couleur blanche à grise avec, par endroit, des traces jaune, et rouge vif à bordeaux (**Fig. 235e**). Ces éléments, exogènes dans cette partie de la forêt, ont probablement été apportés dans l'atelier en même temps que le minerai. Le même type de roche est couramment observé au sein de la formation géologique d'Ardentes mais également dans les formations géologiques inférieure (Supra 6.1.1) (LORENZ *et al.* 1990 : 9). Il est donc probable que le minerai employé pour la métallurgie dans ce massif provienne de l'une de ces formations géologiques.

La composition chimique de trois fragments de minerai potentiels, découverts dans l'atelier, a été analysée (*Supra* 6.1.1). Aucun des échantillons n'a une signature chimique exactement similaire à celle des scories de l'atelier F090. Seul un échantillon s'en rapproche (ECH_F090_2019_18). On peut donc considérer que sa composition correspond à celle des minerais utilisés dans l'atelier et l'employer pour le bilan de matière.

Bilan des échanges de matière lors de la réduction

Plusieurs tentatives de résolution de l'équation de la réduction ont été réalisées à l'aide de la moyenne des teneurs de trois échantillons de paroi, huit échantillons de scories internes (Scories Brunes Denses), trois échantillons de scories écoulées et de deux échantillons de charbons de bois archéologiques issus du site d'Oulches (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 328-330, fig.11) (**Tableau 47** ; ***cf* vol. 2, tableau 75**). L'utilisation de ces charbons résulte de l'absence d'analyse de charbon de bois dans l'atelier de Châteauroux. Les résultats d'analyse du minerai ayant la signature chimique la plus proche de celle des scories de l'atelier F090 est venu compléter l'équation (*Supra* 6.1.1). L'utilisation d'un seul échantillon limite toutefois sa représentativité. Compte tenu de la très faible proportion de scories écoulées, l'équation est traitée avec les résultats d'analyse des scories internes, des parois, des charbons et du minerai.

La formule utilisée est ainsi :

M x minerais + P x parois + C x charbon => Scories internes + Masse métallique

Tableau 47 : Moyenne des poids d'éléments chimiques de divers types d'échantillon de déchets métallurgique pour 100g d'échantillon

	Si	Al	Fe	Ca	Mg	Na	K	Cr	Ti	Mn	P	Ba
Scorie écoulée	13,15	4,14	41,57	1,22	0,27	0,06	0,94	0,01	0,23	0,57	0,12	0,03
Scorie interne	15,77	4,04	33,83	2,06	0,52	0,08	1,39	0,01	0,20	3,08	0,16	0,21
Paroi	40,3	5,16	1,31	0,07	0,10	0,17	1,15	0,00	0,40	0,04	0,02	0,03
Minerai	1,40	0,25	66,74	0,12	0,04	0,04	0,01	0,00	0,01	0,60	0,05	0,01
Charbon	8,75	3,7	2,1	42,5	1,15	0,25	0,65	indet	0,2	0,2	0,25	indet

Sa résolution est facilitée par le fait que le manganèse est presqu'absent des parois de four et du charbon alors que la silice est majoritairement issue de ces parois et que le calcium provient presqu'exclusivement du charbon. On peut ainsi définir les équations suivantes :

Mn : M x minerai = Scories internes

Ca : C x charbon = Scories internes

Si : P x paroi + M x minerai = Scories internes

Manganèse : 0,6M = 3,08

M = 3,08/0,6 = 5,1

$\boxed{M = 5,1}$

Calcium : 42,5C = 2,06

C = 2,06/42,5 = 0,05

$\boxed{C = 0,05}$

Silice : (1,40 x 5,1) + 40,3P + (8,75 x 0,05) = 15,77

7,14 + 40,3P + 0,43 = 15,77

40,3P = 10,2

$\boxed{P = 0,25}$

Vérification de cohérence

Aluminium : (0,25 x 5,1) + (5,16 x 0,25) + (3,7 x 0,05) =

1,275 + 1,29 + 0,185 = 2,75

Mesuré : 4,04 Calculé : 2,75

Une variabilité d'environ 24 % est constatée entre la masse attendue et celle mesurée. Une certaine quantité d'aluminium doit donc provenir d'une autre source dans le système.

Calcium : (0,12 x 5,1) + (0,07 x 0,25) + (42,5 x 0,05) =

0,612 + 0,017 + 2,125 = 2,75

Mesuré : 2,06 Calculé : 2,75

Une variabilité de 25 % est constatée entre la masse attendue et celle mesurée. Ce pourcentage d'erreur est acceptable (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 332).

Magnésium : (0,04 x 5,1) + (0,1 x 0,25) + (1,15 x 0,05) =

0,204 + 0,025 + 0,0575= 0,29

Mesuré : 0,52 Calculé : 0,29

La masse de magnésium est 45 % supérieure à ce qui pouvait être attendu dans les échantillons de scorie. Il faut donc réfléchir à une autre source possible dans le système. Cet élément chimique étant principalement apporté par le charbon de bois, on peut se demander si le charbon issu de la forêt de Châteauroux n'est pas plus riche en magnésium que celui de Oulches.

Potassium : (0,01 x 5,1) + (1,15 x 0,25) + (0,65 x 0,05) =

0,051 + 0,287 + 0,032 = 0,37

Mesuré : 1,39 Calculé : 0,37

La masse de potassium est environ trois fois supérieure à ce qui pouvait être attendu dans les échantillons de scorie. Toutefois, N. Dieudonné-Glad démontre, en comparant des charbons archéologiques et d'autres issus d'archéologie expérimentale, que certains éléments chimiques ont des teneurs qui diminuent avec le temps dans les charbons archéologiques, notamment le potassium (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 334). Ce phénomène pourrait expliquer la grande différence observée entre le taux attendu et celui réellement mesuré.

Cette restitution du bilan de matière dans les fours de réduction est moins satisfaisante que celle opérée à Boulogne-Chambord. Certains de ces déséquilibres peuvent être expliqués par le fait que les analyses des charbons de bois n'aient pas porté sur les charbons du site. Néanmoins, ils peuvent également être dû à la prise en compte d'un seul échantillon de minerai pour réaliser le bilan de matière ou à l'utilisation par les métallurgistes d'un autre minerai ou mélange de minerai dont la composition nous est inconnue, comme cela est supposé dans le chapitre 6 (*Supra* 6.1.1). Dans ces conditions, il a été impossible de restituer le bilan de matière de la réduction et donc d'estimer le rendement de la réaction et la quantité de métal produit par cet atelier. Seule la recherche d'autres échantillons de minerais et leur analyse pourra à présent nous permettre d'avancer sur cette problématique.

Conclusion

La réduction réalisée dans l'atelier F090 de la forêt de Châteauroux comprend deux étapes de la chaîne opératoire du fer : le grillage du minerai et sa réduction. L'abondance des scories internes par rapport aux scories écoulées et la forme principalement agglomérée des cordons de ces dernières contribue à distinguer dans cet atelier l'utilisation de fours à scories piégées. Bien que cette technique soit peu connue pour cette période, le XIIIe s., on en suppose toutefois l'existence en forêt de Moulière (Vienne) (SAINT DIDIER 2017a : 117) ou encore dans le Finistère (SARRESTE 2011 : 481).

La réduction a engendré des scories très similaires qui témoignent d'une technique de production homogène. Les fonds de four mis au jour ont des dimensions et des poids globalement plus importants que dans l'atelier de Boulogne. Cela signale des fours de plus grandes dimensions. L'utilisation de fours à scories piégées dans l'atelier de Châteauroux est probablement une autre raison qui explique cette distinction. Ces opérations ont entrainé la formation de scories assez fluides contenant encore régulièrement des inclusions de pisolithes de fer. Néanmoins, l'atmosphère dans les fours devait être assez réductrice pour produire un métal carburé sous forme d'aciers hétérogènes. La formation de wüstite dans les scories, la variabilité de la teneur en carbone dans les aciers et la présence de pisolithes de fer non réduits indiquent probablement une maitrise assez moyenne de la production du fer.

Le minerai utilisé sur ce site est probablement sidérolithique ; une certaine quantité a été retrouvée dans l'aire de grillage du minerai. Il présente une importante teneur en fer et la signature chimique d'au moins un échantillon analysé est proche de celle des scories de cet atelier. Néanmoins, le bilan de matière n'a pas pu être équilibré avec cet échantillon. Deux raisons peuvent expliquer ce phénomène, soit l'utilisation d'un seul échantillon de minerai pour résoudre l'équation n'est pas suffisamment représentatif, soit le minerai analysé n'est pas celui utilisé pour la réduction, ou alors il ne l'a pas été seul (mélange de minerai).

8.3.2 Quelques indices de forge

Les culots de forge

Les culots de forge ne sont pas faciles à distinguer des fonds de four sur ce site. Il est toutefois possible de les identifier en combinant plusieurs indicateurs macroscopiques et microscopiques: la forme et la taille de la scorie, la présence de battitures, de dendrites de wüstite, de grains argilo-sableux et de micro-porosités de formes anguleuses. La plus grande difficulté est de distinguer les battitures et les vestiges de minerai pisolithique. Pour ce faire, on observe l'épaisseur microscopique

des éléments concernés, le minerai étant généralement plus épais. On considère également la couleur de ces éléments car elle est rosée pour le minerai.

Selon ces critères, seuls trois individus sont identifiés comme des culots de forge. Ils pèsent entre 0,3 et 0,7 kg et mesurent 14,5 cm de longueur pour 11 cm de largeur et 4 cm d'épaisseur environ (***cf* vol.4, tab. 7**). D'un point de vue microscopique, deux échantillons (CHAT1014-6 et CHAT1018) ont une coupe noire présentant de nombreuses petites porosités globulaires qui indiquent une scorie assez fluide (**Fig. 236**). Le troisième culot (CHAT1014-1) a des caractéristiques légèrement différentes. On y observe une coupe bicolore (noire et verte) avec des porosités de plus grandes dimensions, notamment dans la partie supérieure. Des micro-porosités anguleuses sont également observées dans ces trois échantillons. Il est possible que le profil mixte de ces vestiges (porosités centimétriques globulaires et microscopiques anguleuses) caractérise plutôt une activité d'épuration de l'éponge de fer (BERRANGER 2014). Néanmoins, les indices sont faibles. Aucun nodule métallique de taille suffisamment importante n'est observé dans ces déchets, il est donc impossible de déterminer le type de métal travaillé. D'importantes masses argilo-sableuses peuvent témoigner de l'apport d'argile dans la scorie CHAT1014-6 et des grains (sable ?) signalent la probable utilisation d'ajouts lors du forgeage CHAT1018.

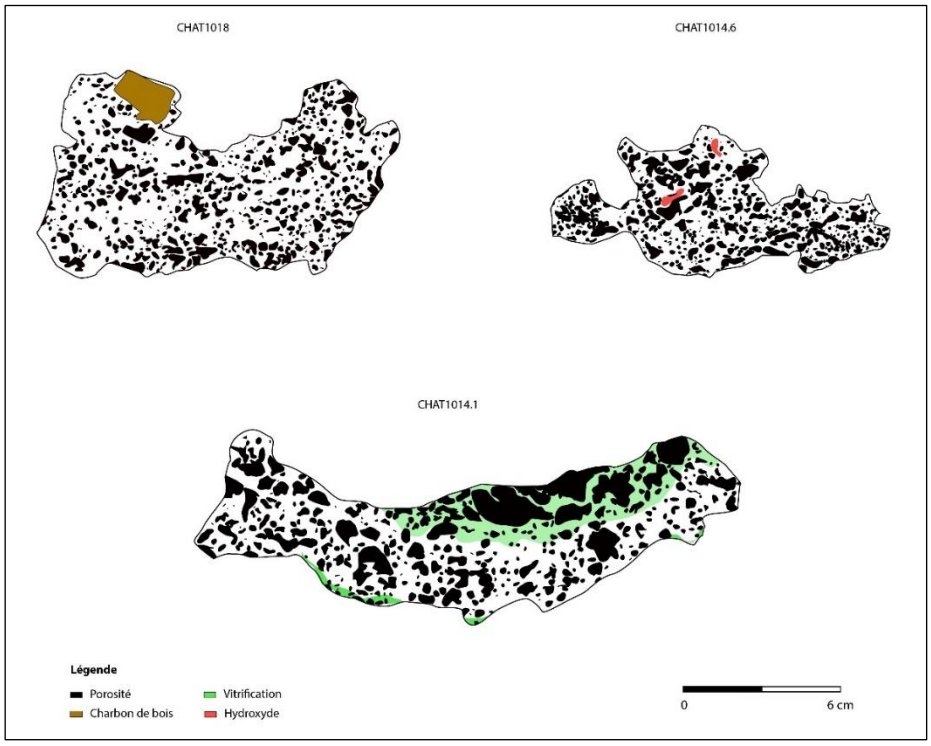


Fig. 236 : Coupes des culots de forge mis au jour dans l'atelier F090

Une plaque d'argile dense (31 kg) et rubéfiée pourrait être identifiée comme étant un foyer de forge. Sa dureté est sans doute le résultat d'une chauffe importante ou de multiples chauffes. Il s'agit de l'un des éléments observé autour de l'arbre lors de la prospection pédestre (**Fig. 237**) (*Supra* Chap 8, introduction).



Fig. 237 *:* Vue zénithale et de 3/4 de la plaque en argile avec traces de chauffe (foyer ?) mise au jour en surface du ferrier F090

Cette plaque d'argile mesure environ 50 cm de longueur pour 35 cm de largeur et 13 cm d'épaisseur. Différentes traces de chauffe y sont visibles (**Fig. 238**). Une bande noire circulaire de quelques centimètres de largeur est présente sur l'ensemble de son pourtour. À cette bande succède, vers l'extérieur, une rubéfaction rouge/brune de l'argile. Au centre de la pièce se trouve une coloration noire à violette et une scorification partielle. Une bordure est visible sur une partie de son pourtour. La partie qui lui fait face présente une légère déclivité.

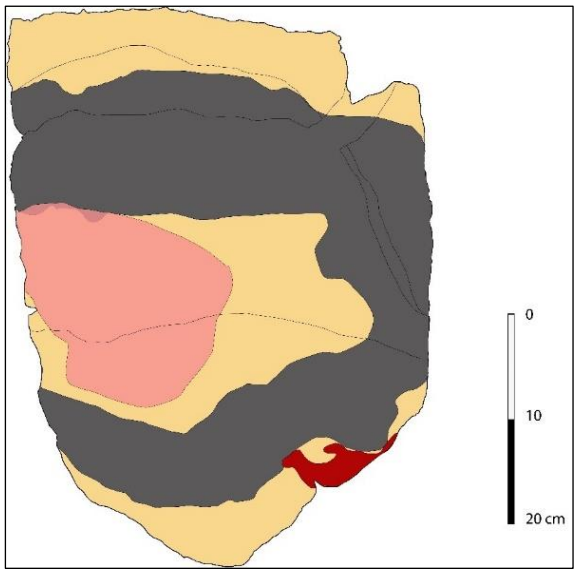


Fig. 238 : Schéma des diverses colorations visibles sur la partie supérieure de la masse d'argile

L'installation de foyer de forge sur des structures construites comme celle-ci pourrait expliquer qu'aucun foyer de forge n'a été découverts en fouille ou mis en évidence par la prospection magnétique.

Les agglomérats métalliques

Quelques rares agglomérats métalliques denses et très oxydés en surface ont également été mis au jour (env. 1,4 kg). Ils proviennent de la zone de grillage du minerai (env. 1 kg) et de la zone de réduction (0,2 kg). Leur identification formelle est impossible, notamment en l'absence d'étude métallographique. Il pourrait peut-être s'agir de déchet de forge de type *gromps*.

Les objets finis

Une dizaine d'objets métalliques ont été mis au jour dans l'atelier. On recense trois tiges/clous, deux fragments de lame, une plaque et quatre objets impossibles à identifier à cause de leur état de détérioration avancé.

Les tiges

Ces vestiges proviennent des couches de comblement de l'atelier (US 1004 et 1008). Ils mesurent entre 3,5 et 9 cm de longueur minimum pour 1 à 2 cm d'épaisseur. Leur tranche est cylindrique et ils présentent une boursoufflure à chaque extrémité (**Fig. 239**). Il est possible qu'il s'agisse de clous dont l'oxydation a entrainé la déformation.

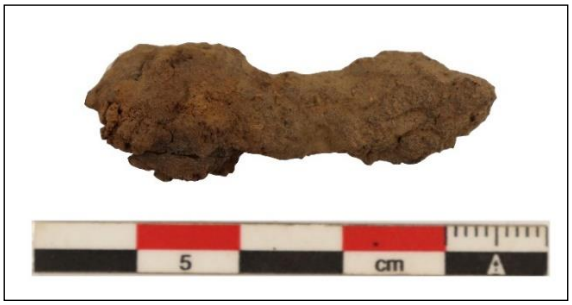


Fig. 239 : Photographie d'une tige métallique (ART22, SDG2, US 1004)

Les lames

Le second type d'objet mis au jour correspond à des fragments de lame très oxydés. Ils proviennent également des couches de comblement de l'atelier (US 1002 et 1008). L'artéfact 119 pèse environ 30 g, mesure 9,2 cm de longueur et 2 cm de largeur (**Fig. 240**). Il dispose d'une section triangulaire de 0,4 cm d'épaisseur en partie supérieure et 0,2 cm en partie inférieur. L'une de ses faces est lisse et l'autre est plus irrégulière. Enfin, on observe une légère courbure dans le sens de la

longueur. Compte tenu de la faible épaisseur de l'objet et de la décroissance de sa lame, il peut s'agir d'un fragment de lame de couteau.

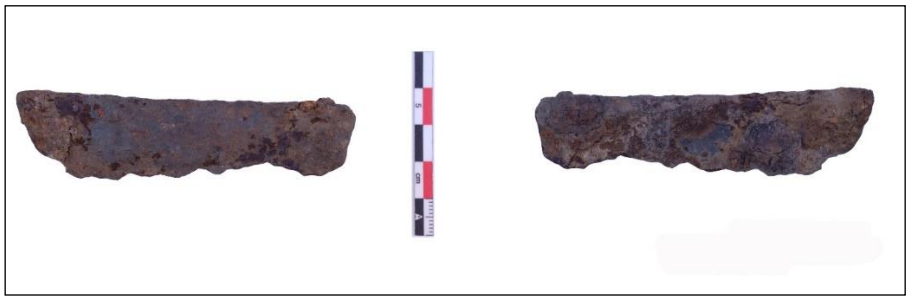


Fig. 240 *:* Photographies de l'artéfact 119

L'artefact 130 pèse 35g, mesure 6,4 cm de longueur pour 1,9 cm de largeur et 0,5 cm d'épaisseur (**Fig. 241**). Cet objet présente une légère courbure dans sa longueur. Il est trop dégradé pour identifier clairement sa fonction. Toutefois, il pourrait s'agir d'un fragment d'outil à lame courbe.

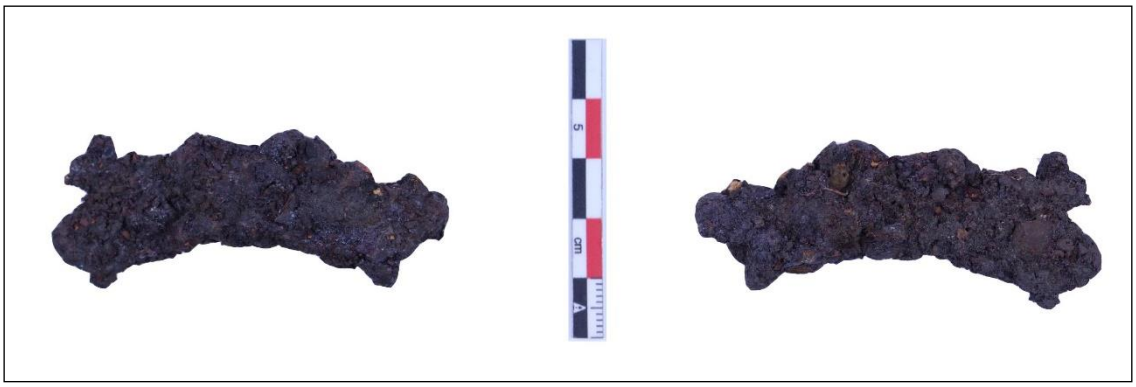


Fig. 241 *:* Photographies de l'artéfact 130

La plaque

Le dernier type d'objet observé sur ce site est un fragment de plaque métallique associé à de la paroi en argile gris, à de la scorie vitrifiée et à de nombreuses inclusions de charbon de bois. Ces observations signalent peut-être une tentative de recyclage de cet objet.

Les objets métalliques découverts dans cet atelier sont donc peu nombreux et largement oxydés. Cassés, ils semblent surtout associés au domaine de l'outillage et certains d'entre eux ont pu être utilisés dans l'atelier.

L'étude des déchets métallurgique met en évidence une troisième étape de la production du fer pour laquelle aucune structure n'a été mise au jour par la fouille et la prospection géomagnétique, la forge. Bien que difficiles à distinguer des scories de réduction, trois culots de forge sont identifiés.

Ils confirment l'hypothèse soulevée grâce à la présence de quelques battitures observées en surface du ferrier avant la fouille. Toutefois, aucune battiture n'a été mise au jour lors de la fouille. La présence d'un fragment de paroi induré avec des traces de chauffe pourrait témoigner de l'utilisation de foyers construits plus ou moins mobiles. Cela expliquerait que l'on n'ait pas retrouvé de structure en place ni même leur emplacement approximatif.

L'atelier devait toutefois disposer de foyers de forge d'au moins une dizaine de centimètres de diamètre. Un système de ventilation (tuyère ?) prenait place dans au moins l'un d'entre eux. Le profil mixte des culots de forge pourrait indiquer que l'activité de cette forge était liée à l'épuration de l'éponge de fer. Toutefois, il faudrait multiplier les études métallographiques pour étayer cette hypothèse. La faible présence de nodules métalliques dans ces scories tend à signaler un travail efficace. L'utilisation d'un ajout sableux est observée dans au moins un cas. Enfin, quelques objets métalliques découverts lors de la fouille, essentiellement des outils (clou/tige, couteau, lame, etc.), ont peut-être été utilisés dans cet atelier.

Conclusion

L'étude du site F090 montre que les grandes tendances mises en évidence par l'étude macroscopique des vestiges de l'atelier (prépondérance des scories internes, scories majoritairement à cordons agglomérés) correspondent à celles déterminées par l'étude des scories de prospection. Une dernière constatation est intéressante : on ne peut pas s'appuyer sur la morphologie des ferriers pour définir la technique de production utilisée sur un site. En effet, les ferriers de Boulogne et de Châteauroux ont un aspect très similaire (noir, en fer à cheval, dimension limitée), mais leur méthode de production sont différentes (fours à scories écoulées et fours à scories piégées).

L'atelier métallurgique F090 est daté du XIIIe s. Or, les sites de réduction du fer de cette période sont principalement connus à travers les textes ; quelques-uns sont repérés en prospection dans l'ouest et l'est de la France, mais très peu ont fait l'objet de fouille archéologique. Cet atelier regroupe trois étapes de la chaîne opératoire du fer, le grillage du minerai, la réduction et, probablement, l'épuration ; seuls les deux premiers espaces de travail ont été observés. On y trouve une préparation des sols et une bonne gestion de l'espace d'environ 150 m². Ce site métallurgique est donc bien plus étendu que celui de Boulogne (env. 70 m²) (*Supra* 7.1) ou de Boécourt « Les Boulies » (env. 30 m²) (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 94). Les zones de réduction et de rejets sont séparées par un alignement de blocs de silex et de grès. L'objectif de cet agencement est vraisemblablement la mobilisation d'un minimum de matériaux et l'optimisation des déplacements. Ce type d'organisation

n’est pas unique et témoigne soit de l’optimisation empirique de l’espace, soit d’une méthode de gestion héritée d’un certain savoir-faire.

L’aire de grillage est constituée d’un simple creusement dans lequel le minerai et du charbon de bois devaient être superposés. Deux fours de réduction se trouvent à une dizaine de mètres au nord-ouest. Très arasés, ils sont installés tête-bêche et possèdent une cuve d’au moins 1 m de diamètre chacune. Leur agencement laisse supposer qu’ils fonctionnaient en alternance. Un troisième four, en meilleur état de conservation, est installé au nord. Il appartient certainement à la phase de production la plus récente de l’atelier. Il se trouve sur son point le plus haut, à l’intersection entre deux alignements de pierres. Sa cuve mesure environ 40 cm de diamètre. Malgré leur différence architecturale, ces fours sont construits avec le même type d’argile, provenant certainement du massif forestier. Enfin, les artisans ont utilisé des éléments de soutien en bois de petit calibre (env. 1,5 cm) pour la construction de ces fours ainsi que des tuyères et des éléments de terres cuites architecturales.

La réduction réalisée dans cet atelier est caractérisée par la création d’une quantité importante de parois relativement aux scories écoulées, ainsi que par la présence en quantité de scories à cordons agglomérés. Ce type particulier de scories est probablement à associer aux scories internes plutôt qu’à celles s’écoulant hors des fours. Néanmoins, en l’absence d’expérimentations cela reste une hypothèse. Ces particularités semblent indiquer sur ce site l’utilisation de fours à scories piégées. Les artisans ont probablement employé au moins en parti du minerai sidérolithique possédant une forte teneur en fer. La technique de réduction est homogène sur l’ensemble du site et la scorie engendrée est assez fluide. L’atmosphère obtenue dans ces fours est très réductrice, ce qui favorise la production de métal carburé. Les fonds de four mis en évidence ont des dimensions et des poids moyens, légèrement supérieurs à ceux de Boulogne, mais inférieurs à ceux protohistorique de la LGV Bretagne-Pays de la Loire en Sarthe.

Quelques culots de forge témoignent de la présence de cette étape de la chaîne opératoire du fer dans l’atelier. Aucune structure n’a été découverte lors de la fouille ou de la prospection magnétique. La composition des culots de forge pourrait indiquer que cette activité est dédiée à l’épuration de l’éponge de fer. La faible présence de nodules métalliques dans ces culots semble témoigner d’un travail de qualité. À la fin de l’opération, les artisans laissaient probablement refroidir les foyers avant de les nettoyer de leur scorie. Le nombre très limité de culots mis au jour peut s’expliquer de trois façons : une détermination difficile lors de l’étude macroscopique, une activité ponctuelle sur le site, ou l’existence d’un espace de rejet dédié à ces déchets qui n’a pas été trouvé lors de la fouille. La présence d’un fragment d’argile induré montrant des traces de chauffe importantes pourrait témoigner de l’utilisation de foyers construits plus ou moins mobiles. Cela

expliquerait que l'on n'ait pas retrouvé de structure en place. Finalement, quelques objets métalliques ont été découverts. Ils sont vraisemblablement du domaine de l'outillage (clou/tige, couteau, lame, etc.).

L'étude de l'atelier médiéval F090 permet de documenter la production du fer à une période où elle est peu connue dans la région et, plus largement, en France. Elle met également en évidence l'utilisation d'une technique réputée dépassée au Moyen Âge : l'utilisation de fours à scories piégées. Il est établi qu'au Moyen-Âge central et tardif, ce type d'activité artisanale est généralement conduit par des seigneurs ou des ecclésiastes, or une motte castrale et un prieuré sont présents à l'est de la forêt. On peut alors se questionner sur les rapports que pouvaient entretenir cet atelier métallurgiques avec ces deux entités.

La fouille des ateliers F155/1 de Boulogne-Chambord et F090 de Châteauroux permet ainsi de mieux comprendre le fonctionnement et la gestion d'ateliers au Moyen Âge dans ces espaces géographiques. Malgré une production d'ampleur similaire, on constate de nombreuses différences, que ce soit technologiques ou d'approvisionnements en matière première. Ces observations entrainent de nouvelles interrogations. Tout d'abord, sur la masse de fer produite par ensemble métallurgique dans ces forêts. Ensuite, sur l'environnement anthropique dans lequel ont été installés les ateliers métallurgiques (motte castrale, prieuré, routes, parcellaires, etc.). On peut également se demander quel était l'environnement végétal au sein duquel ont été implanté les ateliers (présence d'une forêt ? zone ouverte ?) et quel a été l'impact de l'activité métallurgique, très gourmande en combustible, sur cet environnement. Ces questionnements font l'objet de la dernière partie de ce travail de thèse.

Partie 4

Contexte environnemental et anthropique de la production du fer

9.1 Combustible et métallurgie

Le volume de bois nécessaire à la production du fer est beaucoup plus important que celui du minerai. Il s'agit probablement de l'une des principales raisons pour lesquelles les métallurgistes s'installent en milieu forestier, à proximité immédiate de la ressource. Le bois est transformé en charbon car il dispose d'un pouvoir calorifique environ deux fois supérieur à celui du bois sec (4 000 à 4 500 kcal/kg) (FLUZIN 1983). En outre il dégage beaucoup de monoxyde de carbone, gaz nécessaire à une bonne opération de réduction (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 22). Le hêtre et le chêne sont les essences les plus utilisées dans les ateliers sidérurgiques car leur pouvoir calorifique est élevé (PELET 1993 : 100), mais aussi car ce sont les essences les plus abondantes en région Centre. En effet, les essences employées sont choisies pour leurs qualités propres, mais aussi pour leur disponibilité. Dans les ateliers de montagnes, comme celui de Boécourt ou de Lajoux (Jura/Suisse), les artisans utilisent le sapin (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 23).

Le traitement du bois pour obtenir du charbon est réalisé au sein de charbonnières généralement installées dans les forêts, au plus près de la ressource. Aux périodes les plus anciennes, les charbonnières sont souvent « en fosse ». La fosse est creusée puis remplie de bûches et de rondins de taille souvent modeste (FROELIGER, PERNOT, WIETHOLD 2018 : 92). Le tout est ensuite recouvert de terre pour limiter l'arrivée d'oxygène, avant d'être allumé pour la carbonisation. Les fosses peuvent avoir différentes dimensions en fonction de la quantité de charbon désirée. Toutefois, plus elles sont grandes, plus il faut de temps pour que le bois soit transformé (jusqu'à trois mois). Les petites fosses d'1 m^3 produisent des petites quantités de charbon, à l'échelle des besoins d'un village par exemple (FROELIGER, PERNOT, WIETHOLD 2018 : 92).

Les exemples archéologiques de charbonnage pour la période antique (LUROL, CABANIS 2013 : 136-137) sont tous en fosse (***cf* vol.2, fig. 126**). À Brussieu (Rhône), les deux fosses étudiées sont de grandes dimensions (BENOIT 1997 : 29-31). Aux Clérimois (Yonne), il s'agit de petites fosses, associées à une activité métallurgique (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 135), ainsi qu'à la Bazoge (Sarthe) (CABBOI *et al.* 2004 : 52-53).

Quelques mentions concernant les artisans du bois proviennent de chartes et de jugements (DEVEZE 1961 : 129-131). On y apprend notamment que la coupe du bois par les bûcherons se fait généralement durant la saison froide, tout comme le travail des charbonniers. L'étude de différents espaces ayant livré des charbonnières fournit également de précieux renseignements concernant le charbonnage,

l'évolution de cet artisanat ainsi que son impact sur l'environnement forestier au cours du temps. On constate notamment qu'en plus des charbonnières en fosse apparaissent de plus en plus souvent, à la fin du Moyen Âge, la carbonisation en meule (BATTESTI 1992 : 4). Les études, diachroniques de la forêt de Bède à Lercoul (Ariège) et de la vallée de Riverenert (Ariège), exploitées principalement pour alimenter une activité métallurgique, ont mis en évidence un charbonnage pratiqué au moins depuis l'Antiquité jusqu'à la période moderne (DUBOIS, IZARD, METAILIE 1993 : 312-315).

Les deux espaces métallurgiques de ce corpus se trouvent actuellement en milieu forestier. Il est donc important de déterminer si la forêt était déjà présente lors de leur implantation. Les études anthracologiques réalisées sur les charbons de bois des ateliers fouillés apportent un début de réponse à cette question et permettent d'aborder les caractéristiques du charbonnage en lien avec la métallurgie.

9.1.1 Le charbon de bois employé dans les ateliers métallurgiques

L'atelier F155/1 de Boulogne-Chambord : un combustible homogène, mais à l'exploitation difficile

Mieux comprendre cette activité dans le massif de Boulogne/Chambord implique d'étudier les charbonnières. Elles ont fait l'objet d'une analyse détaillée dans la thèse de A. Crozet principalement grâce aux images LiDAR (CROZET 2020 : 219-251). Ainsi, 873 charbonnières présentant deux types de formes ont été repérées[219] (***cf* vol.2, fig. 127**). Le premier type (type 1) est caractérisé par une structure circulaire dont les bords sont légèrement en élévation et leur centre légèrement concave (**Fig. 242**). Ces charbonnières sont décrites comme étant « en anneau » (RASSAT et al. 2018 : 112-113). Le second type (type 2) correspond à des structures circulaires convexes de quelques dizaines de centimètres de hauteur. Ce type de charbonnière est dit « bombé ». Les charbonnières de type 2 ne sont observées que dans le parc de Chambord. Elles mesurent en moyenne une dizaine de mètres de diamètre. La morphologie de ces structures est bien connue des archéologues, notamment dans certaines forêts allemandes telles que la Forêt Noire (LUDEMANN 2012 : 248-249) et, plus récemment, dans certaines forêts de Charente (RASSAT *et al.* 2018 : 105-120). Elle est suffisamment caractéristique pour ne pas être confondue avec d'autres types de structures archéologiques.

219. Quelques structures ont fait l'objet d'une vérification sur le terrain en juillet 2022 témoignant d'un taux d'erreur d'environ 17,7 % (CROZET 2021b : 26-29).

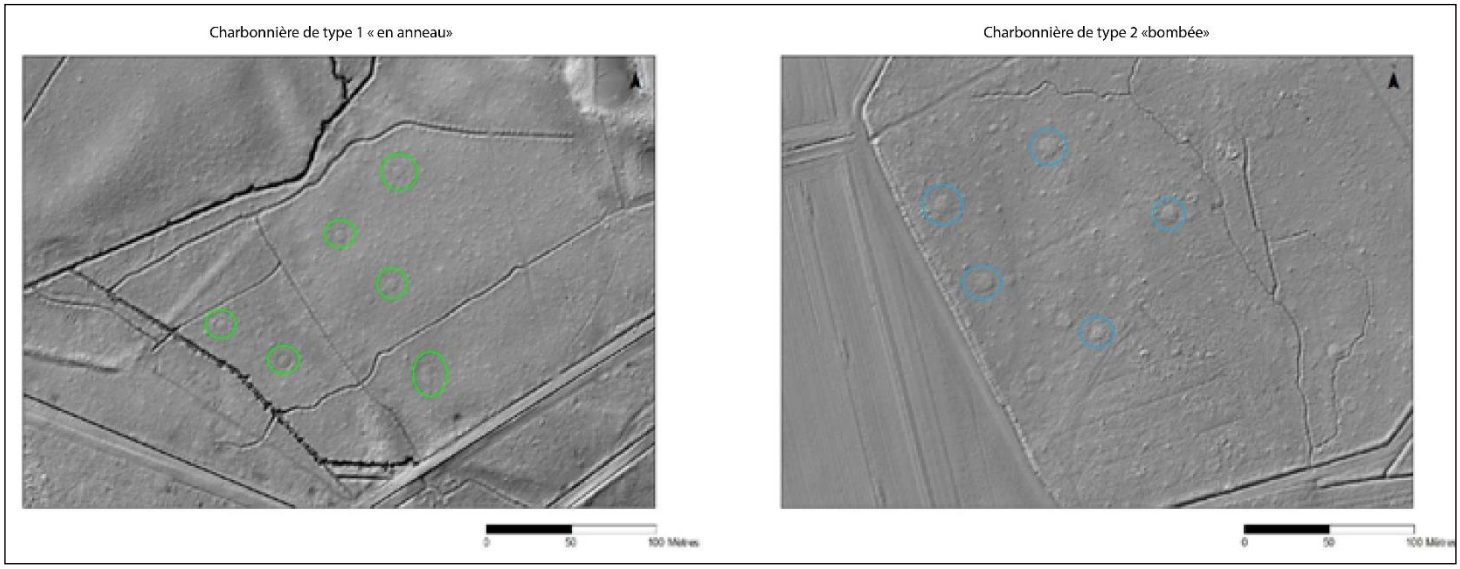


Fig. 242 : Images LiDAR avec les deux types de charbonnières observées dans le massif de Boulogne-Chambord
(LRM (Transparence = 40 % ; Contraste = 10%) et HS_315_35 (Contraste = - 10%))

Ces charbonnières sont majoritairement localisées dans la partie orientale de la forêt, près du pavillon de Montfrault, du rond princesse Zita actuel, de Dhuizon ou encore du lieu-dit « Taille des Cornes » (***cf* vol.2, fig. 128**). Elles sont concentrées dans des espaces d'environ 400 à 800 m de diamètre. On ignore leur période d'activité ou même si elles sont contemporaines. Les charbonnières de type 2 sont toutefois postérieures à la construction de l'enceinte du parc de Chambord. Elles sont donc probablement modernes ou contemporaines (CROZET 2020 : 246-247). Dans la partie sud-ouest de la forêt de Boulogne, là où sont concentrés les ferriers, on n'observe que 26 charbonnières ; dont moins d'une dizaine au sein des deux importantes concentrations de ferrier. Ce phénomène peut provenir d'une mauvaise conservation des sols ou du fait que les charbonnières les plus anciennes sont parfois très arasées et n'apparaissent pas sur les images LiDAR. Aucune charbonnière n'a été identifiée autour des ateliers lors des opérations de terrain. On peut ainsi se questionner sur l'existence d'une organisation des activités liées au feu dans la forêt. La production de charbon se trouverait plutôt à l'est et celle du fer au sud-ouest. Une campagne de datation des charbonnières permettrait de développer cette hypothèse.

Dans l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne-Chambord 272 charbons de bois[220] ont été mis au jour (***cf* vol.4, tab. 8**). Ils proviennent d'une vingtaine d'US et d'UC différentes. Ce corpus est peu important pour un site où l'on trouve généralement ces vestiges en abondance. Ce phénomène n'est pas le résultat d'un effet source, mais le reflet d'un site archéologique où le charbon de bois était peu

220. Deux méthodes de prélèvements des charbons de bois sont mises en place sur ce site (*Supra* 3.3.4). D'une part, 92 charbons de bois dont les dimensions sont supérieures au centimètre ont été prélevés, enregistré et localisé au tachéomètre. Dans un second temps, 180 charbons de bois ont été récupérés après tamisage de prélèvements sédimentaires.

présent. Le peu de charbon observé dans les scories appuie cette observation. Ce phénomène peut être le résultat d'une combustion complète du combustible et/ou d'une mauvaise conservation dans un sol très acide.

Une étude anthracologique nécessite que l'on étudie les charbons prélevés par Unité Stratigraphique ou groupe d'Unité Stratigraphique cohérent (*Supra* 3.3.4). Il faut environ 250 charbons de bois par échantillons (ou par US) pour que les comptages soient statistiquement représentatifs (CHABAL *et al.* 1999 : 66). Or, ces conditions ne sont pas remplies sur ce site. Il existe donc un biais dont il faut tenir compte. Néanmoins, les charbons de l'US 2026 et l'UC 004, correspondant respectivement à la couche de fonctionnement de la forge et à son sol d'atelier, peuvent être regroupés pour former un ensemble de 177 charbons (**Tableau 48**). Bien que ce nombre n'atteint pas celui requis, il permet tout de même d'avoir un échantillon assez significatif.

Tableau 48 : Nombre de charbons de bois par Unité Stratigraphique ou Construite

	Nombre de Prélèvement		**Nombre de Prélèvement**
US 2006	1	US 2031	1
US 2011	1	US 2032	23
US 2012	1	US 2033	9
US 2013	3	US 2038	1
US 2016	3	US 2053	2
US 2017	3	UC 001	14
US 2019	2	UC 003	1
US 2022	24	UC 004	75
US 2025	4	UC 006	1
US 2026	102	**Total général**	**272**
US 2030	1		

Restitution de l'environnement arboré exploité

Tous les charbons observés dans ce corpus proviennent de chênes à feuilles caduques (*Quercus Fc*). Selon les caractéristiques décrites dans le guide écologique « Flore forestière française », il est probable qu'il s'agisse de chêne pédonculé ou de chêne sessile. Les chênes pédonculés apprécient les espaces ensoleillés, les sols avec un pH basique à très acide et croissent sur des sols variés : argiles, limons, sables, etc. Leur implantation est idéale aussi bien sur des sols bien drainés que sur des sols humides en permanence (RAMEAU, MANSION, DUME 1989 : 731). Ces arbres craignent les fortes sécheresses estivales. Les chênes sessiles, quant à eux, préfèrent les espaces de demi-ombre, les sols filtrants, légèrement acides. Ils apprécient également les sols frais à bien drainés (RAMEAU, MANSION, DUME 1989 : 725) (**Tableau 49**).

On peut également noter la présence d'un charbon de *Rosacae Pomoideae* (*cf* Sorbus). Les caractéristiques environnementales de cette famille de végétaux permettent de supposer qu'il provient soit de sorbier domestique, soit d'alisier torminal. Ces deux arbres préfèrent les endroits chauds et ensoleillés, mais le sorbier domestique se développe sur des sols à pH basique à acide et composés de substrat calcaire ou siliceux alors que l'alisier torminal s'implante plutôt sur des sols au pH acide composés de matériaux siliceux (sables, limons). En outre, le premier apprécie les milieux très secs (xérophile) ou avec une humidité moyenne (mésophile) alors que le second se développe plus facilement dans les milieux secs (mésoxérophile) a légèrement humides (mésohygrophile) (RAMEAU, MANSION, DUME 1989 : 841-845). Ces deux arbres croissent au sein de haies ou de bois.

Famille	Genre	Nom vernaculaire	Lumière	Demi ombre	Ombre		Très sec	Sec	Bien drainé	Frais	Assez humide	Humide en permanence	Inondé en permanence		Très acide	Acide	Faiblement acide	Neutres
Quercus Fc	Quercus Robur L.	Chêne pédonculé																
	Quercus Petraea	Chêne séssile																
Rosaceae Pomoideae	Sorbus domestica	Sorbier domestique																
Rosaceae Pomoideae	Sorbus torminalis	Alisier torminal																

Tableau 49 : Liste des espèces arborées potentiellement exploitées pour la production du charbon de bois dans l'atelier métallurgique F155/1

Les caractéristiques environnementales de cette zone géographique au haut Moyen Âge sont assez peu connues. On peut néanmoins s'appuyer sur les conditions actuelles pour une première approche. La forêt comprend une grande variété de sols (*Supra* 2.1.1), principalement lessivés, acides et hydromorphes ou bruns acides[221]. La potentialité forestière y est qualifiée de bonne[222] (THOBY, DUPUY 2009 : 15). En outre, la partie sud-ouest de la forêt de Boulogne-Chambord est essentiellement composée de chênes sessiles et, depuis 1850, de pins sylvestres en moindre quantité (THOBY, DUPUY 2009 : 3). Ces caractéristiques sont en adéquation avec les taxons distingués dans cet espace.

La quasi-exclusivité du chêne sur ce site indique qu'il y a probablement eu au haut Moyen Âge, non loin de l'atelier, une chênaie assez large ou morcelée appréciant un climat ensoleillé et relativement chaud. Elle devait être implantée dans un milieu assez humide, au sol acide ; conditions environnementales toujours d'actualité. Néanmoins, l'uniformité taxonomique ne signifie pas que le chêne est l'unique essence présente dans les bois alentours. Cette exclusivité caractérise

221. Sol dégradé où l'humus se décompose très lentement, il devient un humus brut acide qui forme une épaisse couche superficielle (COCHET 1963 : 48)

222. Selon l'Inventaire Forestier National (IFN), en 1998 la région Centre disposait d'une production biologique moyenne de 4,94 mètres cubes par ha et par an. Une bonne croissance est donc supérieure à cette moyenne.

l'environnement exploité par les artisans et non l'environnement boisé dans son intégralité. Cette sélection est probablement due au pouvoir calorifique important du chêne (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 137). On retrouve la même sélection de chênes à feuilles caduques dans l'atelier antique d'Oulches (Indre) (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 315) et dans l'atelier médiéval de La Chagnasse (Deux-Sèvres) (Saint-Didier 2017 : 182-183). Sur le site des "Fouetteries", aux Clérimois (Yonne), les chênes à feuilles caduques sont accompagnés de hêtre (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 138). Il en va de même à Montcherand (Suisse) (ABETEL 1992 : 43). La sélection des taxons dans les ateliers métallurgiques indique que les artisans ont, à proximité de l'atelier, une source de bois suffisamment conséquente, une forêt par exemple, pour utiliser uniquement la ou les essences qui les intéressent. Dans d'autres ateliers, comme la Montagne Sainte-Croix (Pologne), cette possibilité est visiblement exclue puisqu'on y trouve une grande variété d'essence (BIELENIN 1991 : 324). Sur ce site, l'auteur propose de voir l'utilisation d'un bois « mélangé, au hasard de ce qu'on trouvait » plutôt que d'un bois spécifiquement dédié à la métallurgie.

Caractéristiques des bois utilisés comme combustible

Sur les 177 charbons de bois prélevés dans la zone de forge, il est possible d'observer le rayon de courbure de 56 d'entre eux. La méthode de restitution du diamètre des bois est explicitée dans le chapitre 3 de cette thèse (*Supra* 3.3.4). Cette étude met en évidence la prévalence de gros bois (diamètre > 9 cm), puis de petits bois (]1- 2,5 cm]), de bois moyens (]2,5-5 cm]) et enfin de bois assez grands (]5-9 cm]) ainsi que de très petits bois (]0-1 cm]) (**Fig. 243** ; ***cf*** **vol. 2, tableau 76**).

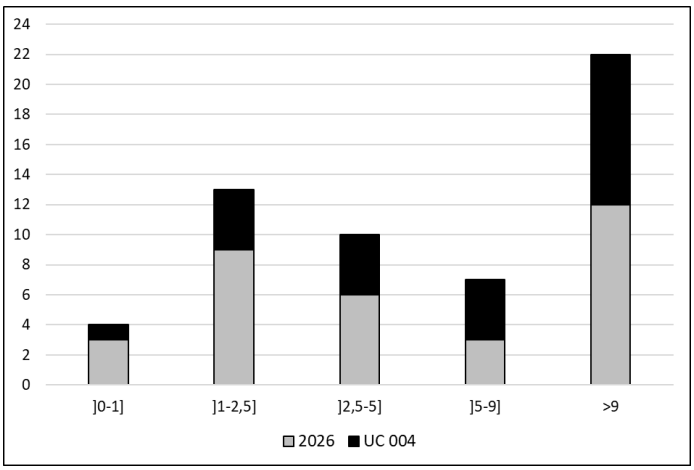


Fig. 243 : Diagramme des différentes classes de rayon des bois restitué dans l'US 2026 et l'UC 004

On peut également tenter de restituer les assemblages de bois utilisés par les artisans. Pour ce faire, on détermine le volume des charbons de bois, puis on trie la somme de ces volumes par classe de longueur de rayon restitué. Il est ainsi possible de définir le pourcentage volumique de chaque classe (FOUEDJEU *et al.* A paraitre). Ces données définissent le degré de fiabilité des rayons restitués. Pour

qu'un assemblage soit représentatif, il faut que ce degré de fiabilité soit inférieur à 20 % (bonne correspondance des diamètres et des proportions) ou tout au moins inférieur à 40 % (bonne correspondance des diamètres, mais pas des proportions). Ici, le degré de fiabilité est assez bon puisque l'on est en dessous de 30 % pour les classes]2,5-5] et > 9 cm (**Tableau 50**).

Tableau 50 : Sommes des volumes des charbons par classe de longueur de rayons restitués

	]0-1]	**]1-2,5]**	**]2,5-5]**	**]5-9]**	**>9**	Total
US 2026	797,7	9347,2	8010,5	9262	11948,0	39365,6
%	2,0	23,7	20,3	23,5	30,3	100
UC 004	586,7	2459,9	9896,9	1459,5	4202,3	18605,5
%	3,1	13,2	53,1	7,8	22,5	100
	]0-1]	**]1-2,5]**	**]2,5-5]**	**]5-9]**	**>9**	
Total	1384,5	11807,1	17907,5	10721,5	16150,3	57971,1
%	2,3	20,3	30,8	18,4	27,8	100

Enfin, on compare le pourcentage volumique de ces classes à celles de simulations de fragmentation des charbons de bois lors de la chauffe (FOUEDJEU *et al.* A paraitre). On constate ainsi que le bois à l'origine du charbon employé dans cet atelier devait majoritairement être constitué de buchettes d'environ 8 à 12 cm de diamètre et dans une moindre mesure de bûches d'environ 30 cm de diamètre (**Tableau 51**).

Tableau 51 : Comparaison entre les simulations de charbons obtenus avec des assemblages de bois de différents diamètres et le lot de charbon identifié dans la zone d'épuration

		Classes de diamètres des bûches entières						Classes de rayon des charbons théoriques				
Lot	**Description**	**]0-2cm]**	**]2-5]**	**]5-10]**	**]10-15]**	**]15-20]**	**>20**	**]0-1]**	**]1-2,5]**	**]2-5-5]**	**]5-9]**	**>9**
Simul 250	90 bûches de 8 cm et 10 bûches de 30 cm							3	14	29	15	39
Simul 251	90 bûches de 12 cm et 10 bûches de 30 cm							2	10	34	28	26
US 2026 + UC004								2,4	20,4	30,9	18,5	27,9

Au sein du lot de charbon provenant de la zone de forge (US 2026 et UC 004), le charbon le plus âgé comprend 21 cernes, il avait donc au moins 21 ans (**Tableau 52** ; ***cf* vol.2, tableau 77**). N'ayant pas la totalité des bois, il est impossible de définir leur âge moyen lors de leur abattage en comptant leurs cernes.

Tableau 52 : Caractéristiques des cernes des charbons de la zone d'épuration en fonction de leur nombre dans l'atelier F155/1

	Nombre de charbon	Nombre de cernes minimum	Nombre de cernes maximum
US 2026	101	1	13
UC 004	71	1	21
Total	**172**		

Toutefois, on peut tenter de le faire en restituant leur modèle de croissance. Pour ce faire, on étudie de façon croisée le rythme d'apparition des cernes et leur épaisseur. Ce travail est possible à partir de 42 charbons disposant d'au moins quatre cernes. L'épaisseur des charbons étant réduite à cause de la carbonisation, il faut appliquer un facteur correctif de 20 % (***cf* vol.2, tableau 78**) (PARADIS-GRENOUILLET, DUFRAISSE 2018 : 258-267). On observe ainsi que les petits bois, les bois moyens et les gros bois (entre 2 et 18 cm de diamètre) croissent d'environ 1,10 à 1,5 mm de rayon/an. En outre, les très petits bois (inférieur à 2 cm de diamètre) ont une largeur de cerne de seulement 0,5 mm de rayon/an (**Fig. 244**). Il existe trois exceptions dont la largeur de cerne est supérieure à 2 mm, témoignant ainsi d'une croissance moyenne plus favorable. Il n'apparait pas de modèle de croissance commun ; 25 échantillons ont un rythme de cerne régulier et 17 un rythme de cerne irrégulier (***cf* vol.2, fig. 129**). Il est toutefois impossible de déterminer le moment d'apparition de ces arythmies.

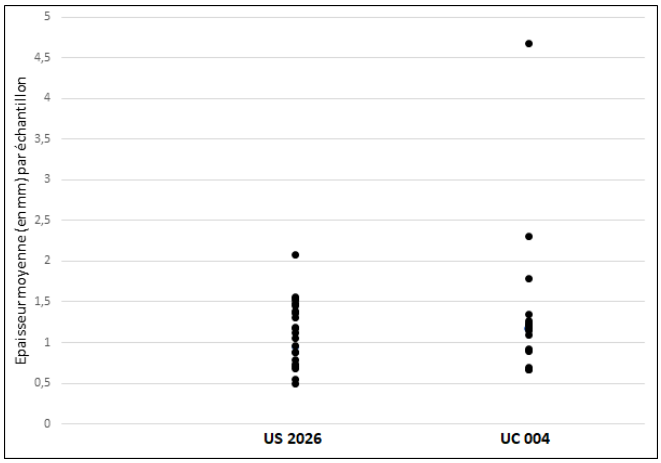


Fig. 244 *:* Diagramme de l'épaisseur moyenne des cernes (en mm) par charbon et par US

Actuellement, les chênes de la forêt de Boulogne grandissent d'environ 4 mm de diamètre/an[223]. Un arbre de 160 ans mesure donc environ 65 cm de diamètre. Or, si l'on considère les assemblages de bois restitués dans l'atelier métallurgique F155/1, la majorité des bois mesuraient en moyenne 8 à 12 cm de diamètre lors de leur coupe et croissaient péniblement d'environ 2 mm de diamètre/an[224]. Ils devaient donc avoir entre 40 et 60 ans. En ce qui concerne les bois de plus grande dimensions, utilisés plus ponctuellement, ils mesuraient environ 30 cm de diamètre au moment de leur coupe à partir

223. Commentaire personnel de D. Hacquemand, garde forestier forêt de Boulogne (ONF), 26/10/2020.
224. Entre 0,5 et 1,10 mm de rayon/an, il a été décidé de se baser sur 1 mm de rayon/an, soit 2 mm de diamètre/an.

d’une croissance légèrement meilleure de 3 mm de diamètre/an. Ils avaient donc environ 100 ans lors de leur abattage. La croissance des chênes médiévaux est donc au moins deux fois moins bonne qu’aujourd’hui. Cette croissance particulièrement difficile au haut Moyen Âge est probablement due à des conditions environnementales peu favorables (grand froid, forêt trop dense, etc.).

Au sein des autres US, 31 charbons permettent d’étudier l’âge minimum et les modèles de croissances des arbres. Dans ce lot, sept ont plus de 20 cernes, ils avaient donc au moins 20 ans lors de leur abattage. Le plus ancien comprend 30 cernes (***cf* vol.2, tableau 79)**. Tout comme pour la zone de forge, l’épaisseur moyenne des cernes est comprise entre 0,4 et 1,5 mm de rayon/an (**Fig. 245** ; ***cf* vol.2, tableau 80**).

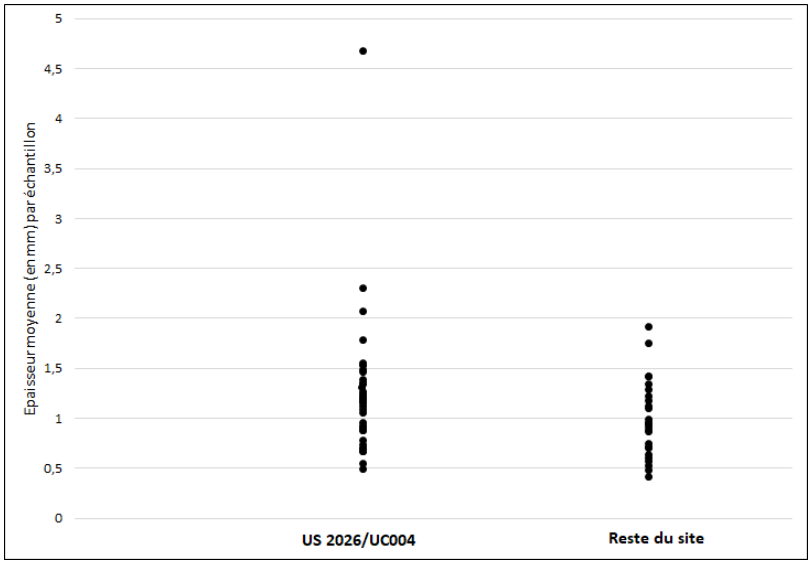


Fig. 245 : Diagramme de l’épaisseur moyenne des cernes (en mm) des charbons de l’atelier F155/1

Autres informations concernant les bois exploités

Il est possible de déterminer le niveau de duraminisation de la quasi-totalité des charbons observés en fonction de la quantité de thylles qu’ils contiennent. Dans la grande majorité des cas il n’y en a pas (139 charbons) ou peu (93 charbons). Cela signifie que ces charbons sont principalement issus de l’aubier, soit des derniers cernes engendrés par l’arbre (**Fig. 246** ; ***cf* vol.2, tableau 81**). Il est plus rare d’observer des charbons au processus de duraminisation avancé (29 individus) et seulement huit signalent l’emploi de bois plus proche du cœur de l’arbre.

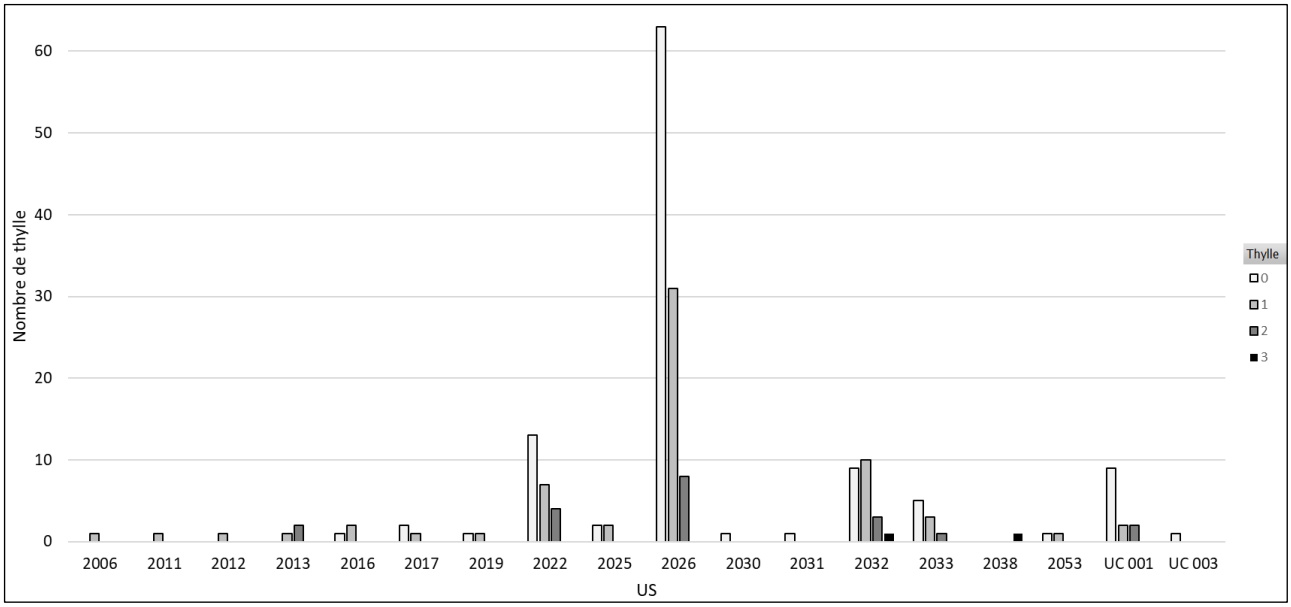


Fig. 246 : Diagramme du nombre de charbons de bois en fonction de leur niveau de duraminisation

Sur l'ensemble des charbons de l'atelier, seuls 15 ont encore de l'écorce et 10 d'entre eux proviennent du même prélèvement. Aucune trace de découpe n'est observée sur ces charbons.

Peu de charbon ont des fentes de retrait caractéristiques de l'éclatement d'un bois vert lors de sa carbonisation. On en compte 24 sur l'ensemble du site dont 14 dans la zone de forge (**Fig. 247** ; ***cf* vol.2, tableau 82**). Parmi eux, 20 disposent de fentes fines et quatre de fentes épaisses. Ces observations indiquent que le bois utilisé dans cet atelier a principalement séché de façon lente et qu'il était probablement déjà sec lors de sa carbonisation (THERY-PARISOT, HENRY, CHRZAVZEZ 2016 : 498). Elles traduisent donc la fabrication d'un charbon de qualité (DEVEZE 1961 : 134).

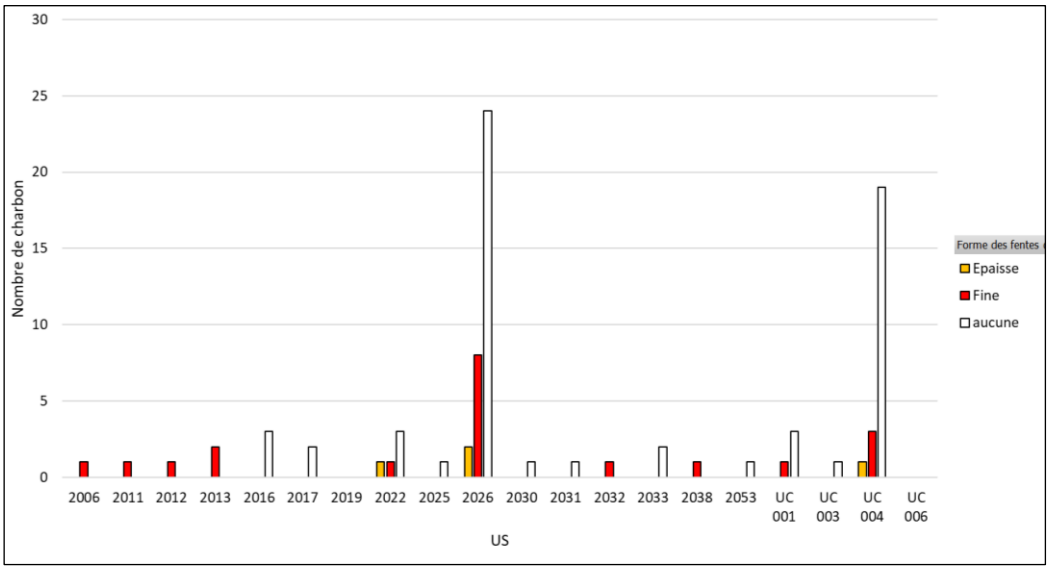


Fig. 247 : Diagramme du nombre de charbon ayant des fentes de retrait et leur type dans les différentes US de l'atelier

Enfin, seuls trois charbons ont une galerie d'insecte témoignant de la présence d'insectes xylophages (**Fig. 248** ; ***cf* vol.2, tableau 83**). Ce faible nombre indique plutôt l'utilisation d'un bois stocké dans de bonnes conditions avant sa carbonisation (GAUDIN 2016 : 7).

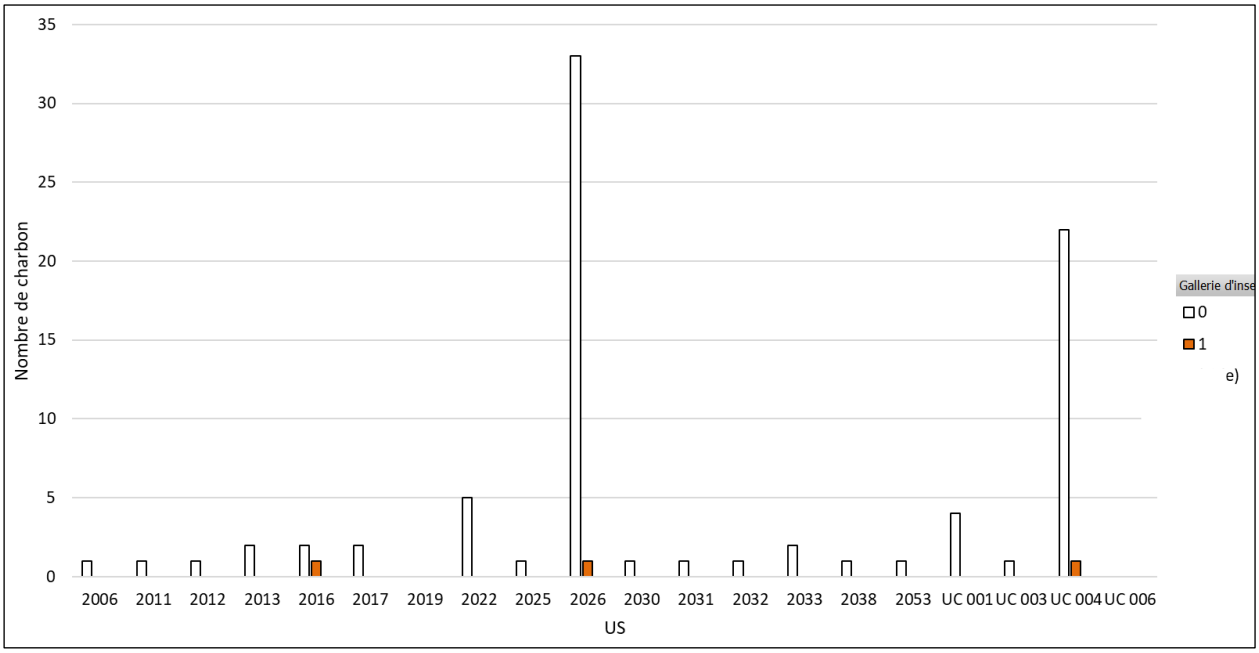


Fig. 248 : Diagramme du nombre de charbons disposant de galerie d'insecte en fonction de leur nombre dans les différentes US de l'atelier

En conclusion, le bois utilisé dans cet atelier est presqu'exclusivement du chêne. Il est courant de trouver cette essence en majorité dans les ateliers métallurgiques. Ce bois est en effet très calorifère, il permet d'atteindre des températures importantes sur des périodes assez longues et de façon constante. Cette exclusivité indique une sélection des essences employées par les métallurgistes et n'est possible que si un espace comprenant une grande quantité de matière première, c'est-à-dire un bois ou une forêt, se trouve à proximité. On peut donc y supposer la présence d'une chênaie aux VIe- VIIe s. Toutefois, on ignore son étendue et son emplacement réel. En effet, la plus ancienne mention connue de la forêt de Boulogne-Chambord date de 1176. Il s'agit d'une charte accordant le droit d'usage du bois mort à l'Aumône de Beaugency (MARTIN-DEMEZIL 1963 : 160). Dans ce document, les limites du massif ne sont pas précisées.

Il est impossible de définir si le bois est utilisé par les artisans sous forme de charbon ou de bois brut. Une thèse actuellement en cours à Toulouse 2, réalisée par Leonel Fouedjeu Foumou, tente d'apporter de nouvelles données à ce propos[225]. Pour des raisons calorifères, il est toutefois probable que le combustible ait effectivement été employé sous forme de charbon de bois. Les artisans ont

225. *Expérimentations et développements de "l'outil charbonnière" : Approches anthracologiques et dendrochronologiques des forêts pyrénéennes* thèse réalisée sous la direction de D. Galop et de V. Py.

principalement utilisé des bûchettes d'une dizaine de centimètres de diamètre et dans une moindre mesure des bûches d'une trentaine de centimètres de diamètre. Ces dimensions correspondent majoritairement à l'exploitation de bois de taillis[226]. Ce type de charbons de bois a en effet plus de vigueur et chauffe plus longtemps que le charbon de futaie[227] (DEVEZE 1961 : 134). Les quelques bois plus âgés pourrait néanmoins signaler une exploitation mixte. Ces chênes ont en moyenne grandi d'environ 3 mm de diamètre par an pour les gros bois et d'environ 2 mm de diamètre par an pour les plus petits, les plus nombreux. La croissance des arbres était donc au moins deux fois plus difficile que celle de la chênaie actuelle. Les bois utilisés disposent de peu d'écorce (peut-être est-ce dû à la carbonisation ?) et d'aucune trace de découpe. En outre, ils ont été séchés et stockés dans de bonnes conditions avant d'être utilisés. L'absence de galeries d'insectes et de fentes de retrait en témoignent. La gestion du bois employé dans l'atelier métallurgique peut donc être qualifiée de bonne. Cette observation contredit l'hypothèse selon laquelle ce bois, principalement de petit diamètre, aurait fait l'objet d'un ramassage opportuniste en forêt. Le combustible employé dans l'atelier métallurgique F155/1 provient donc probablement d'un bois ou d'une forêt située à proximité et exploitée par des charbonniers maitrisant leur art. On peut alors se demander si ces artisans étaient les mêmes personnes ou si elles appartenaient à deux corporations différentes.

La mise en évidence d'une croissance difficile des chênes utilisés dans l'atelier est une ouverture vers la restitution de leurs conditions environnementales. Le chêne est normalement issu d'un milieu ensoleillé, chaud et humide, au sol assez acide. Il se développe dans une forêt peu dense ou morcelée. Ce profil est similaire à celui de la forêt de Boulogne-Chambord aujourd'hui. Néanmoins, ces arbres ont subi un stress qui les a empêchés de se développer de façon optimum. Il peut s'agir d'un problème de climat (forte chaleur ou au contraire temps trop mauvais) ou de gestion de la forêt (trop de concurrence entre les essences). La première hypothèse coïncide avec une dégradation climatique connue par l'ensemble du territoire entre les VIe - VIIe s. et les VIIIe – IXe s. (MAGNY 1995). Cette péjoration du climat est décrite par H. Holzhauser et M. Magny à l'échelle de l'Atlantique nord (MAGNY 1993 : 13-14). Aucune donnée ne peut répondre à la seconde hypothèse pour l'instant. Il est donc probable que les conditions climatiques soient, au moins en partie, responsables de la difficile croissance des chênes.

226. Partie d'un bois ou d'une forêt, composés(e)s d'arbres de petit diamètre que l'on coupe périodiquement, et qui croissent à partir des anciennes souches, par des rejets ou drageons (source : CNRTL).
227. Bois dont les arbres doivent atteindre leur pleine croissance avant d'être exploités (source : CNRTL).

L'atelier F090 de Châteauroux : une exploitation mixte de charbons de bois

Contrairement à Boulogne-Chambord, l'absence de prospection LiDAR n'a pas permis de repérer systématiquement les charbonnières présentes en forêt de Châteauroux. Il est donc impossible en l'état actuel des connaissances de réaliser une analyse spatiale de ces structures. Néanmoins, lors des prospections pédestres plusieurs charbonnières sont apparues (***cf* vol.2, fig. 130**). De forme circulaire ou ellipsoïdale, elles mesurent entre 7 et 10 m de diamètre. Deux d'entre elles, localisées à moins de 10 m du ferrier F090 et du ferrier F220/1, sont datées par ^{14}C du début du XVIIIe s. - XXe s. (***cf* vol.2, fig. 131 et 132**). Ainsi, il n'y a pas de lien entre ces structures de combustions, pourtant proches, et l'atelier métallurgique. Une étude systématique des charbonnières serait nécessaire pour mieux appréhender cet artisanat dans la forêt de Châteauroux.

Au cours de la fouille du ferrier F090, 216 charbons de bois ont été mis au jour (***cf* vol.4, tab.9**). Ces charbons ont été étudiés avec la même méthode que précédemment (*Supra* 3.3.4). Disposant de seulement 216 charbons issus de 19 US, la représentativité du spectre anthracologique n'est pas vérifiée (CHABAL *et al.* 1999 : 66). Il existe donc un biais dont il faut tenir compte.

Restitution de l'environnement arboré

La majorité des charbons de bois proviennent d'une couche de comblement de l'atelier (US 1008) (***cf* vol.2, tableau 84**) ; d'une couche charbonneuse interprétée comme étant un espace de rejet du charbon de bois situé à l'est du ferrier (US1002) ; d'une des plus importantes couches de rejet constituant le ferrier (US 1018) ; de deux US composant l'aire de grillage du minerai (US 1006 et 1010) et de deux autres importantes couches de rejet du ferrier (US 1011 et 1017).

L'identification des taxons signale l'emploi sur ce site d'une majorité de chênes à feuilles caduques (*Quercus Fc*). Il est impossible, au vu de l'anatomie du bois, de préciser de quel genre de chêne il s'agit. Le hêtre (*Fagus*) est également observé (**Tableau *53***). Cela correspond aux essences encore présentes aujourd'hui dans le massif. Les huit US comprenant le plus de charbon (entre 12 et 41 individus) montrent que le chêne est l'essence la plus représentée (entre 70 et 95 %). Le hêtre est observé de façon moins récurrente (0 à 30 %). Cette essence est toutefois particulièrement présente dans l'US de comblement 1008.

Tableau 53 : Nombre et type d'essence de charbons de bois par unité stratigraphique

US	Nombre total de Charbon de bois	*Quercus fc*	*Fagus*	Indet
1008	41	30	11	0
1002	39	36	2	1
1018	28	27	0	1
1006	25	19	5	1
1010	25	23	1	1
1011	16	15	0	1
1017	12	11	0	1
1019	8	6	0	2
1012	4	4	0	0
1021	4	4	0	0
1007	2	2	0	0
1013	2	2	0	0
1014	2	1	0	1
1015	2	1	0	1
1022	2	2	0	0
1023	1	1	0	0
1028	1	1	0	0
1031	1	1	0	0
1036	1	1	0	0

Le guide écologique « Flore forestière française » signale que le chêne présent sur ce site peut être soit du chêne pédonculé, soit du chêne sessile. L'actuelle forêt de Châteauroux comprend encore aujourd'hui environ 80 % de chêne sessiles et 20 % de pédonculés (CHARLOIS, DUSSARD 2018). Les caractéristiques environnementales optimales pour le chêne ont été décrites précédemment (**Tableau *54***). Ils croissent dans des bois clairs ou des friches. Le hêtre est un arbre qui apprécie plus particulièrement l'ombre et les sols au pH faiblement acide à neutre. Son implantation est plus courante sur des sols secs à frais. C'est une essence d'ombre en climat sec et de lumière en climat humide. Elle appartient souvent à des forêts fraîches et matures (GAUDIN 2016 : 10). Ces deux essences traduisent donc un environnement forestier assez ombragé implanté sur un sol bien drainé à frais et légèrement acide. Cette dernière caractéristique est encore perceptible aujourd'hui dans le massif car les chênes sessiles et les hêtres sont particulièrement concentrés sur les argiles, les sables et les limons, où le pH est acide.

Tableau 54 : Liste des espèces arborées exploitées dans l'atelier de Châteauroux

Famille	Nom latin	Nom vernaculaire	Lumière	Demi ombre	Ombre		Très sec	Sec	Bien drainé	Frais	Assez humide	Humide en permanence	Inondé en permanence		Très acide	Acide	Faiblement acide	Neutres
Quercus Fc	Quercus Robur L.	Chêne pédonculé																
	Quercus Petraea	Chêne séssile																
Fagus	Fagus sylvatica	Hêtre																

La sélection des taxons utilisés dans l'atelier F090 révèle la présence dans la forêt, attestée par les textes à l'époque de son fonctionnement[228], d'une chênaie probablement associée à une hêtraie. Ces caractéristiques correspondent à la constitution actuelle du massif, soit des chênes sessiles et pédonculés, des hêtres en futaie et dans une moindre mesure en taillis (*Supra* 2.2.1). Bien que ces informations permettent de restituer la forêt ayant servi à approvisionner les fours, elles ne caractérisent pas l'environnement boisé dans son intégralité. On retrouve cette même association sur les sites des Clérimois (Yonne) (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 138), de Montcherand (Suisse) (ABETEL 1992 : 43), ou encore de Roche Brune (Sarthe) (SARRESTE 2011 : 211) et de l'abbaye de Clairvaux (EVE, LEROUX, BENOIT 2019 : 131).

Caractéristiques des bois employés dans l'atelier F090

Aucun lot de charbons de bois ramassé dans cet atelier n'est suffisamment important pour être représentatif. On peut toutefois obtenir une idée du diamètre des bois utilisés grâce aux charbons issus de l'US 1008 (41 individus) (*Supra* 3.3.4). Le diamètre des charbons provenant des autres US n'est pas calculé car des problèmes ont été rencontrés avec l'utilisation du logiciel et le temps a manqué pour les régler.

La répartition par classe de rayons des charbons provenant de l'US 1008 montre que la plupart d'entre eux proviennent de petit bois mesurant entre 1 et 2,5 cm, puis de façon homogène de très petits bois (entre 0 et 1 cm) et de bois moyen (entre 2,5 et 5 cm) (**Fig. 249** ; ***cf*** **vol.2, tableau 85**). Peu de charbons proviennent de gros bois (rayon supérieur à 5 cm).

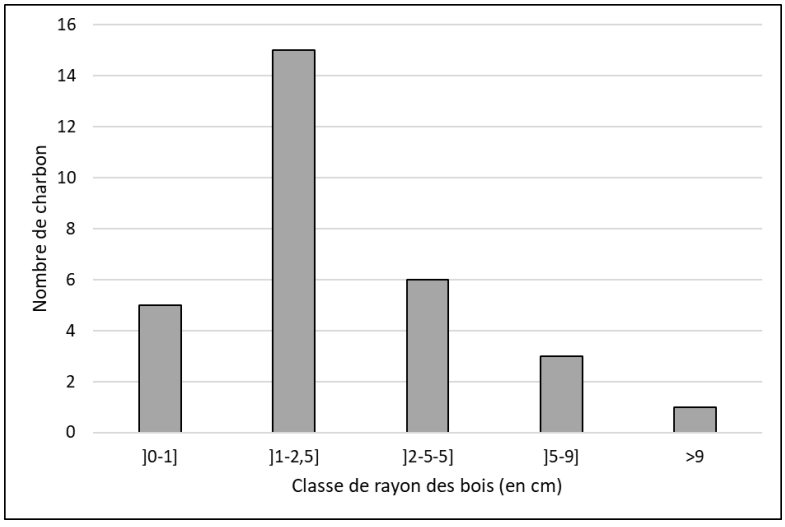


Fig. 249 : Diagramme des différentes classes de rayon des bois restitué dans l'US 1008

228. *Domui de Grandimontis* (B.N.- Manuscrit Français 6787).

À partir de ces données, il est possible de restituer les assemblages de diamètre de bois utilisés par les artisans. La même méthode que pour l'atelier F155/1 est utilisée. On observe alors un bon degré de fiabilité des rayons restitués, bien que l'on soit légèrement au-dessus des 30 % pour la classe > 9 cm (FOUEDJEU *et al.* A paraitre). Les charbons proviennent vraisemblablement d'une majorité de bûchettes d'environ 5 à 10 cm de diamètre et, dans une moindre proportion, de bûches d'environ 30 cm de diamètre (**Tableau 55**).

Tableau 55 : Restitution de l'assemblage de bois à l'origine des charbons observés dans l'US 1008

Lot	Description	Classes de diamètre = bûche entière					
		]0-2cm]	]2-5]	5-10	10-15	15-20	>20
250	90 bûches de 8 cm et 10 bûches de 30 cm						

L'âge maximum des charbons de bois est de 41 ans (échantillon issu de l'US 1021). Toutefois, l'âge moyen est situé autour de 10-15 ans ou, dans une moindre mesure, entre 20 et 30 ans (***cf* vol.2, tableau 86**). Ces charbons n'étant pas complets, il s'agit toutefois d'une estimation minimum de l'âge des bois exploités.

Parmi les charbons étudiables, 118 ont des cernes réguliers et 75 des cernes irréguliers. Lorsque l'on observe cette caractéristique dans les US comprenant le plus de charbon (1002, 1006, 1008, 1010, 1011 et 1018), on constate que les charbons aux cernes réguliers représentent en moyenne 60 % des individus et les charbons aux cernes irréguliers 30 % (***cf* vol.2, tableau 87**). En outre, il n'apparait aucun lien entre le rythme des cernes et l'essence de bois à laquelle les charbons appartiennent. La croissance de ces bois est donc majoritairement régulière même si quelques variations sont visibles. L'US 1008 comprend 38 échantillons disposant d'au moins quatre cernes dessinant le début d'un modèle de croissance. L'étude de cette croissance commence par appliquer un facteur correctif de 20 % à l'épaisseur de chaque cerne. On constate alors que sur les 17 individus présentant plus de 7 cernes réguliers, la majorité (15 individus) mesure entre 0,5 et 1,5 mm d'épaisseur (**Fig. 250** ; ***cf* vol. 2, tableau 88**). Les arbres à l'origine de ces charbons ont donc majoritairement grandi de façon régulière pendant au moins 7 ans et d'environ 1 et 3 mm de diamètre par an.

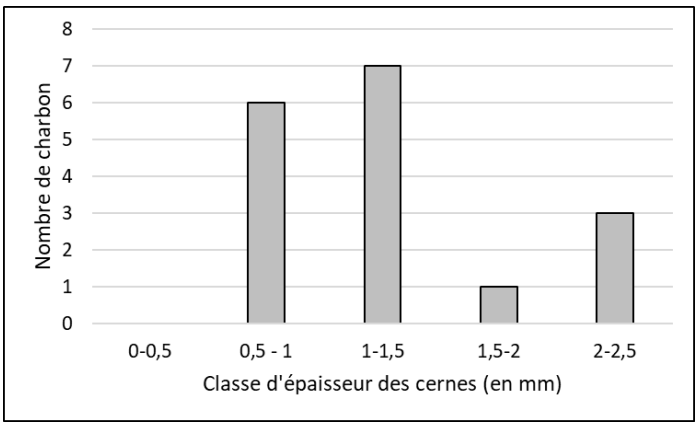


Fig. 250 : Diagramme du nombre de charbons par classe d'épaisseur moyenne de cernes (en mm)

L'épaisseur moyenne des cernes réguliers des charbons prélevés dans les autres US est également restituée malgré le faible nombre d'échantillon. On constate ainsi qu'elle est un peu plus importante dans les couches de rejet du ferrier US 1011 et 1017 (entre 1,5 et 2 mm) que dans l'US 1008 (**Fig. 251** ; ***cf*** **vol.2, tableau 89**). Cette épaisseur est plus grande encore pour les charbons issus de la couche charbonneuse (US 1002) et des couches situées dans l'aire de grillage (US1006 et 1010), soit entre 2 et 2,5 mm. Le corpus de charbon étant peu fourni, il s'agit toutefois uniquement de tendances. En comparaison, les chênes de Châteauroux grandissent actuellement de 2 à 4 mm de diamètre par an[229], ce qui en fait une chênaie de bonne composition. La croissance des bois au Moyen Âge est donc globalement similaire à celle des arbres de la forêt actuelle. Les conditions environnementales de ce massif forestier devaient donc être favorables au développement de ces arbres.

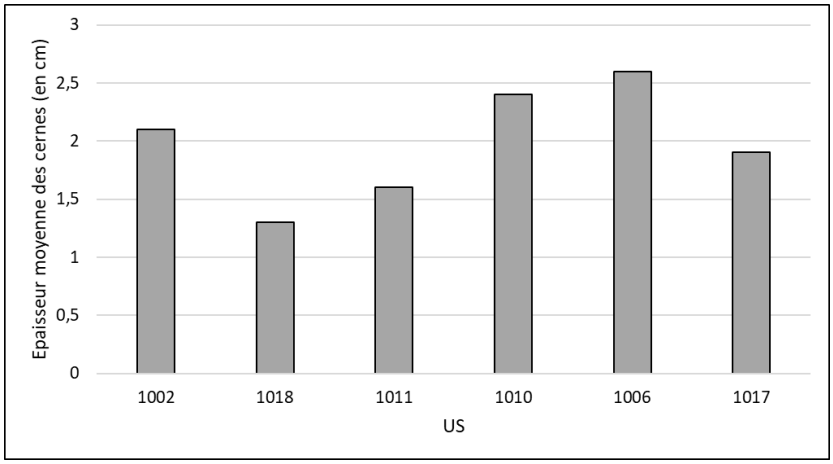


Fig. 251 : Diagramme de l'épaisseur moyenne des cernes réguliers des charbons par US

229. Information fournie par F. Jarry, directeur ONF de l'Indre (23/10/2020). Pour le bois de cœur, l'aubier étant plutôt entre 1 à 2 mm par an.

Ces charbons ont, presque tous, deux à cinq cernes réguliers. Cela signifie que pendant 2 à 5 ans leurs conditions de croissance étaient analogues. Néanmoins, ces cernes traduisent des rythmes de croissances différents d'un charbon à l'autre (entre 0,4 et 1,3 mm d'épaisseur). Seul un individu a grandi d'environ 1,8 mm pendant 5 ans et un autre de 2,9 mm pendant 2 ans.

Autres informations concernant le combustible

L'observation indifférenciée des charbons provenant de toutes les US, montre que les bois utilisés ne comportent pas (87 individus) ou peu (78 individus) de thylles, ce qui signifie qu'ils proviennent majoritairement de l'aubier, soit des derniers cernes engendrés par l'arbre (**Fig. 252** ; ***cf* vol. 2, tableau 90**). Quatre individus ont encore un peu d'écorce en surface. Les charbons au processus de duraminisation plus avancé sont moins courants (33 individus). Ceux présentant un degré très élevé sont encore plus rares (neuf individus).

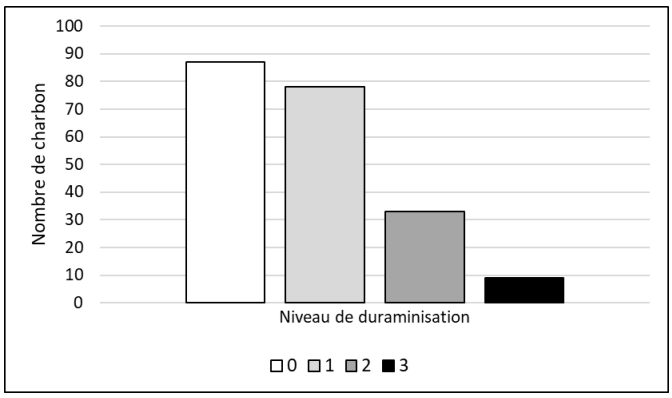


Fig. 252 : Diagramme du nombre de charbons de bois en fonction de leur niveau de duraminisation

Cette tendance est confirmée lorsque l'on observe les données par ensemble clos important, c'est-à-dire provenant de la couche de comblement de l'atelier (1008) et de la couche charbonneuse associée au ferrier (1002). On observe néanmoins dans la couche de rejet du ferrier (1018) et dans celles issues de l'aire de grillage (1006/1010) que le nombre de charbons dont la duraminisation est de niveau 1 est plus important.

Le bois utilisé est donc principalement composé de branches avec ou sans écorce (**Fig. 253** ; ***cf* vol. 2, tableau 91**). Cela rassemble principalement des charbons de chêne, mais également quelques-uns de hêtre. Ces branches proviennent de toutes les US. Deux buchettes de chêne sont également observées dans les US 1002 et 1011. Sept charbons, un fragment de hêtre et six de chêne, provenant de l'US 1008 sont de forme quadrangulaire, ce qui témoigne du débitage du bois. Il est possible que les fragments de chênes proviennent d'une même planche fragmentée. Un autre fragment de planche provient de l'US 1006. Neuf charbons sont coupés en quart de branche dans l'US 1008.

Parmi eux six sont du hêtre et trois du chêne. Ils disposent tous d'un diamètre restitué compris entre 1 et 2,5 cm. Enfin, trois charbons de chêne provenant de l'US 1006 sont débités en demi-branche, il est possible qu'ils proviennent d'un même bois.

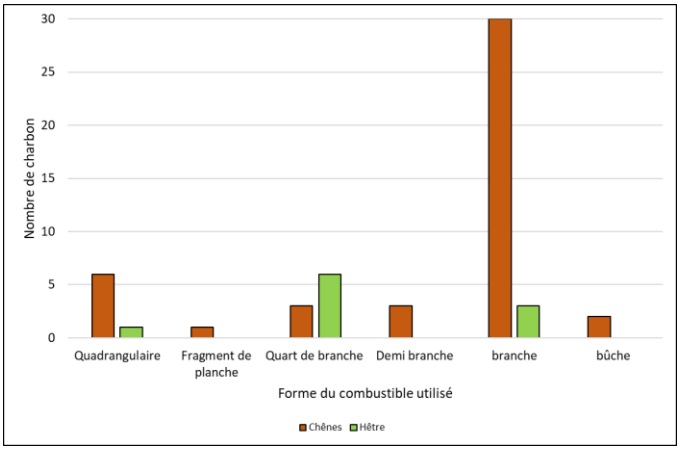


Fig. 253 : Diagramme du nombre de charbons de bois en fonction de leur forme dans l'atelier F090

La majorité des charbons de bois ne comprennent pas de fente de retrait (131 individus) (**Fig. 254** ; ***cf* vol. 2, tableau 92**). Sur les 48 qui en possèdent, 28 en ont une, 13 en ont deux, puis leur nombre diminue avec le nombre de fentes. Seuls cinq de ces éléments sont issus de hêtres, le reste correspond uniquement à du chêne. Sur les 95 fentes comptabilisées, 33 sont fines et 62 sont plus épaisses. On peut en déduire que le bois utilisé comme combustible sur ce site a séché lentement et devait être sec lors de sa carbonisation (THERY-PARISOT, HENRY, CHRZAVZEZ 2016 : 498). Le bois sec fournissant plus de charbon que le bois vert, il est préférable pour les charbonniers (DEVEZE 1961 : 134). Quelques plus rares individus, principalement du chêne, montrent toutefois un séchage moins efficace.

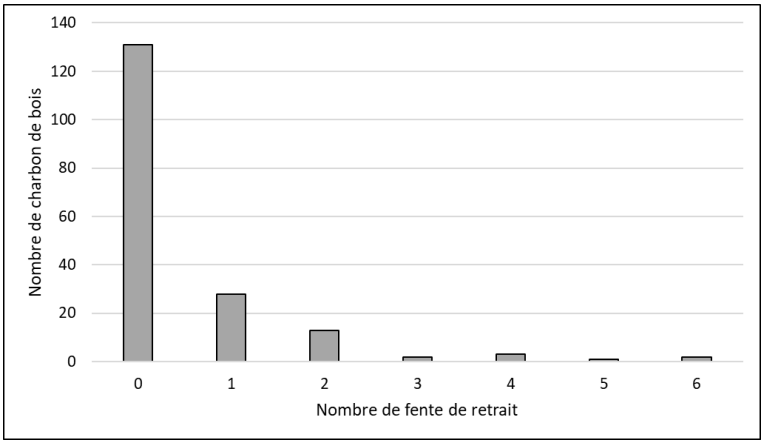


Fig. 254 : Diagramme du nombre d'individu présentant des fentes de retrait dans l'atelier F090

Enfin, sur l'ensemble de ces charbons, seuls quatre ont quelques indices de la présence d'insectes xylophages (galerie). Ce faible nombre indique l'utilisation d'un bois qui n'était pas mort et/ou qui a été stocké dans de bonnes conditions avant sa carbonisation (GAUDIN 2016 : 7).

En conclusion, le combustible employé dans l'atelier métallurgique F090 est constitué en majorité de chênes (env. 90%) et dans une moindre mesure de hêtre (entre 0 et 30 %). Ces deux bois sont régulièrement utilisés en métallurgie à cause de leur pouvoir calorifique intéressant. Il est impossible de définir s'il est utilisé sous forme de charbon ou de bois brut. Néanmoins, il est plus intéressant que la majorité du bois soit utilisé sous forme de charbon. De même qu'à Boulogne-Chambord, l'exclusivité de ces essences indique une sélection par les métallurgistes qui est possible uniquement si l'on trouve à proximité suffisamment de matière première, c'est-à-dire un bois ou une forêt. On peut ainsi restituer à proximité de l'atelier F090 une chênaie-hêtraie moyennement dense au XIIIe s. La plus ancienne mention de ce massif date de 1315. Il s'agit d'une donation par Guillaume de Chauvigny aux religieux de Saint-Gildas d'une charretée de bois à prendre chaque jour dans la forêt de Châteauroux[230] (POUGET 2015). Néanmoins, le cartulaire de l'abbaye de Grandmont, également appelé prieuré de Sauzay, daté de 1259, y fait déjà allusion[231]. La forêt de Châteauroux existait donc déjà à l'époque où prennent place les ateliers métallurgiques médiévaux. On ignore néanmoins ses limites exactes.

L'âge de coupe de ces bois est au minimum estimé à entre 15 et 20 ans, mais de nombreux charbons signalent l'exploitation de bois d'au moins 20 à 30 ans. L'étude du diamètre des charbons présents dans le comblement de la zone d'atelier montre que les métallurgistes ont principalement utilisés des buchettes de petite dimension (environ 8 à 10 cm de diamètre) et, plus ponctuellement, des bûches d'environ 30 cm de diamètre. Ces deux caractéristiques, la taille et l'âge des bois pourraient signaler l'emploi de bois qualifié aujourd'hui de taillis jeune[232] pour cette activité métallurgique. Ces bois présentent de bonnes conditions de croissance. Ils grandissent en moyenne de 1,5 à 3 mm de diamètre par an. Il semble néanmoins que les métallurgistes aient utilisé des bois à la croissance moins favorable dans la zone de réduction que dans l'aire de grillage du minerai (4 à 5 mm de diamètre par an). Il faudrait toutefois prélever plus de charbon dans ces US et réaliser une étude plus avancée de la restitution de leur diamètre pour confirmer cette observation.

230. Archives départementales de l'Indre : A3/32
231. *Domui de Grandimontis* (B.N.- Manuscrit Français 6787).
232. https://www.allianceforetsbois.fr/wp-content/uploads/2016/08/RTG-MP-Fiche-1-Le-taillis-simple.pdf

La majorité des bois de l'atelier F090 a été carbonisé sous forme de branches ou de bûches, avec ou sans écorce. Quelques indices témoignent également de l'emploi de bois débité. Les branches peuvent être coupées en moitié ou en quart et certains des plus importants fragments ont une forme quadrangulaire indiquant qu'il s'agissait de planches ou de planchettes. Les artisans ont sans doute fait preuve d'opportunisme en intégrant à leurs feux du bois issu d'autres sources que le charbonnage (éléments de construction ?).

Le faible nombre de fentes de retrait et de galeries d'insectes xylophages montre que ces bois ont globalement fait l'objet d'un séchage de bonne qualité. Il a été défini pour l'atelier F155/1 qu'il faut entre 1 et 4 ans, en fonction des conditions climatiques, du mode de stockage et de la morphologie des bois stockés (PY 2009, vol. 2 : 1083-1084), avant de pouvoir brûler au mieux le chêne[233]. En ce qui concerne le hêtre, il est recommandé de le stocker sous abri directement après l'avoir fendu, car il pourrit très vite et perd rapidement de son pouvoir calorifique.

Finalement, les bois utilisés dans cet atelier ont grandi dans de bonnes conditions, la forêt au Moyen Âge devait donc disposer d'un environnement propice à leur développement, c'est-à-dire dans la demi-ombre, sur un sol bien drainé et peu acide, et être bien gérée. Ces caractéristiques rappellent celles observées actuellement dans le massif forestier.

9.1.2 Impact de l'artisanat du fer sur l'environnement

Il est difficile de restituer la quantité de charbon mis en œuvre lors d'une opération de réduction car seule la masse de charbon impliquée dans les échanges chimiques est prise en considération dans le bilan de matière (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 346). Il faut s'appuyer sur les expérimentations, les observations ethnologiques et les archives pour tenter d'en obtenir une idée.

La méthode de restitution la plus couramment employée en archéométallurgie s'appuie sur des expérimentations et des observations ethnologiques ayant fourni un rapport entre la masse de minerai et de charbon de bois utilisés lors d'une opération. Toutefois, il y a autant de rapports différents que d'expérimentations et d'observations ethnologiques. N. Dieudonné-Glad, après avoir fait le bilan des différents rapports existant, propose d'utiliser un rapport compris entre 1 et 4 (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 347). Le bilan de matière de la réduction ayant été défini pour l'atelier F155/1 de Boulogne-Chambord (*Supra* 7.3.1) et non pas pour l'atelier F090 de Châteauroux, il est possible d'estimer l'exploitation du premier uniquement. Ainsi, on y estime l'utilisation d'environ 470 à 1 880

233. https://www.cheminees liegeois.be/en-savoir-plus-poele-bois.html

t de charbon de bois[234]. A l'échelle de l'ensemble métallurgique de cette forêt cela représenterait environ 3 000 à 12 000 t de charbon de bois pour 3 000 t de minerai.

Une autre façon de restituer la masse de charbon de bois s'appuie sur les archives et l'expérimentation afin de mettre en évidence un rapport entre la masse de fer produite et de charbon de bois utilisé. D. Arribet-Deroin, dans une recherche récente sur ce sujet, compare plusieurs types de sources afin de définir la quantité de charbons utilisée par les métallurgistes mais également l'impact de cette exploitation sur l'environnement (ARRIBET-DEROIN 2018 : 133-142). Dans le cadre d'expérimentations réalisées au début des années 2000, avec du minerai oolithique (LEROY, MERLUZZO 2009) et du minerai riche en manganèse (CREW, CREW 1997), il est mis en évidence l'utilisation d'environ 70 à 77 kg de charbon de bois[235] pour la production de 9 à 9,5 kg de fer (ARRIBET-DEROIN 2018 : 137). Ces réductions expérimentales sont réalisées dans des fours à scories écoulées, technique similaire à celle employée dans les ateliers métallurgiques du massif de Boulogne-Chambord. On constate ainsi un rapport de 7,3 à 8,5 en moyenne entre la masse de charbon de bois utilisée et celle de fer produite. Dans ces conditions, on peut estimer pour l'atelier F155/1 qui a fabriqué environ 150 t de métal, l'utilisation d'environ 1095 à 1275 t de charbon. Ainsi, l'ensemble métallurgique entier aurait nécessitait l'emploi d'environ 7 000 à 8 200 t de charbon (**Tableau 56**). Les deux méthodes ne se contredisent donc pas. Toutefois, la seconde permet de resserrer la fourchette des possibilités. Cette masse de charbon est importante au regard d'autres sites métallurgiques d'ampleurs, toutes périodes confondues, pour lesquels ces informations sont disponibles (**Tableau 56**). Néanmoins, proportionnellement à la masse de minerai utilisée, elle est dans la moyenne. En effet, on a utilisé 2,5 fois plus de charbon en masse que de minerai à Boulogne-Chambord.

Tableau 56 : Comparaison des masses de minerai et de charbon utilisés, ainsi que de fer produit dans différents ateliers métallurgiques connus

Site	Minerai utilisé (en t)	Fer produit (en t)	Charbon utilisé (en t)	Référence
Boécourt (Jura/Suisse)	indet	indet	6 à 24	ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 106
Bellaire 1 (Vaud/Suisse)	450	45	600	PELET 1993 : 99
Bellaire 3 (Vaud/Suisse)	250	25	800	PELET 1993 : 99
Les Clérimois (Yonne)	2 585	776	15 621	DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 126

234. Pour 470 t de minerai produit (*Supra* 7.3.1).
235. Ces données sont des moyennes réalisées à partir des fourchettes fournies par les expérimentateurs.

Oulches (Indre)	1 680	800	1 700 à 6 700	DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 345-346
Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher)	3 000	960	7 000 à 8 200	

En plus du charbon nécessaire à la réduction, il faut ajouter celui utilisé pour le grillage du minerai ainsi que l'épuration et le forgeage des masses de fer. Toutes ces étapes étant bien attestées dans l'atelier F155/1 de la forêt de Boulogne-Chambord, il était important de les prendre en considération. Il est possible de restituer la quantité relative de charbon employée en post-réduction en utilisant un coefficient de 2 entre la masse de fer produite et la masse de charbon utilisée. Ce coefficient est proche de celui obtenu par les observations ethnographiques selon N. Dieudonné-Glad (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 347). Dans ces conditions, on peut imaginer l'emploi d'environ 300 t de charbon en plus dans l'atelier F155/1 et 1 920 t pour l'ensemble métallurgique du massif forestier. Cela porterait au total à entre 1395 et 1575 t minimum le charbon consommé par l'atelier F155/1 et entre 8 900 et 10 000 t de charbon minimum par l'ensemble métallurgique.

Ces chiffres permettent d'obtenir une idée de l'impact de l'utilisation de ce charbon de bois sur la ou les forêts qui ont servi d'espace d'exploitation. La chauffe du bois entraine une perte de masse lors de sa carbonisation, J. Chrzavzez montre, expérimentation à l'appui, qu'elle est en moyenne voisine de 55 % à 400°C, 60 % à 500°C et 70 % à 750°C. En outre, il constate très peu de différences entre les essences (CHRZAVZEZ 2013 : 85-86). Sachant que les températures de charbonnage se situent en moyenne, et le plus longtemps, autour de 400°C (BATTESTI 1992 : 7), on utilise le pourcentage associé pour restituer la masse de bois utilisée. On peut alors supposer l'utilisation d'environ 13 800 à 15 500 t de bois par l'ensemble métallurgique de la forêt de Boulogne-Chambord.

Pour établir ce que cela représente en termes de surface boisée, il faut d'abord convertir ces quantités en unité métrique ancienne. Cette conversion peut présenter des biais qu'il est important de garder en mémoire et que d'autres chercheurs ont tenté de caractériser et de limiter (ARRIBET-DEROIN 2018 : 135). Si l'on s'appuie sur les rapports de conversion estimés par F. C. Sauvage et repris par D. Arribet-Deroin, on observe qu'au Moyen Âge, 200 kg de charbon de bois correspond à environ 1 corde[236] de bois (ARRIBET-DEROIN 2018 : 136). En reprenant ces chiffres, on restitue l'utilisation d'environ 44 500 à 50 000 cordes de bois par l'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord.

236. La corde est l'unité de mesure principalement employée au Moyen Âge. Elle qualifie plus précisément le volume de bois coupé en bûche (ARRIBET-DEROIN 2018 : 135).

La transformation de ce volume en surface boisée est réalisée en s'appuyant sur les chiffres fournis par F. Dornic à propos de l'exploitation des forêts de Domfront et d'Alençon (Orne). Le bois y est destiné à la fabrication de charbon pour la forge de Cossé à la période moderne (DORNIC 1980 : 23-25). F. Dornic précise que le bois a des difficultés à croitre et que le charbon provient probablement de taillis, tout comme en forêt de Boulogne-Chambord au haut Moyen Âge. Dans ces conditions, l'auteur décrit l'exploitation d'environ 16 cordes de bois à l'arpent (ARRIBET-DEROIN 2018 : 140). Ainsi, on peut restituer l'utilisation d'environ 2 780 à 3 130 arpents, soit 1 400 à 1 570 ha de bois[237] pour le fonctionnement de l'ensemble sidérurgique de Boulogne-Chambord. Il s'agit d'environ un tiers de la forêt domaniale actuelle (soit 4 070 ha) (*Supra* 2.1.1). Si l'on suppose que ce volume a été prélevé régulièrement pendant la fourchette de 200 ans au cours de laquelle a eu lieu la production, soit entre les VIe et VIIe s., l'exploitation minimum serait d'environ 7 à 7,85 ha de bois/an (*Supra* 7.2.3). Or, il est démontré que dans l'atelier F155/1, bien que les bois soient majoritairement de faible calibre, ils avaient entre 40 et 60 ans au moment de leur abatage. Il y aurait donc entre trois et cinq révolutions de coupe de bois au cours desquels environ 280 à 470 ha de bois auraient été abattus. Si l'on suppose que la durée d'activité des ateliers métallurgiques a été plus courte, soit une centaine d'année, il y aurait eu entre une et deux révolutions de coupe de bois au cours desquels environ 560 à 900 ha de bois auraient été abattus. Ces chiffres indiquent une exploitation plus intensive que sur les sites métallurgiques alto-médiévaux des Clérimois (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 126), de Béllaire 1 et 3 (PELET 1993 : 99) ou encore sur le site d'Oulches (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 349) (**Tableau 57**). Néanmoins, elle est bien moindre que celle restituée pour l'exploitation des ateliers médiévaux de Clairvaux et de Champigny (EVE, LEROUX, BENOIT 2019 : 131), voire de la forêt de Paimpont mais les données y sont trop peu précises pour l'affirmer (LE CARLIER 2019 : 64). Cette exploitation intensive du bois peut être l'une des raisons expliquant l'arrêt de la production du fer dans cet espace. En outre, elle confirme qu'une forêt existait déjà au haut Moyen Âge dans cet espace. Il n'est toutefois pas exclu qu'une partie du combustible provenait d'autres forêts alentour, peut-être de Russy et/ou Blois ?

237. Conversion réalisée sur la base des données établies par D. Arribet-Deroin (ARRIBET-DEROIN 2018 : 140-141).

Tableau 57 : Comparaison de surface boisée par d'autres régions métallurgiques

Site	Durée de fonctionnement (en année)	Surface de bois exploité au total (en ha)	Surface de bois exploitée/an (en ha)	Surface de bois exploitée/ révolution (en ha)
Les Clérimois (Yonne)	100	45	0,45	
Oulches (Indre)	40	75 - 190	1 - 2,4	
Bellaire 1		16,5 - 22		
Bellaire 3	indet	28 - 38		
Ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord	200 100	1 400 - 1 570	7 - 7,9 14 - 15	280 à 470/40 à 60 ans 560 à 900/ 40 à 60 ans
Forêt de Paimpont	170	170 – 1 700	1 - 10	
Champigny	120[238]	7 200	60	1 200/ 20 ans
Abbaye de Clairvaux	120[239]	12 000	100	2 000/20 ans

Les deux ensembles sidérurgiques pour lesquels nous possédons des données anthracologiques prennent donc vraisemblablement place en milieu forestier ou à proximité. Les caractéristiques des charbons de ces ateliers attestent de l'utilisation d'un combustible particulièrement adapté à la production du fer. Cela comprend l'emploi exclusif d'essences très calorifère, le chêne et/ou le hêtre ; l'utilisation majoritaire de charbons d'aubier, soit les cernes les plus externes de l'arbre, qui permettent au feu de prendre vite ; et le recours à un combustible issue d'une activité de charbonnage de qualité (séchage des bois avant carbonisation, stockage dans de bonnes conditions, etc.). Le charbon est issu d'une importante quantité de bois de petit calibre (env. 5 à 10 cm de diamètre) associé à quelques éléments plus grands (env. 30 cm de diamètre). Ces éléments ont vraisemblablement été coupé au bout de 40 à 60 ans, plus pour les plus grands. Ces indices laissent supposer une exploitation mixte de taillis et de futaie pour la production du fer. Néanmoins, les petits bois n'étaient pas abattus tous les 20-25 ans comme il convient de le faire pour le taillis, ce phénomène résulte probablement des mauvaises conditions de croissance de la végétation. En effet, l'une des principales différences entre les deux ensembles métallurgiques observés, est leur accès aux matières premières. Elle est plus facile à Châteauroux où la croissance des bois est excellente, donc le rendement aussi, et plus difficile à Boulogne-Chambord où l'on restitue une faible capacité de régénération des bois et donc un mauvais rendement.

La restitution de la masse de bois exploitée par l'activité métallurgique, possible uniquement pour l'ensemble de Boulogne-Chambord, est conséquente, soit environ 13 800 à 15 500 t. En terme de surface, cela correspond à environ 1 400 à 1 570 ha, soit un tiers de la surface actuelle. Si l'activité métallurgique a duré deux siècles, environ 280 à 470 ha de bois ont pu être défrichés tous les 40 à 60

238. Chiffre estimé d'après ceux avancé par l'auteur (EVE, LEROUX, BENOIT 2019 : 131).
239. *Ibid*.

ans. Si cet artisanat a duré moins longtemps, un siècle par exemple, environ 560 à 900 ha de bois a été abattu tous les 40 à 60 ans. Quelle que soit la durée réelle, l'impact sur le paysage forestier ne devait pas être négligeable. En effet, cette exploitation est plus importante que celle de sites métallurgiques d'ampleur datés de l'antiquité (Oulches) et du haut Moyen Âge (Les Clérimois, Béllaire 1 et 3). Elle reste toutefois inférieure à celle de gros centres sidérurgiques du Moyen Âge central (Clairvaux, Champigny, peut-être Paimpont). L'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord est donc à la transition entre ces deux types d'exploitation. L'installation d'un centre sidérurgique ayant des besoins en combustibles très importants dans cette forêt aux conditions de croissances difficile n'est donc pas des plus efficientes. Il s'agit peut-être de l'une des raisons pour laquelle l'activité n'a pas perduré.

Enfin, l'étude du combustible permet de restituer les conditions environnementales à l'époque de l'activité métallurgique. Dans la forêt de Boulogne-Chambord, la croissance difficile des chênes traduit probablement une péjoration climatique reconnue sur le territoire entre les VIe - VIIe s. et les VIIIe – IXe s. (MAGNY 1995) et peut-être également des problèmes de gestion de la forêt (trop de concurrence entre les essences). En ce qui concerne le massif de Châteauroux, les bois employés par les métallurgistes dans l'atelier F090 ont grandi dans de bonnes conditions. On restitue ainsi une forêt peu dense ou morcelée, un milieu de demi-ombre avec un sol bien drainé et peu acide. Ces caractéristiques rappellent celles observées actuellement dans le massif forestier.

9.2 Deux forêts, deux contextes archéologiques similaires

9.2.1 Des espaces organisés (voies de communication, trame parcellaire)

Les forêts étudiées ne sont pas des espaces hostiles et fermés. Depuis très longtemps, l'exploitation des ressources forestières implique le développement d'éléments de circulation et d'une gestion de l'espace.

<u>Les routes et chemins forestiers</u>

Une voie de circulation bien établie est importante en forêt, car elle facilite les déplacements. La méthode d'étude la plus usitée en archéologie pour restituer les itinéraires des routes et chemins est l'analyse régressive des cartes. Le concept de résilience désigne le fait que certains axes de circulation ont une orientation et un tracé qui varient peu au cours du temps (ROBERT, VERDIER 2009 : 10). Ce phénomène est mis en évidence en s'appuyant sur les cartes et archives anciennes. En couplant cette étude avec l'analyse des chemins tressés observés sur les images LiDAR, on parvient à restituer l'évolution du réseau au cours du temps. À partir de ces données, on peut analyser la relation

qu'entretiennent les ferriers avec ces voies, notamment celles susceptibles d'avoir été présentes lors de l'implantation de l'activité métallurgique.

Un chemin tressé est un sentier formé par le passage répétitif des hommes et des animaux domestiques au cours de longues périodes, ce qui occasionne un creusement plus ou moins important dans le sol. Ces chemins devenant parfois impraticables à cause d'obstacles occasionnels ou saisonniers (arbres encombrant le chemin, mare, etc.), les personnes qui les empruntent sont amenées à utiliser des chemins de traverse engendrant la multiplication des sentiers. Ils finissent ainsi par s'entrecroiser, mais suivent toujours la même direction. Le recoupement de ces chemins leur donne un aspect en tresse qui rappelle celui de certains cours d'eau (**Fig. 255**). Ces structures pédestres sont de l'ordre de de l'usage. Une centaine de tronçons mesurant entre 46 m et 5,7 km sont vectorisés dans un SIG. Ce travail a fait l'objet d'un poster en 2018 (***cf* vol.2, fig. 133**).

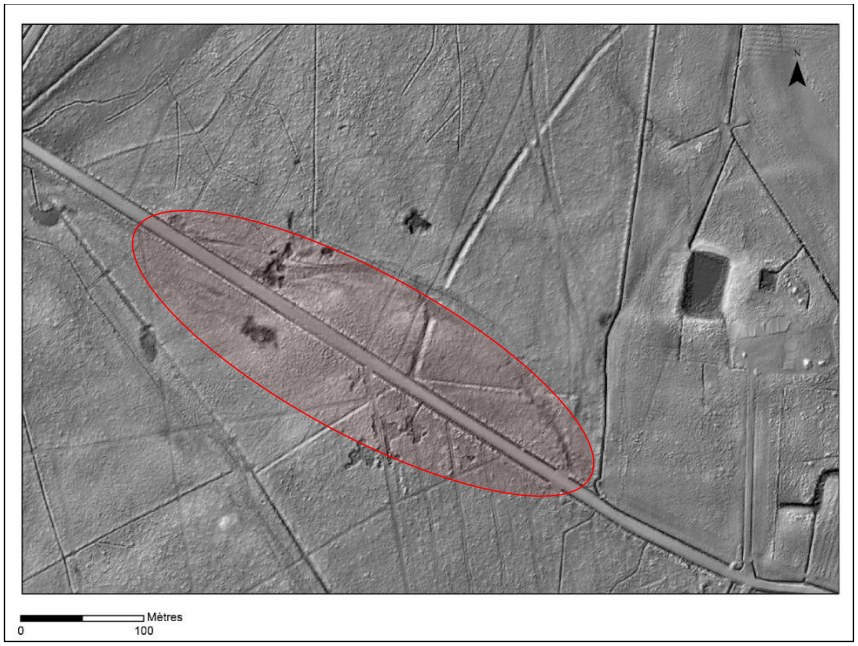


Fig. 255 : Détail d'un chemin « tressé » de même direction qu'une route moderne (LRM (Transparence = 40 % ; Contraste = 20%) et HS_315_35 (Contraste = -20%))

La restitution des routes et chemins forestiers au cours du temps dans le massif de Boulogne-Chambord est l'une des thématiques développées dans la thèse de A. Crozet (CROZET 2021a : 187-201). À partir de sept plans anciens pour Boulogne et onze pour Chambord, elle met en évidence la résilience de plusieurs chemins traversant le massif depuis le Moyen Âge central jusqu'au XXe s (**Fig. 256**) (CROZET 2021a : 192-193).

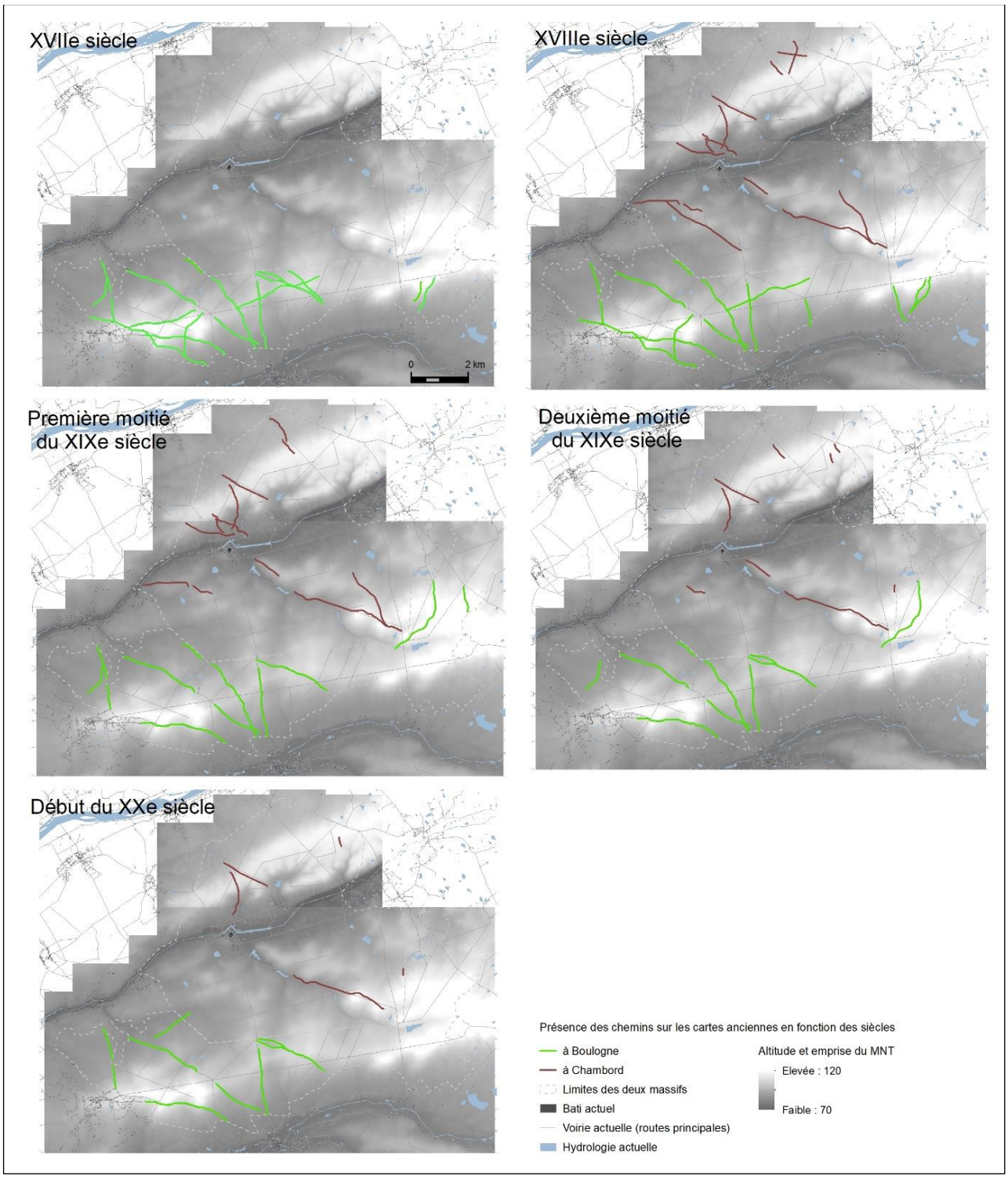


Fig. 256 : Tracé des chemins forestiers au cours du temps (CROZET 2021a : 193)

On constate ainsi qu'une partie du réseau viaire qui s'est développé dans la forêt depuis le XVIIe s., notamment au sud, sud/ouest du massif de Boulogne, se trouve à proximité des zones de concentration de l'activité métallurgique. A. Crozet montre également qu'un certain nombre de ces routes et chemins sont installés à l'emplacement d'axes de circulation plus anciens, et physiquement moins perceptibles, les chemins tressés. Ces chemins sont définis comme des traces involontaires laissées dans le sol lors du passage répété d'un certain nombre de personnes sur un même itinéraire pendant

un laps de temps important. Ils se présentent sous la forme de lignes légèrement creusées qui s'entremêlent telle une tresse. Ils mesurent environ 80 cm de profondeur par rapport aux bas-côtés et entre 40 et 80 cm de large. Certains de ces chemins creux visibles sur le terrain disposent d'un tracé similaire, mais pas exactement identique, à ceux des cartes anciennes (CROZET 2021a : 193-195). On observe ainsi que plusieurs voies de circulation semblent perdurer depuis au moins le 17e s. jusqu'à nos jours, comme les chemins allant de Huisseau-sur-Cosson à l'ancien prieuré de Boulogne puis à Bracieux, celui allant de Bracieux à Mont-près-Chambord ou encore ceux menant de Bracieux et Neuvy à la porte de Chambord.

Bien que l'antériorité de ces chemins tressés par rapport aux routes modernes soit confirmée, on ne dispose d'aucune datation archéologique, même large, à laquelle les rattacher. Il est alors essentiel de se tourner vers les sources écrites. Un seul document, le procès-verbal de visite daté de 1457, déjà mentionné pour confirmer l'existence de la forêt au Moyen Âge[240], fournit un terminus *post quem* à certains de ces chemins. Il décrit notamment leur tracé (Fig. 257) (CROZET 2021a : 198) :

> « Entre le chemin qui maine de la Charbardiere en Bouloigne et de Bouloigne à Bracieulx et la rive de la forest devers les Garennes de Bracieulx […] » (f°33) ;
> « Entre ledit chemin qui maine d'Uisseau en Bouloigne et a Bracieulx et le chemin qui maine de la Chaussée le Conte aud. Bracieulx sont les vente et choses qui s'ensuivent. » (f°37) ;
> « Entre le chemin qui maine de la Chaussée a Bracieulx et le chemin qui maine de Chambort a Neuvy sont les ventes et aultres vois copez qui s'ens[uivent]. » (f°39) ;
> « Entre le chemin qui maine de Chambord a Neuvy et le chemin qui maine de Thory aud. Neuvy sont les ventes et bois copés et tombez qui s'ens[uivent]. » (f°44) ;
> « Entre ledt chemin qui maine de Thory a Neuvy et le bout de la forest devers la Ferté, Duizon, Crouy, l'Ostel des Hobereaux, a venir jusques a la Peleure et au bois au pr[e]bstre et aux Haultes Brueres sont les ventes et bois tombez qui s'ensuivent. » (f°50).

240. AN : Q/1/503

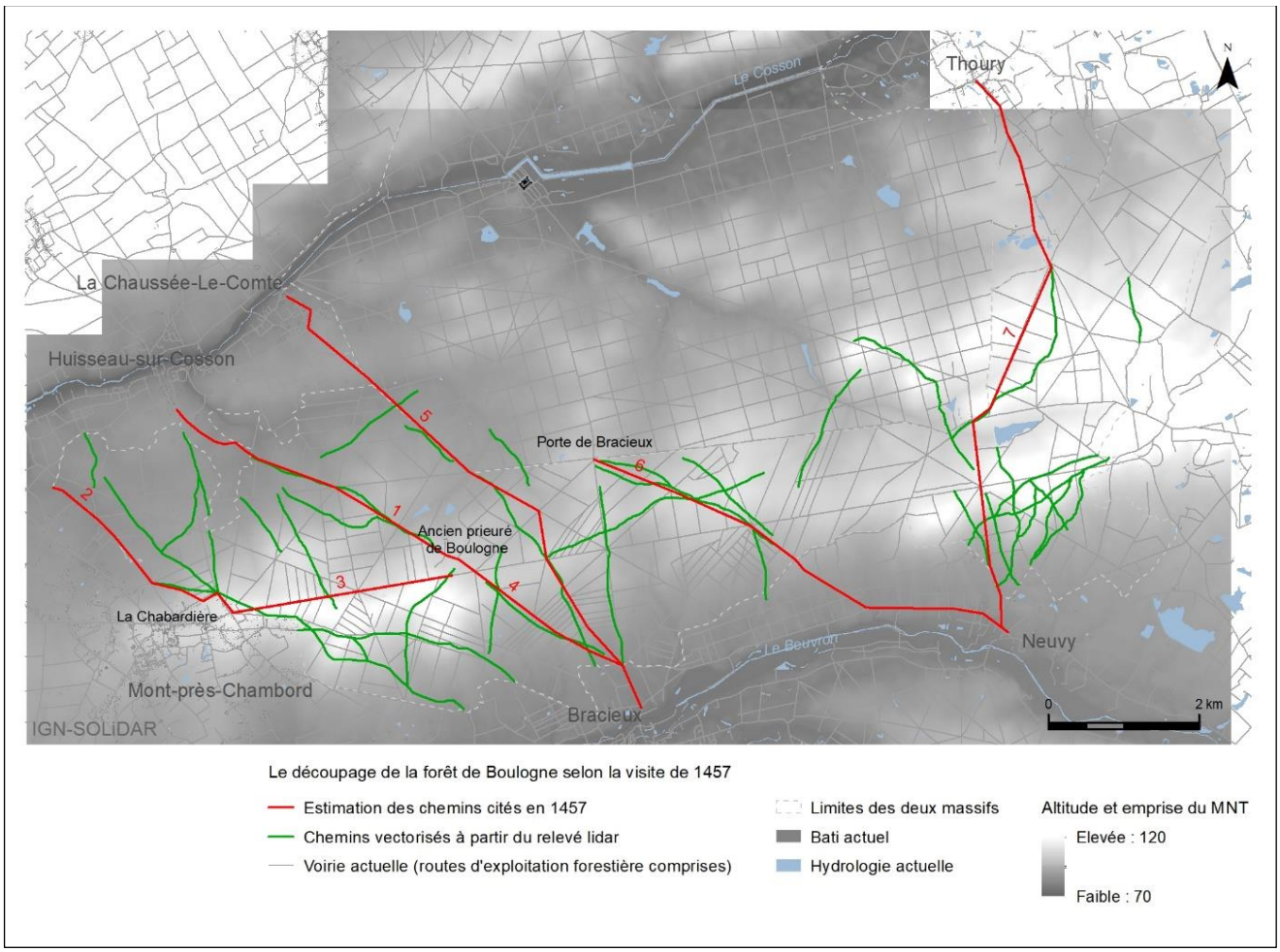


Fig. 257 : Carte restituant certains chemins de la forêt de Boulogne à partir des archives de 1457 (A. Crozet)
Les numéros sur la carte correspondent aux numéros ci-dessus.

Les itinéraires décrits dans ce document d'archive correspondent à au moins cinq segments de chemins tressés (1, 2, 4, 5 et 6). L'orientation et le tracé de ces chemins sont donc très anciens. L'analyse de la répartition des ateliers métallurgiques montre qu'ils suivent globalement deux alignements. Le premier, le plus flagrant, est orienté du sud vers l'ouest (Bracieux vers Mont-près-Chambord) et le second, plus éclaté, suit une ligne sud-nord/ouest (Bracieux à Huisseau-sur-Cosson) (**Fig. 258**). Ces alignements correspondent au chemin ancien n°5 et au chemin tressé allant de Bracieux vers Mont-près-Chambord. Il est donc probable que ces itinéraires, plus que les chemins eux-mêmes, aient été déjà empruntés lors de l'implantation de l'activité métallurgique. L'étude stratigraphique des voies et ferriers étaye cette hypothèse. En effet, F151/2 et F185/1 recoupent chacun l'un de ces deux chemins (***cf* vol.2, fig. 134)**. Ils sont donc bien implantés après leur création. Néanmoins, certains chemins tressés recoupent des ferriers, tel que F195/3. Il s'agit donc d'un chemin plus récent, peut-être réalisé lors de la création de la chaussée qui se trouve juste à côté. Les chemins tressés ne sont donc probablement pas, ou pas tous, ceux employés au haut Moyen Âge. Ce réseau s'est développé sur plusieurs siècles et de façon totalement désynchronisée. Ils mettent néanmoins en évidence d'anciens itinéraires qui perdurent au cours du temps.

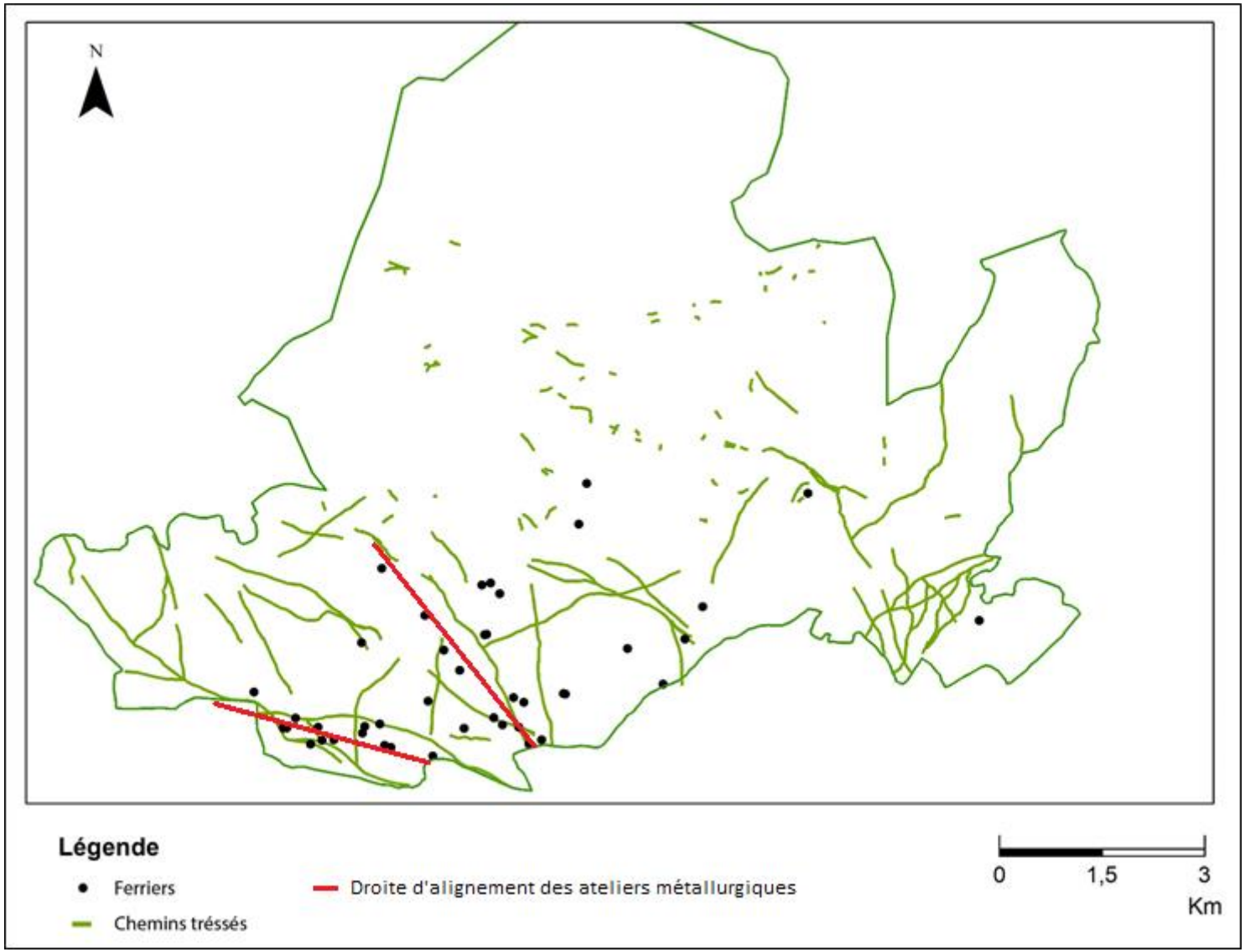


Fig. 258 : Carte localisant les ferriers par rapport aux chemins tressés vectorisés à partir des images LiDAR de la forêt de Boulogne/Chambord

La distance moyenne entre les ateliers et les chemins anciens avérés est de moins de 500 m, à l'exception de F110/2, situé à environ 700 m de la voie la plus proche (***cf* vol. 2, tableau 93**). La répartition par classe de distance indique que les ateliers métallurgiques se trouvent majoritairement à moins de 100 m de l'une de ces anciennes routes (**Tableau 58**).

Tableau 58: Tableau du nombre d'ateliers par classe de distance aux chemins tressés anciens

Classe de distance (en m)	Nombre d'individu
0-100	21
100-200	7
200-300	4
300-400	7
400-500	2
Plus de 500	2

La proximité entre les ateliers métallurgiques et les voies de circulation est assez courante. En effet, elle pourrait faciliter l'importation du minerai dans les ateliers et l'exportation du métal produit. Ce type de configuration est mis en évidence dans la Sarthe, où les ateliers sont majoritairement situés à moins de 200 m d'une voie (SARRESTE 2011 : 116-117). On identifie également ce phénomène dans la région d'*Argentomagus* où 47 % des sites antiques sont installés à moins de 1 000 m d'une voie, dont 31 % à moins de 500 m (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 393).

L'étude régressive des voies de circulation en forêt de Châteauroux est plus complexe pour deux raisons. Tout d'abord, on dispose d'un nombre plus limité de cartes anciennes détaillant les routes de ce massif forestier. Ensuite, l'absence d'images LiDAR ne permet pas de détailler les chemins anciens présents sous forme de tresse. Une tentative de restitution des itinéraires, si ce n'est des routes anciennes, a tout de même été réalisée à partir de quatre cartes datées au plus tôt de 1682 (*Supra* 3.1.2). Il s'agit de la *Carte générale des deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.a.S^me^ Monseigneur le Prince* (1682)[241], de la *Carte du duché de Châteauroux extraite de celle de Cassini et réduite sur une échelle de 4 lignes pour 1000 toises* (1780)[242], de l'*Atlas National de France* (1793)[243] et de la carte d'Etat-Major (1847).

La carte d'État-Major montre que la plupart des routes d'aujourd'hui reprennent le tracé de celles du XIXe s. (***cf* vol.2, fig. 135 et 136)**. Il en est ainsi pour la *route forestière d'Artois* qui traverse le massif d'est en ouest ainsi que la *Chaussée de César* située au sud-est. En outre, les grandes lignes du parcellaire actuel sont également visibles, bien que moins denses. Certaines routes ont une plus grande importance sur la carte d'Etat-major que sur la carte IGN, comme la *route de Gournay* au sud

241. BnF : GE D-17866
242. BnF : GE D-17207
243. Bibliothèque Municipale de Châteauroux : Car 1 By B 3

ou l'*Allée de la Rue* au centre. L'Atlas national de France (1793) ne signale que deux routes dans le massif. L'une traverse la forêt d'est en ouest, elle remonte vers le nord-ouest depuis Ardentes. Il est probable que ce soit la *route forestière d'Artois*. La seconde est issue de cette route et se dirige vers le sud le long de la partie occidentale du massif. On peut la rapprocher de l'actuelle D40. La troisième carte, la *Carte du duché de Châteauroux* indique qu'une route passe à l'ouest du massif et relie Villeneuve-sur-Cher à Argenton. Enfin, la carte de 1682, signale quelques chemins dont la géométrie n'est pas très fiable (*Supra* 3.1.2). On peut toutefois localiser les voies de circulation en fonction de leur orientation et des noms de lieux qu'elles desservent. L'*Allée de César* est assimilée à l'actuelle *Chaussée de César* au sud-est du massif (***cf* vol. 2, fig. 137**). Une seconde route à l'ouest peut être associée à la D40 actuelle et une troisième à la D990 qui traverse la forêt du nord au sud. Son tracé commence entre *Rue* et *Le Poinçonnet* au nord pour se terminer à *la Verrerie* au sud. Un quatrième chemin est visible sur cette carte. Il traverse également la forêt du nord au sud, mais sinue entre le lieu-dit *la Journauderie* jusqu'à *la Moranderie*. Il semble que sa partie nord se confonde actuellement avec l'*Allée du Riau de la Motte*. Cette route n'est visible sur aucune autre carte. Enfin, on note qu'à cette période aucune route n'est représentée traversant la forêt d'est en ouest. Il est toutefois possible qu'un chemin existe au niveau des limites d'appartenance.

Ainsi, trois itinéraires existent depuis l'époque moderne, aussi bien dans leur orientation que dans leur localisation générale. Ce sont deux routes orientées nord-sud, les actuelles D40 (n°1) et D990 (n°2) ; et une est-ouest, la *Chaussée de César* (n°3) (**Fig. 259**). Une route traversant la forêt du nord au sud disparait entre les XVIIe s. et XIXe s. (n°4). Il est possible que cette disparition soit au profit de l'actuelle *route forestière de Louis XIII*. Ce réaménagement a probablement été réalisé après l'acquisition du duché de Châteauroux en 1735 par Louis XV (HUBERT 1901). A cette même période est aménagée une route traversant le massif d'est en ouest, l'actuelle *route forestière d'Artois* (n°5). Il est probable qu'un chemin plus ancien ayant la même orientation ait existé, au moins dans la moitié est de la forêt.

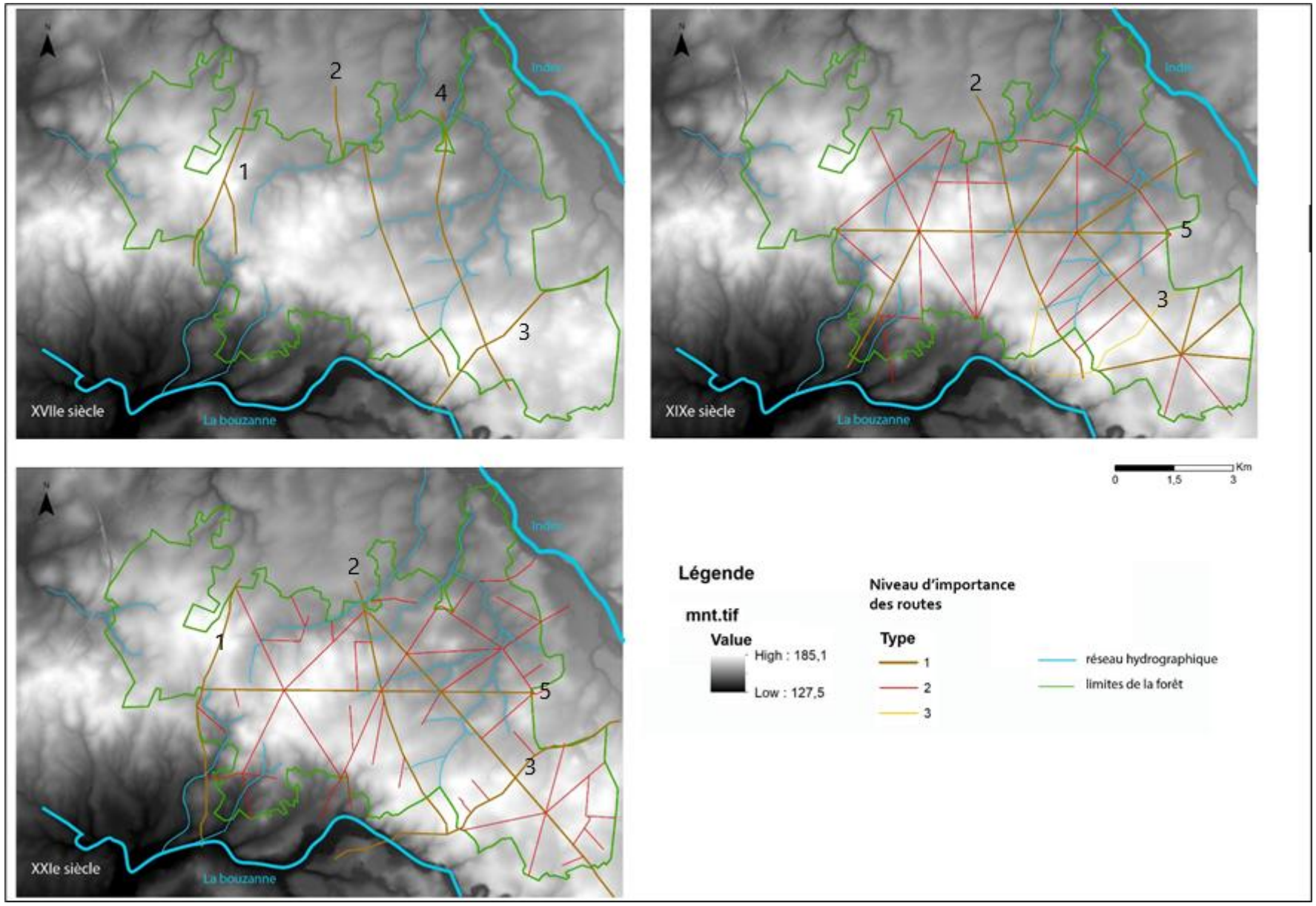


Fig. 259 : Evolution du tracé des routes et chemins anciens dans la forêt de Châteauroux

Il est actuellement impossible d'établir si ces itinéraires étaient présents avant le XVIIe s., à l'exception de la *chaussée de César*. En effet, cette route est assimilée à une voie antique visible sur la table de Peutinger allant de Bourges (*Avaricum*) à Argenton-sur-Creuse (*Argentomagus*) en passant par Ardentes *(Alerta)* (*Supra* 2.2.2). La présence de vestiges archéologiques antiques signalant qu'Ardentes pouvait être une agglomération secondaire, corrobore cette hypothèse (REVOL 2016b : 223). On peut également supposer la présence dès le Moyen Âge de la route traversant la forêt du nord au sud depuis le lieu-dit *la Journauderie* jusqu'à celui de *la Moranderie.* En effet, elle passe entre la motte castrale et l'abbaye de Grandmont, tous deux actifs au Moyen Âge central (DEVAILLY 1980 : 114-116). Le manque de données a rendu impossible une étude plus précise de la circulation en forêt de Châteauroux.

On peut également tenter de s'appuyer sur les alignements d'ateliers métallurgiques pour supposer l'existence d'autres itinéraires. Les ateliers de l'ensemble métallurgique n°1 (*Supra* 6.3.2) sont installés le long d'un axe nord-est/sud-ouest. On peut alors soumettre l'hypothèse selon laquelle un chemin menait d'Ardentes en direction du sud-ouest du massif (n°2 sur la carte) (**Fig. 260**). De façon moins probante, plusieurs sites antiques et médiévaux (ensembles métallurgiques n°2, 3 et 4) dessinent un axe est-ouest partant de Clavière et traversant la forêt en son centre (n°1 sur la carte). Les ateliers sont répartis environ tous les kilomètres, donc de manière plus espacée que pour le précédent alignement. Un chemin est représenté sur l'*Atlas National de France* (XVIIIe s.) à l'emplacement de ce second alignement. La présence de l'abbaye et de la motte castrale non loin de son trajet étaye l'hypothèse d'un chemin préexistant à celui de l'Atlas. Bien que la restitution de ces voies de circulation ne permet pas d'attester de leur contemporanéité avec l'implantation des activités métallurgiques antiques et/ou médiévales, elle constitue un indice intéressant pour réfléchir à la localisation des ateliers par rapport aux axes de circulation dans ce massif. L'existence de ces chemins est à vérifier sur le terrain à l'aide de sondages et/ou de relevés LiDAR.

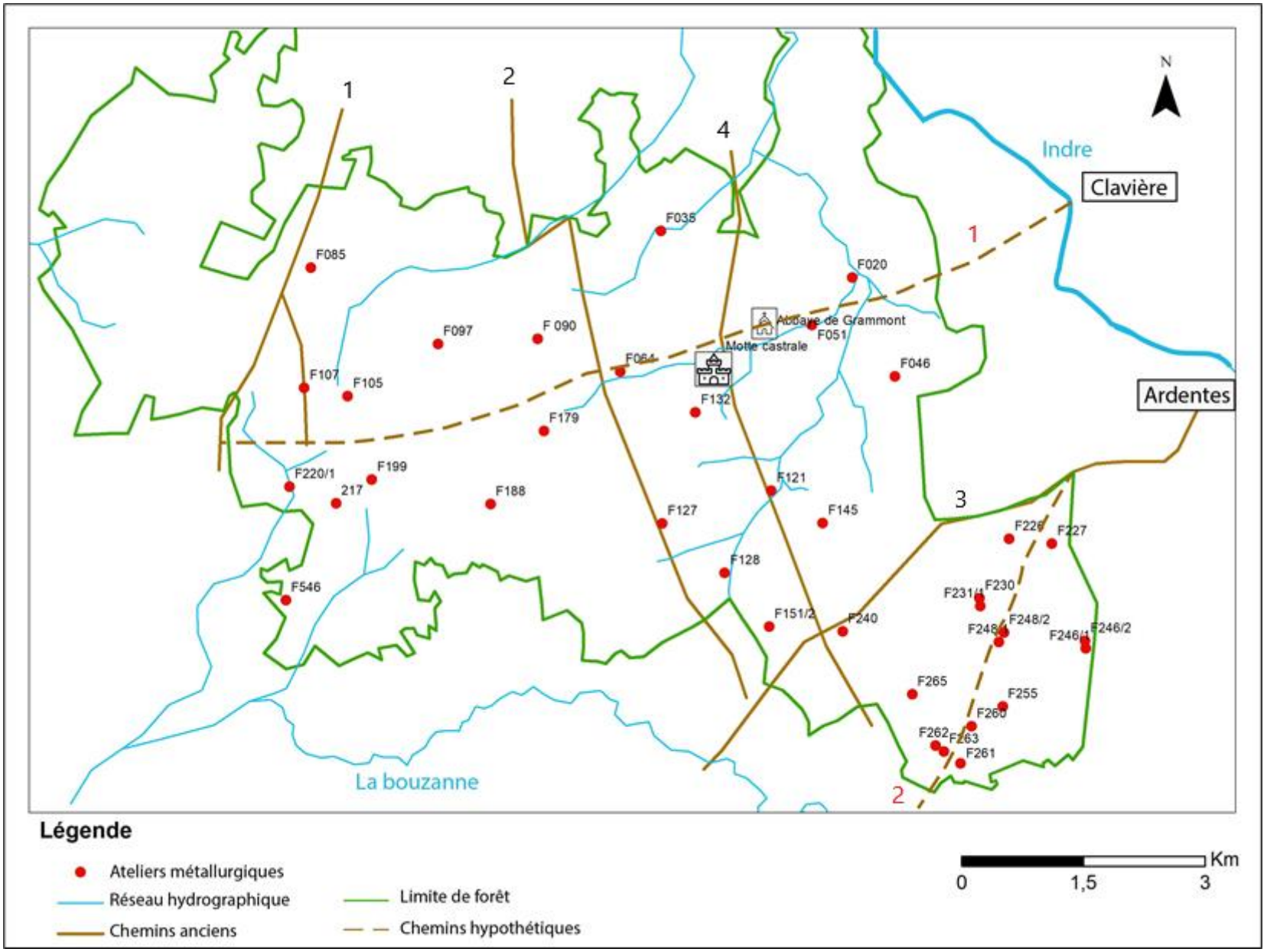


Fig. 260 *:* Carte restituant les itinéraires anciens dans le massif de Châteauroux

Les parcellaires anciens

L'organisation spatiale des massifs forestiers s'observe également à partir de la transformation du parcellaire au cours du temps. Ce type d'étude est difficilement réalisable sans relevés LiDAR, c'est pourquoi elle est effectuée uniquement pour le massif de Boulogne-Chambord (LAPLAIGE 2012 : 79). Bien qu'il existe actuellement peu d'information concernant la datation de ces différents éléments du paysage forestier ancien, il est intéressant d'observer les relations stratigraphiques qui les caractérisent (**Fig. 261**).

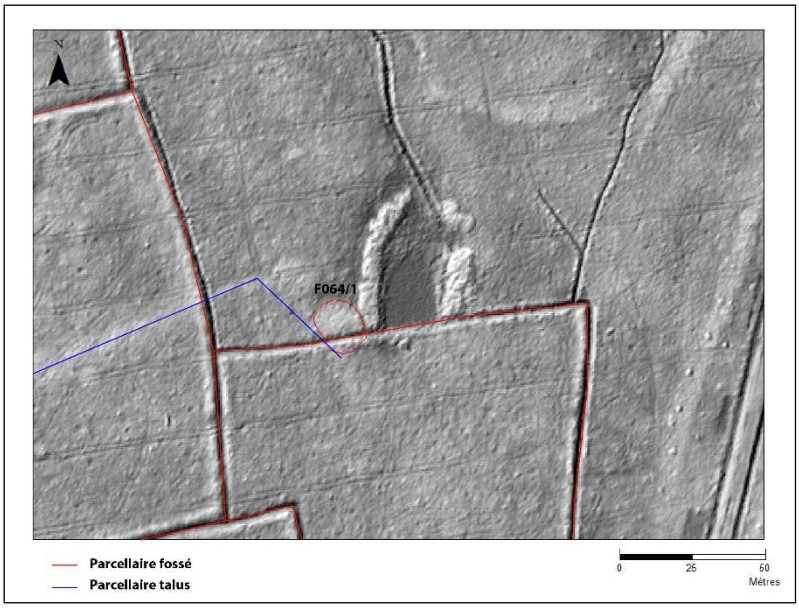


Fig. 261 : Détail d'une image LiDAR où l'on observe un ferrier (F064/1) recouper le parcellaire fossé et être recoupé par le parcellaire talus
(LRM (Transparence = 40 % ; Contraste = 20%) et HS_315_35 (Contraste = -20%))

En recoupant les données LiDAR et les indices trouvés dans les archives, notamment les visites de forêt, quatre parcellaires ont été mis en évidence dans le cadre du programme SOLiDAR (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 62-68). Le plus récent est celui encore en usage actuellement. Le deuxième est un parcellaire daté du XVIIIe s. constitué de gardes et de climats[244]. Le troisième, identifié sur le terrain lors des prospections et/ou grâce aux images LiDAR, est constitué d'un système de talus et de fossés. Cette trame recoupe un quatrième découpage, antérieur, composé de talus de faible élévation et caractérisé par des petites parcelles rectangulaires. Les relations entre les ferriers et ces deux derniers réseaux, les plus anciens, fournissent un certain nombre d'information concernant l'implantation de l'activité métallurgique dans cet espace.

244. Les forêts sont découpées en gardes, elles-mêmes subdivisées en climats.

Le parcellaire talus

Cette trame marque le paysage d'un microrelief non visible à l'œil nu. Ces talus ne font pas plus de quinze centimètres de hauteur pour une quinzaine de mètres de largeur. Cette trame se développe à Boulogne sur 22 km² et Chambord sur 9 km². Les parcelles qui la composent font généralement un hectare (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 66) (***cf*** **vol.2, fig. 138**). Ce système est orienté nord/est-sud/ouest. La répartition hétérogène des parcelles peut provenir d'une mauvaise conservation des vestiges, de contraintes géomorphologiques ou humaines, ou encore d'une différence d'occupation du sol. Ce parcellaire est associé à une activité agropastorale (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 84). Il a commencé à être implanté au moins au IIe s. et une partie a continué d'être utilisée jusqu'au XVIe s. même si cette trame est plus développée au sud-ouest de la forêt, c'est-à-dire dans la zone de concentration métallurgique, certains indices laissent supposer que ces structures archéologiques n'ont pas fonctionné en même temps. En comparant la localisation des ferriers et le tracé du parcellaire on constate notamment que les ferriers F194/2, F190/2, F194/2, F132/1 et F064/1, répartis de façon éparse dans la forêt, le recoupent. Cette chronologie relative semble indiquer la postériorité des ferriers par rapport à ce parcellaire et donc une absence de forêt à cet endroit pendant l'Antiquité.

Le parcellaire talus/fossé

Ce parcellaire a été relevé au cours de prospections pédestres s'étalant sur une quinzaine d'années par L. Magiorani, puis il a été vectorisé dans le cadre du programme de recherche SOLiDAR (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 63). Il est constitué de parcelles de forme rectangulaire, carrée ou polygonale qui s'étendent sur environ 31 km² dans la forêt de Boulogne et 16 km² dans celle de Chambord (***cf*** **vol.2, fig. 139**). Ces talus/fossés mesurent en moyenne 6 à 8 m de largeur pour une profondeur inférieure au mètre. Ils sont recoupés par les limites parcellaires actuelles et sont parfois absorbés par les limites forestières. Il est possible que cette trame ancienne indique les limites d'un fief médiéval (MAGIORANI 2011 ; MARTIN-DEMEZIL1963). Il peut également délimiter des secteurs destinés à différents emplois au sein des massifs forestiers (parcs, zones de coupe, etc.) (JACQUET 2003). Les recherches effectuées sur ce massif n'ont, pour l'instant, pas permis d'établir de liens directs entre ces talus-fossés et les limites d'un fief (MAGIORANI 2011 ; MARTIN-DEMEZIL 1963).

De même que pour le parcellaire de talus, cette trame est lacunaire. Elle est quasiment absente dans les deux zones de forte concentration de l'activité métallurgique. Il est donc difficile

d'établir un rapport entre trame et ateliers métallurgiques. Toutefois, neufs ferriers se trouvent à l'intérieur de parcelles fermées. Ils sont toujours seuls dans une parcelle, sauf F191/1 et F191/3. Trois ferriers sont recoupés par cette trame (F139/1, F489/1 et F064/1) et signalent l'installation *a postériori* du système de talus/fossé (***cf* vol.2, fig. 140**).

L'étude de la répartition spatiale des ateliers métallurgiques par rapport aux parcellaires anciens montre qu'aux VIe – VIIe s., lors de l'implantation de l'activité métallurgique, la trame de talus, probablement relative à une activité agropastorale antique, tend à disparaître dans la partie sud du massif alors que celle de talus/fossé n'est pas encore implantée. On se trouve donc à une période de transition au cours de laquelle plusieurs indices signalent déjà la présence d'une forêt (*Supra* 9.1). Cette transition pourrait être le témoin d'une période de reprise forestière ou de développement d'une forêt nouvelle. De nombreuses reprises forestières. On constate ce phénomène à cette période dans la forêt de Morvan (JOUFFROY-BAPICOT 2007 : 51) et dans les forêts jurassiennes (GAUTHIER, RICHARD 2007 : 61), alors qu'une baisse de la population fait suite à la chute de l'Empire romain.

9.2.2 Des sites anciens, de possibles pôles d'attractivité pour l'activité métallurgique

L'implantation d'une activité artisanale peut découler de la proximité de sites en demande, tels que des lieux de consommation ou d'habitat. Ainsi, il est intéressant de restituer le dynamisme de ces espaces aux périodes où l'activité métallurgique est implantée. Les sources d'informations disponibles pour cette restitution sont les données archéologiques, les images LiDAR et les sources écrites.

Dans le massif forestier de Boulogne-Chambord, les prospections ont mis en évidence la présence de 375 sites archéologiques (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 85-86). Seuls 18 sites sont datés du haut Moyen Âge. Parmi eux, on note quinze habitats ruraux, deux mottes castrales et une agglomération rurale, dont la présence est déjà supposée au haut Empire (LAPLAIGE *et al.* 2018 : 92-94). Ces sites sont situés en majorité à l'est du massif, soit à l'opposé de la plus importante zone de production du fer (***cf* vol.2, fig. 141**). Cette activité, produisant beaucoup de fumée et de rejets incommodants, a pu être repoussée loin de l'habitat.

Au sud de la forêt actuelle, le village de Bracieux est probablement un petit centre économique assez dynamique au Moyen Âge, peut-être même dès l'Antiquité. La halle de Bracieux datée du XVIIe s., serait en effet située sur une halle plus ancienne. Un texte de 1328 indique que

Geoffroy de Galery, seigneur de Bracieux, doit verser au comte de Blois 15 livres de rente à prendre sur les revenus des foires et marchés du village[245]. Ce village est traversé au Moyen Âge par une voie menant d'Orléans à Limoges via Poitiers (SOYER 1971 : 50). Elle prend le nom de *via publica* au XIe s. Elle croise l'ancienne route antique menant de Blois à Bourges (SOYER 1971 : 80-81) et passe par Vineuil, Mont-près-Chambord, Bracieux, Neuvy, etc. (**Fig. 262**). Le village de Bracieux, la cité de Blois ainsi que la Loire, au nord, sont autant d'entités pouvant favoriser l'exportation du métal.

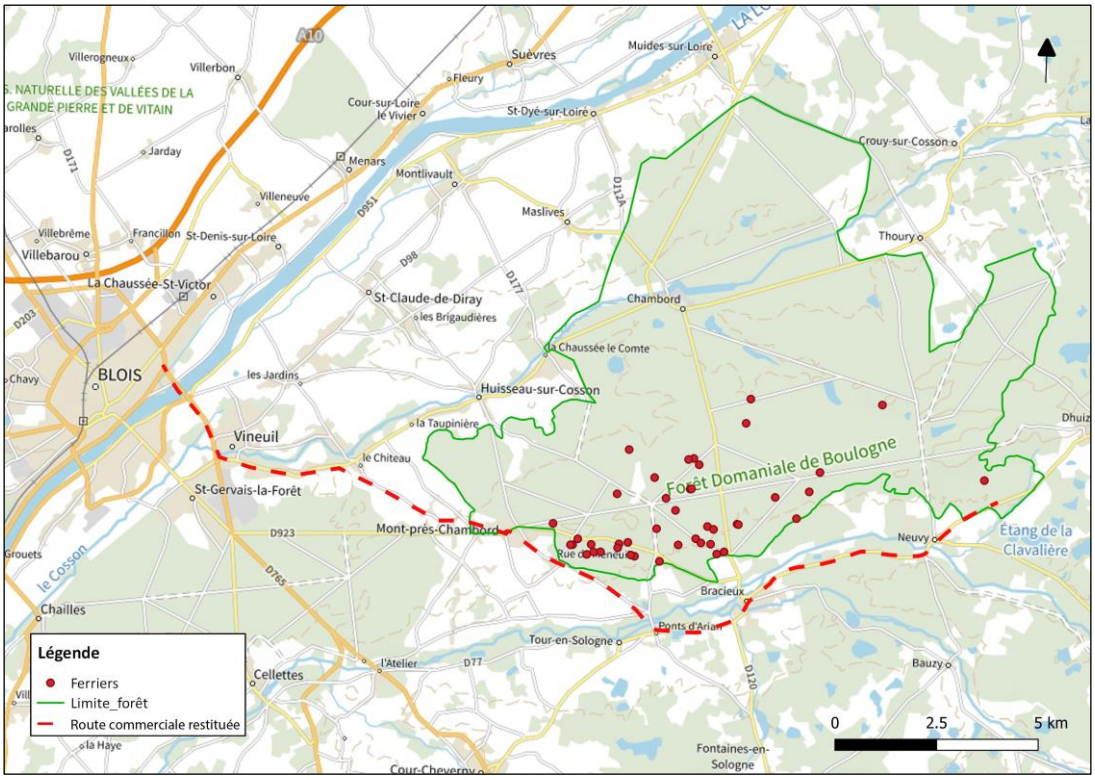


Fig. 262 : Carte du massif de Boulogne-Chambord avec l'emplacement du village de Bracieux et le tracé schématique de la voie Blois-Bourge

Dans la forêt de Châteauroux, deux périodes d'activités métallurgiques sont reconnues (*Supra* 5.5). On dispose de peu d'informations concernant l'occupation du massif à la période antique. Elles sont plus nombreuses en ce qui concerne les villes autour de la forêt. Au nord, on observe un habitat rural au Poinçonnet, une sépulture gallo-romaine à Lourouer-au-bois et un habitat diffus dans la commune de Châteauroux (FOUILLET 2014 : 25) (**Fig. 263**). À l'est, une *villa* gallo-romaine est signalée à Ardentes sur le chemin de Dressais, des traces de l'agglomération secondaire sont visibles au lieu-dit « Le bourg » et un ferrier au lieu-dit « Les Landes » (LICHON 2004 : 3). En outre, la *Chaussée de César*, voie romaine importante, traverse

245. AN : KK 300-301, folio 2.

la forêt au sud-est pour rejoindre Ardentes (*Supra* 9.2.1) (BATARDY, BUCHSENSCHUTZ, DUMASY 2001 : 110). La route située à l'ouest de la forêt qui se dirige vers la ville de Déols était probablement déjà présente. Enfin, la Bouzanne, cours d'eau localisé au sud du massif, était navigable pendant l'Antiquité (BATARDY, BUCHSENSCHUTZ, DUMASY 2001 : 108).

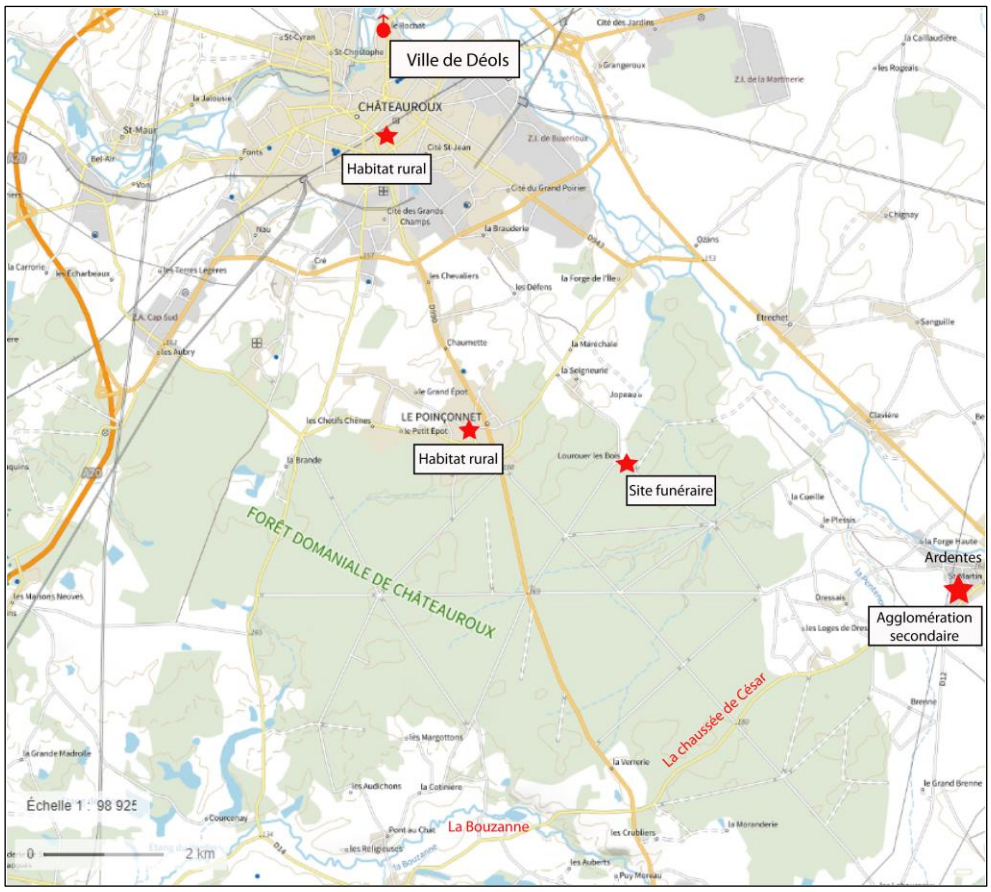


Fig. 263 : Carte des sites antiques connus dans et autour de la forêt de Châteauroux

On dispose d'un plus grand nombre d'informations sur l'occupation de la forêt au Moyen Âge central. Tout d'abord, le « Château de la Motte », dont il reste aujourd'hui deux grands fossés surmontés d'un talus (*Supra* 2.2.2) a livré, lors des prospections pédestres, des restes de céramique similaires à ceux mis au jour dans l'atelier F090. Le prieuré de Châteauroux, ou prieuré de Sauzay, connu grâce aux textes anciens, est situé non loin de cette motte. Il a été fondé par Raoul VI[246] au Moyen Âge central et est en ruine dès le XVIIe s. (GUIBERT 1877 : 874). Il était donc actif lors de l'installation des ateliers métallurgiques médiévaux. Sur le pourtour du massif, on note la présence d'une maison forte à « La Seigneurerie » au nord-est du

246. (1070-1128)

Poinçonnet, d'une motte castrale à l'emplacement du Château du Maine et d'un possible château fort au lieu-dit la « Loge des quatre nations » (FOUILLET 2014 : 25) (**Fig. 264**). À l'est, on peut également observer à Ardentes, une motte castrale au lieu-dit « Les loges du Plessis » ainsi que des maisons fortes aux lieux-dits « Valières » et « Villejovet » (LICHON 2004 : 3). Un ou plusieurs marchés sont attestés à Déols au XIIe s. (RAYNAL 1844 : 44) ainsi qu'une foire au XIIIe s. (RAYNAL 1844 : 102). Enfin, il est probable que les trois routes antiques qui contournaient la forêt soient encore en usage à cette période.

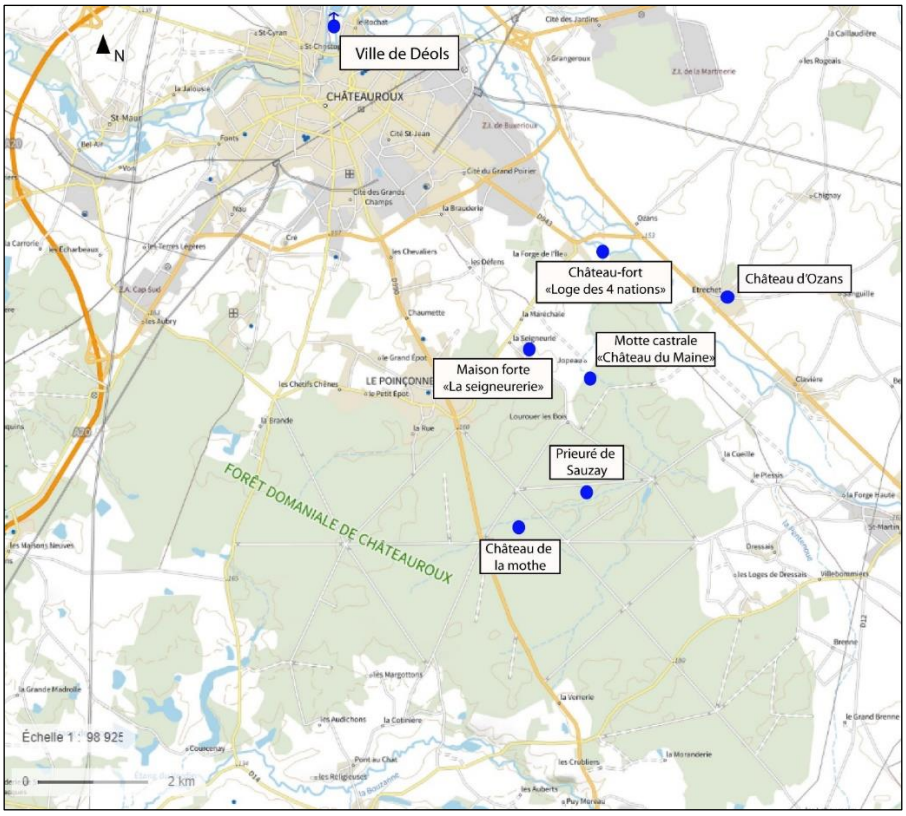


Fig. 264 : Carte des sites médiévaux connus dans et autour de la forêt de Châteauroux

Ces données révèlent que les deux massifs de ce corpus sont des espaces actifs lors de l'installation des activités métallurgiques et qu'ils disposent d'une bonne structuration facilitant la mobilisation des matières premières et produits finis par les artisans.

Conclusion

Les zones métallurgiques de cette étude s'implantent en milieu forestier, probablement pour faciliter l'accès au combustible. Le charbon de bois utilisé est issu d'une activité de charbonnage adaptée à la production du fer (emploi exclusif d'essences très calorifères, utilisation de charbons d'aubier) et de qualité (séchage des bois avant carbonisation, stockage dans de bonnes conditions, etc.). Les charbonniers ont vraisemblablement travaillé à partir d'une exploitation mixte de taillis et de futaie. Il est uniquement possible, pour l'instant, de restituer l'ampleur de la surface de bois exploitée par l'activité métallurgique en forêt de Boulogne-Chambord, soit environ 1 400 à 1 570 ha sur 200 ans. L'impact de cette exploitation sur la forêt, probablement en cours de régénération, a donc dû être assez important. On ne connait actuellement aucune comparaison d'exploitation de bois de cette ampleur pour cette période. Elle est néanmoins inférieure à celle des gros centres sidérurgiques du Moyen Âge central, tels que Clairvaux, Champigny et, peut-être, Paimpont. L'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord présente donc une envergure à la transition entre les centres sidérurgiques alto-médiévaux encore timides et les grandes exploitations ecclésiastiques ou coopératives du Moyen Âge central.

Il existe quelques différences entre ces deux massifs, notamment l'accès à la matière première. Ce point pourrait être l'une des clefs essentielles de compréhension de l'évolution de l'activité métallurgique au cours du temps. En effet, les artisans de la forêt de Châteauroux au Moyen Âge profitent de conditions environnementales idéales pour la fabrication du charbon de bois (très bon rendement), contrairement à Boulogne-Chambord où l'on restitue une faible capacité de régénération des bois au haut Moyen Âge et donc un mauvais rendement. L'installation d'un centre sidérurgique ayant des besoins en combustibles très importants dans cette forêt aux conditions de croissance difficile pourrait donc être de l'une des raisons pour lesquelles la production du fer n'a pas perduré.

Les informations fournies par les conditions de croissances des bois permettent de préciser les conditions environnementales contemporaines de l'activité métallurgique. Dans la forêt de Boulogne-Chambord on peut restituer la présence d'au moins une chênaie dont la croissance difficile peut correspondre à une péjoration climatique reconnue sur le territoire entre les VIe - VIIe s. et les VIIIe – IXe s. (MAGNY 1995) et/ou à une mauvaise gestion du couvert végétal (trop de concurrence entre les essences). En ce qui concerne le massif de Châteauroux, on peut imaginer au moins une chênaie-hêtraie peu dense ou morcelée, croissant dans la demi-ombre et sur un sol bien drainé et peu acide. Ces conditions sont similaires à celles actuelles.

Enfin, trois facteurs anthropiques peuvent avoir eu un rôle prépondérant dans l'implantation des ateliers de ces deux massifs. Le premier est la proximité des voies de circulation (moins de 500 m), associées ou non à un parcellaire. Ces voies peuvent être restituées dans les deux massifs étudiés et sont régulièrement mises en évidence lors de l'analyse de zones sidérurgiques (Bas Maine, *Argentomagus*, etc.). Le deuxième est l'éloignement des ateliers par rapport aux espaces habités, au moins au Moyen Âge, et peut-être aussi des aires de charbonnage. Ce dernier point nécessite toutefois des recherches plus avancées dans les deux massifs. Le troisième facteur est la présence de lieux de vente dans ou autour du massif. Ils se présentent sous la forme d'espaces de commerce (marché, foire) ou d'habitats (agglomération secondaire, motte, prieuré, etc.) et peuvent être à l'origine de la demande en fer à laquelle les ateliers tentent de répondre.

Le contexte environnemental et anthropique de ces espaces étant dressé, on peut à présence combiner ces informations avec les caractéristiques spatiales, technologiques et productives définies pour chaque ensemble métallurgique des deux espaces qui nous intéressent. Le croisement de ces données a pour objectif de reconstituer, dans le prochain et dernier chapitre de cette thèse, une synthèse de l'histoire de la production du fer dans ces zones sidérurgiques au cours du temps.

Chapitre 10 - Une histoire de la production du fer dans les forêts du centre de la France

L'histoire de la métallurgie en région Centre est principalement connue dans l'Indre pour l'Antiquité et la Protohistoire. Le Moyen Âge est plus difficile à appréhender, mais il se dévoile peu à peu, notamment grâce à l'archéologie préventive. Il s'agit toutefois de petites fenêtres ouvertes sur un immense domaine qui nécessite aujourd'hui des points de comparaison plus solides. L'absence d'informations dans les archives n'aide pas à la compréhension de cet artisanat, c'est donc sur le croisement des données historiques, archéologiques et environnementales qu'il faut s'appuyer pour espérer esquisser son profil et celui des personnes concernées.

Ce chapitre vise à synthétiser les résultats acquis tout au long de ce travail de recherche, en présentant l'histoire des espaces sidérurgiques étudiés et des forêts qui les ont accueillis ou côtoyés. Enfin, replacer ces espaces sidérurgiques dans leur contexte historique permet d'accroitre nos connaissances concernant les caractéristiques de la métallurgie dans ces régions (technique de production, organisation spatiale des ateliers) ; de mettre en évidence différentes stratégies économiques et leur possible évolution au cours du Moyen Âge (ateliers isolés, centre métallurgique).

10.1 Boulogne-Chambord : un important centre sidérurgique alto-médiéval

L'activité métallurgique mise en évidence en forêt de Boulogne-Chambord est le résultat d'une seule phase de production qui prend place au haut Moyen Âge. À cette période, le territoire français actuel est dirigé par les Mérovingiens. Blois entre dans le territoire du royaume d'Orléans, dirigé par Clodomir, comme Tours, Poitiers et Bourges. Cet espace est agrandi en 567 par Gontran, petit-fils de Clovis, qui fonde le royaume de Bourgogne (LE JAN 2015 : 18). La période est très perturbée par les guerres de succession lors desquels le royaume de Bourgogne s'allie tour à tour avec la Neustrie puis l'Austrasie (*Supra* **Fig. 11**). Blois se trouve alors à la frontière entre ces royaumes et doit probablement en subir les affres. La paix revient lorsque Clothaire II parvient enfin à réunir les royaumes en 613. Le territoire reste globalement le même jusqu'à la fin du VIe s., puis il est de nouveau morcelé. À la fin du règne de Dagobert Ier (639), la lignée des Mérovingiens est affaiblie, l'aristocratie franque acquiert de plus en plus de pouvoir et les identités régionales se renforcent (LE JAN 2015 : 20). Ce contexte favorise la prise de pouvoir des Carolingiens au début du VIIIe s. avec Charles Martel[247] (LE JAN

247. (688-741)

2015 : 22). Toutefois, l'administration du royaume ne connait pas de modifications importantes avant le IXe s. En effet, depuis le VIe s., la *civitas* de Chartres est divisée en sept *pagi*, dont Blois qui dispose alors d'une certaine attractivité (ROBREAU 2012 : 55). Un atelier monétaire est implanté au VIIe s., ce qui témoigne de cette importance retrouvée. Il est possible que les comtes de Blois s'y installent à cette époque (BOUSQUET 1738b : 196). En ce qui concerne l'actuelle forêt de Boulogne-Chambord, on dispose de peu d'information la concernant. On suppose toutefois que le village de Bracieux, situé au sud des ateliers métallurgiques, était un petit carrefour commercial entre une voie menant d'Orléans à Limoges et une ancienne route antique allant de Blois à Bourges (*Supra* 9.2.2).

10.1.1 Un espace de passage, organisé, mais peu propice à la croissance de la forêt

Lors de l'implantation des ateliers métallurgiques, l'espace qui les accueille est en cours de transition. Il semble qu'il passe progressivement d'un milieu assez ouvert, consacré à une activité agropastorale, à une forêt relativement morcelée (*Supra* 9.2.1). Cette forêt existe déjà lorsque les métallurgistes s'y installent. Elle est au moins composée d'une grande chênaie exploitée en taillis et en futaie (*Supra* 9.1.1). On en connait toutefois pas les limites exactes. En règle générale, les chênes apprécient un climat ensoleillé et relativement chaud ainsi qu'un sol humide et assez acide. Or, ces conditions ne sont pas réunies, la difficile croissance des bois en témoigne. Deux facteurs pourraient expliquer ce phénomène, les très mauvaises conditions climatiques connues sur le territoire entre les VIe - VIIe s. et les VIIIe – IXe s. (MAGNY 1995) et/ou une mauvaise gestion du couvert végétal (trop de concurrence entre les essences).

Trois itinéraires, mis en évidence à partir de la résilience des chemins anciens, la présence de chemins tressés et la toponymie, sont restitués pour cette période dans le sud-ouest du massif actuel, là où les ateliers métallurgiques sont concentrés (*Supra* 9.2.1). Ils mènent de Bracieux à Mont-prés-Chambord, de Bracieux à Huisseau-sur-Cosson et de Bracieux à la Chaussée-le-Comte. Le fait qu'ils convergent tous vers Bracieux conforte l'idée qu'un habitat groupé s'y trouve. D'autres chemins existaient probablement, ils sont toutefois indécelables à l'aide des sources dépouillées pour cette étude. En plus des axes de circulations, cet espace semble, au moins en partie, organisé grâce à un découpage antique signalé par des talus. Tout comme les chemins, il existe donc peut être une résilience du parcellaire entre l'Antiquité et le haut Moyen Âge. A cette époque, l'espace autour des ateliers n'est pas vide. Une quinzaine de sites d'habitats et une zone regroupant plusieurs bâtiments ruraux sont attestés (LAPLAIGE *et al.*

2018 : 92-94). La majorité de ces sites se trouvent à l'est de l'espace métallurgique (**Fig. 265**). La fumée et les rejets engendrés par cette activité peuvent peut-être expliquer cet éloignement. La zone regroupant plusieurs bâtiments ruraux est localisée à seulement 2 km de la concentration d'atelier. Y avait-il un lien entre les ateliers et cette zone d'habitat ? Cet espace étant dans une zone de régénération forestière fermée lors des prospections, il a été impossible de le prospecter.

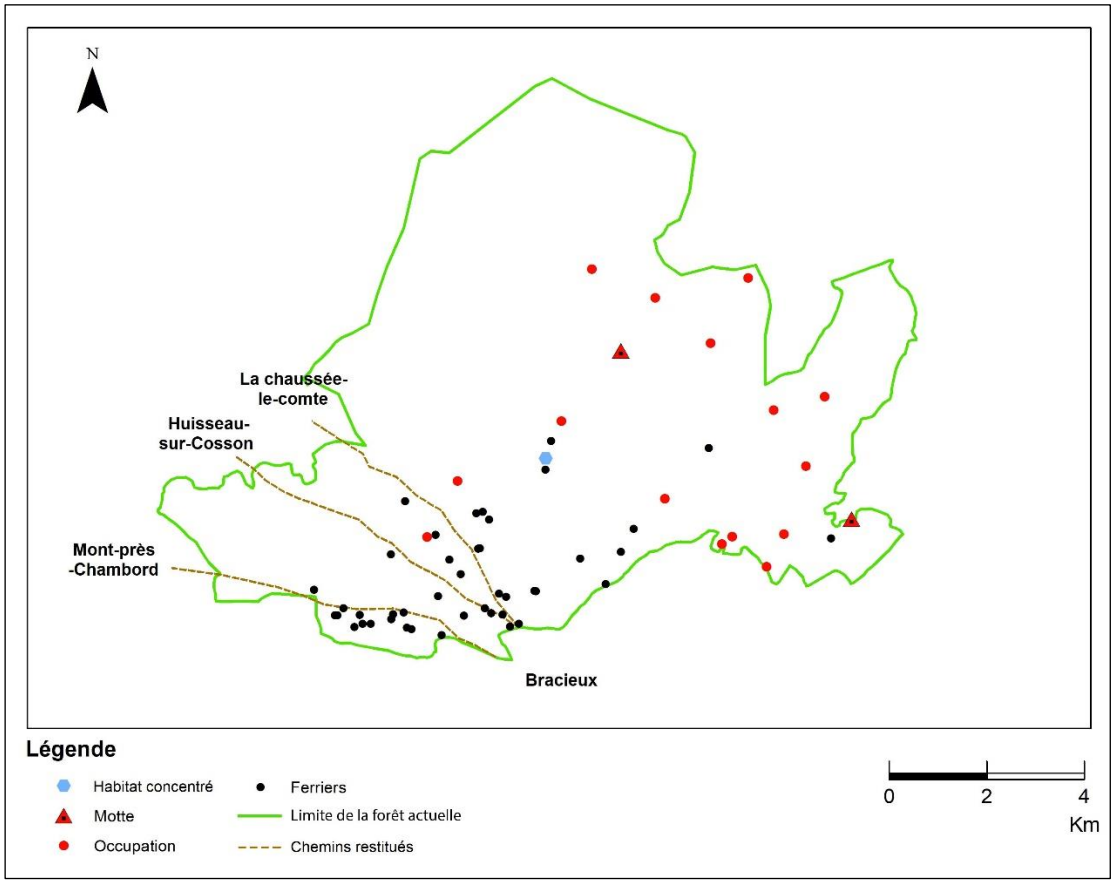


Fig. 265 : Restitution de l'environnement dans lequel l'activité métallurgique a pu s'implanter en forêt de Boulogne-Chambord au haut Moyen Âge

10.1.2 Un centre métallurgique étendu et homogène

La région sidérurgique de Boulogne-Chambord comprend un seul ensemble métallurgique constitué de 43 ateliers datés des VIe - VIIe s. Presque tous installés dans la partie centrale et méridionale de la forêt actuelle (environ 55 km²), ces ateliers ont majoritairement engendré des amas de déchets de faibles dimensions (< 400 m^3). Ce sont donc des petites entités de production du fer regroupées dans un espace restreint, pas aussi concentré que dans les gros ensembles métallurgiques de Bourges, de la Puisaye ou de l'Yonne mais similaire à celui de la forêt de Sillé par exemple.

L'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord est caractérisé par une production homogène. Les métallurgistes commencent par préparer le minerai par grillage, puis récupèrent les éléments les plus riches en fer. Ensuite, ils réalisent la réduction de ces éléments dans des fours à scories écoulées dont ils maitrisent visiblement le procédé (conditions de réduction optimales) (*Supra* 7.3.1). Une légère modification de la technique de production est perceptible pendant la durée d'activité des ateliers (changement de matrice des scories, du gabarit des tuyères, quantité moindre de scories internes et de fragments de paroi rejetés). Ce changement entraine un meilleur rendement de la production. Cette amélioration peut être due à une adaptation des métallurgistes en cours d'activité ou indiquer une reprise d'activité après un temps assez court. L'absence de phase d'abandon entre l'utilisation de ces deux techniques est plutôt en faveur de la première hypothèse. Quelle que soit la technique employée, le fer produit est toujours peu carburé à doux (< 0, 2 % de C) (*Supra* 4.3.1 et 7.3.1). Ce type de métal possède une bonne souplesse, mais est très peu résistant et ne prend pas la trempe. Il est utilisé pour la fabrication d'un très grand nombre d'objets comme des clous, des roues, de la vaisselle, etc. et peut être associé à de l'acier pour éviter qu'il ne casse (PAGES 2008 : 206). Ces caractéristiques en font un très bon produit pour le commerce. Le métal ne quitte pas les ateliers sous forme d'une masse brute. Une forge d'épuration de la loupe de fer est attestée sur plusieurs sites métallurgiques (*Supra* 4.4.1 et 7.3.2), ce qui indique qu'elle est probablement compactée et transformée en barres ou lingots avant d'être exportée.

La fouille de l'atelier F155/1 révèle une véritable organisation de l'espace artisanal (*Supra* 7.1). Il est délimité par un fossé à l'intérieur duquel se trouvent les différents espaces de travail (aire de grillage, de réduction et d'épuration) distants d'une dizaine de mètres les uns des autres. Leur position induit un déplacement circulaire sur une surface d'environ 70 m². En comparaison, l'atelier médiéval de Boécourt « Les Boulies », comprenant deux fours de réduction et une aire de grillage, s'étend sur environ 30 m² (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 94). L'atelier métallurgique de Boulogne-Chambord est donc d'ampleur moyenne. Ces caractéristiques témoignent de l'optimisation de l'espace par les métallurgistes, tout comme l'installation des fours de réduction sur une pente naturelle afin de faciliter l'écoulement de la scorie et la délimitation de l'espace de rejet par un creusement circulaire. La préparation et l'optimisation de l'espace de travail, tout comme l'amélioration de la technique de production mentionnée précédemment, confirme que les artisans disposaient de solides connaissances de leur métier.

On peut restituer la fabrication d'environ **960 t de fer** par l'ensemble des ateliers métallurgiques de Boulogne-Chambord sur une période d'environ 200 ans. Il est toutefois impossible de préciser la durée effective de cette production. Les comparaisons sont peu nombreuses pour le haut Moyen Âge en région Centre où seuls deux autres ateliers sont connus : « Les Ferrys » (Loiret) et « Bois Messire Jacques » (Cher). Une tentative de restitution de la production est encore plus rare pour ces ateliers.

L'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord à produit plus que la majorité des sites métallurgiques alto-médiévaux connus, tels que l'atelier de « Bois Messire Jacques » (Cher) (4,7 t) (BEYRIE 2016 : 99), Saint-Dizier (Haute-Marne) (2 t) (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 342), Ludres (LEROY, FORRIERE, PLOQUIN 1990 : 143) et Frouard (Meurthe-et-Moselle) (2 t) (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 342). Il peut donc être considéré comme l'un des plus importants centres sidérurgiques de cette période.

L'importante quantité de métal produite avait probablement pour objectif d'alimenter un commerce local, voire régional. Pour ce faire, à la sortie des ateliers, le métal pouvait être acheminé par les axes de circulation restitués autour des ateliers métallurgiques vers les lieux où se concentrait la demande ; tels que Bracieux ou Blois (**Fig. 266**). La Loire, fleuve très exploité pour le commerce depuis l'Antiquité jusqu'à récemment, a également pu être un acteur de la distribution de ce fer dans la région, comme le Beuvron et le Cosson également.

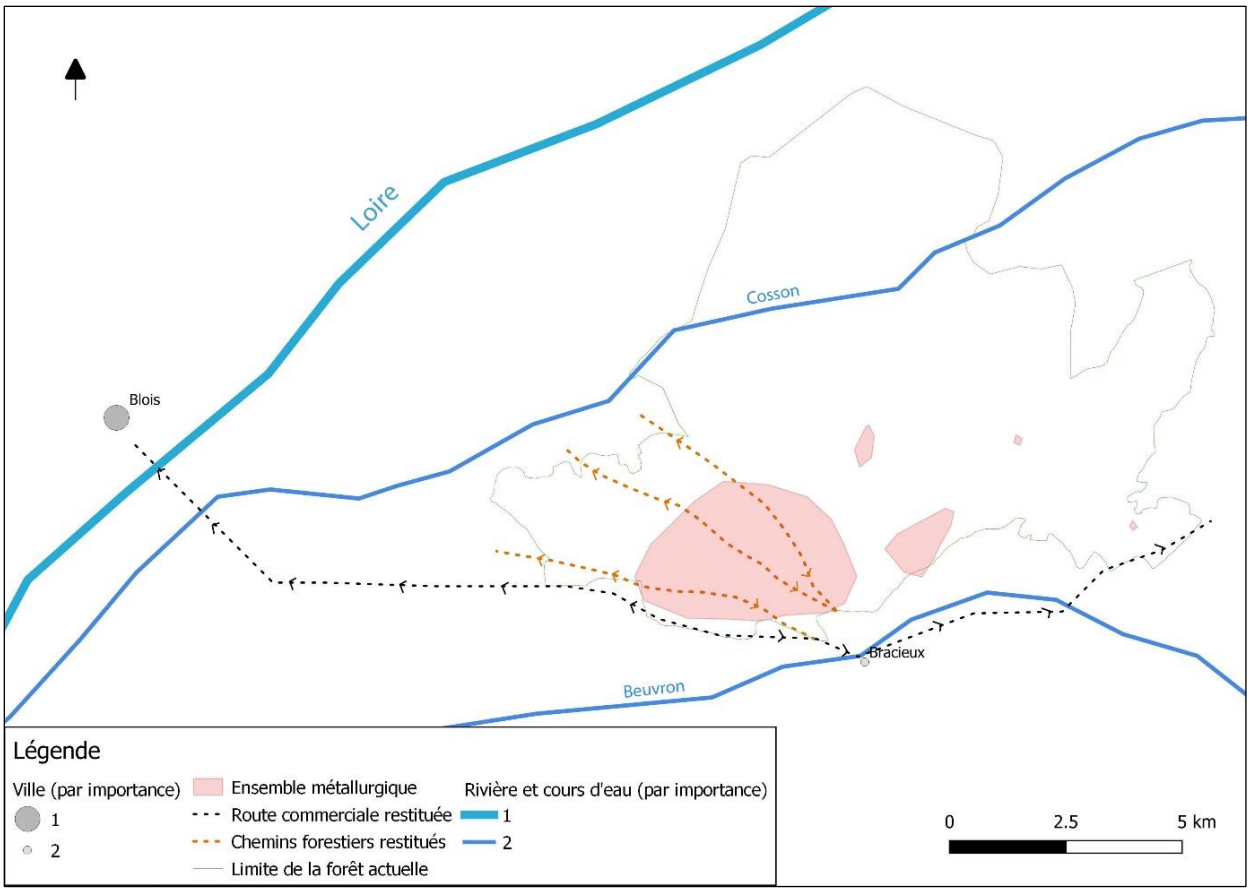


Fig. 266 : Carte restituant les flux de métal sortant de la zone de production du fer

Cette production a nécessité l'exploitation d'environ **3 000 t** de minerai de fer, dont l'origine est inconnue. La carte géologique, la signature chimique et les assemblages d'éléments lithiques ramassés dans l'atelier F155/1, laissent supposer qu'il pourrait notamment avoir été importé depuis la région de Romorantin, entre Villefranche-sur-Cher et Gièvres, à environ 35 km au sud-est (*Supra* 6.1.1). Cet espace se trouvait également à la frontière entre le royaume de Bourgogne et la Neustrie aux haut Moyen Âge, il est donc impossible, en l'absence de texte, de savoir s'il était sous le contrôle des mêmes personnes que Boulogne-Chambord.

En outre, la fabrication du fer par l'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord a entrainé l'utilisation d'environ **8 900 à 10 000 t de charbon de bois** (*Supra* 9.1.2). Les charbonnières étaient probablement situées non loin des ateliers métallurgiques. Le charbonnage était visiblement adapté à la production du fer (emploi exclusif d'essences très calorifères, utilisation de charbons d'aubier) et de bonne qualité (séchage des bois avant carbonisation, stockage dans de bonnes conditions, etc.). On restitue ainsi l'exploitation d'environ **1 400 à 1 570 ha de bois** par ces ateliers. Cela représente environ un tiers de la forêt

domaniale de Boulogne actuelle. Ne disposant pas de la durée réelle d'activité, il est difficile d'établir l'impact de cette exploitation. Néanmoins, si ce prélèvement a été réalisé pendant les 200 années d'activité supposées, on peut restituer la coupe de 280 à 470 ha de bois tous les 40 à 60 ans. Cette exploitation est alors plus intensive que celle des sites métallurgiques alto-médiévaux des Clérimois (DUNIKOWSKI, CABBOI 1995 : 126), de Bellaire 1 et 3 (PELET 1993 : 99) ; mais elle est moins importante que celle des ateliers médiévaux de Clairvaux et de Champigny (EVE, LEROUX, BENOIT 2019 : 131). Ces données confirment que l'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord est un centre sidérurgique alto-médiéval important mais qu'il n'est pas aussi développé que les gros centres qui voient le jour au Moyen Âge central. Cette exploitation ne semble pas, à première vue, si néfaste pour le massif forestier. Toutefois, le fait que la forêt soit en cours d'extension, que l'activité métallurgique ait pu en réalité durer moins de 200 ans et surtout que l'on ne considère pas les autres domaines profitant de la forêt (chauffage, autres artisanats liés au feu, bois d'œuvre, etc.), laisse tout de même supposer un impact lourd sur la ressource ligneuse. Cette exploitation intense pourrait expliquer pourquoi la production du fer n'a pas perduré dans cet espace.

Ainsi, la production du fer se caractérise à Boulogne-Chambord par son ampleur et sa soudaineté. Une question s'impose : si la région ne dispose pas des ressources pour produire di fer, comme en Normandie, dans le Berry, en Champagne ou encore en Lorraine, les artisans ne se seraient-ils pas déplacés vers ce lieu ? On sait qu'au VIe-VIIe s., le Blésois appartient au royaume de Bourgogne qui s'étend au-delà de la Suisse actuelle. Or, cette période est également connue pour ses importantes migrations de population depuis l'est vers l'ouest. Bien qu'hypothétique, on peut imaginer que le développement de cette activité puisse être dû à l'arrivée d'un seigneur ayant une appétence pour le commerce du fer ou de métallurgistes venus de l'est. Les similitudes observées entre l'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord et certains ateliers de l'est, tels que Boécourt « Les Boulies », confortent cette idée. Il peut cependant exister un effet source qui pourra s'atténuer uniquement avec l'étude d'un plus grand nombre d'ateliers métallurgiques alto-médiévaux.

10.2 Châteauroux : un artisanat discontinu dans le temps

10.2.1 Une première phase de production pendant l'Antiquité

Une première phase de production du fer est reconnue dans ce massif forestier entre le début du Ier s. et le début du IIIe s. (*Supra* 5.5). À cette période, la région est occupée par les Bituriges *Cubi* dont la capitale est *Avaricum*, actuelle ville de Bourges. Riche en minerai de fer, elle est exploitée très tôt (*Supra* 2.2.2). Elle est reconnue par César[248] et, plus tard, par Strabon[249] pour ses mines et ses forges ; ainsi que par *Rutulius Claudius Numatianus*[250] qui précise :

Aux métaux s'offre Ilua de Chalybes fameuse,
Mais la terre Norique est bien si plantureuse
La ferriere en Berry aux grans fourneaux ne passe
Ne du glaz Sardouin la doucoulante masse

On dispose de peu d'indices concernant la forêt de Châteauroux et son occupation à cette période (*Supra* 9.2.2). Au regard de l'ampleur de l'activité métallurgique, on peut uniquement supposer un très important besoin en bois et donc l'existence, déjà à cette époque, d'une forêt à proximité ou à l'emplacement de la forêt actuelle. Les ferriers antiques étant répartis dans les trois quart sud de la forêt actuelle, en supposant que ce massif était déjà présent, il l'était peut-être sur une plus petite superficie.

L'activité métallurgique est principalement organisée autour d'une voie nommée *Chaussée de César* qui mène de Bourges (*Avaricum*) à Argenton-sur-Creuse (*Argentomagus*) en passant par Ardentes *(Alerta).* Elle traverse la partie sud-est de la forêt actuelle (*Supra* 9.2.1). Deux autres routes antiques sont restituées de part et d'autres de la forêt actuelle. Elles convergent vers Déols au nord, l'une mène à Argenton-sur-Creuse au sud-ouest et l'autre à Châteaumeillant au sud-est (*Supra* 2.2.2). Enfin, la Bouzanne, cours d'eau localisé au sud du massif, est probablement navigable pendant l'Antiquité (BATARDY, BUCHSENSCHUTZ, DUMASY 2001 : 108). Ces axes de circulation mènent donc vers plusieurs villes dont l'intérêt économique est attesté, telles qu'Ardentes à l'est ; Déols, agglomération plus importante implantée au moins depuis le Ier s. au nord ; Bourges à l'est et Argenton-sur-Creuse au sud-ouest.

248. *Guerre des Gaules,* VII, 22-28.
249. *Géographie,* IV, 2.
250. *De Reditu suo,* I, 350.

Deux ensembles métallurgiques sont mis en évidence pour la période Antique (*Supra* 6.3.2). Le plus important (ensemble 1), rassemble 22 ateliers, au sédiment noir et bicolore, principalement localisés le long d'une possible voie, au sud de *La chaussée de César* (**Fig. 267**). Ces ateliers sont caractérisés par la réduction du fer dans des fours à scories écoulées dont les conditions de réduction permettent de réaliser des opérations de bonne qualité (*Supra* 5.3.2). Un travail d'épuration de la loupe de fer est uniquement supposé dans l'atelier F085. Le deuxième ensemble métallurgique antique (ensemble 2), regroupe six ateliers principalement bicolores, situés au centre et au sud du massif. Datés entre le Ier et le IIe s., ces derniers sont probablement contemporains des ateliers précédents. On y a également réduit le fer à l'aide de fours à scories écoulées mais la typologie des scories et les observations métallographiques montrent que la technique de production était moins efficace que dans l'ensemble 1.

L'ampleur de la production de ces deux ensembles est également différente. L'ensemble 1 a engendré des ferriers aux dimensions hétérogènes dont le volume total restitué est de 24 300 m³ de scories. L'ensemble 2, comprend uniquement des grands ferriers (> 1 000 m^3) qui ont produit environ 7 790 m³ de scories. Il est difficile de comparer ces volumes à ceux d'autres ensembles sidérurgiques, car ils y sont généralement restitués à l'échelle d'un atelier ou d'une région métallurgique sans distinction chronologique ou fonctionnelle. L'ensemble 1 a produit un volume de déchets inférieur à celui restitué, toutes périodes confondues, pour la région sidérurgique de Charnie (Mayenne) (SARRESTE 2011 : 246) (100 000 m^3) et la forêt de Sillé (Sarthe) (86 280 m^3) (SARRESTE 2011 : 178). Ce volume est toutefois supérieur à celui de la zone sidérurgique de Pail (Mayenne) (17 210 m^3) (SARRESTE 2011 : 247). Loin de concurrencer les grands centres antiques de la région, cet ensemble dispose d'une envergure moyenne. L'ensemble 2, quant à lui, est un petit centre sidérurgique.

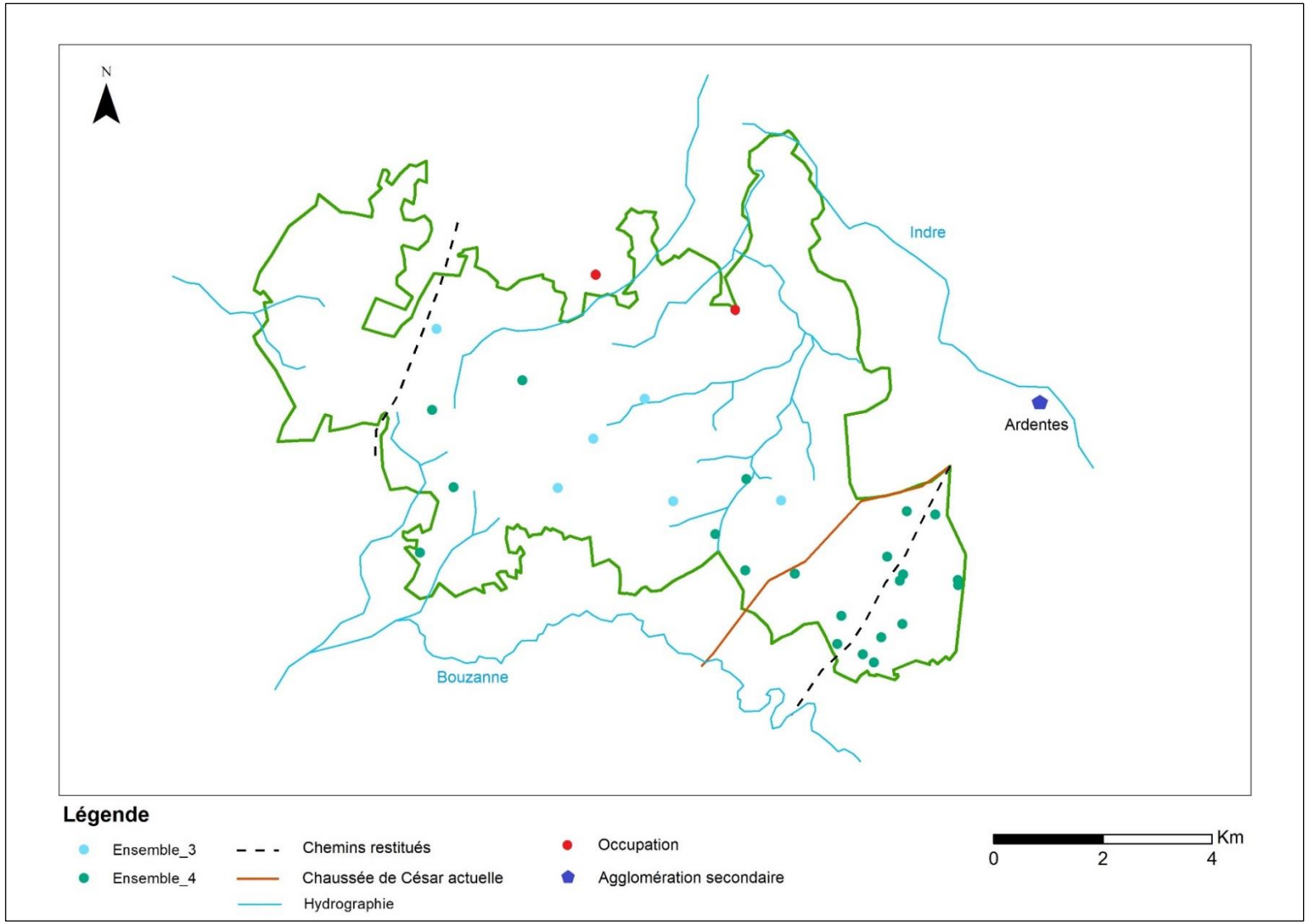


Fig. 267 : Restitution de l'environnement dans lequel l'activité métallurgique a pu s'implanter en forêt de Châteauroux aux Ier-IIIe s

L'importance de la production de l'ensemble 1 indique qu'elle avait vraisemblablement un but commercial. L'utilisation d'une technique de réduction efficace et l'implantation des ateliers à proximité de la voie antique menant vers *Avaricum* et *Argentomagus* étaye cette hypothèse. Pour l'ensemble 2, le volume de déchet et la technique de production de moins bonne qualité induit certainement une diffusion plus limitée et locale du métal. Le surplus, s'il y en avait, pouvait facilement être vendu à Déols, desservie par deux hypothétiques axes de circulation à l'ouest et à l'est. On peut ainsi soumettre l'hypothèse selon laquelle les deux ensembles métallurgiques antiques de la forêt de Châteauroux ont fait l'objet de volontés différentes, probablement sous l'impulsion d'artisans et/ou d'instigateurs distincts. Il est également possible que les métaux produits, de qualités différentes, étaient destinés à des usages distincts.

La plupart des ateliers de ces ensembles ont probablement employé un minerai issu de couches géologiques ferrugineuses datées du jurassique et/ou de leurs couches d'altérations éocènes (*Supra* 6.1.1). Ce type de minerai est présent à proximité des ateliers métallurgiques concernés (***cf* vol.2, Fig. 6**). Néanmoins, un site métallurgique (F179) a utilisé, au moins en partie, un minerai différent des autres mais similaire à celui mis au jour dans les ateliers sidérurgiques de Nozières et d'Allogny (Cher) ; peut-être est-il issu de la formation d'Ardente proche de ces ateliers ?

Toutes les matières premières nécessaires à la production du fer semble donc provenir d'un espace situé à proximité directe des ateliers. Le métal produit était, quant à lui, destinées à la population locale ou exporté vers les grandes villes alentours par des itinéraires établis. Le commerce du fer antique à Châteauroux apparait ainsi particulièrement bien organisé.

10.2.2 Une activité métallurgique médiévale à destination locale

A la période médiévale, deux ensembles métallurgiques sont implantés dans le même espace géographique. L'un est daté largement entre les Xe et XVe s. (ensemble 3) et l'autre entre les XIIIe et XIVe s. (ensemble 4) (*Supra* 5.5.4 et 6.3.2). Pendant cette période, la région connait de nombreux changements. D'abord, les seigneurs de Déols, relativement indépendants du pouvoir royal, passent sous la coupe du duc d'Aquitaine au XIe s. (*Supra* 2.2.2). Au cours du XIIe s., elle est annexée par le roi anglais, Henri II, qui impose à sa tête l'un de ses vassaux. Le territoire subit des conflits répétés entre rois de France et d'Angleterre jusqu'au début du XIIIe s., moment où il redevient français. L'administration royale prend alors le pas sur l'emprise seigneuriale et les affaires berrichonnes les plus importantes sont traitées à Paris. Au XIVe s., la

guerre contre les Anglais[251] reprend, le sud du Berry devient une frontière avec l'Aquitaine et le territoire, alors instable, est transformé en duché administré par l'un des fils du roi de France, Jean II. Malgré ces bouleversements constants, les seigneurs de la région conservent leur puissance. Le siège du pouvoir est déplacé de Déols, délaissée au profit des religieux, vers la ville de Châteauroux, peu à peu dotée d'un château en pierre.

La forêt de Châteauroux est mentionnée dès le XIIIe s. dans le cartulaire de l'abbaye de Grandmont[252], également appelé prieuré de Sauzay (*Supra* 9.1.1). Toutefois, sa présence étant largement suspectée aux Ier – IIIe s., on peut supposer une forêt plus ancienne. Aux XIIIe s.- XIVe s., le massif comprend au moins une chênaie et une hêtraie ayant grandi dans des conditions optimales, c'est-à-dire dans la demi-ombre, sur un sol bien drainé et peu acide (*Supra* 9.1.1). En outre, le bois semble avoir été exploité en taillis et en futaie. Nous ne connaissons pas les limites exactes de cette forêt.

Cinq axes de circulation sont restitués autour des ateliers au Moyen Âge (**Fig. 268**). Trois traversent le massif du nord au sud et deux d'est en ouest (*Supra* 9.2.1). Le chemin orienté est-ouest menant vers Ardentes et celui nord-sud filant vers Châteauroux, sont les mêmes que pour l'Antiquité. Les deux axes orientés nord-sud, au centre de la forêt actuelle, semblent présents depuis le Moyen Âge central. Enfin, l'alignement des ferriers permet de supposer la présence d'une quatrième route orientée est-ouest dans la partie nord de la forêt actuelle. Une étude approfondie de ces éléments structurant l'espace ainsi qu'une campagne de datation serait nécessaire pour confirmer ces hypothèses. Au nord-est de l'actuelle forêt de Châteauroux, plusieurs maisons fortes et châteaux sont implantés au Moyen Âge. Dans la forêt, le site le plus significatif est le « château de la Mothe », érigé par les seigneurs de Châteauroux. Peu d'informations sont connues quant à la datation de sa construction. Néanmoins, la céramique exhumée est similaire à celle issue de l'atelier F090. Ces sites sont donc probablement contemporains. En outre, la typologie de ces céramiques confirme que l'on se trouve dans un espace d'échange commercial assez dynamiques (*Supra* 5.5.3). À partir du XIe s., une petite communauté monastique grandmontaine[253] s'installe dans le massif forestier, au prieuré de

251. Guerre de Cent Ans (1337-1453).
252. *Domui de Grandimontis* (B.N.- Manuscrit Français 6787).
253. Ordre religieux dépendant de l'abbaye de Grandmont située dans les monts d'Ambazac (Haute-Vienne). Leur règle sévère restreint la propriété collective (on ne devait posséder ni bétail ni revenus fixes), supprime le droit de se plaindre en justice et donne aux convers toute autorité sur le plan temporel. Favorisée par les Plantagenêts, leur expansion fut aussi rapide au XIIe s. que celle des Cisterciens (DUVAL 2017).

Sauzay. En Bourgogne et en Lorraine, la métallurgie est souvent associée à des religieux tels que les cisterciens ou, dans une moindre mesure, les chartreux (GILLE 1968 ; BENOIT, CAILLEAUX 1991 ; LEROY 1997 : 218-226). Le développement de cet artisanat est motivé soit par une volonté d'ouverture économique, c'est le cas de l'ordre cistercien (BRAUNSTEIN 1987 : 747), soit pour une activité plus domestique telle que la fabrication et l'entretien de l'outillage. La concentration des ateliers métallurgiques le long d'un éventuel itinéraire est-ouest passant non loin de cette abbaye et de la motte castrale, peut indiquer que ces occupations sont des acteurs significatifs dans le développement de l'artisanat du fer ; que ce soit pour leur construction ou leur défense dans cette région instable au Moyen Âge. Enfin, un ou plusieurs marchés permettant d'écouler le fer sont attestés à Déols (RAYNAL 1844 : 44) et Châteauroux (DEVAILLY 1973 : 578) au XIIe s., ainsi qu'une foire au XIIIe s. (RAYNAL 1844 : 102). Les chartes de franchise de Châteauroux[254] mentionnent d'ailleurs la présence des artisans du fer sur ses marchés (DEVAILLY 1973 : 578) :

Ferri vendent ferrum fabricatum

A cette période, deux ensembles métallurgiques sont identifiés (*Supra* 6.3.2). Le plus important (ensemble 3) comprend quatre ateliers au sédiment bicolore plutôt concentrés au nord-est, autour de l'abbaye de Grandmont et de la motte castrale. On connait peu de choses sur ces ateliers. Leur technique de production est difficile à déterminer mais il semble que les artisans y utilisent des fours à scories écoulées ainsi qu'une méthode de réduction aussi bien maitrisée que pour celle de l'ensemble antique le plus important. Leur datation est également très imprécise, entre le Xe et le XVIe s. Cet ensemble a produit autant de déchets métallurgiques (9 200 m^3) que celui de Boulogne-Chambord (9 150 m^3) mais à une période où de grands centres sidérurgiques se développent comme ceux de la forêt de Paimpont (Ille-et-Vilaine), de Mervent-Vouvant (Vendée), d'Othe (Aude/Yonne), de Beaumont-le-Roger (Eure), de Noirlac (Cher) et de Clairvaux (Aube). Le métal produit était donc probablement destiné à un besoin local assez important (abbaye, motte castrale, etc.), voire régional (les marchés de Châteauroux et Déols).

254. Cartulaire des seigneurs de Châteauroux, XI, 20

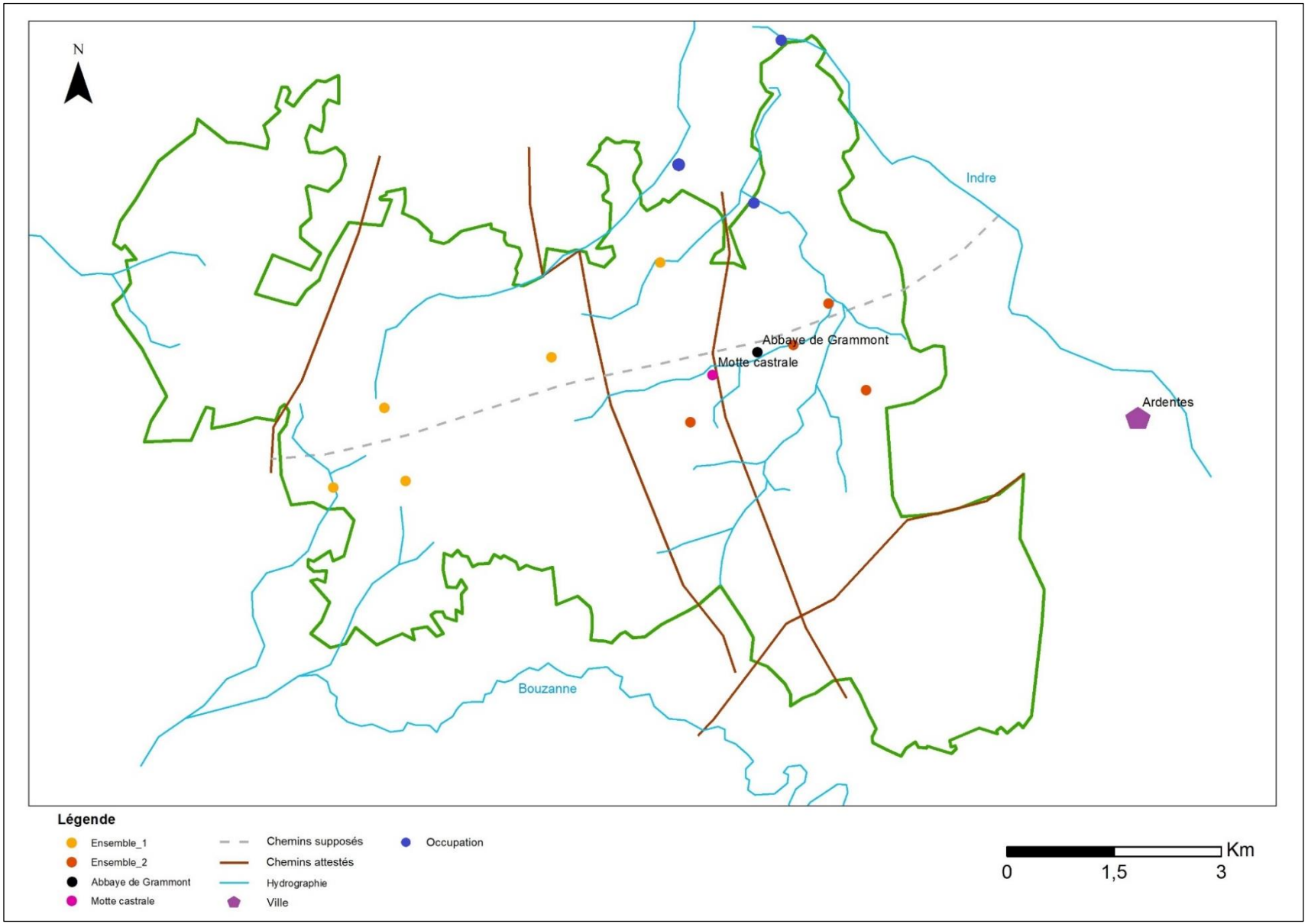


Fig. 268 : Restitution de l'environnement dans lequel l'activité métallurgique a pu s'implanter en forêt de Châteauroux au bas Moyen Âge

Le second ensemble métallurgique (ensemble 4) est mieux renseigné. Il rassemble cinq ateliers composés de sédiment noir, dont deux sont datés entre 1210 et 1280. Ils se trouvent au nord et à l'ouest de la forêt, le long du même axe de circulation que précédemment. Les ferriers qui composent cet ensemble ont des volumes hétérogènes : trois sont de petite taille (env. 200 m^3) et deux ont un volume moyen (entre 500 et 1 100 m^3). Cet ensemble est caractérisé par la préparation et la réduction du minerai de fer dans des fours à scories piégées (*Supra* 8.3.1). Cette technologie est rarement mise en évidence pour la période médiévale. En France elle caractérise plutôt la protohistoire, bien qu'elle soit encore observée dans de petits sites antiques (BERRANGER *et al.* 2017 : 325). Dans ces conditions, l'utilisation de ce type de four pose question : les artisans maitrisaient-ils mieux cette technologie ? Le métal produit avait-il des caractéristiques physiques spécifiques recherchées ? En l'absence de texte il est difficile d'y répondre. On peut néanmoins constater que cette technique de production était finalement assez efficace. Il est probable qu'une forge d'épuration des loupes de fer prenait également place dans ces ateliers. Néanmoins, les indices sont ténus. Le fer produit par cet ensemble est un acier dont la teneur en carbone est hétérogène. L'acier permet la fabrication d'un grand nombre d'objets, sa dureté en fait une matière adaptée à la fabrication d'outils, d'armes, de couteaux et d'éléments de construction.

La fouille d'un des ateliers (F090), a mis en évidence la préparation du sol de l'atelier, notamment à l'aide de creusements, afin d'installer les différentes structures de production (aire de grillage, fours de réduction, zone de rejet) (*Supra* 8.1). En outre, des alignements de blocs de grès et de silex délimitent les différents espaces. Cette organisation a entrainé, comme à Boulogne-Chambord et Oulches (Indre), un cheminement circulaire dans un espace d'environ 150 m². Deux fois plus étendu qu'à Boulogne-Chambord, il s'agit d'un atelier assez étalé. Ces caractéristiques indiquent une bonne maitrise de l'environnement et une optimisation de l'espace de travail par les artisans. On distingue au moins deux phases de production dans l'atelier. La première est définie par l'utilisation de deux grands fours, installés tête-bêche et ayant probablement fonctionnés en alternance. La seconde est constituée d'un plus petit four, probablement à réutilisation multiple, isolé et installé entre deux alignements de blocs de pierre. Il est probable que cet atelier ne soit pas occupé de façon continue, peut-être être de manière saisonnière ?

Il n'a pas été possible de restituer la quantité de métal produit par cet ensemble métallurgique car le minerai utilisé n'a pas été découvert (*Supra* 8.3.1). Néanmoins, il a engendré environ 2 400 m^3 de scories, ce qui fait de cet ensemble le plus petit des quatre identifiés dans cet espace. Le métal était donc sûrement destiné à répondre à un besoin local, peut-être celui des populations installées au nord des ateliers ou, comme précédemment, aux moines du prieuré de Sauzay et/ou aux occupants de la motte castrale (**Fig. 269**).

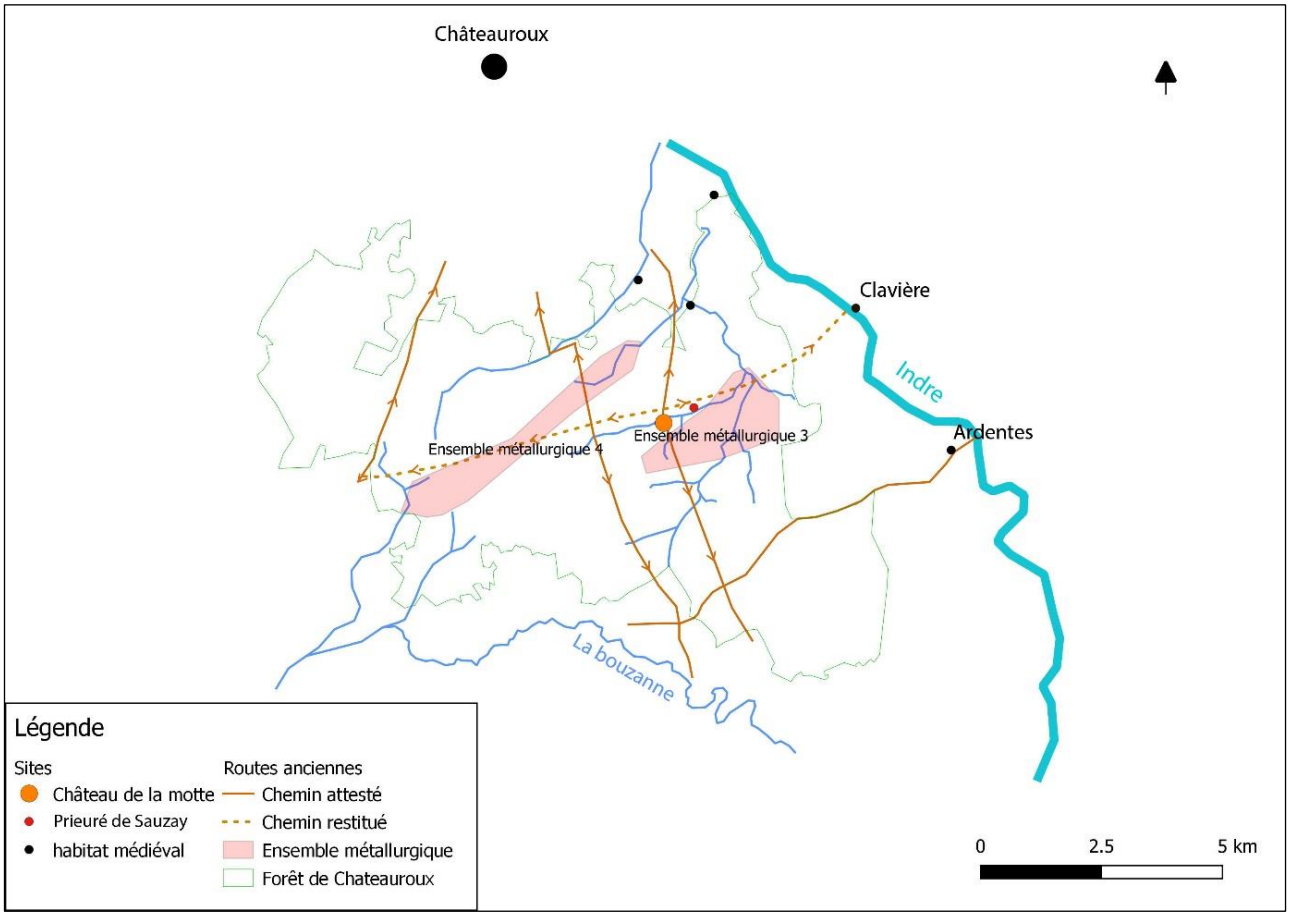


Fig. 269 : Carte restituant les flux de métal sortant des ensembles métallurgiques médiévaux en forêt de Châteauroux

L'atelier (F105/1) a des caractéristiques technologiques mixtes (signature chimique, datation et/ou métallographie) relevant d'un ensemble métallurgique antique et médiéval (*Supra* 6.3.2). Cette observation et l'important volume de son ferrier (env. 1 100 m^3), plus encore que celui des autres ateliers médiévaux, laisse supposer qu'il était exploité durant l'Antiquité et puis réinvesti au Moyen Âge (*Supra* 6.3.2). Cette particularité est également envisagée pour F127 et F035. Le même phénomène s'observe dans l'atelier de Roche Brune (Sarthe) (SARRESTE 2011 : 229-230) et dans la forêt d'Othe (BECK, BRAUNSTEIN, PHILIPPE 2008) par exemple.

Le type de minerai employé dans ces ateliers n'est pas identifié pour le moment tout comme, en l'absence d'un bilan de matière équilibré, la quantité de minerai utilisé (*Supra* 6.1.1). Néanmoins, l'assemblage lithique découvert dans l'atelier F090 coïncide avec les caractéristiques de la formation géologique d'Ardentes et les couches ferrugineuses jurassiques ou leurs couches d'altérations éocènes. On peut donc supposer que le minerai employé par ces ateliers provient soit de la formation géologique d'Ardentes, soit d'un mélange de minerai issu de ces différentes couches géologiques. Au regard de la localisation des ateliers et de l'existence de deux autres sites localisés sur la formation d'Ardentes ayant une signature chimique différente, la seconde hypothèse semble être la plus probable. Une étude approfondie de la signature chimique de minerai provenant des autres couches géologiques serait toutefois nécessaire pour confirmer cette hypothèse. Il a également été impossible de restituer la quantité de charbon de bois utilisé par cet ensemble. Dans ces conditions, il est probable que l'impact sur le couvert forestier a dû être assez limité. Toutefois, si l'on estime que les ateliers médiévaux ont fonctionné, au moins en partie, au même moment, les conséquences de l'activité métallurgique sur l'abattage des arbres ont sûrement été assez importantes. Le charbonnage associé à cet ensemble métallurgique était une activité bien maitrisée par les artisans (sélection de deux essences calorifères, utilisation de petit bois, etc.) (*Supra* 9.1.1). Les métallurgistes ont aussi utilisé ponctuellement des bois recyclés en tant que combustible (des planches par exemple).

10.3 La métallurgie en région Centre : organisation de l'activité et profil des métallurgistes au cours du temps

Il existe quelques sources antiques (textes, gravure, etc.) révélant l'organisation de la sidérurgie en Gaule. Elles sont principalement datées de la fin de la Protohistoire et du Bas Empire tout en apportant quelques indications pour le haut Empire, période pour laquelle les données sont plus rares (DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 31). Ces sources, dont quelques-unes ont été mentionnées précédemment (César, Strabon, etc.), montrent que trois modes d'exploitation du fer existent pendant l'Antiquité. Le premier comprend des complexes métallurgiques dirigés par l'État romain. Des procureurs, attestés au moins depuis la fin du IIe s., étaient nommés pour gérer les *ferrariae gallicae* qu'ils louaient à des *conductores*. Le second mode de production concerne l'exploitation du fer par les cités. À Narbonne par exemple, ils sont administrés par un notable de la ville (MANGIN 2004 : 186 ; DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010 : 27). L'administrateur pouvait alors être soumis à l'autorité de l'État romain ou être membre d'une

organisation, telle que le Conseil des Gaules[255]. Le troisième type de production est conduit par des particuliers. Il peut être associé, ou non, à des *villae* comme celle des Grands-Champs (Côte-d'Or) (MANGIN 2004 : 186) ou de Roullé/La Selle (SARRESTE 2021). Il est difficile de positionner les ensembles métallurgiques de la forêt de Châteauroux dans ce cadre. Néanmoins, l'importance de leur production, notamment pour le centre sidérurgique le plus conséquent, laisse supposer qu'il était dirigé soit par une cité, soit par un particulier assez puissant peut-être localisé à Ardentes. Le second ensemble, caractérisé par une production de moins bonne qualité et de plus faible ampleur, indique plutôt une production par un particulier.

Tous les exploitants devaient souscrire un impôt sur le fer produit. Une inscription datée du IIIe s. trouvée à Lyon précise qu'un particulier doit payer la *massa ferrariarum*, soit le fer en barre produit par ses ateliers (MANGIN 2004 : 186). Cet impôt était probablement proportionnel à la quantité de fer généré. Une taxe pour l'exploitation du bois, principal combustible des ateliers métallurgiques, devait également exister. La *Notitia Dignitatum*[256] précise que les mines bituriges, notamment celle d'*Argentomagus*, étaient sous l'autorité de l'État romain dès le IVe-Ve s. av. n. è., tout comme celles des Cénomans (Le Mans) et des Sénons (Yonne) (MANGIN 2004 : 186-188).

A cette époque, la forêt est un espace craint et subdivisé en fonction de sa profondeur. Le code théodosien[257] précise qu'un massif forestier comprend en périphérie les espaces cultivés (*ager*), puis une première zone forestière (*saltus*) permettant d'alimenter le bétail et plus profondément, la forêt non anthropisée (*silva*). Ce dernier espace n'était pas délimité et appartenait à l'État (MORIN 2019 : 193). Considéré comme hostile, les populations ne semblent pas s'y aventurer (BRAUNSTEIN 1990 : 1). Ce qui pourrait expliquer l'absence de route et d'habitats à cette période dans la partie nord de l'actuelle forêt de Châteauroux. L'espace exploité pour le bois de chauffage et/ou le bétail ne représente qu'environ 10 % de la surface totale de la forêt (MORIN 2019 : 193). Cette information nous oblige à revoir le véritable impact de la métallurgie sur le massif.

255. Conseil qui aurait réuni chaque année les délégués des soixante cités après la prise de pouvoir de la Gaule par les Romains (TURCAN 1991 : 734).
256. Document administratif romain détaillant l'organisation hiérarchique des fonctions civiles et militaires de l'Empire romain sous forme de listes.
257. *Codex Theodosianus* (438-439).

Après la chute de l'Empire romain, les ateliers métallurgiques de très grande ampleur disparaissent peu à peu et laissent la place à des ateliers plus nombreux mais de petites dimensions (GOUSTARD *et al.* 1998 : 139). On constate en effet une diminution générale de la taille des structures productives et par extension des amas de déchets rejetés. Les textes et autres documents historiques n'ont pour l'instant livré aucun indice sur l'organisation de la production du fer au haut Moyen Âge en région Centre. On peut néanmoins tenter de l'approcher grâce aux informations recueillies dans d'autres régions. Les principales régions productrices en fer au Moyen Âge sont la Bourgogne, le Berry, la Champagne, la Lorraine, la Normandie et l'Aquitaine (ARNOUX 1993 : 39). L'étude détaillée de cette activité dans l'est de la France montre qu'à partir du Ve s., l'artisanat du fer se divise en trois types d'organisation : des centres sidérurgiques comprenant plusieurs ateliers de réduction, des petits ateliers de réduction isolés, des ateliers associés à une zone d'habitat rural, et parfois à d'autres artisanats (LEROY *et al.* 2019 : 127). La plupart des ateliers connus pour cette période sont des ateliers isolés ou associés à des sites d'habitats composés d'un unique ferrier (**Fig. 270**). Le classement de ces sites selon l'envergure de leur ferrier permettrait de les comparer, mais imposerait l'analyse de données trop hétérogènes pour être réalisé dans le temps de cette thèse. L'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord correspond à la définition d'un centre de production sidérurgique. Néanmoins, il diffère des ateliers tels que Boécourt « Les Boulies », Ludres « Hôtel de Ville » et Chavigny « la Crassière/le Haldat » où un seul important amas de déchets recouvre plusieurs structures de production (LEROY *et al.* 2019 : 130-132). En région Centre et dans le nord de la France, deux centres sidérurgiques alto-médiévaux sont connus : aux « Ferrys » (Loiret) et à Saint-Germain-de-Clairefeuille (Orne). Cinq autres sont attestés à l'Est du territoire (Grandval, Chaluet, vallée de Delémont, Mont Chemin et plateau de Haye) pour lesquels on dénombre entre cinq et sept ateliers (SAINT-DIDIER 2013 : 45).

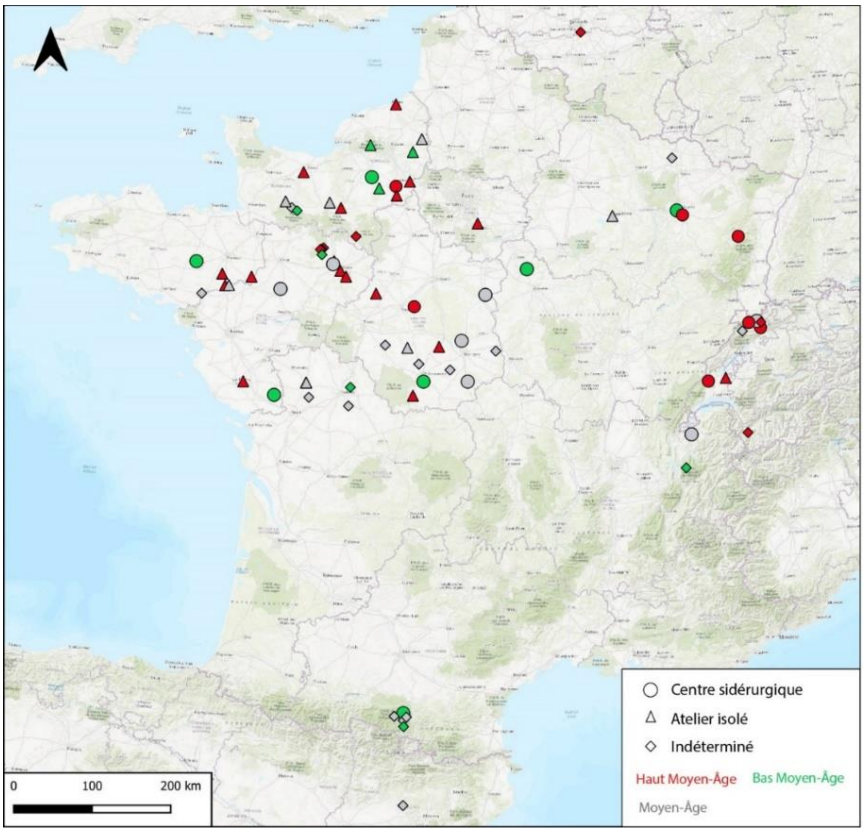


Fig. 270 : Localisation des autres sites métallurgiques connus pour le Moyen Âge en fonction de leur type[258] (carte non exhaustive)

Des sources proches de la période d'activité à Boulogne-Chambord, renseignent sur le statut des artisans. La *Lex Burgundionum*[259], datée de la fin Ve s, est consacrée au royaume burgonde situé à l'est du territoire franc. Les artisans y sont nommés *servus ferrarus* ou encore *servus faber*. Certains chapitres qui les mentionnent sont intitulés respectivement « Du meurtre des asservis Bourguignons et Romains, une même condition »[260] et « Des affaires traitées à propos des asservis »[261] (***cf* vol. 2, Traduction 1 à 4**) (PEYRE 1855 : 43 et 57). Il ne s'agit plus à cette époque d'esclaves, mais de personnes soumises à une autre. De plus, ce texte informe sur l'existence d'une hiérarchie des métiers de la métallurgie. Le meurtre d'un artisan travaillant le fer entraine une amende moins élevée que celui d'un artisan travaillant l'or ou l'argent. La *Lex Salica*[262], rédigée au début du VIe s., et complétée par la suite, utilise toujours les termes de

258. Les ateliers isolés et les ateliers issus des zones d'habitats sont indifférenciés, car seuls sont pris en compte le nombre d'ateliers composant ces espaces sidérurgiques.
259. Ou loi Gombette. Elle porte le nom du roi des Burgondes, Gondebaud (474-516), qui réunit en un seul recueil les lois de ses prédécesseurs et les siennes. Le premier exemplaire dont la date nous est connue a été écrit en 501-502, mais ne nous est pas directement parvenu. Cette loi contient à la fois des dispositions d'origine germanique, comme le serment purgatoire ou le duel judiciaire, et des emprunts au droit romain.
260. *Lex Burgundionum*, X
261. *Lex Burgundionum*, XXI
262. Loi Salique : code de loi élaboré pour le peuple des Francs « saliens », dont Clovis fut l'un des premiers rois. Ce code comporte de nombreux emprunts au droit romain.

fabrum ferrarium. Deux des chapitres qui les mentionnent sont intitulés « Des esclaves enlevés à leur maitre »[263] (CARRION-NISAS 1820 : 11) et « Des meurtres des personnes asservies »[264]. Les forgerons y sont également considérés comme des personnes soumises à l'autorité d'un seigneur et non pas comme des esclaves (***cf* vol. 2, Traduction 5 et 6**).

Au Moyen Âge central, seconde période de production en forêt de Châteauroux, les métallurgistes étaient surtout nommés *fabbri* et/ou férons (ARNOUX 1993 : 27). On relève deux types d'organisation autour de la production du fer, connues principalement grâce aux archives normandes : soit la production est dirigée par un seigneur (laïc ou ecclésiastique) qui emploie des ouvriers dans ses ateliers, dont un maitre féron à la tête de la production, soit c'est le maître féron qui est lui-même l'initiateur de l'activité de production (SURVILLE 1920 : 39-40 ; ARNOUX 1993 : 27). En Normandie, les seigneurs les plus investis en matières de métallurgie étaient appelés barons fossiers (ARNOUX 1993 : 297-314). L'intérêt de ces seigneurs pour le métal était principalement dû à leur mainmise sur le milieu forestier et par extension sur la production du combustible nécessaire au fonctionnement des ateliers métallurgiques. En outre, dès le XIe s., on dispose d'archives mentionnant l'existence, dans certaines régions de France comme la Normandie ou le Berry, d'artisans indépendants réunis en communauté. Ils produisent leur fer en échange d'une redevance au seigneur à qui appartiennent les terres, le charbon utilisé et/ou le minerai. Ces communautés choisissent un représentant et sont soumises à une autorité juridique (ARNOUX 1993 : 27 ; 51). Il en va de même dans certaines régions d'Angleterre (forêt de Dean) et d'Italie (Val di Scalve). L'exemple normand montre que les férons vendaient généralement leur production (ARNOUX 1993 : 239). Il existe néanmoins différentes catégories de vendeurs plus ou moins prospères, dont des marchands de métaux en gros (GAIER 1973 : 243).

Même si les artisans étaient indépendants, l'implantation des ateliers en milieu forestier implique qu'ils sont toujours liés au seigneur à qui appartiennent les bois, qu'il soit laïc ou ecclésiastique. En effet, le manse dominical[265] comprend au haut Moyen Âge et au Moyen central la plus grande partie des terrains boisés, cela permet notamment aux moines de suivre la règle monacale (DEVEZE 1961 : 60). Les droits octroyés par un seigneur peuvent être limités

263. *Lex Salica,* XI
264. *Lex Salica,* XXXV
265. Réserve seigneuriale, par opposition aux tenures paysannes, comprenant l'habitation du tenancier, les terres arables qui lui sont rattachées et les droits d'usage dans la forêt et sur les friches domaniales (déf. Atlas Archéologique de Touraine). Organisation attestée à partir du XIe s.

à quelques parties de la forêt, ce qui pourrait être l'une des raisons pour lesquelles l'activité métallurgique apparait toujours concentrée que ce soit à Boulogne-Chambord ou à Châteauroux au Moyen Âge, l'ensemble 3 étant plutôt à l'est et le 4 à l'ouest. Orderic Vital[266] au XIe s., mentionne l'existence de *fabri ferrarii* et de *fabri lognarii*[267] qui sont des ouvriers des forges[268] forestières. Les *fabri lognarii* sont probablement des bucherons, tourneurs et charbonniers (ARNOUX 1993 : 114). En Normandie, le charbonnage était une activité particulièrement surveillée par les férons (ARNOUX 1993 : 300). Il est donc probable que les métallurgistes ayant travaillé dans les deux massifs de ce corpus avaient un lien particulier avec le charbonnage. Ces artisans travaillant en forêt sont perçus dans les sources de la région de Mark (Allemagne) au Moyen Âge central. Ils sont nommés « Waldschmiede », c'est-à-dire forgeron de la forêt (MANGIN *et al.* 1994 : 127).

A partir du XIIe s., les seigneurs laïcs et les ordres religieux, notamment les cisterciens, imposent leur maitrise de la sidérurgie en développant d'importants centres de production, tels que Clairvaux, Noirlac, la forêt d'Othe, etc. (BENOIT 2019 : 100). Dépendants du ou des propriétaires des forêts et lieux d'extraction dont ils transforment les ressources, les ateliers exploités par les ecclésiastiques tendent à décroitre aux XIIIe et XIVe s. A cette période, les seigneurs laïcs retrouvent une certaine autorité et décident de reprendre en main l'exploitation de leurs terres et des richesses qu'elles contiennent.

L'organisation de la filière sidérurgique semble donc peu varier au cours du temps ; seul change le contexte socioéconomique et politique jouant sur les mécanismes de production. Pendant l'Antiquité, elle obéit à trois sortes de commanditaires : l'état romain, la cité ou un artisan/groupe d'artisans indépendants (**Tableau 59**). Il est probable que l'état romain perçoive une taxe sur le fer produit par tous. Au haut Moyen Âge, on ne dispose plus de certitude concernant les commanditaires. Il est toutefois probable que ce soit les seigneurs et/ou artisans/groupes d'artisans indépendants qui continuent de produire mais en quantité plus limitée et en multipliant les ateliers. La diminution générale du volume de métal produit par les ateliers, qui traduit la disparition d'une puissance étatique, indique que les différentes entités organisant la filière du fer ont des capacités de production moindre qu'auparavant. Au Moyen

266. Moine érudit qui écrivit l'histoire de l'abbaye de Saint-Evroult (Orne) et de l'ensemble du monde normand médiéval.
267. *Histoire ecclésiastique*, t.3, p. 447.
268. Au sens d'atelier métallurgique en général.

Âge central, les seigneurs laïcs et religieux acquièrent une certaine aisance politique et financière et l'écart se creuse de nouveau (BENOIT 2019 : 100). Ils développent de grands centre de production sidérurgique, notamment grâce à de nouvelles améliorations techniques et prennent l'ascendant sur les autres entités de production qui paient un impôt sur l'exploitation des ressources.

Tableau 59 : Axes principaux de l'organisation de la réduction du fer entre l'Antiquité et le Moyen Âge

Antiquité	Haut Moyen Âge	Moyen Âge central
Complexe métallurgique dirigé par l'État romain	Centre sidérurgique administré par un seigneur ou un groupe de métallurgistes	Gros atelier ou groupe d'ateliers dirigés par un seigneur (laïc ou ecclésiastique)
Ateliers exploités par les cités	Ateliers isolés gérés par un métallurgiste indépendant et/ou un particulier	Ensemble d'atelier organisé par une communauté de métallurgistes indépendants
Ateliers exploités par un particulier et/ou un métallurgiste indépendant	Ateliers associés à une zone d'habitat rural gérés par un métallurgiste indépendant et/ou un particulier	Atelier isolé géré par un métallurgiste indépendant et/ou un particulier

Cette présentation prend en considération les grandes lignes de l'organisation de la filière du fer au cours du temps, néanmoins elle n'est pas exhaustive. En effet, les plus petits ateliers sont rassemblés sous la dénomination générale « Ateliers exploités par un particulier et/ou un métallurgiste indépendant ». Toutefois, en fonction de la quantité de métal produit on peut distinguer au moins deux types de production : les ateliers ponctuels à vocation commerciale et les ateliers ponctuels répondant à un besoin local. En outre, comme pour le haut Moyen Âge, le lieu de production (atelier isolé, quartier artisanal en milieu urbain, habitat rural) devrait également être pris en considération à toute les périodes. Enfin, et c'est presqu'impossible à déterminer avec les seules données de terrain, il faudrait toujours définir si l'artisan est le commanditaire, c'est-à-dire s'il produit pour vendre à son compte ou s'il est payé par une autre personne. A partir de ces réflexions, une nouvelle proposition de ce modèle, applicable à presque toutes les périodes, a été imaginée (**Fig. 271**).

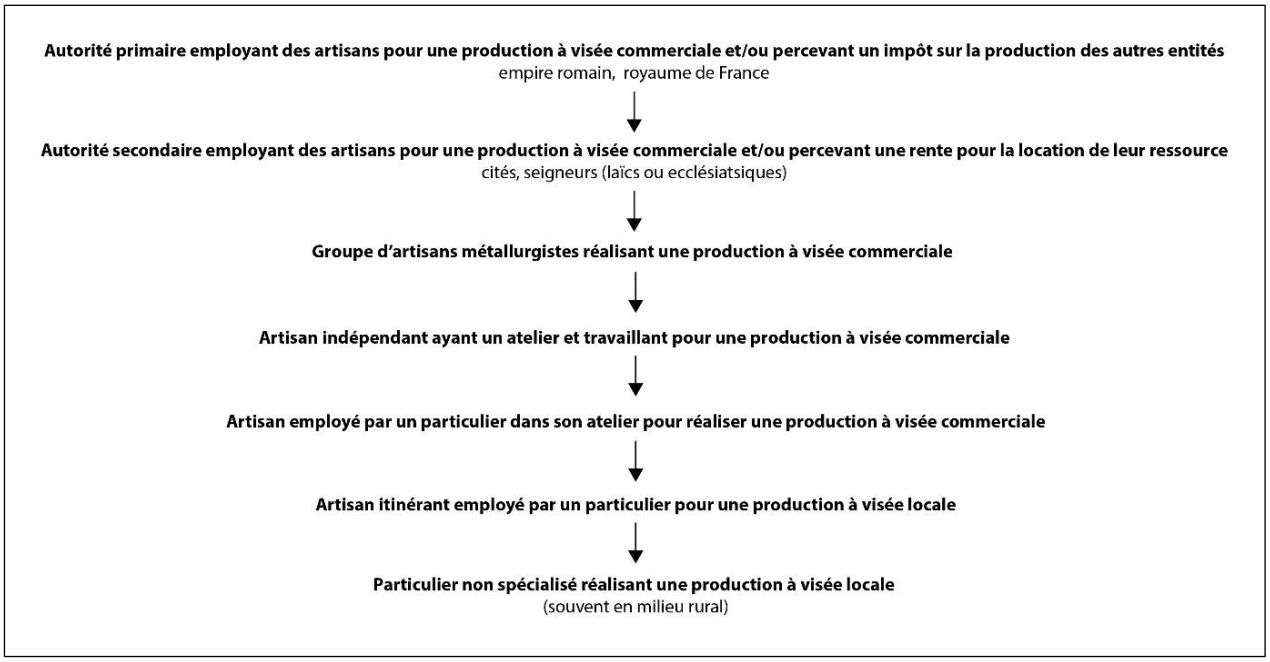


Fig. 271 : Tentative de restitution d'un modèle organisationnel de la filière métallurgique entre la période Antique et le Moyen Âge

Conclusion

Les zones sidérurgiques étudiées dans cette thèse sont toutes deux implantées non loin d'agglomérations secondaires dynamiques pendant l'Antiquité et/ou le Moyen Âge : Blois et Châteauroux/Déols. Leur rapport à la matière première nécessaire à la fabrication du fer est distinct ; elle est abondante à Châteauroux et plus difficile d'accès à Boulogne-Chambord. À Châteauroux il semble que ce soit la convergence de conditions adaptées à la réduction du fer qui ait fait venir les métallurgistes. A Boulogne-Chambord, ce sont les métallurgistes qui ont vraisemblablement importé la matière première. En effet, l'installation de cet artisanat dans cette région est surprenante car les matières premières nécessaires à son bon fonctionnement ne sont pas abondantes. Les produire ou les importer nécessite donc un effort certain. Les ateliers de la forêt de Châteauroux ont fonctionné à la période antique et au bas Moyen Âge ; ceux du massif de Boulogne-Chambord sont datés du haut Moyen Âge. Contre un fer peu carburé à Boulogne, c'est de l'acier qui est produit à Châteauroux. Ces similitudes et différences permettent d'aborder la transformation de la métallurgie dans la longue durée, entre l'Antiquité et le Moyen Âge en région Centre, tout en confirmant les grands changements perçus dans d'autres régions de France et de Suisse.

Les régions métallurgiques de ce corpus sont implantées dans ou à proximité de forêts dont la densité et l'étendue ont probablement varié au cours des périodes envisagées. Ces forêts se caractérisent, au moins en partie, par une chênaie à Boulogne et une chênaie-hêtraie à Châteauroux. Bien que le charbonnage y soit de qualité, la gestion de la ressource forestière en forêt de Boulogne au haut Moyen Âge semble insuffisante pour préserver la ressource ligneuse, comparée à celle de la forêt Châteauroux pour la période médiévale. Ce phénomène est certainement la conséquence d'une détérioration climatique qui a entrainé de mauvaises conditions de croissance des bois.

Les deux espaces géographiques qui nous étudiés révèlent un réel dynamisme et une véritable organisation dans la durée avec la présence d'habitats, d'axes de circulation et parfois même de parcellaires. On peut néanmoins remarquer qu'à Châteauroux, pour l'époque antique, le nord de la forêt actuelle semble moins occupé. Véritable fermeture de la forêt à cette période ou simple effet de source, de nouvelles prospections thématiques seraient nécessaires pour en apprendre davantage. L'activité métallurgique, tournée vers le sud et l'est pendant l'Antiquité, semble changer de pôle d'attractivité au Moyen Âge central et se tourne vers le nord, soit vers Châteauroux et Déols. Quelle que soit la période, l'implantation des ateliers métallurgiques suit une même logique : ils sont installés au plus près du combustible, difficilement transportable car nécessaire en grande quantité, non loin d'axes de circulation et de lieux de consommation. En outre, au moins pour la période médiévale, l'implantation des ateliers dépend des droits d'usage et donc de l'espace accordé par le seigneur.

Les ensembles métallurgiques distingués dans ces forêts comprennent tous une phase de réduction du fer, et les ateliers médiévaux des deux forêts intègrent également les étapes de préparation du minerai (grillage, concassage) et d'épuration de la loupe de fer. L'utilisation de four à scories écoulées est reconnue dans tous les ateliers, sauf dans le plus petit ensemble médiéval de la forêt de Châteauroux. On y restitue l'utilisation de fours à scories piégées, alors que cette technique est rarement identifiée après l'Antiquité. L'utilisation de cette technique pose question sur les causes de ce choix découlant peut-être d'une faible production impliquant une technologie moins complexe à mettre en place.

En forêt de Boulogne-Chambord, l'activité métallurgique est implantée alors que l'environnement passe progressivement d'un milieu relativement ouvert, à vocation agropastorale, à une forêt organisée. Dans cet espace, la multiplication de petits ateliers

relativement contemporains questionne. Elle aboutit à une production cumulée importante pour l'époque, mais à partir de petits ateliers atomisés, interrogeant sur le choix des artisans qui auraient pu favoriser quelques structures plus imposantes. Ce phénomène s'inscrit dans un moment de transformation des mécanismes de production observé ailleurs sur le territoire français et suisse, avec une diminution de la taille des ateliers et des structures productives au profit d'une multiplication de ces unités. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer ce phénomène. Au haut Moyen Âge, les changements économiques et politiques laissent supposer que les seigneurs n'ont plus les ressources territoriales nécessaires au développement de grands centres sidérurgiques (accès au minerai, au bois, etc.) et qu'ils préfèrent investir prudemment dans cette activité. Dans ces conditions, l'activité métallurgique pourrait refléter cette nouvelle organisation territoriale et politique du territoire. On peut également imaginer que ces petits ateliers peuvent révéler un regroupement de plusieurs artisans, sous la forme d'une communauté. En Italie, l'*Edit de Rothari*, daté du VIIIe s., mentionne l'existence de forgerons libres appartenant à la communauté des *maestri comacini*[269] et souvent nommés *viri honesti* ou *viri devoti*, ce qui montre la considération que la société leur porte (ZAGARI 2005 : 98). Ces associations d'artisans s'implantent plutôt en milieu rural, ce qui correspond au contexte de Boulogne-Chambord (ARNOUX 1993 : 32). Néanmoins, elles sont principalement observées dans des régions riches en minerai de fer, ce qui n'est pas le cas ici. Si cette activité était saisonnière, on peut également supposer que l'installation d'un nouvel atelier était plus aisée dans un espace vierge plutôt que dans un espace encombré par d'anciens rejets ; comme c'est le cas à Ludres « Hôtel de ville » (LEROY *et al.* 2019 : 130). Une dernière hypothèse est que les artisans se sont déplacés en fonction de l'exploitation de la forêt. En effet, cette activité étroitement liée au feu pourrait avoir été réalisée de préférence dans des clairières, espaces nouvellement déboisés ou autres espaces ouverts afin d'éviter les incendies. Cette hypothèse repose uniquement sur l'observation d'opérations de réduction réalisées dans le cadre d'expérimentations archéologiques. Ces dernières ont permis de montrer l'impact sur le sol brulé de la zone de réduction, lorsque cet opération est réalisée à plusieurs reprises et en plusieurs endroits. Sous couvert forestier, ce type d'activité pourrait donc rapidement engendrer un incendie. Quelle que soit la raison de cette multiplication, les ateliers sont concentrés dans un espace assez restreint. Leur installation résulte donc d'une même logique d'implantation. En plus de la présence d'axes de circulation, elle est probablement influencée par les limites

269. Les *maestri comacini* sont une corporation itinérante de constructeurs, de maçons, de sculpteurs et d'artistes italiens actifs dès le VIIe siècle – VIIIe siècle.

physiques du droit d'usage octroyé par le seigneur de la forêt et/ou la séparation de l'habitat (à l'est) et de l'artisanat (à l'ouest).

La production antique en forêt de Châteauroux s'implante aux environs des Ier – IIIe s. entre deux très importants centres de production du fer biturige, *Argentomagus* et *Avaricum*. Deux ensembles métallurgiques sont reconnus. L'ensemble le plus important est caractérisé par une production qui, en changeant d'échelle, reste d'ampleur moyenne puisqu'elle ne concurrence pas les grands centres sidérurgiques connus. Elle s'avère toutefois plus importante que celle des ateliers isolés d'Etrechet (Indre) ou de Villedieu-sur-Indre (Indre). En comparant les différents types d'organisation de la production du fer à la période antique, on peut placer cet ensemble métallurgique de Châteauroux soit parmi les centre sidérurgiques dirigés par une cité, soit parmi les ateliers gérés par un particulier. L'importance de la production nous oriente plutôt vers la première hypothèse, sans pour autant disposer de sources pour le confirmer (textuelles, épigraphiques, etc.). On peut uniquement supposer que cet ensemble a été géré par une autorité provenant potentiellement de l'agglomération secondaire d'Ardentes, localisée à l'est de la voie autour de laquelle les ateliers sont concentrés. Le métal pouvait ainsi être facilement diffusé vers Déols, *Argentomagus*, *Avaricum* et tous les autres villages sur la route. Une seconde production, de moins bonne qualité et de plus faible ampleur, a également pris place dans ce massif, probablement pour répondre aux besoins locaux en fer.

Au Moyen Âge, le Berry semble encore être l'une des principales régions productrices de fer en France. Pourtant, très peu de texte et de sites archéologiques sont étudiés. À cette époque, la présence d'une forêt à Châteauroux est attestée. Probablement assez dense, elle disposait d'excellentes conditions de croissance pour les bois. Deux groupes de production y sont restitués. L'ensemble métallurgique le plus important a probablement été administré par les seigneurs de Châteauroux, qui disposent de l'usage de la forêt et d'une motte castrale, ou par les moines grandmontains du prieuré de Sauzay. Cette production n'est pas aussi importante que celles des forêts de Noirlac (Cher), de Bourges (Cher) et plus loin d'Othe (Meurthe-et-Moselle) ou de Salève (Suisse). Elle est néanmoins assez conséquente pour alimenter un commerce régional. Les ateliers sont d'ailleurs situés à proximité de deux chemins traversant la forêt du nord au sud et menant à Châteauroux. L'acier pouvait donc être acheminé jusqu'aux marchés attestés dans cette ville. Religieux ou artisans, les deux communautés restent néanmoins dépendantes des seigneurs de Châteauroux, propriétaires de la forêt, auxquels ils devaient payer une taxe. Le second ensemble métallurgique, moins important, est daté du XIIIe

s. et localisé à l'ouest du premier. Sa production était probablement dédiée à une demande plus locale (domestique, agricole, etc.).
La dualité des productions qui perdurent dans ce massif au cours du temps ainsi que leur différence de qualité, indiquent une distinction entre le métal vendu aux populations locales et celui plus largement diffusé. Néanmoins, la présence de ces deux niveaux de production montre que ces deux clientèles sont toujours prises en considération, ce qui n'est apparemment pas le cas à Boulogne-Chambord. On peut donc se questionner sur l'héritage de la métallurgie en forêt de Châteauroux. A première vue, il semble que la production s'arrête entre l'Antiquité et le Moyen Âge central. Il faudrait toutefois dater plus d'ateliers pour vérifier si ce hiatus chronologique est réel et s'il s'agit d'un simple effet de source, notamment pour l'ensemble médiéval le plus important qui n'est pas daté précisément. En outre, aux moins deux ateliers antiques ont probablement été réinvestis à la période médiévale. Il est donc possible que certains ateliers médiévaux n'aient pas été repérés car ils se sont installés sur des ferriers antiques. Cette fois, seules des fouilles pourraient nous renseigner sur ces réaménagements.

La contextualisation de ces différentes productions a permis de proposer un modèle de l'organisation de la production du fer entre l'Antiquité et le Moyen Âge. Ce dernier donne un peu plus de place aux petits ateliers et à leurs différents faciès en s'appuyant sur la hiérarchisation des ateliers, leur volume, leur localisation ainsi que le profil de l'artisans (indépendant ou employé). Ce modèle indique notamment que cette organisation varie peu au cours du temps, surtout pour les plus petits ateliers. Les changements politiques et socio-économiques semblent impacter les gros centres de production, sans effet visibles sur les plus modestes.
Après l'arrêt de l'activité métallurgique, le souvenir de l'artisanat du fer, très prégnant à un moment donné de l'histoire des forêts, notamment à cause des fumées, des odeurs, des bruits et simplement de la présence des artisans, tend à disparaitre. Elle persiste cependant à travers la toponymie et le réemploi des scories pour la construction de la motte castrale médiévale en forêt de Châteauroux ou la construction/entretien des routes dans les deux massifs qui intéressent cette thèse.

Ce dernier chapitre de synthèse traduit toute l'importance de la fouille de structures modestes pour comprendre la réalité de cet artisanat dans la longue durée. Néanmoins, il met en évidence l'absence de réponse à des questions aussi variées que l'origine du minerai utilisé dans certains ensembles métallurgiques, la cause d'une production aussi importante au haut

Moyen Âge à Boulogne-Chambord, ou encore la manière dont était véritablement organisée la vie dans ces forêts. Ces questions sont le point de départ d'un projet de recherche que je souhaite poursuivre par de nouvelles études dans cet espace d'étude.

Conclusion générale

Ce travail de recherche renseigne la métallurgie et ses changements dans des espaces et à une période, le Moyen Âge, pour lesquels cet artisanat est peu étudié et de façon disparate. Cette thèse contribue également à enrichir nos connaissances de la métallurgie chez les bituriges. En effet, les données obtenues donnent accès à une autre échelle de compréhension de l'organisation de la métallurgie antique. En complétant le paysage de la sidérurgie antique et médiévale en région Centre, les interprétations et hypothèses établies contribuent à rendre la place économique et sociétale que cet artisanat semble avoir occupé au cours du temps.

Les résultats de cette thèse indiquent l'implantation à Boulogne-Chambord d'un ensemble métallurgique entre le VIe et le VIIe s. La forêt semble alors en cours d'extension et l'organisation de l'espace est en cours de modification. Les artisans maitrisaient leur art, en témoigne l'optimisation de leurs structures de production et de l'espace dans leurs ateliers. La quantité de fer doux produite semble traduire une ambition commerciale, que l'activité soit insufflée par des métallurgistes indépendants, réunis en communauté ou non, ou par un seigneur. Le métal pouvait être acheminé vers les villes de Bracieux et de Blois desservies par les chemins proches des ateliers. Cette activité est implantée dans un espace géographique qui semble particulièrement défavorable (croissance difficile des arbres, absence de minerai à proximité directe). L'une des hypothèses soulevée est que ce phénomène serait le résultat de la situation politique instable dont souffre la région à cette époque. Il est possible que le besoin important et soudain en fer soit alors mu par la nécessité de modifier les voies d'approvisionnement en métal utilisées jusque-là. Néanmoins, les limites des ressources de la région et peut être aussi le développement d'autres zones sidérurgiques plus compétitives, ont pu rapidement signer l'arrêt de cette production.

À Châteauroux, région où le minerai de fer est abondant, l'activité métallurgique la plus ancienne attestée date du Haut Empire. Si forêt il y a, elle est probablement moins dense et plus restreinte qu'aujourd'hui. Cet artisanat est installé à proximité de l'agglomération secondaire de Déols, et d'une autre de moindre dimension, Ardentes. Deux ensembles métallurgiques y

sont distingués. Au sud-est, une production assez importante prend place non loin de la voie romaine menant d'*Avaricum à Argentomagus*. La réduction qui y est observée est efficace. La masse de déchets engendrée par cet ensemble plaide pour un débouché commercial de la production, facilité par la proximité de la voie antique. Loin d'égaler celle des importants centres sidérurgiques voisins, cette production pourrait toutefois avoir alimenté un marché local à régional. Le second ensemble antique situé au centre et au sud de la zone sidérurgique, se caractérise par une production moins conséquente et de moins bonne qualité, signalant probablement une diffusion plus restreinte. Une seconde phase d'activité métallurgique s'installe au Moyen Âge[270], période pour laquelle la forêt est attestée par les sources. Deux nouveaux ensembles métallurgiques sont distingués. Le plus important comprend peu d'ateliers, mais a engendré une grande quantité de déchets. Les métallurgistes y ont utilisé un minerai de qualité, identique à celui de l'époque antique, pour développer une réduction efficace. Cet artisanat était donc bien maitrisé. Situés dans la partie est du massif actuel, non loin d'une motte castrale et d'un prieuré, il est possible que ces ateliers dépendaient de ces pôles économiques et de pouvoir. Néanmoins, l'existence possible d'une voie cheminant vers la ville de Châteauroux et ses marchés milite en faveur d'une production a débouché commercial. Le second ensemble métallurgique est daté du XIIIe s. L'activité métallurgique est concentrée dans la partie ouest de l'actuel massif, à l'opposé des occupations, et pourrait être desservie par un chemin orienté est en ouest. Elle est caractérisée par une réduction efficace, de faible ampleur et engendrant un acier hétérogène. La technologie des fours à scories piégées utilisée, rare en France pour cette période, est différente des autres ensembles décrits. Malgré l'emploi de cette technique moins rentable, le processus de fabrication est dominé. La présence de plusieurs types de fours de réduction semble indiquer que les artisans sont revenus de façon saisonnière. Cette production pourrait avoir eu un but domestique et/ou agricole, mais aussi viser à alimenter un petit commerce local. La différence la plus marquante entre les deux zones métallurgiques de ce corpus est donc une production ponctuelle et importante à Boulogne-Chambord et plusieurs productions plus hétérogènes et étalées dans le temps à Châteauroux.

Cette thèse a également pour ambition de restituer, au moins en partie, l'activité de charbonnage associée à la production du fer. En effet, comprendre l'environnement boisé qui fournit les ateliers métallurgiques permet de mieux appréhender son impact sur la production, et celui du métal sur le couvert boisé. Ainsi, les ensembles médiévaux de ce corpus sont probablement

270. L'absence de datation ^{14}C sur ces ateliers ne permet pas d'affiner leur chronologie.

implantés en milieu forestier ou à proximité. A Boulogne-Chambord, la croissance de la végétation est difficile. Elle pourrait correspondre à une péjoration climatique connue entre les VIe - VIIe s. et les VIIIe – IXe s. (MAGNY 1995) et/ou à des problèmes de gestion de la forêt. A Châteauroux, les bois grandissent dans un environnement propice à leur développement. Ces forêts font probablement l'objet, au moins en partie, d'une exploitation mixte de taillis et de futaie. La masse de bois restituée pour l'ensemble métallurgique de Boulogne-Chambord est conséquente, soit approximativement 1 400 à 1 570 ha de forêt. La production du fer, efficient pendant environ deux siècles, a donc probablement marqué le paysage forestier. Cette thèse met en évidence une possible surexploitation des ressources par les métallurgistes, raison potentielle d'un arrêt de production. En ce qui concerne le charbonnage, il était visiblement adapté à la production du fer dans les deux massifs exploités : emploi exclusif d'essences très calorifères, le chêne et/ou le hêtre, d'un bois de petit calibre et du recours à un combustible issu d'une activité de charbonnage de qualité.

L'hétérogénéité des données disponibles pour ces deux espaces sidérurgiques, mène à une inégalité des résultats. De cette manière, on constate l'intérêt des images LiDAR pour l'étude de la morphologie et du volume des ferriers, ainsi que pour restituer le contexte d'implantation des ateliers (chemins, charbonnières, habitats, etc.). C'est un atout indiscutable pour la compréhension de l'environnement des sites métallurgiques, plus particulièrement en milieu forestier. Cet outil a toutefois des limites dont il faut tenir compte : les ferriers les plus arasés ne sont pas forcément visibles et il est impossible de dater les structures archéologiques uniquement à partir de ces images. Le recours à la prospection géomagnétique s'est également révélé intéressant. Elle permet de localiser les structures de production sous les amas de déchets composant le ferrier et ainsi de cibler les fenêtres de fouille. En outre, les tendances perçues à travers la grande quantité de données récolées a conduit à utiliser une méthode de classement statistique, encore peu accaparée par le domaine de l'archéométallurgie, pour regrouper les ateliers sidérurgiques ayant des caractéristiques communes (datation, techniques de production, implantation, matière première employée). Cette méthode exige une prise en charge des données à des échelles variées, parfois difficilement comparables, et nécessite de recommencer le dépouillement des données pour toutes les zones étudiées. En outre, elle est fondée sur des données de prospection qui peuvent être considérées comme peu fiables quelle que soit la technique de ramassage. Son apport pourrait, à mon sens, contrebalancer ses limites. En effet, cette méthode évite la multiplication des datations ^{14}C et des analyses chimiques pour tous les ateliers du corpus. Ce travail, chronophage et coûteux, constitue bien souvent un frein à l'étude

de grandes zones sidérurgiques. Néanmoins, cette méthode de regroupement n'apporte pas une vérité absolue. Les interprétations qui en découlent sont uniquement une première approche qui fournit des pistes de recherche intéressantes pour mieux comprendre les régions métallurgiques et les ensembles de production qui les composent.

Les résultats de cette thèse participent à une recherche sur la métallurgie bien établie dans la moitié ouest de la France, territoire où un réseau est actif depuis plusieurs dizaines d'années. La mise en commun des données, projet en cours[271], sera un pas de plus vers une compréhension plus globale de la métallurgie dans le temps long. Les connaissances acquises par cette thèse lèvent le voile sur les prochaines étapes à envisager pour ce sujet. D'abord, réaliser la cartographie des sites d'extraction du fer en forêt de Châteauroux et dans la région. Ensuite, tenter de définir la signature chimique des différentes couches géologiques qui y sont présentes et continuer de dater les ateliers de ce massif afin d'établir s'il a existé une continuité entre l'Antiquité et le Moyen Âge ou s'il y a eu un arrêt. Dans le premier cas, on cherchera à comprendre pourquoi les artisans sont passés de l'utilisation de fours à scories écoulées à celui de fours à scories piégées. En parallèle, il sera intéressant de rechercher le minerai utilisé dans les ateliers de Boulogne-Chambord ainsi que de nouvelles informations sur l'histoire de la région au haut Moyen Âge. Enfin, plusieurs programmes pourront servir de cadre à la poursuite de mes recherches sur la métallurgie au Moyen Âge en région Centre à commencer par celui sur la forêt de Noirlac[272] (Cher).

271. Un programme de recherche est en cours de réalisation au laboratoire de Rennes (CreAAH) afin de réaliser une base de donnée accessible en ligne à tous les chercheurs pour étudier ou déposer ses données.
272. Travaux actuellement dirigés par F. Sarreste

Sources manuscrites

Archives nationales (Paris)

Série	Cote	Appellation/Titre	Année	Auteur
Q	Q/1/503	Procès-verbal de visite générale des forêts de Boulogne et de Russy	1723	Anonyme
Q	Q/1/373	Châteauroux	1738	Anonyme
K	KK/300-301	Rente à prendre sur les revenus des foires et marchés de Bracieux	1328	Anonyme

Archives départementales du Loir-et-Cher (41)

Série	Cote	Appellation/Titre	Année	Auteur
M	7M401		Inconnue	Anonyme
M	7M435	Procés verbal d'adjudication des travaux	1838	Anonyme

Sources planimétriques

Archives départementales du Loir-et-Cher (41)

Cote	Appellation/Titre	Année	Auteur
1 Fi 665	Plan des forests de Sologne, Russy, Boulogne et le parc de Chambort	1ère moitié 18e s.	Anonyme
1Fi-1585	Prieuré de Boulogne	1671	Anonyme

Bibliothèque nationale de France

Cote	Appellation/Titre	Année	Auteur
GE D-15008	Atlas d'Ortelius : regionis Biturigum exactiss	1579	J. Chaumeau
GE DD-2987 (475)	Description du pais Blaisois	1591	J. Du Temps
GE DD-2987 (476)	Description du Blaisois	1630	Ioannem Ianssonium (Amstelodami)
GE DD-2987 (320)	Dioecese de l'archevesché de Bourges	1678	G. Sanson
GE D-17866	La Province de Berry, la généralité de Bourges où sont les élections de Bourges, d'Yssoudin, de Chateauroux, du Blanc, etc.	1707	A.H. Jaillot
GE D-12927	Carte de la Beauce, du Gâtinois, de la Sologne et pays voisins compris dans la Généralité d'Orléans	1718	G. Delisle
GE FF-18595 (29)	Carte de Cassini (Blois)	1759-1760	C. F. Cassini de Thury
GE FF-18595 (31)	Carte de Cassini (Châteauroux)	1766-1768	Cassini III
GE D-17207	Carte du duché de Châteauroux extraite de celle de cassini et réduite sur une echelle de 4 lignes pour 1000 toises	1780	Anonyme
CPL GE DD-2987 (1230)	Plan geometrique de la Ferté Saint-Agnan et des paroisses voisines	18e s.	Anonyme

GE C-3968	Atlas Nationale de France, n°3, département de Loir et Cher	1818	F. d'Houdan
GE D-4521 (RES)	Carte de la capitainerie royale de Blois	nd	Anonyme
GE DD-2987 (1231)	Plan de Chambord	18e s.	Anonyme
GE DD-2987 (1232)	Forêt de Boulogne	début 18e s.	Anonyme
GE D-2504	Plan du parc de Chambord	1835	N. E. J. Desmadryl
GE C-5307	Carte des forêts domaniales des environs de Blois	1926	E. Girard
GED-1592 (1-2)	Tabula itineraria	1592	K. Peutinger

Bibliothèque municipale de Châteauroux

Cote	**Appellation/Titre**	**Année**	**Auteur**
Car 1 By B 3	Atlas Nationale de France, n°51, département de l'Indre	1790	F. d'Houdan

Textes anciens

AGRICOLA 1556, *De re metallica,* (trad A. France-Lanord), Thionville, 1992, 509 p.

BIRINGUCCIO 1572, *La pyrotechnie, ou art du feu contenant dix livres,* C. Frémy, Paris, 168 p.

CESAR, *Guerre en Gaules,* (trad. A. et P. Pilet), Paris 2011

GREGOIRE DE TOURS, *Histoire des Francs*, (trad. F. Guizot), Paris, 1873

PEUTINGER K., *Tabula itineraria,* Paris, 1598

PLINE L'ANCIEN, *Histoire Naturelle* XXXIV, (trad. E. Littré), vol. 2, Paris, 1850.

RUTILIUS NAMATIANUS, *De reditu suo, (trad.F.-Z. Collombet), Paris, 1842.*

STRABON, *Géographie,* (trad. A. Tardieu), Paris 1867.

TITE-LIVE, *Histoires Romaines,* (trad. M. Nisard), Paris, 1864

Annales Bertiniani, (trad. L'abbé C. Dehaisnes), Paris, 1871

Domui de Grandimontis, (B.n.f.- Manuscrit Français 6787).

Cartulaire des seigneurs de Châteauroux, (trad. E. Hubert), Châteauroux, 1931

La cosmographie du Ravennate, (trad. L. Dillemann), Bruxelles, 1997

Leges Burgundionum in *Leges Nationum Germanicarum*, (trad. L. R. Salis), Hanovre, 1982.

Lex Salica, (trad. J. M. Pardessus), Paris, 1543.

Notitia Dignitatum, (trad. O. Seeck), Oxford, 1876

Bibliographie

ABBÉ 2005

Abbé J.-L.- « Le paysage peut-il être lu à rebours ? Le paysage agraire médiéval et la méthode régressive », in *Les territoires du médiéviste*, Rennes, p. 383-399.

ABETEL 1992

Abetel E. - *L'établissement sidérurgique de Montcherand*, Cahier d'Archéologie Romande, Lausanne, t. 54, 112 p.

D'ABOVILLE 1936

D'Aboville P.- « Podzol forestier du bassin alluvial de la Sologne », in *Revue des Eaux et Forêts*, Paris, t. 94, p. 334-338.

AITKEN, WEBSTER, REEDS 1958

Aitken M. J., Webster G. et Reeds A.- « Magnetic prospecting », in *Antiquity*, Cambridge, vol. 32, n°, p. 270-271.

ANDRIEUX 2004

Andrieux P.- « Les traces thermiques sur les parois de four », in *Le fer*, Paris, p. 70-71.

ARRIBET-DEROIN 2018

Arribet-Deroin D.- « La consommation de charbon de bois par l'industrie du fer », in *Charbonnage, charbonniers, charbonnière*s, Aix-en-Provence, p. 133-142.

ARNOUX 1993

Arnoux M.- *Mineurs, férons et maitres de forge*, Paris, 604 p.

ARWIDSSON, BERG 1999

Arwidsson G., Berg G.- *The Mästermyr find, a Viking Age tool chest from Gotland*, Amérique, p. 1-12

ASPINALL, GAFFNEY, SCHMIDT 2008

Aspinall A., Gaffney C. F., Schmidt A.- *Magnetometry for archaeologists*, Lanham, vol. 208, 224 p.

AUBOURG, JOSSET 2013

Aubourg V., Josset D. – « Blois : chrono-typologie de la céramique du haut Moyen Âge et approvisionnement », in *La céramique du haut Moyen Âge dans le Centre Ouest de la France : de la chrono-typologie aux aires culturelles*, 49e supplément à la *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, p. 69-85.

AUBOURG, JOSSET 2014

Aubourg V., Josset D.- *Archéologie en région Centre, vivre au bord de l'eau à Blois*, Plaquette, PCR « Ville et territoire ligérien depuis les premières installations humaines - espace urbanisé de Blois et de la vallée de la Loire », Orléans, 20 p.

AUBOURG, JOSSET 2018

Aubourg V., Josset D.- « Blois : ville et territoire ligérien depuis les premières installations humaines jusqu'à nos jours », in *Archéopages*, Paris, n°46, p. 112-113.

AZEMA 1913

Azéma L.- « Note sur la présence du manganèse, du cobalt et du nickel dans certaines argiles colorées », in *Bulletin de la Société française de Minéralogie*, Paris, vol. 36, n°4, p. 133-135.

BARNIER 2020

Barnier J.- *Shiny interfaces and graphical functions for multivariate analysis results exploration*, R package version 0.3.7.
URL : https://CRAN.R-project.org/package=rmdformats

BASSEVILLE 1918

Bassevile A.- *Usages locaux de la Sologne, recueillis et rédigés, sous les auspices du Comité central agricole de la Sologne*, Orléans, 71 p.

BATARDY, BUCHSENSCHUTZ, DUMASY 2001

Batardy C., Buchsenschutz O., Dumasy F.- *Le Berry Antique : Atlas 2000*, Tours, 192 p.

BATTESTI 1992

Battesti V.- *Une charbonnière expérimentale. Méthodologie de l'anthracologie sur charbonnière pour une approche de la gestion du milieu forestier en Languedoc*, Mémoire de maitrise soutenue à l'Université de Montpellier II, Montpellier, 2 vol.

BAUVAIS, FLUZIN 2005

Bauvais S., Fluzin P.- « Analyses métallographiques des déchets métallurgiques du site de Bazoches-sur-Vesk "Les Chantraines" (Aisne) », in *Revue archéologique de Picardie*, Senlis, n°22, p. 115-130.

BAUVAIS 2007

Bauvais S. - *Évolution de l'organisation des activités de forge dans le nord du Bassin parisien au second Âge du fer*, Thèse de doctorat soutenue à l'Université de Franche-Comté (cotutelle avec l'université de Belfort-Montbéliard), Besançon, 3 vol.

BAXTER 2008

Baxter M.-J. – « Mathematics, statistics and archaeometry : the past 50 years or so », in *Archaeometry*, Oxford, vol. 50, p. 968-982.

BECK, BRAUNSTEIN, PHILIPPE 2008

Beck P., Braunstein P., Philippe M.- « Minière et ferriers du Moyen Âge en forêt d'Othe (Aube, Yonne) : approches historiques et archéologiques », in *Revue Archéologique de l'Est*, Dijon, t. 57, p. 333-365.

BECK 2009

Beck P.- « Saint-Martin-du-Mont (Côte-d'Or). Bordes des Bois de Cestres », in *Archéologie médiévale*, Caen, n° 39, p. 201.

BENARROUS 2001

Benarrous R.- *Etude diachronique de l'occupation du sol dans la Brenne des étangs, rapport de prospection-Inventaire, campagne 200*1, SRA Centre - Val de Loire, Orléans, 150 p.

BENARROUS 2002

Benarrous R.- *Etude diachronique de l'occupation du sol dans la Brenne des étangs, rapport de prospection-Inventaire, campagne 200*2, SRA Centre - Val de Loire, Orléans, 54 p.

BENARROUS 2003

Benarrous R.- *Etude diachronique de l'occupation du sol dans la Brenne des étangs, rapport de prospection-Inventaire, campagne 200*3, SRA Centre - Val de Loire, Orléans, 68 p.

BENARROUS 2009

Benarrous R.- *La Grande Brenne aux périodes préindustrielles (Indre). Contribution à l'histoire des paysages, des étangs et des relations sociétés/milieux dans une zone humide continentale. Approches historique, archéologique et paléo-environnementale*, Thèse soutenue à l'Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, Paris, 611 p.

BENOIT 1997

Benoit P.- « La mine de Pampailly XVe – XVIIIe siècles. Brussieu-Rhône », in *Document d'Archéologie en Rhône-Alpes*, Lyon, n°14, 28 p.

BENOIT 2019

Benoit P.- « L'industrie sidérurgique cistercienne médiévale », in *L'industrie cistercienne (XII*e*-XXI*e* siècle)*, Actes du colloque international des 1er- 5 septembre 2015 (Troyes-Abbayes de Clairvaux – Abbaye de Fontenay), Paris, p. 99-113.

BENOIT, CAILLEAUX 1991

Benoit P., Cailleaux D.- *Moines et métallurgie dans la France médiévale*, Paris, 365 p.

BENOIT, FLUZIN 1995

Benoit P., Fluzin P.- *Paléométallurgie du fer & cultures*, Actes du Symposium international du Comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union internationale des sciences préhistoriques et protohistoriques, Paris, 540 p.

BEPOIX, RICHARD 2019

Bepoix S., Richard H.- *La forêt au Moyen Âge*, Paris, 424 p.

BERNIER 1682

Bernier J.- *Histoire de Blois contenant les antiquitez et singularitez du Comté de Blois,* Paris, p. 4, 207-208.

BERRANGER 2009

Berranger M. - *Le fer, entre matière première et moyen d'échange, en France du VIIe au Ier s. av. J.-C.,* Thèse soutenue à l'Université Panthéon-Sorbonne, Paris, 5 vol.

BERRANGER 2014

Berranger M.- *Le fer, entre matière première et moyen d'échange, en France du 7e-1er siècle avnt J.C.,* Dijon, 382 p.

BERRANGER *et al.* 2014

Berranger M., Coulthard N., Demarest M., Dieudonné-Glad N., Fluzin P.- « L'artisanat du fer dans la villa de Touffréville (Calvados) à l'époque augusto-claudienne : approches archéométallurgiques et archéométrique », in *Archéosciences,* Rennes, n°38, p.183-203.

BERRANGER *et al.* 2017

Berranger M., Zaour N., Leroy M., Bauvais S., Cabboï L., C. Dunikowski, P. Fluzin – « Organisation des productions sidérurgiques en Gaule (VIIe-Ier s. a.C.) : de la réduction du métal à l'élaboration de demi-produits », in *Production et proto-industrialisation aux âges du Fer : perspectives sociales et environnementales,* Actes du 39e colloque international de l'Association française pour l'étude de l'âge du Fer, 14-17 mai 2015, Nancy, p.383-402.

BERRANGER *et al.* 2019

Berranger M., Aubert M., Girardclos O., Herbrich M., Jeannot R., Laurent H., Laurent S., Leroy M., Méaudre J.-C., Mouton-Venault S. *et al. - La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions,* Rapport de recherche PCR, SRA Bourgogne - Franche-Comté, Dijon, 240 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 », In *Bulletin de la Société préhistorique française,* Nanterre, t.117, n°4, p. 641-671.

BERRANGER *et al.* 2020

Berranger M., Aubert M., Coubray S., Laurent H., Leroy M., *et al.* - *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions,* Rapport de recherche PCR, SRA Bourgogne - Franche-Comté, Dijon, 297 p.

BEYRIE *et al.* 2003

Beyrie A., Galop D., Monna F., Mougin V.- « La métallurgie du fer au Pays basque durant l'Antiquité. État des connaissances dans la vallée de Baigorri (Pyrénées-Atlantique) », in *Aquitania*, Bordeaux, t. 19, p. 50-64.

BEYRIE 2016

Beyrie A.- *Bois Messire Jacques, un atelier sidérurgique des Ve-VIe s. à Massay (18)*, rapport d'opération préventive, SRA Centre-Val de Loire, Orléans, 118 p.

BIELENIN 1991

Bielenin K. (dir.) - *From Bloom to Knife,* Actes du Symposium international du comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, 18-22 sept. 1989, Ameliowska, n°26.

BIELENIN, MANGIN, ORZECHOWSKI 1995

Bielenin K., Mangin M., Orzechowski S. – « La sidérurgie ancienne et l'exploitation minière dans les Montagnes Sainte-Croix (Petite Pologne) I - Bilan des recherches 1955-1990 », in *Dialogues d'Histoire Ancienne*, Besançon, vol. 21, n°1, p. 203-224.

BIELENIN, MANGIN, ORZECHOWSKI 1996

Bielenin K., Mangin M., Orzechowski S. – « La sidérurgie ancienne et l'exploitation minière dans les Montagnes Sainte-Croix (Petite Pologne) II - Bilan des recherches 1955-1990 », in *Dialogues d'Histoire Ancienne*, Besançon, vol. 22, n°1, p. 327-373.

BIELENIN, MANGIN, ORZECHOWSKI 1998

Bielenin K., Mangin M., Orzechowski S. – « La sidérurgie ancienne et l'exploitation minière dans les Montagnes Sainte-Croix (Petite Pologne) III – Archéométrie et histoire : les montagnes Sainte-Croix et les régions productives européennes (fin de l'Age du fer – début du Moyen Age) », in *Dialogues d'Histoire Ancienne,* Besançon, vol. 24, n°1, p. 139-193.

De la BLACHE 1994
De la Blache P.V.- *Tableau de la géographie de la France*, Paris, 560 p.

BLEICHER, BEAUPRE 1896
Bleicher M., Beaupré J.- *Guide pour les recherches archéologiques (époques préhistoriques, gallo-romaine et mérovingienne) dans l'Est de la France (Belfort, Doubs, Haute-Saône, Meurthe-et-Moselle, Meuse, Vosges)*, Nancy, 117 p.

BONHOTE 1993
Bonhôte, J.- *Forges à la catalane et évolution forestière dans les Pyrénées de la Haute-Ariège : pour une histoire de l'environnement*, Thèse soutenue à l'Université de Toulouse, 337 p.

BONNAMOUR, FLORSCH, TEREYGEOL 2007
Gérald Bonnamour G., Nicolas Florsch N., Téreygeol F.- « Les prospections des ferriers de Castel-Minier : approche interdisciplinaire », in *ArcheoSciences*, t. 31, p. 37-44.
URL : http://archeosciences.revues.org/712

BONTROND 2013
Bontrond R.- « Étude typo-chronologique des terres cuites architecturales antiques de Châteaubleau (Seine et Marne) et ses environs », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, t. 52, p. 263-331.

BORDELOUP 1995
Bordeloup J.-M. – « Nouvelles observations sur la métallurgie ancienne du fer à Allogny (Cher) », in *Bulletin du Groupe de Recherches Archéologiques et Historiques de Sologne*, Lamotte-Beuvron, t. 17, n°3, p. 143-158.

BORDELOUP 1996
Bordeloup J.-M.- « Prospection-Inventaire. Allouis, métallurgie ancienne en forêt d'Allogny », in *Bulletin Scientifique Régional de la région Centre-Val de Loire*, Orléans, p. 40.

BORDELOUP 1997

Bordeloup J.-M.- « Saint Palais. Métallurgie ancienne en forêt d'Allogny et ses environs, in in *Bulletin Scientifique Régional de la région Centre-Val de Loire,* Orléans, p. 27.

BOUKEZZOULA 1995

Boukezzoula M.- *Mines et métallurgie ancienne dans le Centre-Est : la sidérurgie dans l'arrondissement de Mâcon et en Saône-et-Loire (71) : Avant le haut fourneau,* Thèse soutenue à l'Université de Besançon, 2 vol.

BOUSQUET 1738a

Bousquet M.- « Ex Cosmographia Ravennatis Anonymi », in *Receuil des historiens des Gaules et de la France,* Paris, p.120- 146.

BOUSQUET 1738b

Bousquet M.- « Annales Francorum vulgo Bertiniani », in *Receuil des historiens des Gaules et de la France,* Paris, p. 192- 204.

BRAUNSTEIN 1987

Braunstein P.- « Les forges champenoises de la comtesse de Flandre (1372-1404) », in *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, 42e année, n°4, p. 747-777.

BRAUNSTEIN 1990

Braunstein P.- « Forêts d'Europe au Moyen-Âge », in *Les Cahiers du Centre de Recherches Historiques*, n°6, 9 p.
URL: http://journals.openedition.org/ccrh/2859

BRGM 1978

Bureau de recherches Géologiques et Minières, - « Pithiviers », in *Carte géologique de la France à 1/50 000,* XXIII-18 Ministère de l'industrie, Marseille.

BUBENICEK, HESS, PAZDEJ 2017

Bubenicek L., Hess E., Pazdej R.- « FER - Minerais de fer », in *Encyclopædia Universalis.*
URL : http://www.universalis-edu.com.proxy.scd.univ-tours.fr/encyclopedie/fer-minerais-de-fer/

BUCAILLE 1978
Bucaille R.- « Aveyron, Saint-Jean-le-Froid », in *Archéologie médiévale*, t. 8, p. 264. www.persee.fr/doc/arcme_0153-9337_1978_num_8_1_1344_t1_0264_0000_5

BUCHWALD 2005
Buchwald V. F. – « Iron and steel in ancient times », in *Historik-Filosofiske Skrifter*, Copenhague, vol. 29, 372 p.

BURNOUF *et al.* 2020
Burnouf J., Arribet-Deroin D., Desachy B., Journot F., Nissen-Jaubert A.- *Manuel d'archéologie médiévale et moderne*, 2ème ed., Malakoff, 367 p.

CABBOI 1999
Cabboi S.- *« Aulnay Truchet » Commune de La Bazoge (72*) - *autoroute A28 Section Alençon-Le Mans-Tours*, Rapport d'opération archéologique, Association pour les Fouilles Archéologiques Nationales, 117 p.

CABBOI *et al.* 2004
Cabboi S., Dubois C., Dunikowski C., Leroy M.- « La fabrication du charbon de bois », in *Le fer*, Paris, p. 52-53.

CAILLAUD 2017
Caillaud E.- *Le fer, réseaux d'échanges et circulation des matières premières métalliques en Aquitaine du VIe s. av. J.-C. au VIe s. ap. J.-C.*, Thèse soutenue à l'Université de Poitiers, Poitiers, 2 vol.

CARRION-NISAS 1820
Carrion-Nisas fils. - *La loi Salique*, Paris, p. 11.

CHABAL 1991
Chabal L.- *L'homme et l'évolution de la végétation méditerranéenne, des âges des métaux à la période romaine*, Thèse soutenue à l'Université Montpellier II, Montpellier, 536 p.

CHABAL *et al.* 1999
Chabal L., Fabre L., Terral J.-F., Théry-Parisot I.- « L'anthracologie », in *La botanique,* Paris, p. 43-104.

CHABAL 2006
Chabal L.- « Étude anthracologique des combustibles », in *Saint-Mamert-du-Gard (30), Le Gravas. Sondage archéologique d'un bas fourneau à scories écoulées du IVe siècle ap. J.-C.,* SRA Languedoc-Roussillon, Montpellier, p. 34-37.

CHARLOIS, DUSSARD 2018
Charlois S., Dussard T.- *Le chêne en majesté : De la forêt au vin,* Paris, 224 p.

CHATENET 2001
Chatenet M.- *Chambord,* Paris, 280 p.

CHAUMEAU 1566
Chaumeau J.- *Histoire de Berry, contenant l'origine, antiquité, gestes, prouësses, privilèges et libertés des Berruyers, avec particulière description dudit pays*, Lyon, 365 p.

CHENORKIAN 1996
Chenorkian R. - *Pratique archéologique, statistique et graphique*, Paris, 162 p.

CHEVALIER, LE BELLAC 2012
Chevalier F., Le Bellac J.- *La classification ascendante hiérarchique*, diaporama cours université Rennes 1, Facultés des sciences économiques, 44 diapo.

CHOUQUER 2000
CHOUQUER G.- *L'étude des paysages. Essais sur leurs formes et leur histoire*, Paris, 208 p.

CHRZAVZEZ 2013
Chrzavzez J.- *Approche expérimentale de la conservation des charbons de bois dans les gisements paléolithiques : processus post-dépositionnels, fragmentation et représentativité des assemblages anthracologiques,* Thèse soutenue à l'Université Nice Sophia Antipolis, 478 p.

CLEERE 1970

Cleere H.- « The Romano-British Industrial site at Bardown, Wadhurst », in *Sussex Archaeological Society Occasional Paper 1*, 24 p.

CLEERE 1976

Cleere H. – « Some operating parameters for Roman ironworks », in *Institute of archaeological Bulletin*, vol. 13, p. 233-246.

COCHET 1963

Cochet J.- *Culture, aménagement et amélioration des bois*, Paris, 161 p.

COCHERIS 1874

Cocheris H.- *De l'origine des noms de lieux*, Paris, 267 p.

COLIN *et al.* 2017

Colin B., Clifford S., Wu P., Rathmanner S., Mengersen K.- « Using Boosted Regression Trees and Remotely Sensed Data to Drive Decision-Making », in *Open Journal of Statistics*, vol.7, n°5.

COLLIOU 2013

Colliou C.- *La métallurgie par réduction directe à l'est de la Seine-Maritime : études pluridisciplinaires sur la production du fer de la Protohistoire à la fin du Moyen-Âge*, Thèse soutenue à l'Université de Rouen, 2 vol.

CORVOL 1987

Corvol A.- *L'homme aux bois : histoire des relations de l'homme et de la forêt : XVIIe-XXe siècles*, Paris, 586 p.

CORVOL, DUGAS DE LA BOISSONY 1993

Corvol A., Dugas de la Boissony C. - *Enseigner et apprendre la forêt, XIX-XXe siècles*, Paris, 264 p.

CORVOL, RICHEFORT 1995

Corvol A., Richefort I. (dir.) - *Nature, environnement et paysage, l'héritage du XVIIIe siècle : guide de recherche archivistique et bibliographique*, Paris, 296 p.

COSTA, LAUT, PETIT 2020

Costa L., Laüt L., Petit C. – « Archéologie, forêt et Lidar : une recherche qui a du relief ! Introduction », in *Openscience*, Londres, n°4, p. 1-7.

COUBRAY, GIRARDCLOS 2020

COUBRAY S., GIRARDCLOS O.- « Anthracologie des ferriers 5 et 20 du « Bois de Ferriers » à Montholon, Aillant-sur-Tholon (89) », in *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions*, Rapport de recherche PCR 2020, SRA Bourgogne - Franche-Comté, Dijon, 297 p.

COUDERC 1986

Couderc J.M.- « Les forêts : un conservatoire archéologique. L'exemple des forêts tourangelles », in *Hommes et Terres du Nord*, Actes du colloque Du pollen au cadastre, 10-12 oct. 1985, Lille, p. 128-132.

COUSTURES 2001

Coustures M.-P. - *D'où proviennent les barres de fer des épaves antiques des Saintes-Maries-de-la-Mer (Bouche-de- Rhône) ?*, Thèse soutenue à l'Université de Bourgogne, Dijon, 1 vol.

COUSTURES *et al.* 2003

Coustures M.-P., Béziat D., Tollon F., Domergue C., Long L., Rebiscoul A.- « The use of trace element analysis of entrapped slag inclusions to establish ore - bar iron links : examples from two Gallo-Roman iron-making sites in France (Les Martys, Montagne Noire and Les Ferrys, Loiret) », in *Archaeometry*, Oxford, vol. 45, p. 599-613.

COUVIN 2021

Couvin F.- *Le Pêchereau, Le bois des thibauds (Indre)*, rapport d'opération préventive, SRA Centre - Île-de-France, 73 p.

CREW, CREW 1997

Crew P., Crew S. (dir.) - « Geophysical survey and furnace location at ironworking sites », in *Early Ironworking in Europe*, Conférence Internationale tenue à Plas Tan y Bwlch, 19-25 sept. 1997, Gwynedd, p. 113-115.

CREW 2000

Crew P. – « The influence of clay and charcoal ash on bloomery slags », in *Il ferro nelle Alpi / Iron in the Alps*, Conférence de Bienno (BS), 2 - 4 oct. 1998, Breno, p. 38-48.

CROZET 2021a

Crozet A.- *La fabrique du paysage, de la forêt de Boulogne au parc de Chambord*, thèse soutenue en 2021, Thèse soutenue à l'Université de Tours, Tours, 3 vol.

CROZET 2021b

Crozet A.- « Reconnaissance de charbonnières dans le domaine national de Chambord », in *Un espace métallurgique ancien : la forêt de Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher)*, rapport de prospection programmée, SRA Centre- Val de Loire, 50 p.

COWLEY, OPITZ 2012

Cowley D. C., Opitz R.S.- *Interpreting Archaeological Topography : Lasers, 3D Data, Observation, Visualisation and Applications*, Oxford, 265 p.

DABAS, HESSE, JOLIVET 1989

Dabas M., Hesse A., Jolivet A.- « Premiers résultats et perspectives pour l'exploration géophysique des sites métallurgiques médiévaux de Minot (Côte d'Or) », in *112e Congrés national des Sociétés savantes*, Lyon, p. 129-144.

DABAS 1999

Dabas M.- « Contribution de la prospection géophysique à large maille et de la géostatistique à l'étude des tracés autoroutiers. Application aux ferriers de la Buissière sur l'A77 », in *ArchéoSciences*, Rennes, n°23, p. 17-32.

DABAS, DIEUDONNE-GLAD, POIRIER 2002

Dabas M., Dieudonné-Glad N., Poirier N.- « Caractérisation des structures d'une forge antique : approche archéologique, géologique et anthracologique », in *ArchéoSciences*, Rennes, n°26, p. 141-154.

DABAS *et al.* 2006

Dabas M., Delétang H., Ferdière A., Jung C., Haio Zimmermann W.- *La prospection*, Saint-Etienne, 238 p.

DARDIGNAC, GEORGES-LEROY, DUPOUEY 2007

Dardignac C., Georges-Leroy M., Dupouey J.-L.- "Quelques Évolutions Récentes Des Relations Entre Archéologie, Forêt Et Environnement.", in *La mémoire des forêts. Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement*, 14 au 16 déc., Paris, p. 9-14.

DARDIGNAC, LE JEUNE 2016

Dardignac C., Le Jeune Y.- *Forêt domaniale de Bercé (72) – Acquisition et traitement de données LIDAR, prospections archéologiques et prospections paléoenvironnementales*, Rapport de prospection, SRA Pays de la Loire, 227 p.

DAUBREE 1868

Daubrée A.- « Aperçu historique sur l'exploitation des métaux dans la Gaule », in *Revue Archéologique*, t. 17, Paris, p. 298-131.

DAUBREE 1881

Daubrée A. – « Aperçu historique sur l'exploitation des mines métalliques dans la Gaule », in *Revue Archéologique*, Paris, t. 41, p. 201-221, 261-283, 326-353.

DAVASSE 1998

Davasse B.- *La forêt du charbonnier et les forêts des paysans dans l'espace des Pyrénées de l'est (Moyen âge à nos jours) : étude d'écologie historique : aspects biogéographique, écohistorique et anthracologique. Contribution à une histoire de l'environnement*, Thèse soutenue à l'Université de Toulouse II, Toulouse, 287 p.

DAVEAU, GOUSTARD 2000
Daveau I., Goustard V. – « Un complexe métallurgique et minier du haut Moyen Âge. Le site des Fourneaux à Vert-Saint-Denis (Seine-et-Marne) », in *Gallia*, Paris, vol. 57, p. 77-99.

DAVY 1880
Davy L.- « Étude géologique de l'arrondissement de Segré (Maine-et-Loire) et particulièrement des gisements des minerais de fer de ce pays », in *Bulletin de la Société de l'Industrie minérale,* Saint-Etienne, 2e s., vol. 9, p. 537-633.

DAVY 1913
Davy L.- « Étude des scories de forges anciennes éparses sur le sol de l'Anjou, de la Bretagne et de la Mayenne », in *Bulletin de la Société de l'industrie minérale,* Saint-Etienne, 5e s., vol. 3, p. 5-107.

DEBRAND-PASSARD *et al.* 2010
Debrand-passard S., Giot D., Cruz Mermy D., Macaire J.-J., Maget P., Gros Y., Charneth F. Delétang H.- « Lamotte-Beuvron », in *Carte géologique de la France à 1/50 000,* Orléans.

DECOMBEIX *et al.* 1998
Decombeix P.M., Domergue C., Fabre J.M., Tollon F.- « Évaluation du volume des ferriers romains du domaine des Forges (Les Martys, Aude), de la masse de scories qu'ils renferment et de la production de fer correspondante », in *Archéosciences*, Rennes, n°22, p. 77-90.

DECOMBEIX 2004
Decombeix P.-M. – « Évaluer la quantité de scories que contient un ferrier : pourquoi et comment faire ? L'exemple de la haute vallée de la Dure (région des Martys, Aude) », in *Le Fer*, Paris, p. 192-198.

DE CROY 1894
De Croy A. M. J.- *Nouveaux documents pour l'histoire de la création des résidences royales des bords de la Loire : Amboise, Blois, Chambord, jardins du Château de Blois, parc de Chambord,* Paris, 240 p.

DELCOURTE-DEBARRE 2016

Delcourte-Debarre M.- *Espaces forestiers et sociétés en Avesnois (XIVe - début du XVIIIe siècle) : étude du paysage*, Thèse soutenue à l'Université de Lille, Lille, 2 vol.

DELENCRE, GARCIA 2012

Delencre F., Garcia J.P.- « Méthodologie et enjeux de l'analyse des matériaux de construction et de couverture romains de Bibracte. Un cas d'étude : les matériaux de construction en terre cuite de PC1 », in *Rapport annuel 2012 du programme de recherche sur le Mont Beuvray IV*, Glux-en-Glenne, p. 365-378.

DEMEZYL 1963

Demezyl J. M.- « Les forêts du comté de Blois jusqu'à la fin du XVe siècle », in *Mémoires de la Société des sciences et lettres de Loir-et-Cher*, Paris, vol. 34, p. 126-236.

DEMIANS D'ARCHIMBAUD 1980

Demians d'Archimbaud G.- *Les fouilles de Rougiers. Contribution à l'archéologie de l'habitat rural médiéval en pays méditerranéen*, Paris, 724 p.

DESAULTY 2008

Desaulty A.-M. - *Apport des analyses chimiques multi technique à la compréhension du comportement des éléments traces dans les filières sidérurgiques anciennes. Application aux études de provenance et à la distinction des procédés. Le cas du Pays de Bray normand*, Thèse soutenue à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard et Université de Besançon, Besançon, 2 vol.

DESHAYES 2016

Deshayes G.- « Les toitures et les tuiles médiévales de l'aile ouest de l'abbaye de Jumièges (Seine Maritime) », in *Journées archéologiques de Haute Normandie*, Conches-en-ouche, 5 et 6 juin 2015, Mont-Saint-Aignan, p. 139-152.

DEVAILLY 1973

Devailly G.- *Le Barry du Xe siècle au milieu du XIIIe siècle : étude politique, religieuse, sociale et économique*, Paris, 636 p.

DEVAILLY 1980

Devailly G.- *Histoire du Berry*, Fontenay-le-Comte, 334 p.

DEVEREUX, AMABLE, CROW 2008

Devereux B. J., Amable G. S., Crow P. – « Visualisation of LiDAR terrain models for archaeological feature detection », in *Antiquity*, Cambridge, vol. 82, n°316, p. 470-79.

DEVEZE 1961

Devèze M.- « La vie de la forêt française au XVIe siècle », in *Les hommes et la terre*, Paris, t. 1, 325 p.

DIEUDONNE-GLAD 1991

Dieudonné-Glad N. - *La métallurgie du fer chez les Bituriges à l'époque gallo-romaine*, Thèse soutenue à l'Université de Paris I, Paris, 2 vol.

DIEUDONNE-GLAD 1992

Dieudonné-Glad N.- « La métallurgie du fer autour d'Avaricum (Bourges) dans l'Antiquité », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, t. 31, p. 57-74.

DIEUDONNE-GLAD 1996

Dieudonné-Glad N.- « Exploitation minière et forestière : artisanat du fer et nature dans l'Antiquité chez les Bituriges », in *L'homme et la nature au Moyen Âge,* Actes du Ve Congrès international d'Archéologie Médiévale, 6-9 oct. 1993, Caen, p. 222-227.

DIEUDONNE-GLAD 2000

Dieudonné-Glad N.- « L'atelier sidérurgique gallo-romain du Latté à Oulches (Indre) », in *Gallia*, Paris, vol. 57, p. 63-75.

DIEUDONNE-GLAD 2010

Dieudonné-Glad N.- « L'atelier de réduction du Latté à Oulches » in *Travail de la terre, travail du fer*, Bordeaux, p. 259-363.

DIEUDONNE-GLAD 2014

Dieudonné-Glad N.- *Meunet-Planches « Les Iles », Rapport de prospection au sol, prospection magnétique et analyses chimiques,* Rapport d'opération programmée, SRA Centre-Val de Loire, 22 p.

DIEUDONNE-GLAD 2015

Dieudonné-Glad N.- *Rapport de Fouille Programmée sur le site métallurgique des Iles à Meunet-Planches*, Rapport d'opération programmée, SRA Centre-Val de Loire, 60 p.

DIEUDONNE-GLAD 2016

Dieudonné-Glad N.- *Rapport de Prospection sur le site métallurgique des Iles à Meunet-Planches*, Rapport d'opération programmée, SRA Centre-Val de Loire, 56 p.

DIEUDONNE-GLAD 2017

Dieudonné-Glad N.- *Rapport de Fouille Programmée sur le site métallurgique des Iles à Meunet-Planches*, Rapport d'opération programmée, SRA Centre-Val de Loire, 75 p.

DIEUDONNE-GLAD, BUCHSENSCHUTZ 2013

Dieudonné-Glad N., Buchsenschutz O.- *Rapport de Fouille Programmée sur le site métallurgique des Iles à Meunet-Planches*, Rapport d'opération programmée, SRA Centre-Val de Loire, 76 p.

DI NAPOLI *et al.* 2019

Di Napoli F., Coulon G., Gardère P., Kildea F., Audoux D., Hulin G., Lacroix S., Milcent P.-Y.- Villedieu-sur-Indre (36) « Approche multiscalaire des dynamiques environnementales et anthropiques de la moyenne vallée de l'Indre », Rapport de prospection thématique, SRA Centre-Val de Loire, 75 p.

DISSER 2014

Disser A. - *Production et circulation du fer en Lorraine (VIe siècle av. J.-C. - XVe siècle ap. J.-C.)*, Thèse soutenue à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Belfort, 2 vol.

DILMANN, TEREYGEOL, VERNA 2006
Dilmann P., Téreygeol F., Verna C.- « Premières analyses métallographiques des produits sidérurgiques trouvés sur le site médiéval de Castel-Minier (Aulus-les-Bains) », in *ArchéoSciences*, Rennes, n°30, p. 7-14.

DOMERGUE, REBISCOUL, TOLLON 1982
Domergue C., Rebiscoul A., Tollon F. – « Les fours de réduction du fer dans la Montagne Noire (Aude) à l'époque gallo-romaine et leur production », in *Mines et fonderies antiques de la Gaule*, Toulouse, p. 215-230.

DOMERGUE 1989
Domergue C. - *Mineria y metallurgia en las antiguas civilizaciones mediterraneas y europeas*, Colloque international, 24-28 oct. 1985, Madrid, 2 vol., 484 p.

DOMERGUE *et al.* 1993
Domergue C., Cauuet B., Lavielle E., Pailler J.-M., Sablayrolles R., Sillières P. – « Un centre sidérurgique romain de la Montagne Noire. Le domaine des Forges (Les Martys, Aude) », in *Revue Archéologique de Narbonnaise*, 27e supplément, Paris, 477 p.

DOMERGUE, JARRIER, TOLLON 1999
Domergue C., Jarrier C., Tollon F. - « La métallurgie extractive du fer dans la Montagne Noire (France) à l'époque romaine », in *Revue Archéologique de Narbonnaise*, vol. 32, p. 147-156.

DOMERGUE, LEROY 2000
Domergue C., Leroy M.- « L'état de la recherche sur les mines et métallurgies en Gaule, de l'époque gauloise au haut Moyen Âge », in *Gallia*, Paris, vol. 57, p. 1-158.

DONEUS 2013
Doneus M.- « Openness as Visualization Technique for Interpretative Mapping of Airborne Lidar Derived Digital Terrain Models », in *Remote Sens*, n° 12, p. 27-42.
URL : https://doi.org/10.3390/rs5126427

DORNIC 1980
Dornic F.- « Le fer et la forêt. La forge de Cossé en 1774 », in *Annales de Normandie*, n°4, p. 15-33.

DORNIC 1984
Dornic, F., - *Le Fer contre la forêt*, Rennes, 280 p.

DUBANT 1999
Dubant D.- « Les massifs boisés au nord-est de Châteauroux (Indre) du néolithique à nos jours », in *Cahiers d'archéologie et d'histoire du Berry*, vol. 139, p. 19-42.

DUBOIS 1986
Dubois J.-J.- « Du pollen au cadastre », in *Hommes et Terres du Nord*, Actes de colloque, 10-12 oct. 1985, Lille, p. 81-82.

DUBOIS 1992
Dubois C.- « De la forêt au métal : premières données diachroniques et archéologiques en Ariège », in *Proto-industries et Histoire des Forêts*, Toulouse, p. 287–300.

DUBOIS, IZARD, METAILIE 1993
Dubois C., Izard V., Metailié J.-P.- « forêts charbonnées et archéologie métallurgique en Ariège (Pyrénées françaises) : Une méthodologie interdisciplinaire pour l'histoire de l'environnement », in *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen*, colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, p. 312-317.

DUBOIS, METAILIE, IZARD 1997
DUBOIS C., METAILIE J.-P., IZARD V.- « Archéologie de la forêt charbonnée : questions et méthodes, illustrées par l'exemple du site de Lercoul (Ariège) », in *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes XVII*, Rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, Sophia Antipolis, p. 525-540.

DUCEPPE-LAMARRE 1999
Duceppe-Lamarre F.- « L'archéologie du paysage à la conquête des milieux forestiers, ou l'objet paysage vu par l'archéologue de l'environnement », in *Hypothèses*, Paris, vol. 2, n° 1, p. 85-94.

DUFRAISSE 2002

Dufraisse A.- *Les habitats littoraux néolithiques des lacs de Chalain et Clairvaux (Jura, France) : collecte du bois de feu, gestion de l'espace forestier et impact sur le couvert arboréen entre 3700 et 2500 av. J.-C. : analyses anthracologiques*, Thèse soutenue à l'Université de Besançon, Besançon, 349 p.

DUFRAISSE *et al* 2018

Dufraisse A., Coubray S., Girardclos O., Nocus N., Lemoine M., Dupouey J.-L., Marguerie D.- « Anthraco-typology as a key approach to pastfirewood exploitationand woodland management reconstructions. Dendrological referencedataset modelling with dendro-anthracological tools », in *Quaternary International*, Amsterdam, vol. 263.

DUMASY 1993

Dumasy F.- *Agriculteurs et métallurgistes, l'espace rural antique autour d'Argentomagus,* Catalogue d'exposition, Saint-Marcel, 112 p.

DUMASY, DIEUDONNE-GLAD, LAÜT 2010

Dumasy F., Dieudonné-Glad N., Laüt L. - *Travail de la terre, travail du fer. L'espace rural autour d'Argentomagus (Saint-Marcel, Indre)*, Bordeaux, vol. 23, 525 p.

DUNIKOWSKI, CABBOÏ 1995

Dunikowski C., Cabboï S. - *La sidérurgie chez les Sénons : les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, Paris, 188 p.

DUNIKOWSKI *et al.* 1996

Dunikowski C., Leroy M., Merluzzo P., Ploquin A.- « L'atelier de forge gallo-romaine de Nailly (Yonne) : contribution à l'étude des déchets de production », in *Revue Archéologique de l'Est*, Dijon, t. 47, p. 97-121.

DUNIKOWSKI, CABBOÏ 2001

Dunikowski C., Cabboï S. – « L'extraction du minerai de fer, la production du charbon de bois et la réduction du minerai de l'Âge du Fer, de la période romaine et du haut Moyen Âge dans les nord de la France (les exemples du site des Clérimois, département de l'Yonne et ensemble des sites de la Sarthe) », in *L'obtencio del ferro pel procediment directe entre els segles IV i*

XIX, actes del 6è curs d'Arqueologia d'Andorra del 2 d'octubre al 5 d'octubre de 2000, Andorre-la-Vieille, p. 189-210.

DUPIN 2018

Dupin A.- *Caractérisation du charbonnage moderne et contemporain bisontin (Franche-Comté, France) et de son impact sur les peuplements forestiers : le cas de la forêt de Chailluz,* Thèse soutenue à l'Université de Bourgogne Franche-Comté, Besançon, 254 p.

DUPOUEY, DAMBRINE *et al.* 2007

Dupouey J.-L., Dambrine E., Dardignac C. et Georges-Leroy M. - *La mémoire des forêts,* Actes du colloque « Forêt, archéologie et environnement », 14-16 déc. 2004, Paris, 295 p.

DURAND 1991

Durand A.- *Paysages, terroirs et peuplement dans les campagnes du Bas-Languedoc (dixième-douzième siècle)*, Thèse soutenue à l'Université de Paris I, Paris, 2 vol.

DURRER 1947

Durrer R. - *Grundlagen der Eisengewinnung*, Berne, 210 p.

DUVAL 2017

Duval A.- « Ordre de Grandmont », in *Encyclopædia Universalis*.
URL : http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/ordre-de-grandmont/

ESCHENLOHR, SERNEELS 1991

Eschenlohr L., Serneels V. – « Les bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, les Boulies (JU/Suisse) », in *Cahier d'Archéologie Jurassienne*, t. 3, Porrentruy, 143 p.

ESCHENLOHR 2001

Eschenlohr L. – « Recherches archéologiques sur le district sidérurgique du Jura central suisse », in *Cahier d'archéologie romande,* n°88, Lausanne, 388 p.

ESCHENLOHR *et al.* 2007

Eschenlohr L., Friedli V., Robert-Charrue Linder C., Senn M.- « Métallurgie du fer et mobilier métallique », in *Cahier d'Archéologie Jurassienne*, t. 14, 356 p.

ESPELUND 1993

Espelund A. - *Bloomery Ironmaking during 2000 years : Ancient ironmaking in a local and general Norwegian context*, Trondheim, vol. 1, 142 p.

EVE, LEROUX, BENOIT 2019

Eve D., Leroux J.-F., Benoit P.- « L'industrie sidérurgique claravallienne à l'époque moderne (XVe-XVIIIe siècles) », in Actes du colloque international des 1er- 5 septembre 2015 (Troyes-Abbayes de Clairvaux – Abbaye de Fontenay), Paris, p. 127-146.

FABRE, DOMERGUE, DABOSI 2016

Fabre J.-M., Domergue C., Dabosi F.- *Le fer romain de la Montagne Noire. Martys 2 : les débuts*. *25 années de recherches pluridisciplinaires (1988-2013)*, Montpellier, 526 p.

FAITH 1983

Faith D. P.- « Asymmetric binary similarity measures », in *Oecologia*, Berlin, vol. 57, n°3, p. 287 – 290.

FAUCONNEAU 1873

Fauconneau V.A.- *Histoire de Déols et de Châteauroux*, Paris, 2 vol.

FELIBIEN 1874

Felibien A.- *Mémoires pour servir à l'histoire des maisons royalles et bastimens de France*, Paris, 104 p.

FERDIERE, GUILLEMARD, LANOS 2012

Ferdière A., Guillemard T., Lanos P.- « Un atelier de potiers-tuiliers de la fin du Haut-Empire en Forêt d'Orléans : Vrigny « Châtillon », Loiret (fouilles 1969-1973) », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, t. 40, p. 9-143.

FERDIERE, RIALLAND 1994

Ferdière A., Rialland Y.- « La prospection archéologique systématique sur le tracé de l'autoroute A 71 (section Bourgessud du Cher), 1ère partie », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, t. 33, p. 7-86.

FEUGERE, SERNEELS 1998
Feugère M., Serneels V. (dir.) – « Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale », in *Monographies Instrumentum*, Actes de la table ronde européenne instrumentum, Montagnac, n°4, 216 p.

FEUGÈRE, GUSTIN 2000
Feugère M., Gustin M. (dir.) - *Iron, Blacksmiths and Tools. Ancient European Crafts*, Actes de la conférence *Instrumentum* à Podsreda (Slovénie), avril 1999, in *Monographie Instrumentum*, Actes de la table ronde européenne instrumentum, Montagnac, n°12, 248 p.

FINET 2014a
Finet A., Notice ICERAMM n°337, ZAC Avaricum (Bourges) - Ensemble 131 niveau d'occupation : La fonction de la pièce 20.3 correspond à une boutique donnant sur rue.
URL : http://iceramm.univ-tours.fr/notices.php?n=338#338, consulté le 10/10/2019.

FINET 2014b
Finet A., ZAC Avaricum (Bourges) - Ensemble 77 niveau d'occupation : Niveau d'épandage de déchets scellant plusieurs ensembles clos.
URL : http://iceramm.univ-tours.fr/notices.php?n=337#337, consulté le 10/10/2019.

FLORANCE 1913
Florance S. C.- « Les scories ferrugineuses très anciennes du Loir-et-Cher et particulièrement de la Forêt de Boulogne (Arrondissement de Blois) », in *Huitième congrès préhistorique de France*, Le Mans, p.722-729.

FLUZIN 1983
Fluzin P. – « Notions élémentaires de sidérurgie », in *Métallurgies Africaines. Nouvelles contributions*, Mémoires de la Société des Africanistes, Paris, t. 9, p. 13-44.

FLUZIN 2000
Fluzin P.- « Ponte di Val Gabbia III (Bienno) : les premiers résultats des études métallographiques », in *Il ferro nelle Alpi / Iron in the Alps*, Conférence de Bienno (BS), 2 - 4 oct. 1998, Breno, p. 24 – 31.

FLUZIN, PLOQUIN, SERNEELS 2000

Fluzin Ph., Ploquin A., Serneels V. – « Archéométrie des déchets de production sidérurgique, Moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe », in *Gallia*, Paris, vol. 57, p. 101-121.

FLUZIN 2001

Fluzin P.- « Apport de l'archéométrie à la restitution de la chaîne opératoire en sidérurgie ; matériaux archéologiques et procédés. Etudes métallographiques. », in *L'obtencio del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*, actes del 6è curs d'Arqueologia d'Andorra del 2 d'octubre al 5 d'octubre de 2000, Andorre-la-Vieille, p. 335-365.

FOUEDJEU *et al.* A paraitre

Fouedjeu L., Paradis-Grenouillet S., Saulnier M., Burri S., Py-Saragaglia V.- *Long term management of wood for charcoaling in the Northern Pyrenees : dendro-antracological study of charcoal kilns in the Bernadouze forest (Suc-et-Sentenac, Haut Vicdessos)* (article en cours).

FOUILLET 1999

Fouillet N.- « Un habitat rural du haut Moyen-Âge à Déols (Indre) », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, t. 38, p. 169-194.

FOUILLET 2014

Fouillet N.- *Le Poinçonnet (Indre), avenue de la Forêt, lieu-dit « L'Aumée »*, Rapport de diagnostic, SRA Centre-Val de Loire, 44 p.

FOUILLET, MORTREAU 2013

Fouillet N.- *Mortreau J.- Etrechet, Indre, ZAC d'Ozans, Fêts de Renier Occupations antiques et médiévales*, Rapport d'opération, SRA Centre-Val de Loire, 453 p.

FOURNIER, CHAMBON, RIVOIRE 2016

Fournier L., Chambon M.-P., Rivoire E.- « Antiquité tardive en région Centre-Val de Loire (AnTaRec) », in *Archéologie de la France - Informations*, Centre-Val de Loire.

FROELIGER, PERNOT, WIETHOLD 2018

Froeliger N., Pernot P., Wiethold J.- « Une batterie de fours antiques du Haut-Empire », in *Charbonnage, charbonniers, charbonnières : confluence de regards autour d'un artisanat méconnu*, Aix-en-Provence, p. 81-98.

GAIER 1973

Gaier C.- *L'industrie et le commerce des armes dans les anciennes principautés de Liège, du XIIIe à la fin du XVe s.*, Liège, p. 395.

GALLAY, KALAPO, GUINDO 2002

Gallay A., Kalapo Y., Guindo E. - *Étude ethnoarchéologique des traditions céramiques du pays Dogon : rapport de la mission*, Genève, 125 p.

GALLAY *et al.* 2004

Gallay A. *et al.* - *Étude ethnoarchéologique des traditions céramiques du pays Dogon: rapport de la mission*, Genève, 147 p.

GANDINI 2008

Gandini C.- « Des campagnes gauloises aux campagnes de l'Antiquité tardive : la dynamique de l'habitat rural dans la cité des Bituriges Cubi (IIe s. av. J.-C. -VIIe s. ap. J.-C.) », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, 512 p.

GARNIER 2014

Garnier B.- *Document d'Objectifs Natura 2000 « Domaine national de Chambord »*, Rapport de l'Office National des forêts pour le domaine National de Chambord, Boigny-Sur-Bionne, 321 p.

GAUDIN 2016

Gaudin L.- *Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération archéologique de la ZAC des Epineaux – Secteur A à Frepillon (95),* Rapport d'étude anthracologique, Service départemental d'archéologie du Val d'Oise, 32 p.

GAUTHIER, RICHARD 2007
Gauthier E., Richard H.- « La forêt jurassienne au cours des deux derniers millénaires à la lumière de quelques diagrammes polliniques », in *La mémoire des forêts,* Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement, 14 au 16 déc., Paris, p. 57-67.

GEORGES-LEROY *et al.* 2011
Georges-Leroy M., Bock J., Dambrine E, Dupouey J. L.- « Apport du lidar à la connaissance de l'histoire de l'occupation du sol en forêt de Haye », in *ArcheoSciences,* Rennes, n°35, p. 117-129.

GILLARDOT 1972
Gillardot P.- « Forêts et landes de Sologne », in *Norois*, Orléans, n°76, p. 641-672.

GILLE 1968
Gille B.- « L'organisation de la production du fer au Moyen Âge », in *Revue d'histoire de la sidérurgie*, vol. 9, p. 92-112.

GIMPEL 1975
Gimpel J.- *La Révolution industrielle du Moyen Âge*, Paris, 244 p.

GIOSA 2020
Giosa A.- *Les agrosystèmes antiques du Châtillonnais : approche archéopédologique de la mémoire des forêts dans les parcellaires reconnus par télédétection LiDAR*, Thèse soutenue à l'Université Paris I, 2 vol.

GOUDARD 1936
Goudard A. – « Note sur l'exploitation des gisements de scories de fer dans le département de l'Yonne », in *Bulletin de la Société Archéologique de Sens,* Sens, vol. 38, p. 151-182.

GOUHIER 2019a
Gouhier B.- « Prospections géomagnétiques sur le ferrier F090, Le Poinconnet (36) », In *Le ferrier F090 de la forêt de Châteauroux (Indre),* Rapport de fouille programmée, SRA Centre-Val de Loire, p. 11-16.

GOUHIER 2019b
Gouhier B.- « La prospection géomagnétique du ferrier F155/1 », in *Une activité métallurgique dans le massif forestier de Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher*), Rapport de fouille programmée, SRA Centre-Val de Loire, p. 11-16.

GOUHIER 2020
Gouhier B.- « Prospections géomagnétiques sur le ferrier F155 », in *Le ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher) - Campagne 2020,* Rapport de prospection thématique, SRA Centre-Val de Loire, p. 16-21.

GOUSTARD 1997
Goustard V.- « Les déchets de la métallurgie du fer du site de la place des Hallettes à Compiègne (Oise). Premières observations », in *Revue archéologique de Picardie*, Senlis, n°13, p. 211-217.

GOUSTARD *et al.* 1998
Goustard V., Leroy M., Serneels V, Daveau I.- « La production sidérurgique en contexte d'habitat aux VIIIe/XIIe siècles : l'apport des fouilles récentes en France et en Suisse », in *L'innovation technique au Moyen Âge*, Actes du VIe Congrès international d'Archéologie Médiévale, 1-5 oct. 1996, Caen, p. 139-144.

GRELIER 2017
Grelier A.- *Étude métallographique des culots de forge et battitures de la forge médiévale du prieuré de Soudaine-Lavinadière (Corrèze)*, Mémoire de master 2 soutenu à l'Université de Poitier, 96 p.

GUERRIN-BROT 1960
Guerrin-Brot I.- *La vie rurale en Sologne aux XIVe-XVe*, Paris, 379 p.

GUIBERT 1877
Guibert L.- *Destruction de l'ordre de Grandmont*, Paris, 933 p.

HEINZ 1988
Heinz C.- *Dynamique des végétations holocènes en Méditerranée nord occidentale d'après l'anthracoanalyse de sites préhistoriques : méthodologie et paléoécologie*, thèse de Science soutenue en 1988, Thèse soutenue à l'Université de Montpellier II, Montpellier, 275 p.

HERBRICH 2019
Herbrich M. - « Montholon « Le Bois des ferriers » : acquisitions LIDAR et datations radiocarbone sur les amas de scories », in *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions*, Rapport de recherche PCR, Dijon, p. 56-60.

HERVE 2012
Hervé C.- « Les termes *vicus, castrum, castellum* dans l'œuvre de Grégoire de Tours chez les Turons, les Carnutes et les Bituriges », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, Tours, vol. 42, p. 49-57.

HESSE 1966
Hesse A.- *Prospections géophysiques à faible profondeur, applications à l'archéologie*, Paris, 149 p.

HESSE, JOLIVET, REMY 1978
Hesse A., Jolivet A., Rémy J.- *Manuel de prospection géophysique appliquée à la reconnaissance archéologique*, Dijon, 127 p.

HOUZARD 1980
Houzard G.- *Les massifs forestiers de Basse-Normandie Brix, Andaines et Écouves : Essai de biogéographie*, Thèse soutenue à l'Université de Caen, Caen, 667 p.

HUBERT 1901
Hubert E.- « Notice sur les archives composant la série A (Apanage du comte d'Artois, chartrier du Duché de Châteauroux.)", in *Apanage du comte d'Artois, chartrier du duché de Châteauroux par E. Hubert (1901), revu par M. du Pouget (2011-2015)*, Châteauroux, 353 p.

HUBERT 2010a
Hubert E.- *Le Bas-Berry, histoire et Archéologie : Ardentes*, rééd 1902, Saint-Paul, 97 p.

HUBERT 2010b
Hubert E.- *Le Bas-Berry, histoire et Archéologie : Châteauroux et Déols*, rééd 1930, Saint-Paul, 99 p.

HURE 1919
Hure A. – « Origine et formation du fer dans le sénonais, ses exploitations et ses fonderies dans l'Yonne », in *Bulletin de la Société des Sciences Historiques et Naturelles de l'Yonne*, vol. 72, p. 33-106.

HUSI 2003
Husi Ph. (dir.) – « La céramique médiévale et moderne du Centre-Ouest de la France (11e – 17e siècle) : Chrono-typologie de la céramique et approvisionnement de la vallée de la Loire moyenne », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, vol. 20, Tours, 110 p.

HUSI 2013
Husi P.- « La céramique du haut Moyen Âge dans le Centre-Ouest de la France : de la chrono-typologie aux aires culturelles », in *Revue Archéologique du Centre de la France*, vol. 49, Tours, 284 p.

IGN 2018
Institut National de l'information Géographique et forestière - *RGE ALTI® Version 2.0 ; Descriptif de contenu*, Février 2013, révisé en Septembre 2018.

IZARD 1999
Izard V.- *Les montagnes du fer : éco-histoire de la métallurgie et des forêts dans les Pyrénées méditerranéennes (de l'Antiquité à nos jours). Pour une histoire de l'environnement*, Thèse soutenue à l'Université de Toulouse II, Toulouse, 752 p.

JACQUET 2003
Jacquet G. - *La Forêt en Val de Loire aux périodes préindustrielles : histoire, morphologie, archéologie, dendrologie*, Thèse soutenue à l'Université de Tours, Tours, 3 vol.

JACQUIOT 1960
Jacquiot C.- « Détermination de bois fossiles provenant de la grotte de Lascaux, Montignac-sur-Vézère (Dordogne) », in *Bulletin de la Société Botanique de France*, Paris vol. 107, p. 15-17.

JACOB, MANGIN 1990
Jacob J.-P., Mangin M. - *De la mine à la forge en Franche-Comté : des origines au XIXe siècle*, Paris, 313 p.

JALUT, METAILIE 1991
Jalut G., Métailié J.P.- *La forêt charbonnée : histoire des forêts et impact de la métallurgie dans les Pyrénées ariégeoises au cours des deux derniers millénaires*, Centre National de la Recherche Scientifique, Toulouse, 220 p.

JARRIER *et al.* 1997
Jarrier C., Andrieux P., Domergue C., Pieraggi B., Ploquin A., Tollon F. – « Élaboration du fer par réduction directe : essais de reproduction des procédés antiques », in *Revue de métallurgie*, vol. 5, p. 691-704.

JESSET 2010
Jesset S.- « Centre. PCR Habitat rural du Moyen Âge en région Centre », in *Archéologie médiévale*, t. 40, p. 220.

JESSET 2014
Jesset S.- « La production de terre cuite architecturale durant le haut Moyen âge à Saran (Loiret) : entre tradition et modernité », in *Acte de la Société Française d'Etude de la Céramique en Gaule*, Chartres, p. 177-196.

JOUFFROY-BAPICOT 2007
Jouffroy-Bapicot I.- « Impact environnemental des activités paléométallurgiques sur la forêt du Morvan (région du Mont-Beuvray). Résultats croisés des analyses pollinique et géochimique », in *La mémoire des forêts. Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement*, 14 au 16 déc., Paris, p. 45-55.

KERLEROUX 1956
Kerleroux A – « Ancienne exploitation du fer dans le Berry », in *Techniques et Civilisations*, Saint-Germain-en Laye, vol. 5, p. 68-76.

KNAU, SÖNNECKEN 1994

Knau H. L., Sonnecken M.- « Du bas-fourneau au haut-fourneau et à la forge, un développement révolutionnaire dans le comté de Mark (Allemagne) », in *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen*, 10-13 nov. 1993, Besançon, p. 121-130.

QUENTEL nd

Quentel P.- « Bituriges », in *Encyclopædia Universalis*.
URL : http://www.universalis-edu.com.proxy.scd.univ-tours.fr/encyclopedie/bituriges/

LACROIX 2018a

Lacroix S.- « Le ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher) », Rapport de fouille programmée, SRA Centre-Val de Loire, 2 vol.

LACROIX 2018b

Lacroix S.- *Les ferriers de la forêt de Châteauroux (Indre)*, Rapport de prospection thématique, SRA Centre-Val de Loire, 34 p.

LACROIX 2019a

Lacroix S.- *Les ferriers de la forêt de Châteauroux (Indre) - Suite*, Rapport de prospection thématique, SRA Centre-Val de Loire, 2 vol.

LACROIX 2019b

Lacroix S.- *Le ferrier F090 de la forêt de Châteauroux (Indre)*, Rapport de fouille programmée, SRA Centre-Val de Loire, 2 vol.

LACROIX 2020

Lacroix S.- *Le ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher) - Campagne 2020*, Rapport de prospection thématique, SRA Centre-Val de Loire, 2 vol.

LALLOUE *et al.* 2015

Lalloué B., Deguen S., Monnez J.-M., Padilla C., Kihal W., Zmirou-Navier D., Le Meur N.- « SesIndexCreatoR: An R Package for Socioeconomic Indices Computation and Visualization », in *Open Journal of Statistics*, vol. 5, n° 4.

URL : https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=56961

LANGLOIS 2005

Langlois J.-Y.- *St-Evroult-de-Monfort (Orne), « Le Buisson »*, Rapport de fouille préventive, SRA de Basse-Normandie, Caen, n.p.

LANGLOIS 2015

Langlois J.-Y. - *Le bassin sidérurgique du nord du Mans de l'âge du fer au Moyen Âge*, Rapport de fouille préventive, Inrap grand-ouest, Cesson-Sevigné, 7 vol.

LAPLAIGE 2012

Laplaige C.- *Comparaison des signaux (géophysique, LIDAR) utilisés dans l'étude des dynamiques anthropiques et naturelles*, Thèse soutenue à l'Université de Franche-Comte, Besançon, 319 p.

LAPLAIGE *et al.* 2018

Laplaige C., Angevin R., Chauvet A., Coulibaly K., Couvin F., Crozet A., Doyen E., Ferdière A., Gardère P., Gai-Ovéjéro I., Hinschberger F., Husi P., Lacoste A., Lacroix S., Le Voguer N., Magiorani L., Muracciole A., Ossant R., Rodier X., Schemmama V.- *SOLiDAR : Diachronie de l'occupation du sol : télédétection LiDAR en forêts de Chambord, Boulogne, Russy et Blois*, Rapport d'opération, SRA Centre-Val de Loire, 2 vol.

LAPPARENT 1908

Lapparent A.- *Cours de minéralogie*, Paris, 756 p.

LARCHER 1994

Larcher G.- « La zone sidérurgique de la forêt de Paimpont (Ille-et-Vilaine) », in *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen* (dir. Mangin M.), Actes du colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, Paris, p.113-120.

LA SALVIA 1998

La Salvia V.- « L'artigianato metallrugico dei longobardi alla luce delle fonti archeologiche con particolare riferimento alla lavorazione del ferro », in *Archeologia Medievale*, Sienne, t. 35, p. 7-26.

LA SAUSSAYE 1834

La Saussaye L.- *Notice sur le domaine de Chambord,* Blois, 88 p.

LAÜT 1994

Laüt L. - *L'espace rural antique autour d'Argentomagus (Indre). Approches d'une région agricole et métallurgique*, Thèse soutenue à l'Université de Paris I, Paris, 2 vol.

LAÜT 2000

Laüt L.- « Prospection-Inventaire, Forêt domaniale de Tronçais », in *Bilan Scientifique Auvergne*, SRA Auvergne-Rhône-Alpes, p. 42-44.

LAÜT 2001

Laüt L.- *L'occupation du sol dans l'Antiquité en Forêt de Tronçais, Prospection-Inventaire, prospection thématique annuelle, sondages*, SRA Auvergne-Rhône-Alpes, 120 p.

LAÜT 2007

Laüt L. - « Caractérisation des sites antiques dans les forêts du Berry et du Bourbonnais », in in *La mémoire des forêts. Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement*, 14 au 16 déc., Paris, p. 99-107.

LAVOISY 2020

Lavoisy O.- « Apparition des hauts fourneaux », in *Encyclopædia Universalis*.
URL : http://www.universalis-edu.com/encyclopedie/apparition-des-hauts-fourneaux/

LEBLANC 2002

Leblanc J.-C. - *Sur l'identification de la chaîne opératoire de forgeage du fer antique, associée à l'archéométrie des battitures*, Thèse soutenue à l'Université Paul-Sabatier, Toulouse III, Toulouse, 188 p.

LE BORGNE 1950
Le Borgne E.- « Susceptibilité magnétique anormale du sol superficiel », in *Annales de Géophysique*, Paris, n°11, p. 399-419.

LE BORGNE 1960
Le Borgne E.- « Influence du feu sur les propriétés magnétiques du sol et sur celles du schiste et du granite », in *Annales de Géophysique*, Paris, n°16, p. 159-195.

LE CARLIER 2019
Le Carlier C.- « La métallurgie du fer sur le Massif armoricain aux époques médiévale et moderne : entre rupture, innovations et traditions métallurgiques », in *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest*, Rennes, n°126-4, p. 25-72.

LE CARLIER, LEROY 2007
Le Carlier de Veslud C., Leroy M.- *Etudes morphométriques et pétrographiques des scories en culot provenant de la fouille du théâtre antique de DREVANT (Cher)*, Rapport de recherche laboratoire IRAMAT, 16 p.

LE CARLIER, LEROY, MERLUZZO 2007
Le Carlier C., Leroy M., Merluzzo P.- « L'apport de l'analyse morphologique, microscopique et chimique des scories en forme de culot à la restitution des activités de forge », in *ArcheoSciences*, Rennes, vol. 31, p. 23-35.

LE CARLIER, PLOQUIN 1999
Le Carlier C., Ploquin A.- « Typologie et caractérisation des scories de réduction de la métallurgie du fer », in *ArcheoSciences*, Rennes, vol. 23, p. 59-69.

LE JAN 2015
Le Jan R.- *Les Mérovingiens*, Paris, 128 p.
URL : https://www-cairn-info.proxy.scd.univ-tours.fr/les-merovingiens--9782130633709.htm

LEJEUNE, DARDIGNAC, DAVID 2017

Le Jeune Y., Dardignac C., David S.- « Bercé avant la forêt. Premiers résultats des traitements cartographiques et prospections lidar sur la forêt de Bercé (Sarthe) », in *Revue forestière française*, Paris, n°69, p.519-544.

LELONG, FERDIERE 2017

Lelong A., Ferdière A.- « Atlas des fermes et *villae* gallo-romaines de Beauce », in *Archéologie de la France - Informations*, Centre-Val de Loire.
URL : https://journlas.openedition.org/adlfi/45635

LEMOULAND 2009

Lemouland Q.- *Phytoarchéologie : impact d'occupations archéologiques sur la flore actuelle (historique, concepts, méthodes et études de cas)*, Thèse soutenue à l'Université de Rennes, Rennes, 351 p.

LENOBLE-PINSON 1977

Lenoble-Pinson M.- *Le langage de la chasse. Gibiers et prédateurs. Étude du vocabulaire français de la chasse au XXème s.*, Bruxelles, 404 p.

LEROY 1997

Leroy M.- « La sidérurgie en Lorraine avant le haut-fourneau. L'utilisation du minerai de fer oolithique en réduction directe », in *Monographie du Centre de Recherche Archéologique*, Paris, vol. 18, 305 p.

LEROY 2010

Leroy S.- *Circulation au Moyen Âge des matériaux ferreux issus des Pyrénées ariégeoises et de la Lombardie. Apport du couplage des analyses en éléments traces et multivariées*, Thèse soutenue à l'Université de Technologie de Belfort-Montbéliard, Belfort, 398 p.

LEROY, CABBOI 2019

Leroy M., Cabboi L. (dir.) - *Produire et travailler le fer. Les ateliers de l'est du Bassin parisien du Ve siècle av. J.-C. au Xe siècle apr. J.-C.*, Paris, 168 p.

LEROY, FORRIERES, PLOQUIN 1990
Leroy M., Forrières C., Ploquin A. – « Un site de production sidérurgique du haut Moyen Âge en Lorraine (Ludres, Meurthe-et-Moselle). Études des conditions de réduction du minerai lorrain », in *Archéologie Médiévale*, t. 20, p. 141-179.

LEROY, MERLUZZO 1998
Leroy M., Merluzzo P. – « Les ateliers sidérurgiques médiévaux de Saint-Dizier (Haute-Marne) », in *Bulletin de la Société Archéologique Champenoise*, Reims, vol. 91, n°4, 126 p.

LEROY, MERLUZZO 2009
Leroy M., Merluzzo P.- « Un protocole d'expérimentations de réduction en bas fourneau d'un minerai calcique (*la minette de Lorraine*) », in *Les nouvelles de l'archéologie*, Paris, n°116, p. 17-22.

LEROY, MERLUZZO, LE CARLIER 2015
Leroy M., Merluzzo P., Le Carlier C.- *Archéologie du fer en Lorraine* : *Minette et production du fer en bas-fourneaux dans l'Antiquité et au Moyen-Âge*, Knutange, 367 p.

LEROY *et al.* 2019
Leroy M., Cabboï S. (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*, Paris, 166 p.

LEROYER, MARGUERIE, ZECH-MATTERNE 2018
Leroyer C., Marguerie D., Zech-Matterne V.- « 40 ans d'archéobotanique en France (1977-2017) », in *ArcheoSciences*, Rennes, t. 42, p. 113-134.

LEVAINVILLE 1930
Levainville J.- « Les minerais de Manganèse », in *Annales de Géographie*, Paris, t. 39, n°221, p. 515-517.

LICHON 2004
Lichon A.-A.- *Ardentes « La Guigneratte »*, Rapport de diagnostic, SRA Centre-Val de Loire, 10 p.

LONGELIN 2019
Longelin A.- « Le mobilier céramique de l'atelier métallurgique F090 », in *Le ferrier F090 de la forêt de Châteauroux (Indre)*, Rapport d'opération, SRA région Centre-Val de Loire, p. 51-53.

LORENZ *et al.* 1990
Lorenz C., Debrand-Passard S., Lorenz J., Desprez N., Manivit J. - *Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuilles Velles (570)*, Bureau de recherches géologiques et minières, Orléans, 35 p.

LUDEMANN 2012
Ludemann T.- « Airborne laser scanning oh historical wood charcoal productions sites – A new tool of kiln site anthracology at the landscape level », in *Wood and charcoal. Evidence for human and natural History*, Valence, p. 247-252.

LUROL, CABANIS 2013
Lurol J.-M., Cabanis M.- « Deux charbonnières gallo-romaines en grandes fosses, à Enversin sur la commune de Joux (Rhône) », in *Colloque international Arbres et Dynamique*, nov. 2010, Clermont-Ferrand, p. 129-153.

MAGAR 2017
Magar F.- *Mines et ferriers de Saâles « Sapin Dessus »*, Rapport de fouille programmée, SRA Grand Est, 152 p.

MAGIORANI 2011
Magiorani L.- « Chambord (Loir-et-Cher). Barrage de la fosse des Ysles », In *Archéologie médiévale*, Paris, n°41, p. 355-356.

MAGNUSSON 1996
Magnusson G.- « Ironmaking in a long time perspective some important questions », in *The importance of ironmaking. Technical Innovation and Social Change*, Norberg Conference, mai 1995, Utskott, p. 29-40

MAGNY 1993
Magny M.- « Les fluctuations des lacs jurassiens et subalpins au Moyen Âge », in *Histoire & Mesure*, Paris, vol. 8, n°1-2, p. 5-17.

MAGNY 1995
Magny M.- *Une histoire du climat, des derniers mammouths au siècle de l'automobile*, Paris, 176 p.

MANGIN 1983
Mangin M.- « Le travail du fer et son rôle dans la naissance et le développement d'Alésia », in *Eisenforschungen in Europa*, Internationalles Symposium zu Vor-und Frühgeschichtlichen Eisengewinnung, nov. 1980, Sankelmark, n°40, p. 77-83 et 85-99.

MANGIN 1994
Mangin M. - *La sidérurgie ancienne de l'est de la France dans son contexte européen. Archéologie et archéométrie*, Actes du colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, Paris, 424 p.

MANGIN 2004
Mangin M. (dir.), Dabosi F., Domergue C., Fluzin P., Leroy M., Merluzzo P., Ploqui A., Serneels V.- *Le fer*, Paris, 239 p.

MANGIN *et al.* 1992
Mangin M., Keesmann I., Birke W. et Ploquin A. - *Mines et métallurgie chez les Eduens. Le district sidérurgique antique et médiéval du Morvan-Auxois,* ALUB, 38, Paris, 364 p.

MANGIN *et al.* 1994
Mangin M. (dir.) - *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen*, Actes du colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, Annales littéraires de l'Université de Besançon 536, Série Archéologie 40, Paris, 422 p.

MANGIN *et al.* 2000
Mangin M., Courtadon J.-L., Fluzin P., Lévêque P.- *Village, forges et parcellaires aux sources de la Seine : l'agglomération antique de Blessay-Salmaise (Côte d'Or)*, Besançon, 517 p.

MANTENANT 2014
Mantenant J.- *Montagnes métallifères de Gaule méditerranéenne. Approche archéologique et historique de la production des métaux en Languedoc occidental du début du second Âge du Fer à la fin de la période romaine*, Thèse soutenue à l'Université Jean Jaurès, Toulouse, 3 vol.

MARGUERIE, GAUDIN 2001
Marguerie D., Gaudin L. – « Rapport d'étude anthracologique – Le Rocher Abraham (St Pierre de Plesguen, Ille et Vilaine) », in *Paléosidérurgie dans l'interbassin de la Rance ; du Combournais à la forêt de Paimpont*, Rapport de prospection thématique, SRA Bretagne, Rennes, 15 p.

MARIN 2017
Marin S.- « BAILLI », in *Encyclopædia Universalis*.
URL : https://www.universalis.fr/encyclopedie/bailli/

MARQUE 2007
Marque R., 2007. *Une première approche de la gestion du bois dans le fonctionnement de la chaîne opératoire en sidérurgie mérovingienne : étude anthracologique du site de Messein « les Noires Terres » (Lorraine) (VIe et VIIe siècles)*, Mémoire de master 2 soutenu à l'Université de Nanterre, Paris.

MARTENS 1961
Martens I. - *Arkeologiske undersøkelser langs elv og vann : Gyrinosvatn, Hallingdal og Tokke-Vinje-Vass-draget*, Oslo, 96 p.

MARTIN-DEMEZIL 1963
Martin-Demezil J.- « Les forêts du comté de Blois jusqu'à la fin du XVe siècle », in *Mémoire de la Société des sciences et lettres du Loir-et-Cher*, t. 34, Blois, p. 129-187.

MARTIN-DEMEZIL 1986
Martin-Demezil J.- « Le château de Chambord », in *Congrès Archéologique de France : Blésois et Vendômois*, Paris, p. 2.

MAURY 1850

Maury A.- *Histoire des grandes forêts de la Gaule et de l'ancienne France*, Paris, 340 p.

MERLUZZO, FORRIERES 1995

Merluzzo P., Forrières C. – « Les premières étapes du travail du fer en foyer de forge, selon des procédés traditionnels japonais », in *Paléométallurgie du fer et Cultures,* Actes du Symposium international du comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, Belfort-Sevenans, 1-2-3 nov. 1990, Paris, p. 71-86.

MESTRE, HILDEBRAND, TEXIER 2008

Mestre M., Hildebrand M., Texier P.- « Un exemple d'utilisation du LiDAR sous couvert forestier guyanais », in *Archéopages*, n°23, p. 69-75.

MILCENT 2007

Milcent P.-Y. - *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*, Actes du 28e colloque de l'Association Française pour l'Etude de l'Age du Fer, 20-23 mai 2004, Pessac, 434 p.

MINVIELLE, SOUIAH 2003

Minvielle E., Souiah S.-A. - *L'analyse statistique et spatiale - statistiques, télédétection, SIG*, Paris, 284 p.

MORASZ, PULOU 1997

Morasz J.-G., Pulou R.- « Les meules rotatives des mines romaines de Villefranche-de-Rouergue (Aveyron) : la preuve chimique de leur usage industriel », in *Archéosciences*, rennes, n°21, p. 141-144.

MORIN 2019

Morin G.-A.- « De la juridiction des eaux et forêt, de son antiquité… et de celle de l'administration des chemins », in *Revue des forêts française*s, Paris, t. 91, n°2, p. 189-197.

MOULIN, PAQUEREAU 2002

Moulin J., Paquereau H.- *Notice explicative de la carte des sols de la Région Centre (1/50 000) - Feuille de Velles*, Chambre d'Agriculture de l'Indre, Issoudun, 269 p.

MUNOZ 2014

Munoz A.- « Le positionnement par satellite : les nouveaux récepteurs améliorent-ils les performances sous couvert forestier? », in *Rendez-vous techniques*, Paris, n°43, p. 54-62.

NAULEAU 2016

Nauleau J.-F.- « Les tuiles et briques au Moyen Âge en Pays de la Loire : état de la question », in *Revue archéologique de l'Ouest*, Rennes, n°33, p. 277-310.

NICOLINI, DIEUDONNE-GLAD 1998

Nicolini G., Dieudonné-Glad N. – « Les métaux antiques : travail et restauration », in *Monographie Instrumentum*, Actes du colloque de Poitiers 28-30 sept. 1995, n°6, Montagnac, 202 p.

NILLESSE, WATTEAUX 2020

Nillesse O., Watteaux M.- « Le massif forestier de Mervent-Vouvant (Vendée) de la Protohistoire à nos jours : premiers éléments d'une enquête archéologique et archéogéographique », in *Archéologie, forêt et Lidar*, 22 p.

NOSEK 1977

Nosek E. - *The investigation of the iron- sponge fragments from Burgenland*, Eisenstadt, n°59, p. 71-82.

NOSEK 1985

Nosek, E. - *The polish smelting experiments in furnaces with slag pits*, Londres, n°48, p. 165-177.

NUNINGER FRUCHART, OPITZ 2010

Nuninger L., Fruchart C., Opitz R.- « LiDAR : quel apport pour l'analyse des paysages ? », In *Bulletin de l'Association du monde Rural Gallo-Romain (AGER)*, t. 20, p. 34.

NUNINGER *et al.* 2008

Nuninger L., Ostir K., Kokalj Z., Marsetic A.- *Lidar. Acquisition, traitement et analyse d'images LiDAR pour la modéliastion des paleo-reliefs de la plaine littorale du Languedoc oriental*, Rapport Jeune Chercheur (CNRS), Besançon-Dijon, p. 11-13

OCDE 1977
Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) - *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, Rapport de recherche, Paris, 179 p.

OILLIC 2011
Oillic, J.-C.- *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis la fin du Tardiglaciaire*, Thèse soutenue à l'Université de Rennes, 323 p.

ORENGO, BONNON, BEVILACQUA 2000
Orengo L., Bonnon J.-M., Bevilacqua D.- « L'emploi des blocs-tuyères dans les forges antiques du centre de la Gaule (Auvergne, Lyonnais et Forez du Deuxième Âge du Fer et à l'époque romaine) », in *Iron, Blacksmiths and Tools. Ancient European Crafts*, Actes de la conférence *Instrumentum* à Podsreda (Slovénie), avril 1999, Posreda, p. 121-133.

ORENGO 2003
Orengo L. - « Forges et forgerons dans les habitats laténiens de la Grande Limagne. Fabrication et consommation des produits manufacturés en fer en Gaule à l'âge du Fer », in *Monographie Instrumentum*, Actes de la table ronde européenne instrumentum, Montagnac, n°26, 325 p.

PAGES, SCHNEIDER, FLUZIN 2005
Pagès G., Schneider L., Fluzin P.- « Le travail du fer dans l'établissement perché tardo-antique du Roc de Pampelune (Argelliers, Hérault) : l'apport des analyses métallographiques », in *ArchéoSciences*, Rennes, n°29, p. 107-116.

PAGES 2008
Pagès, G. - *La métallurgie du fer en France méditerranéenne de l'Antiquité au début du Moyen Âge : jalons d'une approche interdisciplinaire*, Thèse soutenue à l'Université Paul Valéry, Montpellier, 3 vol.

PAPY 1945
Papy L.- « Le Sidérolithique et les molasses en Aquitaine », in *Annales de Géographie*, Paris, t. 54, n°296, p. 311-312.

PARADIS-GRENOUILLET 2012

Paradis-Grenouillet S.- *Etudier les « forêts métallurgiques » : analyses dendro-chronologiques et approches géohistoriques, exemples des forêts du mont Lozère et du Périgord-Limousin*, Thèse soutenue à l'Université de Limoges, Limoges, 458 p.

PARADIS-GRENOUILLET, DUFRAISSE 2018

Paradis-Grenouillet S., Dufraisse A.- « Deciduous oak/chestnut: Differential shrinkage of wood during charcoalification ? Preliminary experimental results and implications for wood diameter study in anthracology », in *Quaternary International*, Amsterdam, vol. 463.

PARADIS-GRENOUILLET *et al* 2010

Paradis-Grenouillet S., Leleu J., Belingard C., Rouaud R., Allée P.- « AnthracoloJ, un outil pour la simplification des mesures dendrométriques », in *Panorama de la dendrochronologie en France*, Digne, vol. 11, p. 197-202.

PARADIS-GRENOUILLET, BURRI, ROUAUD 2018

Paradis-Grenouillet S., Burri S., Rouaud R.(dir.)- *Charbonnage, charbonniers, charbonnières : confluence de regards autour d'un artisanat méconnu*, Aix-en-Provence, 236 p.

PELET, STÜCHELI, DECOLLOGNY 1960

Pelet P.-L., Stücheli O., Decollogny P. - « Une industrie du fer primitive au pied du Jura vaudois. La ferrière de Prins-Bois et ses voisines », in *Société vaudoise d'histoire et d'archéologie*, Lausanne, 61 p.

PELET 1973

Pelet P.-L. - « Fer, charbon, acier dans le Pays de Vaud 1 », in *Cahier d'Archéologie Romande*, Lausanne, 270 p.

PELET 1982

Pelet P. L.- « Recherche sur la métallurgie du fer dans le Jura vaudois », in *Mines et fonderies antiques de la Gaule*, Table ronde du CNRS Toulouse, 21-22 oct. 1980, Paris, p. 205-214.

PELET 1993

Pelet P.-L. – « Une industrie reconnue : Fer Charbon Acier dans le Pays de Vaud », 2e éd., in *Cahier d'Archéologie Romande*, t. 60, Lausanne, 139 p.

PELLETIER 2013

Pelletier M. - *Les Cartes des Cassini : La science au service de l'Etat et des provinces,* Comité des travaux historiques et scientifiques, 2e éd., Paris, 400 p.

PEQUART *et al.* 1937

Péquart M., Péquart S.-J., Boule M., Vallois H.- *Téviec station nécropole mésolithique du Morbihan*, Archives de l'Institut de paléontologie humaine, Mémoire n°18, Paris, 228 p.

PEQUART, PEQUART 1954

Péquart M., Péquart S.-J. - *Hoëdic deuxième station-nécropole du Mésolithique côtier armoricain*, Anvers, 89 p.

PERNAUD 1997

Pernaud J.-M.- *Paleoenvironnements végétaux et sociétés à l'holocène dans le nord du bassin parisien : anthracoanalyses de sites archéologiques d'Île-de-France et de Picardie : méthodologie et paléoécologie*, Thèse soutenue à l'Université de Paris 1, Paris, 178 p.

PERRET *et al.* 2018

Perret S., Melo A., Soulignac R., Paradis-Grenouillet S.- « La production médiévale du fer sur le Salève : nouveaux résultats », in *Archives des Sciences*, Genève, n° 70, p. 71-94.

PESEZ 1978

Pesez J.-M.- « Côte-d'Or, Baubigny. Dracy », in *Archéologie médiévale*, Paris, t. 8, p. 262-263.

PETORIN 2007

Pétorin N.- *La-Chaize-le-Vicomte : "La Guyonnière"*, Rapport de fouille archéologique Autoroute A87, SRA Pays-de la Loire, 138 p.

PEYRE 1855

Peyré J.-F. A.- *Lois des Bourguignons, vulgairement nommée Loi Gombette*, Lyon, p. 43, 57.

PHILIPPEAU 1986
Philippeau A.- *Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales ?*, Paris, 63 p.

PIASKOWSKI 1960
PIASKOWSKI J.- *Technika Gdańskiego hutnictwa i kowalstwa Zelaznego X-XIV W na podstawie badán metaloznawczych*, Gdansk, t. 2, 173 p.

PIEDALLU, GEGOUT 2002
Piedallu C., Gégout J.-C.- « Étude de la précision du système GPS en milieu forestier », in *Revue forestière française*, Paris, vol. 54, n°5, p. 429-442.

PIETAK *et al.* 2012
Piétak J.-P., Leroy M**.**, Le Carlier C., Merluzzo P.- « Nouvelles données sur l'importance des vestiges de sidérurgie ancienne en Puisaye », in *Revue archéologique de l'Est*, Dijon, t. 61, p. 117-131.

PLAISANCE 1967
Plaisance G. - « Actes du Colloque sur la forêt, Besançon 21-22 oct. 1966 », in *Cahiers d'Études comtoises*, Annales littéraires de l'Université de Besançon, Paris, 342 p.

PLEINER 1989
PLEINER R. - *Archaeometallurgy of iron,* Actes du Symposium international du comité pour la sidérurgie ancienne de l'Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, 5-9 oct. 1987, Prague, 486 p.

PLEINER 1994
Pleiner R. – « Early Bloomeries in Central Europe », in *La sidérurgie ancienne de l'Est de la France dans son contexte européen*, Actes du colloque de Besançon, 10-13 nov. 1993, Paris, p. 181-188.

PLEINER 2000
Pleiner R. - *Iron in Archaeology: The European Bloomery Smelters*, Prague, 418 p.

PLOQUIN 1993
Ploquin A.- « A propos des scories légères et laitiers associés aux déchets paléosiderurgiques en France, quelques apports de la base de données Artemise-scories », in *Bloomery iron-Making during 2000 years*, Budalen, p. 91-103

PLOQUIN, BAILLY-MAITRE, ALLEE 2002
Ploquin A., Bailly-Maître, M.-C., Allée, P.- *Le plomb argentifère ancien du mont Lozère. À la recherche des mines, des minerais et des ateliers, des paysages et des hommes* (PCR), SRA Languedoc-Roussillon, 85 p.

POUBLANC 2013
Poublanc S.- « L'usage de l'archive comme fondement du pouvoir monarchique : la forêt de papier de la réformation de Froidour (1666-1673) », in *Les Cahiers de Framespa*.
URL : http://journals.openedition.org/framespa/2329

POUGET 2015
Pouget (de) M.- *Apanage du comte d'Artois, chartrier du duché de Châteauroux par E. Hubert (1901), revu par M. du Pouget (2011-2015)*, Châteauroux, 353 p.

PROU 1924
Prou M.- *Manuel de paléographie latine et française*, 4e éd., Paris, p. 455-474.

PY 2009
Py V.- Mine, bois et forêt dans les Alpes du sud au Moyen Âge. Approches archéologique, bioarchéologique et historique, Thèse soutenue à l'Université d'Aix-en-Provence, Aix-en-Provence, 2 vol.

QUEUILLE 2012
Queuille K.- *L'impact de l'activité métallurgique et du charbonnage sur le couvert arboré de la forêt domaniale de la Braconne (Charente)*, Mémoire de master 2 soutenu à l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand II, 2 vol.

QUIQUEREZ 1855
Quiquerez A. - *Notice historique et statistique sur les mines, les puits et les forges de l'ancien évêché de Bâle*, Berne-Porrentruy, 195 p.

QUIQUEREZ 1866

Quiquerez A. - *De l'Âge du Fer : recherche sur les anciennes forges du Jura Bernois*, Harvard, 125 p.

RALSTON, BUCHSENSCHUTZ 2011

Ralston I., Buchsenschutz O.- *Rapport de sondages réalisés à Meunet-Planches au « Camp romain de Corny »*, SRA Centre-Val de Loire.

RAMEAU, MANSION, DUME 1989

Rameau J.C., Mansion D., Dumé G.- *Flore forestière, guide écologique illustré,* Institut pour le développement forestier, Paris, vol. 1, 1785 p.

RASSAT *et al.* 2016

Rassat G., Crouzevialle R., Cerbelaud F., Toumazet J. P.- « Les forêts charentaises, un objet d'étude, un contexte de recherche. Le LiDAR topographique aéroporté : un outil indispensable, une méthodologie renouvelée », in *Trail – Chambord*, 19 mai 2016 (communication).

RASSAT *et al*. 2018

Rassat G., Crouzevialle R., Cerbelaud F., Allee P., Bal-Serin M.-C., Toumazet J.-P., Dieudonné-Glad N.- « L'utilisation et l'apport des données LiDAR pour l'étude des forêts en Charente », in *Charbonnage, charbonniers, charbonnières*, Aix-en-Provence, p. 109-117.

RAUX, BERTRAND, FEUGERE 2015

Raux S., Bertrand I., Feugère M.- « Actualité de la recherche sur les mobiliers non céramiques de l'Antiquité et du haut Moyen Âge », in *Monographies instrumentum*, Actes de la table ronde européenne instrumentum, 18-20 oct. 2012, Lyon, 716 p.

RAUX, LANGLOIS 2015

Raux S., Langlois J.-Y.- « La Châtaigneraie, (Neuville sur Sarthe) », in *Le bassin sidérurgique du nord du Mans de l'Âge du fer au Moyen Âge*, Rapport d'opération archéologique, p. 138-152.

RAYNAL 1844

Raynal L.- *Histoire du Berry depuis les temps anciens jusqu'en 1789,* Bourges, 490 p.

REBISCOUL 1999
Rebiscoul A. (dir.) - *Document final de Synthèse, « Les Ferrys », « Les Brouys » La Bussière*, SRA Centre, Association pour les Fouilles Archéologiques Nationales, Orléans, 3 vol., 201 p.

REBISCOUL 2003
Rebiscoul A.- « Le site paléométallurgique des "Ferrys", commune de La Bussière (Loiret) », in *Revue archéologique de Picardie*, Senlis, n°1-2, p. 129-139.

RENARD 1962
Renard D.- *La ferme de Boulogne*, document manuscrit, mis en page par L. Magiorani, p.1-27.

REVOL 2016a
Revol L.- « Déols (Indre) », in *Agglomérations secondaires antiques en région*, n°42, Tours, p. 229-233.

REVOL 2016b
Revol L.- « Ardentes (Indre) », in *Agglomérations secondaires antiques en région*, n°42, Tours, p. 223-224.

RICHARD 1995
Richard C.- *Contribution à l'étude de l'occupation antique du Haut-Poitou méridional (Sud-Vienne, France),* Association des publications chauvinoises, Mémoire n°9, Chauvigny, 239 p.

ROBERT *et al.* 2009
Robert S., Costa L., Foucault M., Blumenfeld H., Montenat C. et Verdier N. - *Guide de lecture des cartes anciennes : illustrations dans le Val d'Oise et le Bassin parisien*, Paris, 104 p.

ROBERT, VERDIER 2009
Robert S., Verdier N.- « Pour une recherche sur les routes, voies, réseaux », in *Les nouvelles de l'archéologie*, Paris, vol. 115, p. 53-56.

ROBERT 2011
Robert S.- *Sources et techniques de l'archéogéographie*, Besançon, 246 p.

ROBREAU 2012

Robreau B.- « Territoires et frontières des cités antiques de la région Centre », in *Agglomérations secondaires antiques en région,* Tours, n°42, p. 49-57.

ROBION-BRUNNER 2008

Robion-Brunner C.- V*ers une histoire de la production du fer sur le plateau de Bandiagara (pays dogon, Mali) durant les empires précoloniaux : peuplement des forgerons et traditions sidérurgiques,* Thèse soutenue à l'Université de Genève, Genève, 424 p.

RODIER 2011

Rodier X.- *Information Spatiale et archéologie*, Paris, 254 p.

SANCHEZ 2020

Sanchez C.- « Résultats des prospections géophysiques menées sur trois amas de déchets à Saint-Fargeau "Bois de Bailly" », in *La sidérurgie en Bourgogne-Franche-Comté avant le haut fourneau Organisation et circulation des productions*, Rapport de recherche PCR, Laboratoire Métallurgies et Cultures, Dijon, p. 101-111.

SAINT-DIDIER 2013

Saint Didier G.- *La métallurgie du fer dans le Poitou de la Tène finale au moyen âge central,* Thèse soutenue à l'Université de Poitiers, Poitiers, 2 vol.

SAINT-DIDIER 2017a

Saint-Didier G.- *La métallurgie du fer dans le Poitou, extraction, réduction, forgeage (IIIe s. avt J.-C. – XVe s.),* Rennes, 353 p.

SAINT-DIDIER 2017b

Saint-Didier G.- *La métallurgie du fer dans la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher),* rapport d'étude paléométallurgique, NS, 29 p.

SALESSE 1989

Salesse P.- « Minerais et fondants », in *Techniques de l'ingénieur*, Paris, 24 p.

SARRESTE 2006
Sarreste F.- *L'atelier de réduction du minerai de fer gallo-romain de Roche Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe),* Rapport d'opération programmée, SRA Pays de la Loire, 107 p.

SARRESTE 2008
Sarreste F.- *La sidérurgie ancienne dans le Bas-Maine (VIIIe s. av. J.-C. – XVe s. ap. J.-C.),* Thèse soutenue à l'Université de Tours, Tours, 2 vol.

SARRESTE 2011
Sarreste F.- *La sidérurgie Antique dans le bas Maine*, Tours, 313 p.

SARRESTE 2021
Sarreste F.- *Compte-rendu de la prospection archéologique menée les 20 et 21 novembre 2021 dans le Bois de Meillant (Cher)*, Rapport de prospection thématique, SRA Centre - Val-de-Loire, 10 p.

SCHWEINGRUBER 1978
Schweingruber F.H.- *Anatomie microscopique du bois : identification de matériel récent et subfossile d'essences de l'Europe centrale en tenant compte de la variabilité de structure du bois de tronc et de branche,* Birmensdorf (Suisse), 226 p.

SCOTT, CLEERE 1987
Scott B. G., Cleere H. - *The Crafts of the Blacksmith,* Symposium du Comité pour la Sidérurgie Ancienne, 16-21 sept. 1984, Belfast, 180 p.

SEIGNAC 2015
Seignac H.- « Étude anthracologique : mines et ateliers de métallurgie (LGV 17) », in *Le bassin sidérurgique du nord du Mans de l'âge du Fer au Moyen âge*, Rapport d'opération, SRA Grand Ouest, 3 vol.

SERNEELS 1993
Serneels V.- « Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale », in *Cahier d'Archéologie Romande*, Lausanne, n°61, 240 p.

SERNEELS 1998
Serneels V. – « La chaîne opératoire de la sidérurgie ancienne », in *Recherches sur l'économie du fer en Méditerranée nord-occidentale*, Montagnac, p. 7-44.

SERNEELS 2003
Serneels V. – « La forge et le travail du fer », in *Des artisans à la campagne. Carrières de meules, forge et voie gallo-romaines à Châbles (FR)*, Fribourg, p. 77-174.

SERNEELS 2004
Serneels V. – « Le fer et ses minerais », in Mangin M. (dir) *Le fer*, Paris, p. 25-48.

SERNEELS, MERLUZZO, LEROY 2004
Serneels V., Merluzzo P., Leroy M.- « Les activités de forge : le travail du métal », in *Le fer*, M. Mangin (dir.), Paris, p. 81-113.

SERNEELS, PERRET 2004
Serneels V., Perret S. – « Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains », in *Archaeometallurgy in Europe*, Acte de colloque du 24-25-26 nov. 2003, Milan, p. 469- 478.

SHINNIE, ANDERSON 2004
Shinnie P.L., Anderson J.L.- *The capital of Kush 2 : Meroë excavations 1973-1984*, vol. 20, p. 73-79.

SIM 1998
Sim D. - *Beyond the Bloom. Bloom refining and iron artefact production in the Roman world*, Londres, 155 p.

SITTLER, HAUGER 2007
Sittler B., Hauger K.- "Les apports du laser aéroporté à la documentation de parcellaires anciens fossilisés par la forêt : l'exemple des champs bombés de Rastatt en Pays de Bade", in *La mémoire des forêts. Actes du colloque Forêt, Archéologie et Environnement*, 14 -16 déc. 2004, Paris, p. 155-161.

SOYER, TROUILLARD 1907
Soyer J., Trouillard G.- « Cartulaire de la Ville de Blois », in *Mémoire de la Société des Sciences et des Lettres de Loir-et-Cher*, Blois, vol. 17, 511 p.

SOYER 1971
Soyer J.- *Les voies antiques de l'Orléanais : civitas Aurelianorum*, Société archéologique et historique de l'Orléanais, Orléans, 203 p.

SRA 2006
SRA – *Liste des sites archéologiques inventoriés à Déols* – État des connaissances au 26 janvier 2006, 6 p.

SUBTIL 2008
Subtil L.- « Le grès ferrugineux de Puisaye : provenance et utilisation architecturale », in *Bulletin du centre d'études médiévales d'Auxerre*, t. 12, p. 1-8.
URL : http://journals.openedition.org/cem/7862

SURVILLE 1920
Surville A.- « Les férons du Bocage au XVe siècle, Le Pays bas-normand », in *Le Pays bas Normand*, Flers, n°30, p. 37-53.

THAUMASSIERE 1865
Thaumassière (de la) T.- *Histoire du Berry*, Bourges, 535 p.

THELLIER 1951
Thellier E.- « Propriétés magnétiques des terres cuites et des roches », in *Journal de Physique et le Radium*, Paris, t. 12, n°3, p. 205-18.
https://doi.org/10.1051/jphysrad:01951001203020500

THERY-PARISOT 2001
Théry-Parisot, I.- *Économie des combustibles au Paléolithique : expérimentation, taphonomie, anthracologie*, Paris, 200 p.

THERY-PARISOT, HENRY, CHRZAVZEZ 2016

Thery-Parisot I., Henry A., Chrzavzez J.- « Apport de l'expérimentation à la compréhension des pratiques sociétales en anthracologie : gestion et utilisation du bois de feu dans les sociétés préhistoriques », in *Cadernos do LEPAARQ*, vol. 13, n°25.

THIEBAULT 2010

Thiébault S.- *Archéologie environnementale de la France*, Paris, 180 p.

THOBY, DUPUY 2009

Thoby M., Dupuy G.- *Aménagement forestier, Forêt domaniale de Boulogne : 2009-2028*, Office National des Forêts.

TOLLON, BEZIAT 2004

Tollon F., Béziat D.- « Les chapeaux de fer », in *Le fer*, Mangin (dir.), Paris, p. 35-36.

TOURNAIRE 1990

Tournaire J.- *Les forges de Clavières (Indre) 1666-1874*, Châteauroux, 59 p.

TRINTIGNAC 2014

Tintignac A.- « L'Exploitation forestière dans les cités gallo-romaines du sud du Massif central. Le bois et ses produits dérivés (charbons de bois, poix) dans les activités artisanales et l'économie des cités des Arvernes, des Gabales, des Rutènes et des Vellaves », in *Silva et Saltus en Gaule romaine : dynamique et gestion des forêts et des zones rurales marginales*, Actes du 7e colloque de l'Association du Monde Rural Gallo-Romain (AGER), 27-28 oct. 2004, Rennes, p. 131-146.

TURCAN 1991

Turcan R.- « Un bimillénaire méconnu : l'assemblée des trois Gaules », in *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres*, Paris, n° 4, p. 733-742.

TYLECOTE 1962

TYLECOTE R. F. - « Metallurgy in Archaeology : a prehistory of metallurgy », in *the British Isles*, Journal of Roman Studies, Cambridge, n°54, p. 311.

TYLECOTE 1987
Tylecote R.F- *The early history of metallurgy in Europe*, Londres, 391 p.

VALLOIS 1884
Vallois G. – « Le fer dans l'Antiquité d'après les scories de la forêt d'Allogny », in *Mémoires de la Société des Antiquaires du Centre*, Bourges, n°11, p. 49-124.

VERNA 1994
Verna C.- *Le temps des moulines : le fer et son exploitation du comté de Foix à la vicomté de Béarn (fin du XIIe siècle - fin du XVe siècle),* Thèse soutenue à l'Université de Toulouse, Toulouse, 2 vol.

VERNA 2001
Verna C.- *Le temps des moulines : Fer, technique et société dans les Pyrénées centrales, XIIIe-XVIe siècles*, Paris, 425 p.

VERNET 1997
Vernet J.-L.- *L'homme et la forêt méditerranéenne de la Préhistoire à nos jours*, Paris, 248 p.

VIVET 2001
Vivet J.-B.- *Paléosidérurgie dans l'inter bassin de la rance – du combournais à la forêt de Paimpont*, Rapport d'opération programmée, SRA Bretagne, 220 p.

VIVET 2003
Vivet J.-B.- *Trecelien en Paimpont (35) : Métallurgie de réduction directe du minerai de fer en forêt de Brecelien, aux XIVe – XVIe siècles*, Rapport d'opération programmée, SRA Bretagne, 70 p.

VIVET 1997
Vivet J.-B. – « Paléométallurgie du fer à l'est de la Rance et dans le Combournais. Bilan interprétatif des données de prospection », in *Dossiers du Centre Régional Archéologique d'Alet*, Saint-Malo, n°25, p. 57-90.

WORONOFF 1990

Woronoff D.- *Forges et forêts : recherches sur la consommation protoindustrielle de bois*, Paris, 264 p.

ZAGARI 2005

Zagari F.- *Il metallo nel medioevo: tecniche, strutture e manufatti*, Rome, p. 98-103.

ZAOUR 2021

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

Table des figures

Fig. 1 : Schéma technique de la chaîne opératoire de la métallurgie du fer par le procédé direct (d'après SERNEELS 1998 : 19) 35
Fig. 2 : Exemple de scènes de concassage du minerai (AGRICOLA 1556 : 220 et 243) 39
Fig. 3 : Représentation d'une scène de grillage du minerai (AGRICOLA 1556 : 221) 40
Fig. 4 : Schéma des réactions physico-chimiques qui s'opèrent lors de la réduction 42
Fig. 5 : Photographie d'une scorie écoulée (à gauche) et d'une scorie interne (à droite) de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher) 42
Fig. 6 : Photographie d'une masse de fer épurée / expérimentation à Melle, musée des mines d'argent des rois francs – S. Bauvais 44
Fig. 7 : Photographie d'un forgeron contemporain de la vallée de l'Omo (Éthiopie) – site Visoterra . 45
Fig. 8 : Culot de forge provenant du ferrier 155/1 de la forêt de Boulogne 46
Fig. 9 : Photographie de battitures globulaires et informes observées sur le ferrier F155/1 de Boulogne 47
Fig. 10 : Photographie d'une reconstitution du coffre de Mästermyr et de ses outils (Suède) – Christer Ahlin (ARWIDSSON, BERG 1999) 47
Fig. 11 : Carte présentant le partage de la gaule 561 54
Fig. 12 : Trémisse en or mis au jour sur le promontoire du château de Blois (VIIe s.) 56
Fig. 13 : Repères chronologiques des seigneurs de Blois 57
Fig. 14 : Carte localisant les forêts de Boulogne et Russy aujourd'hui (géoportail) 58
Fig. 15 : Cartes des peuples gaulois à l'époque d'Auguste (O. Blin – Inrap) 64
Fig. 16 : Localisation des ateliers sidérurgiques antiques sur le territoire biturige (LAÜT 2007 : 103) 65
Fig. 17 : Routes antiques supposées, passant par la ville de Déols 66
Fig. 18 : Extrait de la Table de Peutinger signalant les villes de Bourges (Avaricum) et d'Argenton-sur-Creuse (Argentomagus) passant par l'agglomération secondaire d'Alerta (BNF- Gallica) 67
Fig. 19 : Repères chronologiques des seigneurs de Déols et Châteauroux 68
Fig. 20 : Denier en argent de Eudes l'ancien (1012-1044) provenant de la seigneurie de Déols 69
Fig. 21 : Cartographie du conflit entre Capétiens et Plantagenêt au XIIIe s. 70
Fig. 22 : Carte décrivant la situation politique lors du sacre de Charles VII, roi de France, en 1429 ... 72
Fig. 23 : Principe de fonctionnement du LiDAR (NUNINGER, FRUCHART, OPITZ 2010: 34) 92
Fig. 24 : Densité de points-sol SOLiDAR (LAPLAIGE et al. 2018 : 20) 94
Fig. 25 : Images LiDAR de la forêt de Châteauroux à différentes échelles. 95
Fig. 26 : Exemple d'image LiDAR sur laquelle le ferrier F371/1 est visible 97
Fig. 27 : Carte de localisation des parcelles prospectées dans le massif de Boulogne-Chambord 101
Fig. 28 : Carte de localisation des parcelles prospectées dans la forêt de Châteauroux 102
Fig. 29 : Carte du gradient vertical du CMT du ferrier F155/1 (Boulogne 2020) (© B. Gouhier) 106
Fig. 30 : Détail des différentes mesures relevées sur les tuyères 111
Fig. 31 : Micrographie de la composition d'une scorie fayalitique (F = fayalite) 113
Fig. 32 : Schéma des différents types de cristallisation de la fayalite en fonction des condition sphysico-chimiques (SERNEELS 1993 : 26). 114
Fig. 33 : Micrographie de la composition minéralogique d'une scorie de forge provenant du ferrier F090 (W : wüstite, F : Fayalite, V : verre) 115
Fig. 34 : Diagramme d'équilibre Fer-Carbone (SERNEELS 1993 : 21) 115
Fig. 35 : Diagramme d'équilibre Fer-Carbonne présentant l'évolution de la structure du métal en fonction de la teneur en carbone (d'après MANGIN 2004 : 121). 116
Fig. 36 : Structure de l'alliage Fer-Carbone en fonction de la teneur en carbone et de la vitesse de refroidissement après austénisation (CAILLAUD 2017 : 87) 118
Fig. 37 : Micrographie d'agglomérats métalliques dans une scorie 119
Fig. 38 : Micrographie d'un élément siliceux non fondu (surligné en rouge) dans un culot de forge 120

Fig. 39 : Micrographie d'hydroxyde de fer dans un culot de forge 120
Fig. 40 : Comportement des différents éléments chimiques selon la classification de Goldschmidt .. 123
Fig. 41 : Exemple de diagramme en barre des variances d'une ACP 131
Fig. 42 : Exemple de projection d'une ACP dans un cercle de corrélation (LEROY 2010 : 78) 131
Fig. 43 : Structure anatomique du bois (SCHWEINGRUBER 1978) 136
Fig. 44 : Schéma de la fragmentation d'une bûche lors de sa carbonisation 137
Fig. 45 : Fragment de charbon de bois présentant de nombreux thylles (entourés en rouge) – Fouille Boulogne 2020 139
Fig. 46 : Fragment de charbon de bois présentant au moins huit cernes distincts – Fouille Châteauroux 2019 140
Fig. 47 : Fragment de charbon de bois présentant plusieurs fentes de retrait – Fouille Boulogne 2020 140
Fig. 48 : Photographie du ferrier F195/1 de la forêt de Boulogne 145
Fig. 49 : Image Lidar d'un ferrier en fer à cheval (F195/1) et d'un ferrier circulaire (F195/2) 146
Fig. 50 : Diagramme représentant la longueur (en m) des ferriers en fonction de leur largeur (en m) 147
Fig. 51 : Diagramme présentant le nombre de ferrier par classe de longueur 148
Fig. 52 : Diagramme présentant le nombre de ferrier par classe de superficie (en m²) dans le massif de Boulogne-Chambord 149
Fig. 53 : Exemple de coupe d'un ferrier réalisée à partir des données Lidar 150
Fig. 54 : Diagramme du nombre de ferrier en fonction de leur volume (en m^3) dans le massif de Boulogne-Chambord 152
Fig. 55 : Cartes de densité par maillage des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord 153
Fig. 56 : Carte de densité des sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord 155
Fig. 57 : Volume des ferriers (en m^3) au sein des différentes zones de concentrations métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord 158
Fig. 58 : Carte de la topographie de la forêt de Boulogne-Chambord (MNT) 161
Fig. 59 : Photographie de l'excavation réalisée dans le ferrier F150/1 162
Fig. 60 : Diagramme du volume de scories restitué par épandage 164
Fig. 61 : Image Lidar du ferrier F145/1 dont les scories sont en grande partie récupérées 164
Fig. 62 : Diagramme du nombre de ferrier en fonction du pourcentage de volume de scories prélevées 165
Fig. 63 : Photographies des différents types de scories écoulées ramassées dans le massif de Boulogne-Chambord 169
Fig. 64 : Diagramme du pourcentage de masse des différents sous-types de scories écoulées mises au jour sur les ferriers du massif de Boulogne-Chambord 171
Fig. 65 : Scorie écoulée présentant la forme en négatif d'un orifice d'écoulement d'un four de réduction provenant du ferrier F155/1 172
Fig. 66 : Photographie d'une scorie dont la forme évoque le négatif d'un canal 172
Fig. 67 : Photographie d'un bouchon de tuyère provenant du ferrier F155/1 173
Fig. 68 : Planches photographiques présentant les différents sous-types de scories internes 174
Fig. 69 : Diagramme du pourcentage de masse des différents sous-types de scories internes mises au jour sur les ferriers du massif de Boulogne-Chambord 175
Fig. 70 : Photographie des deux types de fond de four ramassés dans le massif de Boulogne-Chambord 177
Fig. 71 : Diagramme du nombre de fonds de four par classe de masse (en kg) 177
Fig. 72 : Diagrammes présentant la longueur des fonds de four (en cm) en fonction de leur largeur (en cm) 178
Fig. 73 : Synthèse des caractéristiques des fonds de four de la forêt de Boulogne-Chambord 178
Fig. 74 : Dessins des coupes de scorie issues des prospections en forêt de Boulogne-Chambord et observées en métallographie 180
Fig. 75 : Photographie de pseudo-laitiers ramassés dans le massif de Boulogne-Chambord 182

Fig. 76 : Photographie d'un fragment de paroi associé à de la scorie interne et à une tuyère (F176/1) 183
Fig. 77 : Photographie de fragments de paroi en argile présentant des traces de chauffe 184
Fig. 78 : Photographie d'un fragment de paroi vitrifié aux reflets verts 184
Fig. 79 : Photographie d'un fragment de paroi vitrifié et scorifié (F195/1) 185
Fig. 80 : Photographie de la coupe d'une paroi de four présentant deux couches d'argile vitrifiées .. 186
Fig. 81 : Photographie du four 1 de Boécourt « les Boulies » (Suisse) employant de la terre cuite architecturale (ESCHENLOHR, SERNEELS 1991 : 52) 187
Fig. 82 : Photographie des différents types de terres cuites architecturales observées dans le massif de Boulogne-Chambord 188
Fig. 83 : Diagramme de l'épaisseur minimum, maximum et moyenne des TCA par site dans la forêt de Boulogne-Chambord 189
Fig. 84 *:* Photographie d'un fragment de tuyère avec des négatifs de fibres végétales (F447/1) 190
Fig. 85 *:* Photographie des différents types de tuyères observés dans le massif de Boulogne-Chambord 191
Fig. 86 *:* Photographie d'un canal de tuyère partiellement obstrué par de la scorie (F155/1) 192
Fig. 87 *:* Photographie d'un fragment de paroi et de tuyère (F155/1). La partie supérieure de la tuyère est restituée. 192
Fig. 88 : Tableaux de comparaison des dimensions et de la masse des culots de forge provenant de divers sites métallurgiques 194
Fig. 89 : Dessins des coupes de culots de forge ramassés en prospection et étudiés par métallographie dans le massif de Boulogne-Chambord 195
Fig. 90 : Photographie des différentes formes de terres cuites architecturales observées dans le massif de Boulogne-Chambord 203
Fig. 91 : Photographie des tessons de céramique ramassés en prospection dans la forêt de Boulogne-Chambord 204
Fig. 92 : Représentation graphique des résultats de datation ^{14}C calibrée (Oxcal) 205
Fig. 93 : Sédiment rouge observé au sein du site bicolore F227 208
Fig. 94 : Site métallurgique noir (F090) 210
Fig. 95 : Diagramme de la longueur des sites bicolores en fonction de leur largeur 212
Fig. 96 : Diagramme de la longueur des ferriers en fonction de leur largeur. 213
Fig. 97 : Diagramme du nombre de ferrier par intervalles 1 000 m² 214
Fig. 98 : Diagramme du nombre de ferrier par intervalles de 100 m² 215
Fig. 99 : Diagramme de la proportion de la surface des ferriers par rapport à la surface totale des sites métallurgiques bicolores 216
Fig. 100 : Diagramme présentant le nombre de ferrier par intervalles 0,5 m de hauteur sur les sites noirs et les sites bicolores 217
Fig. 101 : Diagramme présentant le volume des ferriers par intervalles de 1 000 m^3 218
Fig. 102 : Diagramme présentant le volume des ferriers par intervalles de 100 m^3 pour ceux inférieur à 1000 m^3 218
Fig. 103 : Cartes de densité par maillage des ferriers de la forêt de Châteauroux 220
Fig. 104 : Carte de densité des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 222
Fig. 105 : Carte de répartition des sites métallurgiques noirs et bicolores dans la forêt de Châteauroux 225
Fig. 106 : Diagramme représentant le volume des vestiges métallurgiques des épandages dans la forêt de Châteauroux 228
Fig. 107 : Photographie de la motte castrale depuis le fossé bordier (vue vers le sud-ouest) 230
Fig. 108 : Photographie de la zone de dépôt de scorie F151/1 230
Fig. 109 : Carte de la proportion de scories écoulées par site métallurgique dans le massif actuel de Châteauroux 232

Fig. 110 : Diagramme du pourcentage en masse de scories écoulées en fonction de la taille des ferriers observés sur chaque site 233
Fig. 111 : Diagramme de la proportion de scories écoulées sur les sites métallurgiques bicolores et sur les sites noirs par rapport à l'ensemble des scories ramassées 233
Fig. 112 : Diagramme de la proportion des scories écoulées en fonction de la couleur du sédiment des sites métallurgiques bicolores 234
Fig. 113 : Photographie des différents types de scories écoulées ramassées dans le massif de Châteauroux 235
Fig. 114 : Carte de la proportion des divers sous-types de scories écoulées au sein des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 237
Fig. 115 : Répartition des différents types de scories écoulées en fonction du volume des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 238
Fig. 116 : Diagramme du pourcentage en masse des sous-types de scories écoulées en fonction des types de sites métallurgiques 238
Fig. 117 : Diagramme du pourcentage en masse des sous-types de scories écoulées dans les différents espaces sédimentaires des sites métallurgiques bicolores 239
Fig. 118 : Scorie écoulée de forme plano-convexe (F179) 239
Fig. 119 : Exemple de vestiges signalant la présence de tuyère sur certains sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 240
Fig. 120 : Carte des trois types de productions métallurgiques potentielles en forêt de Châteauroux restituées à partir des caractéristiques des scories écoulées 243
Fig. 121 : Diagrammes de la fréquence des scories internes dans les sites métallurgiques 244
Fig. 122 : Carte de la proportions des scories internes dans les sites métallurgiques de l'actuelle forêt de Châteauroux 245
Fig. 123 : Diagramme du pourcentage en masse de scories internes en fonction de la taille des ferriers observés sur chaque site 246
Fig. 124 : Diagramme de la proportion de scories internes en fonction du type de site par rapport à l'ensemble des scories ramassées 247
Fig. 125 : Diagrammes de la proportion de scories internes par zone dans les sites métallurgiques bicolores 247
Fig. 126 : Photographie des différents sous-types de scories internes présents dans la forêt de Châteauroux 248
Fig. 127 : Diagramme présentant le nombre de sites métallurgiques au sein desquels sont observés les différents sous-types de scories internes 249
Fig. 128 : Carte de la répartition en pourcentage masse des différents sous-types de scories internes sur les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 250
Fig. 129 : Diagramme de la répartition des différents sous-types de scories internes en fonction du volume des sites métallurgiques 251
Fig. 130 : Diagramme du pourcentage en masse des SBR et SBD au sein des sites métallurgiques noirs et bicolores 252
Fig. 131 : Diagramme du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes par espaces sédimentaires sur les sites métallurgiques bicolores 253
Fig. 132 : Scorie interne très vitrifiée en surface (F188) 254
Fig. 133 : Scorie interne avec un bombement rectiligne de 2 cm (F179) 255
Fig. 134 : Scorie interne présentant une marque quadrangulaire (F132) 255
Fig. 135 : Carte localisant quatre types de productions métallurgiques potentielles en forêt de Châteauroux restituées à partir des caractéristiques des scories internes 259
Fig. 136 : Diagrammes présentant le nombre de fond de four par classe de poids (en kg) 261
Fig. 137 : Diagramme présentant la longueur (en cm) des fonds de four en fonction de leur largeur (en cm) 262

Fig. 138 : Dessins des coupes de scorie issues des prospections en forêt de Châteauroux et observées en métallographie 264
Fig. 139 : Carte des fonds de four étudiés en métallographie dans la forêt de Châteauroux 266
Fig. 140 : Photographie de pseudo-laitiers ramassés en forêt de Châteauroux 269
Fig. 141 : Carte de la proportion en masse des différents types de paroi observés dans le massif de Châteauroux 271
Fig. 142 : Photographie d'un fragment de paroi présentant deux couches d'argile superposées 272
Fig. 143 : Photographie de fragments de paroi avec sillons et bombements rectilignes 273
Fig. 144 : Photographie d'un fragment de paroi présentant un sillon et d'une scorie avec un bombement rectiligne en regard 274
Fig. 145 : Diagramme du nombre de sillons et de bombements observés sur les parois en fonction de leur largeur 274
Fig. 146 : Fragment de paroi en argile à vitrification verte (F105) 275
Fig. 147 : Photographie d'une paroi vitrifiée bleutée et scorifiée (F199) 276
Fig. 148 : Diagramme de la masse des terres cuites architecturales ramassées par type de site 277
Fig. 149 : Photographie d'un fragment de terre cuite architecturale avec inclusion de chamotte (F046) 278
Fig. 150 : Photographie des terres cuites architecturales de colorations différentes 279
Fig. 151 : Nombre de terres cuites architecturales en fonction de leur épaisseur (en cm) 279
Fig. 152 : Photographie d'un fragment de tuyère (F199) 281
Fig. 153 : Photographie des deux « meules » observées dans la forêt de Châteauroux 282
Fig. 154 : Photographie d'une pierre en grès (F179) 283
Fig. 155 : Dessin de la coupe des culots de forge dont la composition est étudiée en métallographie 284
Fig. 156 : Photographie d'un agglomérat métallique oxydé (F056) 285
Fig. 157 : Carte indiquant la datation des céramiques ramassée dans le massif de Châteauroux 289
Fig. 158 : Détail des datations des trois sites métallurgiques antiques 291
Fig. 159 : Détail des datations de deux sites métallurgiques médiévaux 291
Fig. 160 : Carte représentant la datation des sites en fonction des vestiges ramassés 293
Fig. 161 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°1, réalisée à partir de la signature chimique de scories issues de huit régions de France 298
Fig. 162 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°2, réalisée à partir de la signature chimique des scories issues de sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 299
Fig. 163 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°2, réalisée à partir de la signature chimique des scories issues de sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 300
Fig. 164 : Carte de répartition des différentes signatures chimiques établies dans le massif de Châteauroux 302
Fig. 165 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°3 effectuée à partir de la signature chimique de scories issues de l'Aude, la Bretagne, l'Indre, l'Indre-et-Loire, la Puisaye, Boulogne-Chambord et Châteauroux 303
Fig. 166 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°4, réalisée à partir de la signature chimique de scories provenant des massifs forestiers de Châteauroux et de Boulogne-Chambord. 305
Fig. 167 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°4, réalisée à partir de la signature chimique de scories provenant des massifs forestiers de Châteauroux et de Boulogne-Chambord. 305
Fig. 168 : Plan factoriel (axes 1 et 2) de l'ACP n°5 réalisée à partir de la signature chimique de scories du Centre de la France (en vert : les scories de Châteauroux) 307
Fig. 169 : Localisation des sites métallurgiques à la signature chimique similaire sur la carte géologique 308
Fig. 170 : Diagramme des teneurs en Ce, La et Nd (en ppm) du massif de Châteauroux 312
Fig. 171 : Dendrogramme présentant la Classification Ascendante Hiérarchique des ateliers de Boulogne-Chambord (distance binaire) 325

Fig. 172 : Dendrogramme présentant la Classification Ascendante Hiérarchique des ateliers de Châteauroux (distance binaire)..... 329
Fig. 173 : Carte localisant la parcelle F155/1 dans la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)..... 337
Fig. 174 : Carte schématique des différents espaces de l'atelier métallurgique..... 338
Fig. 175 : Identification des principales anomalies magnétiques dans l'espace de travail 339
Fig. 176 : Carte microtopographique de l'espace de réduction et son profil NE-SO..... 341
Fig. 177 : Photographie d'un important fragment de paroi..... 342
Fig. 178 : Photographie d'un fragment de paroi courbe, scorifié sur la face interne et induré sur la face externe (LACROIX 2020 : 53)..... 342
Fig. 179 : Planche présentant les relevés des différents types de tuyères mis au jour dans l'atelier F155/1 344
Fig. 180 : Carte localisant les différents types de tuyères étudiés en France et en Suisse en fonction de leur proportion..... 345
Fig. 181 : Schéma des différentes mesures prises sur les tuyères..... 347
Fig. 182 : Photographie d'un fragment de paroi associé à une tuyère (Z2S2, SDG05, US 2012)..... 348
Fig. 183 : Photographie du profil d'une tuyère associée à de la paroi et à de la scorie interne 348
Fig. 184 : Photographie d'une tegula utilisée dans la construction d'un four et présentant des traces de chauffe (Z2S3, SDG03, US 2021)..... 349
Fig. 185 : Photographie des différentes traces d'utilisation sur les tuyères 349
Fig. 186 : Photographie du trou de poteau (US 2051) à gauche et du foyer composé d'une sédiment granuleux et grisâtre (US 2060) en rouge (vue vers le nord-ouest)..... 350
Fig. 187 : Localisation de l'anomalie magnétique 3a – le fossé bordier..... 352
Fig. 188 : Carte schématisant le sens de circulation au sein de l'atelier métallurgique..... 355
Fig. 189 : Dessin d'un fragment de tegula provenant du ferrier F155/1..... 356
Fig. 190 : Dessin d'un imbrex provenant du ferrier F155/1..... 357
Fig. 191 : Planches des céramiques de l'espace de production associé à l'atelier F155/1..... 359
Fig. 192 : Diagramme des résultats d'analyses ^{14}C de l'atelier F155/1(en rouge : les analyses réalisées sur des charbons extraits deux scories) 360
Fig. 193 : Diagramme présentant les résultats d'analyses ^{14}C sur la courbe de datation calibrée..... 360
Fig. 194 : Planche photographique des différents types de scories écoulées provenant de l'atelier F155/1 362
Fig. 195 : Photographie des différents types de bouchons de tuyère observés sur le site F155/1..... 363
Fig. 196 : Photographies des différents sous-types de scories internes observées sur le site F155/1 . 364
Fig. 197 : Diagramme de la masse des fonds de four de l'atelier F155/1 365
Fig. 198 : Diagramme de la longueur (en cm) des fonds de four en fonction de leur largeur (en cm) 366
Fig. 199 : Photographies des deux fonds de four associés à de la paroi en argile..... 367
Fig. 200 : Planche des coupes des fonds de four de l'atelier F155/1 classés par type 369
Fig. 201 : Photographie d'un pseudo-laitier vert..... 371
Fig. 202 : Photographie de fragments de minerai mis au jour sur le site F155/1..... 372
Fig. 203 : Photographie des différents types d'éléments lithiques mis au jour sur le site F155/1 373
Fig. 204 : Photographie d'un culot de forge plano-convexe (Z2S2 – US 2019)..... 378
Fig. 205 : Planche des coupes de culots de forge de l'atelier F155/1 classés par type 379
Fig. 206 : Photographie des différents types de battitures observées dans la zone de forge..... 381
Fig. 207 : Photographie de différents fragments d'agglomérats métalliques..... 385
Fig. 208 : Photographie des pierres en arc de cercle autour d'un arbre du ferrier F090 388
Fig. 209 : Localisation de la parcelle 090 (en rouge) en forêt de Châteauroux (Indre) 389
Fig. 210 : Plan schématique des différents espaces de l'atelier métallurgique F090..... 389
Fig. 211 : Identification des principales anomalies magnétiques de l'atelier F090 390
Fig. 212 : Photographie de l'intérieur de la cuve du bas-fourneaux n°1..... 392
Fig. 213 : Photographie des différentes traces de structure de soutien en bois pour la construction des fours..... 393

Fig. 214 : Photographie de fragments de paroi avec des rainures parallèles régulières à gauche, lissage à l'outil, et des rainures irrégulières à droite, lissage au doigt (US 1019, SDG02)..... 394
Fig. 215 : Photographie d'un fragment de paroi composé de deux couches d'argile 394
Fig. 216 : Planches présentant deux exemples de tuiles plates à pâte beige 395
Fig. 217 : Photographie de la face externe d'un fragment de paroi comprenant les vestiges d'une tuyère et de terre cuite architecturale (en blanc) 396
Fig. 218 : Photographie d'un fond de four……397
Fig. 219 : Photographie d'un fragment de paroi 397
Fig. 220 : Photographie du sondage de référence après la fouille (N. Le Voguer) 399
Fig. 221 : Schéma de l'organisation spatiale de l'atelier F090 401
Fig. 222 : Photographie d'un fragment de tuile plate avec un trou destiné à la fixation d'un clou..... 403
Fig. 223 : Céramique du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux : fragments de rebords déterminés typologiquement. 404
Fig. 224 : Diagramme présentant les résultats des analyses ^{14}C réalisées dans l'atelier F090 (94,5% de fiabilité) 405
Fig. 225 : Restitution des analyses ^{14}C de l'atelier F090 sur la courbe de datation calibrée..... 406
Fig. 226 : Photographie d'une scorie écoulée à cordons agglomérés (SDG04, US 1014)..... 408
Fig. 227 : Photographie d'une bouchon de tuyère (SDG04, US 1014)..... 408
Fig. 228 : Photographie d'une Scorie Brune Rugueuse (US 1011, SDG06)..... 409
Fig. 229 : Photographie de la face supérieure (à gauche) et inférieure (à droite) d'une scorie interne (SDG04, US 1019) 409
Fig. 230 : Photographie d'une scorie avec l'empreinte d'une tuyère (US 1014, SDG04) 410
Fig. 231 : Diagramme de la longueur (en cm) des fonds de four en fonction de leur largeur (en cm) 410
Fig. 232 : Diagramme du nombre de fonds de four par classe de poids dans l'atelier F090 411
Fig. 233 : Coupes des fonds de four mis au jour dans l'atelier F090..... 412
Fig. 234 : Photographie d'un pseudo-laitier vert/bleu (US 1001)..... 413
Fig. 235 : Photographie des différents types de vestiges lithiques mis au jour sur le site de Châteauroux 413
Fig. 236 : Coupes des culots de forge mis au jour dans l'atelier F090 418
Fig. 237 : Vue zénithale et de 3/4 de la plaque en argile avec traces de chauffe (foyer ?) mise au jour en surface du ferrier F090 419
Fig. 238 : Schéma des diverses colorations visibles sur la partie supérieure de la masse d'argile 419
Fig. 239 : Photographie d'une tige métallique (ART22, SDG2, US 1004) 420
Fig. 240 : Photographies de l'artéfact 119 421
Fig. 241 : Photographies de l'artéfact 130 421
Fig. 242 : Images LiDAR avec les deux types de charbonnières observées dans le massif de Boulogne-Chambord..... 428
Fig. 243 : Diagramme des différentes classes de rayon des bois restitué dans l'US 2026 et l'UC 004 431
Fig. 244 : Diagramme de l'épaisseur moyenne des cernes (en mm) par charbon et par US..... 433
Fig. 245 : Diagramme de l'épaisseur moyenne des cernes (en mm) des charbons de l'atelier F155/1434
Fig. 246 : Diagramme du nombre de charbons de bois en fonction de leur niveau de duraminisation 435
Fig. 247 : Diagramme du nombre de charbon ayant des fentes de retrait et leur type dans les différentes US de l'atelier..... 435
Fig. 248 : Diagramme du nombre de charbons disposant de galerie d'insecte en fonction de leur nombre dans les différentes US de l'atelier..... 436
Fig. 249 : Diagramme des différentes classes de rayon des bois restitué dans l'US 1008..... 440
Fig. 250 : Diagramme du nombre de charbons par classe d'épaisseur moyenne de cernes (en mm) . 442
Fig. 251 : Diagramme de l'épaisseur moyenne des cernes réguliers des charbons par US..... 442

Fig. 252 : Diagramme du nombre de charbons de bois en fonction de leur niveau de duraminisation 443
Fig. 253 : Diagramme du nombre de charbons de bois en fonction de leur forme dans l'atelier F090 444
Fig. 254 : Diagramme du nombre d'individu présentant des fentes de retrait dans l'atelier F090 444
Fig. 255 : Détail d'un chemin « tressé » de même direction qu'une route moderne..... 452
Fig. 256 : Tracé des chemins forestiers au cours du temps (CROZET 2021a : 193) 453
Fig. 257 : Carte restituant certains chemins de la forêt de Boulogne à partir des archives de 1457 (A. Crozet)..... 455
Fig. 258 : Carte localisant les ferriers par rapport aux chemins tressés vectorisés à partir des images LiDAR de la forêt de Boulogne/Chambord..... 456
Fig. 259 : Evolution du tracé des routes et chemins anciens dans la forêt de Châteauroux..... 459
Fig. 260 : Carte restituant les itinéraires anciens dans le massif de Châteauroux..... 461
Fig. 261 : Détail d'une image LiDAR où l'on observe un ferrier (F064/1) recouper le parcellaire fossé et être recoupé par le parcellaire talus 462
Fig. 262 : Carte du massif de Boulogne-Chambord avec l'emplacement du village de Bracieux et le tracé schématique de la voie Blois-Bourge 465
Fig. 263 : Carte des sites antiques connus dans et autour de la forêt de Châteauroux 466
Fig. 264 : Carte des sites médiévaux connus dans et autour de la forêt de Châteauroux..... 467
Fig. 265 : Restitution de l'environnement dans lequel l'activité métallurgique a pu s'implanter en forêt de Boulogne-Chambord au haut Moyen Âge..... 472
Fig. 266 : Carte restituant les flux de métal sortant de la zone de production du fer..... 475
Fig. 267 : Restitution de l'environnement dans lequel l'activité métallurgique a pu s'implanter en forêt de Châteauroux aux Ier-IIIe s 479
Fig. 268 : Restitution de l'environnement dans lequel l'activité métallurgique a pu s'implanter en forêt de Châteauroux au bas Moyen Âge..... 483
Fig. 269 : Carte restituant les flux de métal sortant des ensembles métallurgiques médiévaux en forêt de Châteauroux 485
Fig. 270 : Localisation des autres sites métallurgiques connus pour le Moyen Âge en fonction de leur type (carte non exhaustive)..... 489
Fig. 271 : Tentative de restitution d'un modèle organisationnel de la filière métallurgique entre la période Antique et le Moyen Âge 493

Table des tableaux

Tableau 1 : Éléments chimiques discriminants les signatures chimiques des régions métallurgiques (CAILLAUD 2017 : 137) 129
Tableau 2 : Tableau de comparaison de la proportion de ferriers en fonction de leur surface..... 150
Tableau 3 : Tableau comparant le nombre de ferrier au km² dans différentes zones sidérurgiques .. 156
Tableau 4 : Comparaison d'association de ferriers aux volumes différents présents dans plusieurs concentrations d'ateliers métallurgiques 160
Tableau 5 : Synthèse des caractéristiques des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord 163
Tableau 6 : Synthèse des caractéristiques restituées des deux probables techniques de réduction employées dans le massif de Boulogne-Chambord 181
Tableau 7 : Tableau de comparaison de la proportion de ferriers en fonction de leur surface..... 215
Tableau 8 : Tableau de comparaison de la proportion (%) de ferriers en fonction de leur volume ... 219
Tableau 9 : Tableau comparant le nombre de ferrier au km² dans différentes zones sidérurgiques .. 223
Tableau 10 : Nombre de ferrier par type de regroupement et par zone dans la forêt de Châteauroux 224
Tableau 11 : Synthèse des caractéristiques des ferriers de la forêt de Châteauroux 227
Tableau 12 : Synthèse des caractéristiques des scories écoulées de la forêt de Châteauroux 241
Tableau 13 : Synthèse des caractéristiques des scories internes de la forêt de Châteauroux 256
Tableau 14 : Synthèse des caractéristiques restituées des deux probables techniques de réduction employées dans le massif de Châteauroux 267
Tableau 15 : Synthèse des résultats de l'étude des scories internes 268
Tableau 16 : Éléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 de cette ACP 298
Tableau 17 : Eléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 dans le plan factoriel 1-2 299
Tableau 18 : Éléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 3 dans le plan factoriel 1-3 300
Tableau 19 : Eléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 de cette ACP 303
Tableau 20 : Éléments chimiques contribuant majoritairement aux axes 1 et 2 de cette ACP 307
Tableau 21 : Tableau détaillant les couches géologiques caractéristiques des régions métallurgiques ayant une signature chimique similaire à la signature 2 de Châteauroux 309
Tableau 22 : Synthèse des caractéristiques chimiques des sites métallurgiques de Boulogne-Chambord et de Châteauroux (en gras, les teneurs très importantes) 313
Tableau 23 : Détails des différentes dénominations des « groupes d'ateliers métallurgiques » et de leur définition dans le domaine de la recherche (en bleu : noms utilisés dans cette thèse) 315
Tableau 24 : Caractéristiques technologiques discriminants dans la forêt de Boulogne-Chambord . 318
Tableau 25 : Caractéristiques technologiques discriminants (en noir) et non discriminants (en rouge) dans la forêt de Châteauroux 319
Tableau 26 : Caractéristiques spatiales et morphologiques discriminantes (en noir) et non discriminantes (en rouge) dans la forêt de Boulogne-Chambord 319
Tableau 27: Caractéristiques spatiales et morphologiques discriminantes (en noir) et non discriminantes (en rouge) dans la forêt de Châteauroux..... 320
Tableau 28 : Synthèse des différents types de signature chimique mise en évidence 320
Tableau 29 : Synthèse des différentes technique de production restituées grâce à la métallographique réalisée sur des scories de fond de four dans les massifs de Boulogne-Chambord et de Châteauroux 321
Tableau 30 : Synthèse des caractéristiques ponctuelles discriminantes des forêts de Boulogne-Chambord et de Châteauroux 322
Tableau 31 : Synthèse des différentes caractéristiques des deux ensembles métallurgiques restitués dans le massif de Boulogne-Chambord 326
Tableau 32 : Synthèse des différentes caractéristiques des deux ensembles métallurgiques restitués dans le massif de Châteauroux 332

Tableau 33 : Tableau indiquant la masse des différents types de déchets métallurgiques pesés dans l'espace de référence du ferrier 353
Tableau 34 : Tableau de comptage du mobilier céramique par groupe technique et par Fait/US, en Nombre de Restes (NR). 358
Tableau 35 : Comparaison des proportions des différents sous-types de scories écoulées ramassés en fouille et en prospection 363
Tableau 36 : Comparaison des proportions des différents sous-types de scories internes ramassés en fouille et en prospection 365
Tableau 37 : Moyenne des masses d'éléments chimiques pour 100g d'échantillon par type d'échantillon 374
Tableau 38 : Moyenne des masses d'éléments chimiques des charbons de bois archéologiques du site d'Oulches pour 100g d'échantillon 374
Tableau 39 : Comparaison des rendements et indices de production de plusieurs sites métallurgiques de France et de Suisse 377
Tableau 40 : Tableau du nombre de battitures par forme dans l'espace de forge 382
Tableau 41 : Tableau du nombre de battitures par type et par dimension présent dans l'échantillon provenant de l'US 1005 382
Tableau 42 : Description des différents phases cristallisées visibles dans les battitures 383
Tableau 43 : Croisement des données de dimensions, typologie et morphologie des battitures observées en métallographie 384
Tableau 44 : Tableau du poids des vestiges métallurgiques par type en fonction des US dans le sondage de référence 399
Tableau 45 : Comparaison de la composition en vestiges métallurgiques dans l'espace de référence des ateliers de Boulogne-Chambord et de Châteauroux 400
Tableau 46 : Tableau de comptage en NMI par US et Groupes Techniques de la céramique du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux 403
Tableau 47 : Moyenne des poids d'éléments chimiques de divers types d'échantillon de déchets métallurgique pour 100g d'échantillon 415
Tableau 48 : Nombre de charbons de bois par Unité Stratigraphique ou Construite 429
Tableau 49 : Liste des espèces arborées potentiellement exploitées pour la production du charbon de bois dans l'atelier métallurgique F155/1 430
Tableau 50 : Sommes des volumes des charbons par classe de longueur de rayons restitués 432
Tableau 51 : Comparaison entre les simulations de charbons obtenus avec des assemblages de bois de différents diamètres et le lot de charbon identifié dans la zone d'épuration 432
Tableau 52 : Caractéristiques des cernes des charbons de la zone d'épuration en fonction de leur nombre dans l'atelier F155/1 433
Tableau 53 : Nombre et type d'essence de charbons de bois par unité stratigraphique 439
Tableau 54 : Liste des espèces arborées exploitées dans l'atelier de Châteauroux 439
Tableau 55 : Restitution de l'assemblage de bois à l'origine des charbons observés dans l'US 1008 441
Tableau 56 : Comparaison des masses de minerai et de charbon utilisés, ainsi que de fer produit dans différents ateliers métallurgiques connus 447
Tableau 57 : Comparaison de surface boisée par d'autres régions métallurgiques 450
Tableau 58: Tableau du nombre d'ateliers par classe de distance aux chemins tressés anciens 457
Tableau 59 : Axes principaux de l'organisation de la réduction du fer entre l'Antiquité et le Moyen Âge 492

Solène LACROIX

ATELIERS DE PRODUCTION DU FER ANTIQUES ET MEDIEVAUX DANS LE CENTRE DE LA FRANCE

Résumé :

Le fer est un métal étroitement lié à la vie des populations anciennes. L'étude des zones sidérurgiques de Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre) documente la métallurgie et ses changements dans une région, le centre de la France, où cet artisanat est peu étudié et de façon disparate. Son approche de la période médiévale, que ce soit le haut Moyen Âge en forêt de Boulogne/Chambord ou le bas Moyen Âge dans le massif de Châteauroux, renseigne une période pour laquelle peu d'études approfondies sont actuellement disponibles en France. Il contribue également à enrichir nos connaissances de la métallurgie antique dans l'Indre. Ces résultats sont obtenus grâce à la mobilisation et au croisement de nombreuses sources d'informations: sources planimétriques et textuelles anciennes, données de prospections pédestres, géomagnétiques et LiDAR, données de fouilles archéologiques, études anthracologiques, études macroscopiques et métallographiques du mobilier ainsi que des analyses chimiques (ICP/MS et 14C). Les interprétations et hypothèses établies à propos de ces deux zones sidérurgiques contribuent finalement à trouver la juste place qu'elles ont occupée dans le contexte historique, politique et social qui est le leur.

Mots-clefs : Métallurgie, fer, archéométrie, scories, réduction, Moyen Âge, épuration, Antiquité, forêt, anthracologie

Abstract :

Iron is a metal closely linked to the life of ancient populations. The study of the siderurgical areas of Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) and Châteauroux (Indre) documents metallurgy and its changes in a region, the centre of France, where this craft is little studied and in a disparate way. Its approach to the medieval period, whether it be the early Middle Ages in the Boulogne/Chambord forest or the late Middle Ages in the Châteauroux massif, provides information on a period for which few in-depth studies are currently available in France. It also contributes to our knowledge of ancient metallurgy in the Indre. These results are obtained by mobilising and crossing numerous sources of information: planimetric and ancient textual sources, data from pedestrian, geomagnetic and LiDAR surveys, data from archaeological excavations, anthracological studies, macroscopic and metallographic studies of the material as well as chemical analyses (ICP/MS and 14C). The interpretations and hypotheses established for these two iron and steel areas finally contribute to finding their rightful place in their historical, political and social contexts.

Key words : Metallurgy, iron, archaeometry, slag, reduction, Middle Ages, purification, Antiquity, forest, anthracology

UNIVERSITÉ DE TOURS

ÉCOLE DOCTORALE : Humanités & Langues – H&L

UMR 7324 CITERES – LABORATOIRE ARCHEOLOGIE ET TERRITOIRES

THÈSE présentée par :

Solène LACROIX

soutenue le : 08 décembre 2023

pour obtenir le grade de : **Docteure de l'université de Tours**

Discipline/ Spécialité : Histoire, spécialité Archéologie

Ateliers de production du fer antiques et médiévaux dans le Centre de la France : le cas des forêts de Châteauroux (Indre) et de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher)

Volume 2 : figures et tableaux

THÈSE co-dirigée par :

M. HUSI Philippe	Ingénieur de recherche HDR, CNRS, Université de Tours
Mme DIEUDONNE-GLAD Nadine	Professeure, Université de Poitiers

RAPPORTEURS :

Mme ARRIBET-DEROIN Danielle	Maitre de conférence HDR, Université de Paris I
M. SERNEELS Vincent	Professeur, Université de Lausanne

JURY :

Mme ARRIBET-DEROIN Danielle	Maitre de conférence HDR, Université de Paris I
M. BRIOIST Pascal	Professeur, Université de Tours
Mme DIEUDONNE-GLAD Nadine	Professeure, Université de Poitiers
Mme DURAND Aline	Professeure, Université du Mans
M. HUSI Philippe	Ingénieur de recherche HDR, CNRS, Université de Tours
M. SARRESTE Florian	Docteur, Université de Tours
M. SERNEELS Vincent	Professeur, Université de Lausanne

Sommaire

Introduction……..5

Chapitre 2 - Cadre de la recherche……..6

Chapitre 3 - Acquisition et traitement des données……..……11

3.1 Sources textuelles et cartes anciennes 11

Chapitre 4 - Une activité métallurgique médiévale dans le massif forestier de Boulogne-Chambord……..34

4.1 Les ateliers métallurgiques 34

4.3 Les déchets de réduction 44

4.4 Les déchets de forge 53

4.5 Les indices de datation de l'activité métallurgiques 54

Chapitre 5 - La forêt de Châteauroux (Indre), un espace de production du fer qui perdure au cours du temps……...……64

5.1 Plusieurs types de sites de production 64

5.2 Les sites secondaires, épandages et dépôts ponctuels 74

5.3 Les déchets de réduction 74

5.5 La production du fer en forêt de Châteauroux, des indices de datations variés 95

Chapitre 6 - Des régions métallurgiques abritant un ou plusieurs ensembles de production..106

6.1 Des régions métallurgiques aux compositions chimiques différentes 106

6.2 Mise en évidence de groupes d'ateliers cohérents 115

6.2.1 Les caractéristiques discriminantes des ateliers métallurgiques 115

6.2.2 Structuration du tableau de données et méthode d'analyse statistique 119

Chapitre 7 - un atelier métallurgique du haut Moyen Âge en forêt de Boulogne-Chambord..125

7.1 Un atelier organisé et délimité 127

7.2 Un site artisanal daté du haut Moyen Âge 142

7.3 Un atelier métallurgique plurifonctionnel 150

7.3.1 Les caractéristiques de la réduction 150

7.3.2 L'activité de forge 153

Chapitre 8 - Un atelier de réduction du fer médiéval dans le massif de Châteauroux…….155

8.1 Un atelier à l'espace organisé 156

8.2 Les indices de datation 169

8.3 Une technique de production peu connue au Moyen Âge 175

8.3.1 Description de la réduction 175

Chapitre 9 - Deux régions métallurgiques, deux contextes peu différents……..179

9.1 Combustible et métallurgie 179

9.1.1 Le charbon de bois employé dans les ateliers métallurgiques 180

9.2 Deux forêts, deux contextes archéologiques similaires..... 197
9.2.1 Des espaces organisés (voies de communication, trame parcellaire)..... 197
9.2.2 Des pôles d'attractivité pour l'activité métallurgique ? 205
Chapitre 10 - Une histoire de la production du fer dans les forêts du centre de la France…..206
10.3 La métallurgie en région Centre : organisation de l'activité et profil des métallurgistes au cours du temps..... 206
Table des figures……..208
Table des tableaux…….212

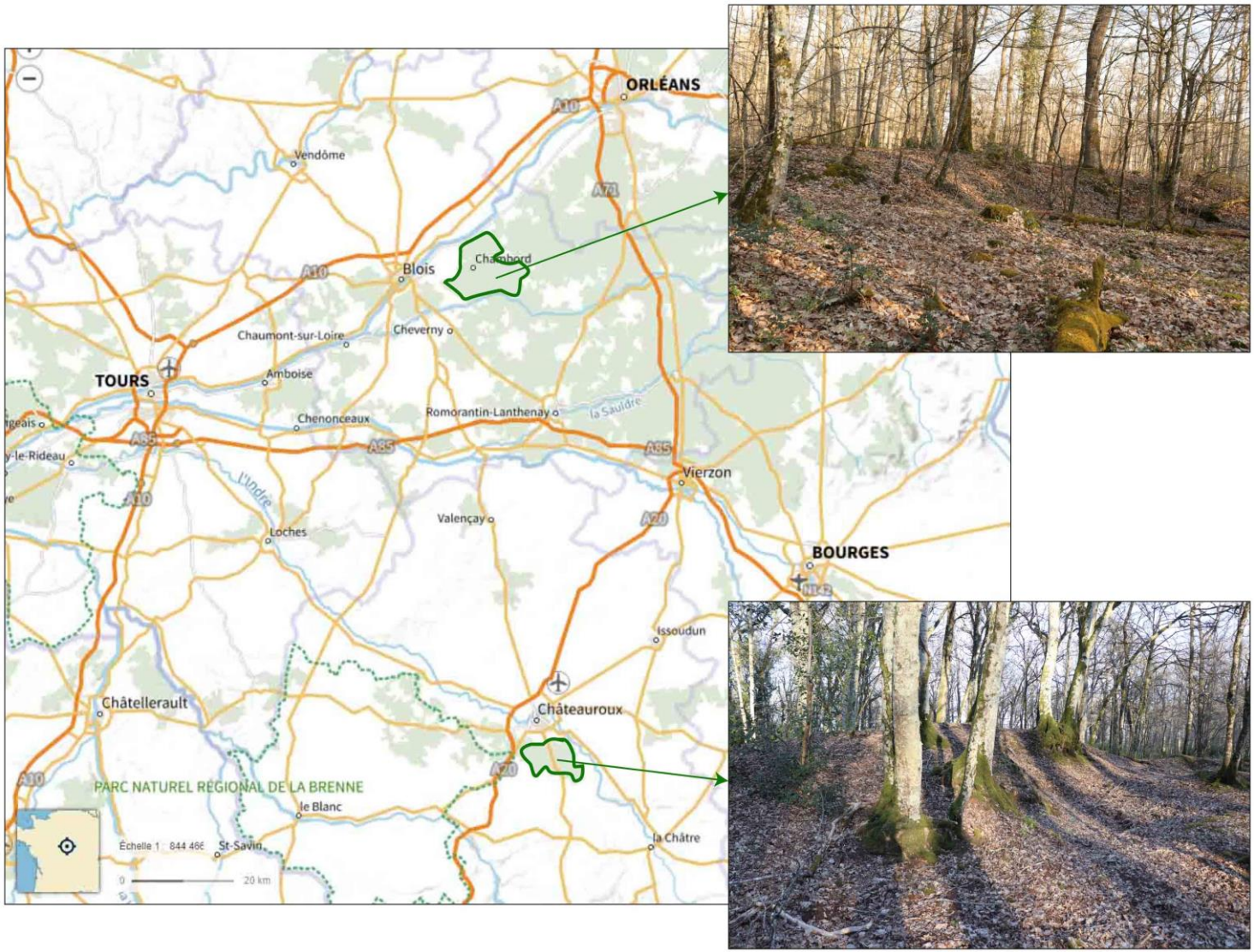


Fig. 1 : Localisation des forêts de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre)

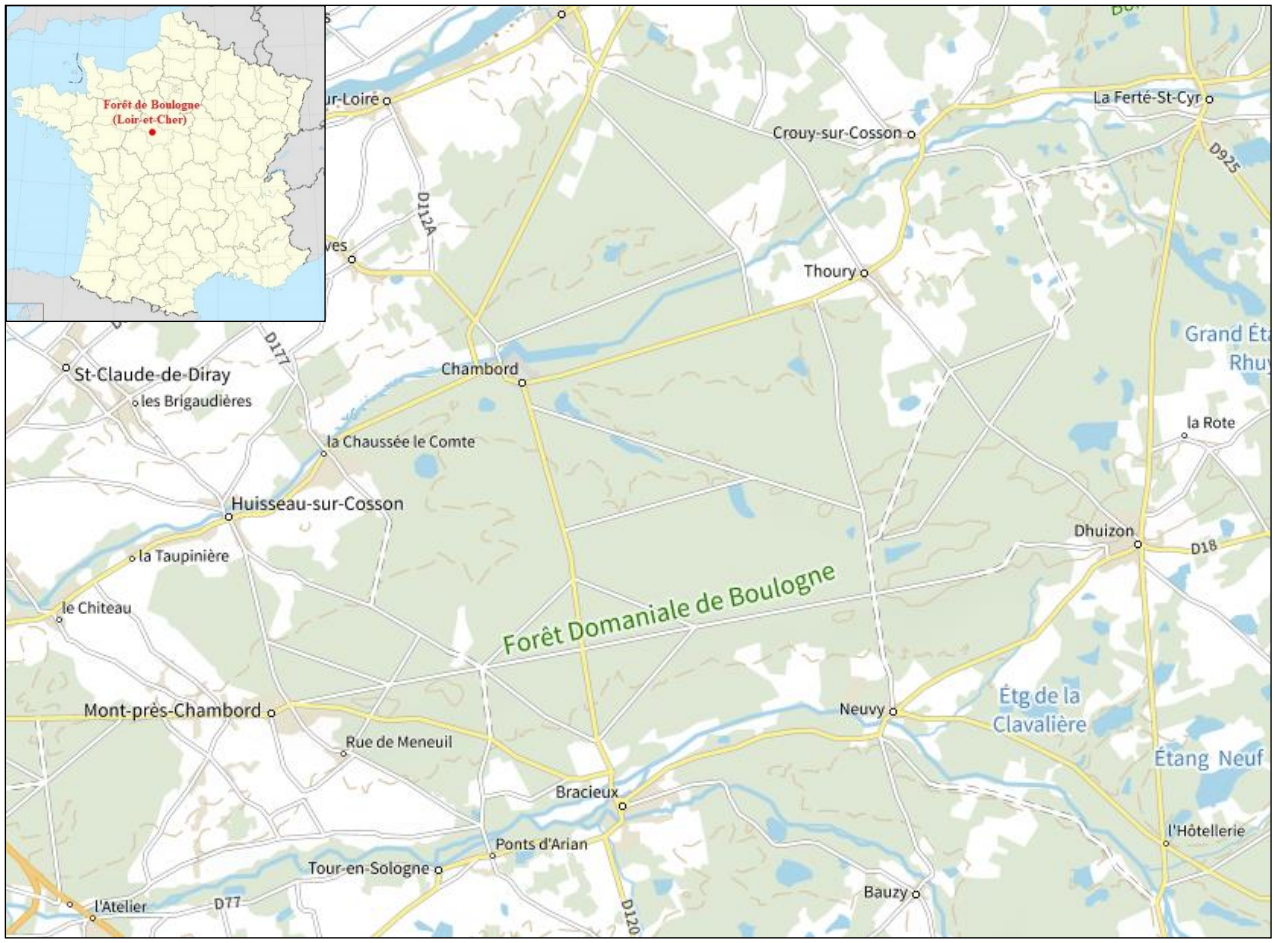


Fig. 2 : Carte IGN du massif forestier de Boulogne-Chambord - *Géoportail*

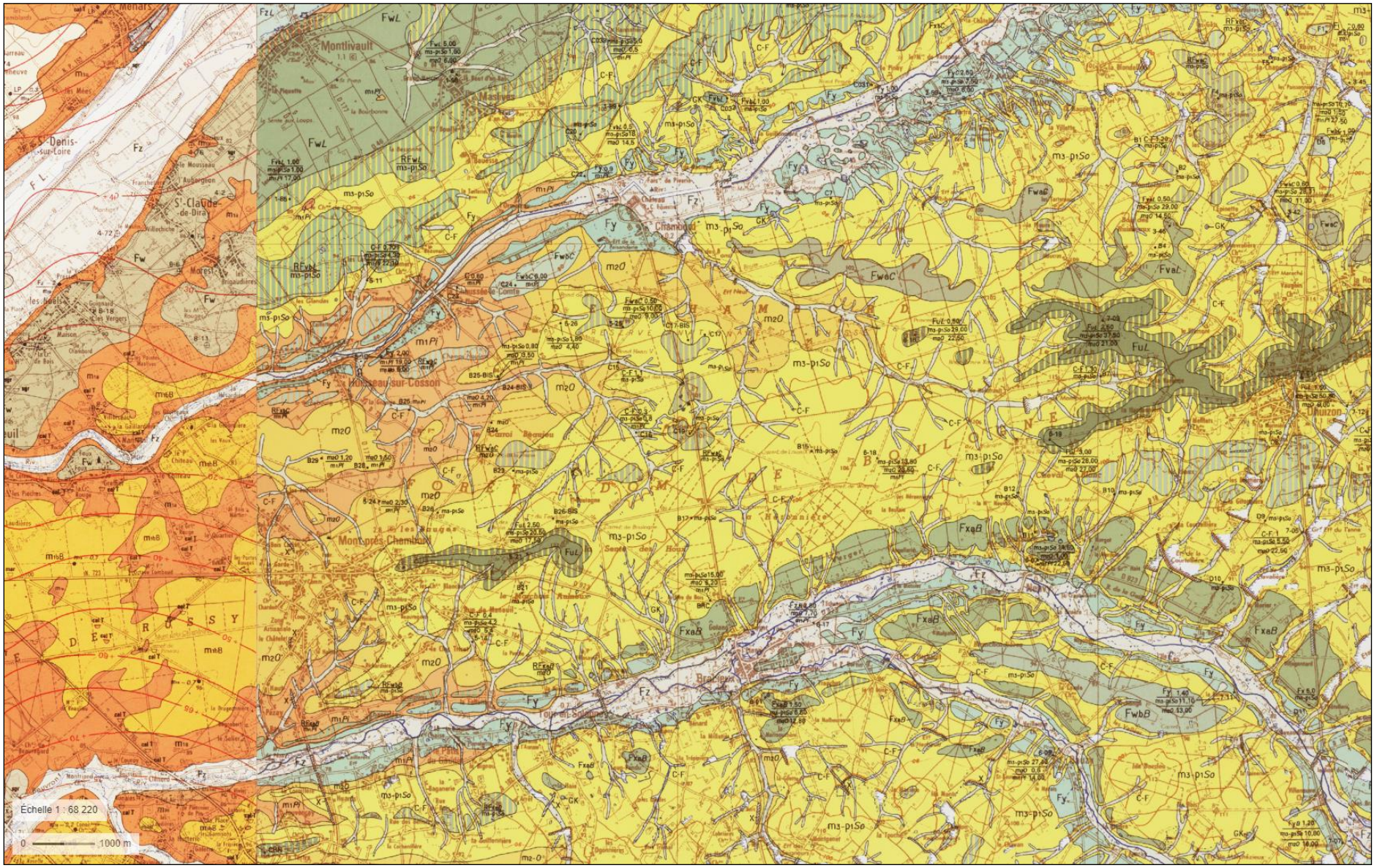


Fig. 3 *:* Carte géologique de la région de Blois (en rouge le Château de Chambord) – *Géoportail*

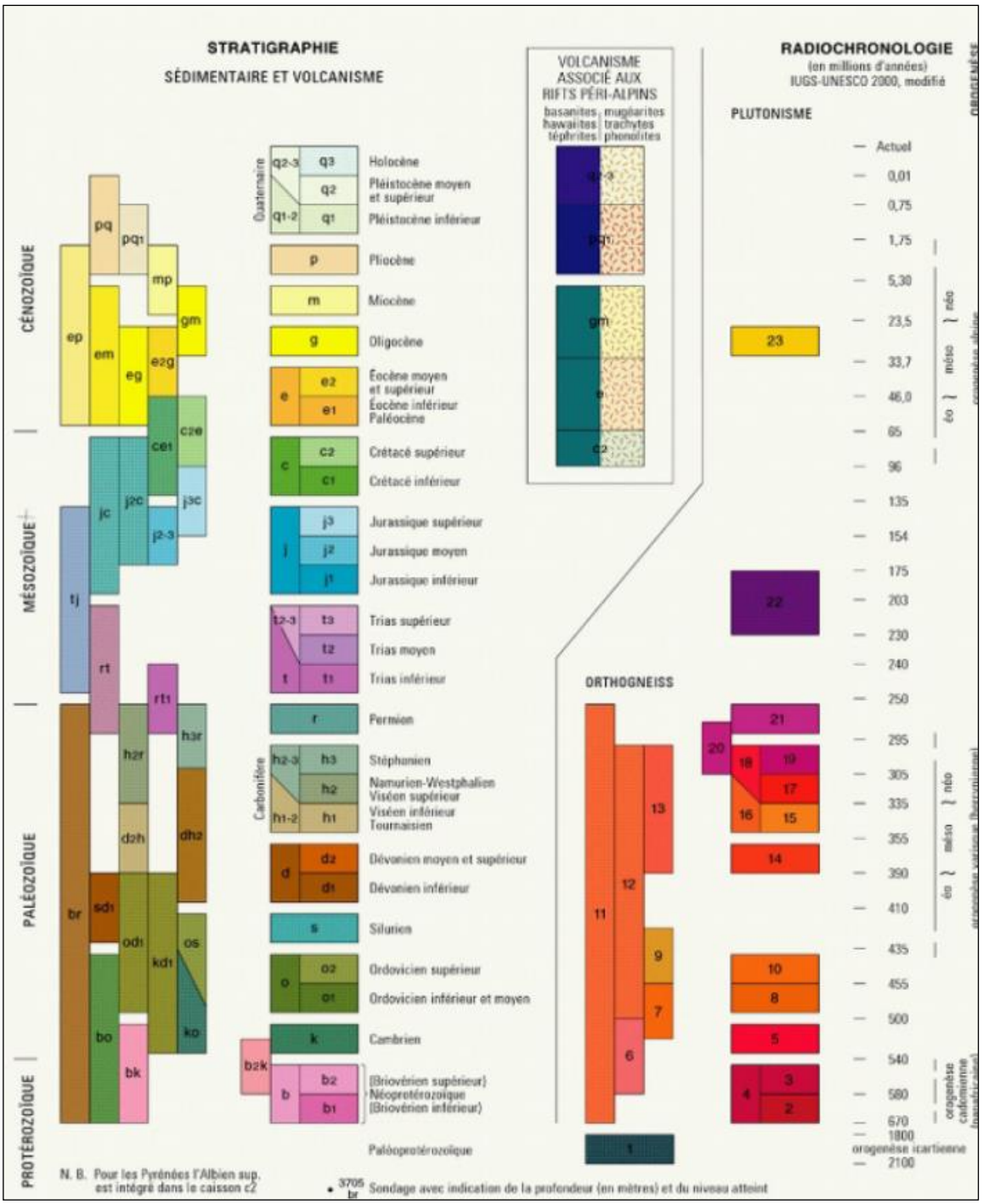


Fig. 4 : Légende de la carte géologique de la région de Blois - Géoportail

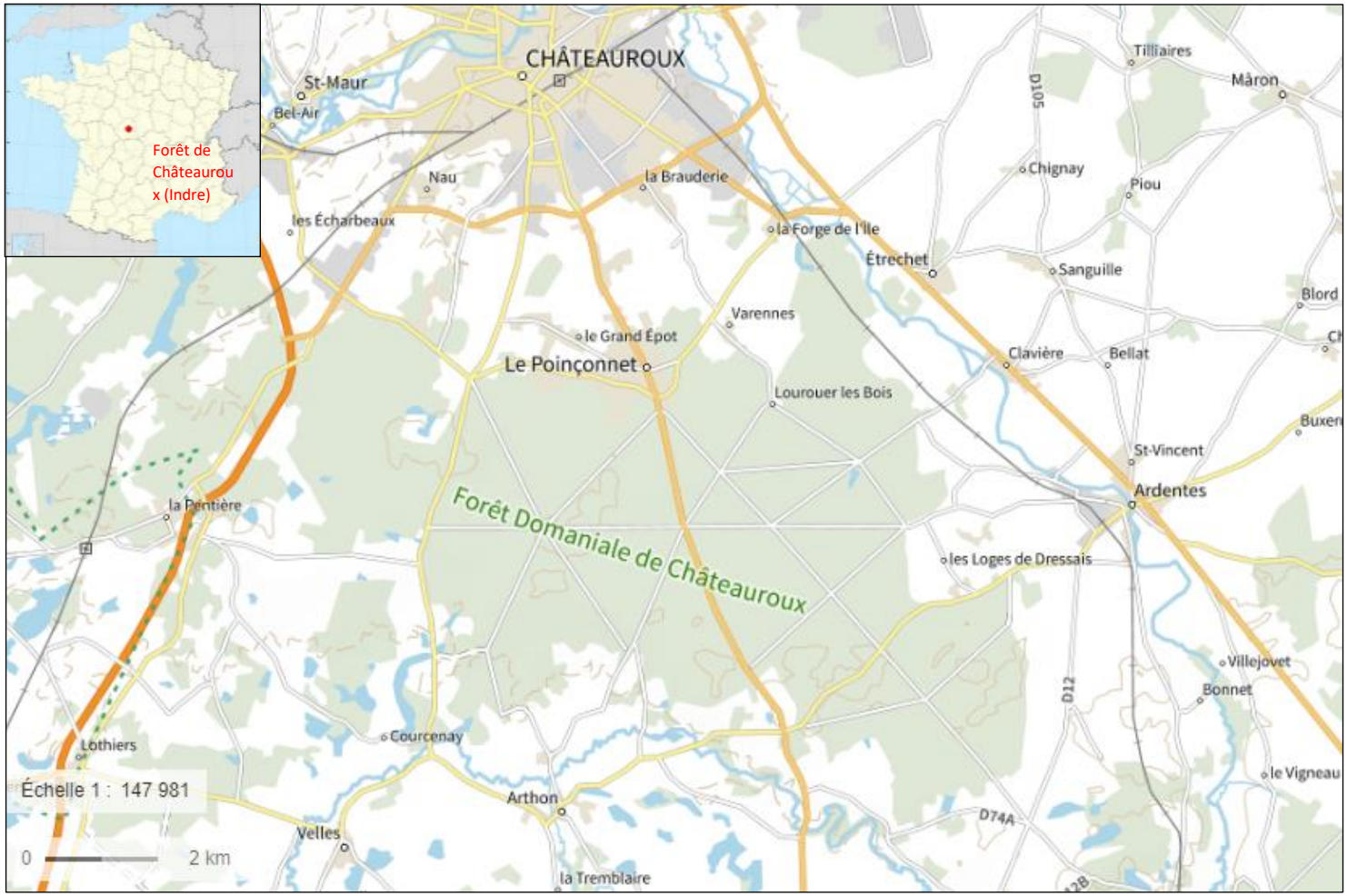


Fig. 5 : Carte localisant le massif forestier de Châteauroux – *Géoportail*

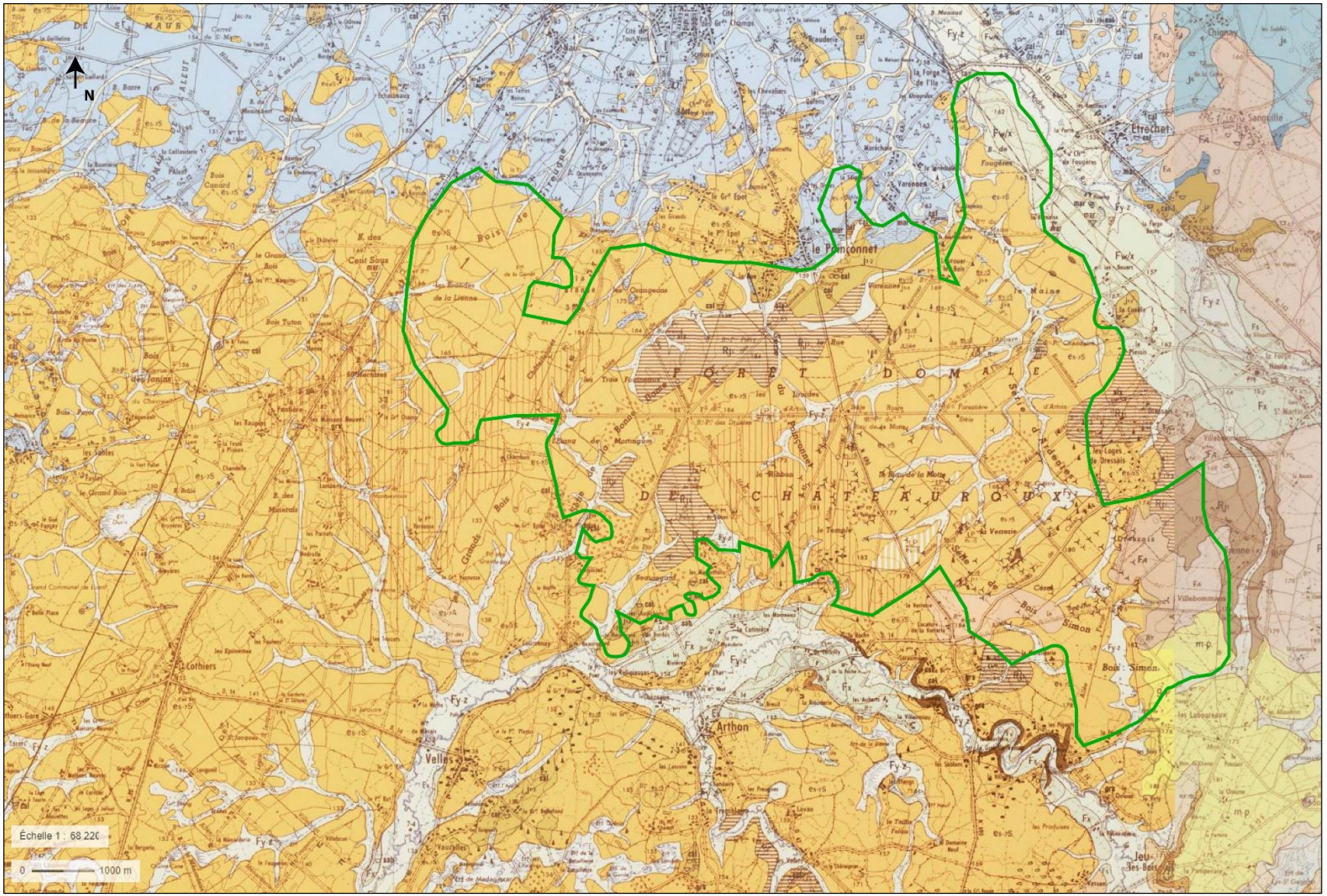
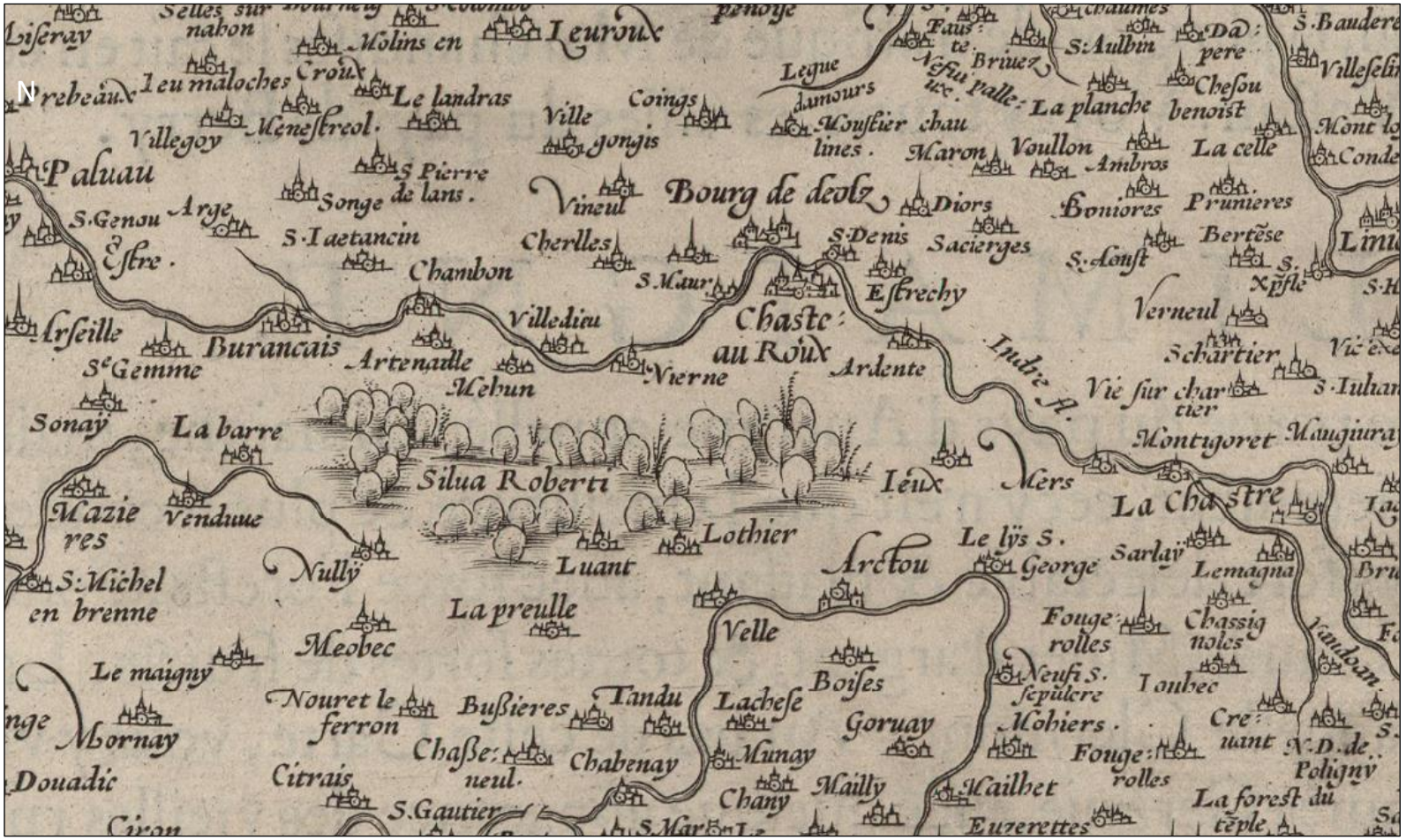


Fig. 6 : Carte géologique de la forêt de Châteauroux (en vert) – *Géoportail*

3.1 Sources textuelles et cartes anciennes


Leuroux
Bourg de deolz
Paluau
Silua Roberti
Chaste: au Roux
Lothier
Arctou
Velle
Boises
Goruay
Munay
Chabenay
Tandu
Lacheſe
Bußieres
Nouret le ferron
Meobec
La preulle
Luant
Nullÿ
Mornay
Le maigny
Douadic
Citrais
S. Gautier
Chany
Mailly
Mailhet
Euzerettes
La foreſt du tẽple
Fougerolles
Neufſ. ſepulcre
Mohiers
Loubec
Chaſſignoles
Sarlaÿ
Lemagna
Le lÿs S. George
Mers
Ieux
Montigoret
Vie ſur chartier
Schartier
Verneul
Eſtrechy
Ardente
Nerne
Villedieu
Chambon
Cherlles
S. Denis
Sacierges
Diors
Boniores
Prunieres
La celle
La planche
Chefou benoist
Maron
Voullon
Ambros
Coings
Ville gongis
Le landras
Meneſtreol
Villegoy
Croux
Molins en
Liſeray
Selles ſur nahon
Arge
Songe
S. Pierre de lans.
S. Genou
Eſtre.
S. Iaetancin
Burancais
Artenaulle
Melun
Sonay
La barre
Mazieres
Venduue
S. Michel en brenne
Ardoux
Indre R.
Vie
Mauguiray
S. Julian
Vieux
Villeſelin
Mont lo
Conde
Limeu
S. Baudere
Dampere
Cheſou benoist
S. Aulbin
Faute
Briuez
Legue
Amours
Moyſtier
chau
lines.
Ambros
Bertẽse
S. Aouſt
Xpſle
S. Maur
S. Denis
Sacierges
Diors
Boniores
Prunieres
La celle
Voullon
Maron
Ambros
Cheſou benoist
La planche
Briuez
Faute
S. Aulbin
Dampere
S. Baudere
Villeſelin
Mont lo
Conde
Limeu
Verneul
Schartier
Vie ſur chartier
Montigoret
Mauguiray
S. Julian
Vieux
Mers
Ieux
La Chaſtre
Sarlaÿ
Lemagna
Le lÿs S. George
Arctou
Fougerolles
Chaſſignoles
Neufſ. ſepulcre
Mohiers
Loubec
Fougerolles
Cre uant
N. D. de Poligny
La foreſt du tẽple
Euzerettes
Mailhet
Mailly
Chany
Goruay
Boiſes
Velle
Lacheſe
Tandu
Chabenay
Munay
Chaſſe: neul.
Bußieres
Nouret le ferron
Meobec
La preulle
Luant
Nullÿ
Lothier
Silua Roberti
Mornay
Le maigny
Douadic
Citrais
S. Gautier
Chany
Mailly
Mailhet
Euzerettes
Ardoux
Indre R.
Vie
Mauguiray
S. Julian
Vieux
Villeſelin
Mont lo
Conde
Limeu
S. Baudere
Dampere
Cheſou benoist
S. Aulbin
Faute
Briuez
Legue
Amours
Moyſtier
chau
lines.
Ambros
Bertẽse
S. Aouſt
Xpſle
S. Maur
S. Denis
Sacierges
Diors
Boniores
Prunieres
La celle
La planche
Chefou benoist
Maron
Voullon
Ambros
Coings
Ville gongis
Le landras
Meneſtreol
Villegoy
Croux
Molins en
Liſeray
Selles ſur nahon
Arge
Songe
S. Pierre de lans.
S. Genou
Eſtre.
S. Iaetancin
Burancais
Artenaulle
Melun
Sonay
La barre
Mazieres
Venduue
S. Michel en brenne

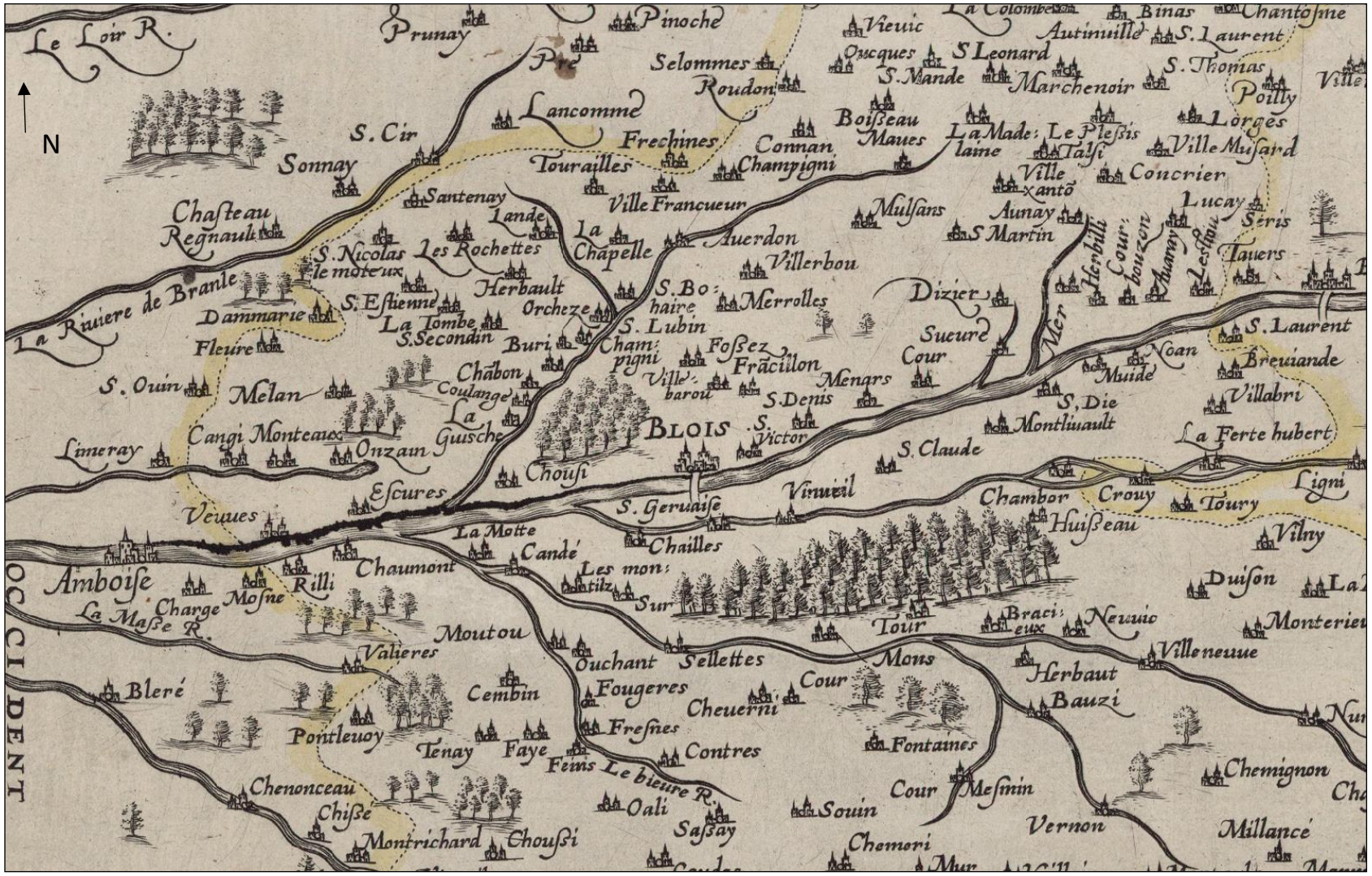


Fig. 8 : Détail de la carte *Description du pais Blaisois* (1591) (s. e.)
(BnF : GE DD-2987 (475))

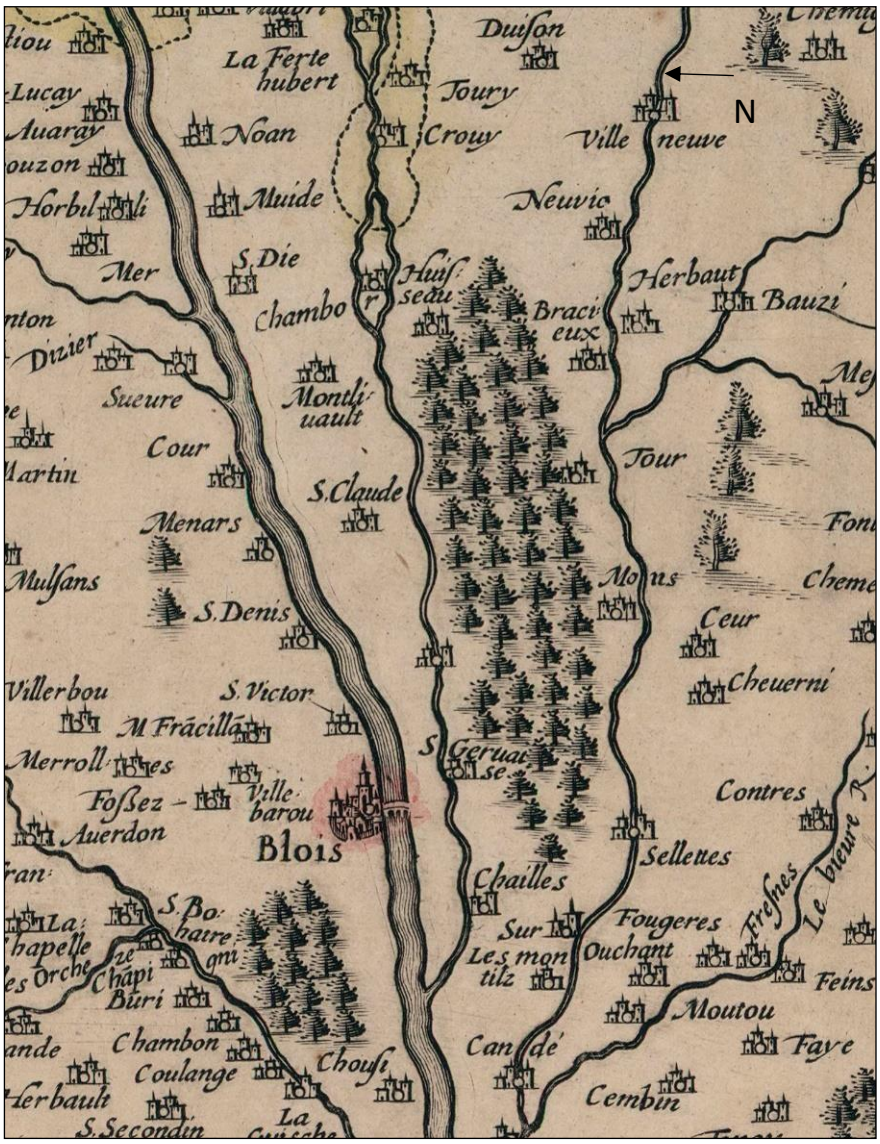


Fig. 9 : Détail de la carte *Description du pais Blaisois* (1630) (s. e.)
(BnF : GE DD-2987 (476))

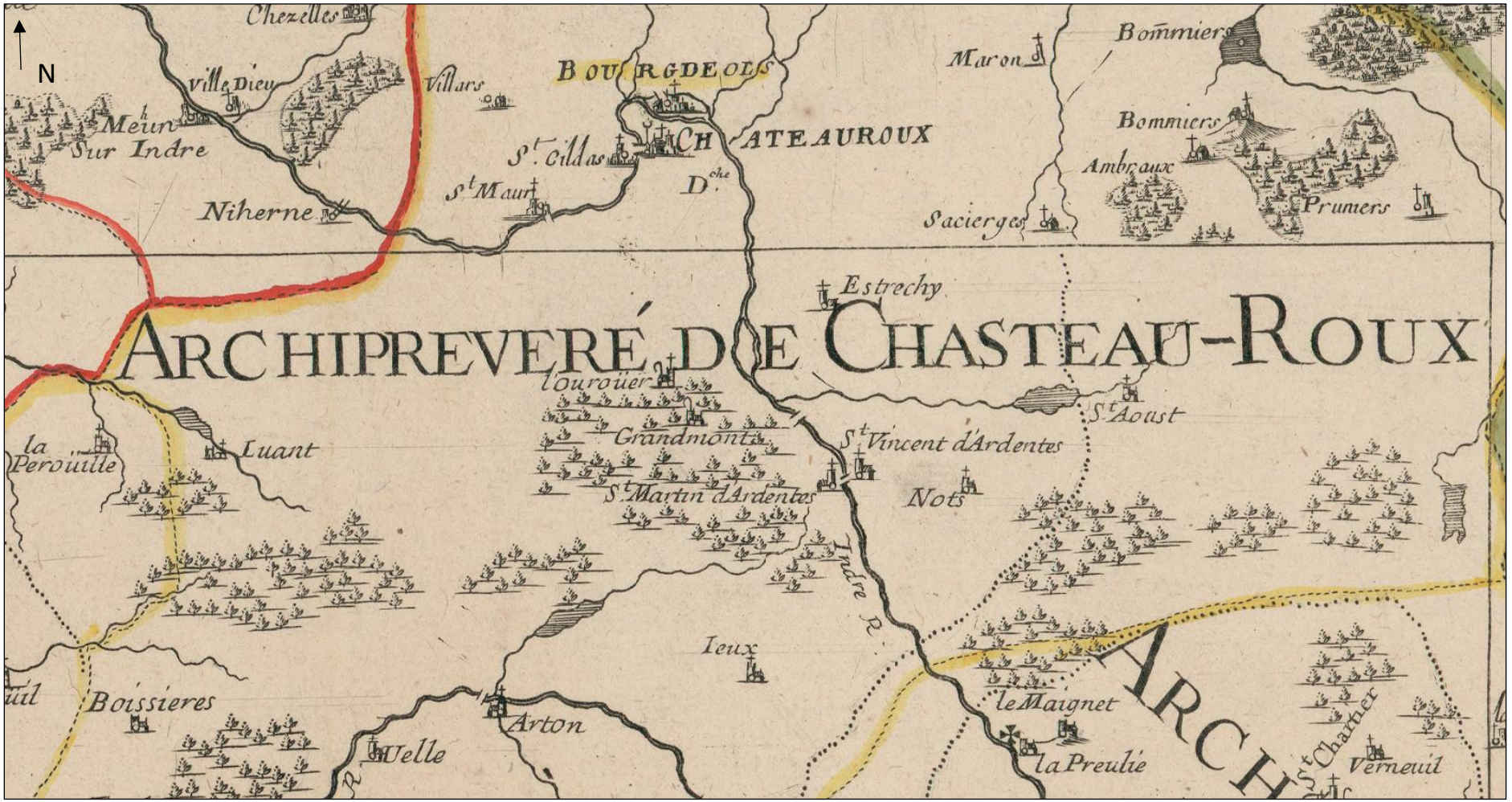


Fig. 10 : Détail de la carte du *Dioecese de l'archevesché de Bourges* (1678) (s. e.)
(BnF : GE DD-2987 (320))



Fig. 11 : Détail de *la Carte généralle de deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.A.S. Monseigneur le prince en Berry* (1682) (1/100 perches) (AN : N/II/Indre/2)

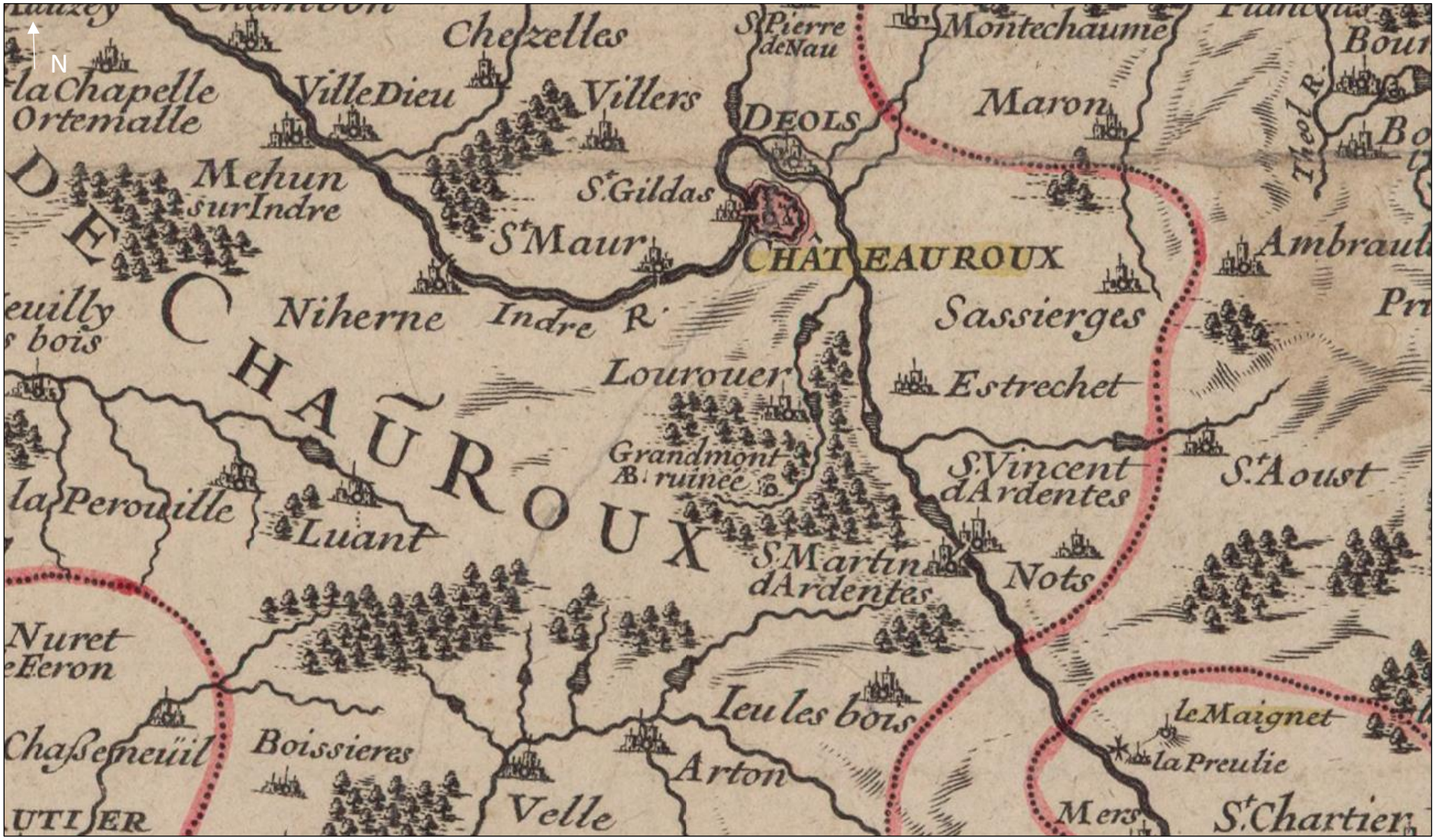


Fig. 12 *:* Détail de la *carte La Province de Berry, la généralité de Bourges où sont les élections de Bourges, d'Yssoudin, de Chateauroux, du Blanc, etc.* (1707) (s. e.) (BnF : GE D-17866)

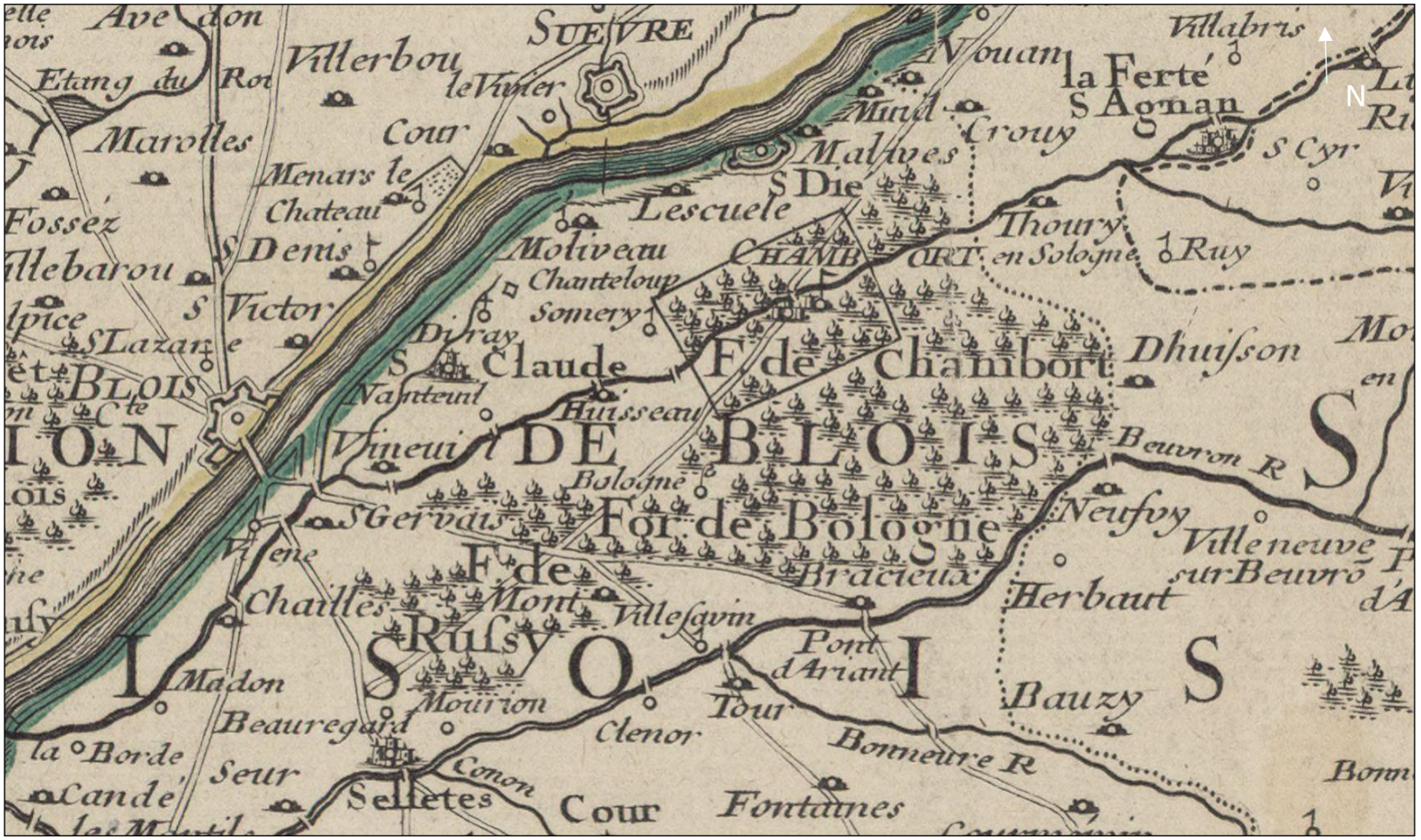


Fig. 13 : Détail de la *carte de la Beauce, du gatinois, de la Sologne et pays voisins compris dans la Généralité d'Orléans* (1718) (1 : 355 000 environ) (BnF : GE D-12927)

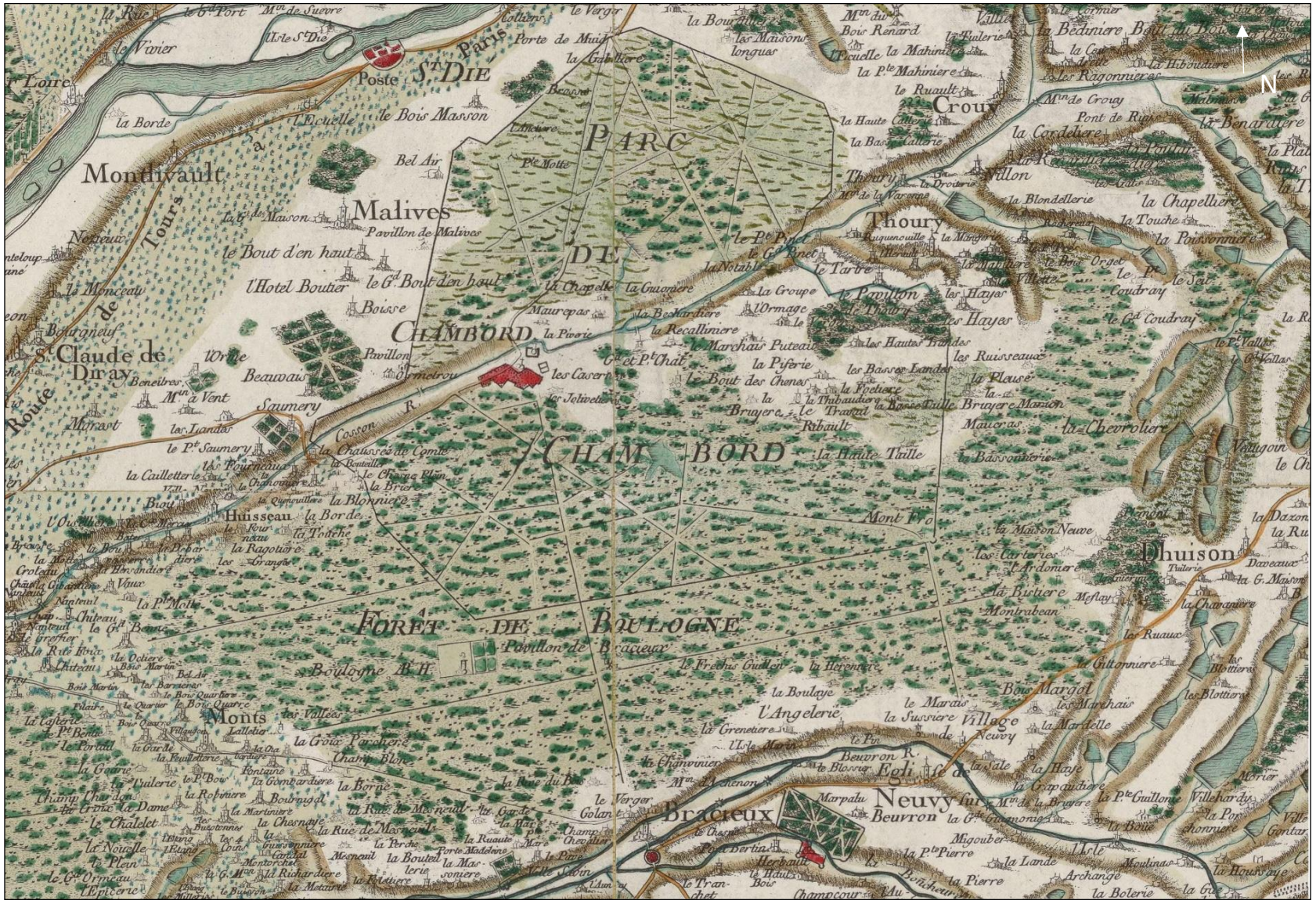


Fig. 14 *: Carte de la forêt de Boulogne et du parc de Chambord (Extrait de la* carte de Cassini – *Feuille n°29)* (1759-1760) (1 : 86 400) (BnF : GE FF-18595 (29))



Fig. 15 *: Carte de la forêt de Châteauroux (Extrait de la* carte de Cassini – *Feuille n°31)* (1766-1768) (1 : 86 400)
(BnF : GE FF-18595 (31))

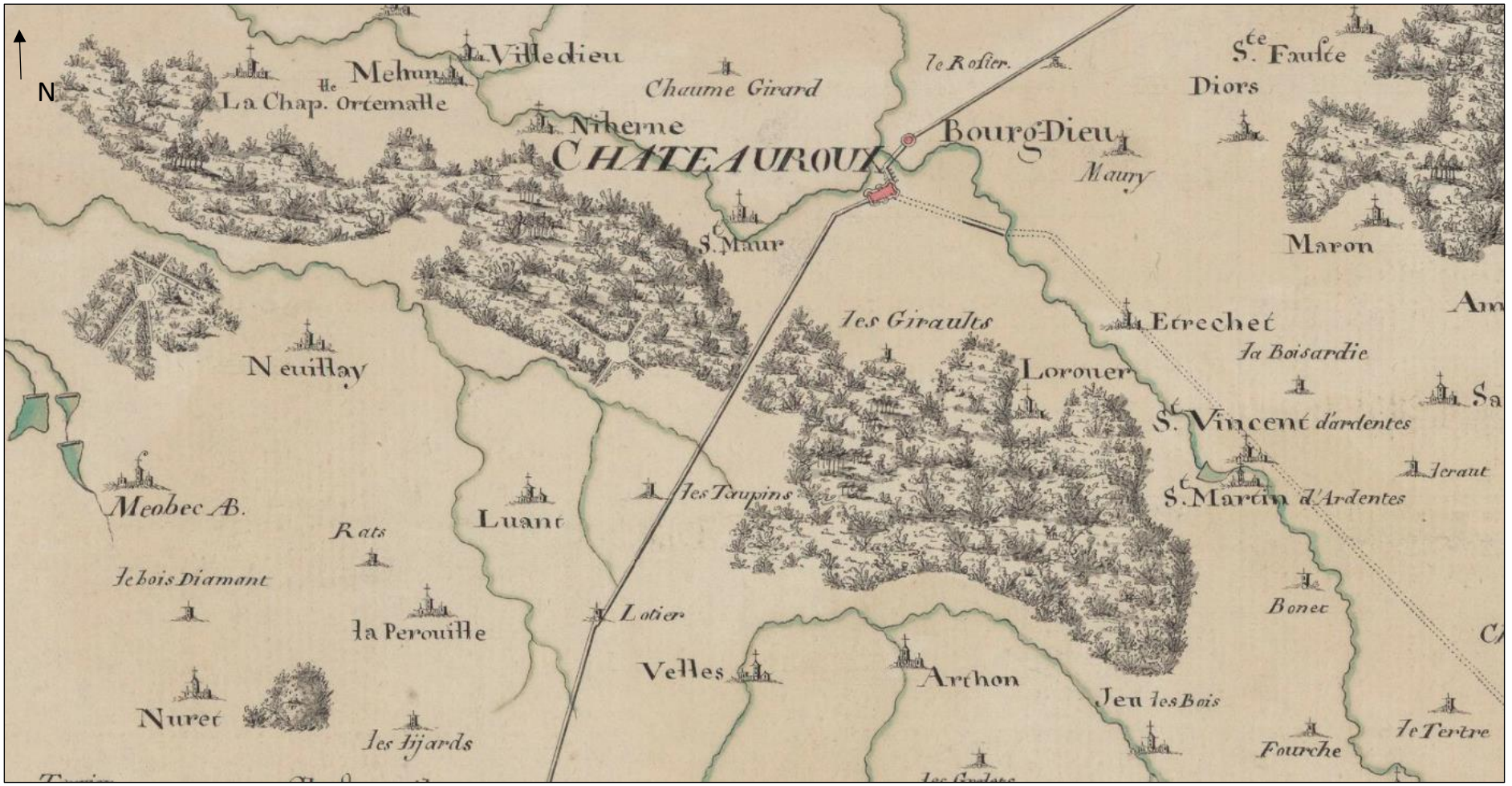


Fig. 16 : Détail de la *Carte du duché de Châteauroux extraite de celle de cassini et réduite sur une échelle de 4 lignes pour 1000 toises* (1780) (1 : 216 000) (BnF : GE D-17207)

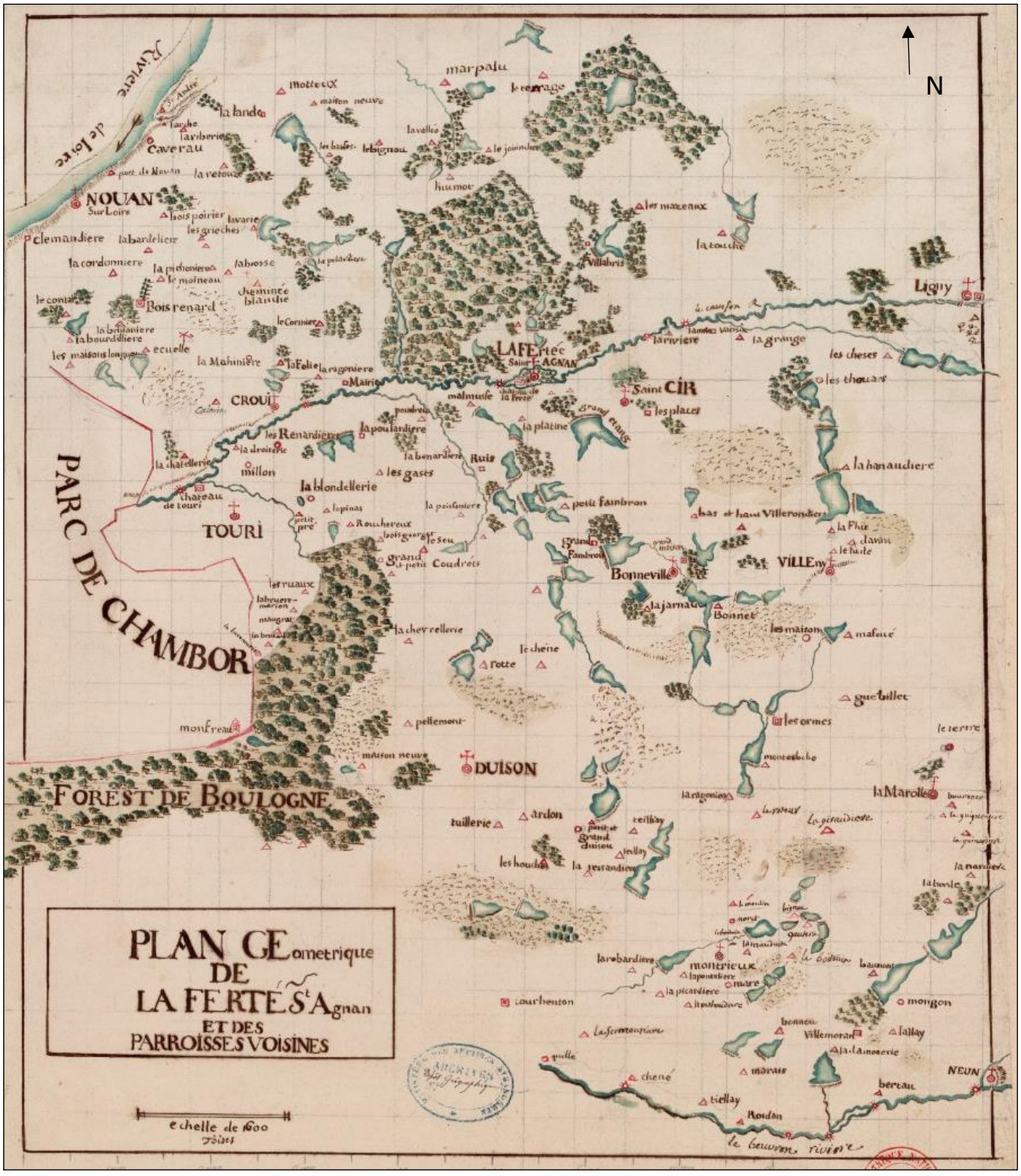


Fig. 17 : *Plan géométrique de la Ferté Saint-Agnan et des paroisses voisines* (XVIIIe s.)
(1/1 600 toises) (CPL GE DD-2987 (1230))

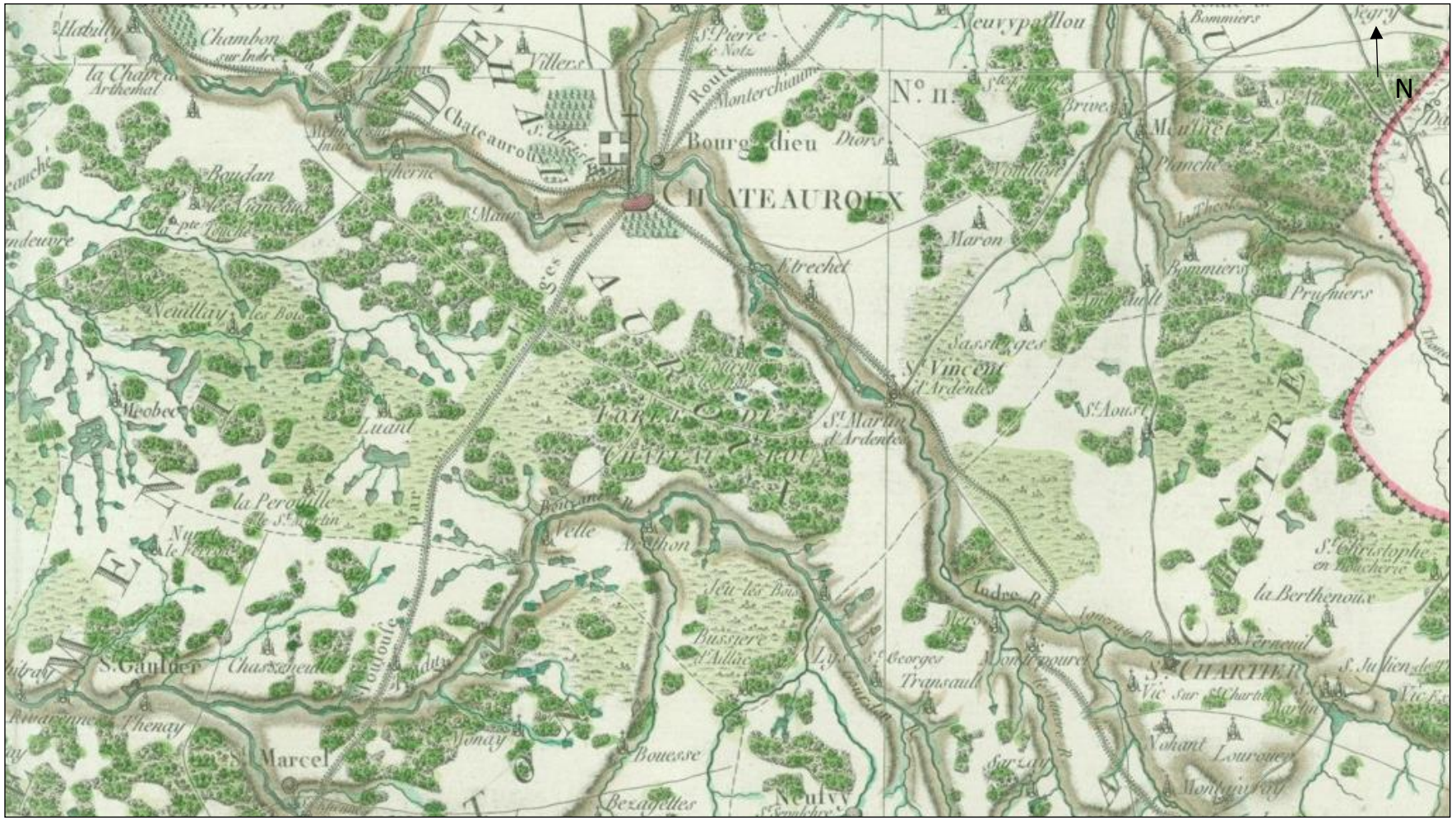


Fig. 18 : *Atlas Nationale de France*, n°51, département de l'Indre (1790) (1 : 333 000)
(BM Châteauroux : Car 1 By B 3)

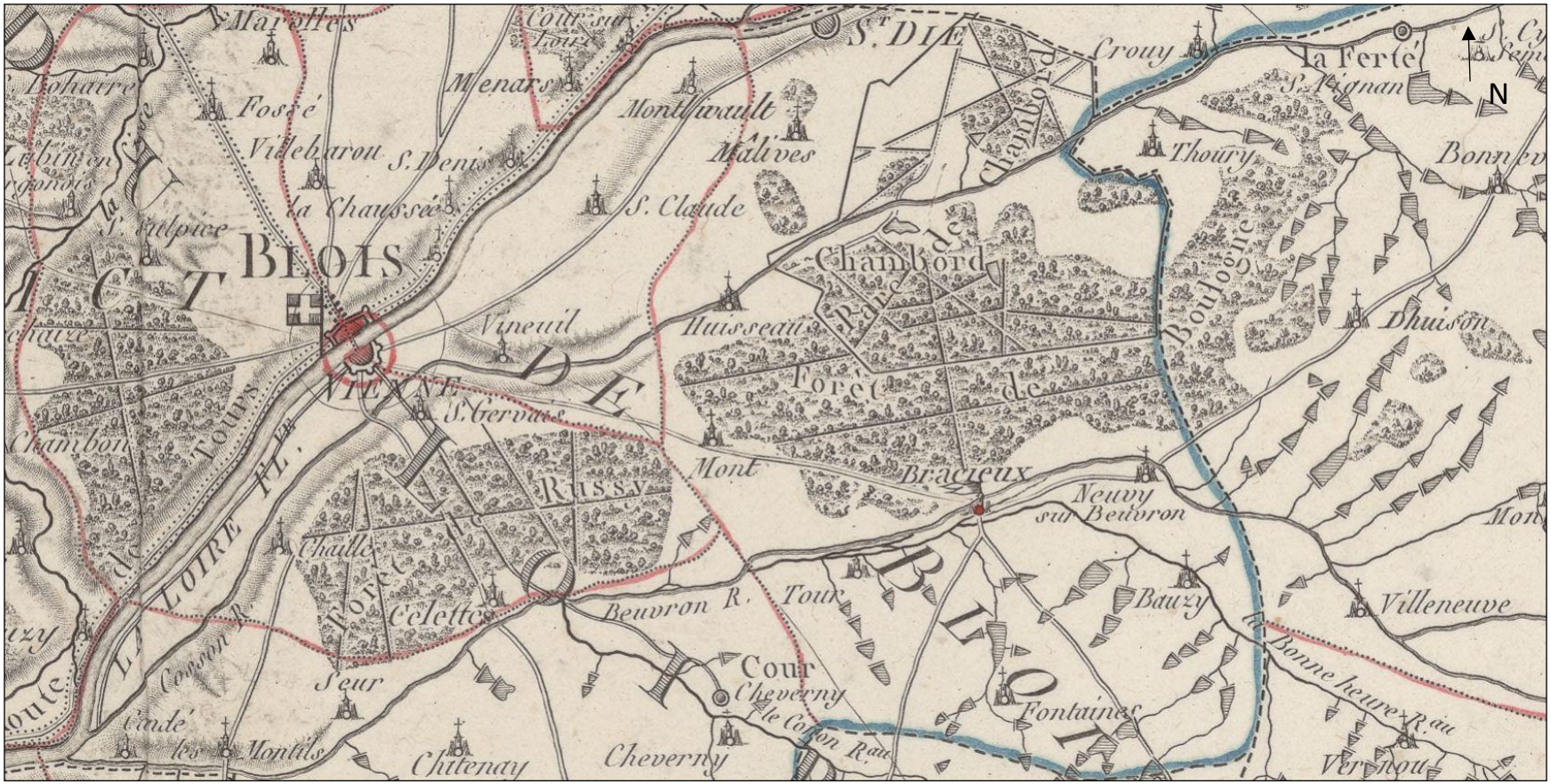


Fig. 19 : Détail de l'*Atlas National de France*, n°3, département du Loir-et-Cher (1818) (1 : 333 000)
(GE C-3968)

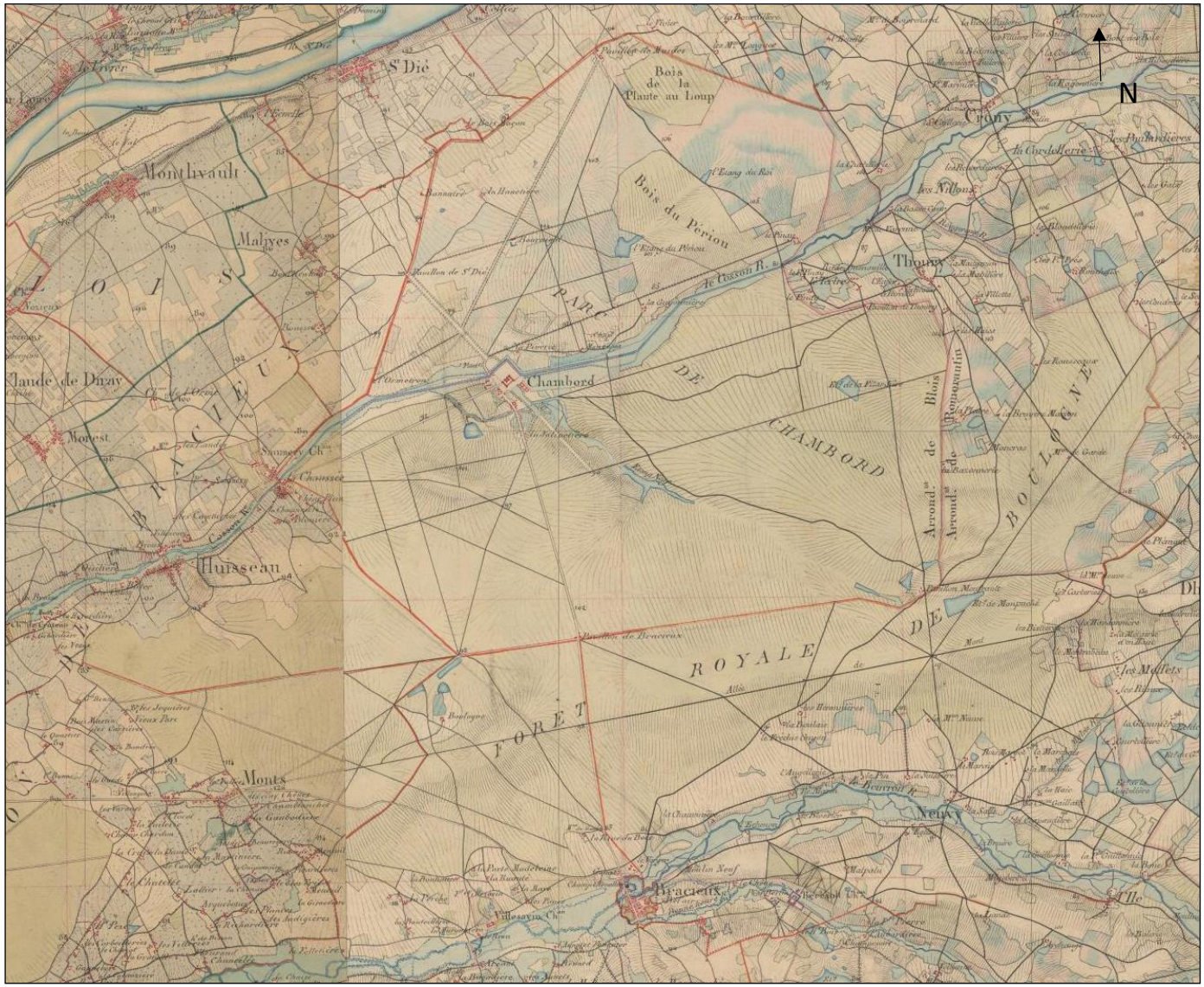


Fig. 20 : Carte de la forêt de Boulogne et du parc de Chambord (extrait de la *carte d'Etat-major* – feuille n° 108) (1 : 150 000) - *Géoportail*



Fig. 21 : Carte de la forêt de Châteauroux (extrait de la carte d'Etat-major – feuille n° 133) (1 : 70 000) – *Géoportail*



Fig. 22 : Détail de la *Carte de la capitainerie royale de Blois (*s. e.)
(BnF : GE D-4521 (RES))



Fig. 23 : *Le plan de la foret de Chambord* (1675) (s. e.)
(BnF : GeD-14658)

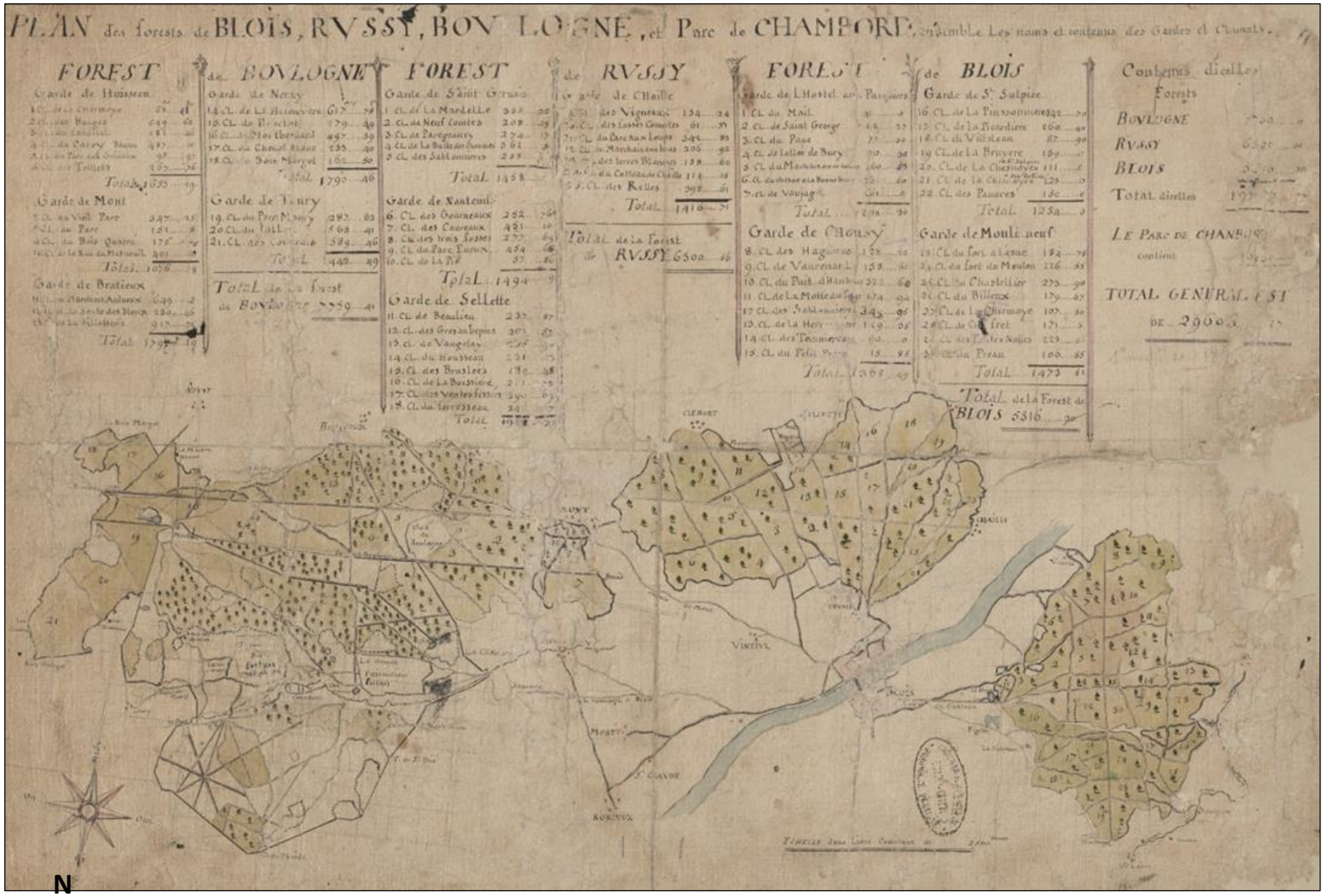


Fig. 24 : *Plan des forests de Blois, Russy, Boulogne et le parc de Chambort* (1er moitié du XVIIIe s.) (1 : 2500 toises)
(AD41 : 1 Fi 665)



Fig. 25 : *Forêt de Boulogne* - Début du XVIIIe s.
(BNF : Ge DD-2987 (1232))

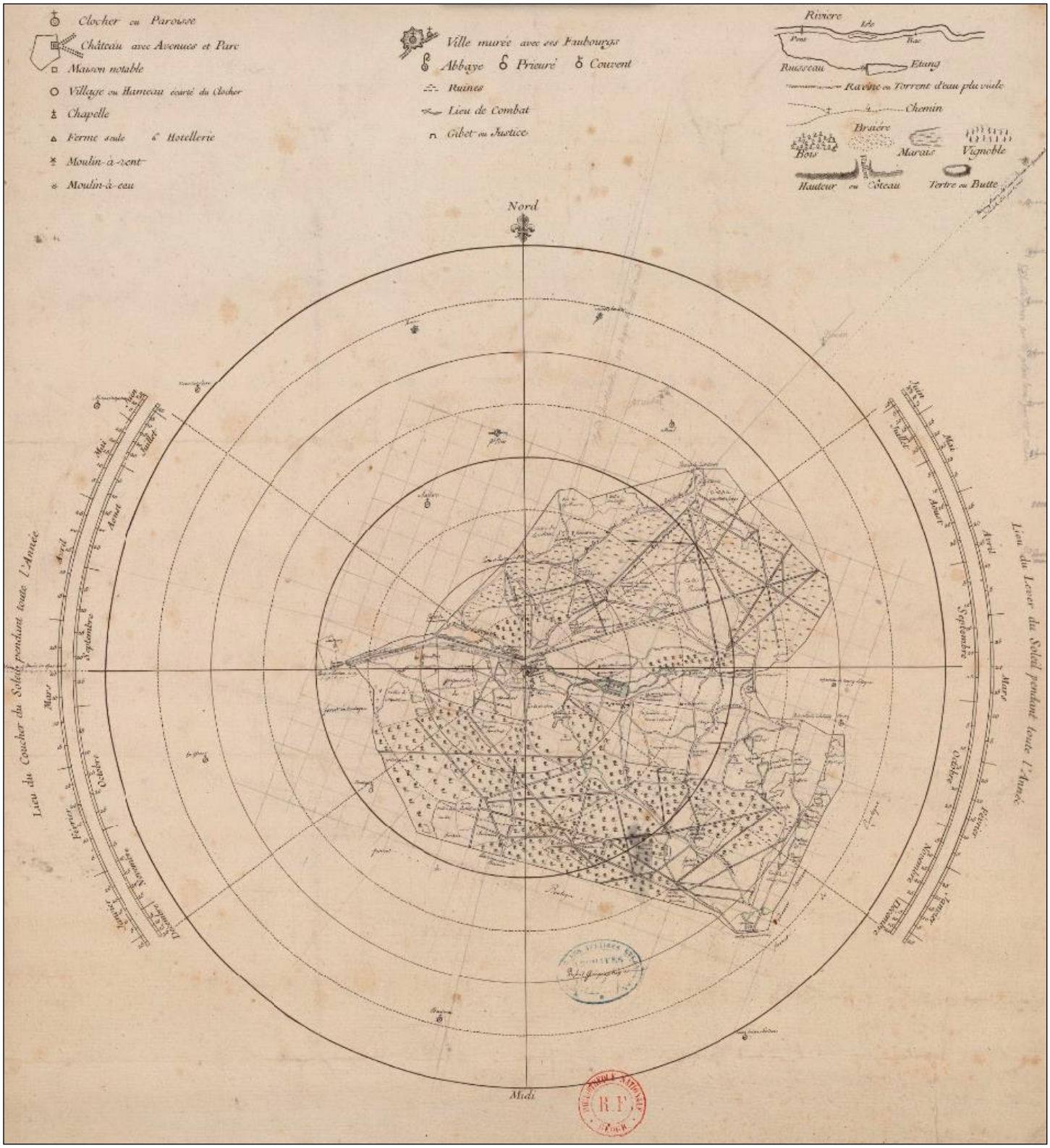


Fig. 26 : *Plan de Chambord* (XVIII[e] s.) (1 : 500)
(BNF : GeDD 2987)

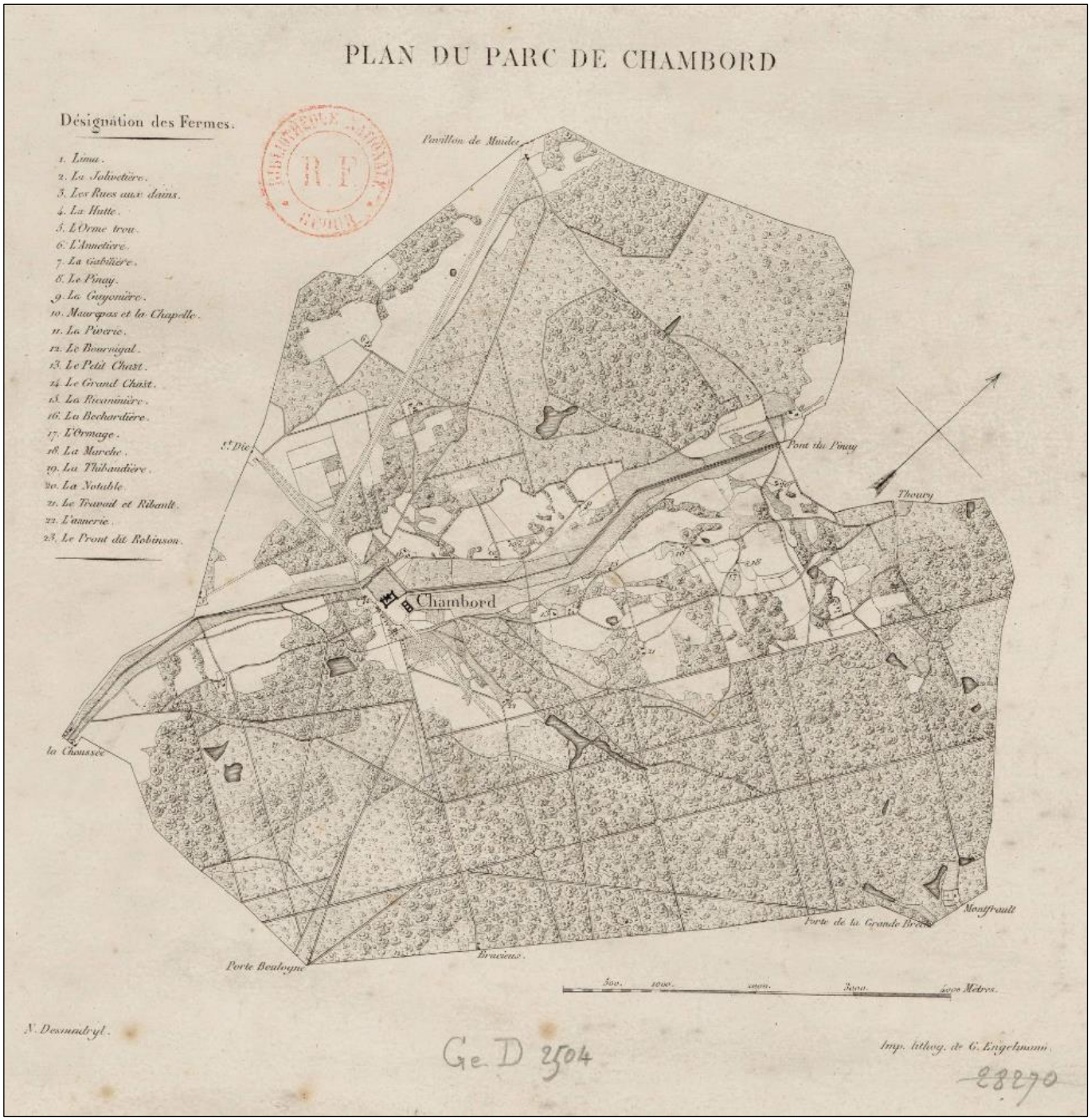


Fig. 27 : *Plan du parc de Chambord* (1835) (1 : 10 000)
(BnF : GE D-2504)

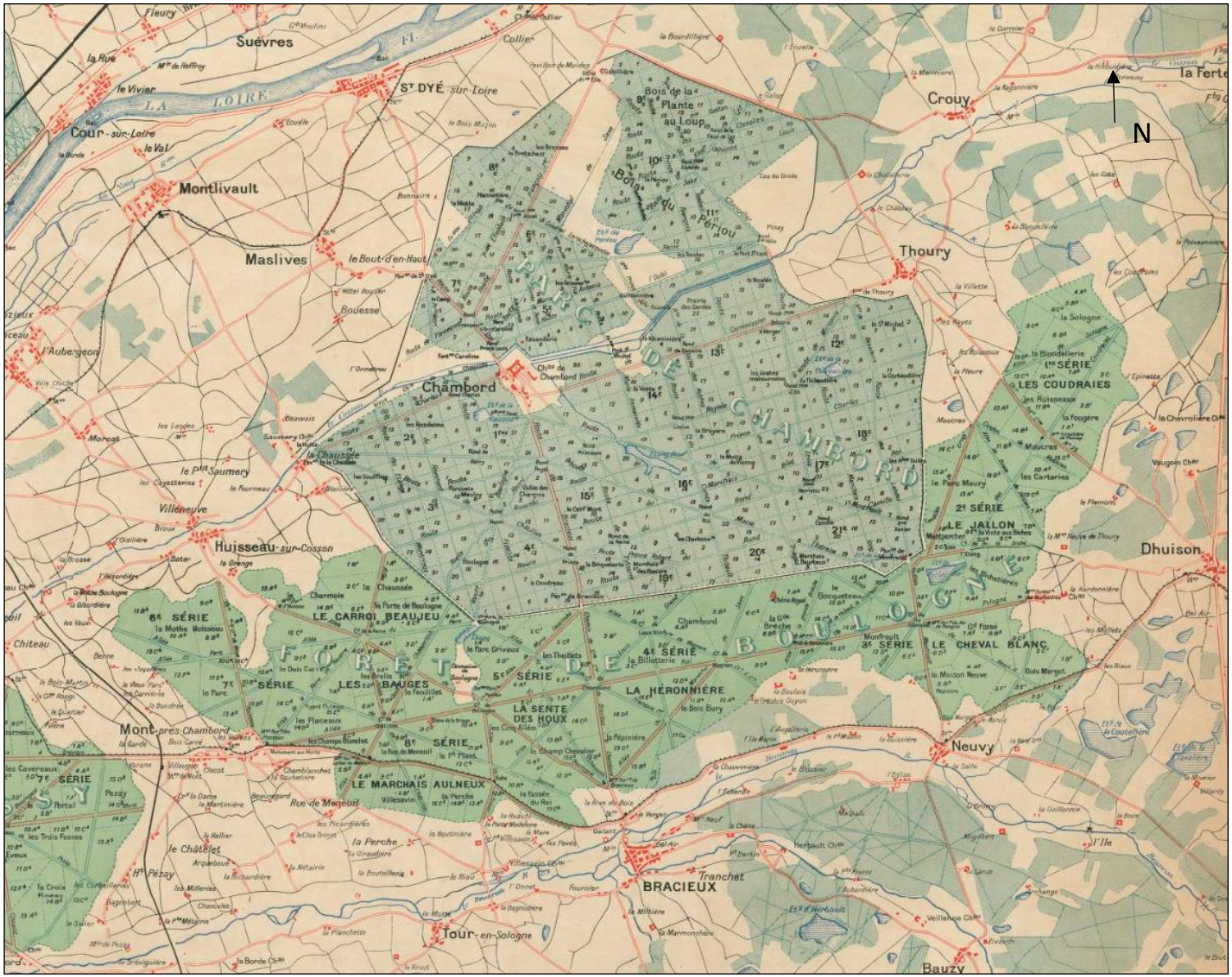


Fig. 28 *:* Carte des forêts domaniales des environs de Blois (1926) (1/400 m)
(BnF : GE C-5307)



Fig. 29 : *Plan très exact du prieuré de Boulongne* (1671) (s. e.)
(AD41 : 1 Fi 01585)

4.1 Les ateliers métallurgiques

Tableau 1 : Tableau d'enregistrement des structures liées à l'activité métallurgique dans la forêt de Boulogne-Chambord[1]

N° Ferrier	X	Y	Z	Type	Forme	Longueur (en m)	largeur (en m)	Hauteur enregistrée (en m)	Hauteur restituée (en m)	Surface approximative (en m²)	Volume restitué (en m3)	Etat
064/1	596162,281	6720445,964	92	Ferrier	Elliptique	17,4	14,6	0,45	1,45	236,7	137,2	Récupéré
094/1	592118,734	6720645,070	105	Ferrier	Elliptique	13,5	9,2	0,4	1,4	103,8	58,1	
110/2	591016,896	6720033,435	79	Ferrier	Elliptique	7,58	7,25	0,2	1,2	39,6	19,0	
111/1	591854,484	6720169,372	96	Ferrier	Elliptique	26,4	18,5	0,65	1,65	373,7	246,6	Récupéré
113/3	591540,489	6719510,877	87	Ferrier	Elliptique	18,7	16,9	0,6	1,6	202,3	129,5	
124/1	590081,427	6719374,780	89	Ferrier	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	
124/2	590111,320	6719364,537	89	Ferrier	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	
129/3	589017,851	6720991,347	97	Ferrier	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet	
131/1	588887,365	6720965,497	97	Ferrier	Elliptique	22,39	13,81	0,6	1,6	230,4	147,4	
132/1	589148,451	6720836,930	90	Ferrier	Elliptique	27,15	18,34	1	2	417,1	333,7	
137/4	588052,959	6720521,027	95	Ferrier	Arrondie	16,61	15,38	0,8	1,8	227,8	164,0	
139/1	588926,563	6720237,491	104	Ferrier	Arrondie	22,6	21,59	0,8	1,8	423,9	305,2	
139/2	588957,980	6720242,359	102	Ferrier	Arrondie	28,38	24,97	1,8	2,8	619,1	693,5	
142/1	588333,371	6720011,275	102	Ferrier	Elliptique	13,07	8,69	0,8	1,8	91,6	65,9	
145/1	589351,526	6719316,948	102	Ferrier	Double ellipse	25,33	24,06	0,7	1,7	362,9	246,8	Récupéré
146/2	589501,162	6719246,762	92	Ferrier	Elliptique	8,59	6,13	0,6	1,6	40,4	25,9	Récupéré
147/2	588566,161	6719714,046	103	Ferrier	Elliptique	15,88	12,65	0,5	1,5	158,6	95,1	
150/1	589062,949	6719017,464	92	Ferrier	Elliptique	29,52	14,14	1,1	2,1	322,1	270,6	Récupéré
151/2	589428,121	6718882,386	88	Ferrier	Elliptique	13,19	8,21	0,4	1,4	89,0	49,8	
151/3	589759,542	6718693,745	85	Ferrier	Arrondie	21,67	17,72	0,4	1,4	302,0	169,1	
153/1	588100,333	6719264,429	97	Ferrier	Arrondie	19,68	19,3	1	2,2	291,7	256,7	
154/2	588630,249	6718865,441	95	Ferrier	Elliptique	12,2	9,78	0,4	1,4	95,5	53,4	
155/1	589189,894	6718913,736	96	Ferrier	Double ellipse	59,86	46,92	1	2	1614,2	1291,4	Récupéré

1. Attention, les longueurs et largeurs sont celles relevées sur le terrain alors que les superficies sont celles calculées avec le SIG grâce aux relevées GPS des limites de ferrier. Cette façon de calculer la superficie est plus précise que la simple formule S = L x l.

156/2	589579,197	6718640,472	89	Ferrier	Elliptique	26,9	19,81	0,7	1,7	442,8	301,1	
160/1	588171,622	6718461,641	88	Ferrier	Elliptique	33,63	29,6	1	1,7	717,7	488,0	Récupéré
169/1	587426,773	6721209,493	96	Ferrier	Elliptique	34,23	20,38	1,4	2,4	579,4	556,2	Récupéré
176/1	587130,782	6720121,117	104	Ferrier	Elliptique	23,85	20,24	1	2	386,8	309,4	
185/1	587393,808	6718927,903	111	Ferrier	Elliptique	20,73	15,74	0,5	1,5	273,8	164,3	
190/1	587556,958	6718587,983	98	Ferrier	Double ellipse	10,84	10,81	0,8	1,8	97,4	70,1	
190/2	587463,598	6718616,598	100	Ferrier	Elliptique	7,02	4,35	0,3	1,3	22,3	11,5	Récupéré
191/2	587174,978	6718890,473	99	Ferrier	Double ellipse	13,42	10,9	0,8	2	114,5	91,6	Récupéré
191/3	587143,127	6718792,891	97	Ferrier	Elliptique	17,28	9,9	0,8	1,8	144,7	104,2	Récupéré
193/1	586721,909	6718695,896	107	Ferrier	Elliptique	6,21	1,87	0,2	1,2	10,1	4,8	
193/2	586551,732	6718692,981	110	Ferrier	Arrondie	13,1	10,7	0,6	1,6	102,4	65,5	
194/1	586383,282	6718632,047	104	Ferrier	Elliptique	9	7,5	0,5	1,5	50,8	30,5	
194/2	586491,543	6718878,295	107	Ferrier	Elliptique	15,8	20,2	0,35	1,35	233,8	126,2	
195/1	586034,486	6718870,660	125	Ferrier	Double ellipse	53,6	27	1,2	2,2	1159,7	1020,6	Récupéré
195/3	586161,669	6719014,533	112	Ferrier	Elliptique	5,3	3,5	0,5	1,5	12,3	7,4	
195/4	585982,806	6718867,902	109	Ferrier	Arrondie	14,3	12,3	0,3	1,3	145,6	75,7	
224/1	585554,088	6719394,792	117	Ferrier	Elliptique	11,17	10,21	0,3	1,3	80,8	42,0	
F371/1	590418,930	6722450,020	99	Ferrier	Arrondie	23,6	15,9	1,5	2,5	621,1	621,1	
F374/1	indet	indet	91,3	Ferrier	indet	indet	indet	0,25	1,25	indet	indet	
F447/1	590303,360	6721855,380	96	Ferrier	Arrondie	23	16,1	0,7	1,7	231,4	157,4	
F489/1	593654,120	6722303,970	111	Ferrier	Elliptique	18	13,3	0,6	1,6	229,6	146,9	

Tableau 2 : Nombre de ferrier dans la forêt de Boulogne-Chambord par classe de longueur (en m)

Longueur des ferriers par classe de 10 m	**Nombre de ferrier**
0 à 10	6
11 à 20	17
21 à 30	13
31 à 40	2
41 à 50	0
51 à 60	2

Tableau 3 : Nombre de ferrier dans la forêt de Boulogne-Chambord par classe de superficie (en m²)

Surface des ferriers par classe de 100 m²	Nombre de ferrier
0 - 100	11
101 - 200	6
201 - 300	8
301 - 400	7
401 - 500	3
501 - 600	1
601 - 700	1
701 - 800	1
801 - 900	0
901 - 1000	0
1001 - 1100	0
1101 - 1200	1
1201 - 1300	0
1301 - 1400	0
1401 - 1500	0
1501 - 1600	0
1601 - 1700	1

Tableau 4 *:* Nombre de ferrier par classe de hauteur restituée (en m) dans la forêt de Boulogne-Chambord

Hauteur restituée des ferriers par classe de 0,5 m	Nombre de ferrier
1 à 1,5	17
1,6 à 2	18
2,1 à 2,5	4
2,6 à 3	1

Tableau 5 : Nombre de ferrier par classe de volume restituée (en m^3) dans la forêt de Boulogne-Chambord

Volume restitué par classe de 100 m3	Nombre de ferrier	% de ferrier
0 - 100	16	40
101 - 200	10	25
201 - 300	4	10
301 - 400	4	10
401 - 500	1	2,5
501 - 600	1	2,5
601 - 700	2	5
701 - 800	0	0
801 - 900	0	0
901 - 1000	0	0
1000 - 1100	1	2,5
1100 - 1200	0	0
1200 - 1300	1	2,5

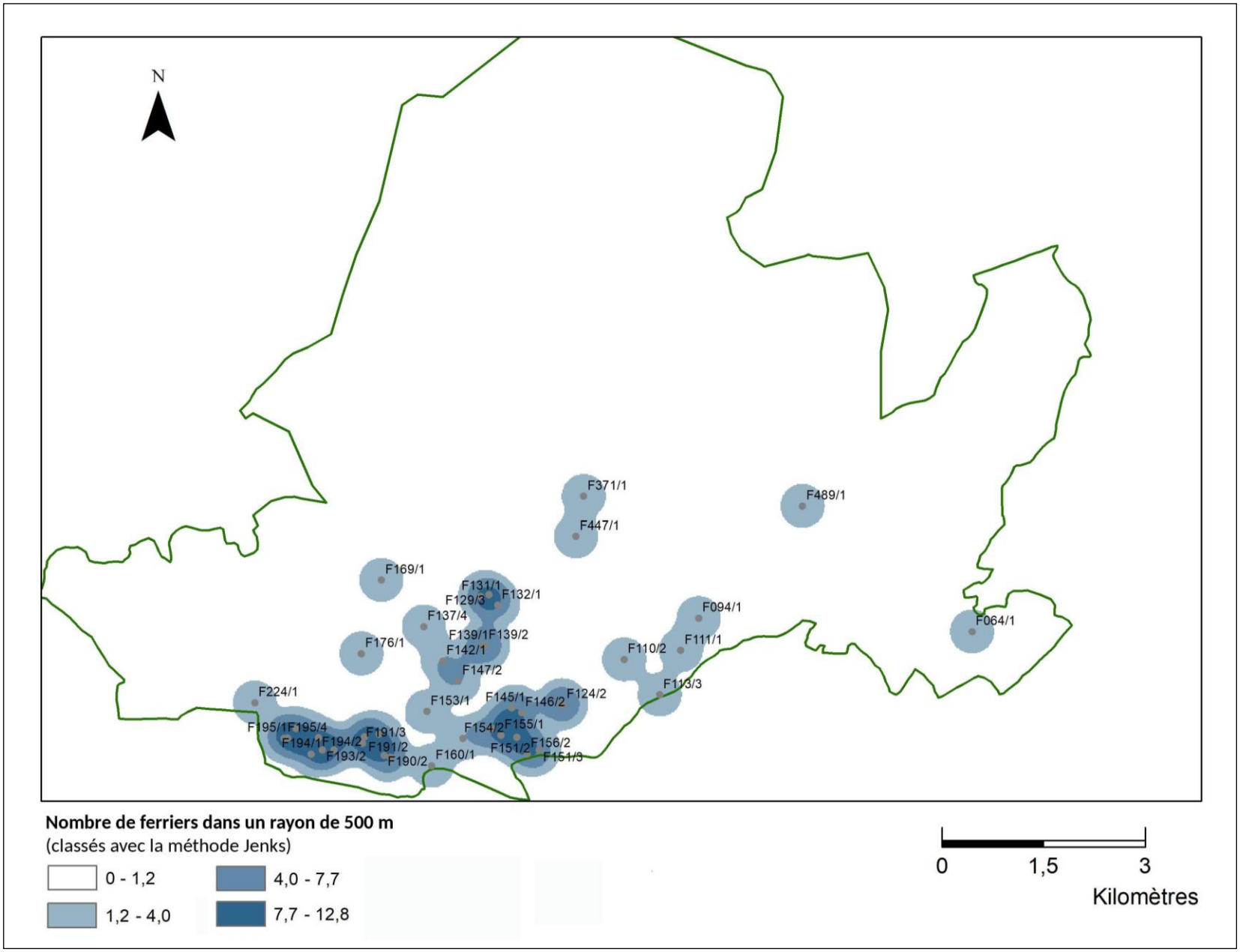


Fig. 30 : Cartes de densité des ferriers en forêt de Boulogne

Tableau 6 : Tableau représentant le nombre de ferrier dans un rayon de 500 m autour de chaque site métallurgique

Ferrier	Nb de ferriers au 500 m alentour	Type
224/1	0	Isolé
195/3	4	Concentré
195/1	4	Concentré
195/4	3	Concentré
194/1	6	Concentré
194/2	5	Concentré
193/2	3	Concentré
193/1	5	Concentré
191/2	5	Concentré
191/3	5	Concentré
185/1	4	Concentré
190/2	4	Concentré
190/1	4	Concentré
160/1	0	Isolé
153/1	0	Isolé
154/2	1	Groupé
155/1	5	Concentré
150/1	5	Concentré
151/2	6	Concentré
156/2	3	Concentré
151/3	2	Groupé
146/2	4	Concentré
145/1	4	Concentré
124/1	1	Groupé
124/2	1	Groupé
113/3	0	Isolé
111/1	0	Isolé
110/2	0	Isolé
129/3	2	Groupé
132/1	2	Groupé
131/1	2	Groupé
137/4	0	Isolé
139/1	1	Groupé
139/2	1	Groupé
147/2	1	Groupé
142/1	1	Groupé
176/1	0	Isolé
169/1	0	Isolé
064/1	0	Isolé
094/1	0	Isolé
447/1	0	Isolé
371/1	0	Isolé
489/1	0	Isolé

Tableau 7 : Tableau représentant le nombre de ferrier par type d'implantation en fonction de leur volume

Volume (en m3)	Concentré	% concentré	Groupé	% groupé	isolé	% isolé
0 - 100	10	55,6	3	37,5	3	21,4
101 - 200	3	16,7	2	25	5	35,7
201 - 300	2	11,1	0	0	2	14,3
301 - 400	1	5,6	2	25	1	7,1
401 - 500	0	0	0	0	1	7,1
501 - 600	0	0	0	0	1	7,1
601 - 700	0	0	1	12,5	1	7,1
701 - 800	0	0	0	0	0	0
801 - 900	0	0	0	0	0	0
901 - 1000	0	0	0	0	0	0
1000 - 1100	1	5,6	0	0	0	0
1100 - 1200	0	0	0	0	0	0
1200 - 1300	1	5,6	0	0	0	0
Total	**18**	**100**	**8**	**100**	**14**	**100**

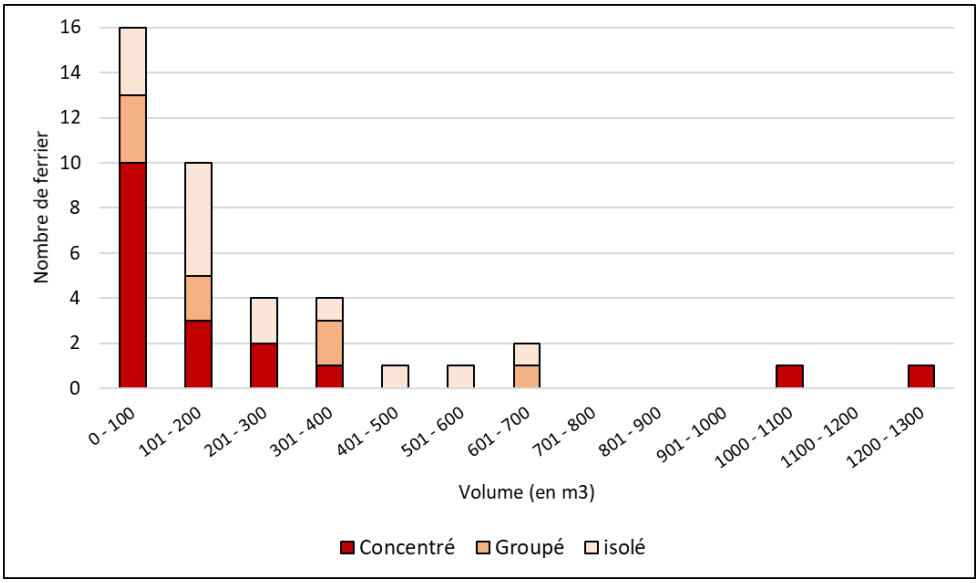


Fig. 31 : Diagramme du nombre de ferrier en fonction de leur volume et de leur implantation

Tableau 8 : Dimensions des épandages de scories de la forêt de Boulogne-Chambord

Épandage	Longueur (en m)	largeur (en m)	Épaisseur (en cm)	Surface approximative (en m²)	Volume restitué (en m3)
107/2	13,6	4,5	<10	48	1,9
137/1	19,41	9,37	< 5	142,8	2,9
168/1	16,22	11,65	< 10	148,3	5,9
195/2	15,9	6,9	< 10	86,1	3,4
195/7	2,5	1,9	< 5	3,7	0,1
201/2	19,33	13,71	Entre 10 et 15 cm	208	12,5
212/1	3,76	2,41	< 5	7,1	0,1
F374/1	18,7	15,8	< 15 cm	231,9	13,9
F487/1	25	16	< 5 cm	314	6,3

Tableau 9 : Dimensions des ferriers aux scories récupérées dans la forêt de Boulogne-Chambord

Ferriers récupérés	Volume total de scorie restitué (en m3)	Surface récupérée (en m²)	Hauteur restituée	Volume récupéré	% du volume récupéré
064/1	123,1	67,2	1,3	34,9	28,4
111/1	269,1	31,8	1,8	22,9	8,5
145/1	232,3	117,5	1,6	75,2	32,4
160/1	488	333,8	1,7	227	46,5
169/1	509,9	30,1	2,2	26,5	5,2
190/2	10,7	10,2	1,2	4,9	45,7
191/2	91,7	17	2	13,6	14,9
191/3	104,2	16,8	1,8	12,1	11,6
195/1	742,3	264	1,6	169	22,8
155/1	1291,4	240,2	2	192,2	14,9
146/2	25,9	26,4	1,6	16,9	65,2
150/1	296,4	206,6	2,3	190,1	64,1
F139/2	736,9	43,9	1,6	28,1	3,8

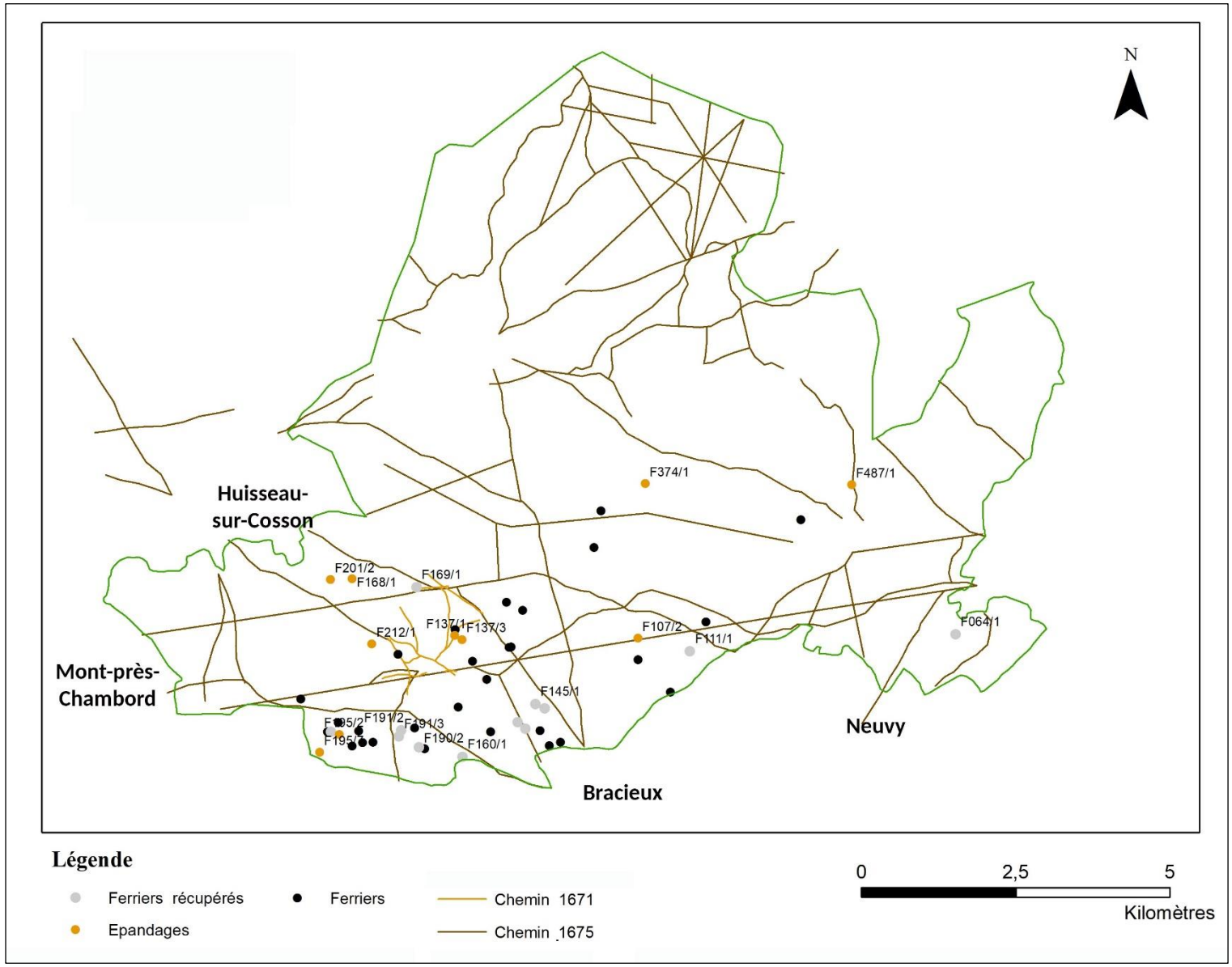


Fig. 32 : Carte représentant l'emplacement des épandages et des ferriers aux vestiges récupérés par rapport aux routes vectorisées sur les cartes de 1671 et 1675

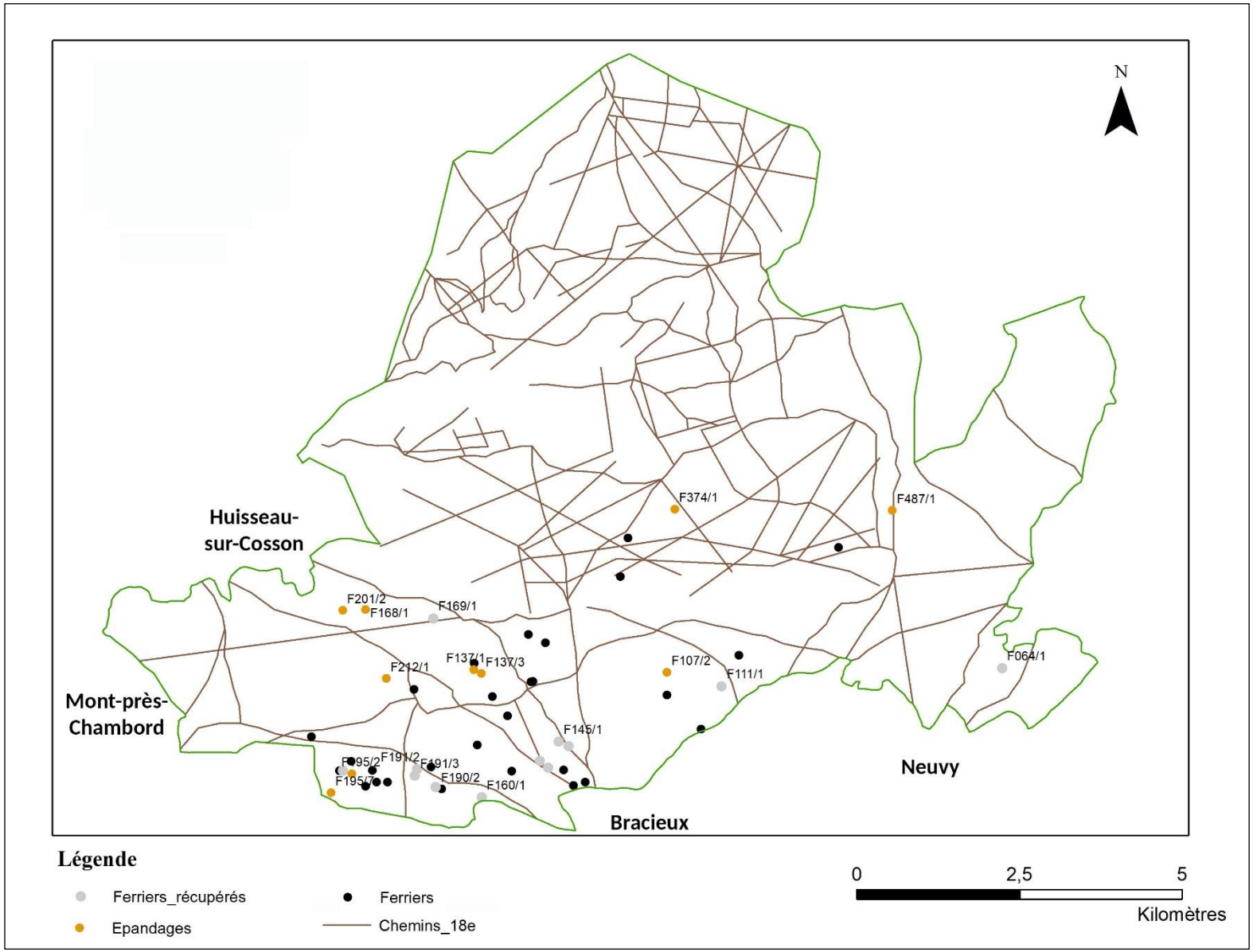


Fig. 33 *:* Carte représentant l'emplacement des épandages et des ferriers aux vestiges récupérés par rapport aux routes vectorisées sur des cartes du début du 18e s.

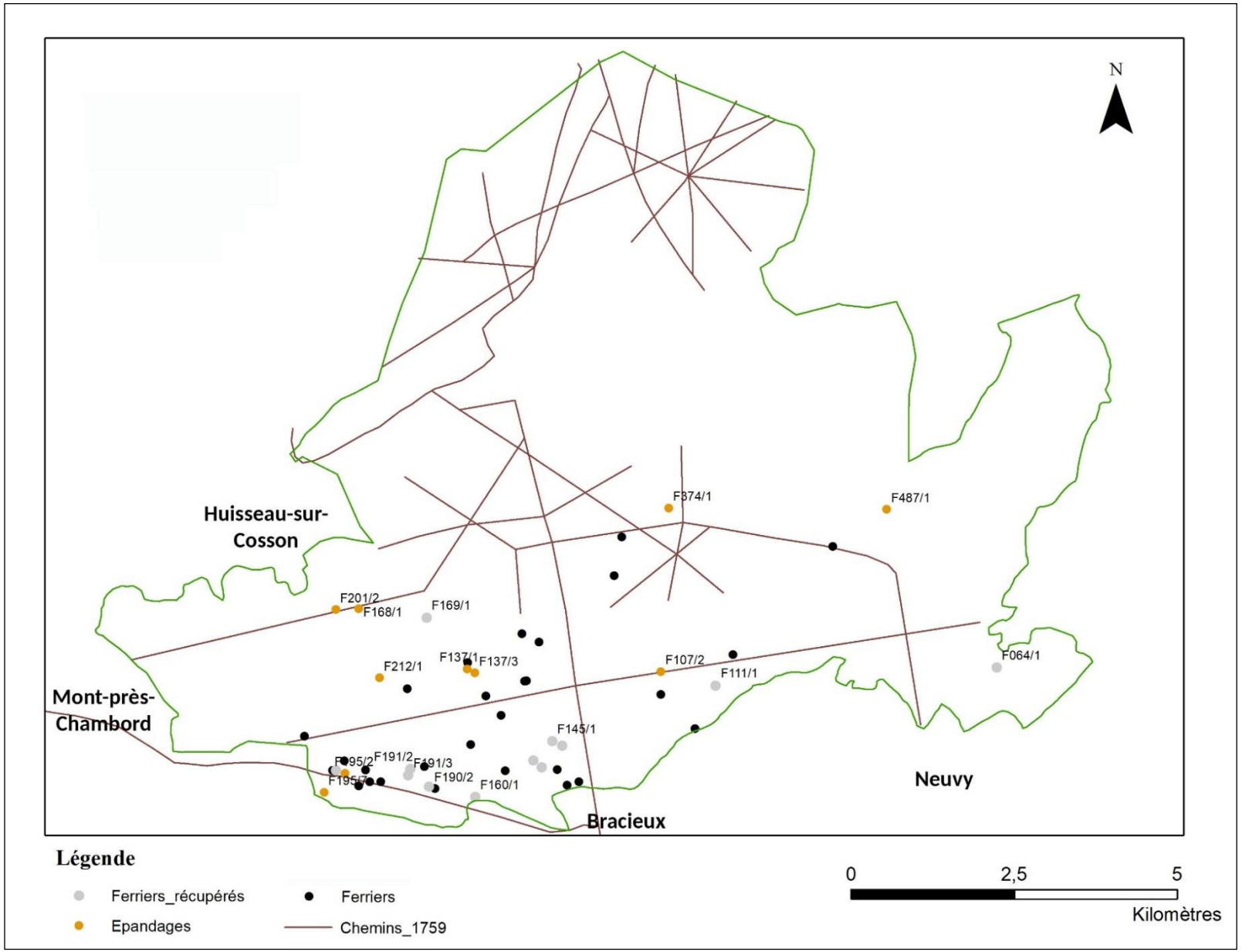


Fig. 34 : Carte représentant l'emplacement des épandages et des ferriers aux vestiges récupérés par rapport aux routes vectorisées sur une carte de 1759

4.3 Les déchets de réduction

Tableau 10 : Tableau de la masse des vestiges (en kg) ramassés lors des prospections en forêt de Boulogne-Chambord par type

Type de vestige	Poids (en kg)	%
Scorie interne	57	26,5
Scorie coulée	123,7	57,5
laitier	0,4	0,2
Paroi	25,3	11,8
Tuyère	2,7	1,2
TCA	4,2	1,9
Minerai	0,3	0,1

Tableau 11 : Tableau d'enregistrement des différents sous-types de scories écoulées ramassées sur les sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord

Struct	Type de structure	Cordons fins (en kg)	% Cordons fins	Cordons épais (en kg)	% Cordons épais	En plaque (en kg)	% En plaque	Agglomérés (en kg)	% Agglomérés	Indet (en kg)	% Indet	Poids total scories écoulées (en kg)
F124/1	Ferrier	0	0	0,2	100	0	0	0	0	0	0	0,2
F129/3	Ferrier	0	0	0,6	40,1	0	0	0	0	0,9	59,9	1,5
F094/1	Ferrier	0	0	0,9	100	0	0	0	0	0	0	0,9
F110/2	Ferrier	0	0	0,7	49,3	0	0	0	0	0,7	50,7	1,5
F142/1	Ferrier	0	0	1,8	100	0	0	0	0	0	0	1,8
F146/2	Ferrier	0	0	0,3	56,6	0,1	21,7	0,1	21,7	0	0	0,5
F147/2	Ferrier	2,3	47,7	2,5	52,3	0	0	0	0	0	0	4,7
F154/2	Ferrier	0	0	1,7	89,3	0,2	10,7	0	0	0	0	1,9
F224/1	Ferrier	0	0	0,7	76,9	0	0	0	0	0,2	23,1	1
F064	Ferrier	0	0	2	100	0	0	0	0	0	0	2
F111/1	Ferrier	0,6	17,2	2,1	59,1	0,2	5,2	0	0	0,7	18,5	3,6
F113/3	Ferrier	0,1	2,3	1,5	64,4	0,1	2,2	0	0	0,7	31,2	2,4
F131/1	Ferrier	0	0	1,9	65,2	0	0	0	0	1	34,8	2,9
F132/1	Ferrier	0	0	1,5	95,3	0	0	0	0	0,1	4,7	1,6
F137/4	Ferrier	0	0	0,4	34,4	0	0	0,1	10,8	0,6	54,9	1,1
F139/1	Ferrier	0,1	3,3	2,9	96,7	0	0	0	0	0	0	3
F169/1	Ferrier	0,9	15,7	5	84,3	0	0	0	0	0	0	5,9
F176/1	Ferrier	0,1	1,3	3,3	40,7	0,2	2,8	0,8	10,1	3,7	45,1	8,1
F153/1	Ferrier	0,1	6,8	1,2	85,3	0	0	0	0	0,1	7,9	1,5
F371/1	Ferrier	0	0	5,3	100	0	0	0	0	0	0	5,3
F447/1	Ferrier	0,6	9,8	4,9	76,7	0	0	0	0	0,9	13,6	6,5
F489/1	Ferrier	0	0	4	94,7	0	0	0	0	0,2	5,3	4,2
F160/1	Ferrier	0,1	4,3	1,6	85,4	0,1	2,7	0,1	7,5	0	0	1,9
F139/2	Ferrier	0	0	1,8	100	0	0	0	0	0	0	1,8
F193/1	Ferrier	0,1	10,1	0,5	82,4	0	0	0	7,6	0	0	0,6
F193/2	Ferrier	0	0	0,9	33,4	0	0	1	37,2	0,8	29,4	2,8
F194/1	Ferrier	0,1	3,1	2,3	93,4	0	0	0	0,2	0,1	3,3	2,5
F195/3	Ferrier	0	0	0,8	100	0	0	0	0	0	0	0,8
F195/4	Ferrier	0,1	19,7	0,6	80,3	0	0	0	0	0	0	0,7
F194/2	Ferrier	0,7	6,9	4,3	42,7	0	0	3,3	32,8	1,8	17,5	10,1
F195/1	Ferrier	0	0	1,5	75,6	0,2	8,6	0,3	15,8	0	0	2
F190/1	Ferrier	1,3	34,4	1,7	44,5	0,8	21,1	0	0	0	0	3,8
F190/2	Ferrier	0	0	0,4	75,1	0	0	0	0	0,1	24,9	0,5
F191/2	Ferrier	0	0	1,2	83,5	0	0	0	0	0,2	16,5	1,5
F191/3	Ferrier	0	0	2,7	100	0	0	0	0	0	0	2,7

F185/1	Ferrier	0,1	8,7	0,7	61,2	0	0	0	0	0,4	30	1,2
F151/2	Ferrier	0	0	0,8	100	0	0	0	0	0	0	0,8
F145/1	Ferrier	0	0	2,8	95,4	0	0	0	0	0,1	4,6	2,9
F150/1	Ferrier	0	0	0,8	67,4	0	0	0	0	0,4	32,6	1,1
F151/3	Ferrier	0	0	1,1	100	0	0	0	0	0	0	1,1
F156/2	Ferrier	0	0	0,8	67,6	0	0	0	0	0,4	32,4	1,1
F155/1	Ferrier	0,1	0,7	12,2	85	0	0	0	0	2,1	14,3	14,4
F107/2	Epandage	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	100	0,2
F137/1	Epandage	0	0	1,2	97,2	0	0	0	0	0	2,8	1,2
F137/3	Epandage	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1	100	0,1
F168/1	Epandage	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	100	0,4
F195/2	Epandage	0	0	0,2	100	0	0	0	0	0	0	0,2
F195/7	Epandage	0	0	0,3	100	0	0	0	0	0	0	0,3
F201/2	Epandage	0	0	0,6	100	0	0	0	0	0	0	0,6
F212/1	Epandage	0,1	12,7	0,6	87,3	0	0	0	0	0	0	0,7
F374/1	Epandage	0,2	7,6	1,4	68,3	0,1	2,6	0	0	0,5	21,5	2,1
F487/1	Epandage	0	0	0,4	100	0	0	0	0	0	0	0,4

Tableau 12 : Tableau du poids (en kg) des scories internes par sous-type

Sous-type de scorie interne	Poids (en kg)	%
Scorie Brune Rugueuse	25,7	45,8
Scorie Brune Dense	29,5	52,6
Scorie Ferreuse	0,9	1,6

Tableau 13 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord

Site	Volume du ferrier	% Scories Brunes Denses	% Scories Brunes Rugueuses	% Scories Ferreuses	Poids des scories internes
F139/2	Très grand	74,4	14,9	10,6	0,883
F169/1	Très grand	22,1	77,9	0	1,901
F371/1	Très grand	65,2	34,8	0	2,979
F195/1	Très grand	72,6	23,2	4,2	1,536
F155/1	Très grand	39,1	60,4	0,4	5,625
F160/1	Grand	0	0	100	0,265
F111/1	Moyen	0	100	0	0,412
F132/1	Moyen	6,6	93,4	0	2,029
F139/1	Moyen	95,1	4,9	0	1,624
F176/1	Moyen	27,3	72,7	0	5,5
F153/1	Moyen	91,9	8,1	0	0,615
F185/1	Moyen	0	100	0	0,6
F150/1	Moyen	100	0	0	2,391
F156/2	Moyen	100	0	0	0,5
F145/1	Moyen	100	0	0	2,458
F064	Petit	69	31	0	0,667
F094/1	Petit	100	0	0	0,207
F110/2	Petit	100	0	0	0,24
F113/3	Petit	100	0	0	1,265
F131/1	Petit	18,3	81,7	0	1,02
F137/4	Petit	0	100	0	0,234

F142/1	Petit	100	0	0	1,463
F146/2	Petit	0	0	100	0,04
F147/2	Petit	0	100	0	0,655
F154/2	Petit	100	0	0	2,45
F224/1	Petit	100	0	0	0,1
F447/1	Petit	75,1	24,9	0	3,04
F489/1	Petit	13,2	86,8	0	3,673
F193/1	Petit	100	0	0	0,1
F193/2	Petit	30,8	69,2	0	1,3
F194/1	Petit	79,1	20,9	0	0,253
F194/2	Petit	36,7	57,7	5,5	0,724
F195/3	Petit	0	100	0	0,066
F195/4	Petit	69,6	18,5	12	0,92
F190/1	Petit	90,3	9,7	0	0,775
F190/2	Petit	80,1	19,9	0	0,296
F191/2	Petit	0	100	0	3,208
F191/3	Petit	0	76,3	23,7	0,337
F151/2	Petit	100	0	0	0,179
F151/3	Petit	100	0	0	0,684

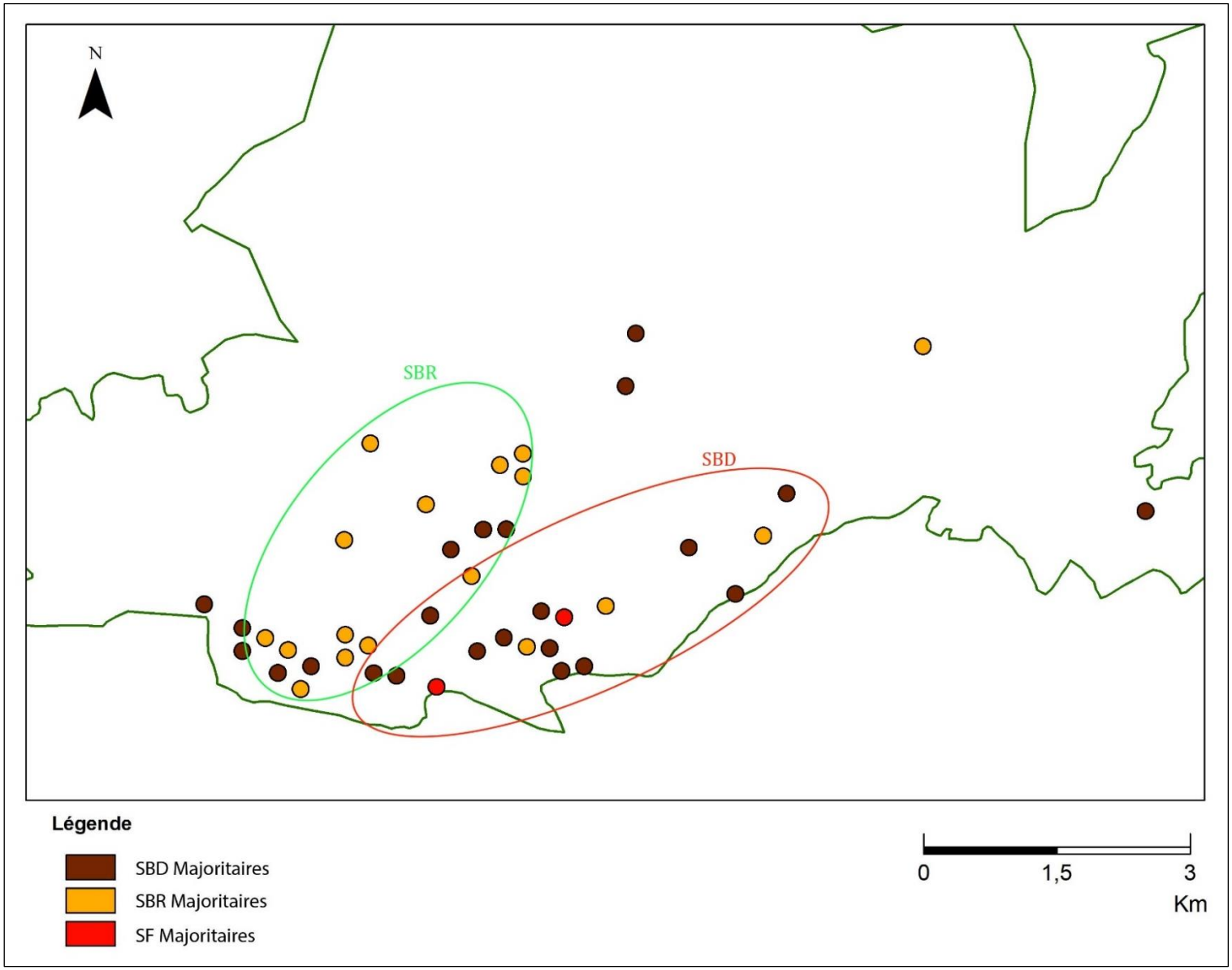


Fig. 35 : Carte localisant les sous-types de scories internes majoritaires dans les ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord

Tableau 14 : Tableau d'enregistrement des fonds de four ramassés sur les ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord

Nom de la Struct_Métal	Poids (en kg)	Longueur (en cm)	Largeur (en cm)	ép. (en cm)	Réactivité à l'aimant	Description
F154/2	2,4	19,5	13	9,8	Légère sur la partie inférieure	Gros fond de fourneau brun dense et compact avec inclusion de minerai et de petits cailloutis blancs sur la face inférieure. Un gros fragment de paroi argileux se trouve piégé parmi la scorie. Forme arrondie qui témoigne d'un fourneau circulaire.
F155/1	1,4	19	12	4,4	Légère	1 très gros fragment de scorie interne ferreuse rugueuse associée à de la paroi grise/beige et à un fragment de tuyère en place. Scorie qui témoigne du profil d'un fourneau et qui montre que les tuyères se trouvent en position basse dans le fourneau.
F195/1b	0,8	13,5	12,5	7,7	Aucune	1 gros fond de fourneau homogène, noir avec inclusion de cailloutis. Matrice composée de petites vacuoles.
F155/1	1, 1	15,5	12,7	8,6	Aucune	Gros fragment de fond de fourneau brun dense vitrifié en surface avec inclusion de cailloutis sur la partie inférieure
F191/2	2,9	25	14,2	9,4	oui	Fond de fourneau brun, rugueux avec inclusions d'oxydes de fer et de cailloutis blancs. Négatifs de charbon de bois. Face inférieure plane. Vitrification verte par endroit.
F371/1	1,4	15,5	13	6,8	Aucune	Fond de four brun, dense
F145/1	2,0	20	8,2	7,7	Aucune	Gros fond de fourneau brun dense et compact avec inclusion de minerai et de petits cailloutis blancs sur la face inférieure. Présente le négatif d'un canal e 8,2 cm de diamètre
F176/1	1,3	14	10	6,8	Aucune	Scorie brune rugueuse plano-convexe vitrifiée bleutée par endroit, nombreuses inclusions de cailloutis et de négatif de charbon de bois.
F176/1	0,7	14	9	55	Aucune	Fragment de fond de four plano-convexe dense brun avec inclusion de cailloutis et oxydes de fer
F142/1	0,6	11,6	10,1	5,9	légère	Scorie brune dense plano-convexe avec inclusion d'oxydes de fer et charbon de bois
F489/1	1,4	18,2	13,5	3	oui	Fond de fourneau plano-convexe brun, rugueux avec inclusions d'oxydes de fer. Négatifs de charbon de bois. Vitrification sur la face supérieure
F113/3	0,8	11	10	8	oui	Fragment de fond de four plano-convexe dense brun avec inclusion de cailloutis et oxydes de fer
F447/1	0,3	10	8,9	2,1	oui	Scorie plano-convexe dense brune avec inclusion de cailloutis et oxydes de fer
F374/1	0,5	11,9	7,1	3,8	Aucune	Scorie plano-convexe dense, brune, très oxydée en surface et vitrifié

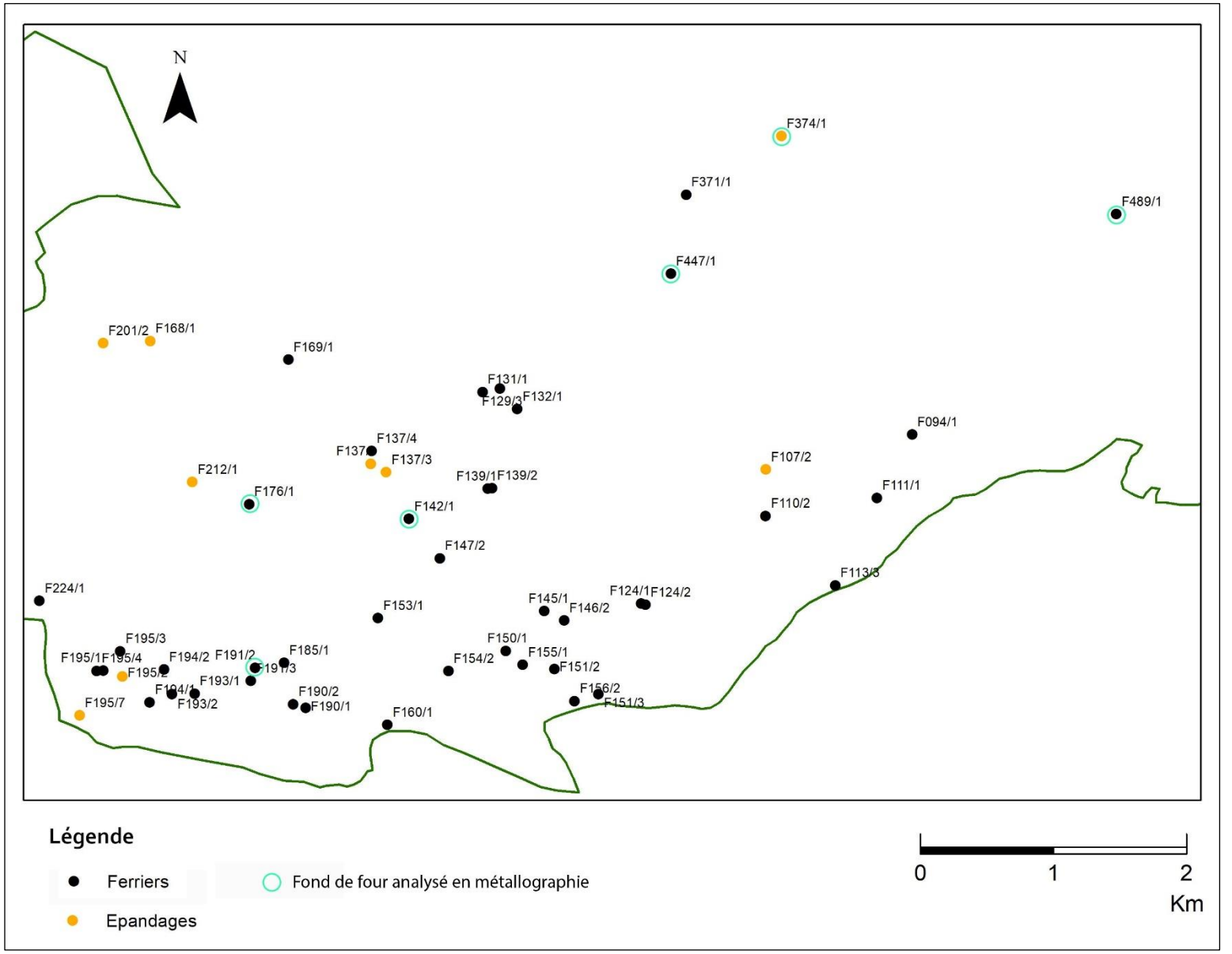


Fig. 36 : Carte des fonds de four étudiés en métallographie dans le massif de Boulogne-Chambord

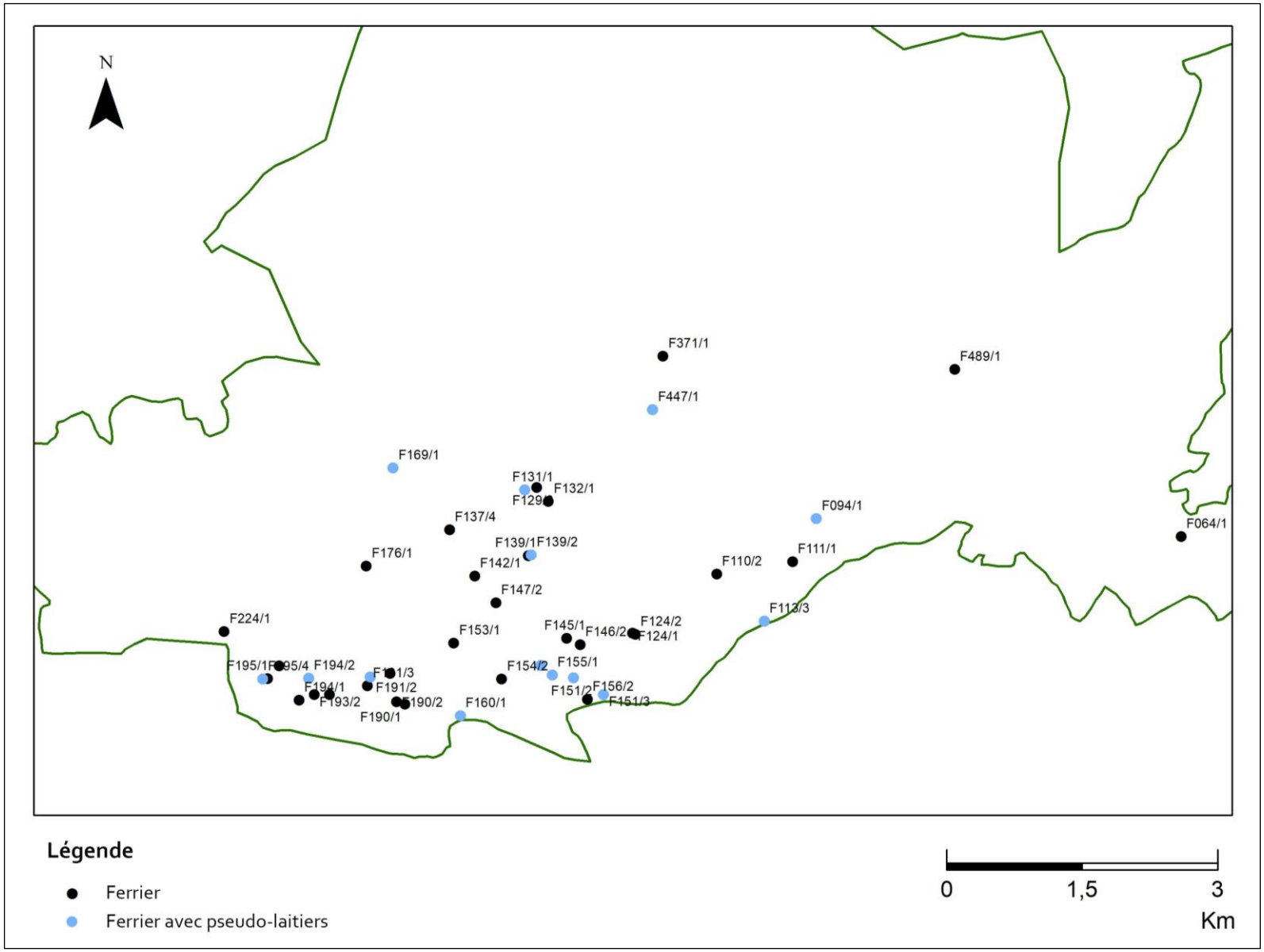


Fig. 37 : Carte des ferriers sur lesquels des pseudo-laitiers ont été ramassés

Tableau 15 *:* Tableau d'enregistrement des différents types de parois observé au sein des divers sites de la forêt de Boulogne-Chambord

	Poids par type de paroi (en kg)			
Nom_Site	**Brun/rouge**	**Gris/blanc**	**Ocre/beige**	**Total**
F064/1	0	0,082	0,258	0,34
F094/1	0	0,079	0	0,079
F107/2	0	0,1	0	0,1
F111/1	0	0,744	0	0,744
F113/3	0	0,941	0,023	0,964
F129/3	0	0,041	0	0,041
F131/1	0,018	0,027	0,013	0,058
F132/1	0,137	0	0	0,137
F137/2	0	0,125	0	0,125
F137/3	0	0,375	0	0,375
F137/4	0,266	0,059	0	0,325
F139/1	0	0,169	0	0,169
F139/2	0	0,235	0	0,235
F142/1	0	0,277	0	0,277
F145/1	0	0,098	0,016	0,114
F146/2	0	0,02	0,02	0,04
F147/2	0	0,185	0	0,185
F150/1	0	1,074	0	1,074
F151/2	0	0,026	0	0,026
F151/3	0	0,117	0	0,117
F153/1	0	0,215	0	0,215
F154/2	0	0,02	0	0,02
F155/1	0,15	4,575	0,424	5,149
F156/2	0	0,14	0	0,14
F160/1	0	0,36	0	0,36
F168/1	0	0,096	0	0,096
F169/1	1,905	1,26	0,043	3,208
F176/1	0,114	3,062	0	3,176
F185/1	0	0,143	0	0,143
F190/1	0	0,641	0,053	0,694
F190/2	0	0,01	0	0,01
F191/2	0	0,074	0,083	0,157
F191/3	0	0,005	0	0,005
F193/1	0	0,018	0	0,018
F193/2	0	0,407	0	0,407
F194/1	0	0,185	0	0,185
F194/2	0	0,179	0,04	0,219
F195/1	0	1,265	0,03	1,295
F195/2	0	0	0,038	0,038
F195/3	0	0,032	0	0,032
F195/4	0,11	0,04	0,02	0,17
F195/7	0	0,06	0	0,06
F201/2	0	0,013	0	0,013
F212/1	0	0,085	0,035	0,12
F224/1	0	0,013	0	0,013
F371/1	0,499	0,154	0,224	0,877
F374/1	0	0,15	0	0,15
F447/1	0	1,902	0	1,902
F489/1	0	0,91	0	0,91

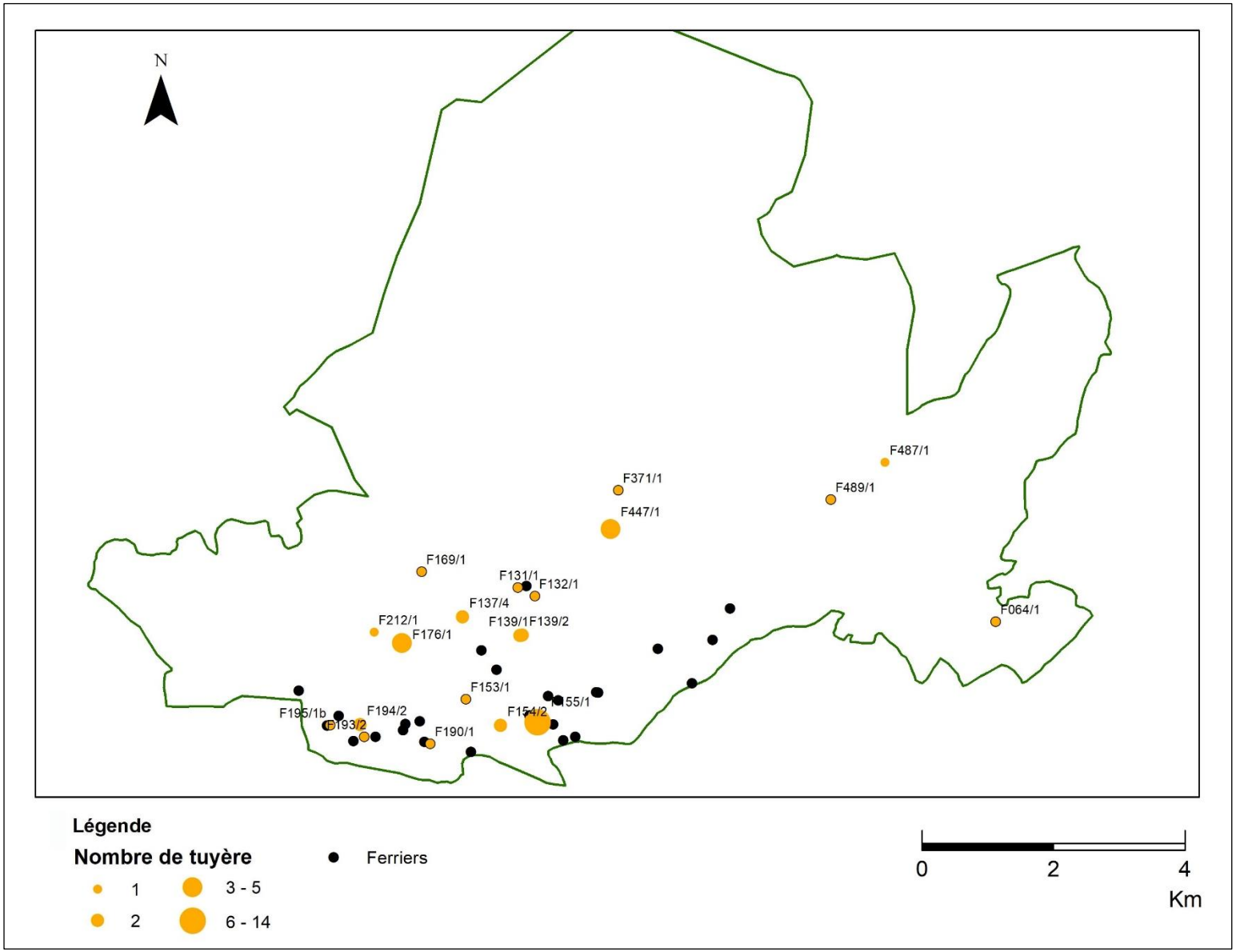


Fig. 38 : Carte des tuyères mises au jour sur les sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord en fonction de leur nombre (en noir : ferriers sans tuyères)

4.4 Les déchets de forge

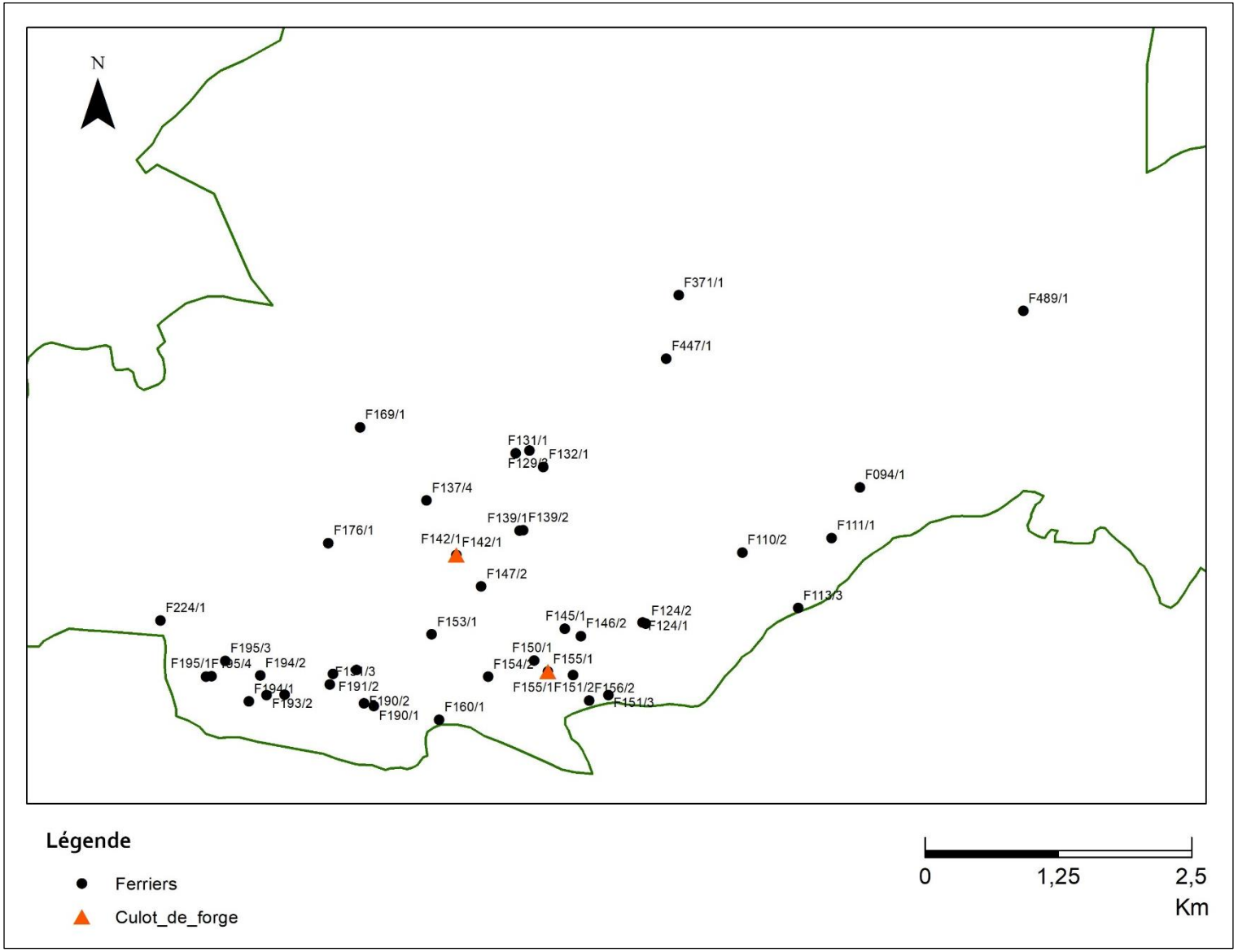


Fig. 39 : Carte localisant les culots de forge ramassés dans la forêt de Boulogne-Chambord

4.5 Les indices de datation de l'activité métallurgiques

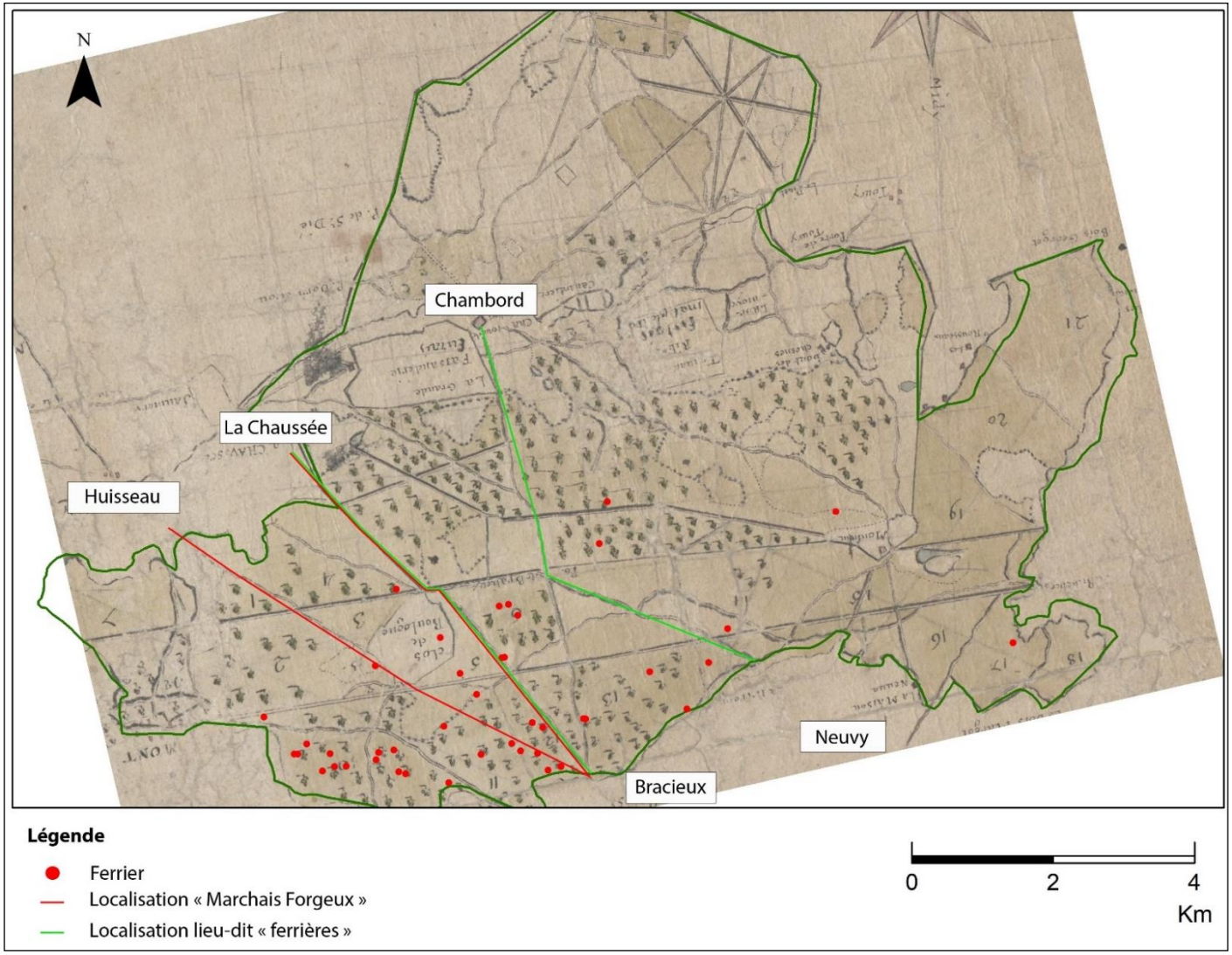


Fig. 40 *:* Détail du « Plan des forests de Blois, Russy, Boulogne et parc de Chambord » (1675)
(AD Loir-et-Cher : 1 Fi 665)

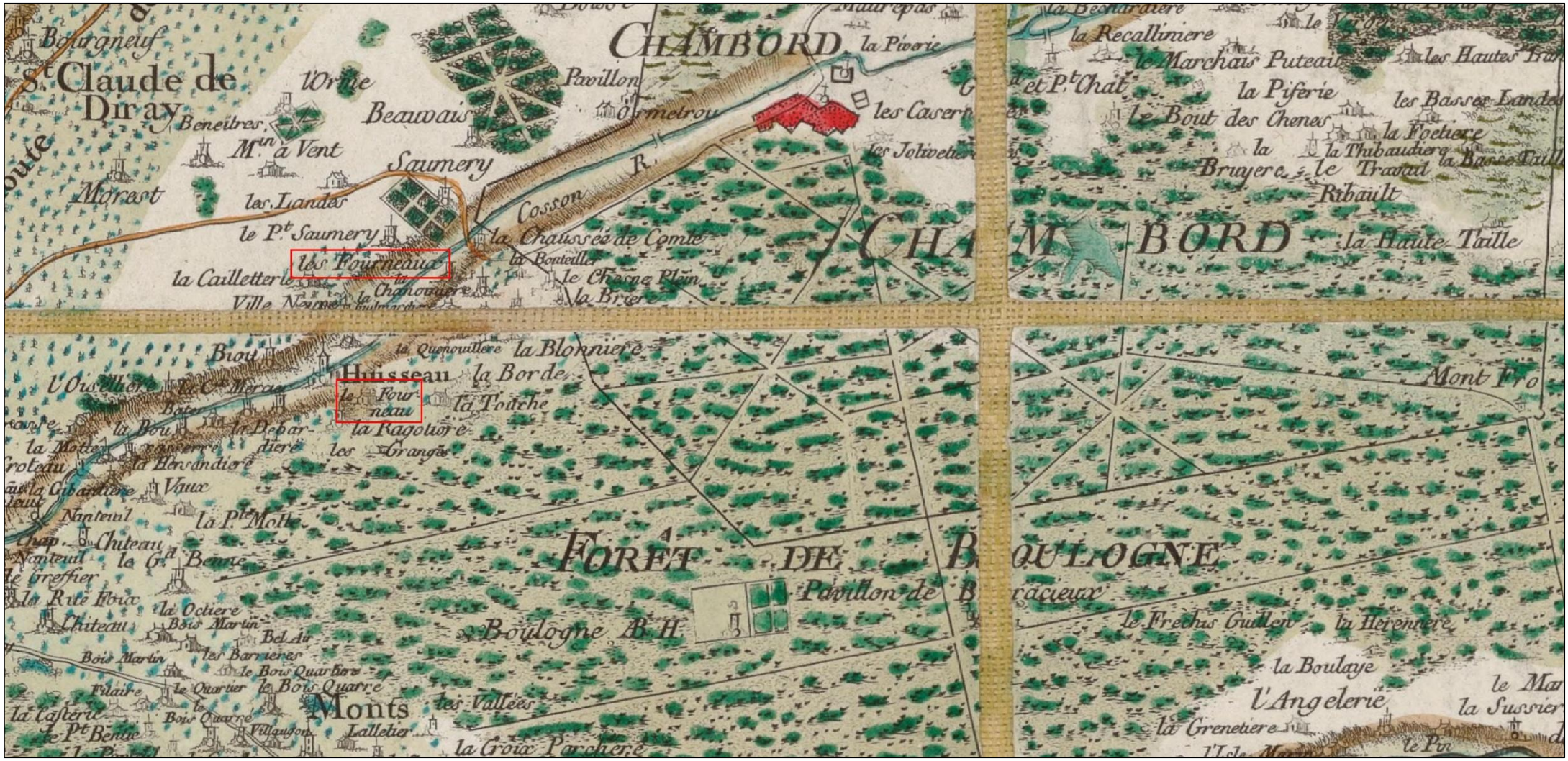


Fig. 41 : Détail de la carte de Cassini (Bnf : CASSINI 1756 : 29)

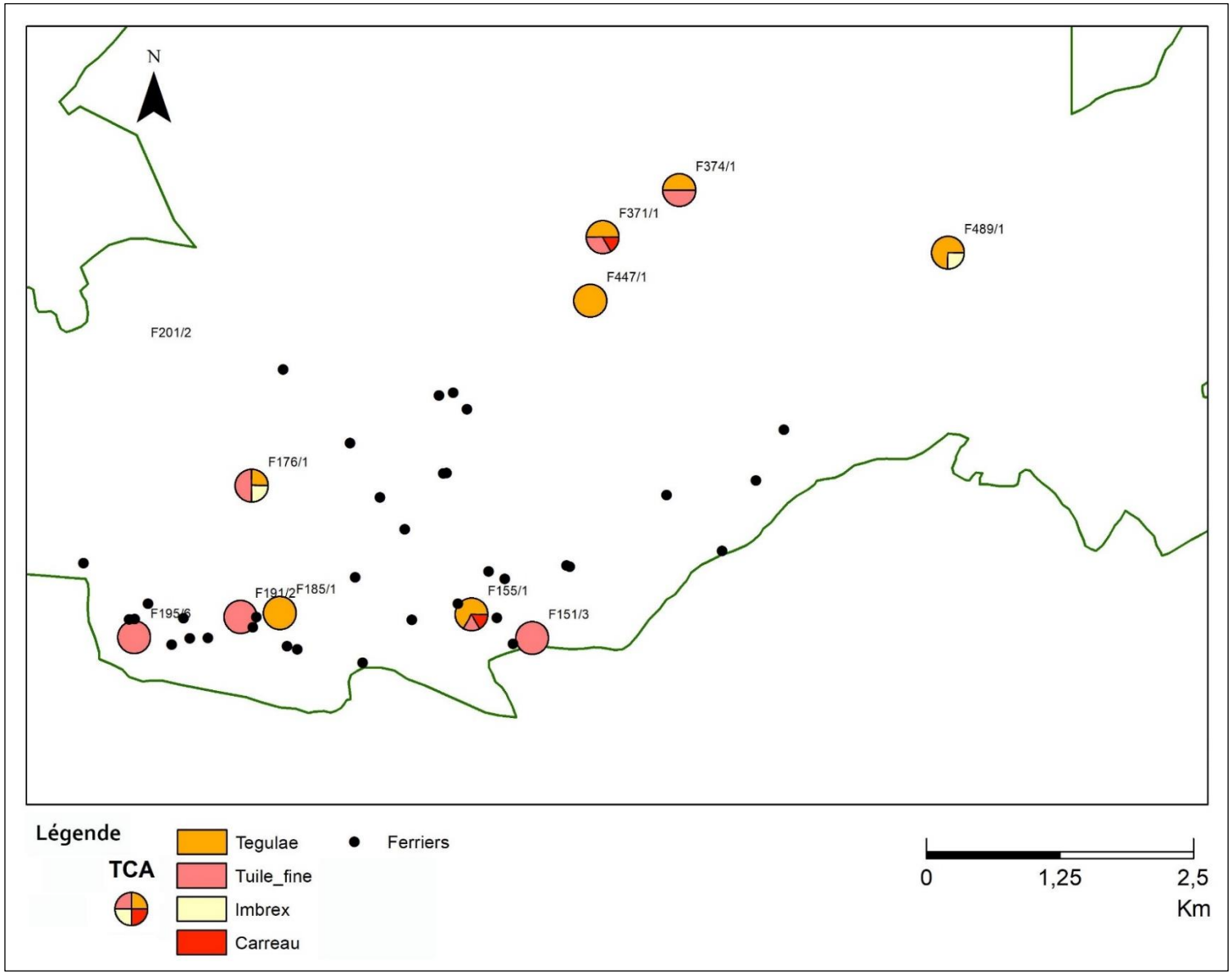


Fig. 42 : Localisation des terres cuites architecturales mises au jour sur certains sites métallurgiques par type dans la forêt de Boulogne-Chambord (en noir : ferriers sans TCA)

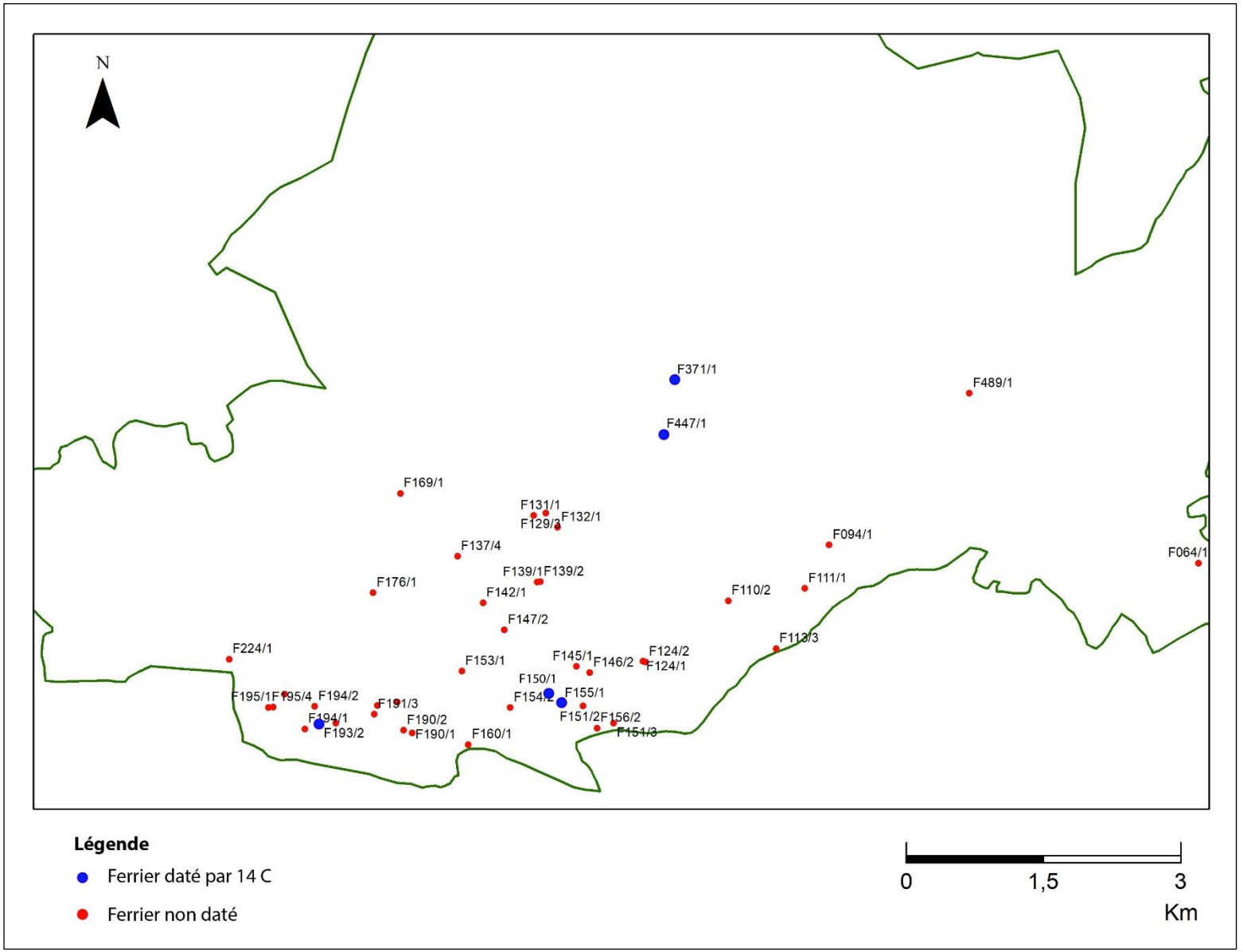


Fig. 43 : Carte localisant les ferriers datés par ^{14}C dans la forêt de Boulogne-Chambord

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -25.4 o/oo)

Laboratory number **Beta-544784**

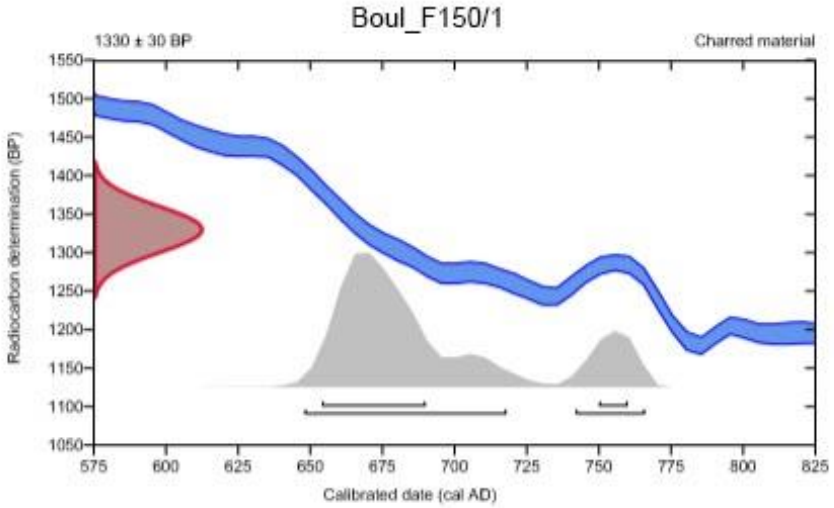
Conventional radiocarbon age **1330 ± 30 BP**

95.4% probability

(78.4%)	648 - 718 cal AD	(1302 - 1232 cal BP)
(17%)	742 - 766 cal AD	(1208 - 1184 cal BP)

68.2% probability

(59.7%)	654 - 690 cal AD	(1296 - 1260 cal BP)
(8.5%)	750 - 760 cal AD	(1200 - 1190 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 44 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F150/1

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -26.6 o/oo)

Laboratory number **Beta-577490**

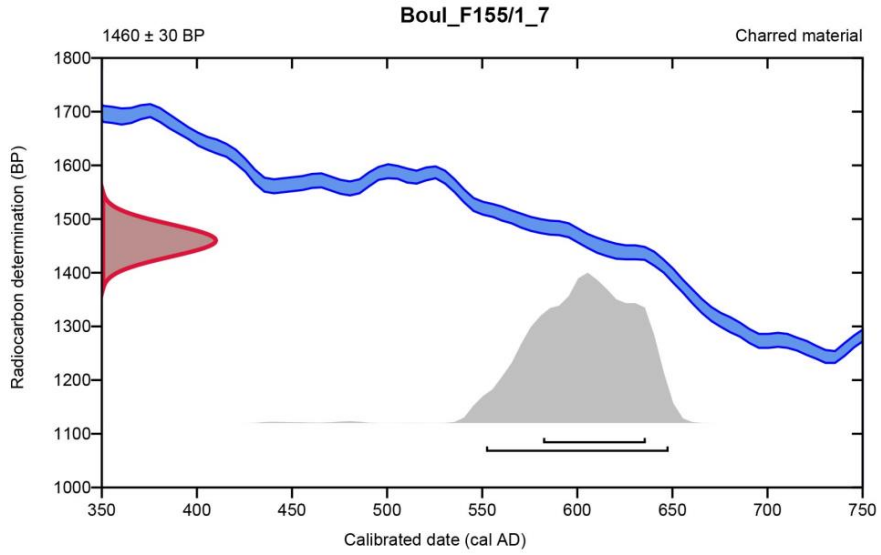
Conventional radiocarbon age **1460 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 552 - 648 cal AD (1398 - 1302 cal BP)

68.2% probability

(68.2%) 582 - 636 cal AD (1368 - 1314 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 45 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F155/1 (ECH7)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -25.6 o/oo)

Laboratory number **Beta-544786**

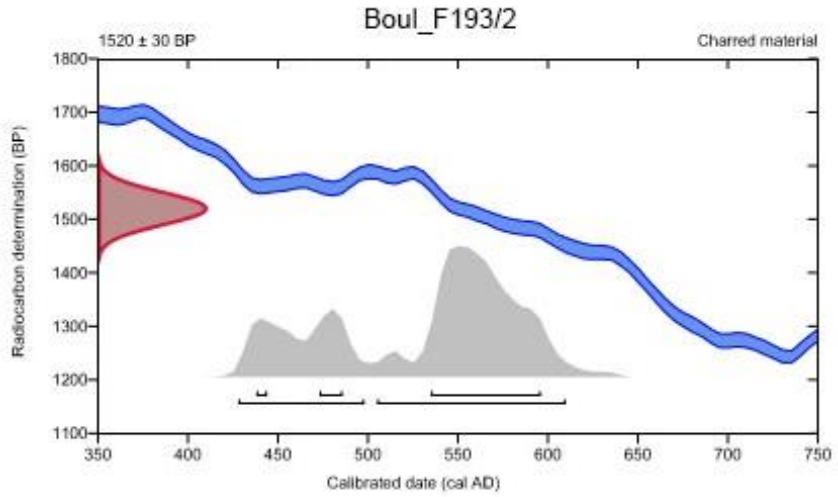
Conventional radiocarbon age **1520 ± 30 BP**

95.4% probability

(65.6%)	505 - 610 cal AD	(1445 - 1340 cal BP)
(29.8%)	428 - 498 cal AD	(1522 - 1452 cal BP)

68.2% probability

(57.2%)	535 - 596 cal AD	(1415 - 1354 cal BP)
(7.5%)	473 - 486 cal AD	(1477 - 1464 cal BP)
(3.5%)	438 - 444 cal AD	(1512 - 1506 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 46 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F193/2

BetaCal 4.20

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL20)

(Variables: d13C = -25.7 o/oo)

Laboratory number **Beta-590442**

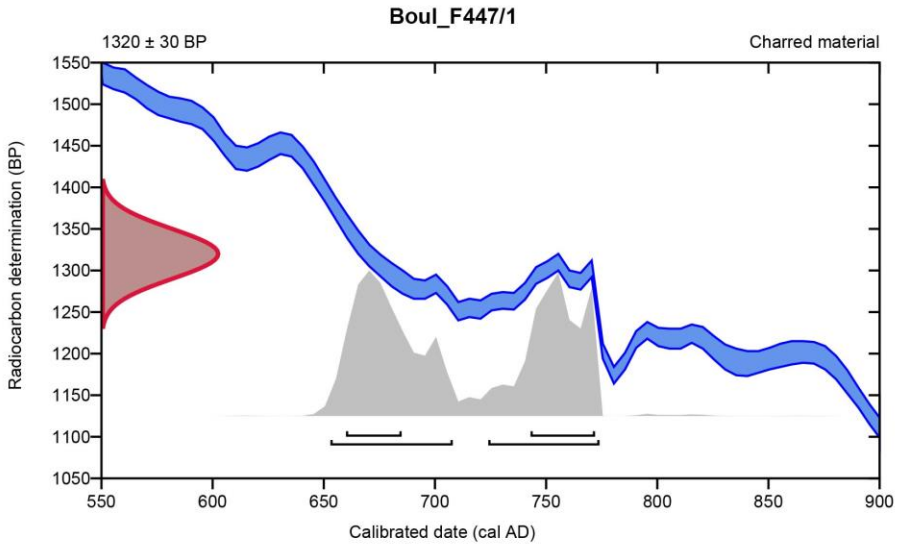
Conventional radiocarbon age **1320 ± 30 BP**

95.4% probability

(51.6%)	653 - 708 cal AD	(1297 - 1242 cal BP)
(43.8%)	724 - 774 cal AD	(1226 - 1176 cal BP)

68.2% probability

(35.1%)	743 - 772 cal AD	(1207 - 1178 cal BP)
(33.1%)	660 - 685 cal AD	(1290 - 1265 cal BP)



Database used

INTCAL20

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL20

Reimer, et al., 2020, Radiocarbon 62(4):725-757.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 47 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F447/1

BetaCal 4.20

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL20)

(Variables: d13C = -25.1 o/oo)

Laboratory number **Beta-590441**

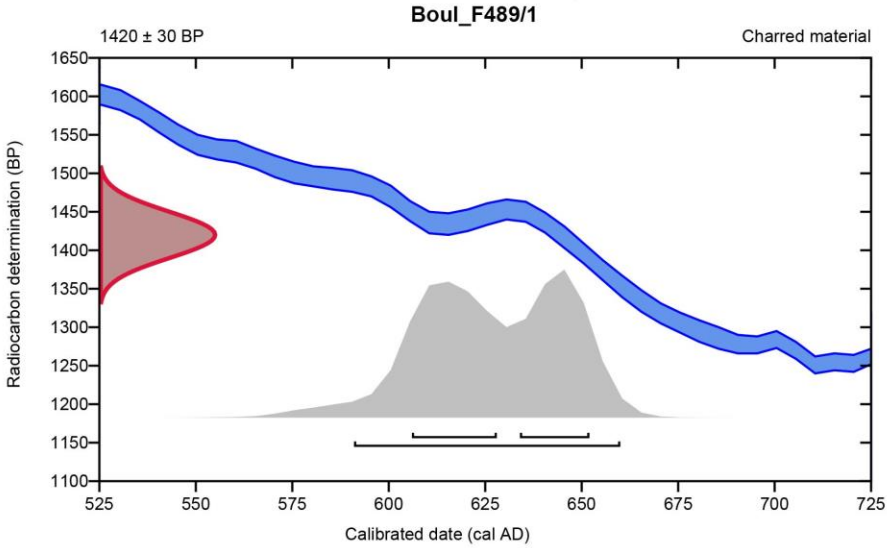
Conventional radiocarbon age **1420 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 591 - 660 cal AD (1359 - 1290 cal BP)

68.2% probability

(37.9%) 606 - 628 cal AD (1344 - 1322 cal BP)
(30.3%) 634 - 652 cal AD (1316 - 1298 cal BP)



Database used

INTCAL20

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL20

Reimer, et al., 2020, Radiocarbon 62(4):725-757.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory
4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 48 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F489/1

Tableau 16 : Tableau synthétisant les différentes données de datation recueillies sur les sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord

N° Ferrier	TCA	céramique	14C	Datation finale
064/1	indet			indet
094/1	indet			indet
110/2	indet			indet
111/1	indet			indet
113/3	indet			indet
124/1	indet			indet
124/2	indet			indet
129/3	indet			indet
131/1	indet			indet
132/1	indet			indet
137/4	indet			indet
139/1	indet			indet
139/2	indet			indet
142/1	indet			indet
145/1	indet			indet
146/2	indet			indet
147/2	indet			indet
150/1	indet		648-718	7e-8e
151/2	indet			indet
151/3	Médiéval			Mediéval
153/1	indet			indet
154/2	indet			indet
155/1	Antique/Médiéval		552-648	6e-7e
156/2	indet			indet
160/1	indet			indet
169/1	indet	Antiquité tardive/HMA		Antiquité tardive/HMA
176/1	Médiéval	HMA/MA		HMA/Médiéval
185/1	Antique			Antique/Médiéval
190/1	indet			indet
190/2	indet			indet
191/2	Médiéval			Médiéval
191/3	indet			indet
193/1	indet		505-610	6e-7e
193/2	indet			indet
194/1	indet			indet
194/2	indet			indet
195/1	indet			indet
195/3	indet			indet
195/4	indet			indet
224/1	indet			indet
F371/1	Antique/Médiéval			Antique/Médiéval
F374/1	indet			indet
F447/1	Antique		653-708	7e-8e
F489/1	Antique		591-660	6e-7e

Chapitre 5 - La forêt de Châteauroux (Indre), un espace de production du fer qui perdure au cours du temps

5.1 Plusieurs types de sites de production

Tableau 17 *:* Tableau d'enregistrement des structures liées à l'activité métallurgique dans la forêt de Châteauroux

N° Site	X	Y	Z	Type	Forme	Fiabilité	État
F003	605839,4	6629765	158,02	Épandage	elliptique	Relevé GPS	
F004	605537,5	6629578	209,23	Épandage	Indet		
F020	605854,8	6628809	156,44	Site métallurgique bicolore	Fer à cheval	Relevé GPS	
F035	603500,5	6629379	158,88	Site métallurgique bicolore	circulaire	Relevé manuel	
F044	605671,3	6627835	158,98	Indet	Indet		
F046	606383,2	6627592	165,11	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé GPS	Récupéré
F051	605362,8	6628225	157,13	Site métallurgique bicolore	Fer à cheval	Relevé GPS	Récupéré
F056	604215,3	6627800	160,32	Épandage	elliptique	Relevé GPS	
F064	602998,8	6627647	163,41	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé manuel	
F085	599188,9	6628928	177,43	Site métallurgique bicolore	circulaire	Relevé manuel	
F090	601982,8	6628052	176,87	Site métallurgique noir	Fer à cheval	Relevé manuel	
F097	600755,8	6627987	172,38	Site métallurgique bicolore	circulaire	Relevé manuel	
F105	599642,4	6627346	171,38	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé manuel	Récupéré
F107	599107,7	6627448	176,54	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé manuel	
F120	604402,6	6626312	168,99	Épandage	circulaire	Relevé GPS	
F121	604859,4	6626182	166,16	Site métallurgique bicolore	circulaire	Relevé GPS	
F127	603516,2	6625777	177,6	Site métallurgique noir	Fer à cheval	Relevé manuel	
F128	604287,2	6625173	173,12	Site métallurgique noir	circulaire	Relevé GPS	
F132	603925,3	6627146	166,19	Site métallurgique bicolore	circulaire	Relevé manuel	
F136	603526,1	6625995	174,31	Épandage	quadrangulaire	Relevé manuel	
F145	605492,4	6625785	169,84	Site métallurgique bicolore	Fer à cheval	Relevé GPS	Récupéré
F151/1	604855,5	6624521	183,53	Dépôt ponctuel	Indet	Relevé GPS	
F151/2	604834,6	6624507	183,31	Site métallurgique noir	circulaire	Relevé GPS	
F179	602058,5	6626917	179,01	Site métallurgique bicolore	circulaire	Relevé manuel	
F181	602041,7	6626664	169,56	Épandage	Indet		
F187/188	601403,4	6626019	177,07	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé manuel	Récupéré
F195	601549,9	6625176	158,28	Épandage	circulaire	Relevé manuel	
F199	599940	6626320	176,93	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé manuel	Récupéré
217	599499,5	6626030	178,85	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé manuel	
F220/1	598925	6626231	152,9	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé manuel	

F226	607789,9	6625591	177,8	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé GPS	
F227	608316,3	6625530	174,8	Site métallurgique bicolore	Fer à cheval	Relevé GPS	
F231/1	607433,1	6624760	179,96	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé GPS	
F230	607424,7	624860	179,87	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé GPS	
F240	605740	6624450	182,99	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé GPS	Récupéré
F246/1	608732,3	6624240	179,38	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé GPS	
F246/2	608724,9	6624333	180,59	Site métallurgique noir	circulaire	Relevé GPS	
F248/1	607662,9	6624318	178,87	Site métallurgique noir	circulaire	Relevé GPS	Récupéré
F248/2	607725	6624437	180,37	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé GPS	Récupéré
F255	607710,5	6623526	178,39	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé GPS	
F260	607326,1	6623282	171,51	Site métallurgique noir	circulaire	Relevé GPS	
F261	607192,2	6622823	170,27	Site métallurgique bicolore	Fer à cheval	Relevé GPS	Récupéré
F262	606882	6623045	172,21	Site métallurgique noir	Indet	Relevé GPS	
F263	606985,2	6622972	172,29	Site métallurgique noir	elliptique	Relevé GPS	
F265	606595,8	6623675	174,93	Site métallurgique bicolore	elliptique	Relevé GPS	Récupéré
F267	606518,1	6623164	173,39	Épandage	elliptique	Relevé GPS	
F546	598881,1	6624833	147,85	Site métallurgique noir	Fer à cheval	Relevé GPS	Récupéré

Tableau 18 : Tableau des dimensions des ferriers dans la forêt de Châteauroux

	n°Site	Forme	Longueur (en m) site bicolore	Largeur (en m) site bicolore	Surface totale restituée des sites bicolores (en m2)	Longueur (en m) ferrier	Largeur (en m) ferrier	Surface des ferrier (en m2)	Hauteur restituée (en m)	Volume restitué (en m3)	Fiabilité	Surface du ferrier par rapport à la surface totale des sites bicolores (en %)
Sites métallurgiques bicolores	F020	Fer à cheval	51	48	1900	51	48	1900	2,8	2128	Relevé GPS	100
	F035	circulaire	29,4	18,3	538,02	21,7	18,3	312	1,6	199,5	Relevé manuel	58
	F046	elliptique	54	43	2642	54	43	2642	2,4	2536,3	Relevé GPS	100
	F051	Fer à cheval	100,2	43	4308,6	92	43	3134	3,3	4136,9	Relevé GPS	73
	F064	elliptique	95	82,7	7856,5	20	10	157	2,5	157	Relevé manuel	2
		elliptique			7856,5	15	15	177	2,5	176,6	Relevé manuel	2
	F085/1	circulaire	84,5	80,8	6827,6	34,3	31,4	845	1,8	608,7	Relevé manuel	12
		circulaire			6827,6	24,6	23,8	460	1,8	330,9	Relevé manuel	7
	F097	circulaire	48,6	30,5	1482,3	6,8	6,9	37	1,3	19,2	Relevé manuel	2
	F121	circulaire	77,8	26,9	2092,82	34,9	28,2	744	2,6	773,8	Relevé GPS	36
	F132	circulaire	95,6	91,5	8747,4	33,4	29,1	763	1,3	396,7	Relevé manuel	9
	F145	Fer à cheval	71	34	3130	71	34	3130	3,3	4131,6	Relevé GPS	100
	F179	circulaire	47,1	43,8	2062,98	35,2	14,1	390	2,8	436,4	Relevé manuel	19
	F187/188	elliptique	110	85	9350	41,2	27,5	889	2	711,5	Relevé manuel	10
	F226	elliptique	28	19,1	479	28	19,1	479	1,7	325,7	Relevé GPS	100
	F227	Fer à cheval	134,8	45,1	6079,48	75	45,1	2304	2,3	2119,7	Relevé GPS	38
	F230	elliptique	40,2	27,5	1105,5	40,2	27,5	982	2,1	824,9	Relevé GPS	89
	F240	elliptique	55	37,3	2051,5	53	26,8	1109	2,8	1242,1	Relevé GPS	54
	F246/1	elliptique	42	29,5	1239	12,7	9,1	93	2,8	104,2	Relevé GPS	8
	F255	elliptique	29,1	28,3	823,53	29,1	14,6	353	1,8	254,2	Relevé GPS	43
	F261	Fer à cheval	97,5	31,5	1854	97,5	31,5	1854	2,6	1928,2	Relevé GPS	100
	F265	elliptique	118,7	95,1	11288,4	118,7	95,1	7586	2,4	7282,6	Relevé GPS	67

Sites métallurgiques noirs	F090	Fer à cheval				28	25	512	0,7	113	Relevé manuel	
	F105	elliptique				63,5	43	2143	1,3	1114,6	Relevé manuel	
	F107	elliptique				25,3	17,7	352	1,6	225	Relevé manuel	
	F127	Fer à cheval				59	47,7	2209	1,4	1237,2	Relevé manuel	
	F128	circulaire				25,7	25	504	1,9	383,3	Relevé GPS	
	F151/2	circulaire				17,2	16,7	225	1,1	99,2	Relevé GPS	
	F199	elliptique				41	34,1	1098	1,6	702,4	Relevé manuel	
	217	elliptique				16	12,6	158	0,9	57	Relevé manuel	
	F220/1	elliptique				30,5	18	431	1,2	206,9	Relevé manuel	
	F231/1	elliptique				24	21,3	401	1	160,5	Relevé GPS	
	F246/2	circulaire				25	23,8	467	1,3	242,9	Relevé GPS	
	F248/1	circulaire				16,1	13,5	171	1,6	109,2	Relevé GPS	
	F248/2	elliptique				35	20	550	1,8	395,6	Relevé GPS	
	F260	circulaire				18,9	16,3	242	0,9	87,1	Relevé GPS	
	F263	elliptique				38,3	29,3	881	1,6	563,8	Relevé GPS	
	F546	Fer à cheval				98,7	67,6	5238	3,4	7123,2	Relevé GPS	

Tableau 19 : Tableau signalant le nombre d'individus par classe de surface de 1 000 m²

Classe de surface	Effectif	% Effectif
0 - 1000	26	70
1001 - 2000	4	11
2001 - 3000	4	11
3001 - 4000	2	5
4001 - 5000	0	0
5001 - 6000	1	3
6001 - 7000	0	0
7001 - 8000	1	3

Tableau 20 : Tableau du nombre de ferrier par classe de surface de 100 m² dans les forêts de Châteauroux

Classe de surface (en m²)	Nombre de ferrier
0 - 100	2
101 - 200	4
201 - 300	2
301 - 400	4
401 - 500	5
501 - 600	3
601 - 700	0
701 - 800	2
801 - 900	3
901 - 1000	1
1001 -1100	1
1101 - 1200	1
1201 - 1300	0
1301 - 1400	0
1401 - 1500	0
1501 - 1600	0
1601- 1700	0
1701 - 1800	0
1801 - 1900	2
1901 - 2000	0

Tableau 21 : Tableau de la surface de l'espace sédimentaire noir (ferrier) par rapport à la surface totale des sites métallurgiques bicolores

Site	Surface restituée des sites bicolores (en m²)	Surface des espaces sédimentaires noirs (en m²)	Fiabilité	Proportion de sédiment noir par rapport à la surface des sites bicolores (en %)
F020	1900	1900	Relevé GPS	100
F035	538,02	312	Relevé manuel	58
F046	2642	2642	Relevé GPS	100
F051	4308,6	3134	Relevé GPS	73

F064	7856,5	157	Relevé manuel	2
	7856,5	177	Relevé manuel	2
F085/1	6827,6	845	Relevé manuel	12
	6827,6	460	Relevé manuel	7
F097	1482,3	37	Relevé manuel	2
F121	2092,82	744	Relevé GPS	36
F132	8747,4	763	Relevé manuel	9
F145	3130	3130	Relevé GPS	100
F179	2062,98	390	Relevé manuel	19
F187/188	9350	889	Relevé manuel	10
F226	479	479	Relevé GPS	100
F227	6079,48	2304	Relevé GPS	38
F230	1105,5	982	Relevé GPS	89
F240	2051,5	1109	Relevé GPS	54
F246/1	1239	93	Relevé GPS	8
F255	823,53	353	Relevé GPS	43
F261	1854	1854	Relevé GPS	100
F265	11288,4	7586	Relevé GPS	67

Tableau 22 : Tableau de la hauteur observée à partir du niveau de sol et de la hauteur restituée des ferriers

Type de site	N° site	Hauteur observée à partir du niveau de sol (en m)	Hauteur totale restituée (en m)
Sites métallurgiques noirs	F 090	0,25	0,7
	F105	0,95	1,35
	F107	1,2	1,6
	F127	1	1,4
	F128	1,5	1,9
	F151/2	0,7	1,1
	F199	1,2	1,6
	217	0,5	0,9
	F220/1	0,8	1,2
	F231/1	0,6	1
	F246/2	0,95	1,35
	F248/1	1,2	1,6
	F248/2	1,4	1,8
	F260	0,5	0,9
	F263	1,2	1,6
	F546	3	3,4
Sites métallurgiques bicolores	F020	2	2,8
	F035	0,8	1,6
	F046	1,6	2,4
	F051	2,5	3,3
	F064	1,7	2,5
	F085/1	1	1,8
	F097	0,5	1,3
	F121	1,8	2,6
	F132	0,5	1,3

	F145	2,5	3,3
	F179	2	2,8
	F188	1,2	2
	F226	0,9	1,7
	F227	1,5	2,3
	F230	1,3	2,1
	F240	2	2,8
	F246/1	2	2,8
	F255	1	1,8
	F261	1,8	2,6
	F265	1,6	2,4

Tableau 23 : Tableau du nombre de ferrier par classe de hauteur (en m)

Classe de hauteur du ferrier (en m)	Nombre de ferrier associé à un site noir	% effectif	Nombre de ferrier associé à un site bicolore	% effectif
0,5 à 1	4	25	0	0
1,1 à 1,5	5	31	2	10
1,6 à 2	6	37	5	25
2,1 à 2,5	0	0	5	25
2,6 à 3	0	0	6	30
3,1 à 3,5	1	6	2	10

Tableau 24 : Tableau du nombre de ferrier par classe volumique de 1 000 m^3 dans la forêt de Châteauroux

Classe de volume (en m3)	Ferriers sites noirs	% effectif	Ferriers sites bicolores	% effectif
0 - 1000	13	81	14	66,7
1001 - 2000	2	13	2	9,5
2001 - 3000	0	0	2	9,5
3001 - 4000	0	0	0	0
4001 - 5000	0	0	2	9,5
5001 - 6000	0	0	0	0
6001 - 7000	0	0	0	0
7001 - 8000	1	6	1	4,8

Tableau 25 : Tableau du nombre de ferrier par classe volumique de 100 m^3 dans la forêt de Châteauroux

Classe de volume (en m3)	Ferriers sites noirs	% effectif	Ferriers sites bicolores	% effectif
0 - 100	3	23,1	1	7,1
101 - 200	3	23,1	4	28,6
201 - 300	3	23,1	1	7,1
301 - 400	2	15,4	3	21,4
401 - 500	0	0	1	7,1
501 - 600	1	7,7	0	0
601 - 700	0	0	1	7,1
701 - 800	1	7,7	2	14,3
801 - 900	0	0	1	7,1
901 - 1000	0	0	0	0

Tableau 26 : Tableau du nombre de ferrier dans un rayon de 500 m et de 1 km autour de chaque site métallurgique

Zone	Site	Nombre de ferrier 500 m autour	Nombre de ferrier 1 000 m autour	Type
	F085	0	0	isolé
	F546	0	0	isolé
2	F217	0	2	isolé
	F220/1	0	1	isolé
	F199	0	1	isolé
	F107	0	1	isolé
	F105	0	1	isolé
3a	F097	0	0	isolé
	F188	0	0	isolé
	F179	0	0	isolé
	F090	0	0	isolé
	F035	0	0	isolé
3a	F064	0	0	isolé
	F132	0	0	isolé
3b	F127	0	1	isolé
4	F020	0	1	isolé
	F046	0	0	isolé
	F051	0	1	isolé
3b	F121	0	1	isolé
	F128	0	2	isolé
	F145	0	1	isolé
	F151/2	0	2	isolé
	F240	0	1	isolé
1	F265	0	3	isolé
	F262	3	6	concentré
	F263	3	5	concentré
	F261	3	4	concentré
	F260	3	5	concentré
	F255	1	5	groupé
	F248/1	2	4	groupé
	F248/2	2	3	groupé
	F246/1	1	1	groupé
	F246/2	1	1	groupé
	F231/1	3	3	concentré
	F230	1	3	groupé
	F227	0	1	isolé
	F226	0	3	isolé

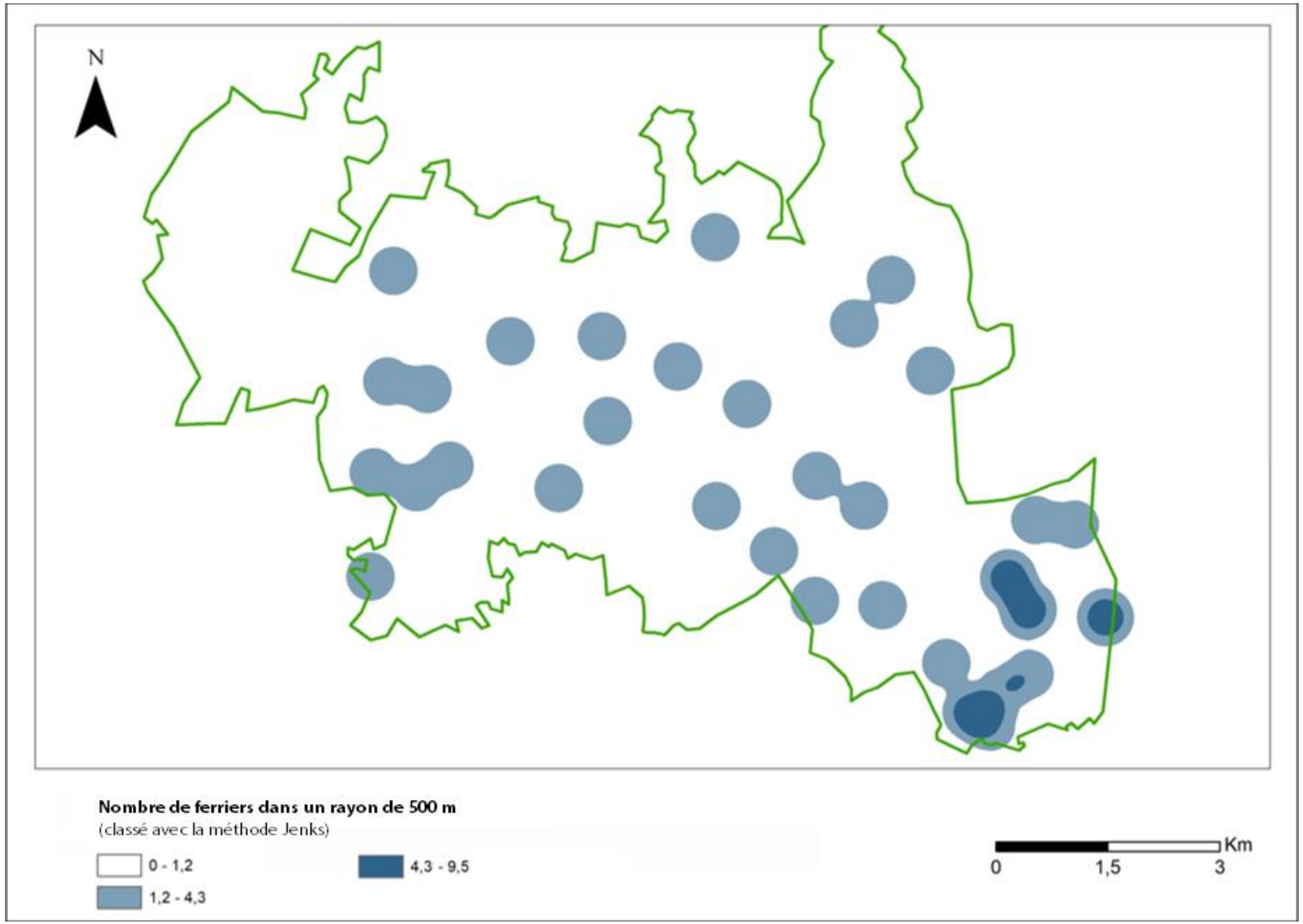


Fig. 49 : Carte de densité des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

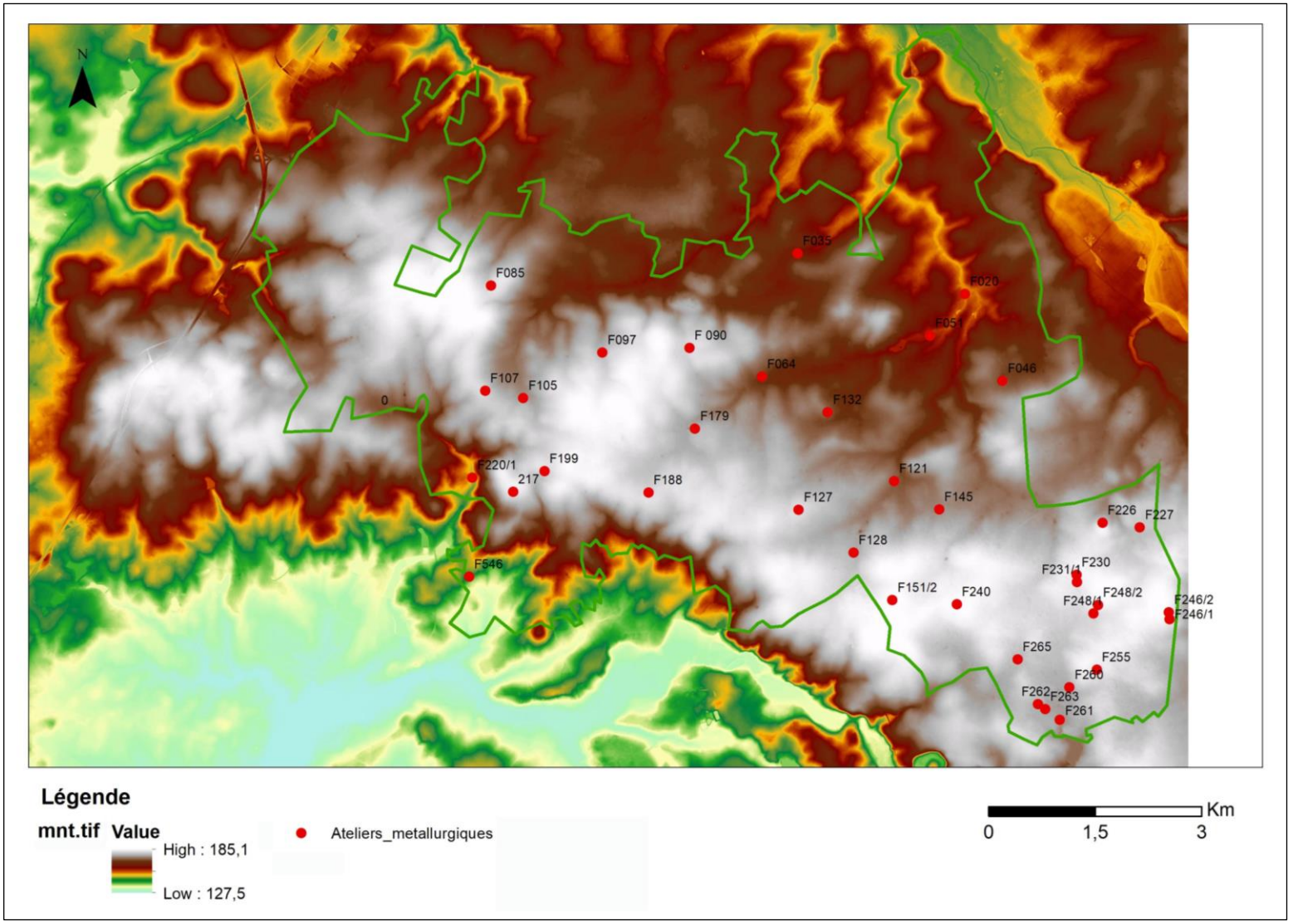


Fig. 50 : Carte de la topographie de la forêt de Châteauroux (MNT IGN)

5.2 Les sites secondaires, épandages et dépôts ponctuels

Tableau 27 : Tableau d'enregistrement des caractéristiques constitutionnelles des épandages de la forêt de Châteauroux

Épandage	Type	Forme	Longueur (en m)	largeur (en m)	Épaisseur restitué (en cm)	Surface restituée (en m2)	Volume restitué (en m3)
F003	Sédiment rouge	elliptique	58,4	19,4	0,2	1133	90,6
F004	Sédiment brun/noir	Irrégulière	Indet	Indet	Indet	Indet	Indet
F056	Sédiment brun/noir	elliptique	24,8	20,6	0,6	511	122,6
F120	Sédiment brun/noir	circulaire	9	8	0,15	72	4,3
F136	Sédiment rouge	quadrangulaire	Indet	Indet	indet	Indet	Indet
F181	Sédiment brun/noir	irrégulière	Indet	Indet	indet	Indet	Indet
F195	Sédiment brun/noir	circulaire	50,1	35,1	0,15	1758	105,5
F267	Sédiment brun/noir	elliptique	65,4	27,9	0,1	1829	73,2

5.3 Les déchets de réduction

Tableau 28 : Tableau du poids des vestiges (en kg) ramassés lors des prospections en forêt de Châteauroux par type

Type de vestige	Poids (en kg)	%
Scories écoulées	189	41,4
scories internes	116	27,3
Pseudo-laitier	0,56	0,1
Paroi	440	55,3
Tuyère	0,648	0,2
TCA	3,617	0,9
Lithique	11,9	2,8

Tableau 29 : Tableau du pourcentage en masse de scories écoulées en fonction du nombre et du volume des sites métallurgiques

Volume du ferrier	Effectif	% total scories écoulées
0-200	9	87,7
200-500	7	67,2

500-700	5	51,9
700-900	3	70,1
900-1100	1	50,1
1100-1300	2	54,7
1300-1500	1	4,4
1500-1700	1	70,8
1700-1900	0	0
1900-2100	1	67,9
2100-2300	2	40,4
2300 et +	4	60,7

Tableau 30 : Tableau du nombre de site en fonction du pourcentage de scories écoulées en forêt de Châteauroux

Sites bicolores		**Sites noirs**	
% massique	Nombre de site	% massique	Nombre de site
0-20 %	2	0-20 %	3
20-40 %	1	20-40 %	1
40-60 %	7	40-60 %	1
60-80 %	4	60-80 %	4
80-100 %	6	80-100 %	7

Tableau 31 : Tableau de la répartition des scories écoulées par espaces sédimentaires sur les sites bicolores

Nom de site	**Type de structure**	**Poids total scories écoulées (en kg)**	**Poids total des scories**	**% des scories écoulées**
F020 noir	Site métallurgique bicolore	0,141	1,605	8,8
F020 rouge	Site métallurgique bicolore	0,243	1,605	15,1
F035 noir	Site métallurgique bicolore	0,047	0,604	7,8
F035 rouge	Site métallurgique bicolore	0	0,604	0
F046 noir	Site métallurgique bicolore	6,272	12,95	48,4
F046 rouge	Site métallurgique bicolore	0,067	12,95	0,5
F051 noir	Site métallurgique bicolore	9,641	28,637	33,7
F051 rouge	Site métallurgique bicolore	2,854	28,637	10
F064 noir	Site métallurgique bicolore	7,198	8,641	83,3
F064 rouge	Site métallurgique bicolore	0	8,641	0
F085 noir	Site métallurgique bicolore	3,489	8,515	41
F085 rouge	Site métallurgique bicolore	0,91	8,515	10,7
F097 noir	Site métallurgique bicolore	2,223	3,623	61,4
F097 rouge	Site métallurgique bicolore	0,202	3,623	5,6
F121 noir	Site métallurgique bicolore	1,829	1,891	96,7
F121 rouge	Site métallurgique bicolore	0	1,891	0
F132 noir	Site métallurgique bicolore	0,722	6,126	11,8
F132 rouge	Site métallurgique bicolore	0	6,126	0
F145 noir	Site métallurgique bicolore	4,067	12,148	33,5
F145 rouge	Site métallurgique bicolore	5,316	12,148	43,8
F179 noir	Site métallurgique bicolore	12,172	25,289	48,1
F179 rouge	Site métallurgique bicolore	0,67	25,289	2,6
F187/188 noir	Site métallurgique bicolore	5,652	14,958	37,8
F187/188 rouge	Site métallurgique bicolore	1,836	14,958	12,3
F226 noir	Site métallurgique bicolore	3,155	3,155	100
F226 rouge	Site métallurgique bicolore	0	3,155	0

F227 noir	Site métallurgique bicolore	0,882	2,505	35,2
F227 rouge	Site métallurgique bicolore	0,394	2,505	15,7
F230 noir	Site métallurgique bicolore	6,848	8,207	83,4
F230 rouge	Site métallurgique bicolore	0,583	8,207	7,1
F240 noir	Site métallurgique bicolore	4,187	7,188	58,2
F240 rouge	Site métallurgique bicolore	0	7,188	0
F246 noir	Site métallurgique bicolore	1,309	1,309	100
F246 rouge	Site métallurgique bicolore	0	1,309	0
F255 noir	Site métallurgique bicolore	7,329	9,388	78,1
F255 rouge	Site métallurgique bicolore	0	9,388	0
F261 noire	Site métallurgique bicolore	6,529	10,255	63,7
F261 rouge	Site métallurgique bicolore	0,432	10,255	4,2
F265 noire	Site métallurgique bicolore	5,648	11,945	47,3
F265 rouge	Site métallurgique bicolore	4,168	11,945	34,9

Tableau 32 : Tableau d'enregistrement des différents types de scories écoulées ramassées sur les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

Nom de site	Type de structure	Cordons fins (en kg)	% Cordons fins	Cordons épais (en kg)	% Cordons épais	En plaque (en kg)	% En plaque	Agglomérées (en kg)	% Agglomérées	Indet (en kg)	% Indet (en kg)	Poids total scories écoulées (en kg)	Volume (en m3)
F020	Site métallurgique bicolore	0	0	0,4	100	0	0	0	0	0	0	0,4	2128
F035	Site métallurgique bicolore	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	25,4
F046	Site métallurgique bicolore	0	0	3,1	49,4	0	0	0	0	3,2	50,6	6,3	254,1
F051	Site métallurgique bicolore	2,3	18,6	3,9	31,5	0	0	0,8	6,3	5,5	43,6	12,5	4136,9
F064	Site métallurgique bicolore	0	0	3,7	51,3	0	0	0	0	3,5	48,7	7,2	425
F085	Site métallurgique bicolore	0,2	5,4	3,3	74,4	0	0	0	0	0,9	20,2	4,4	1197
F097	Site métallurgique bicolore	0,2	8,3	0,8	32,5	0	1,7	0,1	5,3	1,3	52,2	2,4	24,4
F121	Site métallurgique bicolore	0,1	5	1	52,3	0	0	0	0	0,8	42,7	1,8	773,8
F132	Site métallurgique bicolore	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	100	0,7	505,4
F145	Site métallurgique bicolore	0,8	8,8	2,6	27,8	0,9	9,9	0,2	2,4	4,8	51,2	9,4	4131,6
F179	Site métallurgique bicolore	0	0	10,9	84,7	0,5	4,1	1,4	11,3	0	0	12,8	555,9
F187/188	Site métallurgique bicolore	0,7	9,7	4	53,7	0,1	1,8	0,5	7,1	2,1	27,7	7,5	906,4
F226	Site métallurgique bicolore	0,8	24,3	1,9	59,2	0	1,1	0	0	0,5	15,3	3,2	325,7
F227	Site métallurgique bicolore	0	0	1	81,3	0	0	0	0	0,2	18,7	1,3	2119,7
F230	Site métallurgique bicolore	1,5	20,3	4,6	61,2	0	0	0	0	1,4	18,5	7,4	824,9
F240	Site métallurgique bicolore	0	0	0,9	21,8	0,5	12,6	0,6	13,2	2,2	52,4	4,2	1242,1
F246/1	Site métallurgique bicolore	0,3	22,3	0,8	63,9	0	0	0	0	0,2	13,8	1,3	104,2
F255	Site métallurgique bicolore	0,4	6,1	2,4	33	0,2	3	2,1	28,1	2,2	29,9	7,3	254,2
F261	Site métallurgique bicolore	0	0	4,9	70	0	0	0	0	2,1	30	7	1928,2

F265	Site métallurgique bicolore	0	0	7,2	73,8	0	0	0,9	8,8	1,7	17,4	9,8	7282
F546	Site métallurgique noir	0	0	1,1	13,1	1,8	21,5	2,3	28,3	3	37,1	8,2	7760,2
F127	Site métallurgique noir	0,3	9,5	1,4	40,5	0,3	9	0,5	13,2	1	27,8	3,6	1576
F128	Site métallurgique noir	0,4	6,4	2,4	42,3	0,9	15,1	0	0	2	36,2	5,7	699,2
F105	Site métallurgique noir	0	0	0,1	33,2	0	0	0,2	66,8	0	0	0,3	1474,5
F107	Site métallurgique noir	0,1	2,2	0,7	11	0	0	2	32	3,4	54,8	6,3	286,6
F151/2	Site métallurgique noir	2,4	47,6	2,7	52,4	0	0	0	0	0	0	5,1	86,7
F090	Site métallurgique noir	0	0	0	0	0	0	0,2	100	0	0	0,2	207,4
F199	Site métallurgique noir	0	0	0	0	0	0	0,8	40,4	1,1	59,6	1,9	894,8
F217	Site métallurgique noir	0,6	27,1	0,5	22,8	0	0	0	0	1	50	2	72,6
F220/1	Site métallurgique noir	0	0	0,1	10,7	0	0	0,1	12	0,6	77,3	0,8	263,5
F231/1	Site métallurgique noir	1,9	53,3	1,4	39,8	0	0	0	0	0,2	6,9	3,5	153,2
F246/2	Site métallurgique noir	1,3	40,6	1,8	53,1	0	0	0	0	0,2	6,3	3,3	0,6
F248/1	Site métallurgique noir	0	0	0,4	26,4	0	0	0	0	1,2	73,6	1,6	140,2
F248/2	Site métallurgique noir	0,2	4,7	2,1	42,9	0,8	16,7	0	0	1,8	35,7	4,9	538,6
F260	Site métallurgique noir	0	0	3,2	60	0	0	0	0	2,1	40	5,3	104,4
F262	Site métallurgique noir	0,4	16	0,7	28,6	0,8	31,9	0	0	0,6	23,5	2,4	indet
F263	Site métallurgique noir	0	0	1,5	51,1	0,4	15,5	1	33,4	0	0	2,9	513,3

Tableau 33 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories écoulées en fonction du volume des sites métallurgiques

Volume du ferrier	Nombre de site métallurgique	% Cordons fins	% Cordons épais (en kg)	% En plaque (en kg)	% Agglomérées (en kg)	% Indet (en kg)	% total scories écoulées
0-200	9	27,1	46,8	0,2	0,5	25,4	87,7
200-500	7	4,3	38	0,8	14	42,9	67,2
500-700	5	2,2	62,3	9,8	8,9	16,7	51,9
700-900	3	14,3	49,3	0	6,9	29,5	70,1
900-1100	1	9,7	53,7	1,8	7,1	27,7	50,1
1100-1300	2	2,8	48,8	6,1	6,5	35,9	54,7
1300-1500	1	0	33,2	0	66,8	0	4,4
1500-1700	1	9,5	40,5	9	13,2	27,8	70,8
1700-1900	0	0	0	0	0	0	0
1900-2100	1	0	70	0	0	30	67,9
2100-2300	2	0	85,6	0	0	14,4	40,4
2300 et +	4	7,9	37,3	6,8	10,5	37,6	60,7

Tableau 34 *:* Tableau du pourcentage des différents sous-types de scories écoulées en fonction du type de site dont elles proviennent

Type de site	% Cordons fins	% Cordons épais	% En plaque	% Agglomérées	% Indet
Sites bicolores	6,9	53,6	2,2	6,2	31,0
Sites noirs	13,2	34,4	8,6	12,1	31,7

Tableau 35 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories écoulées en fonction de l'espace sédimentaire des sites métallurgiques bicolores d'où ils sont issues

Type de sédiment	% Cordons fins	% Cordons épais	% En plaque	% Agglomérées	% Indet
noir	7,2	54	1,9	5,3	31
rouge	5,3	5	3,6	10	29

Tableau 36 : Tableau du nombre de site métallurgique en fonction de leur proportion en scories internes

Pourcentage en masse de scories internes	Nombre de site
0-20	14
21-40	9
41-60	9
61-80	3
81-100	3

Tableau 37 : Tableau du pourcentage en masse des scories internes en fonction du nombre et du volume des sites métallurgiques

Volume du ferrier	Nombre de site	% massique des scories internes
0-200	9	12
200-500	7	32,5
500-700	5	42,7
700-900	3	28,7
900-1100	1	49
1100-1300	2	44,2
1300-1500	1	95,6
1500-1700	1	29
1700-1900	0	0
1900-2100	1	32,7
2100-2300	2	5,6
2300 et +	5	40,7

Tableau 38 : Tableau du nombre de sites métallurgiques noirs et bicolores en forêt de Châteauroux en fonction du pourcentage en masse de scories internes

Site noir		Site bicolore	
% en masse	Nombre de site	% en masse	Nombre de site
0-20%	8	0-20 %	6
20-40%	4	20-40%	5
40-60%	1	40-60%	8
60-80%	2	60-80%	1
80-100%	2	80-100%	1

Tableau 39 : Tableau du nombre de sites métallurgiques bicolores en fonction du pourcentage en masse de scories internes dans chaque espace sédimentaire (noir et rouge)

Sédiment noir		Sédiment rouge	
% en masse	Nombre de site	% en masse	Nombre de site
0-20%	7	0-20 %	19
20-40%	5	20-40%	1
40-60%	7	40-60%	0
60-80%	0	60-80%	0
80-100%	1	80-100%	0

Tableau 40 : Tableau d'enregistrement des différents sous-types de scories internes ramassées sur les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux

Site	Type de site	SBD (en kg)	% SBD	SBR (en kg)	%SBR	SF (en kg)	%SF	SNV (en kg)	%SNV	SGP (en kg)	%SGP	Poids total scorie interne (en kg)	Poids total scorie (en kg)	% scorie interne	Volume du ferrier (en m3)
F090	site noir	0,0	0,00	1,7	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	1,7	1,9	88,5	207,35
F105	site noir	2,6	47,02	1,2	22,6	0,0	0,0	1,7	30,3	0,00	0,00	5,4	5,7	95,6	1474,5
F107	site noir	0,0	0,00	0,2	76,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,05	23,15	0,2	6,5	3,1	286,6
F127	site noir	1,1	74,39	0,0	0,0	0,1	8,7	0,2	17,0	0,00	0,00	1,5	5,0	29,2	1576,0
F128	site noir	2,7	45,81	3,2	54,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	5,8	11,5	50,8	699,2
F151/2	site noir	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	0,0	86,7
F199	site noir	0,7	17,55	3,1	82,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	3,7	5,84	64,2	894,8
F217	site noir	0,0	0,00	0,1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,1	2,2	6,5	72,6
F220/1	site noir	0,1	3,87	3,1	96,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	3,2	4,0	80,4	263,5
F231	site noir	0,1	100,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,1	3,6	3,2	153,2
F246/2	site noir	0,0	0,00	0,4	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,4	3,7	9,6	0,6
F248/1	site noir	0,0	0,00	1,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	1,0	2,6	37,5	140,2
F248/2	site noir	0,0	0,00	1,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	1,0	6,0	17,5	538,6
F260	site noir	0,0	0,00	0,1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,1	5,4	1,1	104,4
F262	site noir	0,239	30,92	0,534	69,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,8	3,125	24,7	indet
F263	site noir	0,0	0,00	0,4	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,4	3,3	11,1	513,3
F546	site noir	0,6	11,90	4,2	88,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	4,8	13,0	36,9	7760,2
F020	Site bicolore	0,5	43,25	0,6	49,1	0,1	7,6	0,0	0,0	0,00	0,00	1,2	1,6	72,0	2128,0
F035	Site bicolore	0,0	0,00	0,6	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,6	0,6	92,2	25,4
F046	Site bicolore	2,0	29,75	3,9	58,7	0,8	11,5	0,0	0,0	0,00	0,00	6,6	13,0	51,1	254,1
F051	Site bicolore	10,4	64,42	4,3	26,6	1,4	9,0	0,0	0,0	0,00	0,00	16,1	28,6	56,4	4136,9

F064	Site bicolore	0,1	7,75	1,2	88,0	0,1	4,3	0,0	0,0	0,00	0,00	1,3	8,6	15,2	425,0
F085	Site bicolore	3,0	75,04	0,0	0,0	0,2	5,7	0,7	18,0	0,05	1,29	3,9	8,5	46,3	1197,0
F097	Site bicolore	0,6	48,24	0,6	51,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	1,2	3,6	32,8	24,4
F121	Site bicolore	0,0	0,00	0,1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,1	1,9	3,3	773,8
F132	Site bicolore	1,4	53,47	1,2	46,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,00	0,00	2,6	6,1	42,1	505,4
F145	Site bicolore	0,0	0,00	4,0	95,7	0,2	4,3	0,0	0,0	0,00	0,00	4,2	12,1	34,3	4131,6
F179	Site bicolore	5,3	42,27	4,6	37,3	0,3	2,2	2,3	18,3	0,00	0,00	12,4	25,3	49,2	555,9
F187/188	Site bicolore	0,5	7,43	6,8	92,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,00	0,00	7,3	14,96	49,0	906,4
F226	Site bicolore	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,2	0,0	325,7
F227	Site bicolore	0,4	33,78	0,8	66,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	1,2	2,5	47,1	2119,7
F230	Site bicolore	0,0	0,0	0,8	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	0,0	824,9
F240	Site bicolore	0,7	23,79	2,3	76,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	3,0	7,2	41,8	1242,1
F246/1	Site bicolore	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,0	104,2
F255	Site bicolore	0,0	0,00	2,1	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	2,1	9,4	21,9	254,2
F261	Site bicolore	0,0	0,00	3,4	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	3,4	10,3	32,7	1928,2
F265	Site bicolore	0,5	22,55	1,6	72,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,10	4,51	2,1	11,9	17,8	7282,0

Tableau 41 : Tableau présentant le nombre de site où les différents types de scories internes sont observées

Sous-types de scories internes	Nombre de site
SBD	13
SBR	18
SF	10
SNV	3
SGP	3

Tableau 42 : Tableau signalant les proportion en masse des différents sous-types de scories internes en fonction du volume du ferrier dont elles proviennent

Volume des ferriers	% SBD	% SBR	% SF	% SNV	% SGP
0-200	4,6	79,5	0	0	0
200-500	14,5	79,7	5,4	0	0
500-700	41,8	46,7	1,2	10,2	0
700-900	14,3	85,7	0	0	0
900-1100	7,4	92,2	0,3	0	0
1100-1300	52,9	32,9	3,2	10,2	0,7
1300-1500	47	22,6	0	30,3	0
1500-1700	74,4	0	8,7	17	0
1700-1900	0	0	0	0	0
1900-2100	0	100	0	0	0
2100-2300	38,5	57,8	3,8	0	0
2300 et +	41,7	52,1	5,8	0	0,3

Tableau 43 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes en fonction du type de site métallurgique d'où elles proviennent

Site	Type se site	SBD	% SBD	SBR	%SBR	SF	%SF	SNV	%SNV	SGP	%SGP	Poids total scorie interne
F090	Sites noirs	0	0	1,6	100	0	0	0	0	0	0	1,6
F107		0	0	0,1	76,8	0	0	0	0	0,04	23,1	0,2
F217		0	0	0,1	100	0	0	0	0	0	0	0,1
F246/2		0	0	0,3	100	0	0	0	0	0	0	0,3
F248/1		0	0	0,9	100	0	0	0	0	0	0	0,9
F248/2		0	0	1,0	100	0	0	0	0	0	0	1
F260		0	0	0,05	100	0	0	0	0	0	0	0
F263		0	0	0,3	100	0	0	0	0	0	0	0,3
F220/1		0,1	3,8	3,1	96,1	0	0	0	0	0	0	3,2
F546		0,5	11,9	4,2	88	0	0	0	0	0	0	4,8
F199		0,6	17,5	3,09	82,4	0	0	0	0	0	0	3,7
F262		0,2	30,9	0,5	69	0	0	0	0	0	0	0,7
F128		2,6	45,8	3,1	54,1	0	0	0	0	0	0	5,8
F105		2,5	47	1,2	22,6	0	0	1,6	30,3	0	0	5,4
F127		1	74,3	0	0	0,12	8,6	0,2	16,9	0	0	1,4
F231		0,1	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
F035	Sites bicolores	0	0	0,5	100	0	0	0	0	0	0	0,5
F121		0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
F145		0	0	3,9	95,7	0,1	4,2	0	0	0	0	4,1
F255		0	0	2	100	0	0	0	0	0	0	2
F261		0	0	3,3	100	0	0	0	0	0	0	3,3
F187/188		0,5	7,4	6,7	92,2	0,02	0,3	0	0	0	0	7,3
F064		0,1	7,7	1,1	87,9	0,05	4,2	0	0	0	0	1,3
F265		0,4	22,5	1,5	72,9	0	0	0	0	0,09	4,5	2,1
F240		0,7	23,7	2,2	76,2	0	0	0	0	0	0	3
F046		1,9	29,7	3,8	58,7	0,7	11,5	0	0	0	0	6,6
F227		0,3	33,7	0,7	66,2	0	0	0	0	0	0	1,1
F179		5,2	42,2	4,6	37,2	0,2	2,1	2,2	18,9	0	0	12,4
F020		0,5	43,2	0,5	49,1	0,0	7,6	0	0	0	0	1,1
F097		0,5	48,2	0,6	51,7	0	0	0	0	0	0	1,1

F132		1,3	53,4	1,1	46,3	0,00	0,1	0	0	0	0	2,5
F051		10,3	64,4	4,2	26,6	1,4	8,9	0	0	0	0	16,1
F085		2,9	75	0	0	0,2	5,6	0,71	65,8	0,05	4,7	3,9

Tableau 44 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes en fonction de l'espace sédimentaire des sites métallurgiques bicolores d'où ils sont issues

Site	Espace sédimentaire	SBD	% SBD	SBR	% SBR	SF	% SF	SNV	% SNV	SGP	% SGP	Poids total scorie interne
F230	Sédiment noir	0	0	0,8	100	0	0	0	0	0	0	0,8
F261		0	0	3,4	100	0	0	0	0	0	0	3,4
F035		0	0	0,6	100	0	0	0	0	0	0	0,6
F145		0	0	1,8	100	0	0	0	0	0	0	1,8
F255		0	0	2,1	100	0	0	0	0	0	0	2,1
F187/188		0,4	5,7	6,3	94	0	0,4	0	0	0	0	6,7
F064		0,1	7,8	1,2	88	0,1	4,3	0	0	0	0	1,3
F265		0,5	22,5	1,6	72,9	0	0	0	0	0,1	4,5	2,1
F097		0,2	27,8	0,5	72,2	0	0	0	0	0	0	0,8
F020		0,2	25,4	0,6	68,4	0,1	6,1	0	0	0	0	0,8
F227		0,4	33,8	0,8	66,2	0	0	0	0	0	0	1,2
F240		0,7	36,5	1,2	63,5	0	0	0	0	0	0	2
F046		2	29,8	3,9	58,7	0,8	11,5	0	0	0	0	6,6
F132		1,3	51,9	1,2	48	0	0,2	0	0	0	0	2,5
F179		5,3	43,8	4,2	35	0,3	2,3	2,3	18,9	0	0	12
F051		9,9	71,6	3,9	28,2	0	0,3	0	0	0	0	13,8
F085		2,9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	2,9
F121		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F226		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F246/1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F121	Sédiment rouge	0	0	0,1	100	0	0	0	0	0	0	0,1
F240		0	0	1	100	0	0	0	0	0	0	1
F179		0	0	0,4	100	0	0	0	0	0	0	0,4
F145		0	0	2,2	92,4	0,2	7,6	0	0	0	0	2,4
F187/188		0,2	24,7	0,5	75,3	0	0	0	0	0	0	0,7
F051		0,5	22,4	0,4	17,5	1,4	60	0	0	0	0	2,3
F097		0,4	84,2	0,1	15,8	0	0	0	0	0	0	0,4
F132		0,1	87,8	0	12,2	0	0	0	0	0	0	0,1
F020		0,3	88,7	0	0	0	11,3	0	0	0	0	0,3
F085		0,1	8,8	0	0	0,2	20,7	0,7	65,8	0,1	4,7	1,1
F226		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F227		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F230		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F246/1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F255		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F261		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F265		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F035		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F046		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F064		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 45 : Tableau des diverses caractéristiques des fonds de four de la forêt de Châteauroux

Nom de la Struct_Métal	Type de structure	Poids (en kg)	Longueur (en cm)	Largeur (en cm)	ép. (en cm)	Description	Sous-type
F085	Zone métallurgique noire	0,71	18	12	2,8	Fond de four gris très dense et poreux par endroit, presque de la fonte ? Présente le négatif d'une tuyère et des inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois. Moule le fond arrondi du four	SGP
F085	Zone métallurgique bicolore	0,48	13,2	9,9	5,5	Fond de four plano-convexe. Scorie brune dense avec inclusions de quartz et de scorie très vitrifiée noire (scorie écoulée). On peut observer l'arrachage d'un agglomérat métallique important	SBD
F085	Zone métallurgique bicolore	0,469	12	12	4,1	Fond de four brun dense avec inclusions d'oxydes de fer et de scorie (écoulée) très vitrifiée	SBD
F051	Zone métallurgique bicolore	3,625	22	17	8,4	Très gros fond de four brun dense avec nombreuses inclusions d'oxydes de fer et négatif de charbons de bois. Forme plano-convexe	SBD
F051	Zone métallurgique bicolore	1,927	17	17	6,6	Gros fond de four brun dense avec nombreuses inclusions d'oxydes de fer et négatif de charbons de bois. Forme plano-convexe	SBD
F051	Zone métallurgique bicolore	1,132	16	10	6,6	Gros fragment de fond de four brun dense avec de nombreuses inclusions d'oxydes de fer et associé à de la paroi en argile grise	SBD
F188	Zone métallurgique bicolore	2,223	14,5	14	10,5	Fond de fourneau plano-convexe à la matrice vacuolaire brune avec inclusion métallique et très nombreux négatifs de charbon de bois sur la face inférieure. Très vitrifiée vert sur la partie supérieure (pseudo-laitier) et présence d'un fragment de paroi ou de tuyère sur cette même face.	SBR
F188	Zone métallurgique bicolore	1,801	12	13	8,5	Fond de fourneau à la matrice vacuolaire brune avec inclusion métallique et négatif de charbon de bois. Très vitrifiée par endroit (pseudo-laitier). Présence d'un fragment de paroi gris d'environ 1,5 cm d'épaisseur	SBR
F220/1	Zone métallurgique noire	0,577	14,1	12	4,1	Gros fragment de fond de four brun rugueux et plano-convexe	SBR
F220/1	Zone métallurgique noire	0,476	15,5	11	2,6	Fragment de fond de four brun rugueux avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois. Plano-convexe	SBR
F128	Zone métallurgique noire	3,164				Gros fond de four brun rugueux arrondi et plano-convexe avec inclusions de charbon de bois et d'oxydes de fer	SBR
F120	Épandage	2,502	24	16	6,5	Scorie brune très dense, plano-convexe avec inclusions d'oxydes de fer et charbon de bois sur la face supérieure	SBD
F255	Zone métallurgique bicolore	1,941	25	18	5,5	Gros fond de four arrondi et plano-convexe présentant des inclusions d'oxyde et dont la face inférieure est irrégulière et rugueuse, brune.	SBR

F267	Épandage	1,453	18,5	10	9,4	Scorie brune rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois	SBR
F181	Épandage	1,422	16	14	7,5	1 gros fond de fourneau plano-convexe brun, vacuolaire, vitrifié par endroit avec de nombreux négatifs de charbon de bois. Associé à de la paroi en argile grise sur la face inférieure	SBR
F105	Zone métallurgique noire	1,293	14	13	8	Gros fragment de fond de fourneaux plano-convexe brun à la matrice dense oxydée en surface associé à de la paroi en argile grise sur la partie inférieure et fortement vitrifiée verte/blanc (pseudo-laitier)	SBD
F132	Zone métallurgique bicolore	1,183	19	10,5	8,8	Gros fragment de fond de four brun, rugueux avec inclusions d'oxydes de fer et charbon de bois. Traces d'outils (barre à mine ?)	SBR
F056	Épandage	1,073	22	13	9,7	Gros fragment de fond de four brun et rugueux comprenant de nombreux gros négatif de charbon de bois oxydé et très vitrifié vert	SBR
F227/1	Zone métallurgique bicolore	0,761	14	9	8,6	Fragment de fond de four brun, rugueux plano-convexe et rectangulaire associé à de la paroi en argile beige sur deux faces et un peu en dessous	SBR
F046	Zone métallurgique bicolore	3,882	24	19	11	Fond de four brun, rugueux comprenant des billes d'oxydes de fer et le négatif de charbons de bois. Très vitrifié bleuté en surface	SBR

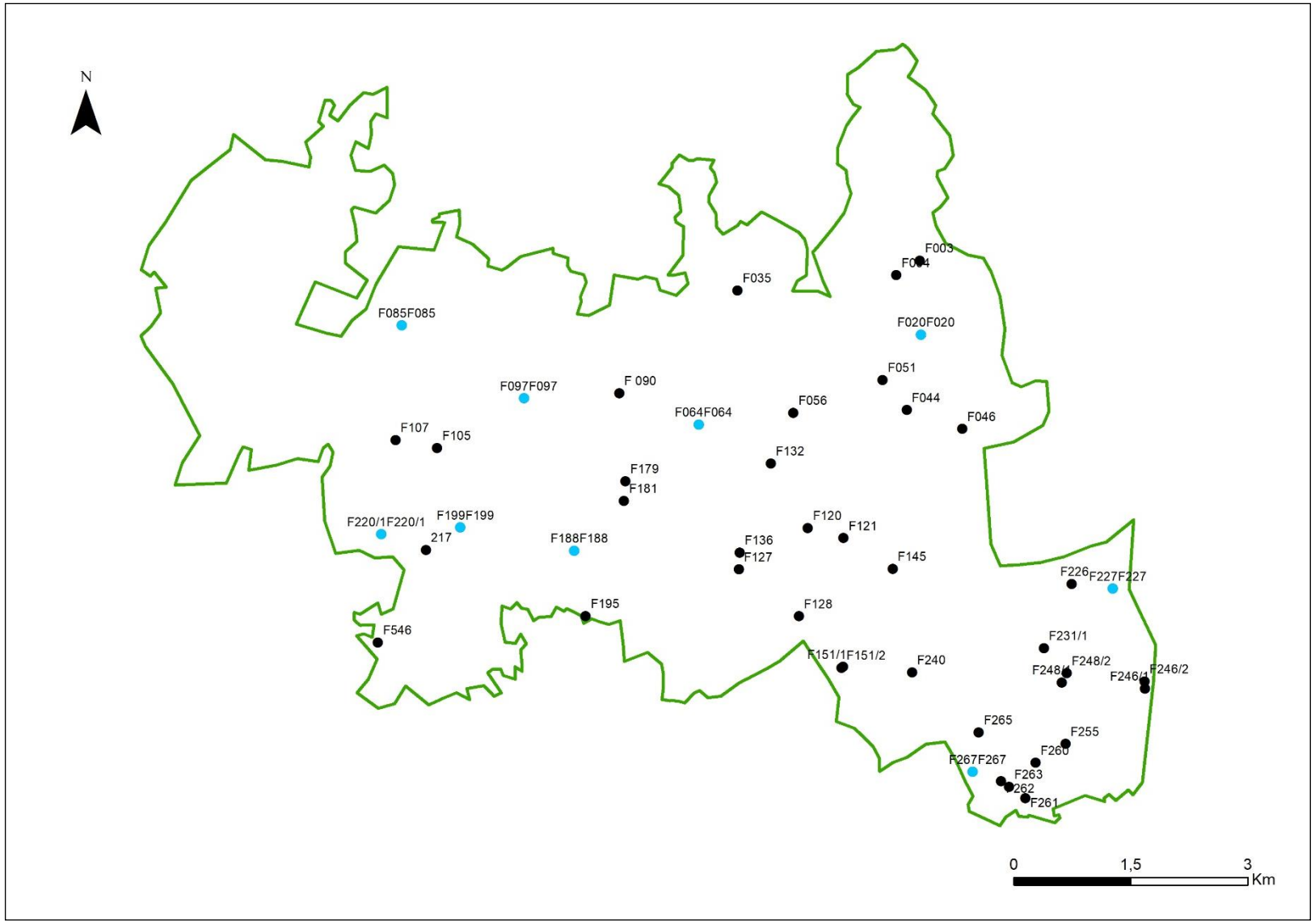


Fig. 51 : Carte des ateliers où des pseudo-laitiers sont mis au jour dans l'actuelle forêt de Châteauroux

Tableau 46 : Tableau de la proportion en masse des différents sous-types de paroi en fonction du sédiment dont ils proviennent dans les sites bicolores

Zone	Type 1 (en kg)	Type 2 (en kg)	Total (en kg)
F020 noir	0,2	0	0,2
F020 rouge	0,1	0	0,1
F035 noir	0,2	0	0,2
F035 rouge	0	0	0
F046 noir	5,7	1,7	7,4
F046 rouge	1,3	0	1,3
F051 noir	2,6	2,6	5,2
F051 rouge	2	0,1	2,1
F064 noir	0,5	0	0,5
F064 rouge	0,5	0,5	1,1
F085 noir	0,8	5,1	5,9
F085 rouge	1,5	0,1	1,6
F097 noir	0,5	0	0,5
F097 rouge	0	0	0
F121 noir	0,8	0	0,8
F121 rouge	0	0,7	0,7
F145 noir	2,1	1,8	3,9
F145 rouge	0,9	1,7	2,6
F179 noir	13	0	13
F179 rouge	4,7	0	4,7
F187/188 noir	3,4	2,4	5,8
F187/188 rouge	6,1	0	6,1
F226 noir	0,4	0	0,4
F226 rouge	0	0	0
F227/1 noir	1,9	3,7	5,6
F227/1 rouge	1,1	0,1	1,2
F230 noir	1,1	0	1,1
F230 rouge	1,5	0	1,5
F240 noir	0,7	0	0,7
F240 rouge	0	0	0
F246 noir	0,1	0	0,1
F246 rouge	0	0	0
F255 noir	0	0	0
F255 rouge	0	0	0
F265 noir	3,9	0,5	4,4
F265 rouge	2,4	2	4,4

Tableau 47 : Tableau du nombre de fragment de paroi par classe d'épaisseur (en cm)

Epaisseur (en cm)	Nombre de fragments
0-3,5	4
3,5-5,5	6
5,5-7,5	4
7,5-9,5	4

Tableau 48 : Tableau détaillant les paroi présentant le négatif de bombement ou de sillons rectilignes

Nom du site	Type de structure	Poids (en kg)	Description	Sous-type	Type de trace de clayonnage
F199	Site métallurgique noir	0,115	Gros fragment de paroi e argile beige sur une face et présentant des sillons vitrifié sur l'autre face (négatif de renfort de paroi)	beige	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,363	Fragment de paroi en argile grise avec des traces de chauffe noire avec inclusion de cailloutis blanc. Présence d'un sillon de 1,7cm de diamètre (correspond au sillon bombé observé dans les scories internes)	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,215	Fragment de paroi en argile grise avec des traces de chauffe noire avec inclusion de cailloutis blanc. Présence d'un sillon de 1,7cm de diamètre (correspond au sillon bombé observé dans les scories internes)	gris	sillon
F179 rouge	Site métallurgique bicolore	0,511	Gros bloc de paroi en argile grise avec nombreuses inclusions de cailloutis et négatif de charbon de bois. Associé à de la paroi scorifiée et vitrifiée qui présente un sillon bombé de 1,5cm de diamètre	gris	sillon
F179 rouge	Site métallurgique bicolore	0,293	fragment de paroi scorifiée noire et vitrifiée sur une face avec nombreuses inclusions de cailloutis blanc et présence d'un sillon bombé de 1,4cm de diamètre et 7,8 cm de long	noir	sillon
F179 rouge	Site métallurgique bicolore	0,072	fragment de paroi gris, vitrifié en surface avec inclusion de nombreux cailloutis blancs et présence d'un sillon bombé de 1,6 cm de diamètre et 3,7cm de longueur	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,261	Gros fragment de paroi en argile grise, légèrement rubéfiée avec inclusion de cailloutis blancs et présence de deux sillons de 2 cm de diamètre	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,123	Gros fragment de paroi en argile grise, légèrement rubéfiée avec inclusion de cailloutis blancs, importante vitrification noire et lié à de la paroi scorifiée où se trouve deux sillons bombés parallèles de 1,5cm de diamètre	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,454	Gros fragment de paroi scorifiée grise avec légère rubéfaction sur la partie interne et vitrification bleutée par endroit. Présence d'un sillon bombé de 1,5cm de diamètre et 8,5cm de longueur	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,449	Gros fragment de paroi scorifiée grise avec légère rubéfaction sur la partie externe et vitrification verte sur la partie interne associé à des inclusions d'oxydes ferreux. Présence de deux petits sillons bombés de 1,7cm de diamètre	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,228	Gros fragment de paroi scorifiée grise avec vitrification verte sur la partie interne associé à des inclusions d'oxydes ferreux. Présence de deux sillons bombés parallèles de 2,4 et 2 cm de diamètre pour 7,5cm de longueur	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,047	Gros fragment de paroi scorifiée grise avec légère rubéfaction sur la partie externe et vitrification verte sur la partie interne. Présence d'un petit sillon bombé de 1,5 cm de diamètre	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	1,209	Un gros fragment de paroi gris/noire en argile avec inclusions métalliques associé à de la scorie grise/noire vitrifiée en surface avec négatif d'un sillon de 2,4 cm de diamètre faisant la jonction entre les deux.	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,456	Fragment de paroi en argile gris avec inclusion de cailloutis et vitrification verdâtre en surface. On observe également un sillon de 1,5 cm de diamètre en partie comblé par de la scorie	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,446	Fragment de paroi en argile gris extrêmement vitrifié en surface donnant une couleur beige/rosée à la paroi. Ce fragment présente deux faces perpendiculaires pouvant témoignant d'un four rectangulaire ainsi qu'un sillon 1,8 cm de diamètre à l'opposé du coin formé par les deux faces.	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,131	fragment de paroi scorifiée noire et vitrifiée verte en surface avec nombreuses inclusions de cailloutis blanc et présence d'un sillon bombé de 1,7cm de diamètre et 6,2 cm de long	noir	sillon

F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,267	fragment de paroi scorifiée noire et vitrifiée en surface avec nombreuses inclusions de cailloutis blanc et sillon bombé de 2 cm de diamètre	noir	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,257	fragment de paroi scorifiée noire et vitrifiée en surface avec nombreuses inclusions de cailloutis blanc et sillon bombé de 1,8 cm de diamètre	noir	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,804	Fragment de paroi en plaque gris avec inclusion de cailloutis blanc. Vitrification sur la face interne du fourneau et trois sillons bombés de 1,2 ; 1,5 et 1,5 cm de diamètre espacés de2 cm chacun. De la scorie interne ferreuse est accrochée à la partie basse de cette paroi. Légèrement oxydée on y voit le négatif d'un charbon de bois	gris	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,064	fragment de paroi en argile beige avec un sillon de 1,7 cm d'un côté et un sillon bombé de 1,5 cm de diamètre de l'autre	beige	sillon
F179 rouge	Site métallurgique bicolore	0,674	Très gros fragment de paroi scorifiée grise à la matrice vacuolaire noire, vitrifiée sur la face interne. Elle présente deux sillons bombés sur la face externe de 2,2 et 2,1 cm de diamètre en partie fondu.	gris	sillon
F179 rouge	Site métallurgique bicolore	1,002	Gros fragment de paroi en argile beige avec nombreuses inclusions de cailloutis blanc millimétriques et présence de 2 sillons de 1,9 et 2 cm de diamètre sur la face interne	beige	sillon
F179 rouge	Site métallurgique bicolore	0,551	Fragment de paroi en argile beige avec nombreuses inclusions de cailloutis blanc millimétriques et présence d'un sillon de 1,6 cm de diamètre sur la face interne. Négatif de charbon de bois	beige	sillon
F179 noir	Site métallurgique bicolore	0,741	Gros fragment de paroi en argile beige avec inclusions de quartz submillimétrique et présence d'un sillon de 1,8cm de diamètre	beige	sillon
F248/1	Site métallurgique noir	0,679	Fragment de paroi en argile gris à violacé présentant une face lisse scorifiée et un sillon de 1,5 cm sur la face opposée (négatif de clayonnage ?). La face vitrifiée comporte 2 couches superposées signalant le rechapage de la structure de combustion	gris	sillon
F056	Epandage	0,308	Fragment de paroi en argile brun avec quartz submillimétrique présentant une face vitrifiée avec un sillon de 2cm de diamètre et des traces de rechapage	orangé	sillon
F187/188 rouge	Site métallurgique bicolore	1,605	Fragment de paroi en argile orangé et gris présentant une face plane scorifiée et vitrifiée sur laquelle on retrouve de la paroi et un sillon de 2 cm de diamètre	orangé	sillon
F187/188 noir	Site métallurgique bicolore	0,755	Gros fragment de paroi scorifié gris présentant sur une face plane, deux sillons parallèles de 1,3 et 1,7 cm de diamètre	gris	sillon
F187/188 rouge	Site métallurgique bicolore	0,174	Fragment de paroi en argile orangé présentant d'un côté un sillon de 2,1 cm de diamètre et de l'autre côté un bombement non parallèle de 2,4 cm de diamètre	orangé	sillon
F046 rouge	Site métallurgique bicolore	1,047	Fragment de paroi en argile gris avec inclusions de quartz millimétrique. L'une des face est vitrifiée et l'autre présente 3 sillons parallèles de 1,8 à 2 cm de diamètre	gris	sillon
F230 rouge	Site métallurgique bicolore	0,906	Fragment de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques, très vitrifié vert avec négatif de sillon d'environ 2 cm de diamètre	gris	sillon
F085 noir	Site métallurgique bicolore	0,192	fragment de paroi en argile présentant un canal de 2 cm d'épaisseur et 8,5 cm de longueur	beige	sillon
F056	Epandage	0,188	Fragment de paroi grise avec nombreuses inclusions de cailloutis blancs et négatif de rigole de 2,1cm sur la face inférieure (négatif de renfort en bois ?)	gris	sillon
F056	Epandage	0,203	Fragment de paroi grise vitrifié en surface avec nombreuses inclusions de cailloutis blancs et négatif de 2 rigoles de 1,9 et 2,5 cm sur la face inférieure (négatif de renfort en bois ?)	gris	sillon
F046 noir	Site métallurgique bicolore	0,16	3 fragments de paroi en argile gris dont l'un comprend le négatif d'un clayonnage de 1,9 cm	gris	sillon
F046 noir	Site métallurgique bicolore	0,637	7 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques dont l'un montre le négatif d'un canal de 1,8 cm et un autre a une coloration légèrement violacée	gris	sillon

F046 noir	Site métallurgique bicolore	2,097	7 fragments de paroi en argile gris présentant une face plane vitrifiée dont un fragment comprenant des canaux de 1,7 cm de diamètre. Stratigraphie comprenant 2 couches. Rechapage.	gris	sillon
F187/188 noir	Site métallurgique bicolore	0,449	Fragment de paroi en argile gris induré avec inclusion de quartz millimétrique présentant une face plane vitrifiée et une face opposé avec bombement de 2cm de diamètre	gris	
F187/188 rouge	Site métallurgique bicolore	0,368	Fragment de paroi en argile gris présentant une face plane avec un bombement de 1,9 cm de diamètre	gris	
F187/188 rouge	Site métallurgique bicolore	0,048	Fragment de paroi en argile gris présentant une face plane vitrifiée verte et une face avec un bombement de 1,6 cm de diamètre	gris	
F265 rouge	Site métallurgique bicolore	0,463	Fragment de paroi en argile gris avec inclusions de quartz millimétrique et bombement de 1,5 cm de diamètre	gris	
F056	Epandage	0,787	Gros fragment de paroi en argile orangé présentant une face plane scorifiée et à l'opposée un face avec des bombement de 2,4 et 1,6 cm de diamètre, visiblement engendré lors de plusieurs phases de rechapage	orangé	
F227/1 rouge	Site métallurgique bicolore	0,379	Fragment de paroi en argile gris présentant une face plane vitrifiée et la face opposée dispose de deux bombement de 1,8 cm de diamètre et 8 cm de long	gris	
F227/1 noir	Site métallurgique bicolore	0,044	Fragment de paroi en argile gris présentant une face avec protubérance de 2,5 cm de diamètre	gris	
F056	Epandage	0,041	Fragment de paroi en argile gris présentant une protubérance de 1,7 cm de diamètre	de	
F056	Epandage	0,647	11 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétrique dont 1 possèdes deux protubérances de 2 et 1,5 cm d'épaisseur	gris	
F056	Epandage	0,339	Fragment de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques présentant une face plane vitrifiée et à l'opposé une protubérance de 2,3 cm de diamètre	gris	
F056	Epandage	0,251	Fragment de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques présentant une face plane vitrifiée verte et à l'opposé une protubérance de 2,6 cm de diamètre	gris	
F227/1 noir	Site métallurgique bicolore	0,569	Fragment de paroi en argile grise présentant une face plane vitrifiée et la face opposée comprend une protubérance de 1,7 cm de diamètre	gris	
F227/1 noir	Site métallurgique bicolore	0,204	Fragment de paroi en argile grise présentant une protubérance de 2,1 cm de diamètre	gris	
F128	Site métallurgique noir	1,066	Fragment de paroi en argile grise à orangé avec deux strates (rechapage) présentant une face plane vitrifiée. La partie opposée comprend plusieurs protubérance de 1,6 cm et 2,4 de diamètre	gris	
F145 noir	Site métallurgique bicolore	0,447	2 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques présentant une face plane scorifiée et vitrifiée et deux protubérances de 1,9 cm d'épaisseur	gris	

Tableau 49 : Tableau du nombre de bombements et de sillons observés sur les parois par classe de largeur

Classe de largeur (en cm)	Nombre de sillons	Nombre de bombements
0 - 0,5	0	0
0,5 -1	0	0
1 - 1,5	3	10
1,5 - 2	16	15
2 -, 2,5	1	9
2,5 - 3	0	1

Tableau 50 : Tableau de la masse des fragments de paroi en fonction de leur coloration

Coloration	poids (en kg)	% massique
Beige/ocre	20,6	20,2
Grise/blanche	77,3	74
Rouge/brune	0,1	0,01

Tableau 51 : Tableau de la masse des terres cuites architecturales par site métallurgique dans la forêt de Châteauroux

Type de site	nom de site	Total TCA (en kg)
sites bicolores	F046	1,7
	F064	0,02
	F085	0,2
	F121	0,2
	F145	1,2
	F187/188	0,4
	F227	0,5
	F230	0,2
	F246	0,2
	F265	1,5
sites noirs	F090	
	F127	0
	F128	0,2
Epandage	F056	7,3

Tableau 52 : Tableau de la masse des terres cuites architecturales par espace sédimentaire dans les sites bicolores

Type de site	nom de site	TCA sédiment noir (en kg)	TCA sédiment rouge (en kg)	Total (en kg)
sites bicolores	F046	1,5	0,2	1,7
	F064	0	0	0
	F085	0,2	0	0,2
	F121	0	0,2	0,2
	F145	0	1,2	1,2
	F187/188	0,3	0,1	0,4
	F227	0,1	0,4	0,5
	F230	0,2	0	0,2
	F246	0	0,2	0,2
	F265	0	1,5	1,5
Total		2,4	3,8	6,2

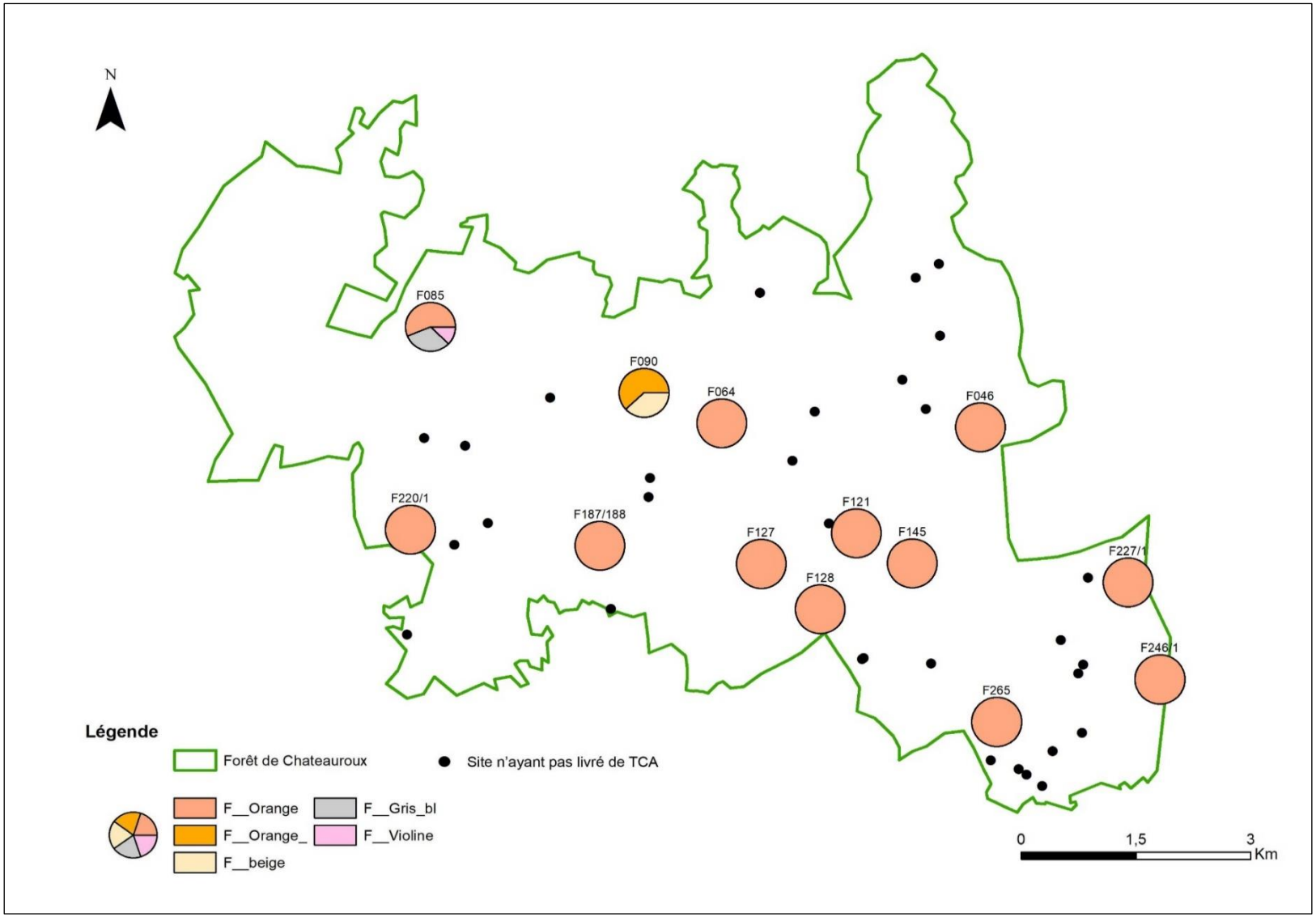


Fig. 52 : Carte représentant le pourcentage en masse des TCA par couleur dans l'actuelle forêt de Châteauroux

Tableau 53 : Tableau de l'épaisseur des TCA de la forêt de Châteauroux

Nom de la Struct_Métal	Type de structure	Poids (en kg)	ép. (en cm)	Description	Couleur	Type
F187/188	Site bicolore	0,353	2,5	Fragment de TCA en argile orangé avec inclusion de quartz sub à millimétrique	orange	indet
F046	Site bicolore	0,227	3,2	Gros fragment de TCA en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétrique (tegulae ?). Chamotte. Scorification ponctuelle	orange	tegulae
F046 noir	Site bicolore	0,229	2,3	Gros fragment de TCA en argile orangé à grise présentant des inclusions de chamotte, de grès millimétrique et de négatif de fibre végétale (tegulae ?)	orange	tegulae
F046 noir	Site bicolore	0,368	2,3	Gros fragment de TCA en argile orangé à grise présentant des inclusions de chamotte, de grès millimétrique et de négatif de fibre végétale (tegulae ?)	orange	tegulae
F145 noir	Site bicolore	0,622	2,7	Gros fragment de tegulae orange très vitrifié avec inclusions de quartz submillimétriques	orange	tegulae
F145 noir	Site bicolore	0,201	5,5	Fragment de TCA en argile orangé présentant un bord. Tegulae	orange	tegulae
F227/1	Site bicolore	0,155	2,5	fragment de TCA orangé	orange	indet
F227/1	Site bicolore	0,155	2,5	fragment de TCA orangé	orange	indet
F227/1	Site bicolore	0,155	2,5	fragment de TCA orangé	orange	indet
F227/1	Site bicolore	0,257	2,4	fragment de TCA en argile orangé	orange	indet
F227/1	Site bicolore	0,257	2,4	fragment de TCA en argile orangé	orange	indet
F128	Site noir	0,195	2,6	Fragment de TCA en argile orangé avec inclusion de quartz sub à millimétrique et de chamotte	orange	indet
F230	Site bicolore	0,244	2,3	fragment de TCA en argile orangé avec inclusions de quartz millimétrique et de chamotte	orange	indet
F085	Site bicolore	0,054	2,9	Fragment de TCA blanc à gros bord (tegulae ?)	blanc	tegulae

5.5 La production du fer en forêt de Châteauroux, des indices de datations variés



Fig. 53 : Détail de la *Carte générale des deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.a.S^me^ Monseigneur le Prince* datée de 1682 (N/II/Indre/2)

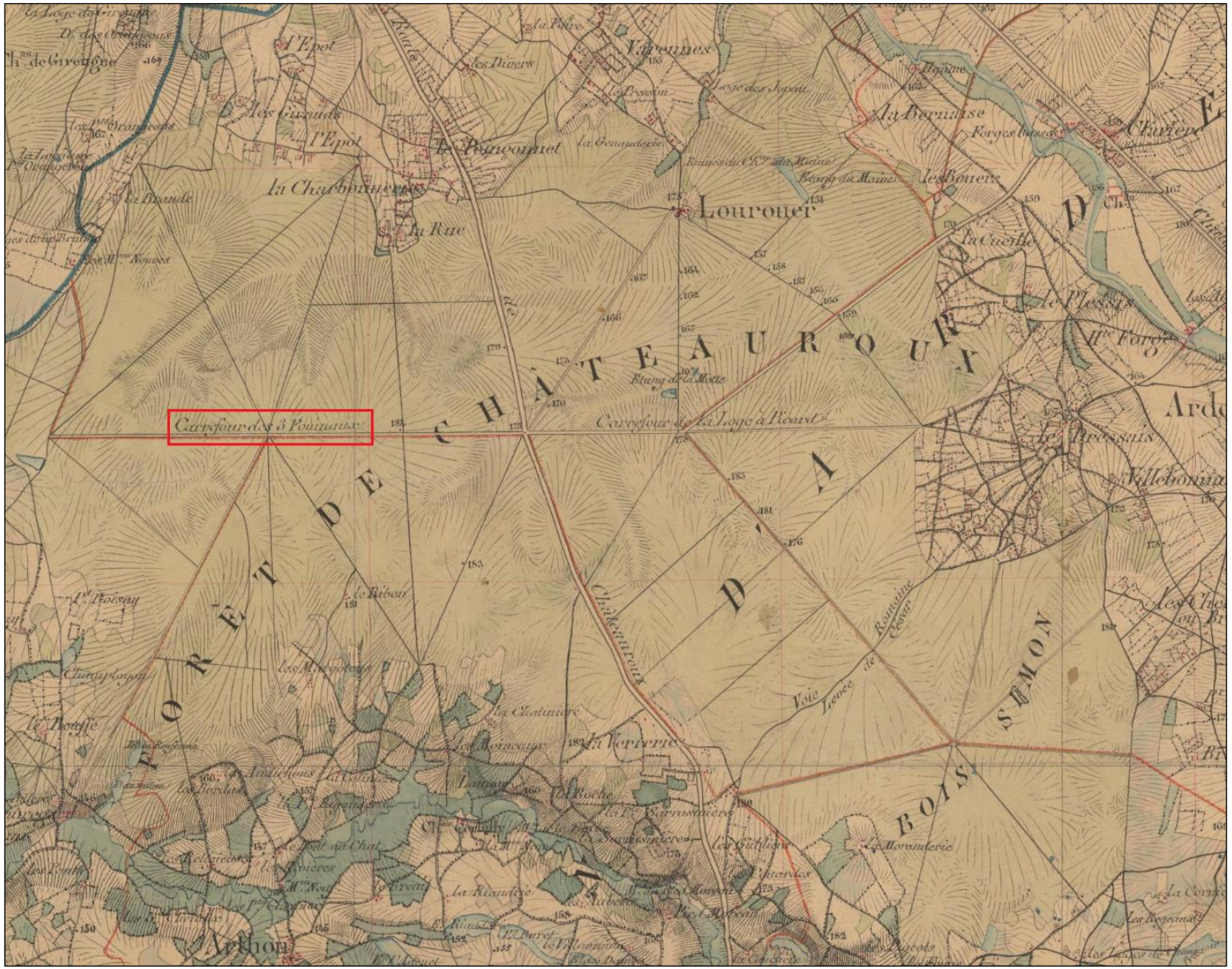


Fig. 54 : Détail de la forêt de Châteauroux sur la carte d'Etat-Major de 1847 (Géoportail)

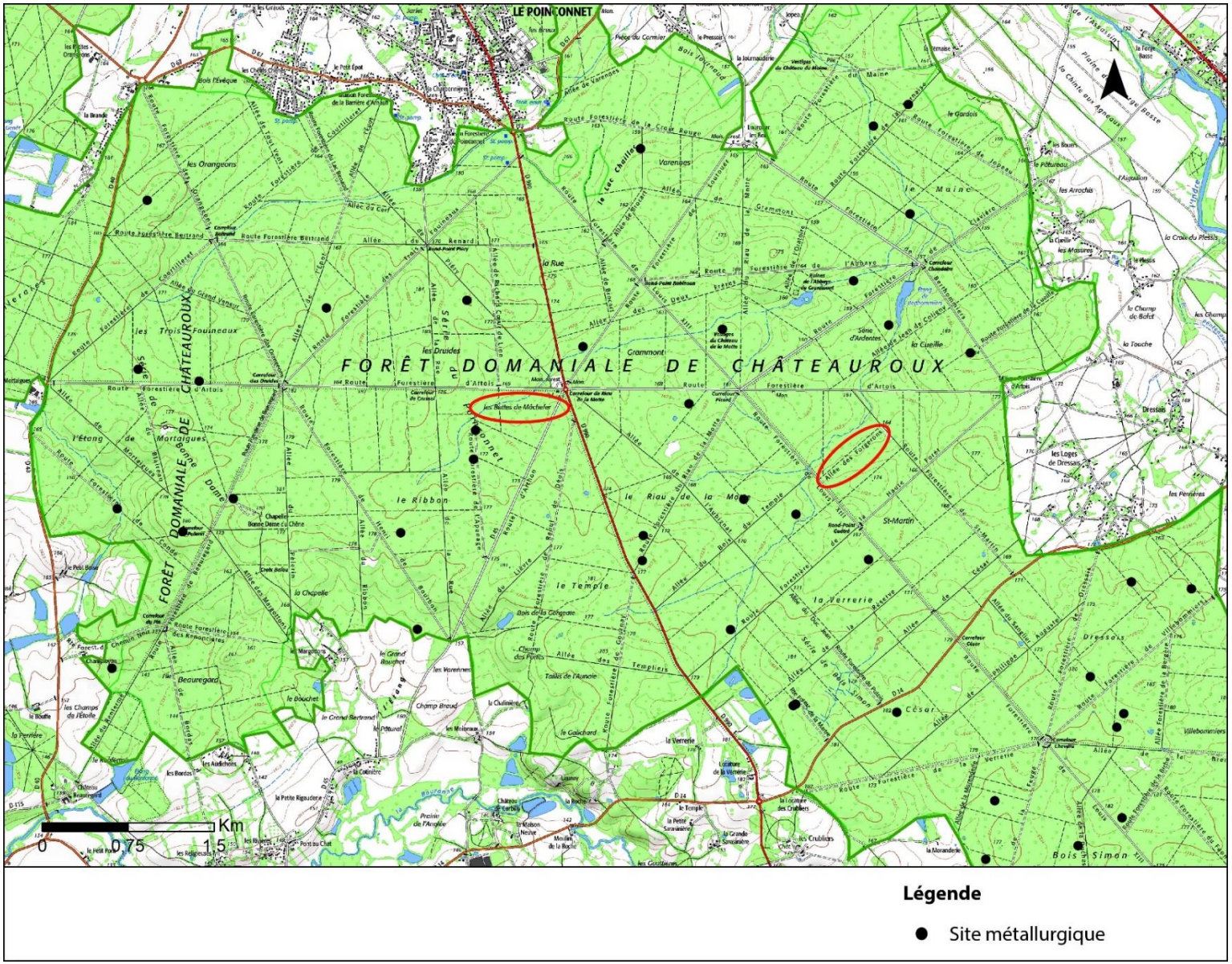


Fig. 55 : Localisation des toponymes relatifs à la production du fer dans la forêt de Châteauroux sur la carte IGN (Géoportail)
Au centre « Les buttes de Mâchefer » et à l'est l'Allée des forgerons

Tableau 54 : Tableau d'enregistrement de la céramique ramassée en prospection dans la forêt de Châteauroux

Site	Type de site	NR	Groupe technique	Forme tesson(s)	Type forme	Diamètre (en cm)	Remarques	Datation
F121	bicolore	1					Pâte fine , sableuse et orangée avec surface abondamment micacée	Antique
F121	bicolore	1					Pâte grise (cuisson réductrice), fine et sableuse. Très micacée.	Antique
F132	bicolore	1	Bou08e				Pâte fine, sableuse avec lissage grossier qui la rend rugueuse. Inclusions de quartz et de silice fréquente. Difficile de voir si la couleur grise de la pâte est due à l'altération.	10-14e s
F085	bicolore	1		Panse			Céramique commune. Pâte ocre/blanche très micacée	Antique
F127	noir	4	Bou08c		Pichet 8-1		Pâte ocre, fine avec quelques inclusions de quartz. Col droit avec rebord d'anse qui part du col.	13-14e s
F127	noir	2	Bou08e				Tesson altéré à pâte ocre et noire, fine. Céramique tournée.	médiéval
F132	bicolore	2	Bou08e				Pâte ocre, fine et sableuse.	10-15e s
F227/1	bicolore	1					Pâte orangée, micacée	Antique
F227/1	bicolore	1					Pâte ocre, sableuse, grossière et très altérée.	Antique ?
F227/1	bicolore	1					Pâte fine, beige avec quelques inclusions ferreuses et grains de quartz. Pas de micas.	Antique ?
F127	noir	1					Tesson de céramique très cuit, noir	indet
F127	noir	1	Bou08e				Céramique à pâte grise claire	médiéval
F127	noir	1	Bou07p				Fragment à pâte beige, fine avec surface ocre/rouge et glaçure plombifère	12e -13e s
F127	noir	1	Bou07p				Fragment à pâte beige, fine avec surface ocre/rouge et glaçure plombifère	12e -13e s
F227/1	bicolore	1					Pâte ocre, sableuse, grossière et très altérée.	Antique ?
F188	bicolore	1		Col	Petit pot à lèvre en crosse et col très peu prononcé	12	Céramique commune grise. Fragment de col à pâte grise fine avec inclusions de quartz et de nodules ferreux de 0,5 à 1 mm de diamètre. Cœur orangé. Surface grise avec apport de micas (traitement de surface).	Antique
F188	bicolore	1				15	Céramique commune tournée. Fragment à pâte beige, fine, sableuse et uniforme. Traitement micacé en surface	Antique
F188	bicolore	1	Bou01a	Fond			Pâte grise fine avec fréquentes inclusions noires (nodules ferreux) de 0,2 à 1 mm de diamètre. Fragment de base plate avec petit ressaut. Fond lissé à l'estèque. Fragment bien cuit et sonore.	Antique
F199	noir	1	Bou02a		Pichet 1-1	11	Pâte fine rosée avec quelques inclusions de quartz. Glaçure partielle plombifère translucide (jaune doré sans oxydes colorants). Lèvre triangulaire, col droit.	13-14e s
F188	bicolore	1		Anse	Coupe ou assiette à rebord rentrant pourvu d'une collerette. Forme ouverte		Pâte grise, sableuse avec inclusions ferreuses et surface micacée. Surface très altérée. Rebord de coupe ou d'assiette.	Antique
F188	bicolore	1		Col			Fragment de lèvre déjetée à pâte ocre et sableuse avec inclusions noires ferreuses. Surface très altérée.	Antique ou HMA
F136	Épandage	2		Anse	Petite anse bifide provenant d'une petite cruche		Pâte fine, ocre sableuse avec inclusions de quartz. Traitement fin.	Haut empire
F056	Épandage	1					céramique à pâte grise avec inclusions de quartz submillimétrique	médiéval
F056	Épandage	1		Anse			Céramique beige à rosée avec inclusions de quartz submillimétrique	médiéval
F056	Épandage	1		Fond			Céramique beige à rosée avec inclusions de quartz submillimétrique	médiéval
F056	Épandage	1		Panse			Céramique grise à pâte fine avec inclusions de quartz submillimétriques	médiéval
F056	Épandage	3					Céramique fine à pâte rosée à beige	médiéval
F056	Épandage	2	Bou1k				Pâte blanche, fine et homogène	12-13e s
F056	Épandage	1					Céramique à pâte fine orangée avec décor de traits parallèles et vernissé	médiéval
F056	Épandage	1					Céramique blanche à grise vernissée avec traces de tournage	médiéval
F056	Épandage	1		Col			Céramique grossière à pâte rouge vernissée de vert	médiéval
F056	Épandage	1		Col			Pâte blanche, fine et homogène. traces de lissage sur le col	12-13e s
F056	Épandage	7	Bou01k				Pâte blanche, fine et homogène	12-13e s
F056	Épandage	1					Pâte blanche, fine et homogène avec glaçure orangée	médiéval

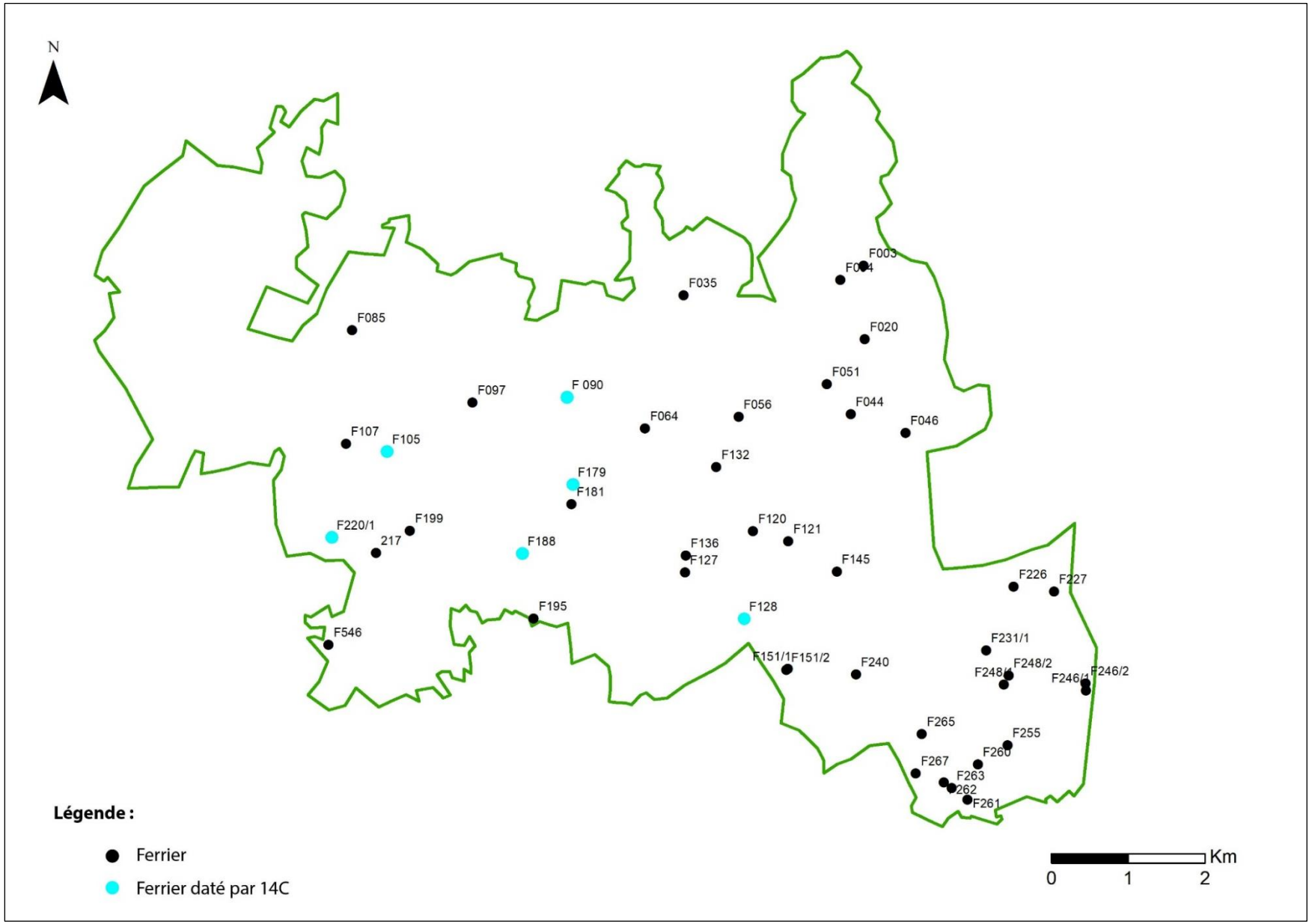


Fig. 56 *:* Carte localisant les sites métallurgiques datés par ^{14}C dans la forêt de Châteauroux

BetaCal 4.20

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL20)

(Variables: d13C = -23.4 o/oo)

Laboratory number **Beta-590440**

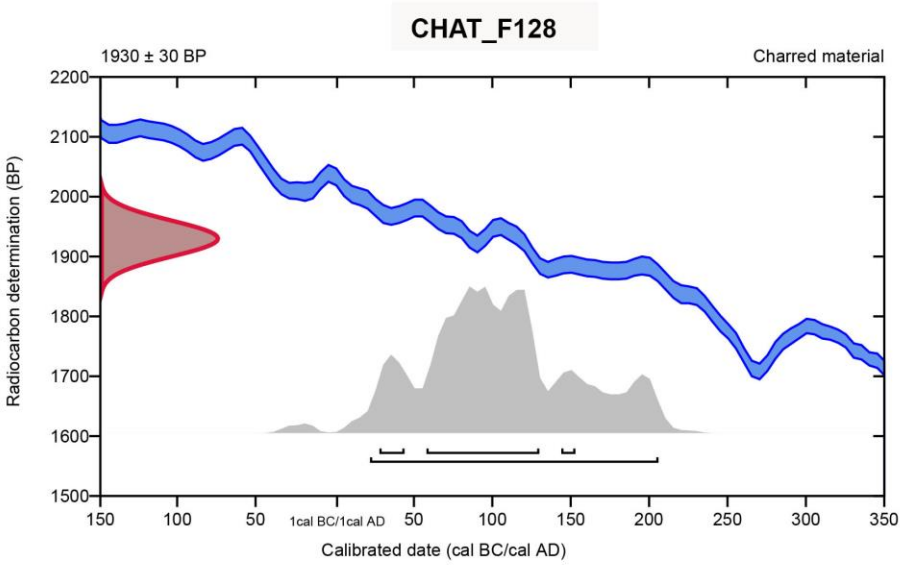
Conventional radiocarbon age **1930 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%)	22 - 206 cal AD	(1928 - 1744 cal BP)

68.2% probability

(57.1%)	58 - 130 cal AD	(1892 - 1820 cal BP)
(7.5%)	28 - 44 cal AD	(1922 - 1906 cal BP)
(3.6%)	144 - 153 cal AD	(1806 - 1797 cal BP)



Database used

INTCAL20

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL20

Reimer, et al., 2020, Radiocarbon 62(4):725-757.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 57 *:* Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F128

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(highest probability ranges: INTCAL13)

(Variables: d13C = -24.9 o/oo)

Laboratory number **Beta-511885**

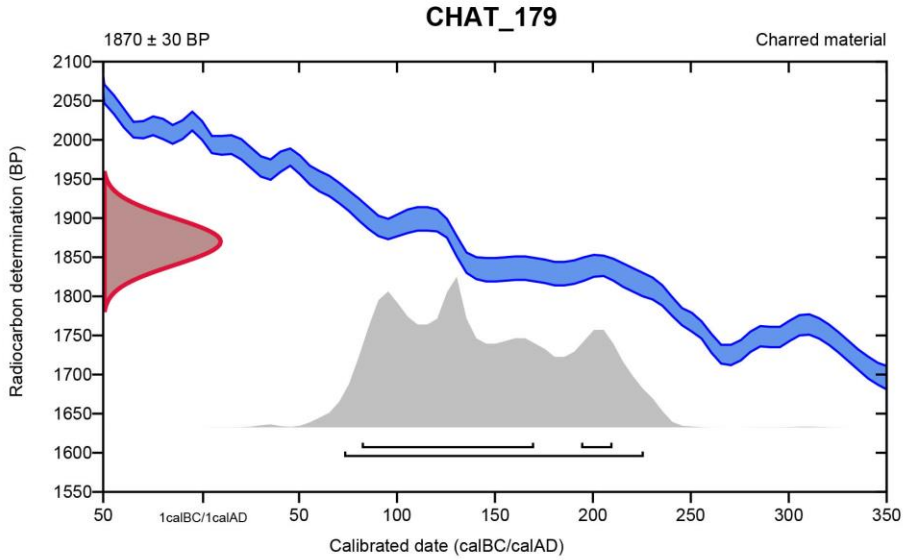
Conventional radiocarbon age **1870 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 73 - 226 cal AD (1877 - 1724 cal BP)

68.2% probability

(58.6%) 82 - 170 cal AD (1868 - 1780 cal BP)
(9.6%) 194 - 210 cal AD (1756 - 1740 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory
4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 58 *:* Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F179

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(highest probability ranges: INTCAL13)

(Variables: d13C = -26.5 o/oo)

Laboratory number **Beta-511886**

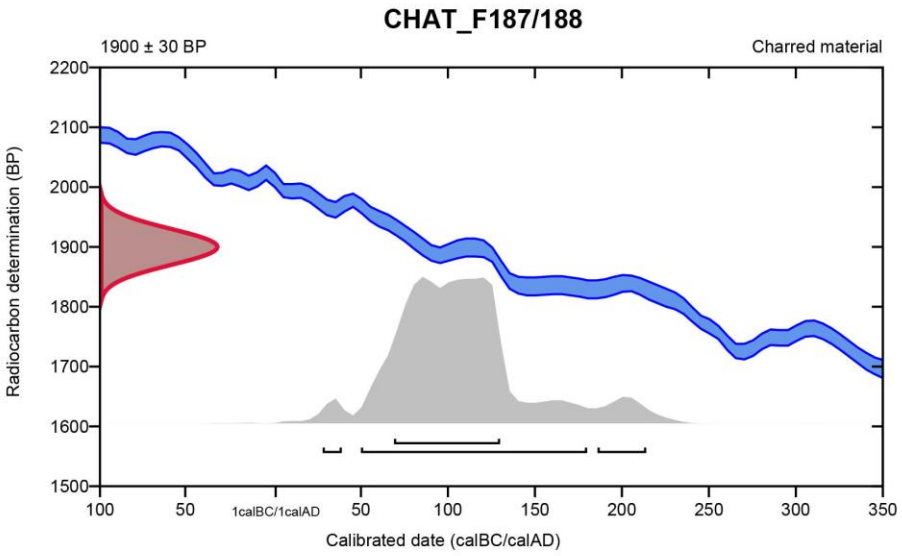
Conventional radiocarbon age **1900 ± 30 BP**

95.4% probability

(88.5%)	50 - 180 cal AD	(1900 - 1770 cal BP)
(5%)	186 - 214 cal AD	(1764 - 1736 cal BP)
(1.9%)	28 - 39 cal AD	(1922 - 1911 cal BP)

68.2% probability

(68.2%)	69 - 130 cal AD	(1881 - 1820 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 59 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F187/188

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -24.9 o/oo)

Laboratory number **Beta-544781**

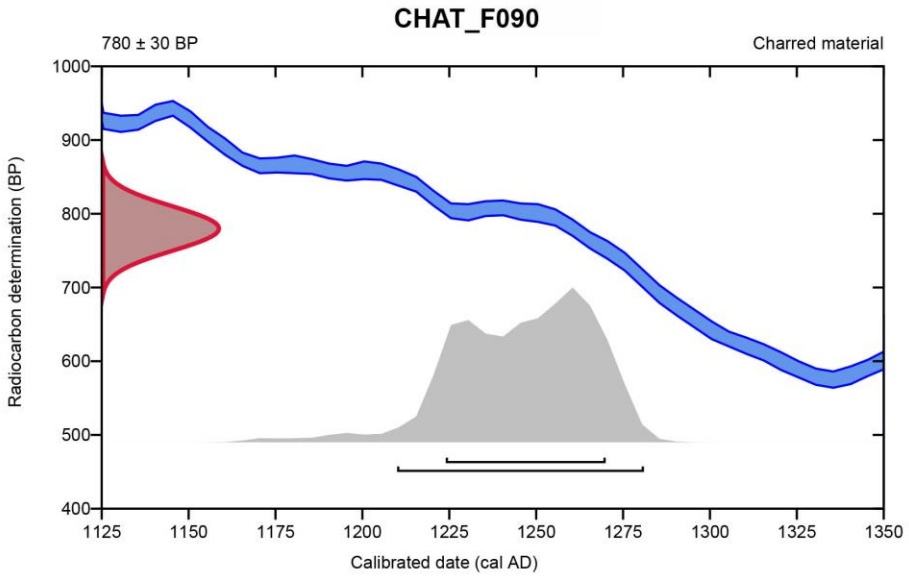
Conventional radiocarbon age **780 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 1210 - 1281 cal AD (740 - 669 cal BP)

68.2% probability

(68.2%) 1224 - 1270 cal AD (726 - 680 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 60 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F090

BetaCal 4.20

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL20)

(Variables: d13C = -24.2 o/oo)

Laboratory number **Beta-590438**

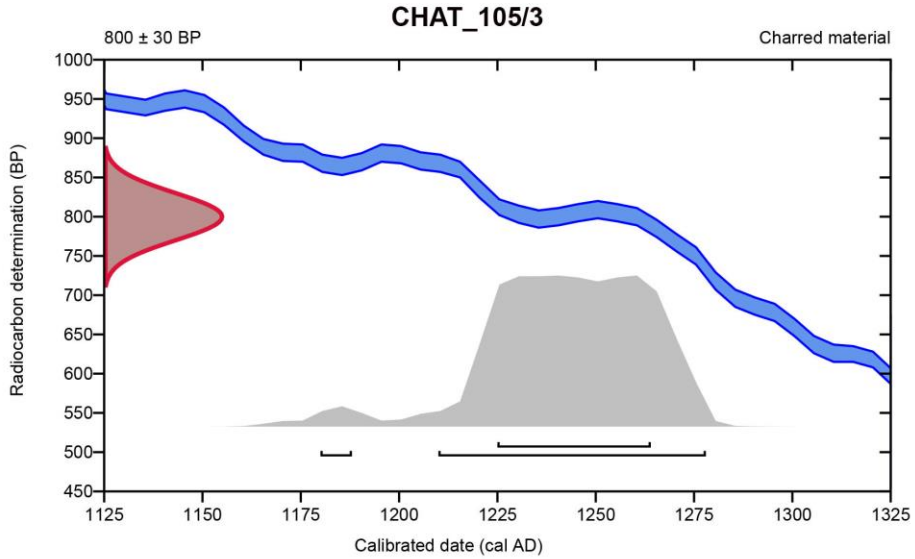
Conventional radiocarbon age **800 ± 30 BP**

95.4% probability

(93.6%)	1210 - 1278 cal AD	(740 - 672 cal BP)
(1.8%)	1180 - 1188 cal AD	(770 - 762 cal BP)

68.2% probability

(68.2%)	1225 - 1264 cal AD	(725 - 686 cal BP)



Database used

INTCAL20

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL20

Reimer, et al., 2020, Radiocarbon 62(4):725-757.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 61 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F105/3

Tableau 55 : Tableau récapitulatif présentant les datations obtenues par site en fonction du mobilier datant

N°ferrier	Type	Datation TCA	Datation céramique	Datation 14C	Datation finale
F020	Site bicolore				Indet
F035	Site bicolore				Indet
F046	Site bicolore	Antique			Indet
F051	Site bicolore				Indet
F064	Site bicolore	Antique			Indet
F085	Site bicolore	Antique	Antique		Antique
F090	Site noir			1210-1281	Médiéval
F097	Site bicolore				Indet
F105	Site noir			1210-1278	Médiéval
F107	Site noir				Indet
F121	Site bicolore	Antique	Antique		Antique
F127	Site noir	Antique	12-14e s.		Médiéval
F128	Site noir	Antique		22-206	Antique
F132	Site bicolore		10 -15e s.		Médiéval
F145	Site bicolore	Antique			Indet
F151/2	Site noir				Indet
F179	Site bicolore			73-226	Antique
F187/188	Site bicolore	Antique	Antique	50-180	Antique
F199	Site noir		13-14e s.		Médiéval
217	Site noir				Indet
F220/1	Site noir	Antique		18-19e s.	Moderne
F226	Site bicolore				Indet
F227/1	Site bicolore	Antique	Antique		Antique
F231/1	Site noir				Indet
F230	Site bicolore				Indet
F240	Site bicolore				Indet
F246/1	Site bicolore	Antique			Indet
F246/2	Site noir				Indet
F248/1	Site noir				Indet
F248/2	Site noir				Indet
F255	Site bicolore				Indet
F260	Site noir				Indet
F261	Site bicolore				Indet
F262	Site noir				Indet
F263	Site noir				Indet
F265	Site bicolore	Antique			Indet
F546	Site noir				Indet

6.1 Des régions métallurgiques aux compositions chimiques différentes

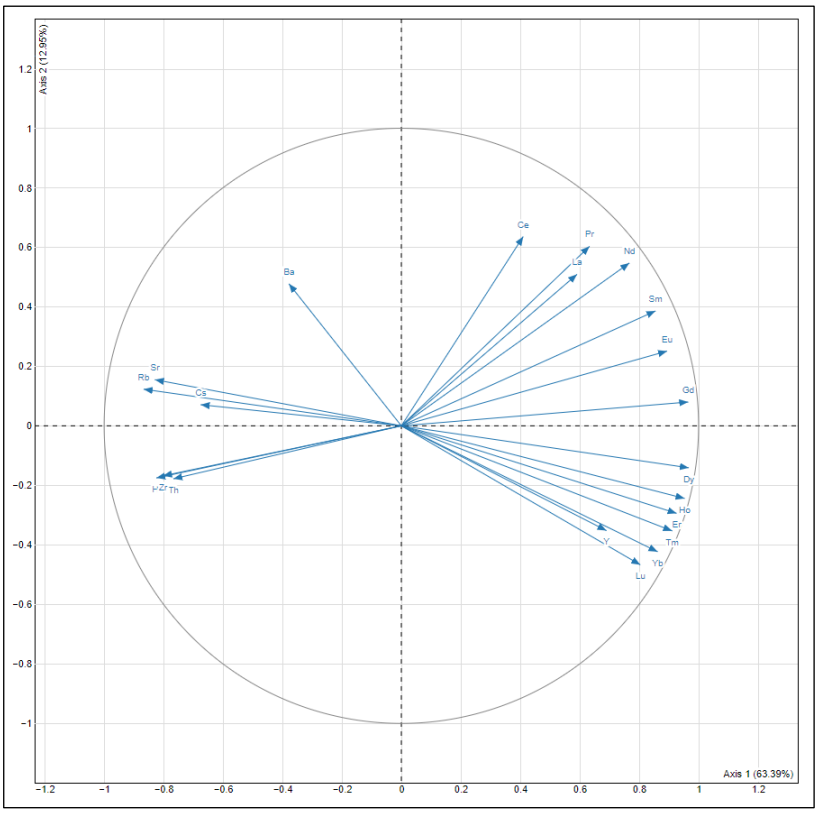


Fig. 62 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°1

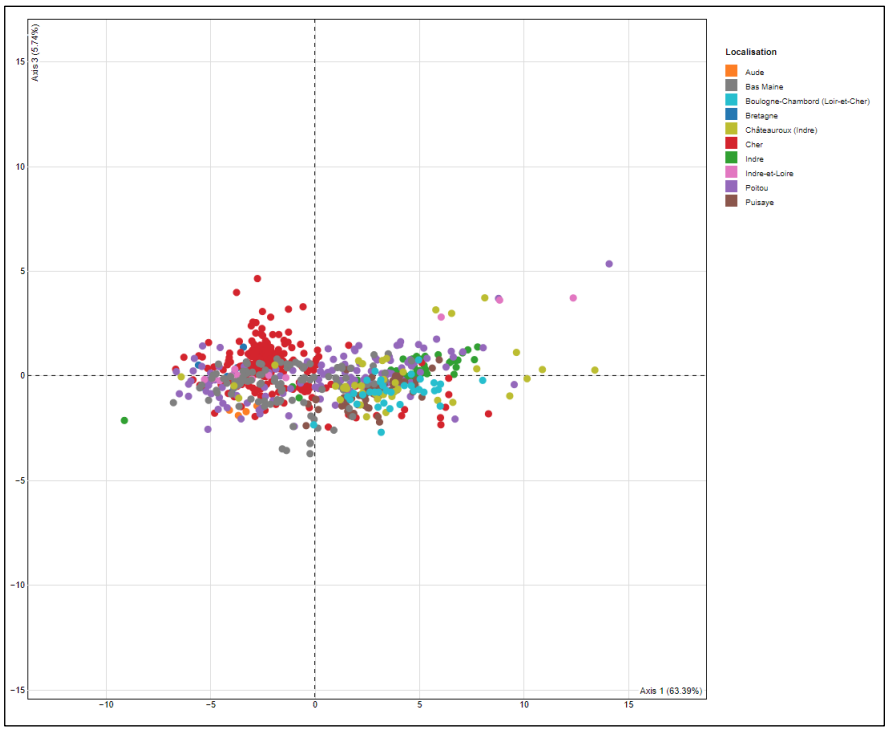


Fig. 63 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°1, réalisée à partir de la signature chimique de scories issues de huit régions de France

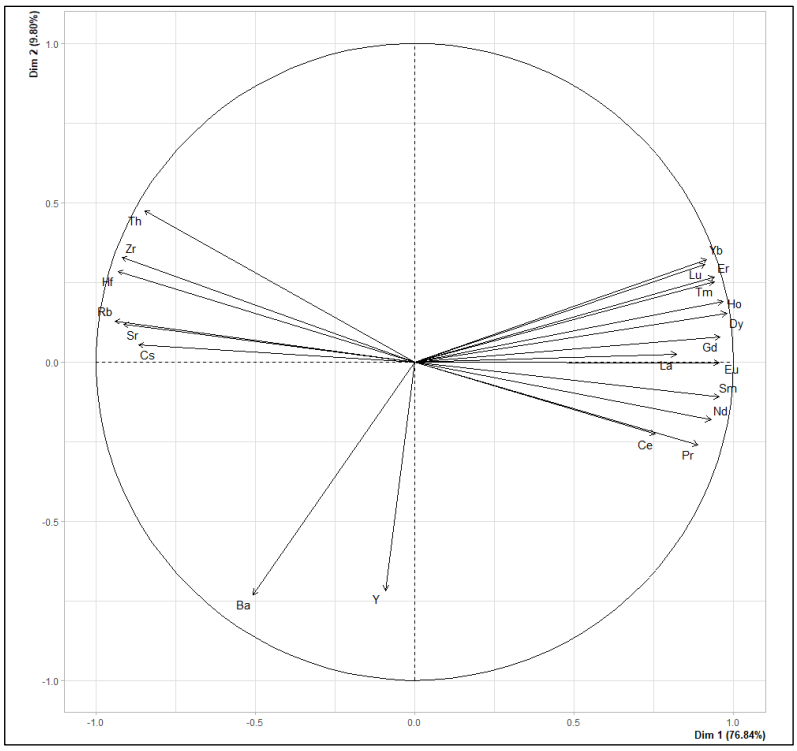


Fig. 64 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°2

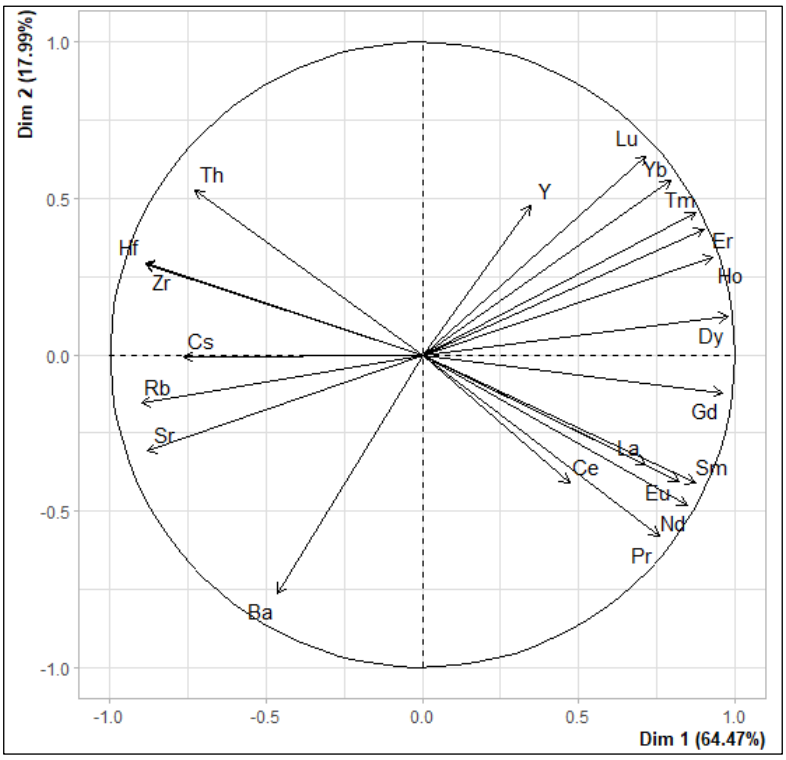


Fig. 65 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°3

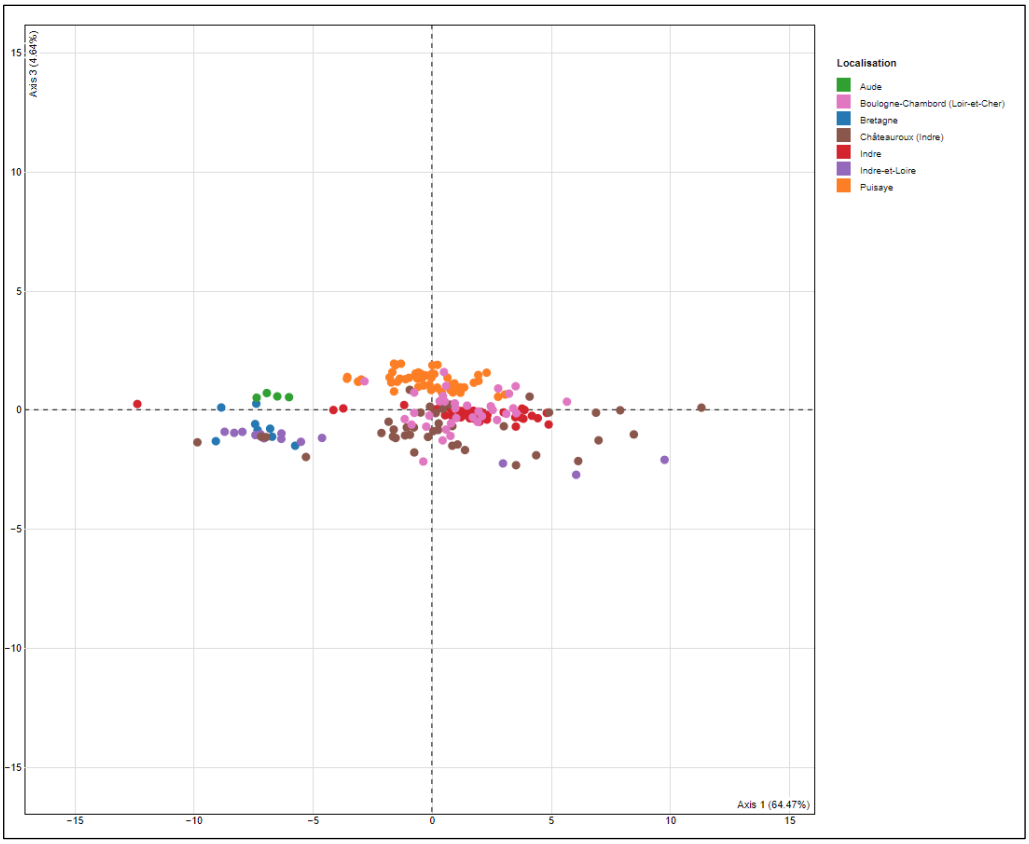


Fig. 66 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°3 effectuée à partir de la signature chimique de scories issues de l'Aude, la Bretagne, l'Indre, l'Indre-et-Loire, la Puisaye, Boulogne-Chambord et Châteauroux

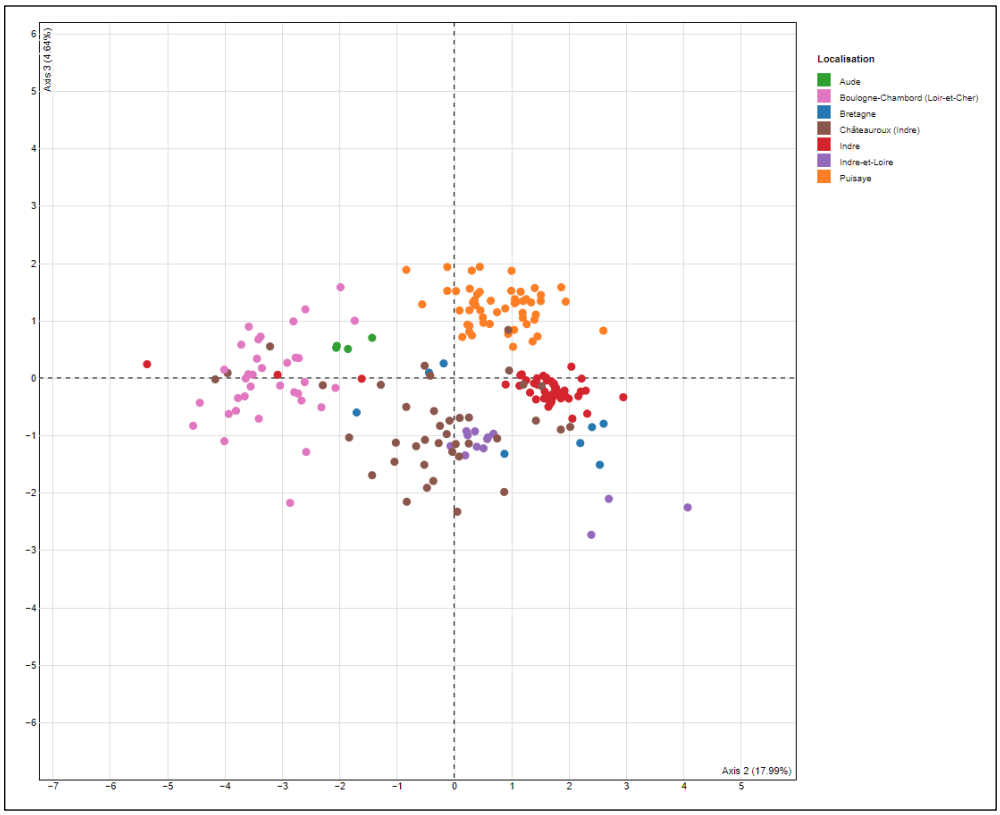


Fig. 67 : Plan factoriel (axes 2 et 3) de l'ACP n°3 effectuée à partir de la signature chimique de scories issues de l'Aude, la Bretagne, l'Indre, l'Indre-et-Loire, la Puisaye, Boulogne-Chambord et Châteauroux

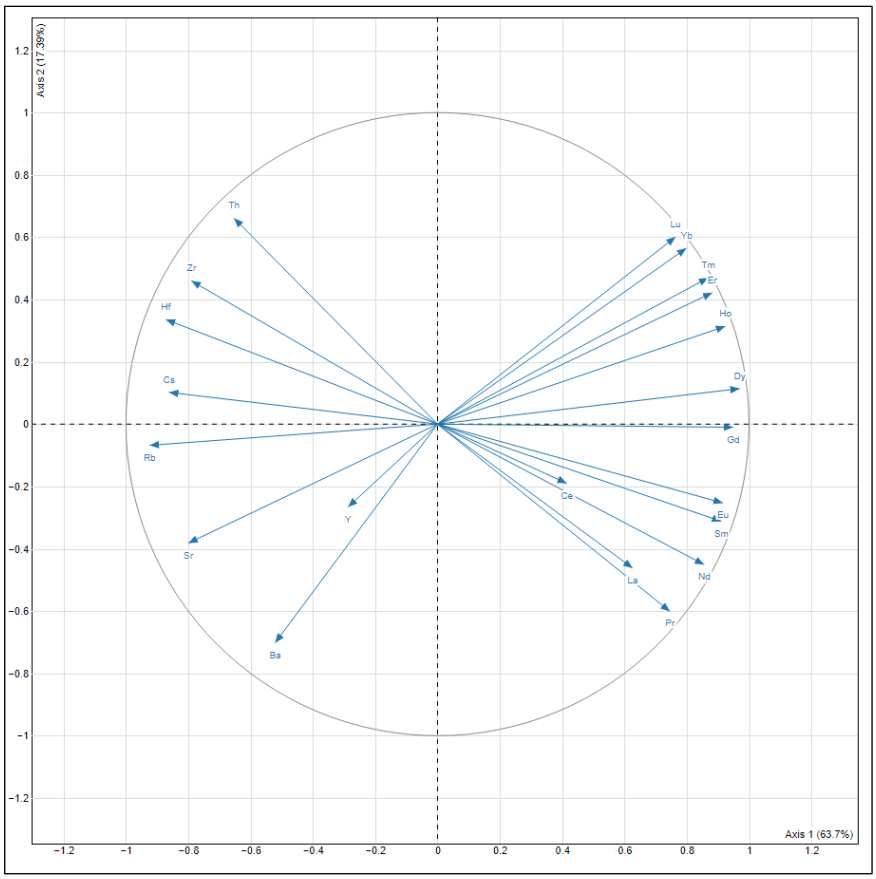


Fig. 68 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°4

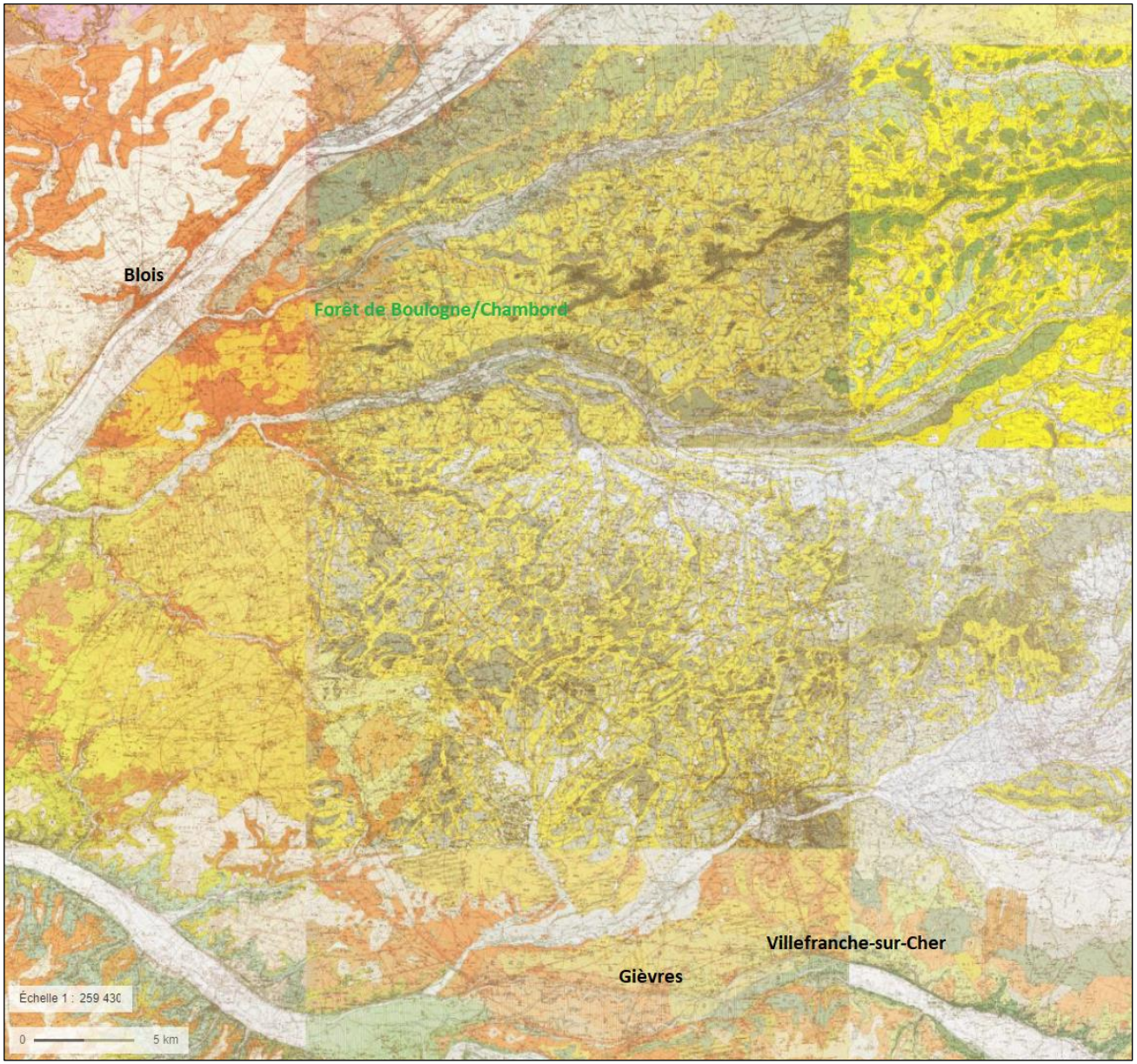


Fig. 69 : Carte géologique de la région de Blois/Romorantin (en vert clair dans la partie inférieure : Fw) (Géoportail)



Fig. 70 : Détail de la carte de la *Carte générale des deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.a.S^me^ Monseigneur le Prince* (1682)[2]

2. BnF : GE D-17866

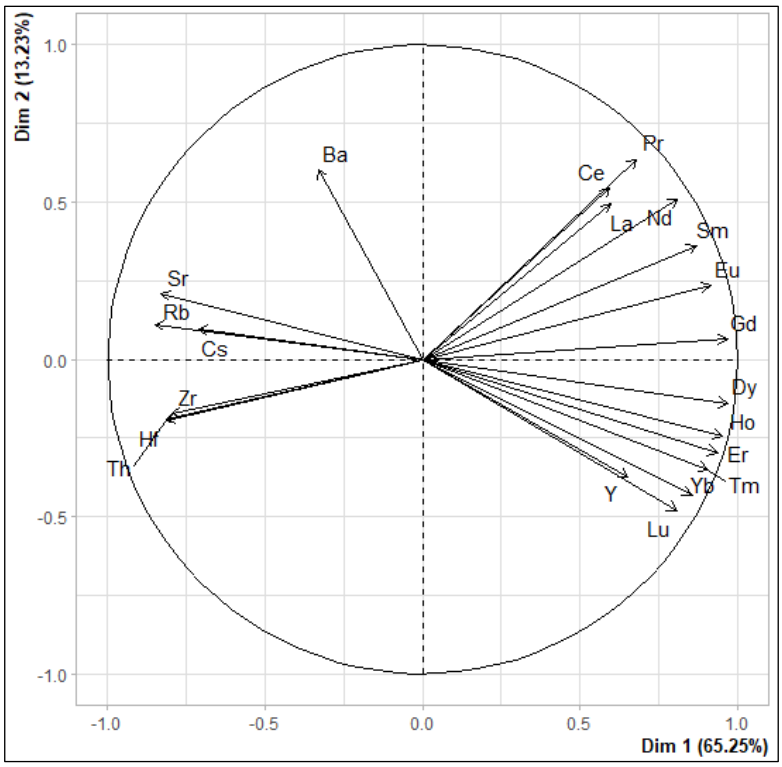


Fig. 71 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°5

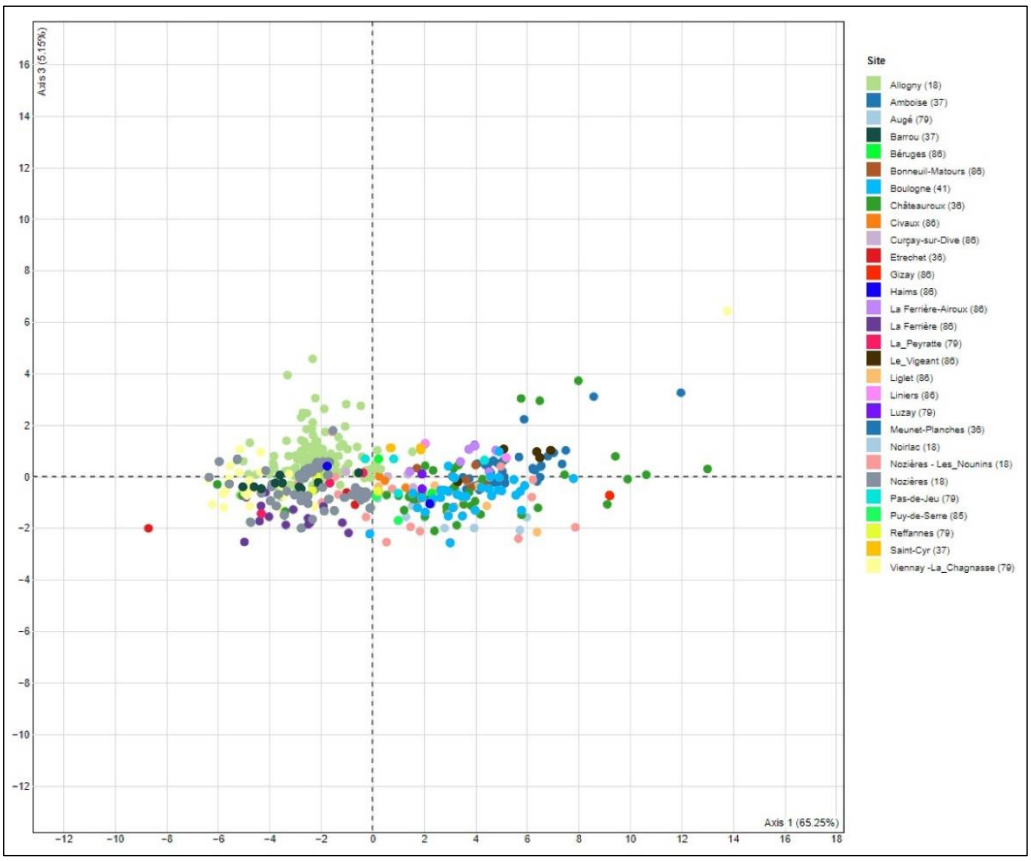


Fig. 72 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°5 réalisée à partir de la signature chimique de scories du Centre de la France (en vert : les scories de Châteauroux)

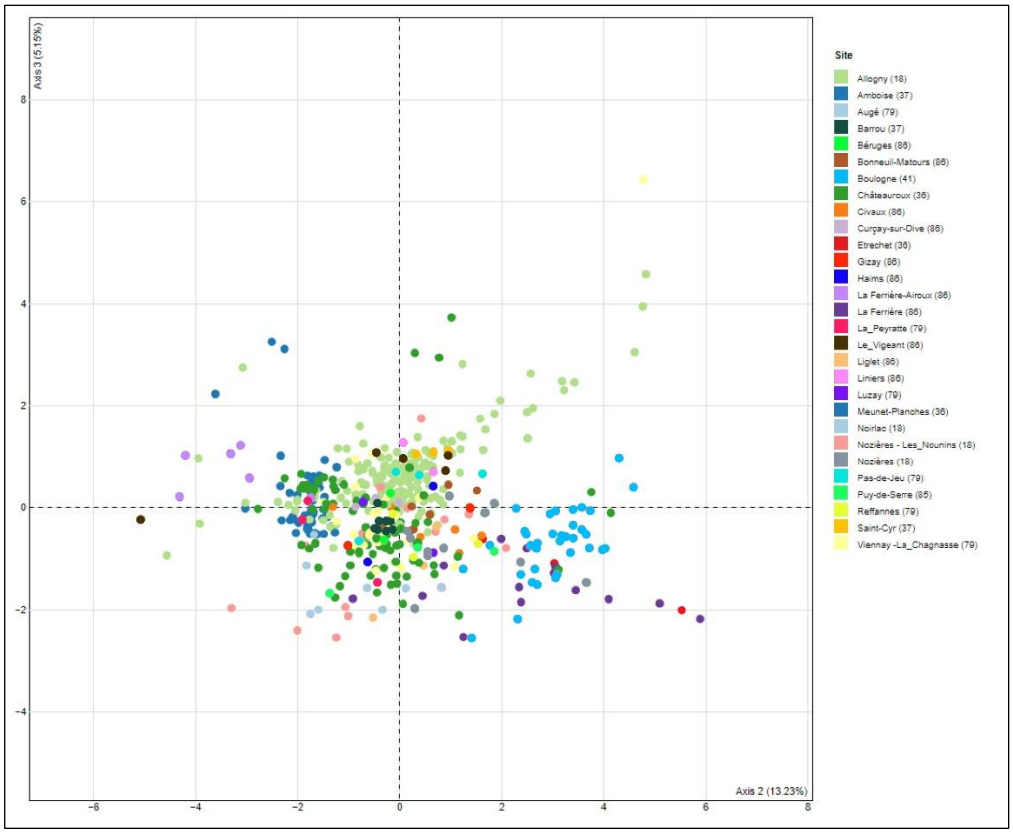


Fig. 73 : Plan factoriel (axes 2 et 3) de l'ACP n°5 réalisée à partir de la signature chimique de scories du Centre de la France (en vert : les scories de Châteauroux)

Tableau 56 : Tableau de la moyenne des teneurs en Manganèse, Césium, Lanthane, Néodyme de différents sites métallurgiques

Site	Echantillons analysés	Mn (%)	Ce (ppm)	La (ppm)	Nd (ppm)
Boulogne-Chambord (41)	33	7,48	1029,4	382,4	430,5
Le Vigeant (86)	5		799,3	285,8	406,3
Châteauroux (36)	39	2,6	1384,8	280,0	400,0
Gizay (86)	2		1142,5	410,0	390,5
Liniers (86)	2		605,0	461,0	363,0
Saint-Laurent-de-Jourdes (86)	4		435,0	329,4	282,5
Villiers/Tholon (89)	5		226,5	226,5	222,0
Noirlac (18)	5	6	342,2	221,7	207
Celle-l'Évescault (86)	2		360,0	188,5	199,0
Liglet (86)	5		430,8	155,5	198,4
Saint-Fargeau (89)	21		176,5	176,5	190,1
Meunet-Planches (36)	47		395,1	180,4	179,6
Saint-Sauvant (86)	4		310,5	170,6	172,8
Bouessay (53)	5	1,4	275,10	156,14	170,10
Usson-du-Poitou (86)	3		401,3	138,8	162,3
Aillant/Tholon (89)	24		165,2	165,2	160,8
Amboise (37)	3	0,28	250,5	118,6	142
Nozières (18)	82		117,6	164,3	126,1
La Ferrière-Airoux (86)	4		227,3	122,8	120,9
Joué-en-Charnie (72)	5	1,2	208,99	129,93	120,71
Bonnes (86)	3		375,7	108,3	118,7
Chapelle-Arthenais (53)	6	1,4	132,42	84,31	111,06
Augé (79)	3		274,0	139,5	109,5
Puy-de-Serre (85)	3		526,3	124,5	109,3
Saint-Denis-d'Orques (72)	6	0,3	184,46	99,65	104,60

Huisserie (53)	4	0,6	142,63	86,23	104,38
Pas-de-Jeu (79)	5		131,0	88,9	101,0
Cissé (86)	3		356,3	80,1	93,0
Allogny (18)	172		74,6	180,2	88,2
Savigny-l'Évescault (86)	3		262,7	96,8	85,7
Aron (53)	9	4,1	186,40	91,50	84,27
Béruges (86)	2		234,0	86,8	84,0
Ferrière-Bochard (61)	5	1,5	137,72	85,45	82,26
Laval (53)	5	2,26	118,24	72,51	80,80
Reffannes (79)	3		135,7	102,6	69,4
Le Courtil Minot (72)	12		129,6	51,03	67,51
Haims (86)	2		112,3	56,9	67,1
La Ferrière-en-Parthenay (79)	2		86,0	65,3	64,7
Pezé-le-Robert (72)	7	0,3	118,50	52,47	62,89
Anvers-le-Hamon (72)	4	1,38	111,63	83,05	62,88
Gesvres (53)	4	0,43	98,18	66,78	55,60
Bretagne (Pléchatel, Vert-Pignon, Trécélien, dominelais)	15	0,35	97,0	40,4	54,7
Saint-Pierre-la-Cours (53)	3	2,4	80,45	45,34	50,01
Jublains (53)	10	1,5	122,38	44,83	45,59
Mont-Saint-Jean (72)	5	0,39	99,98	44,07	45,24
Etrechet (36)	3		107,51	45,97	44,02
La Milleterie (72)	5		91,52	39,66	43,24
La Peyratte (79)	2		62,4	39,7	39,4
La Fontaine d'Enfer 2 (72)	5	0,5	66,28	34,94	38,2
La Ferrière	11		76,6	39,7	31,5
Les Bourdaines (72)	5		60,02	26,2	28,76
La Chagnasse	16		52,6	25,7	25,3
Viennay (79)	5		45,9	20,9	24,4
Les Martys (11)	4		36,8	24,3	23,1
Barrou (37)	10	0,181	49,9	20,86	21,95

6.2 Mise en évidence de groupes d'ateliers cohérents

6.2.1 Les caractéristiques discriminantes des ateliers métallurgiques

Tableau 57 : Tableau des caractéristiques discriminantes des ateliers de la forêt de Boulogne-Chambord

	Critères technologiques				Critère spatiaux et morphologiques	Critères ponctuels		
N° site	**Scorie en plaque**	**Scorie ferreuse**	**% Scorie Brune Rugueuse**	**Couleur prépondérante des parois**	**Localisation**	**Technique de production**	**Signature chimique**	**Datation**
064/1	Absence	Absence	- de 60 %	indet	sud-est	indet	indet	indet
094/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
110/2	Absence	Absence	- de 60 %	indet	Sud	indet	indet	indet
111/1	Présence	Absence	+ de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
113/3	Présence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
124/1	Absence	Absence	- de 60 %	indet	Sud	indet	indet	indet
124/2	Absence	Absence	- de 60 %	indet	Sud	indet	indet	indet
129/3	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Centre	indet	indet	indet
131/1	Absence	Absence	+ de 60 %	Gris	Centre	indet	indet	indet
132/1	Absence	Absence	+ de 60 %	Rouge	Centre	indet	indet	indet
137/4	Absence	Absence	+ de 60 %	Rouge	Centre	indet	indet	indet
139/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Centre	indet	Type 1	indet
139/2	Absence	Présence	- de 60 %	Gris	Centre	indet	indet	indet
142/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Centre	Technique 1	indet	indet
145/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
146/2	Présence	Présence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
147/2	Absence	Absence	+ de 60 %	Gris	Centre	indet	indet	indet
150/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	Type 1	7e - 8e
151/2	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
151/3	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	Médiéval
153/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
154/2	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	Type 1	indet
155/1	Absence	Absence	+ de 60 %	Gris	Sud	Technique 1 et 2	Type 1	6e - 7e
156/2	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
160/1	Présence	Présence	- de 60 %	Gris	Sud	indet	indet	indet
169/1	Absence	Absence	+ de 60 %	Rouge	Ouest	indet	indet	Antiquité tardive/HMA

176/1	Présence	Absence	+ de 60 %	Gris	Ouest	Technique 1	indet	HMA
185/1	Absence	Absence	+ de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	Antiquité tardive/HMA
190/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
190/2	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
191/2	Absence	Absence	+ de 60 %	indet	sud-ouest	Technique 1	indet	Médiéval
191/3	Absence	Présence	+ de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
193/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
193/2	Absence	Absence	+ de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	6e - 7e
194/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
194/2	Absence	Présence	+ de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
195/1	Présence	Présence	- de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	Type 1	indet
195/3	Absence	Absence	+ de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
195/4	Absence	Présence	- de 60 %	indet	sud-ouest	indet	Type 1	indet
224/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	sud-ouest	indet	indet	indet
F371/1	Absence	Absence	- de 60 %	Rouge	Centre	indet	indet	Antique/med
F447/1	Absence	Absence	- de 60 %	Gris	Centre	Technique 2	indet	7e - 8e
F489/1	Absence	Absence	+ de 60 %	Gris	Est	Technique 2	Type 1	6e - 7e

Tableau 58 : Tableau des caractéristiques discriminantes des ateliers de la forêt de Châteauroux

	Critères technologiques					**Critères spatiaux et morphologiques**		**Critères ponctuels**		
N° site	**% scorie écoulée**	**Scorie en plaque**	**% de scories à cordons agglomérés**	**Scorie ferreuse**	**% Scorie Brune Rugueuse**	**Type de site**	**Localisation**	**Technique de production**	**Type de signature chimique**	**Datation**
F020	- de 50 %	Absence	- de 30 %	Présence	+ de 50 %	sédiment bicolore	nord-est	indet	indet	indet
F035	- de 50 %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	nord	indet	indet	indet
F046	- de 50 %	Absence	- de 30 %	Présence	- de 50 %	sédiment bicolore	nord-est	indet	indet	indet
F051	- de 50 %	Absence	- de 30 %	Présence	+ de 50 %	sédiment bicolore	nord-est	Technique 3	Type 2	indet
F064	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	Présence	- de 50 %	sédiment bicolore	nord	indet	indet	Antique
F085	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	Présence	+ de 50 %	sédiment bicolore	nord-ouest	indet	Type 2	Antique
F090	- de 50 %	Absence	+ de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	nord	Technique 3	Type 3	1210-1278
F097	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	nord-ouest	indet	indet	indet

F105	- de 50 %	Absence	+ de 30 %	absence	+ de 50 %	sédiment noir	nord-ouest	Technique 3 et 4	Type 3	1210-1278
F107	+ de 50 % %	Absence	+ de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	nord-ouest	Technique 3	indet	indet
F121	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	centre	indet	indet	Antique
F127	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	Présence	+ de 50 %	sédiment noir	centre	indet	indet	mediéval
F128	- de 50 %	Présence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	centre	Technique 3	Type 2	22-206
F132	- de 50 %	Absence	- de 30 %	Présence	+ de 50 %	sédiment bicolore	centre	Indet	indet	mediéval
F145	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	Présence	- de 50 %	sédiment bicolore	centre	Indet	indet	indet
F151/2	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	+ de 50 %	sédiment noir	sud	Indet	indet	indet
F179	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	Présence	+ de 50 %	sédiment bicolore	centre	Indet	Type 1	73-226
F187/188	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	Présence	- de 50 %	sédiment bicolore	centre	Technique 4	Type 2	50-180
F199	- de 50 %	Absence	+ de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	ouest	Indet	Type 2-3	mediéval
217	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	ouest	Indet	indet	indet
F220/1	- de 50 %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	ouest	Indet	indet	indet
F226	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	+ de 50 %	sédiment bicolore	est	Indet	indet	indet
F227	- de 50 %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	est	Indet	indet	Antique
F231/1	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	+ de 50 %	sédiment noir	sud-est	Indet	indet	indet
F230	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	sud-est	Indet	indet	indet
F240	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	sud	Indet	indet	indet
F246/1	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	+ de 50 %	sédiment bicolore	sud-est	Indet	indet	Antique
F246/2	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	sud-est	Indet	indet	indet
F248/1	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	sud-est	Indet	indet	indet
F248/2	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	sud-est	Indet	indet	indet

F255	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	sud-est	indet	indet	indet
F260	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	sud-est	indet	Type 2	indet
F261	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	sud-est	indet	indet	indet
F262	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	sud-est	indet	indet	indet
F263	+ de 50 % %	Présence	+ de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	sud-est	indet	indet	indet
F265	+ de 50 % %	Absence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment bicolore	sud-est	indet	indet	Antique
F546	+ de 50 % %	Présence	- de 30 %	absence	- de 50 %	sédiment noir	sud-ouest	indet	indet	indet

6.2.2 Structuration du tableau de données et méthode d'analyse statistique

Tableau 59 : Tableau des critères discriminants et de leur valeur pour chaque atelier de la forêt de Boulogne/Chambord (na : non applicable/pas de réponse)

	Critères technologiques			
N° site	**Absence/Présence de scorie en plaque (0/1)**	**Absence/Présence de scorie ferreuse (0/1)**	**% Scorie Brune Rugueuse (- de 60 % = 0 ; + de 60 % = 1)**	**Couleur prépondérante des parois (Gris = 0 ; rouge = 1)**
064/1	0	0	0	na
094/1	0	0	0	0
110/2	0	0	0	na
111/1	1	0	1	0
113/3	1	0	0	0
124/1	0	0	0	na
124/2	0	0	0	na
129/3	0	0	0	0
131/1	0	0	1	0
132/1	0	0	1	1
137/4	0	0	1	1
139/1	0	0	0	0
139/2	0	1	0	0
142/1	0	0	0	0
145/1	0	0	0	0
146/2	1	1	0	0
147/2	0	0	1	0
150/1	0	0	0	0
151/2	0	0	0	0
151/3	0	0	0	0
153/1	0	0	0	0
154/2	0	0	0	0
155/1	0	0	1	0
156/2	0	0	0	0
160/1	1	1	0	0
169/1	0	0	1	1
176/1	1	0	1	0
185/1	0	0	1	0
190/1	0	0	0	0
190/2	0	0	0	0
191/2	0	0	1	na
191/3	0	1	1	0
193/1	0	0	0	0
193/2	0	0	1	0
194/1	0	0	0	0
194/2	0	1	1	0
195/1	1	1	0	0
195/3	0	0	1	0
195/4	0	1	0	na
224/1	0	0	0	0
F371/1	0	0	0	1
F447/1	0	0	0	0
F489/1	0	0	1	0

Tableau 60 : Tableau des critères discriminants et de leur valeur pour chaque atelier de la forêt de Châteauroux (na : non applicable/pas de réponse)

	Critères technologiques				
N° site	**% scorie écoulée (- de 50 % = 0 ; + de 50 % = 1)**	**Absence/Présence de scorie en plaque (0/1)**	**% de scories à cordons agglomérés (- de 30 % ; + de 30 %)**	**Absence/Présence de scorie ferreuse (0/1)**	**% Scorie Brune Rugueuse (- de 50 % = 0 ; + de 50 % = 1)**
F020	0	0	0	1	1
F035	0	0	0	0	0
F046	0	0	0	1	0
F051	0	0	0	1	1
F064	1	0	0	1	0
F085	1	0	0	1	1
F090	0	0	1	0	0
F097	1	0	0	0	0
F105	0	0	1	0	1
F107	1	0	1	0	0
F121	1	0	0	0	0
F127	1	1	0	1	1
F128	0	1	0	0	0
F132	0	0	0	1	1
F145	1	1	0	1	0
F151/2	1	0	0	0	1
F179	1	1	0	1	1
F187/188	1	1	0	1	0
F199	0	0	1	0	0
217	1	0	0	0	0
F220/1	0	0	0	0	0
F226	1	0	0	0	1
F227	0	0	0	0	0
F231/1	1	0	0	0	1
F230	1	0	0	0	0
F240	1	1	0	0	0
F246/1	1	0	0	0	1
F246/2	1	0	0	0	0
F248/1	1	0	0	0	0
F248/2	1	1	0	0	0
F255	1	1	0	0	0
F260	1	0	0	0	0
F261	1	0	0	0	0
F262	1	1	0	0	0
F263	1	1	1	0	0
F265	1	0	0	0	0
F546	1	1	0	0	0

Tableau 61 : Tableau des résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir des critères technologiques des ateliers métallurgique de Boulogne/Chambord
(Travail effectué avec les distances euclidiennes et binaires)

	Critères technologiques					
N° site	Absence/Présence de scorie en plaque (0/1)	Absence/Présence de scorie ferreuse (0/1)	% Scorie Brune Rugueuse (- de 60 % = 0 ; + de 60 % = 1)	Couleur prépondérante des parois (Gris = 0 ; rouge = 1)	eucli ward.D2	binary ward.D2
191/3	0	1	1	0	2.2.1	2.2.1
194/2	0	1	1	0	2.2.1	2.2.1
146/2	1	1	0	0	2.2.2	2.2.2
160/1	1	1	0	0	2.2.2	2.2.2
195/1	1	1	0	0	2.2.2	2.2.2
111/1	1	0	1	0	2.2.2	2.2.2
176/1	1	0	1	0	2.2.2	2.2.2
113/3	1	0	0	0	2.2.2	2.2.2
131/1	0	0	1	0	2.1.1	2.1.1
147/2	0	0	1	0	2.1.1	2.1.1
155/1	0	0	1	0	2.1.1	2.1.1
185/1	0	0	1	0	2.1.1	2.1.1
191/2	0	0	1	na	2.1.1	2.1.1
193/2	0	0	1	0	2.1.1	2.1.1
195/3	0	0	1	0	2.1.1	2.1.1
F489/1	0	0	1	0	2.1.1	2.1.1
195/4	0	1	0	na	2.2.1	2.2.1
139/2	0	1	0	0	2.2.1	2.2.1
064/1	0	0	0	na	1	1
094/1	0	0	0	0	1	1
110/2	0	0	0	na	1	1
139/1	0	0	0	0	1	1
142/1	0	0	0	0	1	1
145/1	0	0	0	0	1	1
150/1	0	0	0	0	1	1
151/2	0	0	0	0	1	1
151/3	0	0	0	0	1	1
153/1	0	0	0	0	1	1
154/2	0	0	0	0	1	1
156/2	0	0	0	0	1	1
190/1	0	0	0	0	1	1
190/2	0	0	0	0	1	1
193/1	0	0	0	0	1	1
194/1	0	0	0	0	1	1
224/1	0	0	0	0	1	1
F447/1	0	0	0	0	1	1
124/1	0	0	0	na	1	1
124/2	0	0	0	na	1	1
129/3	0	0	0	0	1	1
F371/1	0	0	0	1	2.1.2	2.1.2
169/1	0	0	1	1	2.1.2	2.1.2
132/1	0	0	1	1	2.1.2	2.1.2
137/4	0	0	1	1	2.1.2	2.1.2

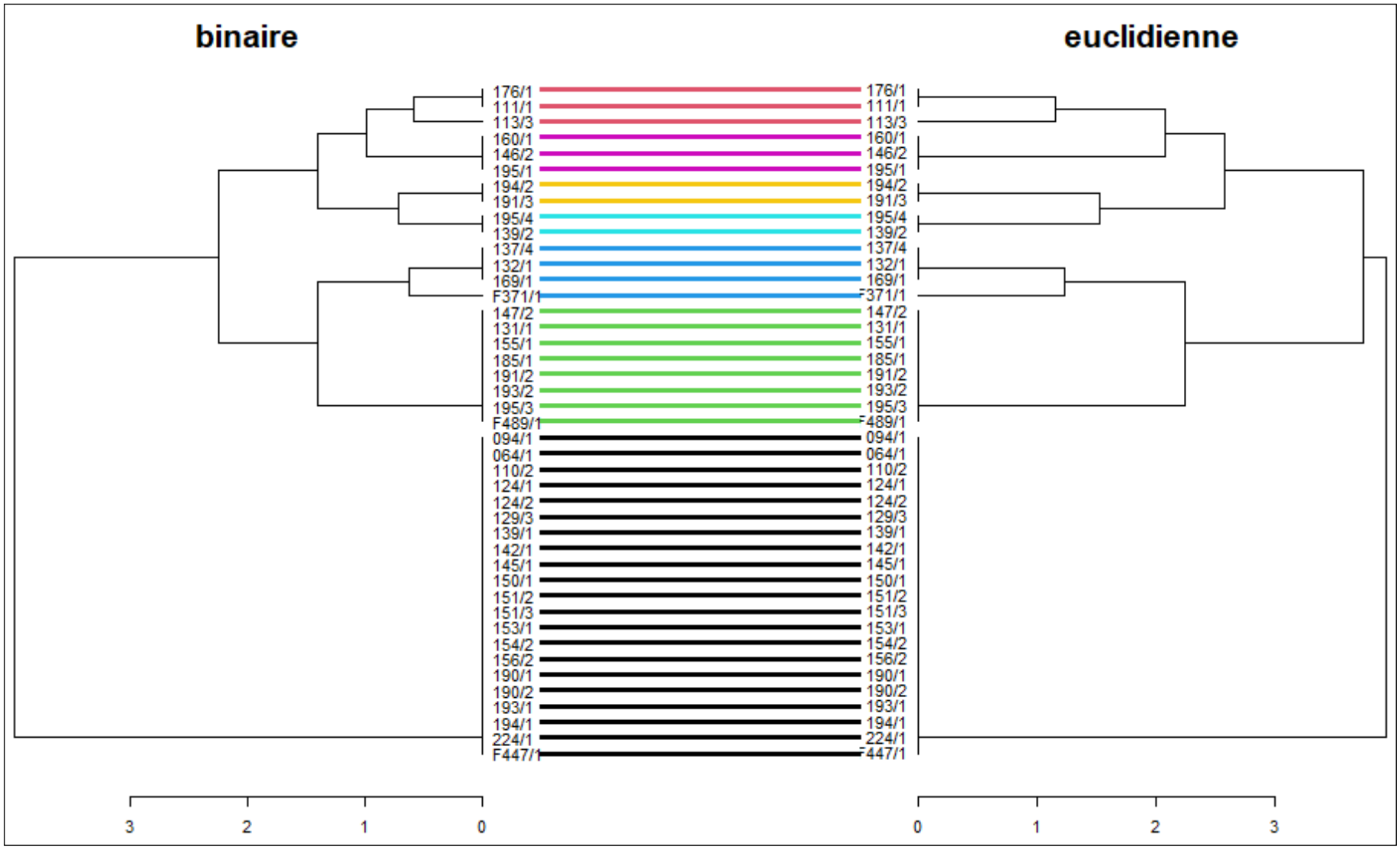


Fig. 74 : Dendrogramme présentant les classifications hiérarchiques ascendantes des ateliers de Boulogne-Chambord réalisées avec les deux types de distance (euclidienne et binaire)

Tableau 62 : Tableau des résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir des critères technologiques des ateliers métallurgique de Châteauroux
(Travail effectué avec les distances euclidiennes et binaires)

N° site	% scorie écoulée (- de 50 % = 0 ; + de 50 % = 1)	Absence/Présence de scorie en plaque (0/1)	% de scories à cordons agglomérés (- de 30 % ; + de 30 %)	Absence/Présence de scorie ferreuse (0/1)	% Scorie Brune Rugueuse (- de 50 % = 0 ; + de 50 % = 1)	eucli cluster	binary cluster
F035	0	0	0	0	0	4.2	4.2
F090	0	0	1	0	0	4.2	4.2
F105	0	0	1	0	1	4.2	4.2
F199	0	0	1	0	0	4.2	4.2
F220/1	0	0	0	0	0	4.2	4.2
F227	0	0	0	0	0	4.2	4.1
F128	0	1	0	0	0	4.2	1
F107	1	0	1	0	0	1	1
F240	1	1	0	0	0	1	1
F248/2	1	1	0	0	0	1	1
F255	1	1	0	0	0	1	1
F262	1	1	0	0	0	1	1
F263	1	1	1	0	0	1	1
F546	1	1	0	0	0	1	1
F020	0	0	0	1	1	3.2	3.2
F051	0	0	0	1	1	3.2	3.2
F132	0	0	0	1	1	3.2	3.2
F046	0	0	0	1	0	3.1	3.2
F064	1	0	0	1	0	3.1	3.1
F085	1	0	0	1	1	3.1	3.1
F127	1	1	0	1	1	3.1	3.1
F145	1	1	0	1	0	3.1	3.1
F179	1	1	0	1	1	3.1	3.1
F187/188	1	1	0	1	0	3.1	3.1
217	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F097	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F121	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F230	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F246/2	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F248/1	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F260	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F261	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F265	1	0	0	0	0	2.1	2.1
F151/2	1	0	0	0	1	2.2	2.2
F226	1	0	0	0	1	2.2	2.2
F231/1	1	0	0	0	1	2.2	2.2
F246/1	1	0	0	0	1	2.2	2.2

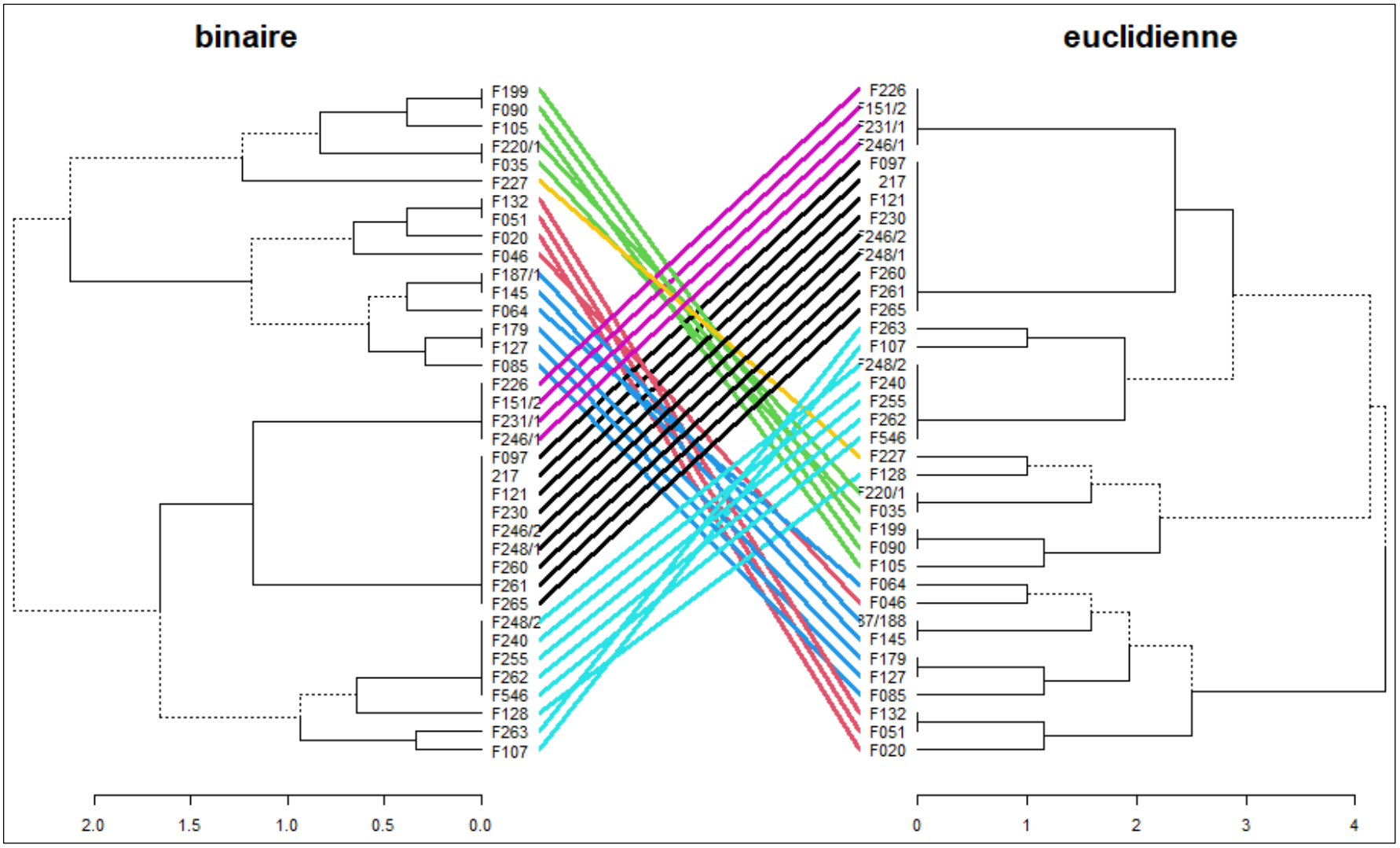


Fig. 75 : Dendrogramme présentant les classifications hiérarchiques ascendantes des ateliers de Châteauroux réalisées avec les deux types de distance (euclidienne et binaire)

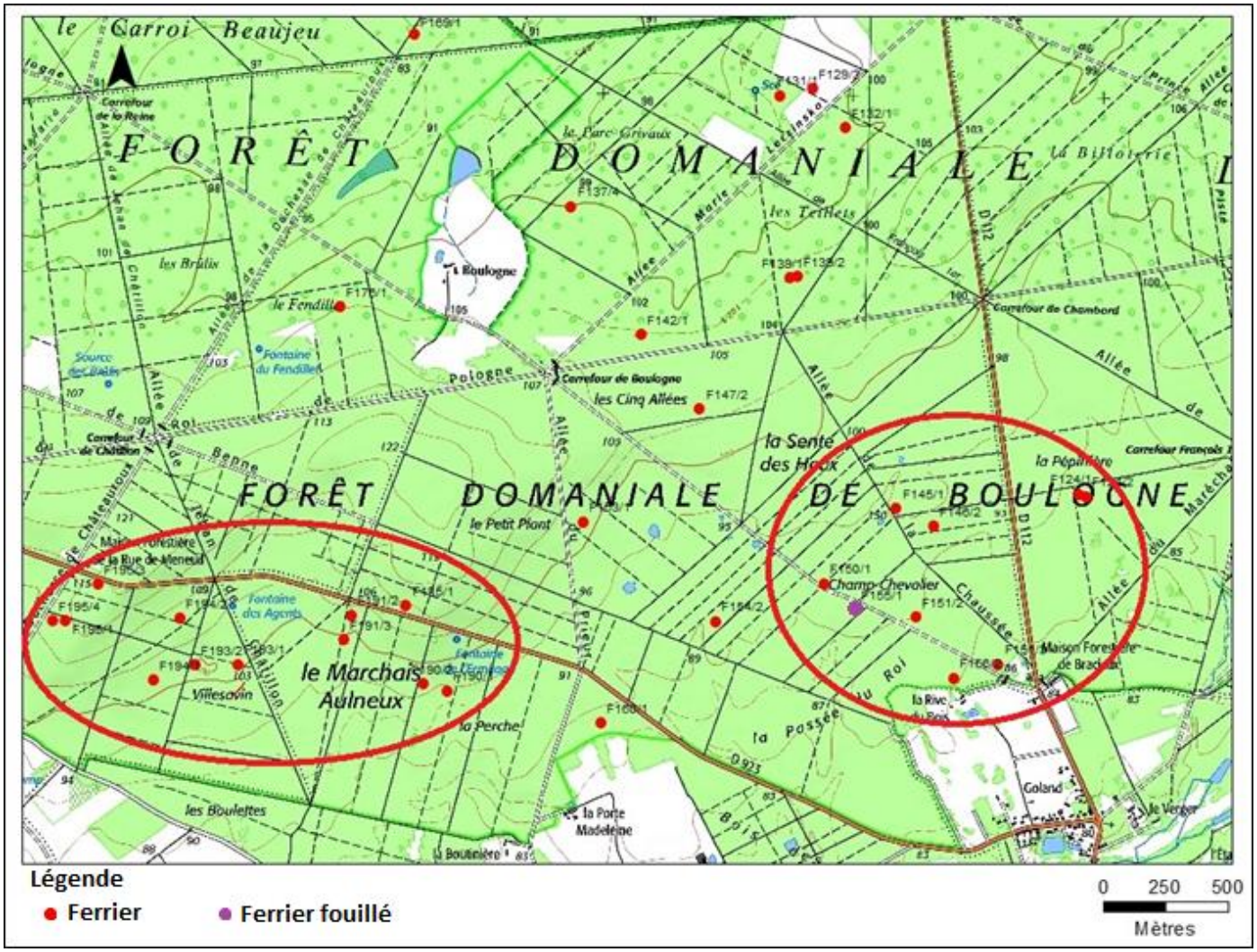


Fig. 76 *:* Localisation des deux zones de concentration métallurgique observées dans la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Fig. 77 : Carte de l'extension des deux campagnes de fouille réalisées dans le ferrier F155/1

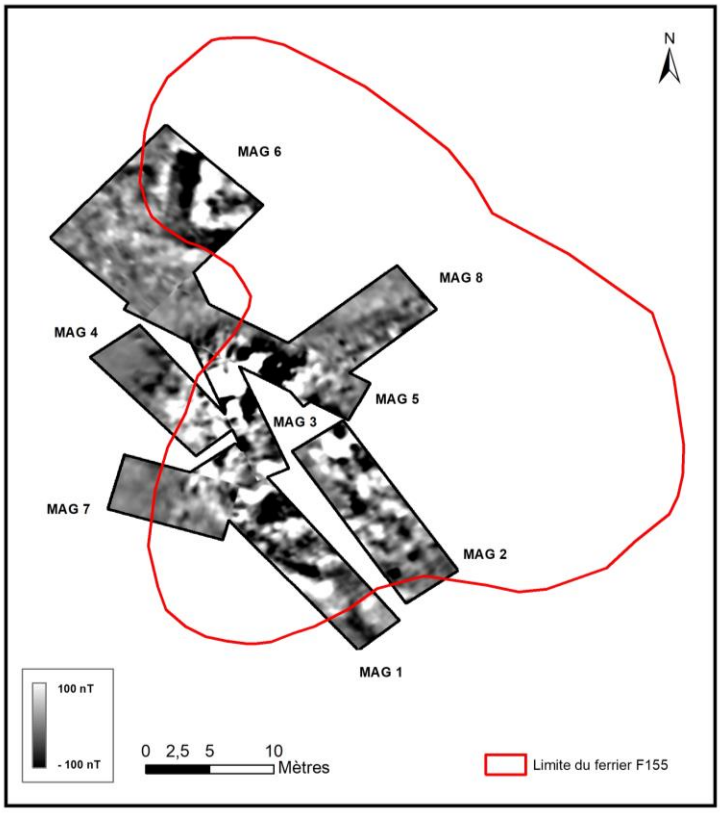


Fig. 78 : Carte des anomalies magnétiques observées sur le ferrier F155/1 en 2020 (B. Gouhier)

7.1 Un atelier organisé et délimité



Fig. 79 : Plan et photographie de la structure indurée et composée de nombreux fragments de minerai (Sondage 1-B)

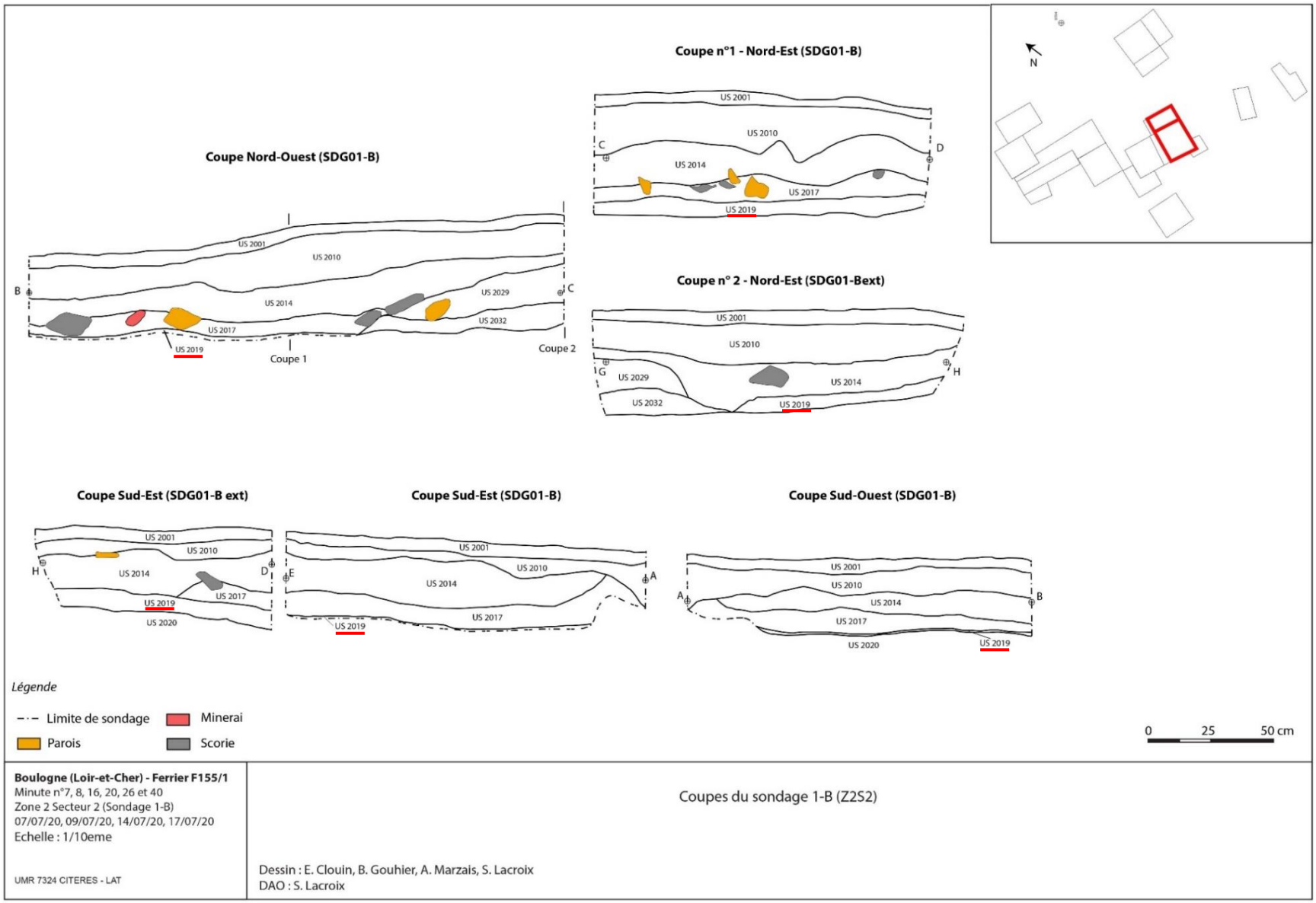


Fig. 80 : Coupes du sondage où est observée l'aire de grillage



Fig. 81 : Photographie générale et de détail du sol d'atelier observé dans la zone de réduction
(Respectivement vue vers le nord-ouest et vers l'ouest)

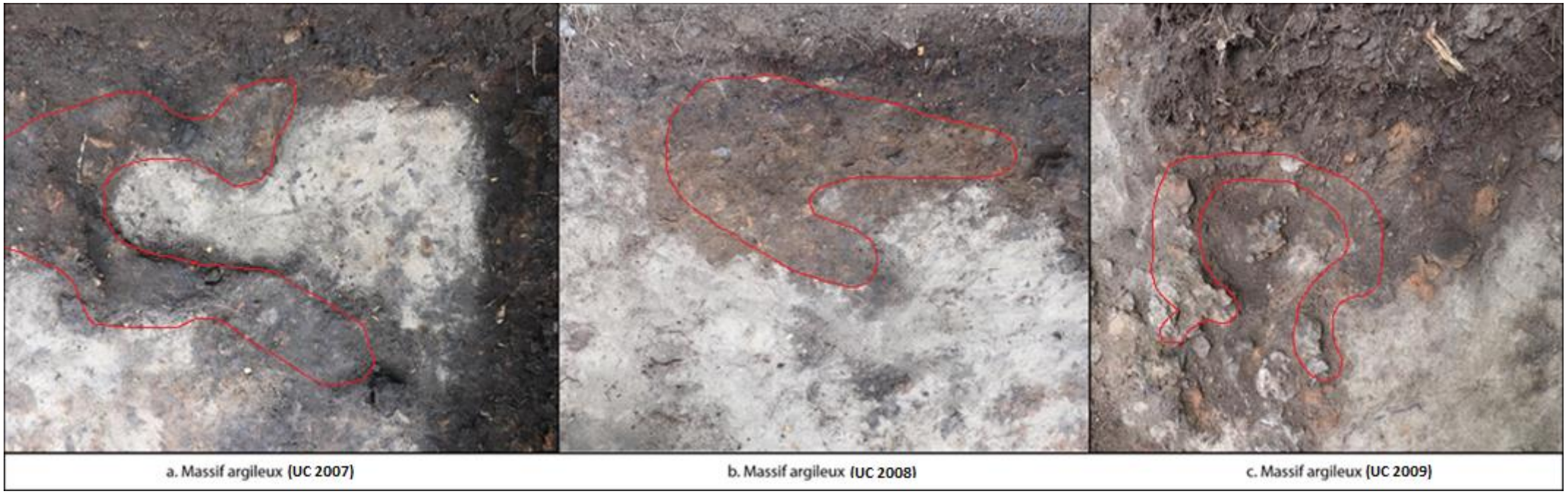


Fig. 82 : Photographie des trois masses d'argile observées dans la zone de réduction

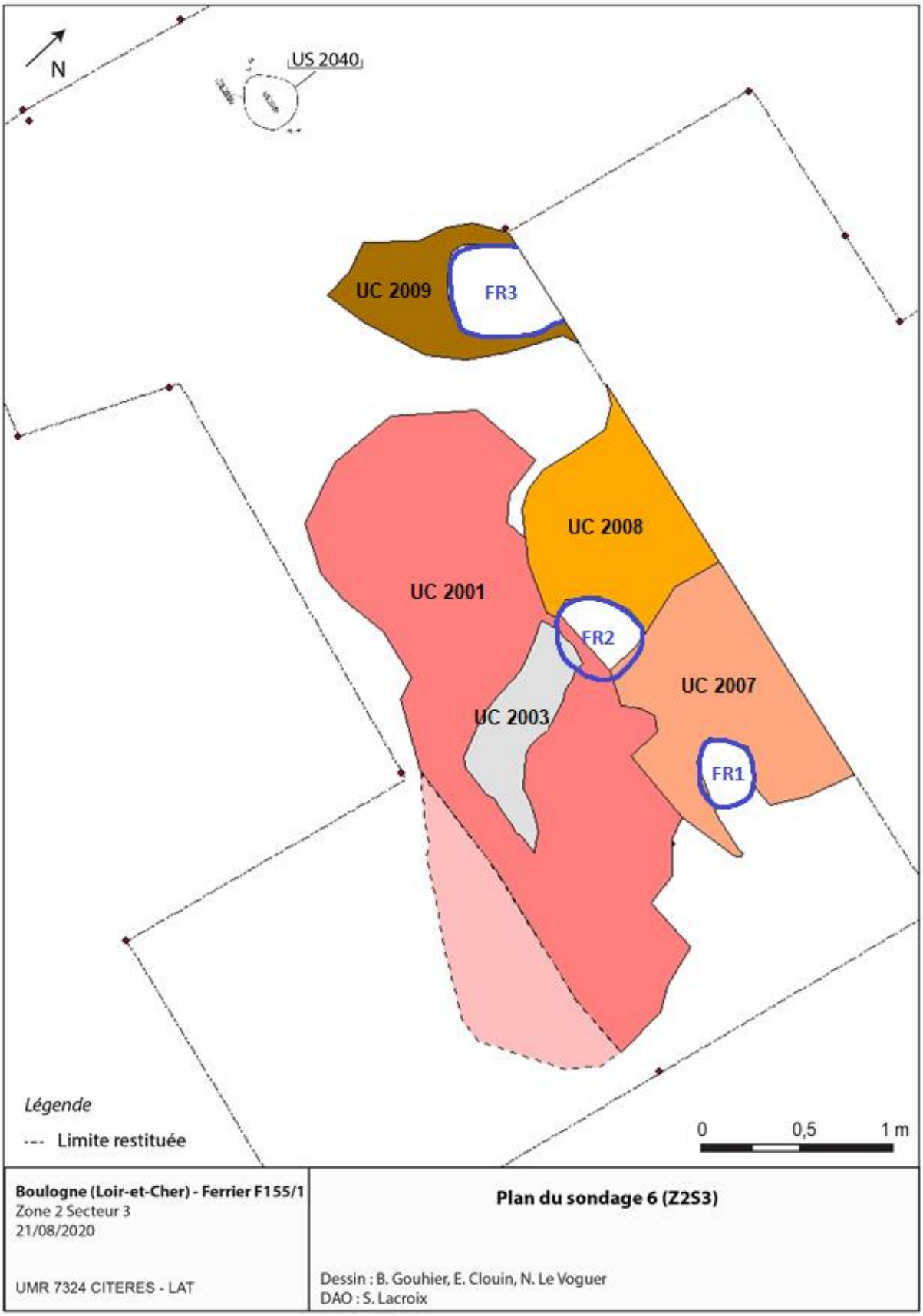


Fig. 83 : Plan des trois masses d'argile (UC 2007, 2008, 2009), de l'emplacement restitué de la cuve des fours (FR1, Fr2 et Fr3) et du sol d'atelier (UC 2001)

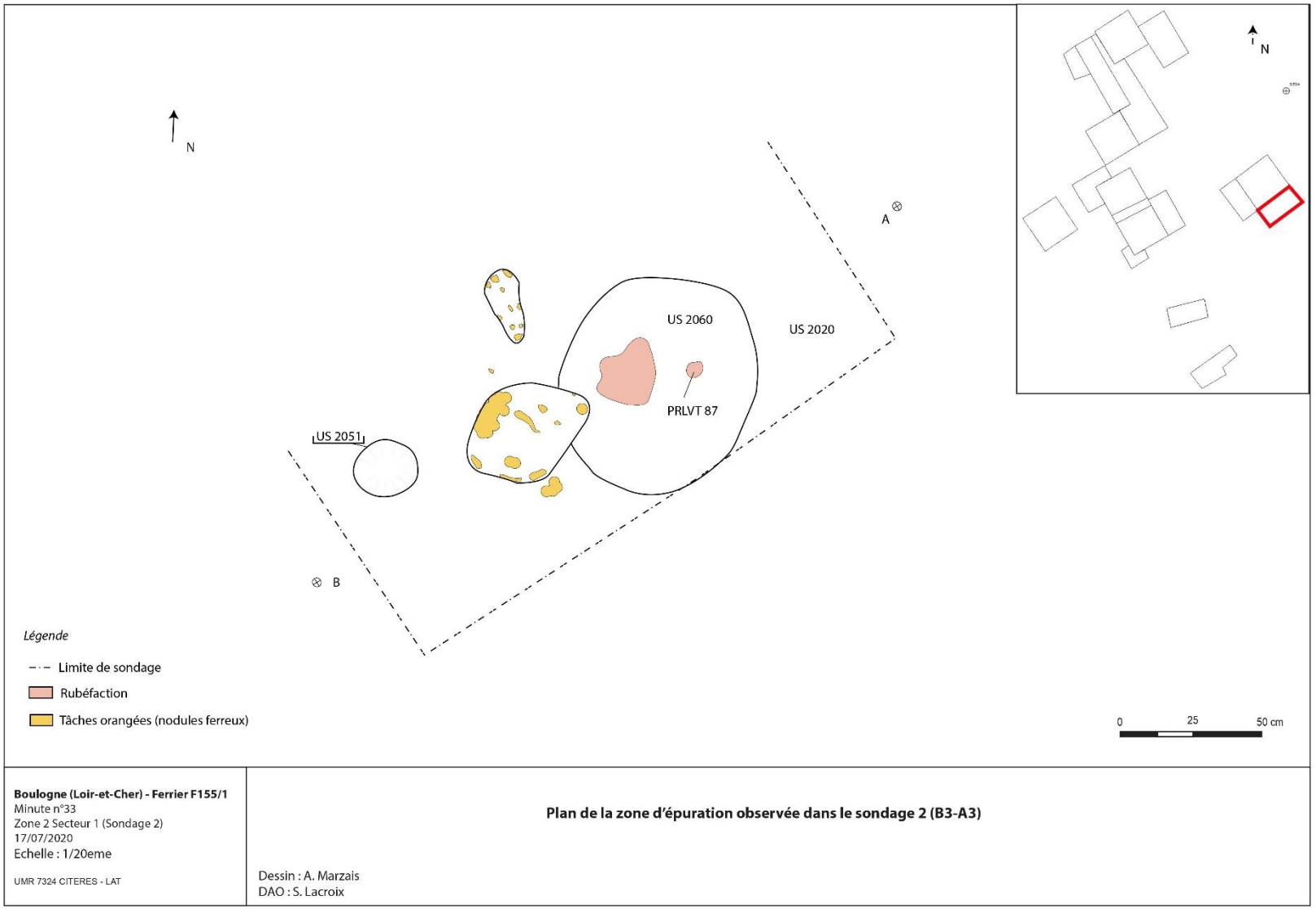


Fig. 84 : Organisation spatiale de la zone de forge avec un trou de poteau (US 2051), un foyer (US 2060) et un espace couvert d'oxydes de fer

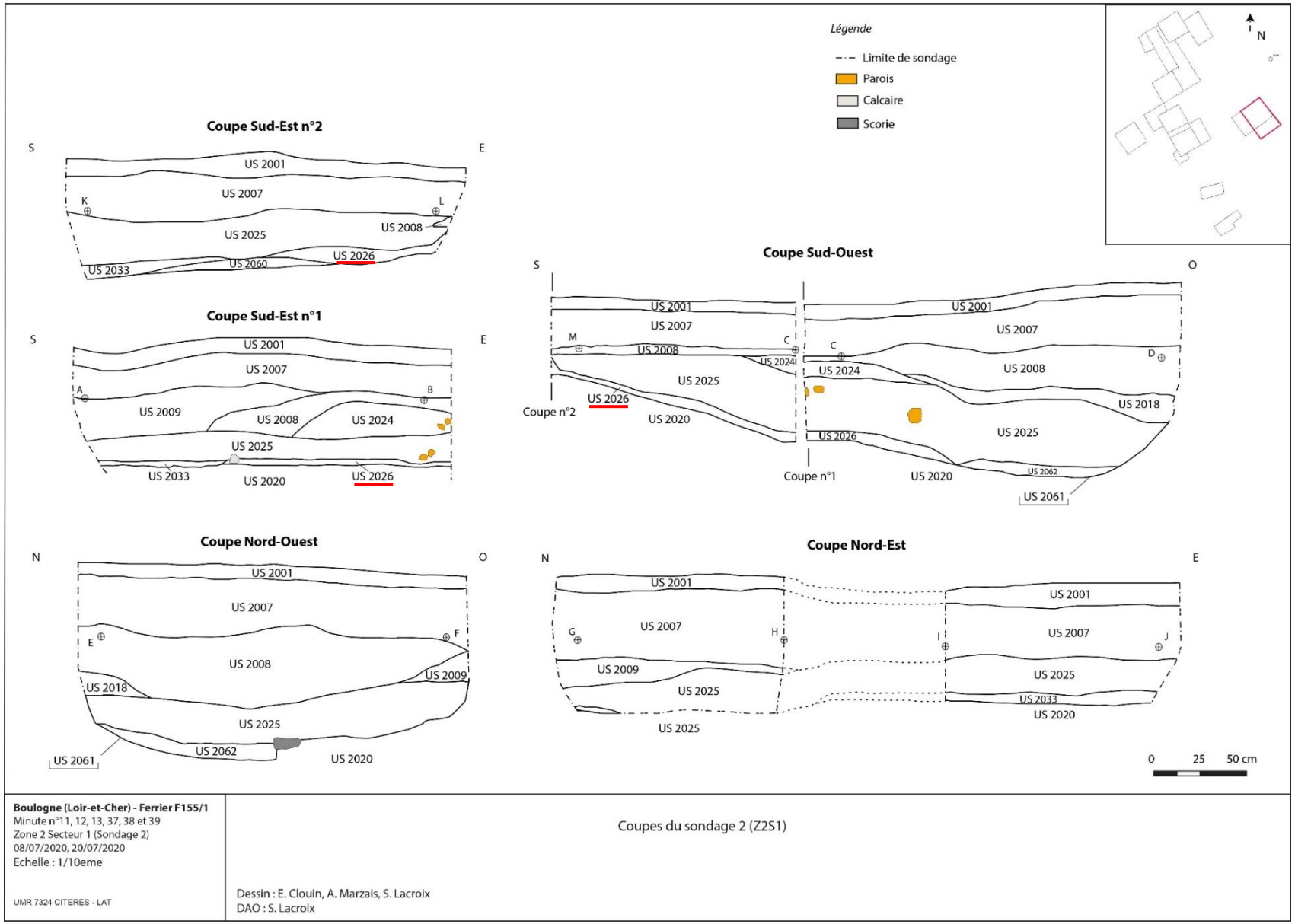


Fig. 85 : Stratigraphie de la zone de forge (sondage 2). On observe la couche rubéfiée (US 2026) relative à l'utilisation de la forge et le prof de la fosse de rejet (coupe sud-ouest

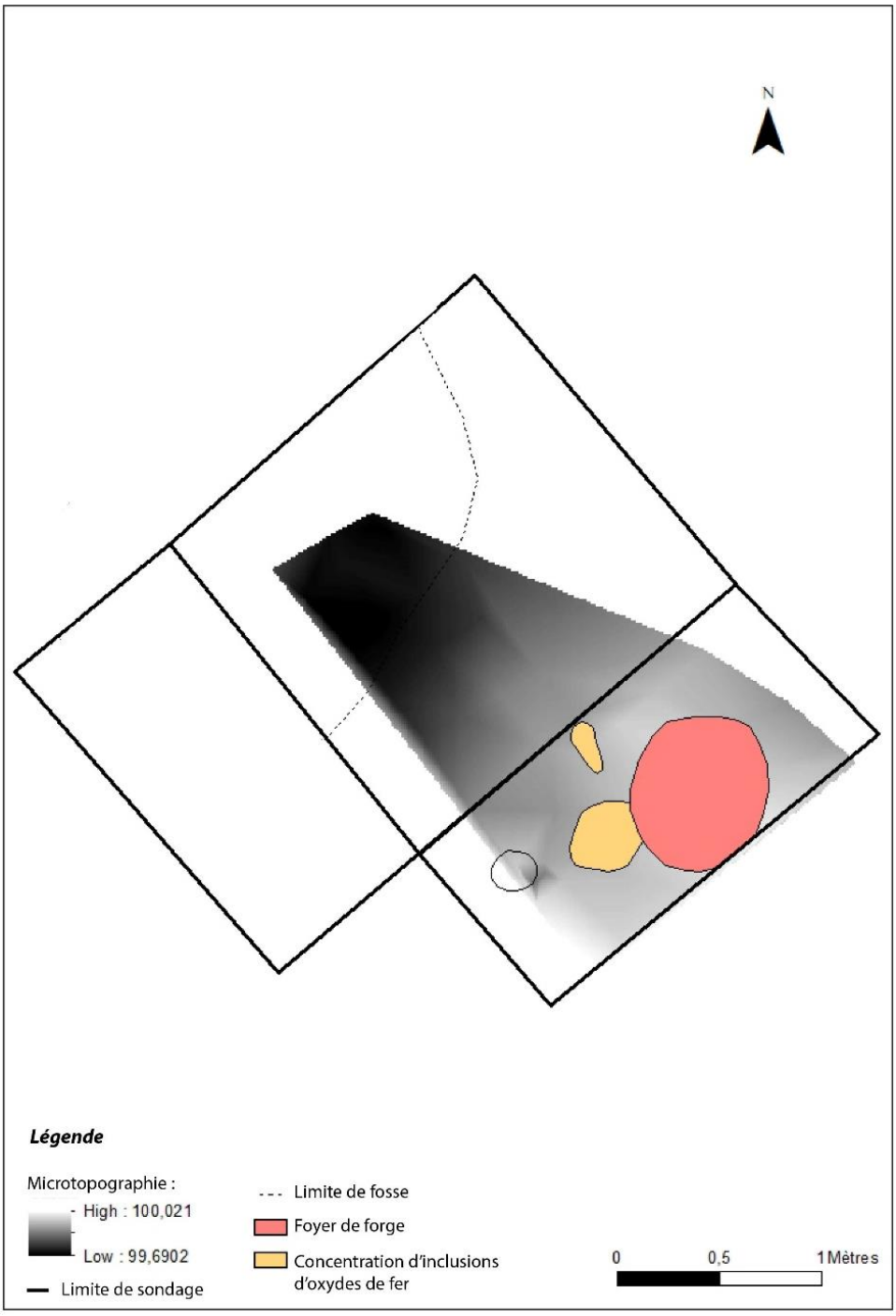


Fig. 86 : Carte de la microtopographie de la zone de forge

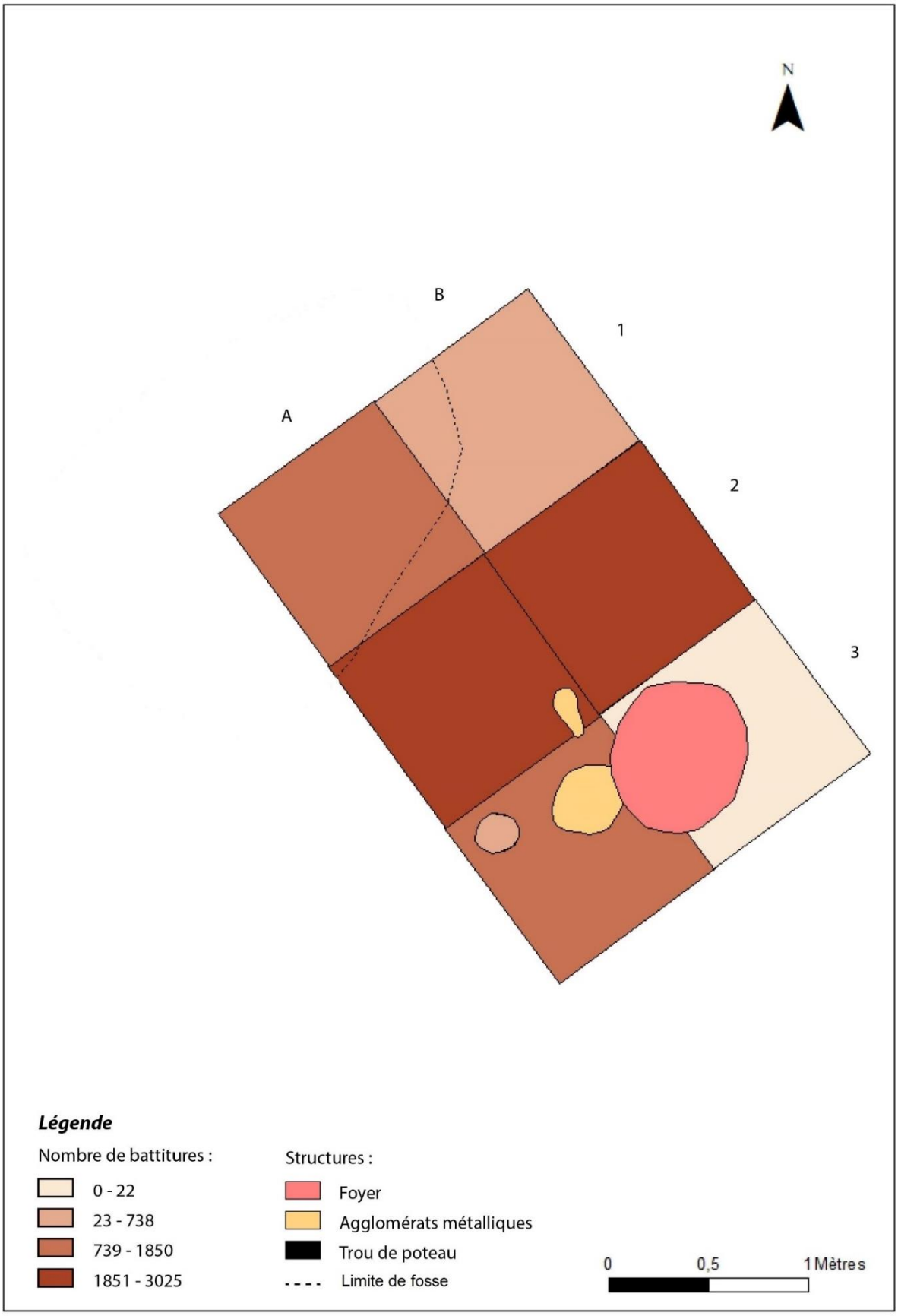


Fig. 87 : Carte de la répartition des battitures dans la zone de forge

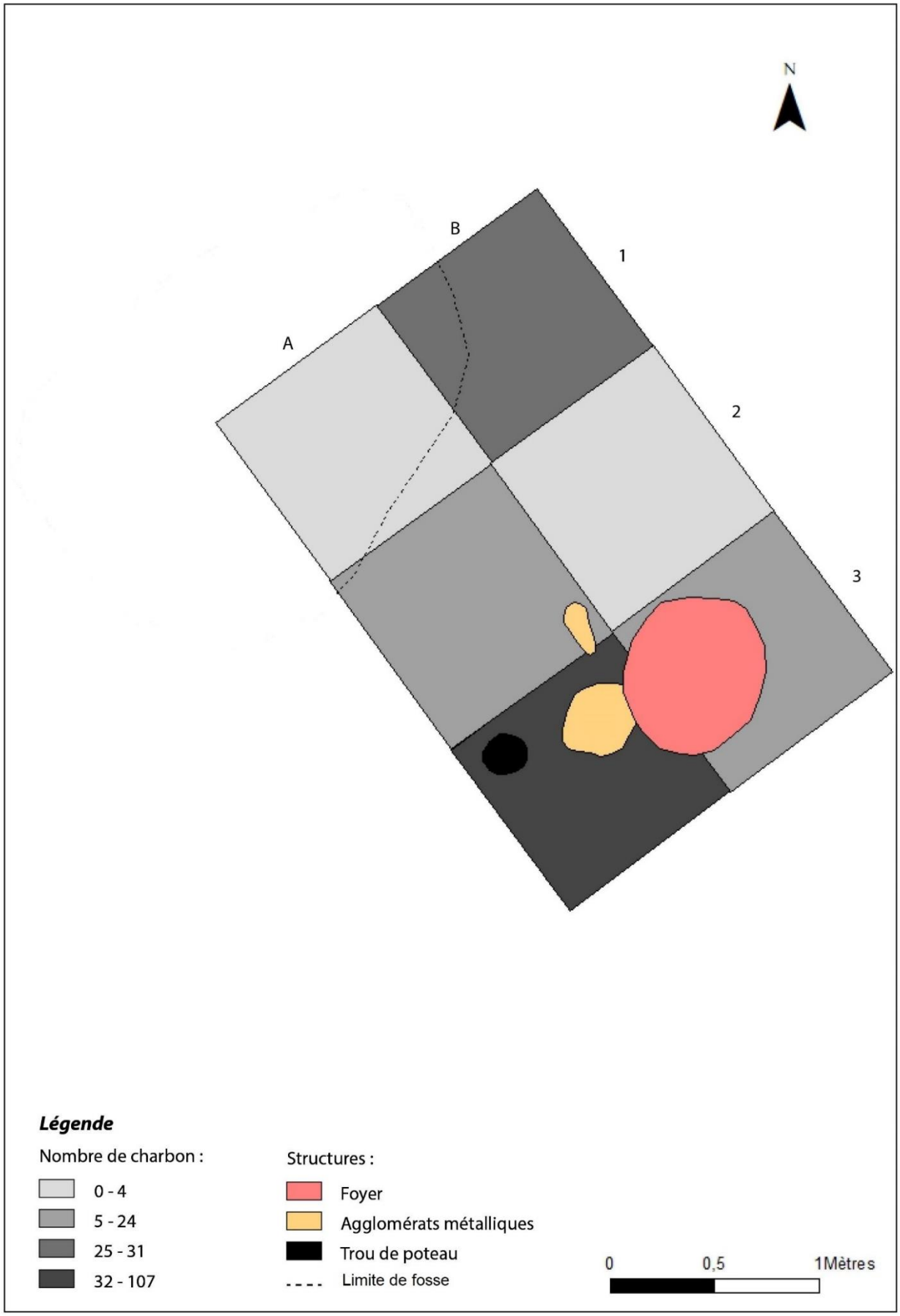


Fig. 88 : Carte de répartition des charbons de bois dans la zone de forge

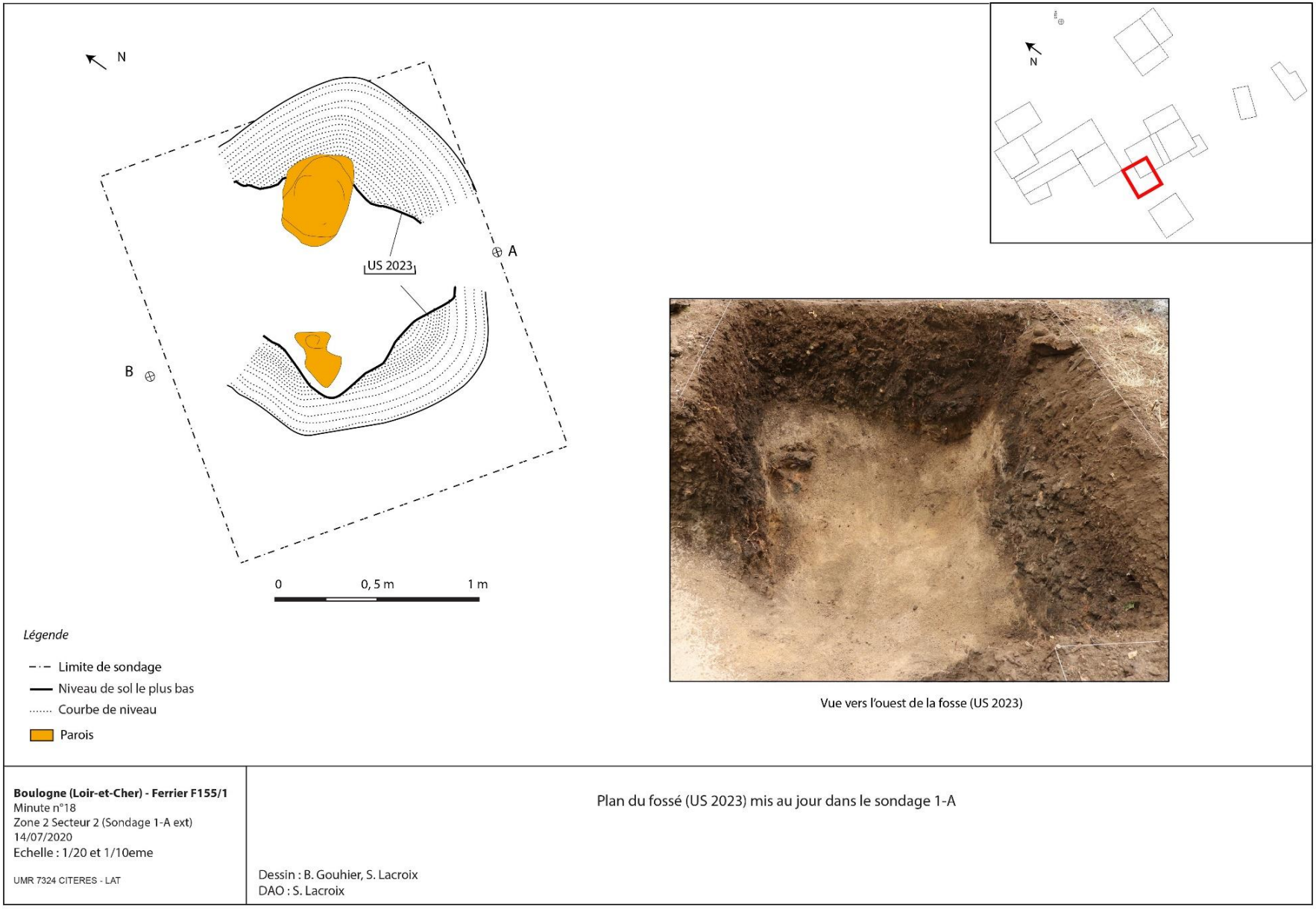


Fig. 89 : Plan et photographie d'un segment du fossé délimitant l'atelier



Fig. 90 : Plan de la limite de creusement observée sous le ferrier lors de la fouille de 2018

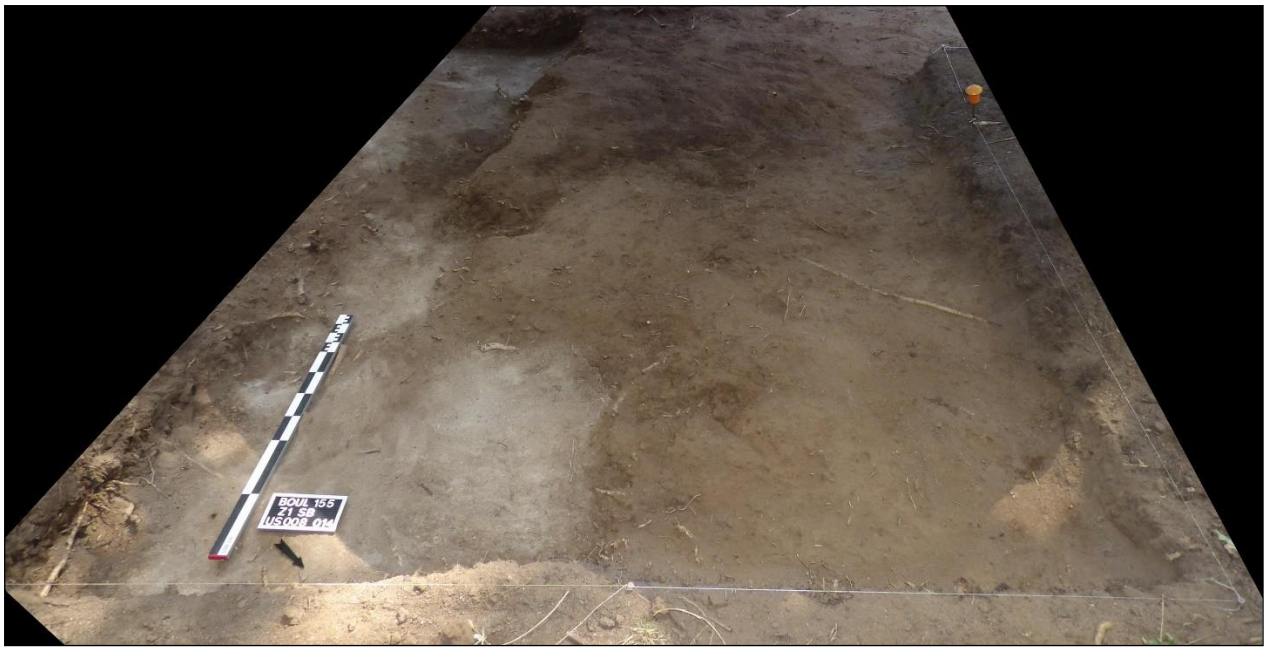


Fig. 91 : Photographie du creusement observé à l'ouest du ferrier F155/1 (vue vers le sud-ouest)

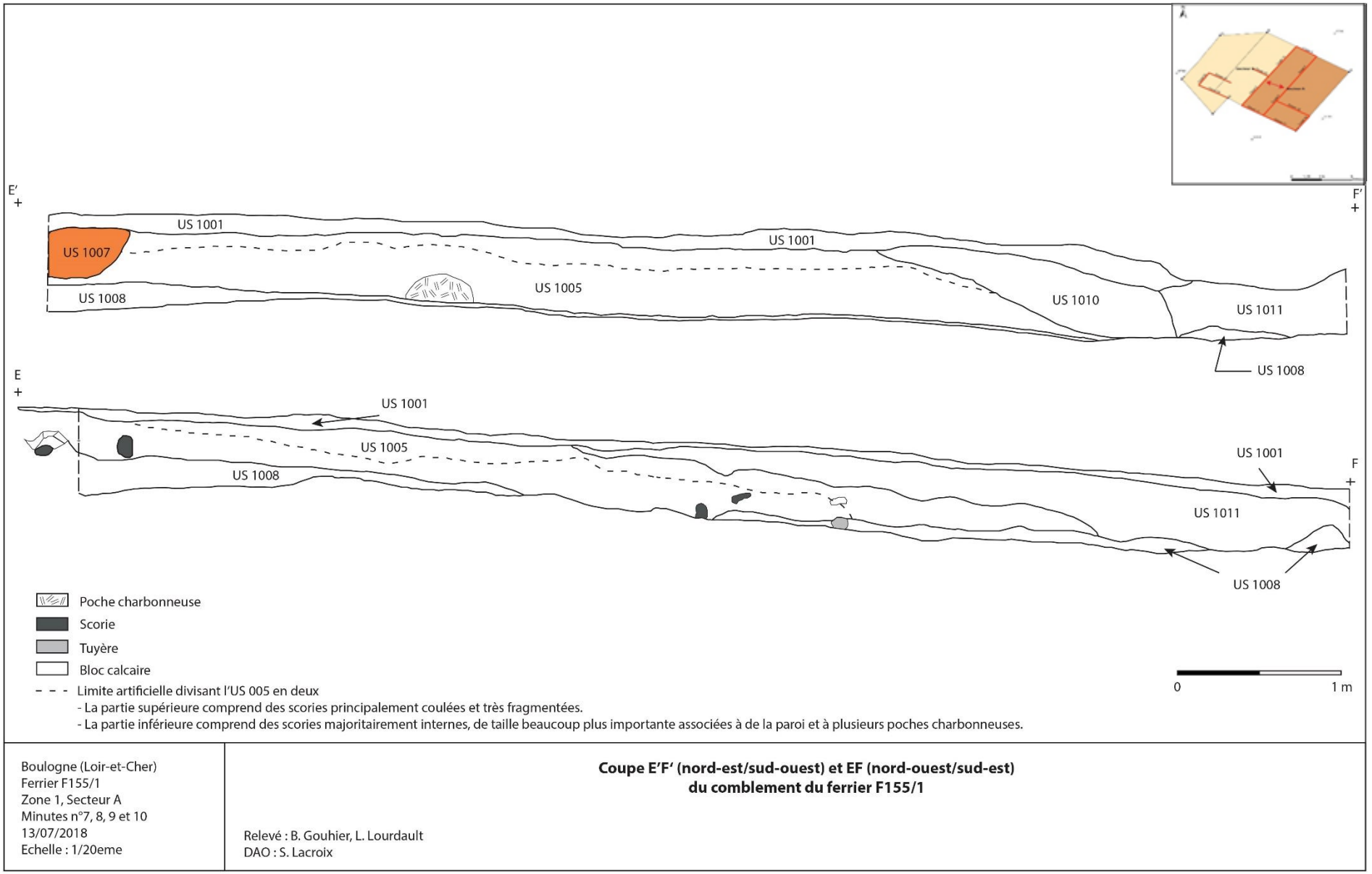


Fig. 92 : Relevé des coupes du comblement du ferrier F155, présentant la division de l'US 1005 en deux parties.

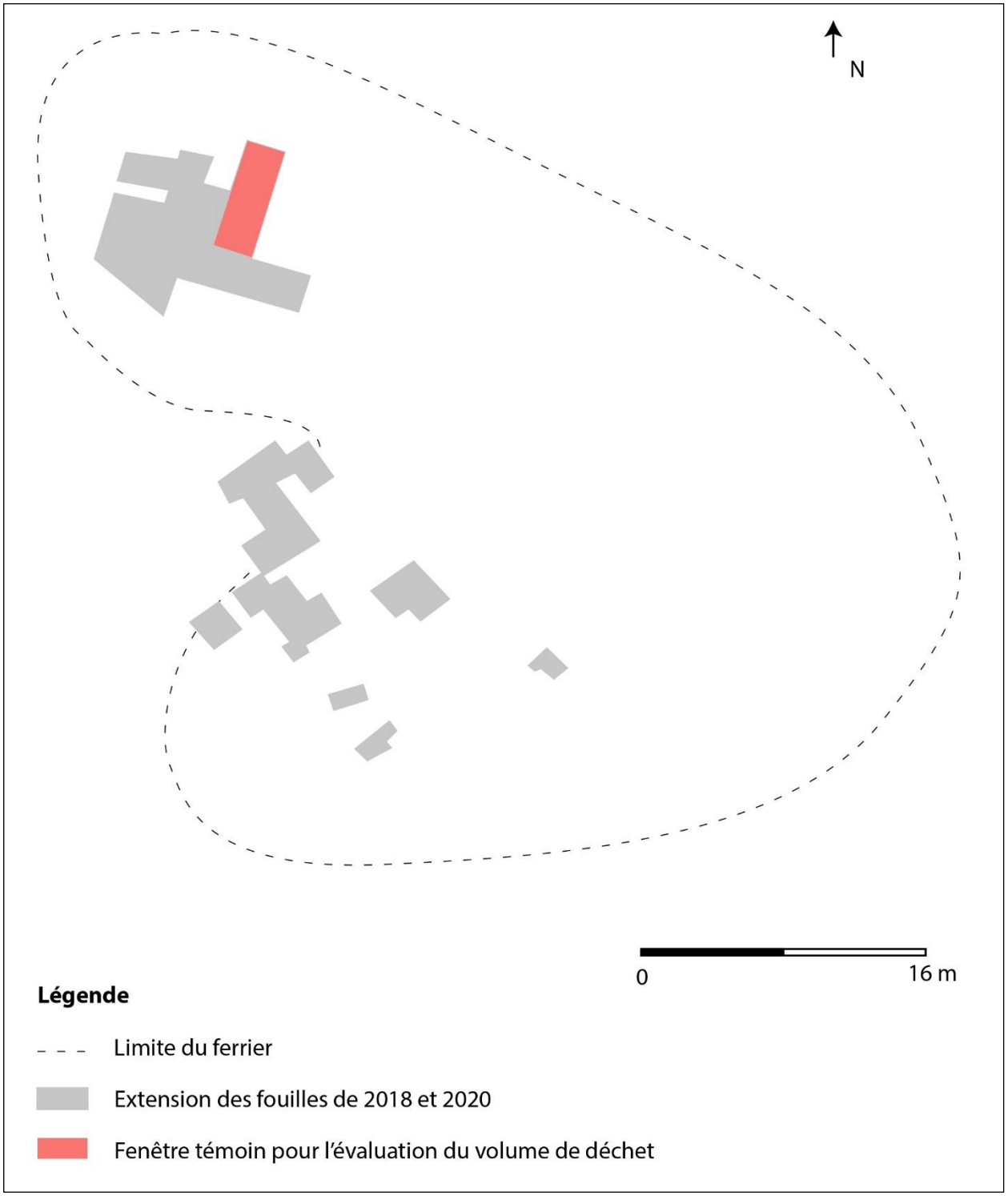


Fig. 93 : Carte localisant la fenêtre de référence dans le ferrier

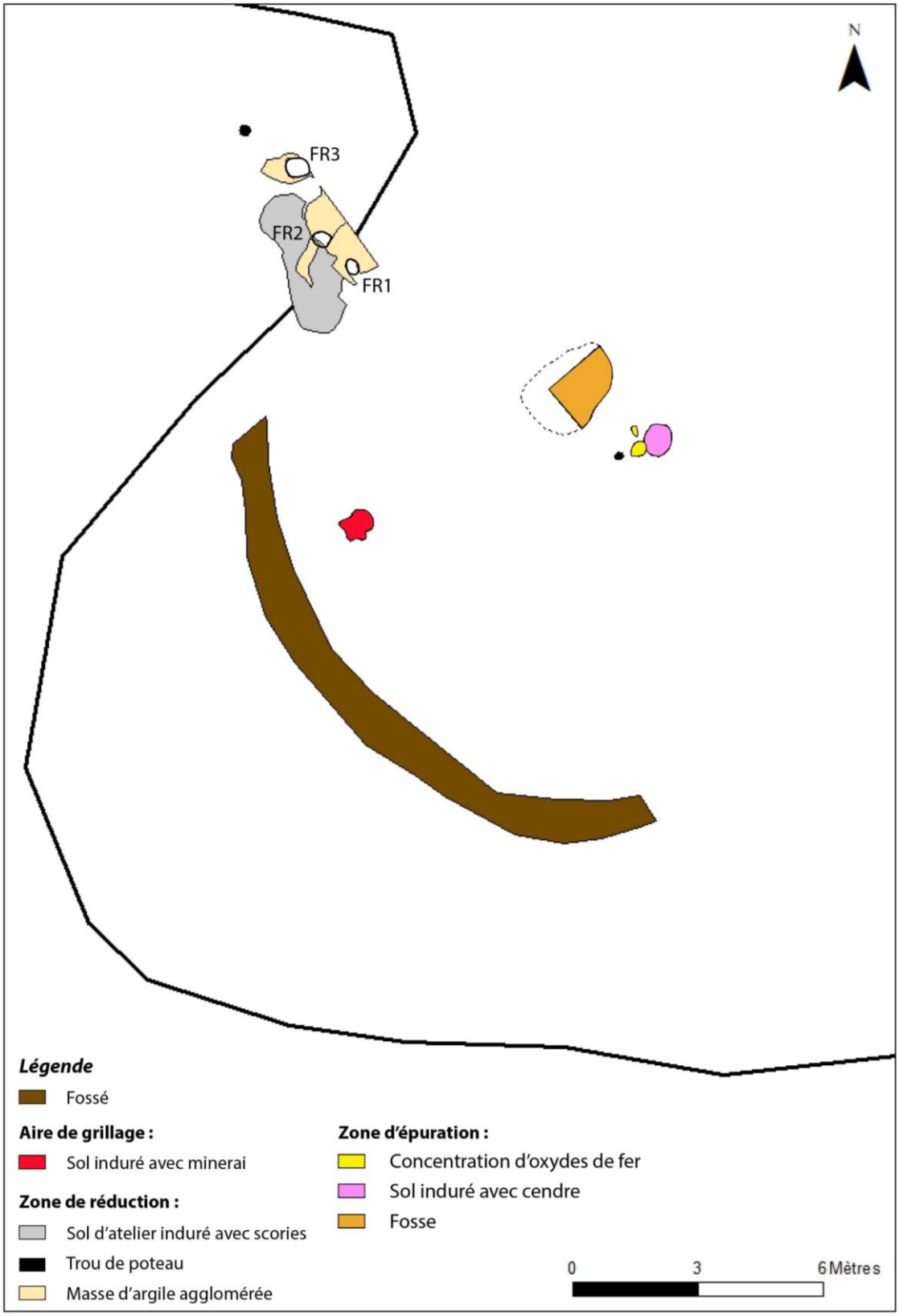


Fig. 94 : Plan des différentes structures composant l'atelier métallurgique F155/1

7.2 Un site artisanal daté du haut Moyen Âge

Tableau 63 : Tableau de comptage de la céramique provenant de l'espace de travail de l'atelier F155/1

Zone	Secteur	Sondage	US	n° artéfact	NR	Groupe technique	Forme tesson(s)	Type forme	n° dessin	mesures (diamètre)	Remarques
2	2	1B	2001	2	1	bl08e	panse				
2	1	2	2001	3	1	bl08e	panse				
2	1	2	2001	4	1	bl08e	panse				
2	2	1B	2001	5	2	bl08e	panse				
2	2	1A	2001	6	1	bl08e	panse				
2	1	2	2001	7	1	bl08e	panse				
2	2	6	2001	47	1	bl08e	lèvre	Cruche 3-2	3	diamètre 13,5cm	
2	3	1A	2001	10	1	bl06c	lèvre	Coupe 8-1	5	diamètre 17cm	
2	2	1B-3	2001	54	1	bl08e	panse				
2	1	2	2001	/	1	bl08e	panse				
2	2	1B	2002	15	1	bl08e	panse				
2	2	1A	2002	21	1	bl08e	fond	base plate, sans ressaut		diamètre 11cm	
2	2	1B	2002	22	1	bl08e	panse				
2	2	1A	2002	20+18	2	bl08e	lèvre+bec pincé	Cruche 3-1	6	indet	9e-11e s.
2	3	3	2006	41	1	bl08e	panse				
2	3	3	2006	39+43+40	3	bl08e	lèvre	Pot 2-21	2	diamètre 14cm	6e-7e s. (mais la production ne correspond pas à ce qui est connu à Tours (permanence d'une forme plus ancienne?) Ou requalifier en pot 2d-2f
2	1	2	2007	16	1	bl08e	panse				
2	1	2	2007	17	1	bl08e	panse				
2	1	2	2008	31	1	bl08e	panse				
2	1	2	2009	24	1	bl08e	panse				
1	1	2	2009	25	1	bl08e	panse				
2	1	2	2009	26	1	bl08e	panse				
2	1	2	2009	33	1	bl08e	panse				
2	1	2	2009	35	1	bl08e	panse				
2	1	2	2009	32	1	bl08e	lèvre	Pot 2-7	1	diamètre 15cm	8e-10e s.
2	2	1A	2014	30	2	bl08e	panse				
2	2	1A	2017	46	2	bl08e	lèvre	Pot 2-6/Cruche 3-1	4	diamètre 15,5cm	8e-10e s.

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -26.6 o/oo)

Laboratory number **Beta-577490**

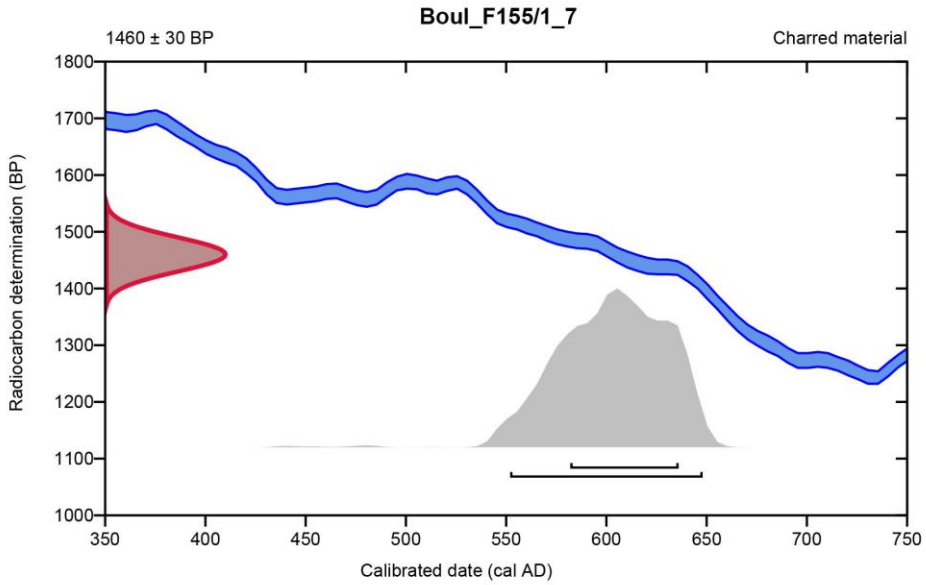
Conventional radiocarbon age **1460 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 552 - 648 cal AD (1398 - 1302 cal BP)

68.2% probability

(68.2%) 582 - 636 cal AD (1368 - 1314 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 95 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du sol d'atelier (UC 2001)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -25.7 o/oo)

Laboratory number **Beta-577489**

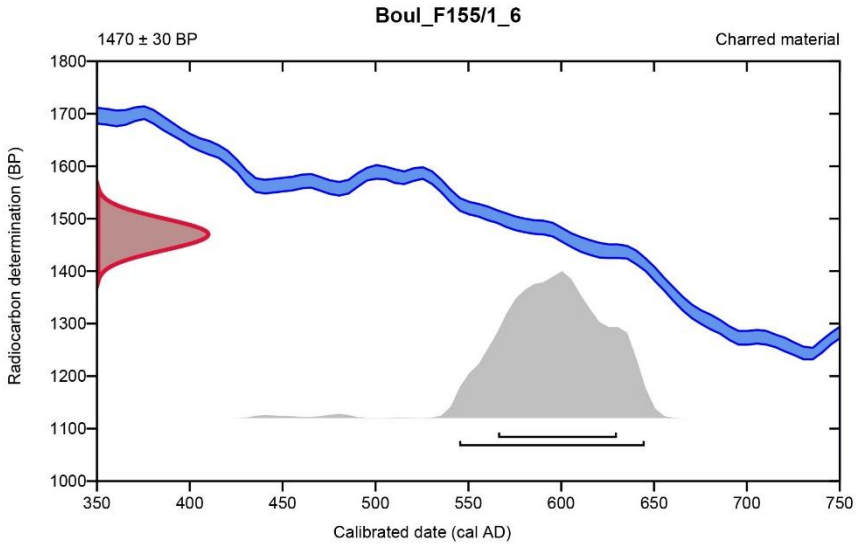
Conventional radiocarbon age **1470 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 545 - 645 cal AD (1405 - 1305 cal BP)

68.2% probability

(68.2%) 566 - 630 cal AD (1384 - 1320 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 96 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant de la zone de forge (UC 2004)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(highest probability ranges: INTCAL13)

(Variables: d13C = -23.9 o/oo)

Laboratory number **Beta-512589**

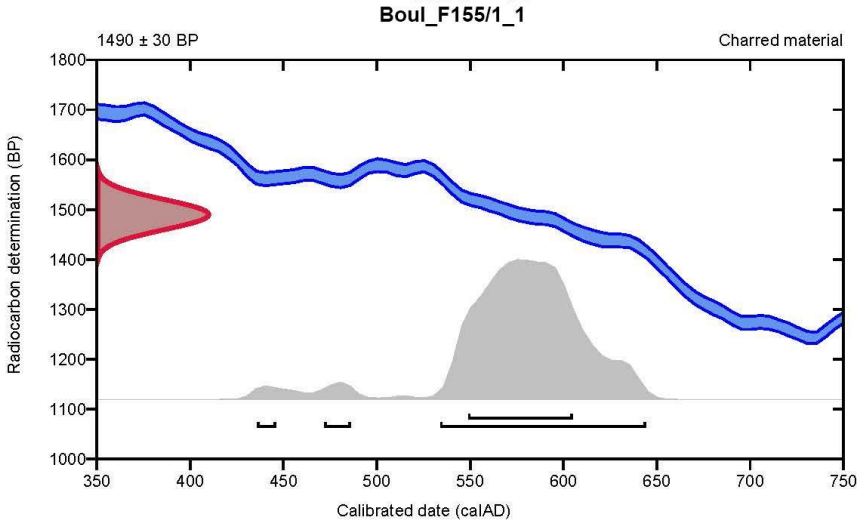
Conventional radiocarbon age **1490 ± 30 BP**

95.4% probability

(92.2%)	534 - 644 cal AD	(1416 - 1306 cal BP)
(2%)	472 - 486 cal AD	(1478 - 1464 cal BP)
(1.2%)	436 - 446 cal AD	(1514 - 1504 cal BP)

68.2% probability

(68.2%)	549 - 605 cal AD	(1401 - 1345 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 97 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du ferrier (US 1007)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(highest probability ranges: INTCAL13)

(Variables: d13C = -24.2 o/oo)

Laboratory number **Beta-512590**

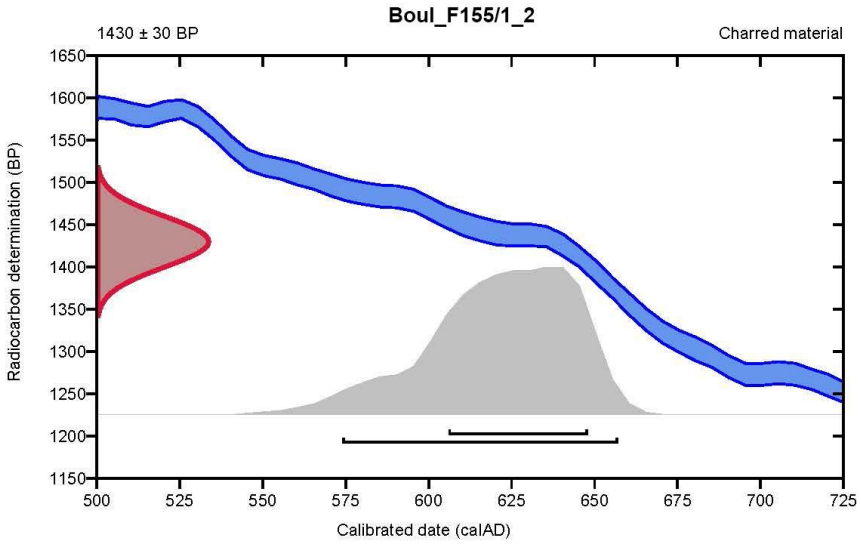
Conventional radiocarbon age **1430 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 574 - 657 cal AD (1376 - 1293 cal BP)

68.2% probability

(68.2%) 606 - 648 cal AD (1344 - 1302 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 98 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du ferrier (US 1005)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(highest probability ranges: INTCAL13)

(Variables: d13C = -26.5 o/oo)

Laboratory number **Beta-512591**

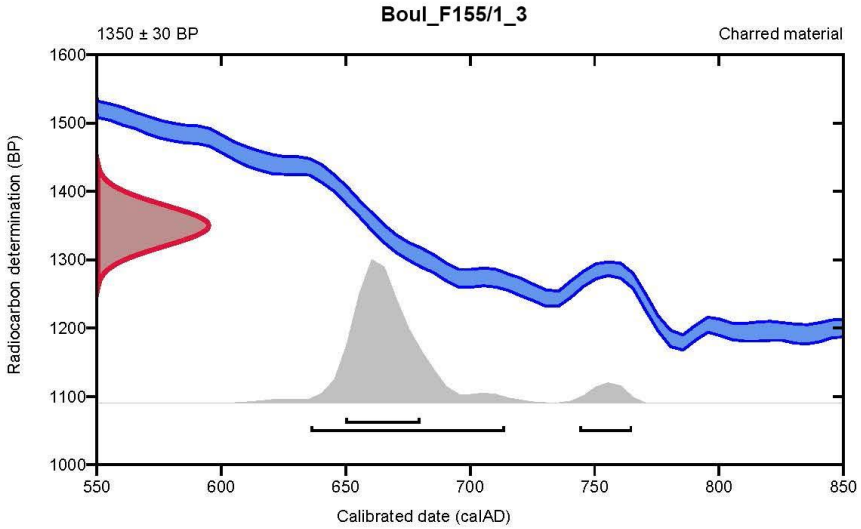
Conventional radiocarbon age **1350 ± 30 BP**

95.4% probability

(88.5%)	636 - 714 cal AD	(1314 - 1236 cal BP)
(6.9%)	744 - 765 cal AD	(1206 - 1185 cal BP)

68.2% probability

(68.2%)	650 - 680 cal AD	(1300 - 1270 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 99 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée un échantillon de charbon de bois provenant du ferrier (US 1005)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -24.6 o/oo)

Laboratory number **Beta-522527**

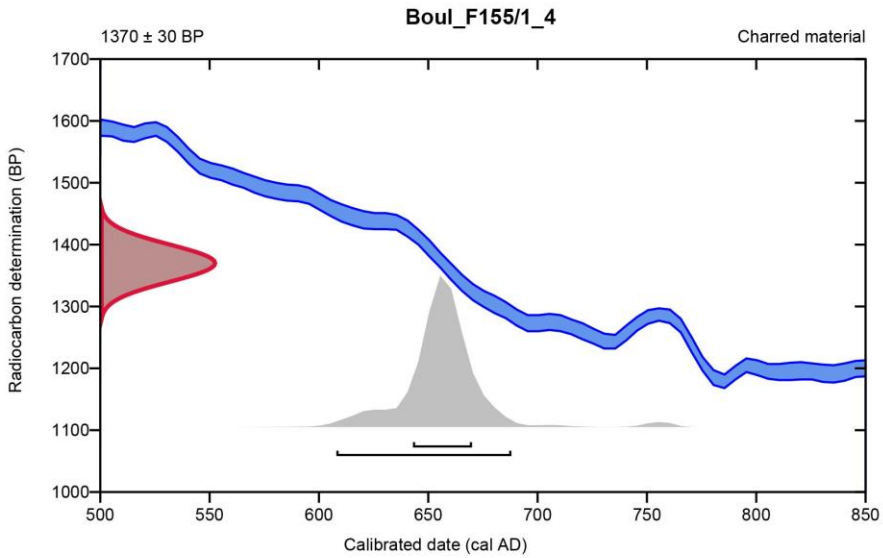
Conventional radiocarbon age **1370 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 608 - 688 cal AD (1342 - 1262 cal BP)

68.2% probability

(68.2%) 643 - 670 cal AD (1307 - 1280 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 100 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée un échantillon de charbon de bois extrait d'une scorie provenant du ferrier (US 1005)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -23.8 o/oo)

Laboratory number **Beta-522528**

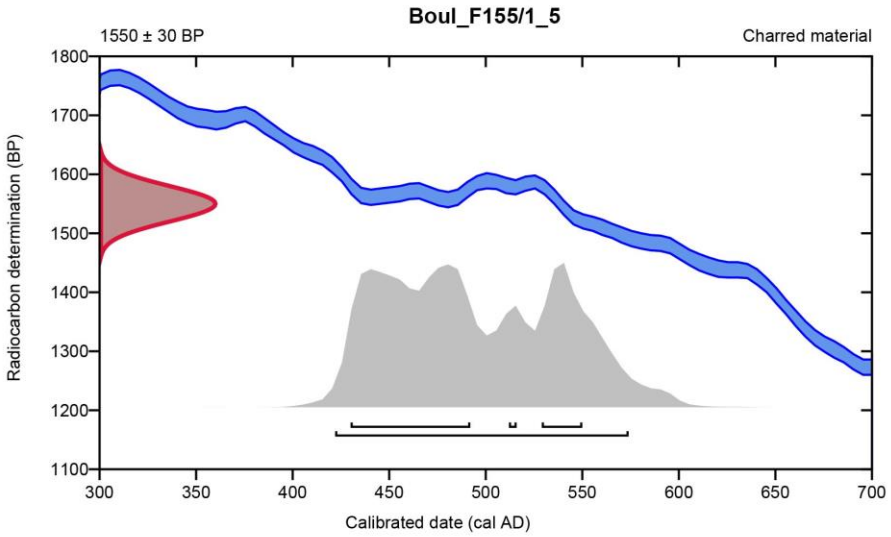
Conventional radiocarbon age **1550 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%)	422 - 574 cal AD	(1528 - 1376 cal BP)

68.2% probability

(50%)	430 - 492 cal AD	(1520 - 1458 cal BP)
(15.7%)	529 - 550 cal AD	(1421 - 1400 cal BP)
(2.5%)	512 - 516 cal AD	(1438 - 1434 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 101 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée un échantillon de charbon de bois extrait d'une scorie provenant du ferrier (US 1005)

7.3 Un atelier métallurgique plurifonctionnel

7.3.1 Les caractéristiques de la réduction

Tableau 64 : Tableau d'enregistrement des fonds de four du site F155/1

Zone	Secteur	US	Poids (en g)	Longueur (en cm)	Largeur (en cm)	ép. (en cm)	Réactivité à l'aimant	Description	sous-type	Code métallo
1	A	1005	0,293	8,6	4,5	5,8	Aucune	fragment de fond de four brun et dense	SBD	BOU1005-7
1	A	1005	1,164	13,1	11,5	6	Aucune	Fond de fourneau plano-convexe vitrifié bleuté en surface associé à de la paroi blanche à noire au centre et orangée sur la face inférieure de 4 cm d'épaisseur	SBR	BOU1005-4
1	A	1005	1,203	13,2	10,1	7	Oui	Fond de fourneau plano-convexe avec inclusions de minerai et négatif de charbon de bois	SBR	BOU1005-2
1	A	1005	0,541	10,2	9,4	4,7	Aucune	Fond de fourneau brun dense avec inclusion de minerai avec négatif d'arrondi des bords du four	SBD	BOU1005-1
1	A	1005	0,872	11,4	9,7	6,3	Oui	Gros fond de four plano-convexe arrondi et dense, très oxydé en surface avec inclusions d'oxydes de fer.	SBR	BOU1005-8
1	A	1005	0,441	10,7	8,5	5,8	Oui	Fond de four plano-convexe dense avec inclusions d'oxydes de fer	SBD	BOU1005-9
1	B	1013	0,478	10,6	8,1	3,4	Oui	Scorie plano-convexe et arrondi		BOU1013
1	A	1005	0,714	10,8	7,1	5,7	Oui	Fond de four plano-convexe dense avec inclusions d'oxydes de fer	SBD	BOU1005-6
2	1	2009	0,833	11,6	11	4	Non	Gros fragment de fond de four brun rugueux, forme arrondie et plano-convexe	SBR	BOU2009
2	2	2022	0,57	12,5	10	3,3	Léger	Fond de four brun et rugueux avec inclusions d'oxydes de fer, de forme arrondie et plano-convexe	SBR	BOU2022-1
1	A	1005	0,836				Aucune	Gros fragment de fond de four avec inclusions de minerai oxydé, négatif de rigole de 3,7 cm de diamètre sur la face inférieure et négatif d'une pointe (outil permettant d'extraire la scorie ?).	SBR	
1	A	1005	0,867				Oui	Gros fragment de fond de four de couleur sombre avec inclusions de minerai oxydé et négatif de charbon de bois	SBR	
1	A	1005	0,722	11,3	8,8	6,7	Aucune	Fond de four plano-convexe noir et rugueux avec inclusions de charbon de bois	SBR	BOU1005-3
1	A	1005	0,9				Aucune	Gros fragment de fond de four de couleur sombre avec inclusions de minerai oxydé et négatif de fond de four carré ou rectangulaire	SBR	
1	A	1005	0,517	14,6	9,5	3,4	Aucune	Fond de four très vitrifié vert en surface avec inclusion de minerai et paroi associée sur sa face inférieure	SBR	
1	A	1005	0,909	17,5	11	5,3	Aucune	Fond de four très vitrifié en surface avec paroi associée à la face inférieure	SBR	
1	A	1005	1,534	15,5	13	6,9	Aucune	Fond de fourneau avec inclusion de minerai sur la partie supérieure, vitrification verte associée à un gros fragment de paroi gris/rose	SBR	
1	A	1005	0,764	17	10	4,5	Aucune	Fond de fourneau avec inclusion de minerai sur la partie supérieure associé à un gros fragment de paroi gris/rose d'au moins 7 cm d'épaisseur	SBR	

1	A	1005	0,744	14,9	8,7	4,8	Oui	Fond de fourneau avec inclusion de minerai sur la partie supérieure associé à un gros fragment de paroi gris/rose	SBR	
1	A	1005	0,811	15,2	10,2	5,3	Aucune	Fond de fourneau brun avec inclusion de minerai en surface et vitrification bleue/verte associé à de la paroi de 2,1 cm d'épaisseur en partie vitrifiée.	SBR	
1	A	1005	1,264	20,7	13,5	4	Aucune	Fond de fourneau plano-convexe brun avec inclusion de minerai en surface et traces de vitrification verte en périphérie associée à de la paroi blanche de 1,7 cm d'épaisseur sur sa partie inférieure	SBR	
1	A	1005	0,924	19	14,5	2,2	Aucune	Fond de fourneau plano-convexe brun avec nombreuses inclusions de minerai en surface et traces de vitrification bleutée associé à de la paroi blanche de 0,5 cm d'épaisseur sur sa partie inférieure	SBR	
1	A	1005	1,248	15,5	12,6	5,2	Aucune	Gros fond de fourneau plano-convexe et de forme arrondie avec traces de vitrification verte par endroit, inclusion de minerai et négatif de charbon de bois	SBD	
1	A	1005	0,593	11,5	8,6	4	Légère	Gros fragment de fond de four dense et sombre avec nombreuses inclusions ferreuses et négatif de charbon de bois	SF	
1	A	1005	0,803	12	7,9	8,7	Aucune	Fond de fourneau brun dense avec inclusion de minerai et de paroi et négatif de charbon de bois	SBD	
1	A	1005	1,314	20	14,5	4,5	Légère	Fond de fourneau brun dense avec inclusion de minerai, vitrification verte en surface et négatif de charbon de bois associé à de la paroi grise sur la partie inférieure de 1,3 cm d'épaisseur	SBD	
1	A	1005	1,572	17,5	16,2	10,1	Aucune	Fond de four brun dense arrondi vitrifié en surface et comprenant des inclusions de minerai associé à de la paroi blanche au début et orangée sur le dessous de 7,1 cm d'épaisseur	SBD	
2	A	1101	5,515	20	15,2	9,5	Légère	Un fond de fourneau brun, dense et homogène avec quelques inclusions de minerai et traces de vitrification verte. Il est de forme plano-convexe et sa face inférieure montre le négatif d'une paroi.	SBD	
1	A	1010	0,592	16,5	9,7	3,3	Non	Fond de four plano-convexe, brun et dense	SBD	BOU1010
1	A	1010	1,146	18	11,5	6,2	Oui	Gros fond de four plano-convexe avec inclusions d'oxydes de fer et vitrification bleutées en surface associé à de la paroi.	SBR	
1	A	1005	1,884	10,6	10	9,7	Oui	Gros fond de four plano-convexe arrondi et dense, très oxydé en surface avec inclusions d'oxydes de fer.	SBR	
2	A	1100	0,45	13,3	8,8	3,2	Oui	Fond de four plano-convexe, dense avec inclusions de paroi et d'oxydes de fer.	SBD	BOU1100
1	A	1005	0,897	15	11,5	5,7	Oui	Fond de four plano-convexe dense avec inclusions d'oxydes de fer	SBD	
1	A	1005	0,797	14,5	11	4,1	Oui	Fond de four plano-convexe dense avec inclusions d'oxydes de fer, vitrifié bleuté en surface et associé à de la paroi en argile	SBD	
1	A	1005	0,828	13,5	10	6,5	Oui	Fond de four plano-convexe dense avec inclusions d'oxydes de fer	SBD	
1	A	1005	0,864	12	9,5	7,1	Oui	Fond de four plano-convexe dense avec inclusions d'oxydes de fer	SBD	

2	1	2024	2,334	14	12	8	Oui	Fond de four brun et rugueux avec inclusions d'oxydes de fer, de forme arrondie et plano-convexe associé à de la scorie écoulée à cordons épais en surface et à de la paroi	SBR	
2	2	2022	0,782	12,5	16	8,5	Léger	Scorie brune ferreuse avec nombreuses inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois et de paroi. Fragment de fond de four	SF	
2	2	2017	1,422	15,5	11	8	Non	Fond de four, scorie brune rugueuse plano-convexe avec inclusion d'oxydes de fer. Associé à de la paroi en argile	SBR	
2	2	2017	2,27	28	19	6,8	Non	Gros fragment de fond de four brun et dense présentant les restes d'une paroi en argile orangée	SBD	
2	2	2017	1,385	14	14	7	Non	Gros fragment de fond de four brun et dense présentant les restes d'une paroi en argile orangé et d'oxydes de fer	SBD	
2	2	2017	1,627			10	Non	Gros fragment de fond de four brun et rugueux associé à de la paroi en argile orangée et à de la scorie écoulée à cordons épais	SBR	
2	2	2022	0,476	13,8	11,7	3,4	Non	Fond de four brun rugueux associé à de la paroi en argile orangée	SBR	
2	2	2022	2,44	19	16,5	9	Non	Gros fond de four brun dense avec inclusion de paroi en argile orangée et négatif du four (carré). Scorie écoulée en surface	SBD	
2	3	2013	0,696			7	Non	Gros fragment de fond de four brun dense avec inclusions d'oxydes de fer et associé à de la paroi en argile beige. Le fond présente le négatif d'un canal de 6,1 cm de diamètre. Canal installé dans le fond du four ?	SBD	
2	2	2017	1,222	20	18	4,5	Léger	Fond de four complet, brun rugueux avec nombreuses inclusions d'oxydes de fer et quelques négatifs de charbon de bois. Forme arrondie et plano-convexe	SBR	
2	2	2022	3,203				Non	Très gros fragment de fond de four plano-convexe et arrondi encore associé à de la paroi en argile grise. Inclusions d'oxydes de fer	SBD	

Tableau 65 : Tableau du nombre de fond de four par masse (en kg)

Classe de poids (en kg)	Effectif
0 à 0,3	1
0,4 à 0,8	25
0,9 à 1,1	5
1,2 à 1,4	7
1,5 à 1,7	3
1,8 à 2	1
2,1 à 2,3	2
2,4 à 2,6	1
2,7 à 2,9	0
3 à 3,2	1
plus de 3,2	1

Tableau 66 : Pourcentage en masse des éléments chimiques présents dans les échantillon de l'atelier F155/1

n°échantillon	Description	% masse Si	% masse Al	% masse Fe	% masse Ca	% masse Mg	% masse Na	% masse K	% masse Cr	% masse Ti	% masse Mn	% masse P	% masse Ba
ECH_155/1_3	Argile cuite	38,189	4,712	3,154	0,308	0,200	0,245	2,343	0,004	0,206	0,706	0,031	0,091
ECH_155/1_4	Argile cuite	38,717	3,989	3,290	0,569	0,198	0,213	2,279	0,004	0,186	0,540	0,057	0,081
ECH_155/1_9	Scorie écoulée	19,688	2,884	26,376	2,312	0,361	0,129	1,664	0,005	0,144	6,119	0,066	0,550
ECH_155/1_11	Scorie écoulée	18,220	2,741	25,909	2,849	0,485	0,126	1,447	0,005	0,129	8,550	0,043	0,789
ECH_155/1_17	Scorie écoulée	20,213	2,248	28,810	1,057	0,280	0,163	1,098	0,005	0,105	5,574	0,051	0,508
ECH_155/1_13	Scorie écoulée	13,806	1,405	40,189	1,564	0,292	0,072	0,776	0,003	0,086	4,700	0,101	0,326
ECH_155/1_14	Scorie écoulée	14,162	1,471	39,598	1,783	0,239	0,086	0,763	0,003	0,085	4,451	0,088	0,401
ECH_155/1_15	Scorie écoulée	13,234	1,380	41,039	1,705	0,208	0,066	0,752	0,004	0,069	4,752	0,072	0,373
ECH_155/1_16	Scorie écoulée	18,037	2,336	31,669	2,526	0,336	0,110	1,276	0,004	0,104	4,273	0,055	0,278
ECH_155/1_18	Minerai	5,025	0,914	57,771	0,117	0,124	0,024	0,120	0,002	0,043	3,245	0,023	0,149
ECH_155/1_21	Minerai	8,638	1,288	50,726	0,208	0,132	0,056	0,287	0,002	0,069	4,096	0,028	0,264
	Charbon 1 - Oulches	7,6	2,8	1,7	47,1	1,2	0,3	0,7	indet	0,2	0,1	0,2	indet
	Charbon 2 - Oulches	9,9	4,6	2,5	37,9	1,1	0,2	0,6	indet	0,2	0,3	0,3	indet

7.3.2 L'activité de forge

Tableau 67 : Tableau d'enregistrement des battitures du site F155/1

Zone	Secteur	Sondage	N° carroyage	n° US	Poids (en kg)	Description
1	A	A		1011	indet	Battitures et sédiments à trier et analyser
1	A	A		1007		Une battiture ronde peu oxydée
1	A	A		1005	0,001	Battitures rondes dont une légèrement oxydée
1	A	A		1010	0,172	Nombreuses battitures globulaires et lamellaires
2	1	2	B3	2026	0,726	Très nombreuses battitures de forme généralement granulaires et globulaires, plus rarement lamellaires
2	1	2	B1	2026	0,322	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	1	2	B1	2026	0,245	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	1	2	B1	2026	0,207	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	1	2	A3	2026/ UC 2004	0,586	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	1	2	A3	2026/ UC 2004	1,212	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	1	2	A3	2026	0,516	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	1	2	B3	2026/UC 2004	0,58	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	1	2	B2	2033	0,198	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires

2	2	1-Bext		2032	0,384	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires
2	2	6		UC 2001	0,179	Très nombreuses battitures de forme granulaires, plus rarement globulaires

Tableau 68 : Détail des battitures observées en métallographie

Battiture	Phases cristallisées	Type	Forme de la battiture	Dimension
Boulbat 1	- fayalite - rare wüstite	1	Globulaire	plus de 7 mm
Boulbat 2	- fayalite - rare wüstite	1	lamellaire	plus de 7 mm
Boulbat 3	- fayalite - wüstite	1	lamellaire	plus de 7 mm
Boulbat 4	- fayalite - rare wüstite	1	lamellaire	plus de 7 mm
Boulbat 5	- fayalite - wüstite	1	lamellaire	plus de 7 mm
Boulbat 15	- fayalite - wüstite/magnétite	1	granulaire	plus de 7 mm
Boulbat 21	- fayalite	1	lamellaire	moins de 2 mm
Boulbat 23	- fayalite - wüstite	1	lamellaire	moins de 2 mm
Boulbat 26	- fayalite - wüstite	1	lamellaire	moins de 2 mm
Boulbat 27	- fayalite	1	lamellaire	moins de 2 mm
Boulbat 47	- fayalite - wüstite	1	granulaire	moins de 2 mm
Boulbat 10	- magnétite/wüstite	2	granulaire	plus de 7 mm
Boulbat 11	- magnétite/wüstite	2	granulaire	plus de 7 mm
Boulbat 12	- magnétite/wüstite	2	granulaire	plus de 7 mm
Boulbat 14	- magnétite/wüstite	2	granulaire	plus de 7 mm
Boulbat 24	- magnétite/wüstite	2	lamellaire	moins de 2 mm
Boulbat 37	- magnétite/wüstite	2	granulaire	moins de 2 mm
Boulbat 38	- magnétite/wüstite	2	granulaire	moins de 2 mm
Boulbat 41	- magnétite/wüstite	2	granulaire	moins de 2 mm
Boulbat 8	- fayalite	3	globulaire	plus de 7 mm
Boulbat 22	- aucune	3	lamellaire	moins de 2 mm
Boulbat 25	- magnétite/wüstite	3	lamellaire	moins de 2 mm
Boulbat 29	- magnétite/wüstite	3	globulaire	moins de 2 mm
Boulbat 34	- aucune	3	globulaire	moins de 2 mm
Boulbat 39	- aucune	3	granulaire	moins de 2 mm
Boulbat 46	- aucune	3	granulaire	moins de 2 mm

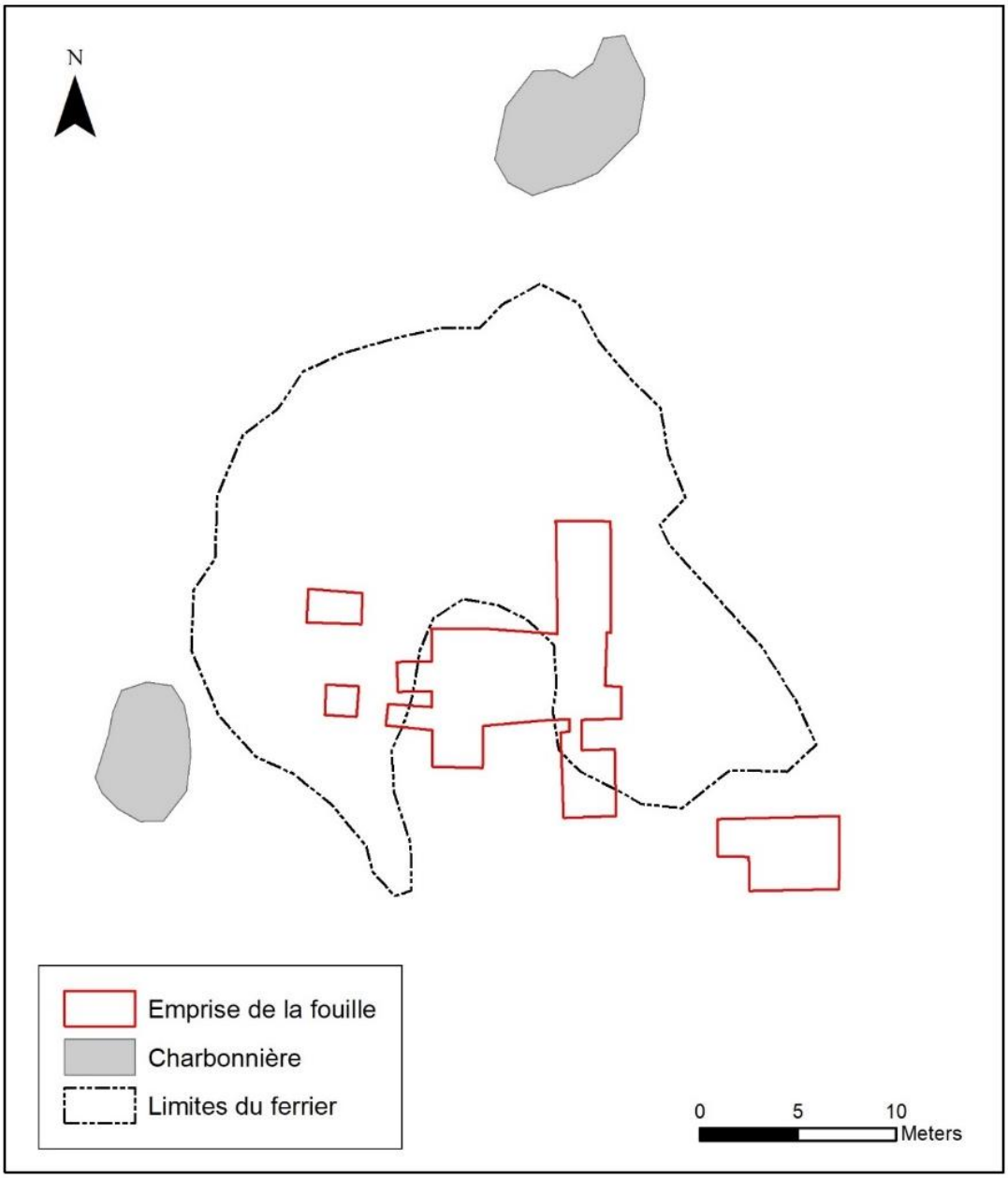


Fig. 102 : Carte de l'étendue de la fouille dans le ferrier F090 de la forêt de Châteauroux

8.1 Un atelier à l'espace organisé

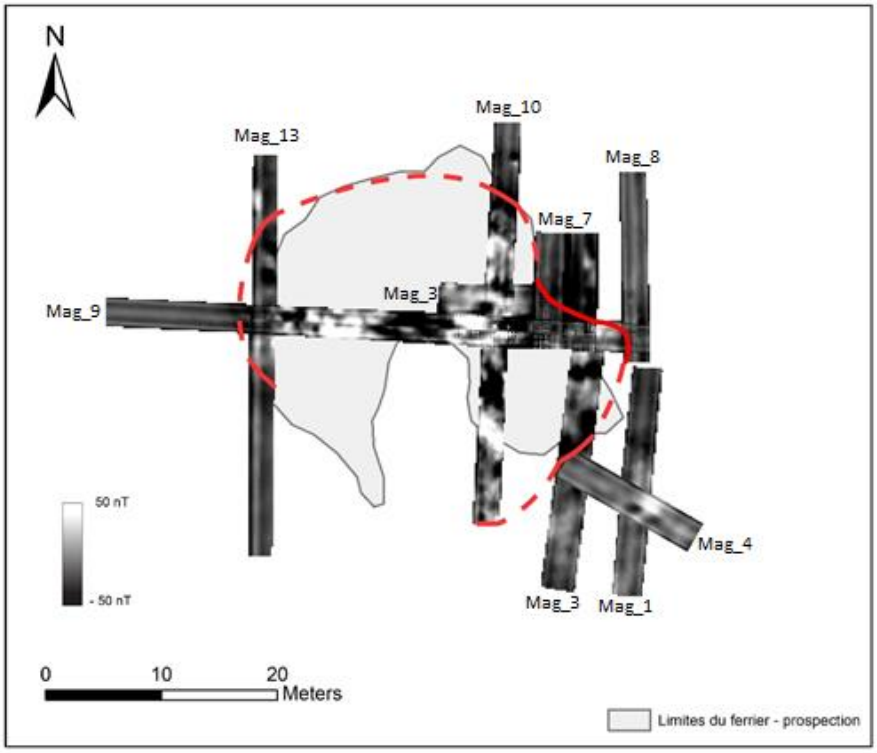


Fig. 103 : Restitution des limites du ferrier et localisation des anomalies magnétiques sur le ferrier F090 (B. Gouhier)



Fig. 104 : Photographie du creusement de l'aire de grillage (Z1S2) (Vue vers le sud)



Fig. 105 *:* Photographie de la structure quadrangulaire (Strc005) observée à l'est de l'aire de grillage du minerai (Z1S2) (vue zénithale)



Fig. 106 : Photographie de la coupe est de la 1ère zone de réduction (vue vers l'est)

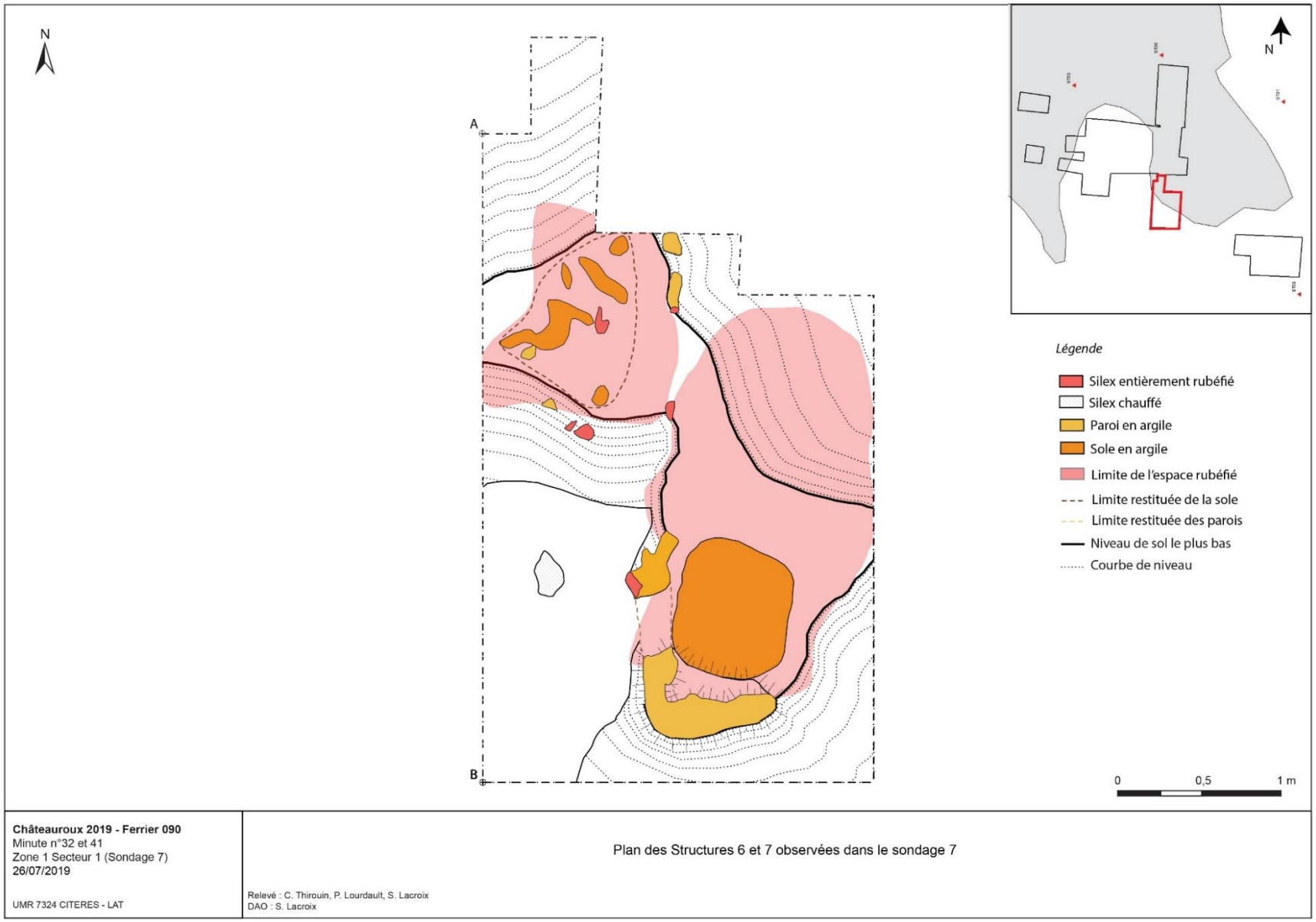


Fig. 107 *:* Plan de la 1ère zone de réduction du fer, située au sud-est de l'atelier



Fig. 108 : Photographie générale de la 1ère zone de réduction (vue vers le nord-est) avec emplacement des fours très arasés



Fig. 109 : Photographie de détail du fond de four (au premier plan) et des parois en argile (à droite) du four n°2 (Strc006) (vue vers le sud)



Fig. 110 : Photographie de détail du fond de four (à gauche) et des parois en argile (à droite) du four n°3 (Strc007) (vue vers le nord)



Fig. 111 : Photographie de détail de la cuve du four n°1 (vue vers le nord)



Fig. 112 : Photographie de détail du four n°1 et des fragments d'argile en place (Vue vers l'ouest)

Tableau 69 : Tableau signalant les fragments de paroi comprenant des traces d'une ossature en bois des fours

Zone	Secteur	Sondage	US	Poids (en kg)	Description	Sous type
1	1	4	1014	0,88	Fragment de paroi en argile blanc très induré et légèrement vitrifié présentant des inclusions d'oxydes et deux sillons de 1,7 cm de diamètre	blanc
1	1	4	1014	0,257	Fragment de paroi en argile beige/gris à mauve présentant une face vitrifiée comprenant deux sillons de 1,2 et 1,5 cm de diamètre	beige
1	1	4	1014	0,23	Fragment de paroi en argile gris/beige avec inclusions de quartz submillimétriques. Un sillon de 1,8 cm de diamètre est visible sur 6 cm de long	gris
1	1	4	1014	0,173	Fragment de paroi en argile gris présentant une face plane et vitrifiée avec traces informes de sillons et une face plane violacée	gris
1	1	4	1014	0,027	Fragment de paroi en argile orangé avec inclusion de quartz submillimétriques présentant un sillon de 1,8 cm de diamètre	orangé
1	1	4	1014	0,106	2 fragments de paroi en argile beige à violacés avec inclusions de quartz submillimétriques présentant des sillons parallèles de 1 cm de diamètre	beige
1	1	4	1003	0,307	Fragment de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques présentant une face plane avec 4 sillons parallèles de 1,2 cm	gris
1	1	4	1003	0,138	2 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques présentant une face plane avec des sillons parallèles de 1,2 cm	gris

1	1	5	1012	0,172	2 fragments de paroi en argile gris induré avec inclusions de quartz submillimétriques présentant une face plane vitrifiée et des sillons angulaires et parallèles dans son épaisseur	gris
1	1	4	1014	0,319	Fragment de paroi en argile beige à blanc présentant une face plane vitrifiée rosâtre. On observe un sillon régulier	beige
1	1	4	1014	0,058	Fragment de paroi en argile beige présentant des reflets mauve et un sillon de 1,5 cm	beige
1	1	6	1011	1,038	Gros fragment de paroi en argile beige à gris présentant deux faces scorifiée et vitrifiée présentant une face avec négatif de sillons parallèles	beige
1	1	9	1012	0,08	Fragment de paroi en argile gris avec inclusion de quartz submillimétrique et vitrification très importante sur une face. Un bombement en argile orangée et visible sur la face externe. Il mesure 2cm de diamètre.	gris
1	1	2	1019	0,175	Fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques et scorification sur une face. Présence de 2 bombements de 1,9 et 2 cm de diamètre	gris
1	1	6	1011	0,194	Fragment de paroi en argile gris très vitrifié présentant 4 bombements de 1,3 cm de diamètre et scorifié sur une face	gris
1	1	6	1011	0,168	Fragment de paroi en argile blanc avec inclusion de quartz submillimétrique associé à un bombement orangé d'1,6 cm d'épaisseur et vitrifié sur une face violacée	blanc
1	1	4	1003	0,235	Fragment de paroi en argile gris induré avec inclusions de quarts submillimétriques présentant un bombement de 1,8 cm de diamètre	gris



Fig. 113 : Photographie des alignements de pierres observés au nord du secteur de réduction de l'atelier métallurgique (UC 1001, UC 1002 et UC 1012) (vue vers le nord-est)

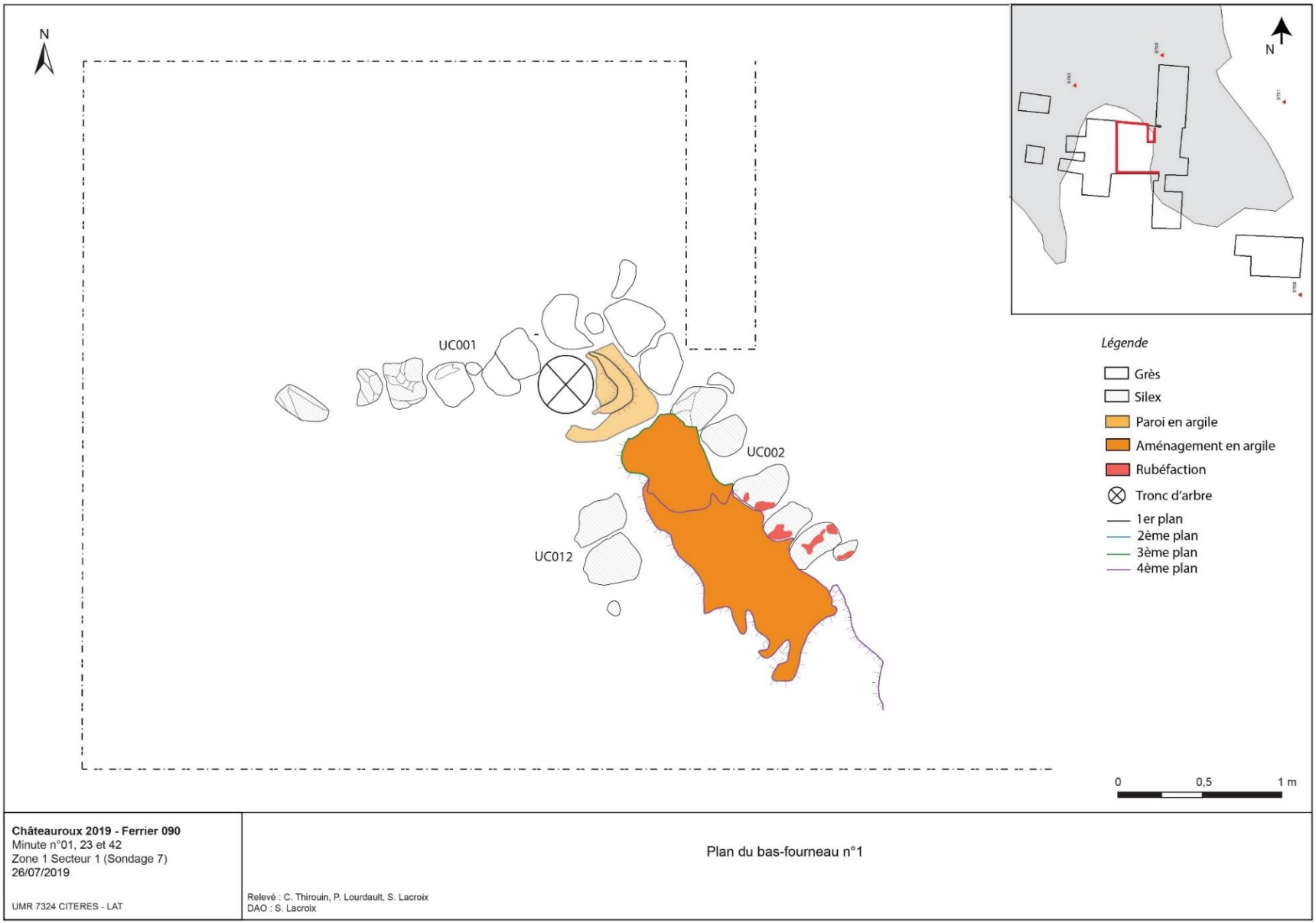


Fig. 114 *:* Plan des alignements (UC 1001, UC 1002, UC 1012) de pierres observés au nord du secteur de réduction de l'atelier



Fig. 115 : Photographie de l'alignement de pierres (UC 1003) et du trou de poteau (Strc 004) observés à l'ouest du secteur de réduction de l'atelier métallurgique (vue vers le nord)



Fig. 116 : Photographie de la structure quadrangulaire en cours de fouille, mise au jour au sud-ouest du secteur de réduction (vue vers le nord)

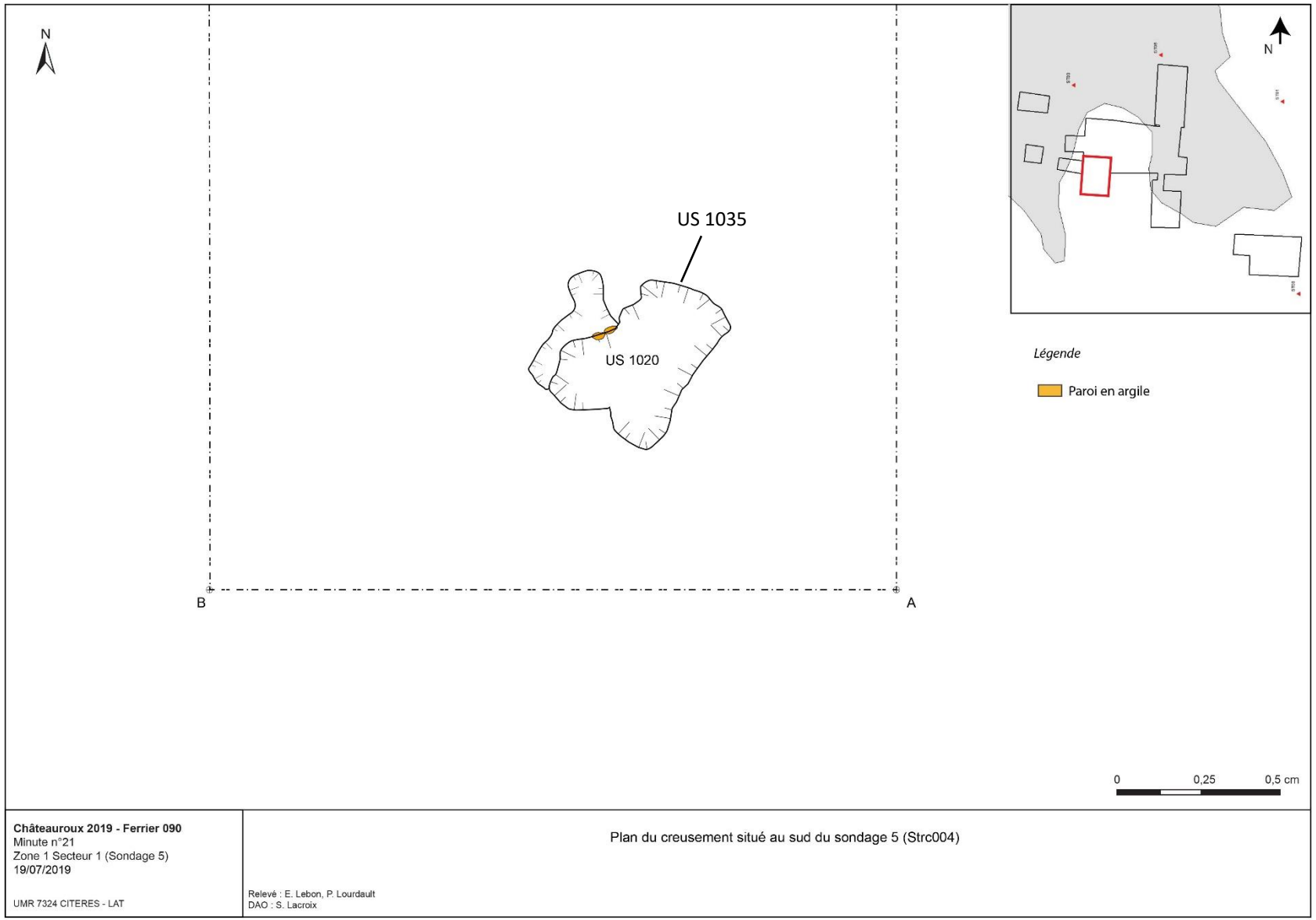


Fig. 117 : Plan de la structure quadrangulaire observée au sud-ouest du secteur de réduction (Str 004)

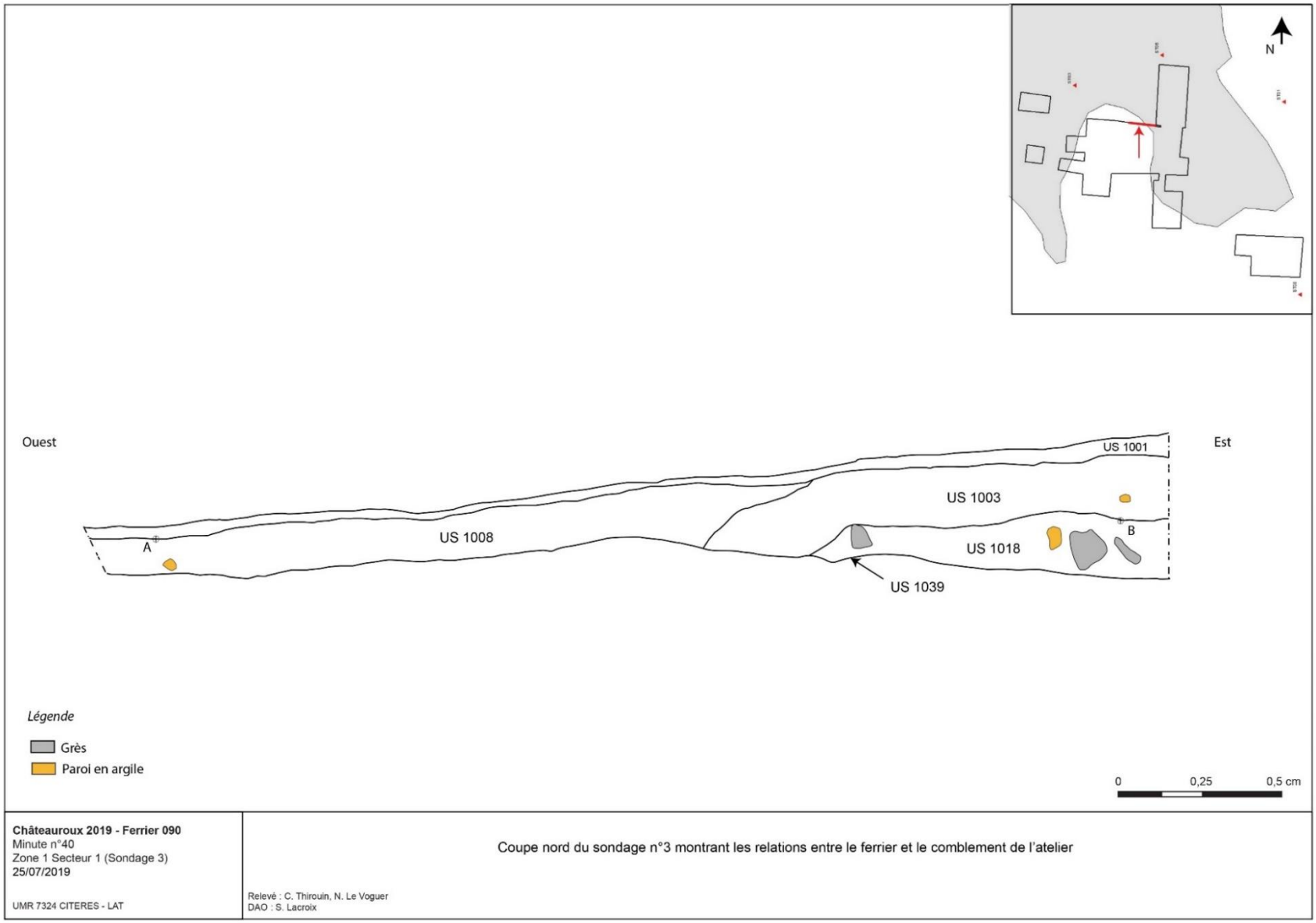


Fig. 118 : Coupe nord du sondage 3 présentant le profil du creusement (US1039) de la zone de rejet

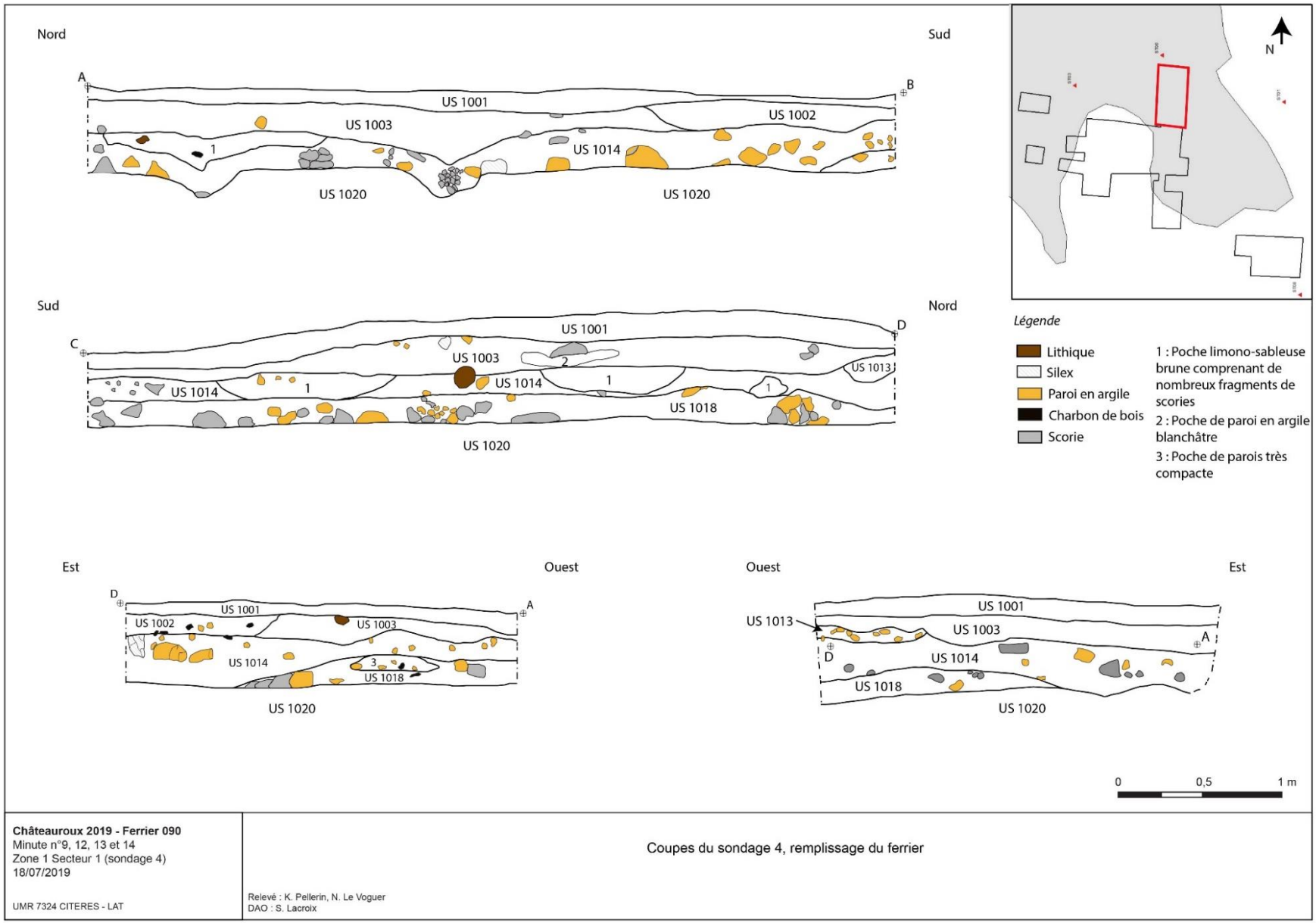


Fig. 119 : Coupes présentant le remplissage du ferrier dans le sondage 4

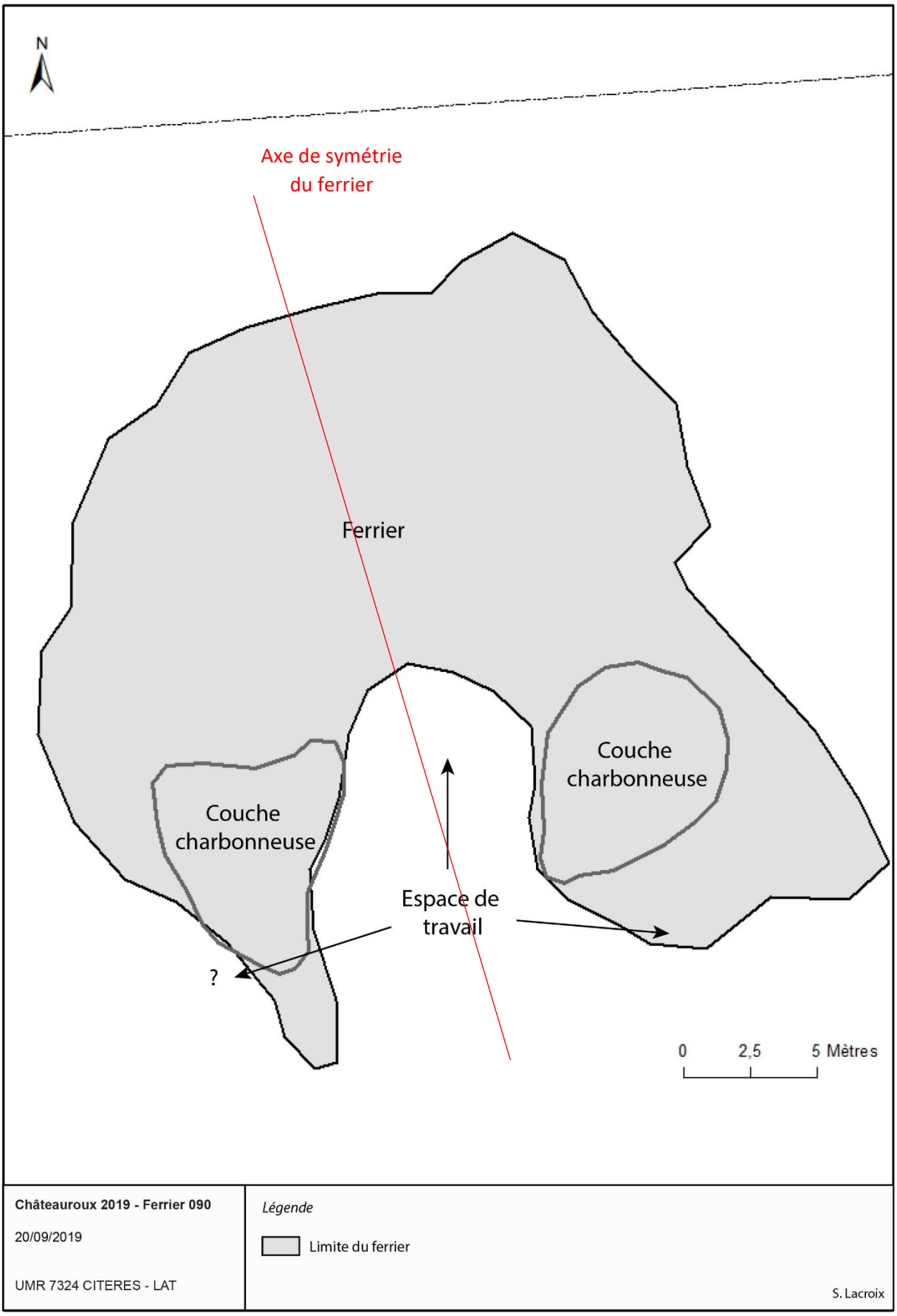


Fig. 120 *:* Plan localisant les couches charbonneuses et leurs limites dans le ferrier

8.2 Les indices de datation

Tableau 70 : Tableau de comptage en NR par US et Groupes Techniques de la céramique du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux

US / GT	Bou2a	Bou1d	Bou6a	Bou7p	GR	HMA	TOTAL
1001	7	8					**15**
1002	1	4				1	**6**
1004	2	7					**9**
1006	4	1					**5**
1008	9	7	2				**18**
1013		1					**1**
1014	1						**1**
1015	4						**4**
1017	3	2	1				**6**
1018	2	1			1		**4**
1019	4	1					**5**
1021	1	4		1			**6**
1022	5	1					**6**
1030						6	**6**
TOTAL	**43**	**37**	**3**	**1**	**1**	**7**	**92**

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -25.8 o/oo)

Laboratory number **Beta-544780**

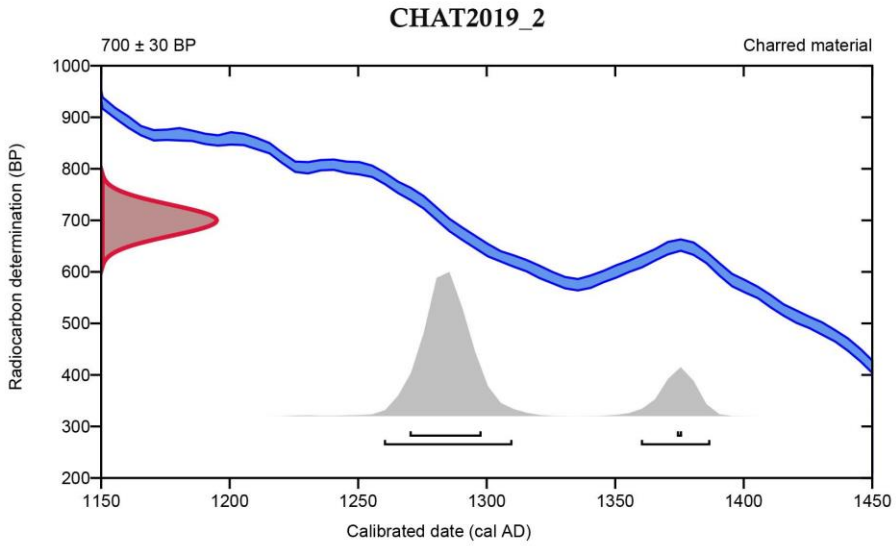
Conventional radiocarbon age **700 ± 30 BP**

95.4% probability

(77.3%)	1260 - 1310 cal AD	(690 - 640 cal BP)
(18.1%)	1360 - 1387 cal AD	(590 - 563 cal BP)

68.2% probability

(64.9%)	1270 - 1298 cal AD	(680 - 652 cal BP)
(3.3%)	1374 - 1376 cal AD	(576 - 574 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 121 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du comblement de l'aire de grillage (US 1006)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -24.8 o/oo)

Laboratory number **Beta-544779**

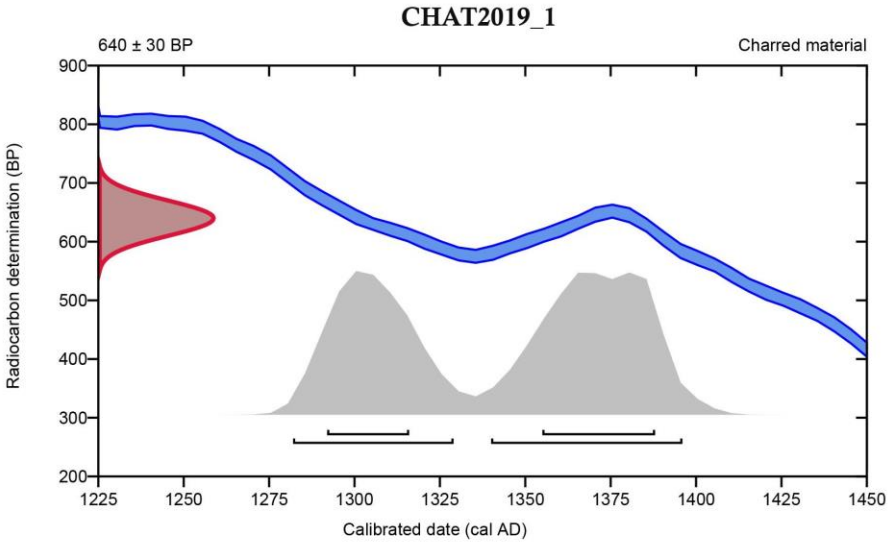
Conventional radiocarbon age **640 ± 30 BP**

95.4% probability

(54.5%)	1340 - 1396 cal AD	(610 - 554 cal BP)
(40.9%)	1282 - 1329 cal AD	(668 - 621 cal BP)

68.2% probability

(40.7%)	1355 - 1388 cal AD	(595 - 562 cal BP)
(27.5%)	1292 - 1316 cal AD	(658 - 634 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 122 *:* Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du comblement du bas-fourneaux n°1 (US 1019)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -24.6 o/oo)

Laboratory number **Beta-544783**

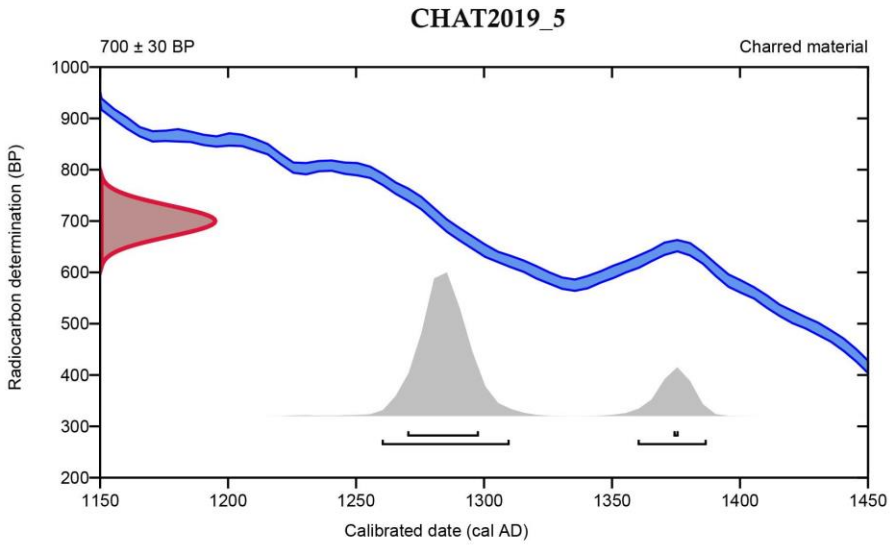
Conventional radiocarbon age **700 ± 30 BP**

95.4% probability

(77.3%)	1260 - 1310 cal AD	(690 - 640 cal BP)
(18.1%)	1360 - 1387 cal AD	(590 - 563 cal BP)

68.2% probability

(64.9%)	1270 - 1298 cal AD	(680 - 652 cal BP)
(3.3%)	1374 - 1376 cal AD	(576 - 574 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 123 *:* Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant de la cuve du four de réduction n°1 (US 1019)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -24.9 o/oo)

Laboratory number **Beta-544781**

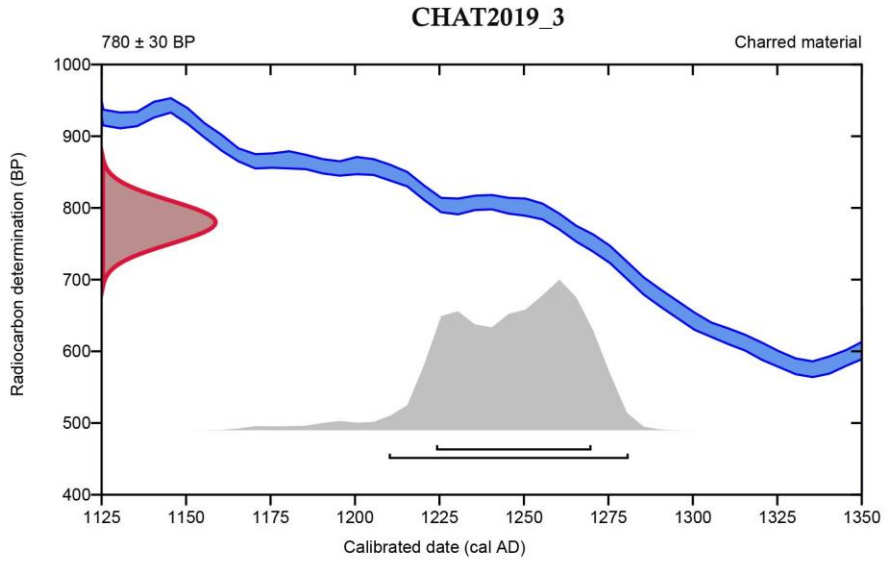
Conventional radiocarbon age **780 ± 30 BP**

95.4% probability

(95.4%) 1210 - 1281 cal AD (740 - 669 cal BP)

68.2% probability

(68.2%) 1224 - 1270 cal AD (726 - 680 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 124 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant d'une couche de rejet du ferrier (US 1014)

BetaCal 3.21

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL13)

(Variables: d13C = -23.3 o/oo)

Laboratory number **Beta-544782**

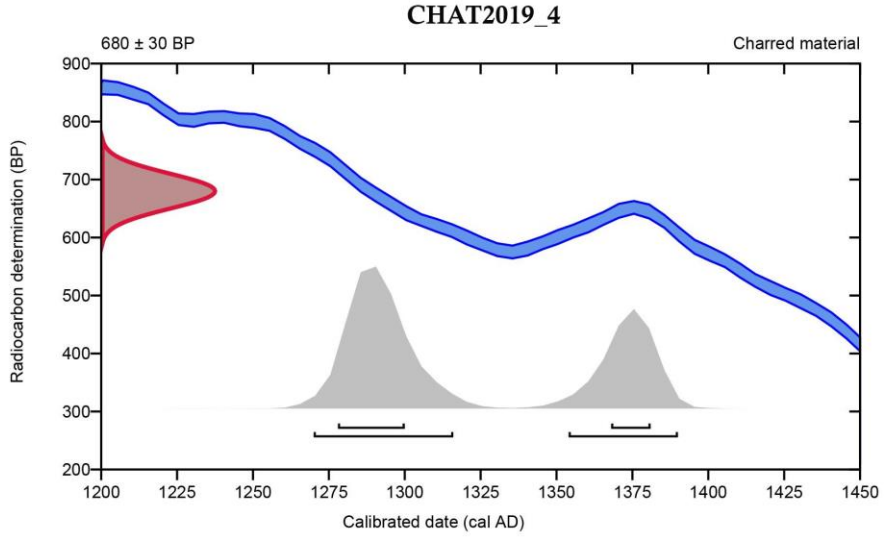
Conventional radiocarbon age **680 ± 30 BP**

95.4% probability

(60.2%)	1270 - 1316 cal AD	(680 - 634 cal BP)
(35.2%)	1354 - 1390 cal AD	(596 - 560 cal BP)

68.2% probability

(47.2%)	1278 - 1300 cal AD	(672 - 650 cal BP)
(21%)	1368 - 1381 cal AD	(582 - 569 cal BP)



Database used

INTCAL13

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL13

Reimer, et.al., 2013, Radiocarbon55(4).

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 125 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant d'une couche de rejet du ferrier (US 1018)

8.3 Une technique de production peu connue au Moyen Âge

8.3.1 Description de la réduction

Tableau 71 : Tableau de la représentation des scories écoulées par type

	Poids (en kg)	%
Cordons Agglomérés	8,2	41,8
Cordons fins	6,1	31,1
En plaque/ridés	0,6	3,1
cordons épais	3,4	17,3
Indet	1,3	6,6

Tableau 72 : Tableau de la représentation des différents types de scories internes

	Poids (en kg)	%
SBR	141,4	93,7
SBD	6,7	4,4
SF	0,6	1,5
SL	2,2	1,5

Tableau 73 : Tableau d'enregistrement des fonds de four provenant de l'atelier F090 de la forêt de Châteauroux

Zone	Secteur	Sondage	US	Poids (en kg)	Longueur (en cm)	Largeur (en cm)	Ep. (en cm)	Description	Oxydation	Sous type
1	1	6	1011	2,06	15	13	10,5	Fond de fourneaux brun rugueux plano-convexe avec inclusion d'oxydes de fer, de paroi en argile orangé et de charbon de bois. Vitrification importante sur toutes les faces sauf celle supérieure ou la vitrification est bleutée	Légère	SBR
1	1	6	1011	1,915	23	17	11	Gros fond de four brun, rugueux de forme arrondie et plano-convexe présentant de très nombreux fragments de charbon de bois et des inclusions d'oxydes de fer et de paroi en argile	Aucune	SBR
1	1	4	1014	1,515	21	14	4,5	Fragment de fond de four brun, rugueux plano-convexe et arrondi coupé en moitié comprenant de nombreuses inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer	Aucune	SBR
1	1	4	1014	1,49	18	12	5	Fond de four brun rugueux et plano-convexe présentant des inclusions de charbon de bois, d'oxydes de fer et d'argile orangé. Forme arrondie. Très vitrifié	Légère	SBR
1	1	4	1014	1,485	14,1	12,6	7,8	Fond de fourneau plano convexe de forme arrondie avec des cordons vitrifiés en partie supérieure et rugueux en partie inférieure. Inclusions de fragment de	Aucune	SBR

								paroi, de charbon de bois et d'oxydes de fer		
1	1	6	1011	1,21	17,5	14	9	Fond de fourneau brun rugueux, plano-convexe composé de cordon aggloméré et vitrifiés bleu sur la face supérieure. Inclusion d'oxydes de fer, de paroi beige/orangée	Légère	SBR
1	1	4	1014	1,158	13,3	13,4	6,5	Gros fragment de fond de four brun, rugueux de forme arrondie et plano-convexe présentant une face supérieure vitrifiée et une face inférieure comprenant de nombreux charbon de bois et des inclusions d'oxydes de fer et de paroi en argile gris	Aucune	SBR
1	1	2	1019	1,148	18	14	6,2	Fragment de fond de four brun, rugueux plano-convexe et arrondi coupé en moitié comprenant de nombreuses inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer. Vitrifié mauve sur la face supérieure	Aucune	SBR
1	1	4	1014	1,135	21	11	6	Fond de fourneau plano-convexe et arrondie brun dense avec vitrification sur une face inclusion d'oxyde et d'argile beige/orangée	Aucune	SBR
1	1	6	1011	1,115	13,5	13	6,7	Fond de fourneau plano-convexe et arrondie brun rugueux avec inclusion d'oxydes, de charbon de bois et de paroi en argile orangée. Vitrification sur la face inférieure	Légère	SBR
1	1	6	1011	1,025	19	15,5	5	Fond de four brun rugueux et plano-convexe présentant des inclusions de charbon de bois, d'oxydes de fer et d'argile orangé. Forme arrondie. Très vitrifié	Légère	SBR
1	1	4	1014	0,985	17,5	10	6,8	Scorie brune rugueuse présentant deux faciès, la partie centrale est rugueuse alors que la partie latérale est composée de cordon fin légèrement vitrifiés en surface. Plusieurs inclusions de charbon de bois et d'oxydes de fer.	Légère	SBR
1	1	4	1014	0,981	17	10,5	5,3	Fragment de fond de four brun, rugueux, arrondie et plano-convexe avec inclusion de charbon de de bois et d'oxydes de fer	Aucune	SBR
1	1	4	1014	0,975	17	11,8	7,5	Fond de fourneau brun et rugueux vitrifié sur la face inférieure avec de nombreuses inclusions de charbon de bois et d'argile beige	Légère	SBR
1	1	4	1014	0,955	14,8	12	9,4	Fond de fourneau plano-convexe de couleur gris/brun rugueuse présentant de large cordon sur sa face inférieure et sur l'un des côtés. Un arrachement en son centre montre la présence de nombreux fragments de charbon de bois et d'une matrice grise argentée. Ce fond de four témoigne de la forme arrondie du bas-fourneau. Inclusion d'argile centimétrique par endroit. La partie supérieure de la scorie est creuse signalant probablement l'emplacement d'une tuyère	Aucune	SBR
1	1	4	1014	0,945	15,5	16	8,5	Fond de fourneau brun rugueux, plano-convexe et de forme circulaire. Nombreuses inclusions de charbon de bois, d'oxyde de fer et d'argile orangé. Légère vitrification bleutée sur la face inférieure.	Légère	SBR

1	1	4	1014	0,88	14,7	12	7,8	Fond de fourneau brun rugueux, plano-convexe et de forme circulaire. Nombreuses inclusions de charbon de bois, d'oxyde de fer et d'argile orangé. Légère vitrification bleutée sur la face inférieure. Prélèvement d'un fragment de charbon de bois pour analyse 14C	Légère	SBR
1	1	4	1014	0,83	15,1	13,2	6,2	Fond de fourneau brun rugueux, plano-convexe composé de cordon aggloméré et vitrifiés sur la face inférieure et vitrifié bleu/vert sur la face supérieure. Inclusion d'oxydes de fer, de paroi beige/orangée	Légère	SBR
1	1	4	1014	0,695	16	12,5	4,2	Fond de fourneau plano convexe de forme arrondie. Brun et rugueux avec inclusions de fragment de paroi, de charbon de bois et d'oxydes de fer	Aucune	SBR
1	1	4	1018	0,651	14	12,5	6,5	Fond de four, scorie brune rugueuse et dense avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois associé à de la paroi en argile gris	Aucune	SBR
1	1	6	1011	0,65	13	11,9	5	Fond de fourneau plano-convexe brun, rugueux de forme circulaire dont la face inférieure est très vitrifiée blanc/vert et la face supérieure est lisse par endroit. Présence d'inclusion d'argile et d'oxyde de fer. Présence abondante de charbon de bois. Matrice interne noire et vacuolaire	Légère	SBR
1	1	4	1014	0,46	12,6	10,8	4	Scorie brune dense et rugueuses de forme arrondie avec inclusion d'oxyde de fer, de fragment d'argile gris et de charbon de bois.	Légère	SBR
1	1	3	1004	0,435	12	11,5	7	Fond de fourneau brun rugueux plano-convexe et arrondie avec inclusion d'oxydes de fer, de charbon de bois et d'argile orangée. Vitrifié par endroit	Légère	SBR
1	1	3	1004	0,41	10	8,9	5,6	Fond de fourneau brun rugueux plano-convexe et arrondie avec inclusion d'oxydes de fer, de charbon de bois et d'argile orangée. Vitrifié par endroit	Légère	SBR
1	1	Nettoyage	1001	0,329	14,1	10,5	2,9	Fond de four arrondie, brun, rugueux, plano-convexe vitrifié en surface	Aucune	SBR

Tableau 74 : Tableau présentant le nombre de fond de four par classe de poids

Classe de poids (en kg)	Effectif	% Effectif
0,2 à 0,39	1	4
0,4 à 0,59	3	12
0,6 à 0,79	3	12
0,8 à 0,99	7	28
1 à 1,19	5	20
1,2 à 1,39	1	4
1,4 à 1,59	3	12
1,6 à 1,8	0	0
1,8 à 2	2	8

Tableau 75 : Pourcentage en masse des éléments chimiques présents dans les échantillon de l'atelier F090

n°échantillon	Description	% masse Si	% masse Al	% masse Fe	% masse Ca	% masse Mg	% masse Na	% masse K	% masse Cr	% masse Ti	% masse Mn	% masse P	% masse Ba
ECH_090_6	Argile cuite	39,01	7,94	0,75	0,04	0,03	0,02	0,14	0,00	0,32	0,03	0,02	0,01
ECH_090_7	Argile cuite	40,89	3,69	1,56	0,11	0,15	0,28	1,76	0,00	0,43	0,07	0,02	0,05
ECH_090_9	Argile cuite	40,92	3,86	1,63	0,06	0,13	0,23	1,56	0,00	0,44	0,03	0,02	0,04
ECH_090_10	Scorie brune dense	17,08	4,36	31,59	3,28	0,56	0,07	1,52	0,01	0,23	1,48	0,18	0,10
ECH_090_15	Scorie brune dense	17,86	6,42	28,97	2,60	0,37	0,07	1,57	0,01	0,30	1,16	0,07	0,06
ECH_090_2	Scorie brune dense	15,90	3,05	35,22	1,50	0,54	0,10	1,30	0,01	0,15	3,52	0,16	0,17
ECH_090_4	Scorie brune dense	15,82	4,49	32,50	2,69	0,59	0,17	1,65	0,01	0,22	2,75	0,15	0,13
ECH_090_1	Scorie brune dense	14,44	3,05	37,95	1,41	0,29	0,04	0,82	0,01	0,17	3,46	0,26	0,39
ECH_090_11	Scorie brune dense	12,77	3,59	40,69	1,70	0,42	0,04	0,96	0,01	0,18	2,03	0,25	0,08
ECH_090_3	Scorie brune dense	16,86	3,62	31,26	1,47	0,74	0,04	1,62	0,01	0,17	4,92	0,10	0,38
ECH_090_5	Scorie brune dense	15,42	3,75	32,44	1,84	0,69	0,07	1,66	0,01	0,18	5,31	0,14	0,39
ECH_090_19	Scorie écoulée	12,99	4,16	41,16	1,56	0,35	0,06	1,04	0,01	0,22	0,67	0,13	0,03
ECH_090_16	Scorie écoulée	13,14	3,78	43,34	0,65	0,11	0,07	0,59	0,01	0,22	0,38	0,09	0,03
ECH_090_17	Scorie écoulée	13,32	4,49	40,21	1,44	0,35	0,06	1,20	0,02	0,24	0,66	0,14	0,03
ECH_090_18	Minerai	1,40	0,25	66,74	0,12	0,04	0,04	0,01	0,00	0,01	0,60	0,05	0,01
	Charbon 1 - Oulches	7,6	2,8	1,7	47,1	1,2	0,3	0,7	indet	0,2	0,1	0,2	indet
	Charbon 2 - Oulches	9,9	4,6	2,5	37,9	1,1	0,2	0,6	indet	0,2	0,3	0,3	indet

9.1 Combustible et métallurgie



Fig. 126 : Photographies de deux meules expérimentales (en haut en fosse, en bas en meule)
Photo et expérimentation : M. Acquarone (Organisation Altimara)

9.1.1 Le charbon de bois employé dans les ateliers métallurgiques

L'atelier F155/1 de Boulogne-Chambord : un combustible homogène, mais à l'exploitation difficile

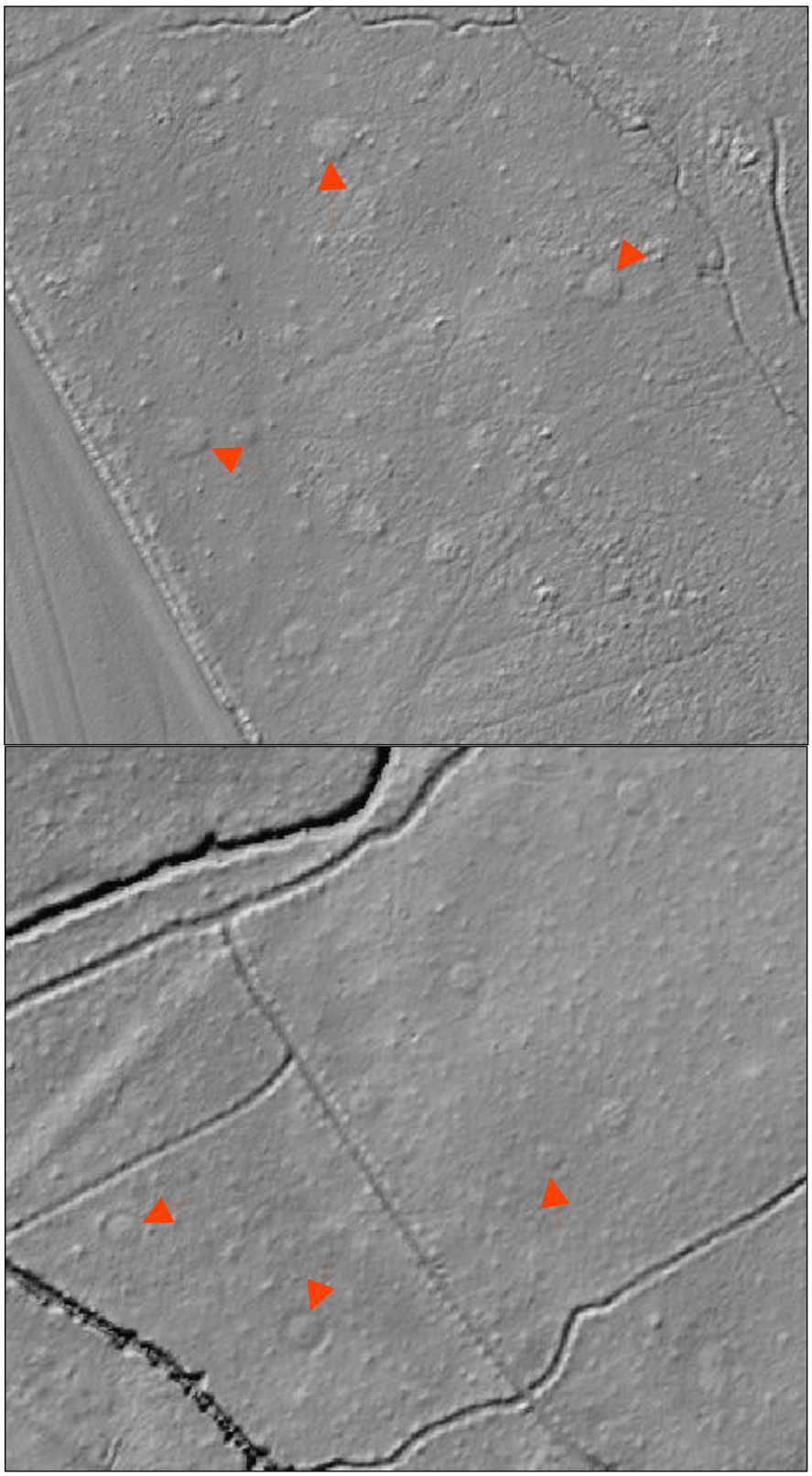


Fig. 127 : Images LiDAR des empreintes de charbonnières dans le massif de Boulogne/Chambord (en haut : type 1, en bas : type 2)

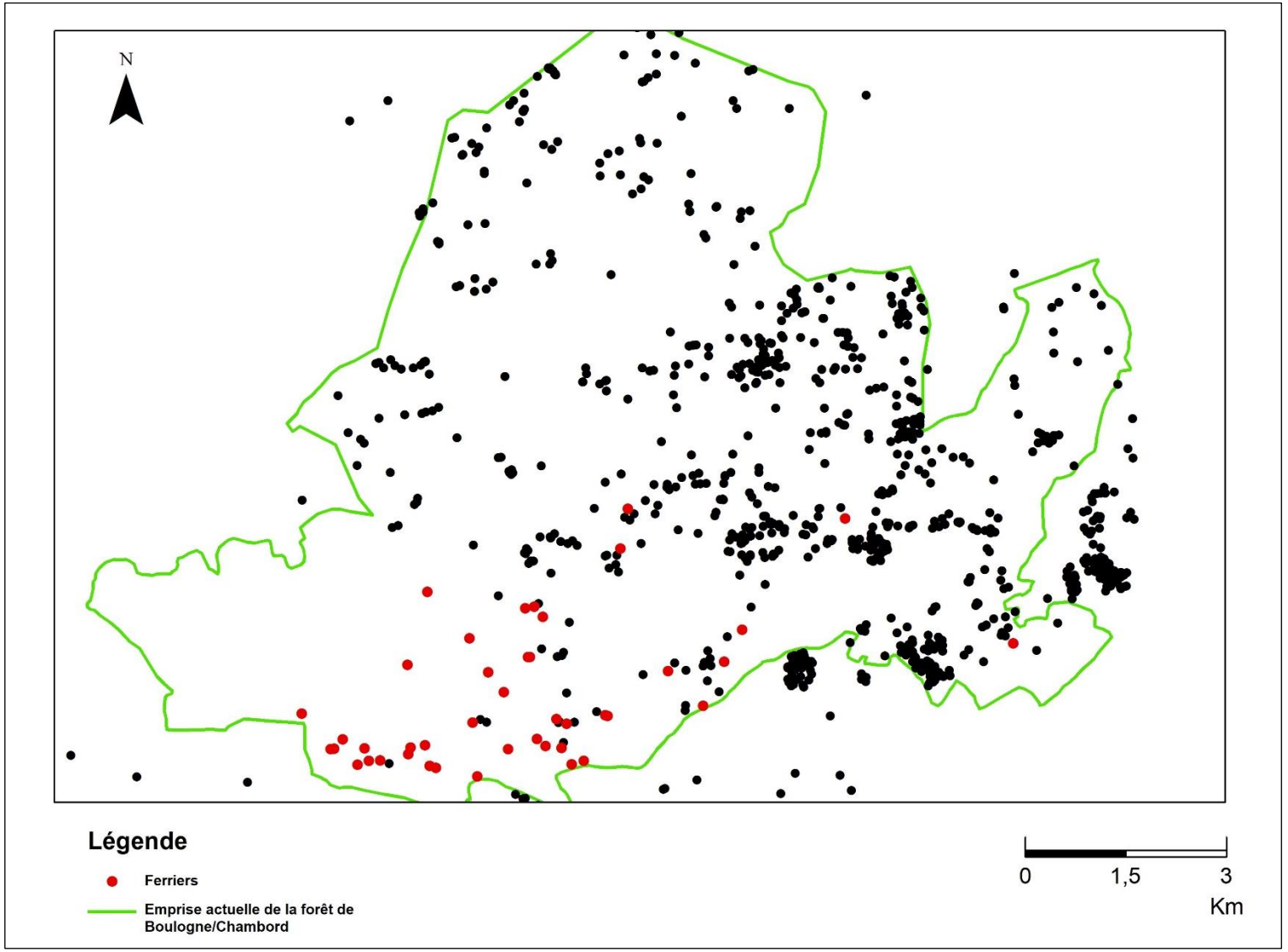


Fig. 128 : Carte localisant les charbonnières repérées grâce aux images LiDAR et les ferriers

Tableau 76 : Tableau du nombre de charbon par classe de rayon restitué et par US dans l'atelier F155/1

US	]0-1]	]1-2,5]	]2,5-5]	]5-9]	>9	Total gé
2006			1			1
2011			1			1
2012	1					1
2013		2				2
2016		1			2	3
2017				1	1	2
2022		2	1		2	5
2025					1	1
2026	3	9	6	3	12	33
2030		1				1
2031			1			1
2032	1				1	3
2033				1	1	2
2038		1				1
2053			1			1
UC 001	1	1			1	3
UC 003		1				1
UC 004	1	4	4	4	10	23
Total	7	22	15	9	31	85

Tableau 77 : Tableau d'enregistrement de l'épaisseur corrigée des cernes (en mm) des charbons issus de la zone de forge de l'atelier F155/1

US	n°charbon	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
2026	8	2	1,03	0,99	1,31	1,88	1,66	1,16	1,35	1,16	1,08						
2026	11	1,95	0,89	0,99	0,96	0,83	1,14										
2026	15	1,68	1,59	1,66	1,43	1,17	1,78										
2026	18	1,56	1,4	2,18	1,71	1,19	1,51	1,37	0,8								
2026	19	0,96	1,17	1,1	0,84	1,37	0,81	0,99	0,79	0,74	0,72	0,89	0,96				
2026	20	1	1	1,06	1,4	1,45	1,53	1,86	2,6								
2026	21	0,77	0,9	1,3	0,92	0,75	0,69										
2026	24	0,75	0,91	1,37	1,8	0,74	0,82										
2026	36	0,8	1,52	2,41	0,69	1,32	1,04	1,7	1,05	0,66	0,84	0,92					
2026	37	1,76	1,87	0,62	1,01												
2026	40	0,54	0,6	0,67	0,77	1,12											
UC 004	41	2,84	2,96	2,1	1,88	2,06	2,1	2,67	1,9								
UC 004	42	1,09	1,04	1,01	2,1	0,92	0,84	1,43									
UC 004	43	2,14	4,17	2,38	2,55	12,2											
UC 004	46	1,96	0,78	1,65	0,79	1,16											
UC 004	48	1,18	1,1	1,48	1,09	1,12	1,09										
UC 004	49	0,72	0,94	0,78	0,95	0,52	0,61	0,58	0,57	0,53	0,58						
UC 004	50	0,67	0,76	0,66	0,7	0,75	0,67										
UC 004	51	1,4	1,13	1,02	1,31	1,35	1,12	0,76									
UC 004	52	0,84	1,14	1,18	1,5	0,98	1,9	1,32	1,03	1,19	1,15						
UC 004	53	1	0,79	0,73	1,32	0,78	0,78	0,87	1,05	0,68	0,79	1,1					

UC 004	54	0,95	0,95	1,19	1,59	0,93	1,31	1,12	1,44								
UC 004	55	0,49	0,46	0,84	0,66	0,48	0,45	0,67	0,59	1	0,7	0,67	0,79	0,99			
UC 004	56	1,43	0,84	1,47	1,17	0,85	1,75	1,2	1,16	1,07							
UC 004	57	1,04	0,95	0,64	0,86	0,84	1,18										
UC 004	58	0,56	0,58	0,39	0,34	0,35	0,53	0,61	0,48	0,66	0,63	0,75	0,61	0,6	20,29	0,59	0,68
UC 004	59	0,83	1,42	1,06	1,17	1,18	0,93										
UC 004	60	0,73	0,81	1,74	2	1,47											
UC 004	61	1,16	1,2	1,37	1,16	1,8	1,18	1,05	1,06								
UC 004	62	0,84	0,98	0,77	1,1	0,94	0,94										
2026	65	0,67	0,78	0,76	0,79	0,65	0,43	0,69	0,71	0,7	0,64	0,67	0,78	0,76			
2026	66	0,54	0,61	0,91	0,77	1,09	0,54	0,65	0,72	1,09		0,2					
2026	67	1,33	2,76	2,78	1,45												
2026	69	0,47	0,73	0,55	0,5	0,57	0,54	0,68	0,54	0,54	0,46	0,55	0,55				
2026	70	0,37	0,52	0,62	0,48	0,52											
2026	71	1,12	0,66	1,46	0,68	1,15	1,1	1,76	1,66								
2026	72	0,99	1,9	1,5	1,51	1,91											
2026	73	1,51	1,59	1,96	1,47	1,13											
2026	74	1,19	1,18	1,73	1,49												
2026	75	0,63	0,98	0,65	1,06	1,5											
2026	80	0,93	1,07	0,71	0,78	0,8	1,05										
2026	83	0,64	0,74	0,71	0,81	1,04											

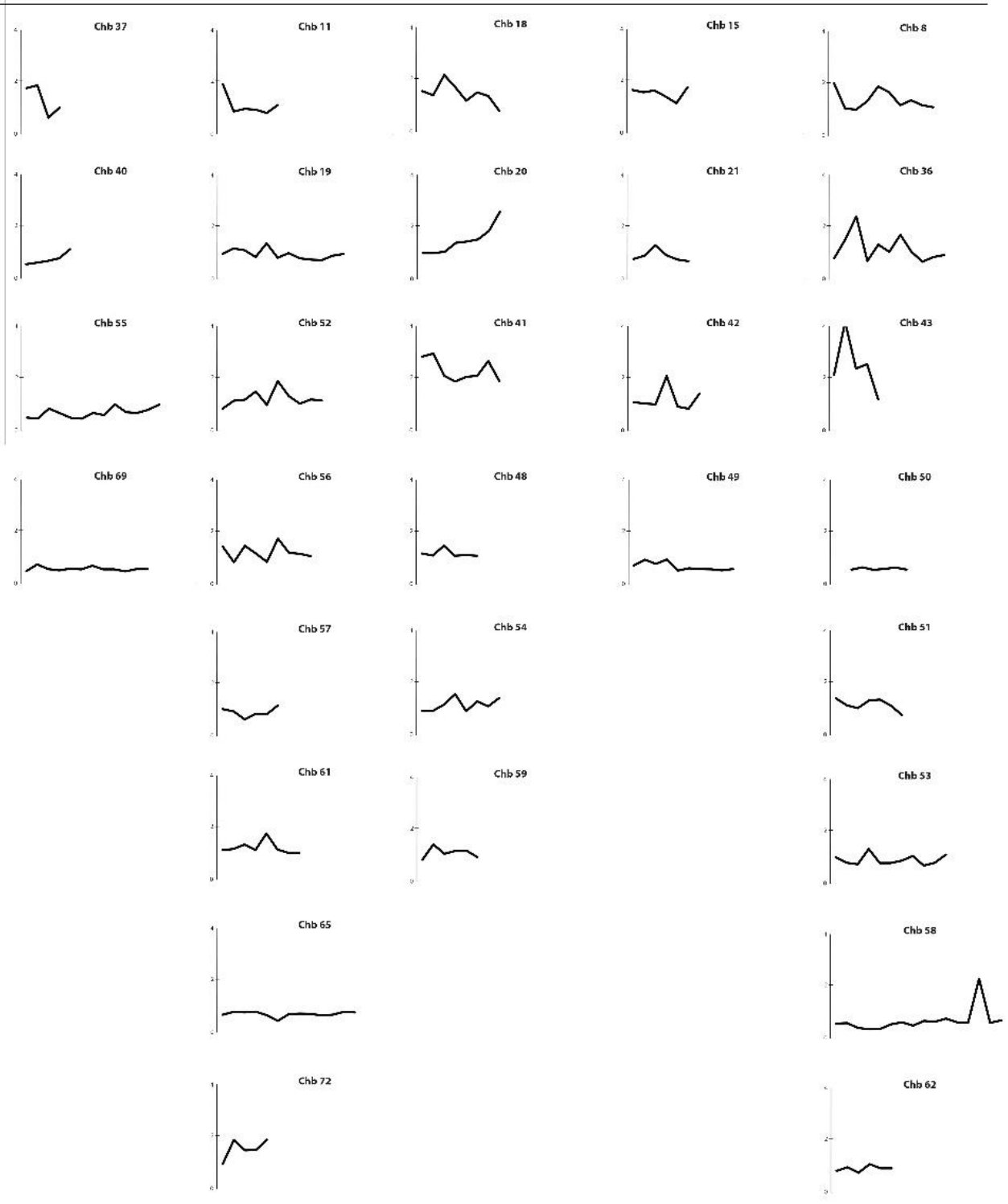
Tableau 78 : Epaisseur moyenne corrigée des cernes (en mm) par charbon observé dans la zone de forge de l'atelier F155/1

US 2026	UC 004
2,31	1,30
1,20	1,13
4,69	0,71
1,27	1,43
1,18	0,72
0,68	0,53
0,70	0,95
1,16	1,19
1,22	0,89
0,90	0,95
1,19	0,57
0,68	0,92
1,22	1,23
0,92	1,11
1,79	0,64
1,10	1,35
1,35	0,75
1,25	1,00
0,93	1,43

1,36	0,48
1,13	0,97
1,55	0,87
1,47	0,61
0,95	0,75
1,49	0,42
0,89	1,76
1,07	1,92
1,18	
1,32	
0,74	
0,69	
0,71	
2,08	
0,56	
0,50	
1,20	
1,56	
1,53	
1,40	
0,96	
0,89	
0,79	

Fig. 129 : Courbes de croissance des charbons provenant de la zone de forge de l'atelier F155/1 en fonction de leur diamètre restitué

US 2026/UC004	]0-1[	]1-2,5[	]2,5-5[	]5-9[	]>9 [
Nombre de charbon	4	11	6	4	14
Moyenne des largeurs des cernes	0,82	1,16	1,45	0,94	1,14
Moyenne des largeurs minimum	0,45	0,43	0,8	0,52	0,2
Moyenne des largueurs maximum	1,87	1,96	2,96	2,1	4,17



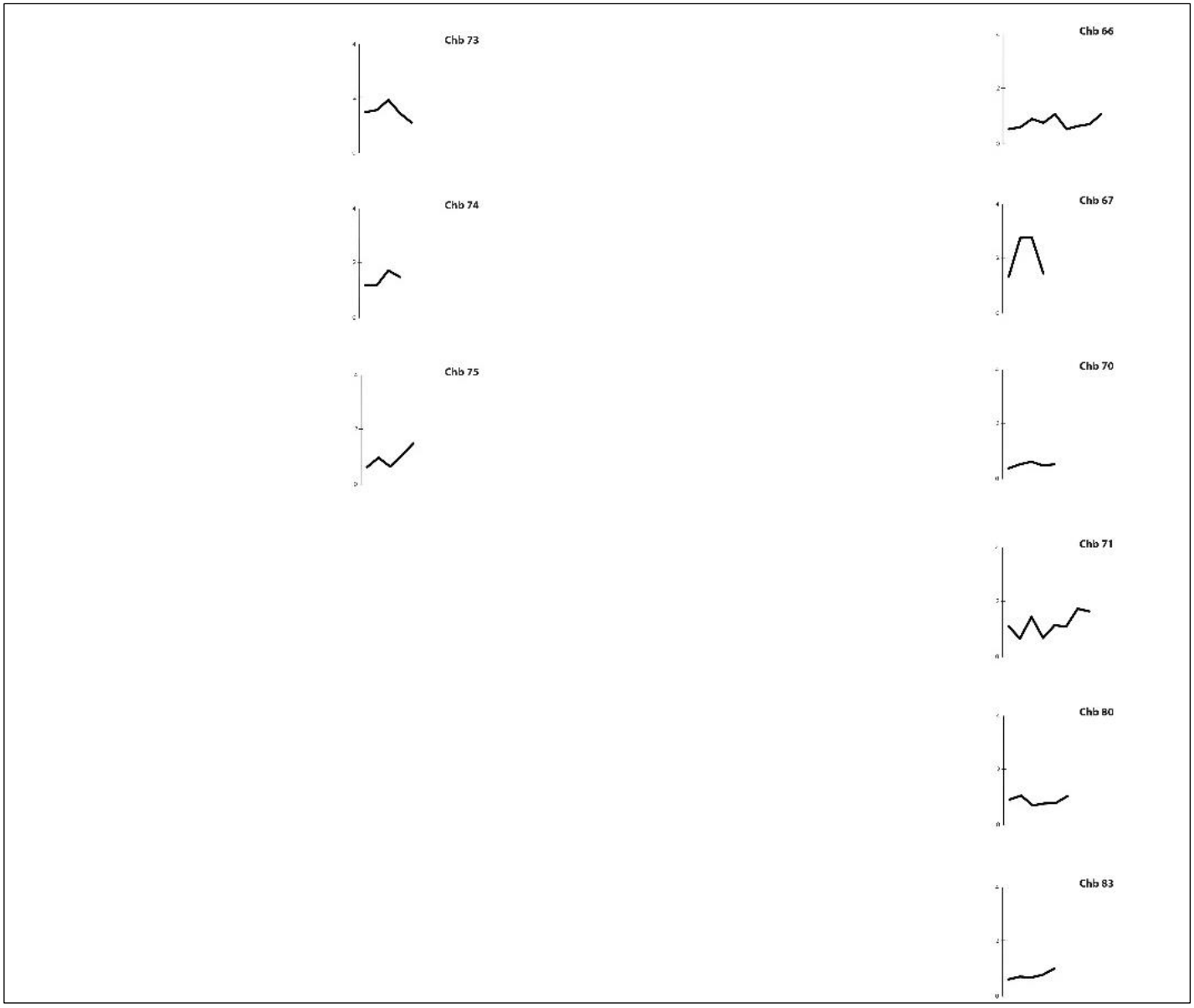


Tableau 79 : Caractéristiques des cernes des charbons en fonction de leur nombre dans l'atelier F155/1

Étiquettes de lignes	Nombre de charbon	Nb de cerne minimum	Nb de cerne maximum
2006	1	7	7
2011	1	6	6
2012	1	29	29
2013	2	8	22
2016	3	4	21
2017	2	6	28
2022	5	7	31
2025	1	4	4
2030	1	18	18
2031	1	22	22

2032	3	2	11
2033	2	3	4
2038	1	17	17
2053	1	7	7
UC 001	3	6	22
UC 003	1	15	15
UC001	1	5	5
Total général	**30**	**2**	**31**

Tableau 80 : Tableau de l'épaisseur moyenne des cernes de charbon de bois par US (sauf zone d'épuration)

US	**Moyenne des épaisseurs de cerne (en mm)**
2006	0,7
2011	0,9
2012	0,4
2013	0,7
2016	0,9
2017	1,04
2022	1,05
2025	1,7
2030	0,9
2031	0,5
2032	0,8
2033	1,1
2038	0,6
2053	1,9
UC 001	0,9
UC 003	0,9
UC001	0,8
Total	**0,98**

Tableau 81 : Tableau du niveau de duraminisation des charbons par US dans l'atelier F155/1

Nombre de Thylle	**Niveau de duraminisation**				
US	**0**	**1**	**2**	**3**	**Nombre de charbon total**
2006		1			1
2011		1			1
2012		1			1
2013		1	2		3
2016	1	2			3

2017	2	1			3
2019	1	1			2
2022	13	7	4		24
2025	2	2			4
2026	63	31	8		102
2030	1				1
2031	1				1
2032	9	10	3	1	23
2033	5	3	1		9
2038				1	1
2053	1	1			2
UC 001	9	2	2		13
UC 003	1				1
Total général	**109**	**64**	**20**	**2**	**195**

Tableau 82 : Tableau du nombre de charbon disposant de fente de retrait et leur type dans l'atelier F155/1

Nombre de charbon	**Type de fente de retrait**			
US	**Epaisse**	**Fine**	**indet**	**Total général**
2006		1		1
2011		1		1
2012		1		1
2013		2		2
2016			3	3
2017			2	2
2019				
2022	1	1	3	5
2025			1	1
2026	2	8	24	34
2030			1	1
2031			1	1
2032		1		1
2033			2	2
2038		1		1
2053			1	1
UC 001		1	3	4
UC 003			1	1
UC 004	1	3	19	23
UC 006				
Total général	**4**	**20**	**61**	**85**

Tableau 83 : Tableau du nombre de charbon disposant de galerie d'insecte et leur nombre dans l'atelier F155/1

Nombre de charbon	Nombre de galerie d'insecte		
US	**0**	**1**	**Total général**
2006	1		1
2011	1		1
2012	1		1
2013	2		2
2016	2	1	3
2017	2		2
2019			
2022	5		5
2025	1		1
2026	33	1	34
2030	1		1
2031	1		1
2032	1		1
2033	2		2
2038	1		1
2053	1		1
UC 001	4		4
UC 003	1		1
UC 004	22	1	23
UC 006	0	0	0
Total général	**82**	**3**	**85**

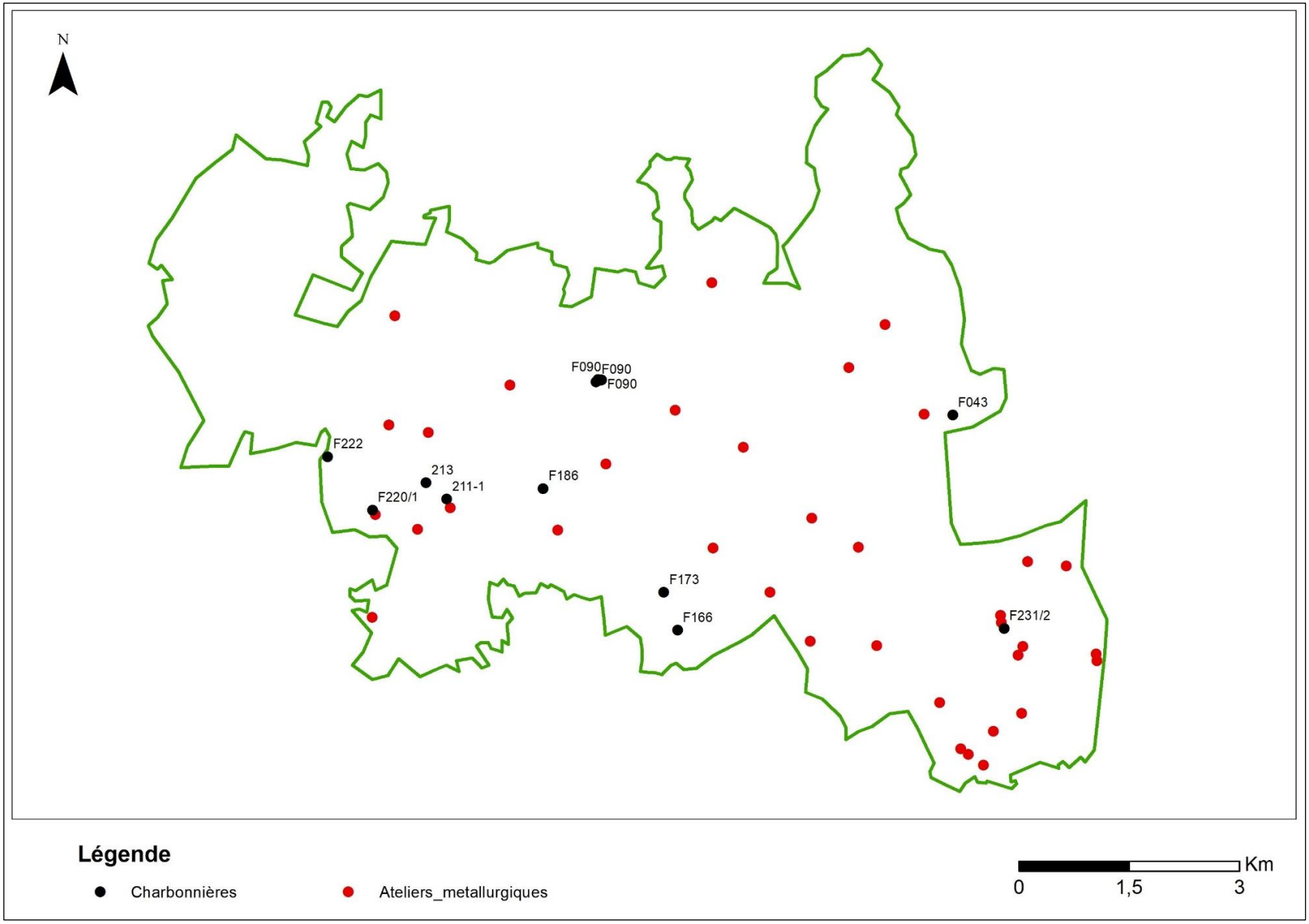


Fig. 130 : Carte localisant quelques charbonnières repérées lors des prospections dans la forêt de Châteauroux et les ferriers

BetaCal 4.20

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL20)

(Variables: d13C = -26.3 o/oo)

Laboratory number **Beta-590443**

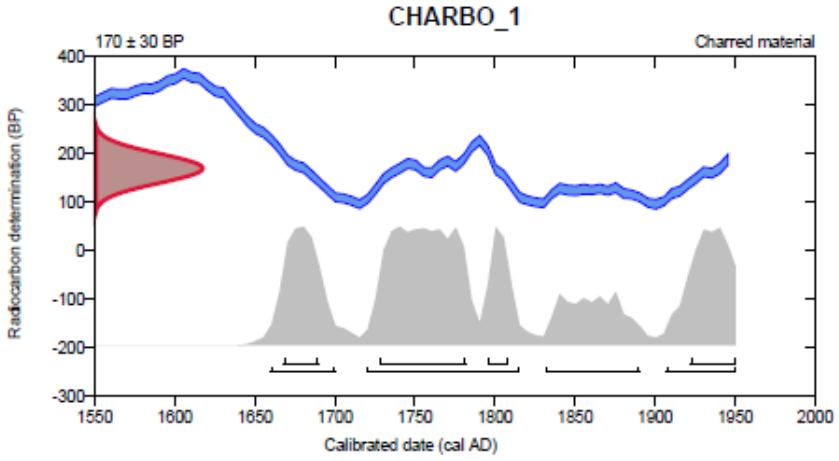
Conventional radiocarbon age **170 ± 30 BP**

95.4% probability

(46.1%)	1720 - 1815 cal AD	(230 - 135 cal BP)
(19.5%)	1907 - Post cal AD 1950	(43 - Post cal BP 0)
(17.4%)	1660 - 1700 cal AD	(290 - 250 cal BP)
(12.5%)	1832 - 1890 cal AD	(118 - 60 cal BP)

68.2% probability

(32.6%)	1728 - 1782 cal AD	(222 - 168 cal BP)
(16.1%)	1922 - Post cal AD 1950	(28 - Post cal BP 0)
(13%)	1668 - 1690 cal AD	(282 - 260 cal BP)
(6.5%)	1796 - 1808 cal AD	(154 - 142 cal BP)



Database used

INTCAL20

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL20

Reimer, et al., 2020, Radiocarbon 62(4):725-757.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 131 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré d'une charbonnière voisine du ferrier F090

BetaCal 4.20

Calibration of Radiocarbon Age to Calendar Years

(High Probability Density Range Method (HPD): INTCAL20)

(Variables: d13C = -25.2 o/oo)

Laboratory number **Beta-590439**

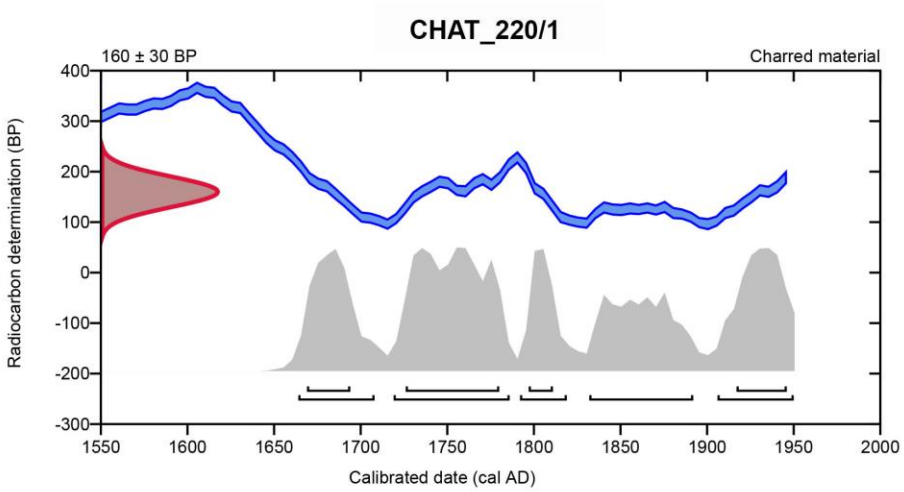
Conventional radiocarbon age **160 ± 30 BP**

95.4% probability

(31.6%)	1719 - 1786 cal AD	(231 - 164 cal BP)
(19.4%)	1906 - Post cal AD 1950	(44 - Post cal BP 0)
(17.9%)	1832 - 1892 cal AD	(118 - 58 cal BP)
(16.7%)	1664 - 1708 cal AD	(286 - 242 cal BP)
(9.8%)	1792 - 1819 cal AD	(158 - 131 cal BP)

68.2% probability

(30.6%)	1726 - 1780 cal AD	(224 - 170 cal BP)
(16.4%)	1917 - 1946 cal AD	(33 - 4 cal BP)
(13.5%)	1669 - 1694 cal AD	(281 - 256 cal BP)
(7.7%)	1797 - 1811 cal AD	(153 - 139 cal BP)



Database used

INTCAL20

References

References to Probability Method

Bronk Ramsey, C. (2009). Bayesian analysis of radiocarbon dates. Radiocarbon, 51(1), 337-360.

References to Database INTCAL20

Reimer, et al., 2020, Radiocarbon 62(4):725-757.

Beta Analytic Radiocarbon Dating Laboratory

4985 S.W. 74th Court, Miami, Florida 33155 • Tel: (305)667-5167 • Fax: (305)663-0964 • Email: beta@radiocarbon.com

Fig. 132 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré d'une charbonnière voisine du ferrier F220/1

Tableau 84 : Tableau du nombre de charbon par US et par type d'essence dans l'atelier F090

US	Nombre de Charbon de bois	Nombre de Chêne	% de Chêne	Nombre de hêtre	% de hêtre	Indet	% indet
1008	41	30	73	11	27	0	0
1002	39	36	92	2	5	1	3
1018	28	27	96	0	0	1	4
1006	25	19	76	5	20	1	4
1010	25	23	92	1	4	1	4
1011	16	15	94	0	0	1	6
1017	12	11	92	0	0	1	8
1019	8	6	75	0	0	2	25
1012	4	4	100	0	0	0	0
1021	4	4	100	0	0	0	0
1007	2	2	100	0	0	0	0
1013	2	2	100	0	0	0	0
1014	2	1	50	0	0	1	50
1015	2	1	50	0	0	1	50
1022	2	2	100	0	0	0	0
1023	1	1	100	0	0	0	0
1028	1	1	100	0	0	0	0
1031	1	1	100	0	0	0	0
1036	1	1	100	0	0	0	0

Tableau 85 : Tableau du nombre de charbon par classe de rayon restitué dans l'atelier F090

	]0-1]	]1-2,5]	]2-5-5]	]5-9]	>9	Total
Nombre de charbon	5	15	6	3	1	30
Volume moyen des charbons	4849,4	6758,4	6893,0	4609,6	11745,9	34856,2
% vol moyen des charbons	13,9	19,4	19,8	13,2	33,7	100,0

Tableau 86 : Tableau des caractéristiques des cernes des charbons de l'atelier F090

US	Nombre de cerne moy	Nombre de cerne min	Nombre de cerne max	Nombre de charbon
1002	12,5	1	32	39
1006	9	2	33	25
1007	3	2	6	2
1008	10	2	28	41
1010	8	3	15	25
1011	13,8	2	28	16
1012	6,5	1	14	4
1013	15	9	21	2
1014	1	1	1	1
1017	15	7	27	12
1018	11,6	1	22	28
1019	9,3	1	17	8
1021	20	11	41	4
1022	11	10	12	2

1023	6	6	6	1
1028	15	15	15	1
1031	10	10	10	1
1036	17	17	17	1

Tableau 87 : Tableau détaillant les cernes réguliers et irréguliers par US dans l'atelier F090

US	Nombre de charbon aux cernes réguliers	% charbon régulier	Nombre de charbon aux cernes irréguliers	% charbon irrégulier	Nombre total de charbon par US
1002	22	61,1	14	38,9	36
1006	14	63,6	8	36,4	22
1007	1	100,0	0	0,0	1
1008	27	65,9	14	34,1	41
1010	15	62,5	9	37,5	24
1011	12	80,0	3	20,0	15
1012	2	100,0	0	0,0	2
1013	2	100,0	0	0,0	2
1014	0	0,0	0	0,0	0
1017	4	36,4	7	63,6	11
1018	14	56,0	11	44,0	25
1019	1	20,0	4	80,0	5
1021	2	50,0	2	50,0	4
1022	0	0,0	2	100,0	2
1023	1	100,0	0	0,0	1
1028	0	0,0	0	0,0	0
1031	0	0,0	1	100,0	1
1036	1	100,0	0	0,0	1
Total	118		75		193

Tableau 88 : Tableau du nombre de charbon aux cernes réguliers par classe d'épaisseur dans l'US 1008

Classe d'épaisseur de cerne (en mm)	Nombre de charbon
0-0,5	0
0,5 - 1	6
1-1,5	7
1,5-2	1
2-2,5	3

Tableau 89 : Tableau des caractéristiques de l'épaisseur des cernes réguliers par US

US	Ep Min	Ep max	Ep moy	Ecart type	Nombre de charbon
1002	0,8	3,7	2,1	0,8	17

1018	1	1,6	1,3	0,2	11
1011	0,9	2,5	1,6	0,5	10
1010	1,3	3,1	2,4	0,6	9
1006	1,1	3,6	2,6	1	5
1017	1,6	2,9	1,9	0,6	4
1013	1,3	2,3	1,8	0,6	2
1021	1,2	1,3	1,2	0,06	2
1012	0,8	0,8	0,8	0	1
1036	2,2	2,2	2,2	2,2	1

Tableau 90 : Tableau du nombre de charbon de bois par US et niveau de duraminisation

	Niveau de duraminisation			
US	**0**	**1**	**2**	**3**
1002	20	13	3	0
1006	3	9	8	3
1007	0	2	0	0
1008	21	13	6	1
1010	12	7	5	0
1011	6	8	1	0
1012	4	0	0	0
1013	0	1	0	1
1014	0	1	0	0
1017	5	4	2	0
1018	9	12	4	1
1019	4	2	0	0
1021	1	1	2	0
1022	0	2	0	0
1023	1	0	0	0
1028	1	0	0	0
1031	0	1	0	0
1036	0	1	0	0
Total	87	78	33	9

Tableau 91 : Tableau du nombre de charbon par type de débitage, par essence et par US

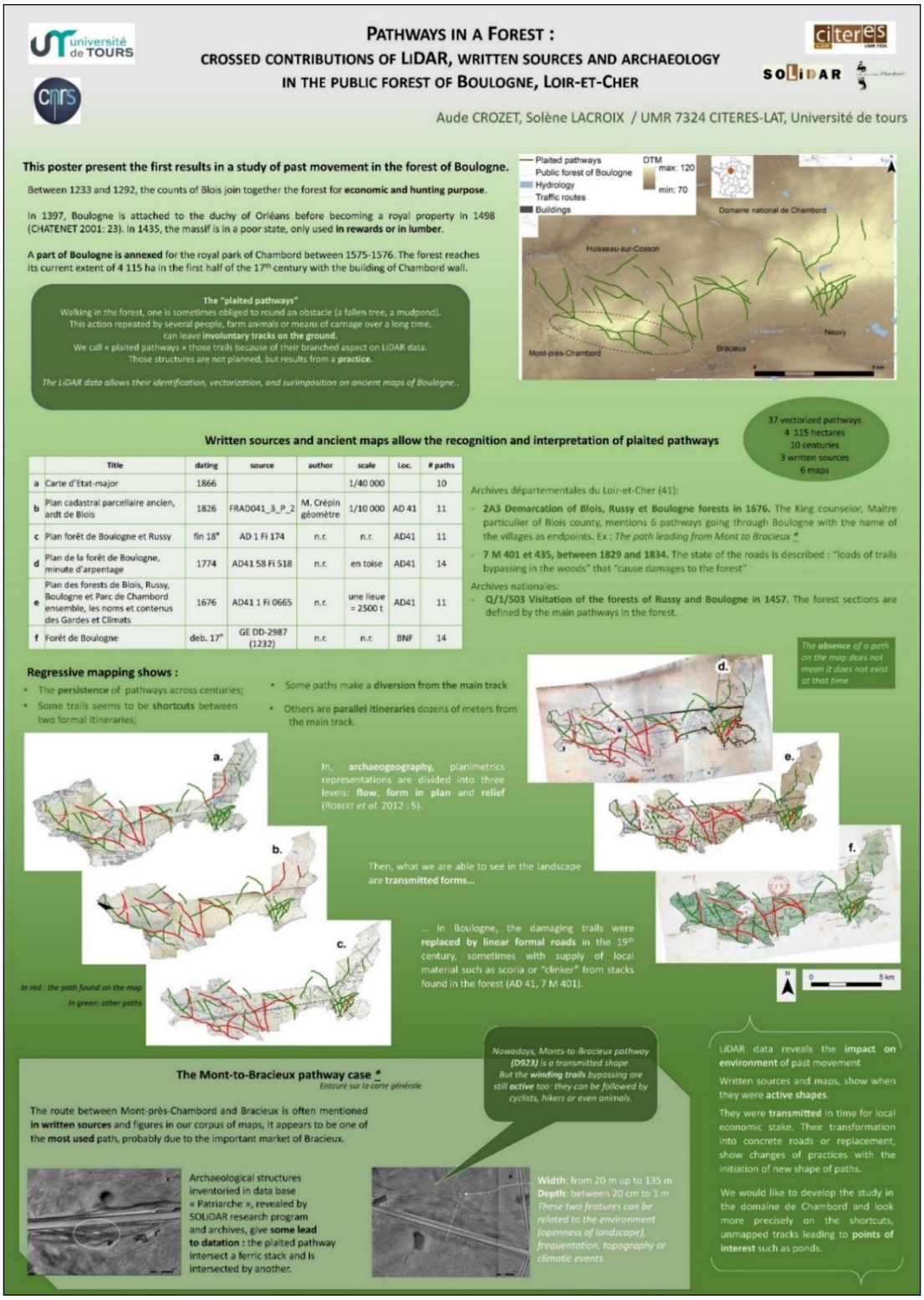
Forme des charbons	**Nombre de charbon**	**Chêne**	**Hêtre**	**US**
Quadrangulaire	7	6	1	1008
Fragment de planche	1	1	0	1006
Quart de branche	9	3	6	1008
Demi branche	3	3	0	1002
branche	33	30	3	Toutes US
bûche	2	2	0	1011-1002

Tableau 92 : Tableau du nombre de charbon par nombre de fente de retrait observées et par US

	Nombre de fente								
US	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**Type de fente**	**Type de bois**
1002	27	5	3	0	0	0	1	17 Larges	Chêne
1006	18	3	2	0	1	0	0	5 fines - 6 larges	Chêne
1007	2	0	0	0	0	0	0		Chêne
1008	11	2	2	2	1	0	0	9 fines - 13 larges	5 hêtres et 8 chênes
1010	14	8	2	0	0	0	0	6 fines - 6 larges	Chêne
1011	11	3	1	0	0	0	0	3 larges - 2 fines	Chêne
1012	4	0	0	0	0	0	0		Chêne
1013	1	1	0	0	0	0	0	Large	Chêne
1014	1	0	0	0	0	0	0		Chêne
1017	9	1	0	0	1	0	0	4 larges - 1 fine	Chêne
1018	22	3	0	0	0	1	1	8 large - 6 fines	Chêne
1019	5	0	1	0	0	0	0	2 fines	Chêne
1021	2	1	1	0	0	0	0	1 large - 2 fines	Chêne
1022	2	0	0	0	0	0	0		Chêne
1023	1	0	0	0	0	0	0		Chêne
1028	0	0	1	0	0	0	0	2 Larges	Chêne
1031	0	1	0	0	0	0	0	Large	Chêne
1036	1	0	0	0	0	0	0		Chêne
Total	131	28	13	2	3	1	2		

9.2 Deux forêts, deux contextes archéologiques similaires

9.2.1 Des espaces organisés (voies de communication, trame parcellaire)



	Title	dating	source	author	scale	Loc.	# paths
a	Carte d'État-major	1866			1/40 000		10
b	Plan cadastral parcellaire ancien, ardt de Blois	1826	FRAD041_3_P_2	M. Crépin géomètre	1/10 000	AD 41	11
c	Plan forêt de Boulogne et Russy	fin 18e	AD 1 Fi 174	n.r.	n.r.	AD41	11
d	Plan de la forêt de Boulogne, minute d'arpentage	1774	AD41 58 Fi 518	n.r.	en toise	AD41	14
e	Plan des forests de Blois, Russy, Boulogne et Parc de Chambord ensemble, les noms et contenus des Gardes et Climats	1676	AD41 1 Fi 0665	n.r.	une lieue = 2500 t	AD41	11
f	Forêt de Boulogne	deb. 17e	GE DD-2987 (1232)	n.r.	n.r.	BNF	14

Fig. 133 : Poster réalisé en collaboration avec A. Crozet et présenté par cette dernière lors de la 4ème édition des journées de travail internationales *Training and Research in the Archaeological Interpretation of Lidar (TRAIL)* à Postojna (Slovenie) en octobre 2018



Fig. 134 : Exemple de relation stratigraphique entre un ferrier et un chemin tressé (F185/1)

Tableau 93 : Tableau de la distance des ferriers par rapport aux chemins anciens du massif de Boulogne-Chambord

Site	Distance au plus proche chemin ancien (en m)
F224/1	148
F195/1	50
F195/4	100
F195/3	10
F194/2	60
F194/1	5
F193/1	95
F193/2	20
F191/2	110
F191/3	110
F185/1	10
F190/2	280
F190/1	290
F160/1	50
F151/3	50
F156/2	45
F154/2	130
F151/2	10
F155/1	40
F150/1	10
F153/1	80
F146/2	223
F145/1	100
F147/2	325
F142/1	60
F139/1	130
F139/2	140
F137/4	360
F176/1	10
F124/1	320
F124/2	345
F169/1	215
F131/1	160
F129/3	350
F132/1	475
F110/2	700
F111/1	30
F113/3	35
F094	360
F371/1	515
F447/1	470
F489/1	90
F064/1	310

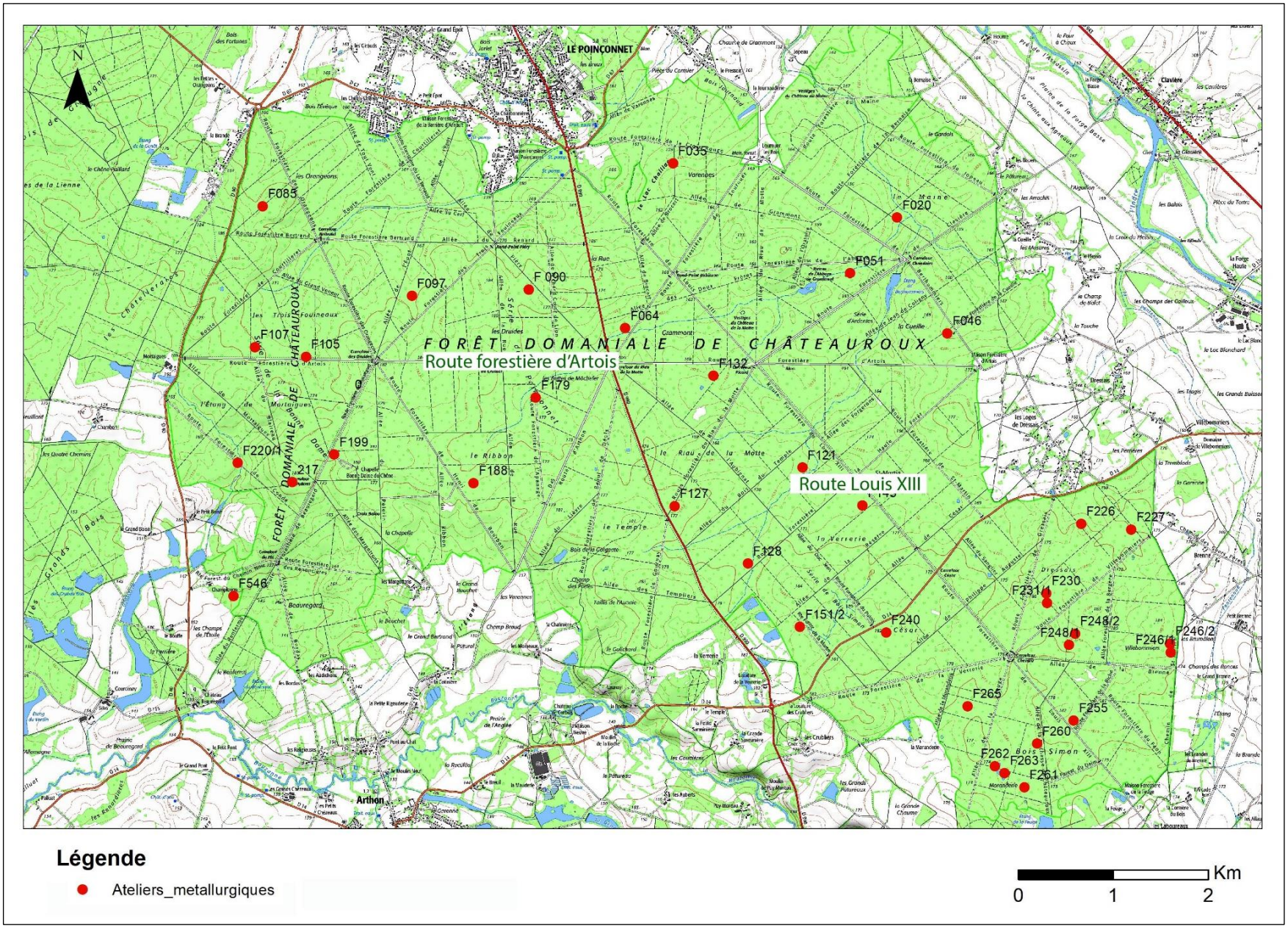


Fig. 135 : Carte localisant les sites métallurgiques par rapport aux routes et chemins forestiers sur la carte IGN de la forêt de Châteauroux

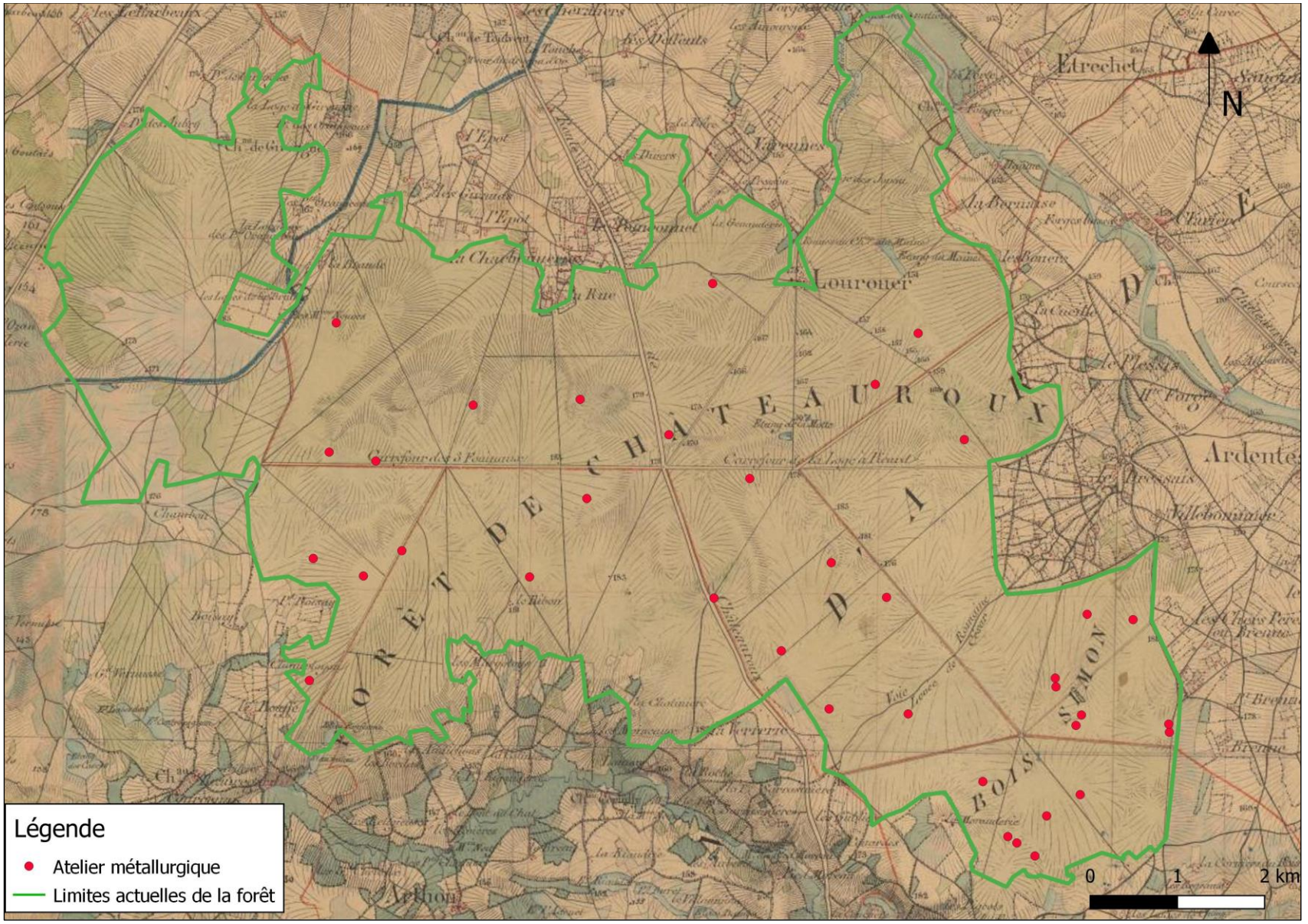


Fig. 136 : Carte localisant les ferriers par rapport au routes et chemins forestiers sur la carte d'Etat-Major de la forêt de Châteauroux



Fig. 137 : Carte localisant les ateliers métallurgiques sur la carte de Châteauroux géoréférencée de 1682

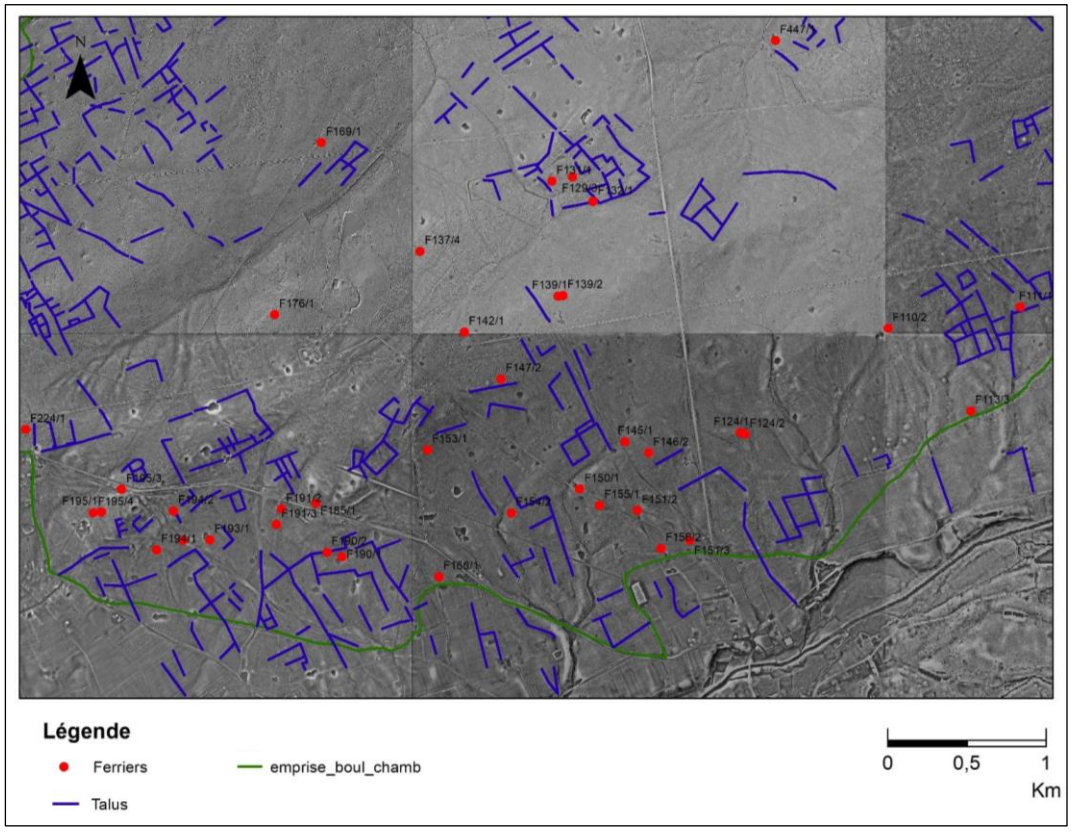


Fig. 138 : Carte des relations entre la trame de talus et les ateliers métallurgiques présents en forêt de Boulogne-Chambord

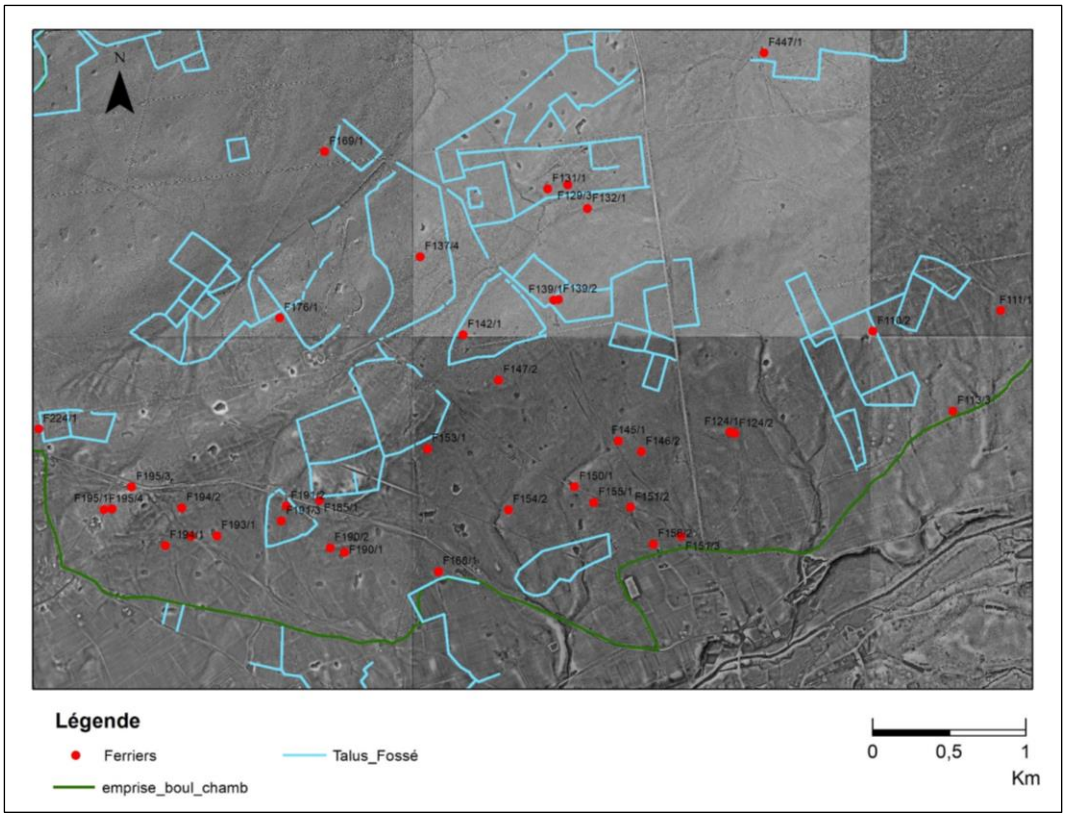


Fig. 139 : Carte des relations entre la trame de talus-fossés et les ateliers métallurgiques présents en forêt de Boulogne-Chambord

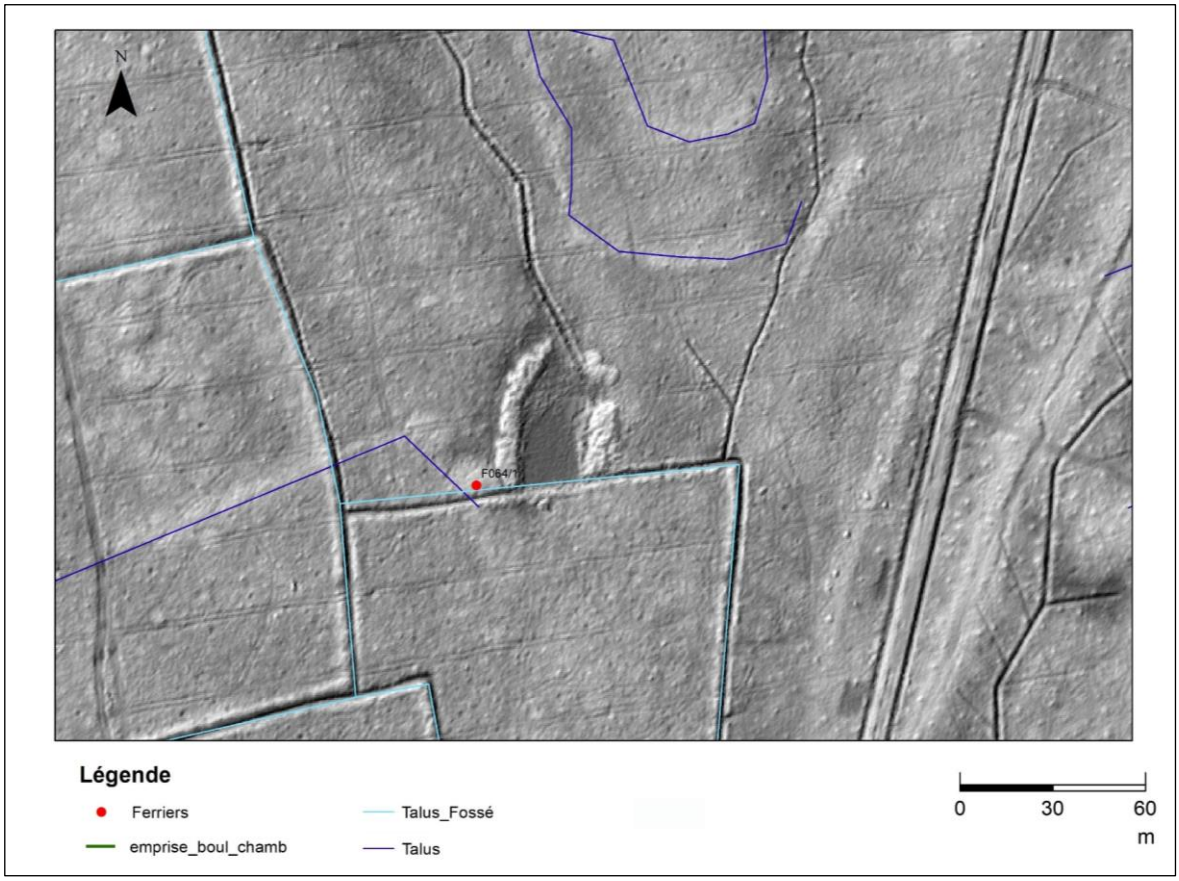


Fig. 140 : Image LiDAR de la microtopographie du ferrier F064/1 et de ses relations stratigraphiques avec le parcellaire talus et le parcellaire talus-fossé

9.2.2 Des sites anciens, de possibles pôles d'attractivité pour l'activité métallurgique

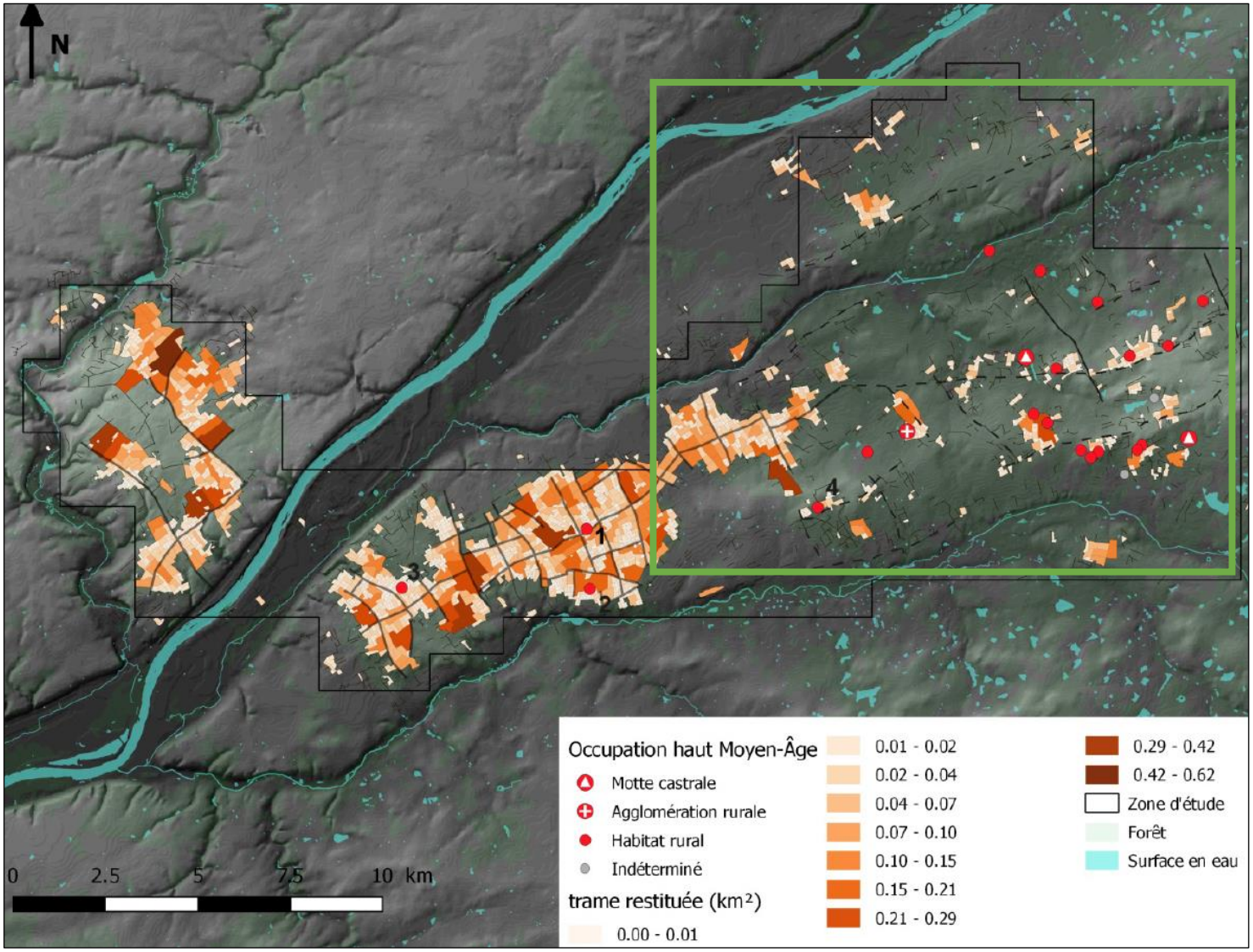


Fig. 141 : Carte des différents sites d'habitats datés du HMA dans le massif de Boulogne-Chambord (en vert) (LAPLAIGE et al. 2018 : 94)

10.3 Différents types d'exploitation sidérurgiques au Moyen Âge

Traduction 1 :

Lex Burgundionum, X, 3 (SALIS 1982 : 50) (trad., J.-F. A. Peyré)

Qui aurificem lectum occiderit CC solidos solvat.*

Quiconque aura tué un orfèvre paiera 200 sous d'or

Traduction 2 :

Lex Burgundionum, X, 4 (SALIS 1982 : 50) (trad., J.-F. A. Peyré)

Qui fabrum argentarium occiderit C solidos solvat.

Quiconque aura tué un homme travaillant l'argent paiera 100 sous d'or

Traduction 3 :

Lex Burgundionum, X, 5 (SALIS 1982 : 51) (trad., J.-F. A. Peyré)

Qui fabrum ferrarium occiderit, L solidos inferat

Quiconque aura tué un forgeron paiera 50 sous d'or

Traduction 4 :

Lex Burgundionum, XXI, 2 (SALIS 1982 : 60) (trad., J.-F. A. Peyré)

Quicunque vero servum suum aurificem, argentarium, ferrarium, fabrum aerarium, sartorem vet sutorem, in publicum adtributum artificium exercere permiserit, et id quod ad faciendan operam a quocunque suscepit, fortasse everterit, dominus eius aut pro eodem satisfaciat, aut servi ipsius, si maluerit, faciat cassionem.

Lorsqu'une personne asservie, travaillant l'or, l'argent le fer ou le cuivre, ou exerçant la profession de tailleur ou de cordonnier, a été autorisé par son maitre à exercer publiquement sa profession et qu'il vole des matériaux qui lui ont été confiés pour réaliser autre chose, son maitre sera tenu ou de payer pour lui ou, s'il préfère, de le céder.

Traduction 5 :

Lex Salica, manuscrit de Munich, XXXV, 5 (PARDESSUS 1543 : 19)

Si quis fabrum ferrarium vel aurificem aut porcarium vel vinitorem aut stratorem furaverit aut occiderit, XXX solidos culpabilis iudicetur

Traduction 6 :

Lex Salica, manuscrit de Munich, XXXV, 6 (PARDESSUS 1543 : 19)

Si quis vasso ad ministerium, aut fabrum ferrarium vel aurifice, aut porcario, vel vinitorem, aut stratorem furaverit aut occiderit, cui fuerit adprobatum, MCC dinarios, qui faciunt solidos XXX, culpabilis judicetur.

Table des figures

Fig. 1 : Localisation des forêts de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre)..... 5
Fig. 2 : Carte IGN du massif forestier de Boulogne-Chambord - *Géoportail*..... 6
Fig. 3 *:* Carte géologique de la région de Blois (en rouge le Château de Chambord) – *Géoportail* 7
Fig. 4 : Légende de la carte géologique de la région de Blois - Géoportail 8
Fig. 5 : Carte localisant le massif forestier de Châteauroux – *Géoportail* 9
Fig. 6 : Carte géologique de la forêt de Châteauroux (en vert) – *Géoportail*..... 10
Fig. 7 : Détail de l'*Atlas d'Ortelius* (1579) (environ 1 : 583 000)..... 11
Fig. 8 : Détail de la carte *Description du pais Blaisois* (1591) (s. e.) 12
Fig. 9 : Détail de la carte *Description du pais Blaisois* (1630) (s. e.) 13
Fig. 10 : Détail de la carte du *Dioecese de l'archevesché de Bourges* (1678) (s. e.)..... 14
Fig. 11 : Détail de *la Carte généralle de deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.A.S. Monseigneur le prince en Berry*..... 15
Fig. 12 *:* Détail de la *carte La Province de Berry, la généralité de Bourges où sont les élections de Bourges, d'Yssoudin, de Chateauroux, du Blanc, etc.* (1707) (s. e.) (BnF : GE D-17866) 16
Fig. 13 : Détail de la *carte de la Beauce, du gatinois, de la Sologne et pays voisins compris dans la Généralité d'Orléans* (1718) 17
Fig. 14 *: Carte de la forêt de Boulogne et du parc de Chambord (Extrait de la* carte de Cassini – *Feuille n°29)* (1759-1760) (1 : 86 400) 18
Fig. 15 *: Carte de la forêt de Châteauroux (Extrait de la* carte de Cassini – *Feuille n°31)* (1766-1768) (1 : 86 400) 19
Fig. 16 *:* Détail de la *Carte du duché de Châteauroux extraite de celle de cassini et réduite sur une échelle de 4 lignes pour 1000 toises* (1780) (1 : 216 000) 20
Fig. 17 : *Plan géométrique de la Ferté Saint-Agnan et des paroisses voisines* (XVIIIe s.) 21
Fig. 18 : *Atlas Nationale de France,* n°51, département de l'Indre (1790) (1 : 333 000) 22
Fig. 19 *:* Détail de l'*Atlas National de France,* n°3, département du Loir-et-Cher (1818) (1 : 333 000) 23
Fig. 20 : Carte de la forêt de Boulogne et du parc de Chambord (extrait de la *carte d'Etat-major* – feuille n° 108)..... 24
Fig. 21 : Carte de la forêt de Châteauroux (extrait de la carte d'Etat-major – feuille n° 133)..... 25
Fig. 22 : Détail de la *Carte de la capitainerie royale de Blois (*s. e.)..... 26
Fig. 23 : *Le plan de la foret de Chambord* (1675) (s. e.) 27
Fig. 24 : *Plan des forests de Blois, Russy, Boulogne et le parc de Chambort* (1er moitié du XVIIIe s.) (1 : 2500 toises) 28
Fig. 25 : *Forêt de Boulogne* - Début du XVIIIe s. 29
Fig. 26 : *Plan de Chambord* (XVIIIe s.) (1 : 500)..... 30
Fig. 27 : *Plan du parc de Chambord* (1835) (1 : 10 000) 31
Fig. 28 *:* Carte des forêts domaniales des environs de Blois (1926) (1/400 m) 32
Fig. 29 : *Plan très exact du prieuré de Boulongne* (1671) (s. e.)..... 33
Fig. 30 : Cartes de densité des ferriers en forêt de Boulogne..... 37
Fig. 31 : Diagramme du nombre de ferrier en fonction de leur volume et de leur implantation..... 39
Fig. 32 : Carte représentant l'emplacement des épandages et des ferriers aux vestiges récupérés par rapport aux routes vectorisées sur les cartes de 1671 et 1675..... 41
Fig. 33 : Carte représentant l'emplacement des épandages et des ferriers aux vestiges récupérés par rapport aux routes vectorisées sur des cartes du début du 18e s. 42
Fig. 34 : Carte représentant l'emplacement des épandages et des ferriers aux vestiges récupérés par rapport aux routes vectorisées sur une carte de 1759..... 43
Fig. 35 : Carte localisant les sous-types de scories internes majoritaires dans les ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord..... 47
Fig. 36 : Carte des fonds de four étudiés en métallographie dans le massif de Boulogne-Chambord.. 49

Fig. 37 : Carte des ferriers sur lesquels des pseudo-laitiers ont été ramassés 50
Fig. 38 : Carte des tuyères mises au jour sur les sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord en fonction de leur nombre 52
Fig. 39 : Carte localisant les culots de forge ramassés dans la forêt de Boulogne-Chambord 53
Fig. 40 : Détail du « Plan des forests de Blois, Russy, Boulogne et parc de Chambord » (1675) 54
Fig. 41 : Détail de la carte de Cassini (Bnf : CASSINI 1756 : 29) 55
Fig. 42 : Localisation des terres cuites architecturales mises au jour sur certains sites métallurgiques par type dans la forêt de Boulogne-Chambord 56
Fig. 43 : Carte localisant les ferriers datés par ^{14}C dans la forêt de Boulogne-Chambord 57
Fig. 44 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F150/1 58
Fig. 45 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F155/1 (ECH7) 59
Fig. 46 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F193/2 60
Fig. 47 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F447/1 61
Fig. 48 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F489/1 62
Fig. 49 : Carte de densité des sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 72
Fig. 50 : Carte de la topographie de la forêt de Châteauroux (MNT IGN) 73
Fig. 51 : Carte des ateliers où des pseudo-laitiers sont mis au jour dans l'actuelle forêt de Châteauroux 87
Fig. 52 : Carte représentant le pourcentage en masse des TCA par couleur dans l'actuelle forêt de Châteauroux 93
Fig. 53 : Détail de la Carte générale des deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.a.S^{me} Monseigneur le Prince datée de 1682 (N/II/Indre/2) 95
Fig. 54 : Détail de la forêt de Châteauroux sur la carte d'Etat-Major de 1847 (Géoportail) 96
Fig. 55 : Localisation des toponymes relatifs à la production du fer dans la forêt de Châteauroux sur la carte IGN (Géoportail) 97
Fig. 56 : Carte localisant les sites métallurgiques datés par ^{14}C dans la forêt de Châteauroux 99
Fig. 57 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F128 100
Fig. 58 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F179 101
Fig. 59 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F187/188 102
Fig. 60 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F090 103
Fig. 61 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré du ferrier F105/3 104
Fig. 62 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°1 106
Fig. 63 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°1, réalisée à partir de la signature chimique de scories issues de huit régions de France 106
Fig. 64 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°2 107
Fig. 65 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°3 107
Fig. 66 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°3 effectuée à partir de la signature chimique de scories issues de l'Aude, la Bretagne, l'Indre, l'Indre-et-Loire, la Puisaye, Boulogne-Chambord et Châteauroux 108
Fig. 67 : Plan factoriel (axes 2 et 3) de l'ACP n°3 effectuée à partir de la signature chimique de scories issues de l'Aude, la Bretagne, l'Indre, l'Indre-et-Loire, la Puisaye, Boulogne-Chambord et Châteauroux 108
Fig. 68 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°4 109
Fig. 69 : Carte géologique de la région de Blois/Romorantin (en vert clair dans la partie inférieure : Fw) (Géoportail) 110
Fig. 70 : Détail de la carte de la Carte générale des deux forests de Chasteauroux et de Bomier et autres bois appartenants à S.a.S^{me} Monseigneur le Prince (1682) 111
Fig. 71 : Cercle de corrélation du plan factoriel 1-2 de l'ACP n°5 112
Fig. 72 : Plan factoriel (axes 1 et 3) de l'ACP n°5 réalisée à partir de la signature chimique de scories du Centre de la France (en vert : les scories de Châteauroux) 112

Fig. 73 : Plan factoriel (axes 2 et 3) de l'ACP n°5 réalisée à partir de la signature chimique de scories du Centre de la France (en vert : les scories de Châteauroux) 113
Fig. 74 : Dendrogramme présentant les classifications hiérarchiques ascendantes des ateliers de Boulogne-Chambord réalisées avec les deux types de distance (euclidienne et binaire) 122
Fig. 75 : Dendrogramme présentant les classifications hiérarchiques ascendantes des ateliers de Châteauroux réalisées avec les deux types de distance (euclidienne et binaire) 124
Fig. 76 : Localisation des deux zones de concentration métallurgique observées dans la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher) 125
Fig. 77 : Carte de l'extension des deux campagnes de fouille réalisées dans le ferrier F155/1 126
Fig. 78 : Carte des anomalies magnétiques observées sur le ferrier F155/1 en 2020 (B. Gouhier) 126
Fig. 79 : Plan et photographie de la structure indurée et composée de nombreux fragments de minerai (Sondage 1-B) 127
Fig. 80 : Coupes du sondage où est observée l'aire de grillage 128
Fig. 81 : Photographie générale et de détail du sol d'atelier observé dans la zone de réduction 129
Fig. 82 : Photographie des trois masses d'argile observées dans la zone de réduction 130
Fig. 83 : Plan des trois masses d'argile (UC 2007, 2008, 2009), de l'emplacement restitué de la cuve des fours (FR1, Fr2 et Fr3) et du sol d'atelier (UC 2001) 131
Fig. 84 : Organisation spatiale de la zone de forge avec un trou de poteau (US 2051), un foyer (US 2060) et un espace couvert d'oxydes de fer 132
Fig. 85 : Stratigraphie de la zone de forge (sondage 2). On observe la couche rubéfiée (US 2026) relative à l'utilisation de la forge et le prof de la fosse de rejet (coupe sud-ouest 133
Fig. 86 : Carte de la microtopographie de la zone de forge 134
Fig. 87 : Carte de la répartition des battitures dans la zone de forge 135
Fig. 88 : Carte de répartition des charbons de bois dans la zone de forge 136
Fig. 89 : Plan et photographie d'un segment du fossé délimitant l'atelier 137
Fig. 90 : Plan de la limite de creusement observée sous le ferrier lors de la fouille de 2018 138
Fig. 91 : Photographie du creusement observé à l'ouest du ferrier F155/1 (vue vers le sud-ouest) ... 138
Fig. 92 : Relevé des coupes du comblement du ferrier F155, présentant la division de l'US 1005 en deux parties. 139
Fig. 93 : Carte localisant la fenêtre de référence dans le ferrier 140
Fig. 94 : Plan des différentes structures composant l'atelier métallurgique F155/1 141
Fig. 95 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du sol d'atelier (UC 2001) 143
Fig. 96 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant de la zone de forge (UC 2004) 144
Fig. 97 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du ferrier (US 1007) 145
Fig. 98 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du ferrier (US 1005) 146
Fig. 99 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée un échantillon de charbon de bois provenant du ferrier (US 1005) 147
Fig. 100 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée un échantillon de charbon de bois extrait d'une scorie provenant du ferrier (US 1005) 148
Fig. 101 : Résultat de l'analyse ^{14}C réalisée un échantillon de charbon de bois extrait d'une scorie provenant du ferrier (US 1005) 149
Fig. 102 : Carte de l'étendue de la fouille dans le ferrier F090 de la forêt de Châteauroux 155
Fig. 103 : Restitution des limites du ferrier et localisation des anomalies magnétiques sur le ferrier F090 156
Fig. 104 : Photographie du creusement de l'aire de grillage (Z1S2) 156
Fig. 105 : Photographie de la structure quadrangulaire (Strc005) observée à l'est de l'aire de grillage du minerai (Z1S2) (vue zénithale) 157

Fig. 106 : Photographie de la coupe est de la 1ère zone de réduction (vue vers l'est) 157
Fig. 107 : Plan de la 1ère zone de réduction du fer, située au sud-est de l'atelier 158
Fig. 108 : Photographie générale de la 1ère zone de réduction (vue vers le nord-est) avec emplacement des fours très arasés 159
Fig. 109 : Photographie de détail du fond de four (au premier plan) et des parois en argile (à droite) du four n°2 (Strc006) (vue vers le sud) 159
Fig. 110 : Photographie de détail du fond de four (à gauche) et des parois en argile (à droite) du four n°3 (Strc007) (vue vers le nord) 160
Fig. 111 : Photographie de détail de la cuve du four n°1 (vue vers le nord) 160
Fig. 112 : Photographie de détail du four n°1 et des fragments d'argile en place 161
Fig. 113 : Photographie des alignements de pierres observés au nord du secteur de réduction de l'atelier métallurgique (UC 1001, UC 1002 et UC 1012) (vue vers le nord-est) 162
Fig. 114 : Plan des alignements (UC 1001, UC 1002, UC 1012) de pierres observés au nord du secteur de réduction de l'atelier 163
Fig. 115 : Photographie de l'alignement de pierres (UC 1003) et du trou de poteau (Strc 004) observés à l'ouest du secteur de réduction de l'atelier métallurgique (vue vers le nord) 164
Fig. 116 : Photographie de la structure quadrangulaire en cours de fouille, mise au jour au sud-ouest du secteur de réduction (vue vers le nord) 164
Fig. 117 : Plan de la structure quadrangulaire observée au sud-ouest du secteur de réduction (Str 004) 165
Fig. 118 : Coupe nord du sondage 3 présentant le profil du creusement (US1039) de la zone de rejet 166
Fig. 119 : Coupes présentant le remplissage du ferrier dans le sondage 4 167
Fig. 120 : Plan localisant les couches charbonneuses et leurs limites dans le ferrier 168
Fig. 121 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du comblement de l'aire de grillage (US 1006) 170
Fig. 122 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant du comblement du bas-fourneaux n°1 (US 1019) 171
Fig. 123 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant de la cuve du bas-fourneaux n°1 (US 1019) 172
Fig. 124 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant d'une couche de rejet du ferrier (US 1014) 173
Fig. 125 : Résultat d'analyse réalisée sur un échantillon de charbon de bois provenant d'une couche de rejet du ferrier (US 1018) 174
Fig. 126 : Photographies de deux meules expérimentales (en haut en fosse, en bas en meule) 179
Fig. 127 : Images LiDAR des empreintes de charbonnières dans le massif de Boulogne/Chambord 180
Fig. 128 : Carte localisant les charbonnières repérées grâce aux images LiDAR et les ferriers 181
Fig. 129 : Courbes de croissance des charbons provenant de la zone de forge de l'atelier F155/1 en fonction de leur diamètre restitué 185
Fig. 130 : Carte localisant quelques charbonnières repérées lors des prospections dans la forêt de Châteauroux et les ferriers 190
Fig. 131 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré d'une charbonnière voisine du ferrier F090 191
Fig. 132 : Résultat d'analyse ^{14}C calibré d'une charbonnière voisine du ferrier F220/1 192
Fig. 133 *:* Poster réalisé en collaboration avec A. Crozet et présenté par cette dernière lors de la 4ème édition des journées de travail internationales *Training and Research in the Archaeological Interpretation of Lidar (TRAIL)* à Postojna (Slovenie) en octobre 2018 197
Fig. 134 : Exemple de relation stratigraphique entre un ferrier et un chemin tressé (F185/1) 198
Fig. 135 : Carte localisant les sites métallurgiques par rapport aux routes et chemins forestiers sur la carte IGN de la forêt de Châteauroux 200
Fig. 136 : Carte localisant les ferriers par rapport au routes et chemins forestiers sur la carte d'Etat-Major de la forêt de Châteauroux 201

Fig. 137 : Carte localisant les ateliers métallurgiques sur la carte de Châteauroux géoréférencée de 1682 202
Fig. 138 : Carte des relations entre la trame de talus et les ateliers métallurgiques présents en forêt de Boulogne-Chambord 203
Fig. 139 : Carte des relations entre la trame de talus-fossés et les ateliers métallurgiques présents en forêt de Boulogne-Chambord 203
Fig. 140 : Image LiDAR de la microtopographie du ferrier F064/1 et de ses relations stratigraphiques avec le parcellaire talus et le parcellaire talus-fossé 204
Fig. 141 : Carte des différents sites d'habitats datés du HMA dans le massif de Boulogne-Chambord (en vert) (LAPLAIGE et al. 2018 : 94) 205

Table des tableaux

Tableau 1 : Tableau d'enregistrement des structures liées à l'activité métallurgique dans la forêt de Boulogne-Chambord 34
Tableau 2 : Nombre de ferrier dans la forêt de Boulogne-Chambord par classe de longueur (en m) .. 35
Tableau 3 : Nombre de ferrier dans la forêt de Boulogne-Chambord par classe de superficie (en m²) 36
Tableau 4 : Nombre de ferrier par classe de hauteur restituée (en m) dans la forêt de Boulogne-Chambord 36
Tableau 5 : Nombre de ferrier par classe de volume restituée (en m^3) dans la forêt de Boulogne-Chambord 36
Tableau 6 : Tableau représentant le nombre de ferrier dans un rayon de 500 m autour de chaque site métallurgique 38
Tableau 7 : Tableau représentant le nombre de ferrier par type d'implantation en fonction de leur volume 39
Tableau 8 : Dimensions des épandages de scories de la forêt de Boulogne-Chambord 40
Tableau 9 : Dimensions des ferriers aux scories récupérées dans la forêt de Boulogne-Chambord 40
Tableau 10 : Tableau de la masse des vestiges (en kg) ramassés lors des prospections en forêt de Boulogne-Chambord par type 44
Tableau 11 : Tableau d'enregistrement des différents sous-types de scories écoulées ramassées sur les sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord 44
Tableau 12 : Tableau du poids (en kg) des scories internes par sous-type 45
Tableau 13 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes des ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord 45
Tableau 14 : Tableau d'enregistrement des fonds de four ramassés sur les ferriers de la forêt de Boulogne-Chambord 48
Tableau 15 : Tableau d'enregistrement des différents types de parois observé au sein des divers sites de la forêt de Boulogne-Chambord 51
Tableau 16 : Tableau synthétisant les différentes données de datation recueillies sur les sites métallurgiques de la forêt de Boulogne-Chambord 63
Tableau 17 : Tableau d'enregistrement des structures liées à l'activité métallurgique dans la forêt de Châteauroux 64
Tableau 18 : Tableau des dimensions des ferriers dans la forêt de Châteauroux 66
Tableau 19 : Tableau signalant le nombre d'individus par classe de surface de 1 000 m² 68
Tableau 20 : Tableau du nombre de ferrier par classe de surface de 100 m² dans les forêts de Châteauroux 68
Tableau 21 : Tableau de la surface de l'espace sédimentaire noir (ferrier) par rapport à la surface totale des sites métallurgiques bicolores 68

Tableau 22 : Tableau de la hauteur observée à partir du niveau de sol et de la hauteur restituée des ferriers 69
Tableau 23 : Tableau du nombre de ferrier par classe de hauteur (en m) 70
Tableau 24 : Tableau du nombre de ferrier par classe volumique de 1 000 m^3 dans la forêt de Châteauroux 70
Tableau 25 : Tableau du nombre de ferrier par classe volumique de 100 m^3 dans la forêt de Châteauroux 70
Tableau 26 : Tableau du nombre de ferrier dans un rayon de 500 m et de 1 km autour de chaque site métallurgique 71
Tableau 27 : Tableau d'enregistrement des caractéristiques constitutionnelles des épandages de la forêt de Châteauroux 74
Tableau 28 : Tableau du poids des vestiges (en kg) ramassés lors des prospections en forêt de Châteauroux par type 74
Tableau 29 : Tableau du pourcentage en masse de scories écoulées en fonction du nombre et du volume des sites métallurgiques 74
Tableau 30 : Tableau du nombre de site en fonction du pourcentage de scories écoulées en forêt de Châteauroux 75
Tableau 31 : Tableau de la répartition des scories écoulées par espaces sédimentaires sur les sites bicolores 75
Tableau 32 : Tableau d'enregistrement des différents types de scories écoulées ramassées sur les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 77
Tableau 33 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories écoulées en fonction du volume des sites métallurgiques 79
Tableau 34 : Tableau du pourcentage des différents sous-types de scories écoulées en fonction du type de site dont elles proviennent 79
Tableau 35 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories écoulées en fonction de l'espace sédimentaire des sites métallurgiques bicolores d'où ils sont issues 79
Tableau 36 : Tableau du nombre de site métallurgique en fonction de leur proportion en scories internes 79
Tableau 37 : Tableau du pourcentage en masse des scories internes en fonction du nombre et du volume des sites métallurgiques 80
Tableau 38 : Tableau du nombre de sites métallurgiques noirs et bicolores en forêt de Châteauroux en fonction du pourcentage en masse de scories internes 80
Tableau 39 : Tableau du nombre de sites métallurgiques bicolores en fonction du pourcentage en masse de scories internes dans chaque espace sédimentaire (noir et rouge) 80
Tableau 40 : Tableau d'enregistrement des différents sous-types de scories internes ramassées sur les sites métallurgiques de la forêt de Châteauroux 81
Tableau 41 : Tableau présentant le nombre de site où les différents types de scories internes sont observées 82
Tableau 42 : Tableau signalant les proportion en masse des différents sous-types de scories internes en fonction du volume du ferrier dont elles proviennent 83
Tableau 43 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes en fonction du type de site métallurgique d'où elles proviennent 83
Tableau 44 : Tableau du pourcentage en masse des différents sous-types de scories internes en fonction de l'espace sédimentaire des sites métallurgiques bicolores d'où ils sont issues 84
Tableau 45 : Tableau des diverses caractéristiques des fonds de four de la forêt de Châteauroux 85
Tableau 46 : Tableau de la proportion en masse des différents sous-types de paroi en fonction du sédiment dont ils proviennent dans les sites bicolores 88
Tableau 47 : Tableau du nombre de fragment de paroi par classe d'épaisseur (en cm) 88
Tableau 48 : Tableau détaillant les paroi présentant le négatif de bombement ou de sillons rectilignes 89

Tableau 49 : Tableau du nombre de bombements et de sillons observés sur les parois par classe de largeur..... 91
Tableau 50 : Tableau de la masse des fragments de paroi en fonction de leur coloration 92
Tableau 51 : Tableau de la masse des terres cuites architecturales par site métallurgique dans la forêt de Châteauroux..... 92
Tableau 52 : Tableau de la masse des terres cuites architecturales par espace sédimentaire dans les sites bicolores 92
Tableau 53 : Tableau de l'épaisseur des TCA de la forêt de Châteauroux 94
Tableau 54 : Tableau d'enregistrement de la céramique ramassée en prospection dans la forêt de Châteauroux 98
Tableau 55 : Tableau récapitulatif présentant les datations obtenues par site en fonction du mobilier datant 105
Tableau 56 : Tableau de la moyenne des teneurs en Manganèse, Césium, Lanthane, Néodyme de différents sites métallurgiques..... 113
Tableau 57 : Tableau des caractéristiques discriminantes des ateliers de la forêt de Boulogne-Chambord 115
Tableau 58 : Tableau des caractéristiques discriminantes des ateliers de la forêt de Châteauroux.... 116
Tableau 59 : Tableau des critères discriminants et de leur valeur pour chaque atelier de la forêt de Boulogne/Chambord 119
Tableau 60 : Tableau des critères discriminants et de leur valeur pour chaque atelier de la forêt de Châteauroux 120
Tableau 61 : Tableau des résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir des critères technologiques des ateliers métallurgique de Boulogne/Chambord..... 121
Tableau 62 : Tableau des résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique réalisée à partir des critères technologiques des ateliers métallurgique de Châteauroux..... 123
Tableau 63 : Tableau de comptage de la céramique provenant de l'espace de travail de l'atelier F155/1 142
Tableau 64 : Tableau d'enregistrement des fonds de four du site F155/1..... 150
Tableau 65 : Tableau du nombre de fond de four par masse (en kg) 152
Tableau 66 : Pourcentage en masse des éléments chimiques présents dans les échantillon de l'atelier F155/1..... 153
Tableau 67 : Tableau d'enregistrement des battitures du site F155/1 153
Tableau 68 : Détail des battitures observées en métallographie..... 154
Tableau 69 : Tableau signalant les fragments de paroi comprenant des traces d'une ossature en bois des fours..... 161
Tableau 70 : Tableau de comptage en NR par US et Groupes Techniques de la céramique du ferrier F090 de la forêt de Châteauroux 169
Tableau 71 : Tableau de la représentation des scories écoulées par type..... 175
Tableau 72 : Tableau de la représentation des différents types de scories internes 175
Tableau 73 : Tableau d'enregistrement des fonds de four provenant de l'atelier F090 de la forêt de Châteauroux 175
Tableau 74 : Tableau présentant le nombre de fond de four par classe de poids 177
Tableau 75 : Pourcentage en masse des éléments chimiques présents dans les échantillon de l'atelier F090..... 178
Tableau 76 : Tableau du nombre de charbon par classe de rayon restitué et par US dans l'atelier F155/1 182
Tableau 77 : Tableau d'enregistrement de l'épaisseur corrigée des cernes (en mm) des charbons issus de la zone de forge de l'atelier F155/1 182
Tableau 78 : Epaisseur moyenne corrigée des cernes (en mm) par charbon observé dans la zone de forge de l'atelier F155/1 183

Tableau 79 : Caractéristiques des cernes des charbons en fonction de leur nombre dans l'atelier F155/1 186
Tableau 80 : Tableau de l'épaisseur moyenne des cernes de charbon de bois par US (sauf zone d'épuration) 187
Tableau 81 : Tableau du niveau de duraminisation des charbons par US dans l'atelier F155/1 187
Tableau 82 : Tableau du nombre de charbon disposant de fente de retrait et leur type dans l'atelier F155/1..... 188
Tableau 83 : Tableau du nombre de charbon disposant de galerie d'insecte et leur nombre dans l'atelier F155/1..... 189
Tableau 84 : Tableau du nombre de charbon par US et par type d'essence dans l'atelier F090 193
Tableau 85 : Tableau du nombre de charbon par classe de rayon restitué dans l'atelier F090 193
Tableau 86 : Tableau des caractéristiques des cernes des charbons de l'atelier F090 193
Tableau 87 : Tableau détaillant les cernes réguliers et irréguliers par US dans l'atelier F090 194
Tableau 88 : Tableau du nombre de charbon aux cernes réguliers par classe d'épaisseur dans l'US 1008 194
Tableau 89 : Tableau des caractéristiques de l'épaisseur des cernes réguliers par US 194
Tableau 90 : Tableau du nombre de charbon de bois par US et niveau de duraminisation..... 195
Tableau 91 : Tableau du nombre de charbon par type de débitage, par essence et par US..... 195
Tableau 92 : Tableau du nombre de charbon par nombre de fente de retrait observées et par US 196
Tableau 93 : Tableau de la distance des ferriers par rapport aux chemins anciens du massif de Boulogne-Chambord 199

Solène LACROIX

ATELIERS DE PRODUCTION DU FER ANTIQUES ET MEDIEVAUX DANS LE CENTRE DE LA FRANCE

Résumé :

Le fer est un métal étroitement lié à la vie des populations anciennes. L'étude des zones sidérurgiques de Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre) documente la métallurgie et ses changements dans une région, le centre de la France, où cet artisanat est peu étudié et de façon disparate. Son approche de la période médiévale, que ce soit le haut Moyen Âge en forêt de Boulogne/Chambord ou le bas Moyen Âge dans le massif de Châteauroux, renseigne une période pour laquelle peu d'études approfondies sont actuellement disponibles en France. Il contribue également à enrichir nos connaissances de la métallurgie antique dans l'Indre. Ces résultats sont obtenus grâce à la mobilisation et au croisement de nombreuses sources d'informations: sources planimétriques et textuelles anciennes, données de prospections pédestres, géomagnétiques et LiDAR, données de fouilles archéologiques, études anthracologiques, études macroscopiques et métallographiques du mobilier ainsi que des analyses chimiques (ICP/MS et 14C). Les interprétations et hypothèses établies à propos de ces deux zones sidérurgiques contribuent finalement à trouver la juste place qu'elles ont occupée dans le contexte historique, politique et social qui est le leur.

Mots-clefs : Métallurgie, fer, archéométrie, scories, réduction, Moyen Âge, épuration, Antiquité, forêt, anthracologie

Abstract :

Iron is a metal closely linked to the life of ancient populations. The study of the siderurgical areas of Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) and Châteauroux (Indre) documents metallurgy and its changes in a region, the centre of France, where this craft is little studied and in a disparate way. Its approach to the medieval period, whether it be the early Middle Ages in the Boulogne/Chambord forest or the late Middle Ages in the Châteauroux massif, provides information on a period for which few in-depth studies are currently available in France. It also contributes to our knowledge of ancient metallurgy in the Indre. These results are obtained by mobilising and crossing numerous sources of information: planimetric and ancient textual sources, data from pedestrian, geomagnetic and LiDAR surveys, data from archaeological excavations, anthracological studies, macroscopic and metallographic studies of the material as well as chemical analyses (ICP/MS and 14C). The interpretations and hypotheses established for these two iron and steel areas finally contribute to finding their rightful place in their historical, political and social contexts.

Key words : Metallurgy, iron, archaeometry, slag, reduction, Middle Ages, purification, Antiquity, forest, anthracology

UNIVERSITÉ DE TOURS

ÉCOLE DOCTORALE : Humanités & Langues – H&L

UMR 7324 CITERES – LABORATOIRE ARCHEOLOGIE ET TERRITOIRES

THÈSE présentée par :

Solène LACROIX

soutenue le : 08 décembre 2023

pour obtenir le grade de : **Docteure de l'université de Tours**

Discipline/ Spécialité : Histoire, spécialité Archéologie

Ateliers de production du fer antiques et médiévaux dans le Centre de la France : le cas des forêts de Châteauroux (Indre) et de Boulogne-Chambord (Loir-et-Cher)

Volume 3 : fiches ferriers et métallographies

THÈSE co-dirigée par :

M. HUSI Philippe	Ingénieur de recherche HDR, CNRS, Université de Tours
Mme DIEUDONNE-GLAD Nadine	Professeure, Université de Poitiers

RAPPORTEURS :

Mme ARRIBET-DEROIN Danielle	Maitre de conférence HDR, Université de Paris I
M. SERNEELS Vincent	Professeur, Université de Lausanne

JURY :

Mme ARRIBET-DEROIN Danielle	Maitre de conférence HDR, Université de Paris I
M. BRIOIST Pascal	Professeur, Université de Tours
Mme DIEUDONNE-GLAD Nadine	Professeure, Université de Poitiers
Mme DURAND Aline	Professeure, Université du Mans
M. HUSI Philippe	Ingénieur de recherche HDR, CNRS, Université de Tours
M. SARRESTE Florian	Docteur, Université de Tours
M. SERNEELS Vincent	Professeur, Université de Lausanne

Sommaire

Annexe 1 : Fiches ferriers du massif de Boulogne/ Chambord 4
Annexe 2 : Fiches métallographies du massif de Boulogne/Chambord 173
2.1 Les fonds de four 173
2.2 Les culots de forge 186
Annexe 3 : Fiches ferriers de la forêt de Châteauroux 190
Annexe 4 : Fiches métallographies de la forêt de Châteauroux 348
4.1 Les scories de réduction 348
4.2 Les culots de forge 363
Annexe 5 : Fiches métallographies du site F155/1 369
5.1 Les fonds de four 369
5.2 Les déchets de forge 396
5.3 Les battitures du site F155/1 – Forêt de Boulogne 408
Battitures fayalitiques 408
Battitures vitreuses 417
Battitures à magnétite 413
Annexe 6 : Fiches métallographies du site F090 421
6.1 Les vestiges de réduction 421
6.2 Les culots de forge 438
Bibliographie 444

Annexe 1 : Fiches ferriers du massif de Boulogne/ Chambord

F064/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

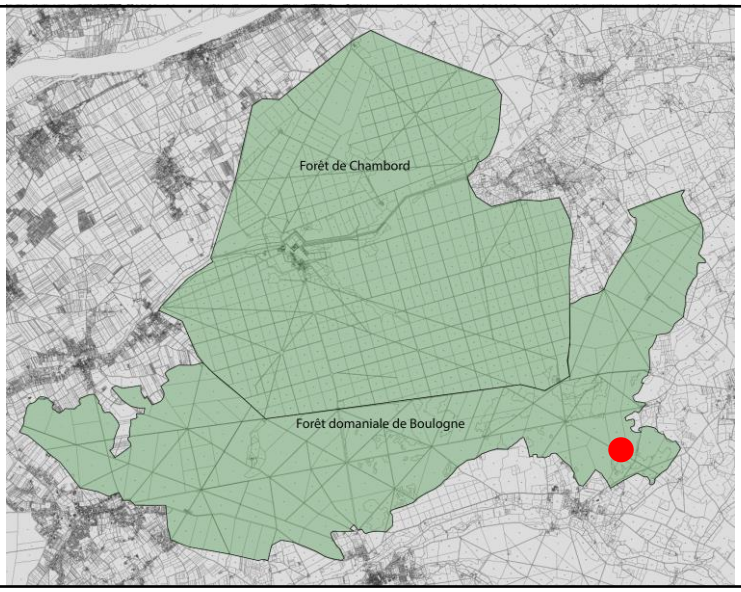
Parcelle forestière : 064

Coordonnées GPS (L93)

X : 596162,281 m

Y : 6720445,964 m

Z : 95,3 m



Enregistrement

Date de prospection : 24/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 17, 4 m largeur : 14, 6 m Hauteur : > 20 cm

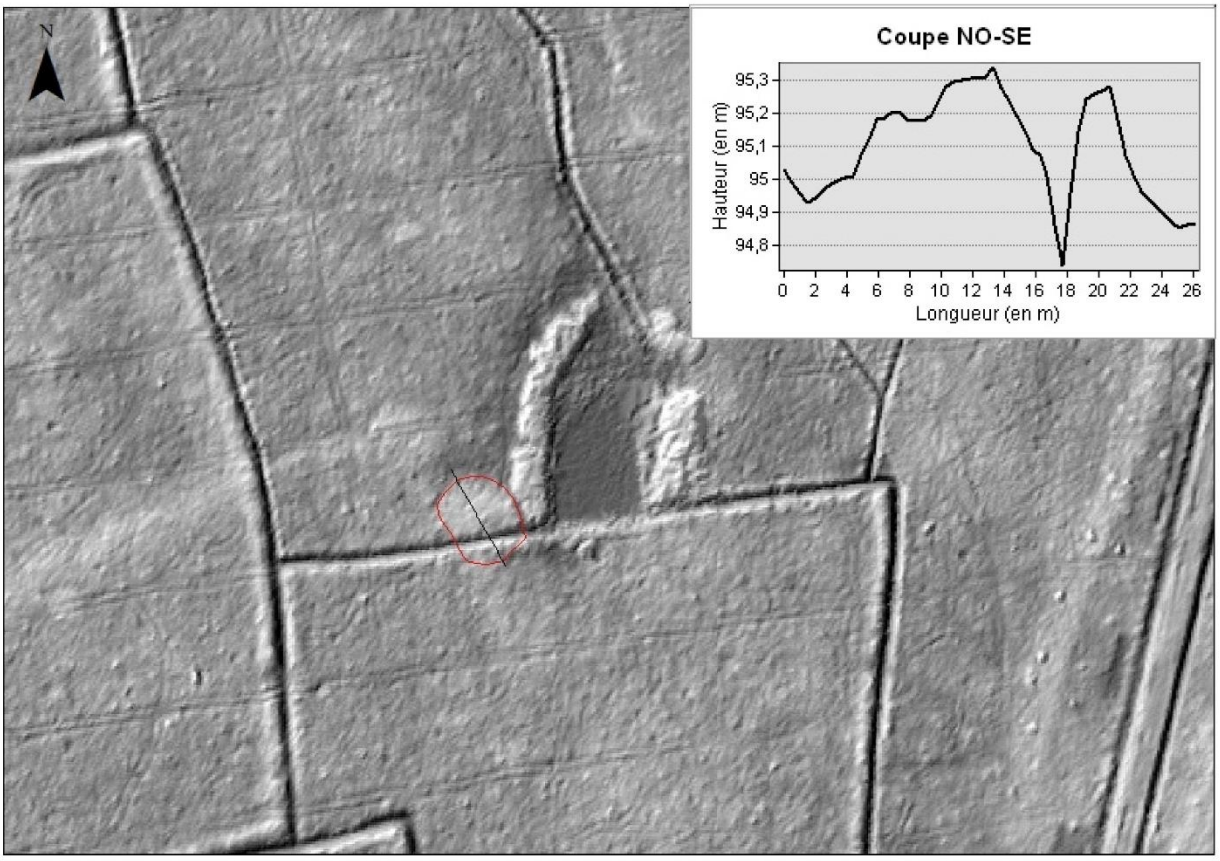
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Structure bordée par une fosse à l'Est. Elle forme une butte bien visible dans le paysage et est coupée par un petit canal au Sud-Ouest.

Datation : Indéterminée

Observations : Petit ferrier comprenant des scories très éparses. Ce ferrier est arasé et les vestiges le composant sont récupérés par endroit.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F064/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **3, 1 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 5 fragments de Scories Brunes Denses très oxydés en surface et 12 Scories Brunes Rugueuses (0, 67 kg).

Fragmentation : Peu importante

- 87 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais couverts d'une pellicule d'oxydation (2, 04 kg).

Fragmentation : Très fragmentée

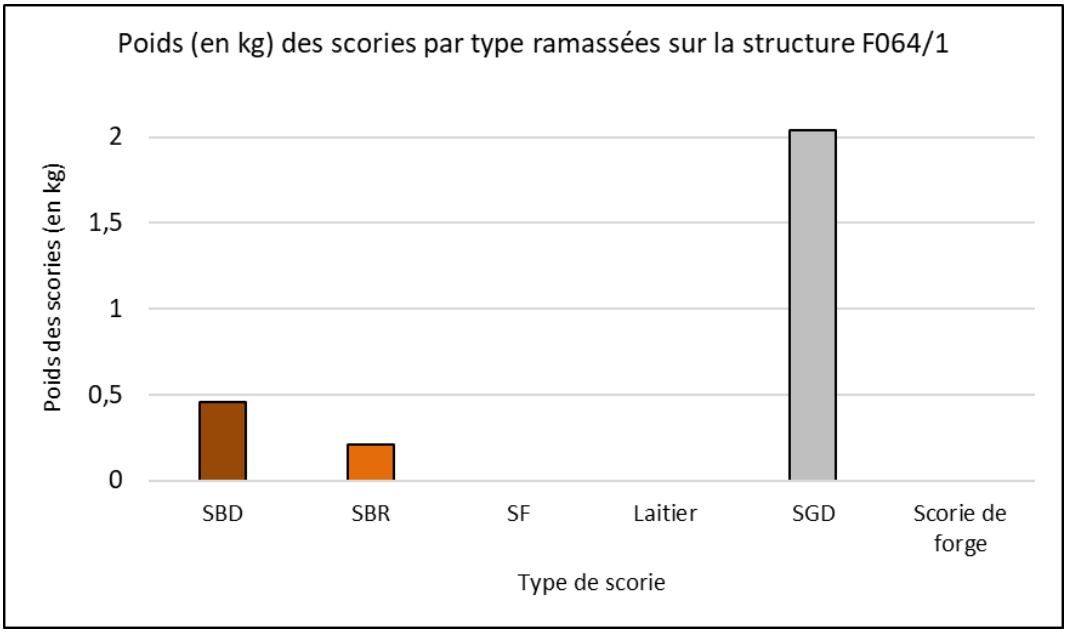
Scories de forge :

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse : 5 fragments de paroi en argile beige très indurés et scorifiés et 10 fragments de paroi en argile orangée à gris. Tous présentent des inclusions de quartz submillimétriques (0, 34 kg).

Tuyère : 1 fragment de tuyère en argile beige à rouge (0, 02 kg).



F094/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

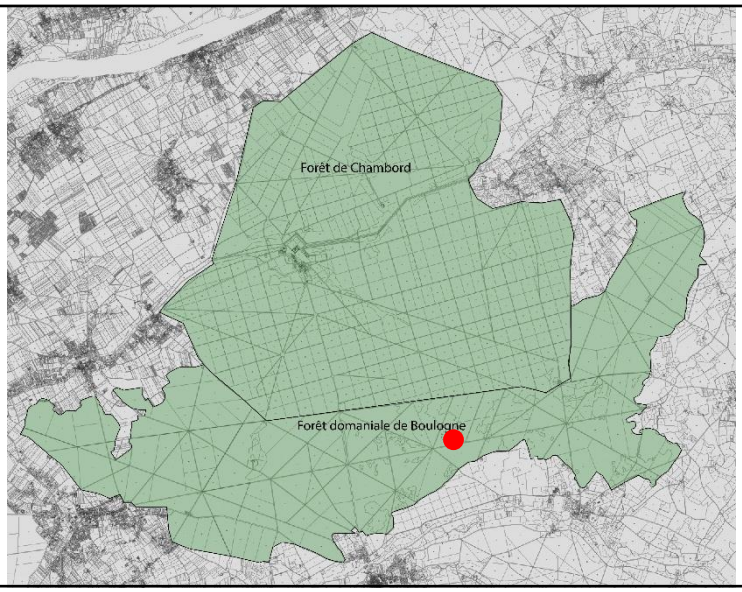
Parcelle forestière : 094

Coordonnées GPS (L93)

X : 592118,734 m

Y : 6720645,07 m

Z : 104,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 24/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Peu

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 13, 5 m largeur : 9, 2 m Hauteur : > 20 cm

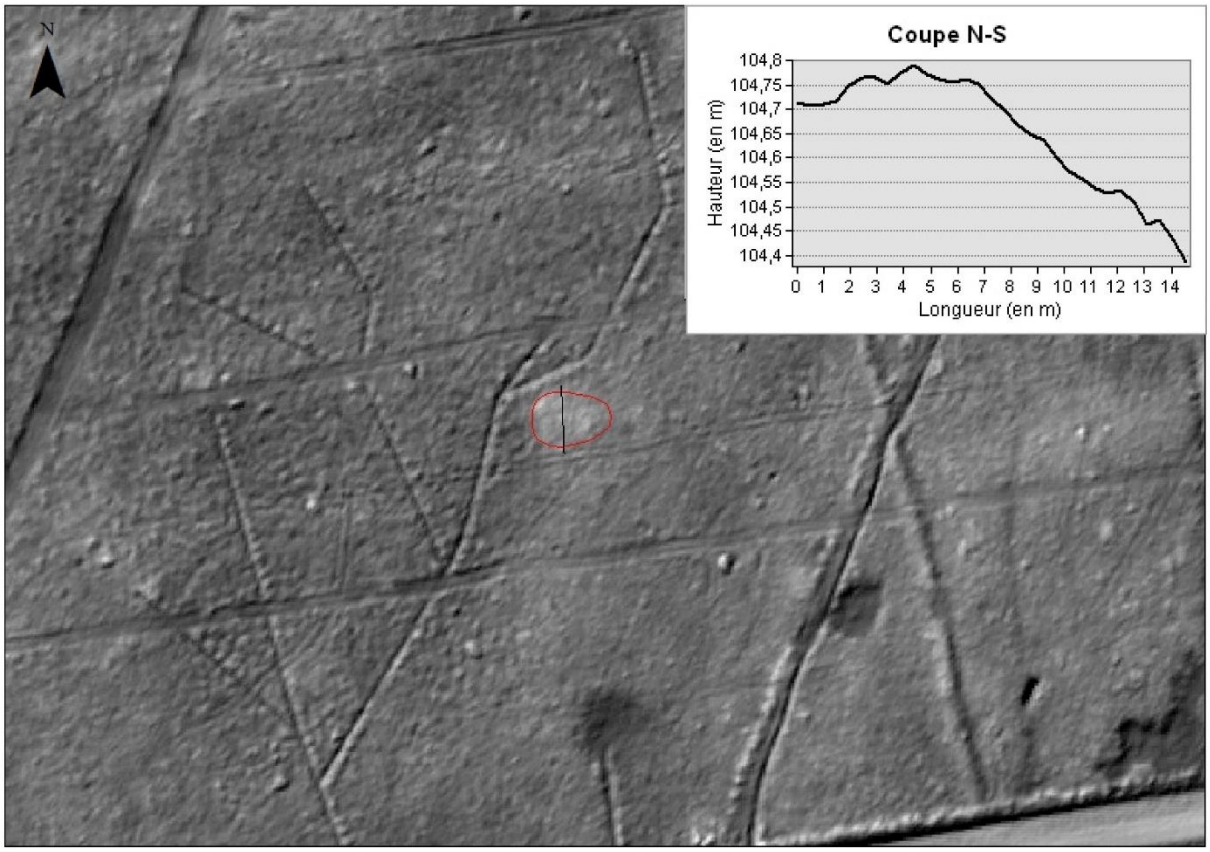
Sédiment : US limono-sableuse noire.

Caractéristiques environnementales : Structure peu visible dans le paysage et perturbée, couverte par quelques fragons et houx.

Datation : Indéterminé

Observations : Petit ferrier comprenant des scories très éparses. Ce ferrier est arasé mais une concentration de scorie est observée au sommet.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F094/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 12 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 11 fragments de Scorie Brune Dense, non magnétiques et non oxydés (0, 207 kg).

Fragmentation : Importante

- 37 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 928 kg).

Fragmentation : Importante

- 2 fragments de laitier bleutés (0, 013 kg).

Fragmentation : Importante

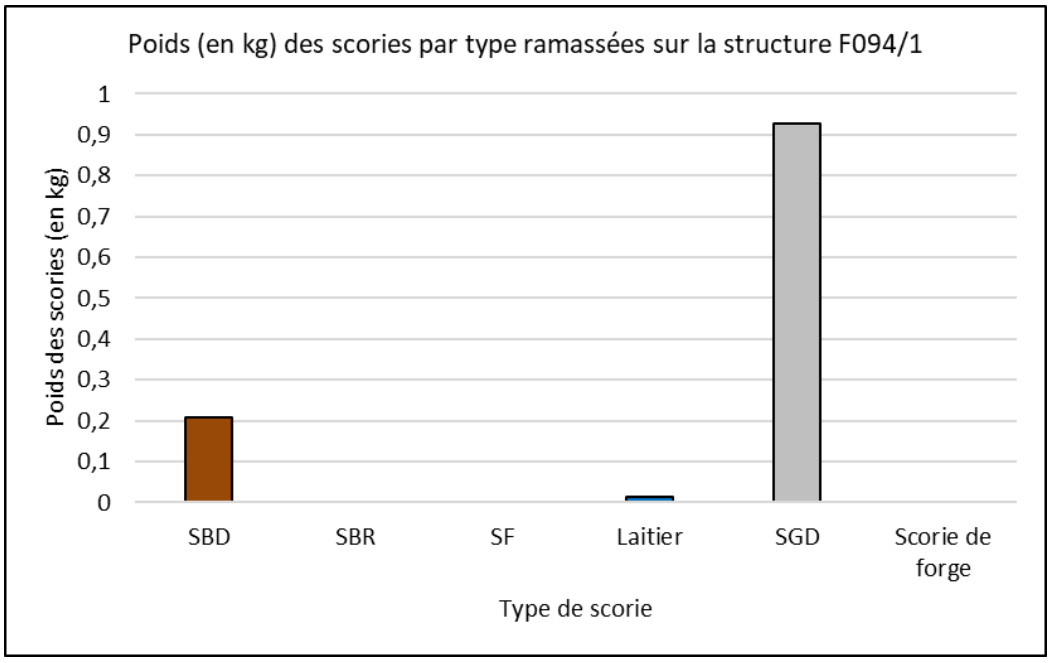
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 3 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 039 kg).



F107/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

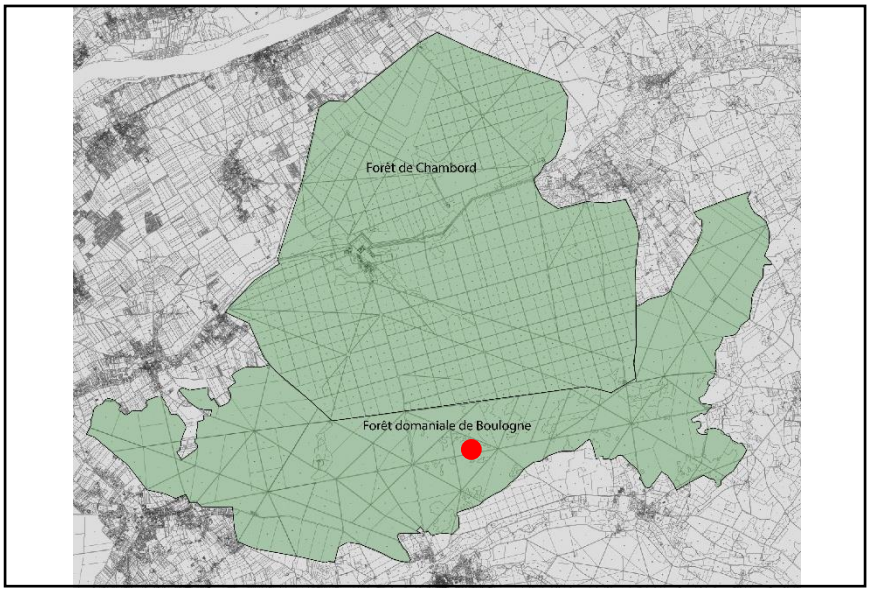
Parcelle forestière : 107

Coordonnées GPS (L93)

X : 591017,424 m

Y : 6720382,727 m

Z : 103,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 10/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 13, 6 m largeur : 4, 5 m Hauteur : < 10 cm

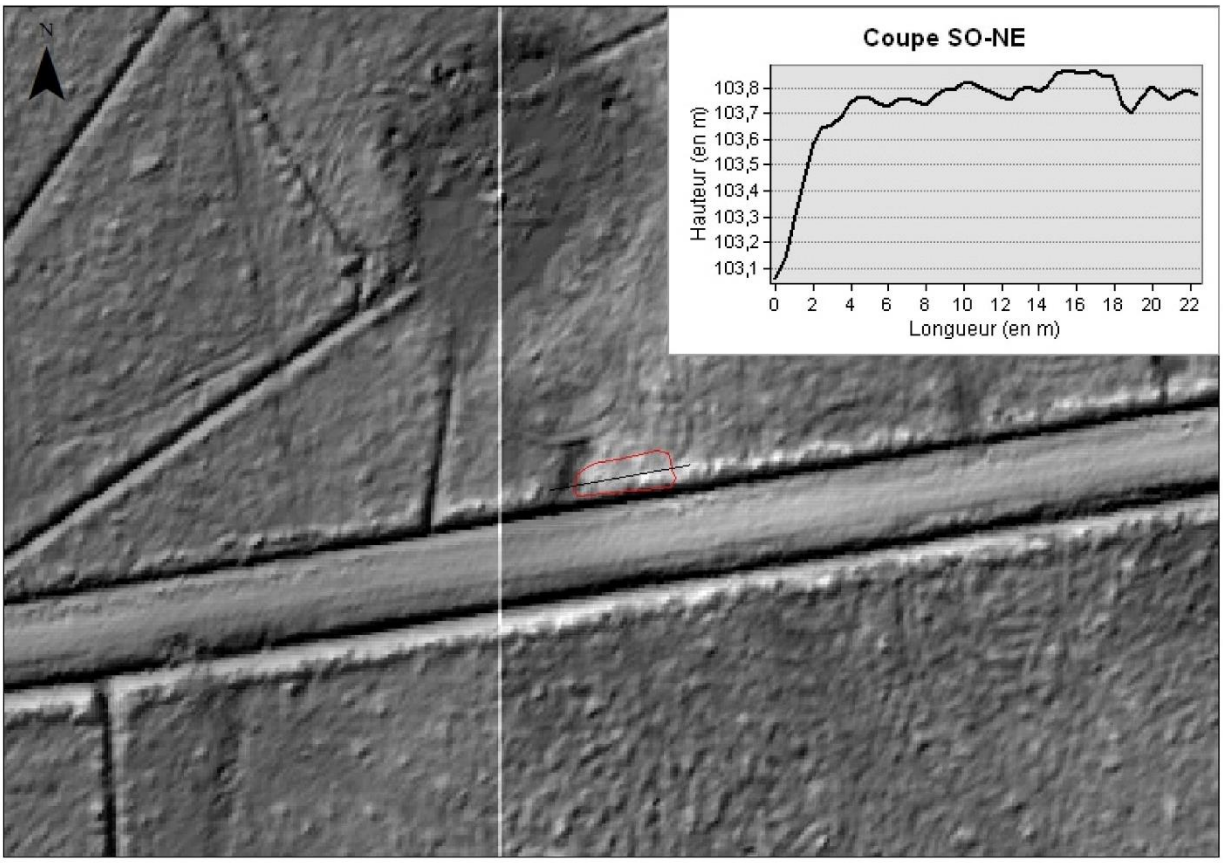
Sédiment : US limono-sableuse brune à noire posée sur une autre US argileuse grise que l'on retrouve de l'autre côté du chemin forestier.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de petits chênes. 2 fosses de 60 et 10 m se trouvent à proximité immédiate.

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage en bande, parallèle au chemin forestier situé au sud. Mis en place lors de l'entretien ou la création de la chaussée ?

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F107/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 508 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 9 fragments de Scorie Brune Dense oxydés (0, 205 kg).

Fragmentation : Importante

- 13 fragments de Scorie Grise Dense (0, 197 kg).

Fragmentation : Importante

Scories de forge

- Aucune

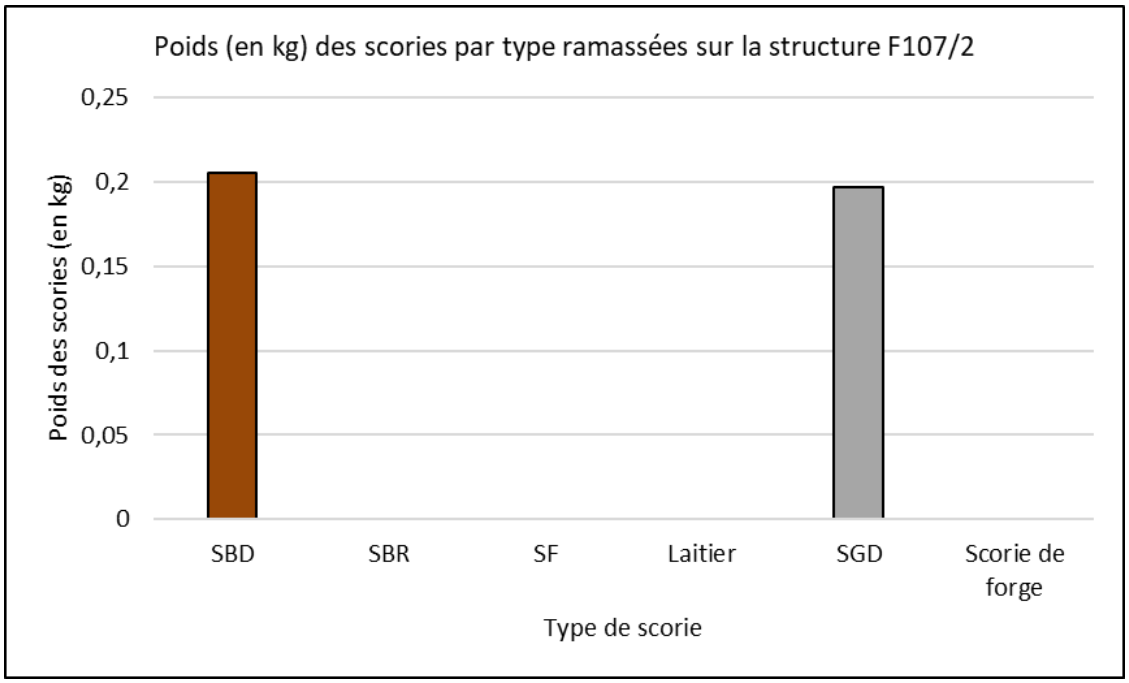
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- Fragment de paroi en argile blanche vitrifiée avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 1 kg).

Matériau lithique

- Fragment de silex rouge (0, 006 kg).



F110/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

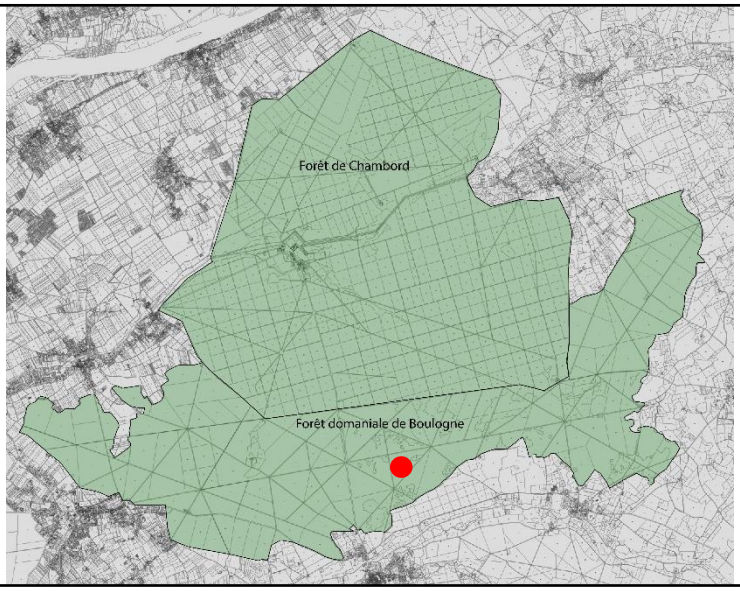
Parcelle forestière : 110

Coordonnées GPS (L93)

X : 591016,896 m

Y : 6720033,435 m

Z : 97,1 m



Enregistrement

Date de prospection : 10/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Peu

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 7, 58 m largeur : 7, 25 m Hauteur : > 20 cm

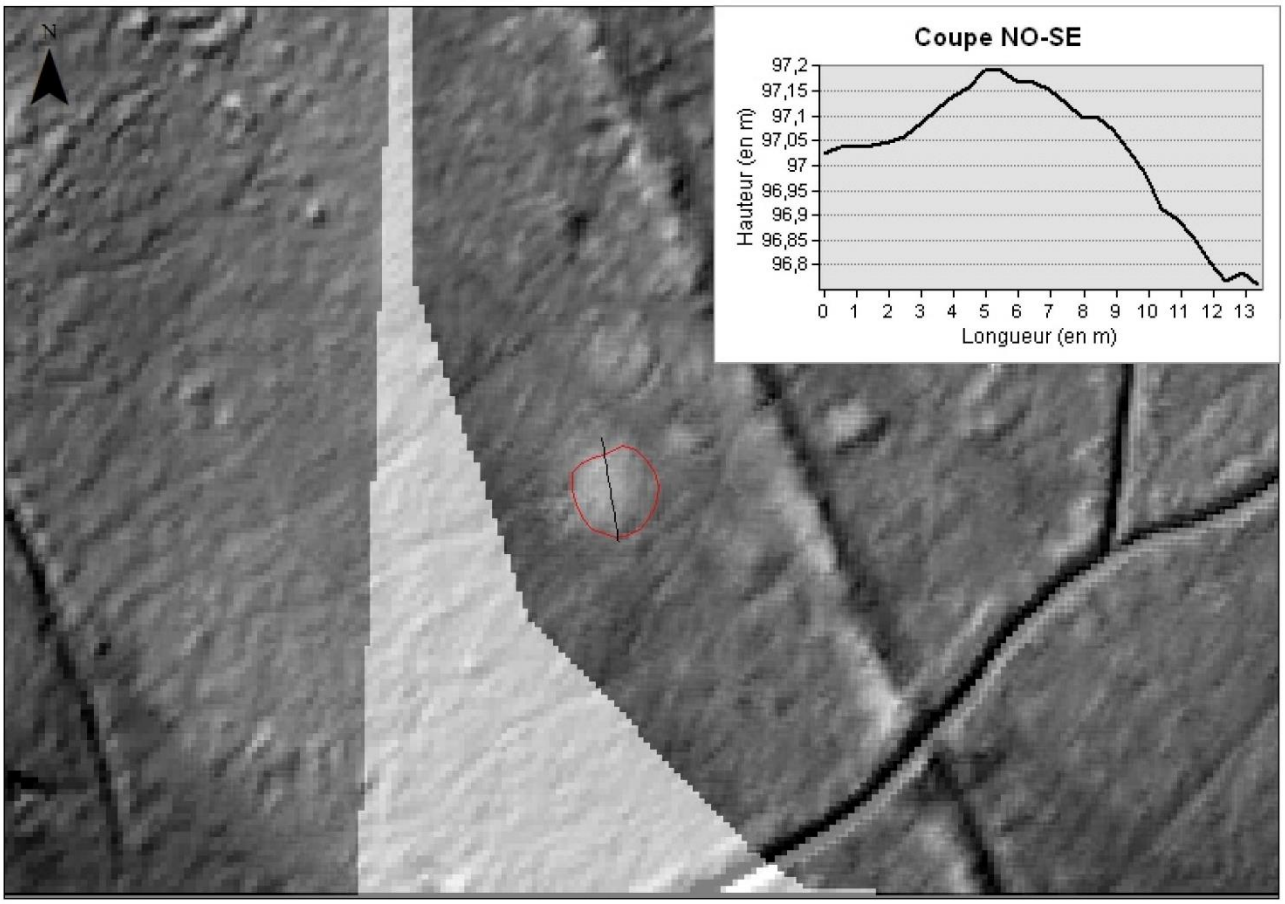
Sédiment : US limono-sableuse brune à noire.

Caractéristiques environnementales : Structure localisée au centre de jeunes futaies. Elle forme une légère butte dans le paysage et est coupée à l'ouest par un layon.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de petites dimensions dont les scories sont très fragmentées et nombreuses.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F110/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 7 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 8 fragments de Scorie Brune Dense (0, 24 kg)

Fragmentation : Importante

- 23 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais et 17 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés (1, 46 kg).

Fragmentation : Importante

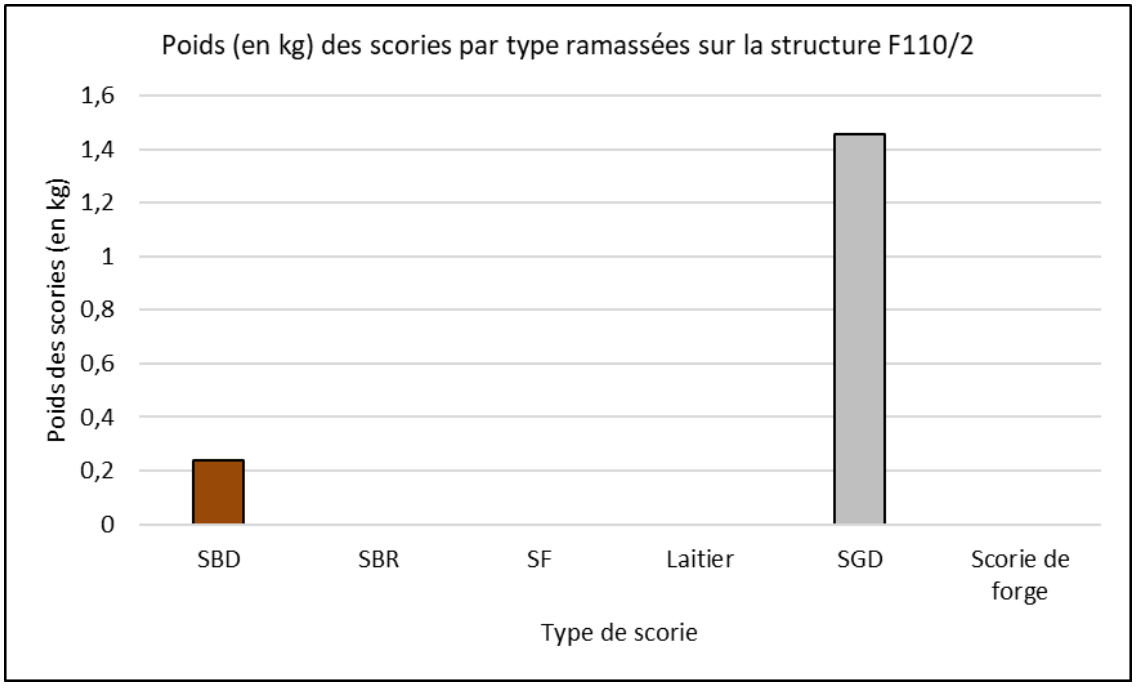
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- Aucune



F111/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

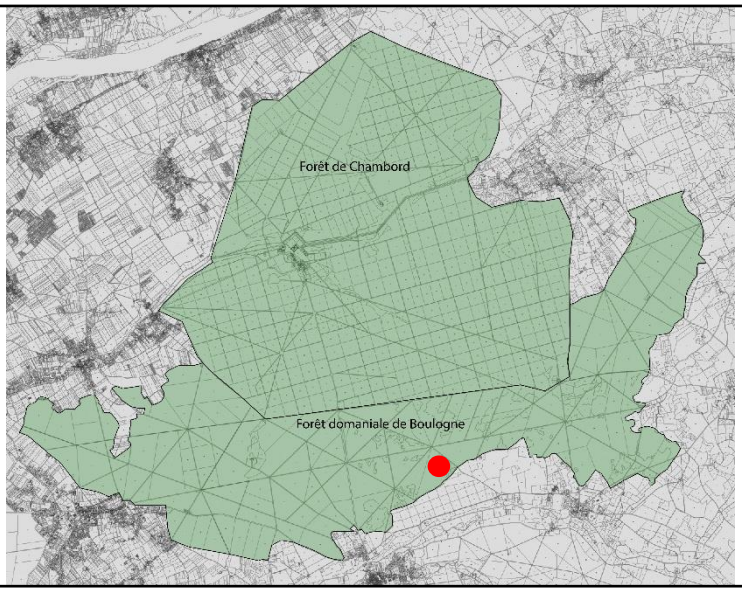
Parcelle forestière : 111

Coordonnées GPS (L93)

X : 591854,484 m

Y : 6720169,372 m

Z : 95,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 24/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 26, 4 m largeur : 18, 5 m Hauteur : > 20 cm

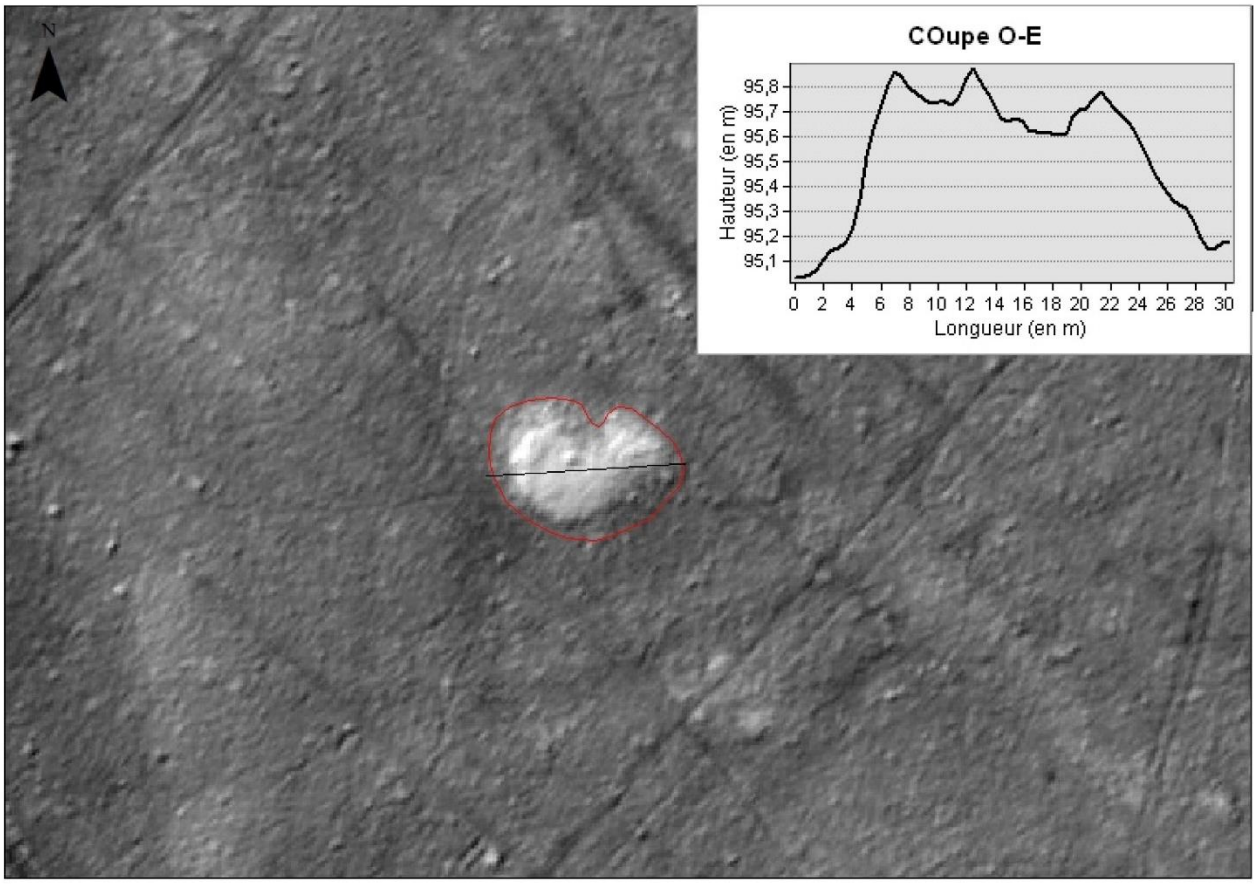
Sédiment : US limono-sableuse brune à noire.

Caractéristiques environnementales : Structure qui forme une butte marquant le paysage et qui est couverte de fragons et de houx.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux grandes dimensions dont les vestiges sont en partie récupérés. Les scories sont assez fragmentées et concentrées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F111/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **4, 74 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 10 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer. L'un d'entre eux présente une vitrification en surface et est associé à de la paroi en argile grise (0, 412 kg).

Fragmentation : Légère

- 16 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés, 3 fragments de Scorie Grise Dense en plaque, 10 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins et 37 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (3, 584 kg).

Fragmentation : Assez importante

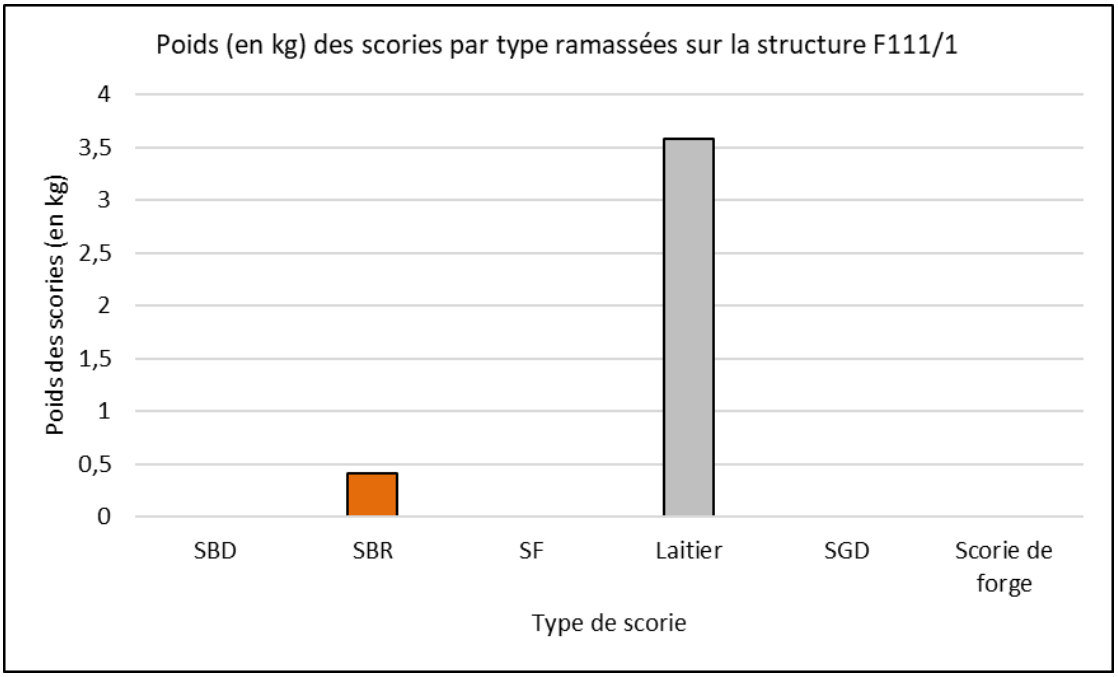
Scories de forge

Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 16 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, scorification et vitrification dont deux sur une face uniquement (0, 744 kg).



F113/3

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

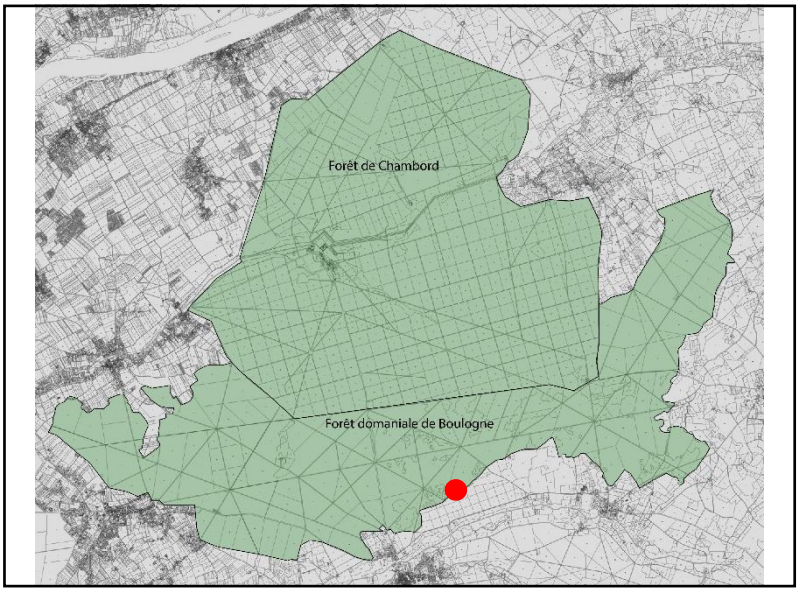
Parcelle forestière : 113

Coordonnées GPS (L93)

X : 591540,489 m

Y : 6719510,877 m

Z : 88,3 m



Enregistrement

Date de prospection : 24/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 18, 7 m largeur : 16, 9 m Hauteur : > 20 cm

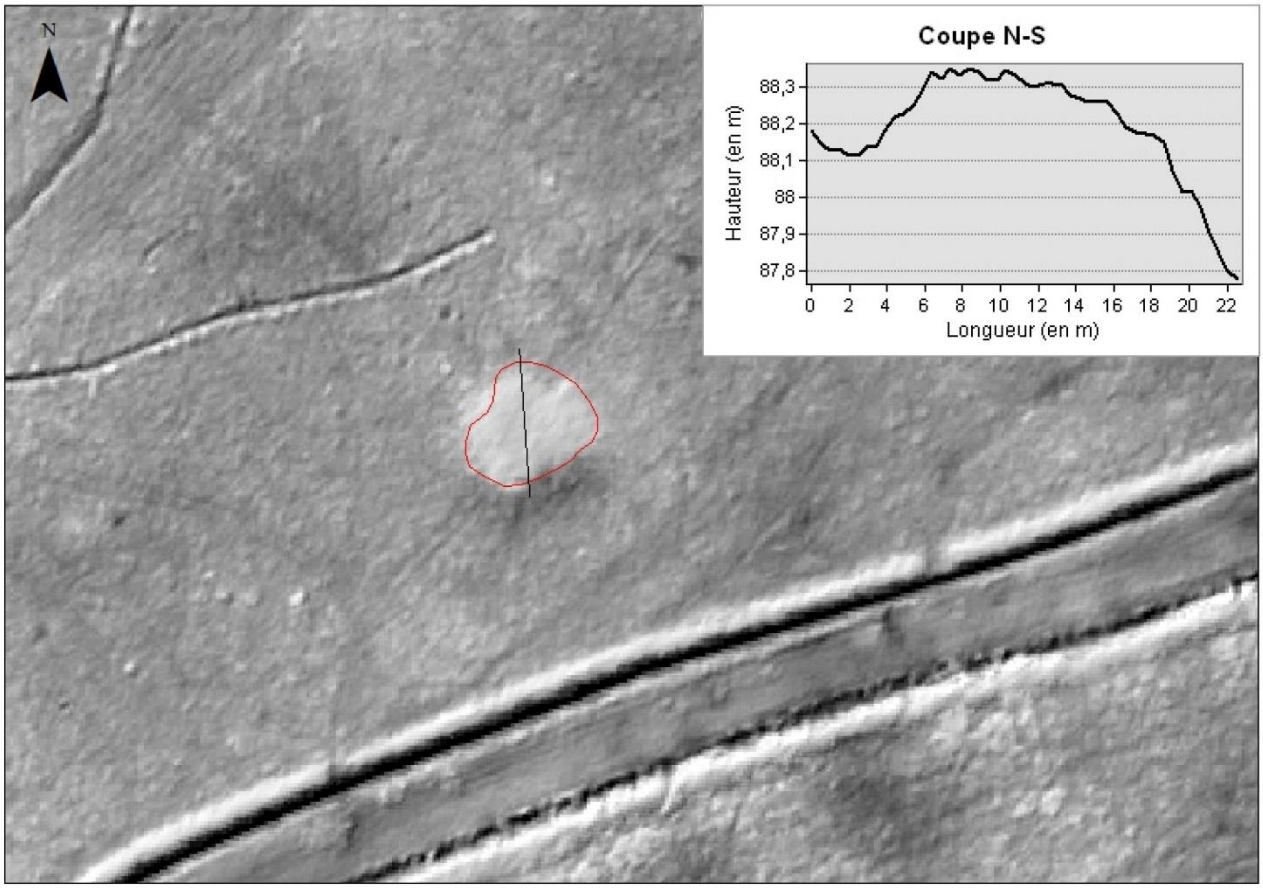
Sédiment : US limono-sableuse noire (charbonneuse).

Caractéristiques environnementales : Structure qui forme une butte marquant le paysage et qui est couverte de fragons et de houx.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont les scories sont assez éparses et fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F113/3 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : 4, 59 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de four plano-convexe Brun Dense avec inclusions de cailloutis et d'oxydes de fer, réactif à l'aimant et légèrement oxydé (0, 845 kg) et 8 fragments de Scorie Brune Dense (0, 42 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

- 17 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés, 1 Scorie Grise Dense en plaque, 3 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins et 24 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (2, 355 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

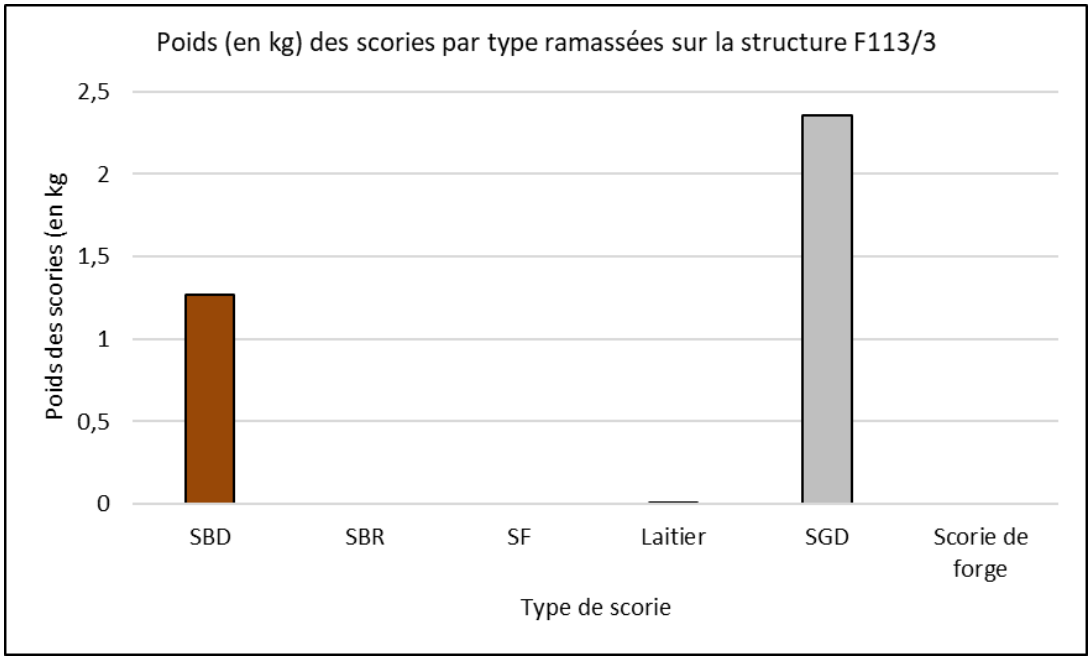
- Un fragment de laitier bleuté (0, 007 kg)

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 15 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, dont 13 présentent une scorification et une vitrification bleutée sur une face et 3 fragments de paroi en argile beige avec inclusion de quartz submillimétriques (0, 964 kg).



F124/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

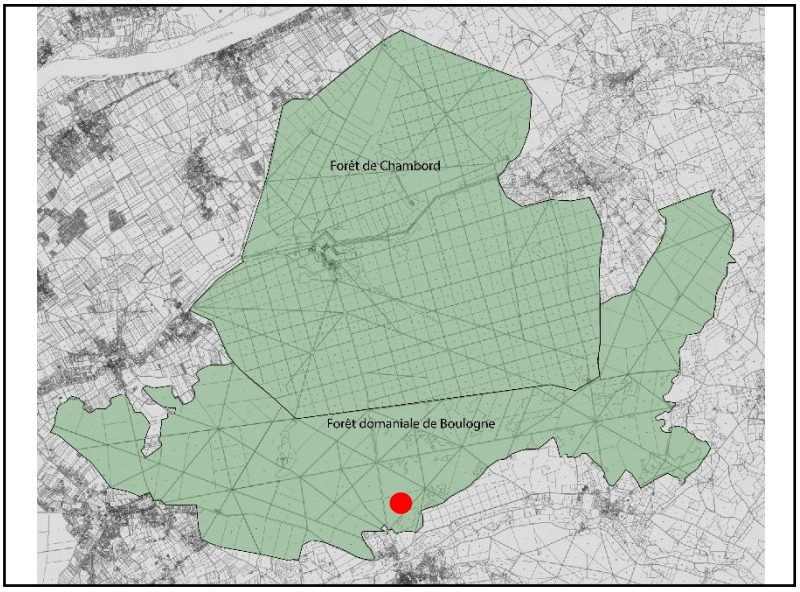
Parcelle forestière : 124

Coordonnées GPS (L93)

X : 590081,427 m

Y : 6719374,780 m

Z : 89 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Indéterminé

Longueur : Indéterminé largeur : Indéterminé Hauteur : Indéterminé

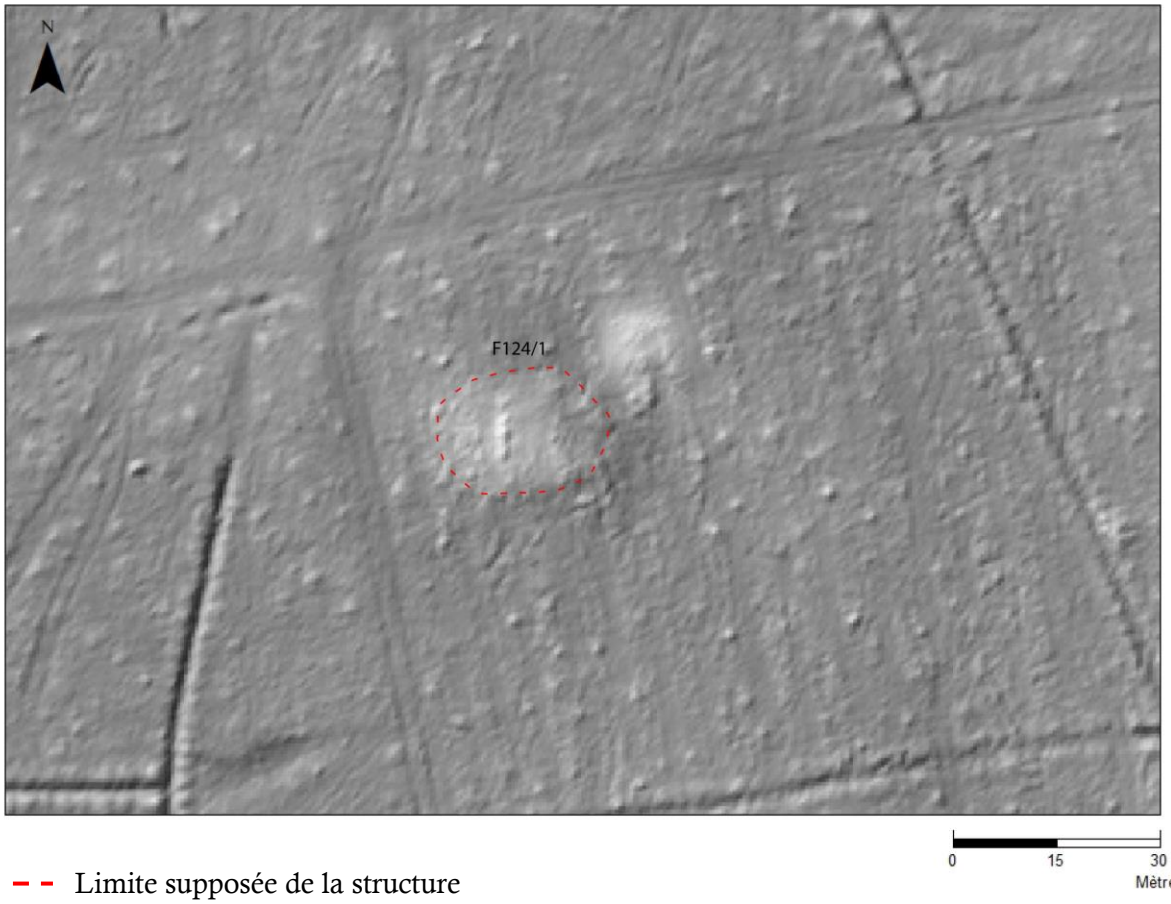
Sédiment : US limono-sableuse brune à noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier recouvert d'une importante épaisseur de ronce.

Datation : Indéterminé

Observations : Ferrier observé sur place mais non enregistré à cause de la végétation trop importante.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F124/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



– – Limite supposée de la structure

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 164 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fragment de Scorie Brune Rugueuse (0, 005 kg)

Fragmentation : Importante

- 9 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 159 kg)

Fragmentation : Importante

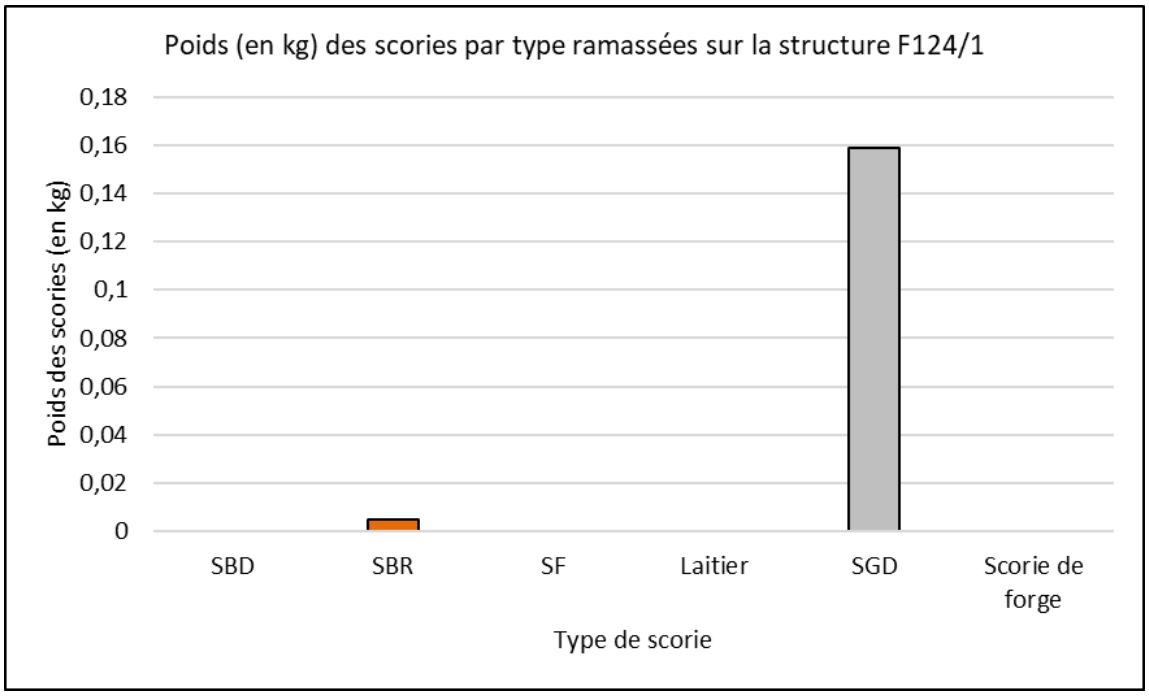
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- Aucune



F124/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

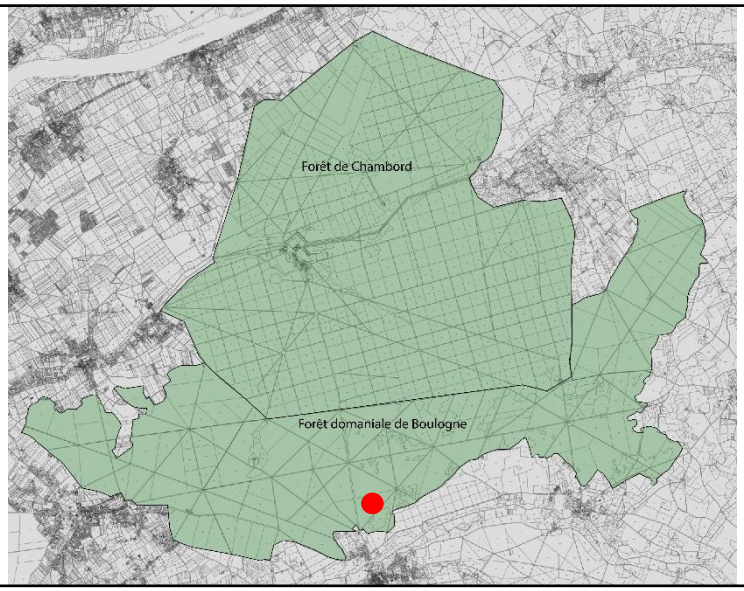
Parcelle forestière : 124

Coordonnées GPS (L93)

X : 590111,320 m

Y : 6719364,537 m

Z : 89 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Indéterminé

Longueur : Indéterminé largeur : Indéterminé Hauteur : Indéterminé

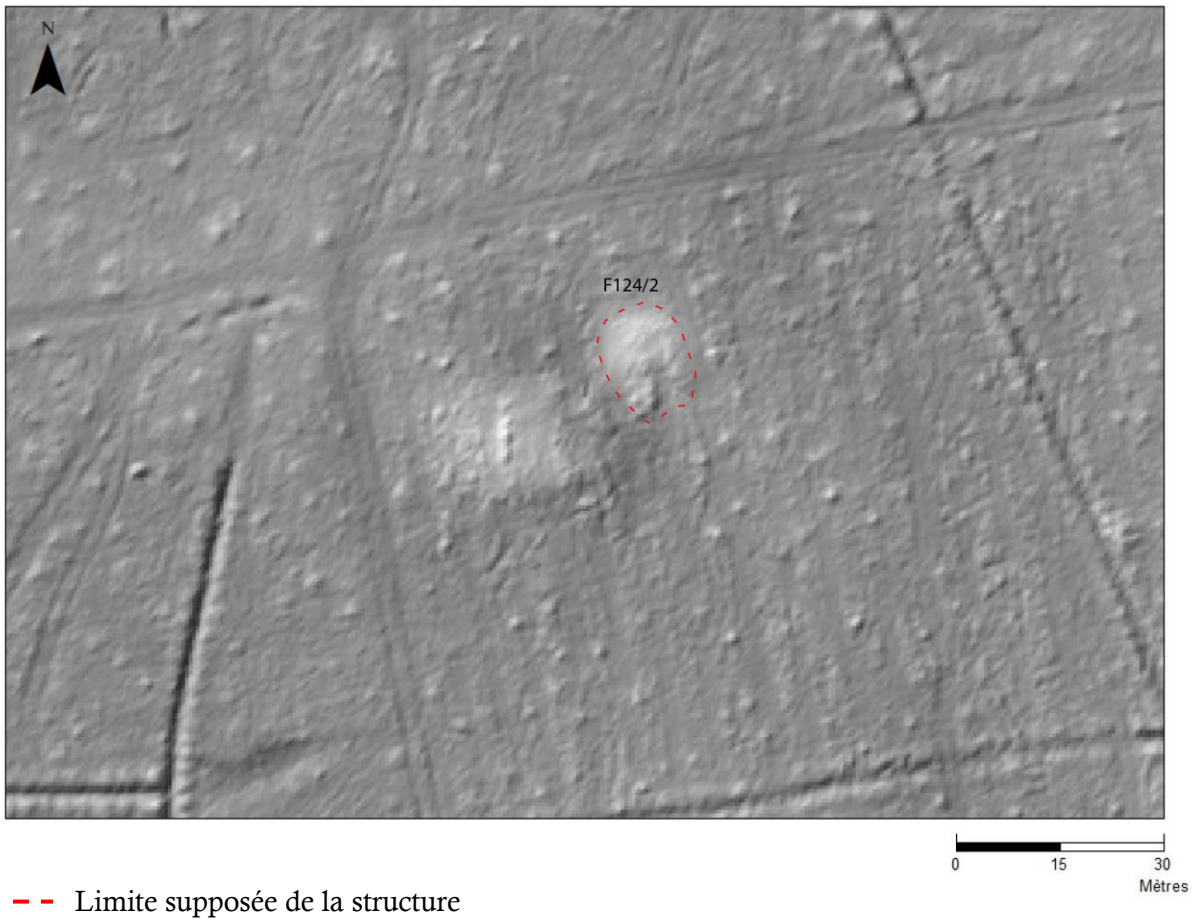
Sédiment : US limono-sableuse brune à noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier recouvert d'une importante épaisseur de ronce.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier observé sur place mais non enregistré à cause de la végétation trop importante. Aucun vestige n'est prélevé.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F124/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite supposée de la structure

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

Fragmentation :

Scories de forge

Fragmentation :

Autres mobiliers

Paroi argileuse

F129/3

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

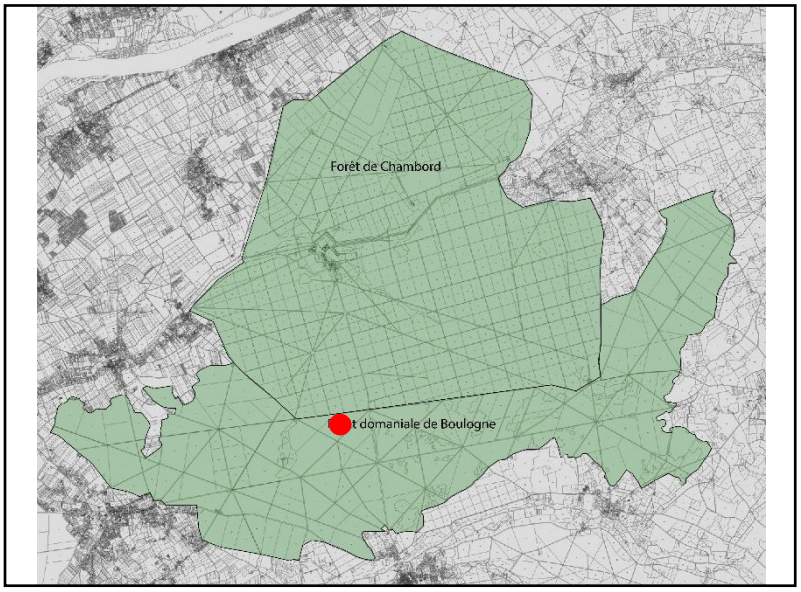
Parcelle forestière : 129

Coordonnées GPS (L93)

X : 589017,851 m

Y : 6720991,347 m

Z : 97 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Peu visible

Description de la structure

Type de structure : Indéterminé

Forme : Indéterminée

Longueur : Indéterminée largeur : Indéterminée Hauteur : Indéterminée

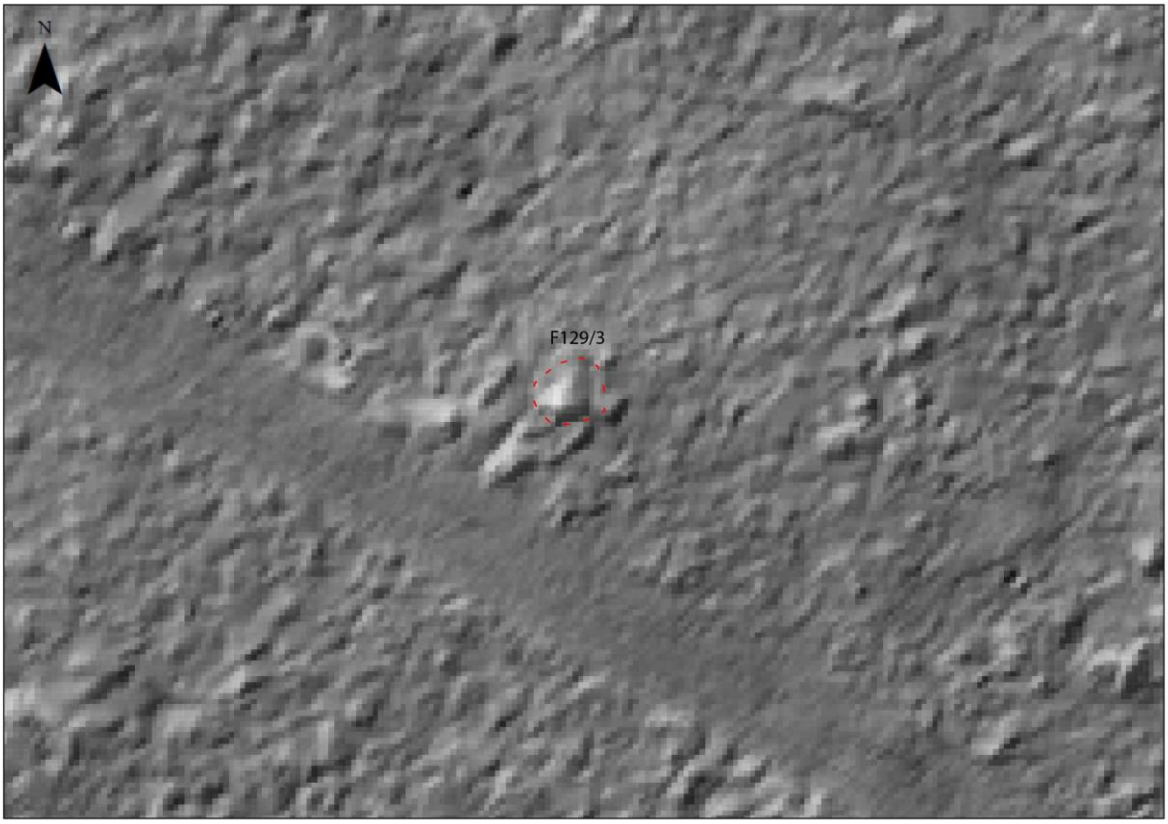
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de ronces.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier non visible dans sa globalité à cause de la végétation dense.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F129/3 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



– – Limite supposée de la structure relevée

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 574 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 5 fragments de Scorie Brune Rugueuse (0, 043 kg).

Fragmentation : Très fragmenté

- 29 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés et 21 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (1, 49 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

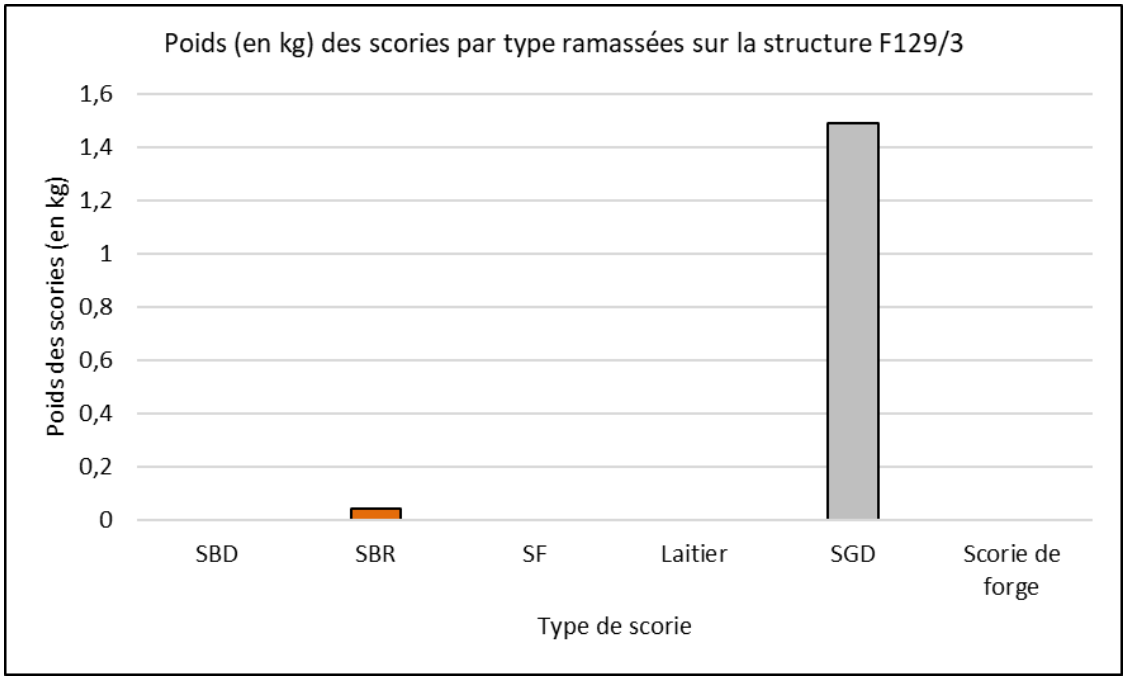
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 3 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques et scorification (0, 041 kg).



F131/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

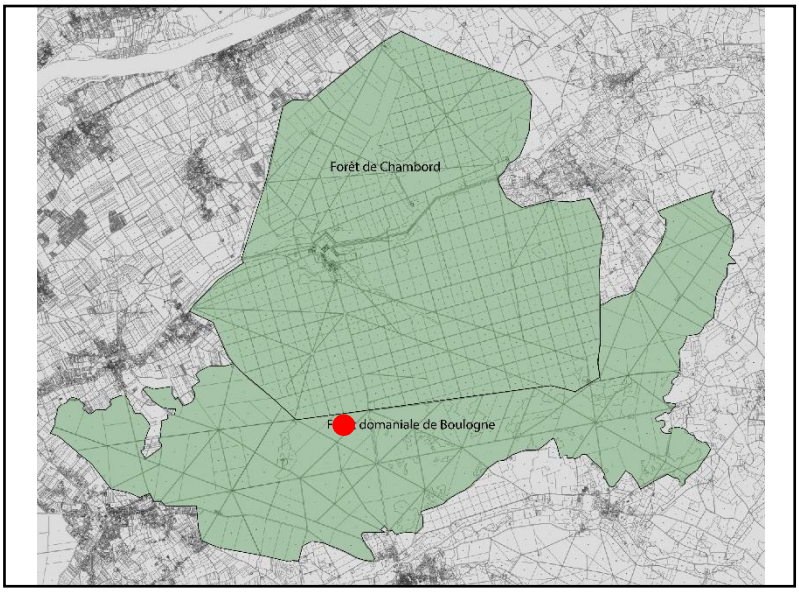
Parcelle forestière : 131

Coordonnées GPS (L93)

X : 588887,365 m

Y : 6720965,497 m

Z : 98 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 22, 4 m largeur : 13, 8 m Hauteur : > 20 cm

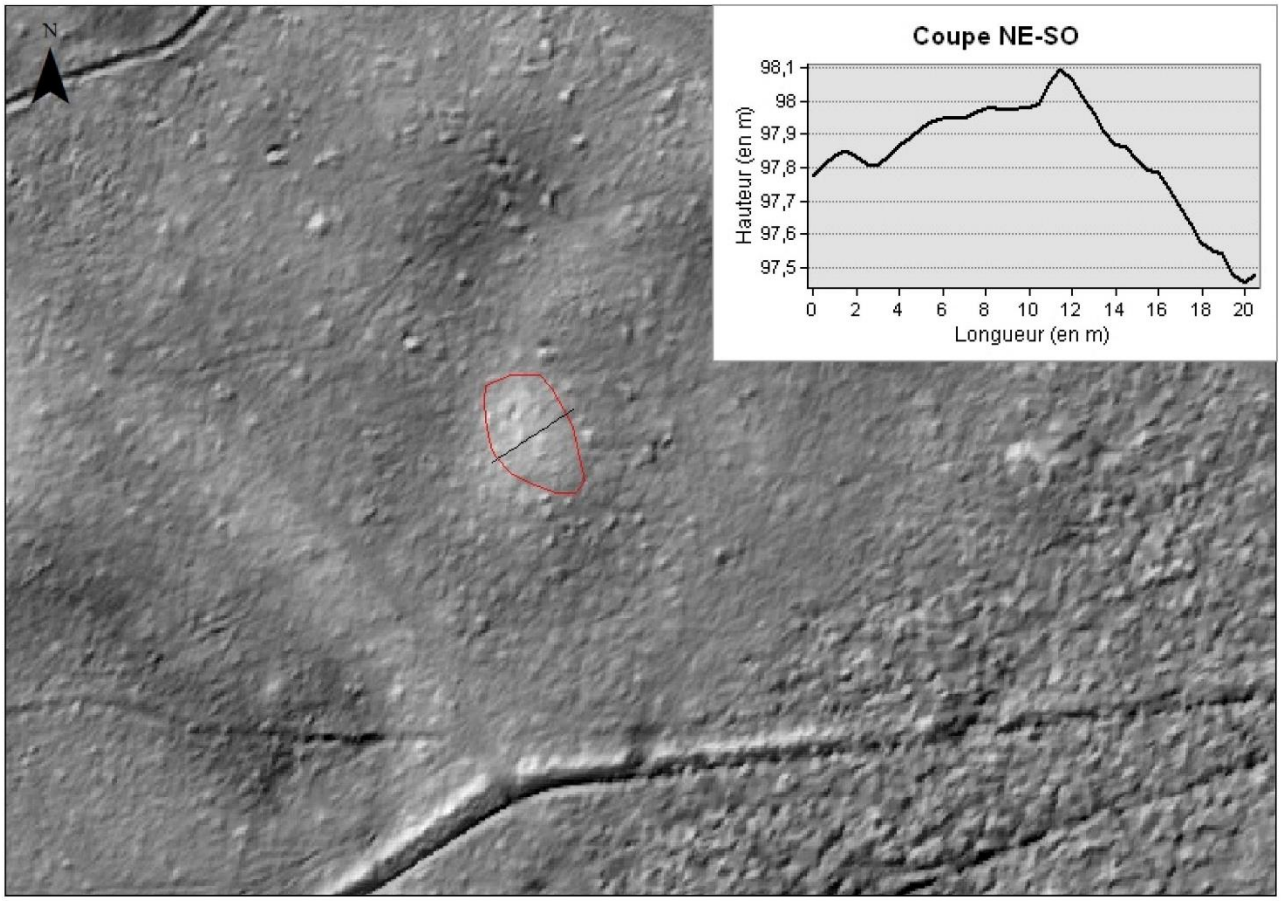
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de fragons et de houx par endroit.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont les scories sont assez éparses et plus ou moins fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F131/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **4, 04 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 65 fragments de Scorie Brune Rugueuse, dont 13 fragments comprennent des inclusions de cailloutis (1, 02 kg).

Fragmentation : Importante

- 41 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés et 64 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (2, 681 kg).

Fragmentation : Peu importante

- 4 fragments de laitier verts (0, 028 kg).

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse

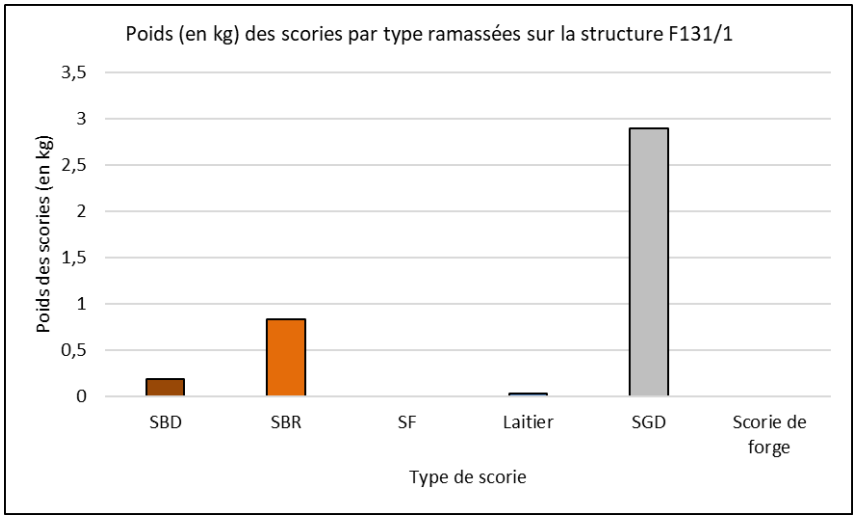
- 3 fragments de paroi en argile gris scorifiés avec inclusions de quartz submillimétriques, 1 fragment de paroi en argile rosée et 1 fragment de paroi en argile orangé (0, 058 kg).

Elément métallique

- Fragment métallique informe oxydé en surface comprenant une forte teneur en métal (0, 018 kg).

Tuyère

- Un fragment de tuyère en argile gris à orangé avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 005 kg).



F132/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

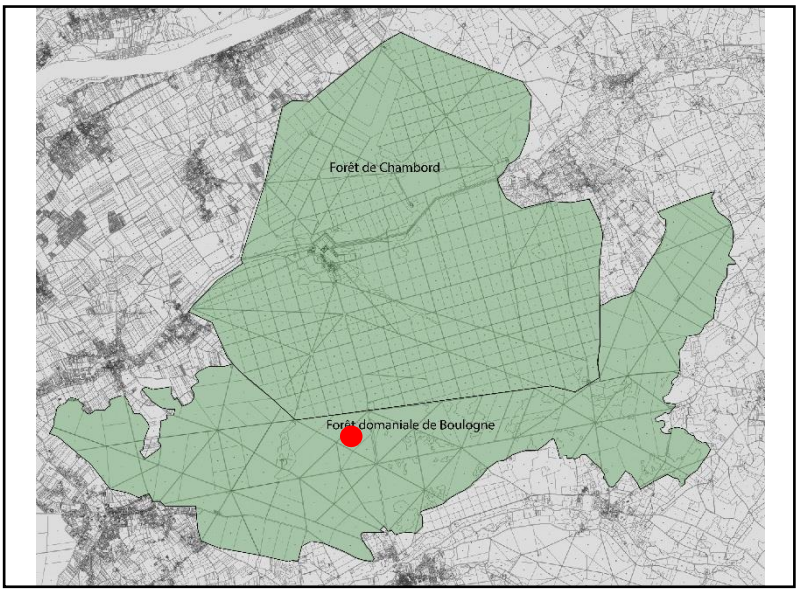
Parcelle forestière : 132

Coordonnées GPS (L93)

X : 589148,451 m

Y : 6720836,930 m

Z : 99 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 27, 2 m largeur : 18, 3 m Hauteur : > 20 cm

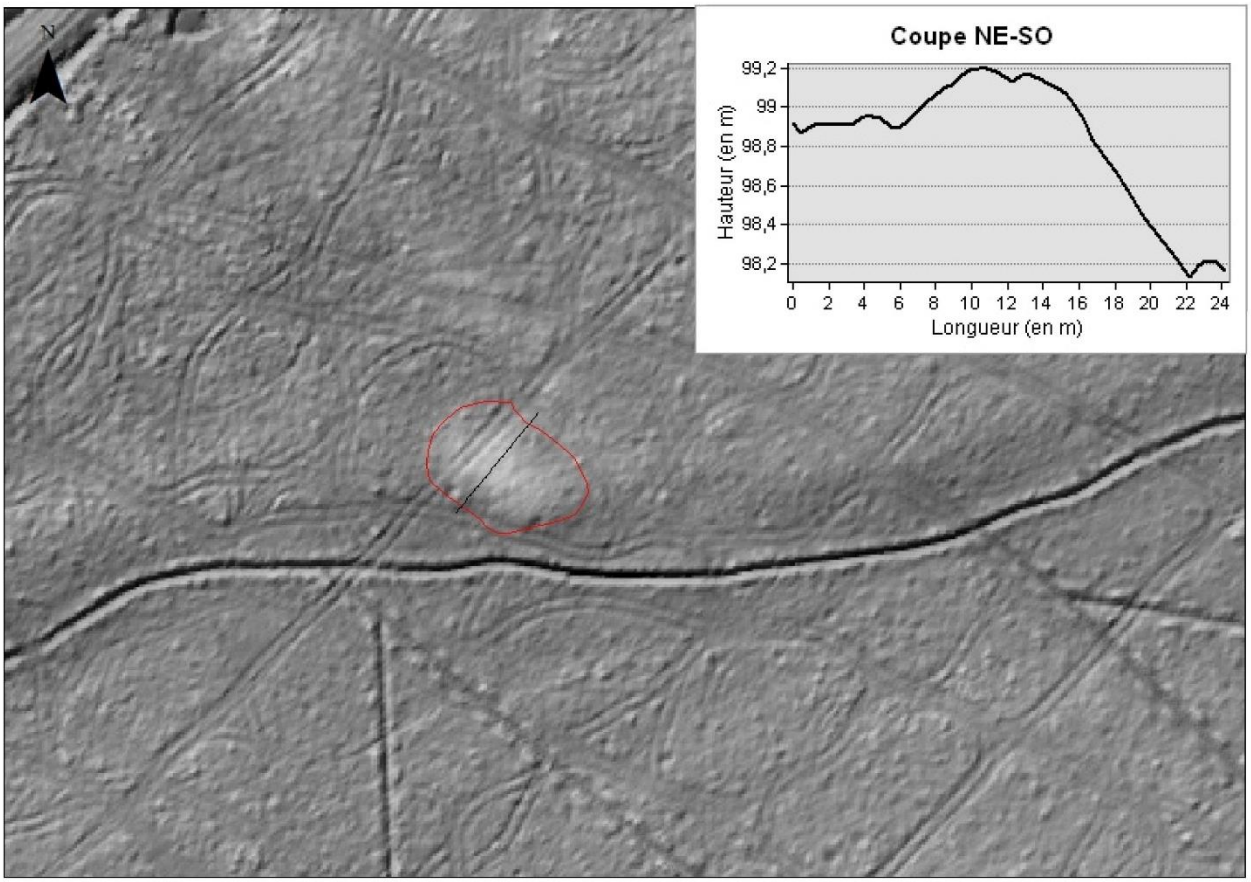
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Structure qui forme une butte dans le paysage.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont les scories sont peu fragmentées et où l'on observe une concentration de scories au sommet.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F132/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **3, 87 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 29 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois, dont 3 sont associés à de la paroi en argile grise, et un fragment de Scorie Brune Dense vitrifié en surface (2, 029 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

- 73 fragments de Scorie Grise Dense à cordon épais (1, 61 kg)

Fragmentation : Assez fragmenté

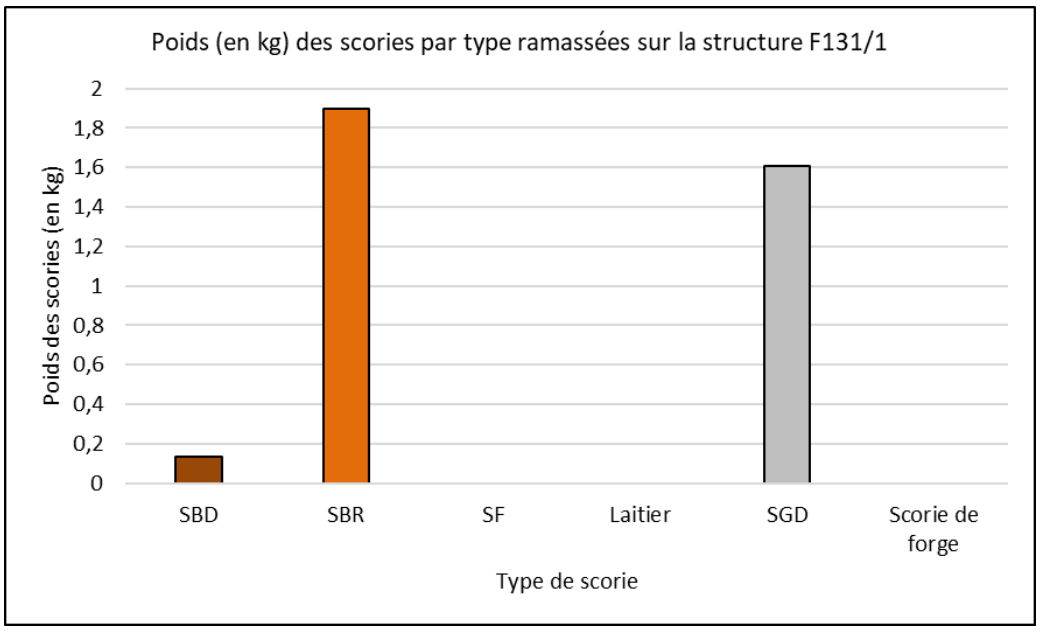
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 7 fragments de paroi en argile gris à rouge avec inclusions de quartz submillimétriques. Vitrification importante sur certaines pièces (0, 137 kg).

Tuyère

- Fragment de tuyère en argile beige présentant un orifice de 2 cm de diamètre directement associé à une base plane (0, 097 kg).



F137/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

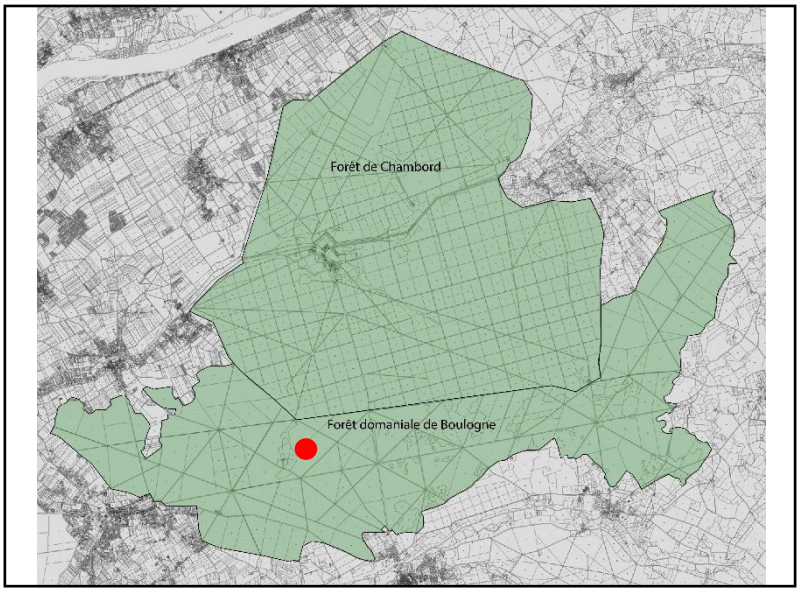
Parcelle forestière : 137

Coordonnées GPS (L93)

X : 588046,579 m

Y : 6720425,682 m

Z : 100 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 19, 4 m largeur : 9, 4 m Hauteur : < 5 cm

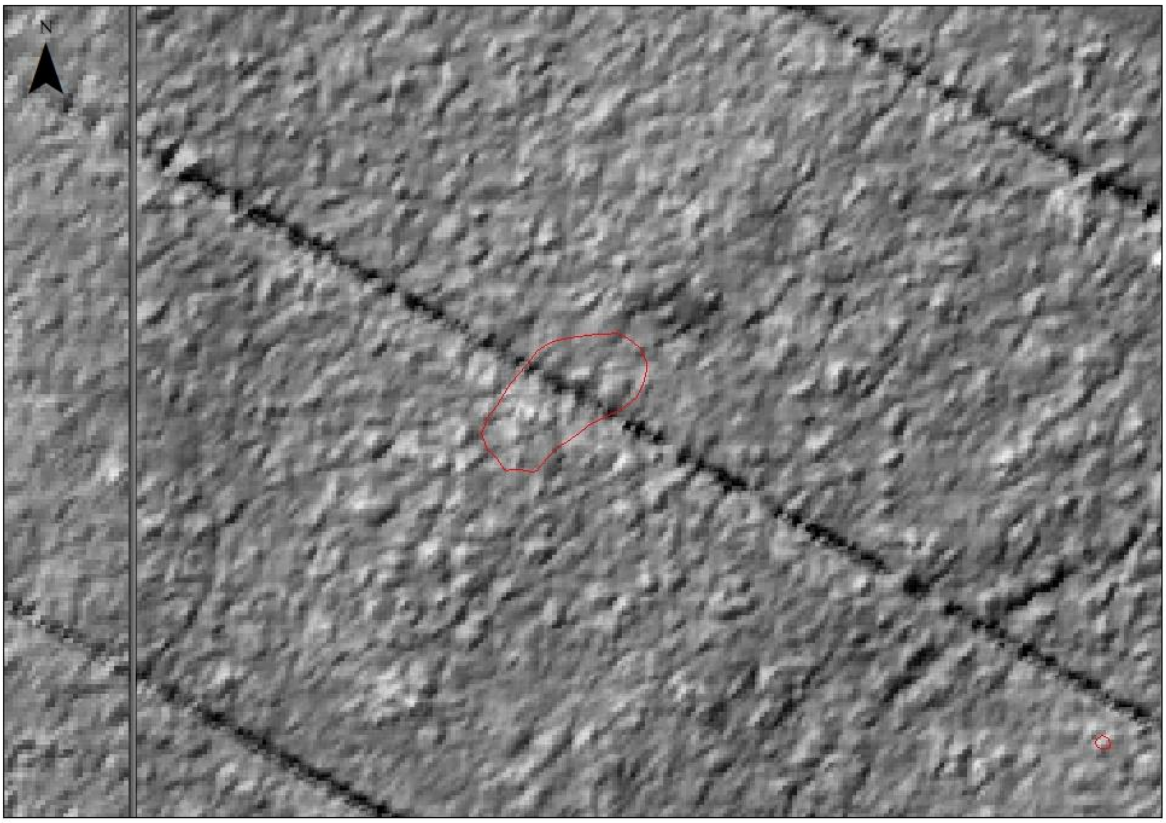
Sédiment : US sablo-limoneuse grise/beige.

Caractéristiques environnementales : Structure arasée et coupée par un petit canal moderne.

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage comprenant des vestiges épars de petites dimensions.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F137/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 22 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 2 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés et 31 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (1, 215 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

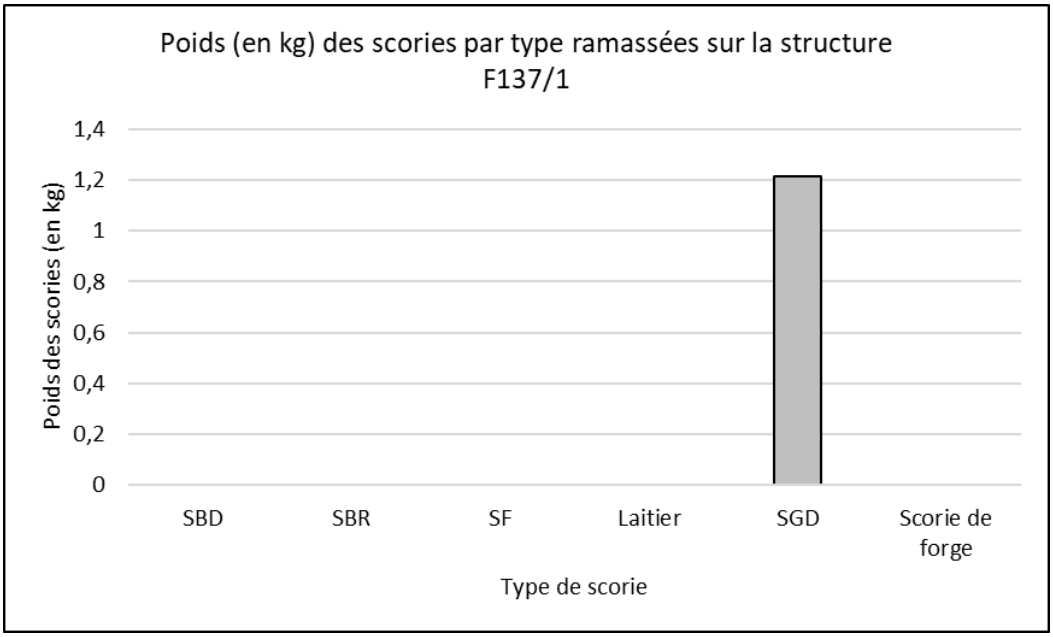
Scories de forge :

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- Aucune



F137/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

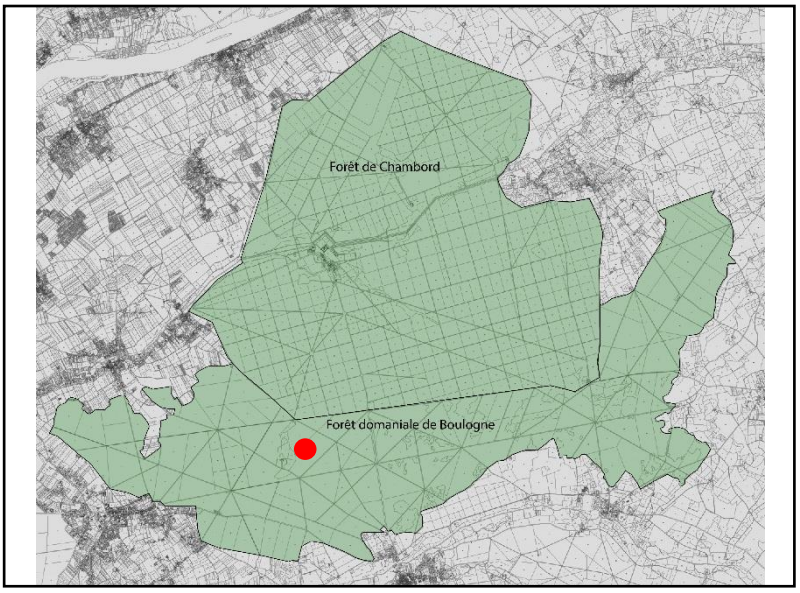
Parcelle forestière : 137

Coordonnées GPS (L93)

X : 588105,196 m

Y : 6720388,239 m

Z : 100,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Zone de rejet ponctuel

Forme : Arrondie

Longueur : 1, 6 m largeur : 1, 4 m Hauteur : < 5 cm

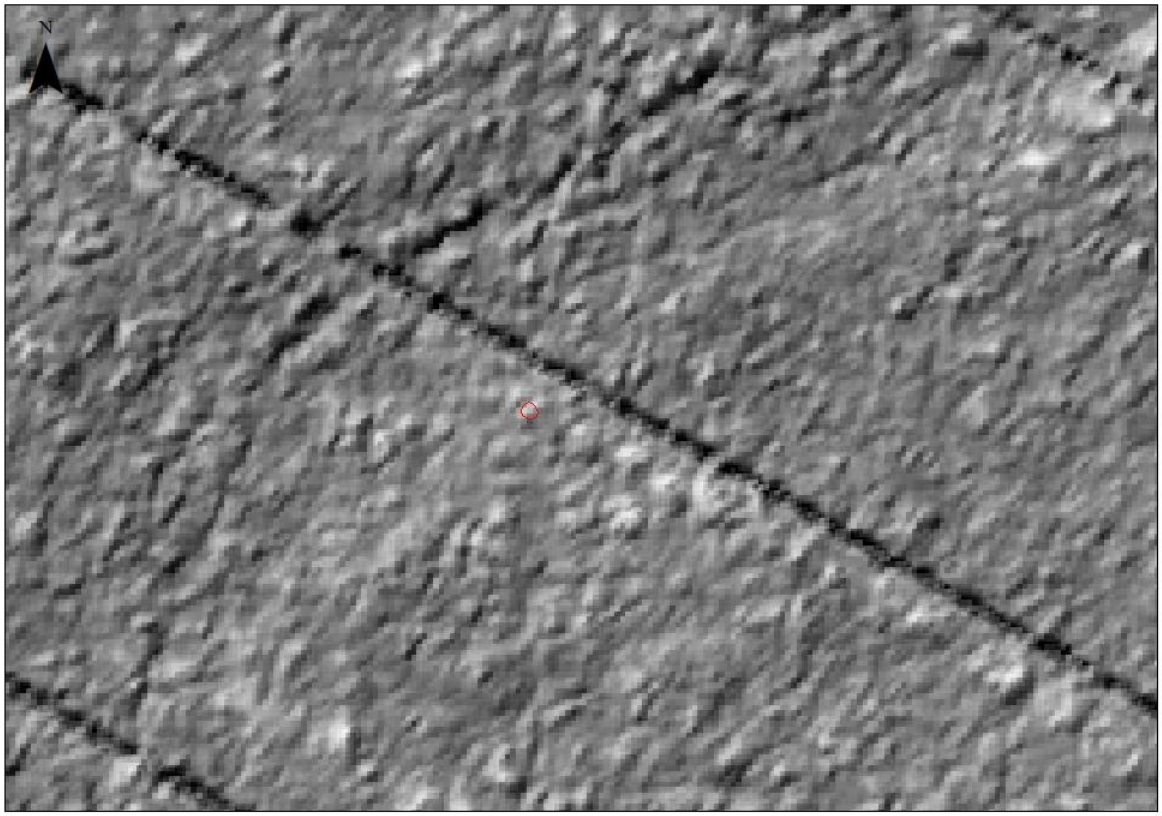
Sédiment : US sableuse beige.

Caractéristiques environnementales : Structure arasée et coupée par un petit canal moderne.

Datation : Indéterminé

Observations :

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F137/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 65 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 3 fragments de Scorie Brune Dense (0, 091 kg).

Fragmentation : Assez importante

- 15 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 428 kg).

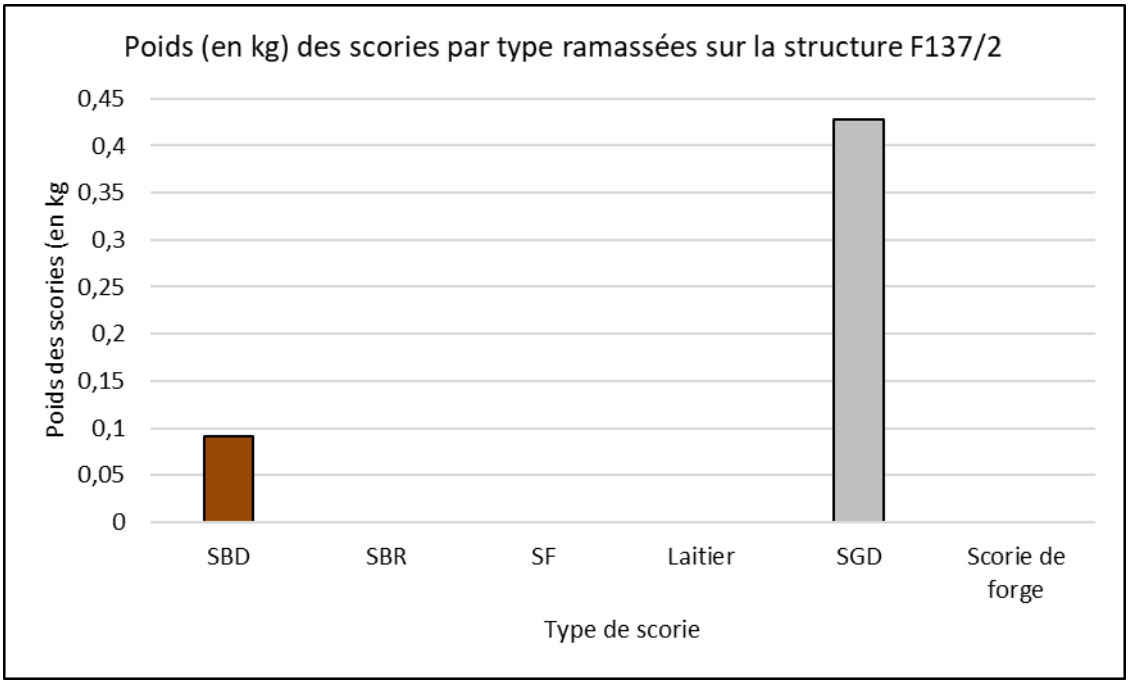
Fragmentation : Importante

Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse : 2 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques, scorification et vitrification (0, 125 kg).



F137/3

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

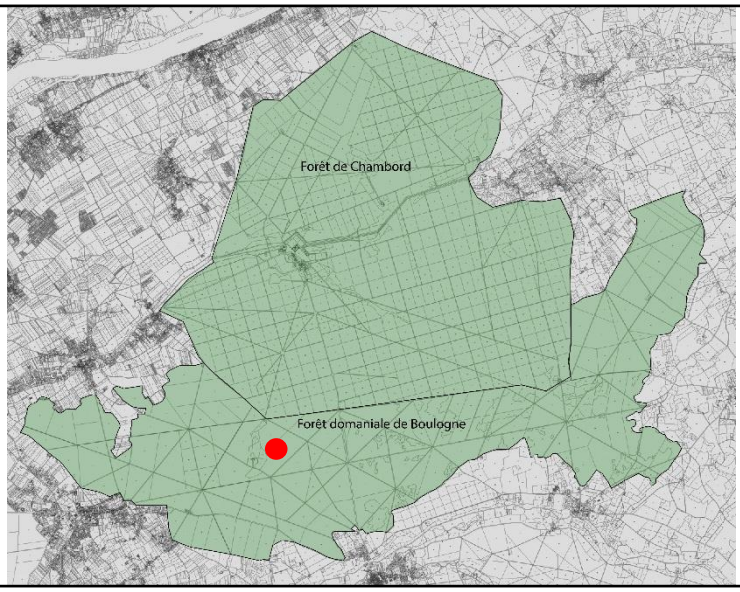
Parcelle forestière : 137

Coordonnées GPS (L93)

X : 588163,063 m

Y : 6720362,102 m

Z : 100,7 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : Indéterminée largeur : Indéterminée Hauteur : < 5 cm

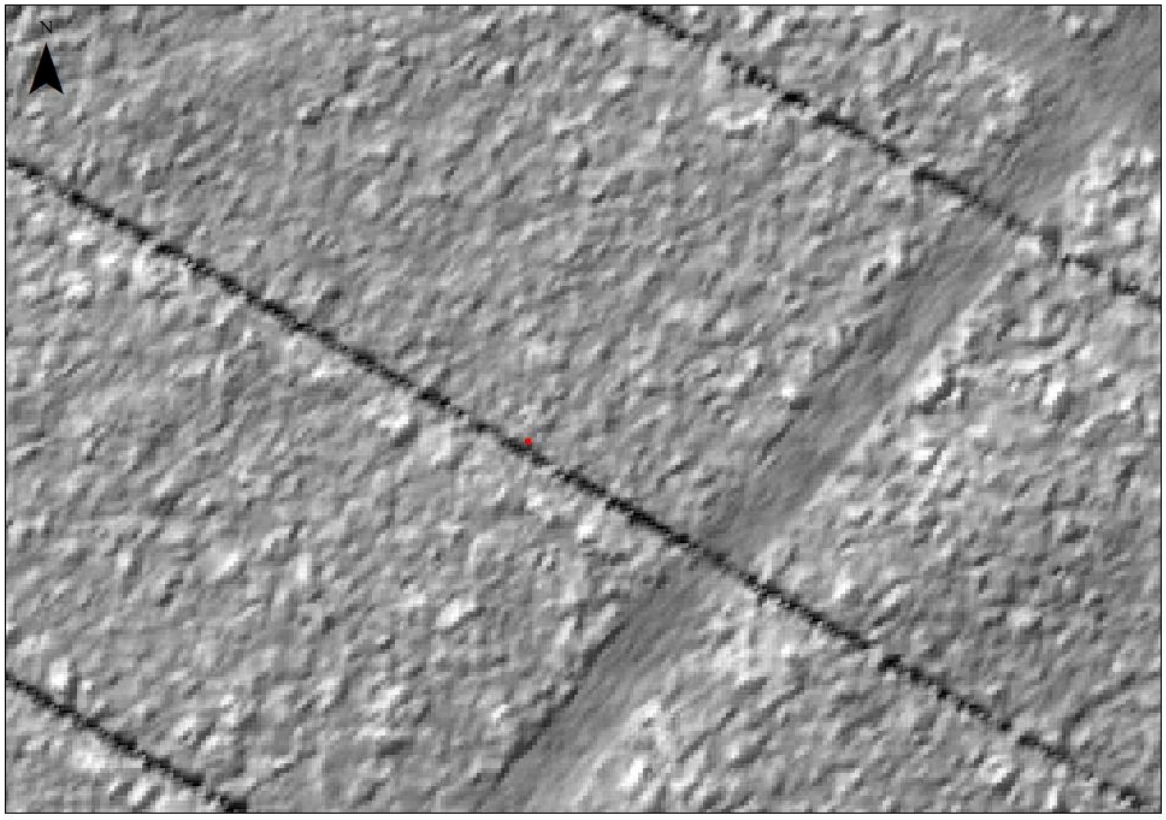
Sédiment : US sableuse beige.

Caractéristiques environnementales : Epandage composé de deux petites zones situées de part et d'autre d'un canal moderne.

Datation : Indéterminée

Observations :

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F137/3 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 1 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 8 fragments de Scorie Ferreuse très oxydés en surface (0, 183 kg).

Fragmentation : Importante

- 2 fragments de Scorie Grise Dense très dégradés (0, 059 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

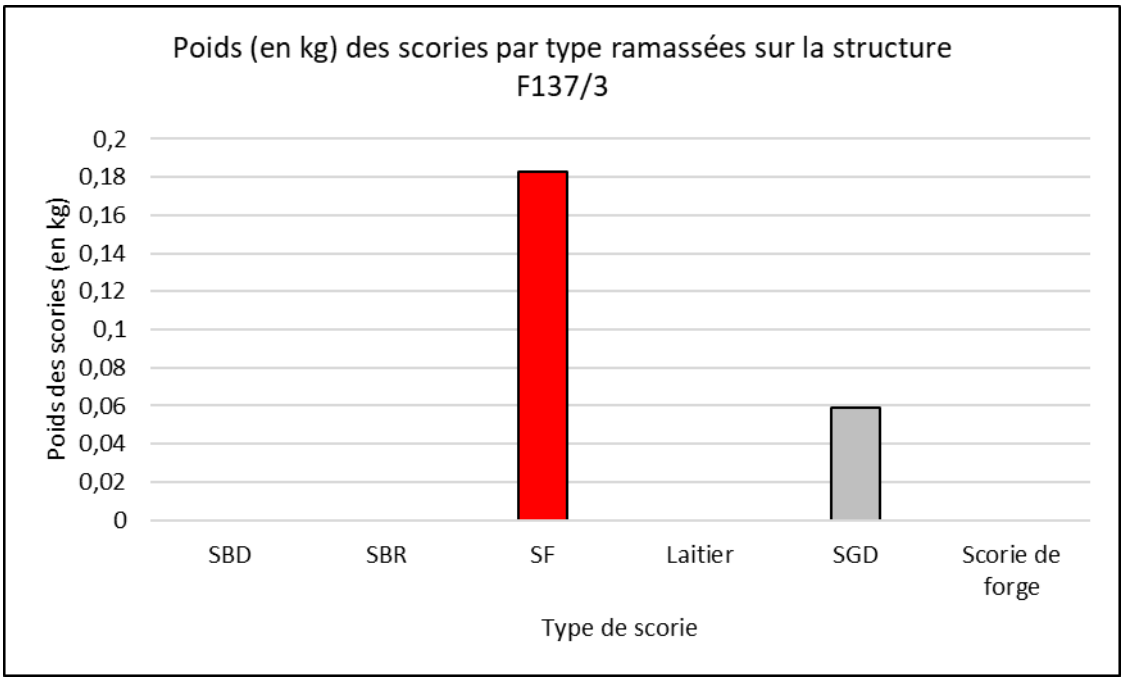
Scories de forge

- Prélèvement de sédiment sableux brun avec quelques battitures rondes (0, 469 kg).

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 5 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques et d'oxydes de fer oxydés ainsi qu'un fragment de paroi en argile blanche à jaune avec inclusion d'oxydes de fer et vitrification bleutée en surface (0, 375 kg).



F137/4

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

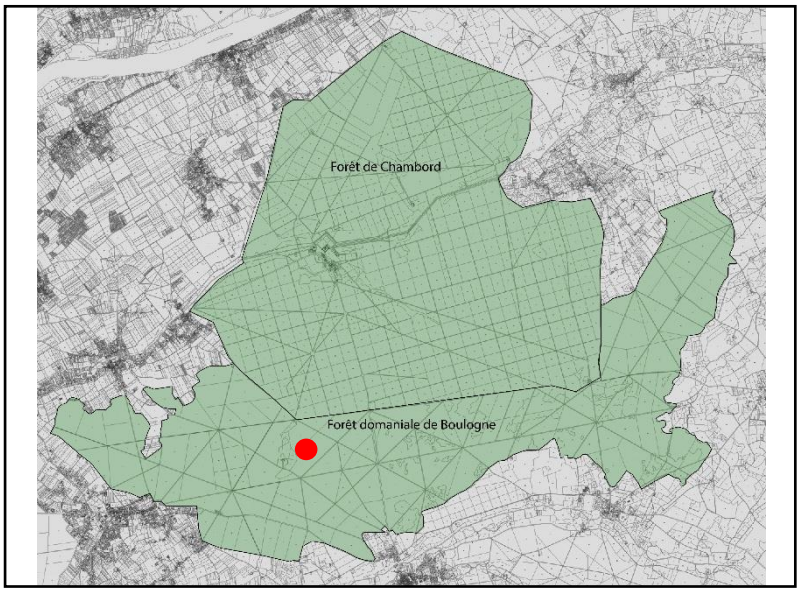
Parcelle forestière : 137

Coordonnées GPS (L93)

X : 588052,959 m

Y : 6720521,027 m

Z : 100,5 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 16, 6 m largeur : 15, 4 m Hauteur : > 20 cm

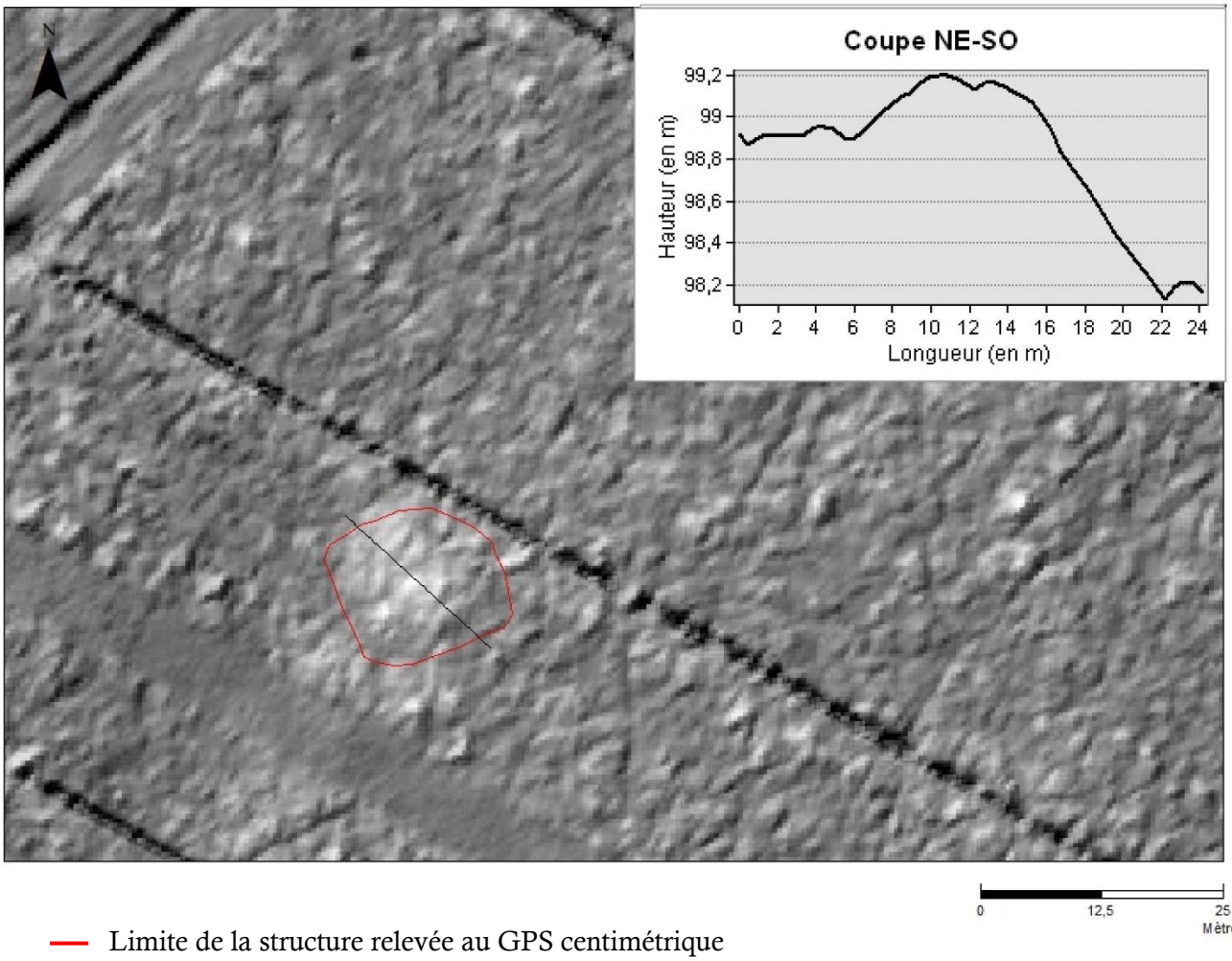
Sédiment : US limono-sableuses noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Seul ferrier intact de la parcelle. Couvert de fougères. Il forme une butte dans le paysage.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes comprenant une forte concentration de scories au sommet. Ces scories sont assez fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F137/4 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 47 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 11 fragments de Scorie Brune Rugueuse (0, 234 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

- 20 fragments de Scorie Grise Dense, dont l'un présente une forme de canal, un autre est associé à de la paroi en argile grise, 4 comprennent des cordons épais et 6 des cordons agglomérés (1, 106 kg).

Scories de forge

- Aucune

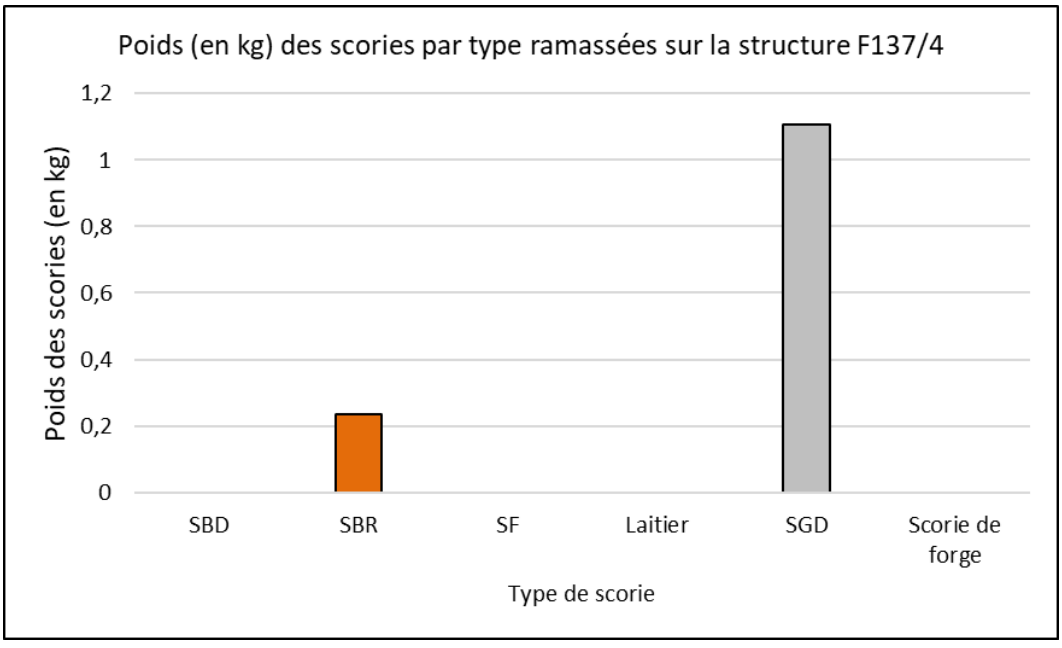
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 2 fragments de paroi en argile beige à blanc avec inclusions de quartz submillimétriques et vitrification ainsi qu'un fragment de paroi en argile blanche à rosée vitrifié sur une face avec inclusion d'oxydes de fer (0, 325 kg).

Tuyère

- 2 fragments de tuyère en argile beige à orangée avec vitrification et scorification par endroit (0, 038 kg).



F139/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

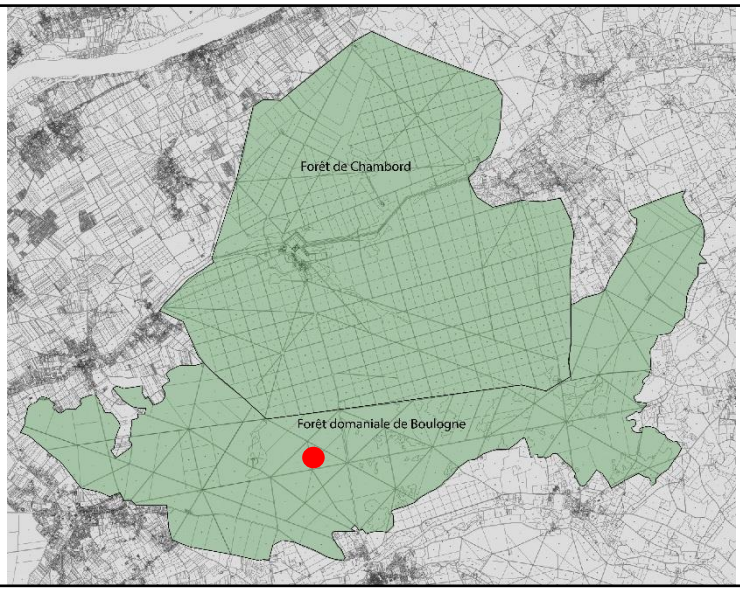
Parcelle forestière : 139

Coordonnées GPS (L93)

X : 588926,563 m

Y : 6720237,491 m

Z : 103,6 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 22, 6 m largeur : 21, 6 m Hauteur : > 20 cm

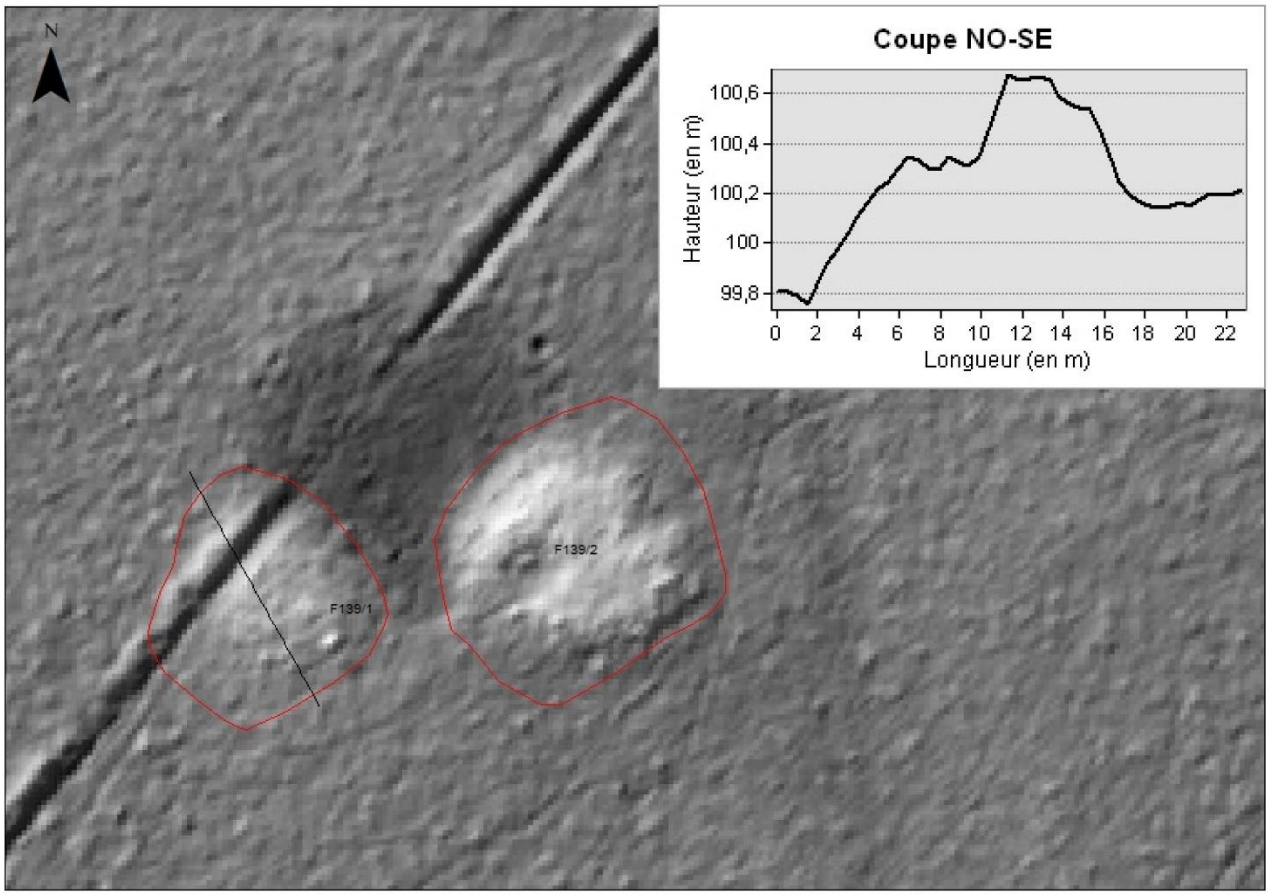
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Ferrier qui forme une butte dans le paysage et qui est couvert de fragons. Une fosse se trouve au Nord-Ouest.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de grande dimension dont les scories sont concentrées et généralement très fragmentées bien qu'il y ait quelques gros fragments.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F139/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **5, 014 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 5 fragments de Scorie Brune Dense et homogènes associés à de la paroi en argile grise avec inclusion de cailloutis blanc et d'oxydes de fer, 18 fragments de Scorie Brune Dense vitrifiés en surface et une Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois (1, 624 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté et très fragmenté

- 58 fragments de Scorie Grise Dense à cordon épais et 8 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins (2, 984 kg).

Fragmentation : Importante

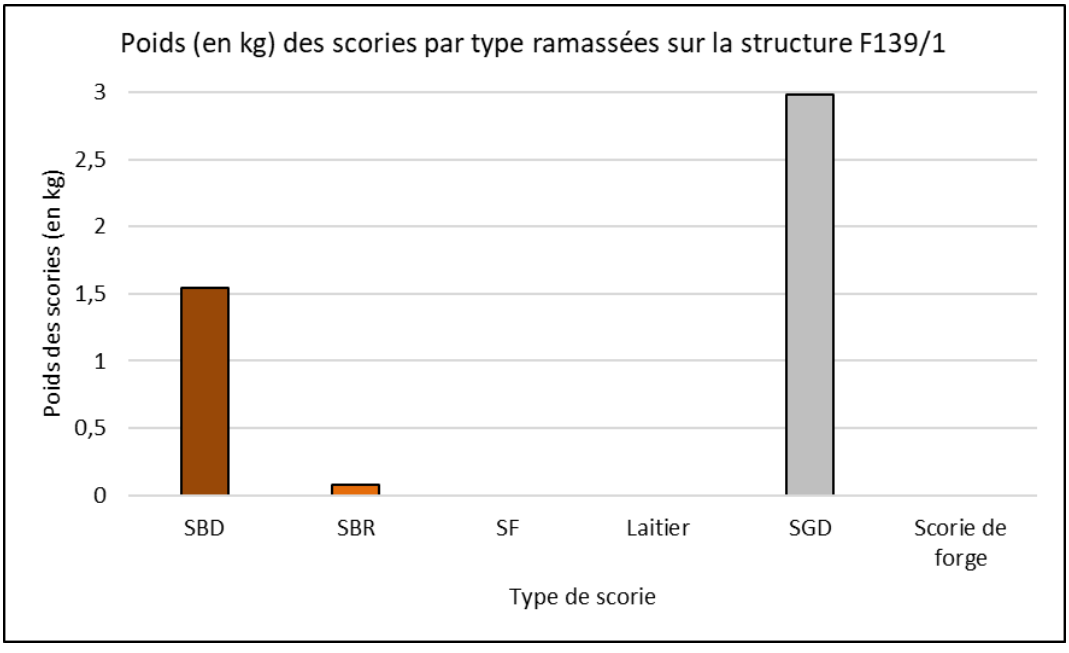
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 8 fragments de paroi en argile grise à blanche plus ou moins vitrifiés avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 169 kg).

Tuyère

- Un gros fragment de tuyère en argile avec une partie orangée et une autre grise présentant le négatif de fibres végétales signalant l'utilisation d'un dégraissant végétal et un fragment de tuyère en argile beige. Il s'agit d'une partie de l'orifice de 2,5 cm de diamètre. Les parties inférieures et internes sont scorifiées (0, 237 kg).



F139/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

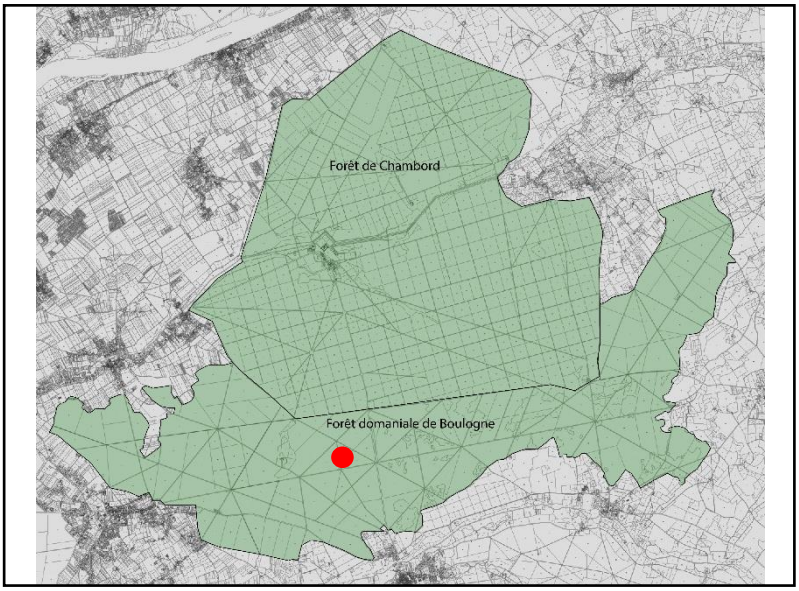
Parcelle forestière : 139

Coordonnées GPS (L93)

X : 588957,980 m

Y : 6720242,359 m

Z : 104,1 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 28, 4 m largeur : 24, 9 m Hauteur : > 20 cm

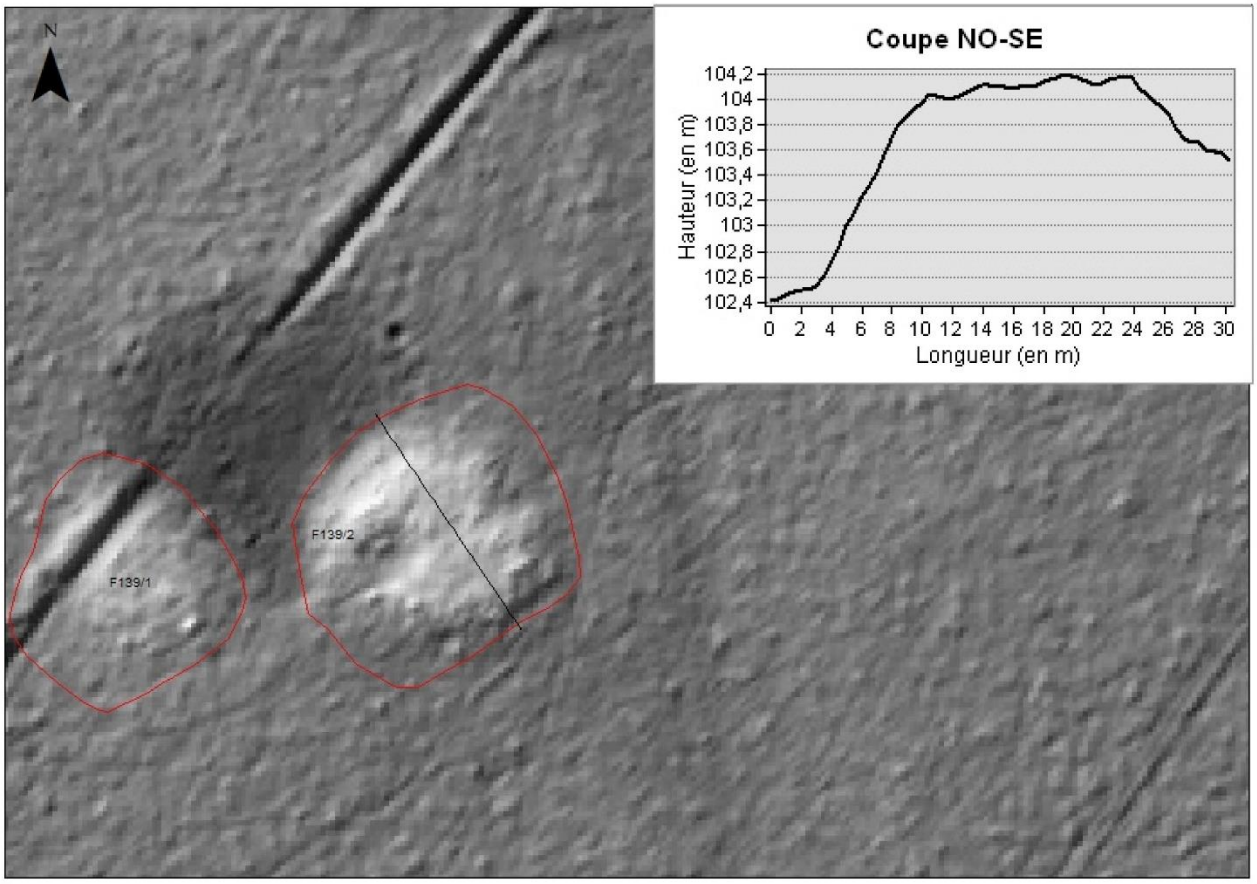
Sédiment : US limono-sableuse noire (charbonneuse).

Caractéristiques environnementales : Une dépression de 6 x 4 x 0,8 m se trouve au centre-ouest du ferrier. Structure couverte de fragons et de houx qui forme une butte dans le paysage. Une fosse est visible au nord-Ouest du ferrier.

Datation : Indéterminée

Observations : Très grand ferrier dont les scories sont plus ou moins fragmentées et concentrées au sommet.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F139/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **2, 99 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 13 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusion de cailloutis, un fragment de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions de cailloutis et d'oxydes de fer et 5 fragments de Scorie Ferreuse (0, 883 kg).

Fragmentation : Importante

- 30 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais et 4 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais oxydés en surface (1, 79 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté et assez fragmenté

- 2 fragments de laitier bleutés et plans (0, 019 kg).

Fragmentation : Importante

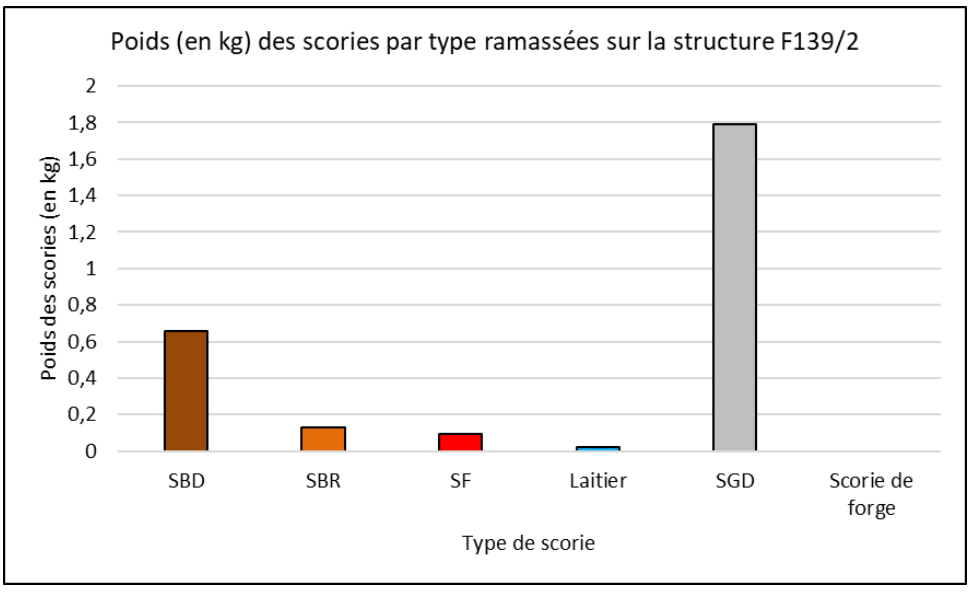
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 7 fragments de paroi en argile grise avec inclusion de quartz submillimétriques et vitrification, dont 5 présentent une vitrification bleutée et un une vitrification verdâtre sur une face (0, 235 kg).

Tuyère

- 2 fragments de tuyère en argile beige à grise avec négatifs de fibre signalant l'utilisation d'un dégraissant végétal (0, 062 kg).



F142/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

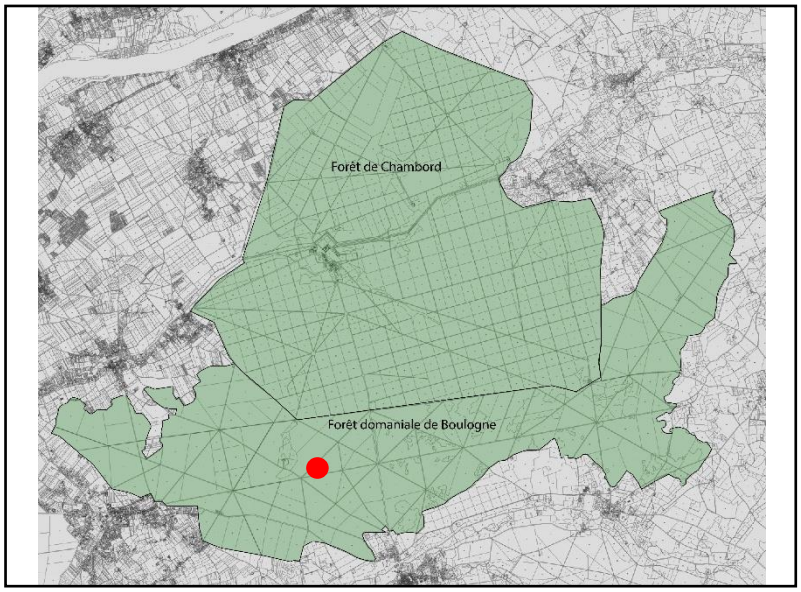
Parcelle forestière : 142

Coordonnées GPS (L93)

X : 588333,371 m

Y : 6720011,275 m

Z : 102 m



Enregistrement

Date de prospection : 26/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Peu

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 13, 1 m largeur : 8, 7 m Hauteur : > 20 cm

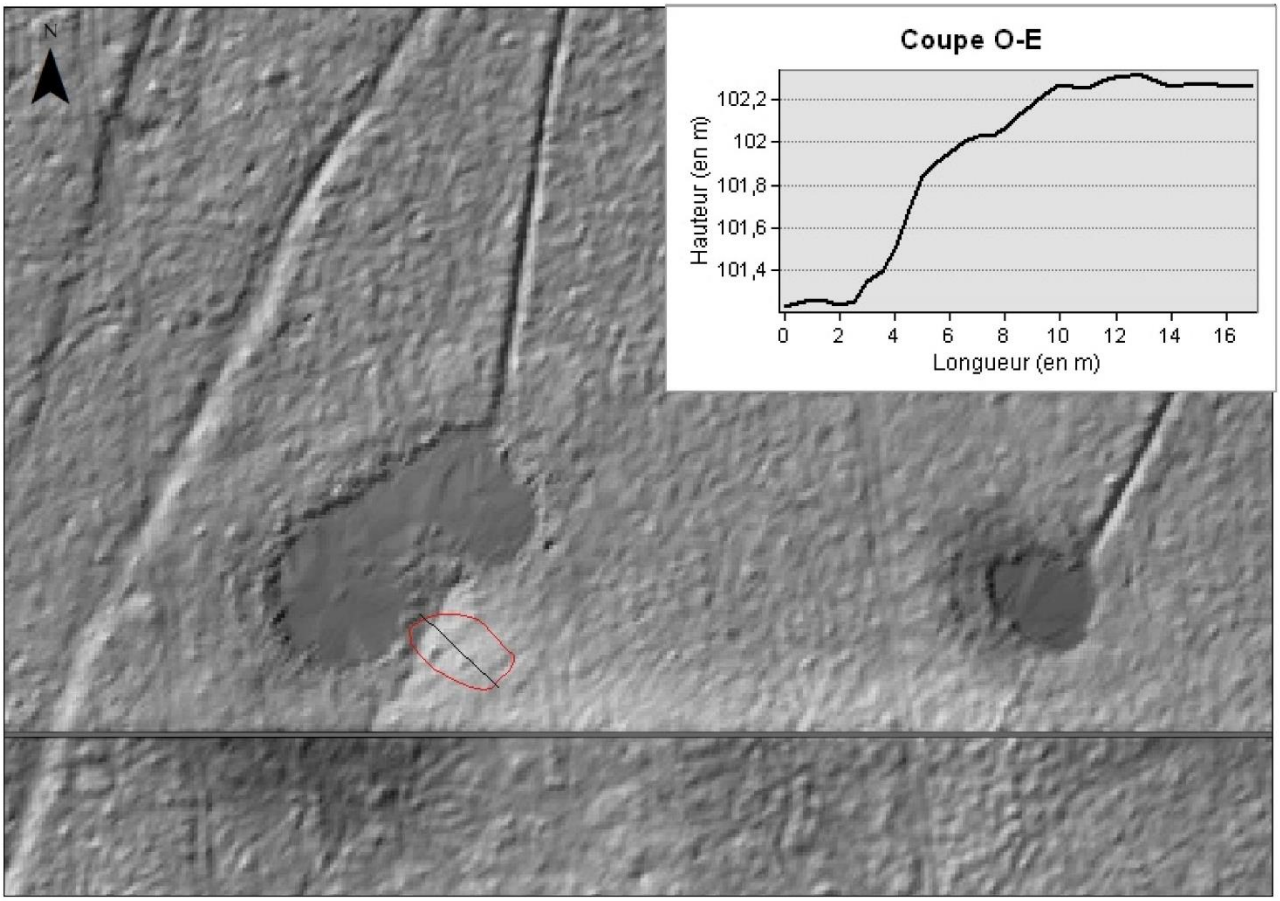
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Ferrier peu visible dans le paysage. Une grande fosse se trouve au Nord-Ouest. Aucune végétation particulière.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de taille moyenne comprenant des scories plus ou moins fragmentées et éparses en surface

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F142/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **3, 85 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de four Brun et Dense, plano-convexe, avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois (0, 621 kg) et 15 fragments de Scorie Brune Dense oxydés en surface avec inclusions d'oxydes de fer (0, 842 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté à très fragmenté

- 26 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais, dont 3 présentent une pellicule d'oxydation importante (1, 842 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

Scories de forge

- 1 culot de forge plano-convexe, dense, brun et très oxydé en surface (0, 119 kg).

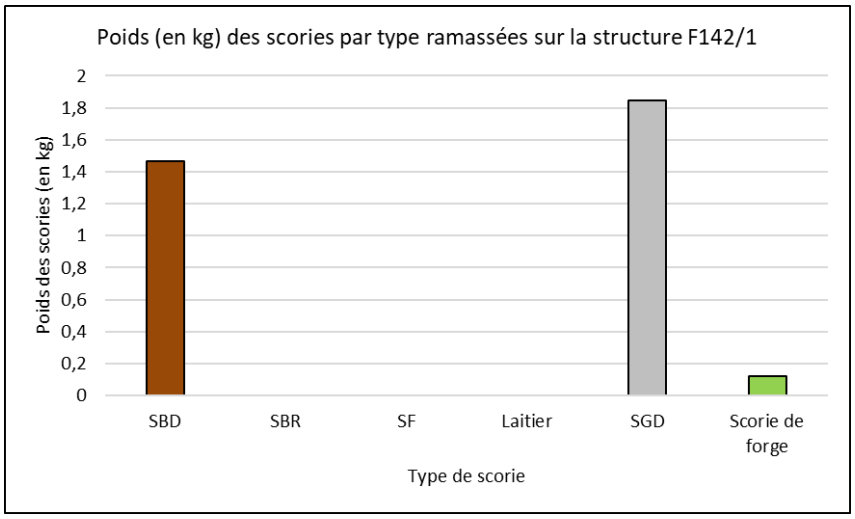
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 7 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques couverts d'une pellicule d'oxydation, dont 2 présentent des inclusions de micro-charbon de bois et 1 fragment de paroi en argile gris avec inclusion de quartz submillimétriques et vitrification bleutée sur une face (0, 277 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 1 fragment de TCA en argile gris couvert d'une pellicule d'oxydation (0, 157 kg).



F145/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

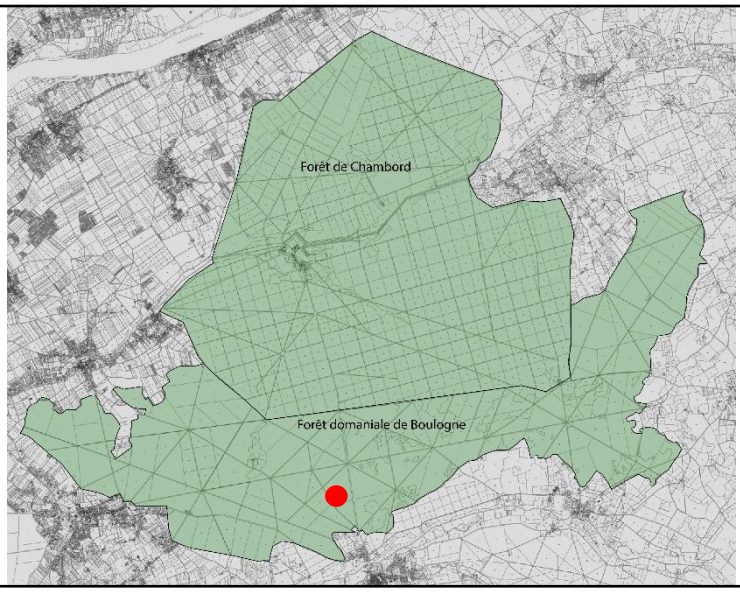
Parcelle forestière : 145

Coordonnées GPS (L93)

X : 589351,526 m

Y : 6719316,948 m

Z : 95 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Falciforme

Longueur : 25, 3 m largeur : 24, 1 m Hauteur : > 20 cm

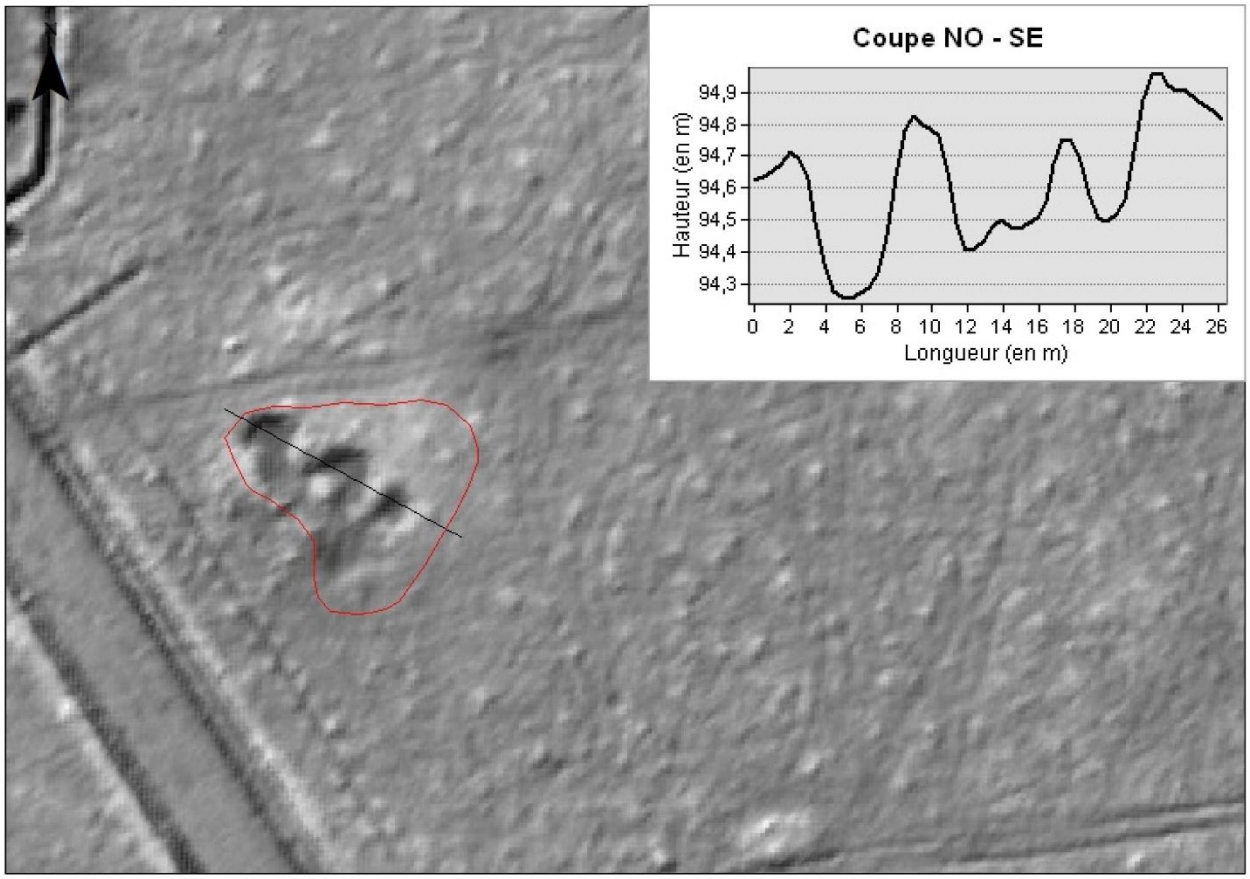
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Ferrier au relief marqué par 4 fosses de récupération des scories. Très perturbé.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de très grande taille dont le matériel est en grande partie récupérés laissant 4 grandes fosses d'environ 55 cm de profondeur chacune. Aucune concentration visible. Scories éparses en surface plus ou moins fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F145/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **5, 5 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 gros fond de fourneau Brun, Dense et compact avec inclusions de minerai et de petits cailloutis blancs sur la face inférieure. Il présente le négatif d'un canal de 8, 2 cm de diamètre (2 kg). 1 fragment de Scorie Brune Dense, vitrifiée en surface et plane sur la face inférieure (0, 451 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

- 8 fragments de Scorie Grise Dense à cordon épais et 1 fragment de Scorie Grise Dense (2, 93 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

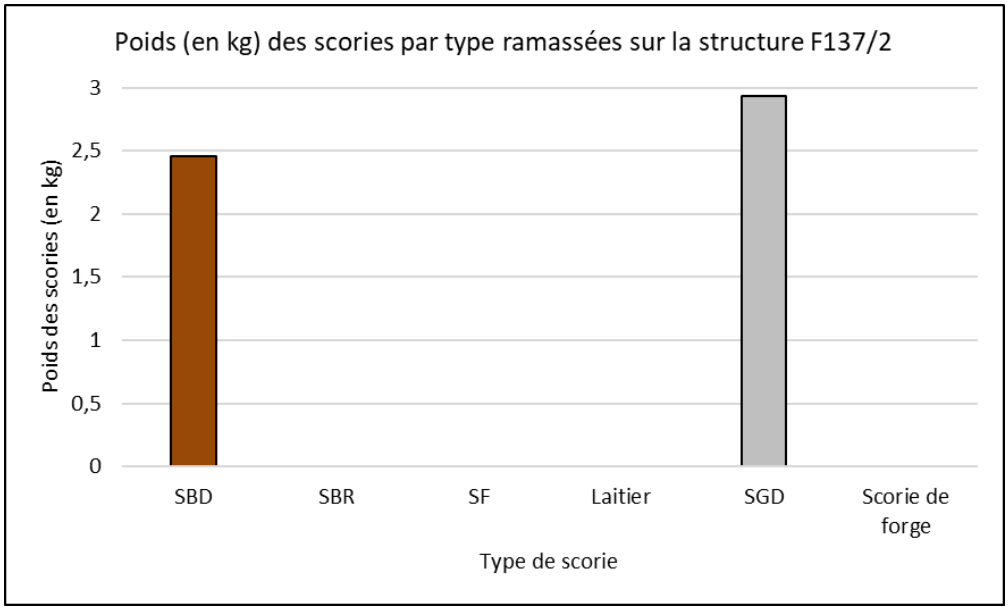
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 2 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétrique, vitrifiés sur une face, et un fragment de paroi en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétrique, scorifié sur une face (0, 114 kg).



F146/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

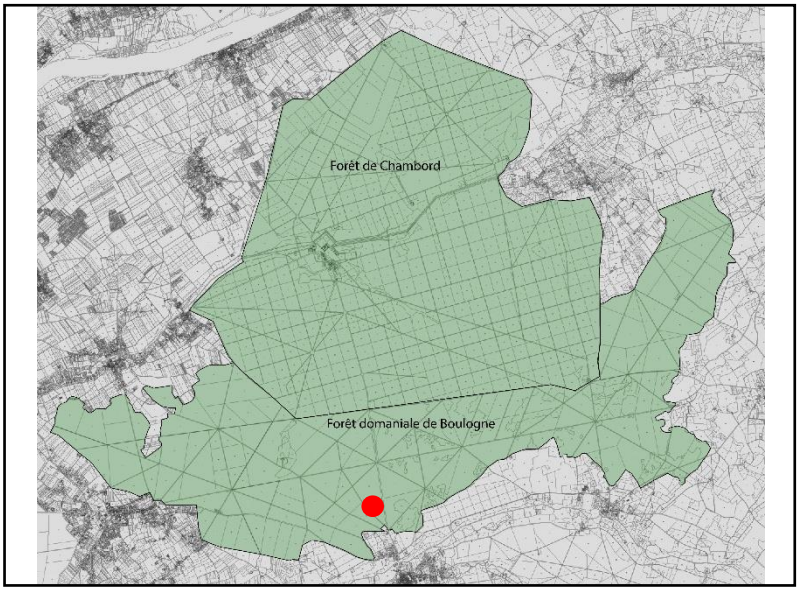
Parcelle forestière : 146

Coordonnées GPS (L93)

X : 589501,162 m

Y : 6719246,762 m

Z : 93,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 8, 6 m largeur : 6, 1 m Hauteur : > 20 cm

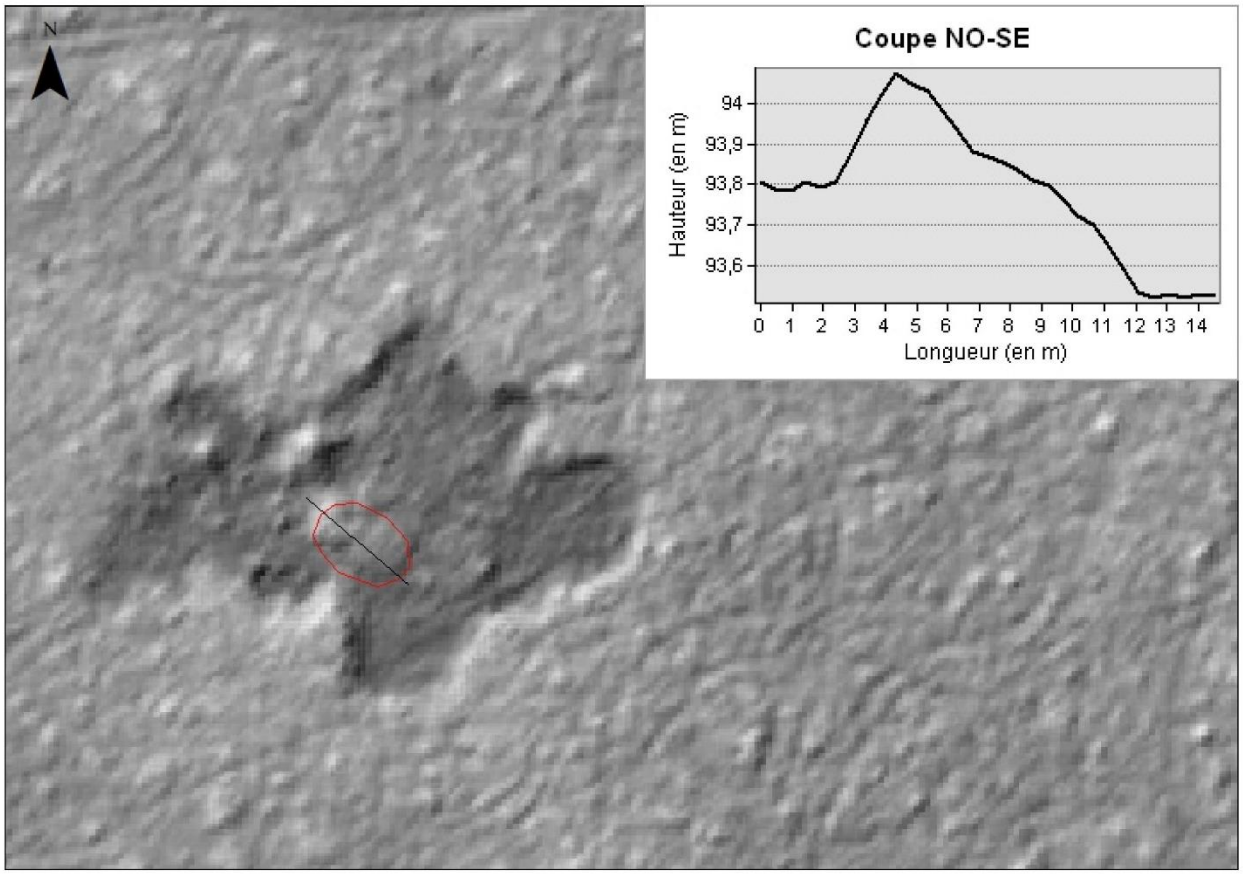
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de houx et situé au milieu d'une fosse.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux petites dimensions en partie récupéré au nord-est dont les scories sont éparses en surface et très fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F146/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 61 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 4 petits fragments de Scorie Ferreuse hétérogènes (0, 040 kg).

Fragmentation : Importante

- 5 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (sup 1 cm), 4 petits fragments de Scorie Gris Dense à cordons agglomérés et 3 petits fragments de Scorie Grise Dense en plaque (0, 53 kg).

Fragmentation : Importante

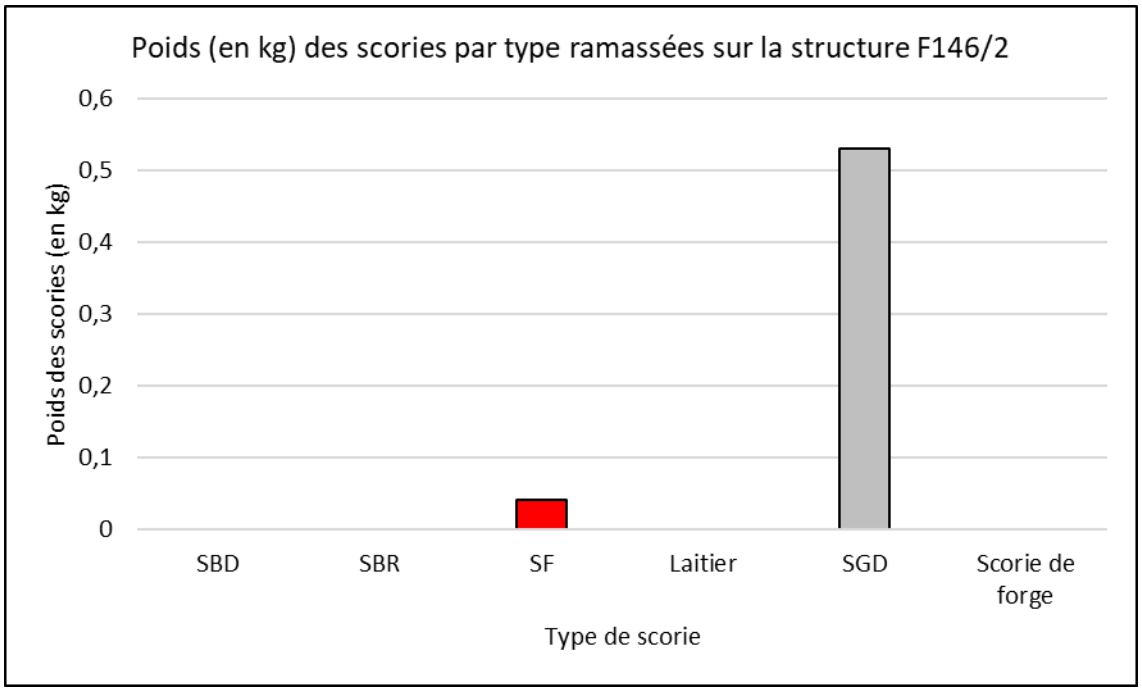
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 3 petits fragments de paroi en argile beige avec inclusions de cailloutis et de quartz submillimétriques et 2 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 04 kg).



F147/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

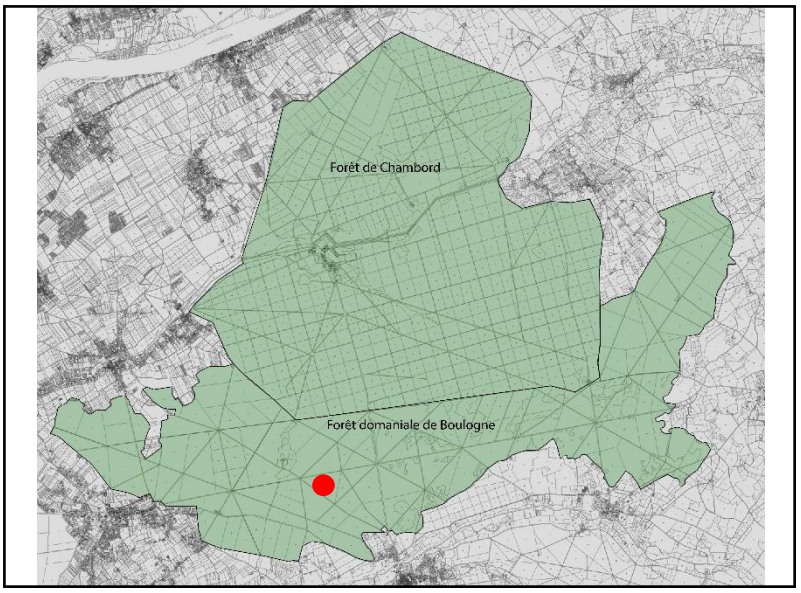
Parcelle forestière : 147

Coordonnées GPS (L93)

X : 588566,161 m

Y : 6719714,046 m

Z : 103,9 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 15, 9 m largeur : 12, 7 m Hauteur : > 20 cm

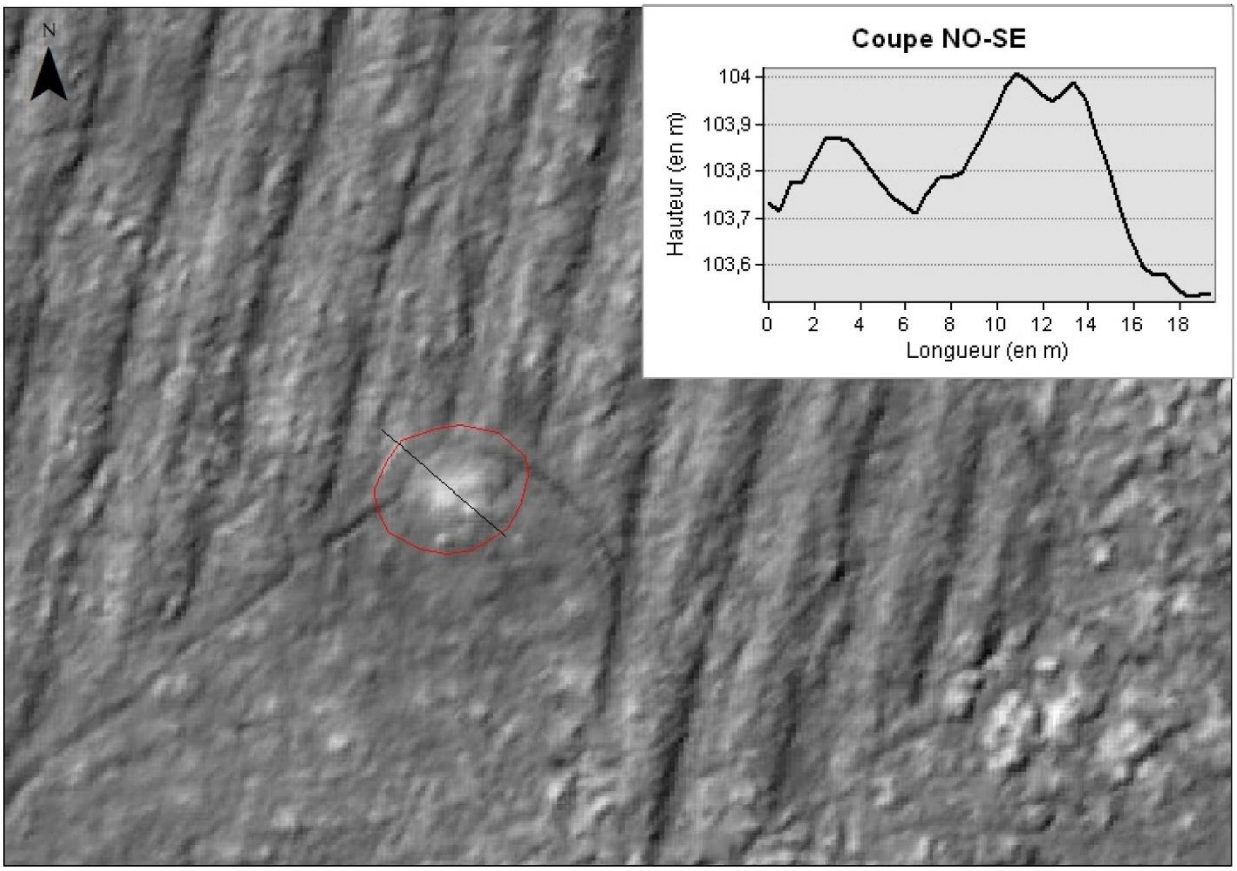
Sédiment : US limono-sableuse noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Relief peu marqué, couvert de quelques arbres. Les images LiDAR montre que ce ferrier est recoupé par un parcellaire plus récent.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont les scories sont éparses en surface et plus ou moins fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F147/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **5, 57 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 2 fragments de Scorie Brune Rugueuse, vacuolaire et plane avec inclusions de cailloutis et de nombreux petits fragments de Scories Brune et Rugueuse dont 1 avec inclusion d'un oxyde (0, 655 kg).

Fragmentation : Fragmenté à très fragmenté

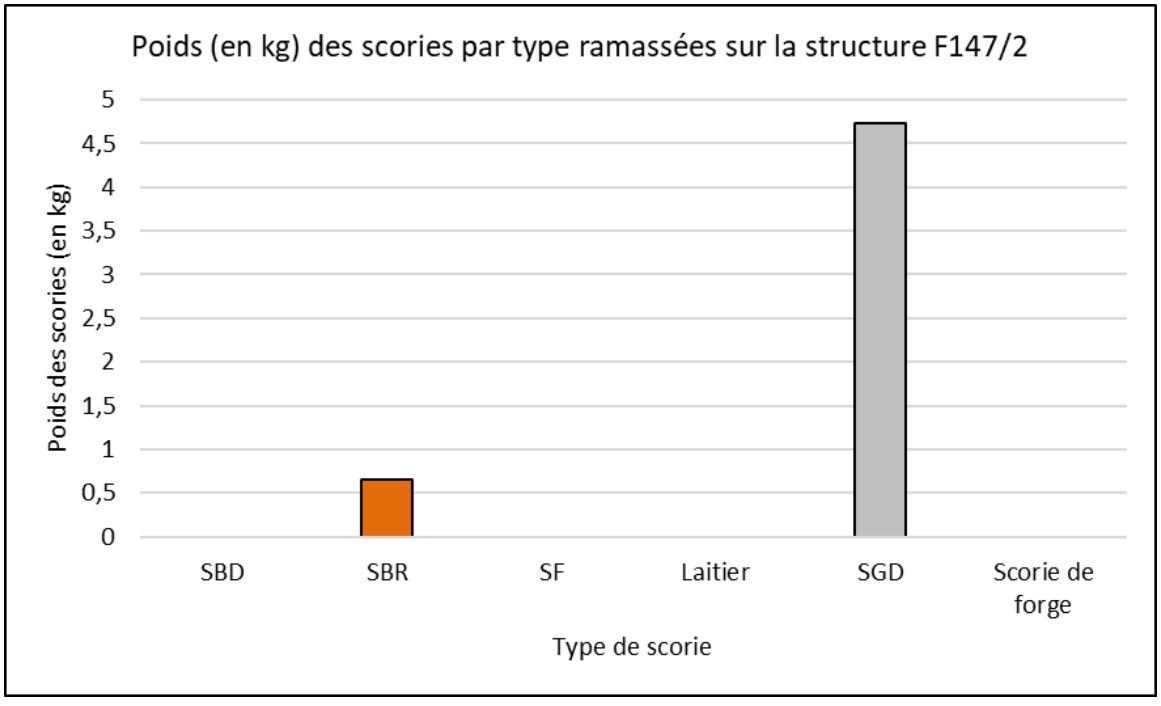
- 2 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins, dont l'un présente des négatifs de charbon de bois sur sa partie inférieure et un négatif de rigole avec inclusions de cailloutis, 2 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais, compactes dont l'un présente une dépression avec de la scorie interne avec présence de très petit charbon de bois non prélevable et 3 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés avec inclusions de cailloutis (4, 73 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 3 fragments de paroi en argile grise/blanche avec vitrification rosée en superficie et légère scorification et fragment de paroi en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 185 kg).



F150/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

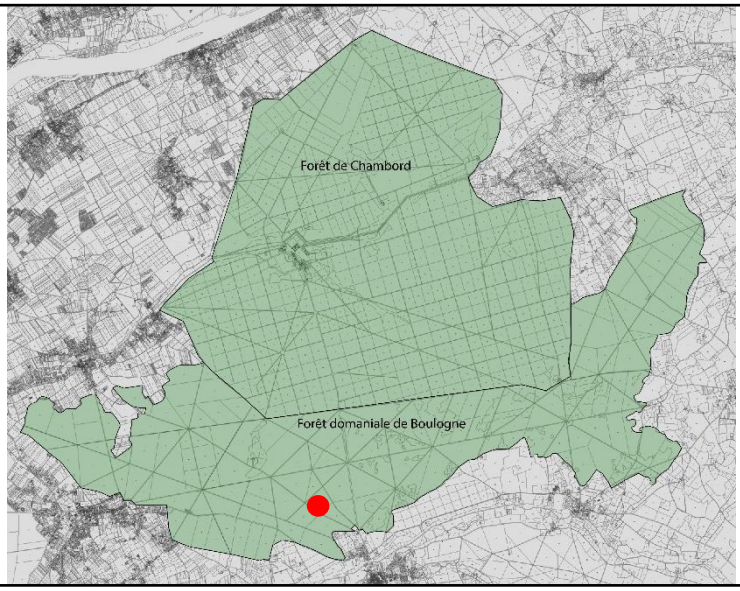
Parcelle forestière : 150

Coordonnées GPS (L93)

X : 589062,949 m

Y : 6719017,464 m

Z : 93 m



Enregistrement

Date de prospection : 27/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 29, 5 m largeur : 14, 1 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse noire (charbonneuse)

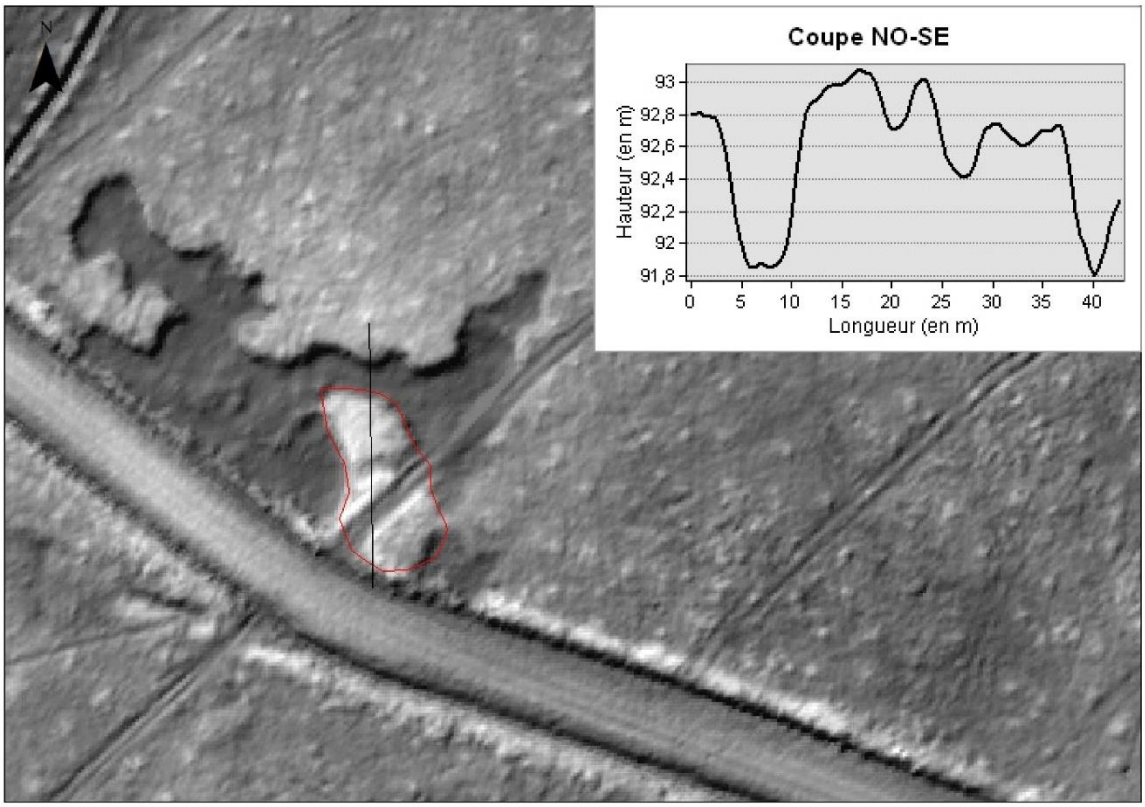
Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon et très perturbé par l'implantation de divers chemins forestiers et de fosse.

Datation (^{14}C) : 7ème – 8ème s.

Observations : Ferrier aux grandes dimensions dont le bord ouest est abrupt du fait de la présence d'une fosse qui le recoupe. Une coupe réalisée au centre, car le chemin forestier divise en deux cette structure, montre de nombreux morceaux de parois. En outre, on observe de nombreuses scories très fragmentées en surface et plus grandes en-dessous. Ce ferrier regroupe les ferriers initialement divisés en F150/1 et F150/2 qui ne sont en réalité qu'une seule entité dont le mobilier est en grande partie récupéré.

LiDAR

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F150/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 15 30 Mètres

Photographie (vue vers le sud-est)



Description du mobilier ramassé

Poids total : **4, 73 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 21 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusions de cailloutis blancs et négatifs de charbon de bois (2, 391 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

- 7 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais et 13 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (1, 112 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

- 2 fragments de laitier vert et vert/gris scorifiés (0, 15 kg).

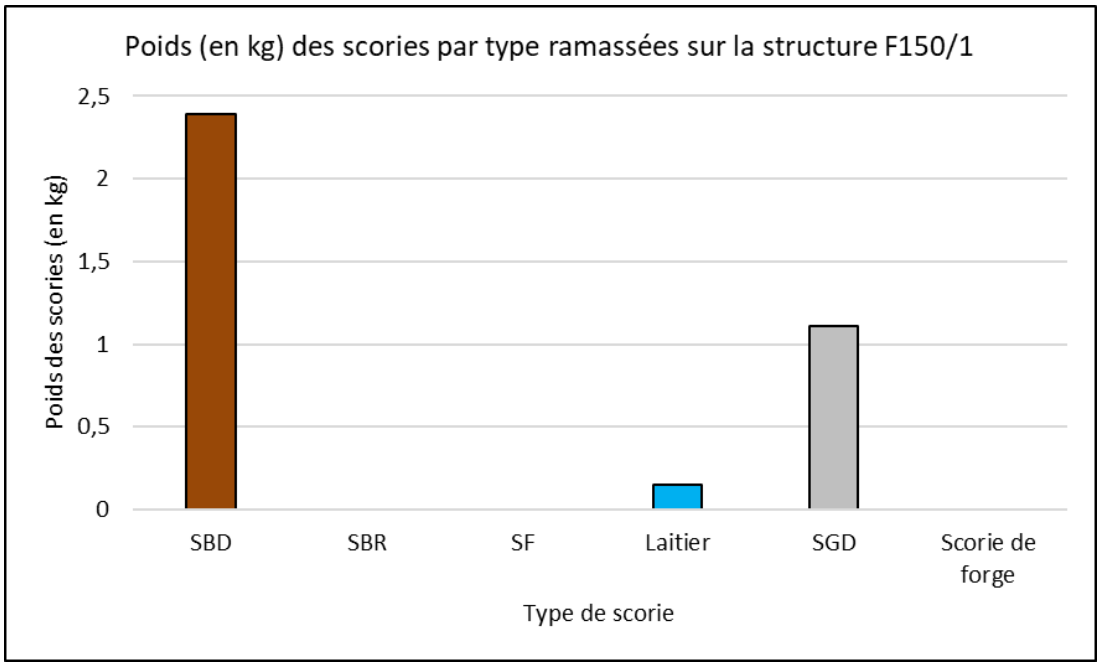
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 10 fragments de paroi en argile grise avec inclusion de quartz submillimétriques, certains présentent des dégradés de couleur dû à la chauffe et 2 montrent des traces de vitrification bleutée sur une face (1, 074 kg).



F151/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

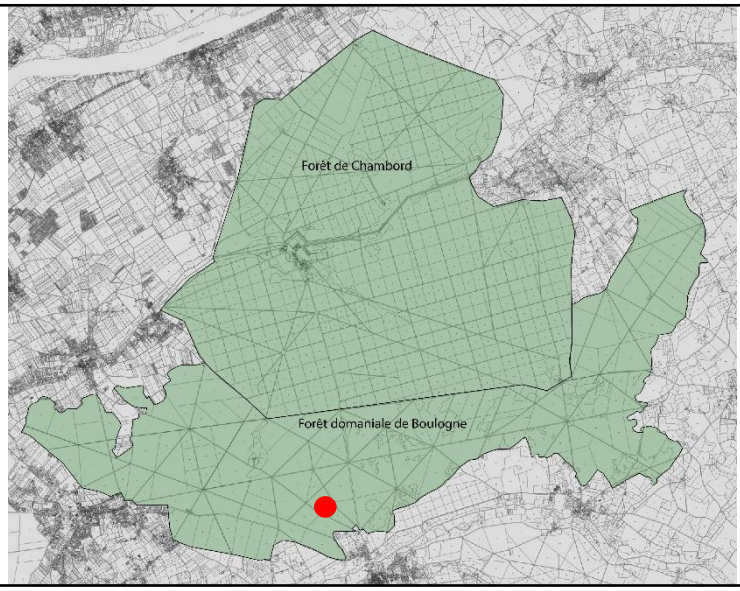
Parcelle forestière : 151

Coordonnées GPS (L93)

X : 589428,121 m

Y : 6718882,386 m

Z : 90,4 m



Enregistrement

Date de prospection : 27/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Peu visible

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 13, 2 m largeur : 8, 2 m Hauteur : > 20 cm

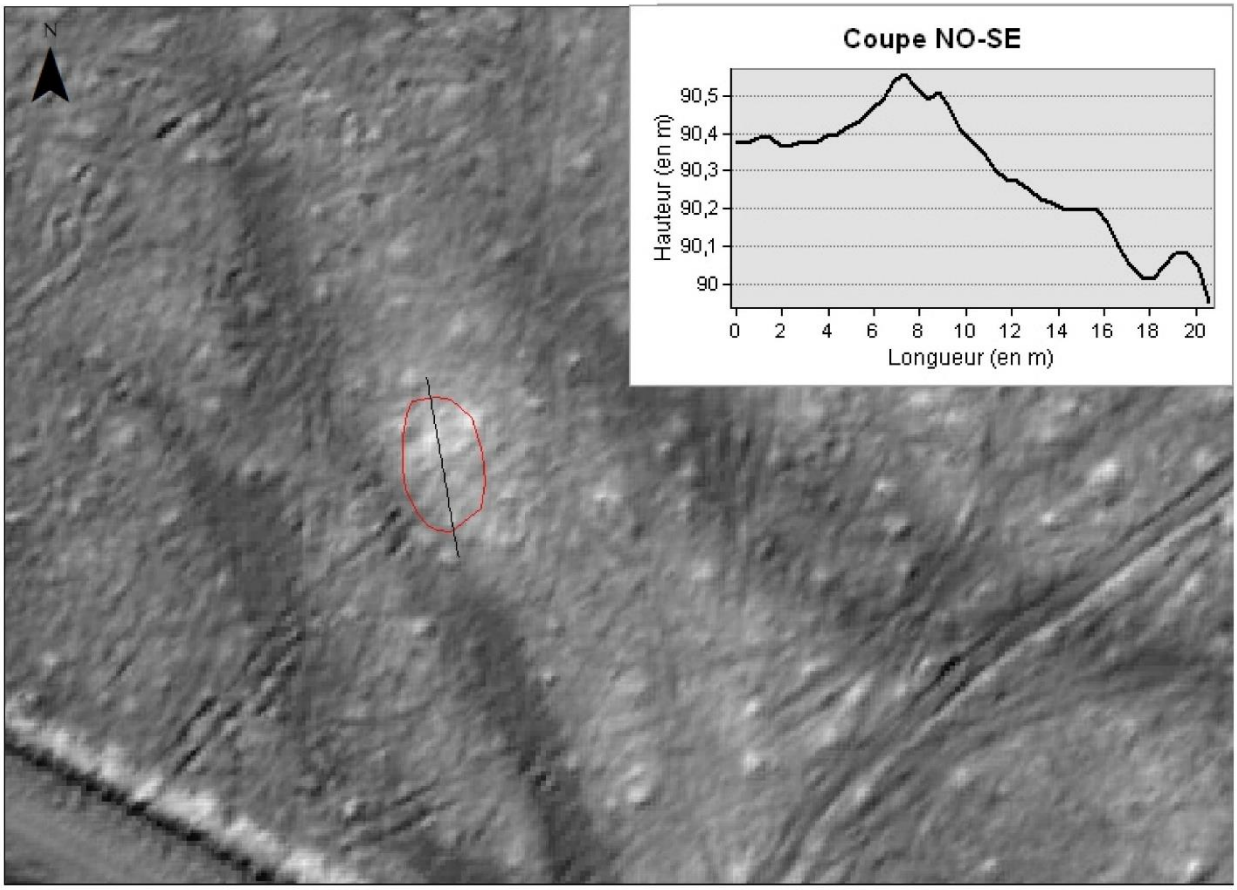
Sédiment : US limono-sableuse noire (charbonneuse)

Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon et de houx. Il forme une légère butte dans le paysage.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont la concentration principale se situe au sommet et présente de nombreuses scories très fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F151/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0,99 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 15 fragments de Scorie Brune Dense très oxydés avec inclusion d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois (0, 179 kg).

Fragmentation : Importante

- 54 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 78 kg).

Fragmentation : importante

- 1 fragment de laitier très vitrifié bleu et oxydé (0, 005 kg).

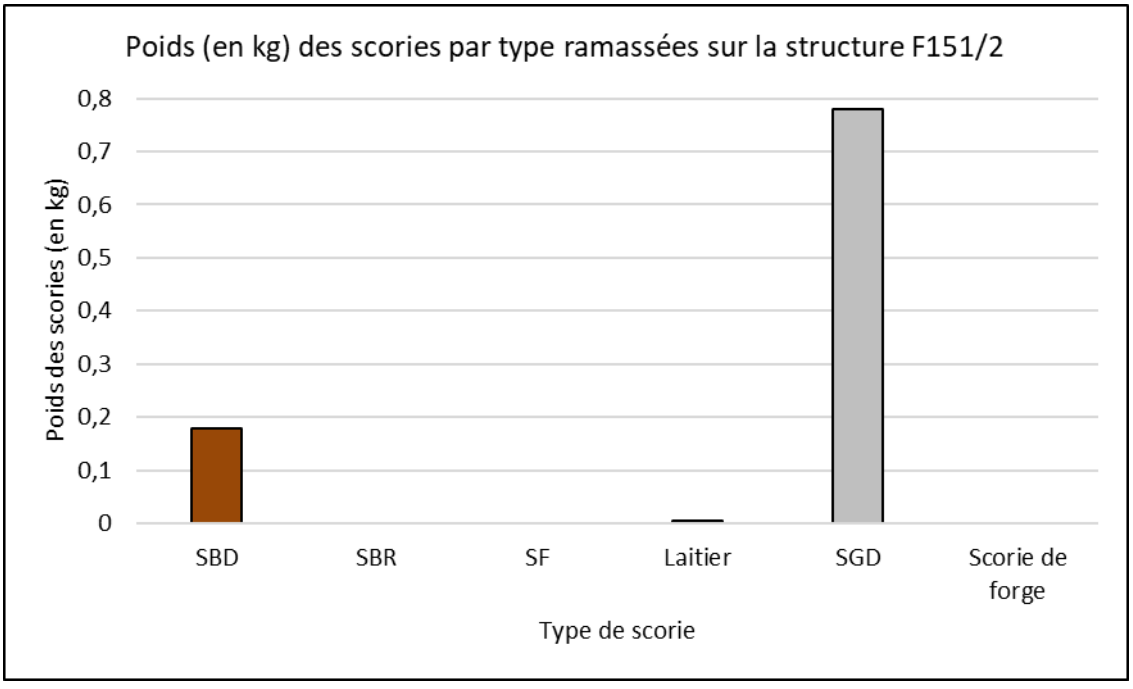
Scories de forge

- Aucun

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 7 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 026 kg).



F151/3

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

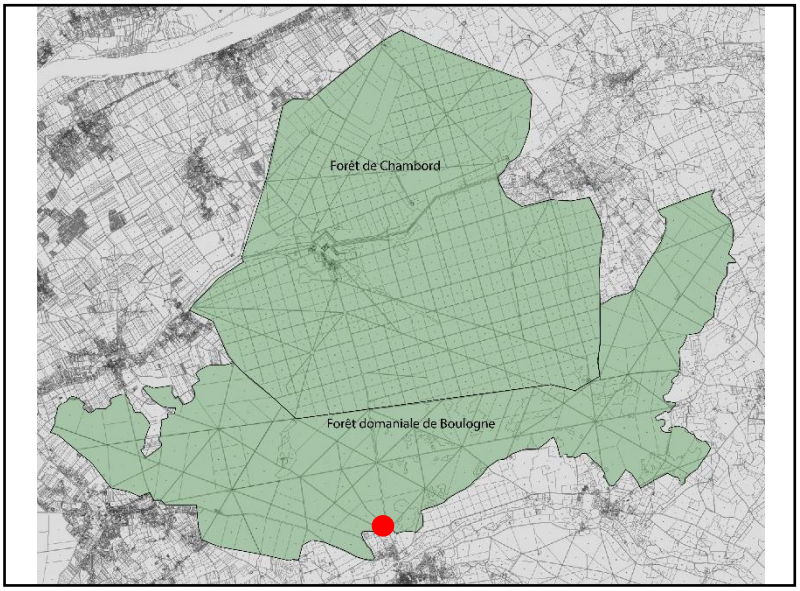
Parcelle forestière : 151

Coordonnées GPS (L93)

X : 589759,542 m

Y : 6718693,745 m

Z : 85,5 m



Enregistrement

Date de prospection : 27/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 21, 7 m largeur : 17, 8 m Hauteur : > 20 cm

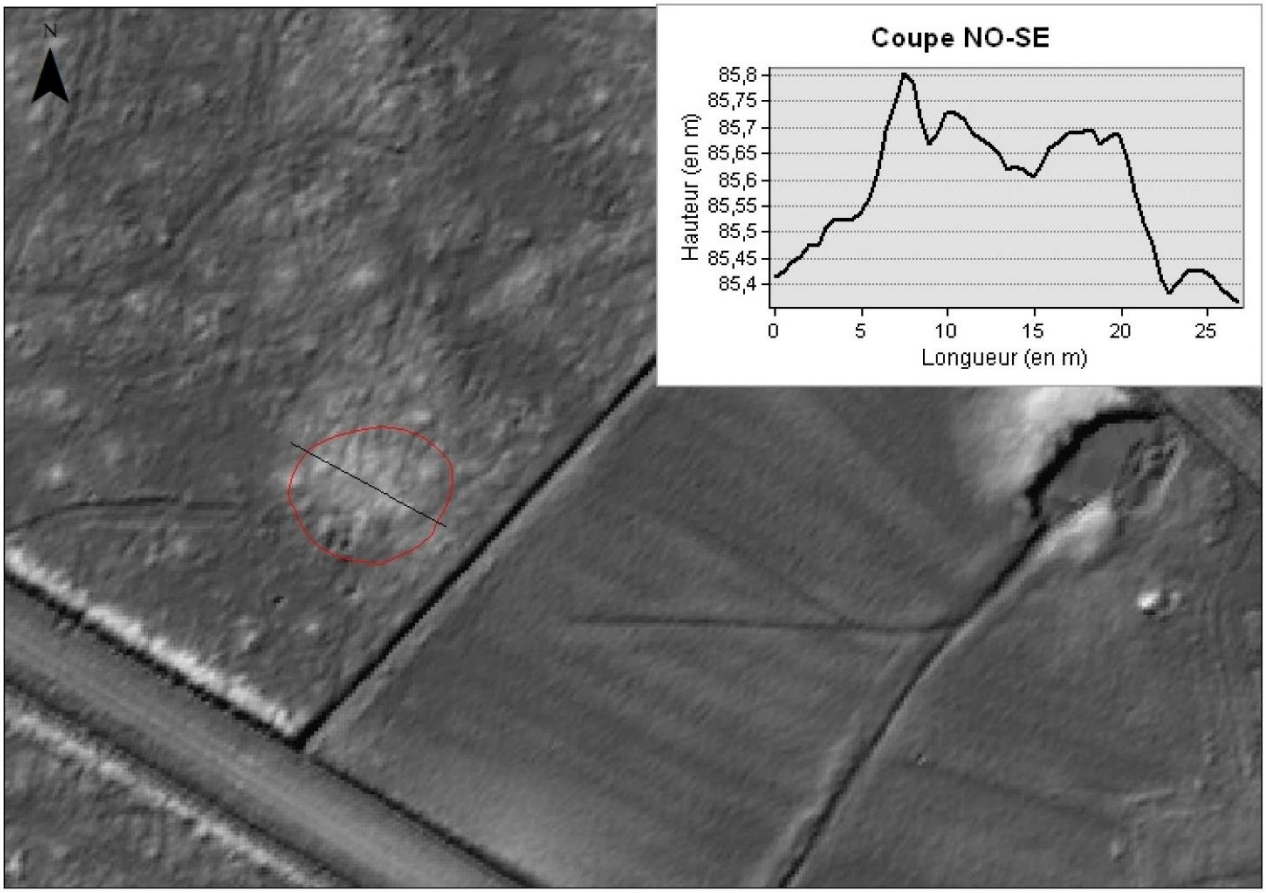
Sédiment : US beige sableuse.

Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon et de houx. Il est légèrement bombé par rapport au relief général.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont la concentration principale se situe au sommet. Nombreuses scories très fragmentées et éparses vitrifiées et bleutées. Il est probable que ce ferrier soit en partie récupéré.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F151/3 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 34 fragments de Scorie Brune Dense ; 27 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusion de cailloutis et vitrification par endroit (0, 684 kg).

Fragmentation : Importante

- 75 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (1, 071 kg).

Fragmentation : Importante

- 6 fragments de laitier bleuté dont 2 en forme de goutte (0, 021 kg).

Fragmentation : Importante

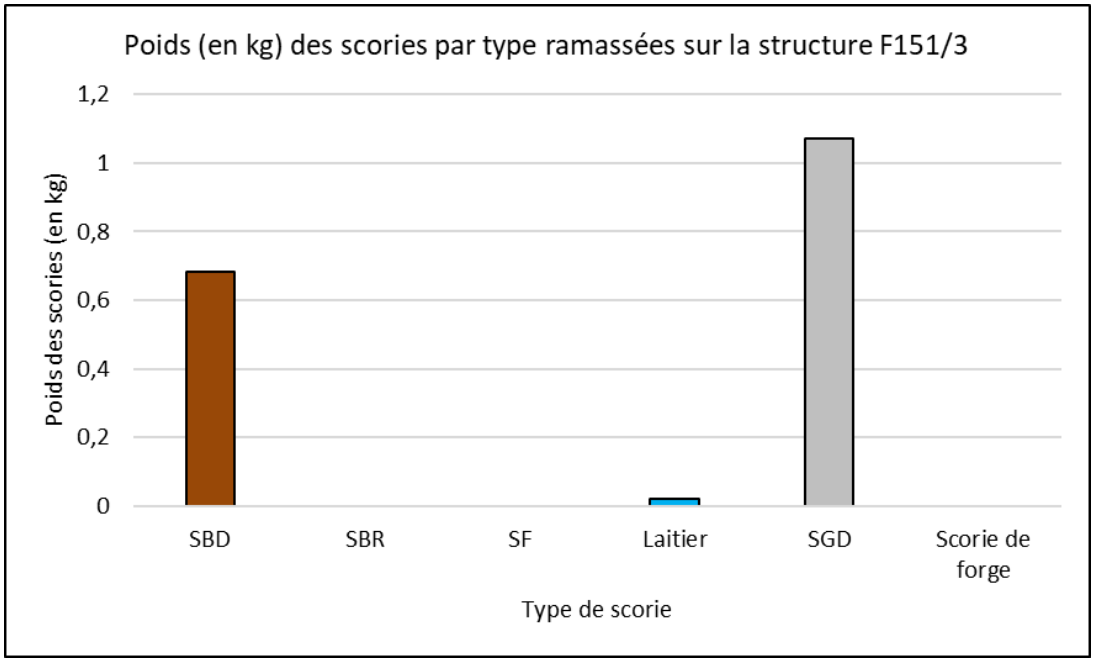
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 3 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, scorifiés par endroit ; 2 fragments de paroi en argile gris à beige avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrifiés par endroit ; 2 fragments de paroi en argile blanche à beige avec inclusions de quartz submillimétriques, scorification et vitrification (0, 117 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 1 fragment de TCA en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 028 kg).



F153/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

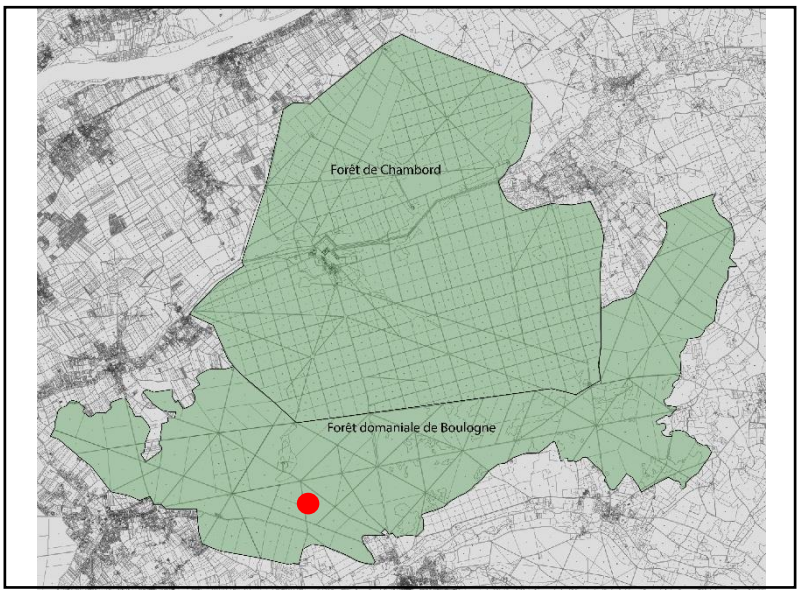
Parcelle forestière : 153

Coordonnées GPS (L93)

X : 588100,333 m

Y : 6719264,429 m

Z : 101,2 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 19, 7 m largeur : 19, 3 m Hauteur : > 20 cm

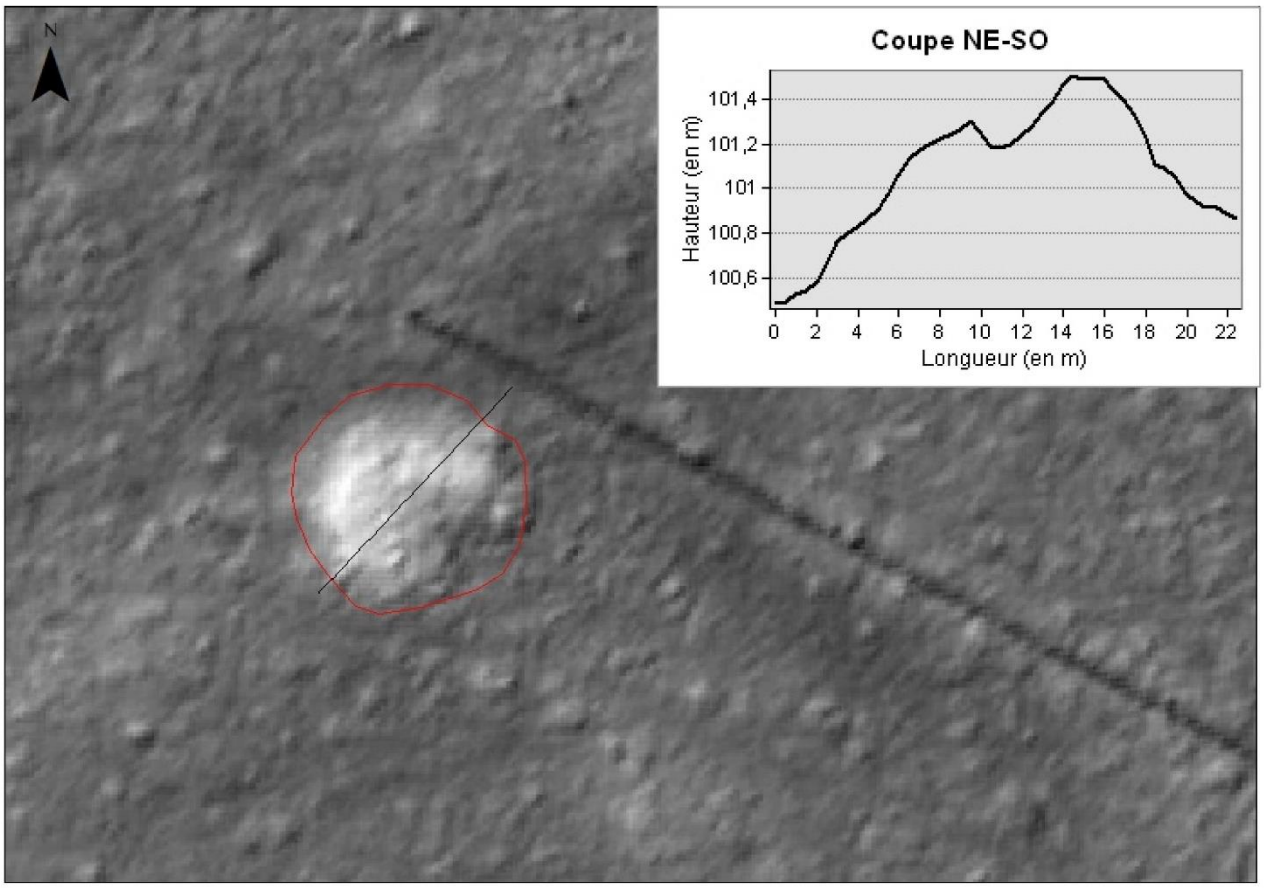
Sédiment : US limono-sableuse de couleur noir à brune.

Caractéristiques environnementales : Ferrier au relief marqué par une butte et couvert de fragons et de houx.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont les scories sont éparses en surface et plus ou moins fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F153/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **2, 5 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 56 fragments de Scorie Brune Dense noirs dont la matrice est composée de nombreuses petites alvéoles ; 12 fragments de Scorie Brune Rugueuse légère (0, 615 kg).

Fragmentation : Importante

- 23 fragments de Scorie Grise Dense à la forme indéterminée ; 18 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (> 1 cm) gris et denses ; 3 petits fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins (< à 1 cm) et indéterminés (1, 46 kg).

Fragmentation : Importante

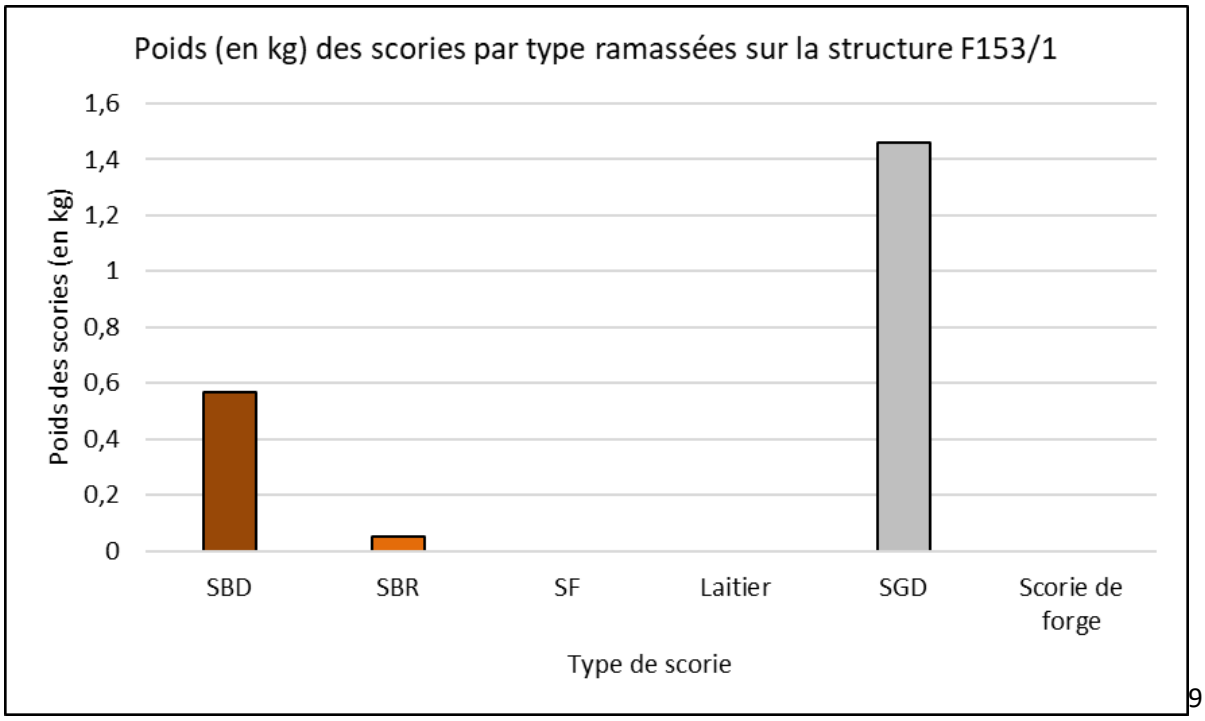
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- Nombreux petits fragments de paroi en argile, gris ou orangés. Certains montrent une vitrification verdâtre en surface et/ou une scorification (0, 215 kg).

Tuyère

- 1 fragment de la partie inférieure d'une tuyère de 6, 3 cm d'épaisseur, de couleur orangée et légèrement rubéfié (0, 165 kg).



F154/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

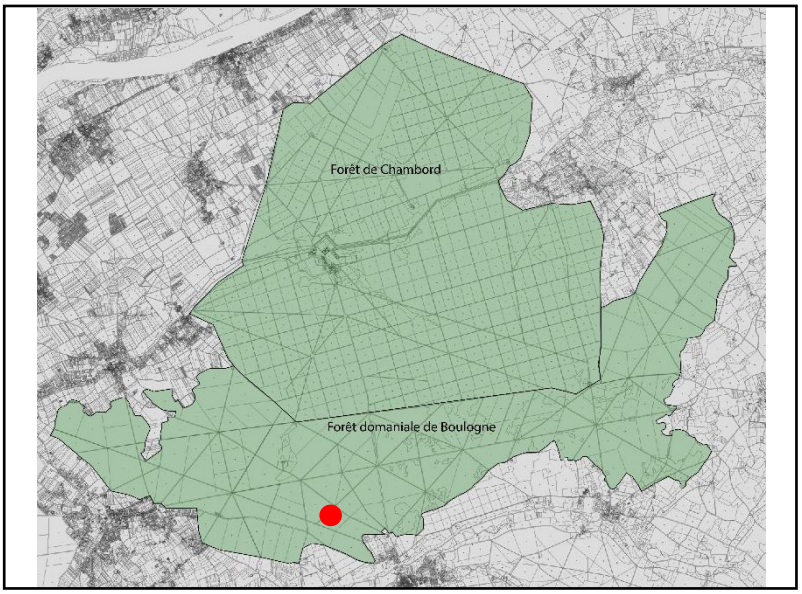
Parcelle forestière : 154

Coordonnées GPS (L93)

X : 588630,249 m

Y : 6718865,441 m

Z : 90,6 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Peu

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 12, 2 m largeur : 9, 8 m Hauteur : > 20 cm

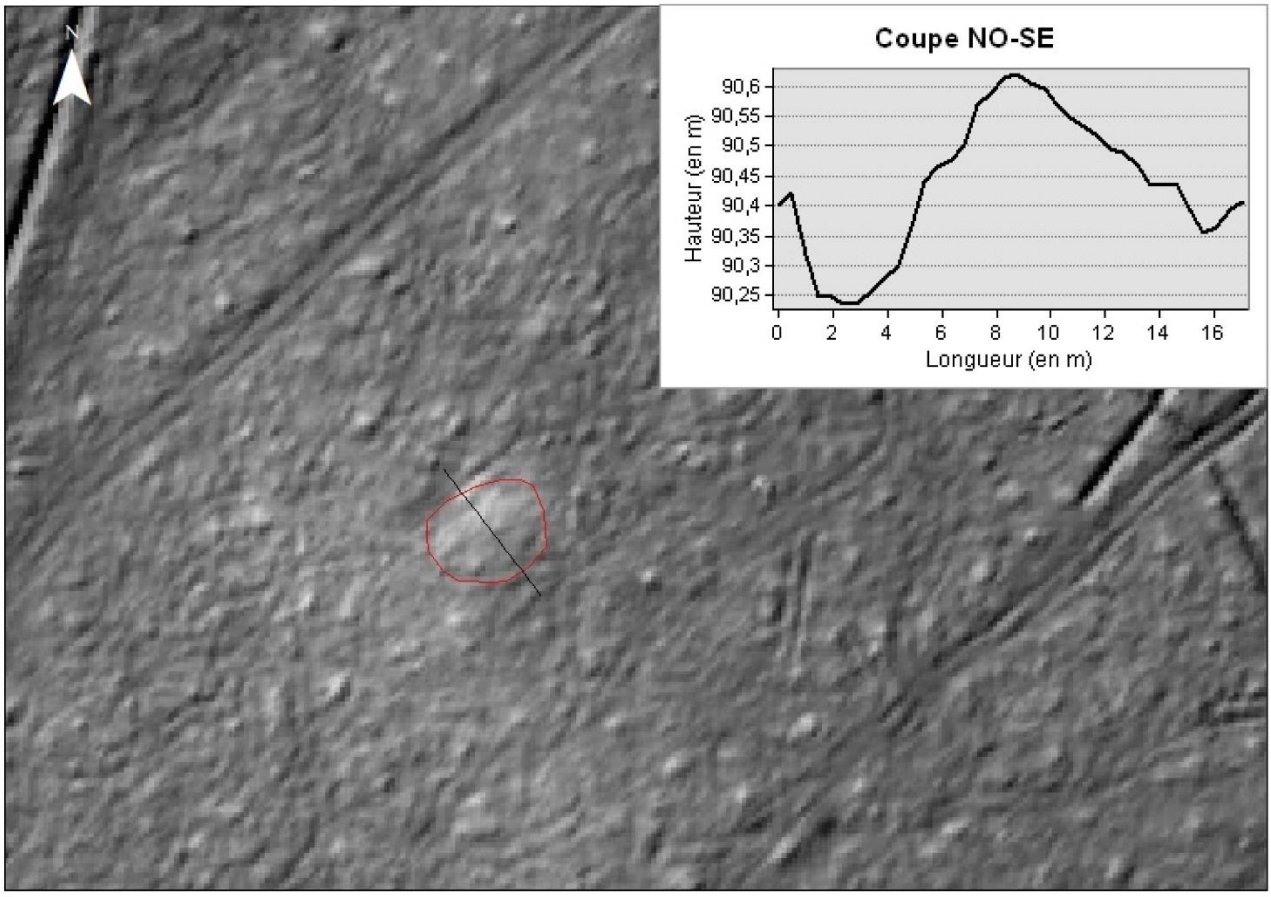
Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire à brune.

Caractéristiques environnementales : Ferrier marquant peu le paysage.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de petites dimensions (peut-être en partie récupéré ?) dont les scories sont éparses et concentrées au sommet.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F154/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total **: 4, 4 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 gros fond de fourneau Brun, Dense et compacte avec inclusions de minerai et de petits cailloutis blancs sur la face inférieure. Un important fragment de paroi est piégé dans la scorie. Il présente une forme arrondie ; 3 petits fragments de Scorie Brune Dense avec inclusions de minerai et de paroi en argile gris. Le prélèvement d'un très petit fragment de charbon de bois (< 1 cm de long) est réalisé dans l'une de ces scories (2, 45 kg).

Fragmentation : Peu à assez fragmenté.

- 8 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais dont 1 gros fragments avec inclusions d'éléments sableux, de fragments de minerai et de fibres végétales sur la face inférieure. La forme générale de ce dernier présente un angle droit ; 1 fragment de scorie coulée en plaque dense, compacte et noire (1, 87 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté.

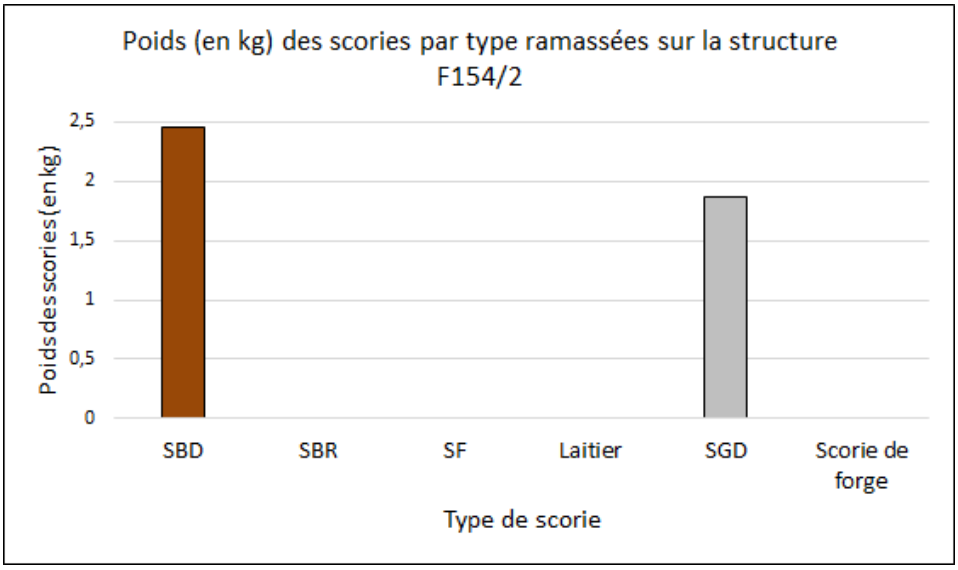
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 1 petit fragment de paroi en argile orangée/grise, composé de rare grain de quartz. Inclusions de petit fragment de minerai ; 1 petit fragment de paroi en argile gris scorifié par endroit. Inclusions de petits fragments de minerai (0, 02 kg).

Tuyère

- 1 très petit fragment de tuyère dont il ne reste qu'une petite partie de l'orifice. Scorification oxydée sur sa face inférieure ; 1 très petit fragment de tuyère associé à de la paroi grise et de la scorie oxydée (0, 03 kg).



F155/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

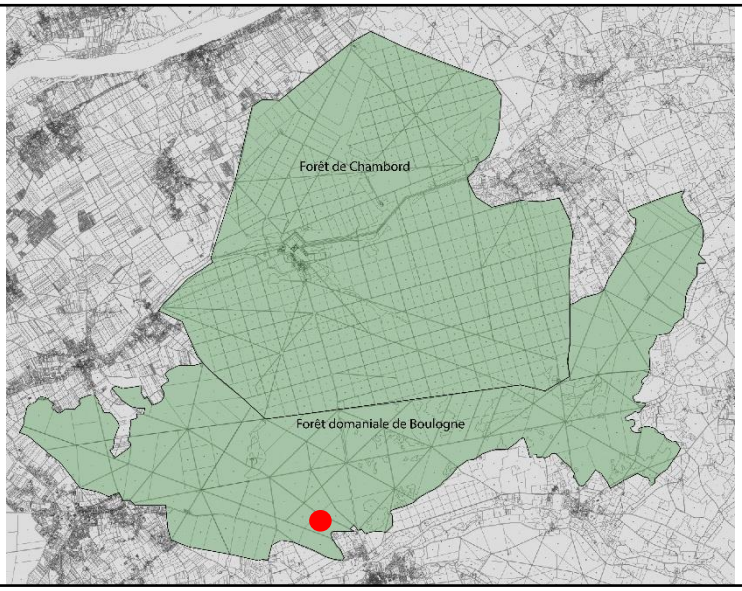
Parcelle forestière : 155

Coordonnées GPS (L93)

X : 589189,894 m

Y : 6718913,736 m

Z : 92,3 m



Enregistrement

Date de prospection : 27/03/2018

Photographies : Oui

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Falciforme

Longueur : 59, 9 m largeur : 46, 9 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire à brune.

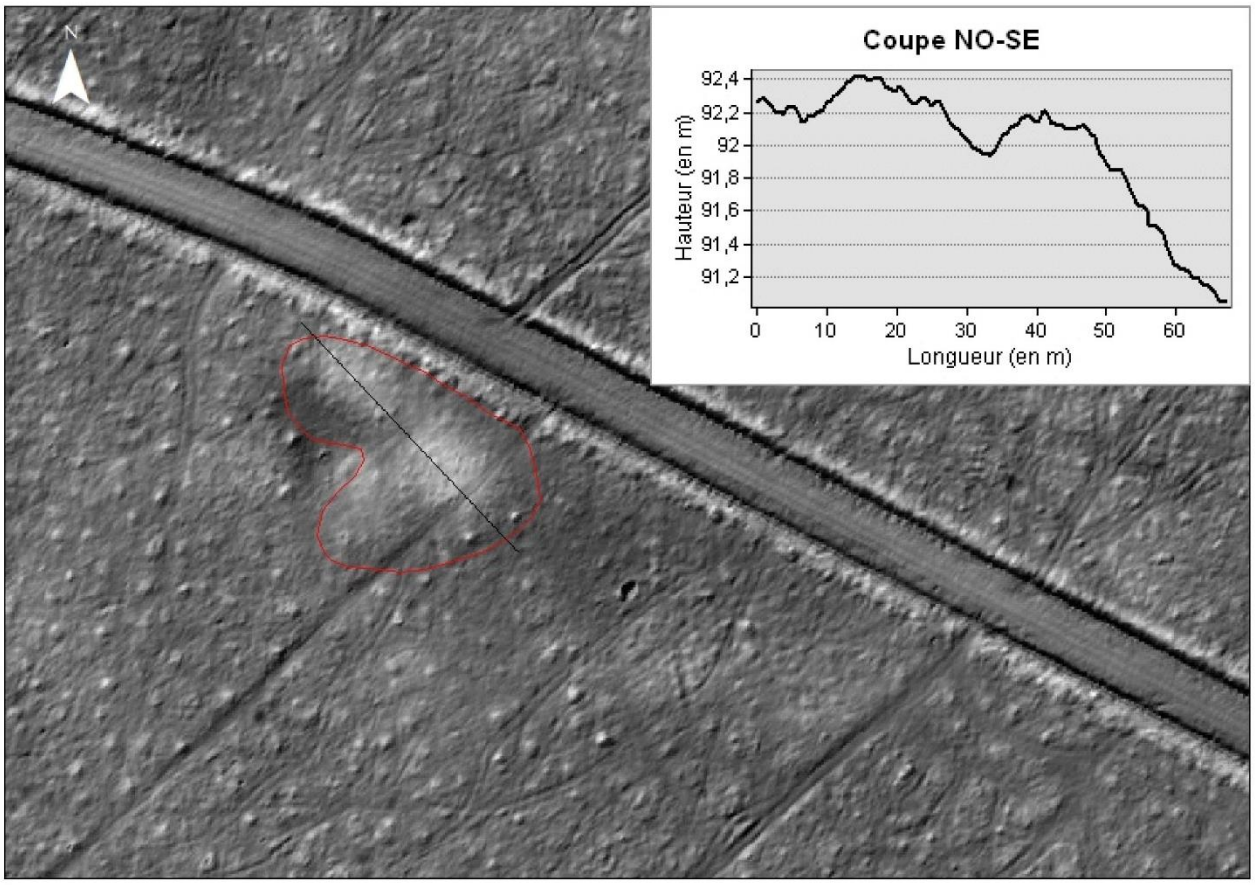
Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon, de houx et de plusieurs chablis renversés.

Datation : 6ème – 7ème siècle

Observations : Très grand ferrier traversé par un layon au sud-est. Il ne fait qu'un avec les ferriers anciennement nommés F155/2 et F155/3. Concentration de scories au sommet des deux ellipses. Très nombreuses scories plus ou moins fragmentées. Gros fragment de scorie au niveau du chablis. Scories internes très vitrifiées. Ferrier fouillé en 2018 et 2020 (cf LACROIX 2018 et LACROIX 2020)

LiDAR

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F155/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 25 50 Mètres

Photographie (vue vers le sud-est)



Description du mobilier ramassé

Poids total : **27, 2 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de four Brun, Rugueux, oxydé en surface et associé à de la paroi grise/beige et à un fragment de tuyère en place (1, 4 kg) ; 1 fond de fourneau Brun, Dense et vitrifié en surface avec inclusion de cailloutis sur la partie inférieure (1, 1 kg) ; 151 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois. Certaines présentent une vitrification bleutée et des cailloutis blancs ; 9 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusion de cailloutis, d'oxydes de fer et vitrification par endroit ; 1 petit fragment de Scorie Brune Ferreuse avec négatif de charbon de bois (4, 2 kg).

Fragmentation : peu à très fragmenté

- 74 fragments de Scorie Grise Dense dont l'un présente un angle de 90° (angle de coulée lors de la descente du four ?), un autre est associé à de la paroi en argile grise et comprend des oxydes de fer et une vitrification en surface et un autre montre le négatif d'une tuyère ; 257 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 2 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins (14, 4 kg).

Fragmentation : peu à très fragmenté

Scories de forge

- 1 culot de forge plano-convexe dense, brun, très oxydé en surface et vitrifié (0, 4 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 34 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, souvent scorifiés et vitrifiés bleuté ou vert ; 12 fragments de paroi en argile beige à grise avec inclusions de quartz submillimétriques et scorification ; 11 fragments de paroi en argile beige avec inclusions de quartz millimétriques à submillimétriques, certains présentent des traces de rubéfaction ; 13 fragments de paroi en argile blanche, orangée, grise/orangée ou beige/orangée avec inclusion de quartz submillimétriques (5, 149 kg).

Tuyère

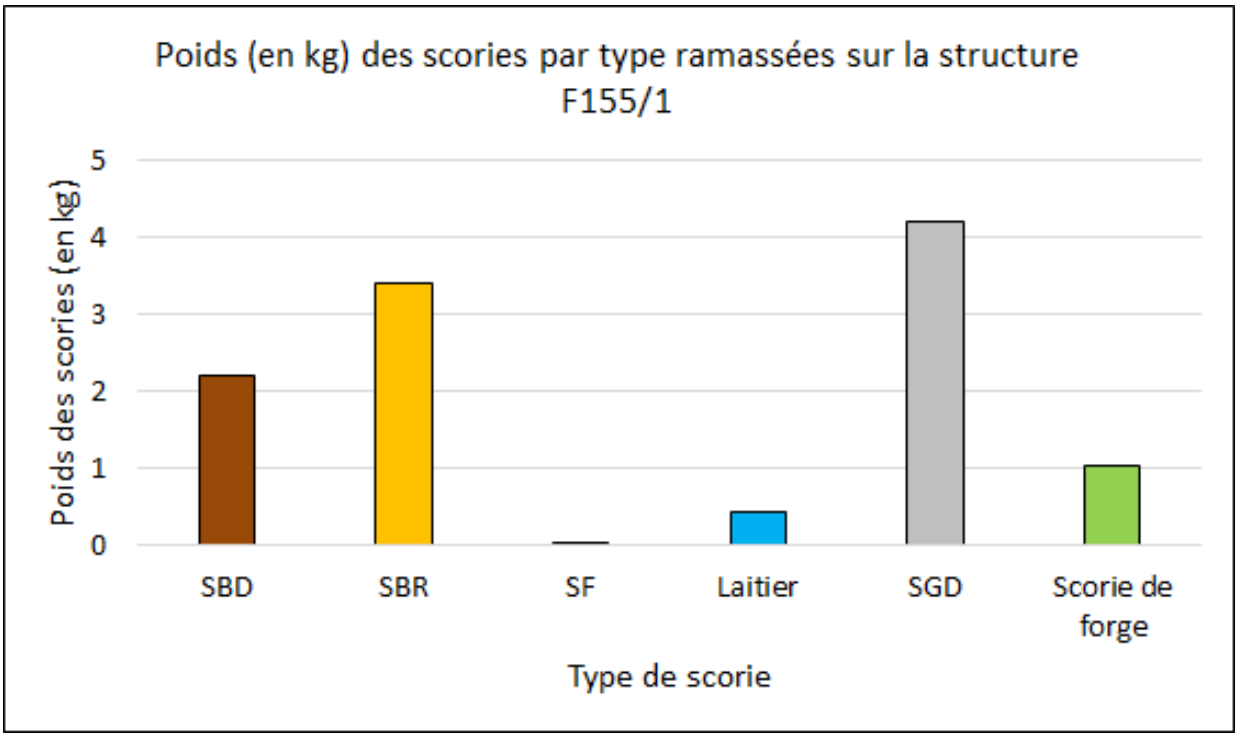
- 15 fragments de tuyère en argile de couleur beige, rouge à grise avec inclusions de quartz submillimétriques et négatifs de fibres végétales (dégraissant ?), dont 1 fragment de tuyère parallélépipédique avec partie inférieure de 7, 6 cm d'épaisseur, orifice de 3 cm de diamètre et partie inférieure de 5, 3 cm de large. Divisé en 3 morceaux de couleur grise à beige au centre de l'orifice avec scorification et vitrification rouge sur la partie située à l'intérieur du four et inclusions d'oxydes de fer. Un autre fragment est un orifice interne de tuyère de 3, 1 cm de diamètre en partie fondu et bouché par de la scorie (0, 765 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 8 fragments de TCA en argile orangée et pâte épaisse dont 2 présentent une inclusion de quartz submillimétriques et 6 fragments montrent une couleur plus prononcée que celle des autres (autre époque ?), il s'agit principalement de tegulae (0, 744 kg).

Minerai

- 1 Fragment de possible minerai de couleur rouge violacée (0,049 kg).



F156/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

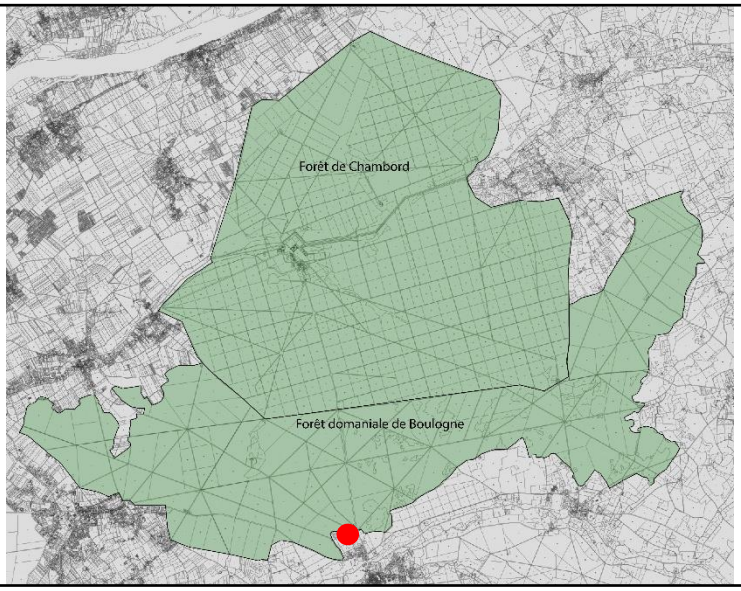
Parcelle forestière : 156

Coordonnées GPS (L93)

X : 589579,197 m

Y : 6718640,472 m

Z : 86,6 m



Enregistrement

Date de prospection : 27/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 26, 9 m largeur : 19, 8 m Hauteur : > 20 cm

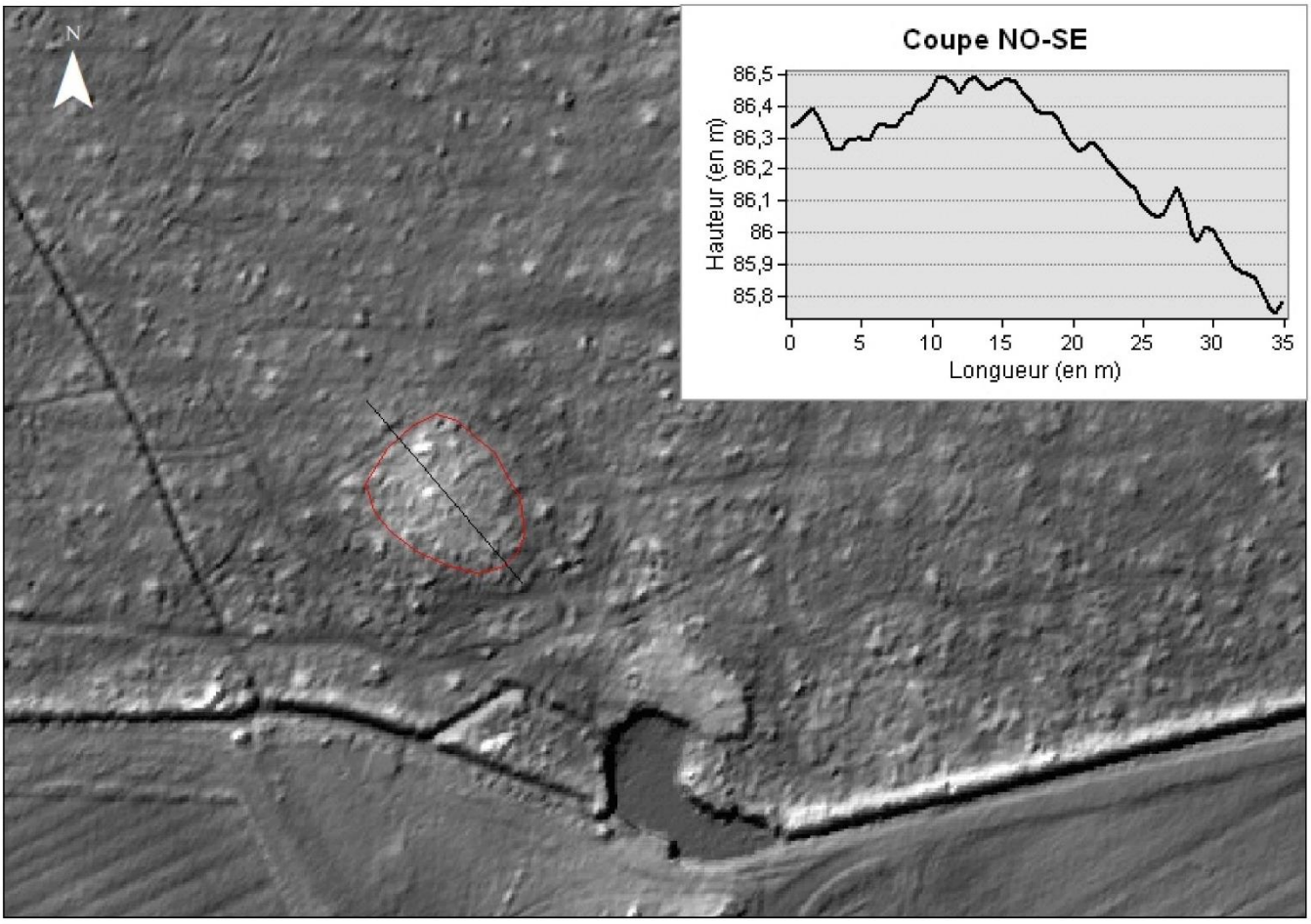
Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire (charbonneuse) sous laquelle se trouve une US beige sableuse.

Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon et de houx et dont le relief est peu marqué.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes composé de nombreuses scories très fragmentées et éparses.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F156/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 8 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 20 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer, négatifs de charbon de bois et parfois des cailloutis blancs (0, 486 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

- 35 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés et 30 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (1, 138 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

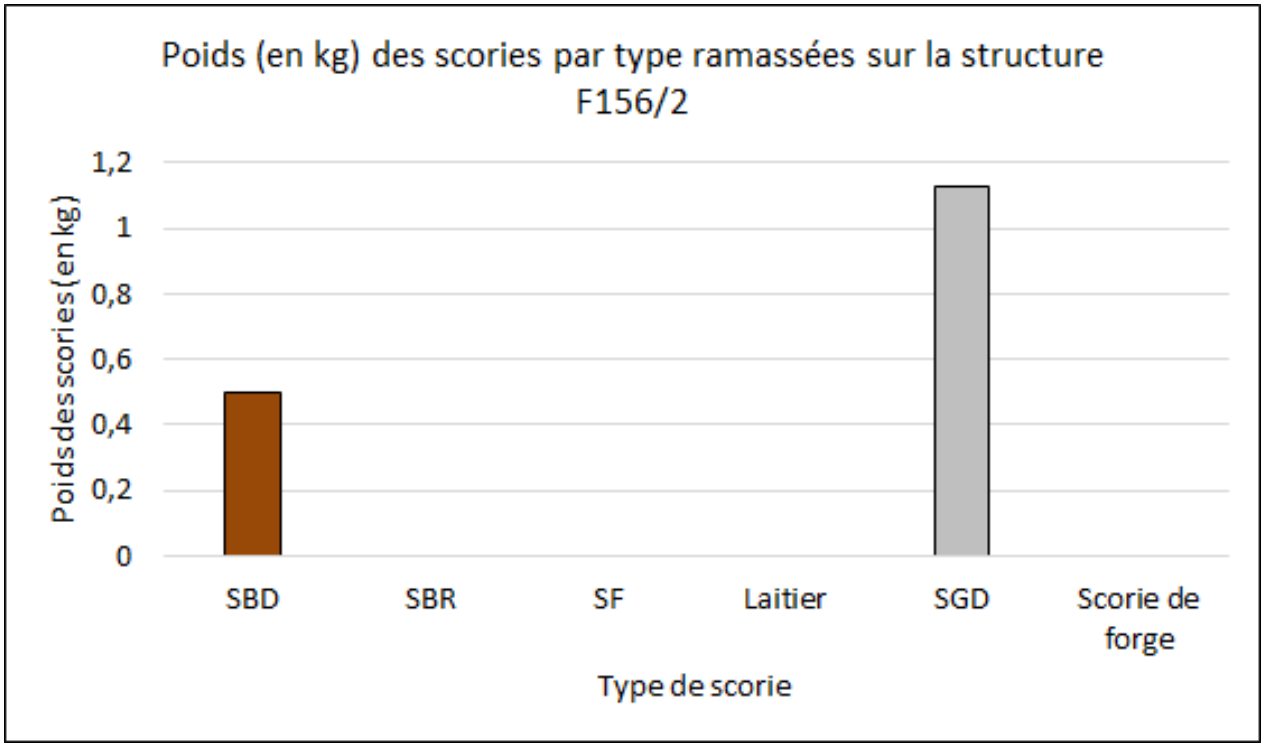
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 10 fragments de paroi en argile beige à grise avec inclusions de quartz submillimétriques très indurés dont 5 présentent une vitrification bleutée (0, 14 kg).



F160/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

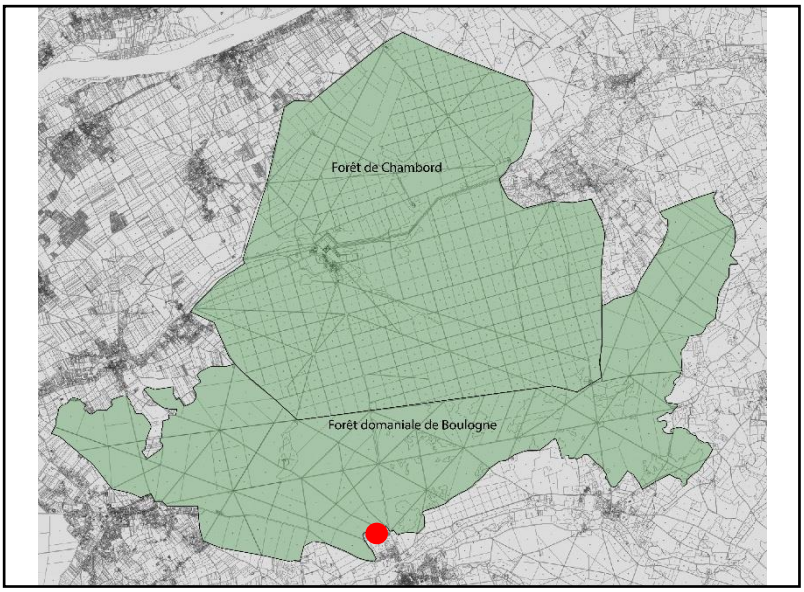
Parcelle forestière : 160

Coordonnées GPS (L93)

X : 588171,622 m

Y : 6718461,641 m

Z : 87,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 12/04/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 33,6 m largeur : 29,6 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse foncée à noire sous laquelle se trouve une US sableuse beige (fond de fosse).

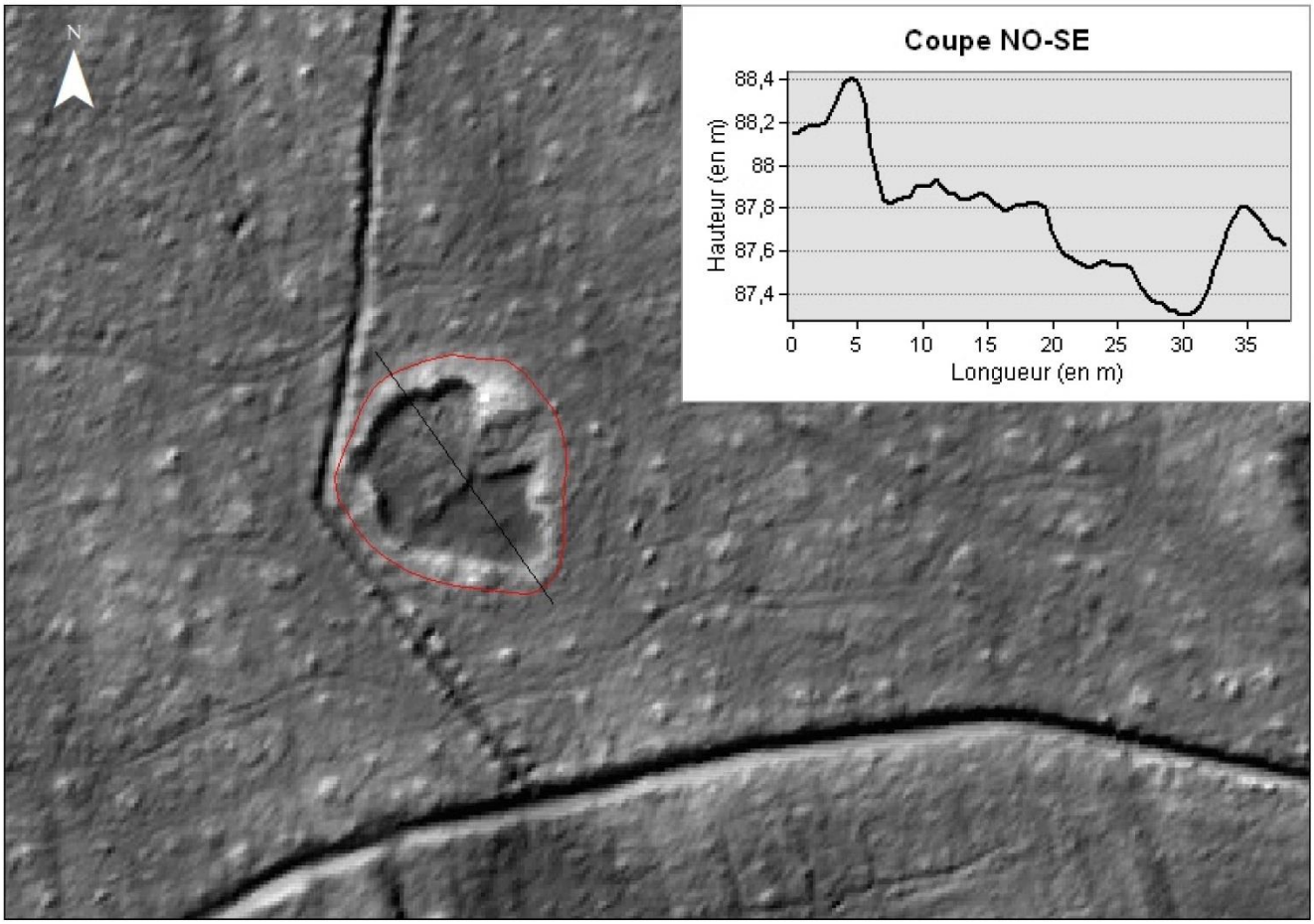
Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon et d'arbres (bouleau, etc.).

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de grande dimension composé de nombreuses scories très fragmentées et éparses. Structure complétement récupérée, sauf une butte de scories au nord-est. Ce ferrier est creusé de 2 fosses de 0, 95 cm de profondeur.

La butte fait environ 1 m de haut et les fosses 0, 95 cm de profondeur, on peut donc restituer une hauteur d'environ 1, 95 m pour ce ferrier.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F160/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **2, 7 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 4 fragments de Scorie Ferreuse avec de nombreuses inclusions de cailloutis blancs (0, 265 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

- 8 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (sup 1cm), 4 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés, 3 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins (inf 1cm) et 1 fragment de Scorie Grise Dense en plaque (1, 855 kg).

Fragmentation : Très fragmenté

- 1 petit fragment de laitier bleu dans une gangue scorifiée (0, 001 kg).

Fragmentation : Importante

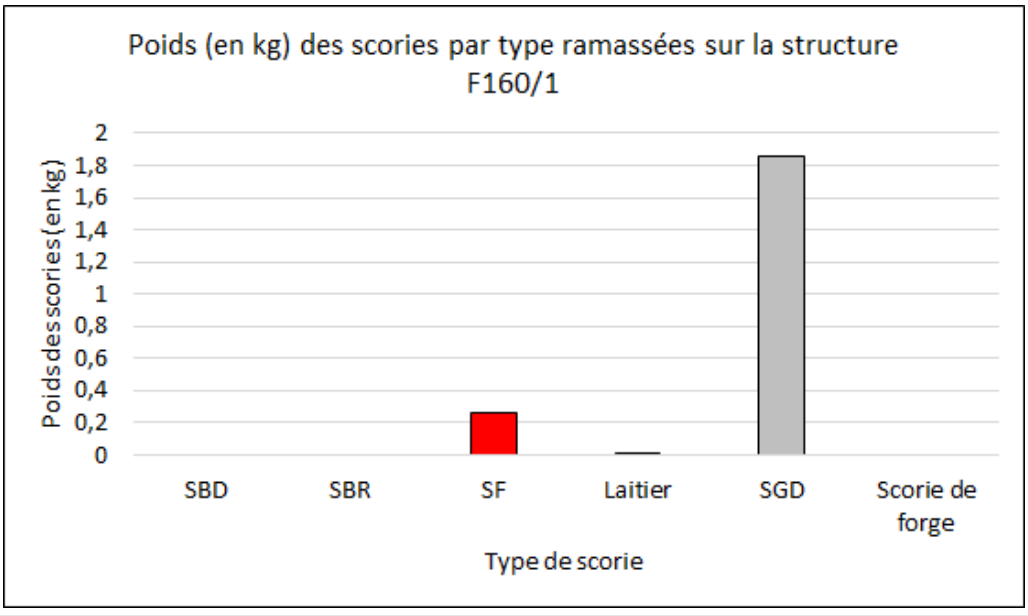
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 2 petits fragments de paroi scorifiés et gris avec inclusions de quartz submillimétriques et 3 fragments de paroi en argile grise/blanche avec inclusions de quartz submillimétriques dont l'un présente des traces de vitrification bleutée (0, 36 kg).

Minerai

- 1 fragment de minerai avec de nombreux oxyde de fer en surface (0, 190 kg).



F168/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

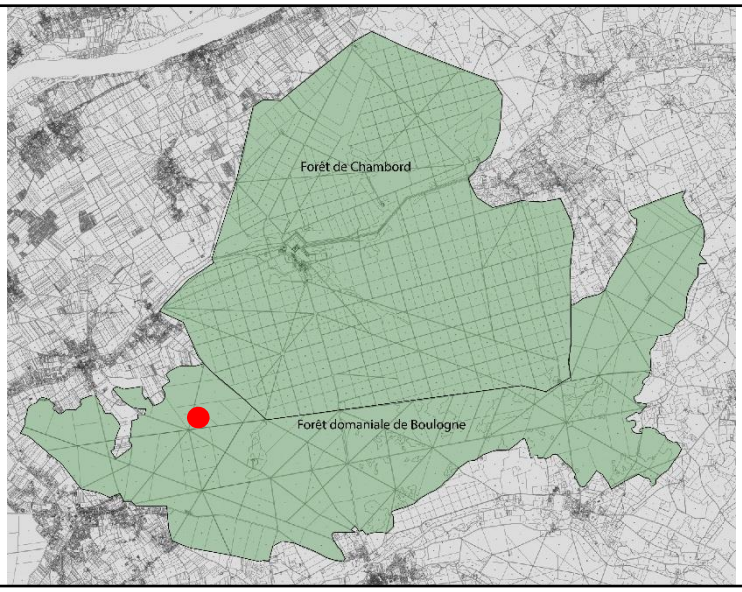
Parcelle forestière : 168

Coordonnées GPS (L93)

X : 586386,898 m

Y : 6721349,704 m

Z : 89,5 m



Enregistrement

Date de prospection : 10/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 16, 2 m largeur : 11, 6 m Hauteur : < 10 cm

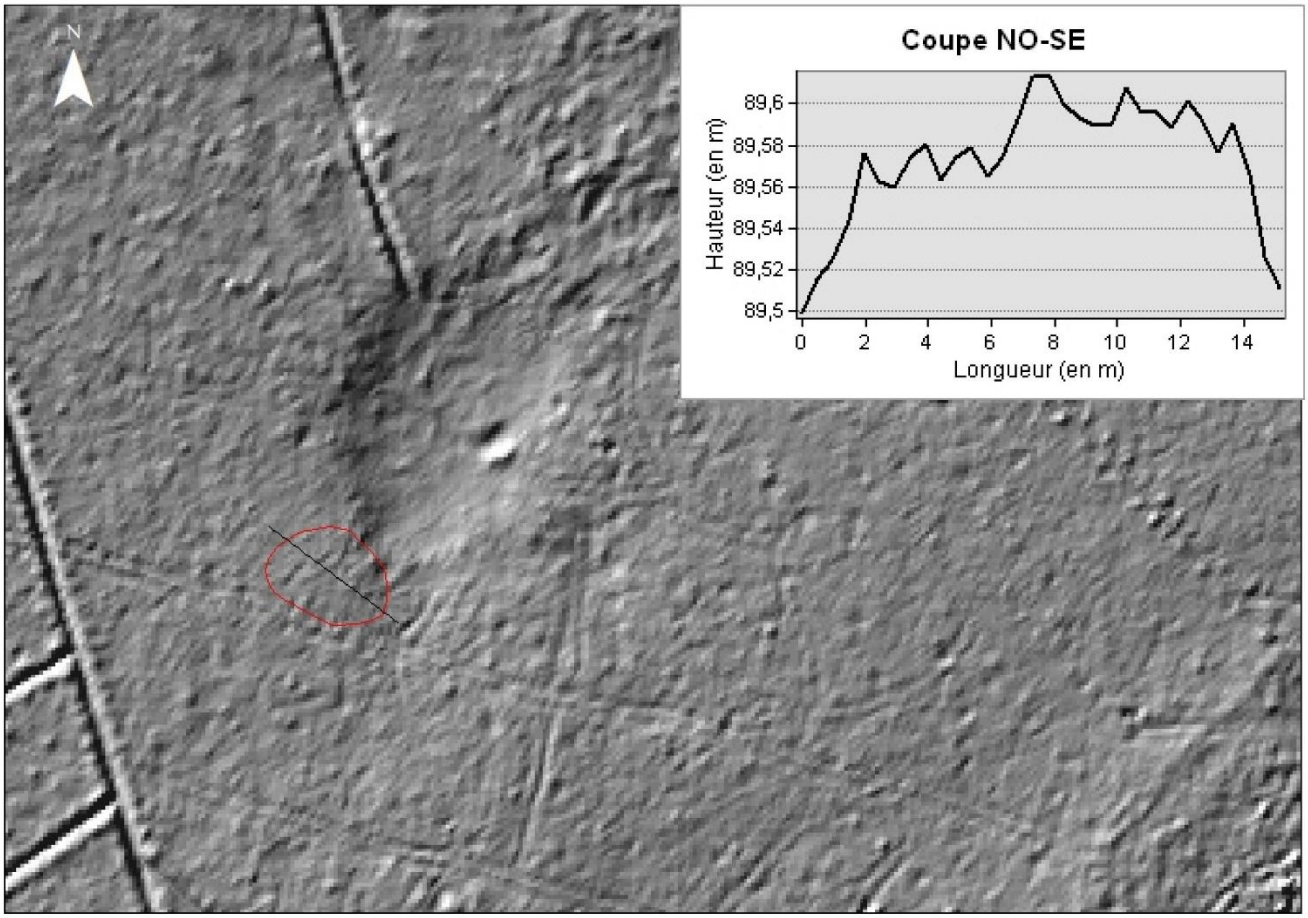
Sédiment : US sablo-limoneuse de couleur beige à marron.

Caractéristiques environnementales : Structure en partie arasée. Couverte d'un peu de fragon. Une fosse se trouve au Nord-est.

Datation : Indéterminée

Observations : Scories très fragmentées et éparses.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F168/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 20 fragments de Scorie Brune Dense très oxydés avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois (0,46 kg).

Fragmentation : Importante

- 18 fragments de Scorie Grise Dense très oxydés en surface (0, 38 kg).

Fragmentation : Importante

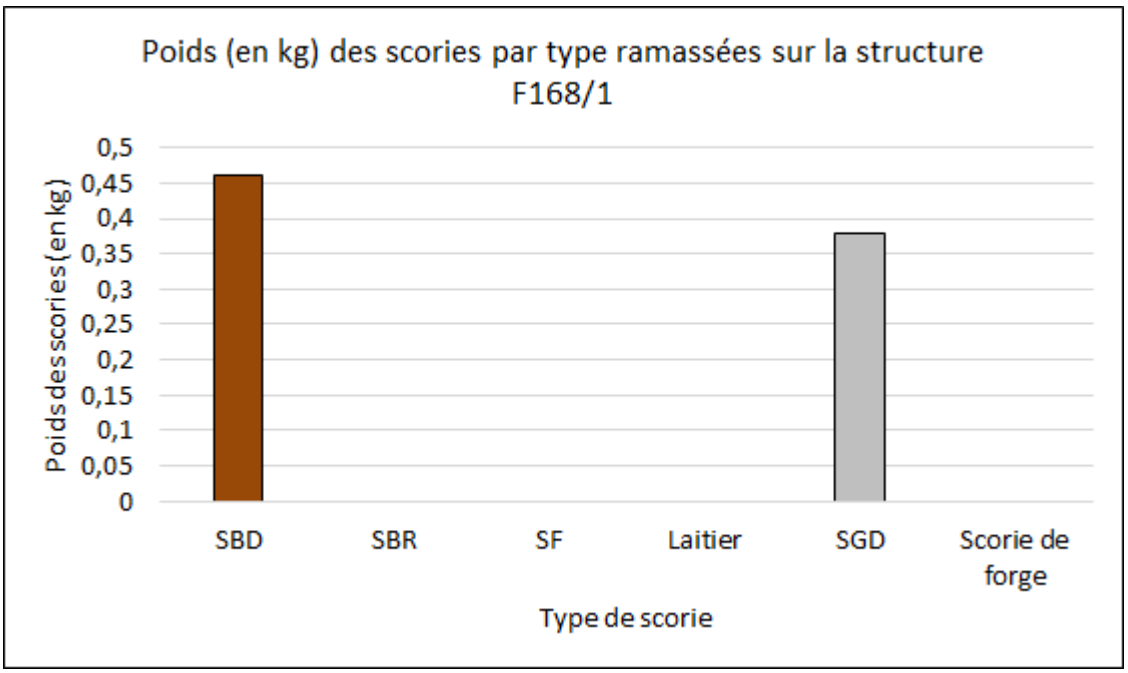
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 4 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques et scorification (0, 096 kg).



F169/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

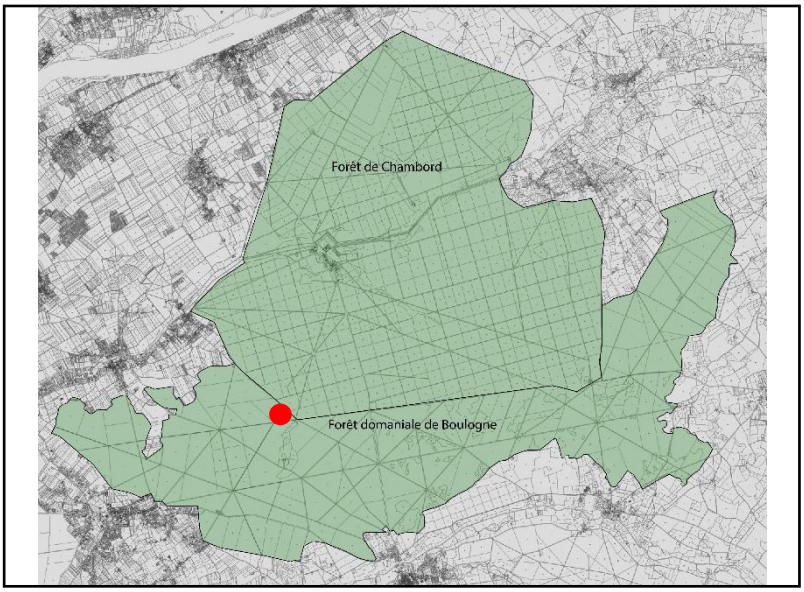
Parcelle forestière : 169

Coordonnées GPS (L93)

X : 587426,773 m

Y : 6721209,493 m

Z : 92,6 m



Enregistrement

Date de prospection : 10/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 34, 2 m largeur : 20, 4 m Hauteur : > 20 cm

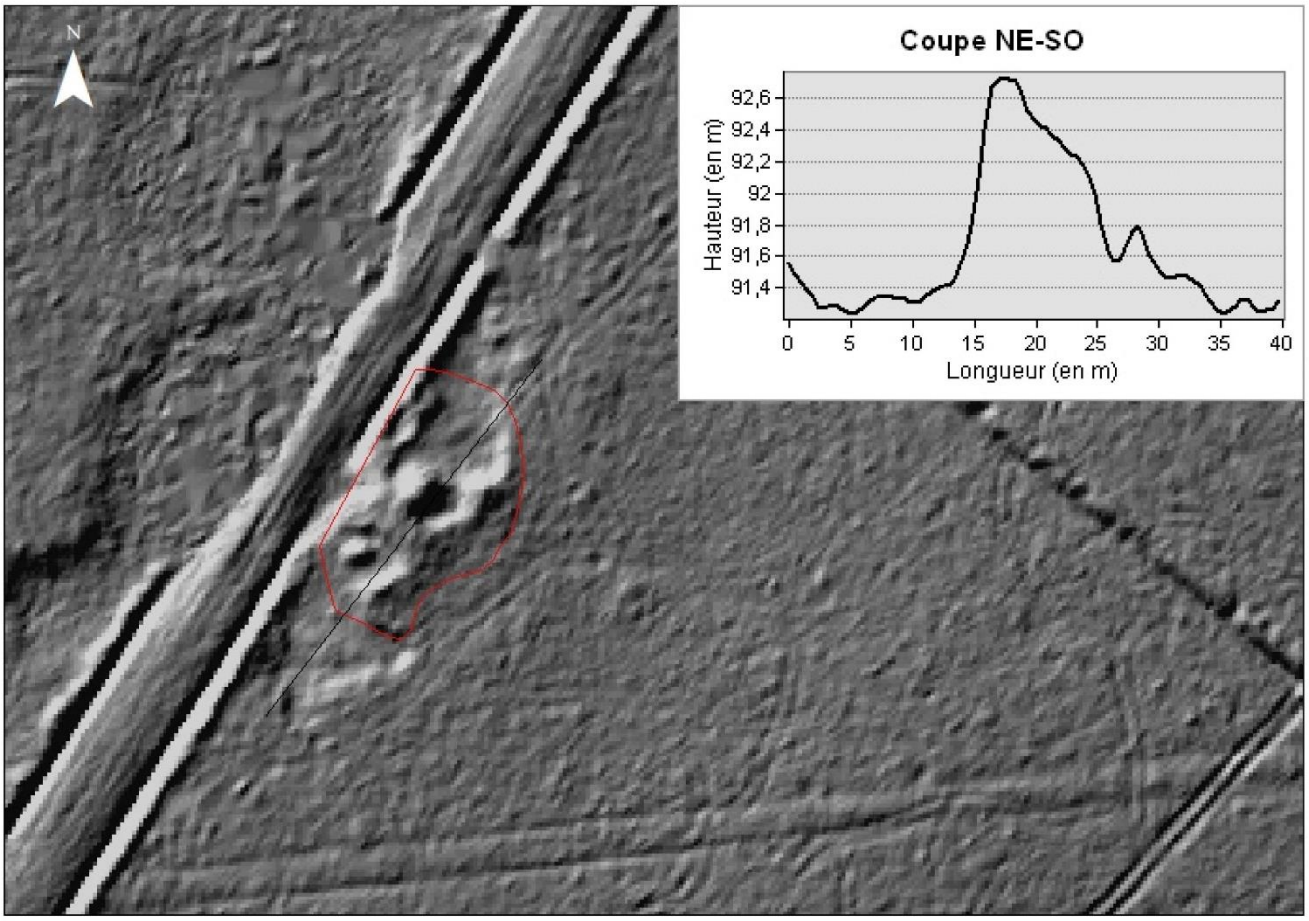
Sédiment : US limono-sableuse foncée à noire sous laquelle se trouve une US sableuse beige (fond de fosse).

Caractéristiques environnementales : Structure en partie couverte de fragons. Bien visible dans le paysage sous forme de butte.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux grandes dimensions dont une importante partie des vestiges est récupérée laissant plusieurs dépressions. Les scories sont plus ou moins fragmentées et nombreuses. Présence de très gros fragments. Concentration forte sur les sommets. On peut restituer la profondeur du ferrier (hauteur de la butte + profondeur de la dépression adjacente) à 1, 65m.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F169/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **11 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 17 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer et de paroi en argile, dont 10 présentent une vitrification en surface (1, 48 kg), et un fragment de Scorie Brune Dense oxydé en surface comprenant des oxydes de fer (0, 42 kg).

Fragmentation : Peu importante

- 23 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais, dont 1 présente plusieurs épaisseurs de coulure et un effet de paroi, et 4 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins, dont 1 présentant le négatif d'un canal de 2,1 cm (5, 9 kg).

Fragmentation : Assez importante

- 1 fragment de laitier bleuté (0,006 kg).

Fragmentation : Importante

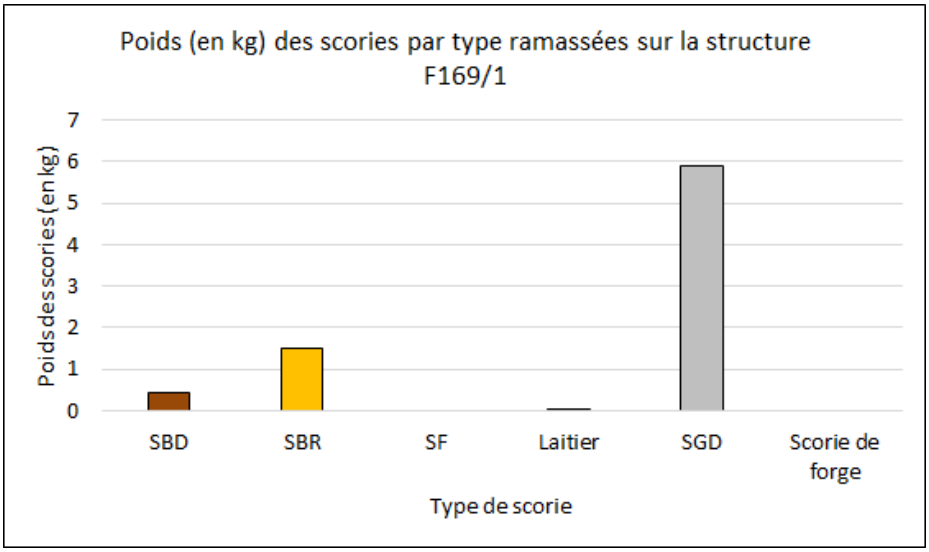
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 1 fragment de paroi en argile grise à rosée avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrification importante sur une face et un effet de paroi est visible sur un côté, 8 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétrique et vitrification en surface, dont 1 est plano-convexe et présente une vitrification verdâtre sur une face et 1 fragment de paroi en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques (3, 208 kg).

Tuyère

- 1 fragment de tuyère en argile gris à noire avec scorification et inclusions de quartz submillimétriques (0,02 kg).



F176/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

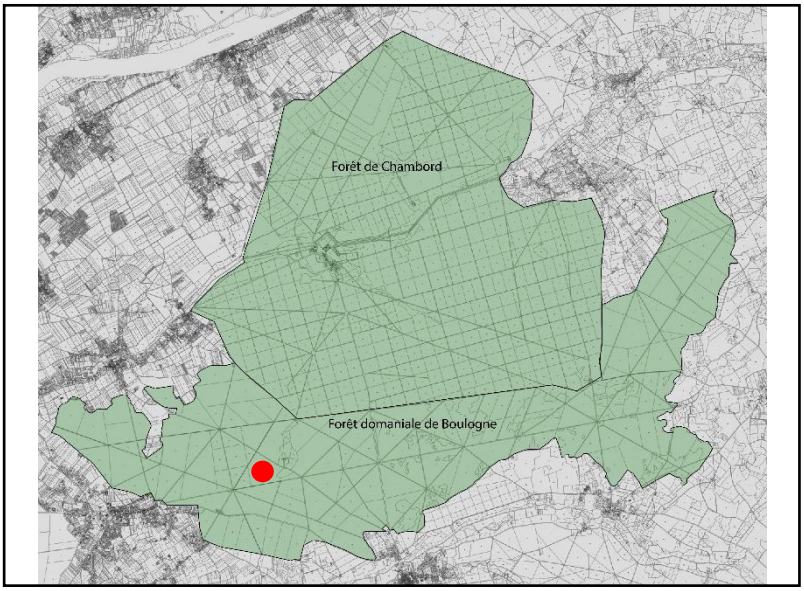
Parcelle forestière : 176

Coordonnées GPS (L93)

X : 587130,782 m

Y : 6720121,117 m

Z : 106,2 m



Enregistrement

Date de prospection : 10/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 23, 8 m largeur : 20, 2 m Hauteur : > 20 cm

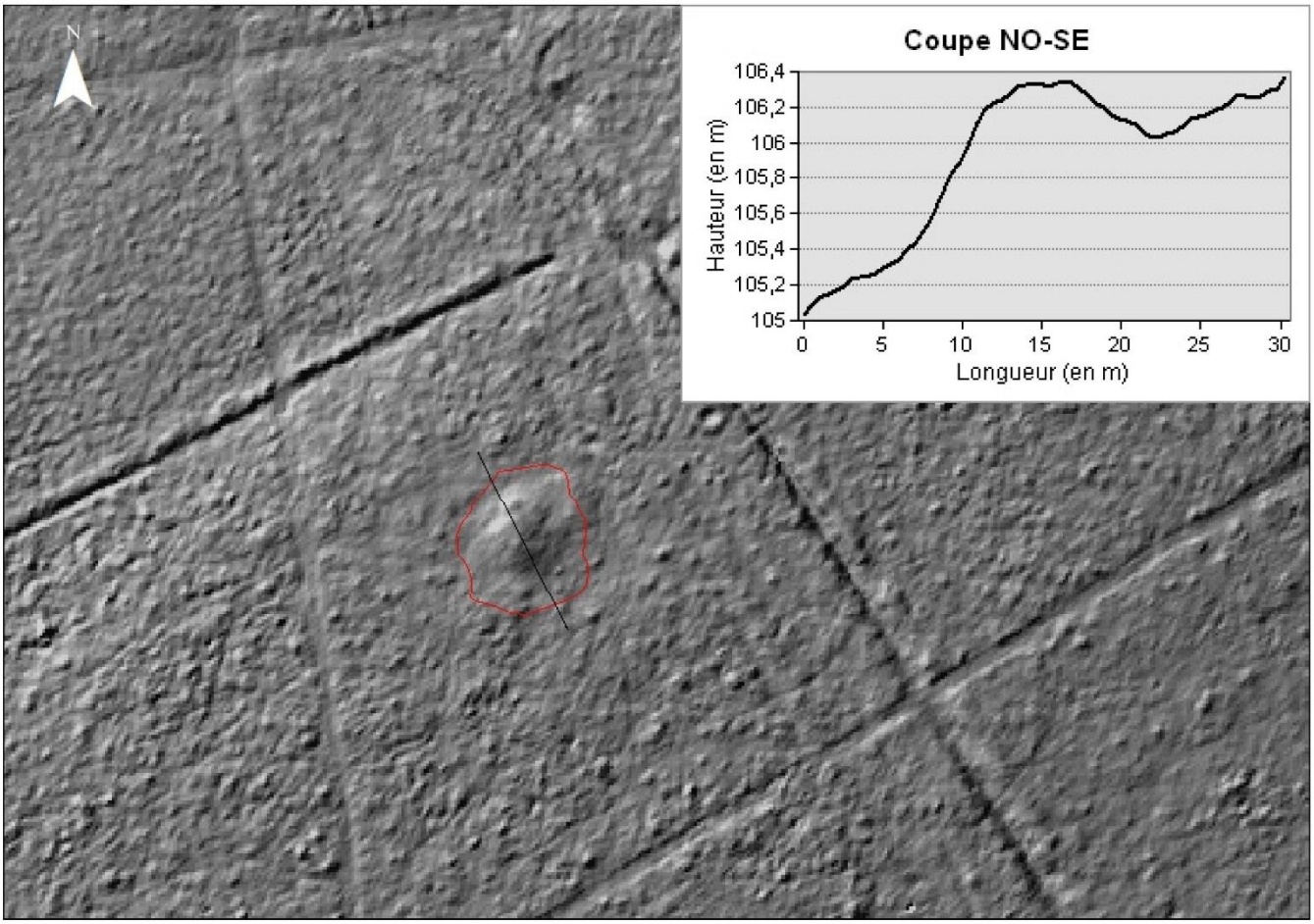
Sédiment : US limono-sableuse brun foncée à noire.

Caractéristiques environnementales : Structure qui forme une butte bien visible dans le paysage. Perturbée au Nord-Est par une zone défrichée.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont les scories sont plus ou moins fragmentées et nombreuses. Concentration au sommet du ferrier.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F176/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **17, 7 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de four Brun, Rugueux, plano-convexe et vitrifié bleuté par endroit, nombreuses inclusions de cailloutis et de négatif de charbon de bois (1, 269 kg) ; 1 fond de four plano-convexe, Brun, Dense avec inclusion de cailloutis et d'oxydes de fer (0,712 kg) ; 24 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions de quartz submillimétriques et d'oxydes de fer, vitrifiés par endroit. Sur certain il est possible de voir des fragments de paroi en argile ou de charbon de bois ; 5 fragments de Scorie Brune Dense avec de nombreuses inclusions de cailloutis et négatifs de charbon de bois associés à de la paroi en argile grise (3,532 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

- 54 fragments de Scorie Grise Dense dont 3 présentent le négatif d'un canal de 6, 5 cm, 5, 5 cm et 5, 5 cm de diamètre ainsi que des inclusions cailloutis ; 29 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 2 fragments de scorie grise dense à cordons fins ; 2 fragments de scorie grise dense à cordons agglomérés ; 3 fragments de scorie grise dense en plaque (8, 2 kg)

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 14 fragment de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, scorification et vitrification en surface, souvent bleutée, dont 4 montre la présence d'oxydes de fer et 1 le négatif d'un charbon de bois ; 6 fragments de paroi en argile noire à grise/rouge avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrifiés et scorifiés par endroit (3, 2 kg).

Tuyère

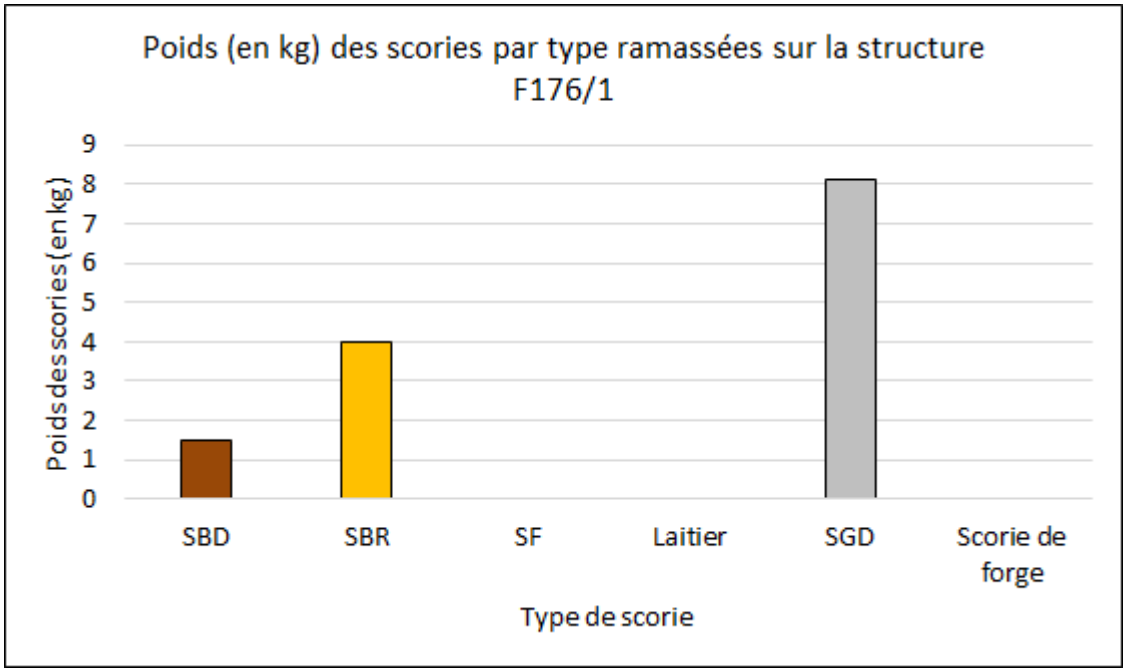
- 2 fragments de fragment de tuyère en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques ; 1 fragment de tuyère en argile orangée avec dégraissant végétal (négatif de fibre d'env. 0, 5 cm de long) ; scorifié et vitrifié sur la face inférieure. 1 fragment de tuyère en argile beige à noire avec inclusions d'oxydes de fer et 1 fragment de tuyère en argile blanche à beige avec scorification sur une face et présentant une forme parallélépipédique (0, 5 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 2 fragments de TCA en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques ; 3 fragments de TCA en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétriques et de chamotte, dont 1 légèrement courbe en son centre (Umbrex ?) (0, 3 kg).

Matériau lithique

- 1 fragment de silex rouge (0, 01 kg).



F185/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

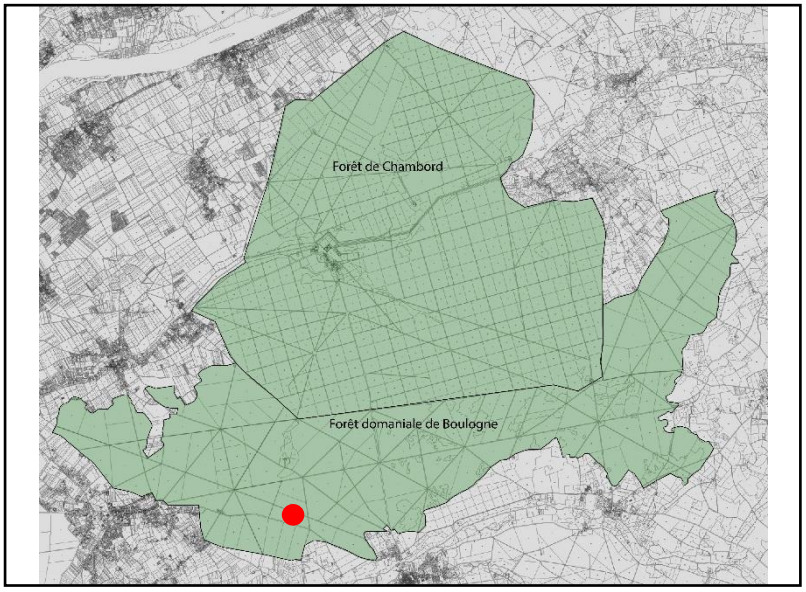
Parcelle forestière : 185

Coordonnées GPS (L93)

X : 587393, 808 m

Y : 6718927, 903 m

Z : 109,9 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 20, 7 m largeur : 15, 7 m Hauteur : > 20 cm

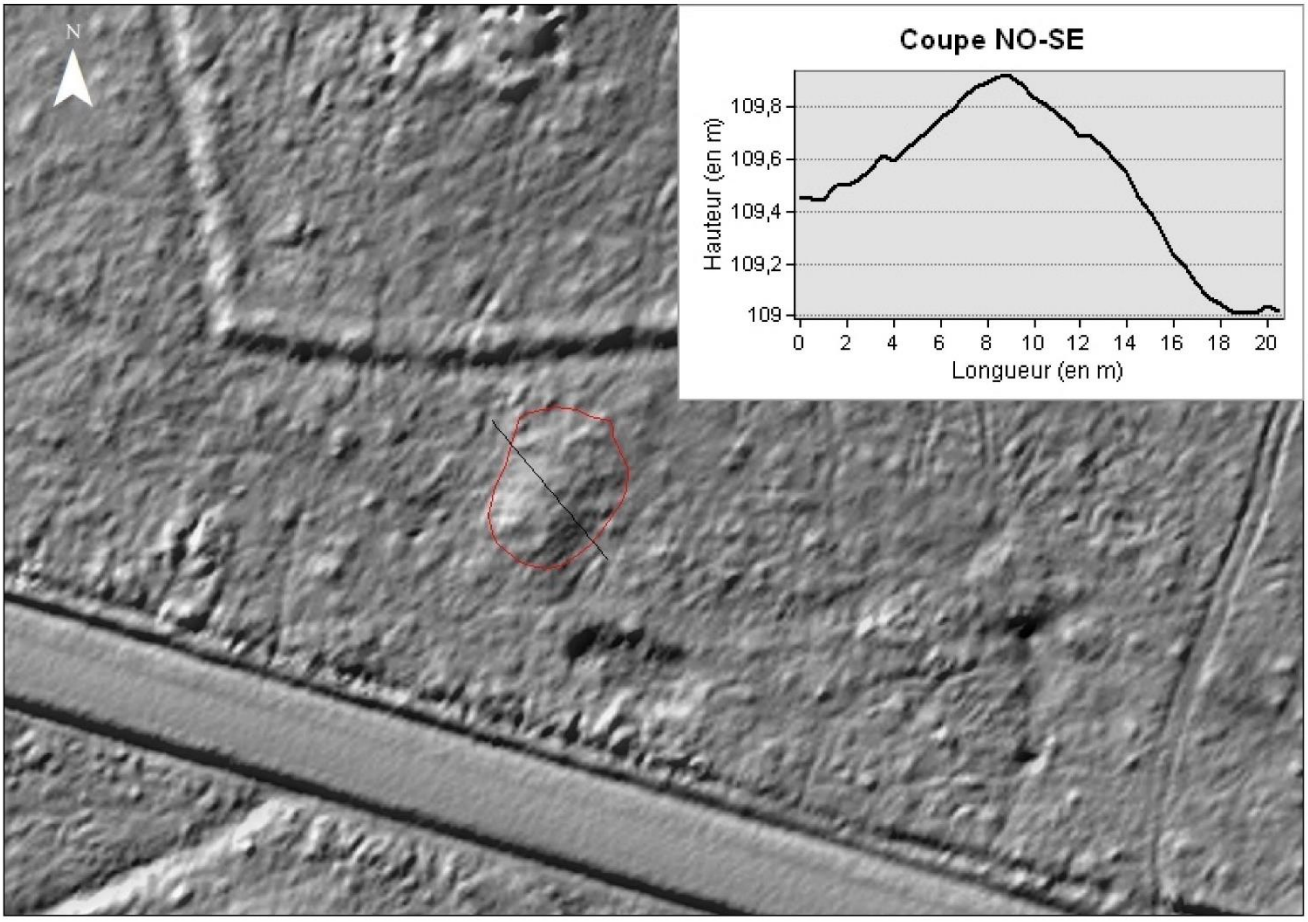
Sédiment : US limono-sableuse brune foncée à noire.

Caractéristiques environnementales : Situé à proximité de la Motte de l'Ermitage.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de très grande taille présentant de nombreuses scories de petites et moyennes dimensions. Concentration importante au sommet du ferrier.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F185/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **2 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 32 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer, certains sont vitrifiés et de couleur verte à l'intérieur (0, 6 kg)

Fragmentation : Importante

- 20 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 43 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 5 fragments de Scories Grise Dense à cordons fins (1, 2 kg).

Fragmentation : Importante

Scories de forge

- Aucune

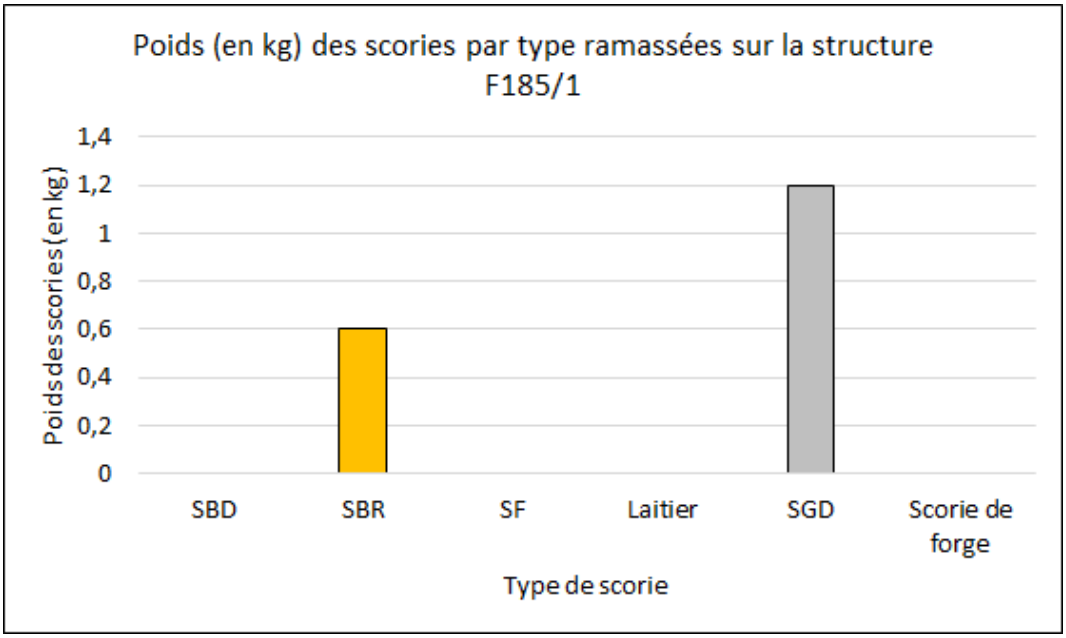
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 9 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, scorifiés par endroit (0, 1 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 1 fragment de TCA en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 1 kg).



F190/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

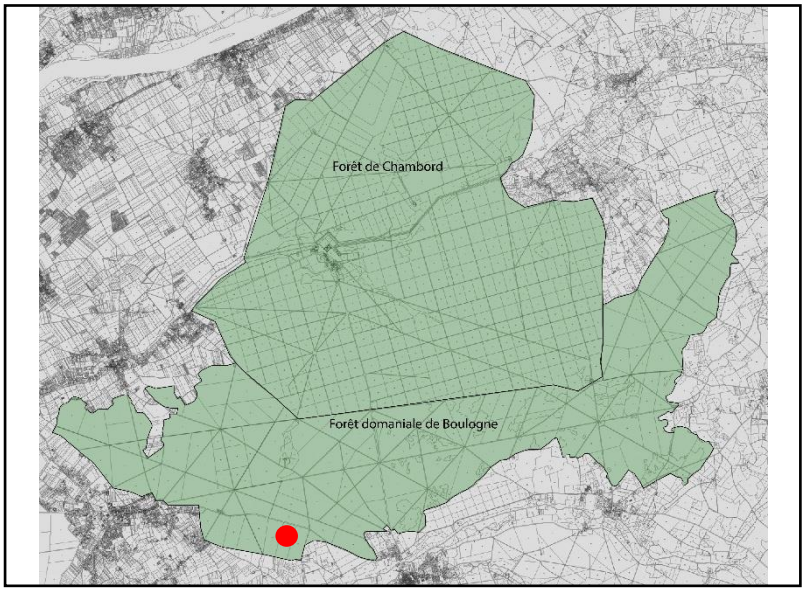
Parcelle forestière : 190

Coordonnées GPS (L93)

X : 587556, 958 m

Y : 6718587, 983 m

Z : 95 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Falciforme

Longueur : 10, 8 m largeur : 10, 8 m Hauteur : > 20 cm

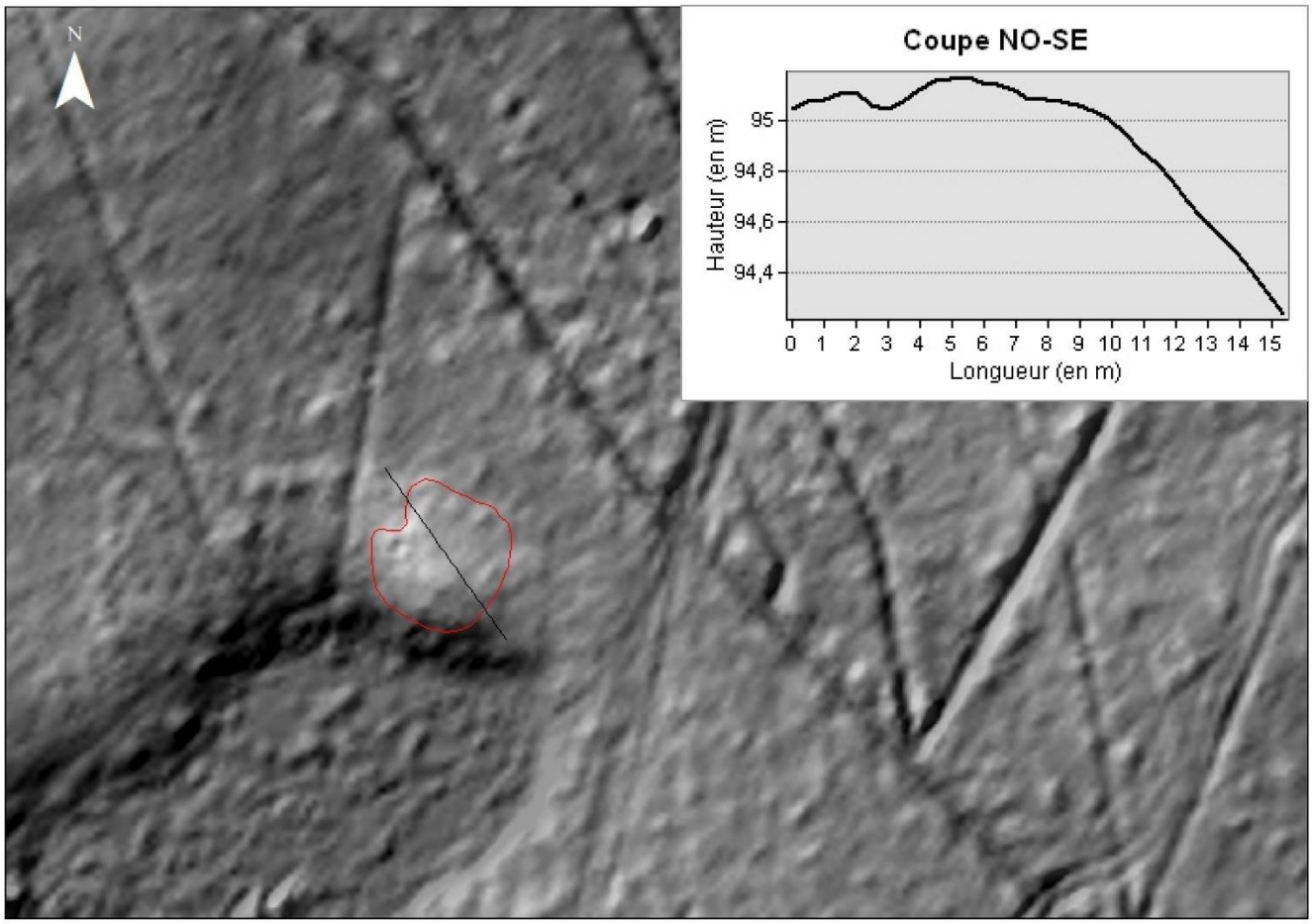
Sédiment : US limono-sableuse brune foncée à noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert par quelques fragons et situé au bord d'une fosse. Un creusement est visible au nord-ouest du ferrier. De nombreuses scories y sont observables.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de moyenne dimension présentant des scories de taille moyenne à petite, très nombreuses, mises au jour dans une US qui s'épand sur une butte naturelle sableuse de couleur beige. Concentration de scories affleurantes au sud-est.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F190/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **5, 3 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 7 fragments de Scorie Brune Dense légèrement oxydés en surface ; 5 fragments de Scorie Brune Rugueuse (0, 8 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

- 7 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 6 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins ; 35 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (3, 8 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

Scories de forge

- Aucune

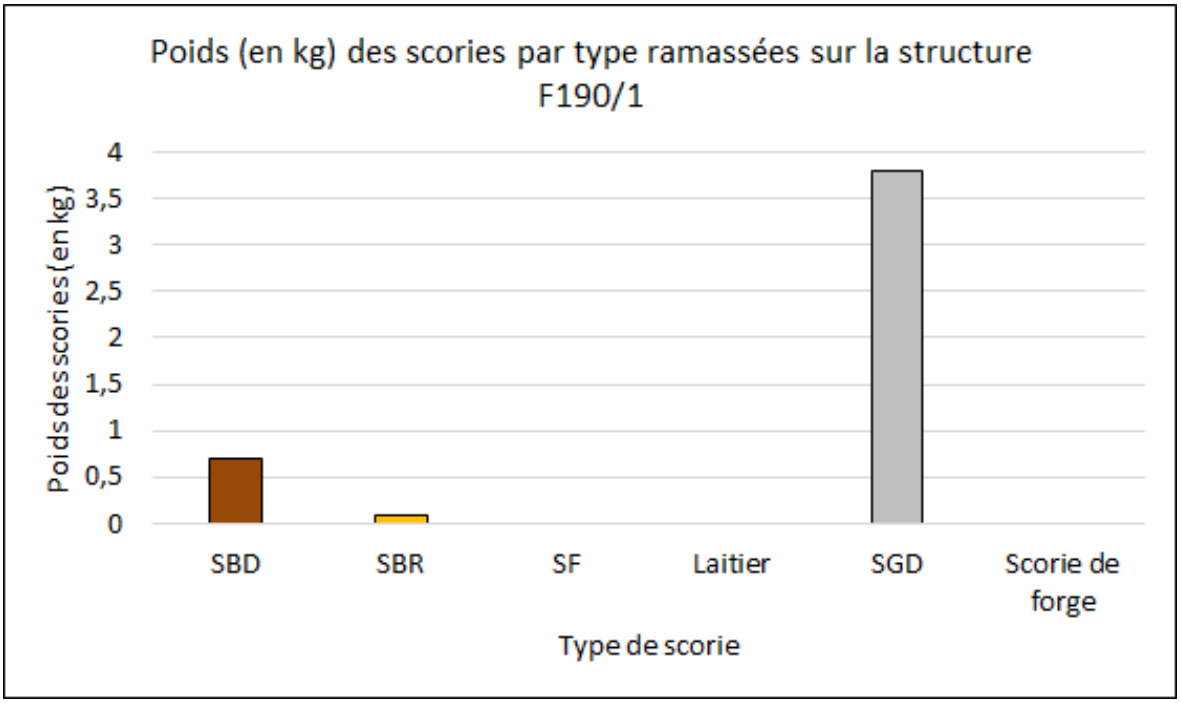
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 5 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, dont un vitrifié bleuté en surface ; 1 fragment de paroi en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques et millimétriques (0, 7 kg).

Tuyère

- 1 fragment de tuyère en argile beige à gris (0, 01 kg).



F190/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

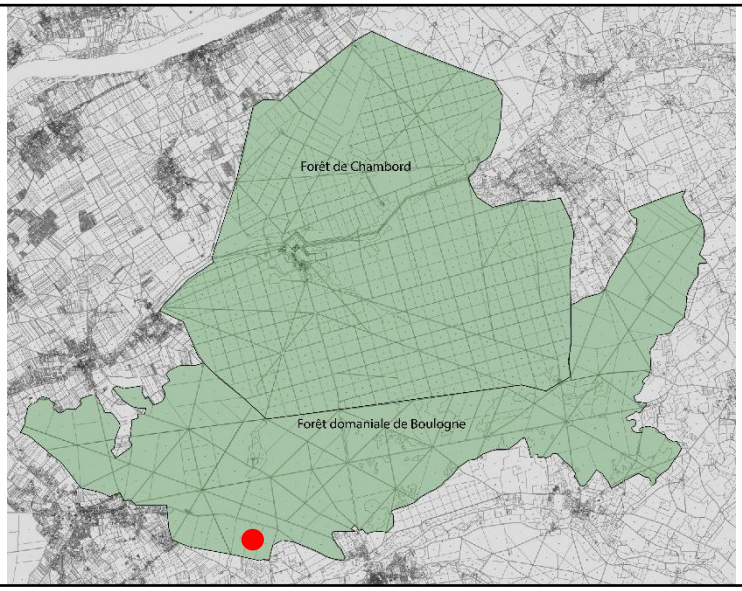
Parcelle forestière : 190

Coordonnées GPS (L93)

X : 587463,598 m

Y : 6718616,598 m

Z : 97 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 13, 5 m largeur : 7, 8 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse noire.

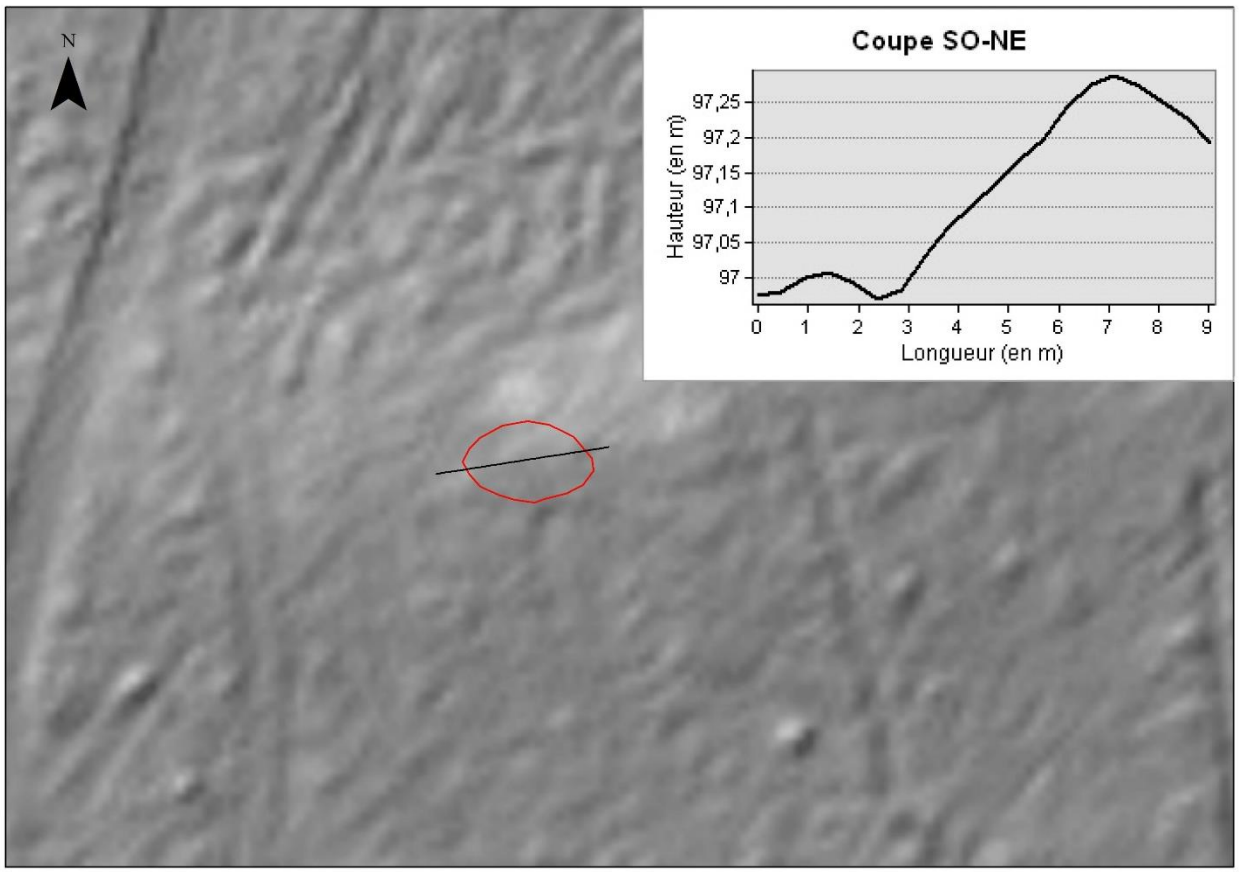
Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon et de houx. Relief peu marqué.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de très petite dimension. Il semble qu'une partie des scories soit récupérée (arasé). Les scories sont peu nombreuses et peu concentrées sauf au nord, sous le houx.

LiDAR

Image Lidar (LRM + HS315) du ferrier F190/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 10 20
Mètres

Photographie (vue vers le sud-est)



Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 14 fragments de Scorie Brune Dense ; 7 fragments de Scorie Brune Rugueuse (0, 3 kg).

Fragmentation : Importante

- 35 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais couverts d'une pellicule d'oxydation ; 8 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés (0, 5 kg).

Fragmentation : Importante

Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

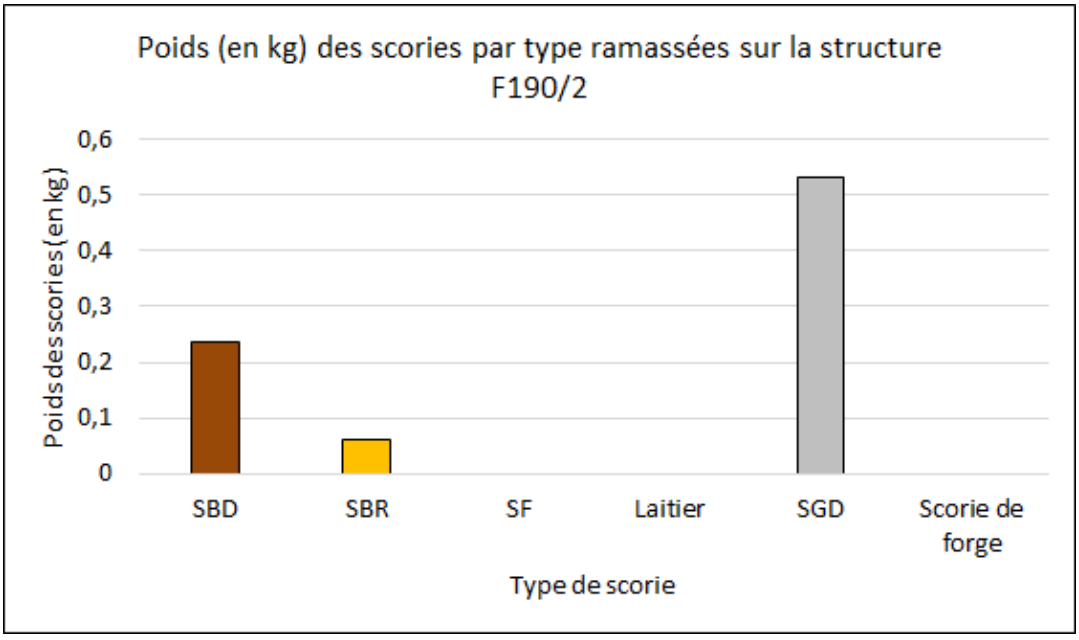
- 1 fragment de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 01 kg).

Matériau lithique

- 1 fragment de silex rouge (0, 01 kg).

Oxyde de fer

- 2 fragments d'oxyde de fer



F191/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

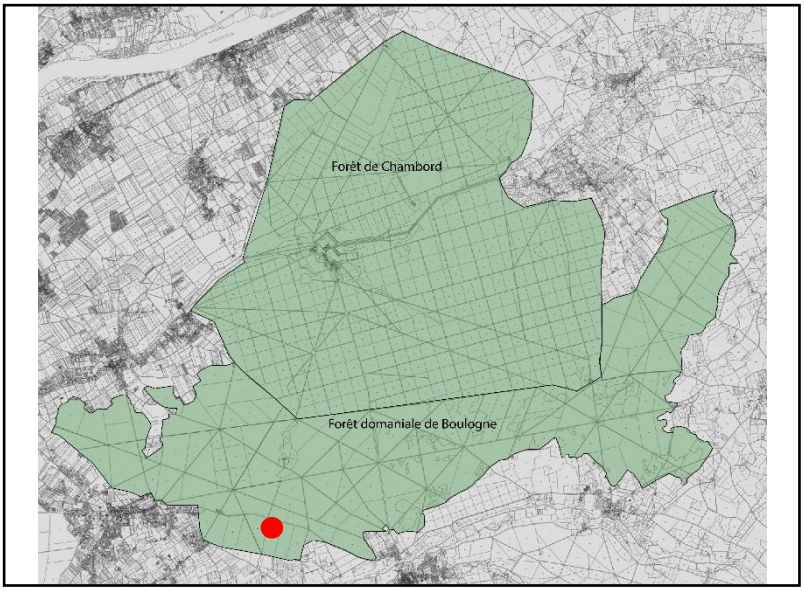
Parcelle forestière : 191

Coordonnées GPS (L93)

X : 587174,978 m

Y : 6718890,473 m

Z : 103,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Falciforme

Longueur : 13, 4 m largeur : 10, 9 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire.

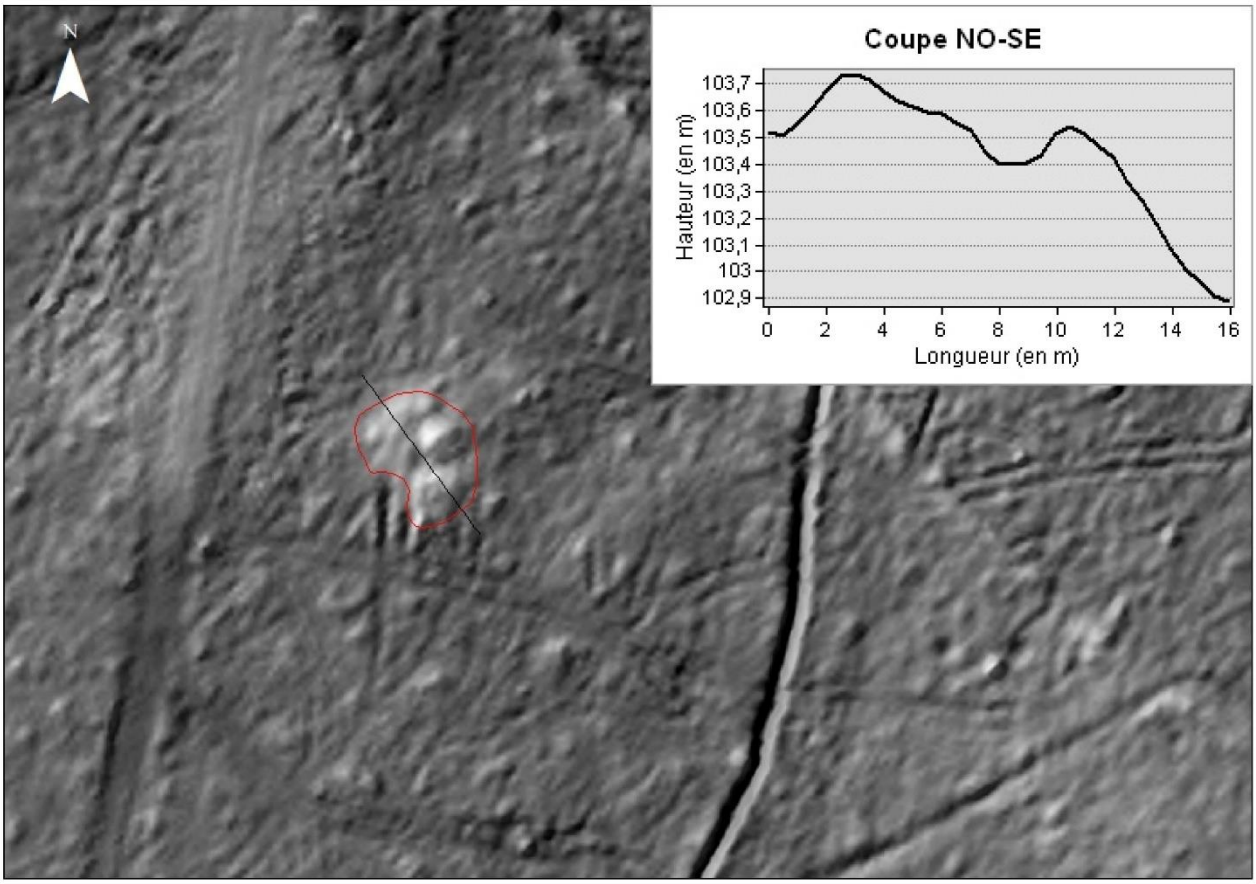
Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragon et recoupé par plusieurs sillons.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de grande taille. Les scories sont en partie récupérées au nord. Elles sont nombreuses, de grande tailles à petites et concentrées au nord/est et au sud/ouest de la structure.

LiDAR

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F191/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 12,5 25
Mètres

Photographie (vue vers le nord-est)



Description du mobilier ramassé

Poids total : **4, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de fourneau Brun Rugueux avec inclusions d'oxydes de fer et de cailloutis blancs. Présence de négatifs de charbon de bois, d'une face inférieure plane et d'une vitrification verte par endroit (2, 9 kg) ; 16 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer (0, 3 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

- 4 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 71 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (1, 5 kg).

Fragmentation : Importante

- 1 fragment de pseudo-laitier vert/bleu (0, 01 kg).

Fragmentation : Importante

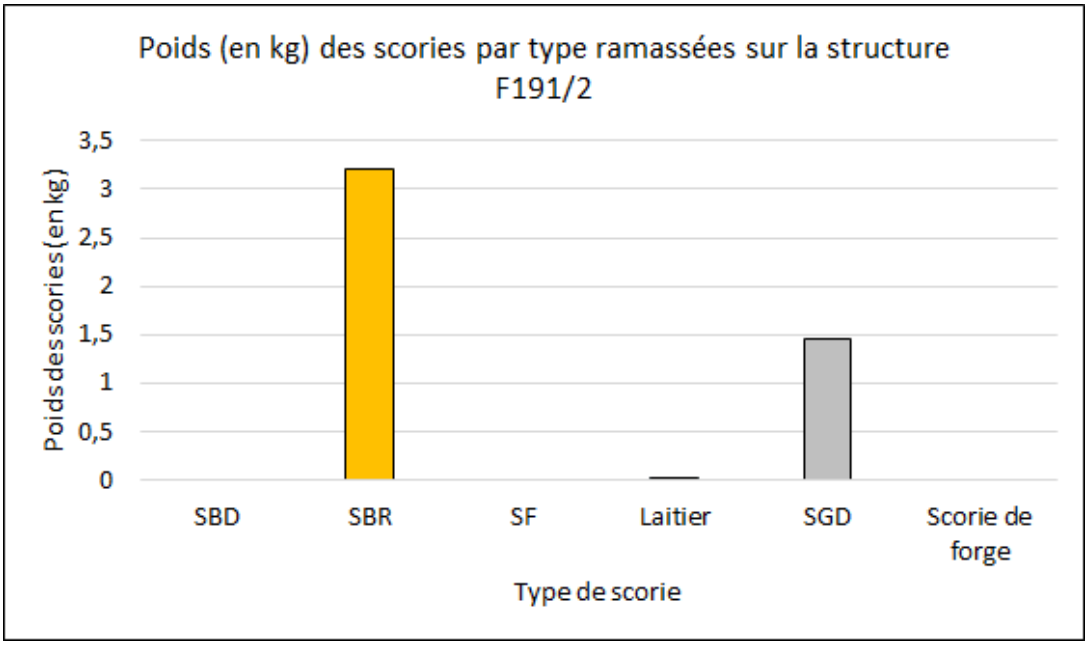
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 7 fragments de paroi en argile beige à orangée avec inclusions de quartz submillimétriques ; 1 fragment de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques et une face vitrifiée bleue ; 3 fragments de paroi en argile grise et orangée (0, 2 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 1 fragment de TCA gris avec inclusions de quartz submillimétriques d'1, 8 cm d'épaisseur (0, 1 kg).



F191/3

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

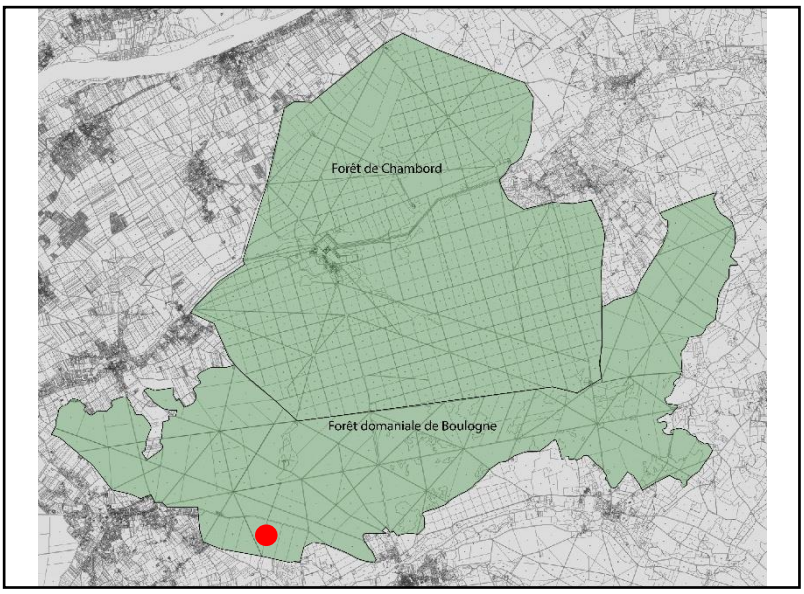
Parcelle forestière : 191

Coordonnées GPS (L93)

X : 587143,127 m

Y : 6718792,891 m

Z : 99,9 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 17, 2 m largeur : 9, 9 m Hauteur : > 20 cm

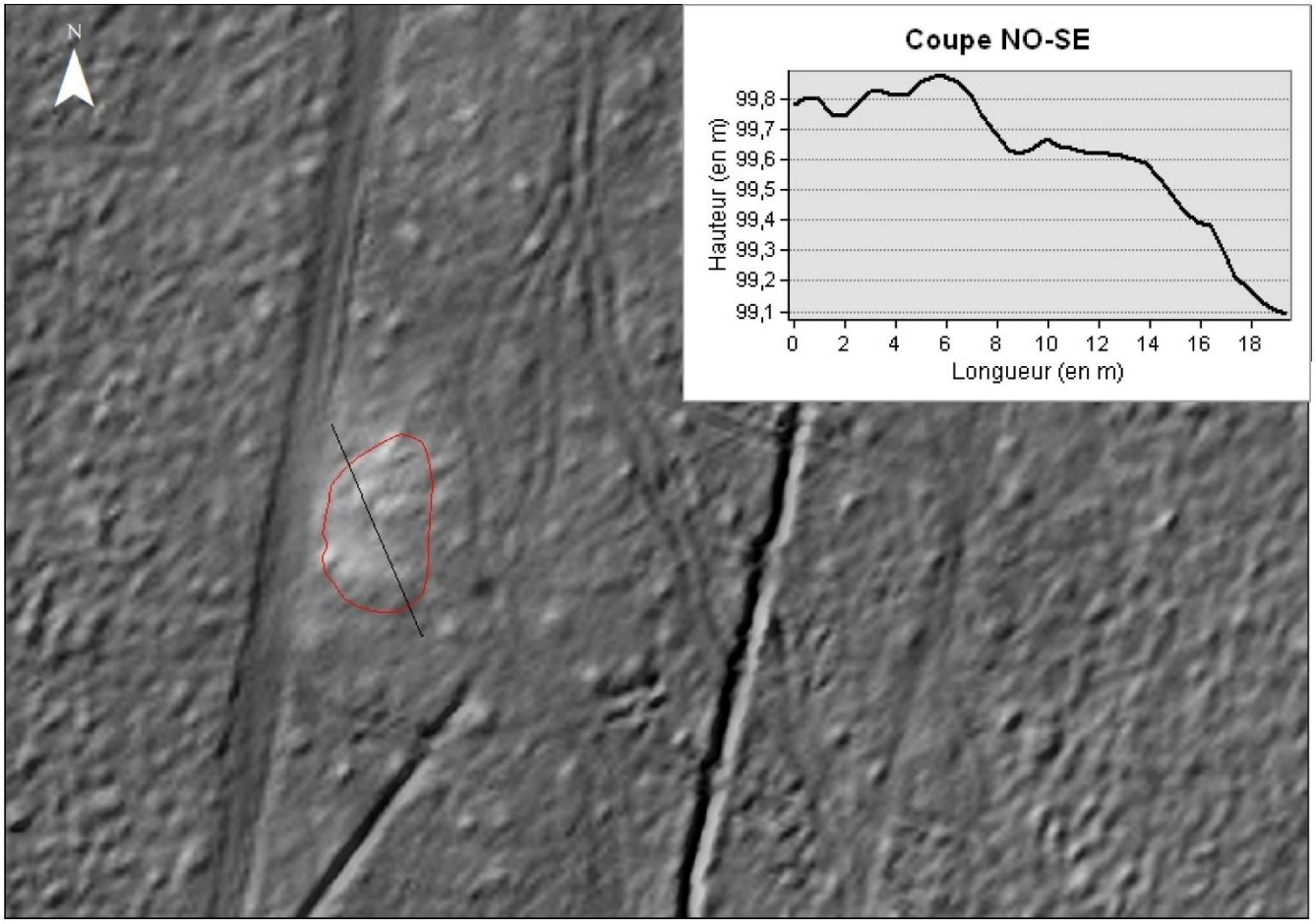
Sédiment : US limono-sableuse brune foncée à noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier recoupé par plusieurs sillons.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de grandes dimensions dont on a récupéré les scories de la partie supérieure. Les scories sont nombreuses fragmentées et assez éparses en surface. Il n'y a pas de concentration visible.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F191/3 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 12,5 25
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **3 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 24 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxyde de fer et de charbon de bois ; 1 fragment de Scorie lourde Ferreuse (0, 4 kg).

Fragmentation : Importante

- 79 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais dont 1 est associé à de la paroi en argile grise (2, 7 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

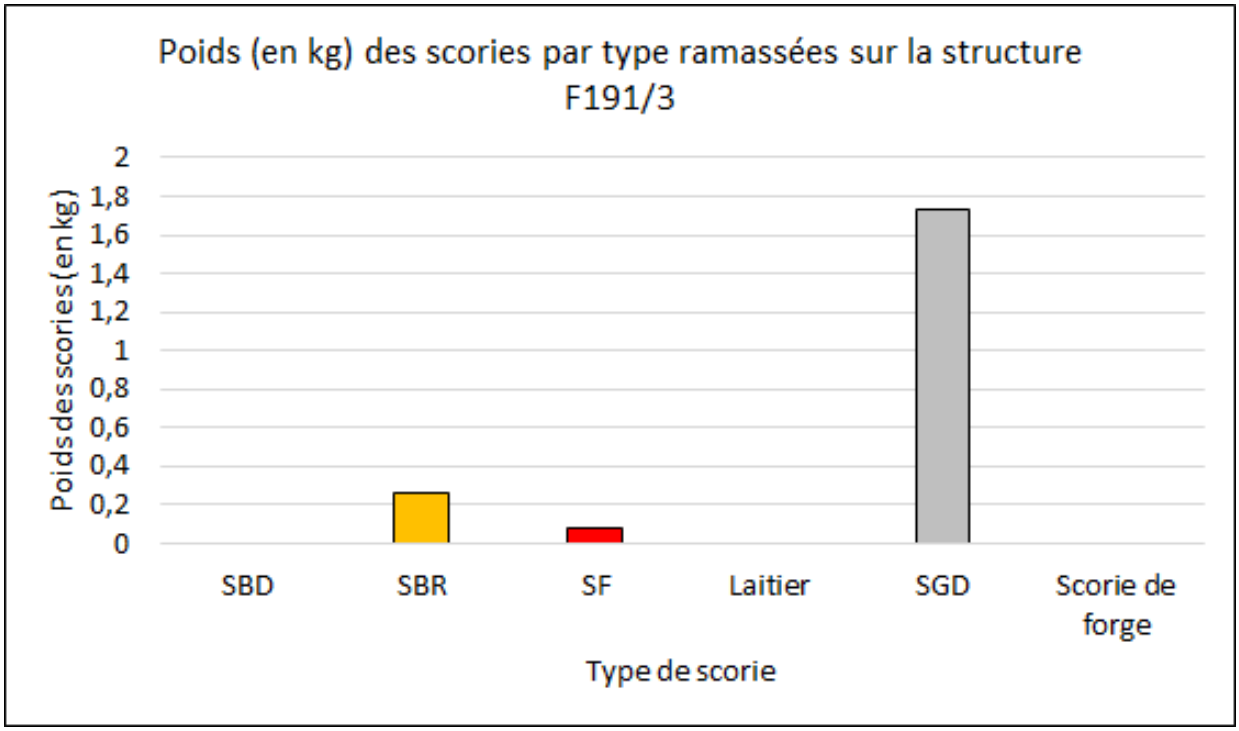
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 1 fragment de paroi en argile beige à grise (0, 01 kg).



F193/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

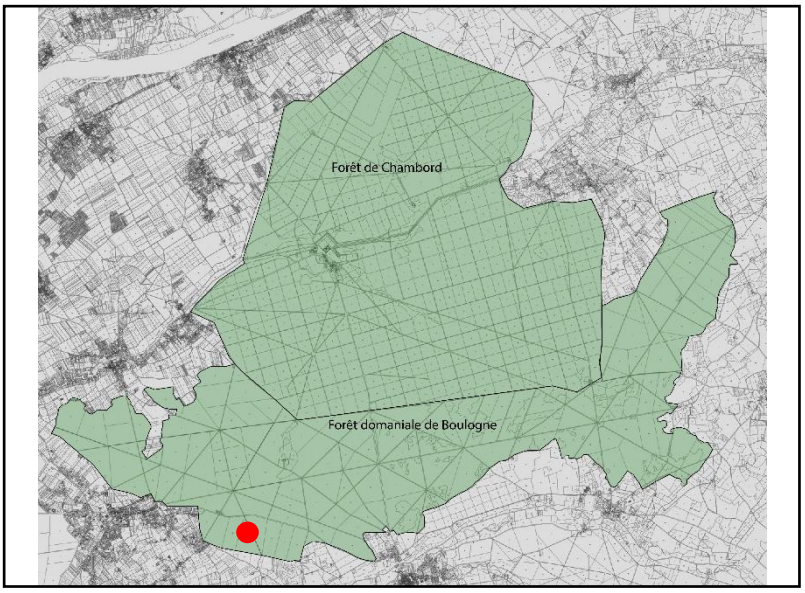
Parcelle forestière : 193

Coordonnées GPS (L93)

X : 586721,909 m

Y : 6718695,896 m

Z : 100,7 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 6, 2 m largeur : 1, 9 m Hauteur : > 20 cm

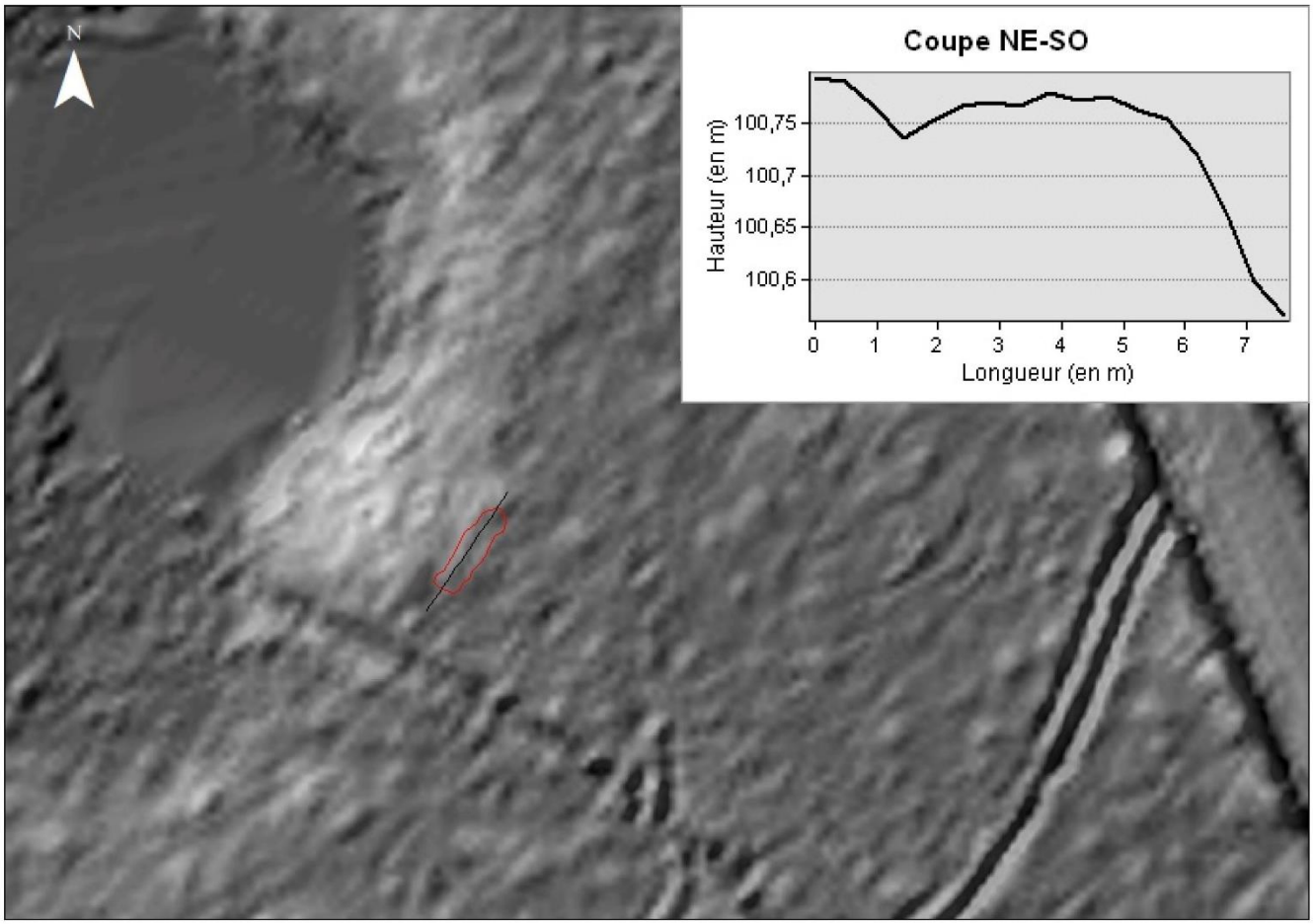
Sédiment : US limono-sableuse brun foncé à noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier situé en bord de butte à côté d'une fosse et recouvert de fragon.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de très petite taille. Il s'agit d'une petite poche de scories nombreuses et fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F193/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 7 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 3 fragments de Scorie Brune Dense (0, 1 kg).

Fragmentation : Importante

- 12 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins ; 11 fragments de Scorie Grise Dense agglomérés (0, 6 kg).

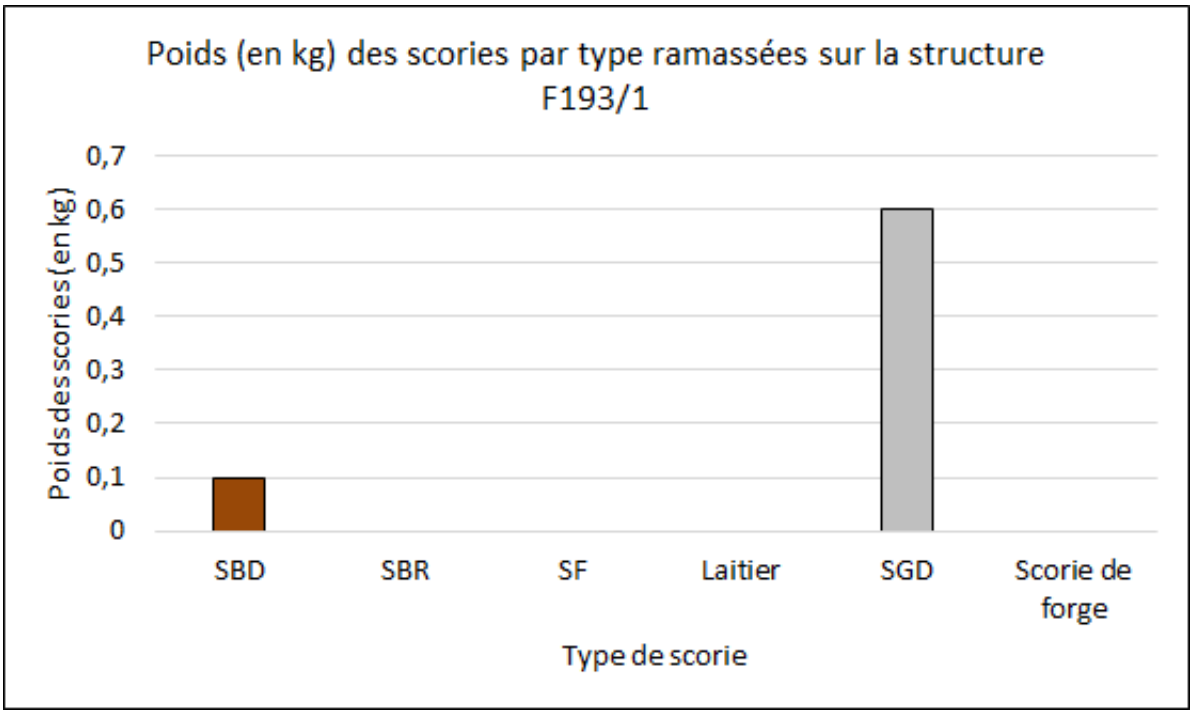
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 1 fragment de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques (0,018 kg).



F193/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

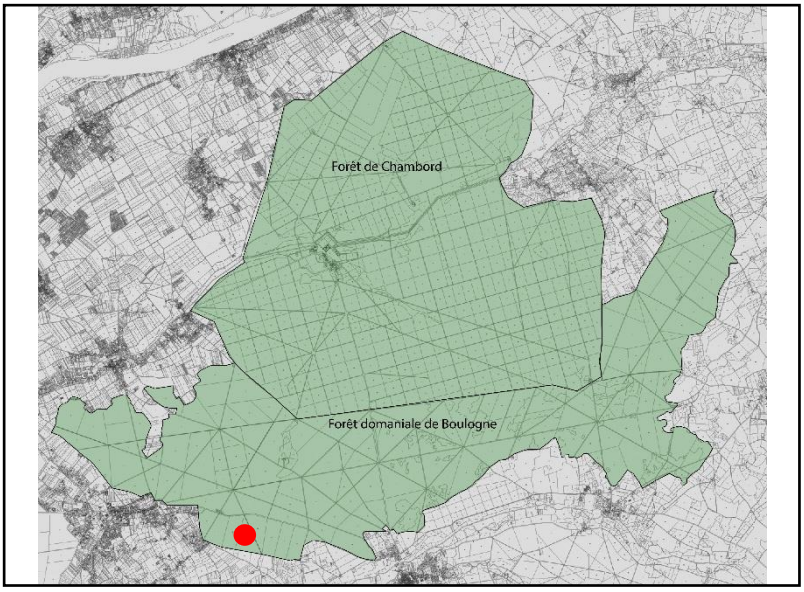
Parcelle forestière : 193

Coordonnées GPS (L93)

X : 586551,732 m

Y : 6718692,981 m

Z : 102,4 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/02/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 13, 1 m largeur : 10, 7 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse brune foncée à noire.

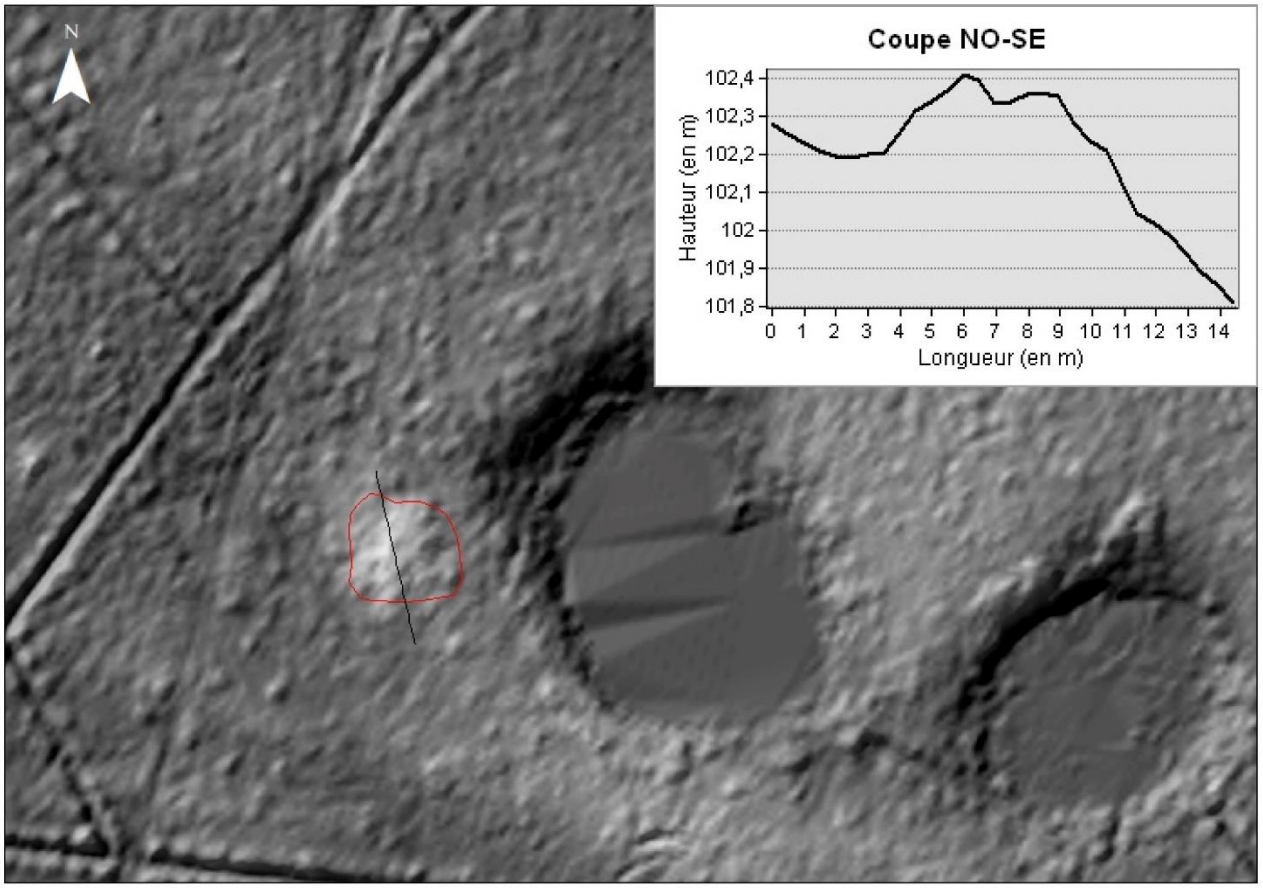
Caractéristiques environnementales : Ferrier situé à l'ouest d'une double fosse (devenu étang lors de la prospection). Présence de fragons et de houx.

Datation (^{14}C) : 6ème – 7ème s.

Observations : Ferrier de taille moyenne. Scories très nombreuses et assez éparses sauf au sommet où on trouve une forte concentration.

LiDAR

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F193/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 12,5 25
Mètres

Photographie (vue vers le sud-est)



Description du mobilier ramassé

Poids total : **4, 6 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 27 fragments de Scorie Brune Rugueuse ; 1 fragment de Scorie Brune Dense ; 9 fragments de Scorie Brune Rugueuse très légère, homogènes et à la matrice vacuolaire (1, 3 kg).

Fragmentation : Assez importante

- 54 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 7 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 2 fragments de Scorie Grise Dense agglomérés (2, 8 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

Autres mobiliers

Paroi argileuse

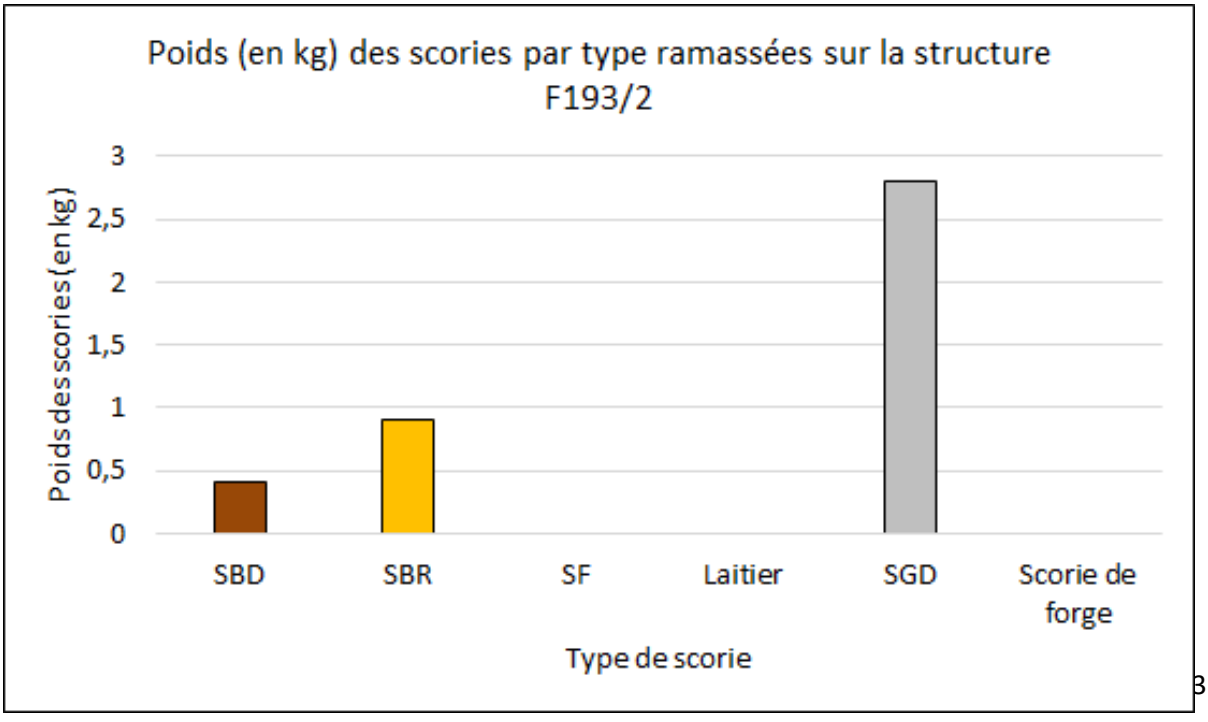
- 5 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrifiés et scorifiés par endroit (0, 1 kg).

Tuyère

- 1 fragment de tuyère en argile grise à orangée avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 01 kg).

Objet métallique

- 1 fragment métallique informe et oxydé associé à de la scorie interne (0, 03 kg).



F194/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

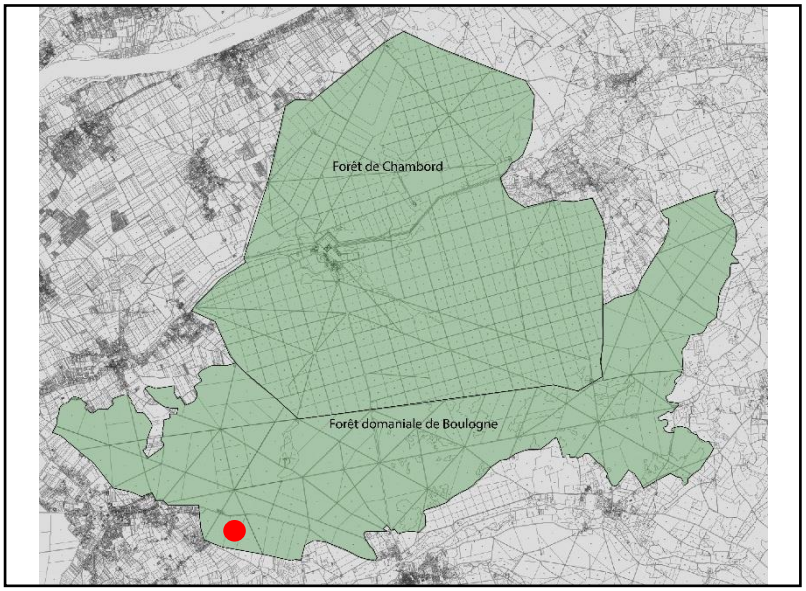
Parcelle forestière : 194

Coordonnées GPS (L93)

X : 586383,282 m

Y : 6718632,047 m

Z : 103,2 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 9 m largeur : 7, 5 m Hauteur : > 20 cm

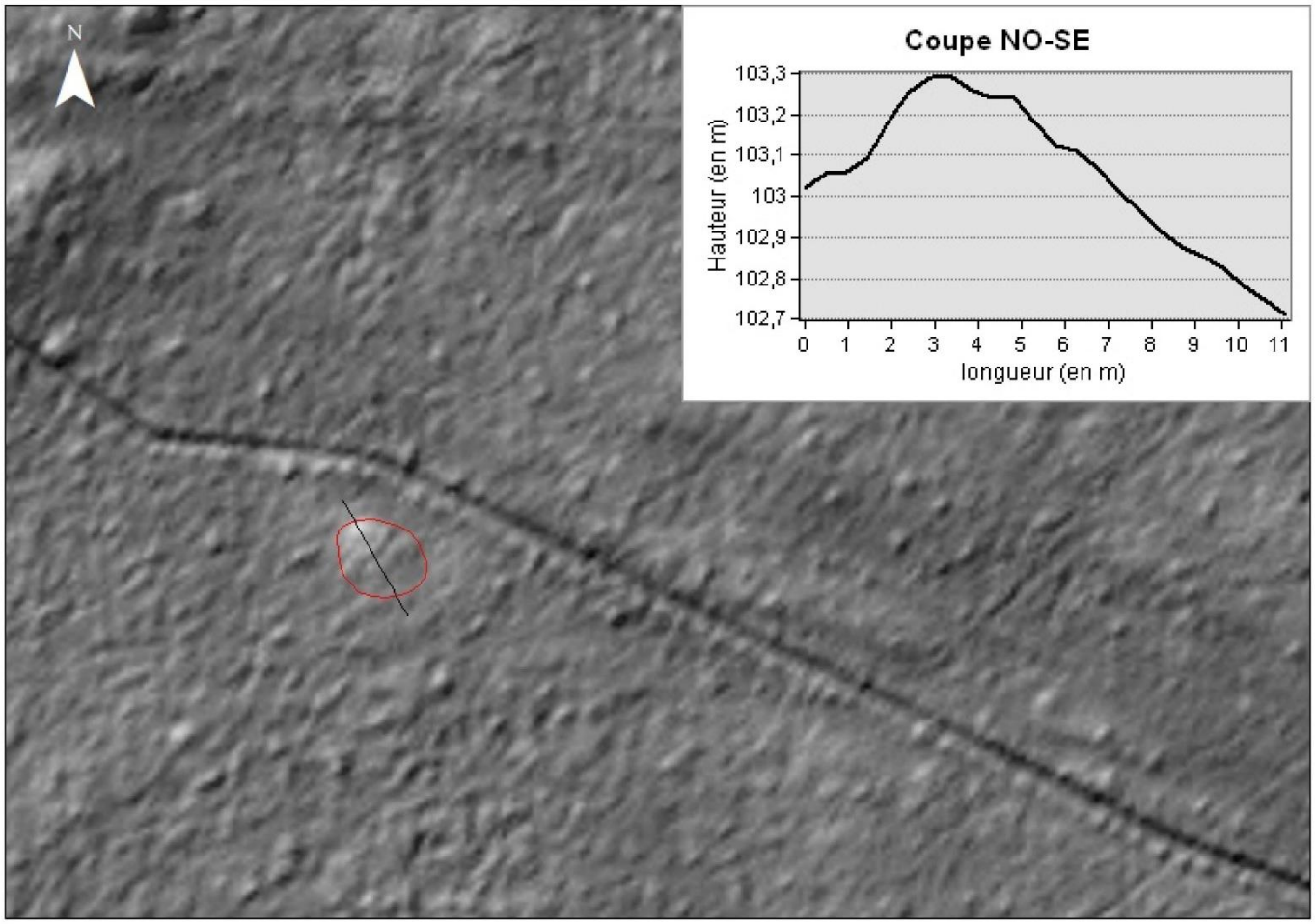
Sédiment : US limono-sableuse brune foncée à noire située sur une US sableuse beige.

Caractéristiques environnementales : Ferrier situé non loin d'une rigole et recouvert de fragons et d'arbres.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de petite taille faiblement surélevé par rapport au niveau de sol (arasé). Les scories sont concentrées au sommet. Elles sont très nombreuses et fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F194/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **2, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 12 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer, négatifs de charbon de bois et vitrification par endroit ; 11 fragments de Scorie Brune Rugueuse (0, 2 kg).

Fragmentation : Importante

- 3 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 6 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins ; 204 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 1 fragment de Scorie Grise Dense ridé (2, 5 kg).

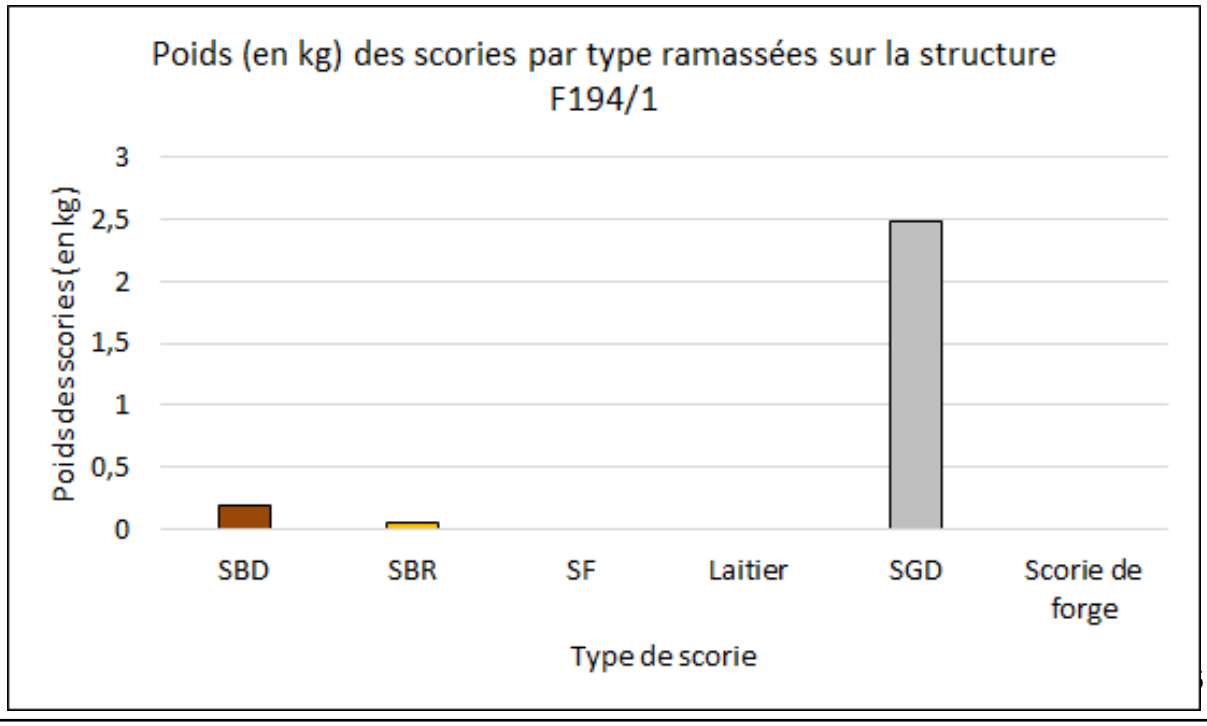
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 5 fragments de paroi en argile grises avec inclusions de quartz submillimétriques, scorifiés par endroit ; 17 fragments de paroi en argile blanche indurés avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 2 kg).



F194/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

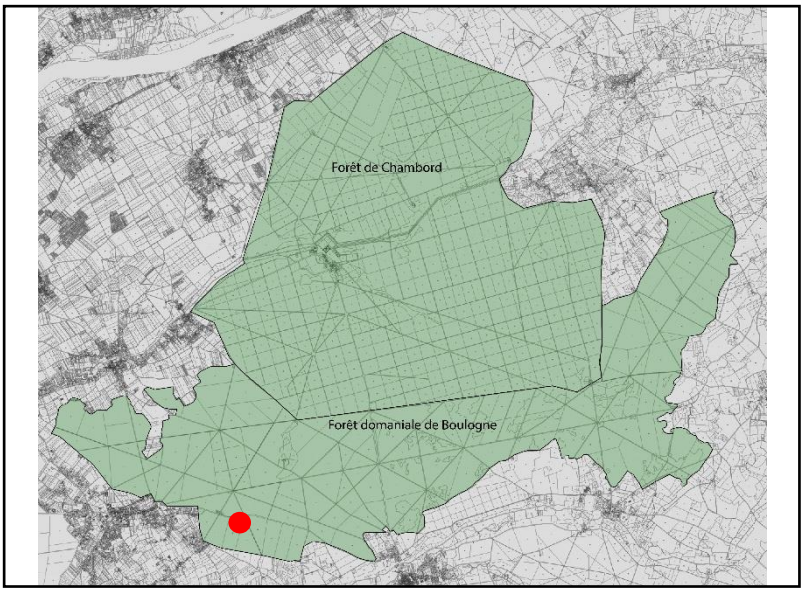
Parcelle forestière : 194

Coordonnées GPS (L93)

X : 586491,543 m

Y : 6718878,295 m

Z : 109,2 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/02/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 15, 8 m largeur : 20, 2 m Hauteur : > 20 cm

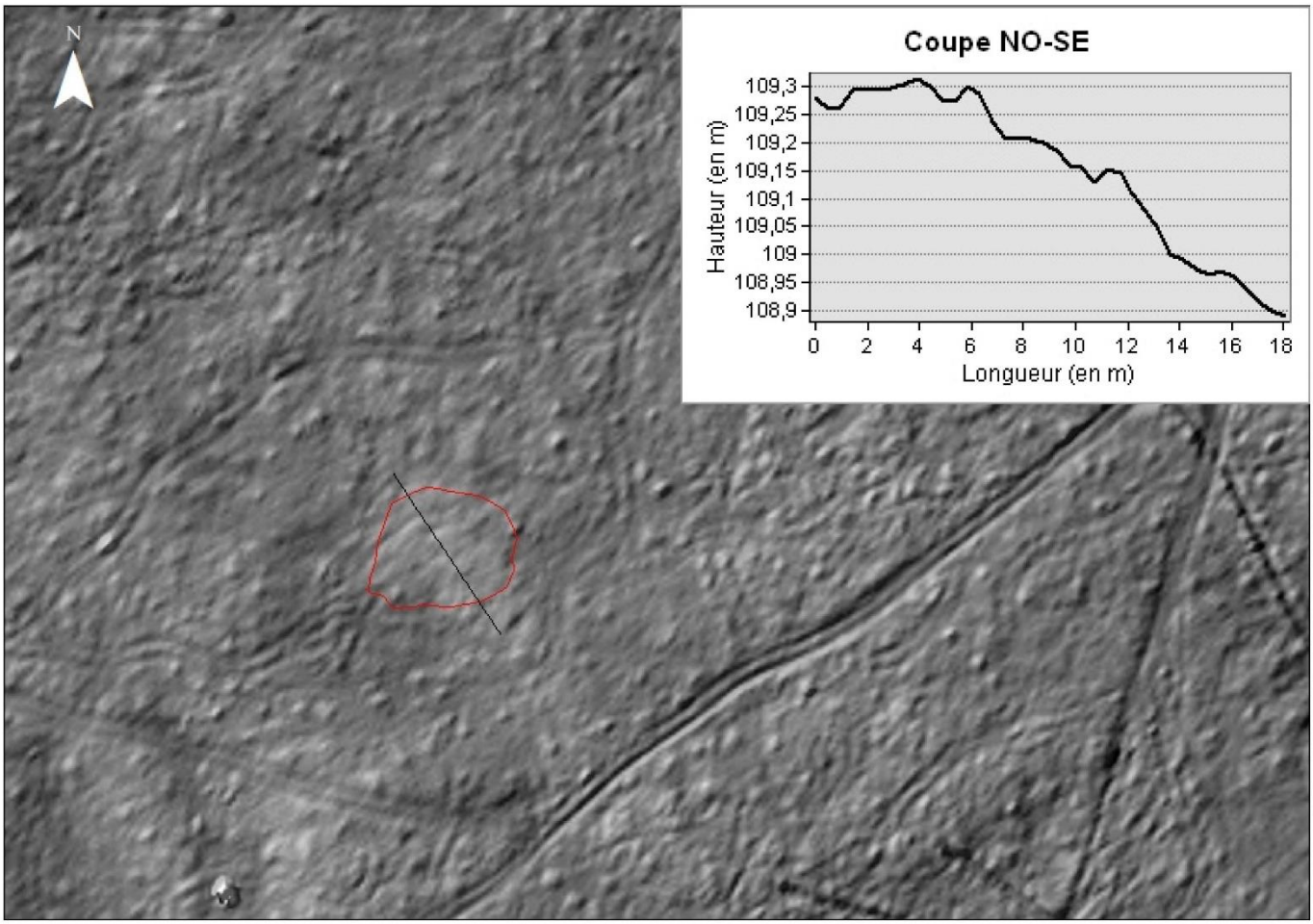
Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier sur lequel plusieurs arbres délimitent la zone mais pas de fragon.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de grande taille au relief peu marqué mais très étendu. Les scories y sont très nombreuses mais observées de façon ponctuelle notamment grâce aux trous de taupes.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F194/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 15 30 Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **11 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 15 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois ; 34 fragments de Scorie Brune Rugueuse dont 1 présente une vitrification verdâtre à l'intérieure ; 2 petits fragments de Scorie Ferreuse hétérogènes avec inclusions de cailloutis, très réactifs à l'aimant et ramassés dans la concentration C3 (0, 7 kg).

Fragmentation : Importante

- 90 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 104 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 4 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins ; 10 fragments de Scorie Grise Dense agglomérés légèrement vitrifiés en surface dont 1 présente des inclusions de laitier bleuté (10, 1 kg).

Fragmentation : Assez importante

- 1 fragment de pseudo-laitier bleuté (0, 003 kg).

Fragmentation : Importante

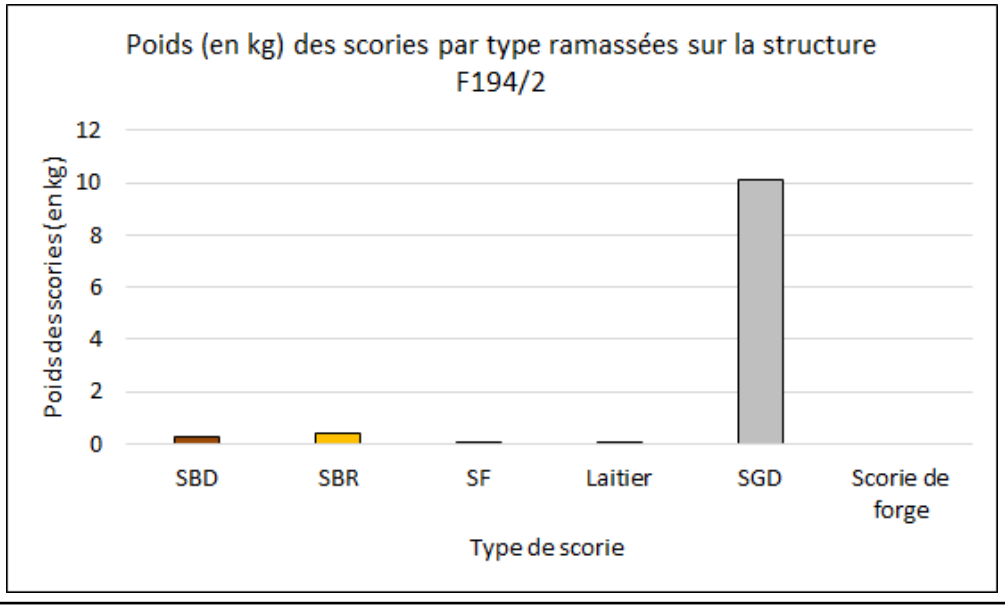
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 8 fragments de paroi en argile grise à beige avec inclusions de quartz submillimétriques et 1 fragment de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques et vitrification bleutée sur une face (0, 1 kg).

Tuyère

- 2 fragments de tuyère en argile beige à rouge scorifiés sur une face (0, 02 kg).



F195/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

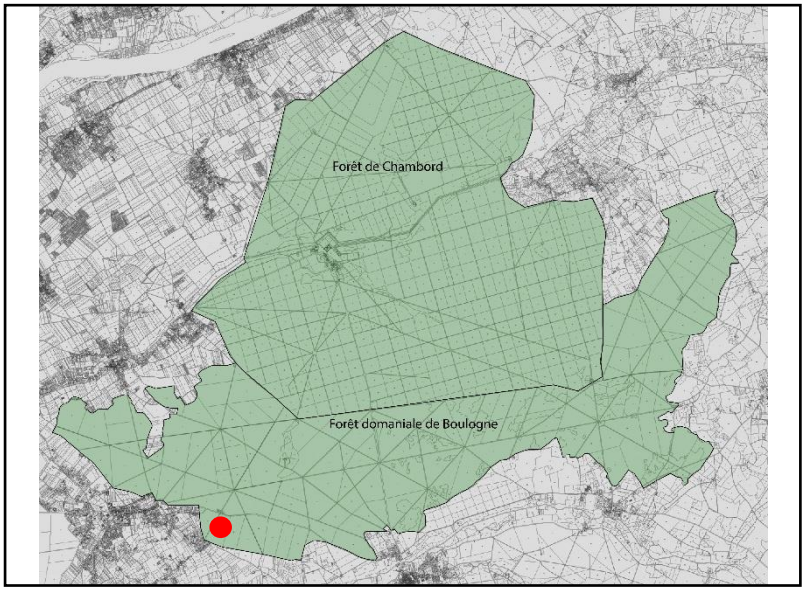
Parcelle forestière : 195

Coordonnées GPS (L93)

X : 586034,486 m

Y : 6718870,660 m

Z : 116,3 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/02/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 15, 8 m largeur : 20, 2 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire.

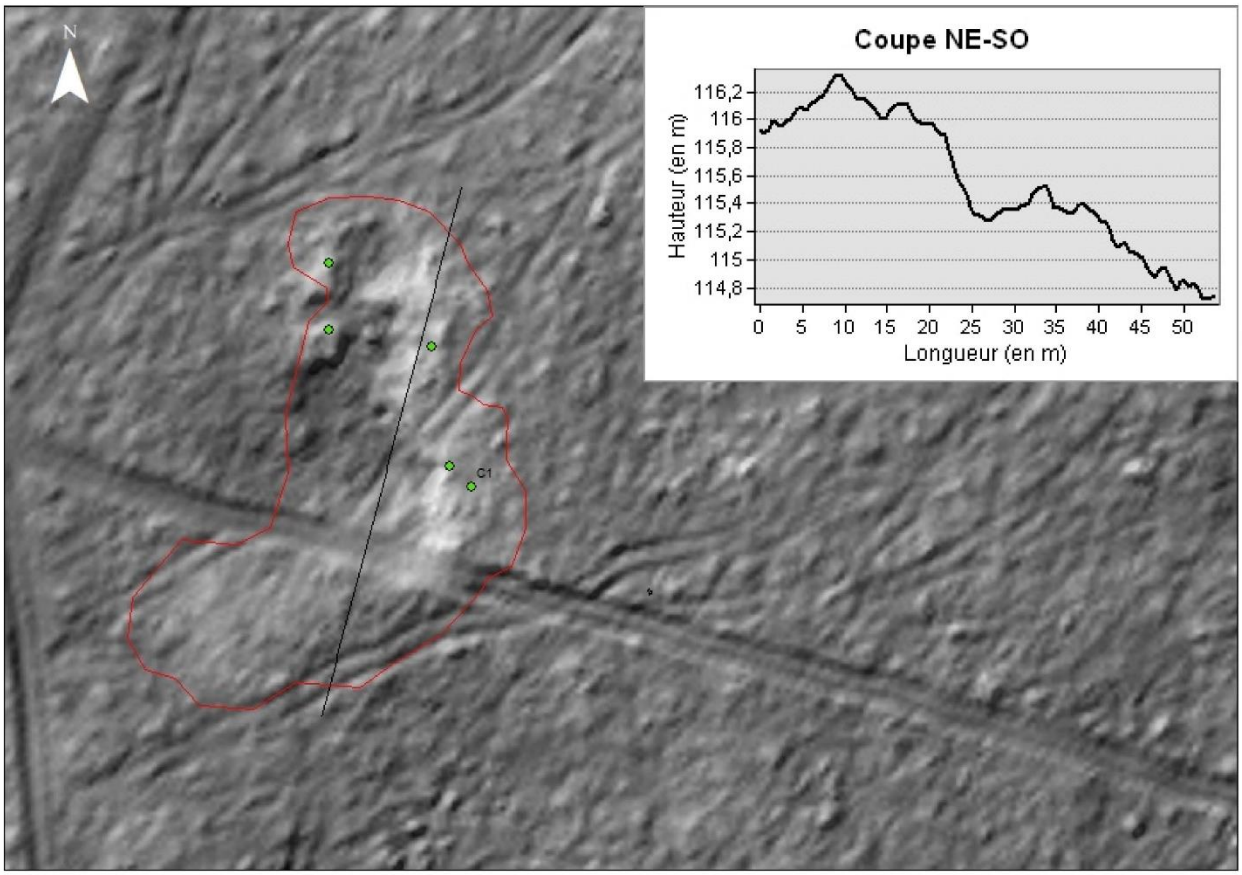
Caractéristiques environnementales : Ferrier traversé par deux chemins, l'un Est/Ouest et l'autre Nord-Est/Sud-Ouest et recouvert de fragons.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de très grande dimension. Les scories sont très nombreuses de grande à petite taille. Ferrier en grande partie récupéré présentant aujourd'hui 5 sommets où les scories sont concentrées.

LiDAR

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F195/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 12,5 25
Mètres

Photographie (vue vers l'est)



Description du mobilier ramassé

Poids total : **4, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 gros fond de four homogène, noir, avec inclusions de cailloutis. Matrice composée de petites vacuoles (0, 8 kg) ; 6 fragments de Scorie Brune Rugueuse dont l'un présente le négatif de charbons de bois et un autre une coloration blanche témoignant de la chauffe importante de la matière ; 2 fragments de Scorie Brune Dense présentant des inclusions de cailloutis blanc ; 2 fragments de Scorie Ferreuse hétérogènes en plaque avec négatif de charbon de bois et inclusions de cailloutis blanc (1, 5 kg).

Fragmentation : Assez importante

- 10 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais dont 4 présentent des cailloutis blancs sur la face inférieure et une vitrification rouge par endroit ; 4 fragments de Scorie Grise Dense agglomérés dont 3 sont légers avec négatifs de charbon de bois et matrice très vacuolaire vitrifiée par endroit ; 3 fragments de Scorie Grise Dense en plaque avec inclusions de cailloutis blancs (2 kg).

Fragmentation : Assez importante

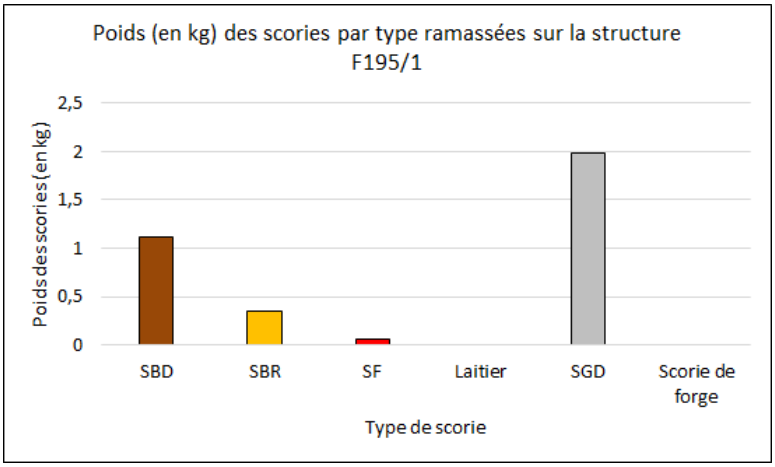
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 7 fragments de paroi en argile grise vitrifiés bleus ou verts en surface, parfois rubéfiés ou scorifiés avec inclusions de quartz submillimétriques ; 2 fragments de paroi en argile grise/noire avec une légère vitrification sur l'une des faces et inclusions de quartz submillimétriques ; 1 fragment de paroi en argile orangée, vitrifié noir sur l'une des faces avec inclusions de quartz submillimétrique (1, 3 kg) ;

Tuyère

- 1 fragment d'orifice de tuyère de 3, 4 cm de diamètre, scorifié sur toute sa longueur (8 x 6 cm). Il ne semble pas avoir fait partie d'un bloc. Quelques traces de scories sont visibles sur la partie interne de l'orifice. Pâte orangée avec inclusions de quartz submillimétrique (0, 14 kg).



F195/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

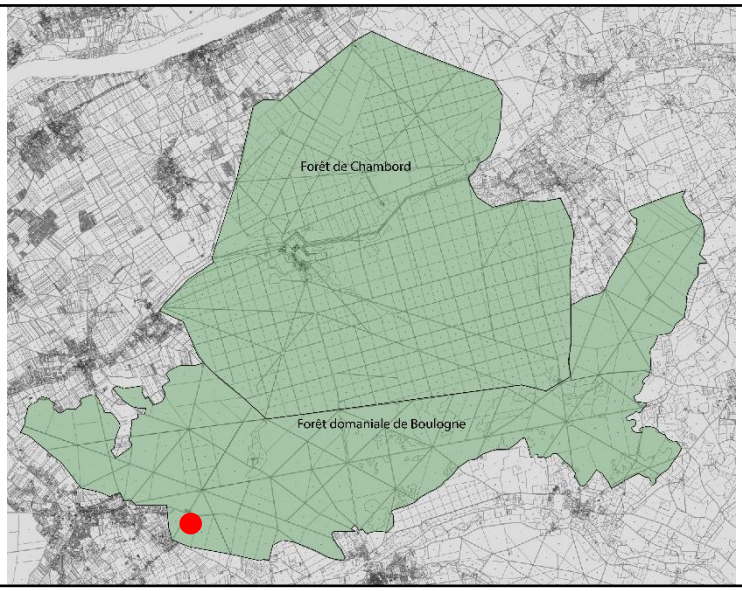
Parcelle forestière : 195

Coordonnées GPS (L93)

X : 586178,698 m

Y : 6718824,351 m

Z : 115 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/02/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 15, 9 m largeur : 6, 9 m Hauteur : < 10 cm

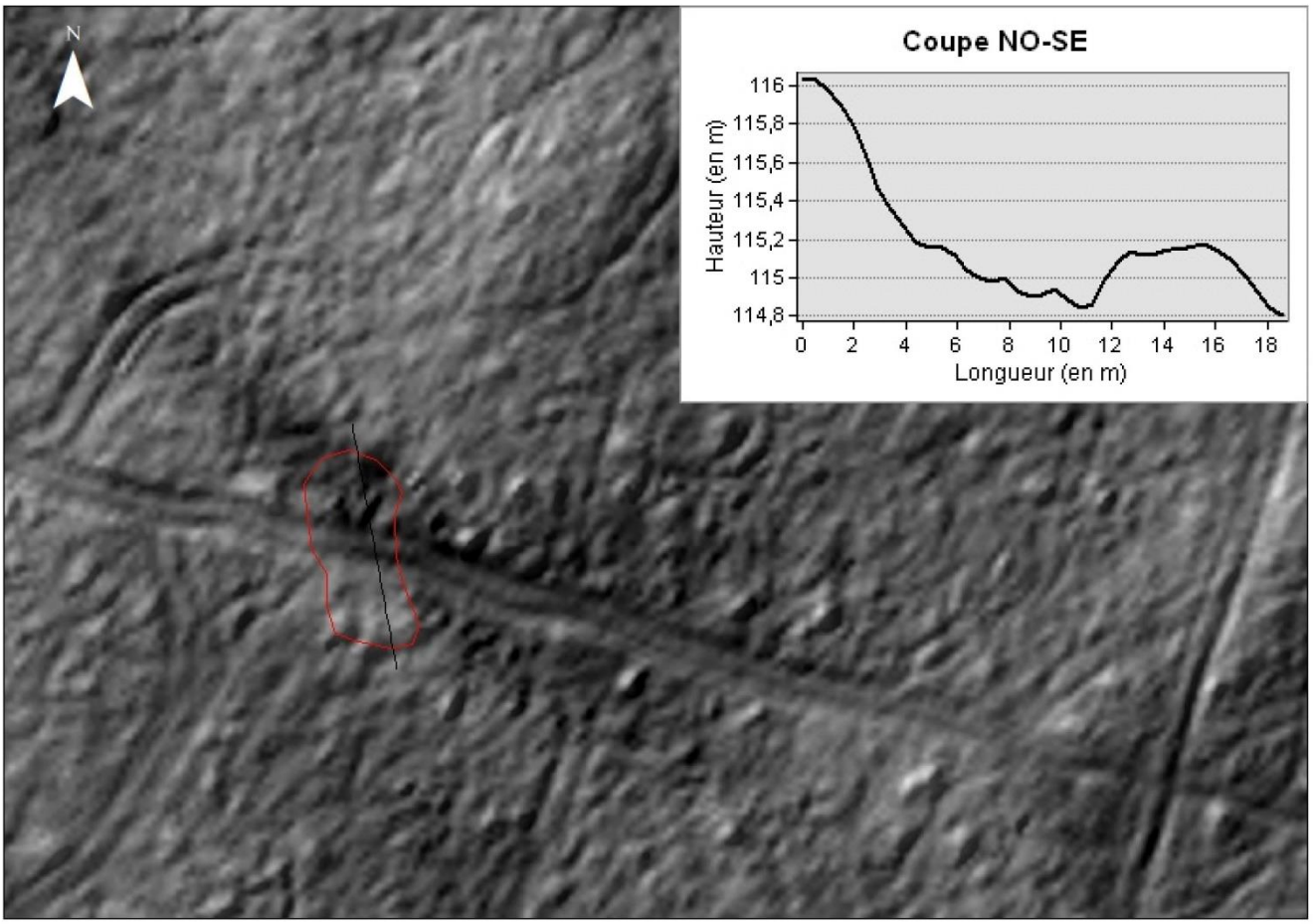
Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier de petites dimensions recouvert par des fragons et coupé par un chemin forestier Nord-Ouest/Sud-Est.

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage présentant des scories très peu nombreuses et fragmentées sur une faible profondeur.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F195/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 10 20
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 3 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 3 petits fragments de Scorie Ferreuse hétérogènes (0, 03 kg).

Fragmentation : Importante

- 7 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 23 kg).

Fragmentation : Importante

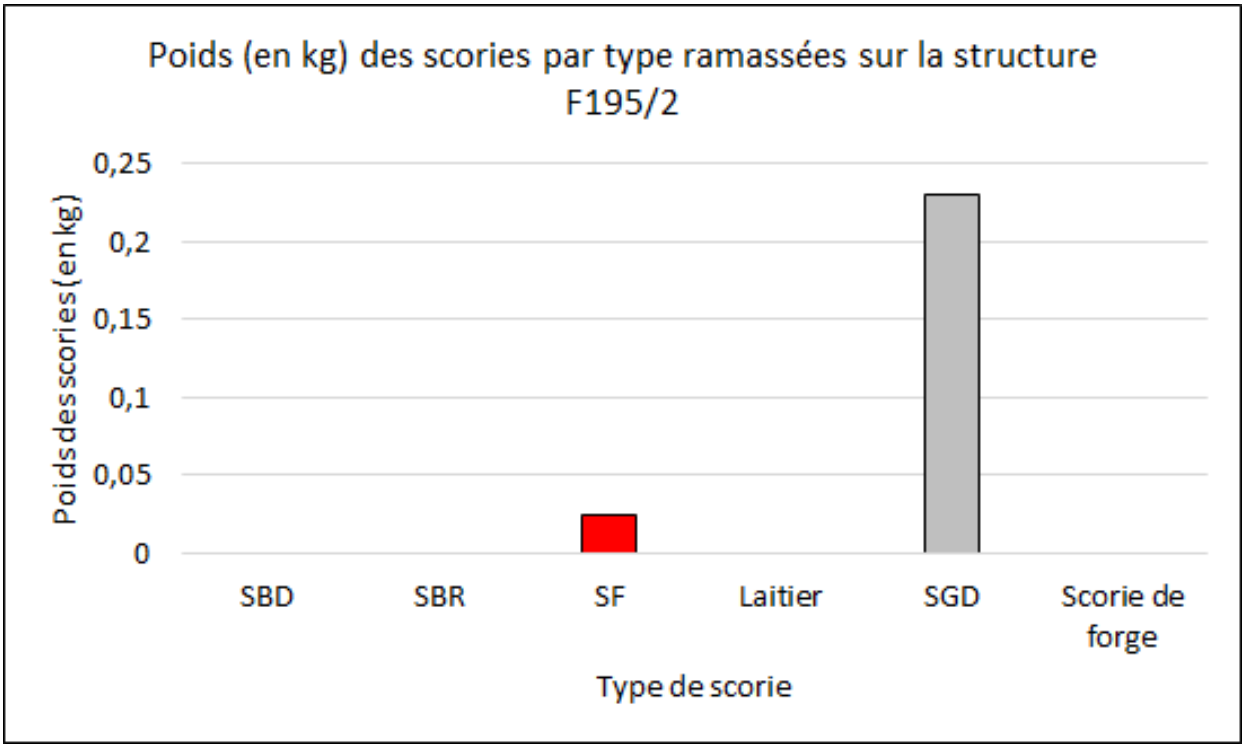
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 3 petits fragments de paroi beige avec inclusions de quartz submillimétriques, traces de chauffe et vitrification bleutée en surface (0, 04 kg).



F195/3

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

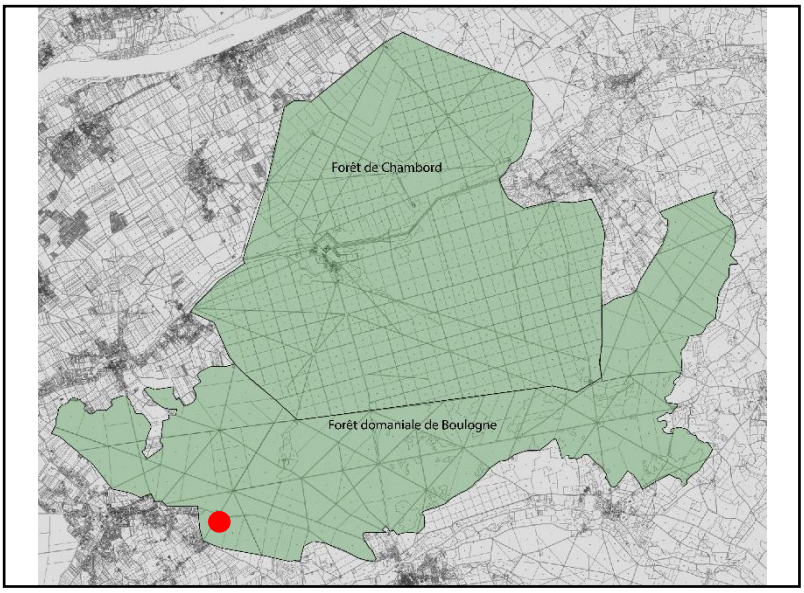
Parcelle forestière : 195

Coordonnées GPS (L93)

X : 586161,669 m

Y : 6719014,533 m

Z : 119 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/02/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 5, 3 m largeur : 3, 5 m Hauteur : > 20 cm

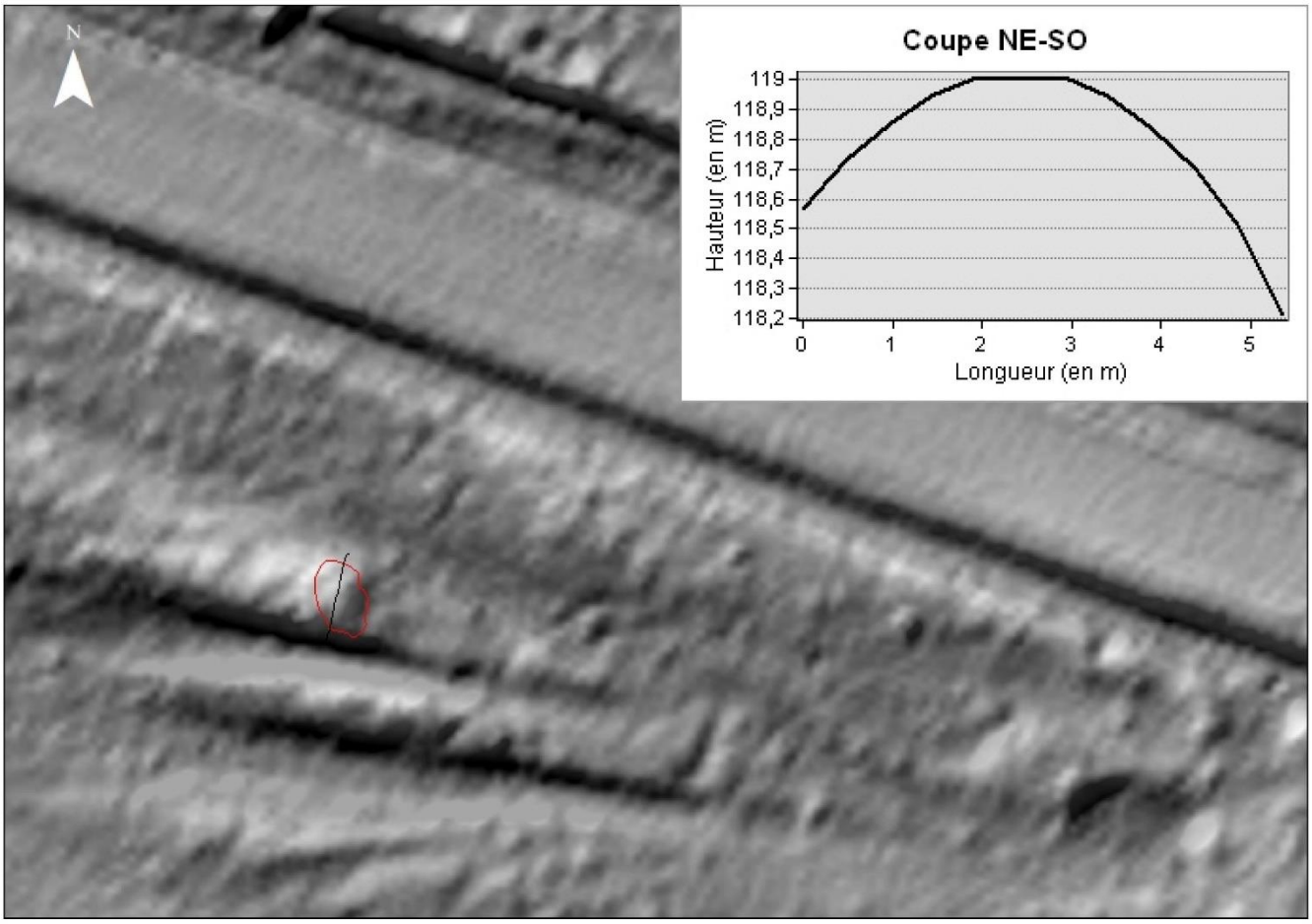
Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire située sur une US beige sableuse.

Caractéristiques environnementales : Ferrier situé au sommet d'une petite butte et recouvert de fragons.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de petites dimensions. Les scories sont peu nombreuses et concentrées au sud-est au pied d'un arbre.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F195/3 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 5 10
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 7 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer (0, 1 kg).

Fragmentation : Importante

- 53 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 1 bouchon de tuyère de 2 cm de diamètre (0, 8 kg).

Fragmentation : Importante

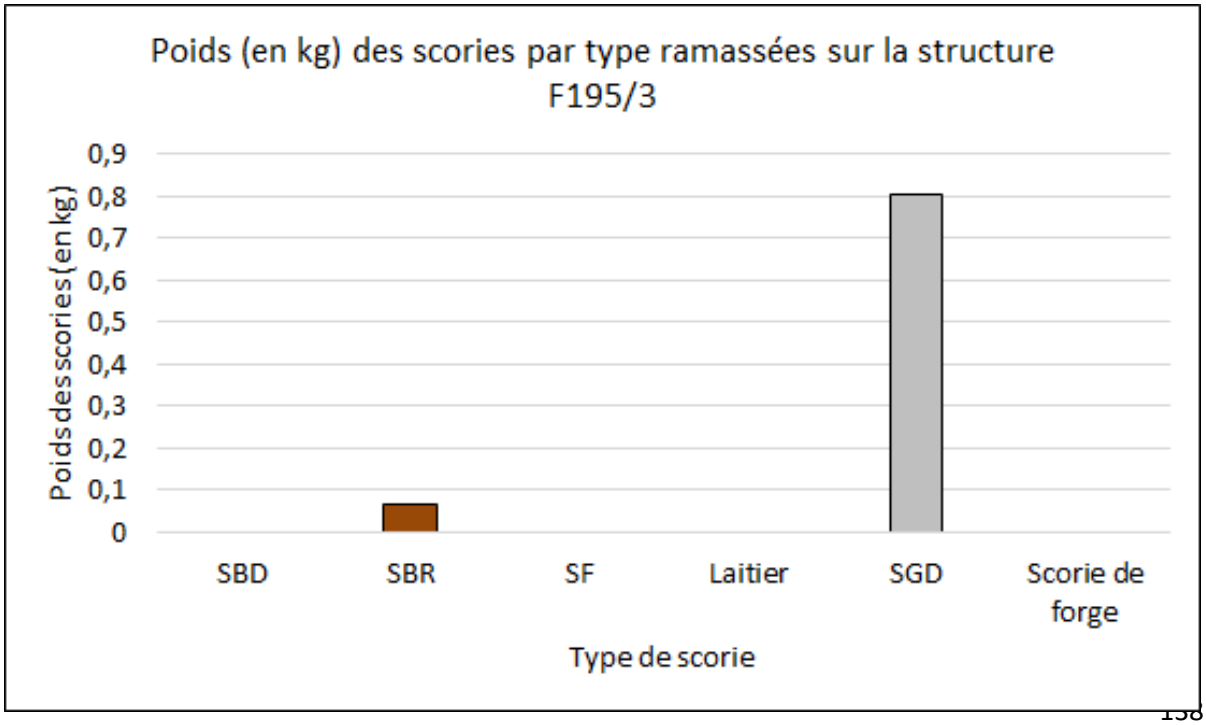
Scories de forge

- Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 3 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques et scorification sur une face (0, 03 kg).



F195/4

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

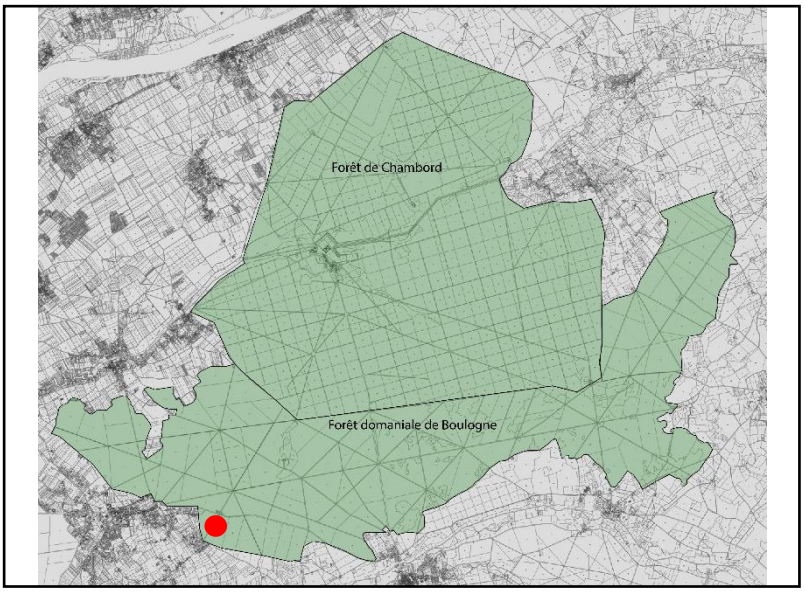
Parcelle forestière : 195

Coordonnées GPS (L93)

X : 585982,806 m

Y : 6718867,902 m

Z : 112,9 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/02/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 14, 3 m largeur : 12, 3 m Hauteur : > 20 cm

Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire située sur une US beige sableuse.

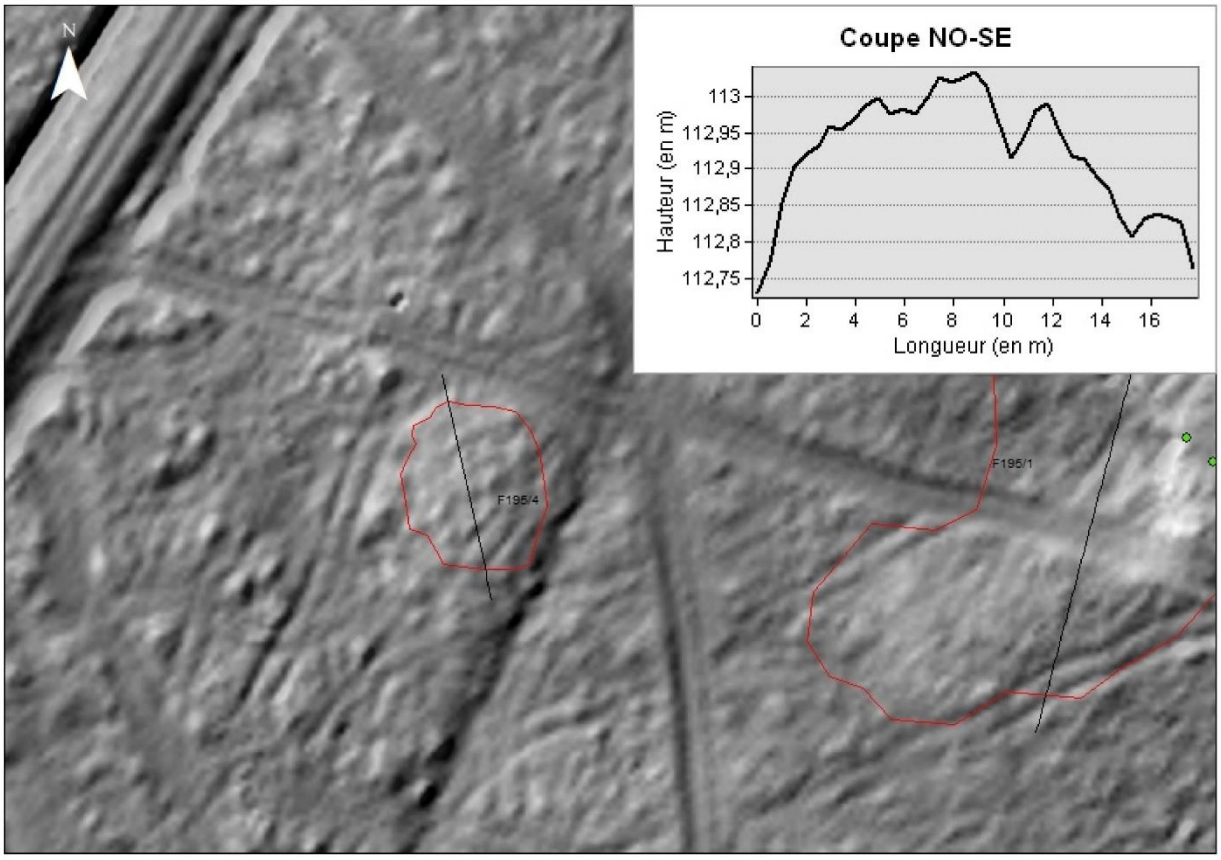
Caractéristiques environnementales : Ferrier recouvert de fragons. Léger sillon observé à l'est.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de taille moyenne comprenant de nombreuses scories concentrées et fragmentées dont la plupart sont mises en évidences par des taupinières.

LiDAR

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F195/4 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 10 20 Mètres

Photographie (vue vers le sud-est)



Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 9 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 12 fragments de Scorie Brune Rugueuse dont l'un montre une forte vitrification (probablement là ou débouchait une tuyère) et des cailloutis blancs sur sa face inférieure ; 3 fragments de Scorie Brune Dense présentant des inclusions de cailloutis blanc ; 3 fragments de Scorie Ferreuse hétérogènes avec nombreuses inclusions de cailloutis blancs et d'oxydes de fer (0, 9 kg).

Fragmentation : Importante

- 4 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins ; 8 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 7 kg).

Fragmentation : Importante

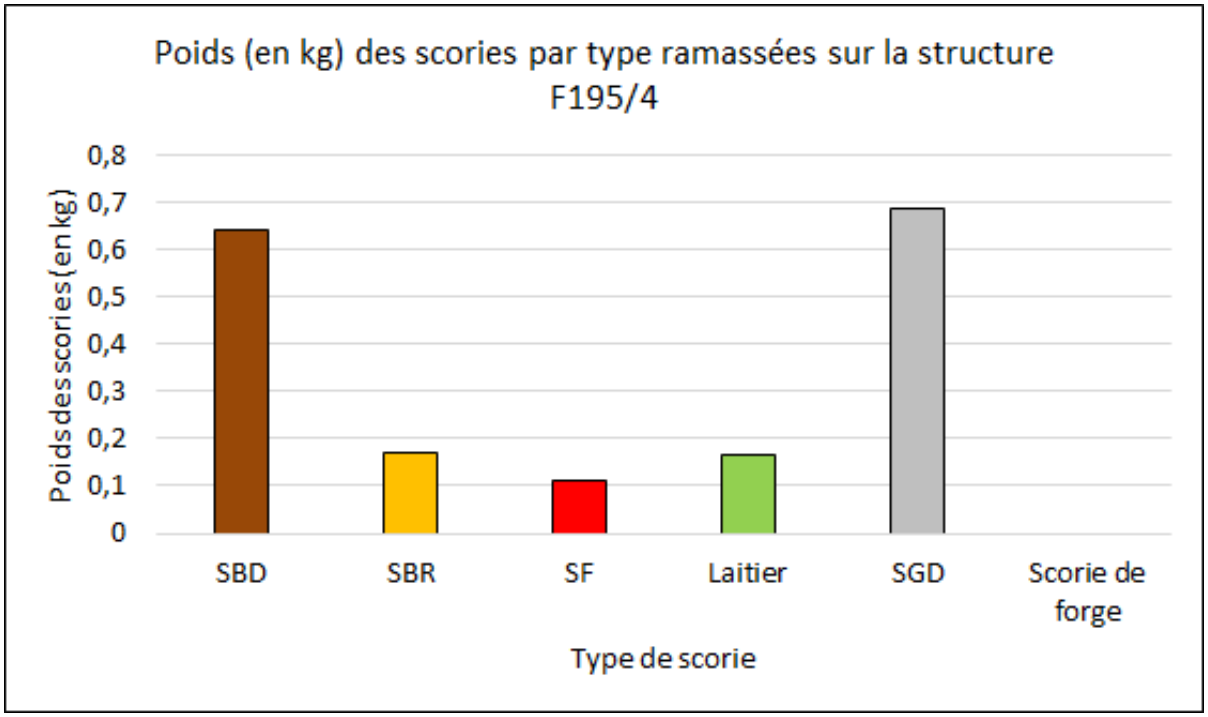
- 3 fragments de pseudo-laitier gris dense (0, 2 kg).

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 2 petits fragments de paroi en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétriques ; 2 fragments de paroi en argile beige avec des traces de chauffe grise et inclusions de quartz submillimétriques ; 3 fragments de paroi en argile grise, scorifiés avec inclusion de quartz submillimétriques (0, 2 kg).



F195/6

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

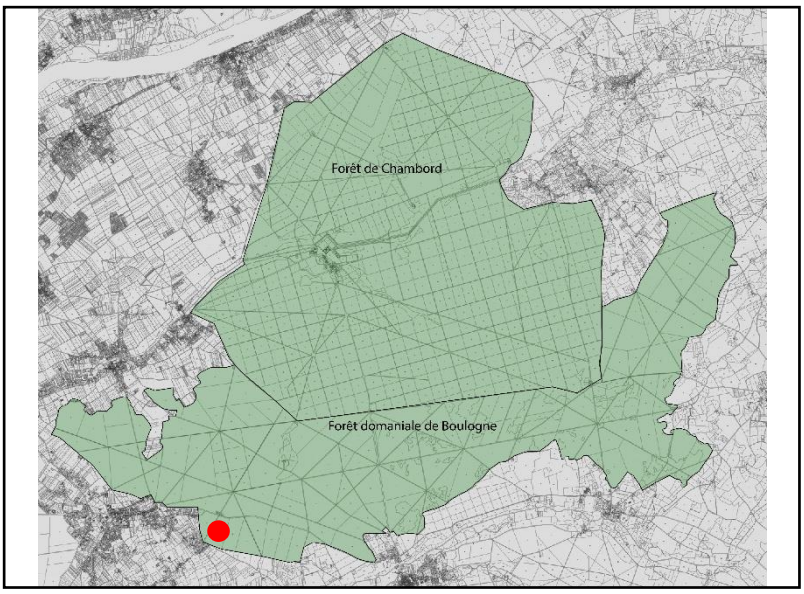
Parcelle forestière : 195

Coordonnées GPS (L93)

X : 586030,716 m

Y : 6718701,104 m

Z : 110,3 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Zone de rejet ponctuel

Forme : Indéterminée

Longueur : Indéterminée largeur : Indéterminée Hauteur : < 5 cm

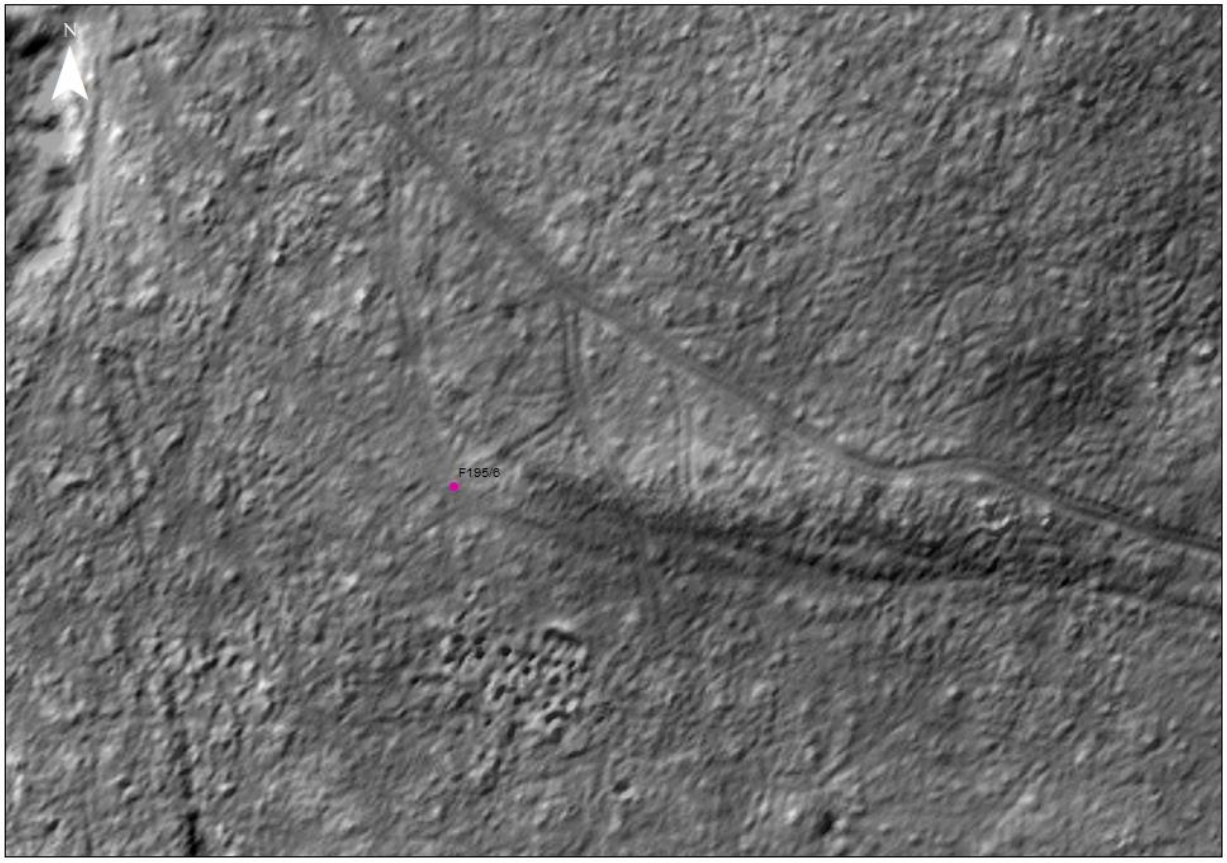
Sédiment : RAS

Caractéristiques environnementales : RAS

Datation : Indéterminée

Observations : Petit dépôt de quelques scories observées dans des taupinières.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F195/6 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 20 40
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 3 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 5 fragments de Scorie Brune Rugueuse (0, 1 kg).

Fragmentation : Importante

- 14 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins ; 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 2 kg).

Scories de forge

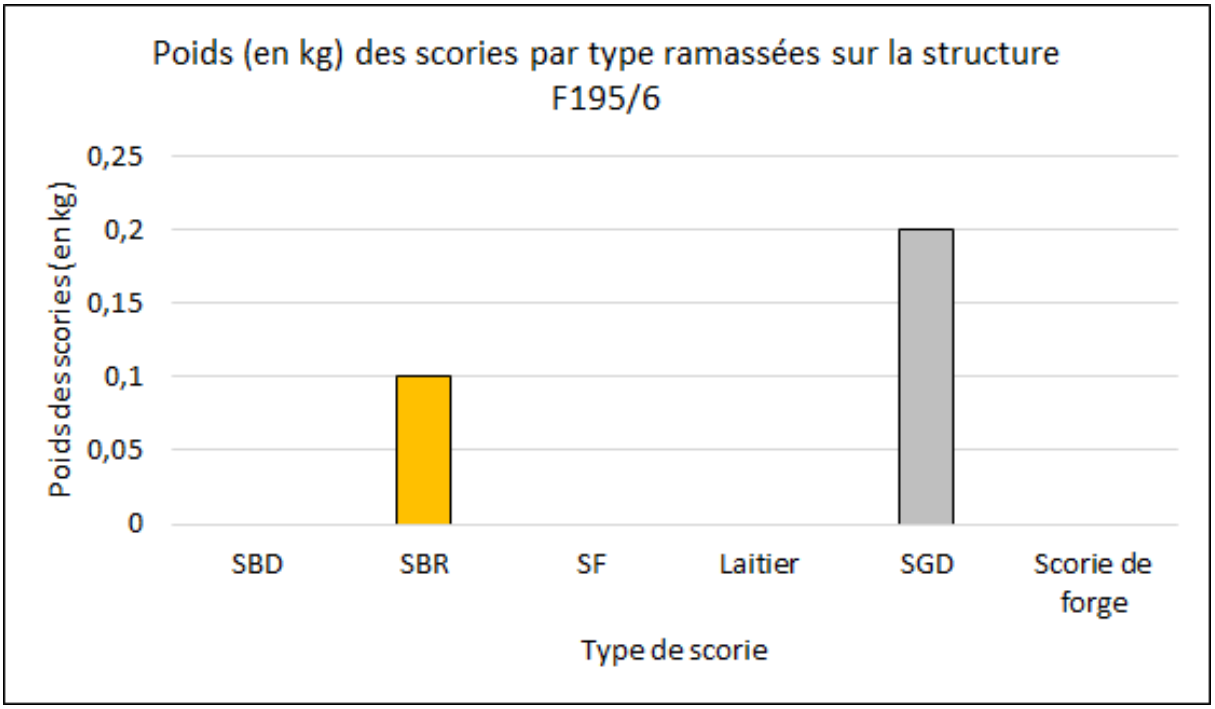
- Aucune

Fragmentation :

Autres mobiliers

Terre Cuite Architecturale

- Un fragment de TCA en argile rouge avec nombreuses inclusions de quartz submillimétriques (0, 01 kg).



F195/7

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

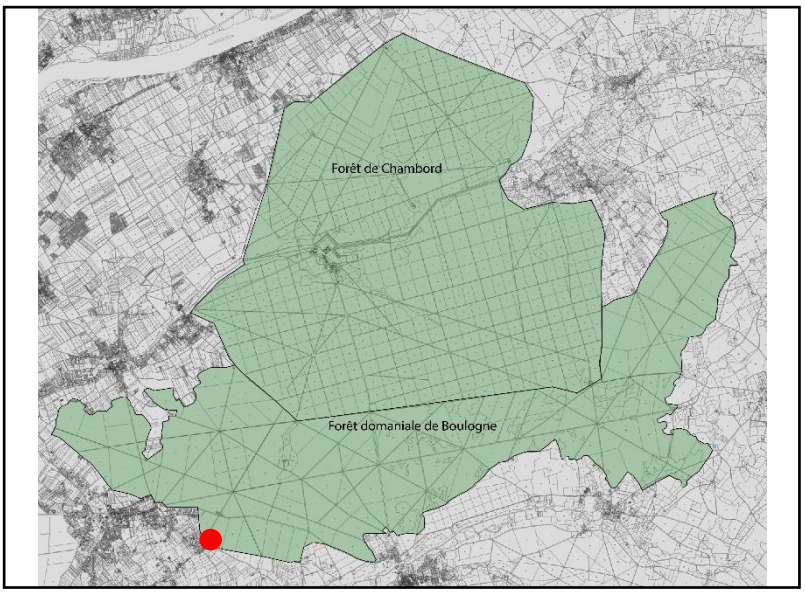
Parcelle forestière : 195

Coordonnées GPS (L93)

X : 585855,924 m

Y : 6718532,556 m

Z : 100,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/02/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Arrondie

Longueur : 2, 5 m largeur : 1, 9 m Hauteur : < 5 cm

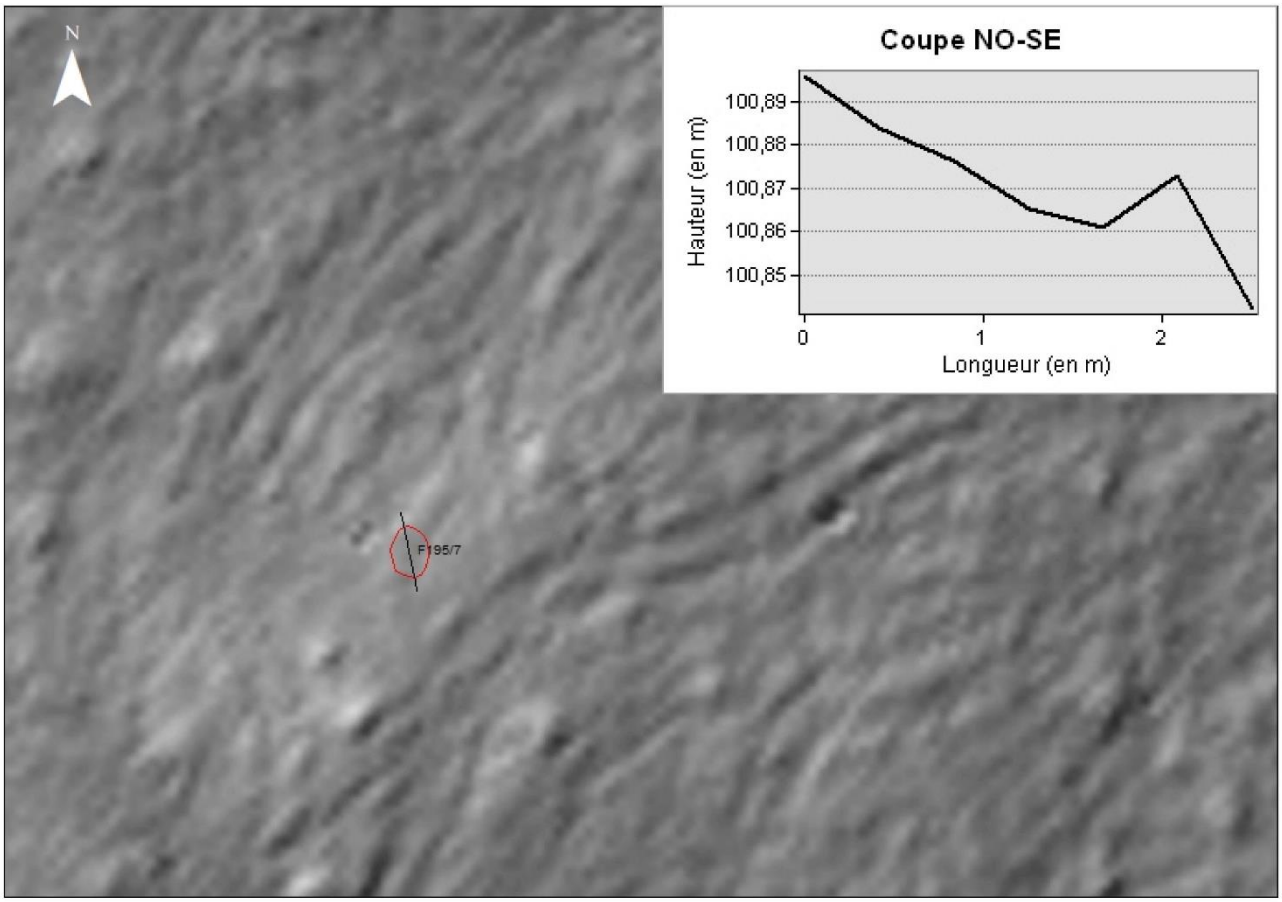
Sédiment : US limono-sableuse de couleur brune

Caractéristiques environnementales : Terrain dégagé. Pas de fragon ou autre végétation.

Datation : Indéterminée

Observations : Petit épandage sans relief. Scories peu nombreuses et éparses.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F195/7 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 5 10
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 5 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 16 petits fragments de Scorie Brune Rugueuse, légers et très oxydés en surface ; 2 fragments de Scorie Brune Dense (0, 2 kg).

Fragmentation : Importante

- 5 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais très oxydés en surface (0, 3 kg).

Fragmentation : Importante

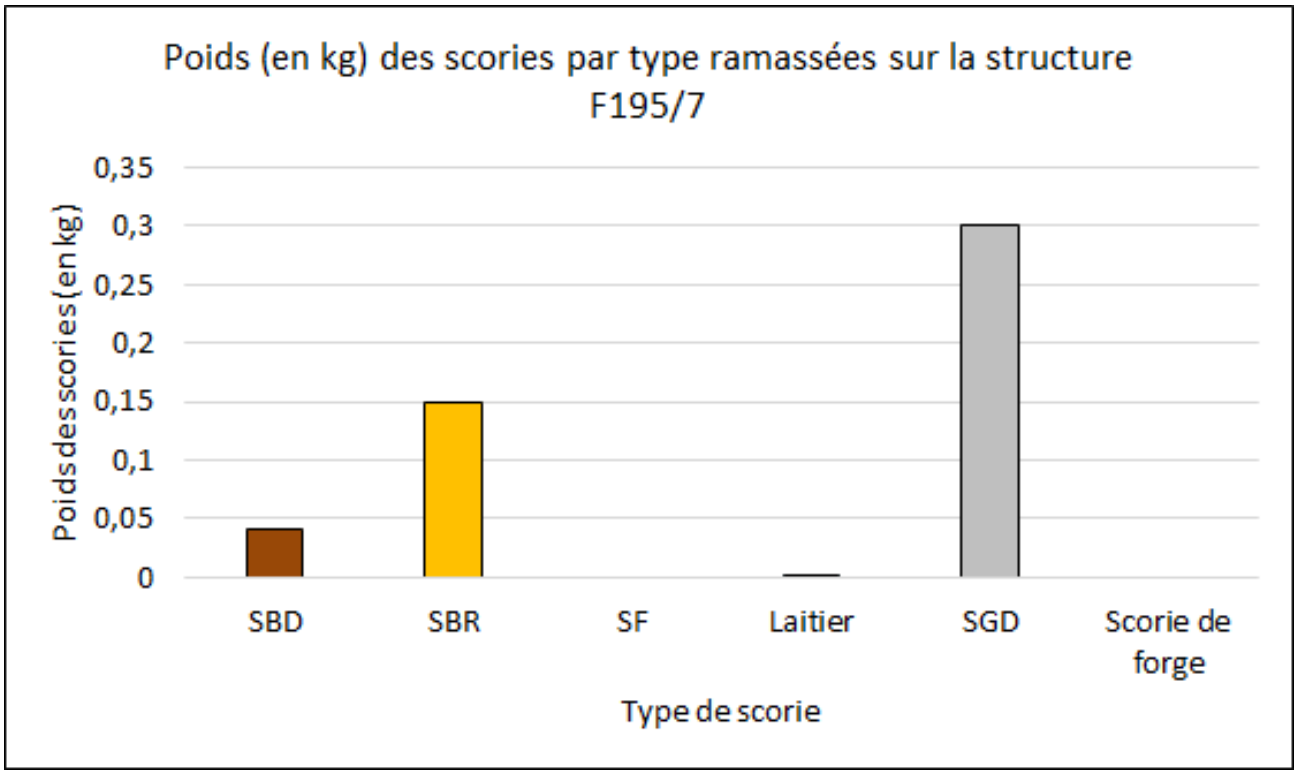
- 1 petit fragment de laitier bleu dans une gangue scorifiée (0, 001 kg).

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 5 petits fragments de parois en argile grise avec inclusions de quartz millimétriques (0, 1 kg).



F201/2

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

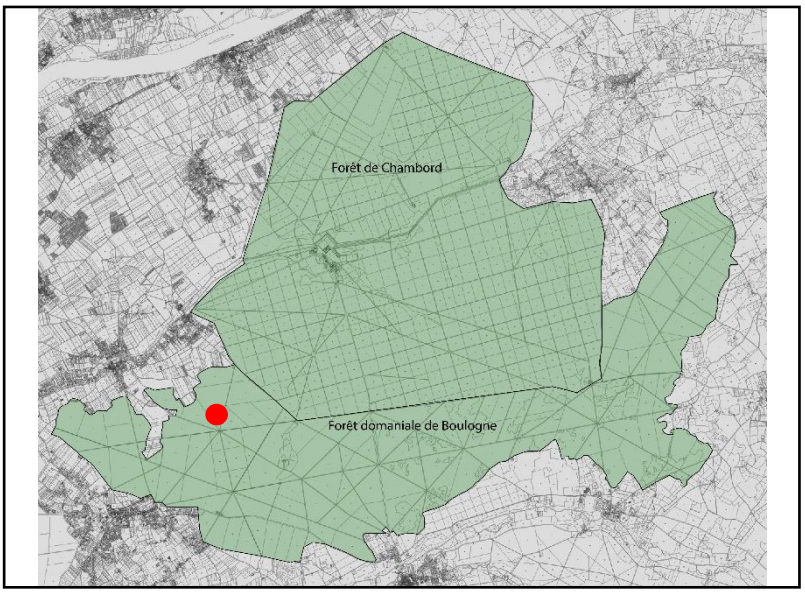
Parcelle forestière : 201

Coordonnées GPS (L93)

X : 586033,632 m

Y : 6721333,499 m

Z : 88,3 m



Enregistrement

Date de prospection : 10/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 19, 3 m largeur : 13, 7 m Hauteur : < 10 cm

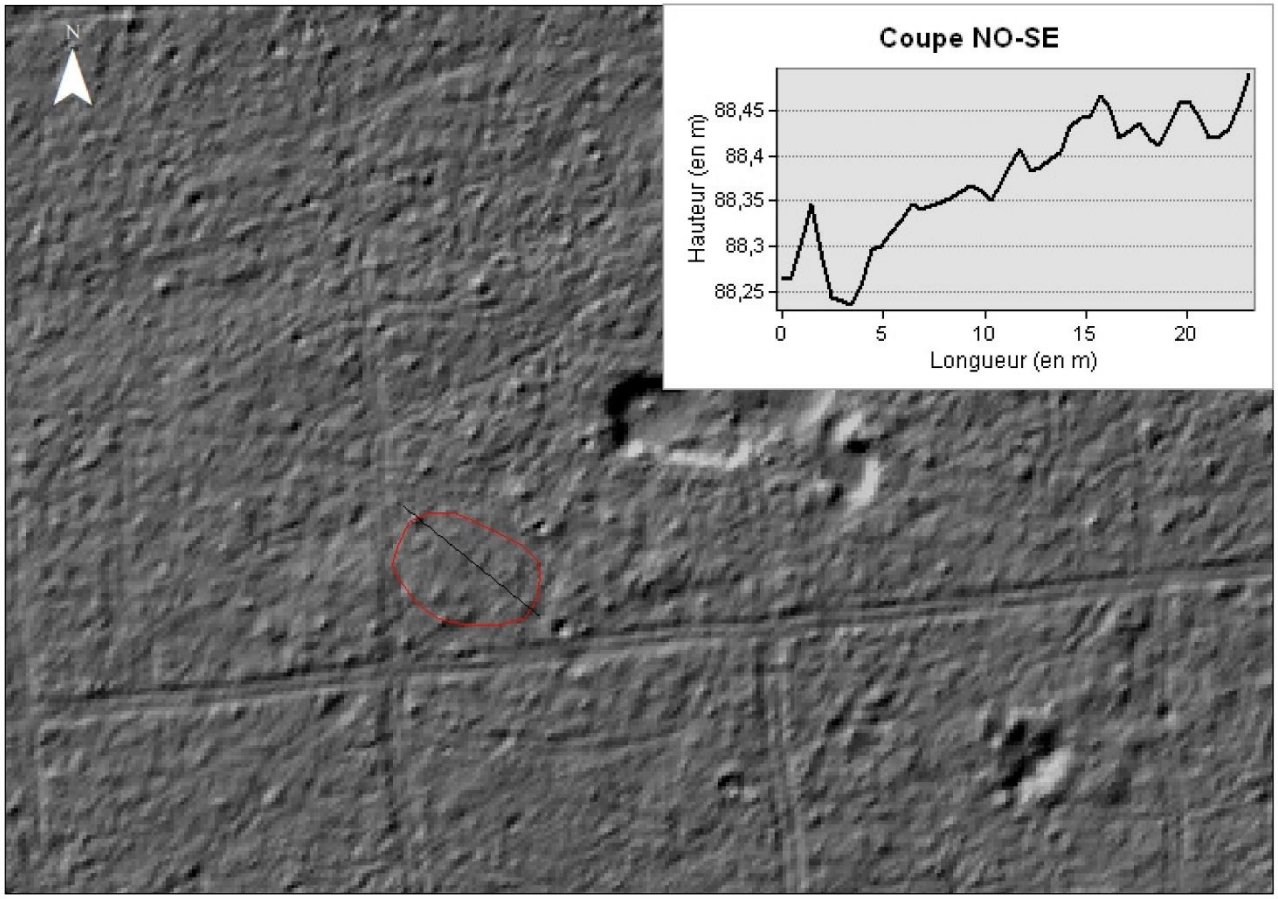
Sédiment : US limono-sableuse de couleur beige à brune

Caractéristiques environnementales : Peu visible dans le paysage. Présence d'une fosse au nord-ouest.

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage comprenant des scories très fragmentées et éparses.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F201/2 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 15 30
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 3 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 27 fragments de Scorie Brune Dense (0, 5 kg).

Fragmentation : Importante

- 32 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 6 kg).

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse

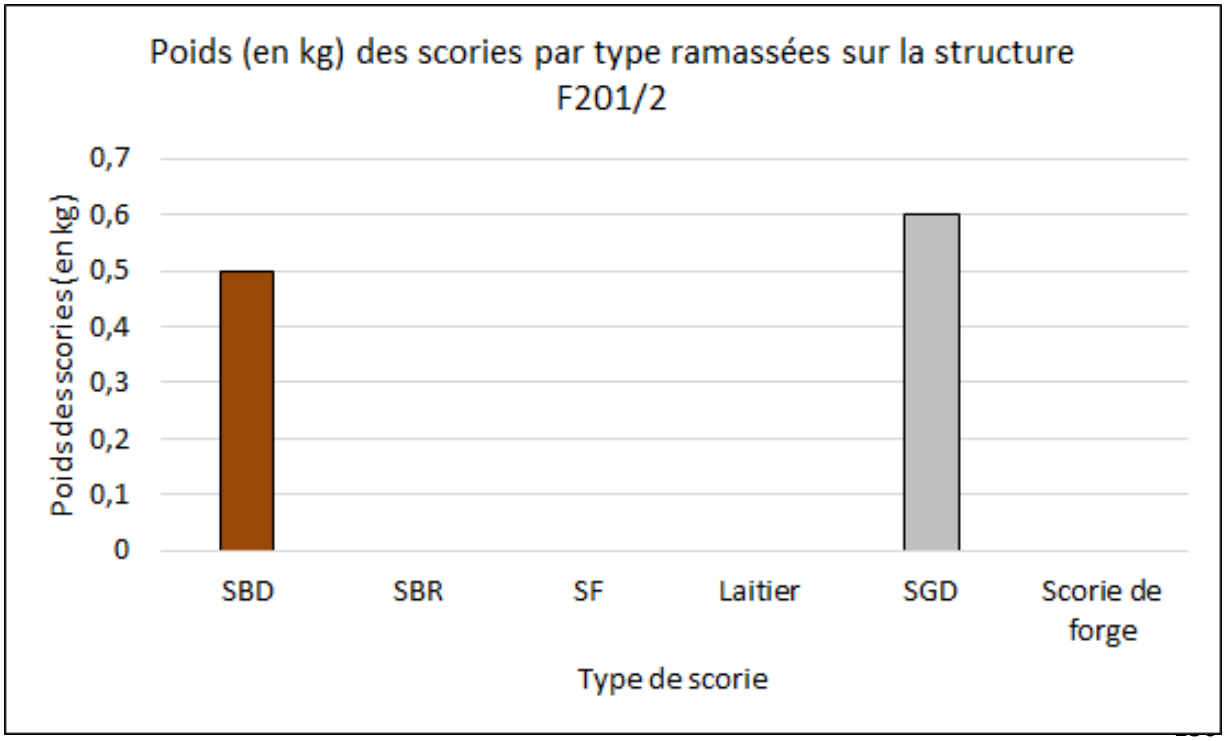
- 2 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques et vitrification (0, 013 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 1 fragment de TCA rosé avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 01 kg).

Objet métallique

- Fragment d'objet indéterminé en fer. Objet feuilleté et replié (0, 13 kg).



F212/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

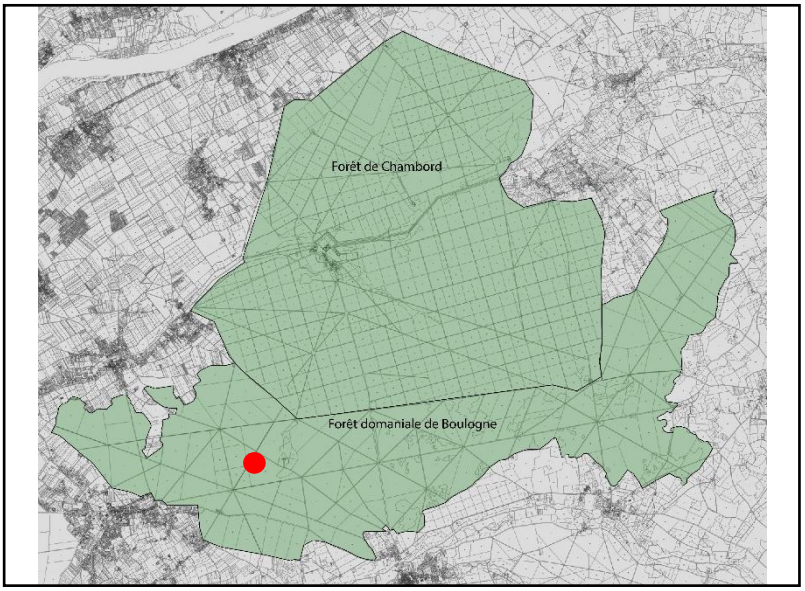
Parcelle forestière : 212

Coordonnées GPS (L93)

X : 586704,594 m

Y : 6720288,763 m

Z : 97,1 m



Enregistrement

Date de prospection : 10/05/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 3, 8 m largeur : 2, 4 m Hauteur : < 5 cm

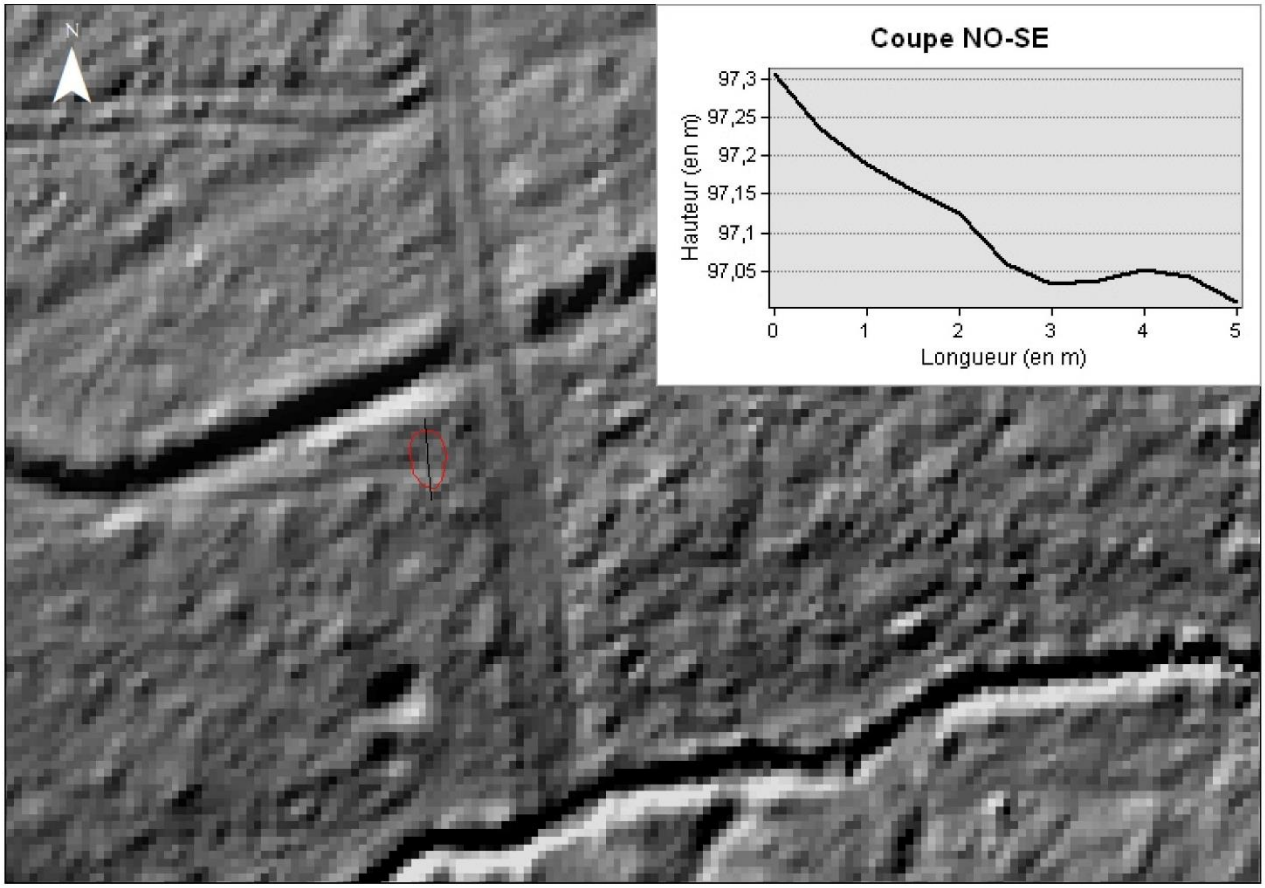
Sédiment : US limono-sableuse de couleur brune

Caractéristiques environnementales : Structure peu visible dans le paysage même si légèrement en élévation par rapport au sol.

Datation : Indéterminée

Observations : Très petit site avec quelques scories très fragmentées et éparses. Cet épandage ne couvre pas toute la butte sur laquelle il se situe mais seulement la partie Sud-Est. Il est recoupé par un petit canal au Nord.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F212/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 5 10
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 2 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 8 fragments de Scorie Brune Dense (0, 3 kg).

Fragmentation : Importante

- 5 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins ; 14 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 71 kg).

Fragmentation : Importante

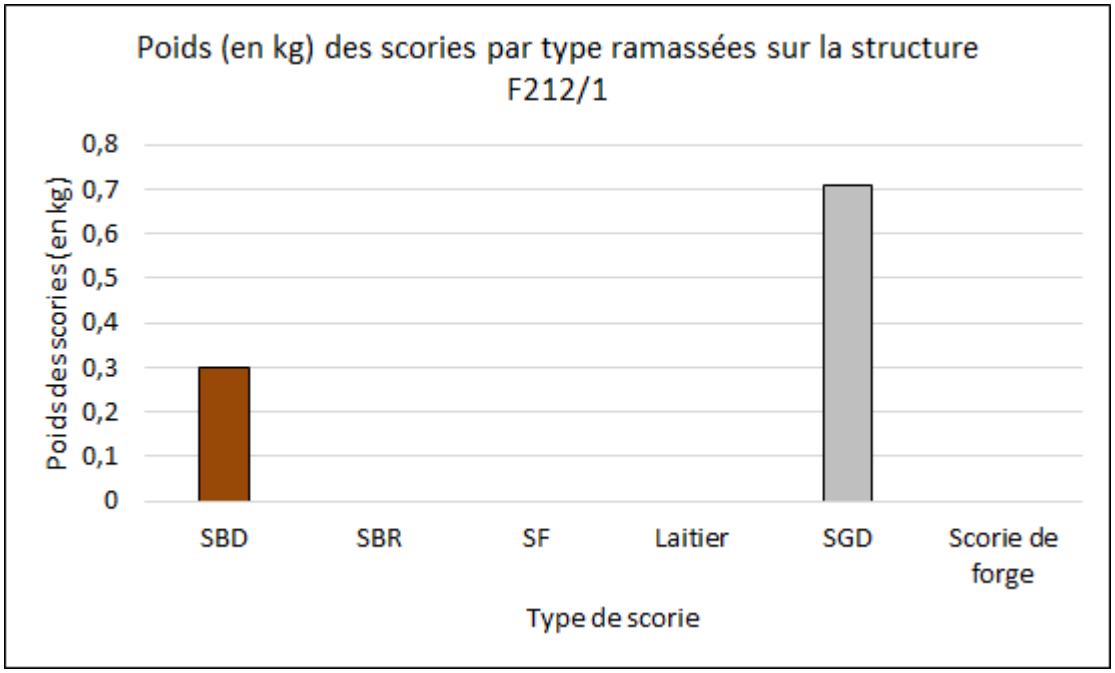
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 7 fragments de paroi en argile grise, scorifiés avec inclusions de cailloutis blanc ; 2 petits fragments de paroi en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques ; 1 fragment de paroi en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 1 kg).

Tuyère

- 1 fragment de tuyère de couleur beige avec des traces de chauffes grises à noires (0,02 kg).



F224/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Forêt domaniale de Boulogne

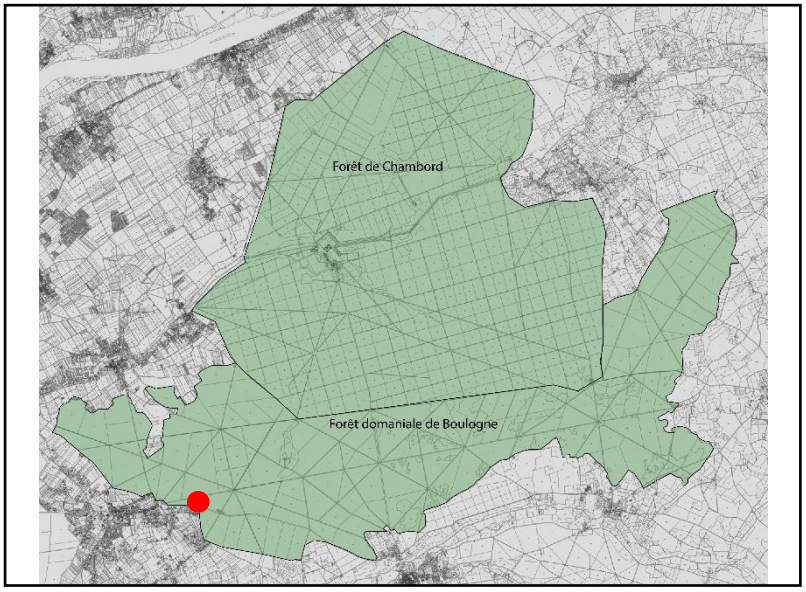
Parcelle forestière : 224

Coordonnées GPS (L93)

X : 585554,088 m

Y : 6719394,792 m

Z : 120,2 m



Enregistrement

Date de prospection : 06/03/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 11, 2 m largeur : 10, 2 m Hauteur : > 20 cm

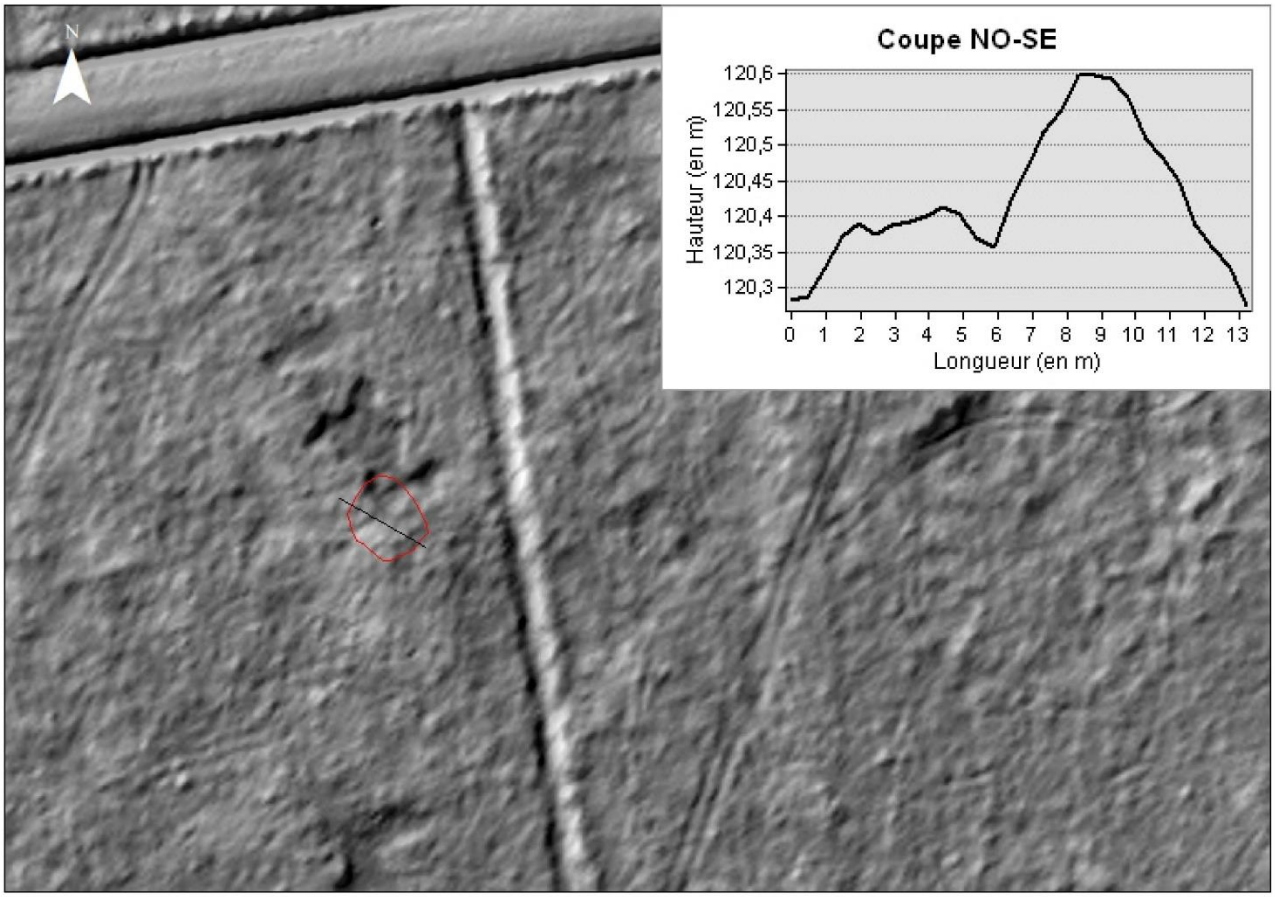
Sédiment : US limono-sableuse de couleur brune

Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de fragons. Léger sillon observé à l'est.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de taille moyenne comprenant de nombreuses scories concentrées et fragmentées dont la plupart sont mises en évidences par les taupinières.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F224/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 15 30
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **1, 1 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 5 fragments de Scorie Brune Dense (0, 1 kg).

Fragmentation : Importante

- 9 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 20 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (1 kg).

Fragmentation : Importante

Scories de forge

- Aucune

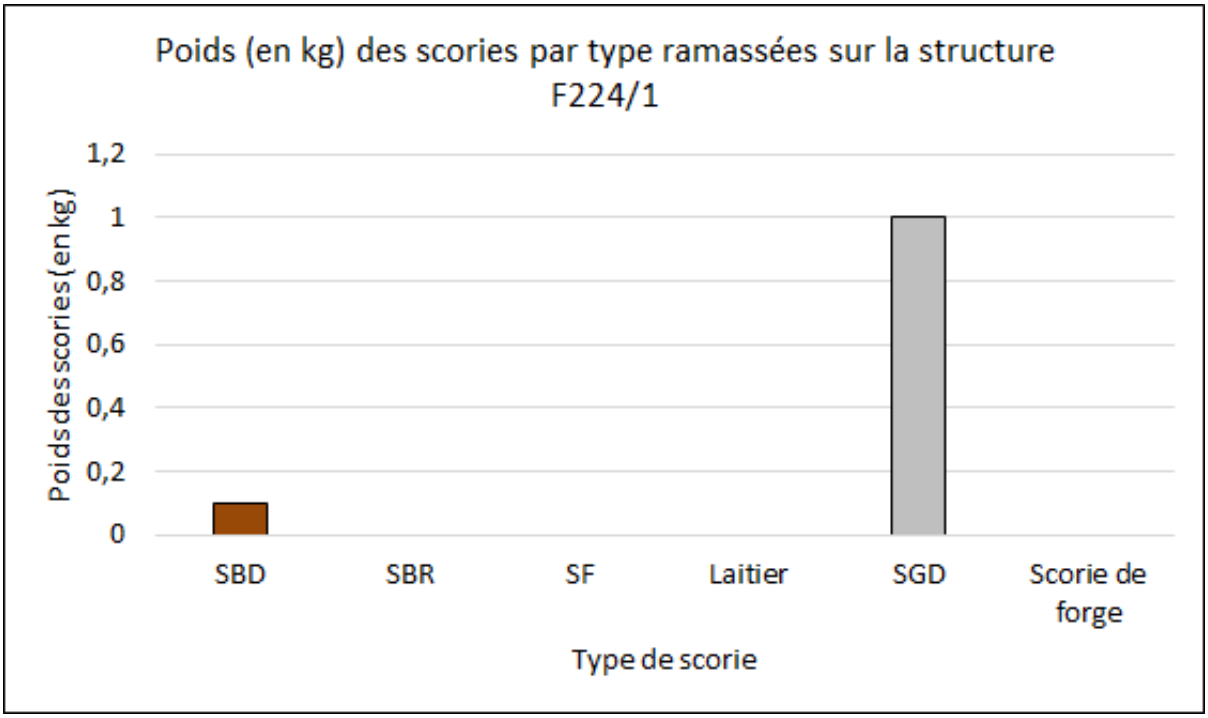
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 2 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques et vitrification (0, 01 kg).

Matériau lithique

- 1 fragments de silex rouge (0, 01 kg).



F371/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Parc de Chambord

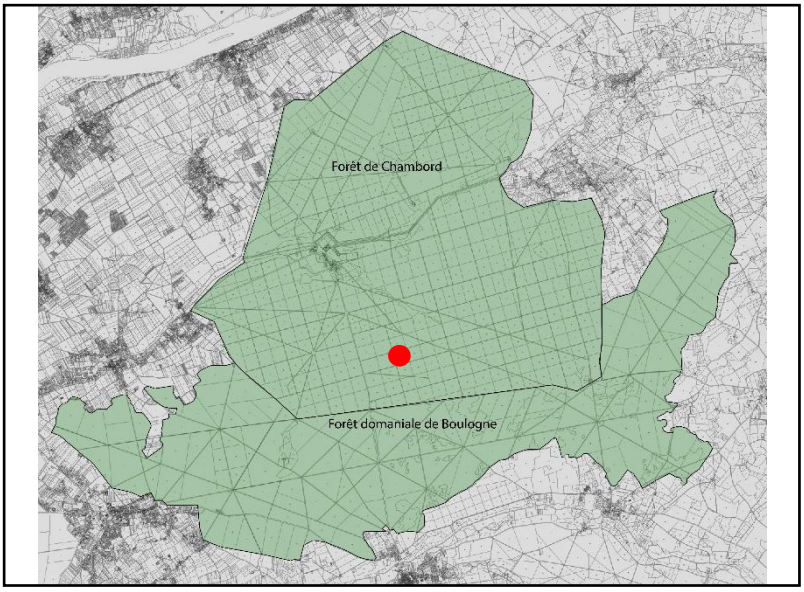
Parcelle forestière : 371

Coordonnées GPS (L93)

X : 590418,930 m

Y : 6722450,020 m

Z : 90,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/06/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 23, 6 m largeur : 15, 9 m Hauteur : > 20 cm

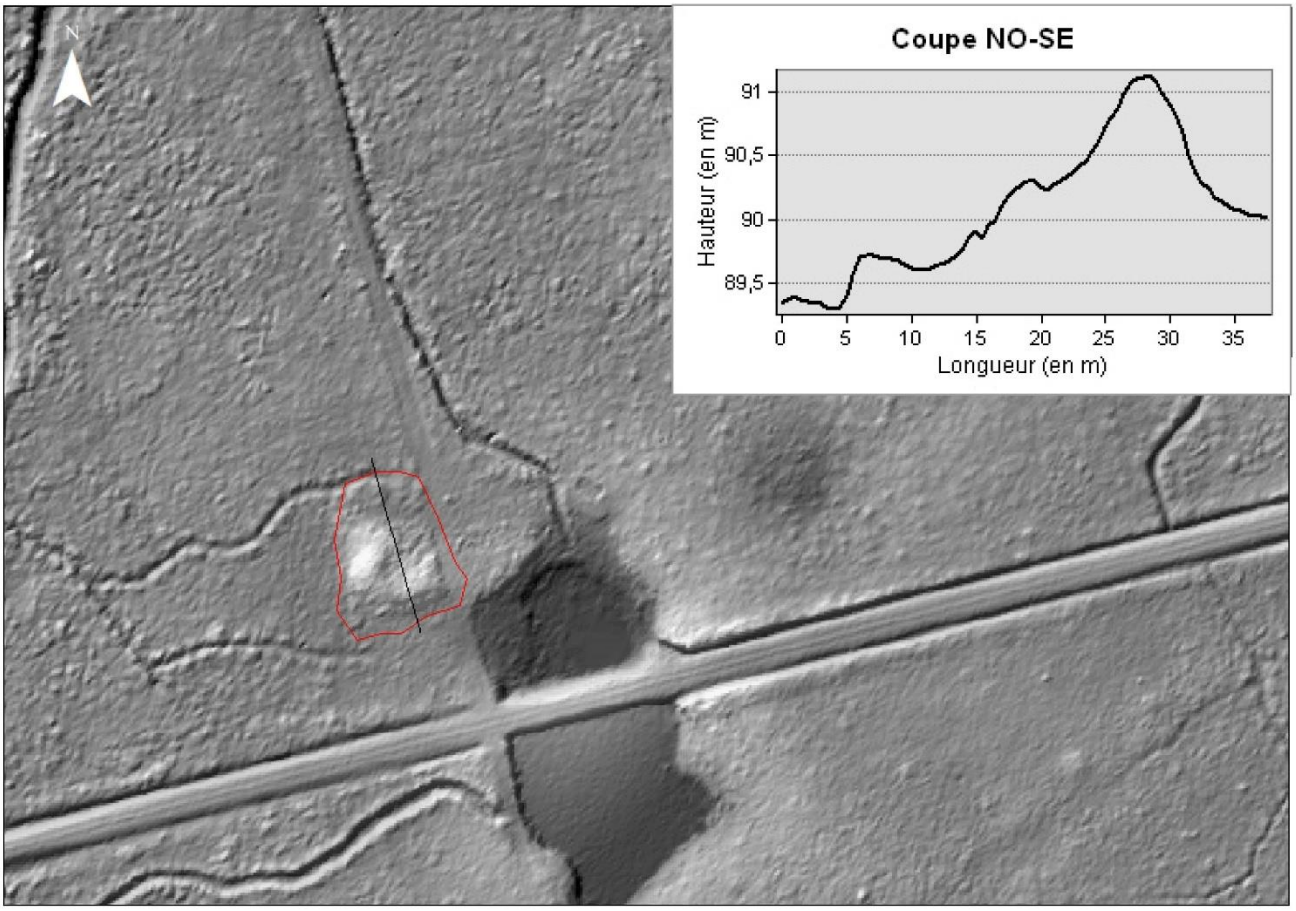
Sédiment : US limono-sableuse de couleur brune à noire.

Caractéristiques environnementales : Ferrier recouvert d'une végétation dense : fragons, aubépine, molinie, charmes, pins et situé en bordure de fosse.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de grande dimension dont les scories sont plus ou moins fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F371/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **10, 1 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de four Brun Dense avec inclusions d'oxydes de fer et de charbons de bois. Il présente le négatif d'un objet rectangulaire (1, 4 kg) ; 4 fragments de Scorie Brune Dense dont un présente le négatif d'une tuyère ; 6 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois dont 3 montrent des traces de vitrification bleutée en surface (1, 6 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

- 28 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (3, 5 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

Autres mobiliers

Paroi argileuse

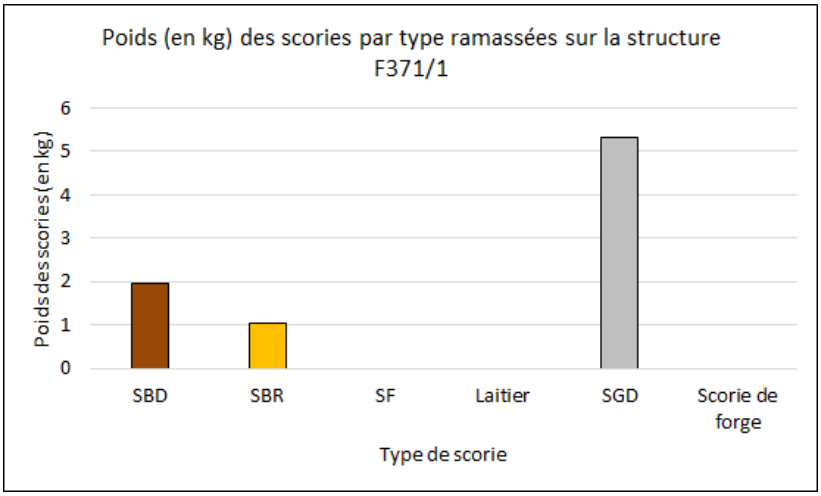
- 1 fragment de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques ; 3 fragments de paroi en argile beige à rouge avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrification verte et scorification sur une face ; 1 fragment de paroi en argile orangée, rouge et grise avec inclusions de quartz submillimétriques et vitrification en surface (0, 9 kg).

Tuyère

- 1 fragment de tuyère en argile beige à gris avec inclusions de quartz submillimétriques et négatifs de fibre végétaux (dégraissant ?). Canal de 3 cm de diamètre (0, 05 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 3 fragments de TCA en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques, dont 2 présentent un bord (Tegulae ?) ; 2 fragments de TCA orangés avec inclusions de quartz submillimétriques ; 1 fragment de TCA rouge avec inclusions de quartz submillimétriques (Carreau de pavage ?) (0, 9 kg).



F374/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Parc de Chambord

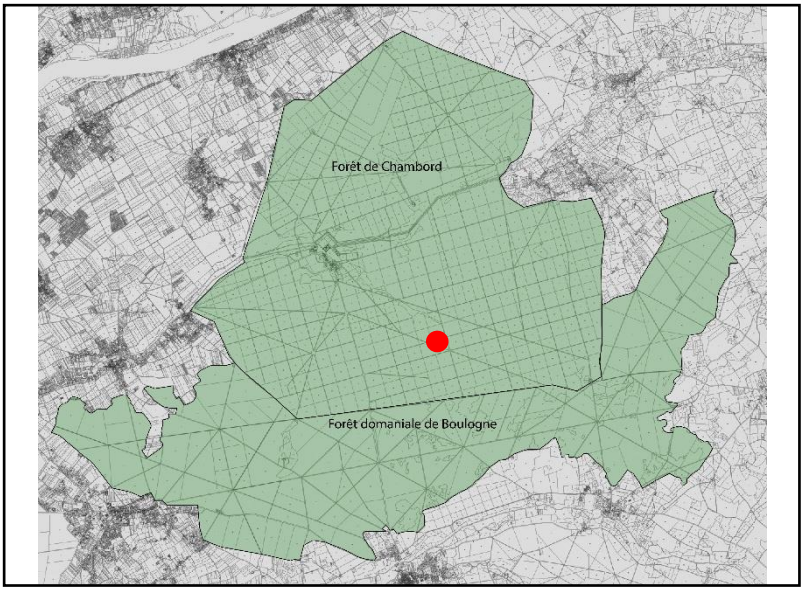
Parcelle forestière : 374

Coordonnées GPS (L93)

X : 590418,930 m

Y : 6722450,020 m

Z : 91,3 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/06/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 17, 9 m largeur : 14, 6 m Hauteur : > 20 cm

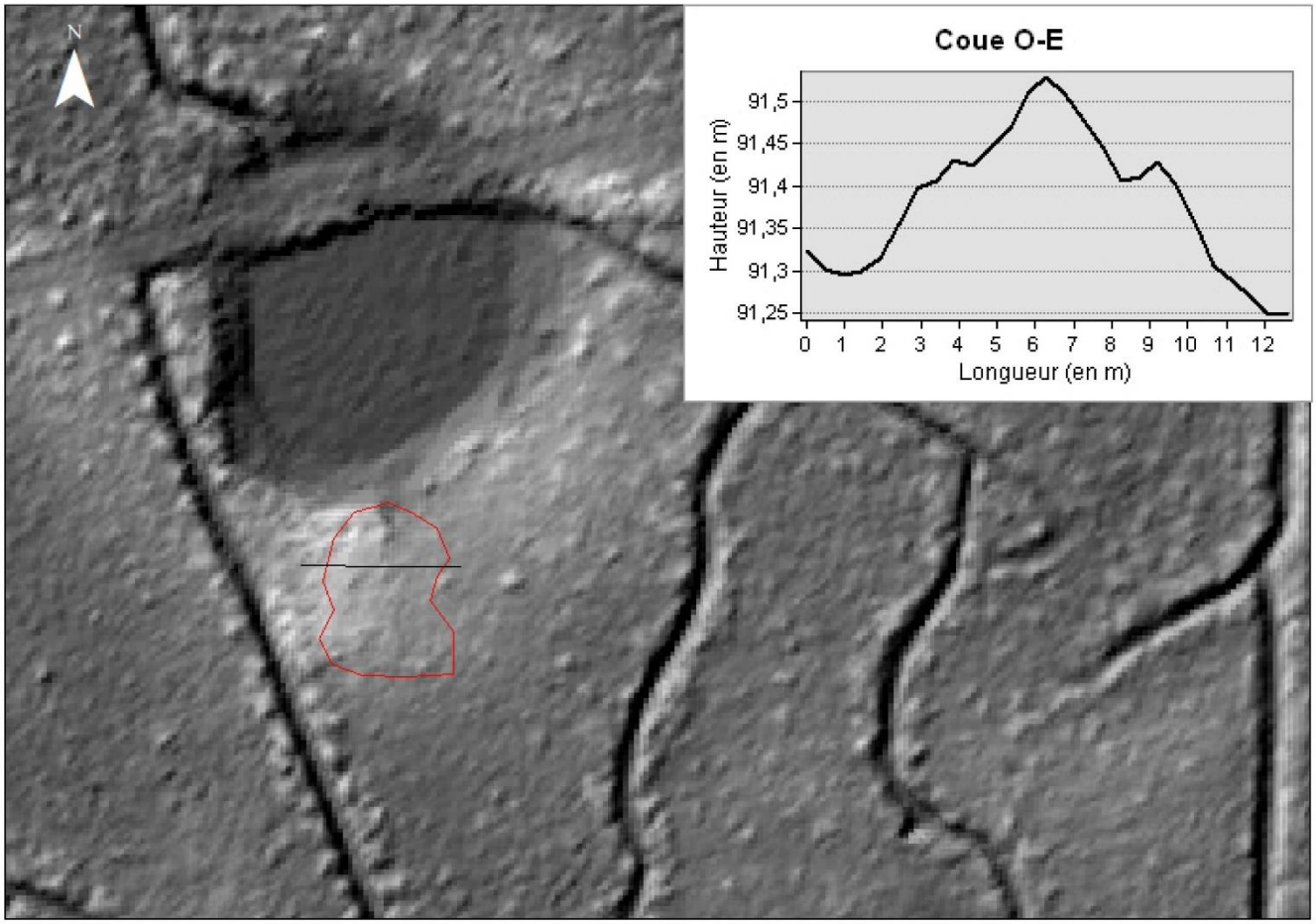
Sédiment : US limono-sableuse de couleur brun à beige rubéfiée au sommet et marron vers les extrémités.

Caractéristiques environnementales : Ferrier qui se trouve dans une zone de taillis sous futaie avec chênes et bouleaux. Structure localisée sur la pente sud d'une fosse. Des rognons de silex sont visible à proximité.

Datation : Indéterminée

Observations : ferrier dont les scories sont très fragmentées et globalement peu nombreuses dans un sol très perturbé par les sangliers.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F374/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 12,5 25
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **4, 1 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 2 fragment de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions de charbon de bois et d'oxydes de fer dont l'un présente le positif d'un sillon d'environ 2 cm de diamètre et l'autre le négatif d'un canal ; 2 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer dont l'un montre le négatif d'un canal (1, 1 kg).

Fragmentation : Importante

- 8 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 2 fragments de Scorie Grise Dense en plaque ; 4 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins (2, 1 kg).

Fragmentation : Importante

- 1 très petit fragment de laitier bleu en goutte (0, 002 kg).

Fragmentation : Importante

Scories de forge

- 1 culot de forge plano-convexe, dense, brun, très oxydé en surface et vitrifié (0, 513 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

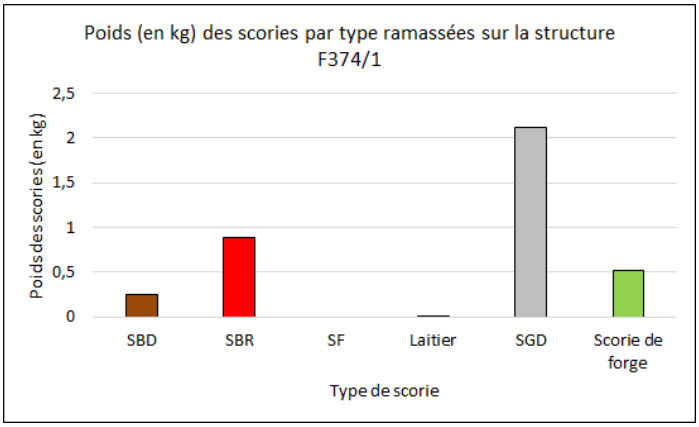
Autres mobiliers

Paroi argileuse

- 1 Fragment de paroi en argile grise avec inclusion de quartz submillimétriques et vitrification bleutée sur une face (0, 2 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 2 fragments de TCA rouge à grise avec inclusions de quartz millimétriques et vitrification bleutée sur une face (0, 2 kg).



F447/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Parc de Chambord

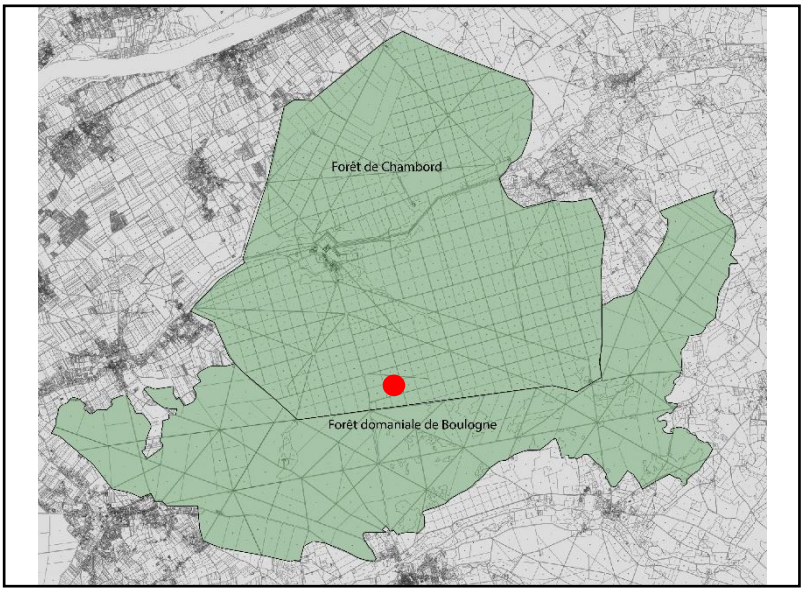
Parcelle forestière : 447

Coordonnées GPS (L93)

X : 590303,360 m

Y : 6721855,380 m

Z : 93 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/06/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Arrondie

Longueur : 23 m largeur : 16, 1 m Hauteur : > 20 cm

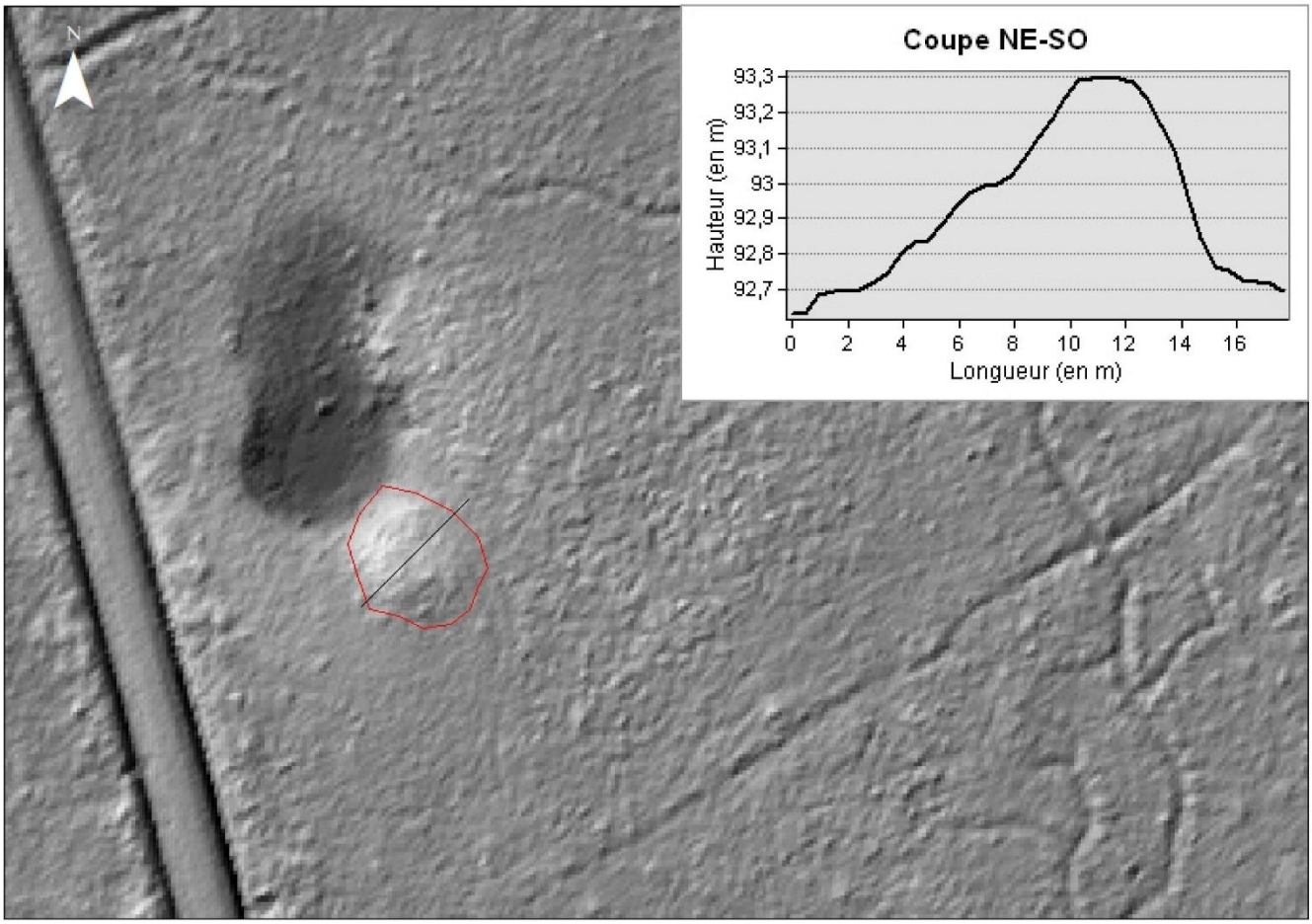
Sédiment : US limono-sableuse de couleur noire à marron.

Caractéristiques environnementales : Structure formant une butte bien visible dans le paysage et située au sud d'une mare. Couverte de molinie (pousse sur des sols humides et acide).

Datation (^{14}C) : 7ème – 8ème s.

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes dont les scories sont plus ou moins fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F447/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **12, 2 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de four plano-convexe, Brun Dense avec inclusions de cailloutis et d'oxydes de fer (0, 3 kg) ; 6 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions de paroi et d'oxydes de fer, dont un présente une vitrification bleutée en surface ; 10 fragments de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer, dont 3 présentent une vitrification bleutée en surface (2, 8 kg).

Fragmentation : Peu à très fragmenté

- 4 fragments de Scorie Grise Dense indéterminés ; 36 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais, 2 fragments de Scorie Grise Dense à cordons fins (6, 5 kg).

Fragmentation : Assez fragmenté

- 2 fragments de laitier bleuté en forme de goutte (0, 01 kg).

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse

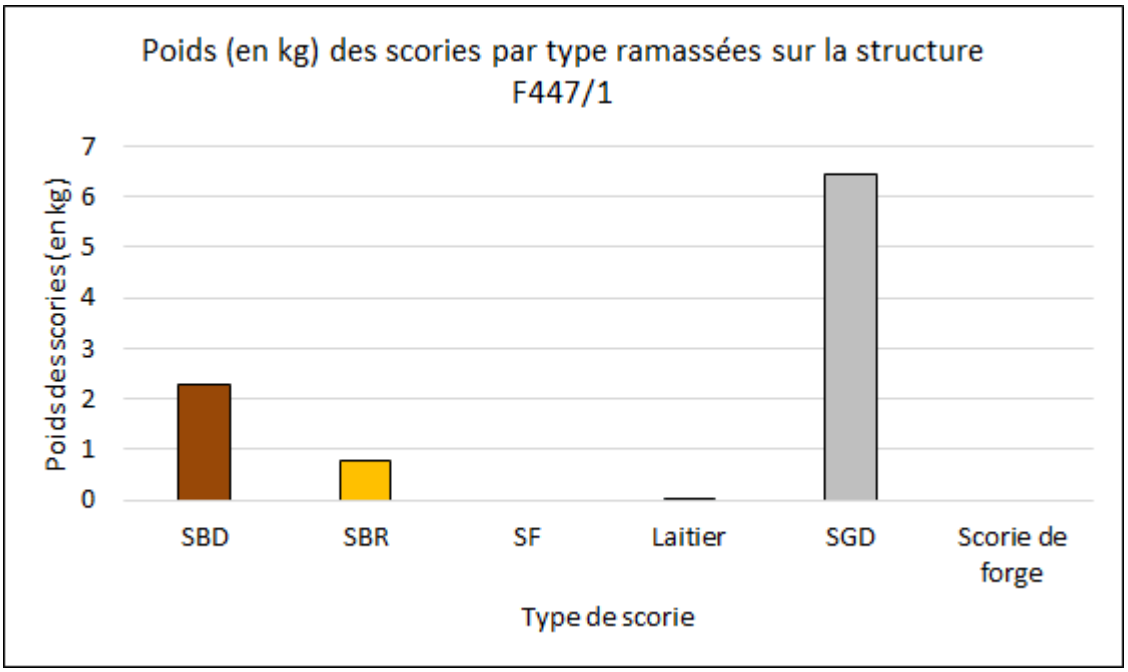
- 8 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques avec vitrification et scorification sur une face ; 1 fragment de paroi en argile grise à rouge avec inclusions de quartz submillimétriques et vitrification verte sur une face (1,902 kg).

Tuyère

- 2 fragment de tuyère en argile beige à grise avec inclusions de quartz submillimétriques et négatif d'un dégraissant végétal. Canal de 3 cm de diamètre ; 1 fragment de tuyère en argile beige/orangée présentant la partie inférieure d'un orifice avec empreinte digital d'un lissage, inclusions d'oxydes de fer à l'intérieur et scorification sur la face extérieure ; 2 fragments de tuyère en argile beige à rouge, dont 1 présente un orifice bouché par de la scorie vitrifiée bleutée (0,314 kg).

TCA

- 2 fragments de TCA en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétriques assez épais ; 1 fragment de TCA en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques présentant un angle de 90° (0,471 kg).


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur la structure F447/1
Poids des scories (en kg)
7
6
5
4
3
2
1
0
SBD
SBR
SF
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

F487/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Parc de Chambord

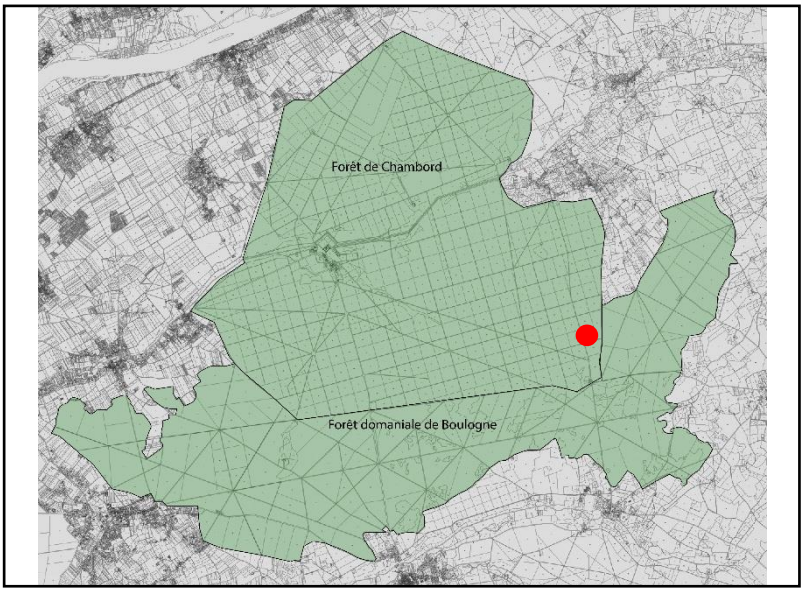
Parcelle forestière : 487

Coordonnées GPS (L93)

X : 594479,010 m

Y : 6722871,490 m

Z : 121,5 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/06/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 21 m largeur : 15, 5 m Hauteur : < 5 cm

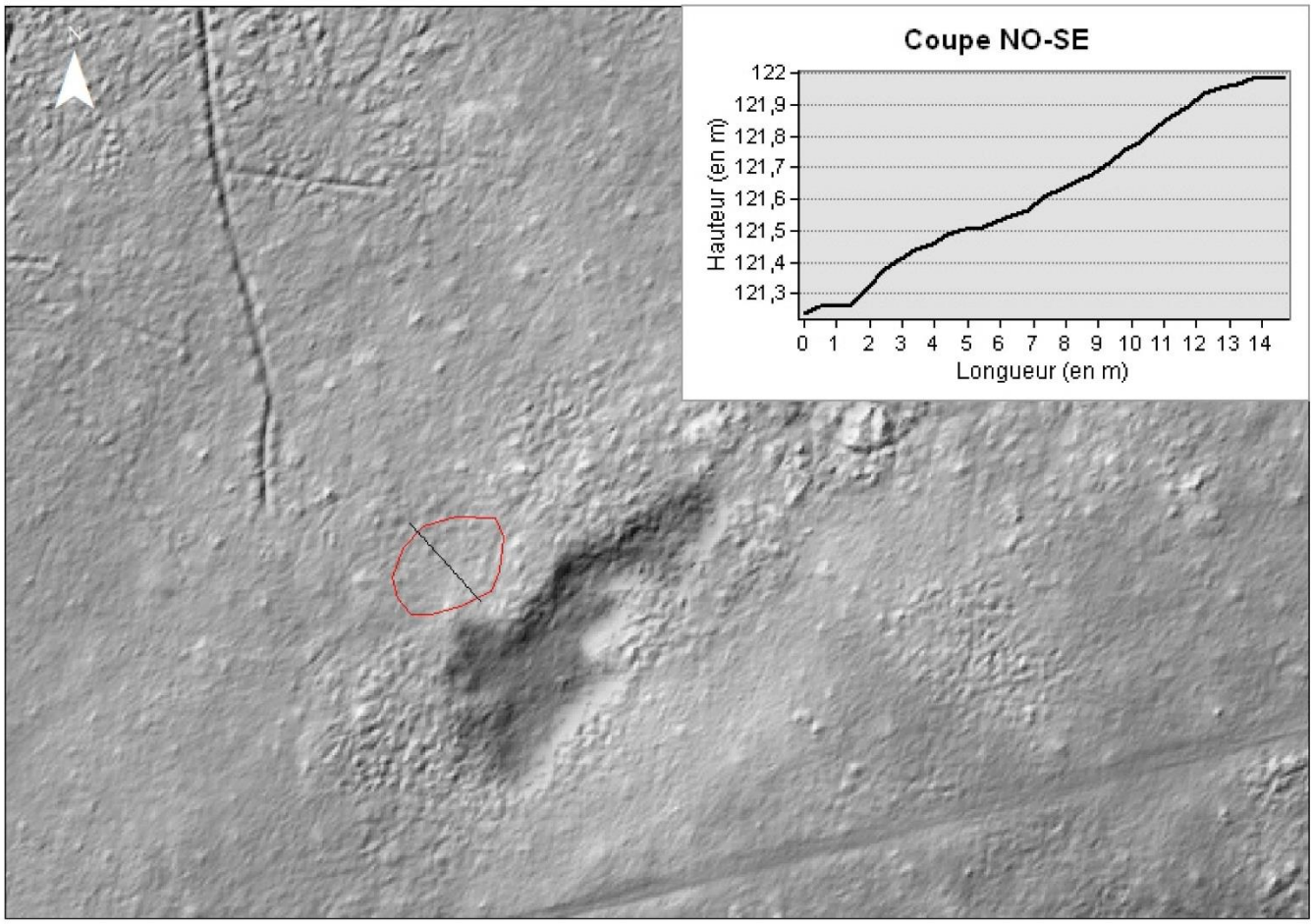
Sédiment : US limono-sableuse de couleur brune à grise.

Caractéristiques environnementales : Epandage sur lequel deux charmes se sont implantés.

Datation : Indéterminée

Observations : Site très étalé constitué de peu de scorie très fragmentées.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F487/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

0 25 50
Mètres

Description du mobilier ramassé

Poids total : **0, 4 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 7 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais (0, 4 kg).

Fragmentation : Importante

Scories de forge

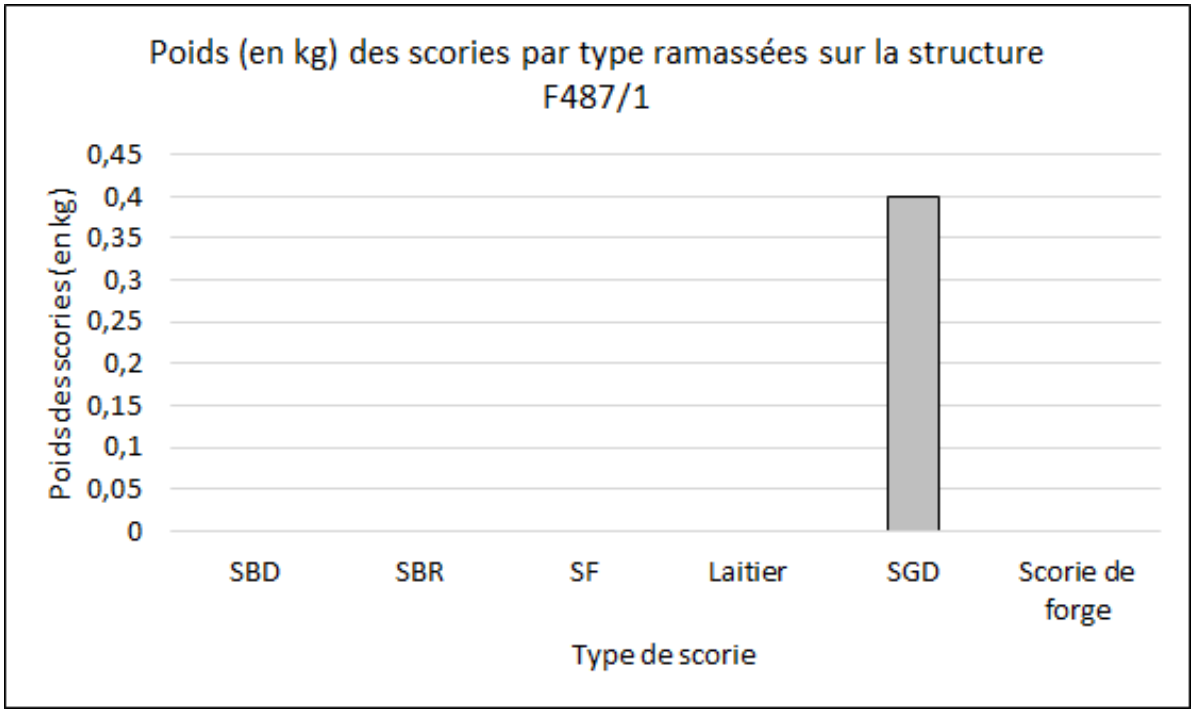
- Aucune

Fragmentation :

Autres mobiliers

Tuyère

- 1 fragment de tuyère en argile beige à grise avec inclusions de quartz submillimétriques (0, 04 kg).



F489/1

Localisation

Département : Loir-et-Cher

Forêt : Parc de Chambord

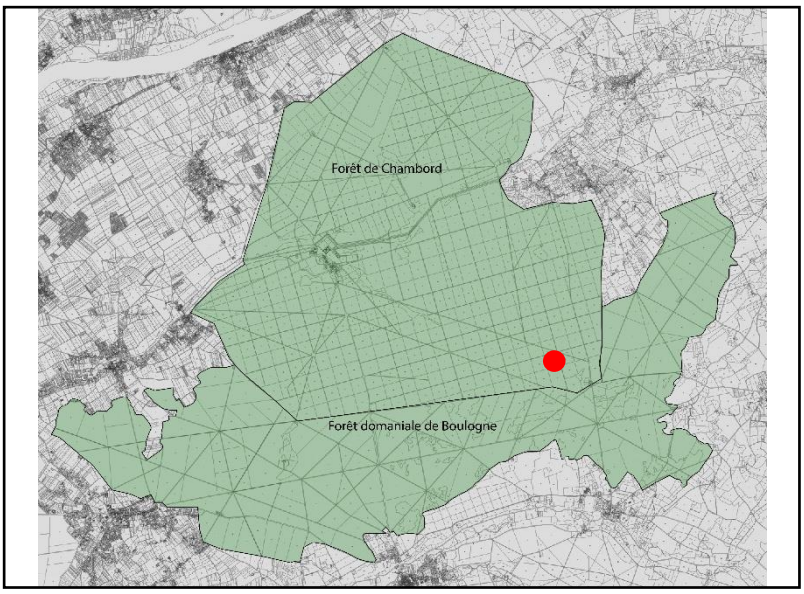
Parcelle forestière : 489

Coordonnées GPS (L93)

X : 593654,120 m

Y : 6722303,970 m

Z : 112,1 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/06/2018

Photographies : Non

Visible sur le LiDAR : Oui

Description de la structure

Type de structure : Ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 18 m largeur : 13,3 m Hauteur : > 20 cm

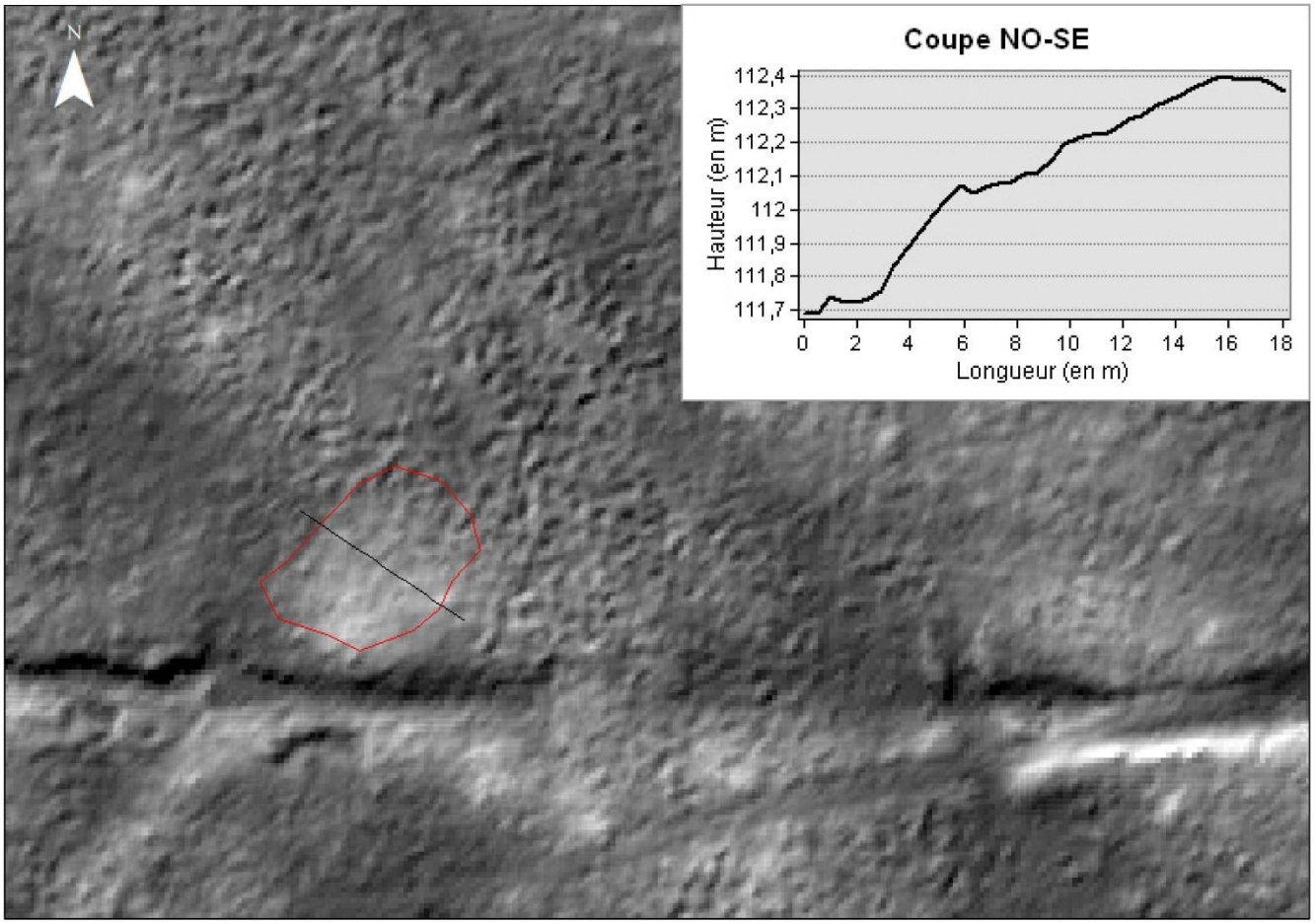
Sédiment : US limono-sableuse de couleur brune en haut de la structure qui tend vers le jaune aux extrémités.

Caractéristiques environnementales : Ferrier sur lequel sont implantés des chênes, des charmes, quelques châtaigniers et couvert de fougères. Situé le long d'un fossé.

Datation (^{14}C) : 7ème s.

Observations : Ferrier dont les scories sont peu fragmentées et nombreuses. La concentration principale se trouve en bas de pente.

Image Lidar (LRM + HSA315) du ferrier F489/1 de la forêt de Boulogne (Loir-et-Cher)



— Limite de la structure relevée au GPS centimétrique

Description du mobilier ramassé

Poids total : **10, 2 kg**

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction

- 1 fond de fourneau plano-convexe Brun Rugueux avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois. Il présente une vitrification sur la face supérieure (1, 4 kg) ; 8 fragments de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois associées à de la paroi en argile grise, dont l'un est vitrifié bleuté ; 1 fragment de Scorie Brune Dense avec inclusions de quartz submillimétriques (2, 3 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

- 9 fragments de Scorie Grise Dense à cordons épais ; 1 fragment de Scorie Grise Dense en partie interne, en partie écoulée (4, 2 kg).

Fragmentation : Peu fragmenté

Autres mobiliers

Paroi argileuse

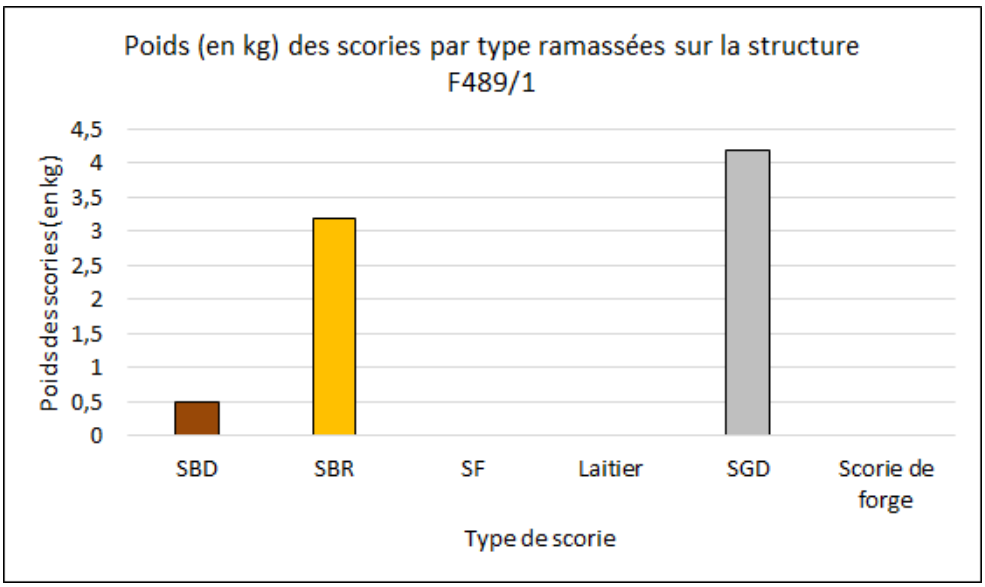
- 4 fragments de paroi en argile grise/blanche avec inclusions de quartz submillimétriques, dont 1 présente une vitrification verte claire sur une face et 1 autre est scorifié (0, 9 kg).

Tuyère

- 1 fragment de tuyère en argile grise à noire avec scorification et inclusion de quartz submillimétriques (0, 2 kg).

Terre Cuite Architecturale

- 1 fragment de TCA en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques (Tegulae à gros bord) ; 5 fragments de TCA en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétriques, dont 3 tegulae et 1 Umbrex (1, 2 kg).



Annexe 2 : Fiches métallographies du massif de Boulogne/Chambord

2.1 Les fonds de four

_____

Echantillon n° : BOU142/1-2

Site : Ferrier F142/1
Forêt de Boulogne

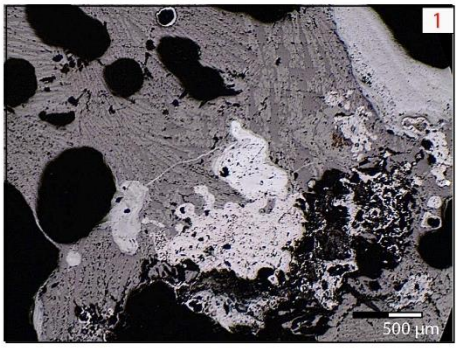
Nature de l'échantillon :
Fond de four

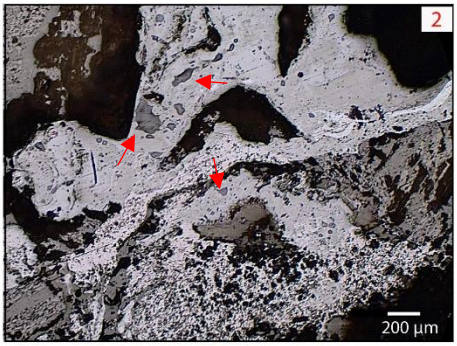
Macrographie : Fond de four brun, plano-convexe et lourd présentant des inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois. La coupe montre une coloration vert clair à vert foncé avec de très nombreuses porosités de petites dimensions au centre et plus importantes en périphérie. La face supérieure est assez oxydée.

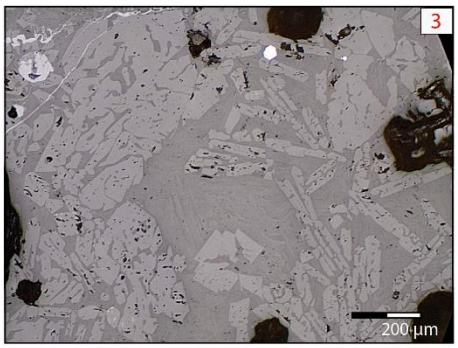
Dimensions : L = 11,6 cm l = 10,1 cm ep. = 5,9 cm
Masse : 0,621 g

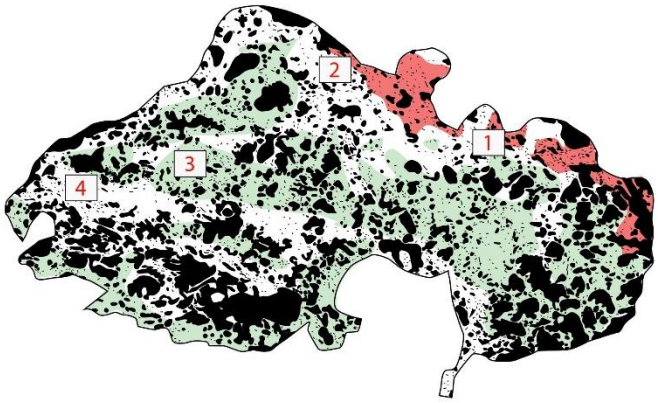


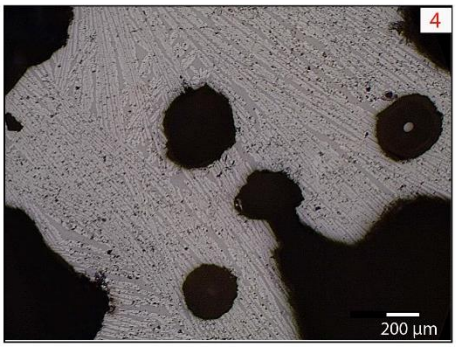
Observations Microscopiques











Légende
- Porosité
- Oxydation
- Vitrification

0 6 cm

Micrographie : Présence d'hydroxydes autour des porosités et de lattes parallèles et très fines de fayalite (1). Des grains argilo-sableux sont visibles par endroit dans les hydroxydes (2). Présence de fayalite équigranulaires et en longue en « branches » entre lesquelles on observe un deuxième niveau de cristallisation avec de très fines lattes de fayalite parallèles. Quelques rares petits grains métalliques y sont inclus (3). La partie supérieure présente de très fines lattes de fayalites radiaires (4).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice homogène lors de l'observation macroscopique qui semble signaler une opération régulière (BERRANGER 2014 : 126). Les porosités sont très nombreuses et de moyennes à petites dimensions, elles sont présentes sur toute la surface de la coupe mais sont légèrement plus grande dans la partie inférieure de la scorie. En outre, elles présentent une forme allongée à anguleuse que l'on peut mettre en relation avec une scorie peu fluide lors de la réduction (BERRANGER 2014 : 126).

Malgré cette homogénéité apparente, l'étude microscopique signale que la scorie est composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de la fayalite dont la cristallisation est hétérogène. D'une part, on observe de la fayalite équigranulaires et en longue en « branches » associée à un second niveau de cristallisation en lattes parallèles et très fines au centre de la scorie (SERNEELS 1993 : 26) ; caractéristique d'un refroidissement très lent de la scorie. D'autre part, on constate en périphérie de la scorie la présence de fayalite en lattes parallèles et fines indiquant un refroidissement rapide. On peut alors supposer une différence de conditions dans le four entre le début et la fin de l'opération. Quelques rares petits grains métalliques sont visibles dans cette scorie mais leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.). Cette rareté indique néanmoins que l'opération était maitrisée et de bonne qualité puisqu'elle a engendré peu de perte de métal dans la scorie. Enfin, la périphérie supérieure de la scorie laisse percevoir une légère hydroxydation.

Echantillon n° : BOU176/1

Site : Ferrier F176/1
Forêt de Boulogne

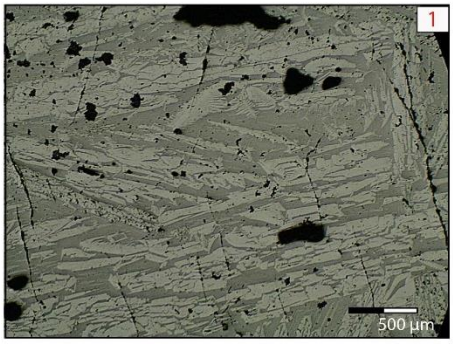
Nature de l'échantillon :
Fond de four

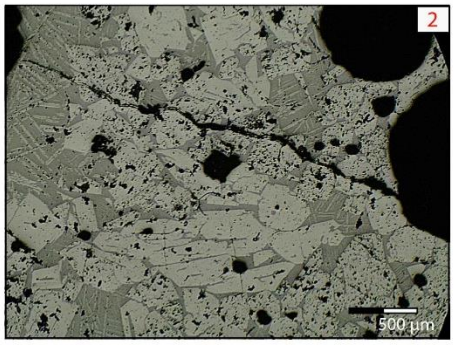
Macrographie : Fond de four brun dont il manque une partie. Elément dense, plano-convexe avec inclusion de cailloutis et d'oxydes de fer. La coupe montre une matrice homogène de couleur noire à verte présentant des porosités de taille moyenne à petite surtout présentes en périphérie et orientées vers la partie supérieure de la scorie. Des lattes de fayalite sont visibles à l'œil nu mais aucun élément métallique n'est apparent.

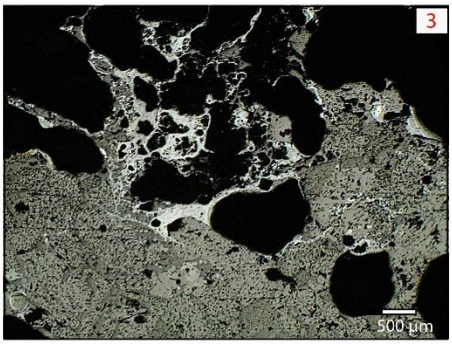
Dimensions : L = 14 cm l = 9 cm ep. = 5,5 cm
Masse : 0,712 g

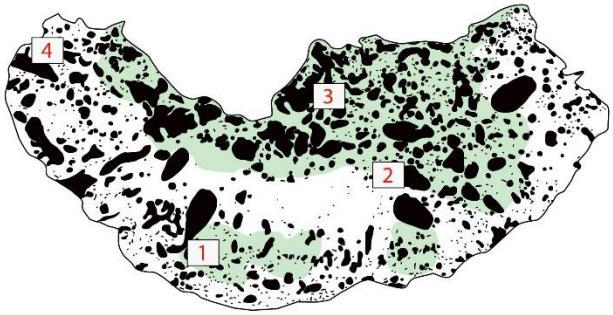


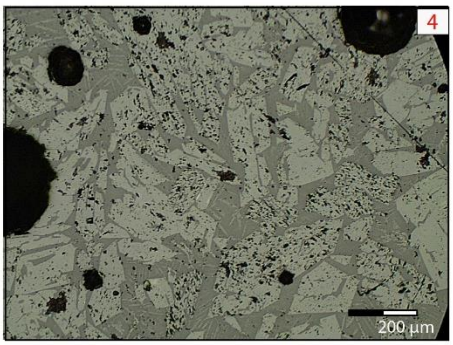
Observations Microscopiques











Légende
Porosité
Vitrification

0 5 cm

Micrographie: Matrice présentant de nombreuses micro-fractures, composée de fayalite de forme allongée dans une phase vitreuse (1). Au centre de la scorie, une seconde cristallisation apparait avec des cristaux de fayalite plus courts et trapus (2). Présence d'hydroxydes autour des porosités (3). Fayalite équigranulaires en périphérie de la scorie (4).

Synthèse :

Cette scorie assez lourde dispose d'une coupe homogène qui signale une opération continue. Elle comprend une matrice de couleur grise à verte et de nombreuses porosités ovoïdes et allongées, plus marquées en périphérie. De taille moyenne à petite, elles sont orientées vers la partie supérieure de la scorie. Ce qui signale une scorie assez peu fluide (BERRANGER 2014 : 126). De nombreuses micro-fractures sont visibles dans la coupe.

L'observation microscopique montre que la matrice est composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de la fayalite, visible dès l'observation macroscopique, disposant d'une forme plutôt allongée dans la partie inférieure de la scorie et de plus en plus courte et trapue lorsque l'on remonte vers la face supérieure. Ce fait tend à signaler un refroidissement de plus en plus lent de la scorie lorsque l'on se trouve en contact avec l'éponge métallique. Cela semble logique et est appuyé par la présence, au centre de la scorie, d'un second niveau de cristallisation visible sous la forme de fayalite en très fines lattes parallèles. Aucun élément métallique n'est visible dans cette section. Cela témoigne de la bonne qualité de l'opération puisqu'elle n'a pas engendré de perte de métal dans la scorie. Enfin, une légère hydroxydation est observée autour des porosités.

Echantillon n° : BOU191/2

Site : Ferrier F191/2
Forêt de Boulogne

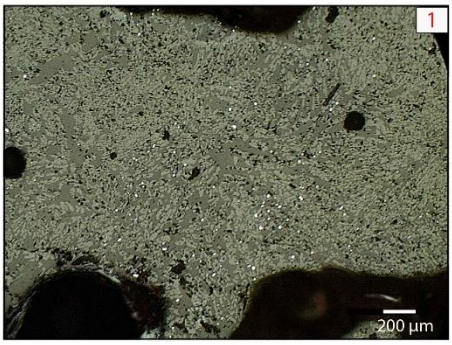
Nature de l'échantillon :
Fond de four

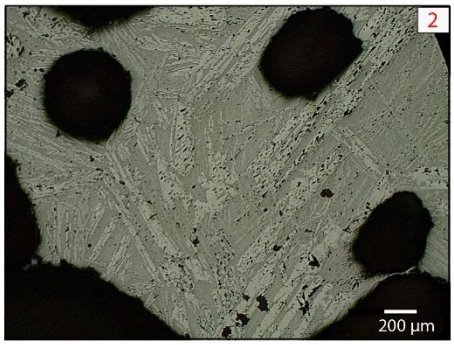
Macrographie : Fond de four brun, rugueux avec inclusions d'oxydes de fer, de cailloutis blancs et négatifs de charbon de bois. La face inférieure est plane. Cette scorie est vitrifiée avec des reflets verts par endroit. La coupe montre une matrice très vacuolaire de couleur vert clair d'un côté et vert foncé de l'autre. De nombreux nodules métalliques sont visibles dans le centre et vers la partie supérieure de la scorie.

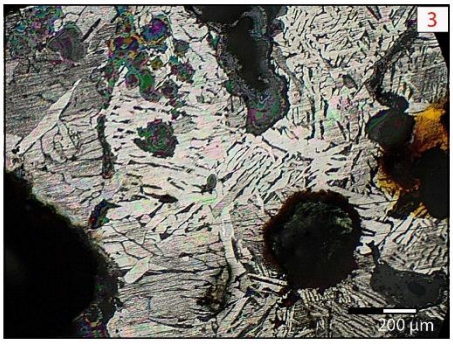
Dimensions : L = 25 cm l = 14,2 cm ep. = 9,4 cm
Masse : 2,9 g

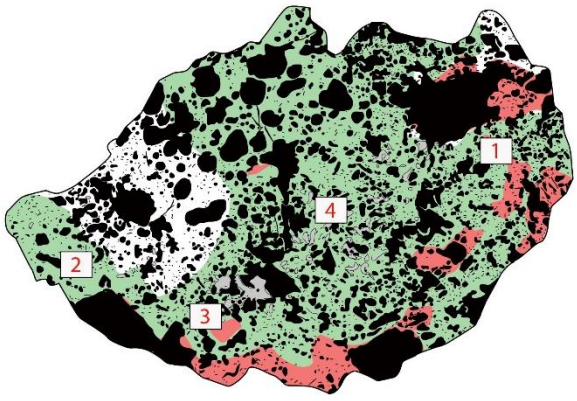


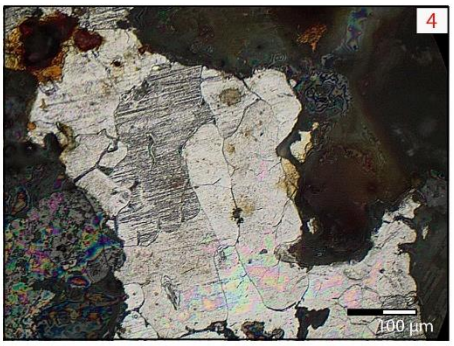
Observations Microscopiques











Légende
Porosité
Oxydation
Vitrification
Métal

0 5 cm

Micrographie : Matrice vitreuse comprenant de la fayalite en cristaux dendritiques de petite dimension et quelques grains métalliques (1). La fayalite est également présente sous forme allongée associée à une double cristallisation en fines lattes parallèles (2). Après attaque au Nital, la structure des masses métalliques s'avère être ferrito-perlitique en périphérie de la scorie (acier doux) (3) et ferritique au centre (4).

Synthèse :

Fond de four brun dont la coupe est homogène ce qui signale une activité continue. On constate la présence de nombreuses porosités de grandes à petites dimensions sur toute la surface de la coupe. Les grandes porosités se trouvent en périphérie. Elles disposent d'une forme allongée à anguleuse. Ces observations témoignent d'une scorie assez fluide dans le four (BERRANGER 2014 : 126). La matrice est de couleur verdâtre à gris.

Elle comprend une phase vitreuse et une phase minérale composée de fayalite en cristaux dendritiques autour des grandes porosités, allongés mais assez fins et associé à une double cristallisation en fines lattes dans la partie inférieure, et équigranulaires et trapus dans la partie centrale et supérieure. La partie centrale de la scorie comprend également des nodules anguleux métalliques qui révèlent, après attaque au nital une composition ferritique équiaxe légèrement carburée (joints de grains bien visibles) au centre du fond de four (moins de 0,02 % C) et ferrito-perlitique en périphérie (env. 0,2 % C), à l'endroit où l'on observe un plus grand nombre de porosités (SERNEELS 1993 : 20-21). Le métal produit est donc hétérogène en fonction de sa localisation dans le four. Il est toutefois globalement composé d'une structure peu carburée. Enfin, une légère hydroxydation est observée en périphérie.

Echantillon n° : CHB374/1

Site : Ferrier F3374/1
Forêt de Chambord

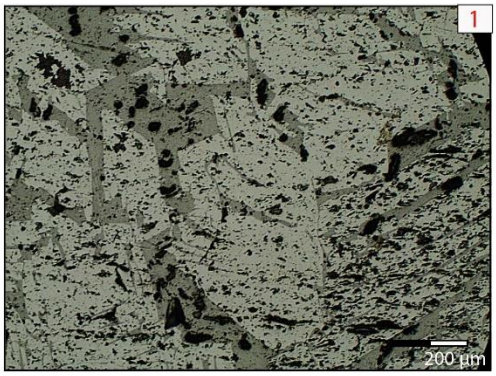
Nature de l'échantillon :
Fond de four

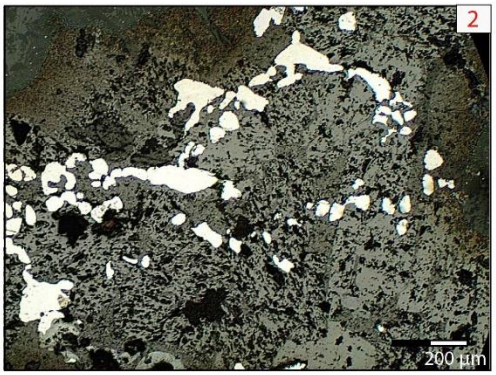
Macrographie : Fond de four plano-convexe dense, brun, très oxydé en surface et vitrifié. Forme allongée, peu épais. Structure interne dense de couleur grise sombre au centre à noir en périphérie. Cristaux de fayalite visibles à l'œil nu. On constate également la présence de nombreuses plaques métalliques aux contours informes dans la partie supérieure de la scorie. Les porosités sont principalement de petite dimension et de forme arrondie. Quelques-unes s'étirent vers le centre de la scorie.

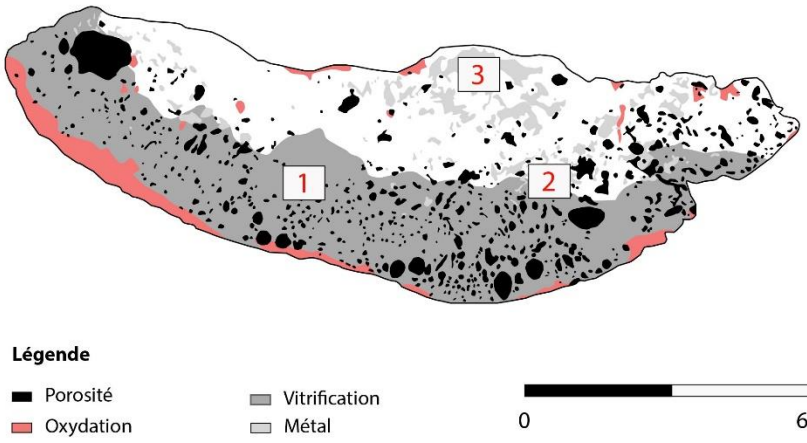
Dimensions : L = 11,9 cm l = 7,1 cm ep. = 3,8 cm
Masse : 0,513 g



Observations Microscopiques









Micrographie : Ce fond de four comprend une matrice très homogène composée d'une phase vitreuse de couleur noire ou l'on peut observer des cristaux de fayalites équigranulaires trapus et en plaques éparses (1). Dans la partie centrale on constate la présence de nodules ferreux anguleux et globulaires surtout localisés autour des porosités (2). Enfin, la partie supérieure de la scorie est composée de masses métalliques plus importantes dans une phase vitreuse (3). L'attaque nital montre que ce métal dispose d'une structure ferritique constituée de joints de grain équiaxes peu marqués.

Synthèse :

Fond de four peu épais, noir, dense et très homogène caractéristique d'une opération continue (BERRANGER 2014 : 126). On observe peu de porosités caractérisées par des dimensions très restreintes, hormis une située à l'extrémité gauche de la coupe, une localisation concentrée dans la partie inférieure. Cette observation témoigne de la faible présence de gaz et d'une fluidité importante de la scorie lors de la réduction. Des nodules métalliques sont visibles dès l'étude macroscopique ainsi que des lattes de fayalite assez épaisses.

Au microscope, on constate que la matrice est composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale composée de cristaux équigranulaire trapus signalant un refroidissement très lent de la scorie. La partie supérieure et central comprend des nodules ferreux anguleux et globulaires qui appuient l'idée d'un passage du métal à un état proche de l'état liquide. Ces nodules baignent dans une phase uniquement vitreuse dans la partie supérieure de la scorie. En outre, l'attaque Nital signale qu'ils disposent d'une structure ferritique homogène dans toute la structure et présentant des joints de grains équiaxes peu marqués qui indiquent la fabrication de fer très peu carburé (moins de 0,02 % C) (SERNEELS 1993 : 20-21). Enfin, une légère hydroxydation est observée en périphérie.

Echantillon n° : CHB447/1

Site : Ferrier F447/1
Forêt de Chambord

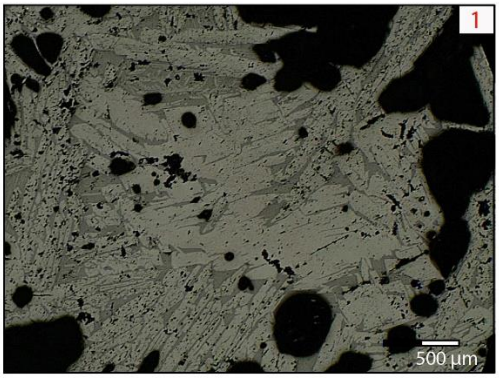
Nature de l'échantillon :
Fond de four

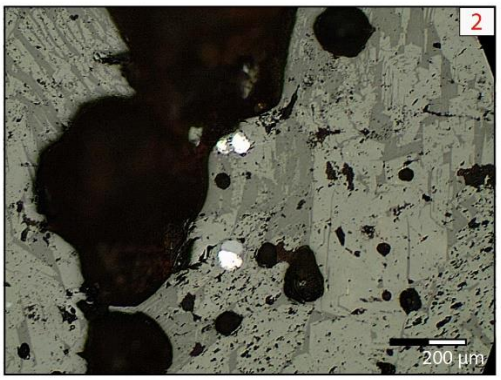
Macrographie : Fragment de fond de four plano-convexe dense brun avec inclusions de cailloutis et oxydes de fer. Scorie allongée et peu épaisse. Structure interne homogène, gris sombre avec cristaux de fayalites visible à l'œil nu. Fines zones oxydées en périphérie et rares petites zones vertes au centre. On y trouve également les porosités dans la partie inférieure de la scorie. Les plus petites sont arrondies et les plus grandes sont majoritairement étirées dans le sens horizontal bien que d'autres s'étirent plutôt verticalement. Aucune masse métallique n'est visible.

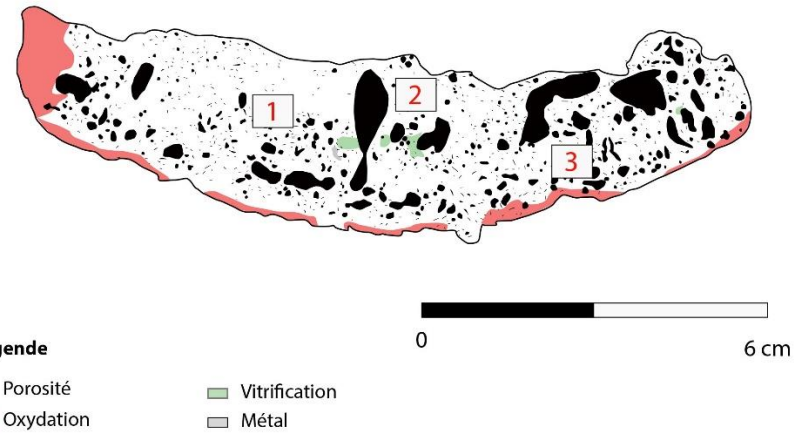
Dimensions : L = 10 cm l = 8,9 cm ep. = 2,1 cm
Masse : 0,27 g

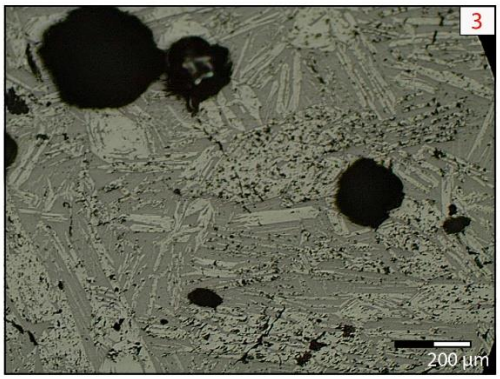


Observations Microscopiques









Micrographie : Fond de four dont la matrice est composée d'une phase vitreuse comprenant de la fayalite en cristaux équigranulaires trapus (1). Présence de très petits grains métalliques globulaires en partie supérieure (2). Un second niveau de latte de fayalites en fines lattes parallèles est visible par endroit (3).

Synthèse :

Fond de four peu épais, noir, dense et très homogène caractéristique d'une opération continue (BERRANGER 2014 : 126). On observe des porosités de petites et grandes dimensions relativement peu nombreuses. Les grandes porosités sont étirées et orientées vers la face supérieure de la scorie. La morphologie des porosités et la densité de la scorie laisse supposer une importante fluidité de la scorie (BERRANGER 2014 : 126).

La matrice est composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale composée de fayalite en cristaux équigranulaires trapus signalant un refroidissement très lent de la scorie. Un second niveau de fayalite en fines lattes parallèles est visible par endroit. De fins grains métalliques sont visibles dans la partie supérieure de la scorie, témoignant d'un passage à l'état liquide. Enfin, une légère hydroxydation dans la partie inférieure.

Echantillon n° : CHB489/1

Site : Ferrier F489/1
Forêt de Chambord

Nature de l'échantillon :
Fond de four

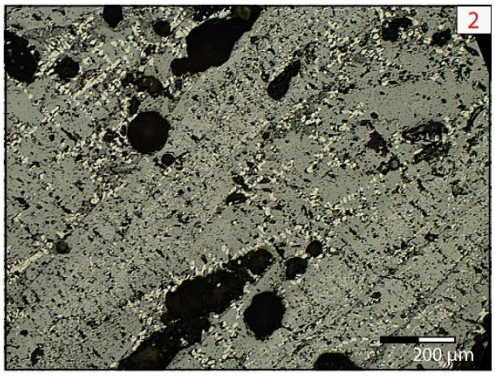
Macrographie : Fond de four plano-convexe brun, dense, peu épais avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois. On observe une légère vitrification sur la face supérieure. Structure interne de couleur grise sombre avec des cristaux de fayalite visibles à l'œil nu. Cette scorie comprend trois grandes porosités de forme globalement arrondie dans sa partie supérieure. Dans la partie inférieure on trouve des porosités de très petites dimensions parallèles à la face inférieur. On observe très peu de nodules métalliques.

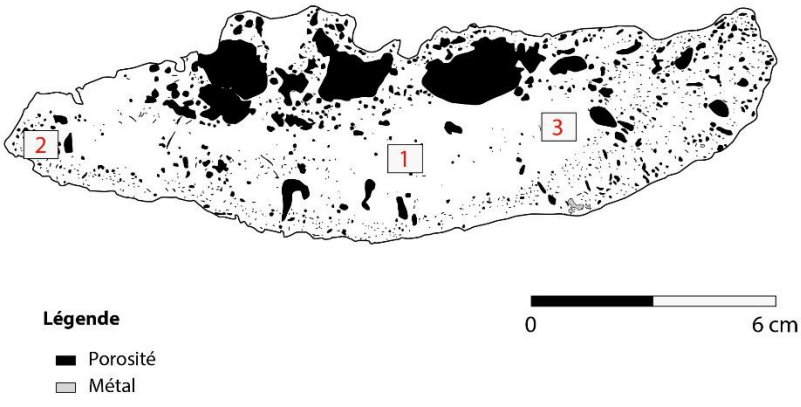
Dimensions : L = 18,2 cm l = 13,5 cm ep. = 2 cm
Masse : 1,401 g



Observations Microscopiques









Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse comprenant de très petites dendrites de wüstite (1). Dendrites de wüstite (2). Zone comprenant quelques fins cristaux de fayalite équigranulaires (3).

Synthèse :

Fond de four peu épais, noir, dense et très homogène caractéristique d'une opération relativement continue (BERRANGER 2014 : 126). On observe peu de porosités de grande et petite dimension. Les plus importantes se trouvent dans la partie supérieure de la scorie et sont anguleuses. Les autres sont assez étirées et orientées vers la surface. Cette observation signale une scorie très fluide lors de la réduction et la présence de gaz (oxygène ?) en fin de réduction.

La matrice de ce fond de four est majoritairement composée d'une phase vitreuse comprenant quelques fins cristaux de fayalite équigranulaires plutôt situés au centre de la scorie. Cette phase vitreuse présente également des dendrites de wüstite (FeO) de très petite dimension. Ces oxydes de fer cristallisent en milieu réducteur lors du refroidissement rapide de la scorie (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). Leur présence confirme donc un refroidissement très lent du fond de four dans un milieu comprenant une quantité importante de CO_2. Ces oxydes de fer témoignent d'une réduction non optimale. Néanmoins, on observe peu de nodules métalliques dans la scorie, donc peu de perte.

2.2 Les culots de forge

Echantillon n° : BOU142/1-1

Site : Ferrier F142/1
Forêt de Boulogne

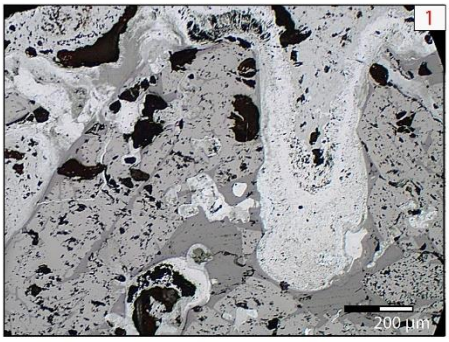
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

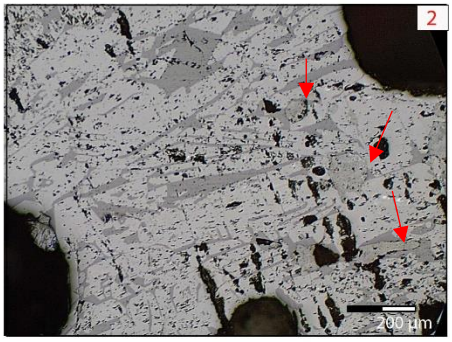
Macrographie : Petit culot de forge très oxydé en surface. La coupe montre une scorie assez dense et homogène de couleur verte à jaune avec des petites porosités au centre et de plus grandes en périphérie. Des lattes de fayalites sont visibles à l'œil nu.

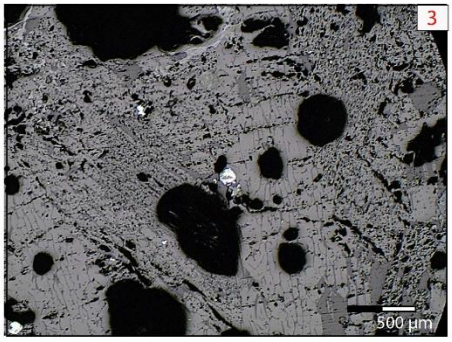
Dimensions : L = 5,5 cm l = 4,7 cm ep. = 3 cm
Masse : 0,119 g

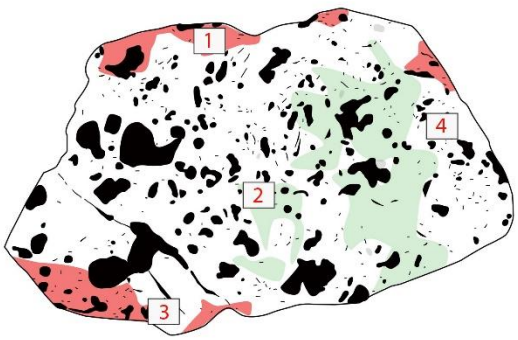


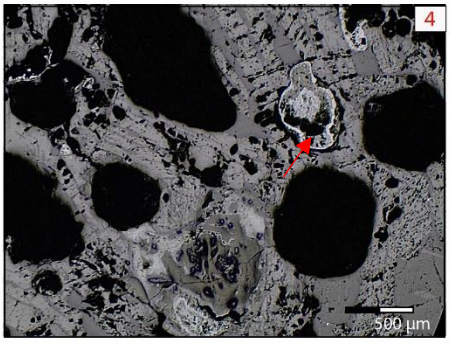
Observations Microscopiques











Légende

Porosité
Oxydation
Vitrification
Métal

0 2 cm

Micrographie : Phase vitreuse et fayalite en cristaux trapus associés à des hydroxydes (1). Fayalite en branche épaisse avec nodules argilo-sableux visibles au centre de la scorie (2). Fayalites en branche et en fines lattes parallèles associées à quelques grains métalliques dans la partie inférieure (3). Présence de plusieurs oxydes globulaires et informes en cours de dissolution (4).

Synthèse :

Petit culot de forge de couleur verte à jaune assez homogène et dense caractéristique d'une activité continue (BERRANGER 2014 : 126). On y observe une majorité de petites porosités globulaires, plus importantes et étirées dans la partie gauche de la scorie. Cette observation signale une scorie assez fluide lors du forgeage, la possible présence d'une arrivée d'oxygène d'un côté.

La matrice de ce culot de forge est homogène et comprend une phase vitreuse associée à une phase minérale comprenant de la fayalite en larges branches et en cristaux longs et trapus caractéristique d'un refroidissement moyen de la scorie. Des grains argilo-sableux sont visibles au centre de la scorie. Des grains métalliques de petites dimensions sont visibles dans la partie inférieure de la scorie. Leur dimension ne permet pas d'étudier leur structure interne. Plusieurs oxydes globulaires sont inclus dans la matrice. Enfin, on constate une hydroxydation en partie superficielle.

Echantillon n° : BOU155/1

Site : Ferrier F155/1
Forêt de Boulogne

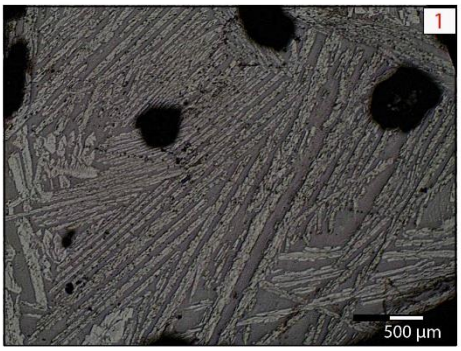
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

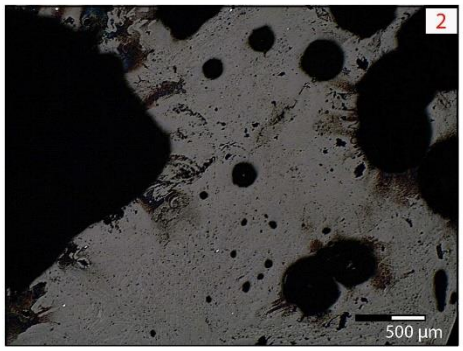
Macrographie : Culot de forge plano-convexe dense, brun, très oxydé en surface et vitrifié. La coupe présente une matrice hétérogène de couleur noire à verte comprenant d'importantes porosités dans la partie inférieure et centrale. Des inclusions de charbon de bois et d'oxydes de fer sont visibles dans la partie centrale.

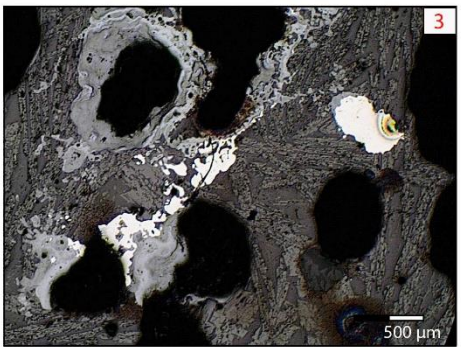
Dimensions : L = 8 cm l = 6 cm ep. = 6,6 cm
Masse : 0,402 g

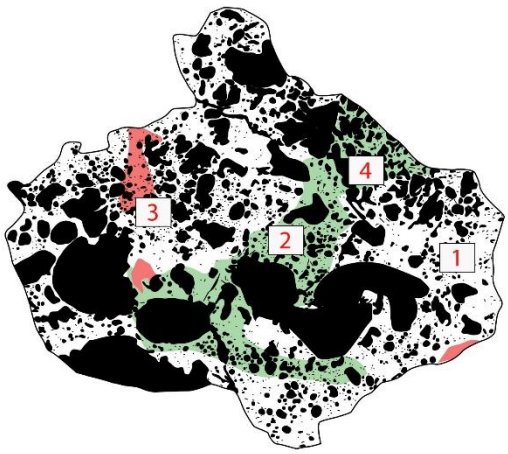


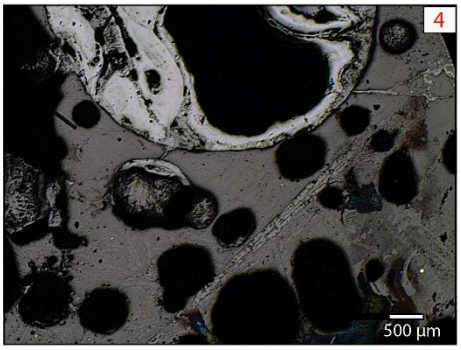
Observations Microscopiques











Légende
Porosité
Oxydation
Vitrification

0 5 cm

Micrographie : La matrice est constituée d'une phase vitreuse et de fines et longues lattes de fayalite (1). La partie verte comprend presqu'uniquement une phase vitreuse parfois associée à de très petits grains métalliques (2). On constate la présence d'hydroxydes, de petits nodules de métal globulaires composés de ferrites et de matières argilo-sableuses autour des porosités (3). Des oxydes globulaires sont visibles par endroit (4).

Synthèse :

Culot de forge brun, dense, très oxydé en surface. La coupe présente une matrice assez hétérogène de couleur noire à verte. De très nombreuses porosités sont visibles sur l'ensemble de la surface. Elles sont de forme arrondies pour les plus petites et étirées et globulaires pour les plus grandes, que l'on trouve principalement dans la partie inférieure de la scorie. Cela signale une faible fluidité de la scorie (BERRANGER 2014 : 126).

La matrice est composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de fines et longues lattes de fayalite. Cette observation témoigne d'un refroidissement assez rapide de la scorie. La partie centrale du culot, légèrement verte, est presqu'uniquement composée d'une phase vitreuse comprenant parfois de très petits grains métalliques. Des hydroxydes et des nodules métalliques anguleux de petite dimension sont également visibles autour des porosités. Des oxydes globulaires sont visibles par endroit. Cela confirme le fait qu'il s'agit d'un culot de forge, probablement issu d'une opération d'épuration. Enfin, des inclusions de charbons de bois et d'hydroxydes de fer sont visibles dans la partie centrale.

Annexe 3 : Fiches ferriers de la forêt de Châteauroux

F003

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

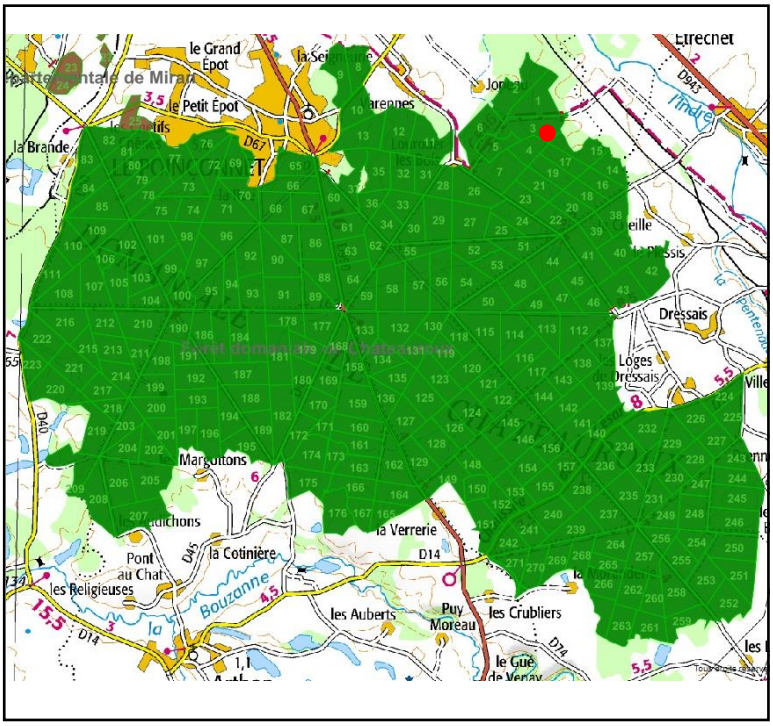
Parcelle forestière : 003

Coordonnées GPS

X : 605839,404 m

Y : 6629765,206 m

Z : 158,02 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/03/19

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Zone bicolore sans ferrier

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 58,4 m

largeur : 19,4 m

Hauteur : > 20 cm

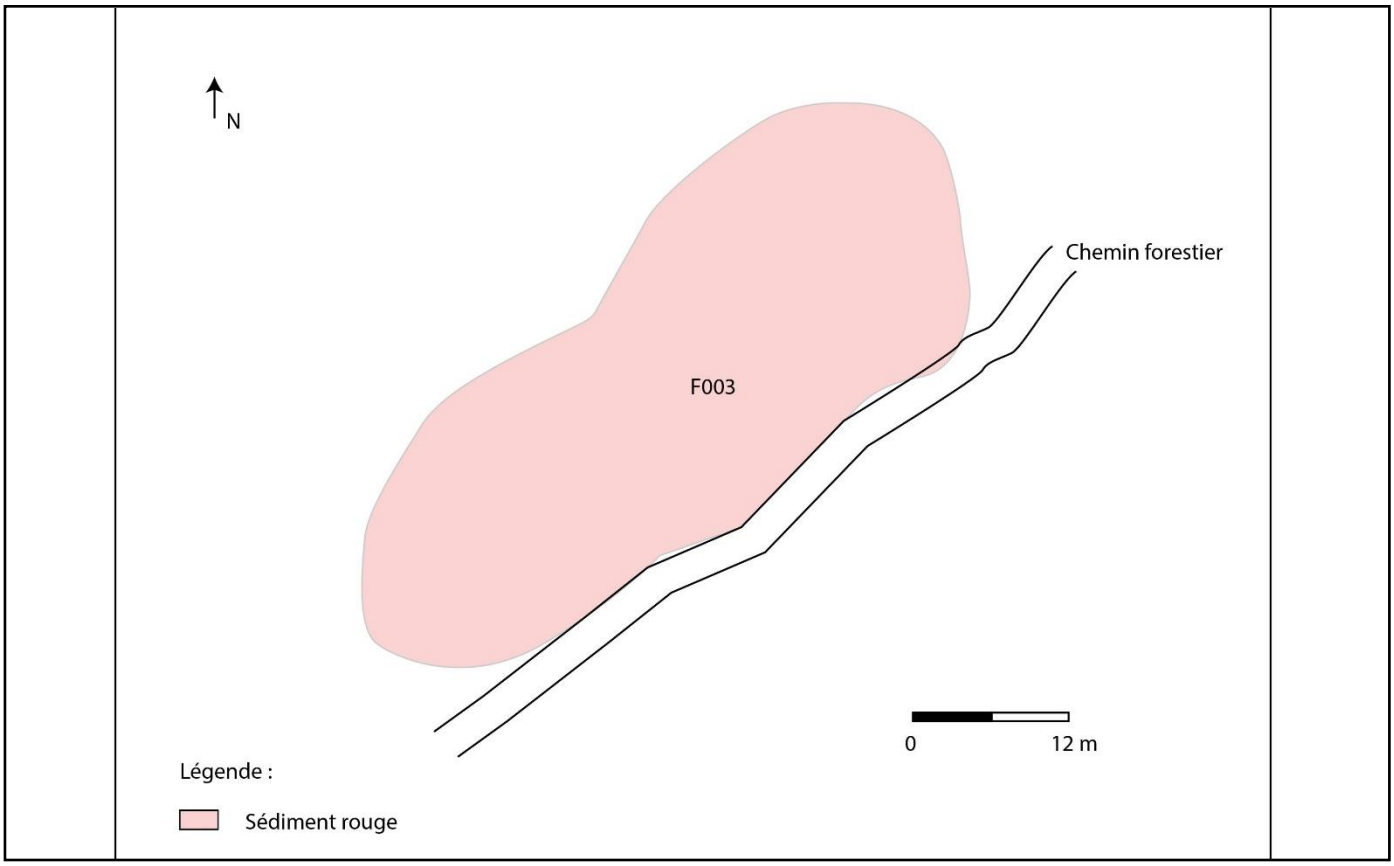
Sédiment : Sédiment limono-sableux rouge à brun.

Caractéristiques environnementales : Couvert de bouleaux et de chênes. Forme une butte dans le paysage.

Datation : Indéterminée

Observations : Butte de terre rouge comprenant des scories fragmentées à très fragmentées. Un épandage de terre plus sombre se trouve au nord-est et une charbonnière à l'ouest. Cette structure est coupée par un layon et limitée au nord par une levée de terre.

Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 8, 2 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 1 importante Scorie Ferreuse (0,267 kg) et 4 fragments de Scories Brunes Rugueuses (0,192 kg) tous les 5 comprenant des inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer

Fragmentation : Moyenne

- 47 Scories Grises Denses à cordons épais (6, 963 kg), 6 Scories Grises Denses à cordons fins (0,199 kg), 4 Scories Grises Denses Ridées (0,347 kg) et 23 Scories Grises Denses indéterminées (1, 377 kg).

Fragmentation : Moyenne

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 12 fragments de paroi en argile grise à beige ou rosé vitrifiés (0, 584 kg)

Matériau lithique :

- 4 fragments de quartz blancs dont 3 présentent des colorations rougeâtres (0, 205 kg)

F004

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

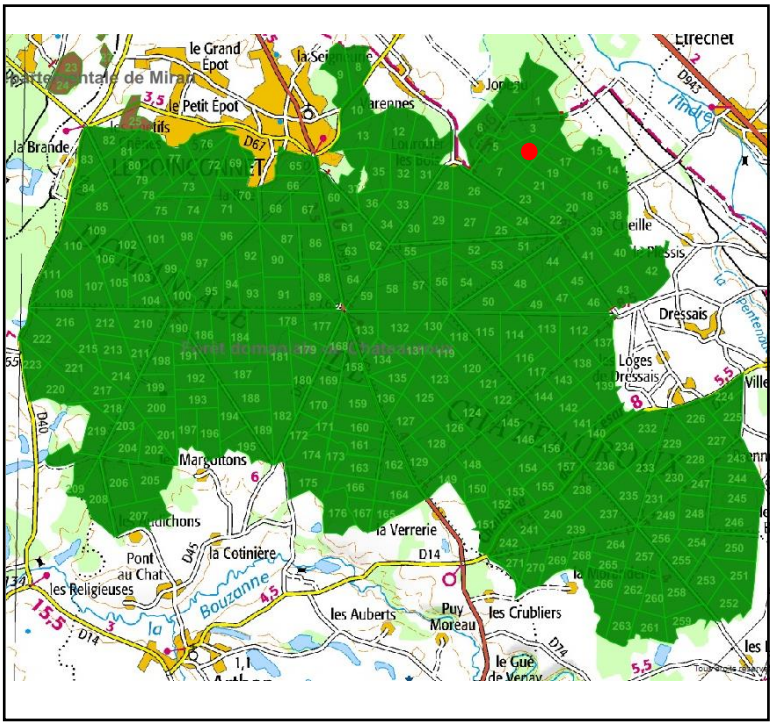
Parcelle forestière : 004

Coordonnées GPS

X : 605537,536 m

Y : 6629577,561 m

Z : 209,23 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/03/19

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage

Forme : Indéterminée

Longueur : Indéterminée

largeur : Indéterminée

Hauteur : Indéterminée

Sédiment : Sédiment limono-sableux brun.

Caractéristiques environnementales :

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage comprenant de très rares scories éparses et fragmentées sur plusieurs mètres.

Description du mobilier ramassé

Poids total : 0, 09 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 3 Scories Grises Denses indéterminée (0, 09 kg)

Fragmentation : Très fragmentées

Scories de forge :

Aucune

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

Céramique :

F020

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

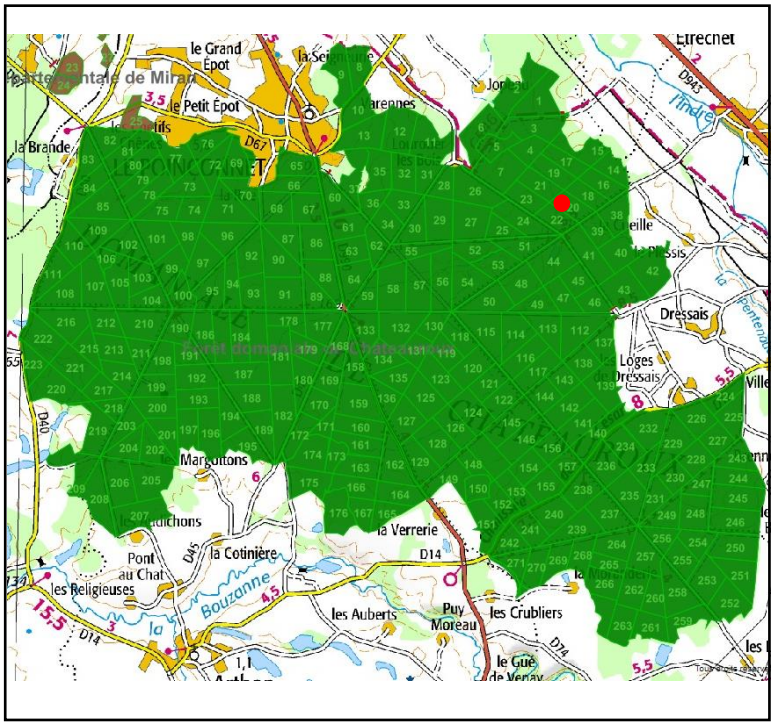
Parcelle forestière : 020

Coordonnées GPS

X : 605854,772 m

Y : 6628808,641 m

Z : 156,44 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/03/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Falciforme

Longueur : 51 m

largeur : 48 m

Hauteur : 2 m

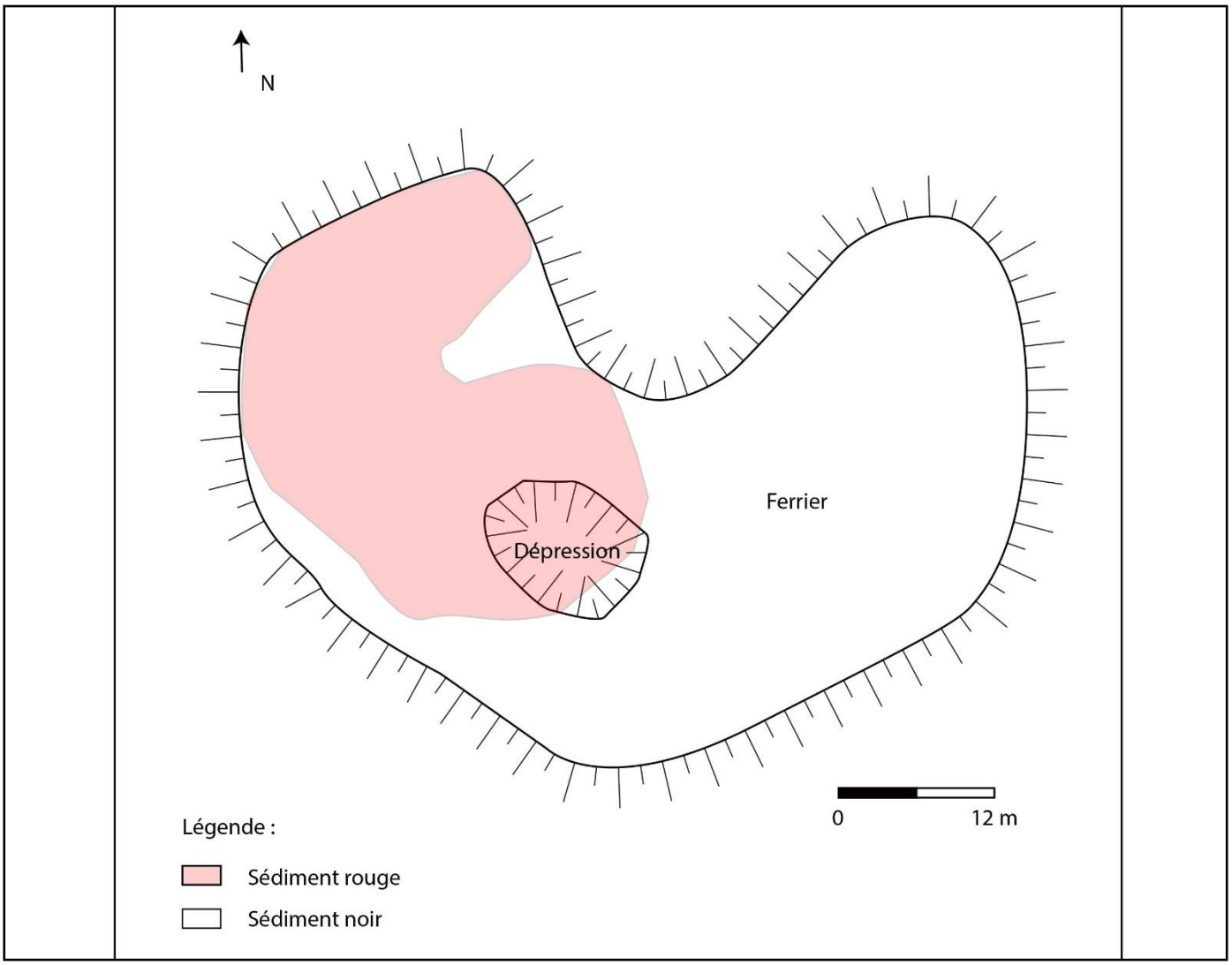
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Couvert de ronce et de jeunes arbres. Végétation basse se trouve plutôt au niveau de la terre noire. Une fosse se trouve au centre de la structure.

Datation : Indéterminée

Observations : Grand ferrier présentant deux lobes différents, l'un rouge et l'autre noir. Scories éparses très fragmentées dans les deux zones.

Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 1, 6 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

Zone noire (1, 1 kg) :

- 7 fragments de Scories Brunes Denses (0,2 kg), 14 fragments de Scories Brune Rugueuse avec négatifs de charbon de bois et oxydes de fer (0,568 kg), 5 fragments de Scorie Ferreuses avec inclusions d'oxydes de fer et charbon de bois (0,1 kg) et 1 pseudo-laitier noir très vitrifié (0,06 kg)
- 4 fragments de Scorie Grises Denses à cordons épais (0,1 kg)

Zone rouge (0,5 kg) :

- 3 fragments de Scories Brunes Denses dont 1 présente le négatif de charbons de bois (0,3 kg), 3 fragments de Scories Ferreuses (0,037 kg) et 1 pseudo-laitier vert (0, 032 kg)
- 6 fragments de scories grises denses à cordons épais (0, 2 kg)

Autres mobiliers

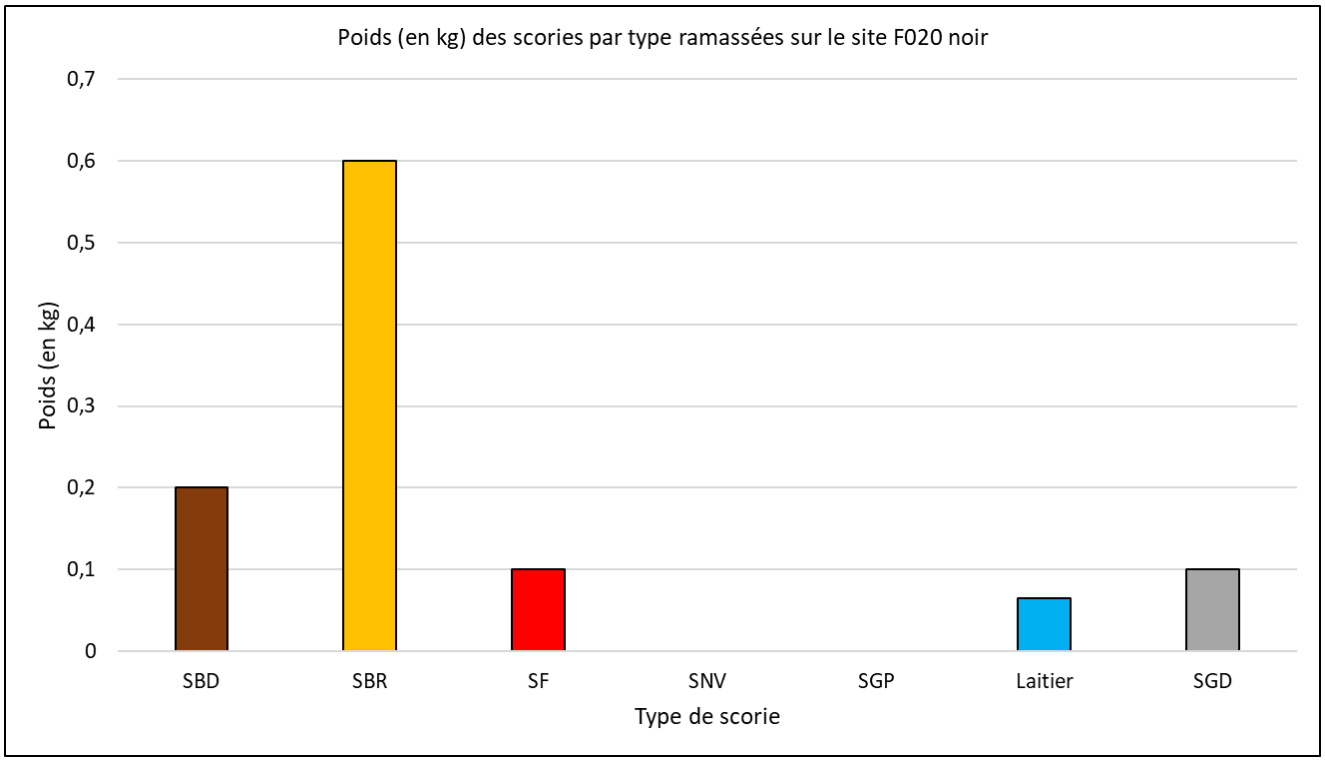
Paroi argileuse :

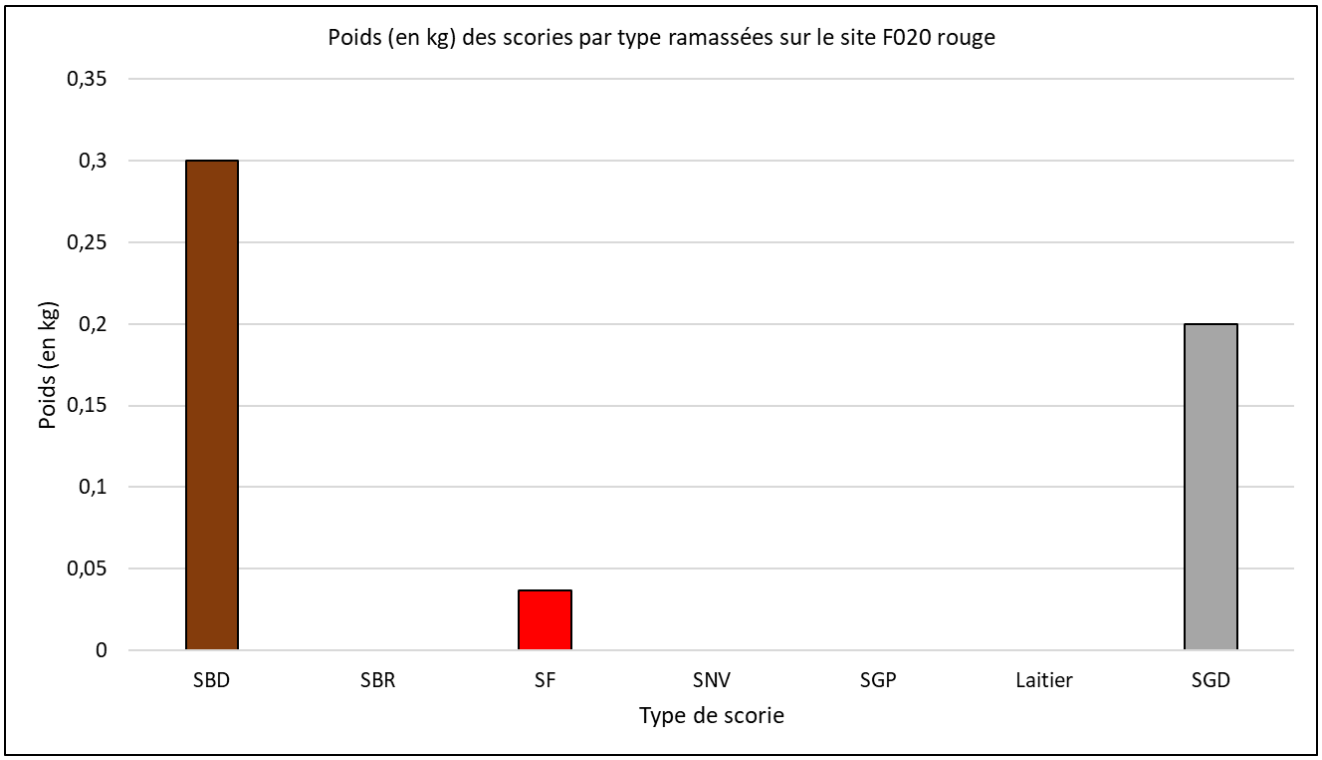
Zone noire :

- 5 fragments de paroi en argile gris vitrifiés (0,159 kg)

Zone rouge :

- 6 fragments de paroi en argile gris (0,104 kg)
- 4 fragments de silex gris à rouge et 1 nodule de quartz blanc (0, 089 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F020 noir
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
Poids (en kg)
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Type de scorie


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F020 rouge
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
Poids (en kg)
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Type de scorie

F035

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

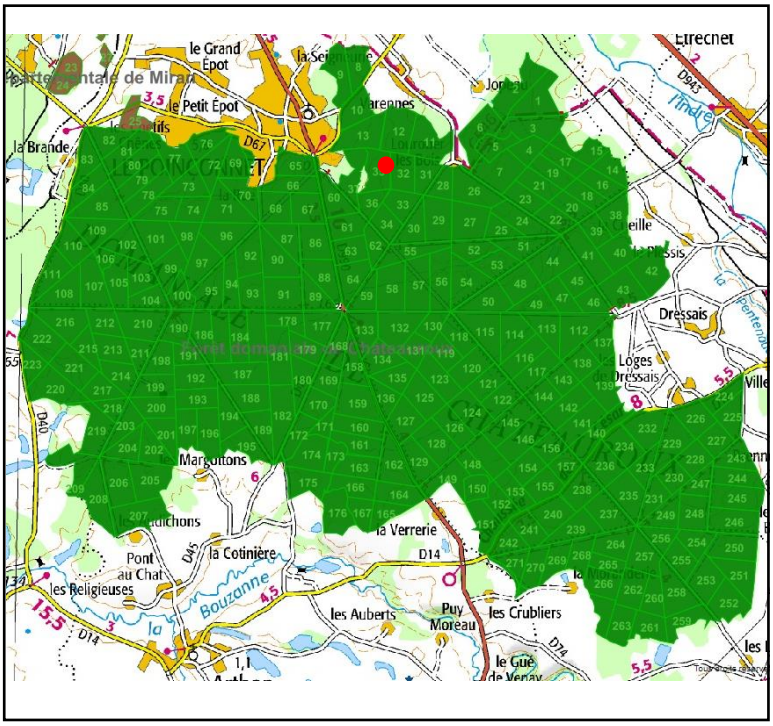
Parcelle forestière : 035

Coordonnées GPS

X : 603500,517 m

Y : 6629378,93 m

Z : 158,88 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/11/18

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Arrondie

Longueur : 29,4 m

largeur : 18,3 m

Hauteur : 0,8 m

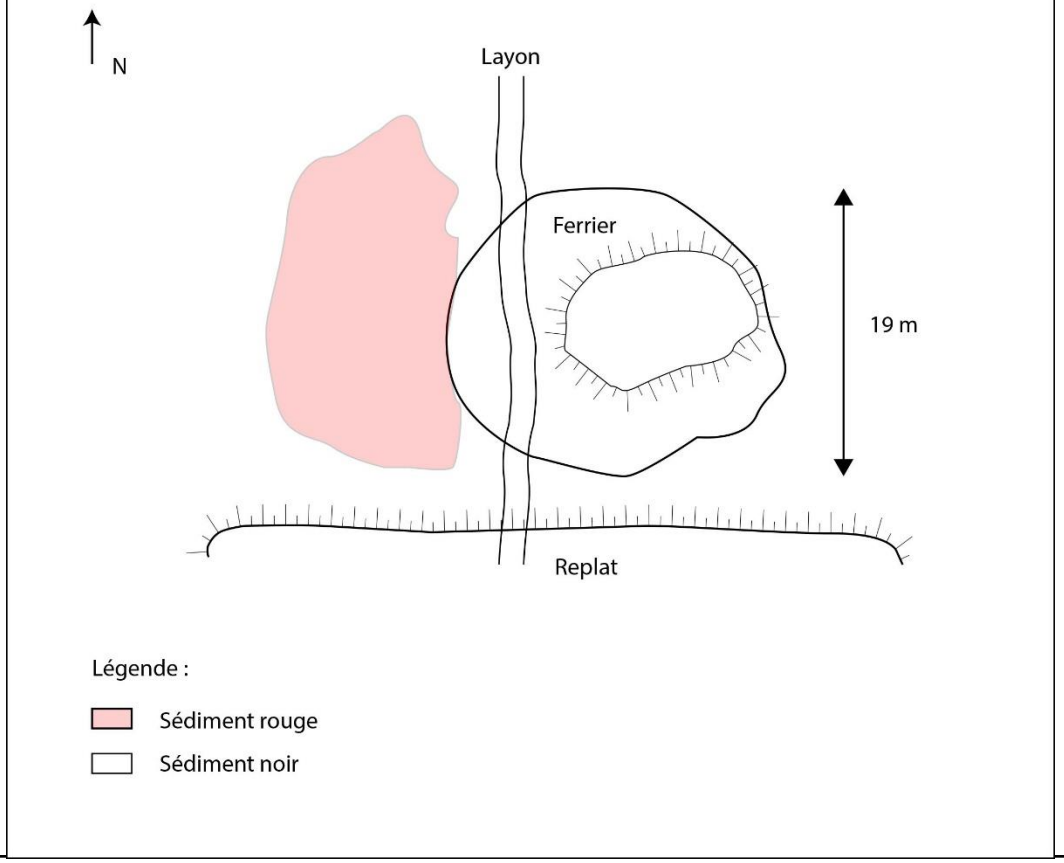
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Le ferrier est coupé par un layon et couvert de ronces et de charmes.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de taille moyenne situé sur un replat. La terre noire comprend peu de scories très fragmentées et la zone rouge est assez limitée et se trouve en contrebas au nord-ouest.

Plan schématique du site



Description du mobilier ramassé

Poids total : 0, 852 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 20 Scories Brunes Rugueuses (0,557 kg)

Fragmentation : Importante

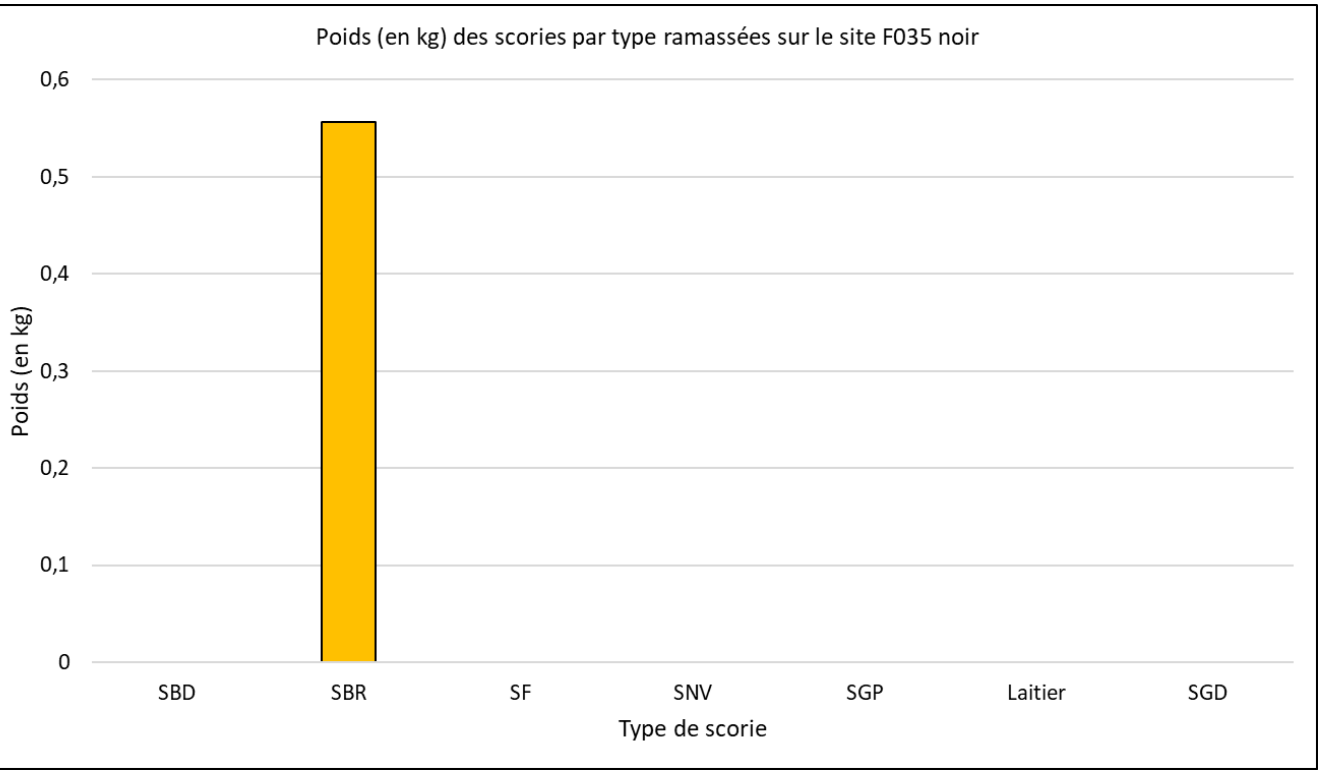
- 4 Scories Grises Denses indéterminées (0,047 kg)

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 4 fragments de parois en argile beige scorifiés et vitrifiés, 4 fragments en argile gris présentant une face vitrifiée et scorifiée et 2 fragments en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétriques (0,248 kg)



F044

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

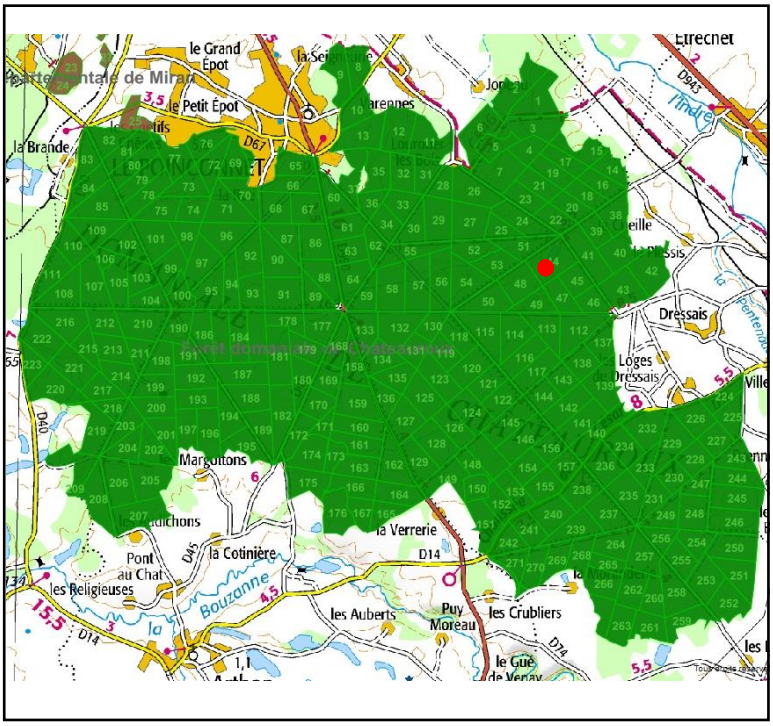
Parcelle forestière : 044

Coordonnées GPS

X : 605671,281 m

Y : 6627834,935 m

Z : 158,98 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/03/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Indéterminée

Forme : Indéterminée

Longueur : Indéterminée

largeur : Indéterminée

Hauteur : Indéterminée

Sédiment :

Caractéristiques environnementales :

Datation : Indéterminée

Observations : Site non visible à cause de la végétation dense.

F046

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

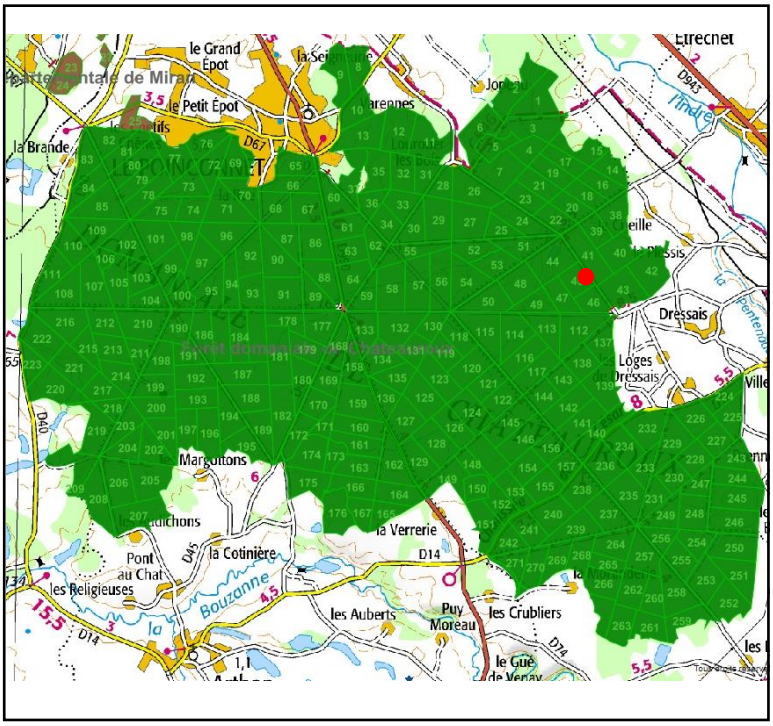
Parcelle forestière : 046

Coordonnées GPS

X : 606383,158 m

Y : 6627591,759 m

Z : 165,11 m



Enregistrement

Date de prospection : 21/03/19

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 54 m largeur : 43 m Hauteur : 1,6 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux brun/rouge.

Caractéristiques environnementales : Couvert de bouleaux. Une marre se trouve au sud-est.

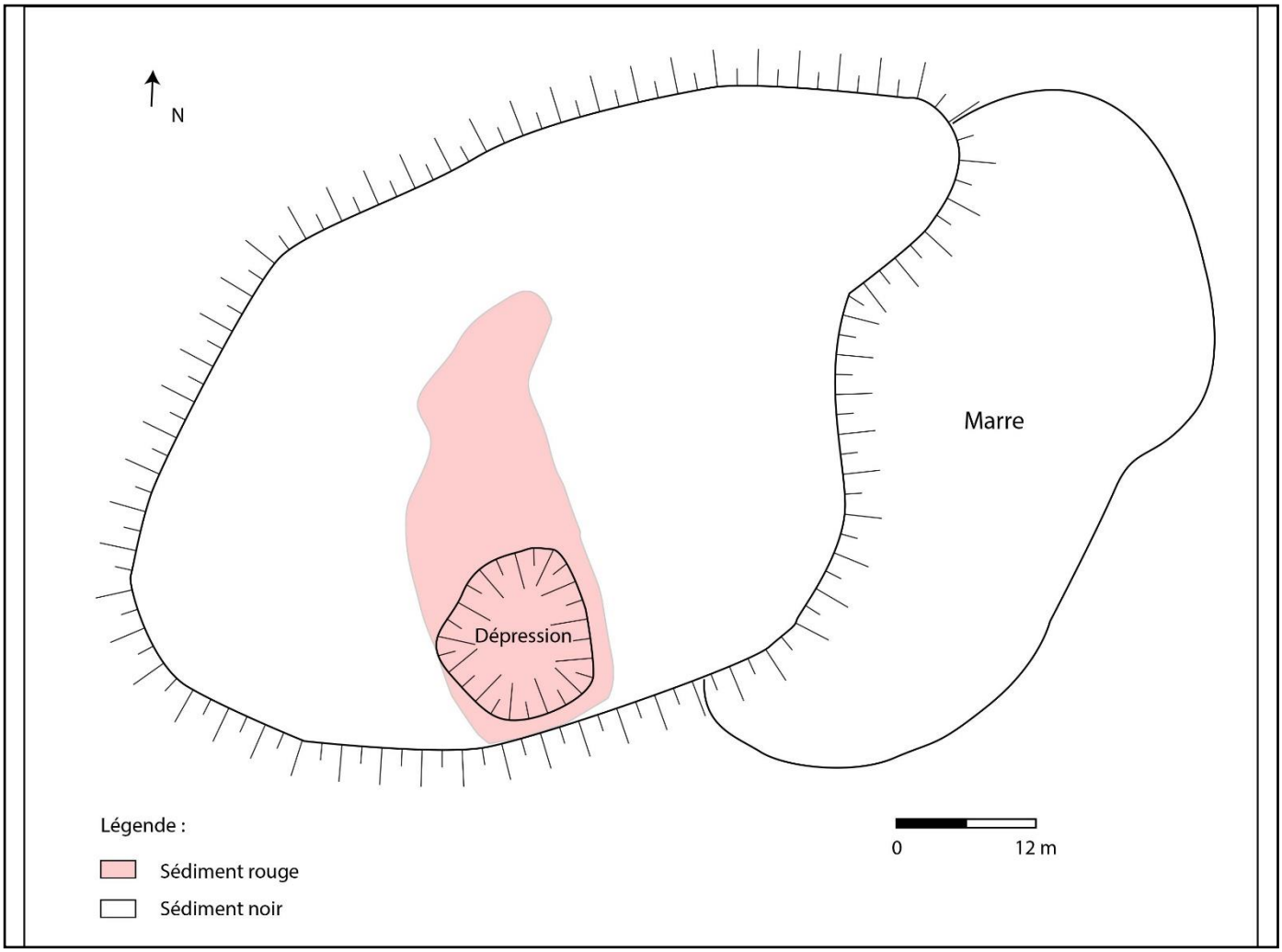
Datation : Indéterminée

Observations : Très grand ferrier en partie récupéré comprenant un sédiment limono-sableux noir au nord et une poche rouge autour de la dépression au sud. On trouve de nombreuses scories de grandes tailles et des fragments de TCA dans la zone noire et des scories éparses et très fragmentées dans la zone rouge.

Photographie (vue vers le nord-est)



Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 29,6 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

Zone noire (12,9 kg)

- 1 Scorie Brune Dense présentant le négatif de gros charbons de bois (1,967 kg), 1 fond de four brun, rugueux comprenant des billes d'oxydes de fer et le négatif de charbons de bois (3,882 kg). Très vitrifié bleuté en surface. 1 Scorie Ferreuses avec négatif de charbon de bois (0,762 kg)
- 9 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (3, 131 kg), 6 Scorie Grises Denses indéterminées dont 2 présentent une importante oxydation en surface et le négatif de charbon de bois (1, 802 kg). Enfin 1 Scorie Grise très Dense et poreuses (fonte ?) (1, 339 kg)

Zone rouge (0,1 kg)

- 3 fragments de Scories Grises Denses (0,1 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 38 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques plus ou moins vitrifié sur une face, parfois bleuté. On y trouve souvent des inclusions d'oxydes de fer. Un tiers environ sont très indurés. 3 fragments présentent de fins canaux de 1,7 à 1,9 cm de diamètre (négatif de clayonnage ?). On trouve également 1 fragment de paroi en argile noir et 1 en argile beige (7,5 kg).

TCA :

- 4 fragments de TCA en argile orangé présentant des inclusions de chamotte, de quartz millimétrique et le négatif de fibre végétale et 1 TCA orangé présentant 2 rebords (tegulae) (1,52 kg).

Matériau lithique :

- 2 fragments de grès gris rubéfié en surface, 1 fragment de grès avec inclusions de quartz millimétrique, 1 gros fragment de calcaire induré avec traces de rubéfaction, 1 fragment de silex rouge et blanc (1,766 kg)

Zone rouge

Paroi argileuse :

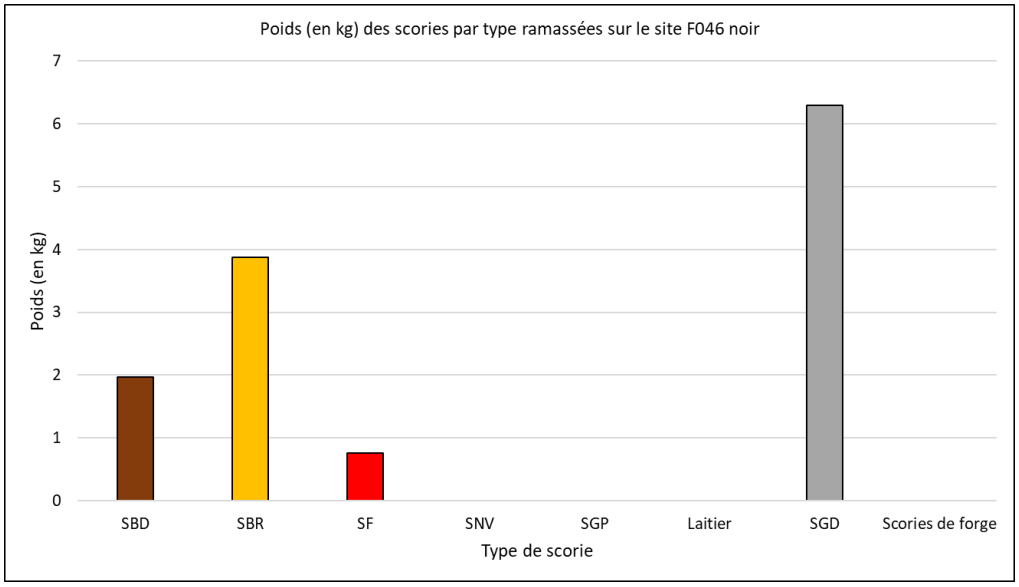
- 5 fragments de paroi en argile gris à beige avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrifiés par endroit. L'un d'entre eux présente 3 sillons parallèles de 1,8 à 2 cm de diamètre (1,328 kg).

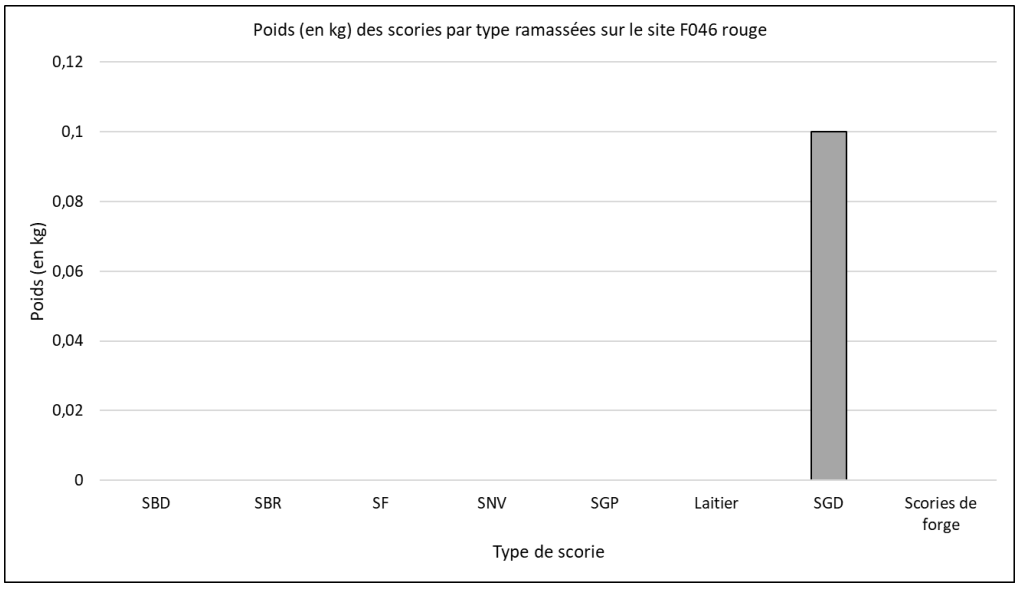
TCA :

- 1 fragment de TCA en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétrique (tegulae ?), chamotte et scorification ponctuelle (0,227 kg)

Matériau lithique :

- 3 fragments de silex gris à jaune avec croûte oxydée en surface, 1 fragment de grès blanc, rugueux et rubéfié par endroit et 1 fragment de calcaire dense induré, rubéfié et scorifié en surface (4,21 kg)
- 2 petits fragments de possible minerai rubéfiés, noirs et scorifiés (0,054 kg)





F051

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

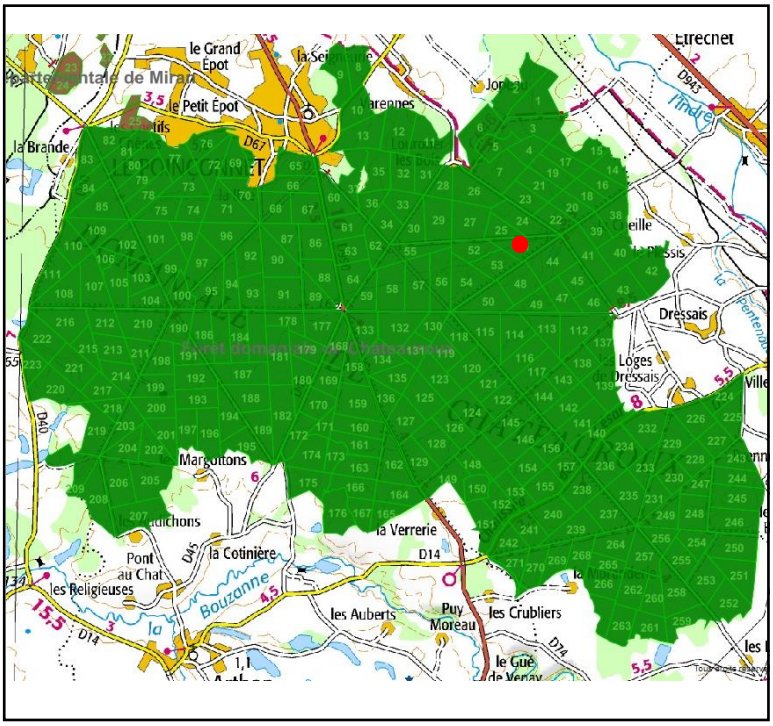
Parcelle forestière : 051

Coordonnées GPS

X : 605362,758 m

Y : 6628224,559 m

Z : 157,13 m



Enregistrement

Date de prospection : 20/03/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Falciforme

Longueur : 100,2 m

largeur : 43 m

Hauteur : 2,5 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Présence de quelques bouleaux et de nombreuses dépressions (récupération)

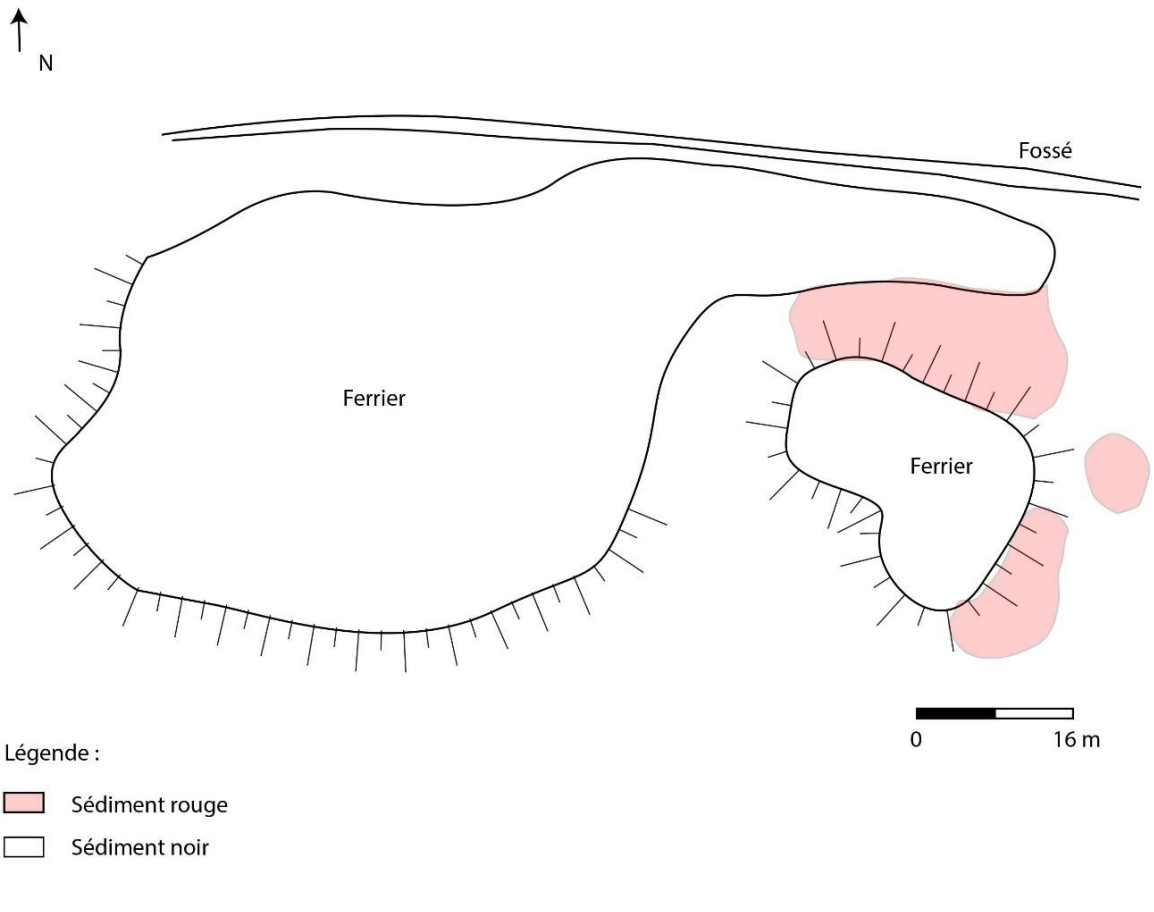
Datation : Indéterminée

Observations : Grand ferrier (92x43m) associé à de la terre rouge à l'est. Ce ferrier comprend de nombreuses scories fragmentées. Il n'y a pas ou très peu de scorie dans la zone rouge. Structure en grande partie récupérée.

Photographie (vue vers le nord-est)



Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 36, 2 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (23,3 kg)

Scories de réduction :

- 9 Scories Brunes Denses présentant parfois des inclusions d'oxydes de fer et de paroi, dont 3 gros fond de four plano-convexe comprenant le négatif de charbon de bois (9,9 kg), 27 fragments de Scories Brunes Rugueuses comprenant des inclusions d'oxydes de fer et de Charbons de bois (3,9 kg).
- 49 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (3 kg), 11 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (2, 231 kg), 1 Scorie Grise Dense à cordons agglomérés oxydée en surface (0,786 kg) et 70 Scories Grises Denses indéterminées dont 29 sont très oxydés en surface (3,618 kg).

Zone rouge (5,3 kg)

Scories de réduction :

- 1 fragment de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer (0,5 kg), 16 fragments de Scories Brunes Rugueuses comprenant de nombreuses inclusions d'oxydes de fer et de charbon (0,4 kg) et 27 fragments de Scories Ferreuses comprenant des inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer (1, 45 kg).
- 29 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,929 kg), 8 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,091 kg) et 64 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (1,834 kg).

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 19 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques vitrifiés par endroit et reflets vert sur 2 individus, 2 fragment de paroi en argile gris à noir induré et scorifiés sur une face et 4 fragments de paroi en argile orangé à mauve avec inclusions de quartz submillimétriques (5,323 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de quartz blanc et 1 nodule de quartz rouge (0, 095 kg)

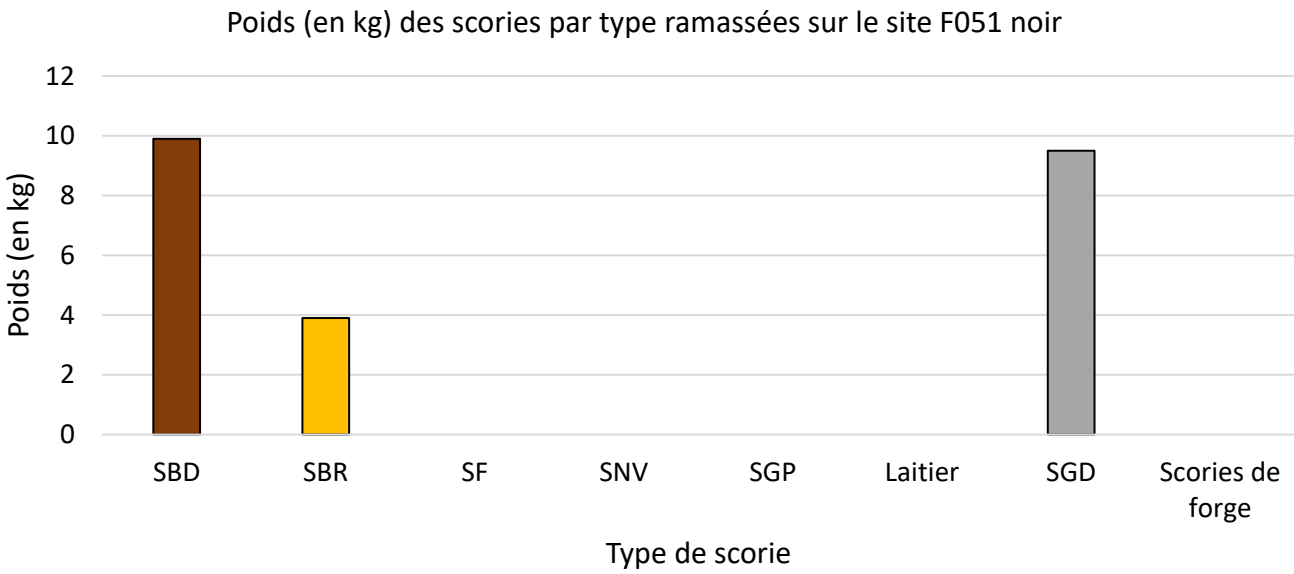
Zone rouge

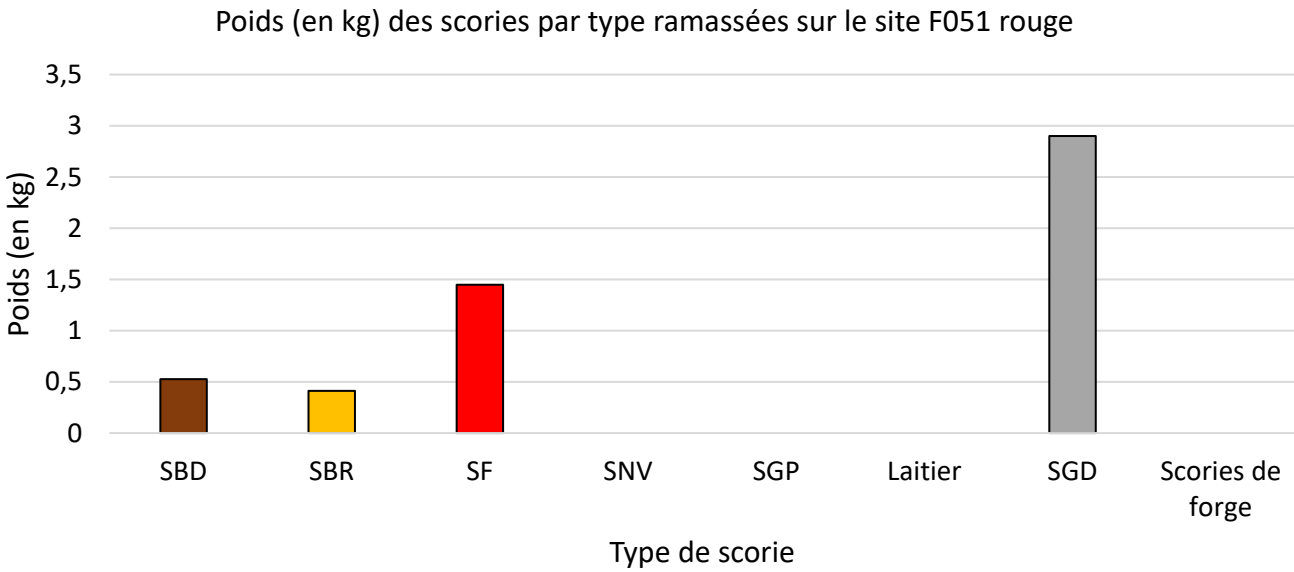
Paroi argileuse :

- 15 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques présentant souvent une face vitrifiée et/ou scorifiée, 17 7 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques présentant des traces de vitrification et 1 gros fragment de paroi en argile gris à blanc présentant une face scorifiée et vitrifiée avec inclusions d'oxydes de fer (2,163 kg).

Matériau lithique :

- 1 fragment de grès blanc, rugueux et rubéfié par endroit, 1 nodule de quartz rubéfié et 1 fragment de probable minerai rubéfié et noir (0,064 kg)





F056

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

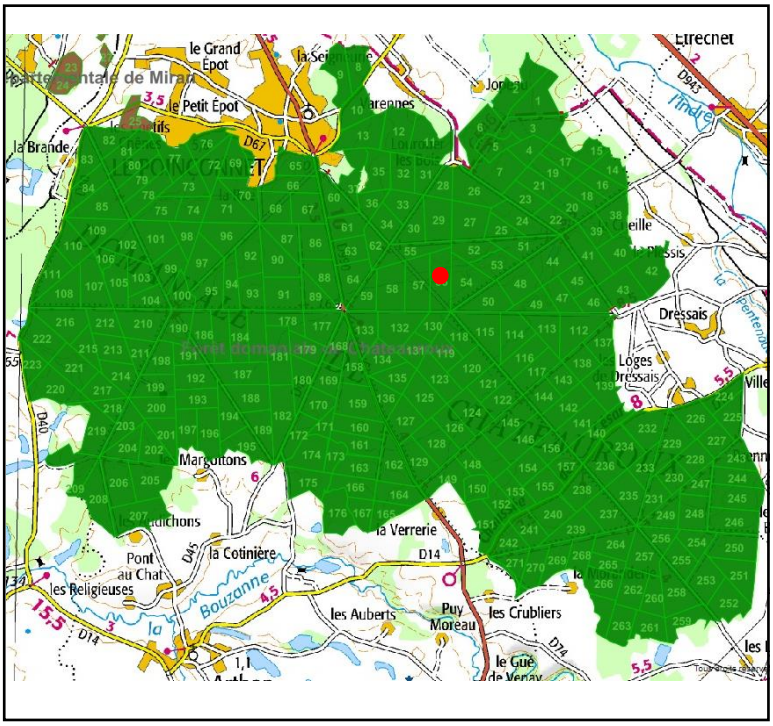
Parcelle forestière : 056

Coordonnées GPS

X : 604215,264 m

Y : 6627800,158 m

Z : 160,32 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/11/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Epandage Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 24,8 m largeur : 20,6 m Hauteur : Sup. 60 cm

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir au centre et brun/rouge au nord.

Caractéristiques environnementales : Espace très vallonné et boisé perturbé par de nombreux terriers.

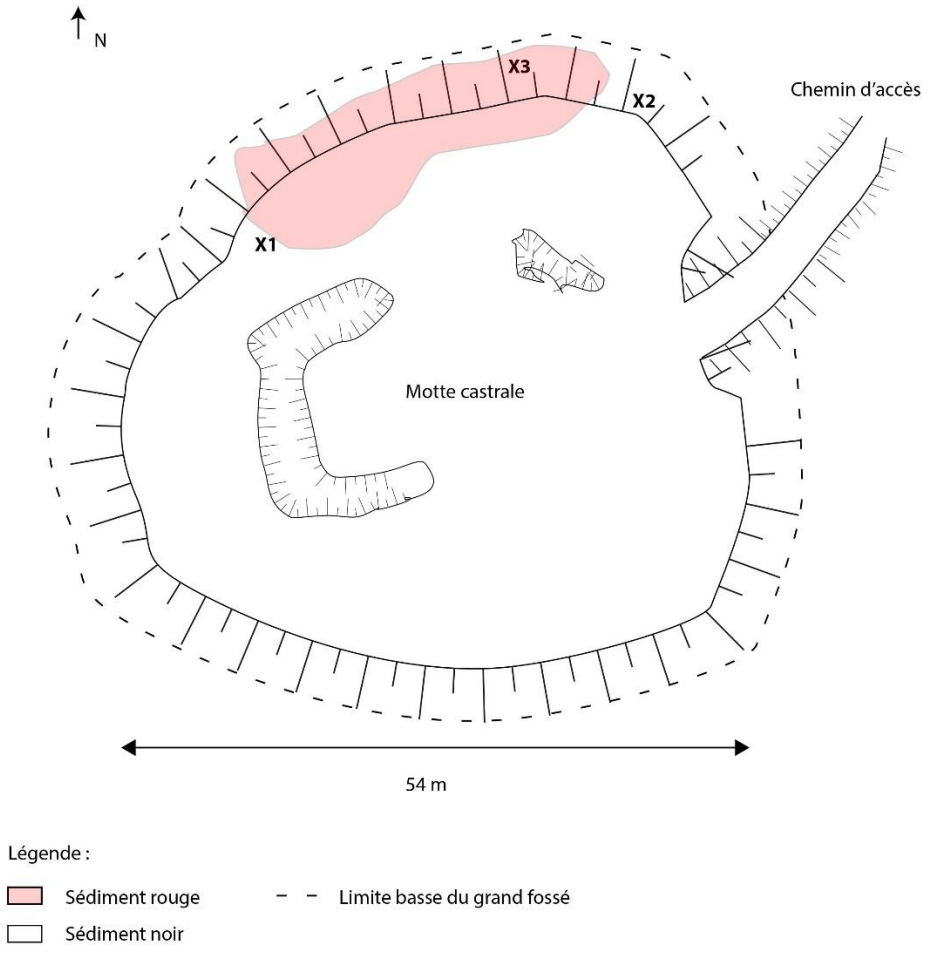
Datation : Indéterminée

Observations : Epandage composé de nombreuses scories plus ou moins fragmentées. Au sommet de la motte se trouve uniquement une US limono-sableuse noire et sur le bord interne du fossé (notamment au nord-est) une US rouge/brunâtre comprenant peu de scories très fragmentées. Au sud de la motte une petite concentration de scorie a été observée en bas de pente. Au sommet de la motte une souche retournée a fourni de nombreux fragments de céramiques. Plusieurs sondages à la tarière ont été réalisés à plusieurs endroit de la motte (X1, X2, X3) révélant la présence de remblais sous l'épandage mesurant entre 30 et 60 cm de profondeur. Le ferrier à l'origine de cet épandage se trouve probablement dans un champ situé au nord mais impossible à enregistrer à cause de la végétation et de son état d'arasement.

Photographie (vue vers l'ouest)



Plan schématique du site (E. Clouin, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 18,7 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 2 Scories Brunes Denses dont 1 fragment de fond de four vitrifié présentant des traces d'oxydes sur la face inférieure (0, 86 kg), 2 Scories Brunes Rugueuses dont 1 fond de four vitrifié vert comprenant de nombreux gros négatifs de charbon de bois et des oxydes de fer (2 kg) et 1 fragment de Scorie ferreuse homogène et compacte avec de nombreuses inclusions de charbon de bois et de paroi en argile grise (0, 142 kg)

Fragmentation : Importante

- 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1, 753 kg), 1 gros fragment de Scorie Grise Dense ridée présentant de nombreux négatif de charbon de bois (1, 022 kg), 2 fragments de Scories Grises Denses agglomérés (0,439 kg) et 6 Scorie Grises Denses indéterminées couverte d'une gangue d'oxydes ferreux (0,156 kg)

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- Fragments de paroi gris, noire ou encore beige ou orangée souvent vitrifiés sur une face avec inclusions de quartz submillimétriques, d'oxydes de fer par endroit et de cailloutis blancs. 4 individus montrent des sillons parallèles de 1,7 à 2,5 cm de large et 6 individus ont des protubérances similaires de 1,5 à 2,7 cm de large (11,3 kg)

TCA :

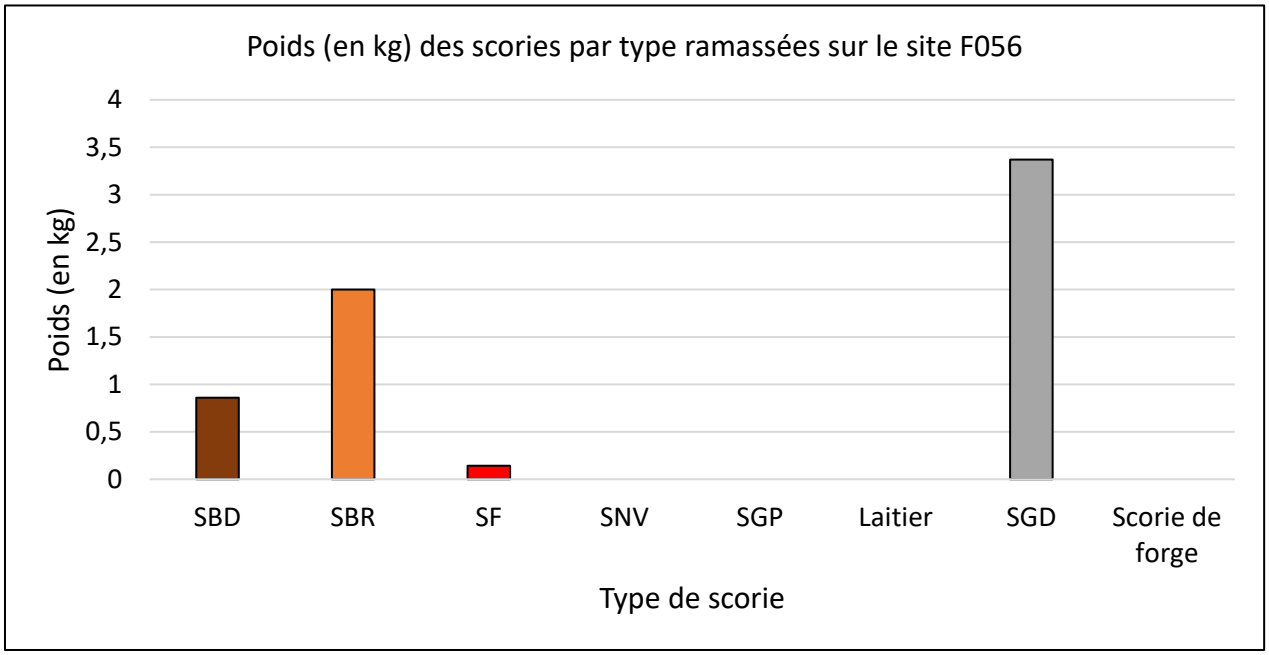
- 41 fragments de TCA en argile grise, beige ou orangée comprenant généralement des inclusions de quartz submillimétriques mais aussi souvent de la chamotte. On compte au moins 8 tuiles, 2 tegulae et 3 carreaux de pavage dont l'un est glassuré (0,743 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de calcaire rubéfié avec micro-inclusions de charbon de bois (0,271 kg)

Vestiges métallique :

- 2 agglomérats métalliques oxydés (0,189 kg)
- 1 fragment de plaque métallique très oxydée, 1 fragment de tige métallique très oxydée et 1 clou en fer (0,021 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F056
Poids (en kg)
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

F064

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

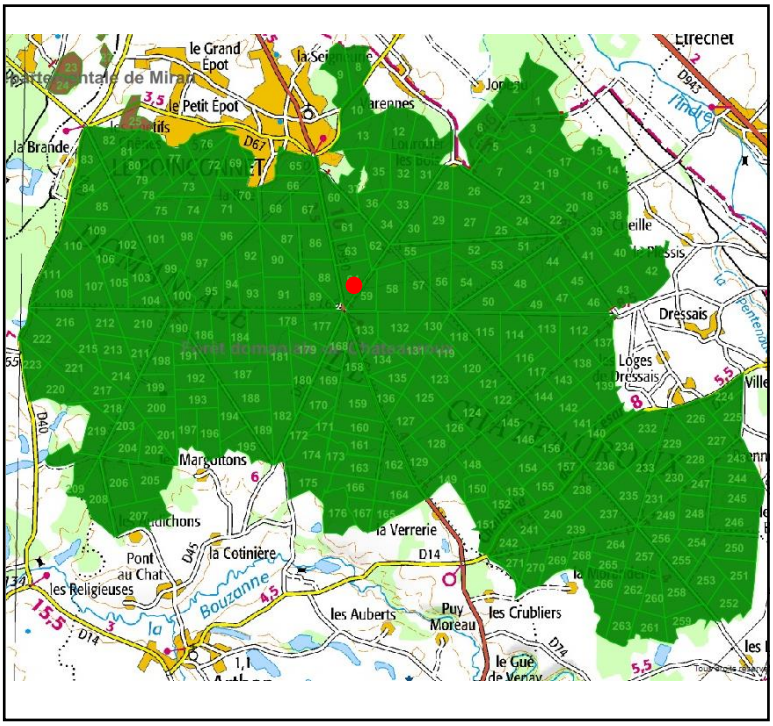
Parcelle forestière : 064

Coordonnées GPS

X : 602998,81 m

Y : 6627647,47 m

Z : 163,41 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/11/18

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 95 m

largeur : 82,7 m

Hauteur : 1, 70 m

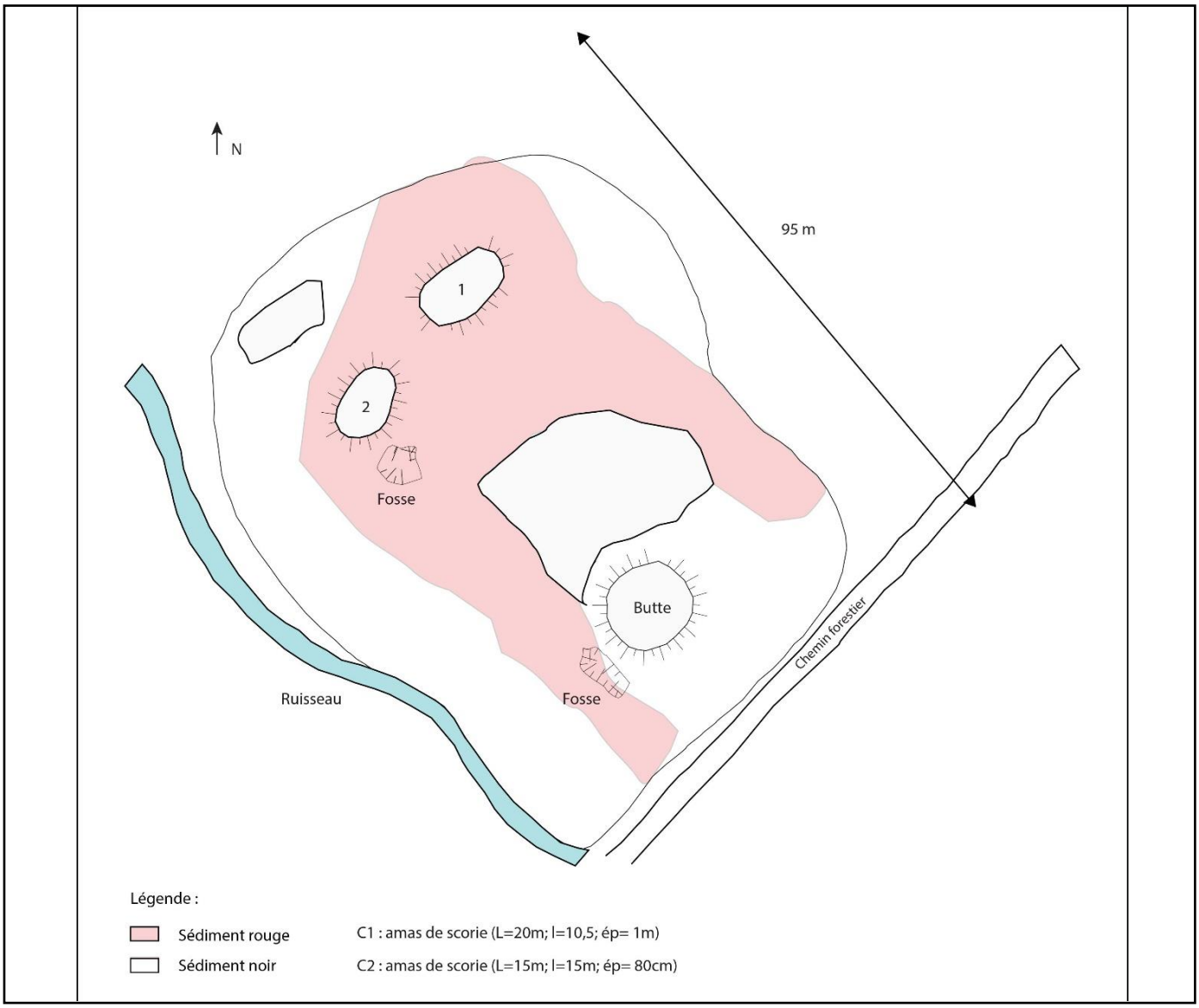
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir avec inclusion de charbon de bois.

Caractéristiques environnementales : Structure très perturbée, coupée au sud-ouest par un cours d'eau, au nord un marais, au nord/nord-est par un bassin de récupération d'eau. Recouverte de fragon, houx et ronces.

Datation : Indéterminée

Observations : Zone métallurgique bicolore comprenant une butte principale circulaire et brune de 1,7 m de hauteur. On y trouve une forte densité de scories pluri-centimétriques et quelques grands éléments épars. On observe également deux élévations secondaires (C1 et C2) composés d'un amas de scorie de 0,80 à 1 m de haut. Une bande de terre légèrement en élévation forme un arc de cercle au sédiment rouge orienté sud/sud-ouest – nord/est entre ces deux sommets. Le reste de la structure présente une importante variation de concentration de scories avec des gisements ponctuels de gros éléments.

Plan schématique du site (E. Clouin, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 9,4 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (8,6 kg)

Scories de réduction :

- 9 fragments de Scories Brunes Denses (0,102 kg), 2 fragments de Scories Brunes Rugueuses très vitrifiés (0,065 kg), 2 fragments de Scories Ferreuses (0,056 kg) et 10 fragments de Scories légères grises à noires avec matrice vacuolaire (0,111 kg)
- 9 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (3,3 kg) et 42 fragments de Scories Grises Denses indéterminés oxydés en surface et très vitrifiés par endroit (3,5 kg)

Zone rouge (1,072 kg)

- 2 fragments de pseudo-laitier, un bleu et un vert (0,016 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 24 fragments de paroi en argile grise à beige assez indurés présentant souvent des traces de vitrification (1, 58 kg)

TCA :

- 1 fragment de TCA en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétriques et de chamotte (0,025 kg).

Matériau lithique :

- 2 fragments de silex jaunes (0,042 kg)

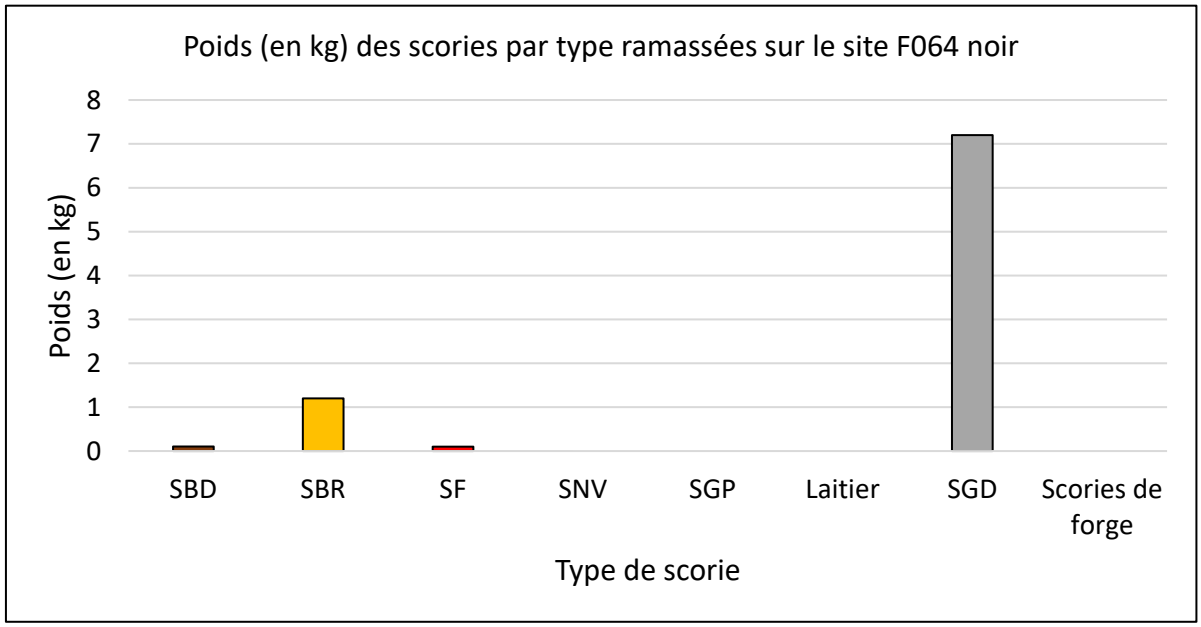
Zone rouge

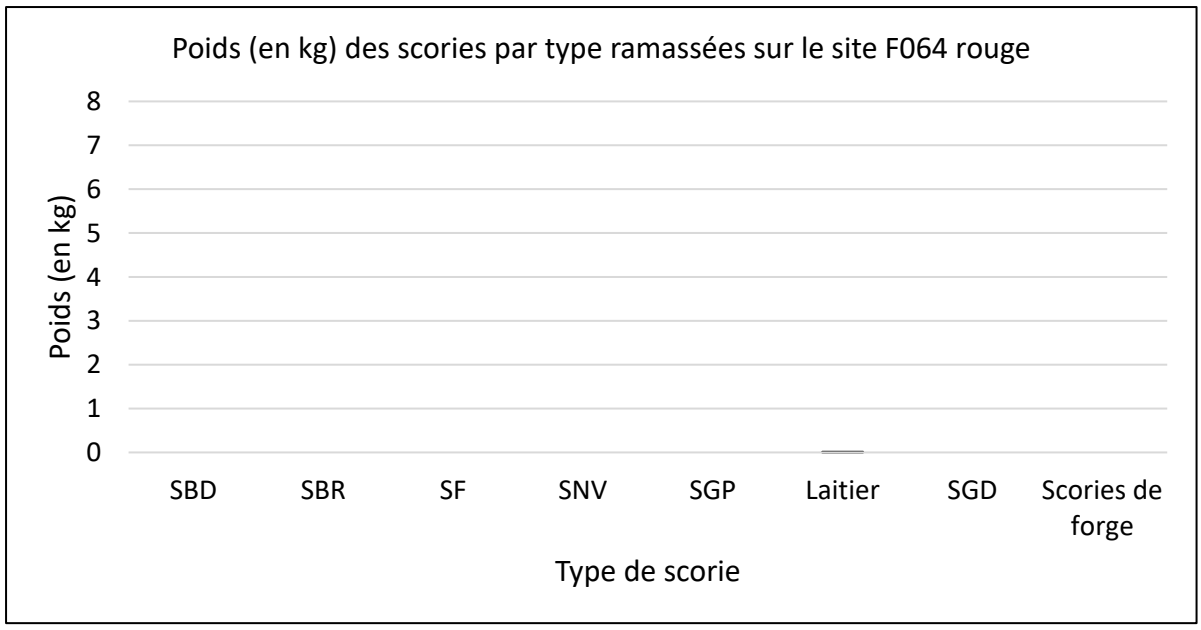
<u>Paroi argileuse :</u>

- 4 fragments de paroi en argile grise à beige indurés et vitrifiés par endroit (0,048 kg)

<u>Matériau lithique:</u>

- 1 fragment de silex gris/rouge et 2 fragments de quartz gris et rouge (0,115 kg)





F085

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

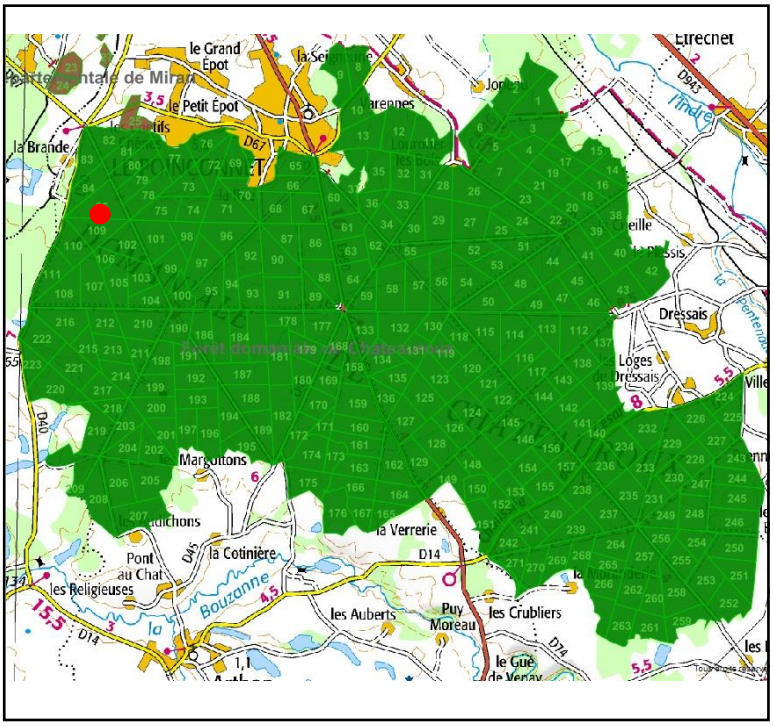
Parcelle forestière : 085

Coordonnées GPS

X : 599188,88 m

Y : 6628928,06 m

Z : 177,43 m



Enregistrement

Date de prospection : 30/10/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 84,5 m

largeur : 80,8 m

Hauteur : 1 m

Sédiment : Alternance de sédiment limono-sableux noirs et rouges, séparés la plupart du temps par des phases de sédiment limono-sableuse brune.

Caractéristiques environnementales : Site couvert de fragons, charme, houx, ronces et de bouleaux. Il est perturbé par un chemin forestier et un creusement à l'ouest.

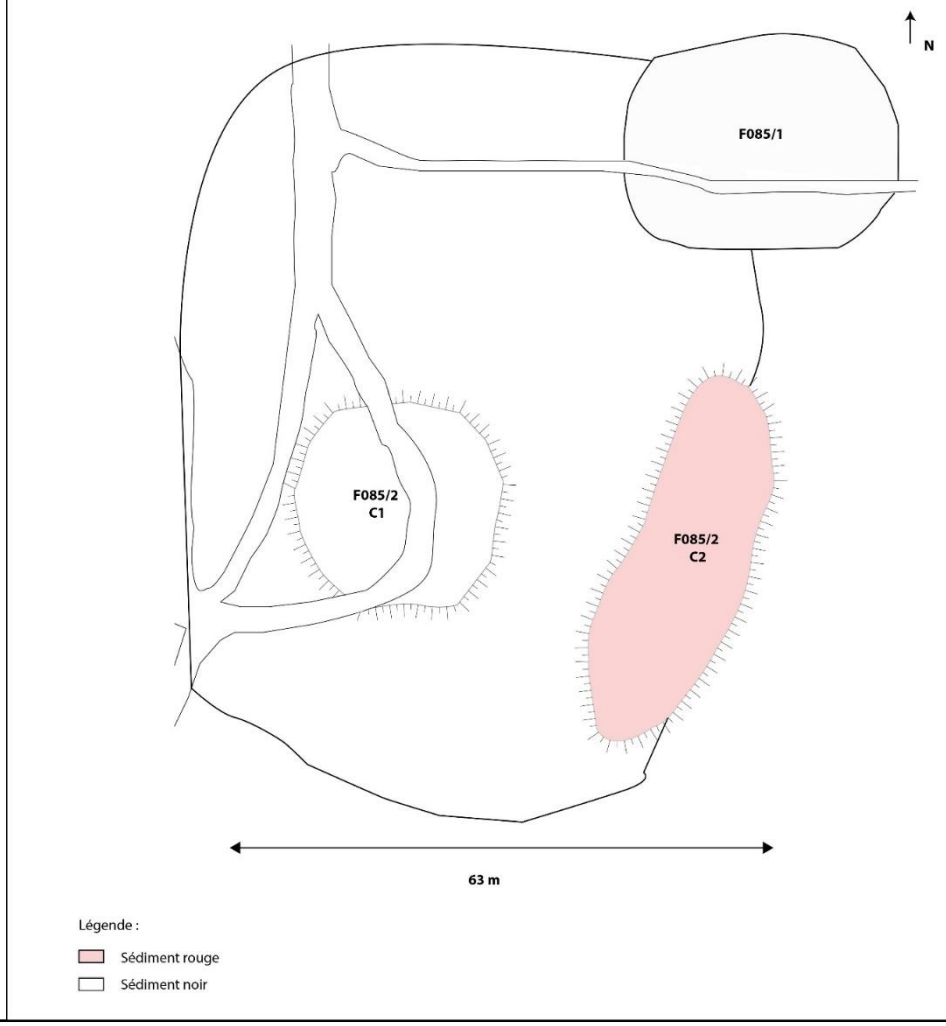
Datation : Indéterminée

Observations : Site hétérogène composé de deux ferriers, dont un situé au sud en grande partie récupéré, et d'une concentration de scorie dans un sédiment rougeâtre. Les ferriers présentent des dimensions moyennes et une concentration de scories au sommet. C1 se trouve au centre de la structure. Elle est composée d'une terre argilo-sableuse noire comprenant de nombreuses scories très fragmentées, sauf le sommet. C2 est situé à l'est de la structure et comprend une terre argilo-sableuse rouge avec des scories très fragmentées et moins nombreuses. C3, au sud, un sédiment argilo-sableux noir mélangé à des nombreuses scories.

Photographie (vue vers le nord-ouest de C1)



Plan schématique du site (E. Clouin, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 16,6 kg

Vestiges métallurgiques

Description C1 (4,5 kg)

Scories de réduction :

- 11 Scories Brunes Denses avec inclusions de quartz, d'oxydes de fer et de scorie très vitrifiée noire (scorie écoulée) dont 2 sont des fonds de fours plano-convexes montrant des traces d'arrachage d'un agglomérat métallique important (éponge de fer ?) (2,118 kg). 1 fragment de Scorie Grise Poreuse présentant des traces de rubéfaction (fonte ?) (0,051 kg) et 1 pseudo-laitier bleu (0,09 kg)
- 16 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,309 kg), 2 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,022 kg) et 9 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,579 kg)

Description C2 (4,3 kg)

Scories de réduction :

- 4 fragments de Scories Brunes Denses avec négatifs de charbons de bois (0,746 kg) et 2 pseudo-laitiers, un bleu et un vert (0,164 kg)
- 9 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,595 kg) et 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins très oxydé en surface (0,215 kg)

Description C3 (7,8 kg)

Scories de réduction :

- 1 fond de four gris, plano-convexe, très dense et poreux par endroit (presque de la fonte ?). Présente le négatif d'une tuyère, des inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois (0,71 kg), 1 fragment de Scorie Ferreuse avec nombreuses inclusions d'oxydes de fer (0,223 kg) et 4 fragments de Scories Noires Denses (0,095 kg)

Fragmentation : Importante

- 33 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (2,37 kg) et 12 fragments de Scories Grises Denses indéterminées (0,309 kg)

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Description C1

Paroi argileuse :

- 3 fragment de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrifiés vert et parfois indurés. L'un présente une stratigraphie de 3 couches d'argile de 3,7 ; 2,7 et 3,3 cm (rechapage ?) (1,4 kg)

Description C2

Paroi argileuse :

- 16 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques très indurés et vitrifiés par endroit (2,294 kg) et 1 fragment de paroi en argile présentant un sillon de 2 cm d'épaisseur et 8,5 cm de longueur (0,192 kg)

Matériau lithique :

- 2 fragments de silex rouges (0,094 kg)

Description C3

Paroi argileuse :

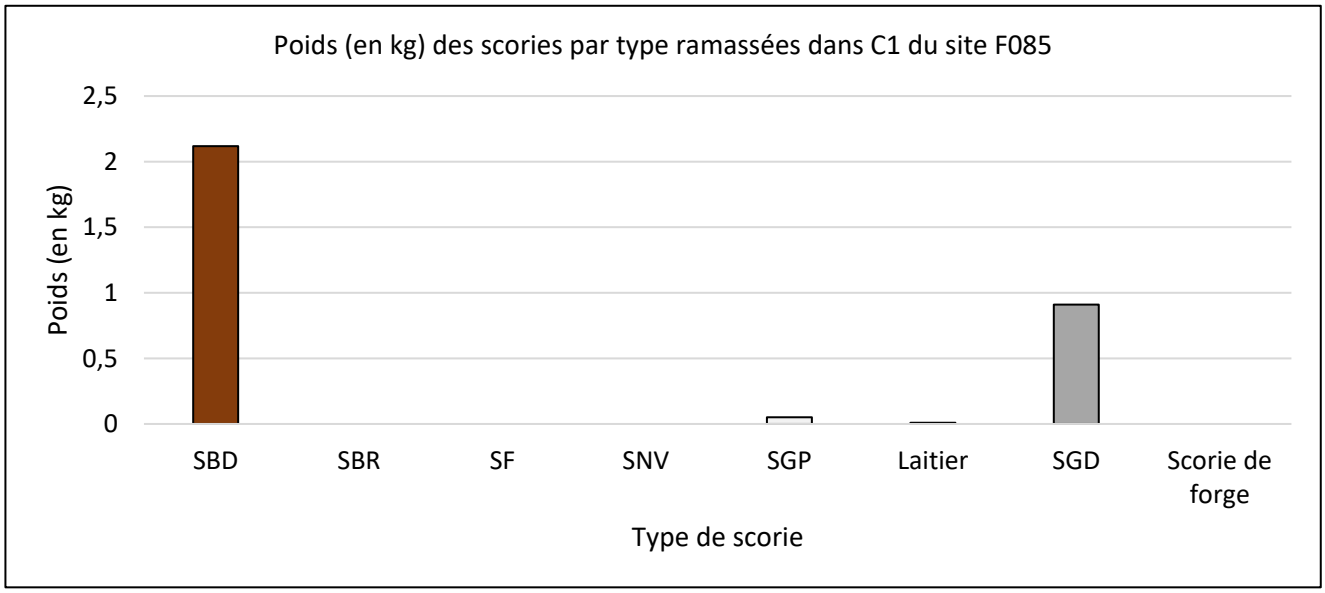
- 12 fragments de paroi en argile gris avec de nombreuses inclusions de quartz submillimétriques très indurés présentant souvent une face vitrifiée verte (1,073 kg), 4 fragments de paroi en argile noire avec nombreuses inclusions de quartz submillimétriques très induré présentant souvent une face vitrifiée, l'un d'eux présente 2 couches d'argile superposées (rechapage ?) (2,37 kg) et 14 fragments de paroi en argile beige à gris plus ou moins vitrifiés (0,227 kg)

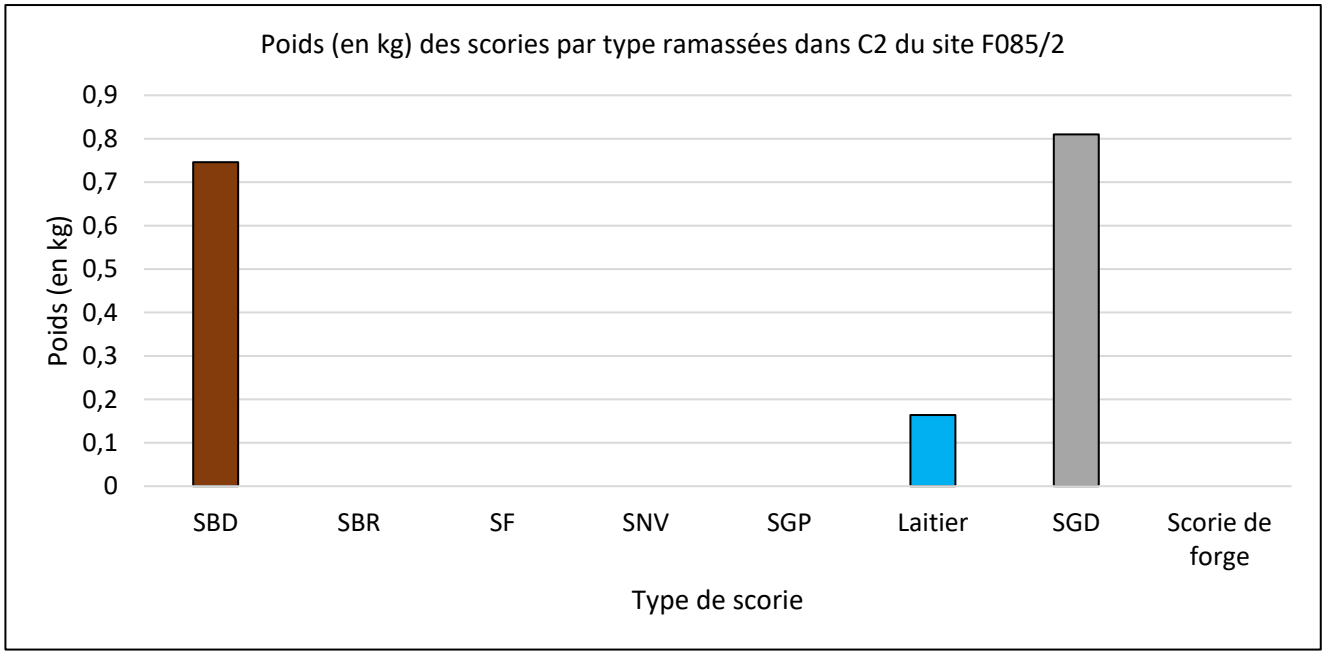
TCA :

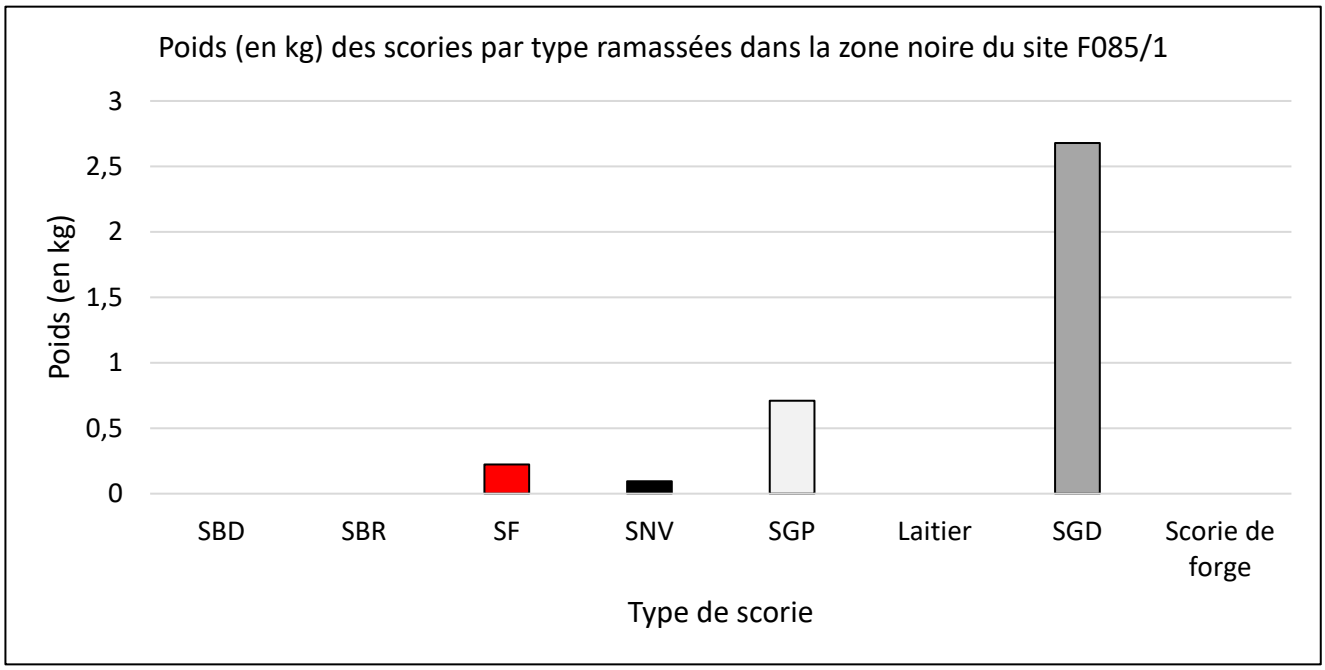
- 3 fragments de TCA orangés, 1 fragment blanc à bords proéminents (tegulae ?) et 1 fragment de couleur mauve (0,171 kg)

Matériau lithique :

- 3 fragments de grès blanc indurés rouge à jaune, 5 fragments de silex rouge à jaune (0,249 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans C1 du site F085
Poids (en kg)
2,5
2
1,5
1
0,5
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans C2 du site F085/2
Poids (en kg)
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans la zone noire du site F085/1
Poids (en kg)
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

F090

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

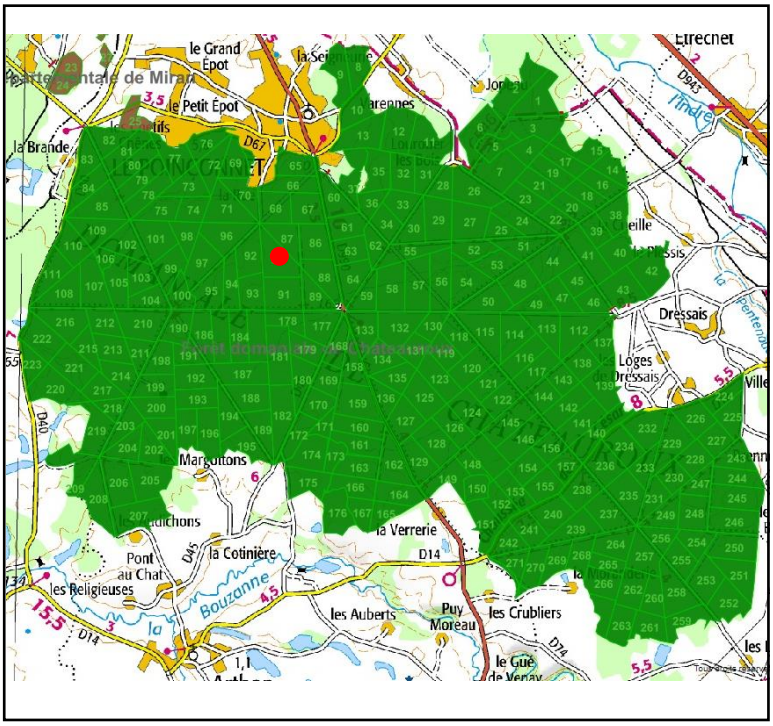
Parcelle forestière : 090

Coordonnées GPS

X : 601982,8 m

Y : 6628052,28 m

Z : 176,87 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Arrondie

Longueur : 30,6 m

largeur : 24,2 m

Hauteur : 70 cm

Sédiment : Sédiment limono-sableux brun à noir.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de houx, fragons, chêne et charmes.

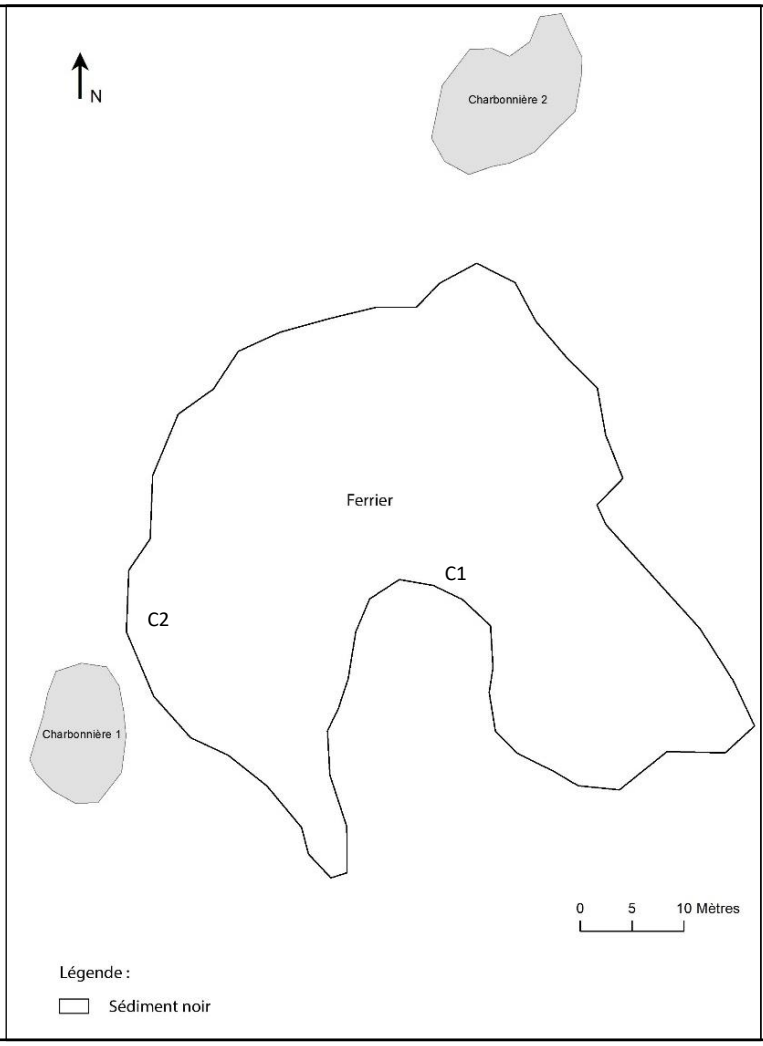
Datation : Entre 1220 – 1330 de notre ère.

Observations : Ferrier de taille moyenne présentant des scories plus ou moins fragmentées principalement situées au sein de deux concentrations principales, la première comprend cinq fragments Matériau lithiques en grés rubéfiés d'une dizaine de centimètre chacun, au sud. La seconde est associée à une concentration de parois en argile rubéfiées situées à l'est. Une charbonnière est observée au nord-est de la structure.

Photographie



Relevé en plan du site (S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 7,3 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 31 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois (1,7 kg)

Fragmentation : Moyenne

- 8 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (0,219 kg)

Fragmentation : Moyenne

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

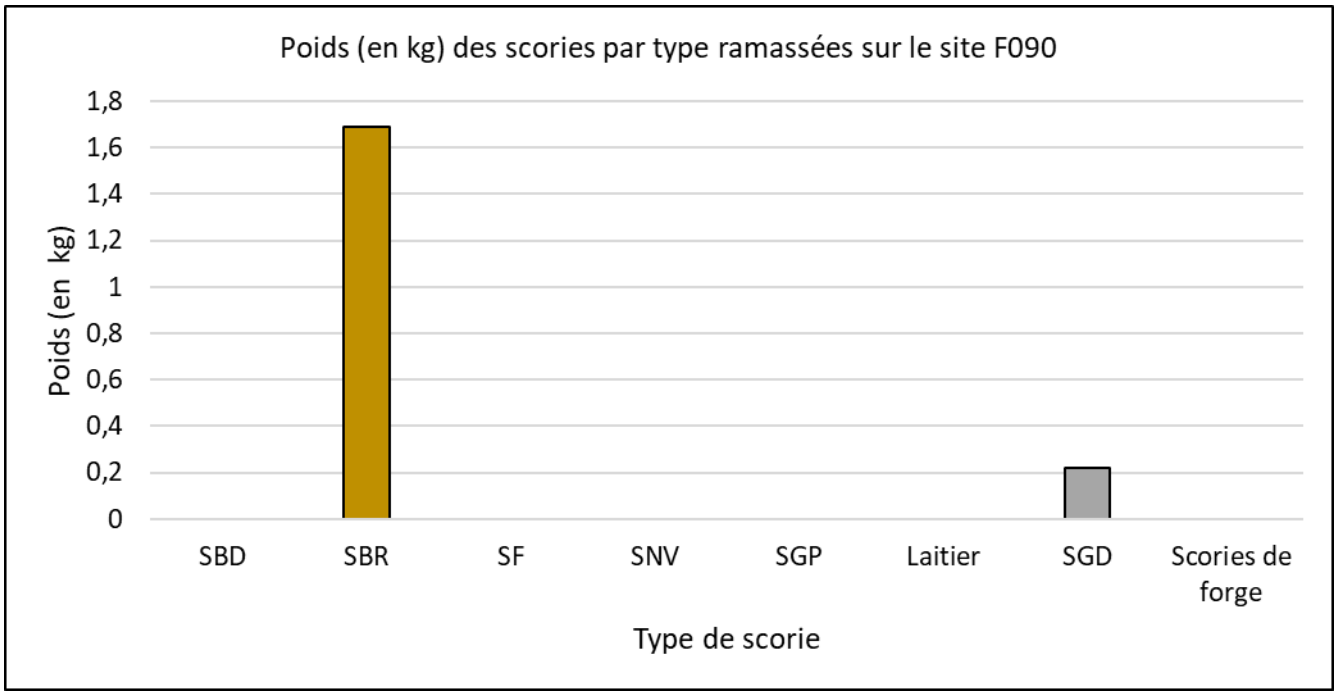
- 36 fragments de parois en argile gris à blanc avec inclusions de quartz submillimétriques vitrifiés (reflets bleutés) et scorifiés par endroit (3,8 kg) et 3 fragments de paroi en argile beige à mauve avec inclusions de quartz submillimétriques dont l'un présente une face plane scorifiée et des inclusions d'oxydes de fer (0,632 kg)

TCA :

- 33 petits fragments de TCA orange vif et 1 fragment de TCA en argile beige à noir scorifié et vitrifié (0,5 kg)

Matériau lithique :

- 3 fragments de grès rubéfiés et 1 fragment de calcaire rubéfié (0,498 kg)



F097

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

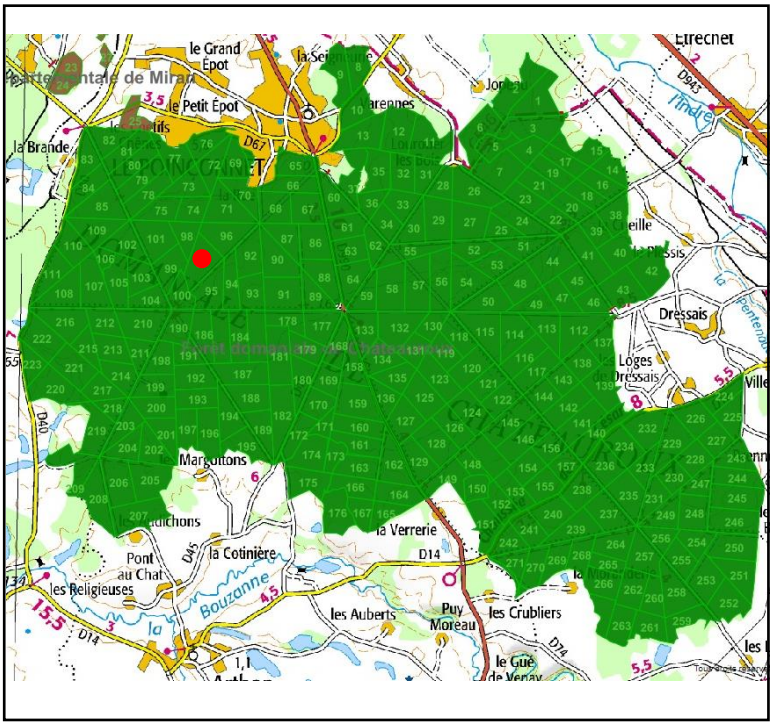
Parcelle forestière : 097

Coordonnées GPS

X : 600755,75 m

Y : 6627986,864 m

Z : 172,38 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/18

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 48,6 m

largeur : 30,5 m

Hauteur : 0,5 m

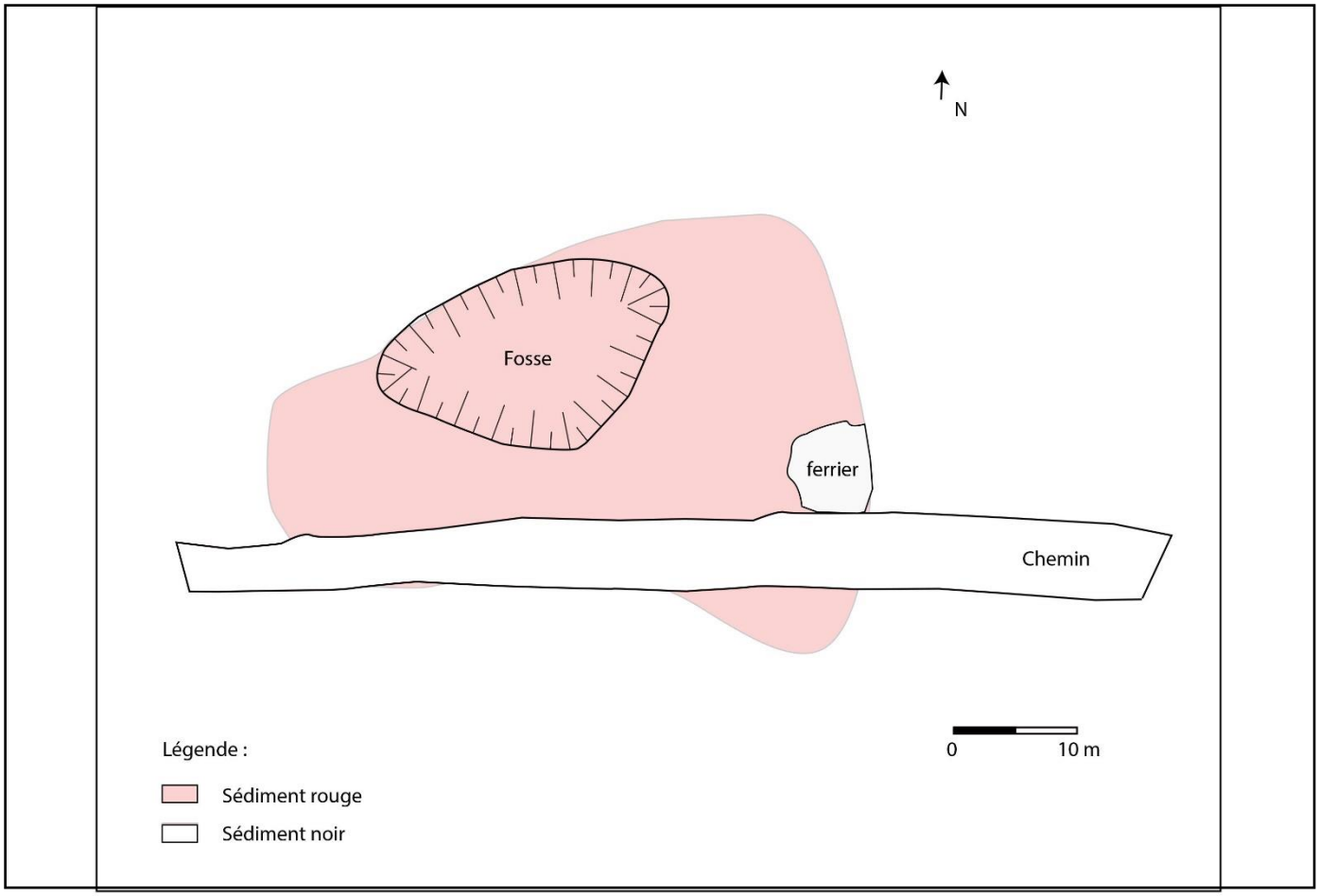
Sédiment : Sédiment limono-sableux brun à rouge

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de houx, fragons, chênes et charmes.

Datation : Indéterminée

Observations : Le site est largement perturbé par le creusement d'une fosse d'extraction postérieure au ferrier qui a détruit la majeure partie de la moitié nord-est de ce dernier. Scories très fragmentaires, pluricentimétriques.

Relevé en plan du site (C. Houzé, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 4,1 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (2,9 kg)

Scories de réduction :

- 2 fragments de Scories Brunes Rugueuses légères (0,5 kg) et 22 fragments de Scories Brunes Denses très oxydés en surface (0,2 kg)
- 32 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,78 kg), 8 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins très oxydés en surface (0,2 kg), 4 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés très oxydés en surface (0, 13 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense en plaque (0,041 kg) et 33 fragments de Scories Grises Denses en plaque très oxydés en surface (1,1 kg)

Zone rouge (0,7 kg)

Scories de réduction :

- 6 fragments de Scories Brunes Denses très oxydés en surface (0,4 kg) et 9 fragments de Scories Brunes Rugueuses très oxydées dont l'une comprend des inclusions de paroi en argile et des oxydes de fer (0,4 kg) et 1 pseudo-laitier bleu (0,008 kg)
- 6 fragments de Scories Grises Denses oxydés en surface (0,16 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 7 fragments de paroi en argile gris à blanc vitrifiés par endroit, 4 fragments de paroi en beige vitrifiés par endroit et 9 fragments de paroi en argile orangée (dû au sédiment) et vitrifiés sur une face (0,412 kg)

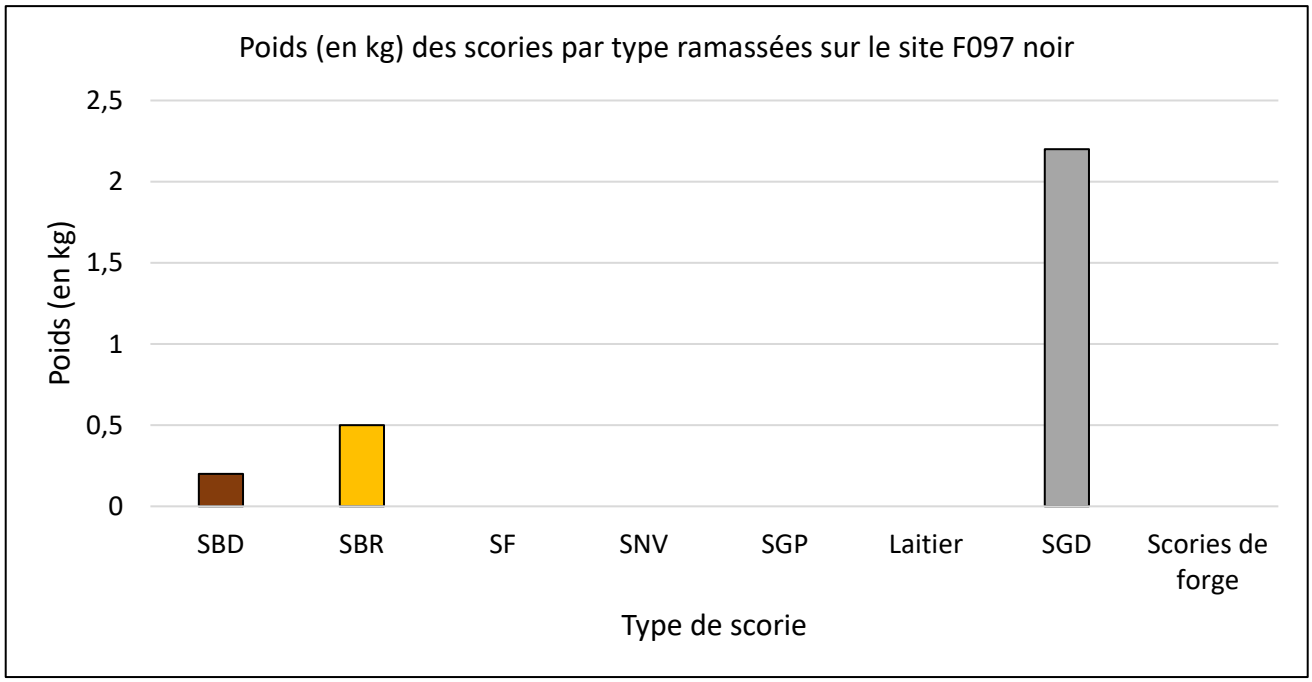
Matériau lithique :

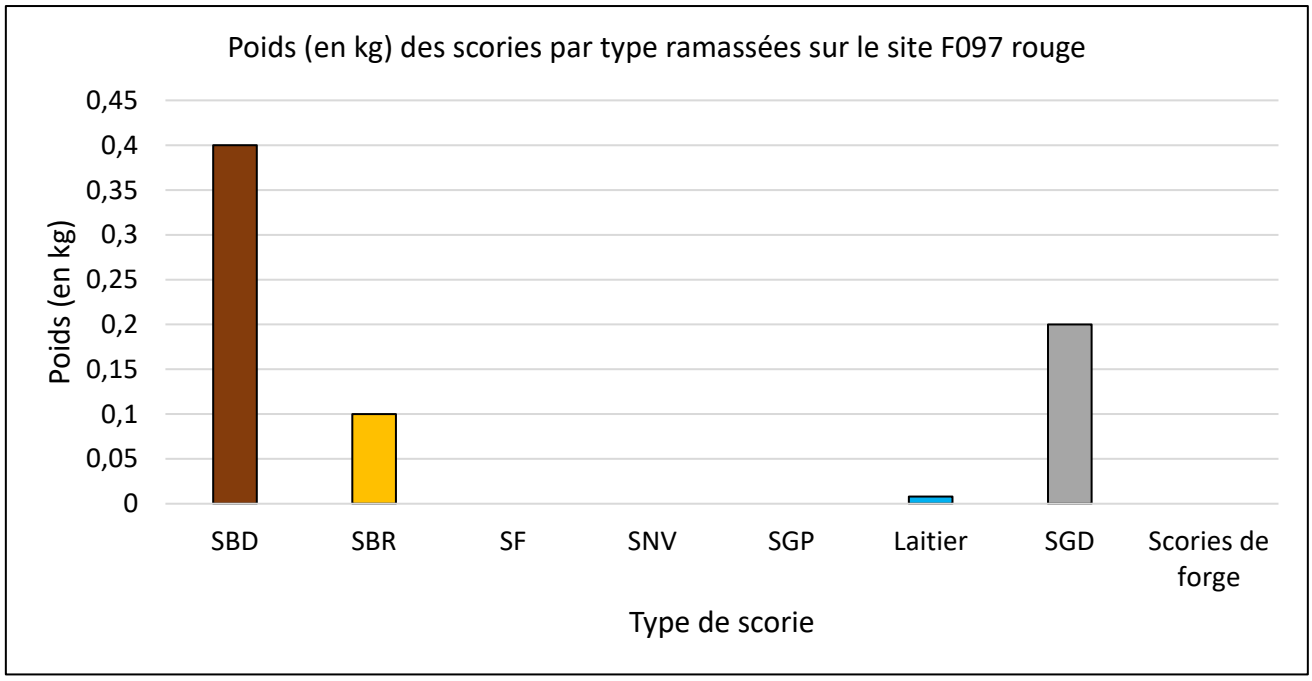
- 1 fragment de minerai rouge et noir (0,015 kg)

Zone rouge

Paroi argileuse :

- 3 fragments de paroi en argile gris vitrifiés (0,068 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F097 noir
2,5
2
1,5
1
0,5
0
Poids (en kg)
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scories de forge
Type de scorie


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F097 rouge
0,45
0,4
0,35
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
Poids (en kg)
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scories de forge
Type de scorie

F105

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

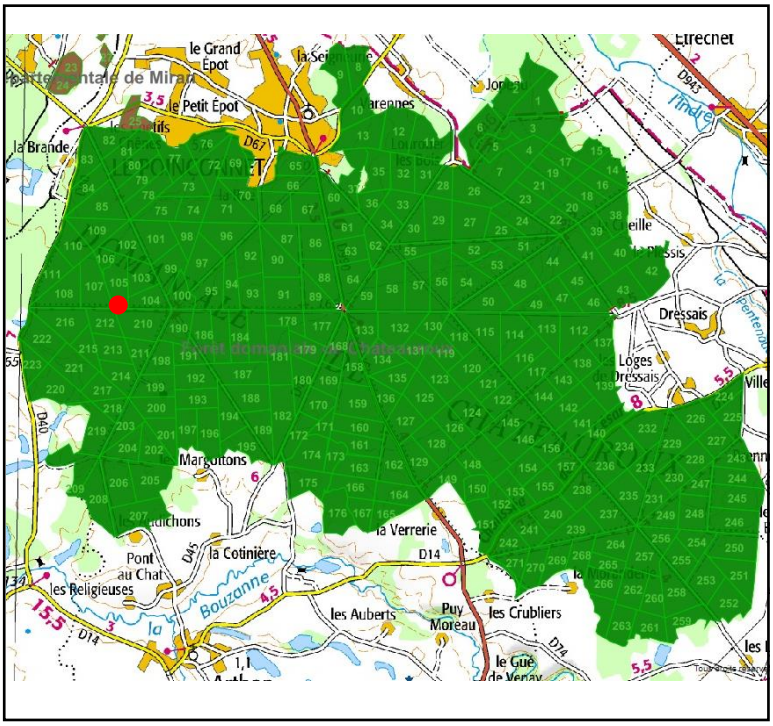
Parcelle forestière : 105

Coordonnées GPS

X : 599642,38 m

Y : 6627345,95 m

Z : 171,38 m



Enregistrement

Date de prospection : 30/10/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 63,5 m largeur : 43 m Hauteur : 0,95 m

Sédiment : Sédiment argilo-limoneux noir à brun.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de fragons et de chênes et coupée en deux par un chemin forestier.

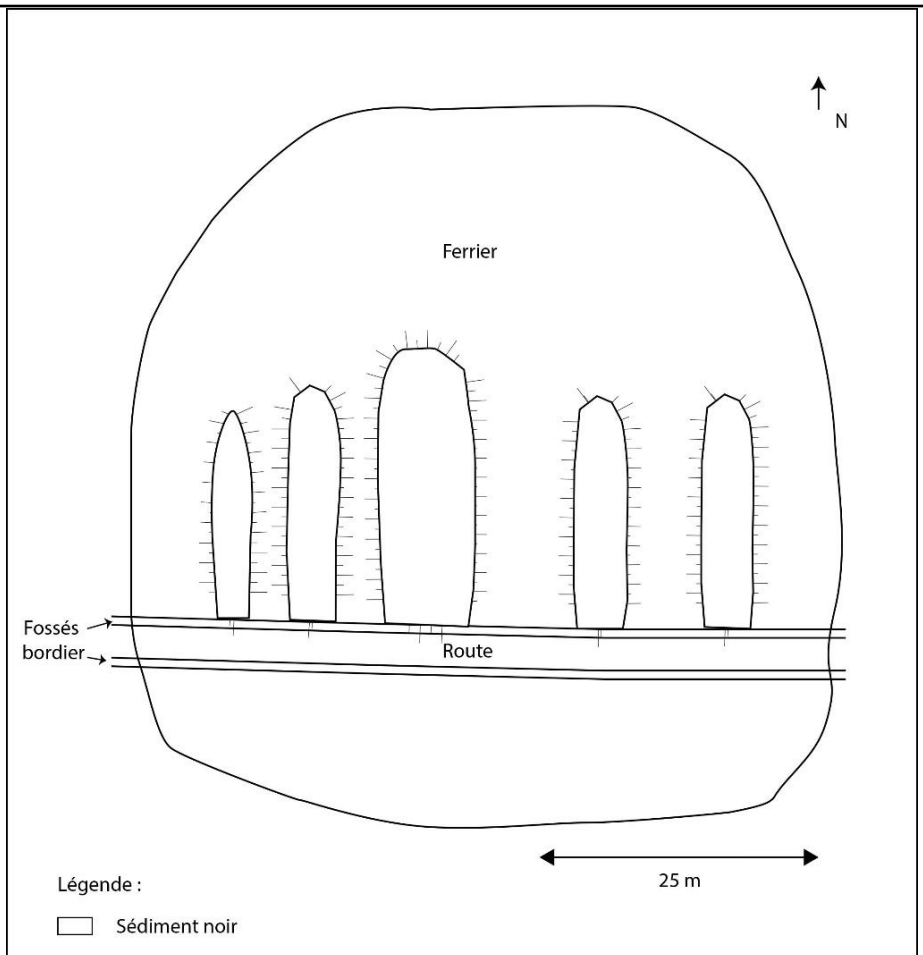
Datation : 1210 – 1278 (datation ^{14}C)

Observations : Ferrier très perturbé par l'aménagement d'une route forestière et le récurage des fossés qui la délimitent. La majorité des vestiges se trouvent au nord de la route où 5 surélévations orientées nord-sud ont été observées. Elles font toutes environ 20 m de long et présentent des scories très fragmentées. Les fossés ont permis l'observation d'une coupe est-ouest dans le ferrier qui a montré la présence d'un substrat argileux gris ocre chargé en concrétions ferrugineuses (minerai ?) dans lequel on reconnait un creusement remplis par un comblement argilo-limoneux noir de 20 à 30 cm d'épaisseur comprenant quelques scories fragmentées.

Photographie (vue vers le nord)



Plan schématique du site (E. Clouin, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 9,5 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 22 fragments de Scories Noires Vacuolaires de couleur noire à grise comprenant de nombreux négatif de charbon de bois, oxydes de fer et vitrifiés (reflets bleutés ou verts) par endroit. Lun d'entre eux est un fond de four plano-convexe associé à de la paroi en argile grise (1,6 kg) ; 3 fragments de Scories Brunes Denses, dont l'un présente des inclusions de cailloutis et d'argile rouge et l'autre est un fond de fourneaux plano-convexe brun à la matrice dense oxydée en surface associé à de la paroi en argile grise sur la partie inférieure et fortement vitrifiée verte/blanc (pseudo-laitier) (2,5 kg) ; et 18 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions de charbon de bois et d'oxydes de fer parfois vitrifiés (1,2 kg).
- 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (0,2 kg) et 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,1 kg)

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

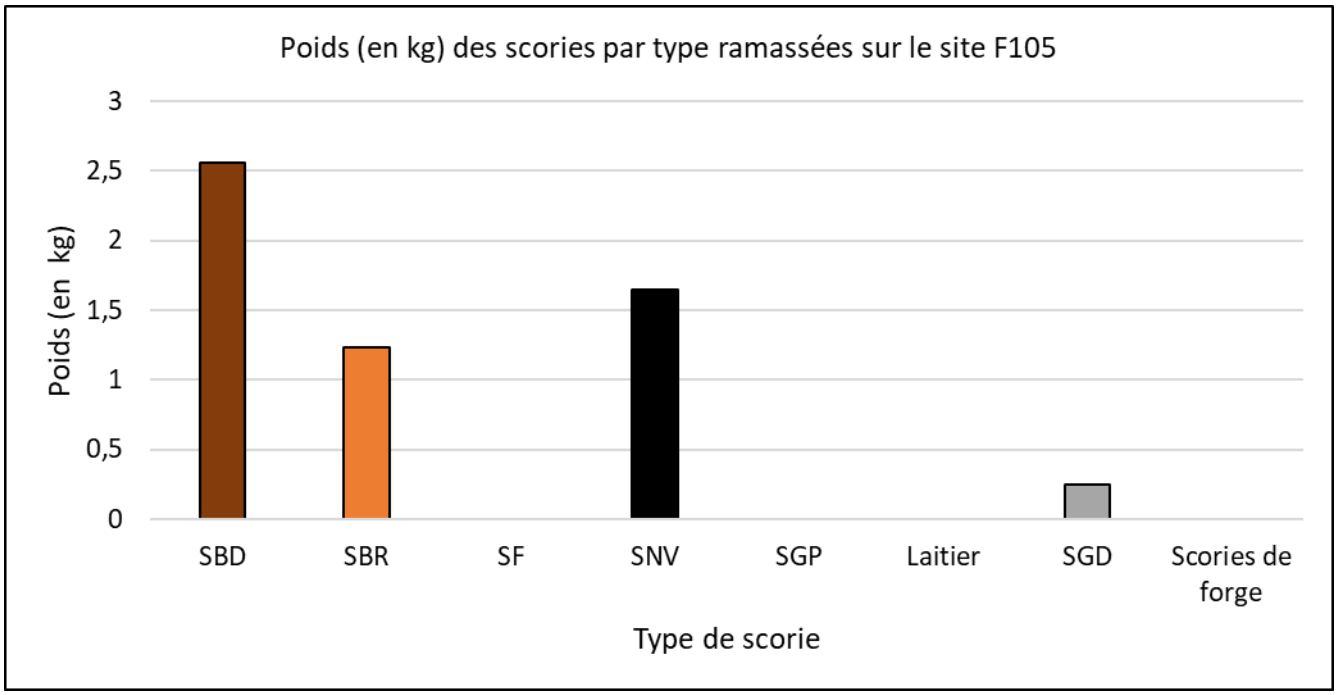
- 8 fragments de paroi en argile grise avec inclusion de quartz submillimétriques et de cailloutis blancs et vitrification bleuté par endroit (0,42 kg), 1 fragment de paroi en argile blanc vitrifié sur une face et 4 fragments de paroi en argile beige très indurés avec inclusions de quartz submillimétriques et d'oxyde de fer (0,7 kg)

Matériau lithique :

- 5 fragments de calcaire blanc, scorifié et rubéfié par endroit, 6 fragments de grés blanc à beige ferrugineux, 2 fragments de quartz présentant des traces rougêatres, 2 fragments de silex brun/gris rubéfiés et scorifiés (2,5 kg) ; et 3 fragments de probable minerai rouge à noir scorifié par endroit (0,157 kg)

Vestiges métallique :

- 2 fragments d'agglomérats métalliques (0,011 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F105
Poids (en kg)
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scories de forge
Type de scorie

F107

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

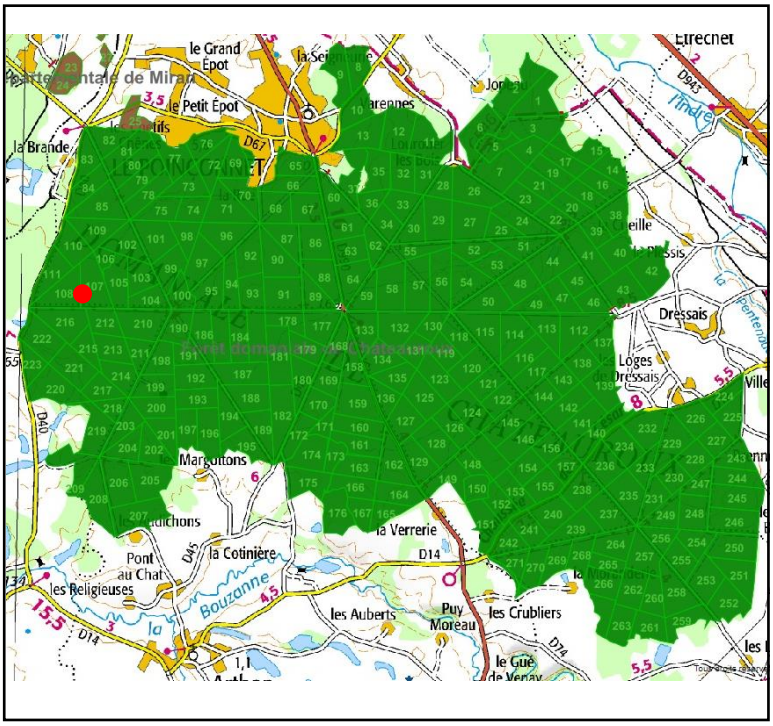
Parcelle forestière : 107

Coordonnées GPS

X : 599107,66 m

Y : 6627448,37

Z : 176,54 m



Enregistrement

Date de prospection : 30/10/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 25,3 m

largeur : 17,7 m

Hauteur : 1,2 cm

Sédiment : Sédiment argilo-limoneux brun à gris

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de fragons, chêne et coupée en son centre par une route forestière

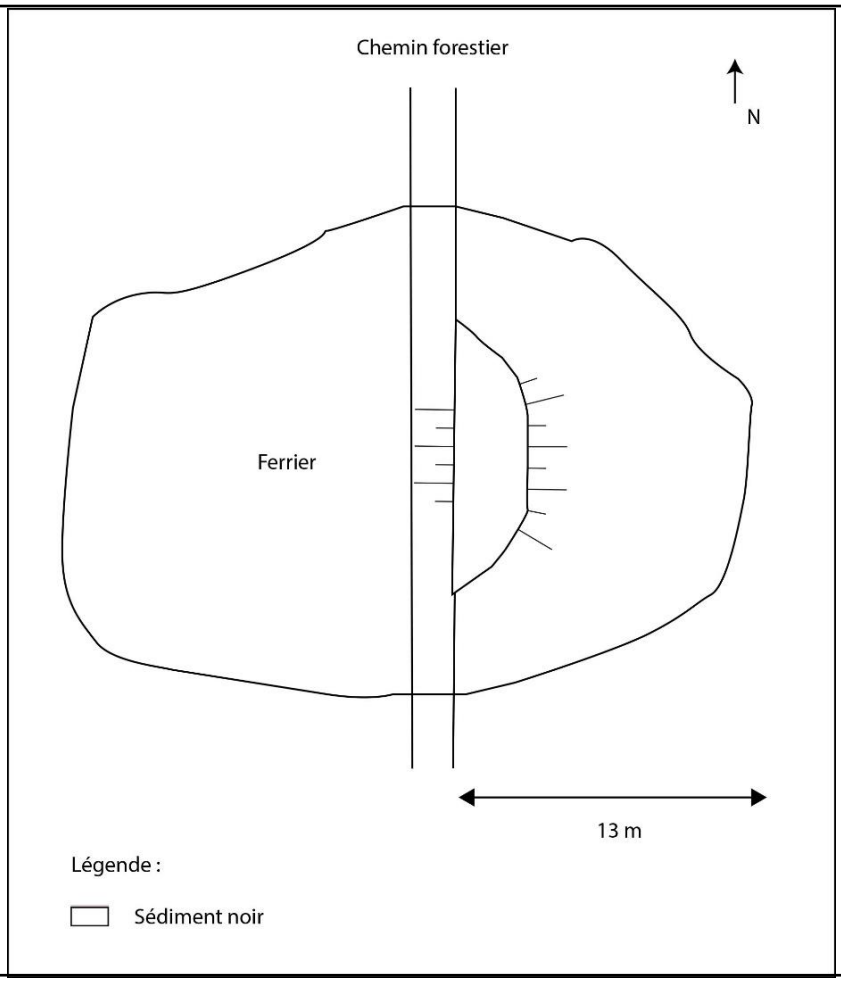
Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de petite dimension présentant une concentration de scories de coulées au nord étalé sur 15x10m.

Photographie (vue vers l'est)



Plan schématique du site



Description du mobilier ramassé

Poids total : 6,9 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 2 fragments de Scories Brunes Rugueuses vitrifiée par endroit (pseudo-laitier) présentant de nombreux négatif de charbon de bois (0,156 kg) et 1 fragment de Scorie Grise Poreuse et dense (0,047 kg).

Fragmentation : Importante

- 12 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérées (2 kg), 12 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,7 kg), 6 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (2,2 kg) et 11 fragments de Scories Grises Denses indéterminés vitrifiés dont 1 montre le négatif d'un canal de 5 cm de diamètre (3,4 kg)

Fragmentation : Moyenne

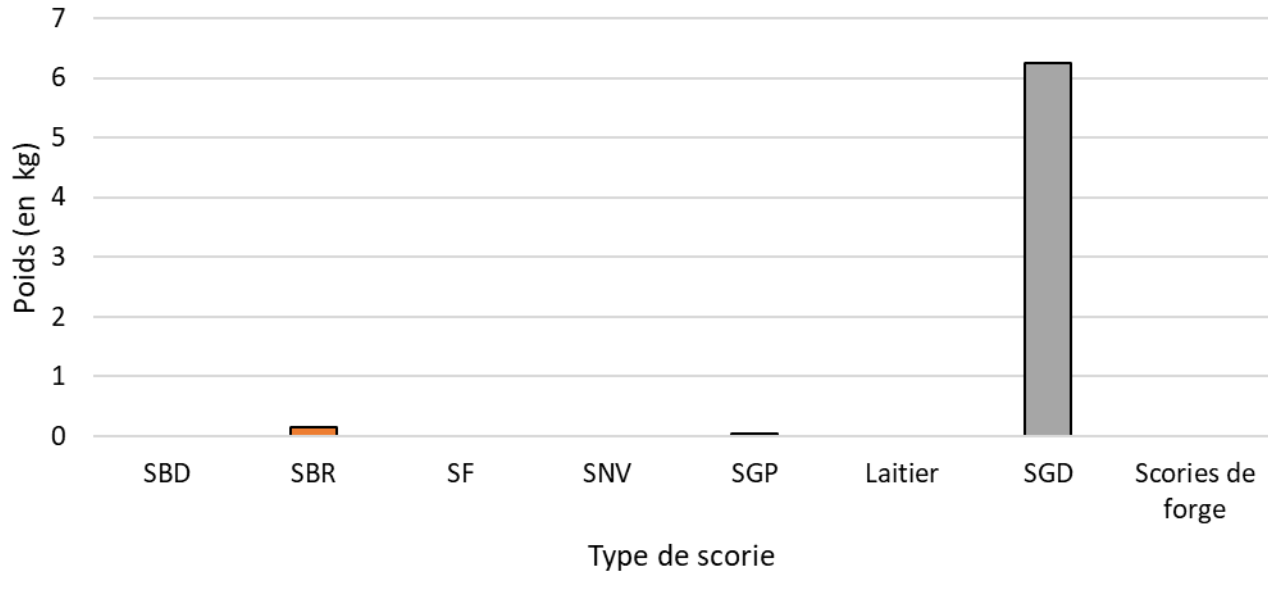
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 2 fragments de paroi en argile gris dont l'un est plane et scorifié sur une face (0,328 kg)

Matériau lithique :

- 4 fragments de grés blanc/gris avec inclusions de quartz rubéfié (0,067 kg) et 2 fragments de probable minerai rouge et noir (0,041 kg)



F120

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

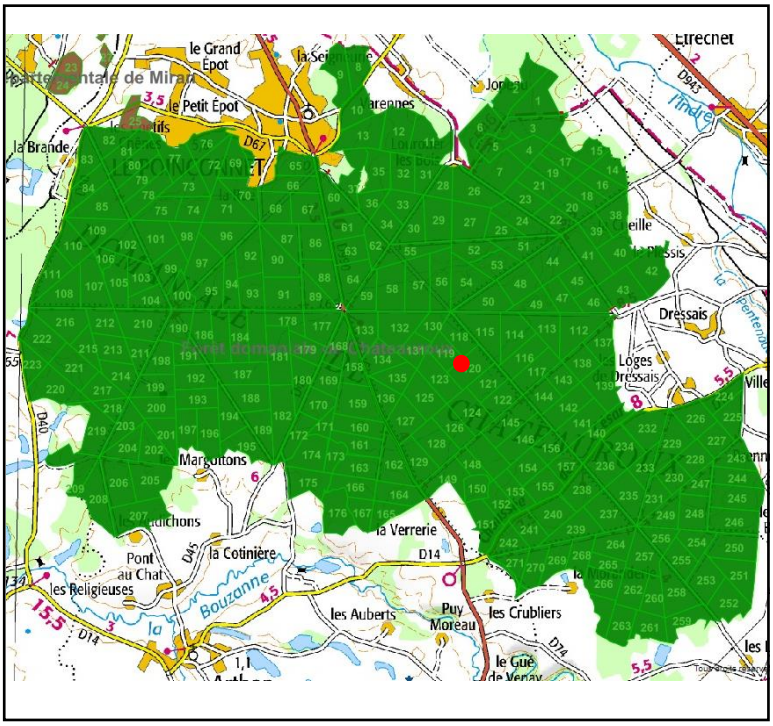
Parcelle forestière : 120

Coordonnées GPS

X : 604402,563 m

Y : 6626311,876 m

Z : 168,99 m



Enregistrement

Date de prospection : 21/03/19

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage Forme : Arrondie

Longueur : 9 m largeur : 8 m Hauteur : < 15 cm

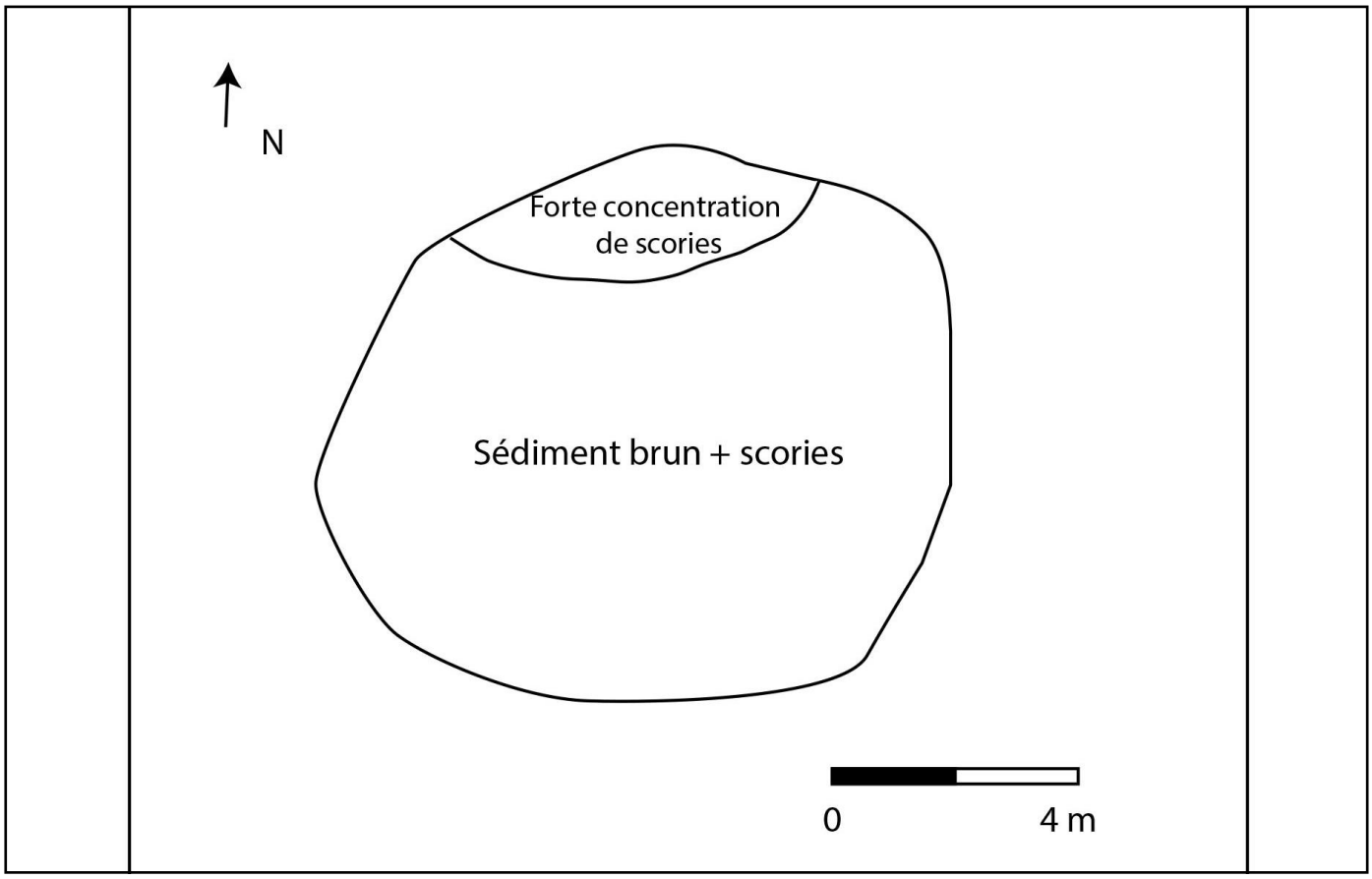
Sédiment : Sédiment limono-sableux brun.

Caractéristiques environnementales :

Datation : Indéterminée

Observations : Petit Epandage comprenant quelques scories très fragmentées. En surface, un certain nombre de scorie semblent avoir été perturbées récemment.

Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 10,8 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 1 fond de four Brun, très dense, plano-convexe avec inclusions d'oxydes de fer et charbon de bois sur la face supérieure (2,5 kg)

Fragmentation : Faible

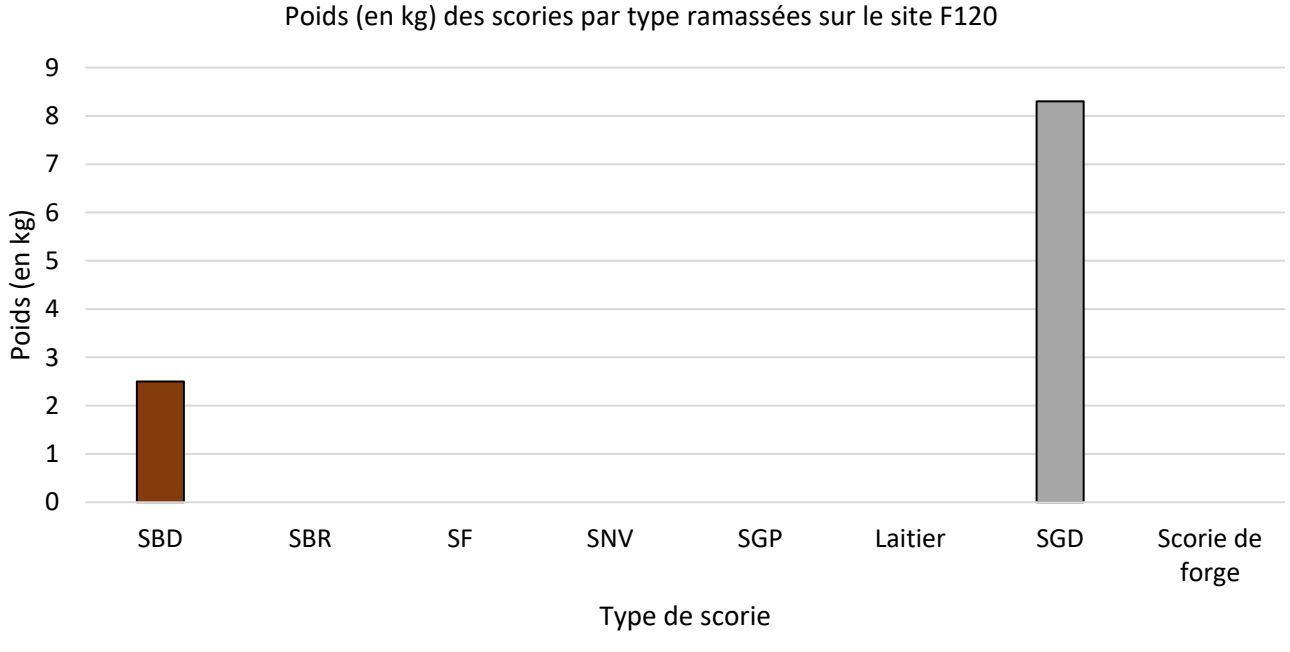
- 6 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (3,4 kg), 1 fragment de Scorie Grise Denses à cordons fins (0,314 kg), 4 fragment de Scorie Grise Denses en plaque (2,8 kg) et 19 fragment de Scorie Grise Denses indéterminés (1,9 kg)

Fragmentation : Moyenne

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- RAS



F121

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

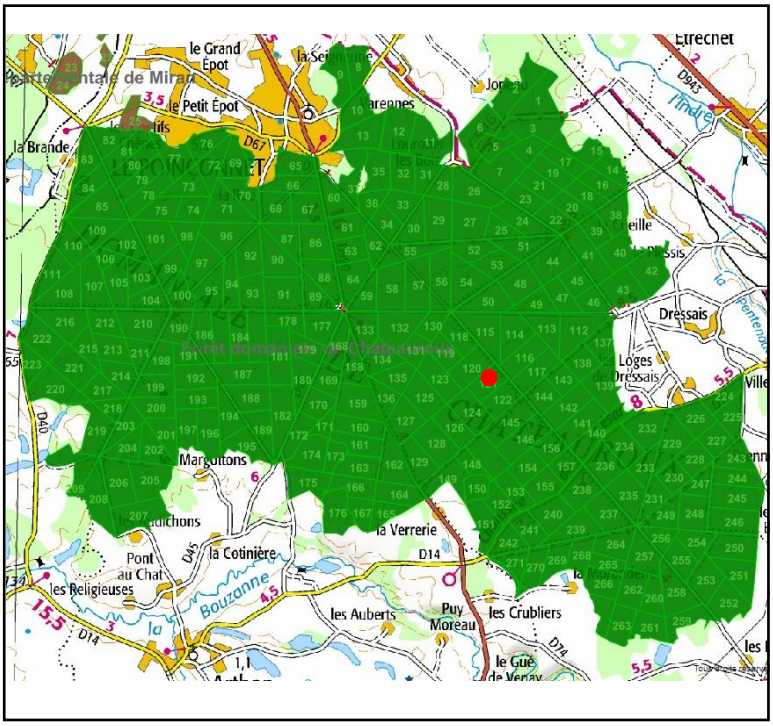
Parcelle forestière : 121

Coordonnées GPS

X : 604859,399 m

Y : 6626182,184 m

Z : 166,16 m



Enregistrement

Date de prospection : 21/03/19

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Falciforme

Longueur : 77,8 m

largeur : 26,9 m

Hauteur : 1,8 m

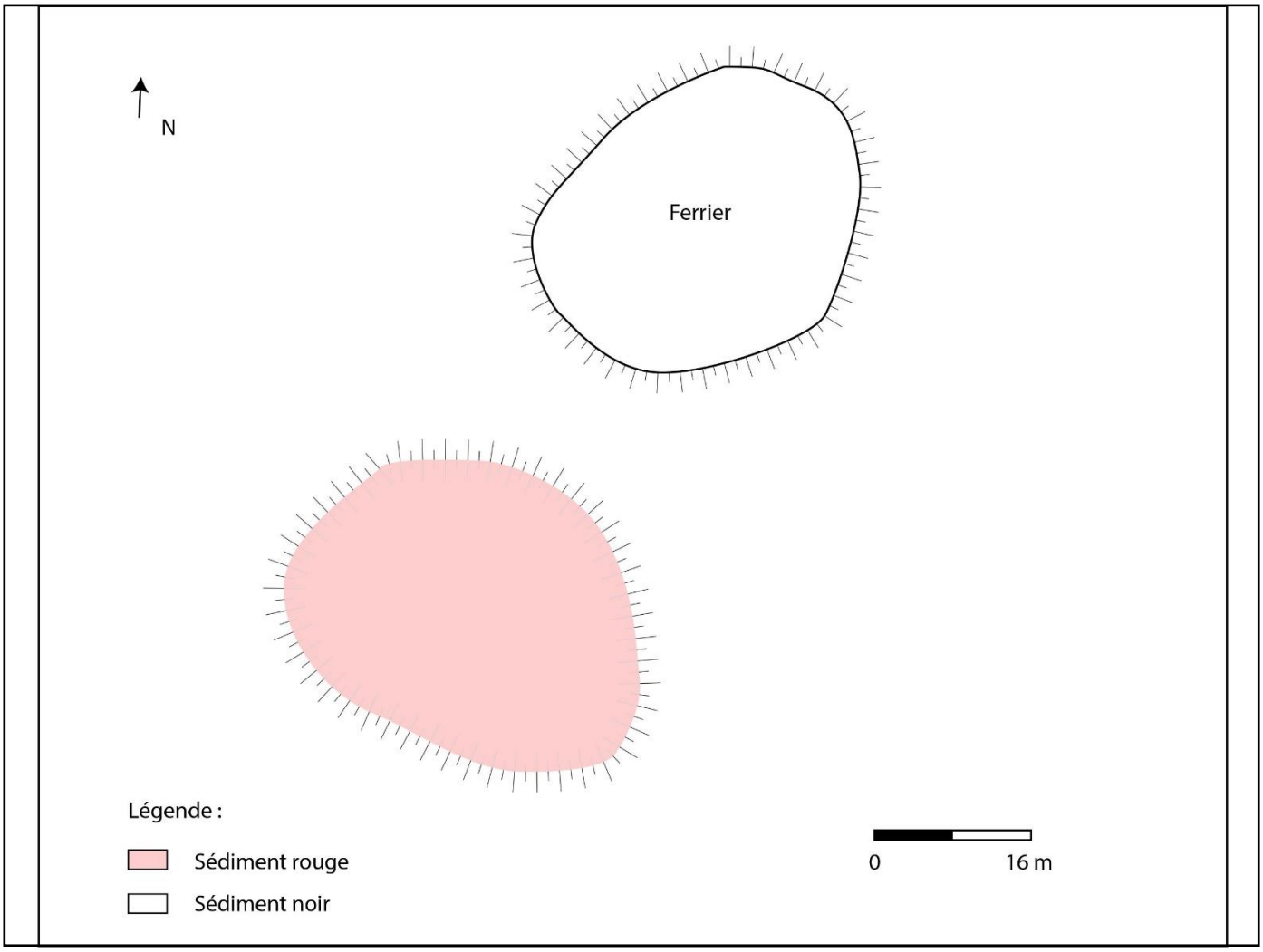
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Zone très perturbée qui a été défrichée.

Datation : Indéterminée

Observations : La zone noire comprend des scories très fragmentées et quelques rares de grande dimensions (+5 cm) avec des fragments de parois. La zone rouge qui se trouve au sud-ouest comprend des scories très fragmentées moins nombreuses et a révélé la présence de fragments de céramiques.

Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 3,6 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (2,5 kg)

Scories de réduction :

- 19 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,9 kg), 6 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,09 kg) et 34 fragments de Scories Grises Denses indéterminées (0,644 kg)

Fragmentation : Importante

Zone rouge (1,057 kg)

Scories de réduction :

- 3 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois (0,062 kg)
- 7 fragments de Scories Grises Denses indéterminées (0,137 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 17 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques présentant vitrifiés par endroit dont 2 ont une face plane (0,8 kg)

TCA :

- 1 fragment de TCA en argile orangé avec inclusion de quartz submillimétriques à millimétriques (0,026 kg)

Zone rouge

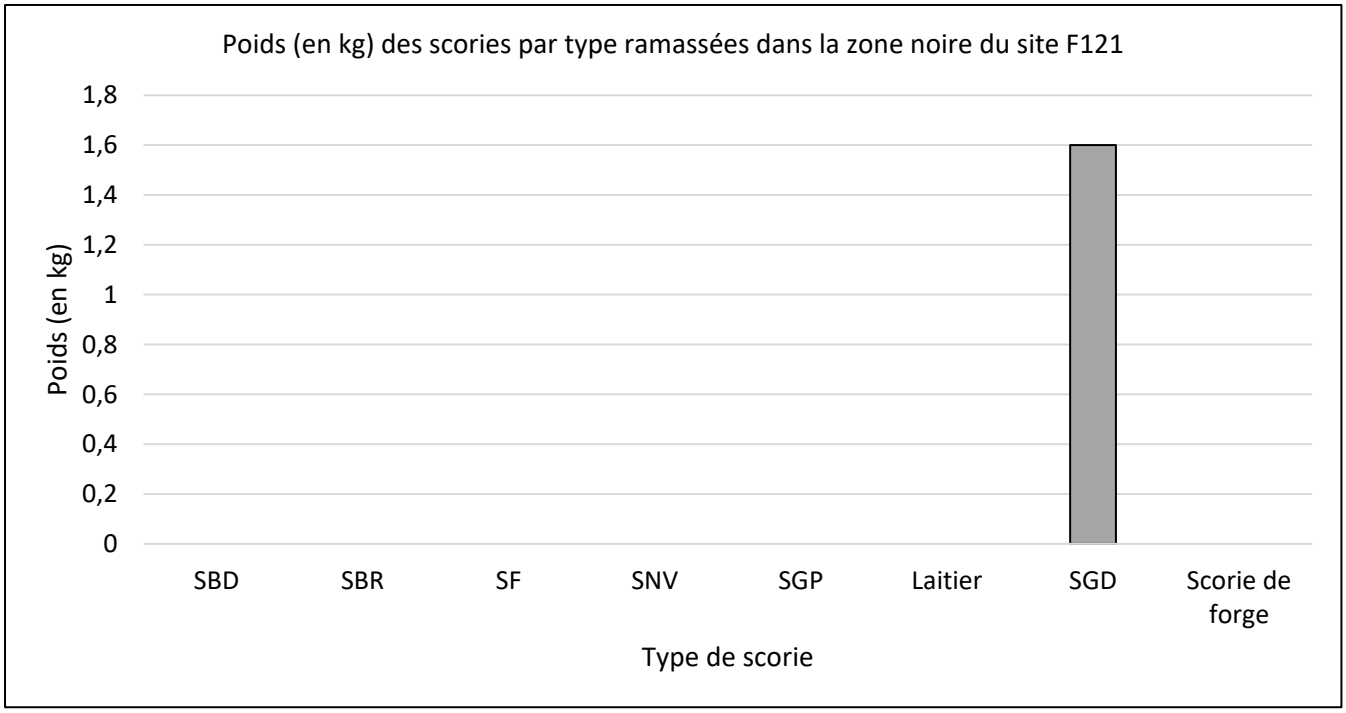
Paroi argileuse :

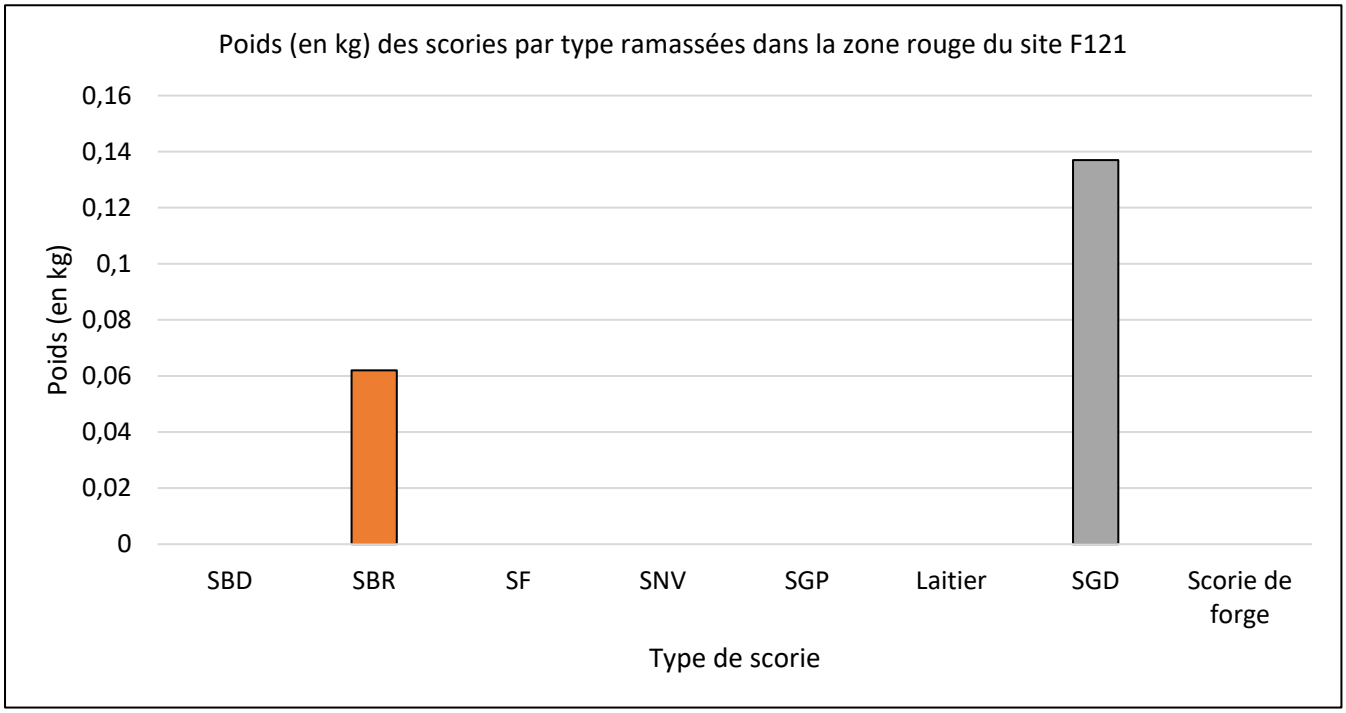
- 22 fragments de paroi en argile grise indurés (0,669 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de probable minerai rouge et noir (0,01 kg)

Céramique :


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans la zone noire du site F121
1,8
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
Poids (en kg)
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans la zone rouge du site F121
0,16
0,14
0,12
0,1
0,08
0,06
0,04
0,02
0
Poids (en kg)
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

F127

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

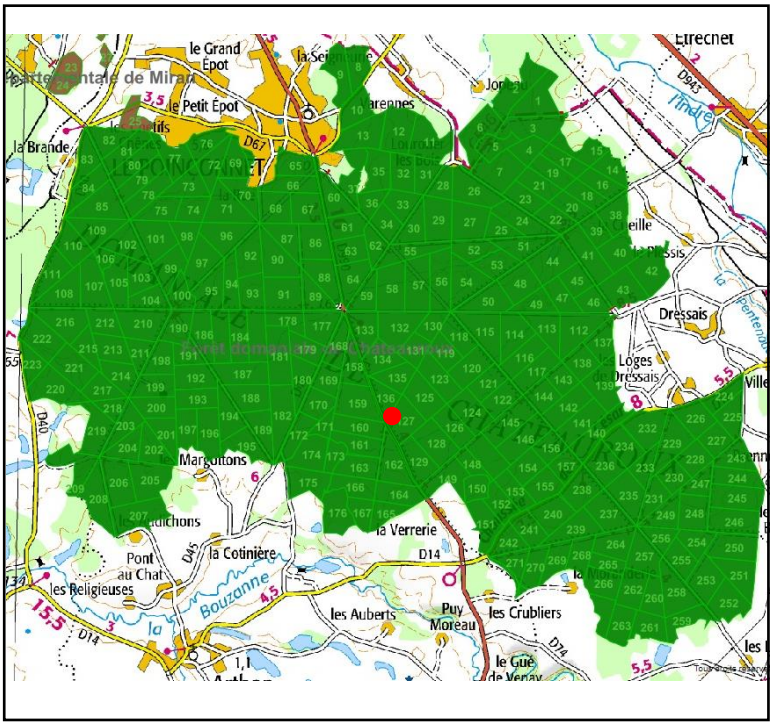
Parcelle forestière : 127

Coordonnées GPS

X : 603516,15 m

Y : 6625776,85 m

Z : 177,6 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/11/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 59 m

largeur : 47,7 m

Hauteur : 1 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux brun à noir.

Caractéristiques environnementales : Présence de fragons.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de très grandes dimensions présentant deux sommets.

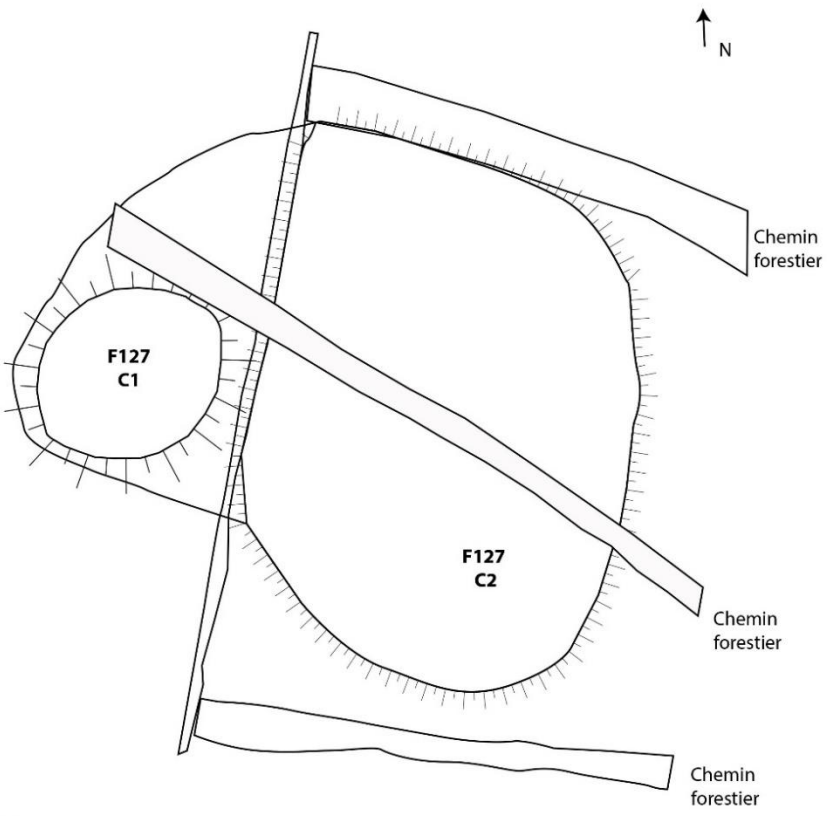
C1 : 12,9 x 15,4 m. Substrat limono-sableux noir avec inclusion de charbon de bois et de céramique fragmentée.

C2 : 32,3 x 46,1 m. Substrat limono-sableux noir avec nombreuses scories très fragmentées.

Photographie (vue vers le nord-est)



Relevé en plan du site (S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 5,1 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 21 fragments de Scories Brunes Denses homogènes dont 8 présentent une légères pellicule d'oxydation en surface (1,1 kg), 5 fragments de Scories Ferreuses, brunes avec nombreuses inclusions de charbon de bois (0,127 kg) et 23 fragments de Scories Noires Vacuolaires légèrement oxydés en surface dont 1 comprend des inclusions de charbon de bois (0,25 kg)

Fragmentation : Importante

- 44 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,44 kg), 21 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,3 kg), 14 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (0,5 kg), 44 fragments de Scories Grises Denses en plaque (0,3 kg) et 73 fragments de Scories Grises Denses indéterminés dont la majorité est oxydée en surface (1 kg)

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 5 fragments de paroi en argile grise avec inclusion de quartz submillimétrique dont 2 sont liés à de la scorie et présente des traces de vitrification ; 1 fragment de paroi en argile beige (0, 07 kg)

TCA :

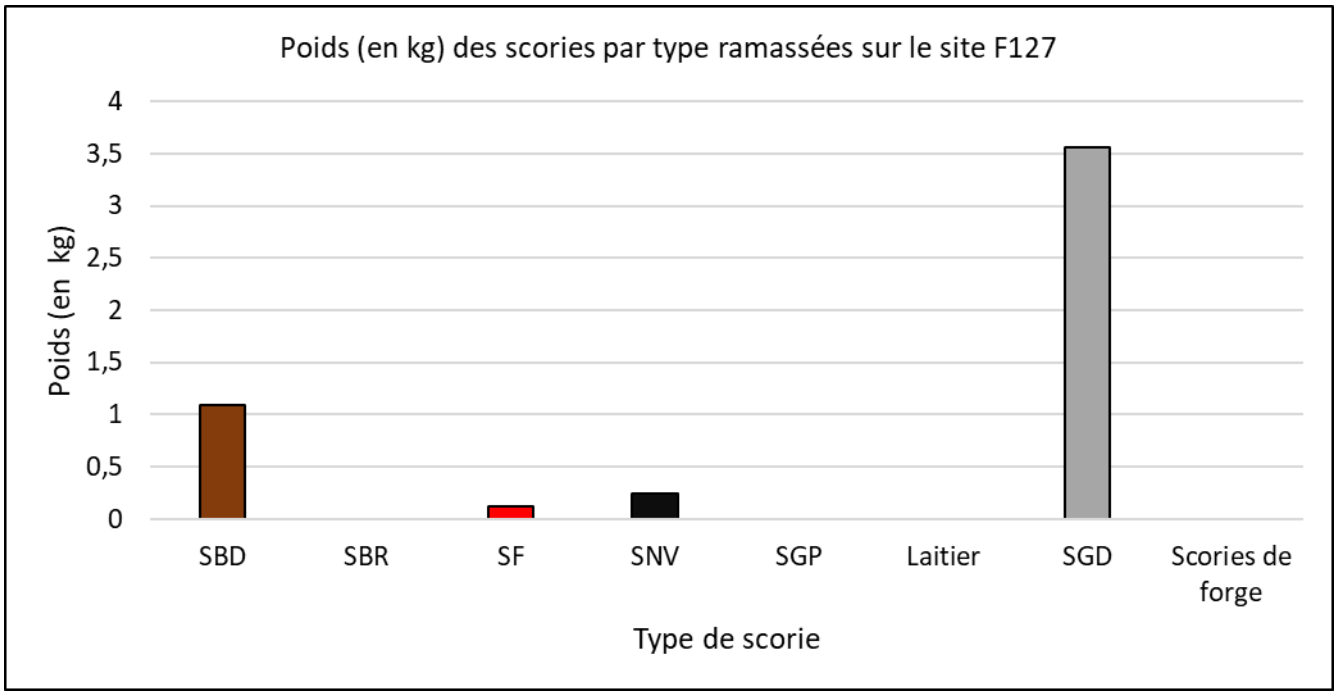
- 1 petit fragment de TCA orangée avec inclusion de quartz submillimétrique (0, 01 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de quartz blanc (0,014 kg)

Vestige métallique :

- 1 fer à cheval de petite taille, il laisse envisager un cheval plus petit qu'un cheval de trait. En outre, la présence d'un ergot laisse à penser qu'il s'agit d'un fer pour membre antérieur.


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F127
Poids (en kg)
4
3,5
3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scories de forge
Type de scorie

F128

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

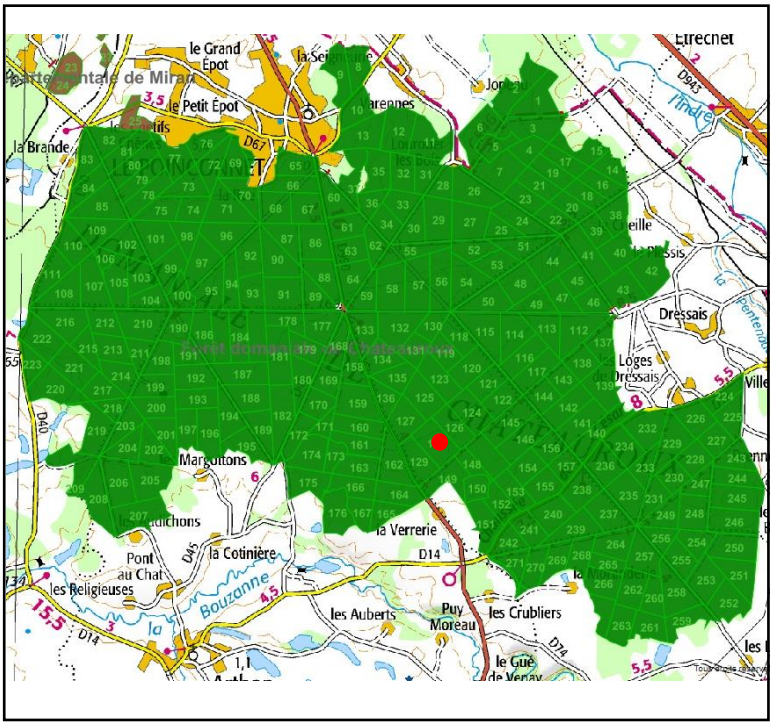
Parcelle forestière : 128

Coordonnées GPS

X : 604287,216 m

Y : 6625172,673 m

Z : 173,12 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/03/19

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 25,7 m

largeur : 27 m

Hauteur : 1,5 m

Sédiment : Sédiment limono-argileux noir

Caractéristiques environnementales : Couvert de fragons et de houx. Forme une butte dans le paysage. Une fosse se trouve au nord-est et un chablis au nord.

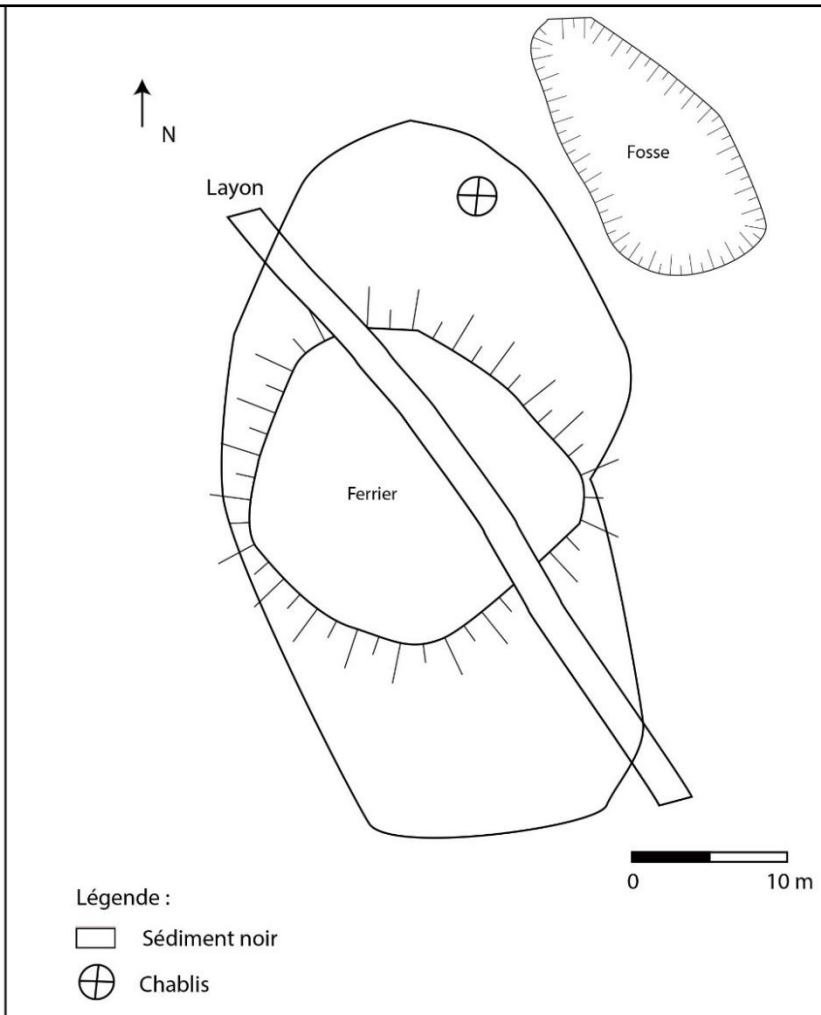
Datation : 22 – 206 (datation ^{14}C)

Observations : Ferrier de taille moyenne comprenant des scories plus ou moins fragmentées et des morceaux de parois. Un chablis a révélé la présence de gros fragments de scories dont une très vitrifiée.

Photographie (vue vers le nord)



Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 14,5 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 3 fragments de Scories Brunes Denses avec inclusions d'oxydes de fer (2,7 kg) et 2 Scories Brunes Rugueuses, dont 1 fond de four arrondi et plano-convexe avec inclusions de charbon de bois et d'oxydes de fer (3,2 kg)
- 30 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (2,4 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins (0,4 kg), 4 fragments de Scories Brunes Denses ridées (0,854 kg) et 15 fragments de Scories Brunes Denses indéterminés dont 1 présente le négatif d'un canal de 6 cm de diamètre (2 kg)

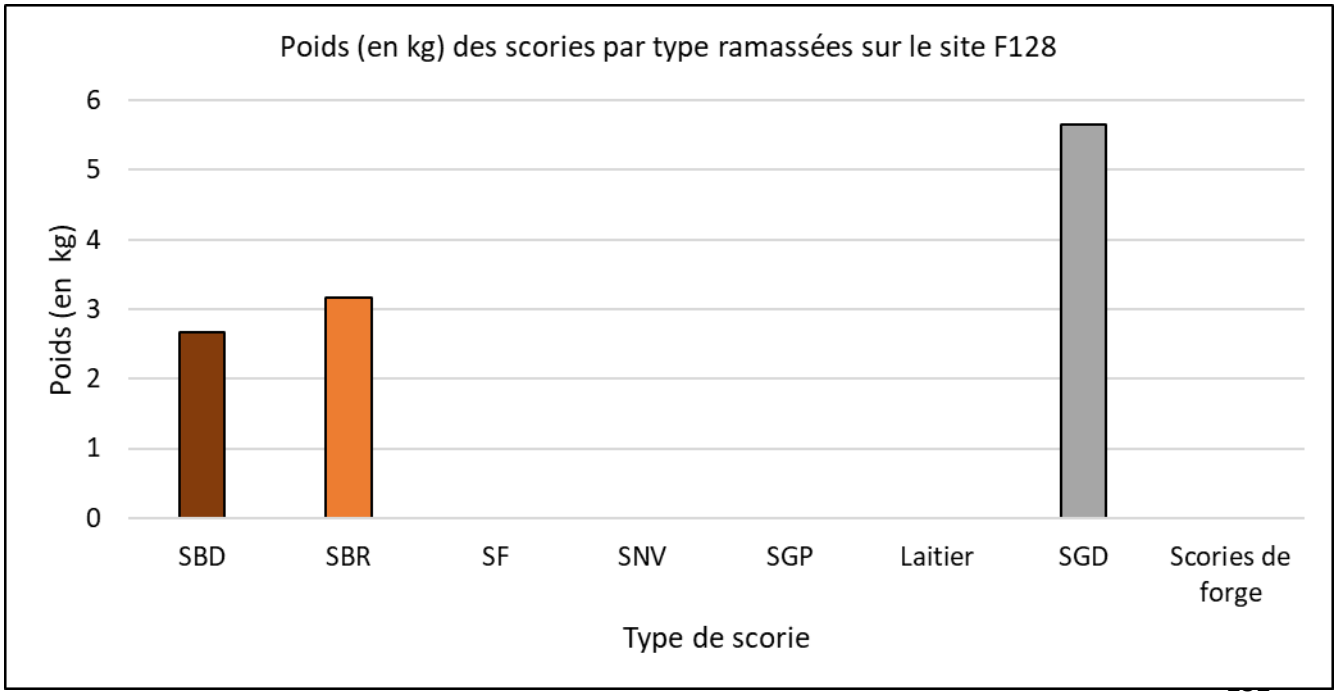
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 13 fragments de paroi en argile gris à beige avec inclusions de quartz submillimétriques, 3 ont une face plan vitrifiée, 2 ont des bombements sur une face de 1,6, 2,4 et 2,6 cm de largeur (négatif de clayonnage ?) et 1 comprend 2 couches d'argiles superposées (rechapage ?) (2,8 kg)

TCA :

- 1 fragment de TCA en argile orangé avec inclusion de quartz submillimétriques à millimétriques et de chamotte (0,2 kg)



F132

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

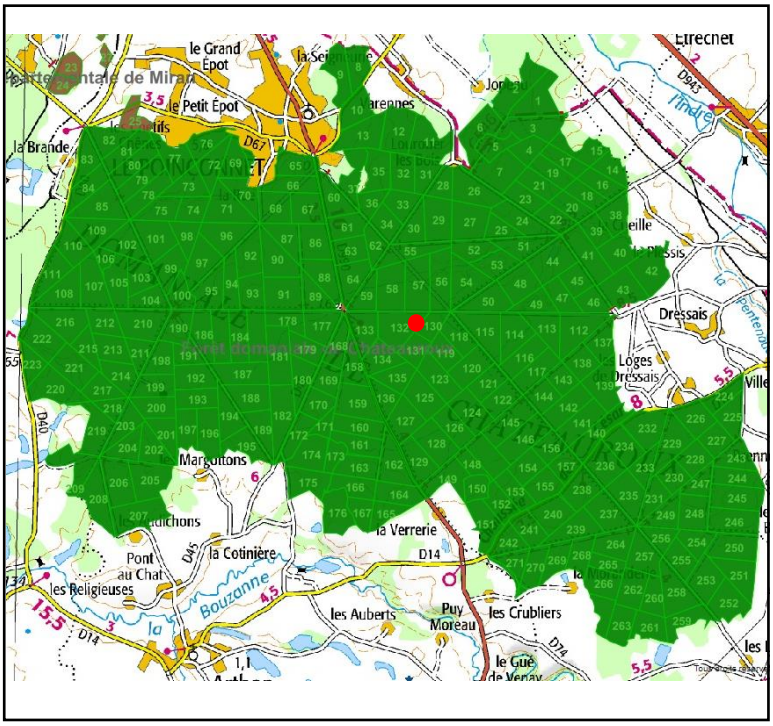
Parcelle forestière : 132

Coordonnées GPS

X : 603925,34

Y : 6627146,08

Z : 166,19 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/11/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 95,6 m

largeur : 91,5 m

Hauteur : 0,5 m

Sédiment : Alternance de sédiment limono-sableux noir et rouge, séparées la plupart du temps par des phases de sédiment limono-sableux brun.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de charmes, fragons, bouleau. Présence d'une charbonnière à l'extrémité est/sud-est et peut-être à l'est.

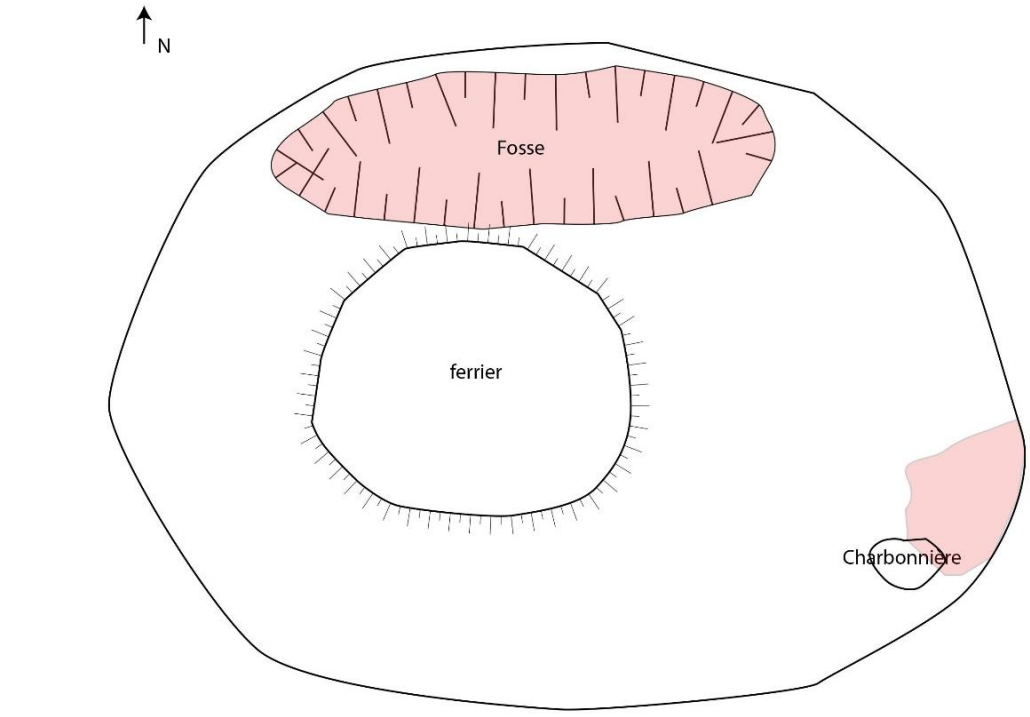
Datation : Indéterminée

Observations : Zone métallurgique bicolore très perturbée. Terre noire située au centre de l'espace avec concentration de scorie pluri-centimétriques mélangées à du charbon de bois au sommet. Au nord se trouve une grande fosse comprenant une terre rouge/ocre avec une forte densité de scorie, très fragmentées centimétriques associées à des éléments Matériau lithique (silex ferrugineux). Au sud de la zone noire, se trouve un épandage au sédiment brun comprenant des scorie plus fragmentées et éparses.

Photographie (vue vers le nord-ouest)



Plan schématique du site (E. Clouin, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 8,8 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (5,1 kg)

Scories de réduction :

- 3 fragments Scories Brunes Denses oxydés en surface et vitrifiés par endroit (0,113 kg), 6 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois dont 1 fond de four présentant des traces d'outils (2,4 kg), 1 fragment de Scorie Ferreuse hétérogène très oxydée en surface (0,04 kg)
- 25 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés, quelques-uns présentent des une vitrification rougeâtre (1,2 kg), 12 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,343 kg)

Zone rouge (3,7 kg)

Scories de réduction :

- 1 fragment de Scorie Brune Rugueuse avec inclusions d'oxydes de fer (0,014 kg) et de charbon de bois et 1 fragment de Scorie Brune Dense avec oxydes de fer (0,048 kg)
- 13 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,2 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons aggloméré (0,034 kg) et 16 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,72 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 7 fragments de paroi en argile orangé à beige avec inclusions de quartz submillimétriques et 7 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques en partie vitrifiée. Certains présentent des inclusions d'oxydes de fer (0,96 kg)

Céramique :

- 1 tesson

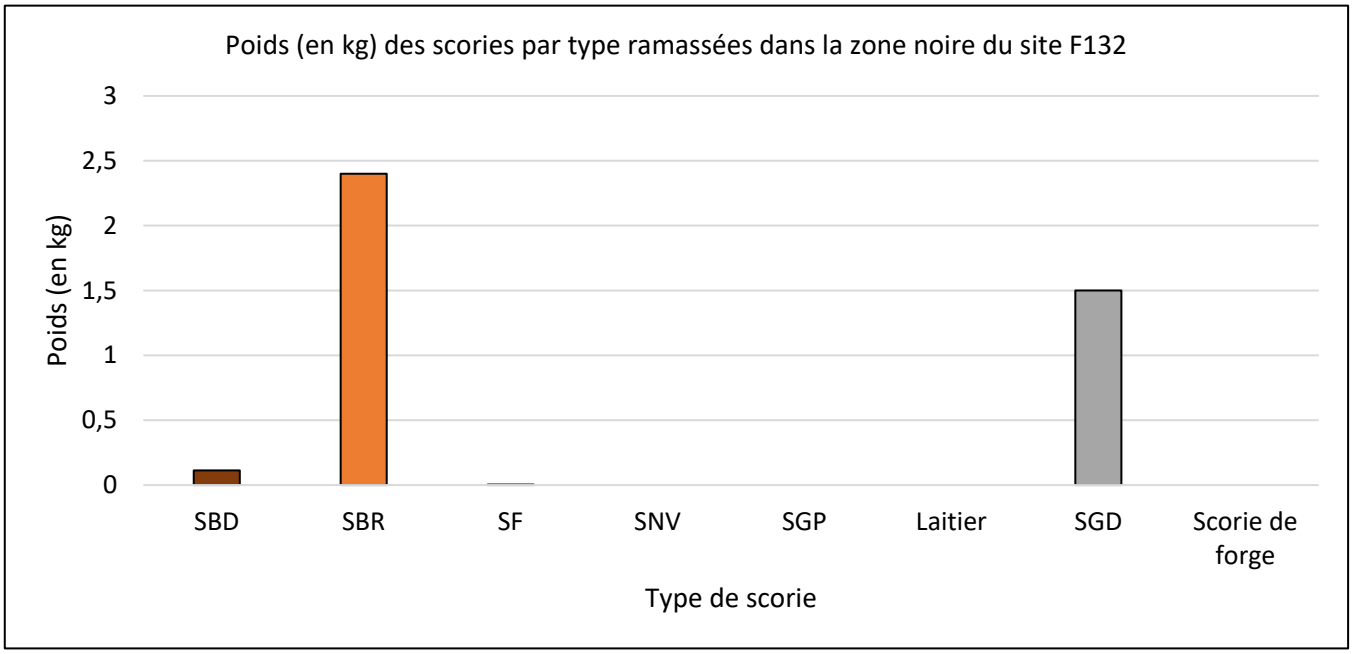
Zone rouge

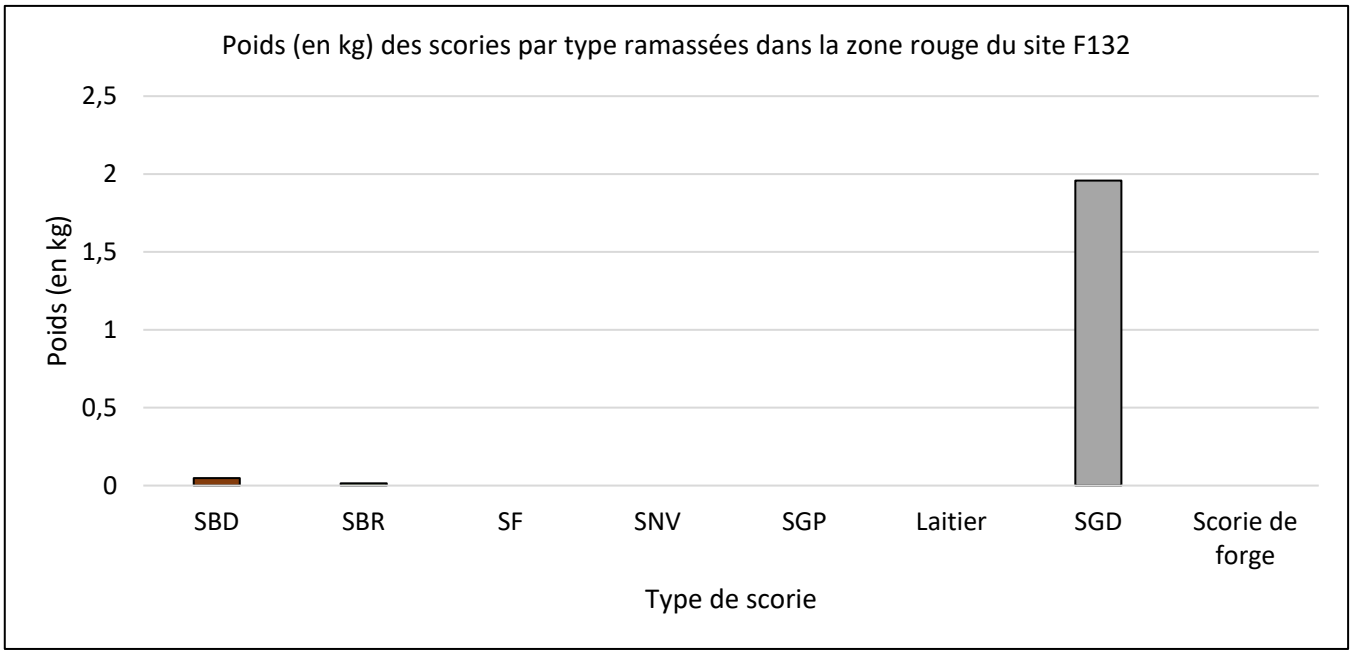
Paroi argileuse :

- 5 fragments de paroi en argile beige à orangé vitrifié par endroit (0,096)

Matériau lithique :

- 1 fragment de grès gris et induré, rubéfié par endroit avec scorification très légère et inclusions de quartz millimétriques (1,7 kg)





F136

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

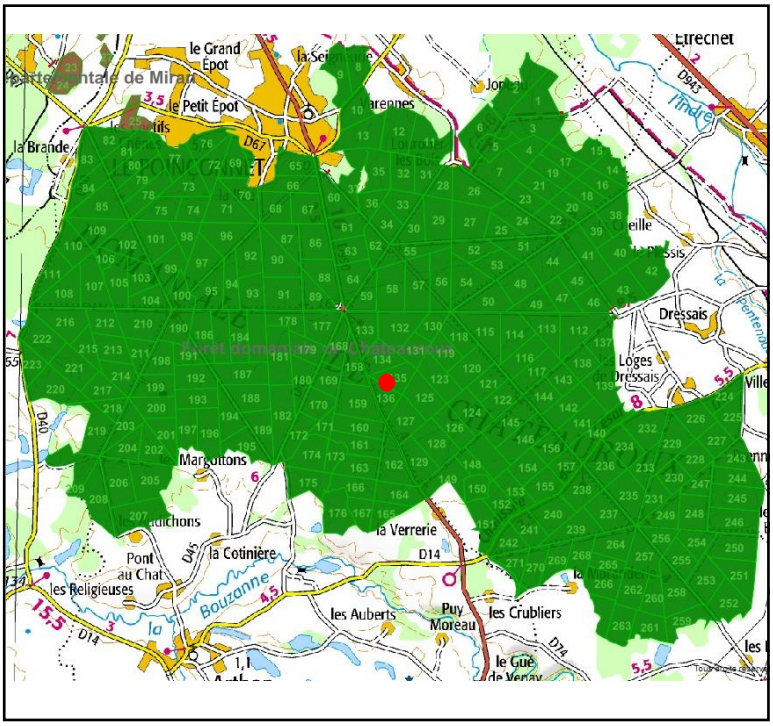
Parcelle forestière : 136

Coordonnées GPS

X : 603526,069 m

Y : 6625995,283 m

Z : 174,31 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/2018

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Zone bicolore sans ferrier

Forme : indéterminée

Longueur : plus de 100 m

largeur : plus de 40 m

Hauteur : indéterminée

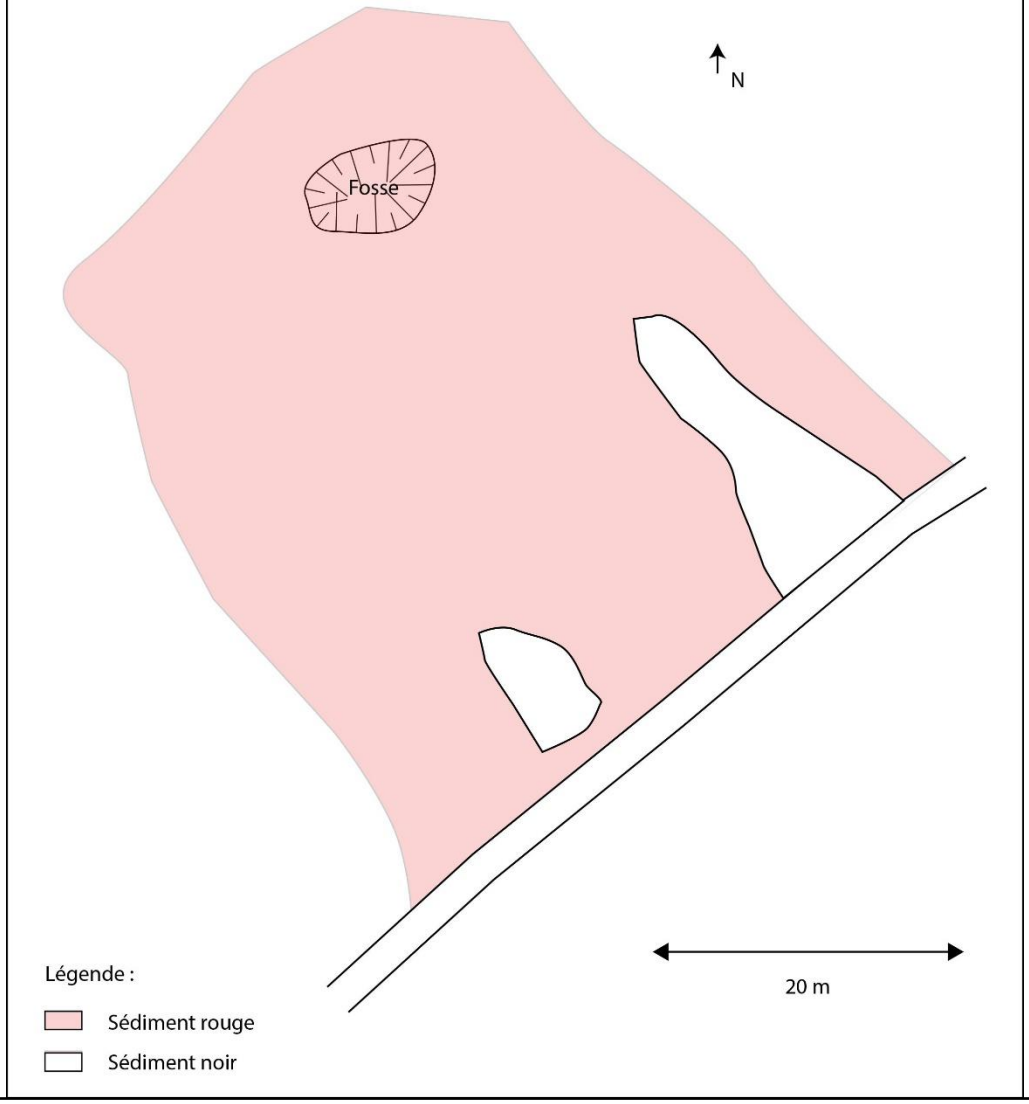
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Aucun relief sauf une fosse au centre de la parcelle.

Datation : Indéterminée

Observations : Espace très étendu (plus d'une parcelle) alternant terre rouge et noire où se trouvent peu de scories généralement très fragmentées

Plan schématique du site (S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 10,2 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 10 fragments de Scories Brunes Denses très oxydés en surface avec inclusion d'oxyde de fer (0,3 kg), 2 fragments de Scories Noires Vacuolaires, dont une partie est poreuse (3,2 kg), 2 fragments de Scories Ferreuses très hétérogènes avec fragment d'oxydes de fer, d'argile et de cailloutis sur la face inférieure (0,5 kg) et 1 gros fragment de Scorie Grise Poreuse présentant des inclusions d'oxydes de fer et de silice (1,648 kg).
- 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons épais, vitrifiés rosés en surface et présentant des inclusions d'oxydes sur la face inférieure (0,7 kg), 6 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins très oxydés (0,05 kg) et 15 fragments de Scories Grises Denses indéterminés très oxydés en surface (0,418 kg)

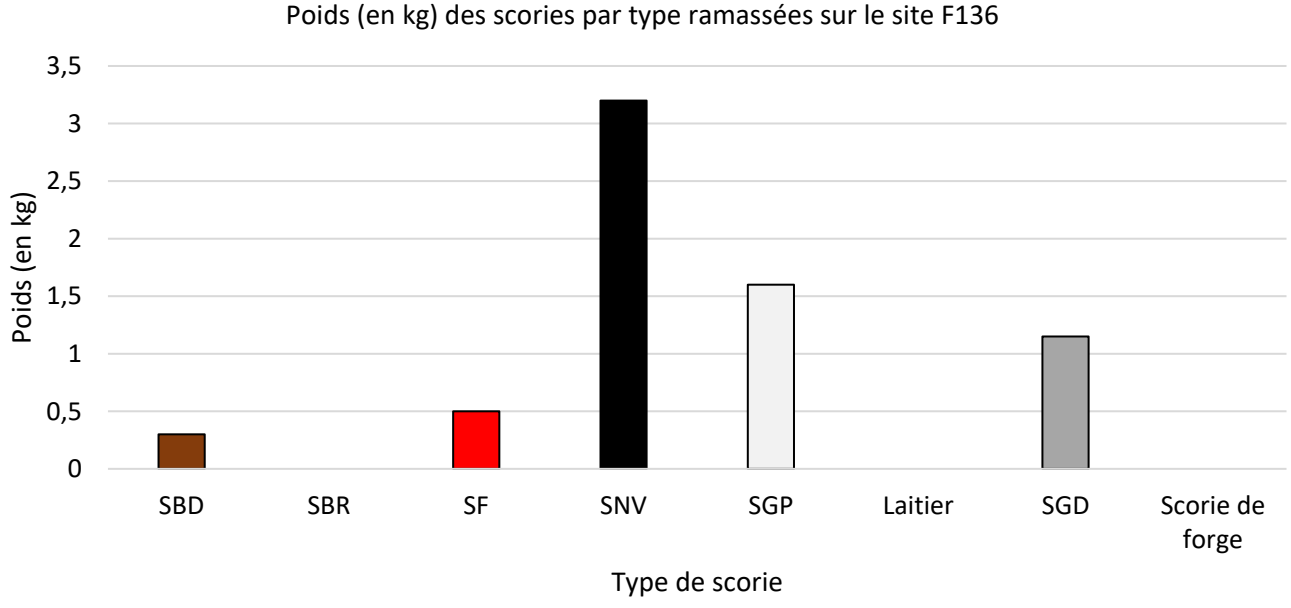
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 7 fragments de paroi en argile grise vitrifiés par endroit avec inclusion de quartz submillimétriques, de charbons de bois et d'oxydes de fer (2,9 kg) et 3 fragments de paroi en argile beige et blanche avec inclusions d'oxydes de fer et vitrification par endroit (0,5 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de quartz ferrugineux (0,03 kg)



F145

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

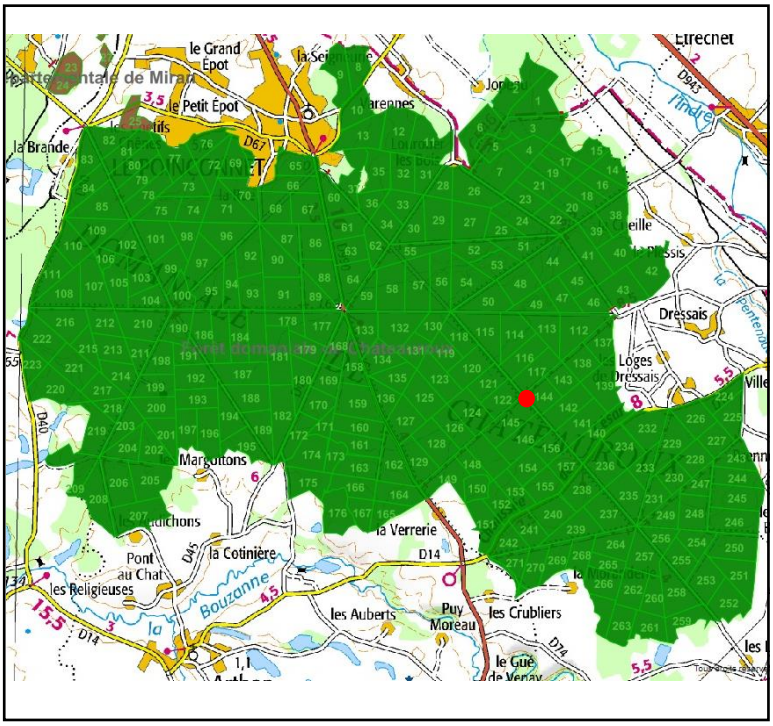
Parcelle forestière : 145

Coordonnées GPS

X : 605492,388 m

Y : 6625784,592 m

Z : 169,84 m



Enregistrement

Date de prospection : 21/03/19

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore Forme : Falciforme

Longueur : 71 m largeur : 34 m Hauteur : 2,50 m

Sédiment : Sédiment limono-argileux noir à brun associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Présence de bouleaux.

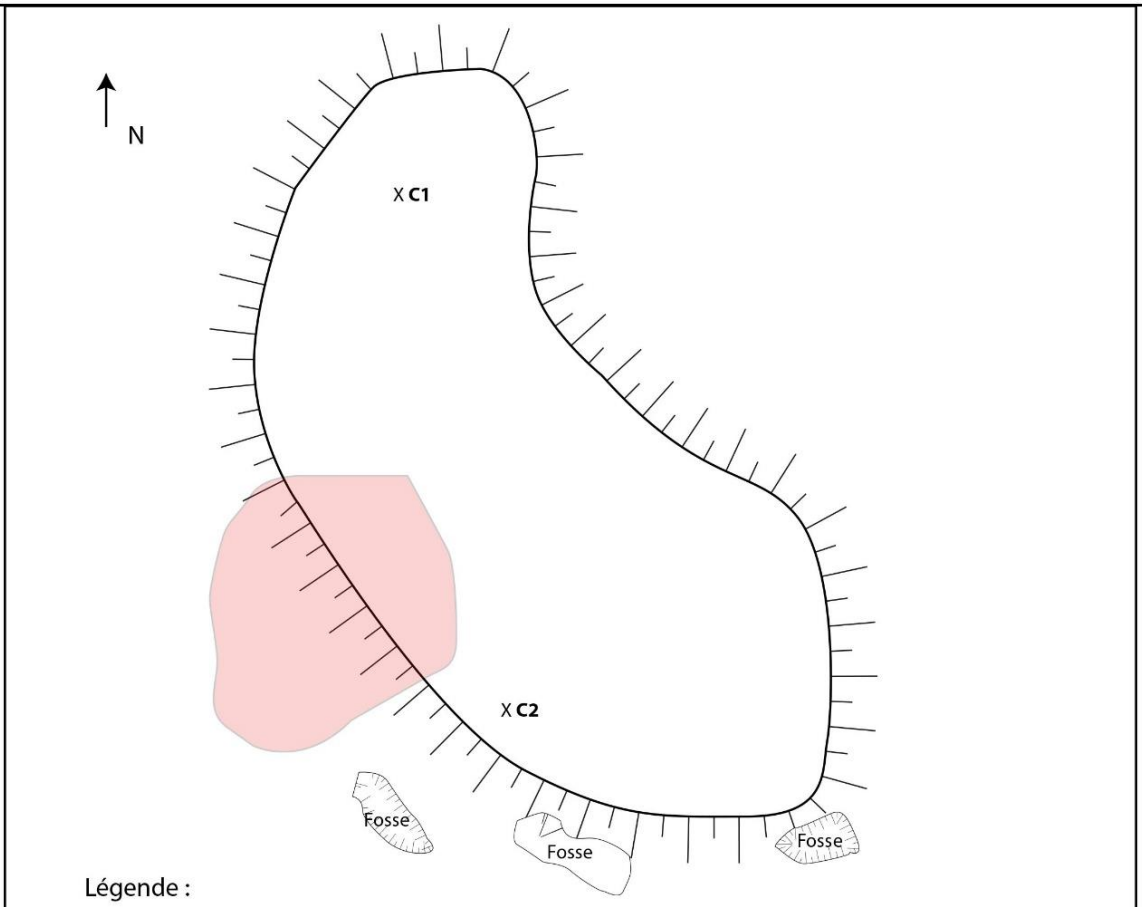
Datation : Indéterminée

Observations : Très grand ferrier à l'US limono-sableux brun comprenant des scories peu fragmentées au niveau de C2 et beaucoup plus fragmentées en C1. Des zones légèrement rouges sans scories sont visibles à l'ouest du ferrier. Très perturbé au sud (récupéré)

Photographie (vue vers le nord)



Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 21, 6 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire

Scories de réduction :

- 5 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer, de charbon de bois et vitrification par endroit (2,6 kg) et 2 fragments de Scories Ferreuses avec inclusions de charbon et d'oxydes de fer (0,8 kg)

Fragmentation : Importante

- 11 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,3 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense en plaque (0,5 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense agglomérés (0,224 kg), 9 fragments de Scories Grises Denses ridés dont 1 forme un gros cordon de 11 cm de large (2,3 kg) et 12 fragments de Scories Grises Denses indéterminés oxydés et vitrifiés par endroit (4,5 kg)

Fragmentation : Moyenne

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

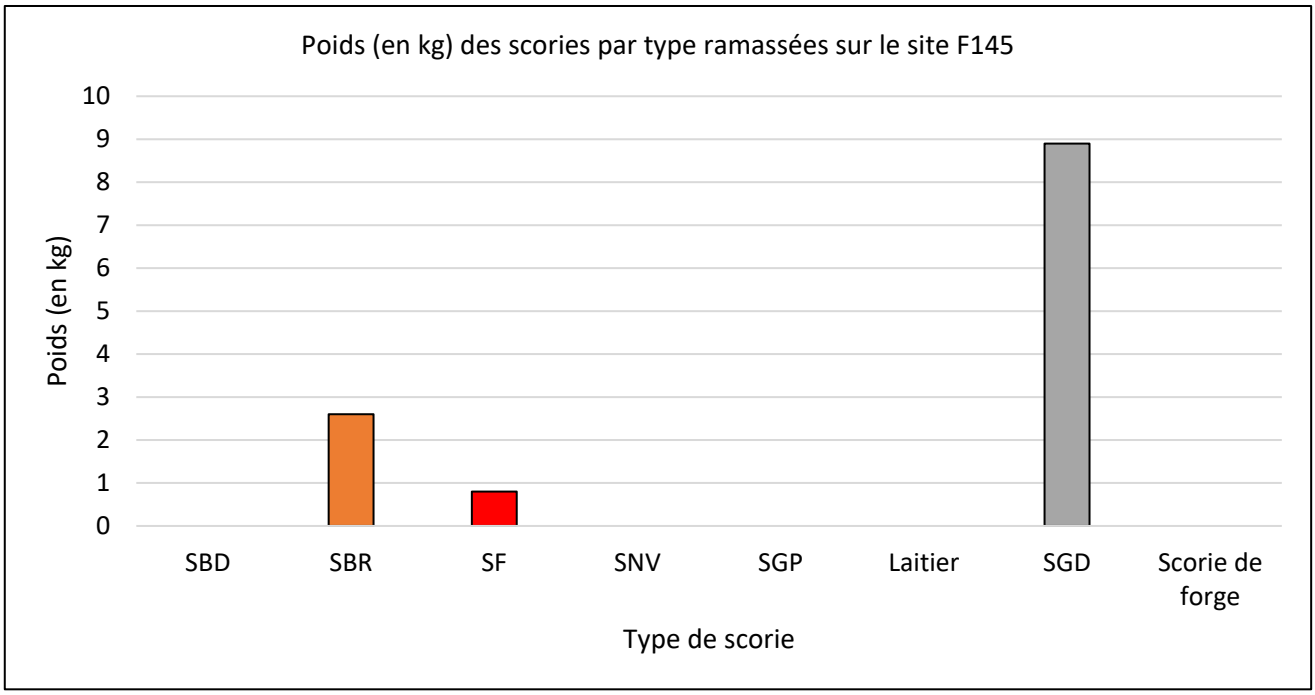
- 15 Fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques, vitrifiés par endroit et indurés. L'un d'eux présente deux bombements de 1,9 cm de large (rechapage ?) (4,4 kg) ; 2 fragments de paroi en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétriques vitrifiés par endroit (0,229 kg) et 1 gros fragment de paroi en argile beige induré présentant des traces de scories (1,7 kg).

TCA :

- 3 fragments de TCA en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétriques dont deux tegulae et 1 fragments avec rainures parallèles sur la face supérieure (1,2 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de calcaire blanc poreux et 2 fragments de grès indurés et rubéfiés (1,73 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F145
Poids (en kg)
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

F151/1

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

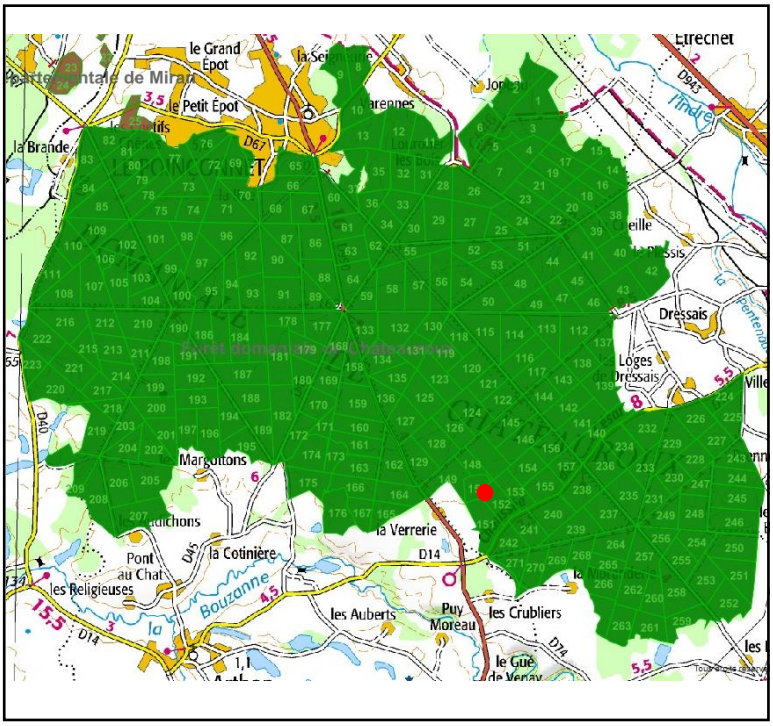
Parcelle forestière : 151

Coordonnées GPS

X : 604855,463 m

Y : 6624520,588 m

Z : 183,53 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/03/19

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Zone de rejet ponctuel

Forme : Indéterminé

Longueur : 20 m

largeur : 2 m

Hauteur : < 5 cm

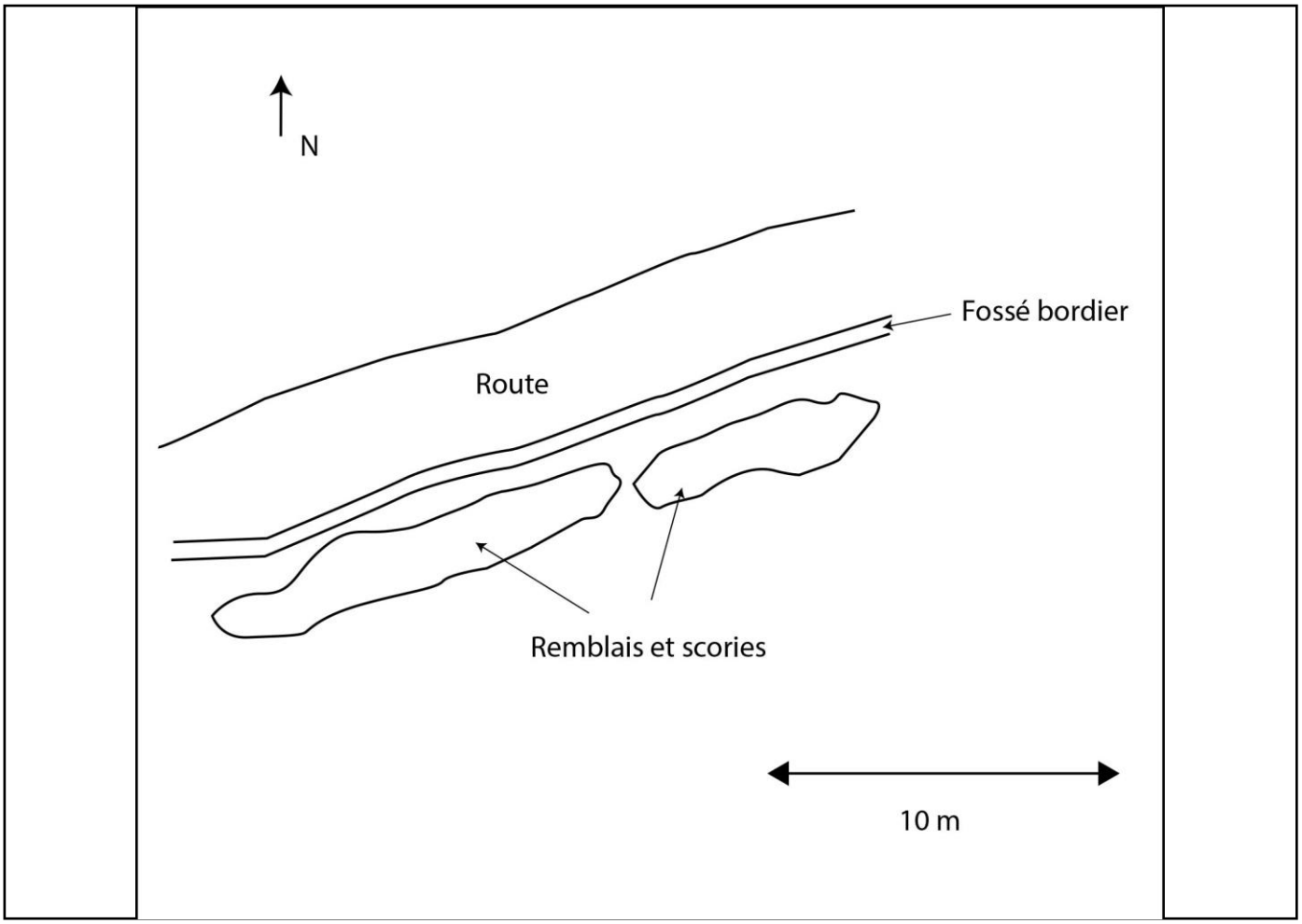
Sédiment : Sédiment limono-sableux beige.

Caractéristiques environnementales :

Datation : Indéterminée

Observations : Dépôt provenant certainement d'un ancien radier de la route refaite récemment et dont quelques scories semblent avoir été redéposées sur les bas-côtés. Scories rares mais de grande taille dispersées sur 20 m. Pas de ramassage.

Plan schématique du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



F151/2

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

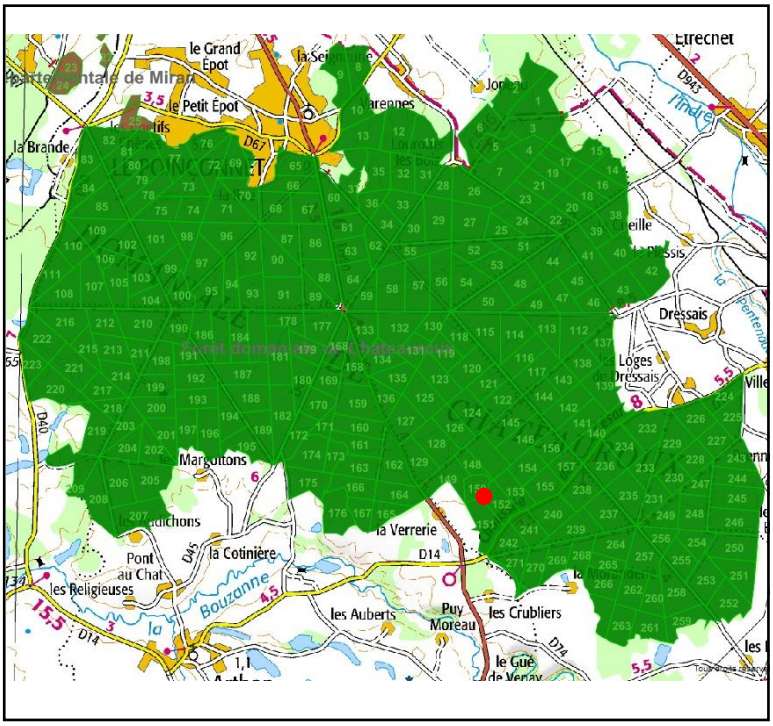
Parcelle forestière : 151

Coordonnées GPS

X : 604834,614 m

Y : 6624507,253 m

Z : 183,31 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/03/19

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 17,2 m

largeur : 16,7 m

Hauteur : 0,7 m

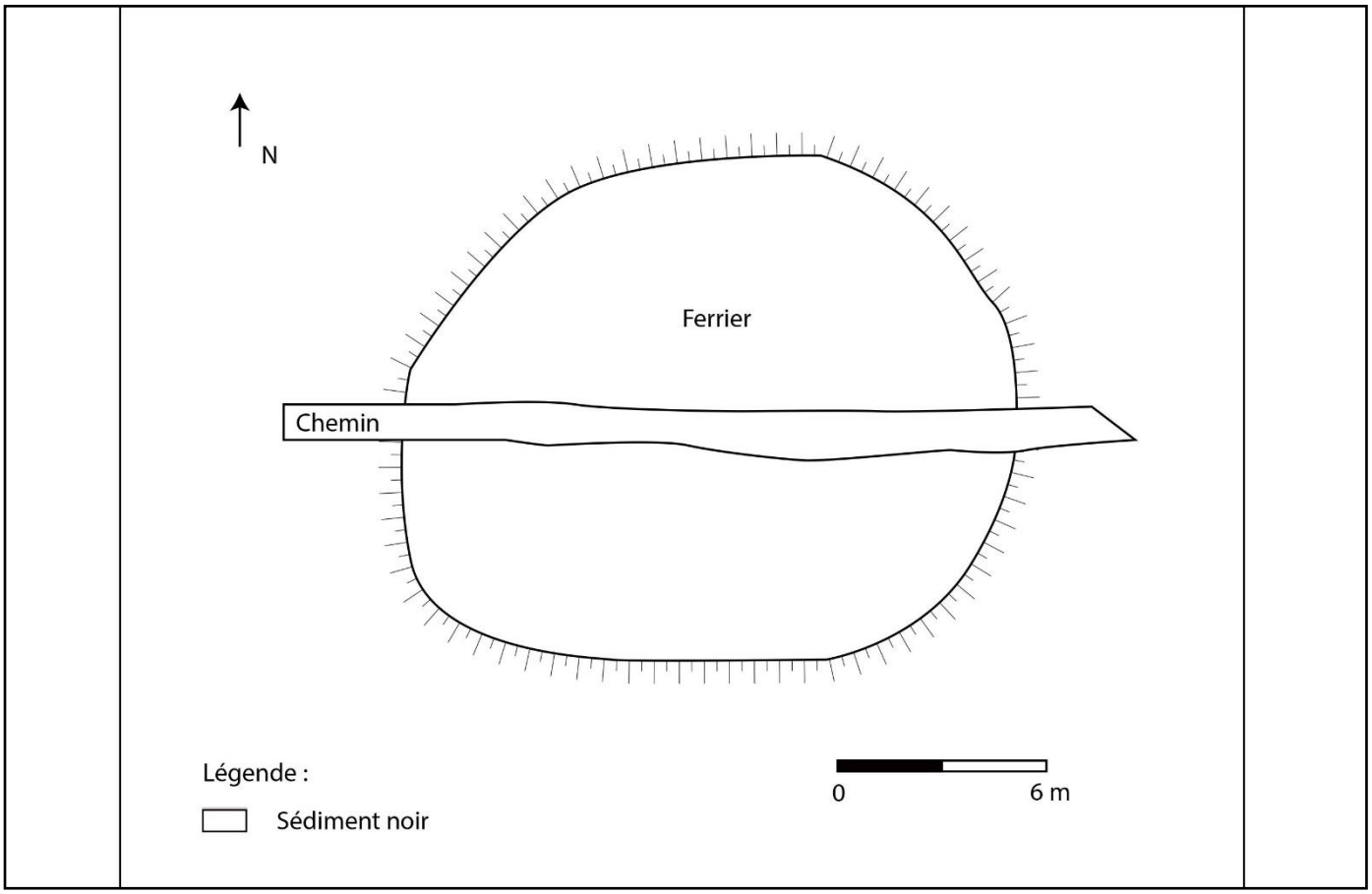
Sédiment : Sédiment argilo-limoneux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de pins et de fragons. Coupé par un layon. Structure peu marquée.

Datation : Indéterminée

Observations : Très petit ferrier, très perturbé, comprenant des scories éparses, peu nombreuses et très fragmentées même si quelques-unes sont de dimensions plus importantes.

Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 5,2 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

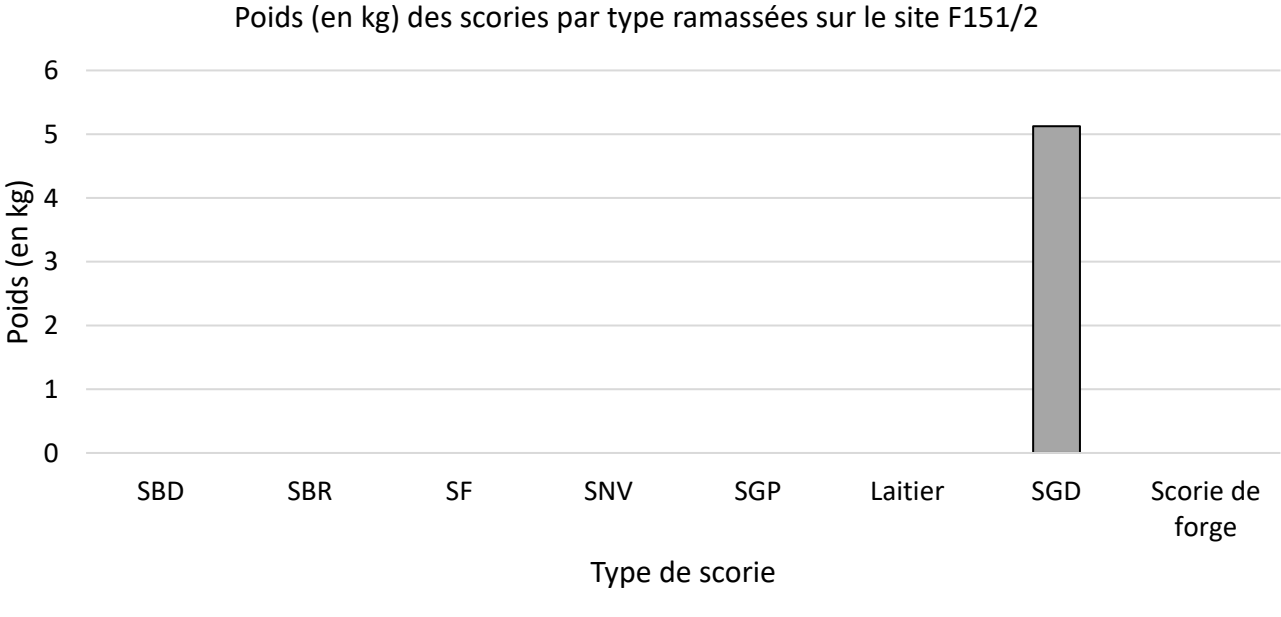
- 6 Scories Grises Denses à cordons épais (2,6) et 1 Scorie grise Dense à cordons fins (2,4 kg)

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Matériau lithique :

- 1 silex rouge et 1 grès blanc induré (0,055 kg)



F179

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

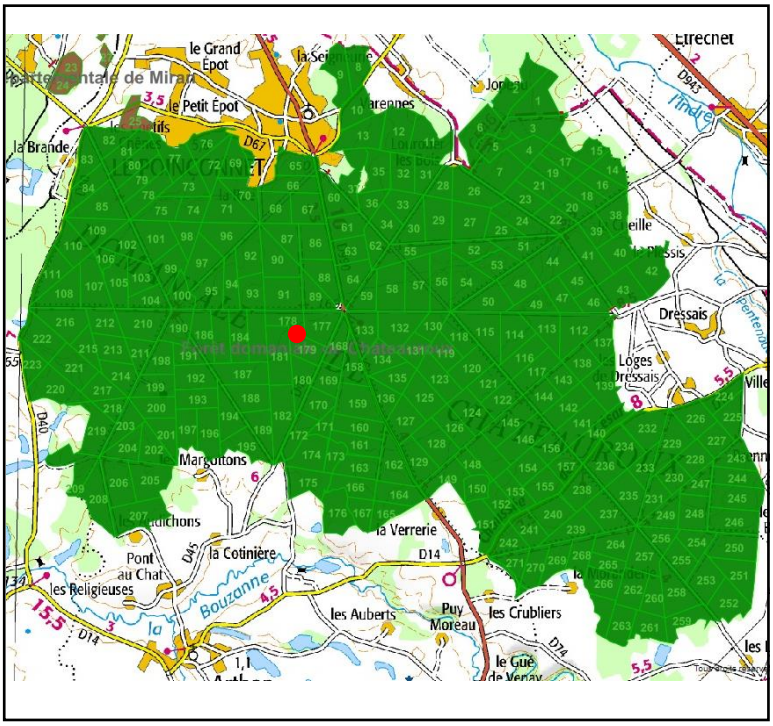
Parcelle forestière : 179

Coordonnées GPS

X : 602058,53 m

Y : 6626917,29 m

Z : 179,01 m



Enregistrement

Date de prospection : 30/10/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Arrondie

Longueur : 47,1 m

largeur : 43,8 m

Hauteur : 2 m

Sédiment : Alternance de substrat argilo-sableux brun/noir et rouge

Caractéristiques environnementales : Présence de chênes et de ronces à l'ouest. Peu de bouleaux et de fragons. Structure coupée en deux par un chemin forestier.

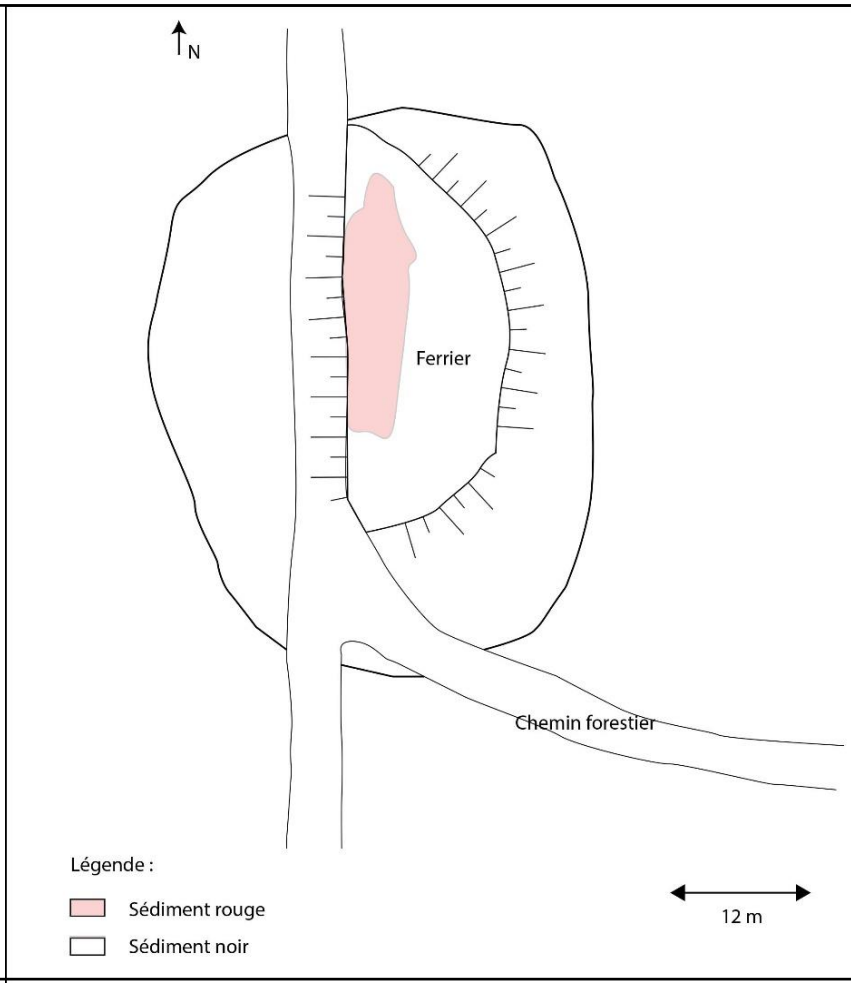
Datation : 73 – 226 (datation ^{14}C)

Observations : Espace bicolore caractérisé par une alternance de substrat argilo-sableux brun/noir et rouge. Une butte principale se trouve au centre de la structure, une coupe au niveau du chemin forestier a révélé qu'elle mesure environ 2 m de hauteur. On y trouve des scories nombreuses plus ou moins fragmentées et variées présentant des traces importantes de vitrification. Au sommet, un alignement de pierre rubéfiée a été repéré ainsi qu'une concentration de pseudo-laitier au nord. Un moellon en gré (46x33x33cm) présentant un creusement rubéfié a également été relevé. De nombreux fragments de grés ferrugineux ont été repérés. Un épandage se trouve au nord-ouest.

Photographie



Plan schématique du site (E. Clouin, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 43,1 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (39,6 kg)

Scories de réduction :

- 23 fragments de Scories Brunes Denses comprenant des inclusions de cailloutis, de charbon de bois et parfois d'oxydes de fer. 3 individus montrent des bombement rectilignes d'environ 1,5 cm de large (4,9 kg) ; 18 fragments de Scories Brunes Rugueuses comprenant des inclusions de nombreux négatif de charbon de bois et vitrifié par endroit (reflets bleutés). 1 individu montre des traces de sillons rectiligne de 1,5 à 2,3 cm de large (4,3 kg) ; 1 fragment de Scorie Ferreuse très hétérogène avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois (0,3 kg) ; 10 fragments de Scories Noires Vacuolaires avec inclusions de cailloutis blanc, vitrifiés en surface dont 2 individus présentent des bombements rectilignes de 1, 5 cm environ (2,8 kg).
- 17 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais avec quelques rares inclusions de cailloutis et d'oxydes de fer (10,9 kg) ; 10 fragments de Scories Grises denses à cordons agglomérés (1,1 kg) ; 5 fragments de Scories Grises Denses en plaque avec inclusion de cailloutis blanc par endroit (0,5 kg).

Zone rouge (3,3 kg)

- 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons épais (0,227 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

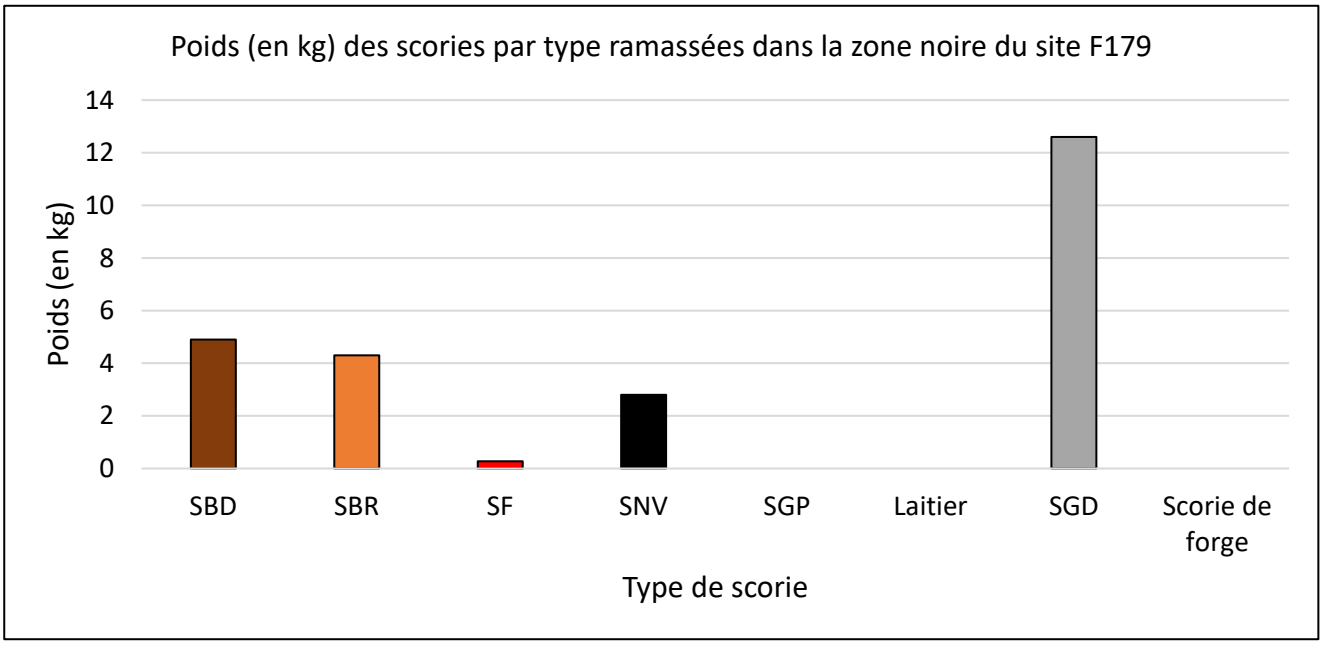
Paroi argileuse :

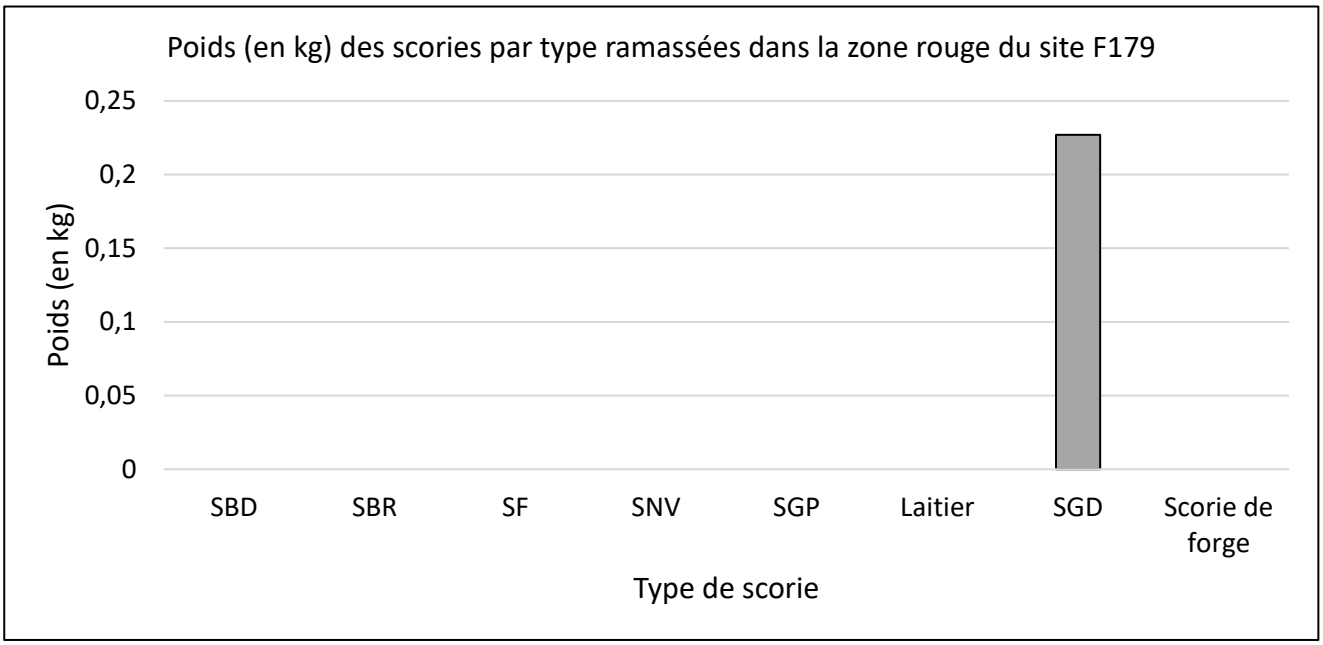
- 41 fragments de paroi en argile grise souvent vitrifié sur une face (reflets verts à bleus) dont 9 individus présentent des bombements rectilignes entre 1,5 cm et 2 cm de large et 5 individus disposent de sillons d'environ 1,5 à 2 cm de large ; 11 fragments de paroi en argile noire comprenant des inclusions de cailloutis blancs et rubéfiés par endroit, 4 individus présentent des bombements rectilignes de 1,4 à 2 cm de large ; 1 gros fragment de paroi gris/noire en argile avec inclusions d'oxydes de fer associés à de la scorie vitrifiée comprenant le négatif d'un sillon de 2,4 cm de large ; 8 fragments de paroi en argile beige vitrifiés sur une face dont 3 individus montrent des traces de sillons rectiligne de 1,4 à 1,9 cm de large ; et 1 fragment de paroi blanc (14,6 kg)

Zone rouge

Paroi argileuse :

- 4 fragments de paroi en argile grise et 4 fragments de paroi en argile beige comprenant des inclusions de quartz submillimétriques (3,2 kg)





F181

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

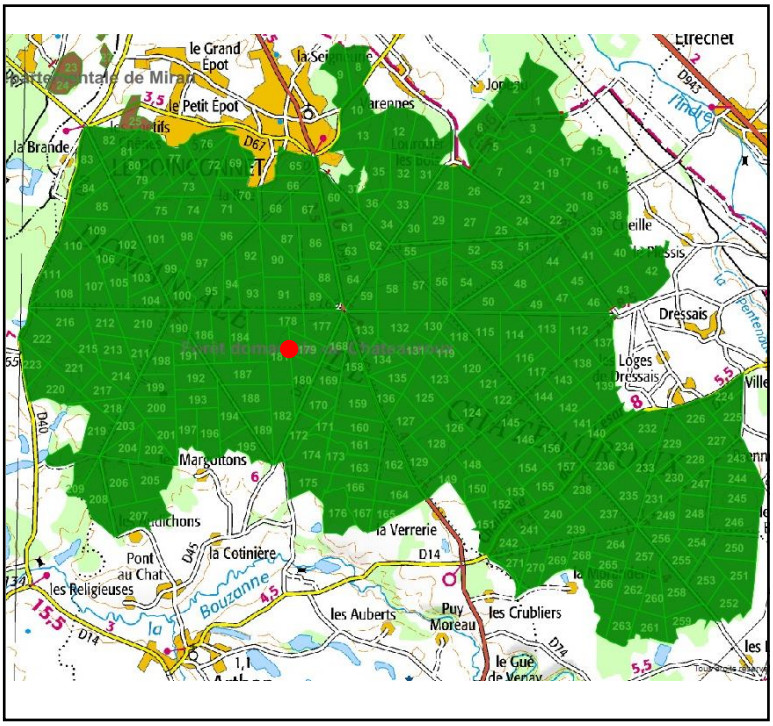
Parcelle forestière : 181

Coordonnées GPS

X : 602041,67 m

Y : 6626663,9 m

Z : 169,56 m



Enregistrement

Date de prospection : 30/10/18

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage Forme : Indéterminée

Longueur : largeur : Hauteur : < 15 cm

Sédiment : Sédiment limono-sableux brun à noir.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de ronces, fragons, etc. qui rendent ses limites impossibles à repérer.

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage localisé en contrebas de l'espace bicolore F179 (moins de 5 m au nord-ouest). Il est probable qu'il provienne du ravinement des déchets métallurgiques et du substrat. La végétation très importante ne nous a pas permis d'en faire le tour.

Description du mobilier ramassé

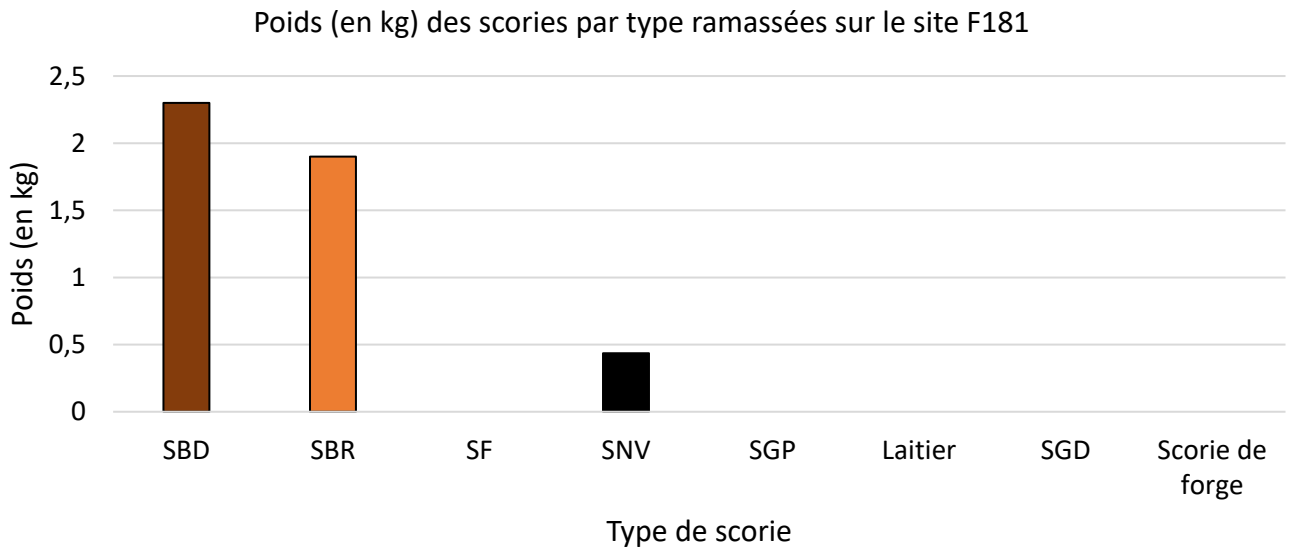
Poids total : 4,7 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 4 fragments de Scories Brunes Denses vitrifiés dont 1 fond de fourneau avec inclusions de Scorie Ferreuse arrachée et de paroi comprenant un bombement de 1,5 cm de large sur la face extérieure, 1 autre individu présente ces marques de bombement rectilignes (2,3 kg), 2 fragments de Scories Brunes Rugueuses comprenant des inclusions d'oxydes de fer et de charbons de bois, l'un des deux est un fond de four plano-convexe (1,9 kg), 1 fragment de Scorie Noire Vacuolaire avec vitrification sur une face et bombement rectiligne de 2 cm de large sur la face opposée (0,436 kg).

Fragmentation : Moyenne



F187/188

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

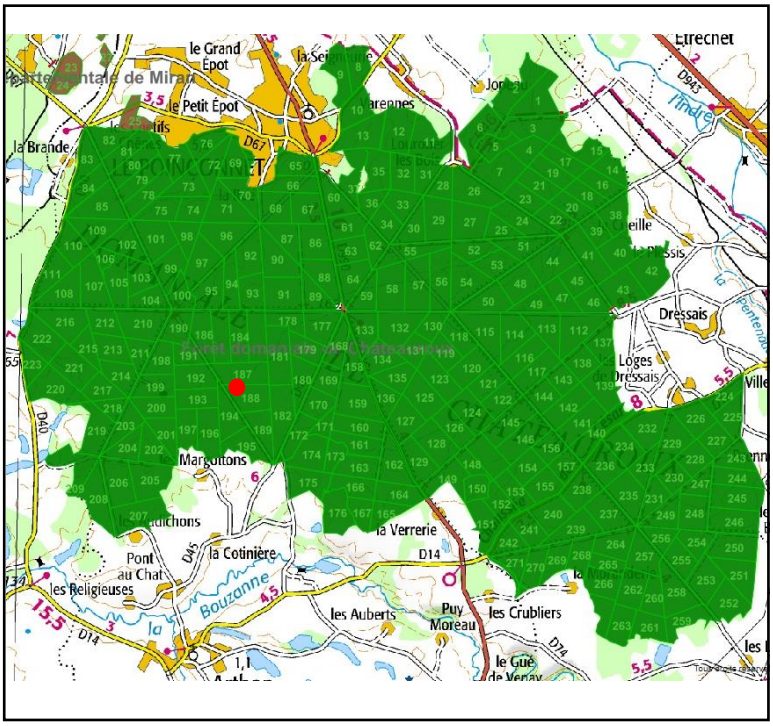
Parcelle forestière : 187 et 188

Coordonnées GPS

X : 601403,4 m

Y : 6626018,76 m

Z : 177,07 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore Forme : Informe

Longueur : 110 m largeur : 85 m Hauteur : 1,2 m

Sédiment : Alternance de sédiment limono-sableux noir et rouge (des prélèvements sédimentaires ont été réalisés dans ces deux substrats).

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de charmes, fragons, bouleau, chêne et molinie. Présence de chablis et de souche.

Datation : 50 - 180 (datation ^{14}C)

Observations : Dans la parcelle 188 se trouve un très grand ferrier (41,2 x 27,5 m) situé au sein d'un espace bicolore comprenant les espaces sédimentaires rouges F187, F187/1, F187/2 et F187/3. On y trouve de très nombreuses scories plus ou moins fragmentées, surtout concentrées au sommet du ferrier. Deux chablis se trouvent en périphérie et ont livré un grand nombre de tesson de céramique ainsi qu'un clou en fer. Ce ferrier est en grande partie récupéré. Un sondage y a été réalisé par des pédologues de la chambre d'agriculture de l'Indre en 2002 (MOULIN, PAQUEREAU : 180). Des photos prises au cours de cette opération signalent un creusement dans le sol géologique, par la suite remplie avec des déchets de production du fer formant un comblement brun rougeâtre et rouge

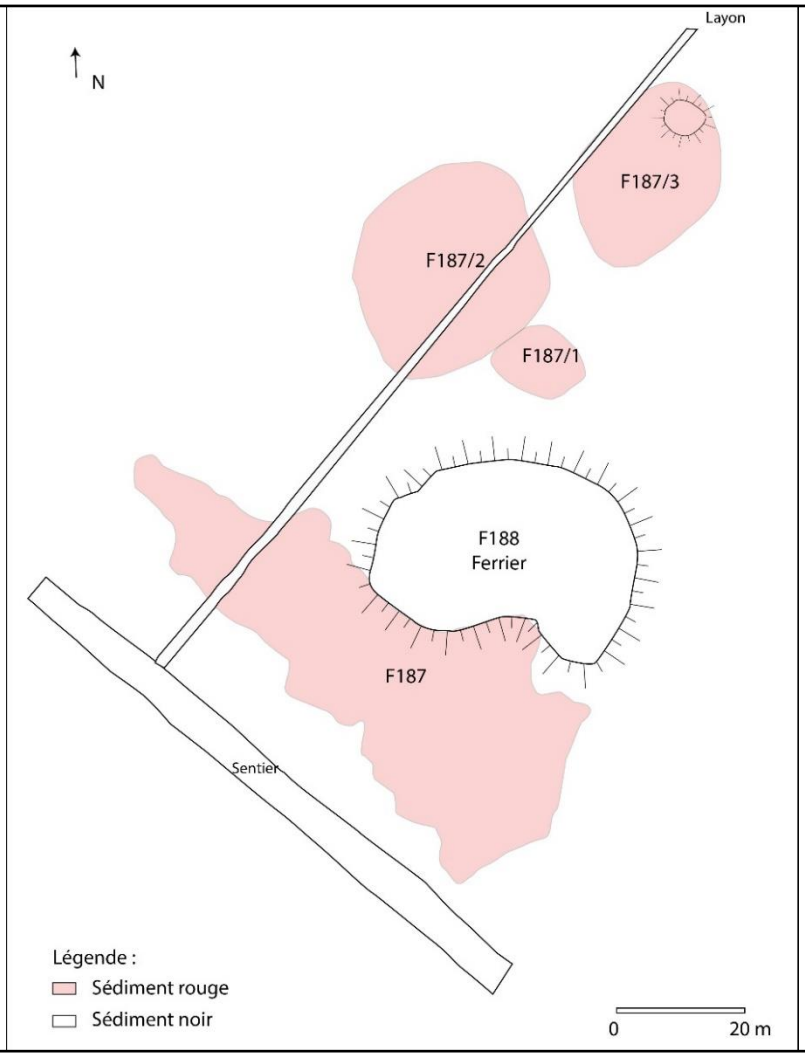
très sombre comprenant de nombreux fragments de parois argileuses orangées dans sa partie basse ainsi que des silex, des charbons de bois et des scories.

Dans la parcelle 187, se trouve un espace au sédiment limono-sableux brun-rougeâtre au sein duquel 4 zone sont distinguées : F187 comprend des scories assez fragmentées et éparses, un chablis a révélé de nombreux fragments de céramiques et un clou ; F187/1 où on observe quelques rares scories très fragmentées et de nombreux fragments de paroi. Deux gros nodules de grès rubéfiés ont été observés au nord-ouest du site ; F187/2 mesure 36,6 m de longueur sur 27 m de largeur et comprend quelques rares scories très fragmentées et de nombreux fragments de paroi. Un sondage à la tarière révèle la présence de ce sédiment sur 45 cm de profondeur avant d'atteindre le sol géologique. L'échantillon contient des fragments de paroi et des charbons de bois ; Enfin, F187/3 mesure 24,5 m de longueur sur 17,8 m de largeur. Il comprend quelques rares scories très fragmentées et de nombreux fragments de paroi. Cette zone forme une butte dans le paysage, est perturbée par des travaux forestiers et coupée par un sentier.

Photographie (vue vers le nord-est)



Relevé en plan du site



Description du mobilier ramassé

Poids total : 28,3 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (18,5 kg)

Scories de réduction :

- 9 Scories Brunes Rugueuses vitrifiés par endroit comprenant des fragments d'oxydes de fer et de charbons de bois, dont 2 fonds de four plano-convexe associés à de la paroi en argile grise (6,2 kg) et 6 fragments de Scories Brunes Denses très oxydés en surface (0,38 kg)
- 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (3,1 kg), 10 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,7 kg), 1 fragments de Scories Grises Denses en plaque (0,13 kg), 1 bouchon de tuyère de 2,1 cm de diamètre et 31 fragments de Scories Grises Denses indéterminées (1,6 kg) dont 1 individu montre le négatif d'une tuyère de 3,6 cm de diamètre.

Zone rouge (9,8 kg)

Scories de réduction :

- 7 fragments de Scories Brunes Denses associés à des oxydes de fer (0,167 kg), 20 Scories Brunes Rugueuses avec inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer (0,5 kg), 1 fragment de Scorie Ferreuse hétérogène et très oxydée en surface (0,024 kg) et 3 pseudo-laitiers verts à bleu (0,052 kg)
- 27 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais parfois oxydés (0,9 kg), 20 fragments de Scories Grises denses à cordons agglomérés (0,534 kg) et 14 fragments de Scories Grises Denses indéterminés parfois oxydés (0,4 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 53 fragments de paroi en argile grise pouvant prendre des teintes beiges ou mauve avec inclusions de quartz millimétriques à submillimétriques présentant souvent une face plane vitrifiée, 1 individu présentent des sillons de 1,5 cm de large et 1 autre un bombement rectiligne d'environ 2 cm de large (5,1 kg) ; 9 fragments de paroi en argile beige présentant une face vitrifiée (0,663 kg)

TCA :

- 2 fragments de TCA en argile orangée avec inclusions de quartz sub à millimétriques (0,4 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de quartz rogue par endroit (0,06 kg) et

Mobilier :

- Quart de meule constitué d'un mortier blanc comprenant des inclusions centimétriques de quartz. Scorifiée sur la face interne et aussi légèrement sur celle externe. Présence d'oxydes de fer sur les côtés.

Céramique :

- 1 tesson

Elément métallique :

- 1 clou

Zone rouge

Paroi argileuse :

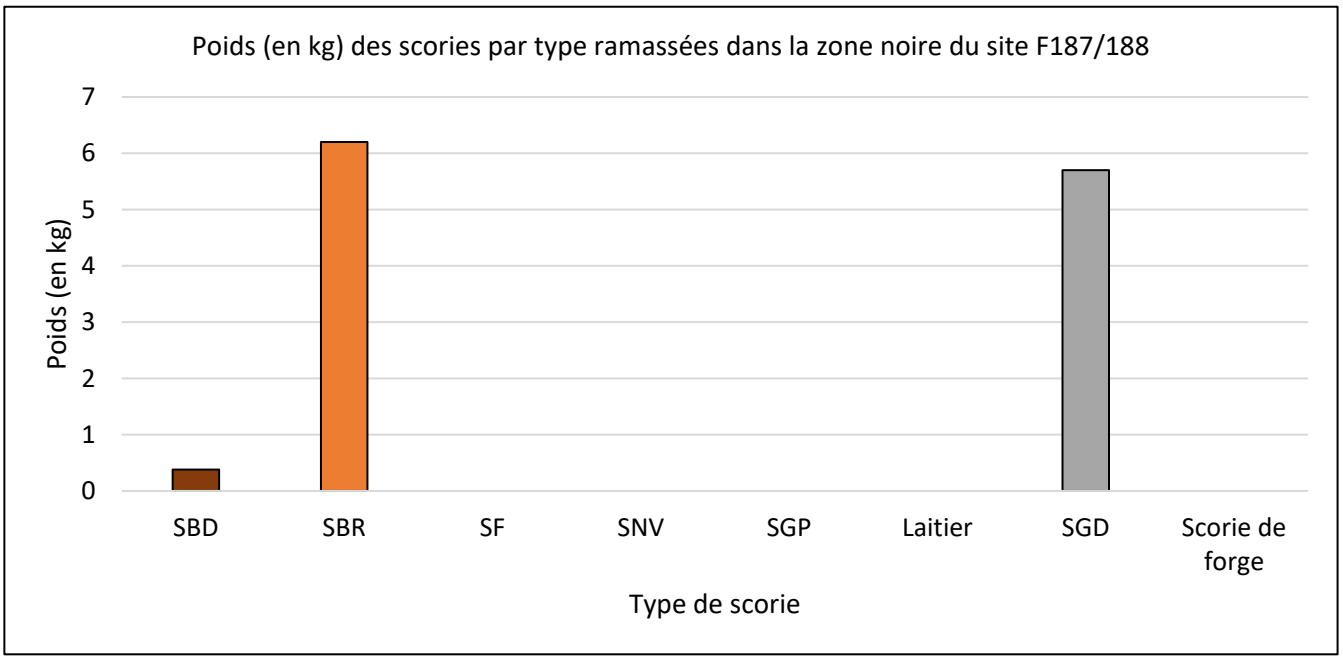
- 4 fragments de paroi en argile beige avec inclusions de cailloutis blancs (0,5 kg) ; 19 fragments de paroi en argile gris souvent vitrifiés sur une face dont 2 individus disposent d'un bombement rectiligne de 1,6 à 1,9 cm de large (1,03 kg) ; 5 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques et vitrification (0,051 kg) ; 11 fragments de paroi en argile beige et grise avec inclusion de quartz submillimétrique ; 2 fragments de paroi en argile noire (0,1 kg) ; 47 fragments de paroi en argile orangée avec inclusions de quartz submillimétriques dont 2 individus présentent des sillons d'environ 2 cm de large et 1 individus un bombement rectiligne de 2,5 cm de large (4,2 kg) et 1 fragment de paroi en argile rouge avec inclusions de quartz submillimétriques (0,048 kg)

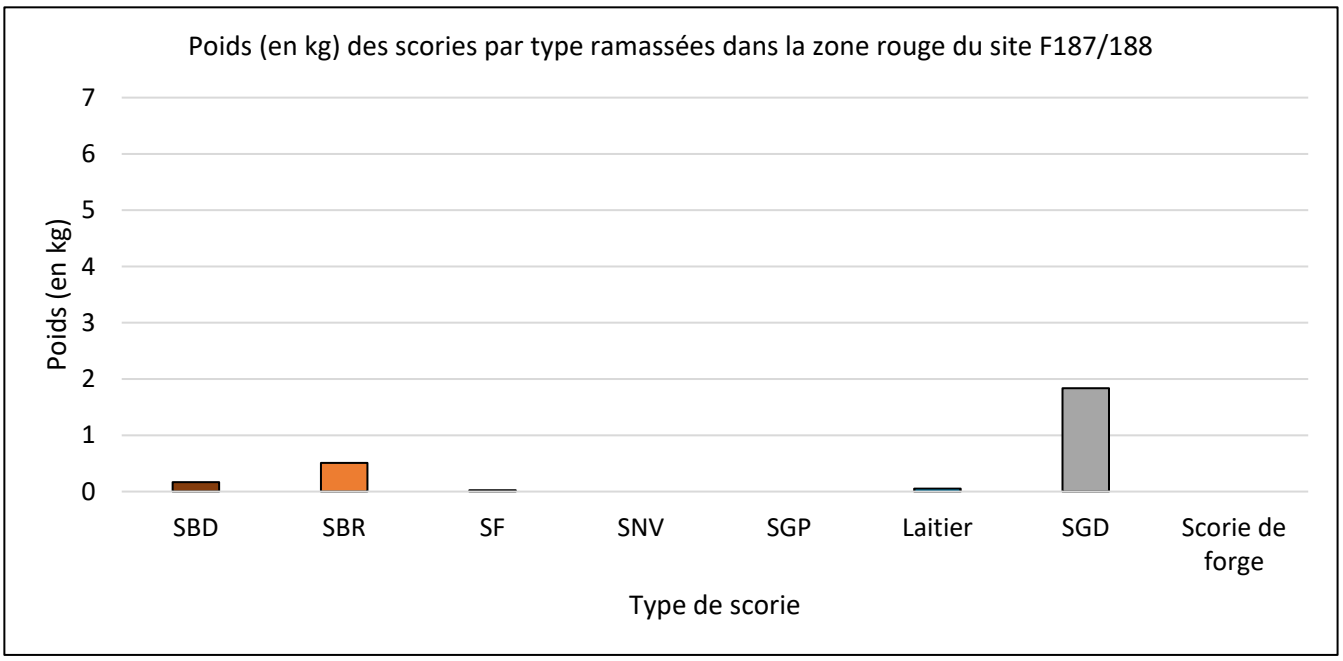
TCA :

- 1 fragment de TCA beige/orangé avec inclusions de quartz submillimétriques (0,1 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de minerai rouge à noir (0,28 kg) et 1 fragment de silex rouge et 3 fragments de calcaires blancs rubéfiés (0,75 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans la zone noire du site F187/188
Poids (en kg)
7
6
5
4
3
2
1
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans la zone rouge du site F187/188
Poids (en kg)
7
6
5
4
3
2
1
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

F195

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

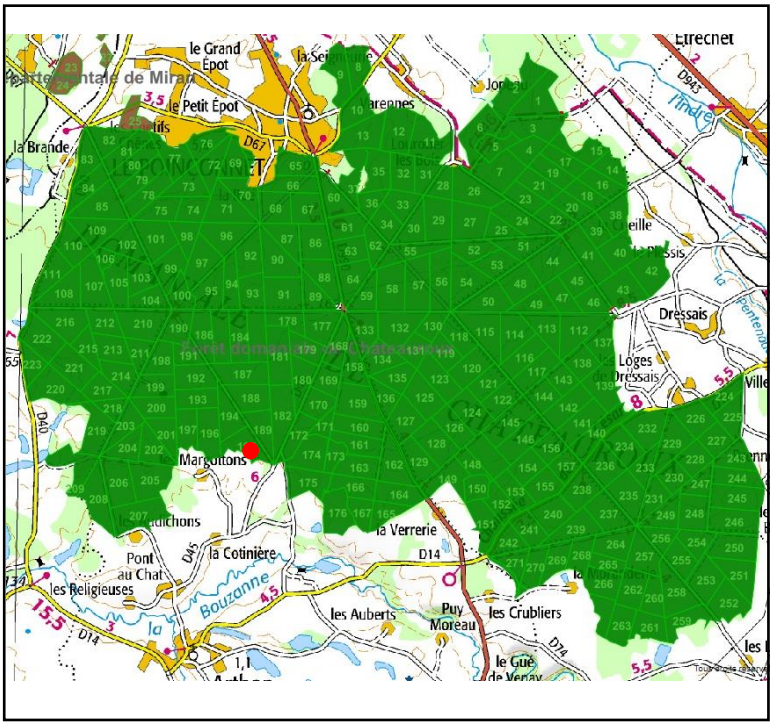
Parcelle forestière : 195

Coordonnées GPS

X : 601549,93 m

Y : 6625176,38 m

Z : 158,28 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/18

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Epandage Forme : Arrondie

Longueur : 35,7 m largeur : 50,1 m Hauteur : < 15 cm

Sédiment : Terre limono-sableuse noire.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de bouleaux, de houx et de ronces.

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage de grande dimensions comprenant de nombreuses inclusions de charbons de bois et peu de scories très fragmentées. Une zone de plus forte concentration se trouve au centre et s'étend sur 12,2 x 10,2 m. A l'est se trouve une levée de terre où le substrat devient rouge/brun. Structure très perturbée par des petites dépressions.

Photographie (vue vers l'ouest)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 0,76 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 2 fragments de Scories Ferreuses (0,012 kg)

Fragmentation : Importante

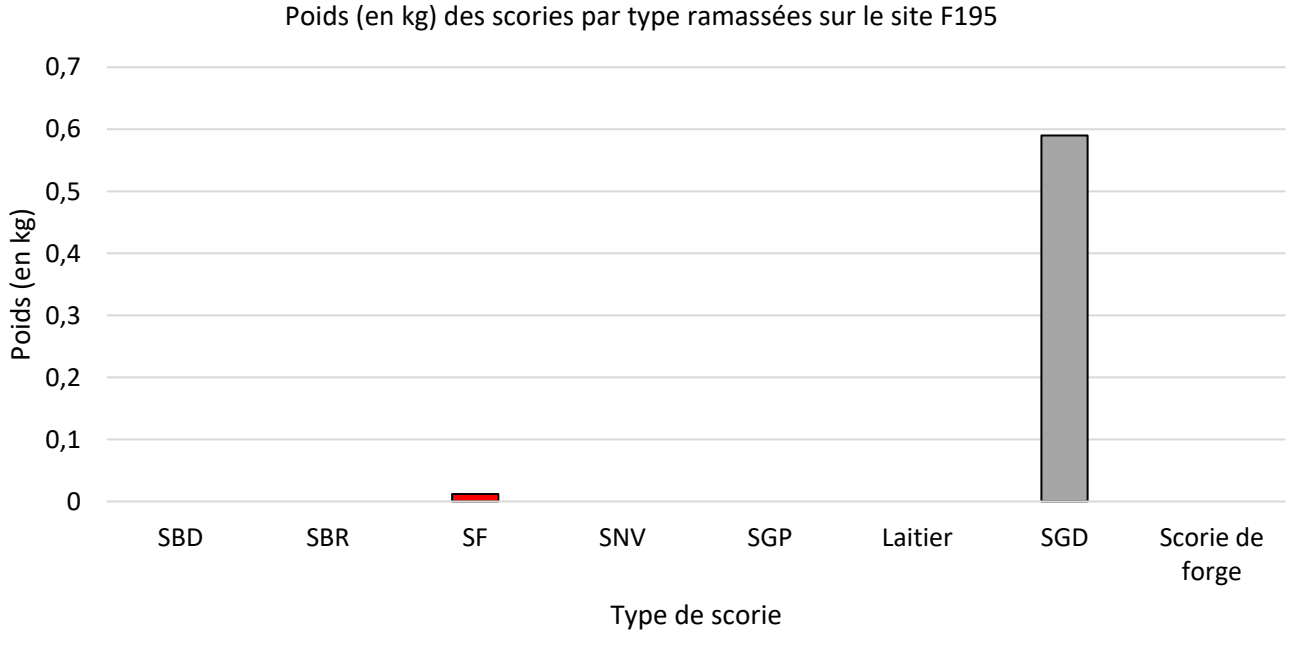
- 3 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,34 kg), 3 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,071 kg) et 10 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,18 kg)

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 7 fragments de paroi en argile beige à grise avec inclusions de quartz submillimétriques (0,15 kg)



F199

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

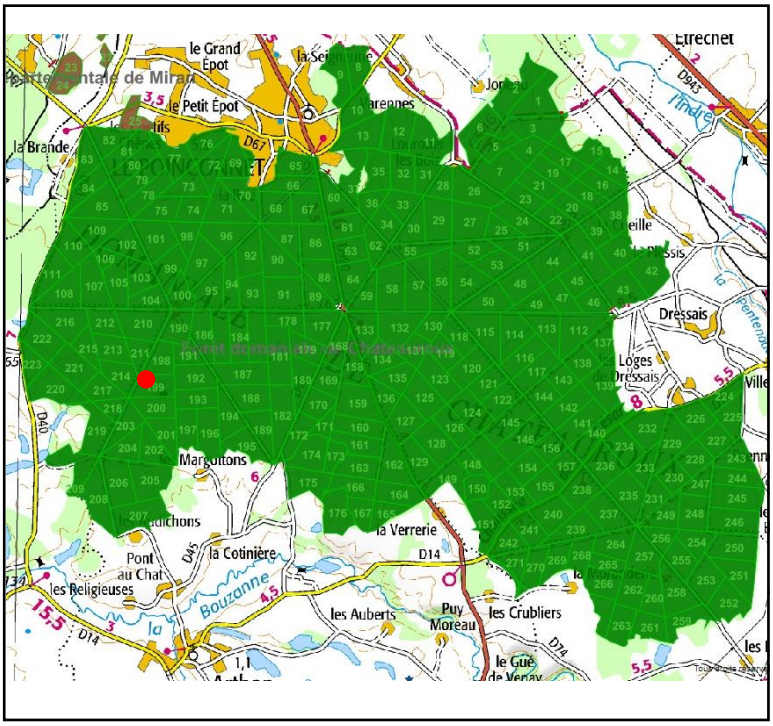
Parcelle forestière : 199

Coordonnées GPS

X : 599940,04 m

Y : 6626319,62 m

Z : 176,93 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/18

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 41 m

largeur : 34,1 m

Hauteur : 1,20 m

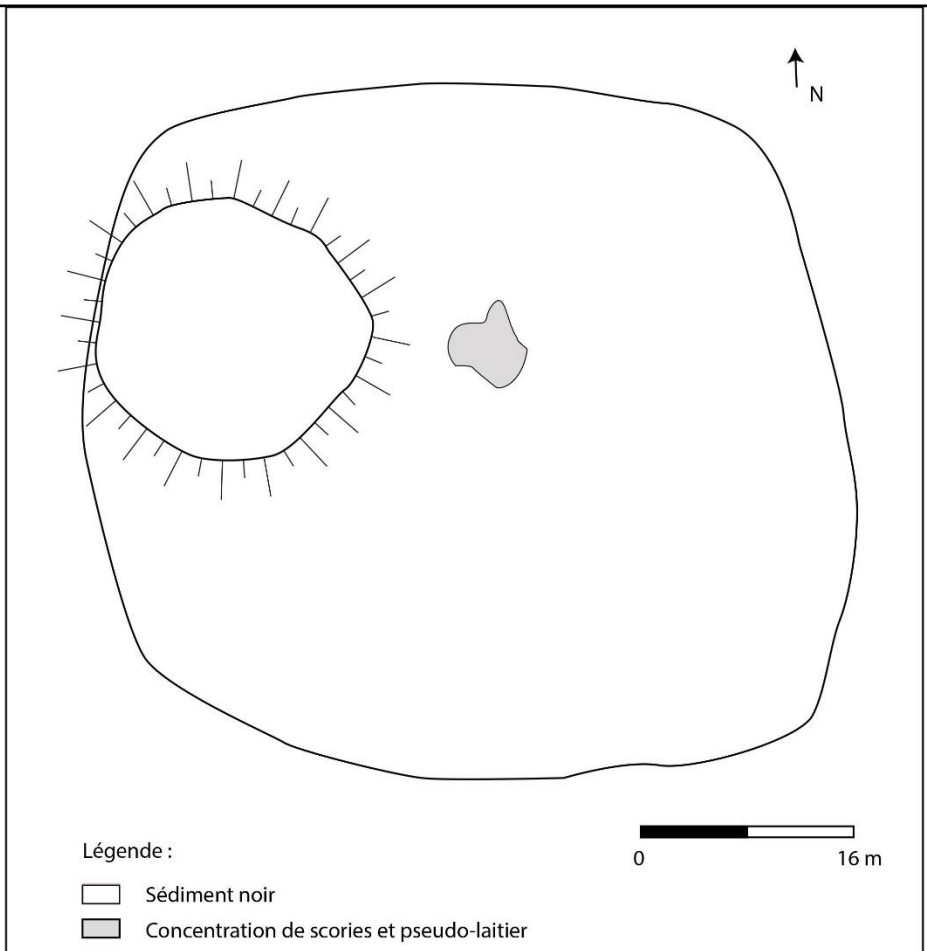
Sédiment : Substrat limono-sableux brun à noir.

Caractéristiques environnementales : Présence de fragons. Structure en grande partie récupérée.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de très grandes dimensions présentant une butte d'1, 20 m non centrée. Les scories y sont nombreuses et très fragmentées. Certaines sont vitrifiées. Présence de gros moellons de silex rouges dans et autour de la butte.

Relevé en plan du site (F. Fourny, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 11,7 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 46 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer, de charbons de bois et de paroi (3,09 kg), 1 fragment de Scorie Brune Dense présentant une face inférieure avec des petits cordons agglomérés une face supérieure vitrifiée par endroit (0,66 kg) et 5 fragments de pseudo-laitier de couleur bleu à verte (0,183 kg)

Fragmentation : Moyenne

- 5 fragments de Scories Grises denses à cordons agglomérés (0,772 kg) et 1 fragment de Scorie Grise dense indéterminés associé à de la paroi (1,137 kg)

Fragmentation : Faible

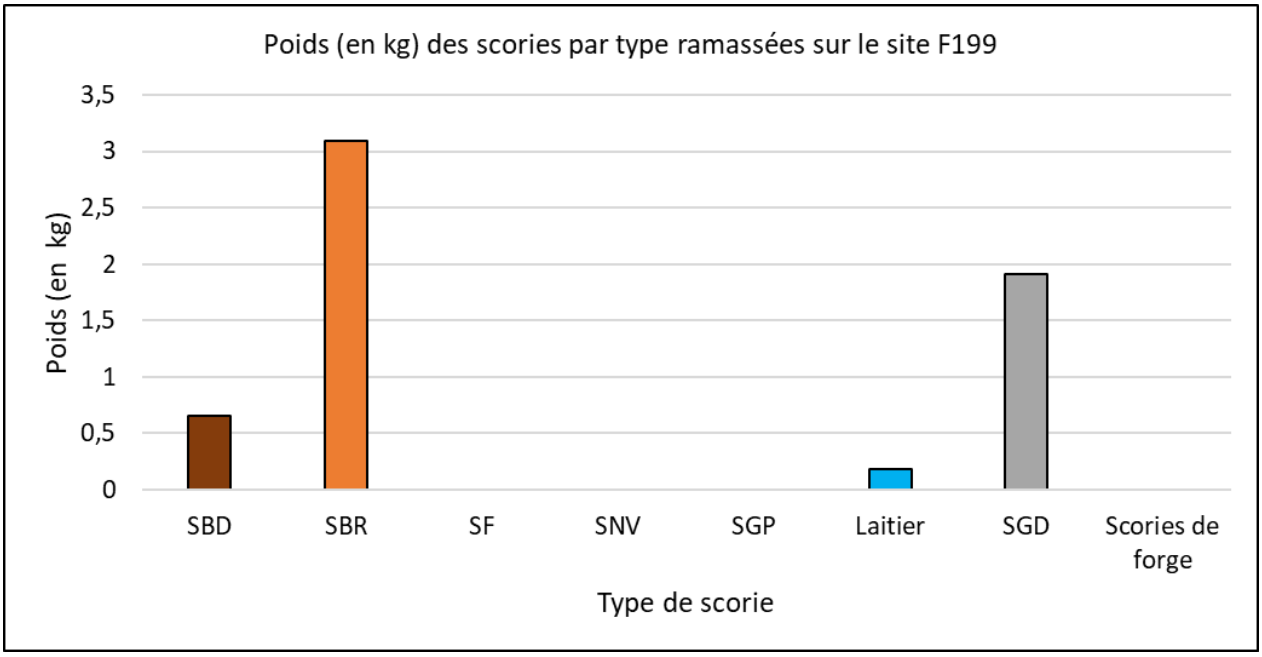
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 19 fragments de paroi en argile gris souvent vitrifiés sur une face, certains comprennent des inclusions d'oxydes de fer ou des cailloutis blancs (4,192 kg) ; 18 fragments de paroi en argile beige vitrifiés par endroit dont l'un montre des sillons d'environ 1,5 cm de large (1,7 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de silex rouge et 1 fragment de quartz jaune (0,484 kg)



F217

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

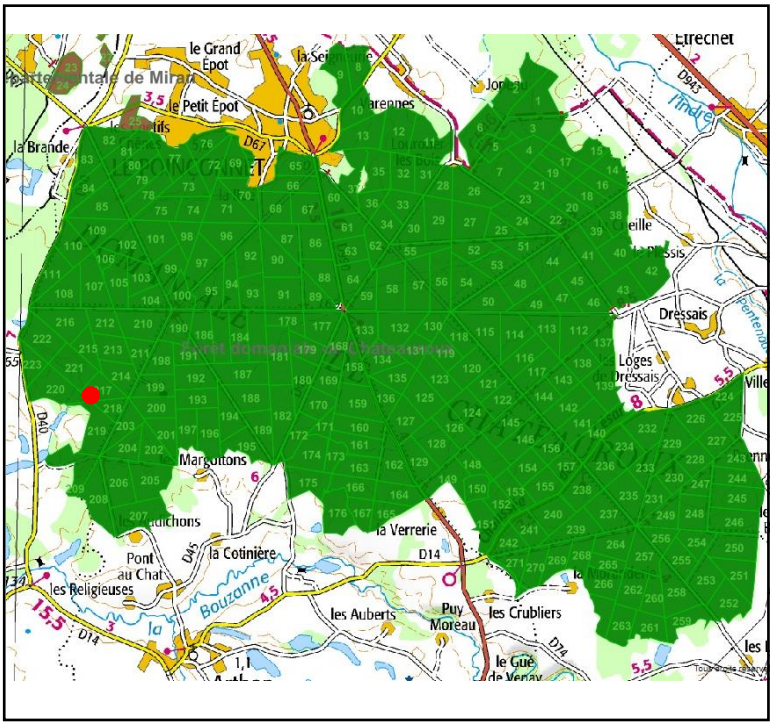
Parcelle forestière : 217

Coordonnées GPS

X : 599499,52 m

Y : 6626029,69 m

Z : 178,85 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/18

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Arrondie

Longueur : 16 m

largeur : 12,6 m

Hauteur : 0,5 m

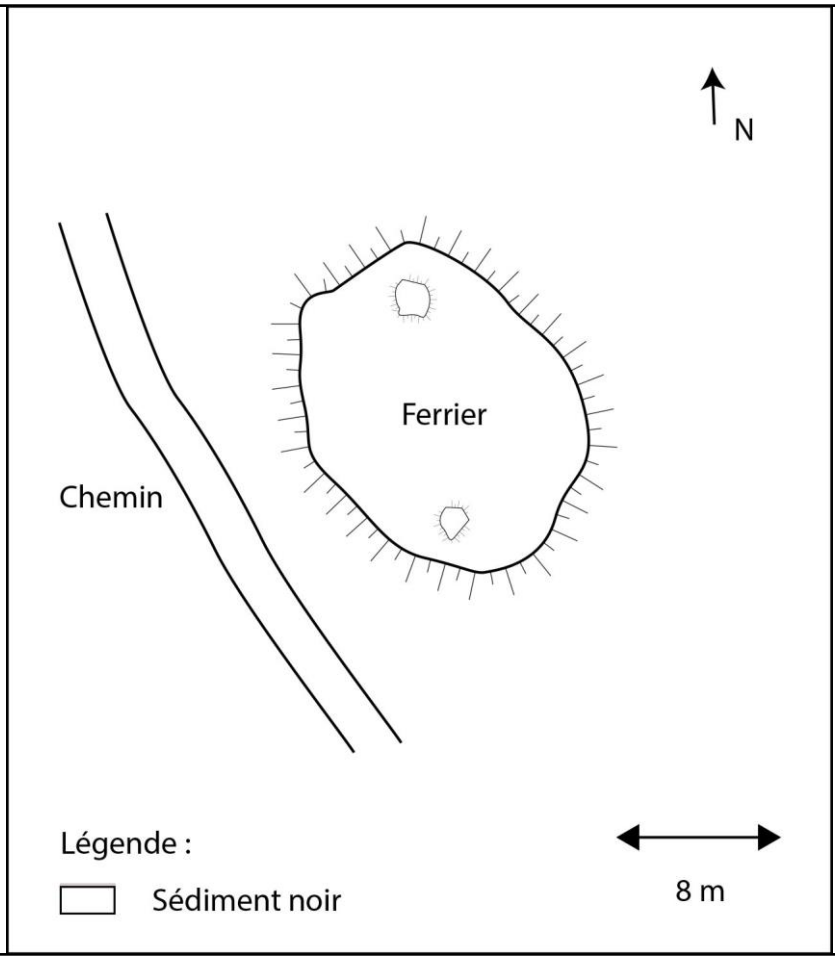
Sédiment : Substrat limono-sableux brun à noir.

Caractéristiques environnementales : Présence de fragons, de houx et de nombreux chênes et bouleaux. Ferrier situé à proximité d'un chemin forestier.

Datation : Indéterminée

Observations : Petit ferrier assez arasé présentant des scories en nombre très fragmentées avec de rares gros morceaux. Ces scories sont particulièrement concentrées au sommet de la structure.

Plan schématique du site (C. Houzé, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 2,4 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 4 fragments de Scories Brunes Rugueuses (0,146 kg).

Fragmentation : Importante

- 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins (0,6 kg), 12 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,5 kg) et 12 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (1 kg).

Fragmentation : Importante

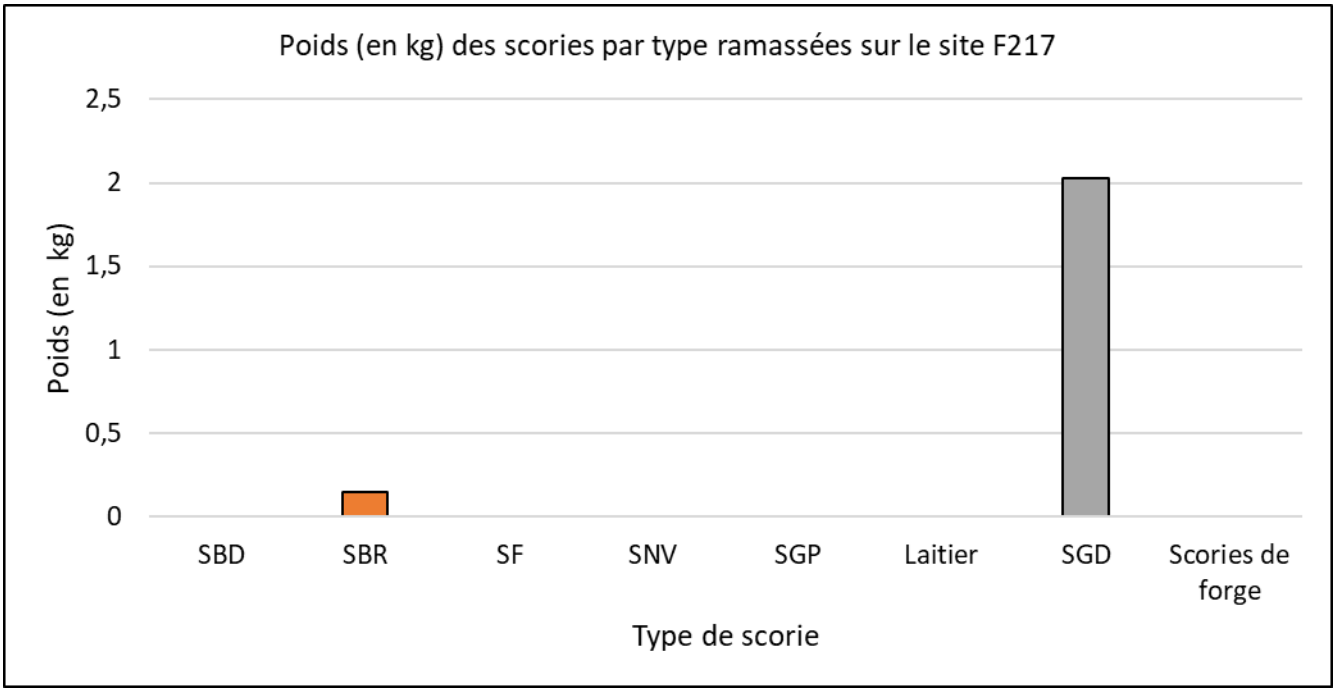
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 9 fragments de paroi en argile beige avec inclusions de quartz submillimétriques vitrifiés par endroit (0,198 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de grès rubéfié et induré et 1 fragment de silex rouge (0,04 kg)



F220/1

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

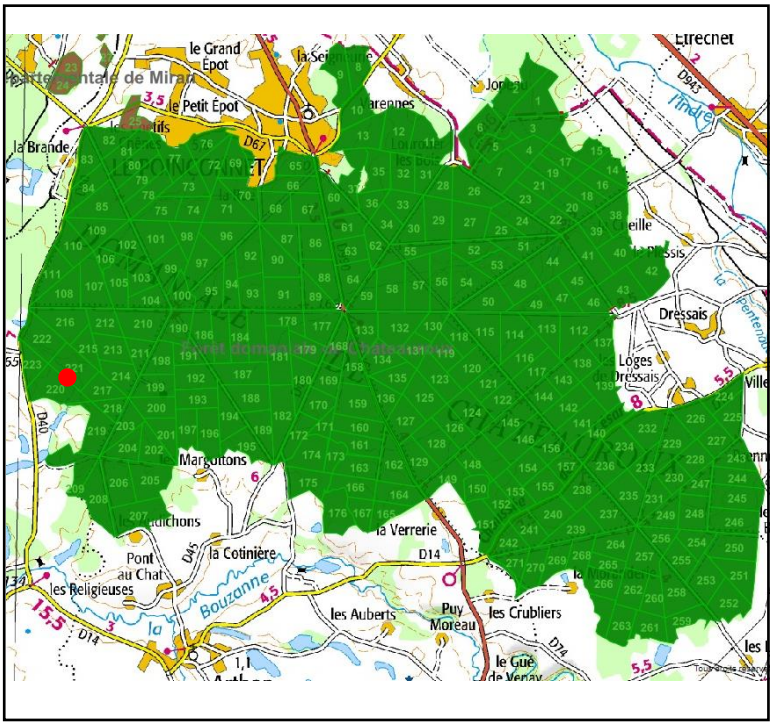
Parcelle forestière : 220

Coordonnées GPS

X : 598925,02 m

Y : 6626230,9 m

Z : 152,9 m



Enregistrement

Date de prospection : 31/10/18

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 30,5 m

largeur : 18 m

Hauteur : 0, 8 m

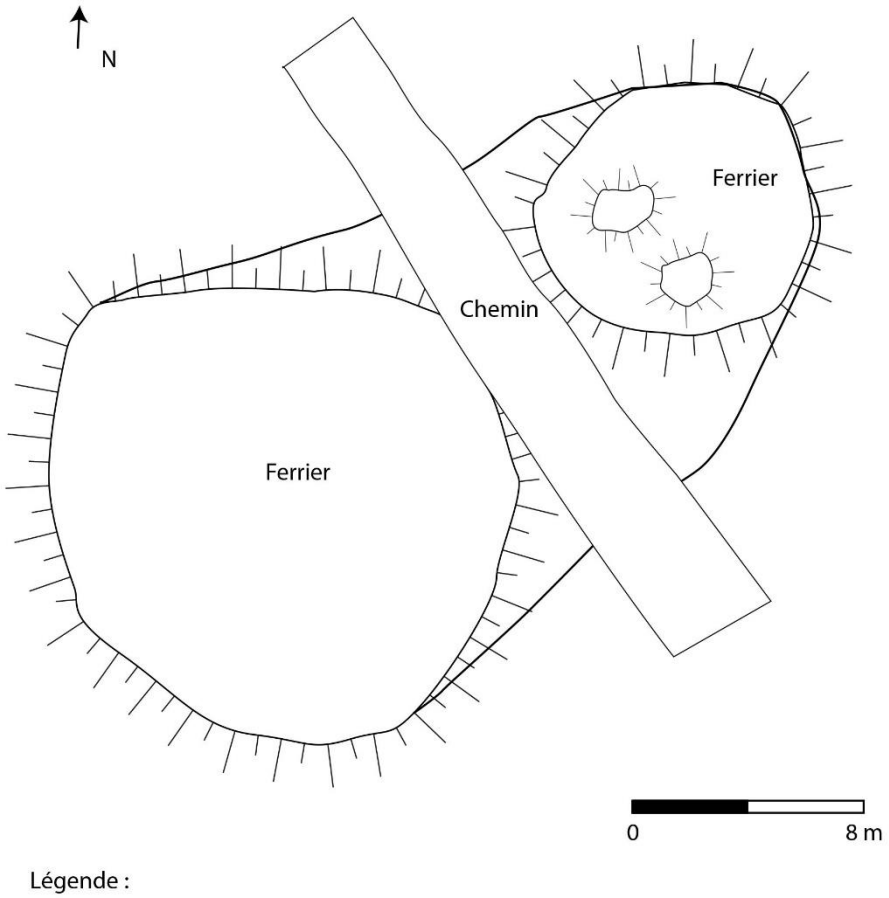
Sédiment : Substrat limono-sableux brun à noir.

Caractéristiques environnementales : Présence de fragons, de houx. Structure qui forme une butte bien visible dans le paysage et qui se termine par une pente forte à l'est.

Datation : 18e- 19e s. (datation ^{14}C)

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes situé de part est d'autres d'un chemin forestier et à proximité de deux charbonnières (F220/2 et F220/3). Un mélange de scorie assez fragmentées et de charbon de bois y a été observé. Concentration de scorie au sommet de la structure.

Relevé en plan du site (S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 4,9 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 1 fragment de Scorie Brune Dense vitrifié (0,125 kg), 33 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et charbon de bois, vitrifiés par endroit vert (3,1 kg). 2 individu sont des fonds de four plano-convexes (1,19 kg) ; et 1 pseudo-laitier vert (0,005 kg)
- 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (0,09 kg), 2 fragments de Scories Grises Denses à cordon épais (0,08 kg) et 19 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,6 kg)

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

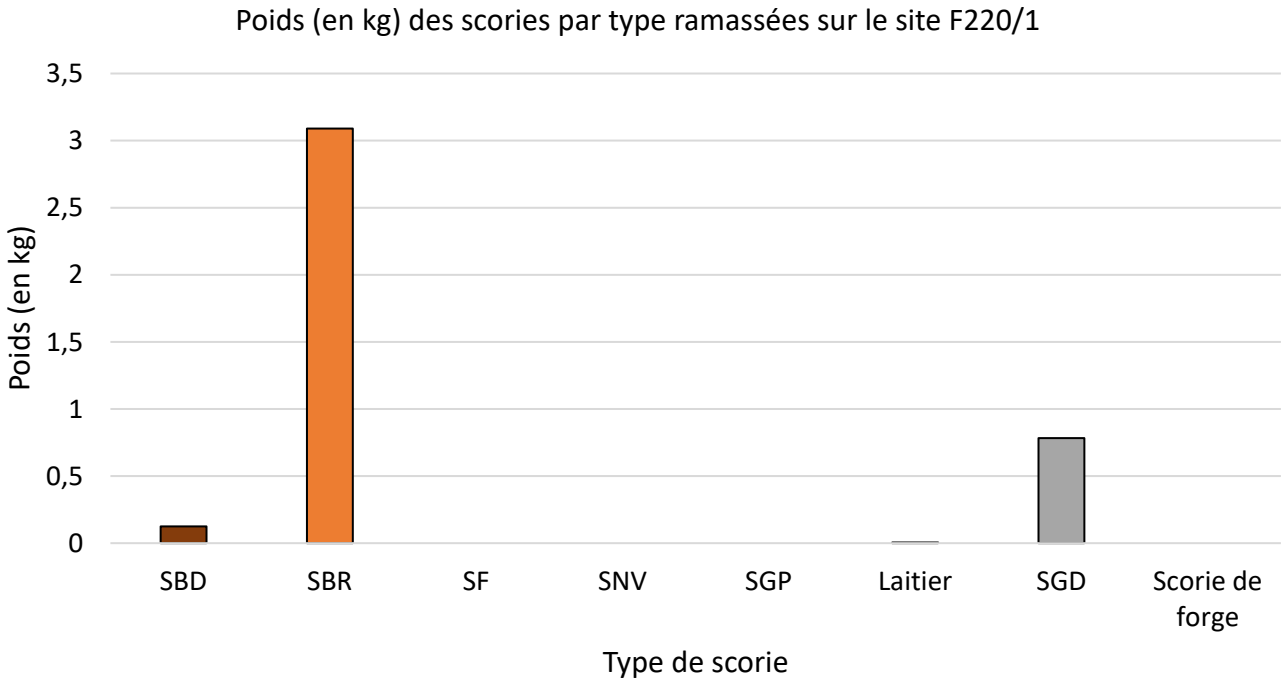
- 22 fragments de paroi en argile beige à gris indurés scorifiés et vitrifiés (0,812 kg)

TCA :

- 1 fragment de TCA en argile orangé (0,06 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de probable minerai rouge et noir (0,011 kg)



F226

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

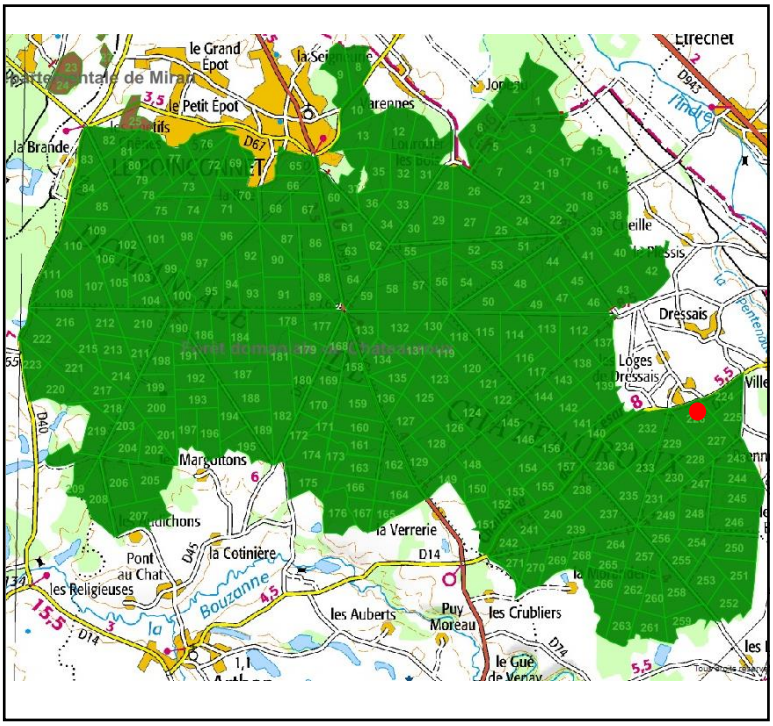
Parcelle forestière : 226

Coordonnées GPS

X : 607789,902 m

Y : 6625591,353 m

Z : 177,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 28 m largeur : 19,1 m Hauteur : 0,9 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge en contrebas de la pente.

Caractéristiques environnementales : Présence de chêne et de bouleaux. Situé en haut d'une pente douce orientée est/ouest.

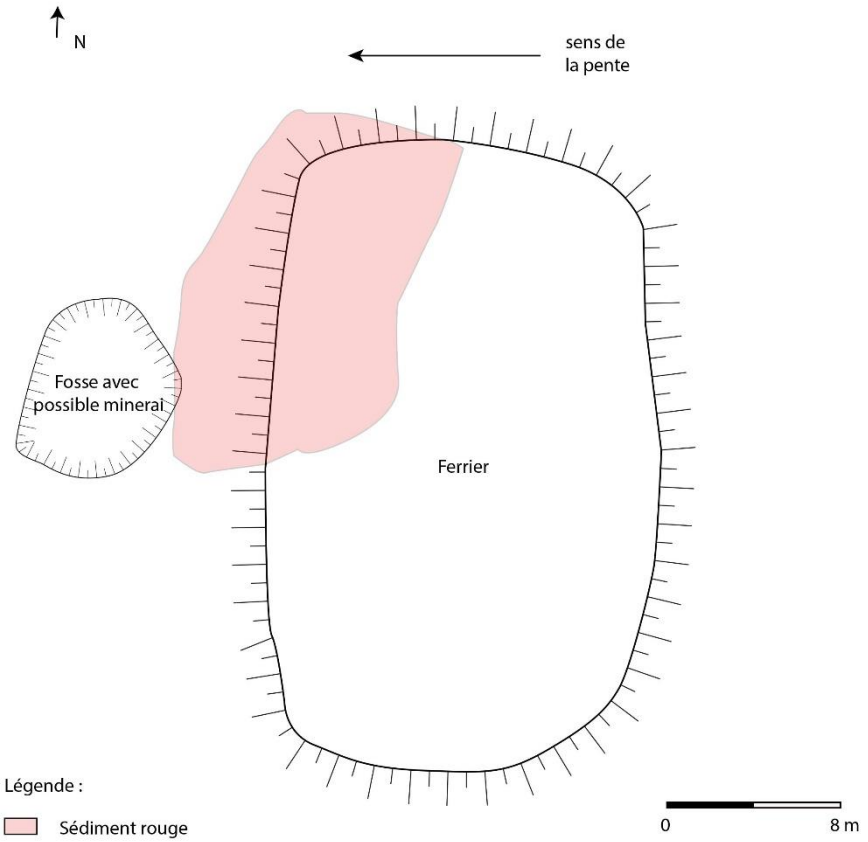
Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier aux dimensions moyennes situé en haut d'une butte comprenant de nombreuses scories très fragmentées et principalement du type « écoulées ». Seuls des fragments de minerai sont observés au sein du sédiment rouge à l'ouest.

Photographie (vue vers le nord-ouest)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 3,8 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire

Scories de réduction :

- 30 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais dont certaines sont vitrifiés rouges (3,1 kg), 7 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,8 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense ridé (0,034 kg) et 10 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,5 kg)

Fragmentation : Importante

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 6 fragments de paroi en argile grise à beige scorifiés et vitrifiés sur une face (0,382 kg)

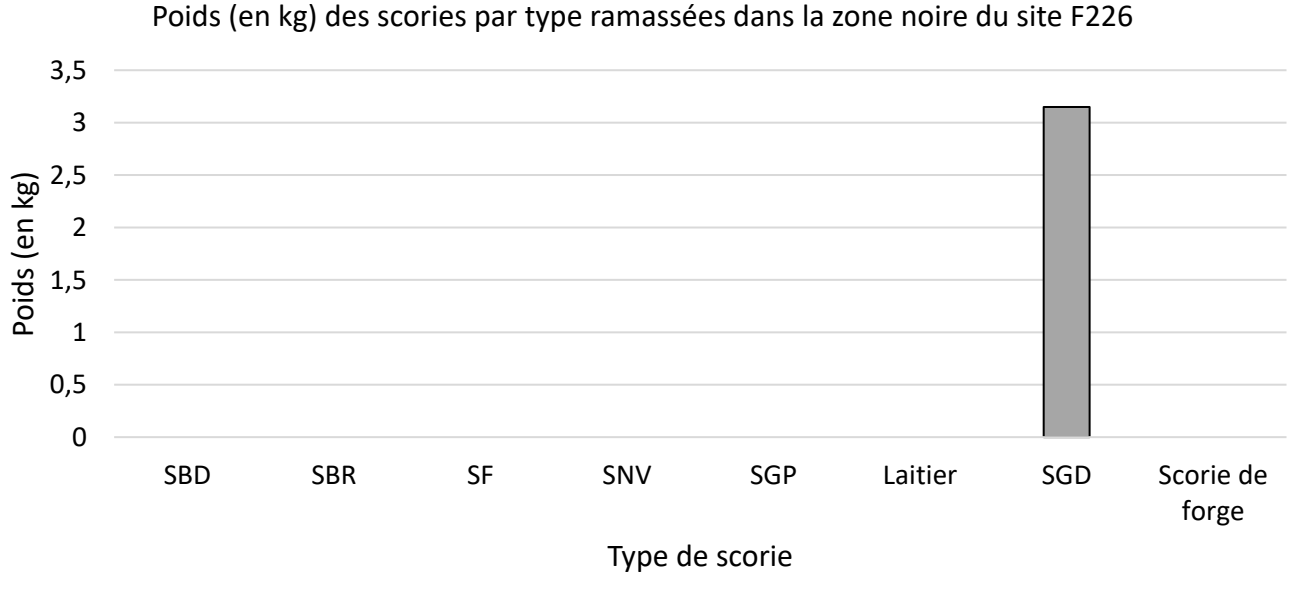
Céramique :

- Oui

Zone rouge

Matériau lithique :

- 1 fragment de silex gris, 6 fragments de grès jaunes et indurés et 2 fragments de minerai rouges et noirs (0,238 kg)



F227

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

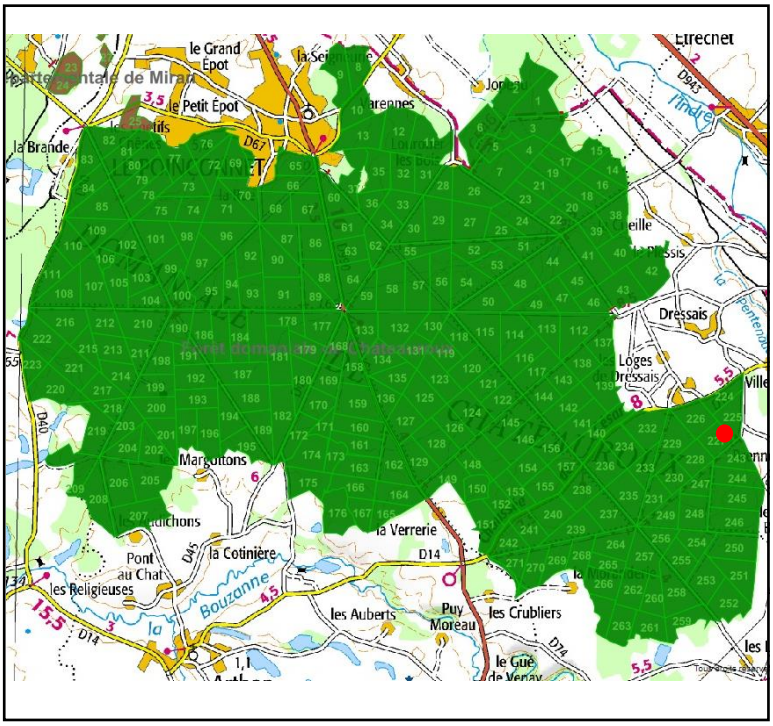
Parcelle forestière : 227

Coordonnées GPS

X : 608316,256 m

Y : 6625529,715 m

Z : 174,8 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/03/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Falciforme

Longueur : 134,8 m

largeur : 45,1 m

Hauteur : 1,5 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Présence de chêne et de bouleaux. Coupé en deux par un chemin forestier.

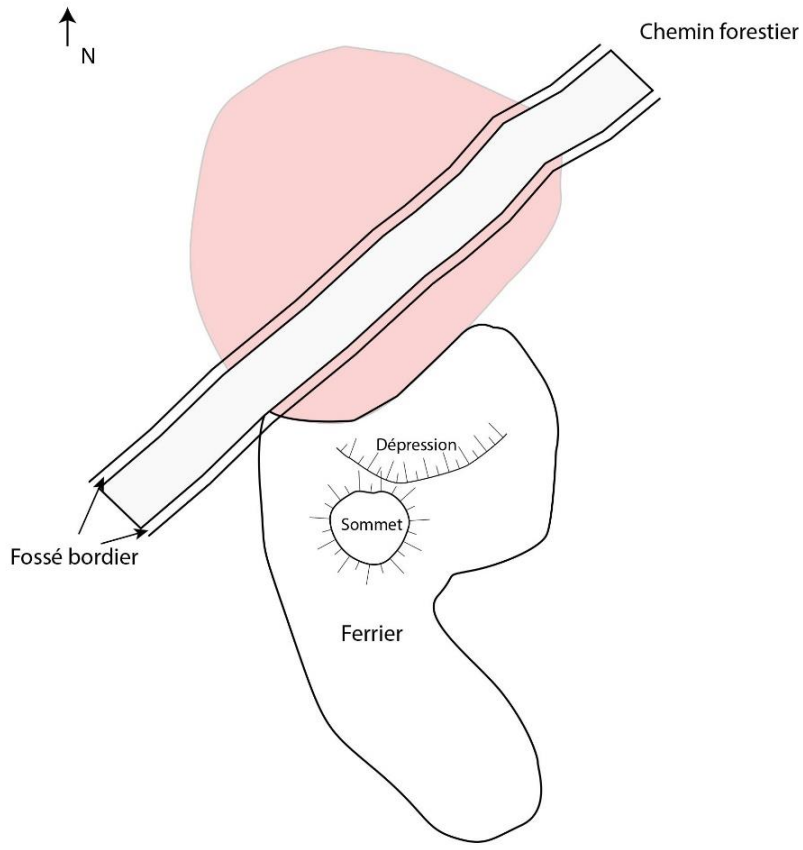
Datation : Indéterminée

Observations : La zone rouge se trouve au nord-ouest et ne montre pas de relief particulier. Les scories y sont assez fragmentées et accompagnée de fragments de TCA et de fragments de céramique. La zone noire présente un sommet où les scories sont fortement concentrées et fragmentées. Il s'agit majoritairement de scorie interne. Dans la petite dépression située au centre de la structure a été mis en évidence un culot de forge accompagné de scorie interne mesurant entre 5 et 20 cm. Une coupe a été observée car cette structure est coupée en deux par un chemin bordé d'ornière. On y observe un creusement dans le sol argilo-limoneux beige de la forêt sur lequel repose le sédiment rouge limono-sableux.

Photographie (vue vers le nord-est et vue de détail de la coupe avec paroi et charbon de bois)



Relevé en plan du site (P. Lourdault, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 10,5 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (5,7 kg)

Scories de réduction :

- 2 fragments de Scories Brunes Denses oxydées en surface (0,4 kg) et 3 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusion d'oxydes de fer et de charbon de bois dont 1 fond de four de forme plano-convexe associé à de la paroi en argile grise (0,782 kg)
- 10 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,356 kg) et 1 fragment de Scorie Grise Dense indéterminé (0,239 kg)

Zone rouge (4,8 kg)

Scories de réduction :

- 1 pseudo-laitier de couleur verte (0,048 kg)
- 19 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,681 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 22 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz submillimétriques vitrifiés et indurés, 2 individus comprennent des bombements rectilignes de 1,7 et 2,1 cm de large (3,4 kg)

TCA :

- 5 fragments de TCA en argile orangés avec inclusions de quartz, l'un d'eux comprend également des inclusions de chamotte (0,205 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de silex beige et 1 gros fragment de grès gris rubéfié (0,381 kg)

Céramique :

- 1 tesson

Zone rouge

Paroi argileuse :

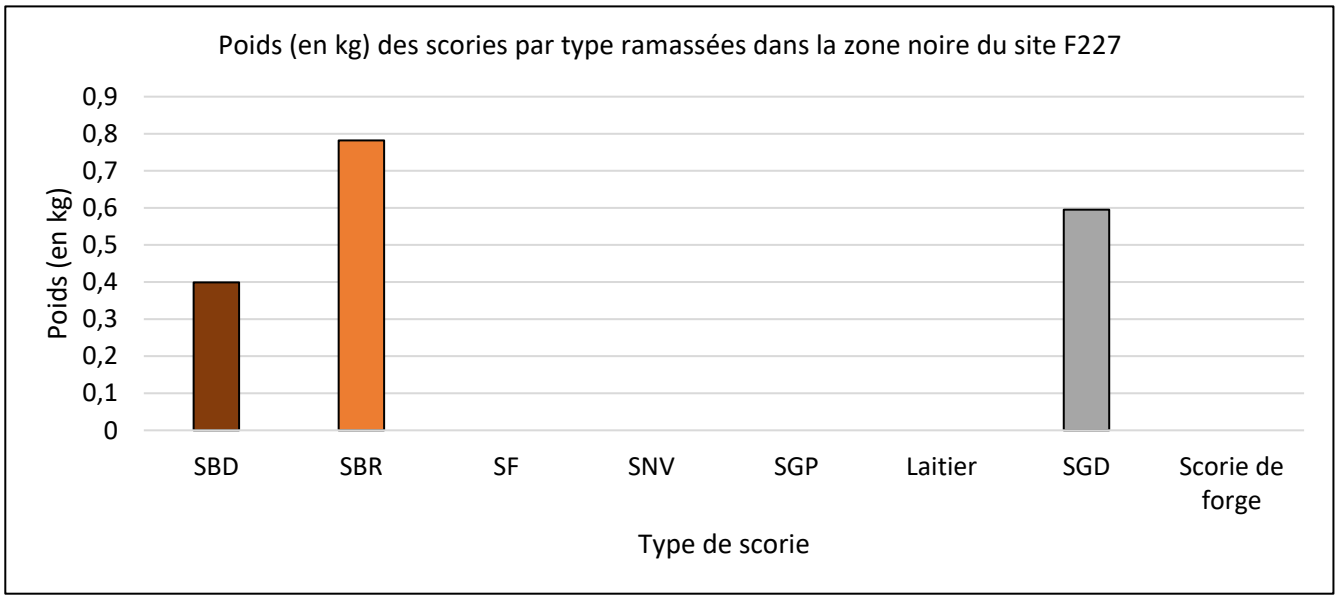
- 9 fragments de paroi en argile gris souvent indurés et vitrifiés avec inclusions de quartz submillimétriques, dont 2 individus comprennent des bombements rectilignes de 1,8 et 2 cm de large ; et 16 fragments de paroi en argile orangés avec inclusions de quartz submillimétriques souvent vitrifiés verts (3,51 kg)

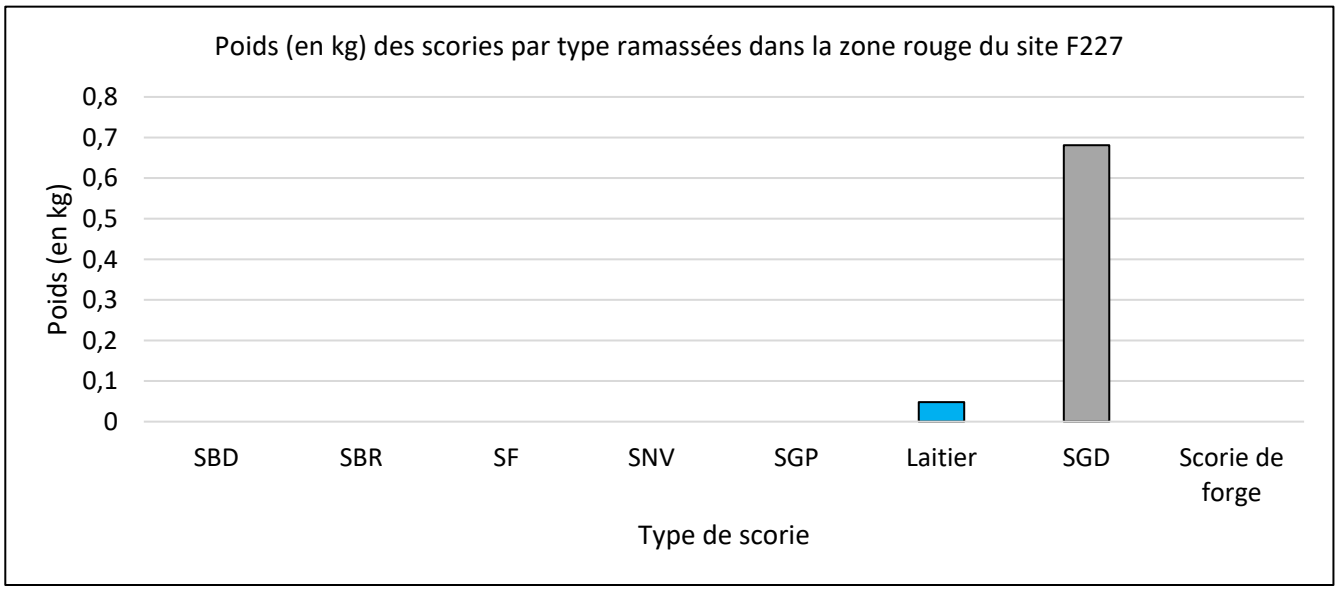
TCA :

- 11 fragments de TCA en argile orangé (0,507 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de silex gris rubéfié en surface (0,041 kg) et 2 fragments de minerai rouge et noir (0,058 kg)





F230

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

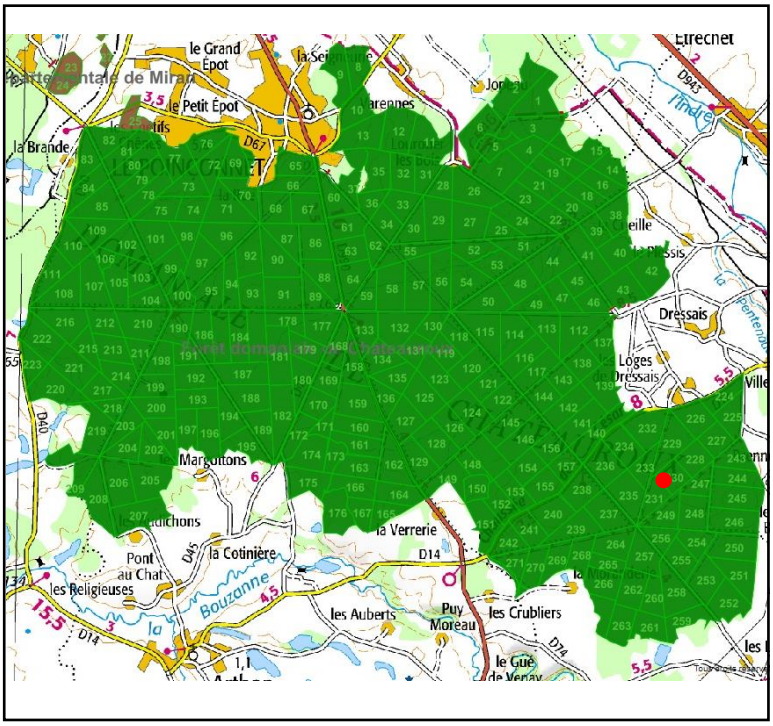
Parcelle forestière : 230

Coordonnées GPS

X : 607424,695 m

Y : 664859,975 m

Z : 179,87 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 40,2 m

largeur : 27,5 m

Hauteur : 1,3 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir avec une zone limono-sableuse rouge au nord-est.

Caractéristiques environnementales : Ferrier couvert de bouleau et de pins. Il se présente sous forme de butte dans le paysage et est assez perturbé.

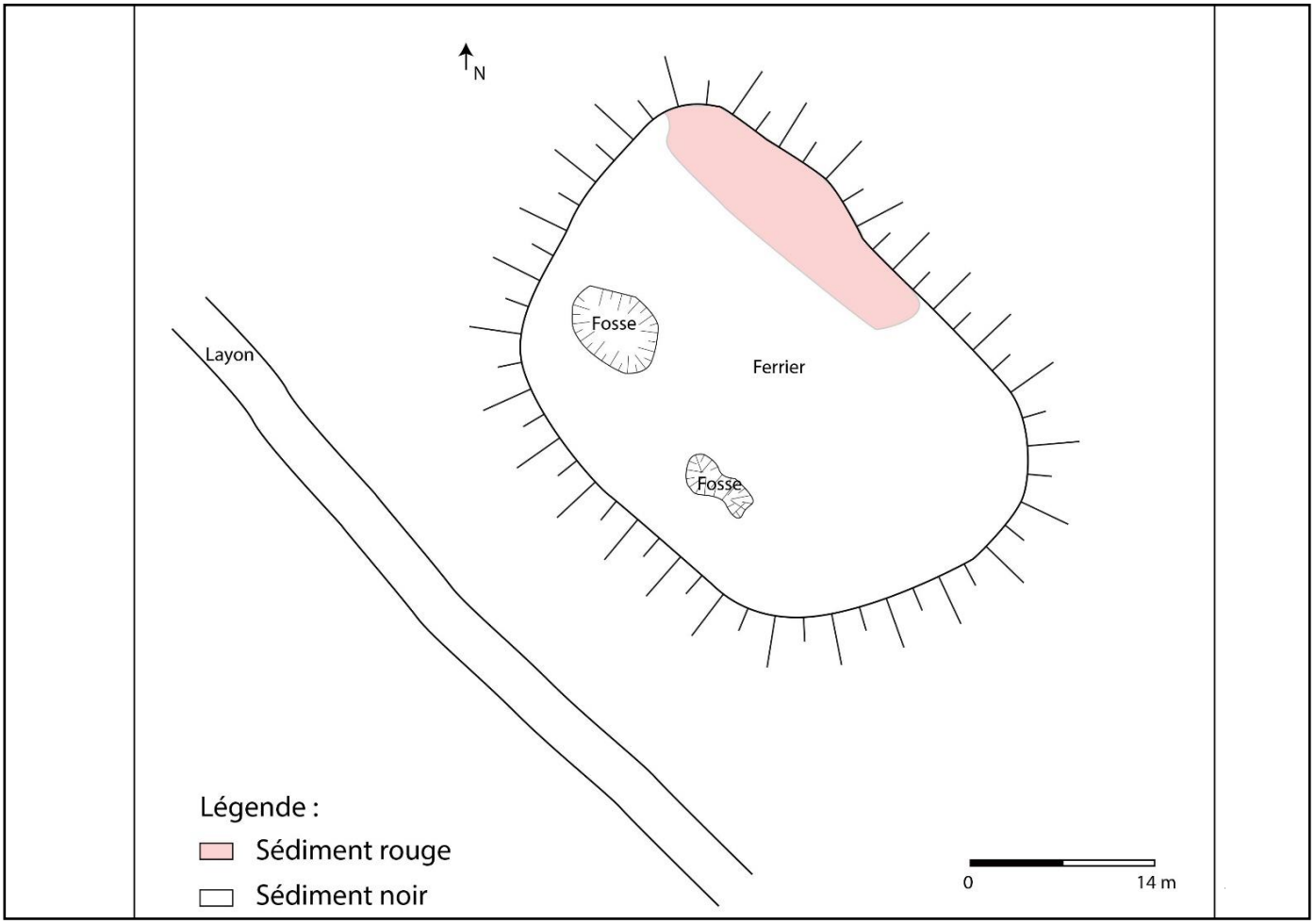
Datation : Indéterminée

Observations : Grand ferrier comprenant de nombreuses scories plus ou moins fragmentées. La zone de forte concentration se trouve au sommet.

Photographie (vue vers l'est)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 11,7 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (6,42 kg)

Scories de réduction :

- 5 fragments de Scories Brune Rugueuses avec inclusions d'argile orangé et d'oxydes de fer (0,776 kg)
- 14 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,895 kg), 11 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (1,5 kg) et 4 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,446 kg)

Zone rouge (5,3 kg)

Scories de réduction :

- 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (2,65 kg) et 4 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,926 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 7 fragments de paroi en argile grise avec inclusions de quartz submillimétriques et 6 fragments de paroi en argile orangé avec inclusions de quartz millimétriques (1,068 kg)

Tuyère :

- 2 fragments de tuyère en argile blanc/gris, de même facture que les parois. L'un présente un canal de 3 cm de diamètre avec scorie à l'intérieur et scorification sur trois faces (longueur, largeur dans le four, sous la tuyère). La base mesure 6 cm d'épaisseur (0,648 kg).

Matériau lithique :

- 2 fragments de quartz blanc et rouge (0,085 kg)

Zone rouge

Paroi argileuse :

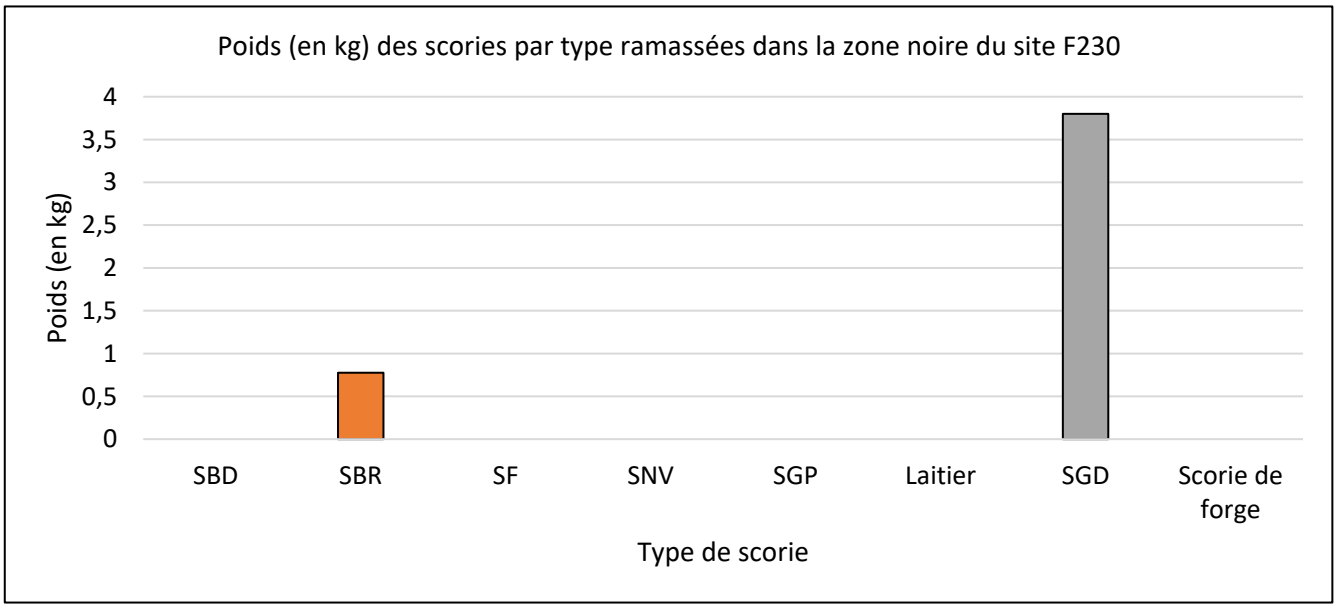
- 4 fragments de paroi en argile beige et gris vitrifiés par endroit, 1 individu comprend un sillon de 2 cm de large (1,49 kg)

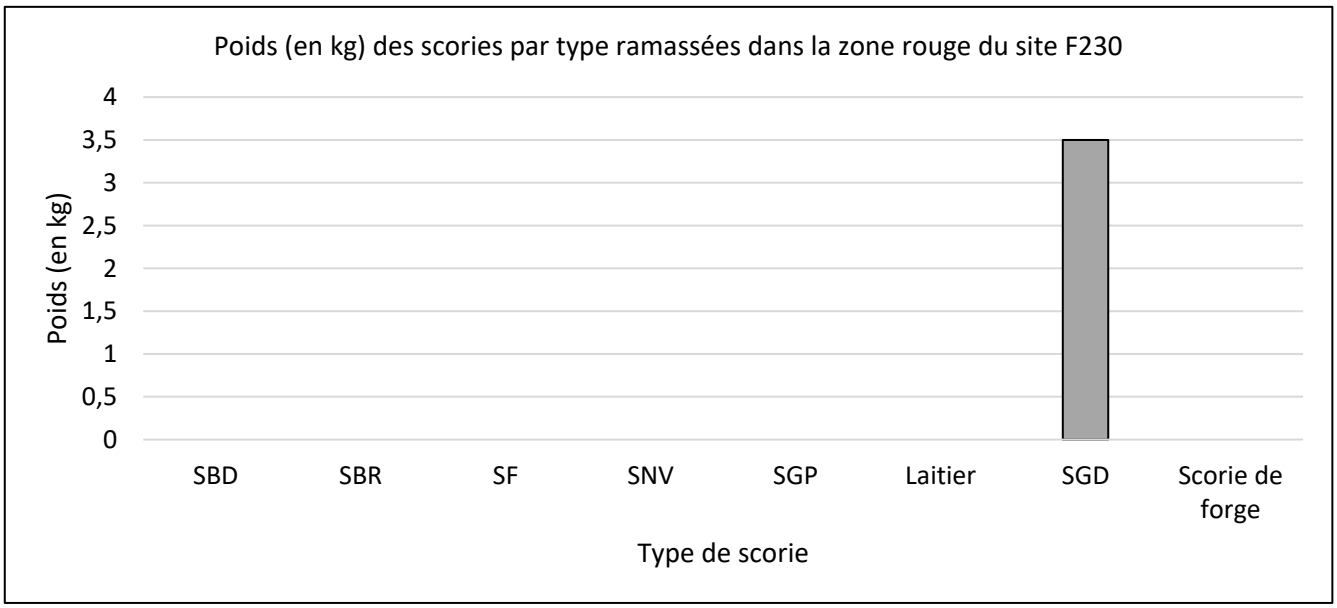
TCA :

- 1 fragment de TCA en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétriques et de chamotte (0,244 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de silex rouge (0,018 kg)





F231/1

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

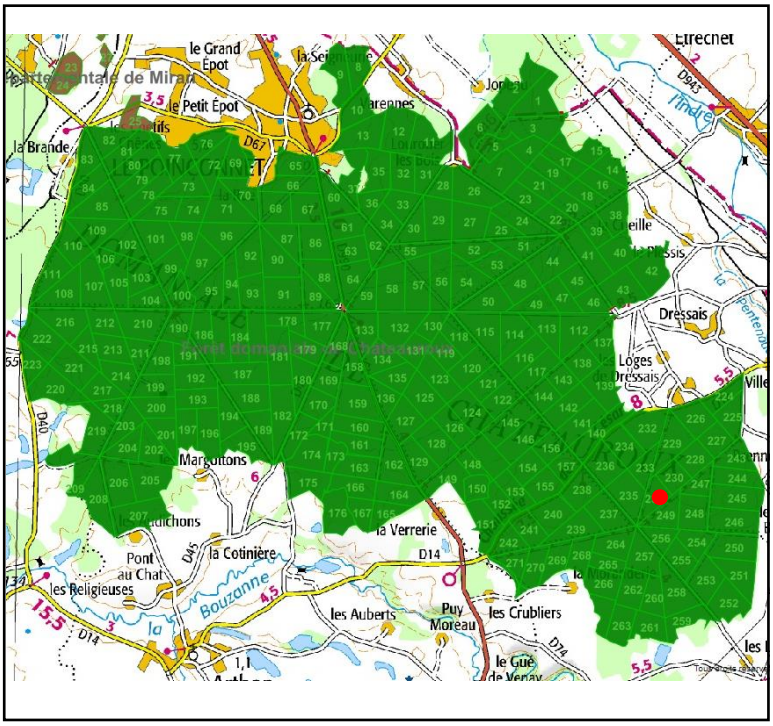
Parcelle forestière : 231

Coordonnées GPS

X : 607433,104 m

Y : 6624760,104 m

Z : 179,96 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 24 m largeur : 21,3 m

Hauteur : 0,6 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de bouleaux et de pins. Forme une butte dans le paysage.

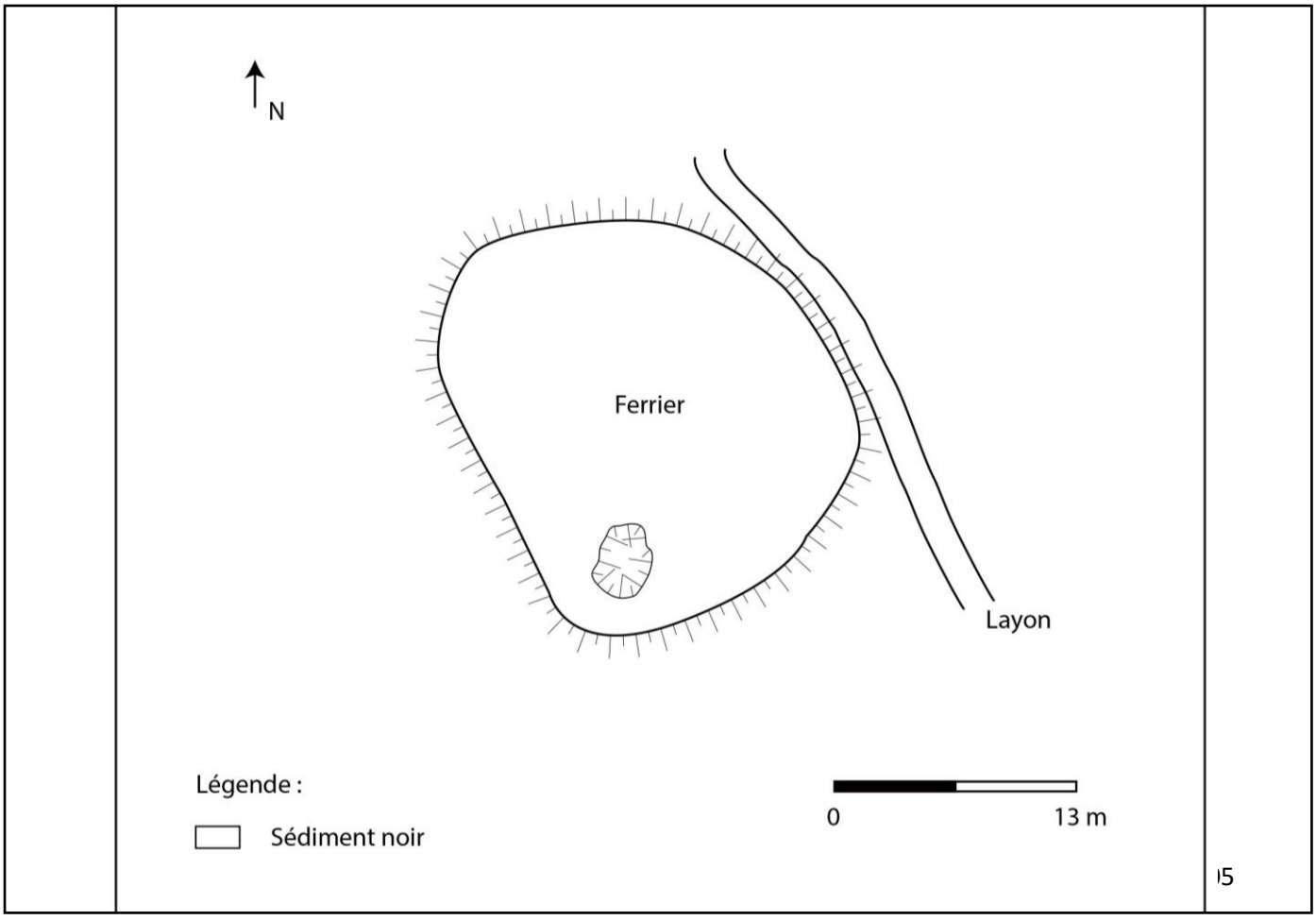
Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de taille moyenne comprenant de nombreuses scories très fragmentées. Une petite fosse (ancien chablis) se trouve à l'ouest dans la structure.

Photographie (vue vers le nord-ouest)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 5,04 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 2 fragments de Scories Brunes Denses (0,116 kg)

Fragmentation : Moyenne

- 27 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,4 kg), 12 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (1,8 kg) et 2 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,24 kg)

Fragmentation : Importante

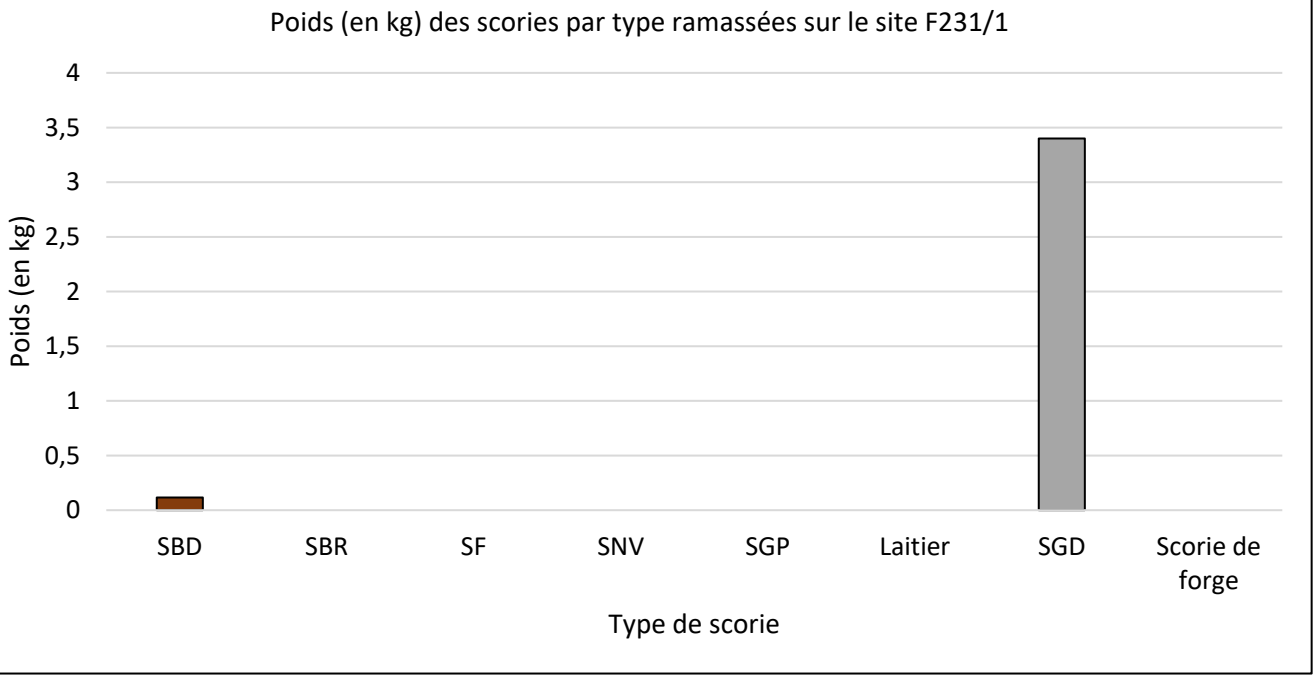
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 13 fragments de paroi en argile gris à beige avec vitrification importante et scorifiés par endroit (1,3 kg)

Matériau lithique :

- 4 fragments de silex orange à rouge, 1 fragment de grès gris rubéfié en surface (0,116 kg) et 1 fragment de minerai rouge et noire (0,018 kg)



F240

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

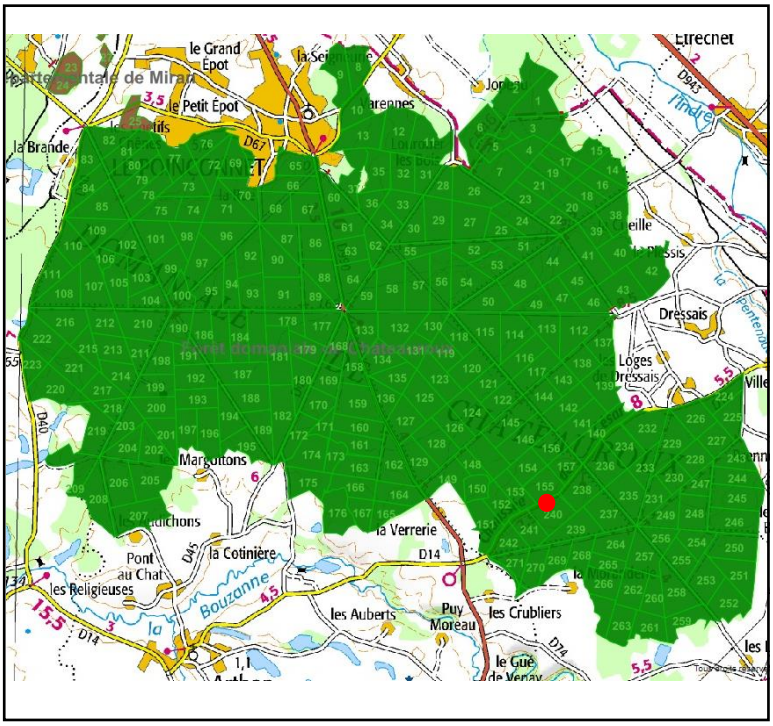
Parcelle forestière : 240

Coordonnées GPS

X : 605740,047 m

Y : 6624450,221 m

Z : 182,99 m



Enregistrement

Date de prospection : 22/03/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 55 m largeur : 37,3 m Hauteur : 2 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge.

Caractéristiques environnementales : Structure couverte de houx et de bouleaux. Forme une butte dans le paysage.

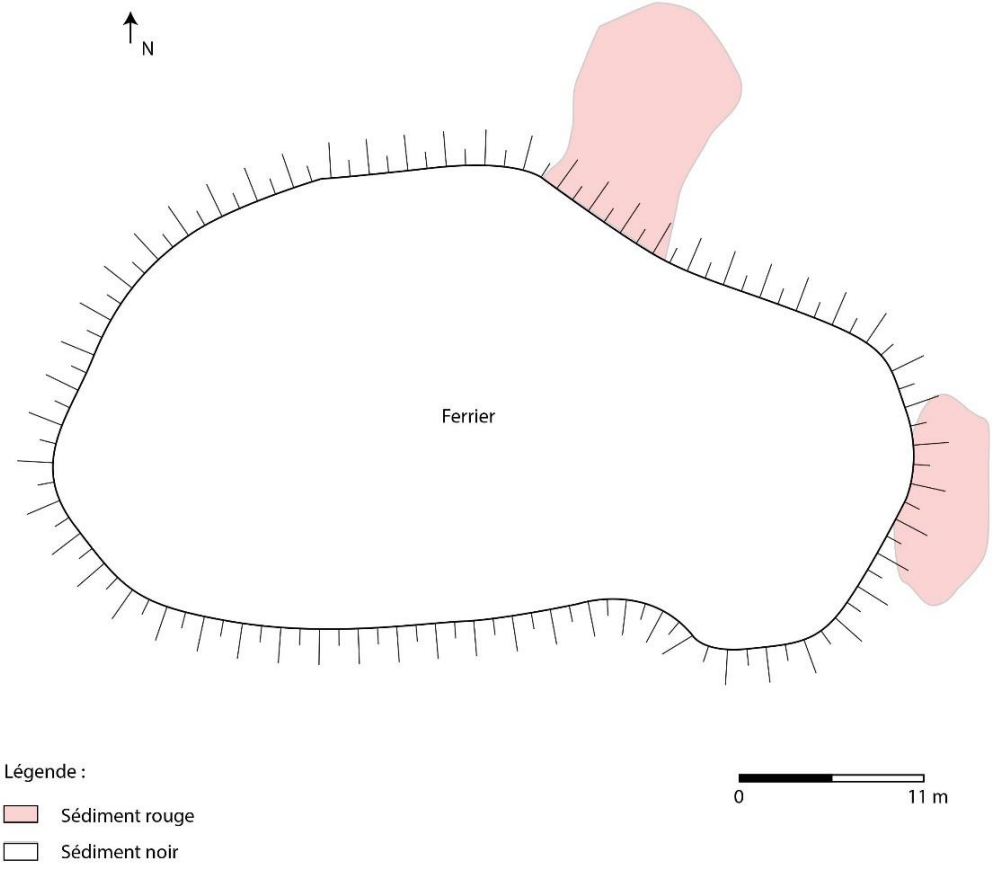
Datation : Indéterminée

Observations : Grand ferrier comprenant des scories peu nombreuses et fragmentées en surface, elles sont plus grosses en profondeur. La zone rouge a mis au jour plusieurs fragments de paroi et de Matériau lithique. Le ferrier est très perturbé car récupéré par endroit. Deux lentilles de terre rouge sont visibles au nord et à l'est.

Photographie (vue vers le sud-ouest)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 8,2 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (5,4 kg)

Scories de réduction :

- 9 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois (1,05 kg)
- 1 gros fragment de Scorie Grise Dense à cordons épais, vitrifié rouge par endroit (0,91 kg), 2 fragments de Scories Grises Denses en plaque (0,526 kg) et 9 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (2,14 kg)

Scories de forge :

- 1 culot de forge brun rugueux plano-convexe avec inclusions d'oxydes de fer (0,214 kg)

Zone rouge (2,8 kg)

Scories de réduction :

- 2 fragments de Scories Brunes Denses oxydées en surface (0,714 kg) et 6 Scories Brunes Rugueuses avec négatif de charbon de bois et inclusions d'oxydes de fer (1,24 kg)
- 2 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (0,554 kg) et 2 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,054 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

Paroi argileuse :

- 4 fragments de paroi en argile beige à gris vitrifiés et scorifiés (0,49 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de silex gris présentant une croûte rubéfiée (0,035 kg)

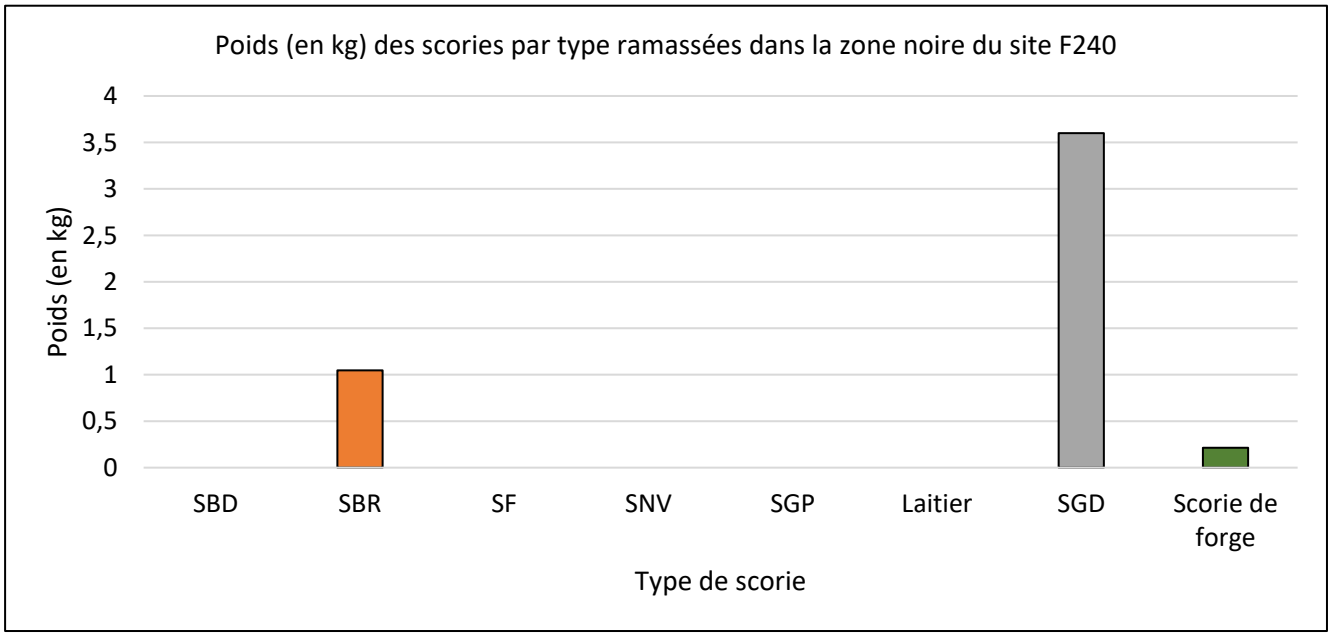
Zone rouge

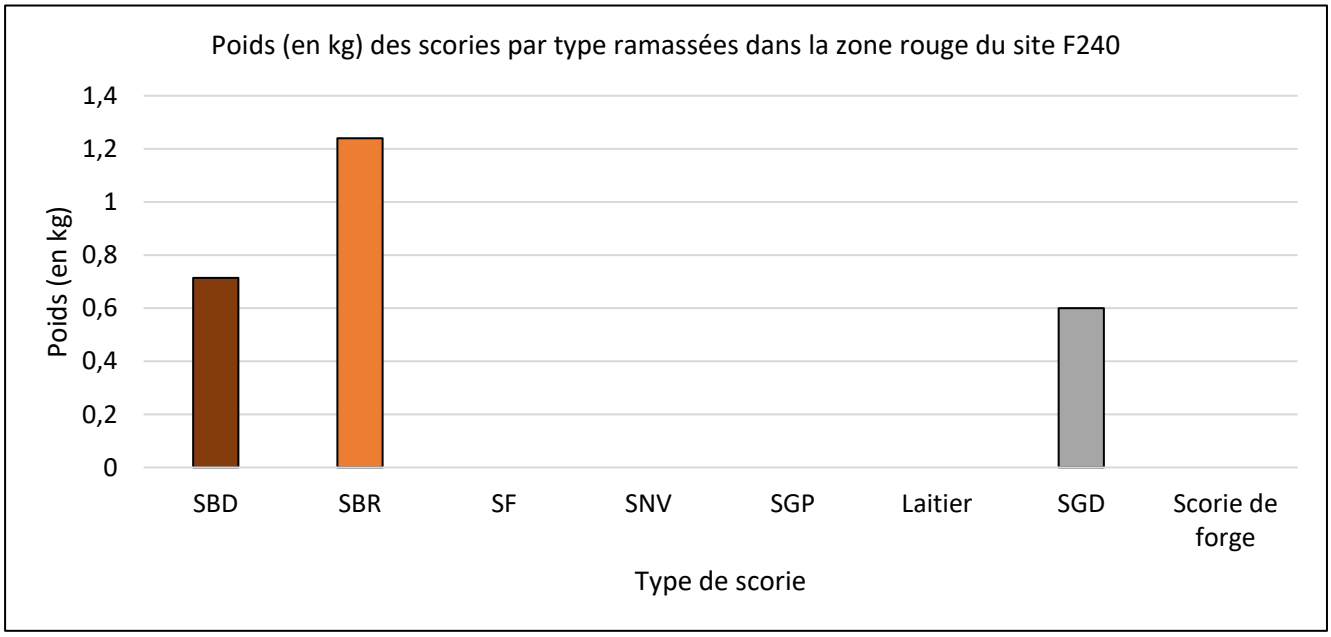
Paroi argileuse :

- 3 fragments de paroi en argile grise vitrifiés et scorifiés par endroit (0,2 kg) et 1 fragment de paroi en argile orangée avec inclusions de chamotte (0,019 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de grès blanc, rugueux (0,025 kg)





F246/1

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

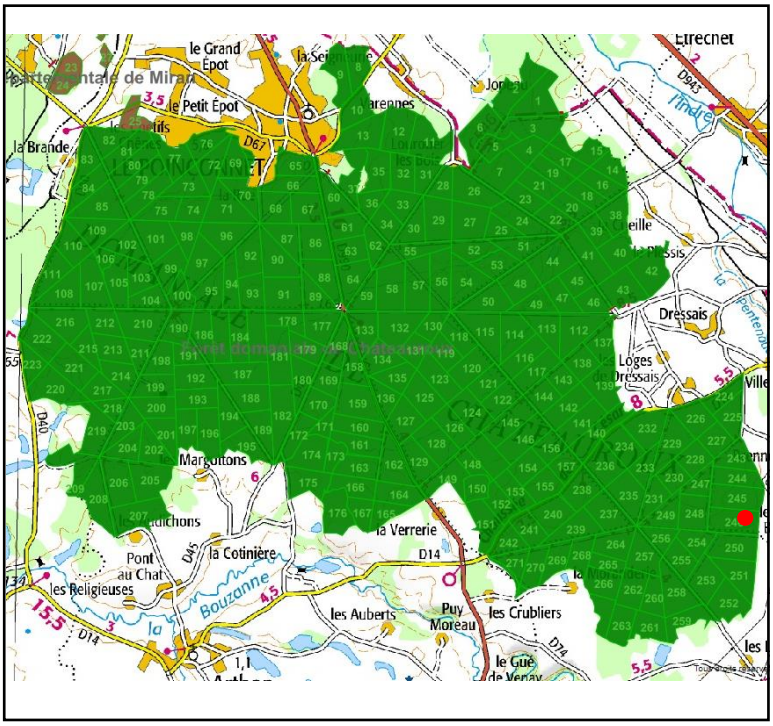
Parcelle forestière : 246

Coordonnées GPS

X : 608732,304 m

Y : 6624240,065 m

Z : 179,38 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 42 m largeur : 29,5 m Hauteur : 2 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir charbonneux associé à un sédiment limono-sableux rouge. Dessous se trouve une US argileuse beige.

Caractéristiques environnementales : Couvert de houx et de fragons. Forme une butte dans le paysage

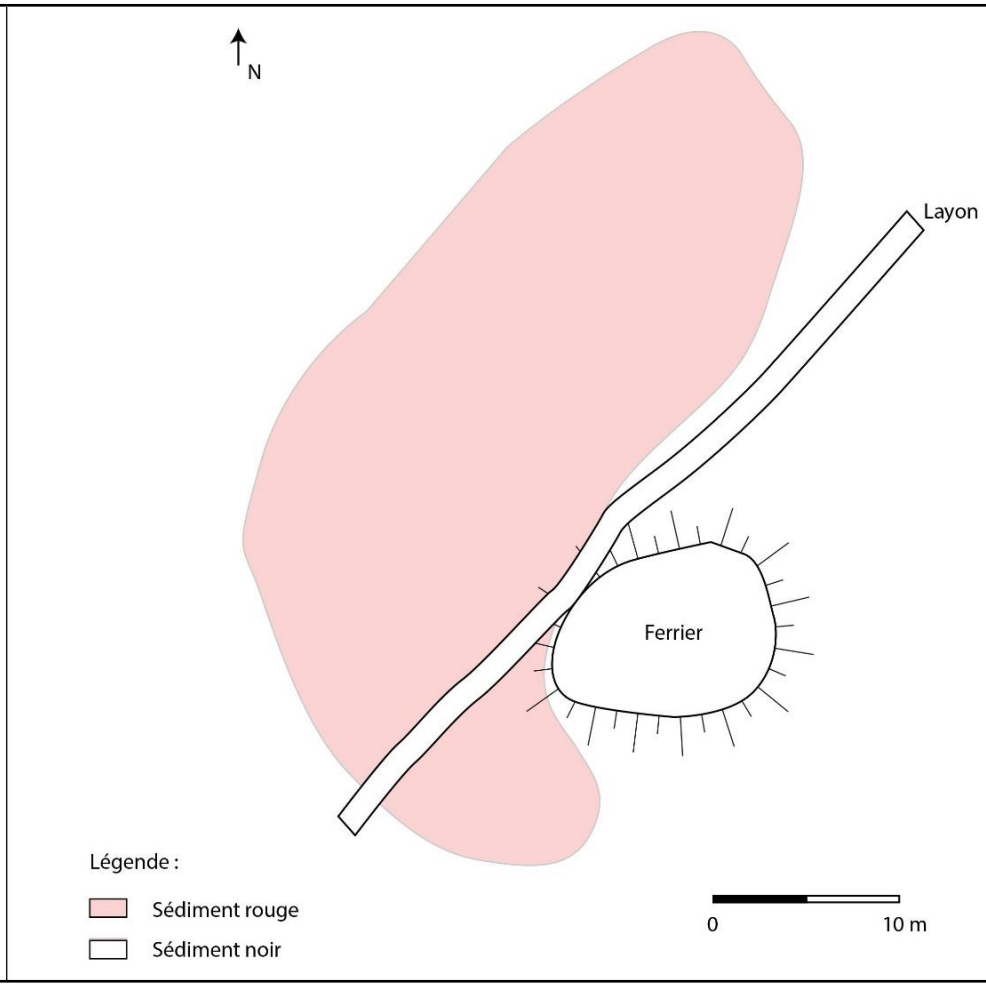
Datation : Indéterminée

Observations : Petit ferrier (14,1x11,2 m) situé sur la face ouest d'une butte. Il comprend de nombreuses scories très fragmentées (principalement écoulées) associées à une zone rouge à l'ouest contenant peu de scorie mais quelques fragments de Matériau lithique. Assez perturbé aux extrémités

Photographie (vue vers le sud)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 1,7 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (1,5 kg)

Scories de réduction :

- 24 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,84 kg), 12 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (0,3 kg) et 5 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,18 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

TCA :

- 14 fragments de TCA en argile orangé avec inclusions de quartz submillimétriques et de chamotte (0,2 kg)

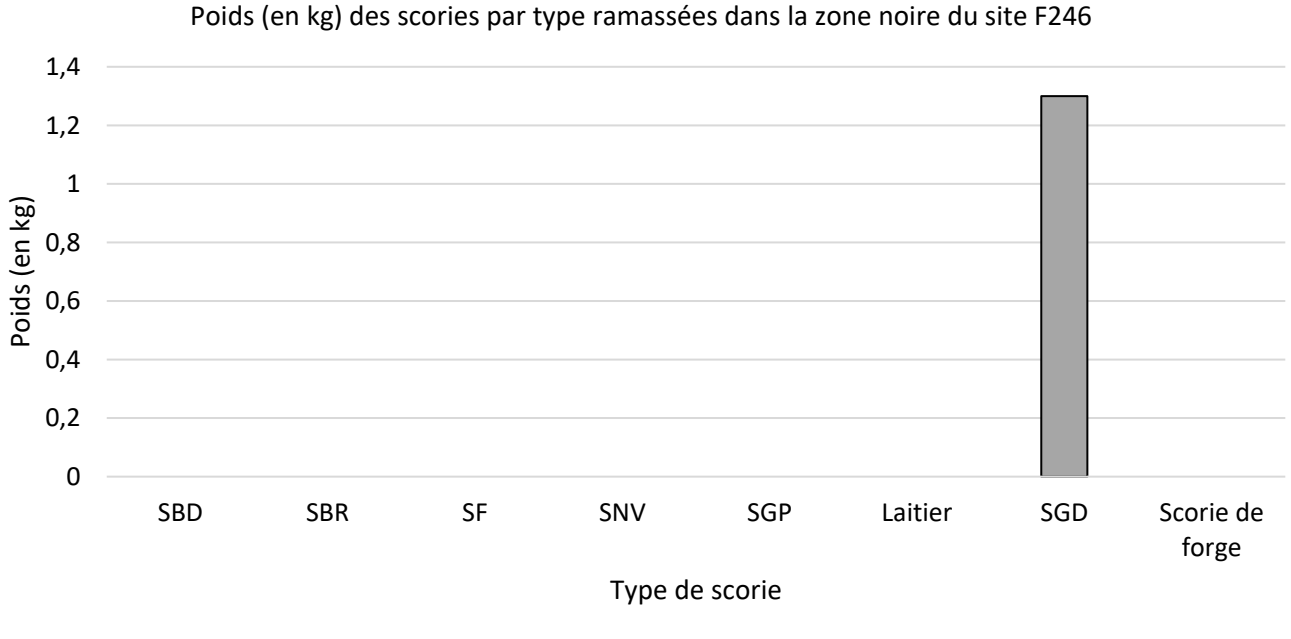
Zone rouge (0,281 kg)

Paroi argileuse :

- 9 fragments de paroi en argile beige à gris avec inclusions de quartz submillimétriques (0,13 kg)

Matériau lithique :

- 2 fragments de silex rouge et jaune et 3 fragments de grès jaune (0,15 kg)



F246/2

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

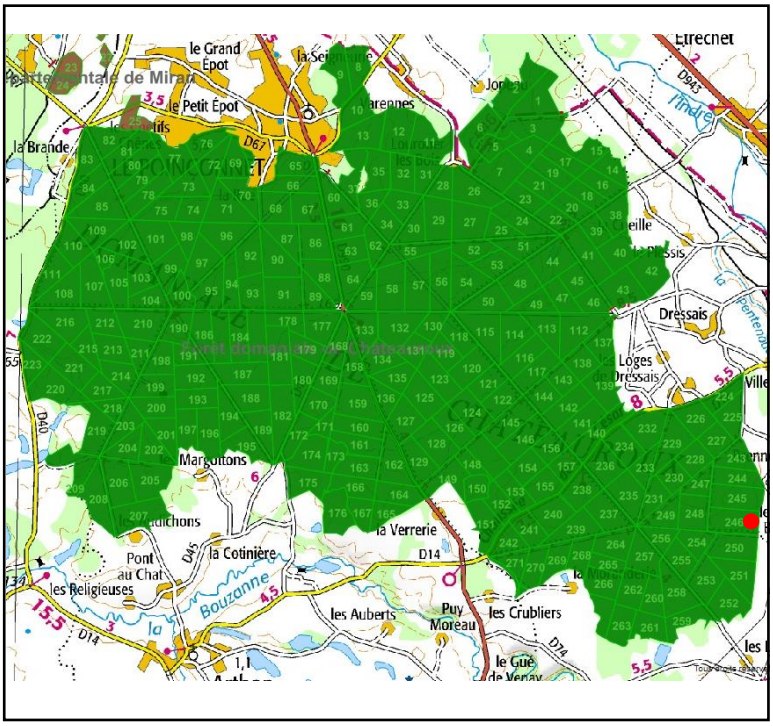
Parcelle forestière : 246

Coordonnées GPS

X : 608724,896 m

Y : 6624333,199 m

Z : 180,59 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 25 m

largeur : 23,8 m

Hauteur : 0,95 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Fragons éparses. Forme une butte surélevée au sud qui est perturbée par de nombreux terrier.

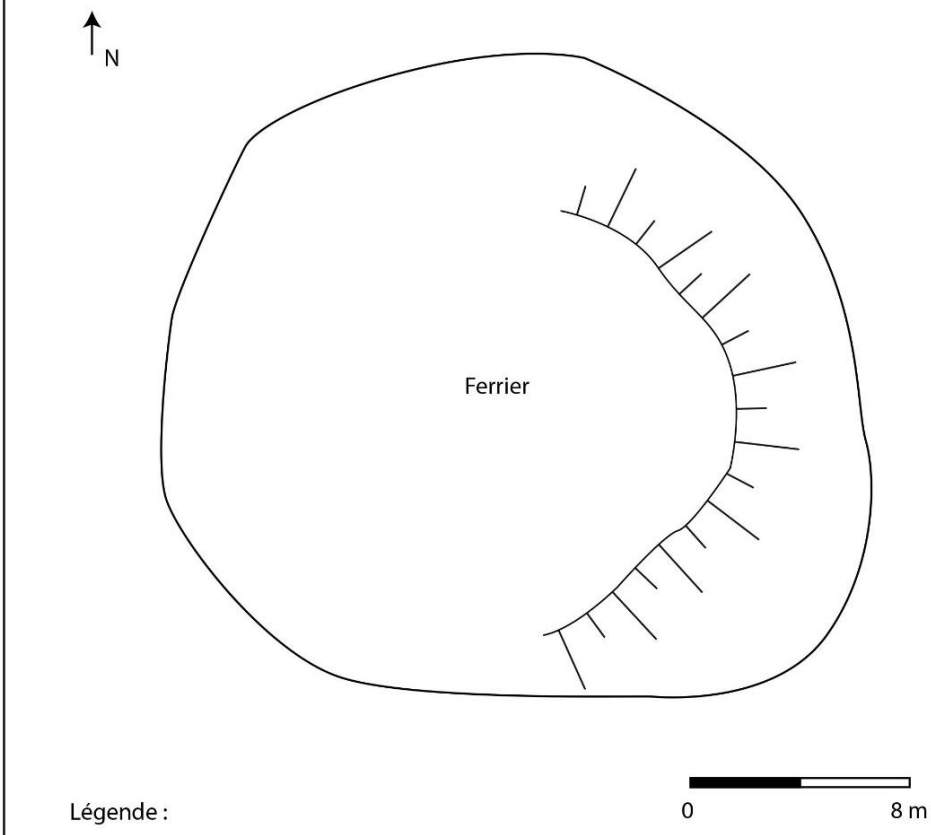
Datation : Indéterminée

Observations : ferrier de taille moyenne comprenant de nombreuses scories plus ou moins fragmentées. Perturbé par plusieurs terriers.

Photographie (vue vers l'est)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 5, 31 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 3 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer, vitrification et négatifs de charbon de bois (0,35 kg)

Fragmentation : Importante

- 35 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,8 kg), 18 fragments de Scories Grises Denses à cordons fins (1,3 kg) et 12 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,21 kg)

Fragmentation : Importante

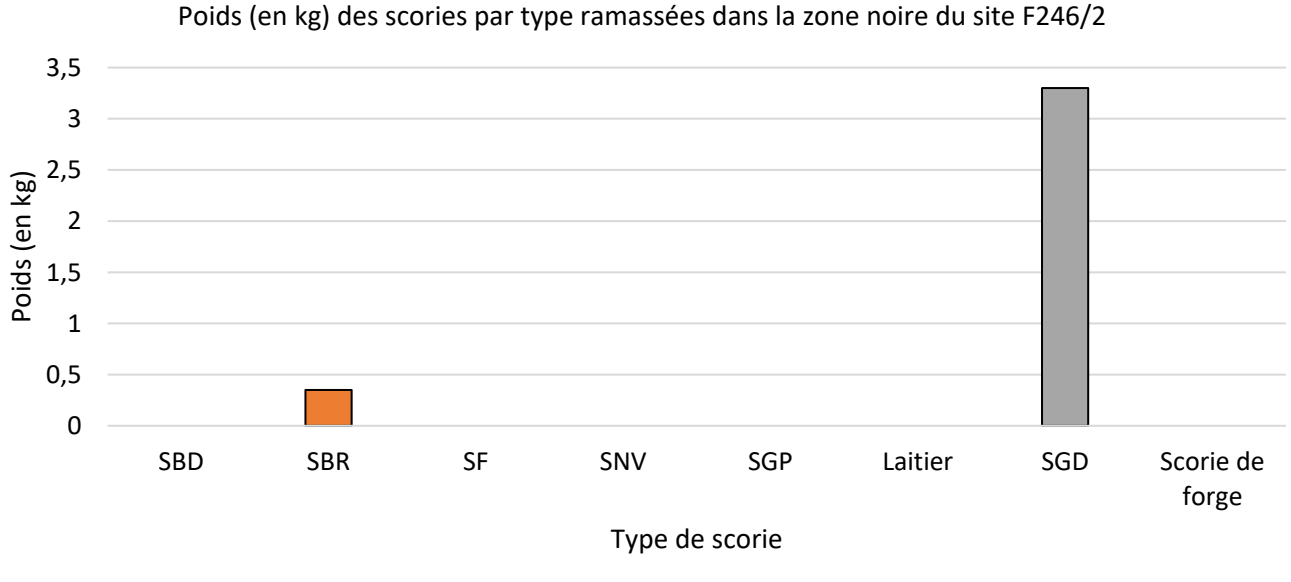
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 57 fragment de paroi en argile beige à gris avec inclusions de quartz submillimétriques présentant une face plane scorifiés et vitrifiés et 1 fragment de paroi en argile orangé à mauve présentant une face plane vitrifiée et une face avec inclusions de quartz centimétriques (1,3 kg)

Matériau lithique :

- 4 fragments de silex rouge et jaune (0,3 kg)



F248/1

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

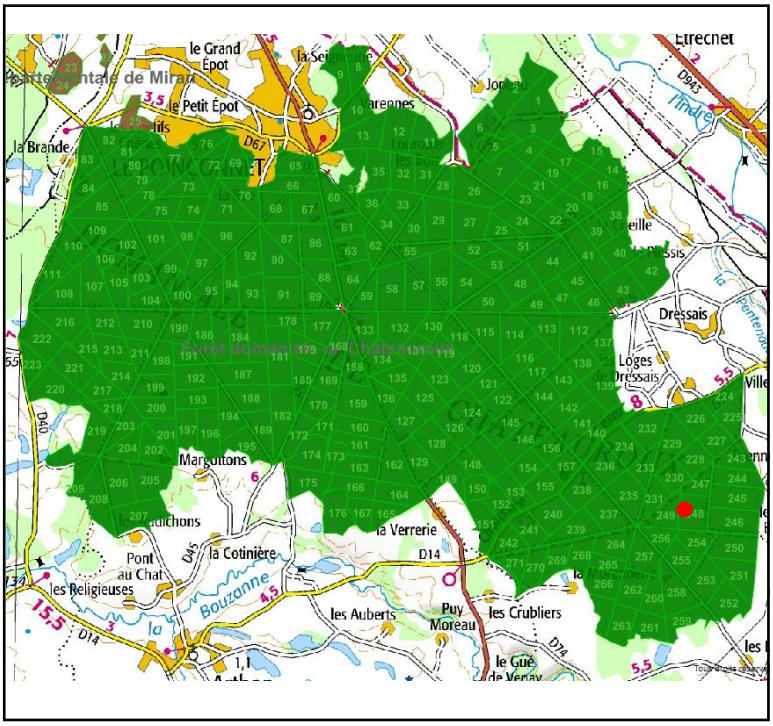
Parcelle forestière : 248

Coordonnées GPS

X : 607662,856 m

Y : 6624318,316 m

Z : 178,87 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Arrondie

Longueur : 16,1 m

largeur : 13,5 m

Hauteur : 1,2 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de bouleau et de chênes. Forme une butte dans le paysage. Il est perturbé par trois faune et une fosse située au nord.

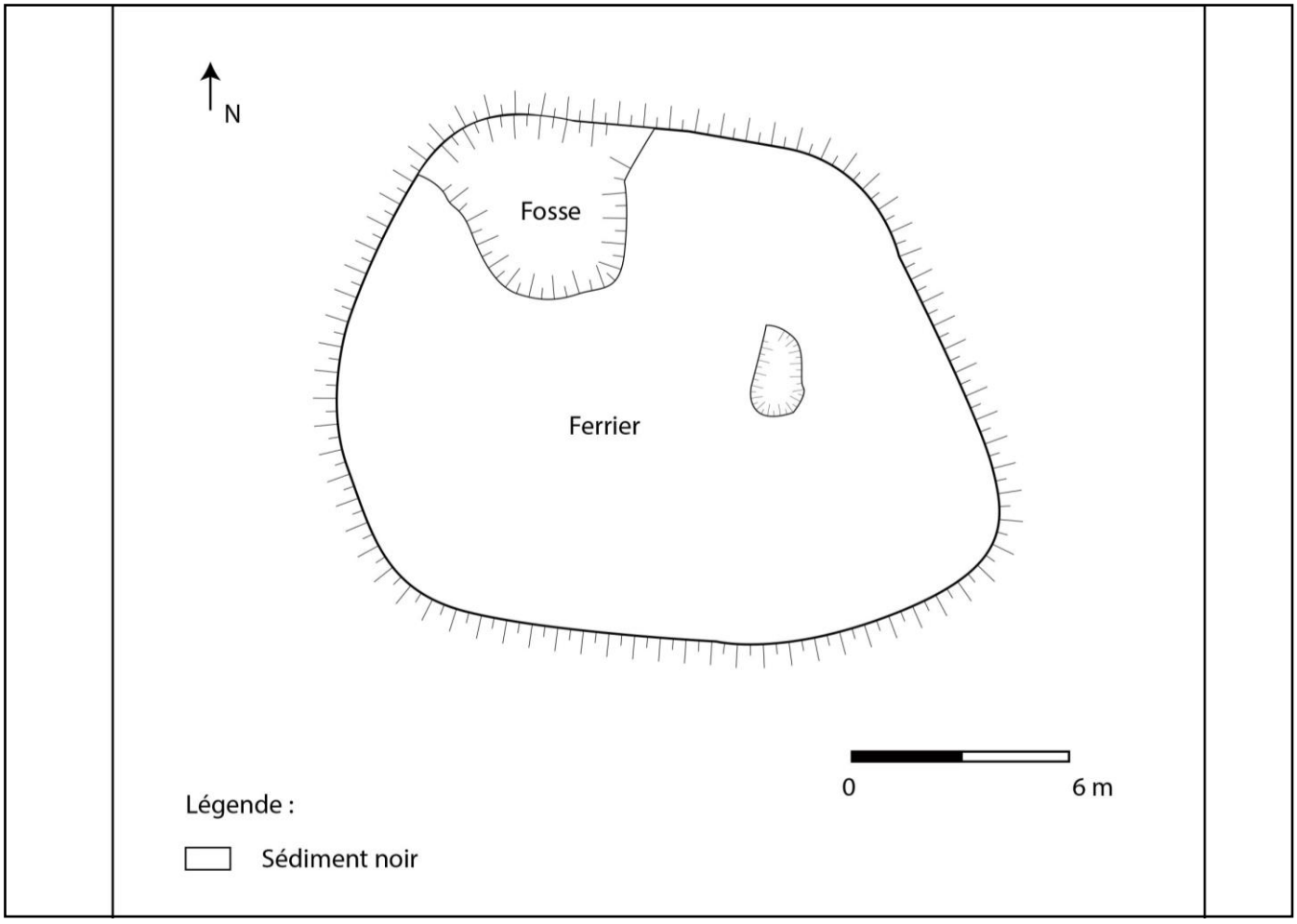
Datation : Indéterminée

Observations : Petit ferrier comprenant de nombreuses scories plus ou moins fragmentées.

Photographie (vue vers le sud-est)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 4,2 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 2 fragments de Scories Brunes Rugueuses présentant une face plane vitrifiée et une face rugueuse comprenant des oxydes de fer et des négatifs de charbon de bois (0,95 kg)

Fragmentation : Moyenne

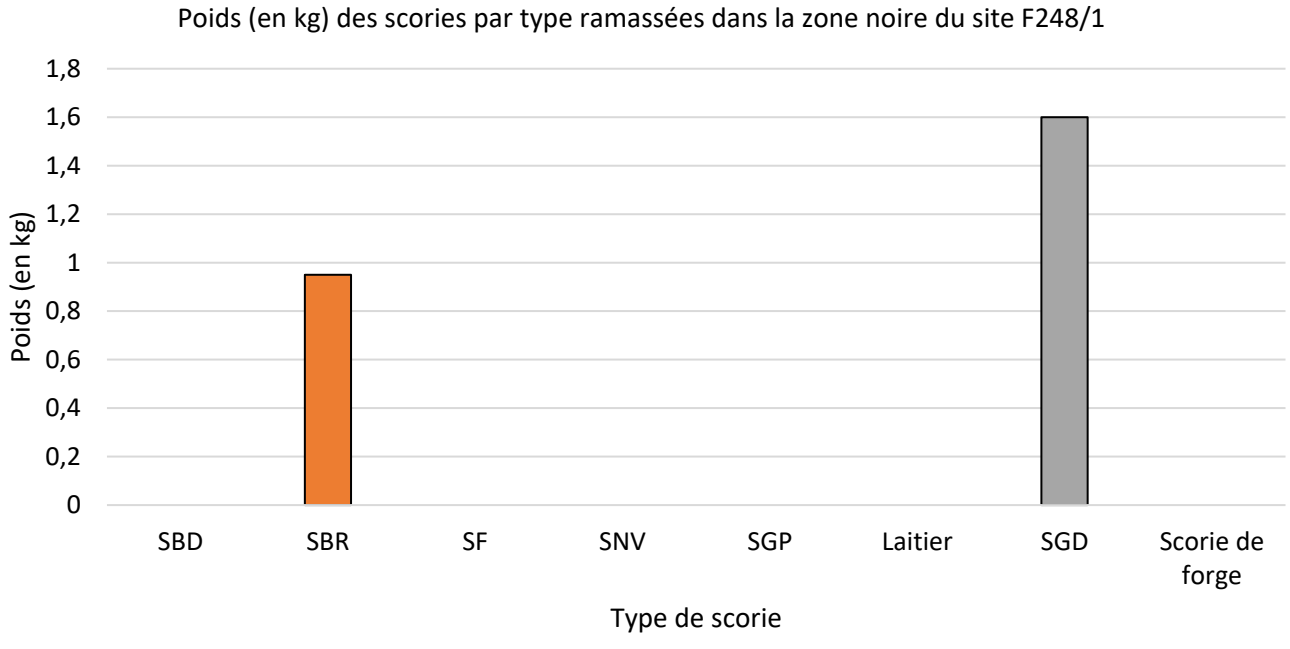
- 3 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais avec nombreux négatifs de charbon de bois, légèrement violacés (0,42 kg) et 3 fragments de Scories Grises Denses indéterminés très vitrifiée (1,1 kg)

Fragmentation : Moyenne

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 3 fragments de paroi en argile gris à orangé vitrifiés et scorifiés, dont 1 individu comprend un sillon de 1,5 cm de large et une stratigraphie présentant 2 couche d'argile (rechapage ?) (1,6 kg)



F248/2

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

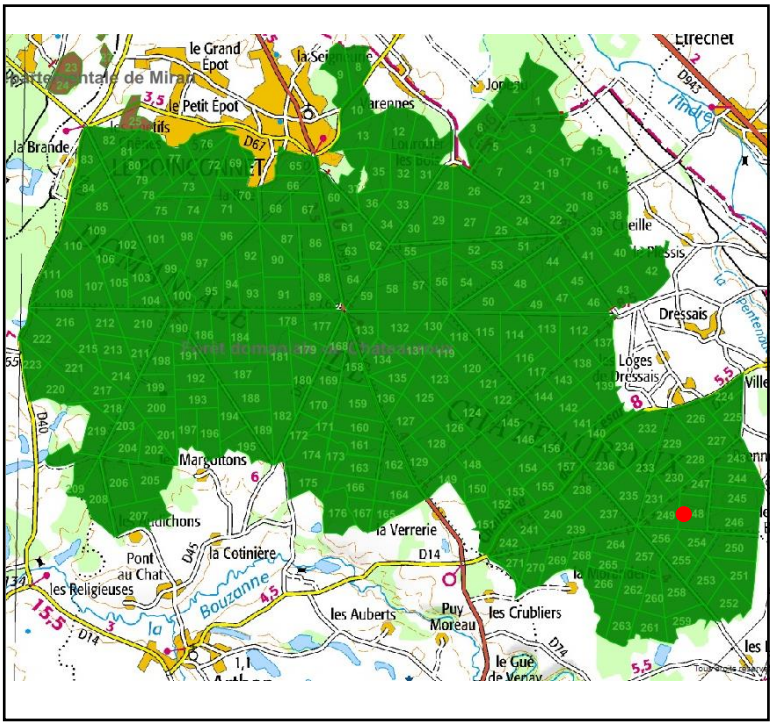
Parcelle forestière : 248

Coordonnées GPS

X : 607725,033 m

Y : 6624437,379 m

Z : 180,37 m



Enregistrement

Date de prospection : 01/05/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 35 m

largeur : 20 m

Hauteur : 1,4 m

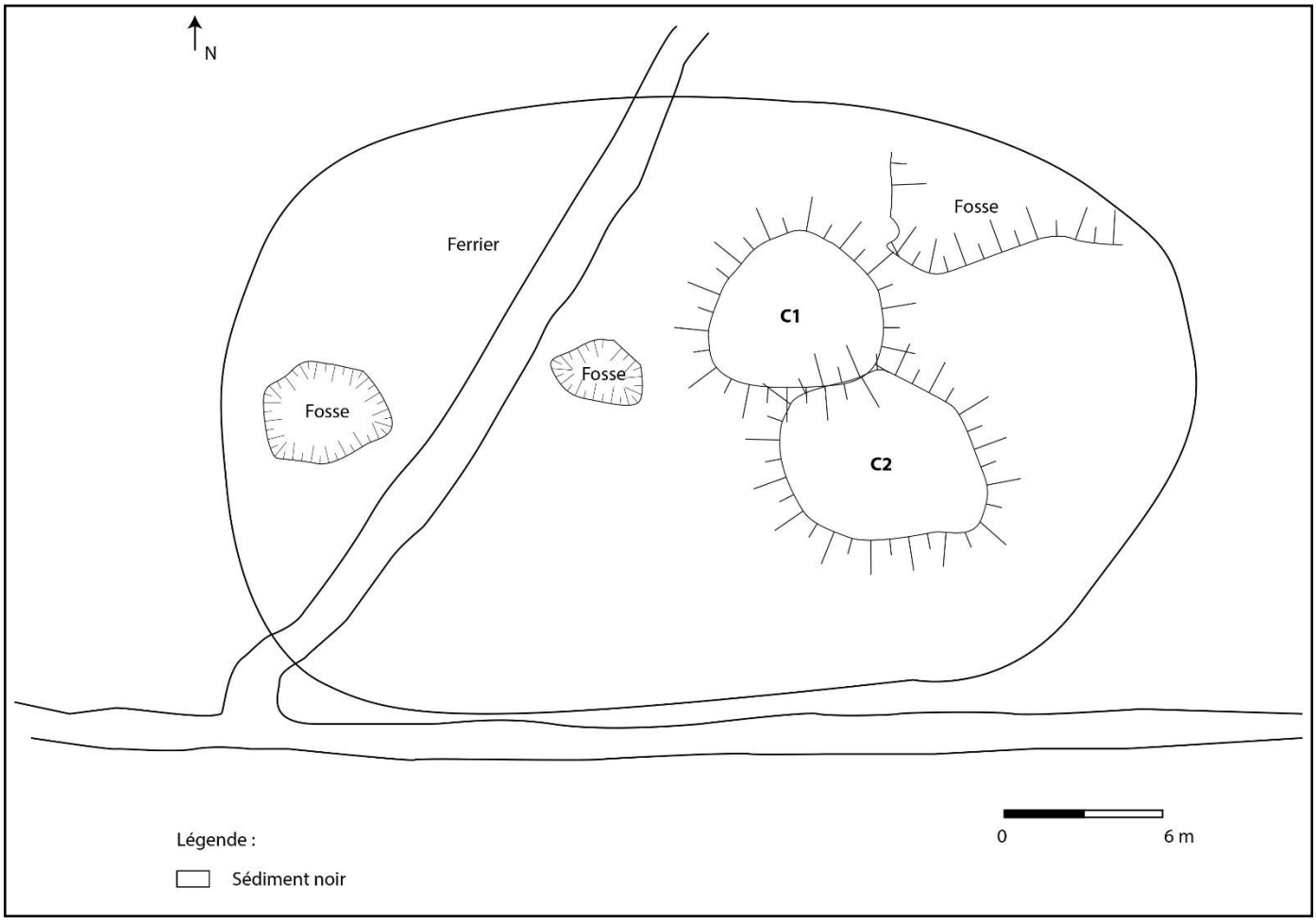
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de bouleau, chênes et quelques fragons. Forme une butte dans le paysage. Il est perturbé par trois fosses et traversé par un layon.

Datation : Indéterminée

Observations : Grand ferrier comprenant de nombreuses scories plus ou moins fragmentées. Deux sommets avec de forte concentration de scories sont visibles.

Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 6,3 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 1 fragment de Scorie Brune Rugueuse légèrement oxydée en surface avec présence d'oxydes de fer (1,04 kg).

Fragmentation : Moyenne

- 10 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (2,1 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins (0,232 kg), 6 fragments de Scories Grises Denses en plaque présentant des reflets violacés (0,8 kg) et 8 Scories Grises Denses indéterminés (1,8 kg)

Fragmentation : Moyenne

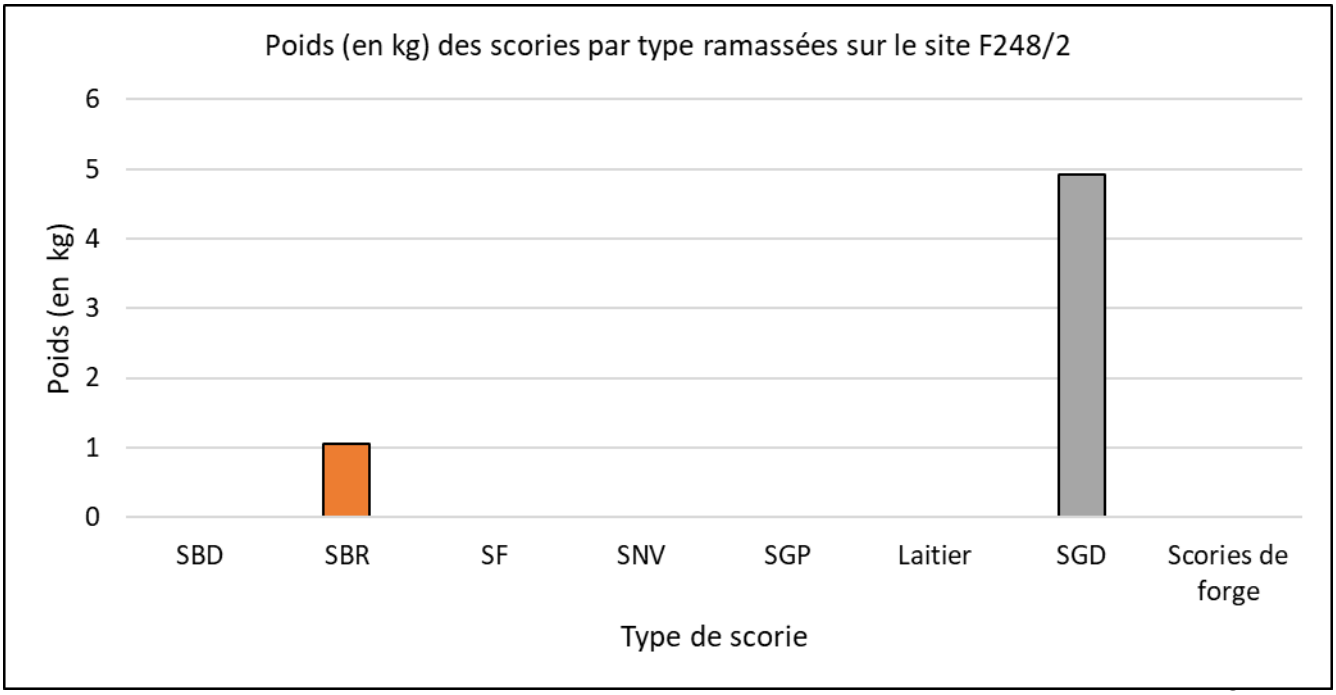
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 1 fragment de paroi en argile gris légèrement courbe, présentant une face vitrifiée verte et scorifiée avec inclusion d'oxydes de fer (0,25 kg)

Matériau lithique :

- 3 fragments de minerai rouges et noirs (0,156 kg)



F255

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

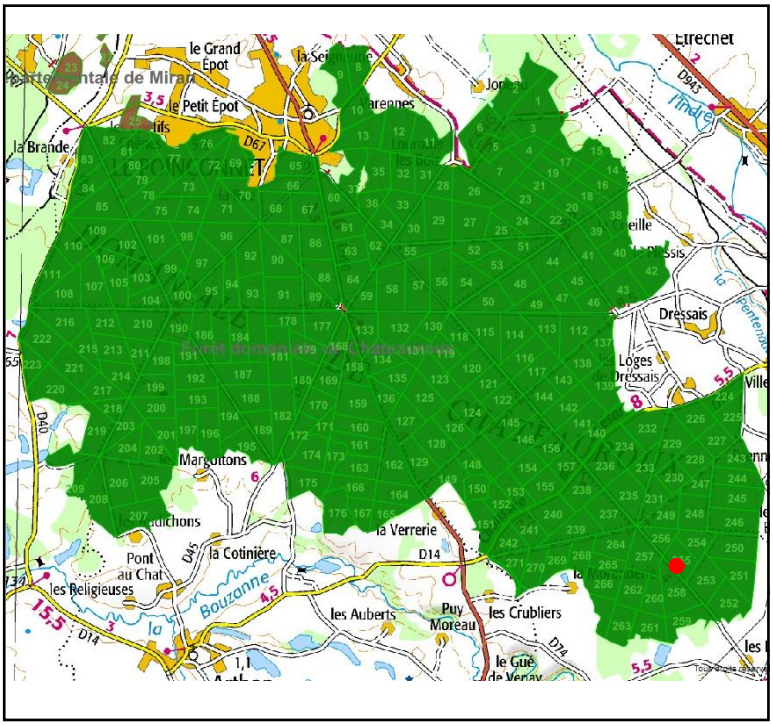
Parcelle forestière : 255

Coordonnées GPS

X : 607710,481 m

Y : 6623525,887 m

Z : 178,39 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 29,1 m

largeur : 28,3 m

Hauteur : 1 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sédiment limono-sableux rouge

Caractéristiques environnementales : Couvert de bouleau, de chênes, de houx et de fragons. Forme une butte dans le paysage. Il est coupé en deux par un chemin et très perturbé.

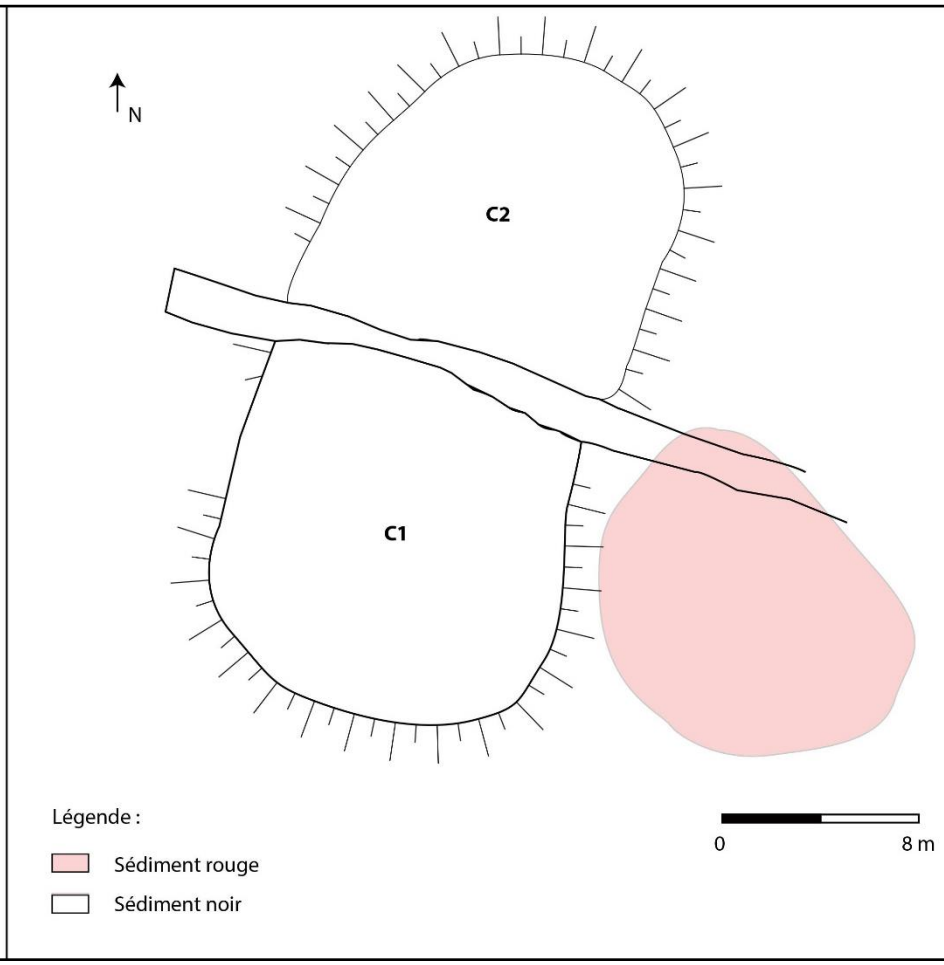
Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier de taille moyenne comprenant de nombreuses scories très fragmentées. Une zone de terre rouge sans mobilier se trouve au nord du ferrier.

Photographie (vue vers l'est)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 10,1 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire

Scories de réduction :

- 5 fragments de Scories Brunes Rugueuses dont 1 fond de four arrondi et plano-convexe présentant des inclusions d'oxyde et dont la face inférieure est irrégulière (2,06 kg)

Fragmentation : Faible

- 16 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (2,4 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins (0,4 kg), 13 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (2,05 kg), 5 fragments de Scories Grises Denses en plaque (0,22 kg) et 9 fragments de Scories Grises Denses indéterminés, dont 1 individu présente le négatif d'un canal de 6 cm de diamètre (2,2 kg).

Fragmentation : Moyenne

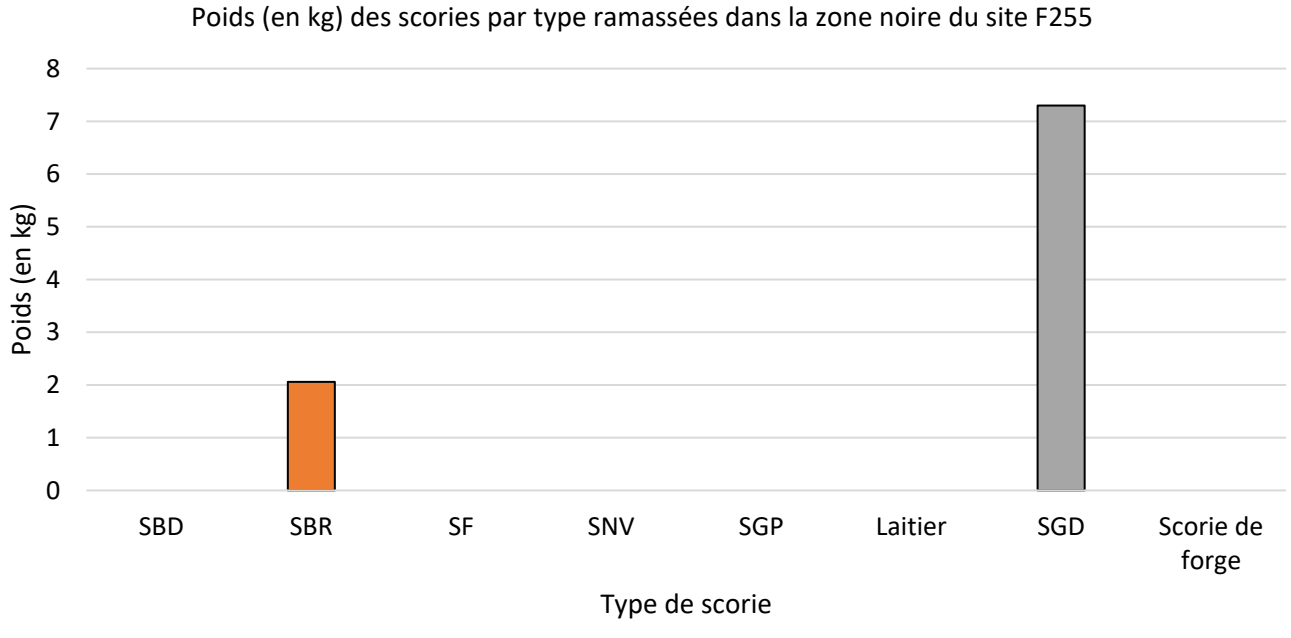
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 1 fragment de paroi en argile grise (0,019 kg)

TCA :

- 4 fragments de minerai rouge et noirs (0,7 kg)



F260

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

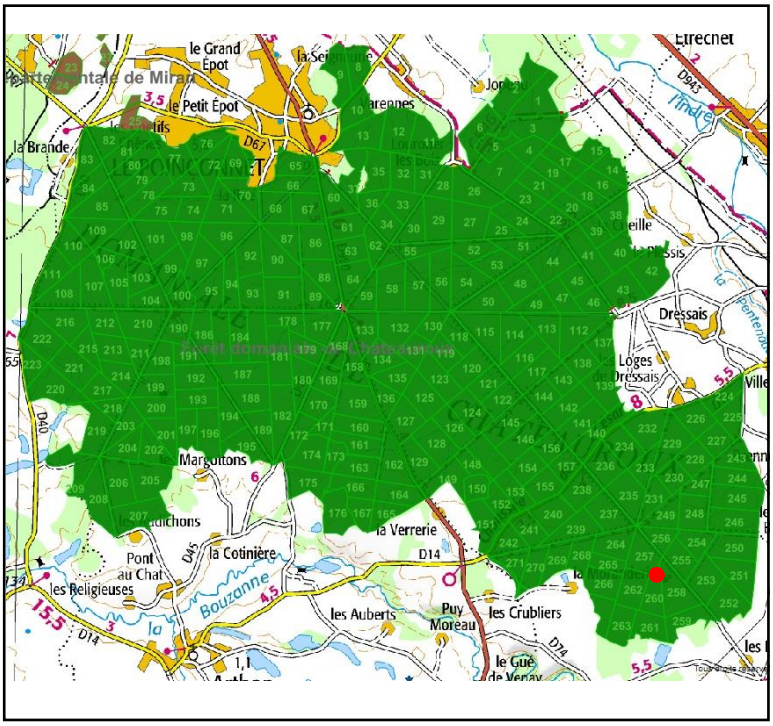
Parcelle forestière : 260

Coordonnées GPS

X : 607326,146 m

Y : 6623281,918 m

Z : 171,51 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Arrondie

Longueur : 18,9 m

largeur : 16,3 m

Hauteur : 0,5 m

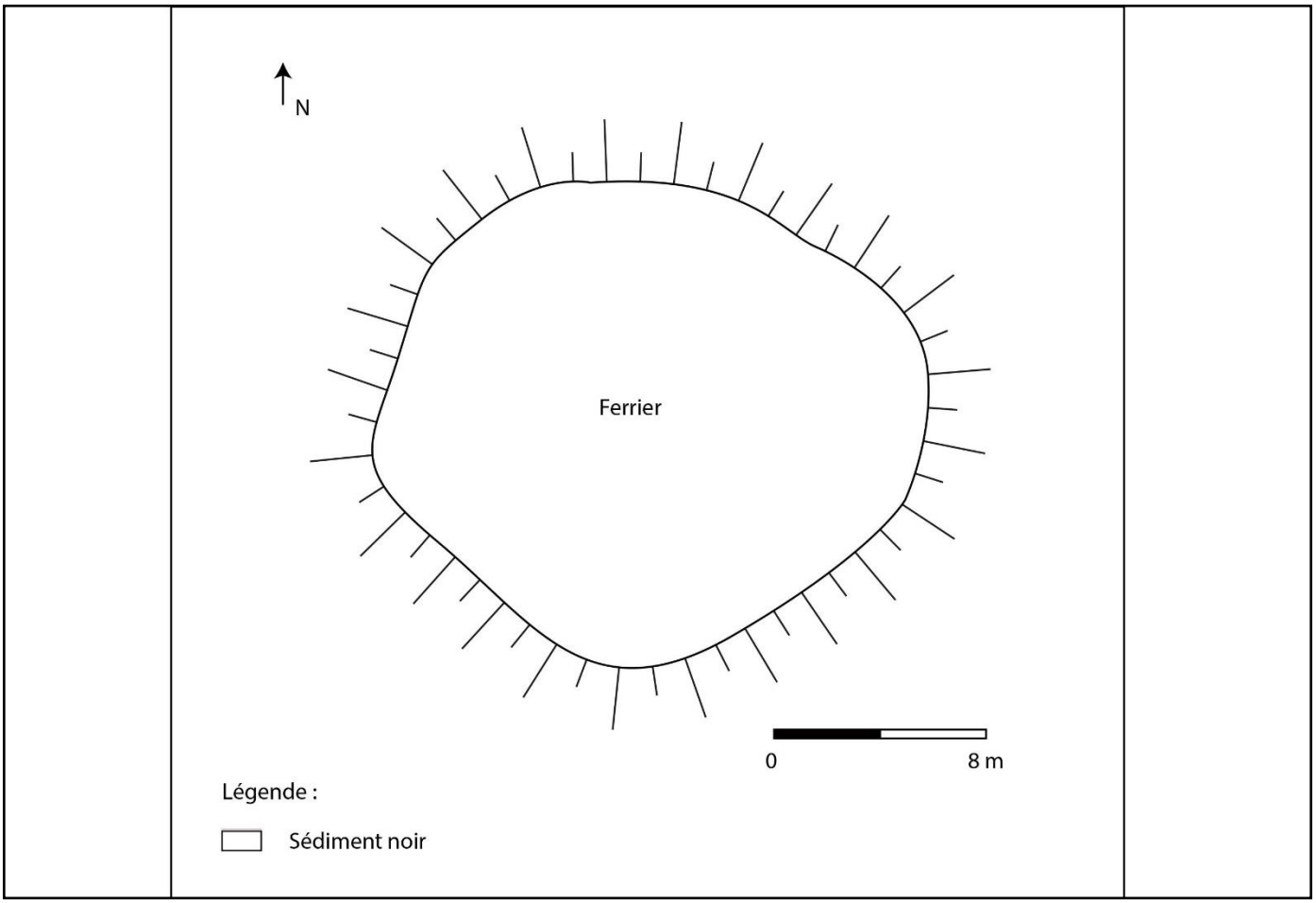
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de houx, de ronce et d'un chêne.

Datation : Indéterminée

Observations : Petit ferrier comprenant de nombreuses scories plus ou moins fragmentées et peu perturbé.

Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 4,3 kg

Vestiges métallurgiques

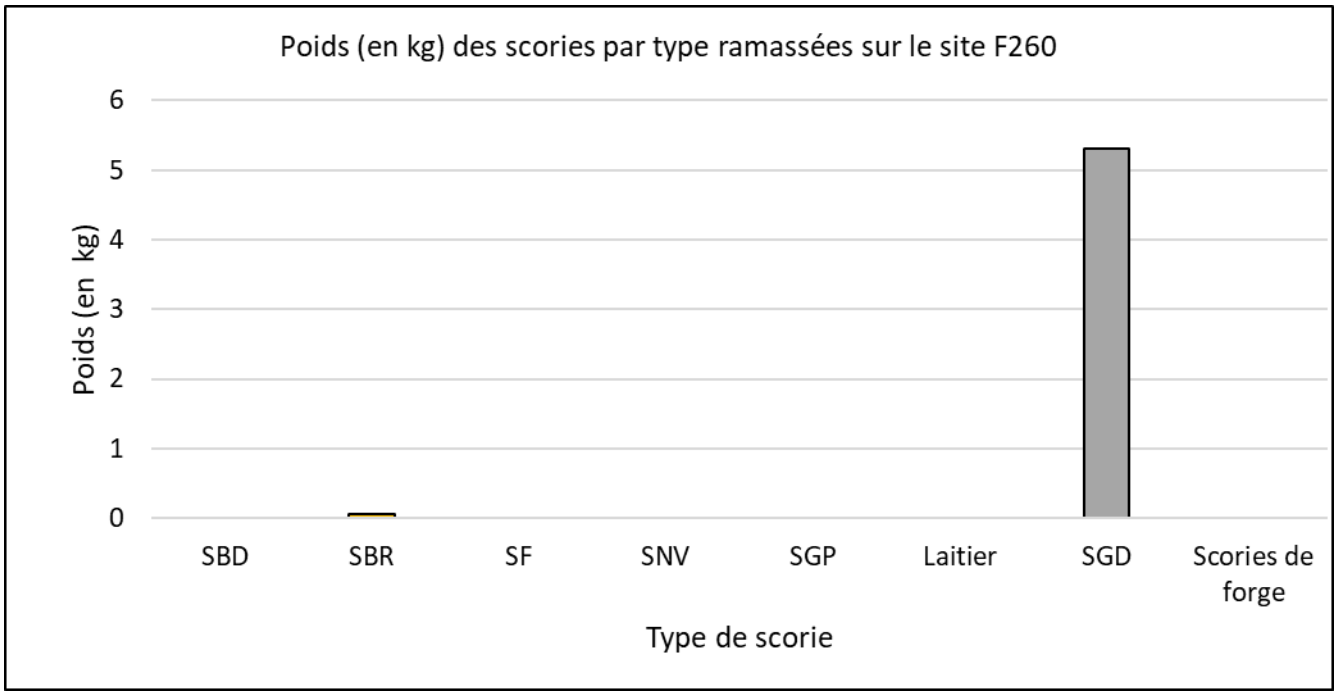
Scories de réduction :

- 2 Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois (0,057 kg)

Fragmentation : Importante

- 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (3 kg) et 4 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (1,3 kg)

Fragmentation : Faible



F261

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

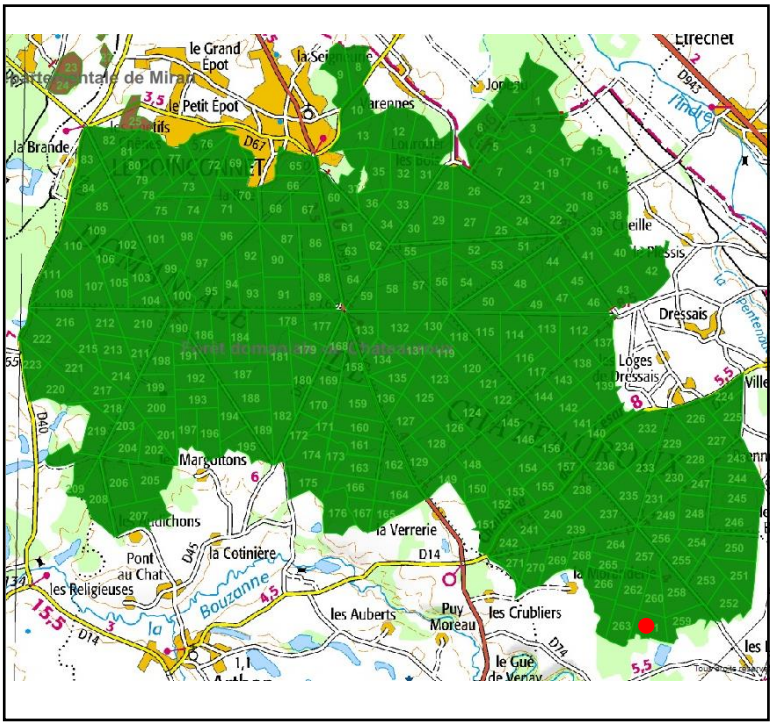
Parcelle forestière : 261

Coordonnées GPS

X : 607192,241 m

Y : 6622823,166 m

Z : 170,27 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Falciforme

Longueur : 97,5 m

largeur : 31,5 m

Hauteur : 1,8 m

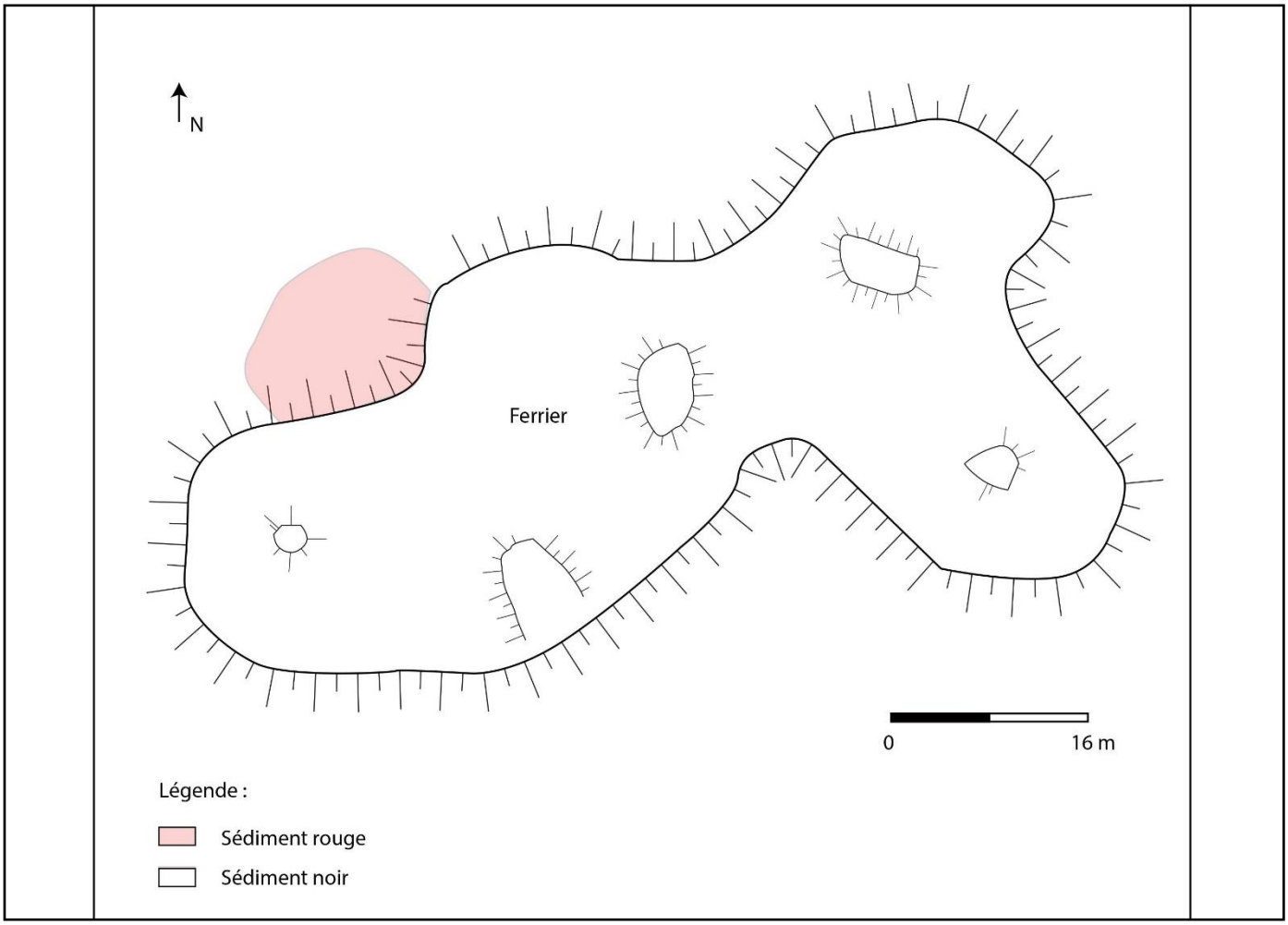
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sol limono-sableux rouge

Caractéristiques environnementales : Couvert de houx et de fragons. Forme plusieurs buttes dans le paysage. Extrêmement perturbé.

Datation : Indéterminée

Observations : Très grand ferrier présentant au moins 5 sommets comprenant de nombreuses scories très fragmentées. Une zone de terre rouge se trouve au nord-ouest du ferrier mais présente très peu de mobilier. Un fond de four de 27 cm de diamètre pour 6 cm d'épaisseur est observé dans la partie est du ferrier (*cf* photo).

Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 10,2 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire

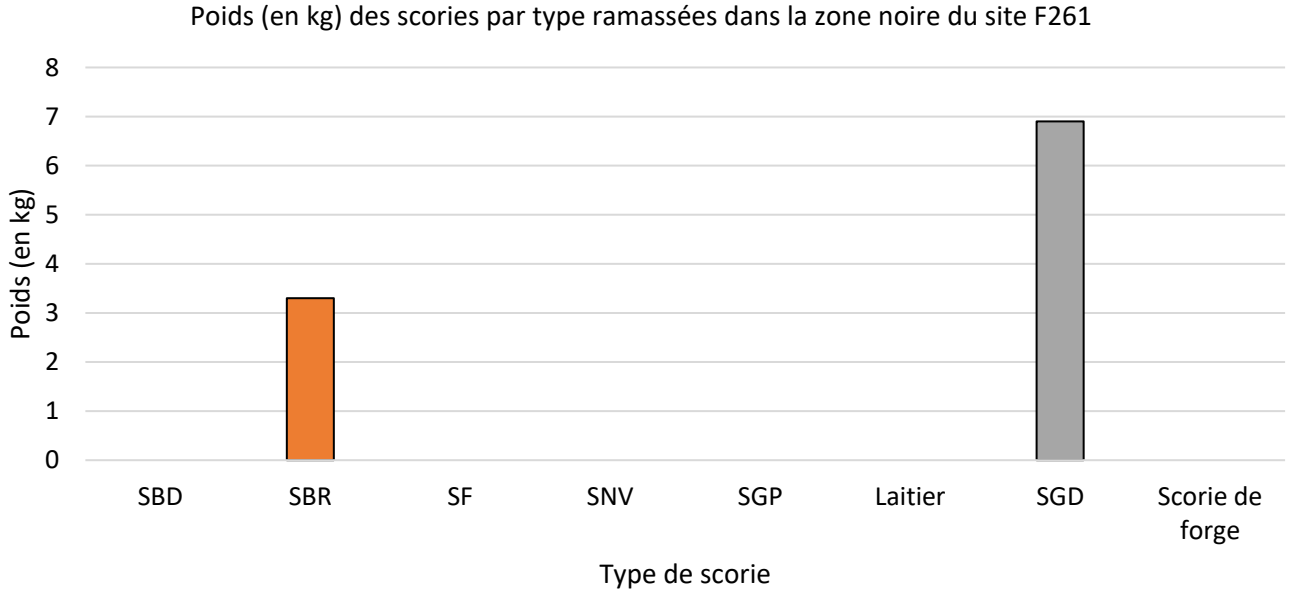
Scories de réduction :

- 5 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois (3,3 kg)

Fragmentation : Moyenne

- 9 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais dont l'un est associés à une gros fragment d'oxyde de fer (4,9 kg) et 3 fragments de Scories Grises Denses indéterminés dont l'un présente le négatif d'un canal de 2,5 cm de diamètre et inclusions de paroi en argile (2,1 kg)

Fragmentation : Faible



F262

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

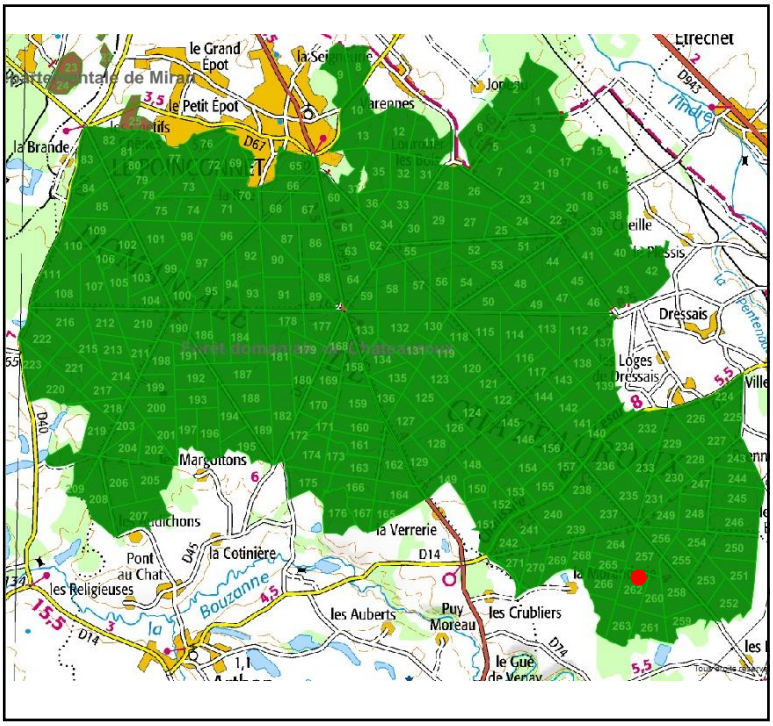
Parcelle forestière : 262

Coordonnées GPS

X : 606881,997 m

Y : 6623045,226 m

Z : 172,21 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Indéterminé

Longueur : Indéterminée

largeur : Indéterminée

Hauteur : Indéterminée

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir

Caractéristiques environnementales : Couvert de houx, de fragons, etc.

Datation : Indéterminée

Observations : Ferrier impossible à enregistrer à cause de la végétation trop dense. Présence de scories éparses et très fragmentées

Description du mobilier ramassé

Poids total : 3, 1 kg

Vestiges métallurgiques

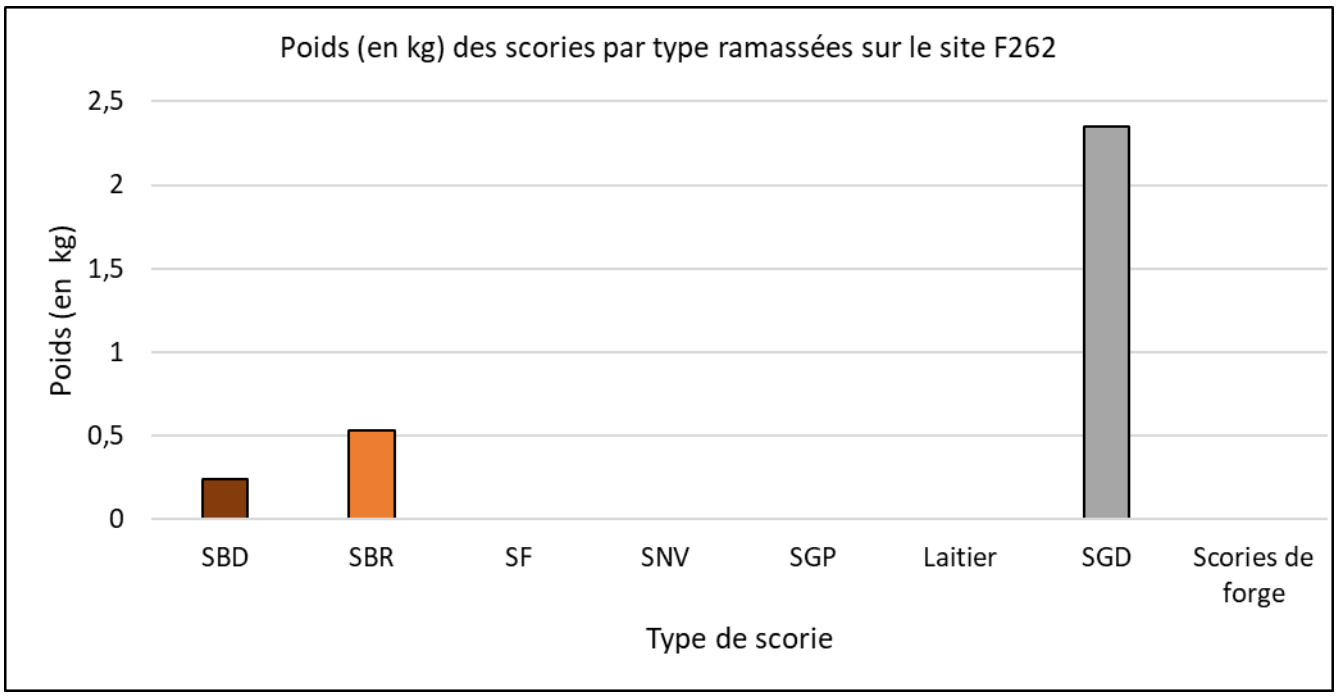
Scories de réduction :

- 1 fragment de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer, très vitrifiée en surface supérieur (0,3 kg), 1 fond de four brun, rugueux avec inclusions d'oxydes de fer et négatif de charbon de bois, plano-convexe (0,4 kg) et 2 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois (0,115 kg).

Fragmentation : faible

- 3 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (0,67 kg), 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons fins (0,4 kg), 2 fragments de Scories Grises Denses en plaque (0,75 kg) et 5 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,55 kg)

Fragmentation : Moyenne



F263

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

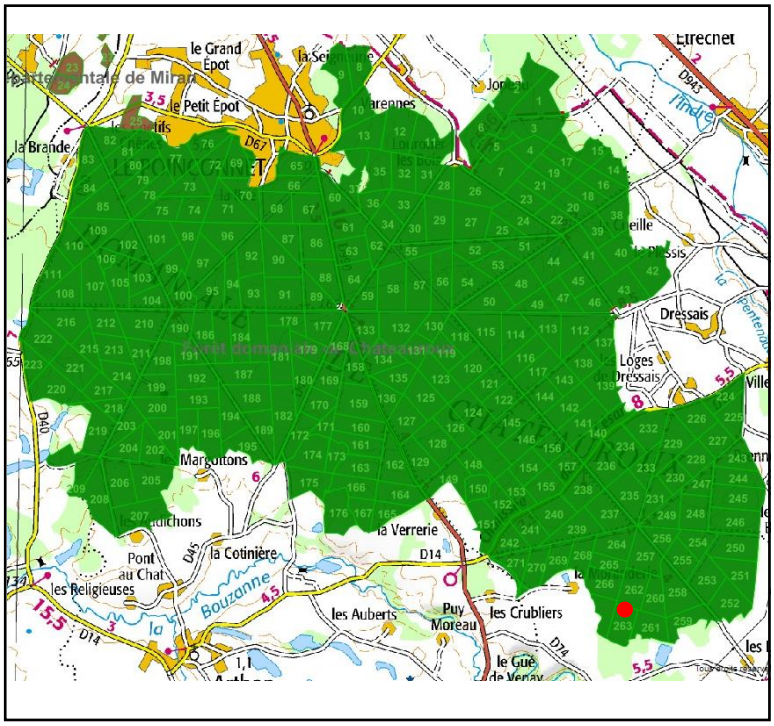
Parcelle forestière : 263

Coordonnées GPS

X : 606881,997 m

Y : 6623045,226 m

Z : 172,29 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Falciforme

Longueur : 38,3 m

largeur : 29,3 m

Hauteur : 1,2 m

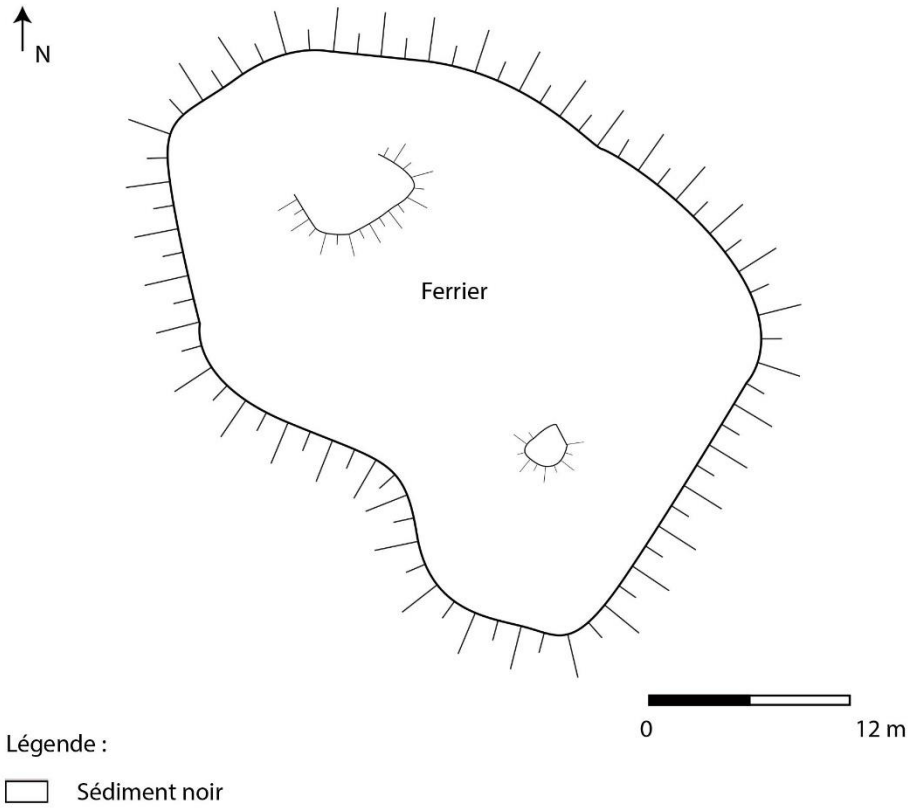
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de houx et de fragons. Très perturbé.

Datation : Indéterminée

Observations : Très grand ferrier comprenant de nombreuses scories peu fragmentées. On observe deux fortes concentration de scorie situées aux deux sommets.

Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 3, 2 kg

Vestiges métallurgiques

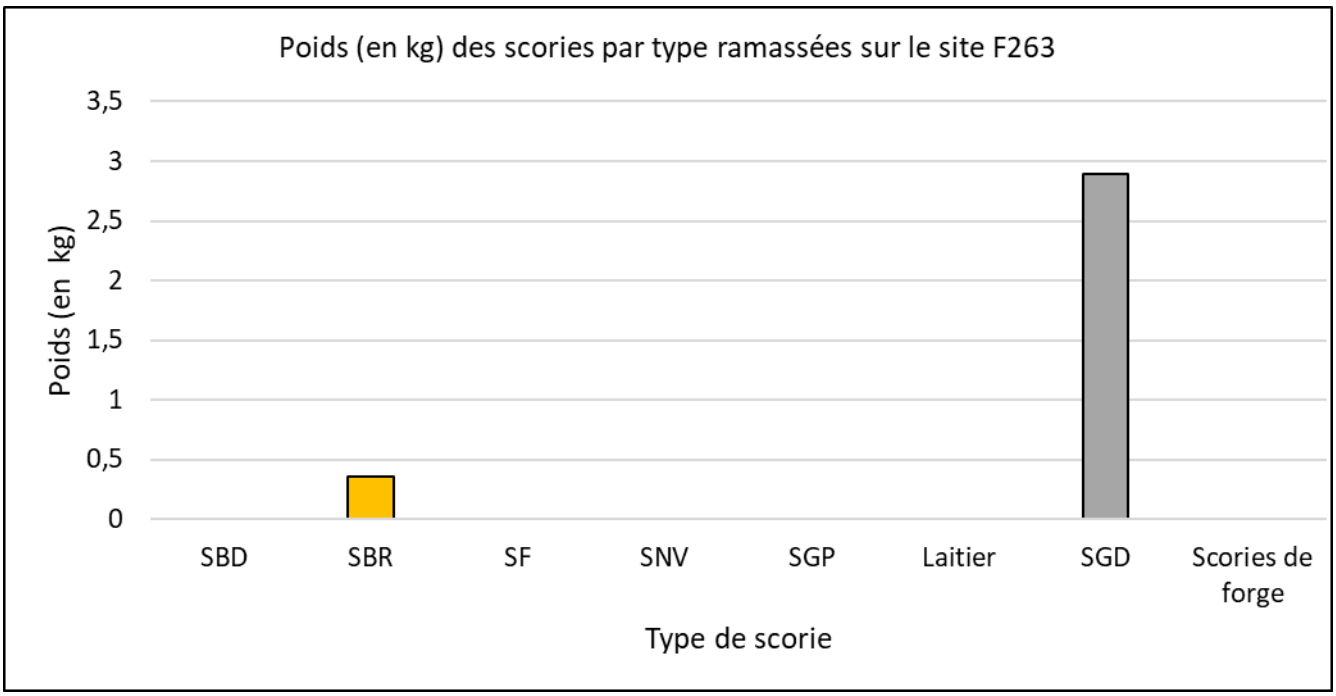
Scories de réduction :

- 3 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois dont 1 fond de four plano-convexe (0,534 kg)

Fragmentation : faible

- 3 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,5 kg), 2 fragments de Scories Grises Denses en plaque (0,75 kg) et 4 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (1 kg)

Fragmentation : Moyenne



F265

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

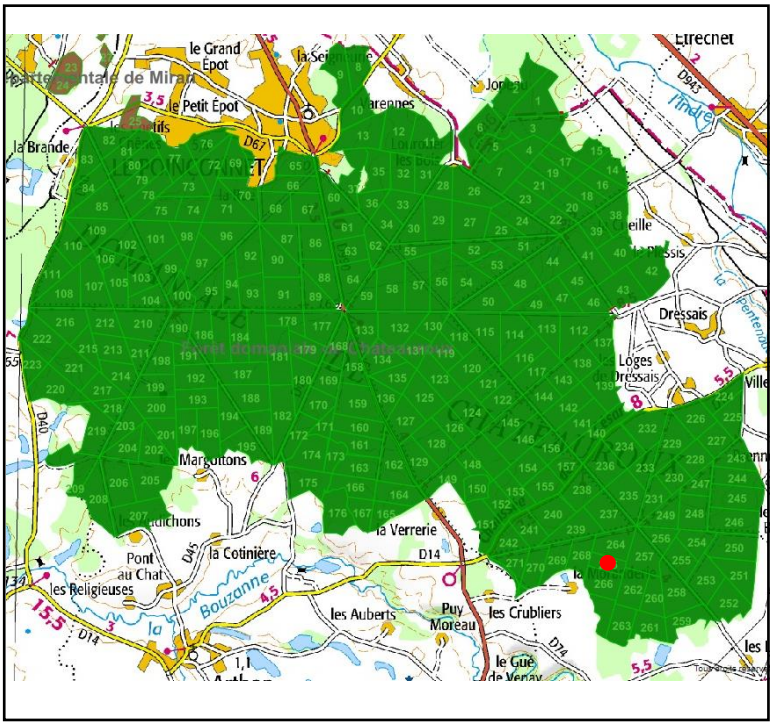
Parcelle forestière : 265

Coordonnées GPS

X : 606595,771 m

Y : 6623675,01 m

Z : 174,93 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique bicolore

Forme : Falciforme

Longueur : 118,7 m

largeur : 95,1 m

Hauteur : 1,6 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir associé à un sol limono-sableux rouge.

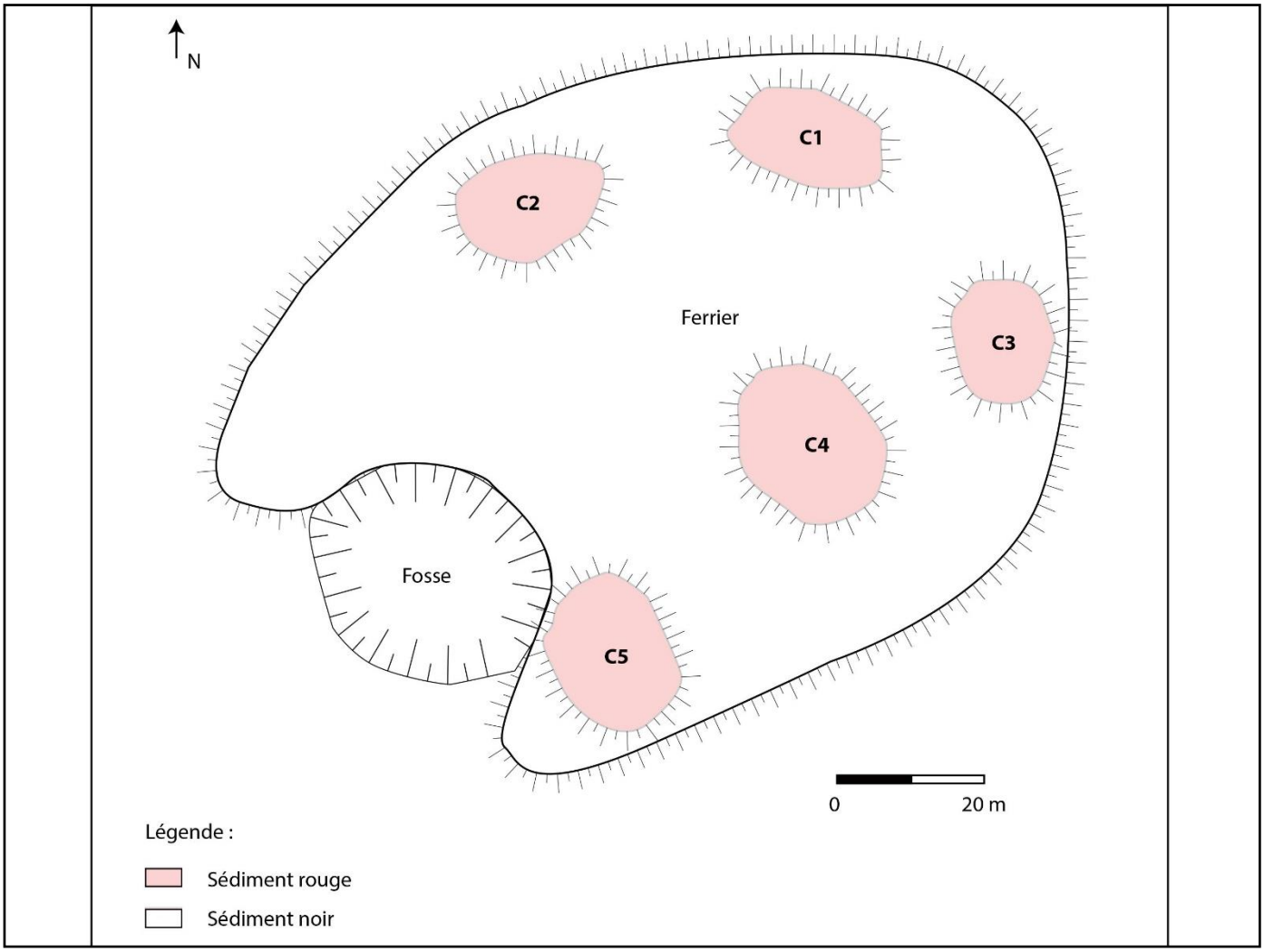
Caractéristiques environnementales : Couvert de houx, moyenne futaie et chêne clair. Forme plusieurs buttes dans le paysage. Très perturbé par de nombreuses fosses de récupération.

Datation : Indéterminée

Observations : Très grand ferrier comprenant de nombreuses scories plus ou moins fragmentées.

5 zones au sédiment rouge sont observées au sein du ferrier.

Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 12,3 kg

Vestiges métallurgiques

Zone noire (8,16 kg)

Scories de réduction :

- 1 fragment de Scorie Brune Dense (0,04 kg), 2 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer, de cailloutis et de charbons de bois (0,481 kg) et 3 fragments de Scories Noires Vacuolaires très vitrifiées avec parfois des inclusions d'oxydes de fer (1,6)
- 1 fragment de Scorie Grise Dense à cordons épais (0,29 kg), 2 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (0,86 kg) et 2 fragments de Scories Grises Denses indéterminés (0,14 kg)

Autres mobiliers

Zone noire

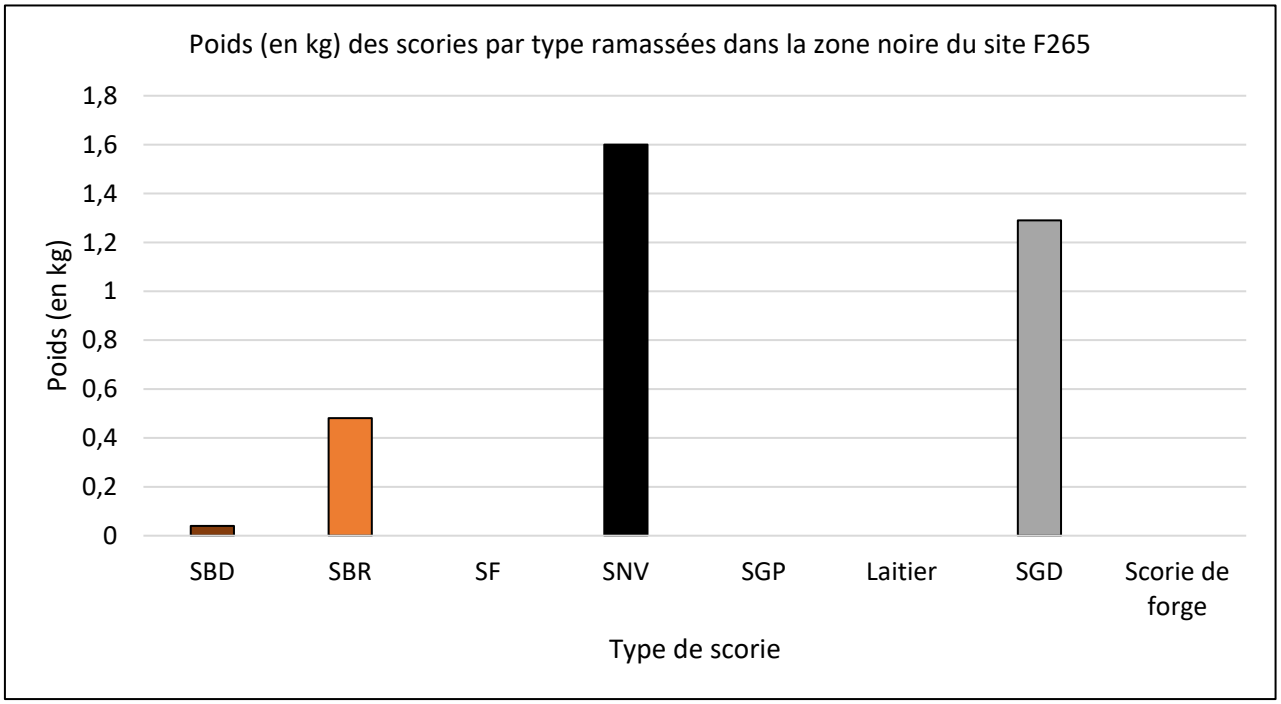
Paroi argileuse :

- 11 fragments de paroi en argile gris avec inclusions de quartz millimétriques et d'oxydes de fer, 2 individus présentent une coloration légèrement violacée et 1 autre un bombement rectiligne de 1,5 cm de large ; 2 fragments de paroi en argile blanche avec inclusions de quartz submillimétriques ; 1 fragment de paroi en argile orangé avec négatifs de charbon de bois et 1 fragment de paroi rouge (4,7 kg)

Zone rouge (4,13 kg)

Paroi argileuse :

- 15 fragments de paroi en argile gris, parfois mauve, avec inclusions de quartz submillimétriques souvent indurés et vitrifiés (4,128)


Poids (en kg) des scories par type ramassées dans la zone noire du site F265
Poids (en kg)
1,8
1,6
1,4
1,2
1
0,8
0,6
0,4
0,2
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

F267

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Forêt domaniale de Châteauroux**

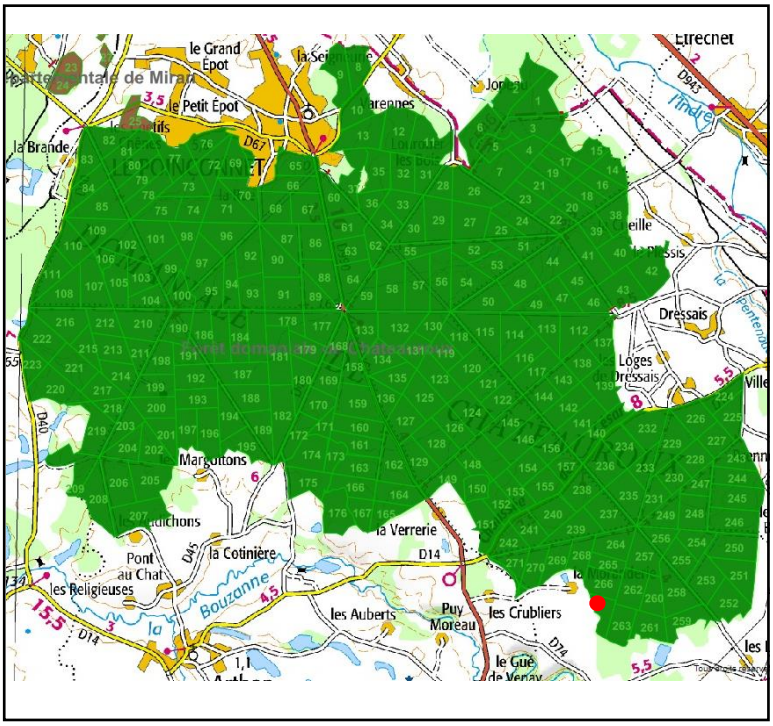
Parcelle forestière : 267

Coordonnées GPS

X : 606518,115 m

Y : 6623163,504 m

Z : 173,39 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Non

Description de la structure

Type de structure : Epandage Forme : Ellipsoïdale

Longueur : 65,4 m largeur : 34, 4 m Hauteur : < 10 cm

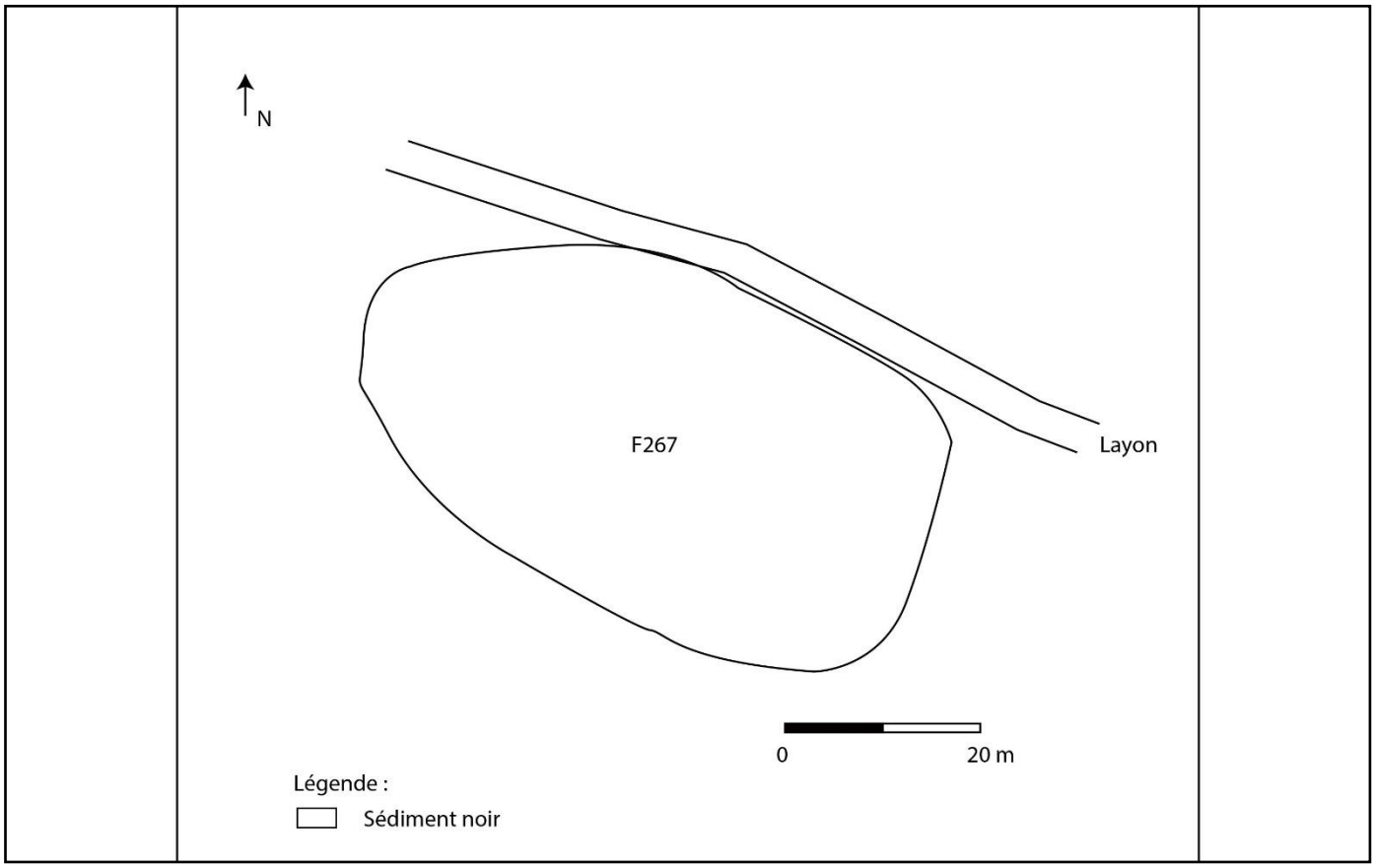
Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de houx, ronce et autres végétations.

Datation : Indéterminée

Observations : Epandage où elles sont peu nombreuses et très fragmentées. Les limites sont difficiles à percevoir à cause de la végétation dense.

Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 3,4 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 8 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer et négatifs de charbon de bois (1,8 kg) et 1 fragment de pseudo-laitier bleuté (0,008 kg)

Fragmentation : Moyenne

- 21 fragments de Scories Grises Denses indéterminés vitrifiés rouge par endroit (0,9 kg)

Fragmentation : Moyenne

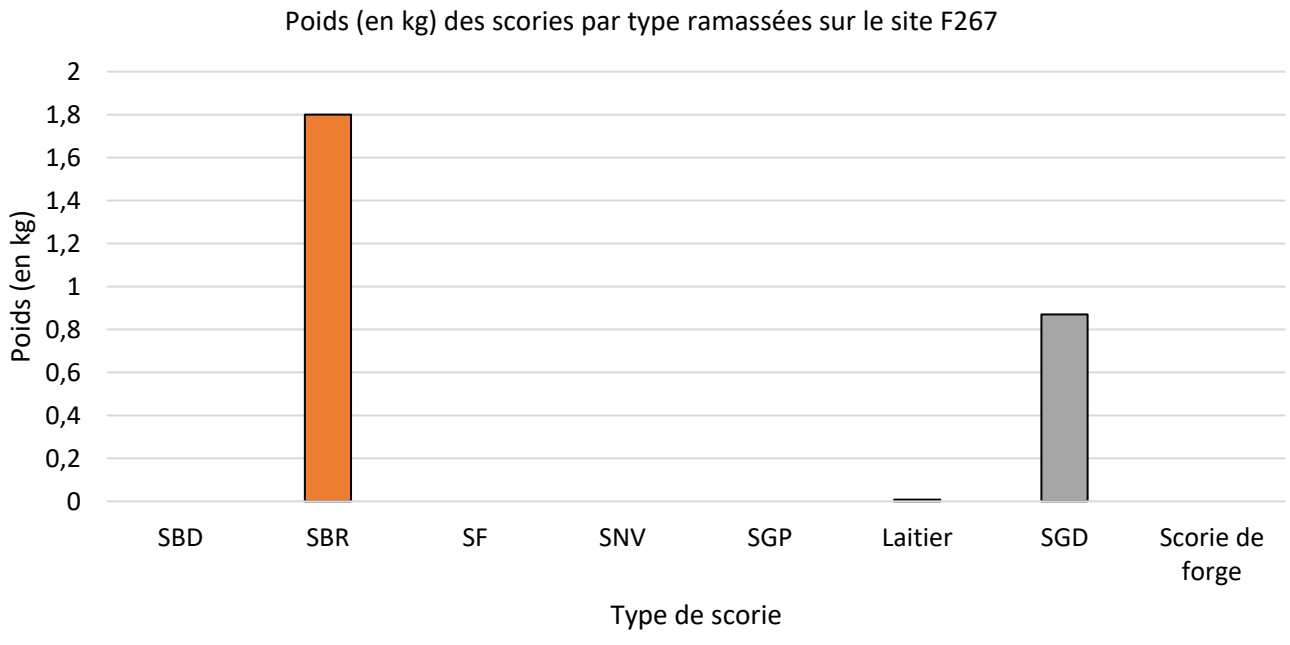
Autres mobiliers

Paroi argileuse :

- 12 fragments de paroi en argile gris à beige avec inclusions de quartz submillimétriques, d'oxydes de fer et de charbons de bois et présentant souvent une face vitrifiée et/ou scorifiée (0,59 kg)

Matériau lithique :

- 2 fragments de grès blancs et denses dont l'un est rubéfié et 1 silex jaune (0,087 kg)



F546

Localisation

Département : Indre (36)

Forêt : **Lieu-dit « Chamployon », Velles**

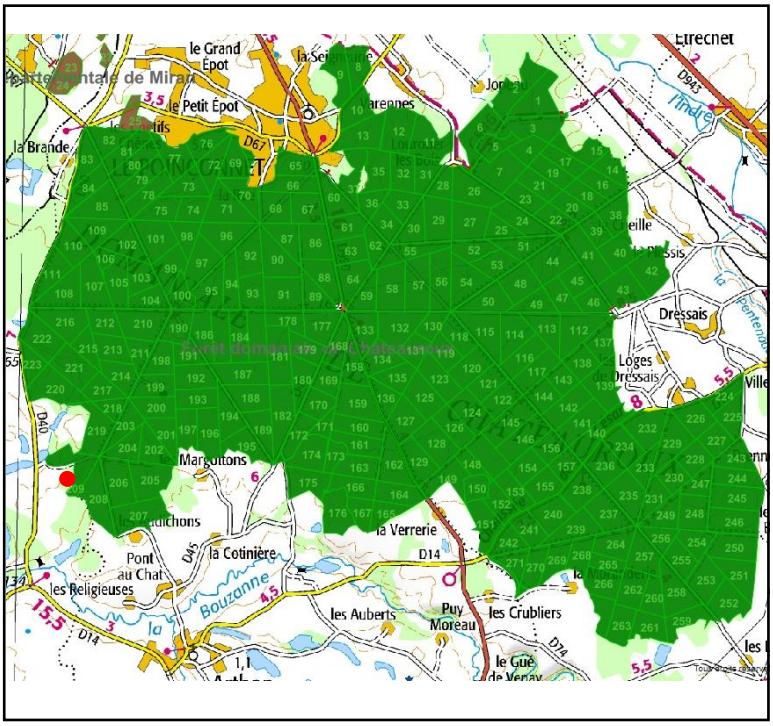
Parcelle forestière : 546

Coordonnées GPS

X : 598881,14 m

Y : 6624833,393 m

Z : 147,85 m



Enregistrement

Date de prospection : 02/05/2019

Photographies : Oui

Description de la structure

Type de structure : Site métallurgique noir

Forme : Falciforme

Longueur : 98,7 m

largeur : 67,6 m

Hauteur : 3 m

Sédiment : Sédiment limono-sableux noir.

Caractéristiques environnementales : Couvert de fragon et de bouleaux. Une très grande fosse se trouve au sud (env. 2 m de profondeur). Ferrier très perturbé.

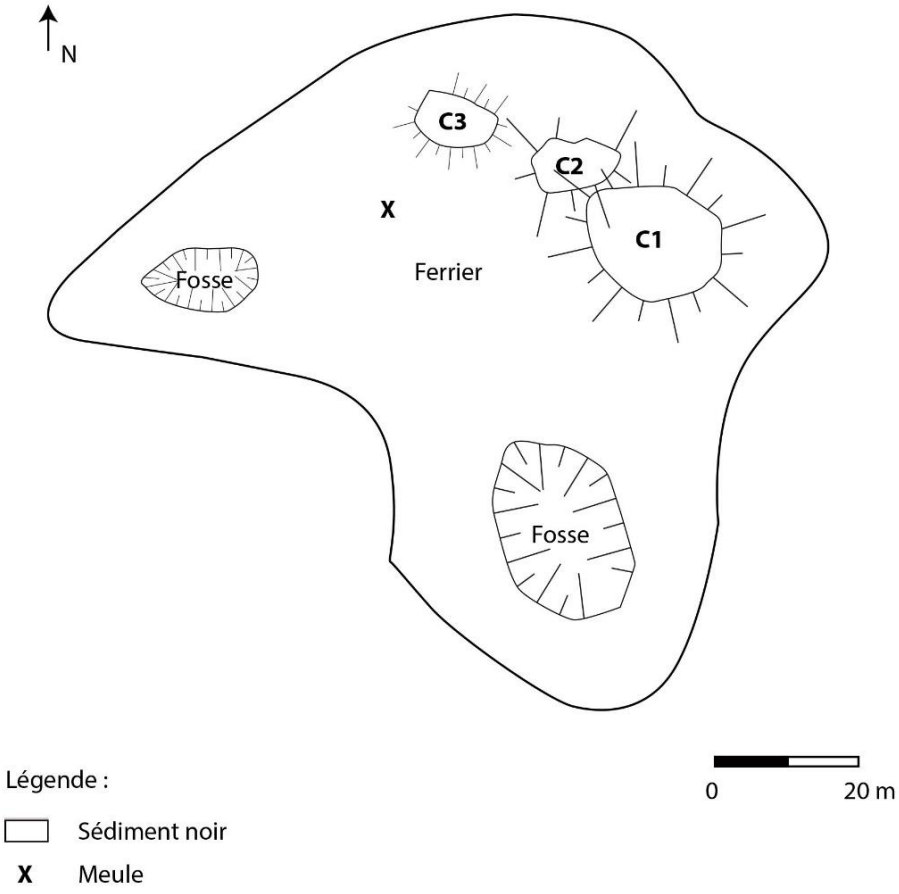
Datation : Indéterminée

Observations : Très grand ferrier possédant 4 sommets alignés et entourés de deux fosses (une petite et une très grande). Les scories sont très nombreuses et de grandes dimensions. Une meule a été trouvée entre les sommets et la grande fosse. Une cinquième butte plus petite se trouve à l'ouest.

Photographie (vue vers le sud-ouest)



Relevé en plan du site (B. Gouhier, S. Lacroix)



Description du mobilier ramassé

Poids total : 17 kg

Vestiges métallurgiques

Scories de réduction :

- 1 fragment de Scorie Brune Dense avec inclusions d'oxydes de fer, très vitrifiée en surface (0,58 kg) et 7 fragments de Scories Brunes Rugueuses avec inclusions d'oxydes de fer, de charbons de bois et vitrification par endroit dont 1 fond de four plano-convexe (4,2 kg)

Fragmentation : Faible

- 5 fragments de Scories Grises Denses à cordons épais (1,1 kg), 6 fragments de Scories Grises Denses en plaque (1,8 kg), 3 fragments de Scories Grises Denses à cordons agglomérés (1,8 kg) et 9 fragments de Scories Grises Denses indéterminés dont l'un présente le négatif d'un canal de 7,8 cm de diamètre (3,6 kg)

Fragmentation : Faible

Scories de forge :

- 1 petit culot de forge brun et dense plano-convexe avec inclusion d'oxyde de fer (0,11 kg)

Autres mobiliers

Paroi argileuse :

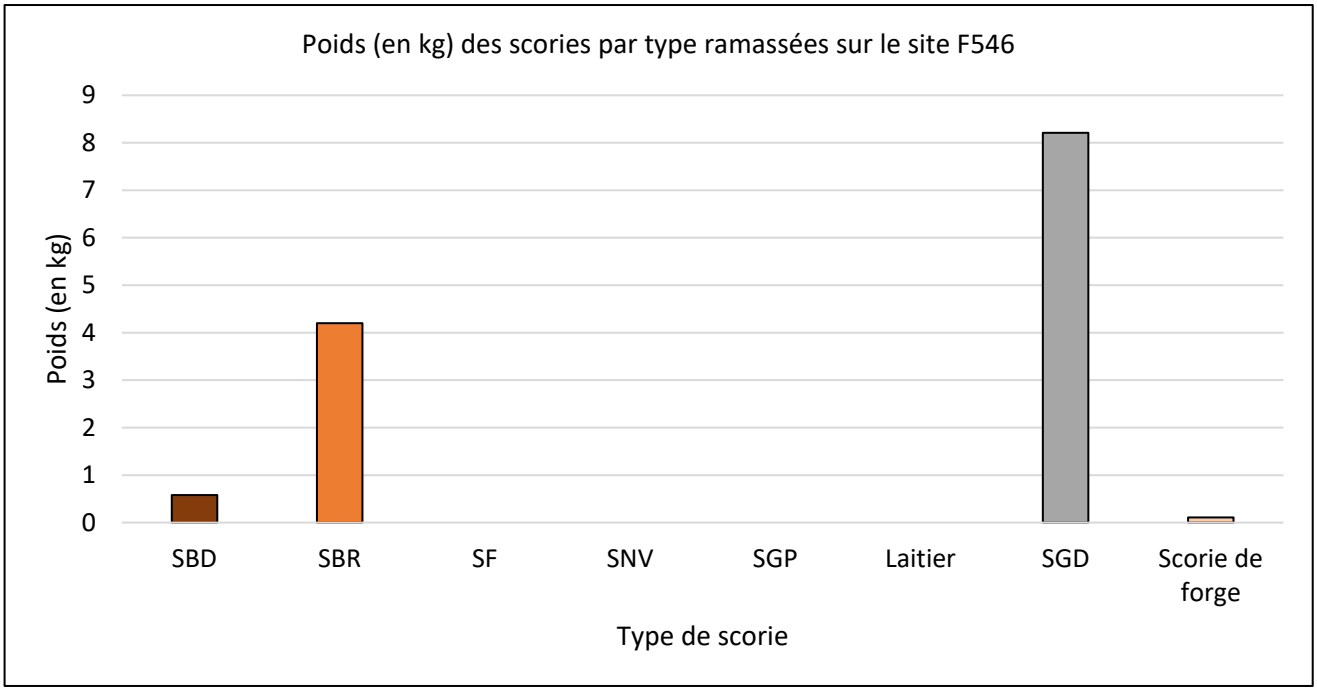
- 3 fragments de paroi en argile gris à rosé avec inclusion de quartz submillimétriques (0,054 kg)

Matériau lithique :

- 1 fragment de grès blanc, rugueux et rubéfié par endroit et 1 fragment de quartz centimétrique dans une gangue blanche rugueuse et scorifié sur une face (0,4 kg) et 1 fragment de minerai rubéfié et très lourd rouge et noir (0,331 kg)

Mobilier :

- 1 fragment de meule constitué d'un mortier blanc et rugueux comprenant des inclusions de quartz centimétriques épais sur le bord et plus fin au centre. Le centre est légèrement noirci sur la face supérieure et très lisse sur la face inférieure avec quelques traces de rubéfaction (3,11 kg)


Poids (en kg) des scories par type ramassées sur le site F546
Poids (en kg)
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
SBD
SBR
SF
SNV
SGP
Laitier
SGD
Scorie de forge
Type de scorie

Annexe 4 : Fiches métallographies de la forêt de Châteauroux

4.1 Les scories de réduction

Echantillon n° : CHAT051

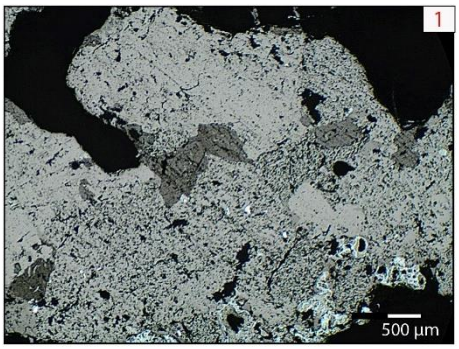
Site : F051
Forêt de Châteauroux

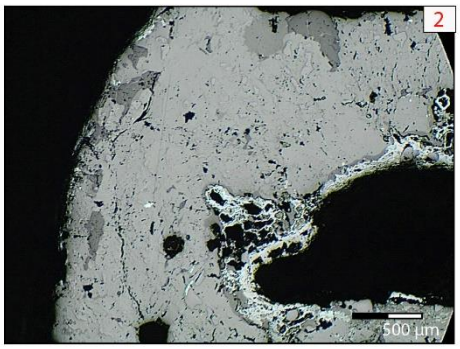
Nature de l'échantillon :
Fond de four

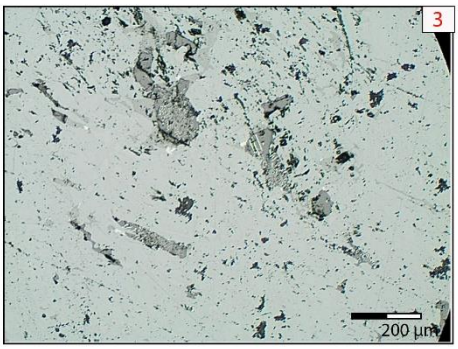
Macrographie : Fond de four brun, dense, plano-convexe présentant des inclusions d'oxydes de fer et de charbon de bois. La coupe montre une coloration noire avec de très nombreuses porosités de grande dimensions orientées vers la partie centrale et la gauche. La matrice est assez homogène et comprend des inclusions de paroi en argile grise mais pas de métal.

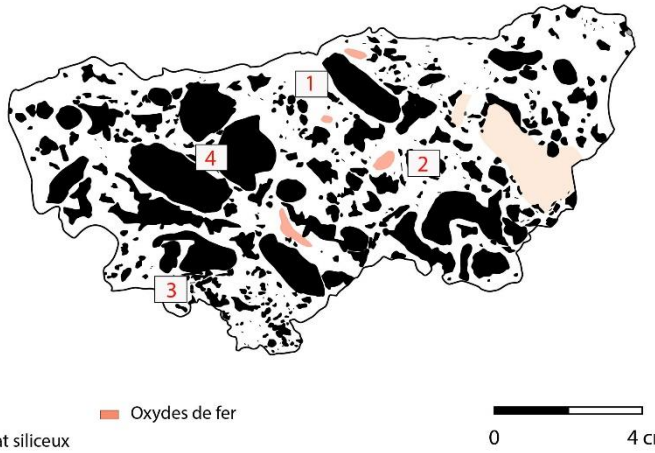
Dimensions : L = 17 cm l = 17 cm ep. = 6,6 cm
Masse : 1,9 kg

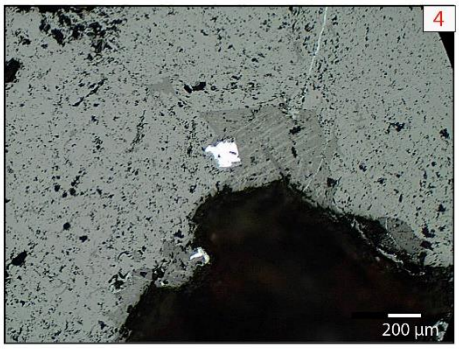
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice vitreuse avec quelques rares inclusions argilo-sableuses (1). Oxydations autour des porosités (2). Des grains de magnétites sont visibles dans la fayalite équigranulaires ainsi que quelques dendrites de wüstite en seconde cristallisation par endroit (3). Quelques rares petits grains métalliques y sont également inclus (4).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice relativement homogène qui signale une opération régulière (BERRANGER 2014 : 126). Les porosités sont très nombreuses et de grandes a moyennes dimensions, elles sont présentes sur toute la surface de la coupe mais sont plus nombreuses et de taille plus importante au centre et dans la partie inférieure de la scorie. En outre, elles présentent une forme allongée à déchiquetée que l'on peut mettre en relation avec une scorie visqueuse lors de la réduction (BERRANGER 2014 : 126). L'étude microscopique montre que la scorie est composée presqu'uniquement d'une phase vitreuse dans la partie droite et d'une phase minérale comprenant de la fayalite pavimenteuse dans la partie gauche. Par endroit, un second niveau de cristallisation comprenant de fines dendrites de wüstite appuie l'idée d'un refroidissement assez rapide de la scorie en milieu réducteur (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). Quelques rares petits grains métalliques sont visibles dans cette scorie mais leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.). Cela indique néanmoins que l'opération était maitrisée et de bonne qualité puisqu'elle a engendré peu de perte de métal dans la scorie. Enfin, les porosités sont tapissées d'hydroxydes.

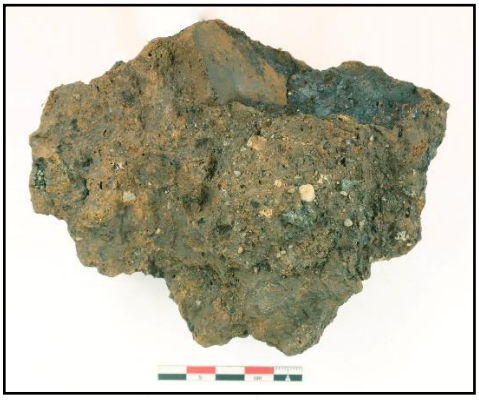
Echantillon n° : CHAT085-1

Site : F085
Forêt de Châteauroux

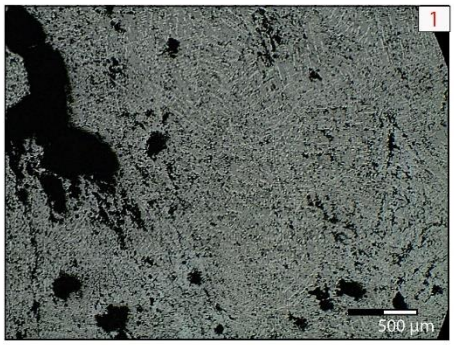
Nature de l'échantillon :
Paroi scorifiée

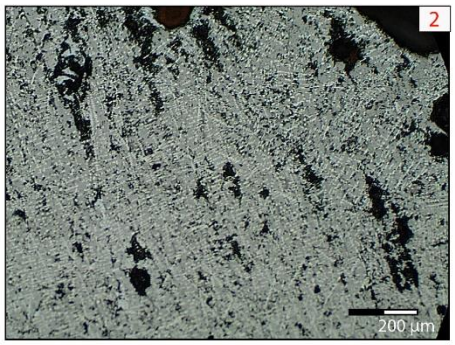
Macrographie : Elément argileux avec inclusions de quartz, d'oxydes de fer et de scorie écoulée. La coupe est très hétérogène, siliceuse, brune avec peu de porosités. On observe des inclusions de silex, de scories et de métal.

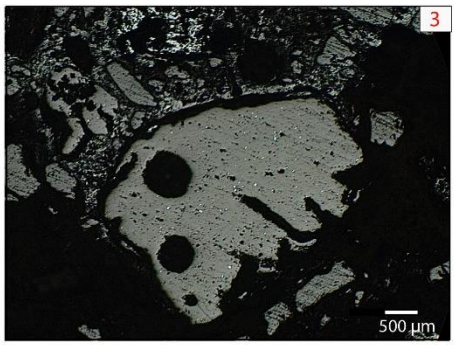
Dimensions : L = 13,2 cm l = 9,9 cm ep. = 5,5 cm
Masse : 0,5 kg

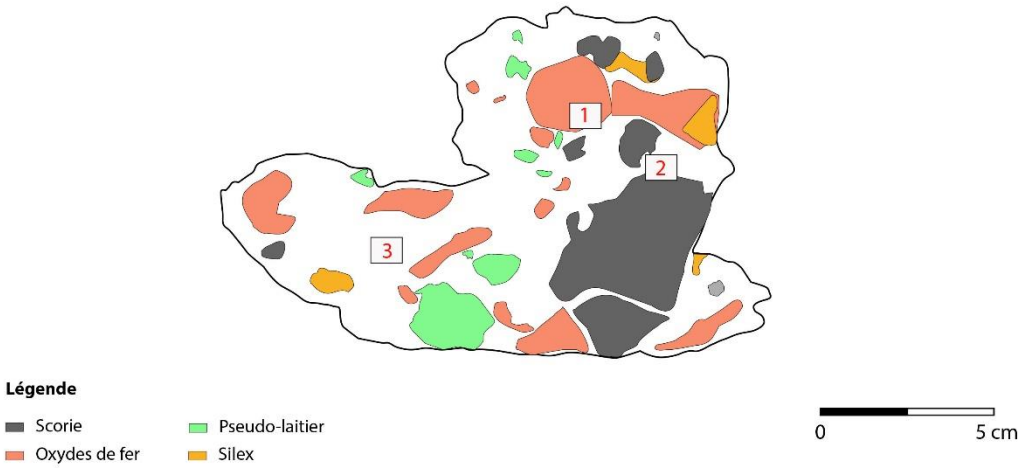


Observations Microscopiques









Micrographie : Matrice vitreuse avec fines dendrites de wüstite (1) et très fines dendrite de wüstite (2). Présence d'inclusions siliceuses et de grains métalliques (3).

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice très hétérogène constituée en grande partie de silice, de scorie, de métal et de silex. La présence d'oxydes de fer, de scorie et de fragments de pseudo-laitier en grande quantité permettent de définir ce culot comme ayant été engendré lors d'une activité d'épuration. La quasi absence de porosités montre que peu ou pas de gaz circulaient dans le foyer. L'étude microscopique montre que ce culot est composé d'une phase vitreuse associée à des dendrites de wüstite, plus importante dans la partie inférieure que centrale. La présence de ces oxydes de fer libres confirme le fait qu'il s'agit bien d'un culot de forge et montre que la scorie a refroidit très rapidement. La partie inférieure comprend de nombreuses inclusions argilo-sableuses ainsi que des grains métalliques. Leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.) mais leur faible nombre indique néanmoins que l'opération était maitrisée et de bonne qualité puisqu'elle a engendré peu de perte de métal dans la scorie.

Echantillon n° : CHAT105-1

Site : F105
Forêt de Châteauroux

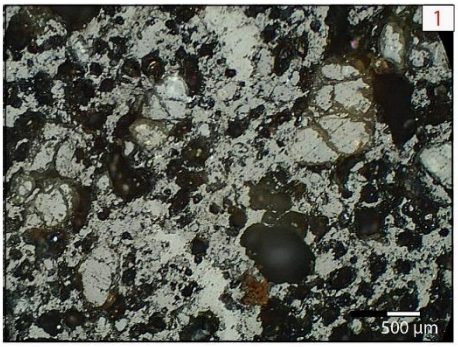
Nature de l'échantillon :
Fond de four

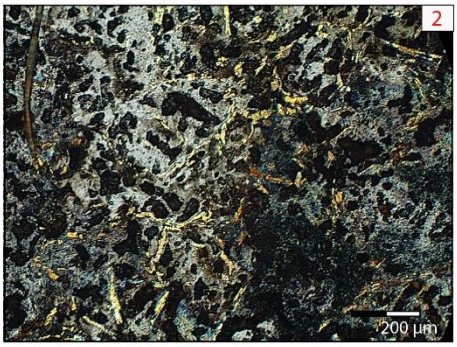
Macrographie : Fond de four, brun, dense très oxydé en surface et plano-convexe présentant d'oxydes de fer, de charbon de bois et de matière argilo-sableuse orangée. Coupe hétérogène de couleur brune/verte comprenant quelques billes métalliques. On observe quelques porosités arrondies et étirées dont la taille est plus grande au centre. La partie droite, très vitrifiée, ressemble à un pseudo-laitier.

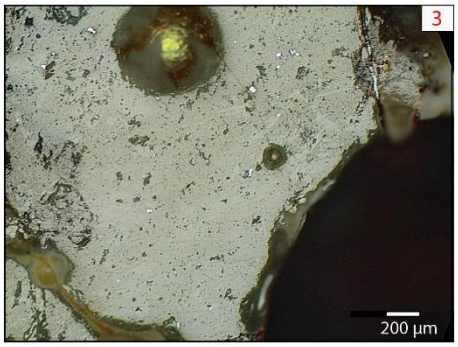
Dimensions : L = 14 cm l = 13 cm ep. = 8 cm
Masse : 1,3 kg

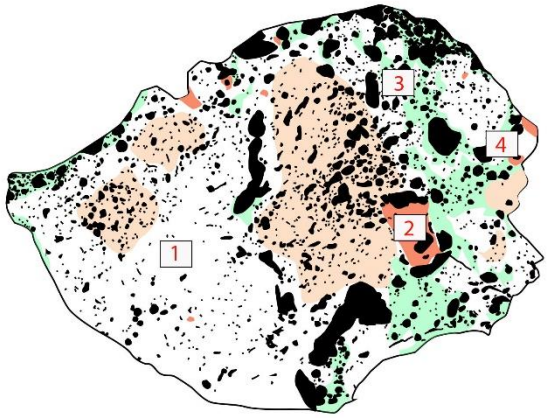


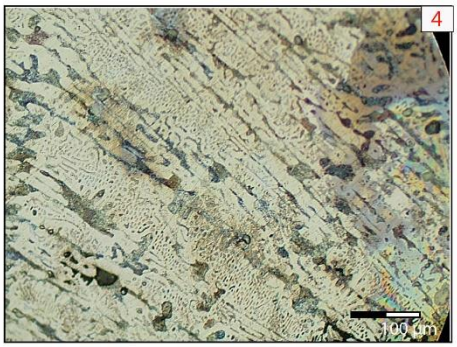
Observations Microscopiques











Légende

Porosité
Agglomérat siliceux
Oxydes de fer
Pseudo-laitier

0 4 cm

Micrographie : Matrice vitreuse avec inclusions de matière siliceuse comprenant de nombreuses micro-porosités (1). Présence d'hydroxydes par endroit (2). La zone vitrifiée est constituée d'une matrice vitreuse dans laquelle se trouve des grains métalliques (3). On y trouve également un bille métallique millimétrique. Après attaque au Nital, sa structure s'avère être fortement carburée, il s'agit de fonte blanche (4).

Synthèse :

Ce fond de four est très hétérogène présente une matrice brune à verte siliceuse, raison pour laquelle il est également très vitrifiée sur la partie droite, probablement la plus proche de la source d'oxygène. On y observe divers matériaux inclus tel que des charbons de bois, des oxydes de fer et des agglomérats siliceux. Des porosités sont présentent sur une large majorité de la surface mais sont plutôt de très petites dimensions. Quelques moyennes et importantes porosités étirées se trouvent toutefois rassemblées dans la partie centrale de la scorie.

L'étude microscopique montre que ce fond de four comprend une importante phase vitreuse comprenant par endroit des grains métalliques éparses. Une bille de fer de plus grande dimension permet de constater que sa structure est largement saturée en carbone, il s'agit donc d'un acier hypereutectoïde (peut-être de la fonte blanche ?). Il apparait donc que la production du fer mise en œuvre lors de la création de cette scorie n'était pas optimale car le fer produit comprend beaucoup de carbone. La présence de cet élément dans les alliages diminue le point de fusion du métal mais engendre en fer plus dur et cassant (SERNEELS 1993 : 20). Des hydroxydes sont toutefois également observés sur toutes la surface de la pièce.

Echantillon n° : CHAT105-2

Site : F105
Forêt de Châteauroux

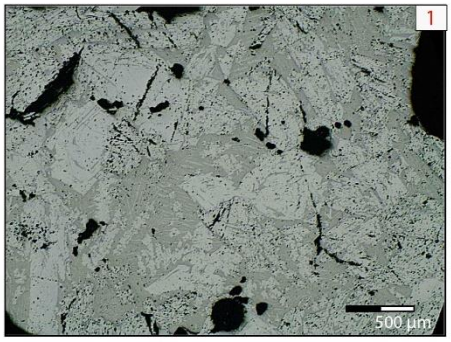
Nature de l'échantillon :
Fond de four

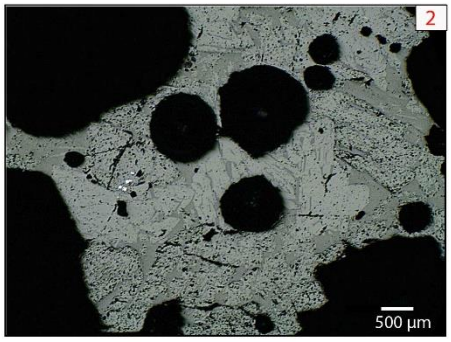
Macrographie : Fond de four, noir, rugueux présentant des traces de calcaires sur une face et de nombreux oxydes de fer sur l'autre. La coupe est homogène, noire avec quelques agglomérats siliceux par endroit. Une légère vitrification verdâtre se devine dans la partie supérieure. Des porosités de moyenne dimensions, arrondies et déchiquetées sont présentent sur l'ensemble de la surface. Les plus importantes se trouvent sur la partie droite.

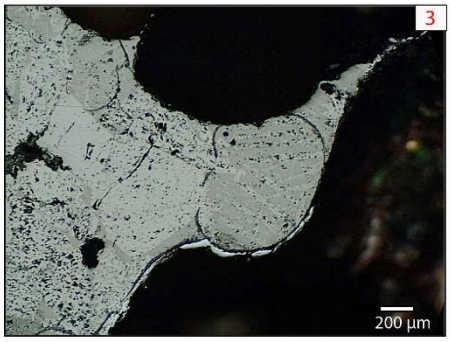
Dimensions : L = 15 cm l = 7,7 cm ep. = 5 cm
Masse : 0,7 kg



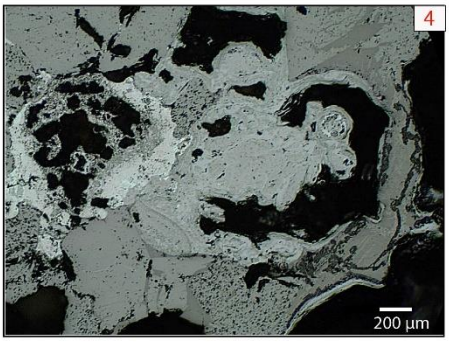
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice vitreuse avec fayalite équigranulaires. On observe une seconde cristallisation avec de fines lattes de fayalite dans la partie centrale (1). Quelques grains métalliques éparses y sont visibles (2). Dans la partie supérieure de la scorie il apparait 2 formes circulaires en cours de dissolution (battitures ? oxydes ?) (3). Enfin, des hydroxydes sont répartis à la surface de la scorie (4).

Synthèse :

Cette scorie dispose d'une matrice noire, homogène avec quelques inclusions d'agglomérats siliceux et une vitrification verdâtre en partie supérieure. Des porosités sont présentent sur l'ensemble de sa surface et sot de moyenne à petite dimension. De forme étirées et déchiquetées, ces porosités signalent une scorie peu fluide (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite équigranulaires et en latte fine ainsi qu'un second niveau de cristallisation de la fayalite en lattes parallèles et très fines au centre de l'individu. Ces observations signalent un refroidissement lent en périphérie et très lent au cœur de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Quelques rares petits grains métalliques sont visibles dans cette scorie mais leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.). Cette rareté indique néanmoins que l'opération était maitrisée et de bonne qualité puisqu'elle a engendré peu de perte de métal dans la scorie. En outre, la présence de structures circulaires en cours de dissolution ouvre le questionnement concernant l'interprétation de cette scorie. En effet, il est aisé d'y voir des battitures en cours de dissolution et donc de définir qu'il s'agit d'un culot de forge. La présence d'agglomérats siliceux appuie cette idée. Néanmoins, l'absence de wüstite ne nous permet pas de confirmer cette hypothèse. Enfin, des hydroxydes se trouvent au centre, autour des porosités.

Echantillon n° : CHAT107

Site : F107
Forêt de Châteauroux

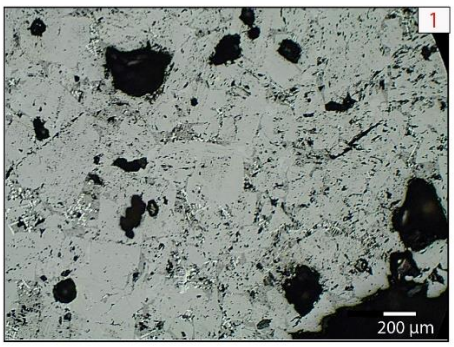
Nature de l'échantillon :
Fond de four

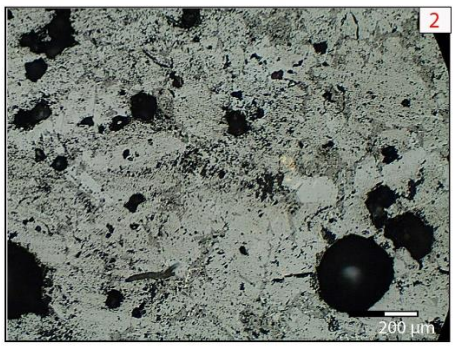
Macrographie : Fond de four, noir, rugueux et plano-convexe avec inclusions de paroi en argile orangé et d'oxydes de fer. La partie inférieure ressemble à une scorie écoulée en cordon aggloméré. La coupe est homogène, noire avec quelques inclusions d'oxydes de fer et d'agglomérats siliceux. Les porosités de forme étirées y sont peu nombreuses et de petites ou très grandes dimensions, principalement dans la partie supérieure.

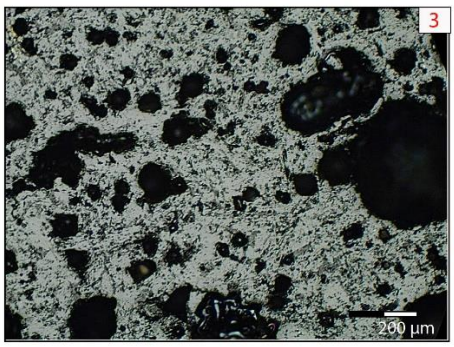
Dimensions : L = 19,8 cm l = 16,5 cm ep. = 4,5 cm
Masse : 0,8 kg

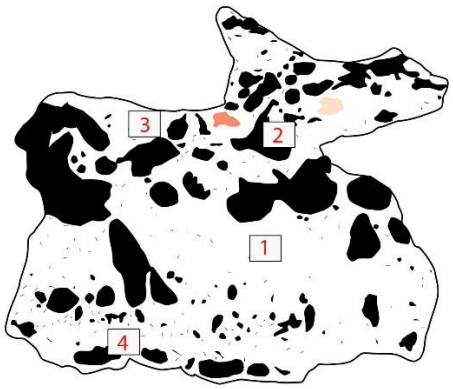


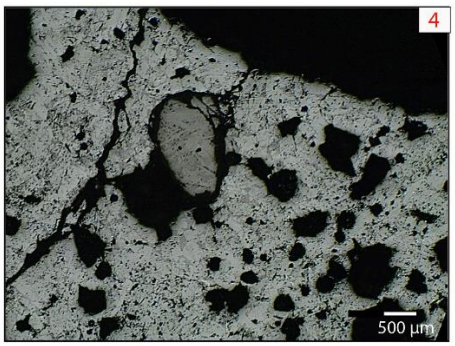
Observations Microscopiques











Légende

Porosité
Agglomérat siliceux
Oxydes de fer

0 2 cm

Micrographie : Matrice vitreuse avec fayalites équigranulaires et petites dendrites de wüstite (1) au centre de la scorie, elle est uniquement composée de fayalites équigranulaires dans la partie supérieure (2) et de verre dans la partie inférieure (3). Des inclusions de sables sont visibles par endroit (4).

Synthèse :

Ce fond de four très fin s'est largement dégradé lors de la manipulation, seul un fragment de la coupe est donc représenté sur le dessin ci-dessus. Il comprend une matrice noire, homogène avec quelques inclusions d'agglomérats siliceux et d'oxydes de fer en partie supérieure. Quelques porosités de forme étirées, de petites ou très grandes dimensions, sont présentes principalement dans la partie supérieure de la scorie. Ces caractéristiques une faible fluidité de la scorie lors de l'opération et la présence possible d'une arrivée d'oxygène dans la partie supérieure de la pièce (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalites équigranulaires et à de fines dendrites de wüstite dans la partie centrale, uniquement à de la fayalite équigranulaires dans la partie supérieure et comprend seulement une phase vitreuse dans la partie inférieure. Ces observations signalent un refroidissement lent en périphérie et très lent au cœur de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). En outre, un ajout siliceux a été réalisé lors de la réduction.

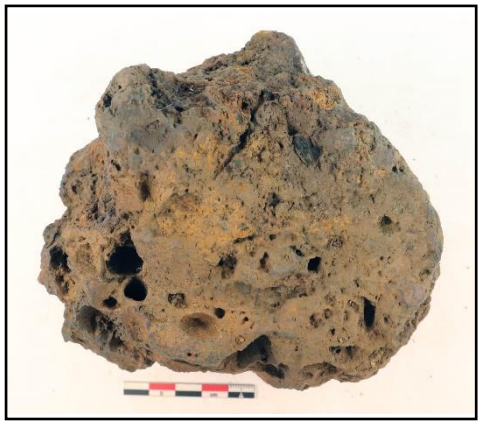
Echantillon n° : CHAT128

Site : F128
Forêt de Châteauroux

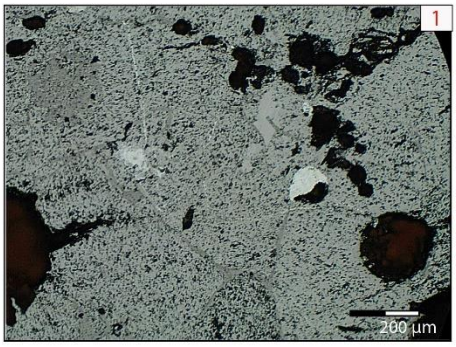
Nature de l'échantillon :
Fond de four

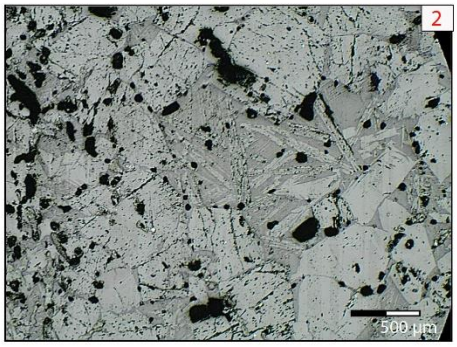
Macrographie : Fond de four, brun, dense et plano-convexe avec inclusions d'oxydes de fer et de charbons de bois. La partie superficielle est oxydée. La coupe est homogène, noire avec quelques inclusions d'oxydes de fer plutôt situées dans la partie droite. Les porosités sont nombreuses et réparties sur l'ensemble de la surface. Elles sont arrondies en périphérie et plus étirées au centre où elles sont également plus grandes.

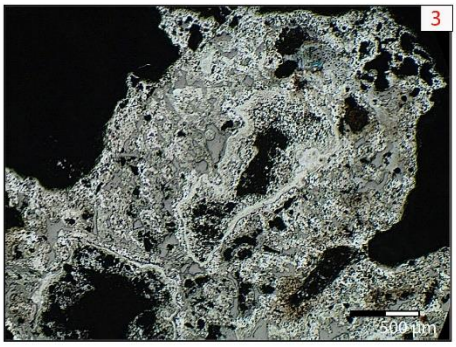
Dimensions : L = 15,3 cm l = 13,5 cm ep. = 5,3 cm
Masse : 1,3 kg

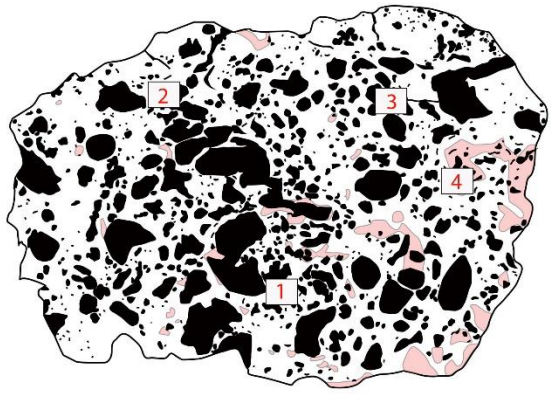


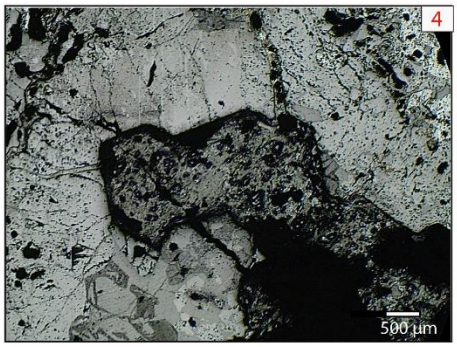
Observations Microscopiques











Légende
Porosités
Oxydes de fer

0 5 cm

Micrographie : Matrice vitreuse comprenant de la fayalite équigranulaires par endroit (1). Une seconde cristallisation avec de fines lattes de fayalites complète ces structures dans la partie supérieure de la scorie (2). Des hydroxydes sont visibles autour des porosités (3) ainsi que de la matière siliceuse par endroit (4).

Synthèse :

Ce fond de four comprend une matrice noire très homogène quelques inclusions d'agglomérats siliceux. Les porosités sont nombreuses et réparties sur l'ensemble de la surface. Elles sont arrondies en périphérie et plus étirées au centre où elles sont également plus grandes. Ces caractéristiques témoignent d'une faible fluidité de la scorie lors de l'opération (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalites équigranulaires avec une seconde cristallisation de fines lattes de fayalite dans la partie supérieure qui témoigne d'un refroidissement lent de la scorie en partie inférieure et très dans la partie supérieure (SERNEELS 1993 : 26). En outre, un ajout siliceux a été réalisé lors de la réduction.

Echantillon n° : CHAT187/188

Site : F187/188
Forêt de Châteauroux

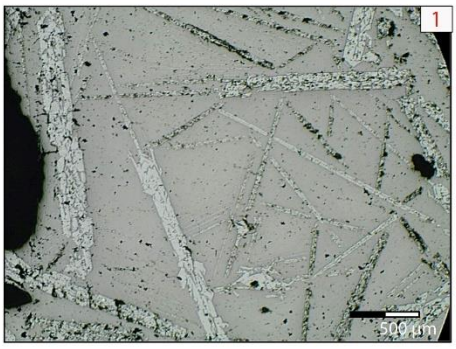
Nature de l'échantillon :
Fond de four

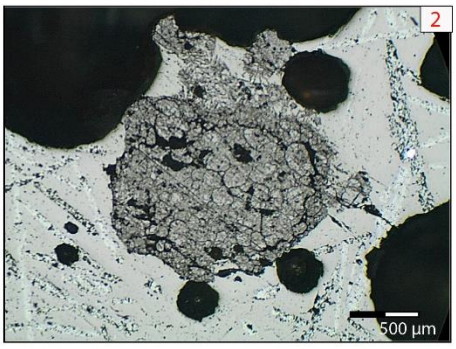
Macrographie : Fond de four, brun, dense et plano-convexe légèrement oxydé en surface. La coupe est hétérogène et vitrifiée de couleur verte à brune avec de nombreuses inclusions de matière sableuse orangée. Les porosités sont nombreuses et réparties sur l'ensemble de la surface mais plus particulièrement dans les zones vitrifiées (partie inférieure, extrémités et centre). Elles sont plutôt arrondies et parfois étirées.

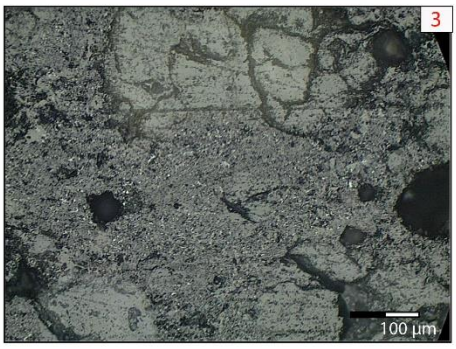
Dimensions : L = 12 cm l = 13 cm ep. = 8,5 cm
Masse : 1,8 kg

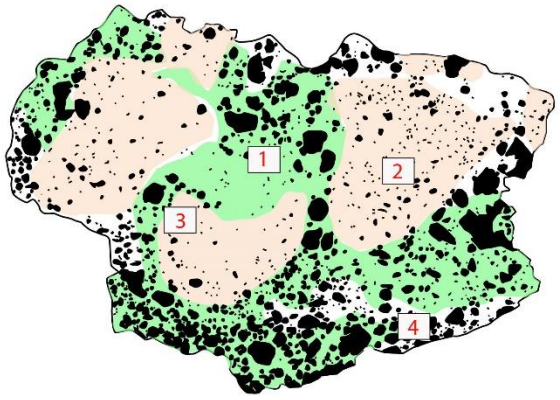


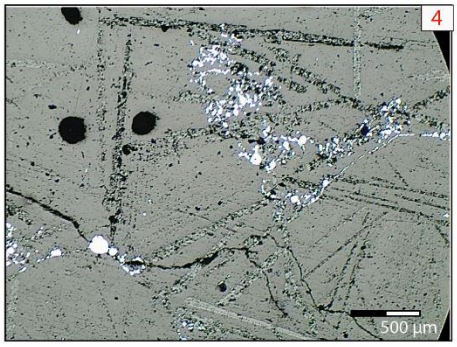
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse accompagnée de fine et large latte de fayalite de grandes dimensions, plus particulièrement dans les zones vitrifiées (1). On constate également la présence de matériaux sableux (2) associée à une phase vitreuse présentant des dendrites de wüstite de très petites dimensions (3). Enfin, des nodules et grains métalliques sont visibles par endroit (4).

Synthèse :

Ce fond de four hétérogène présente une matrice brune à verte siliceuse, raison pour laquelle il est très vitrifiée, notamment dans sa partie inférieure et centrale, probablement la plus proche de la source d'oxygène. On y observe des importantes inclusions d'agglomérats siliceux qui peut témoigner de l'utilisation d'ajout lors de la réduction. Les porosités sont présentes sur une large majorité de la surface, de forme arrondies elles sont de petites dimensions. Quelques-unes de taille moyenne sont toutefois rassemblées dans la partie inférieure, aux extrémité et dans la partie centrale de la scorie (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de larges lattes de fayalites visibles à l'œil nu, plus particulièrement dans les zones vitrifiées ce qui témoigne d'un refroidissement lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). La présence de très petites dendrites de wüstite dans les zones sableuses signale également une atmosphère réductrice. En outre, des nodules et grains métalliques sont visibles dans la partie inférieure de la scorie mais leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.).

Echantillon n° : CHAT085-2

Site : F085
Forêt de Châteauroux

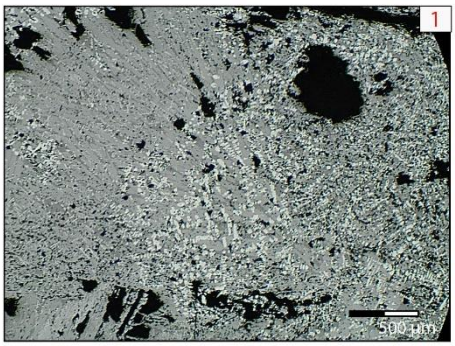
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

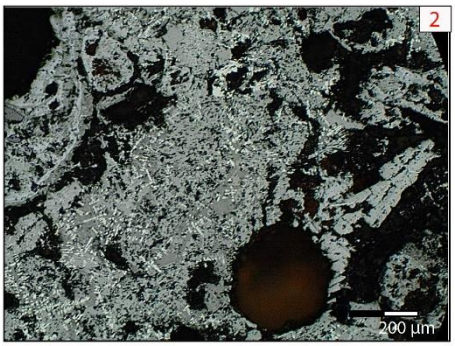
Macrographie : Scorie brune, dense, lourde et plano-convexe présentant des inclusions de pseudo-laitier et de silice. Coupe assez homogène, comprenant trois inclusions d'oxydes de fer importants entouré de silice. On observe quelques porosités arrondies et étirées dont la taille est plus grande au centre.

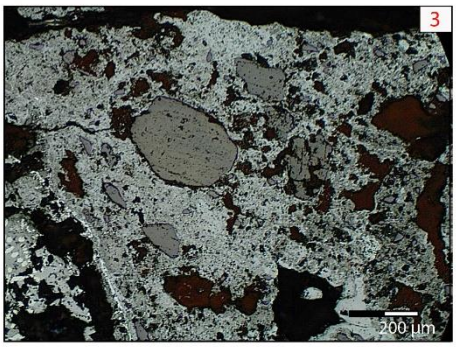
Dimensions : L = 12 cm l = 12 cm ep. = 4,1 cm
Masse : 0,4 kg

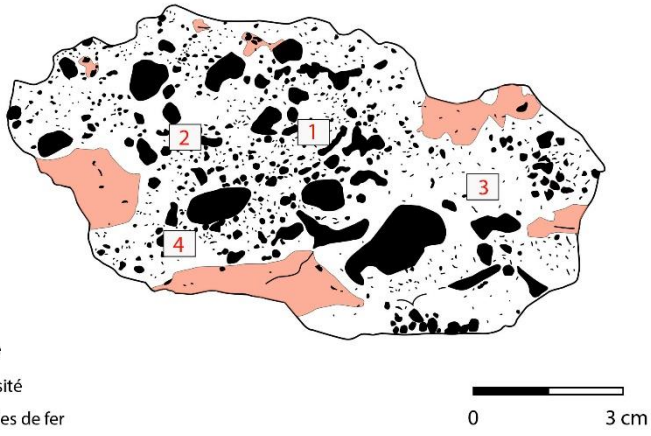


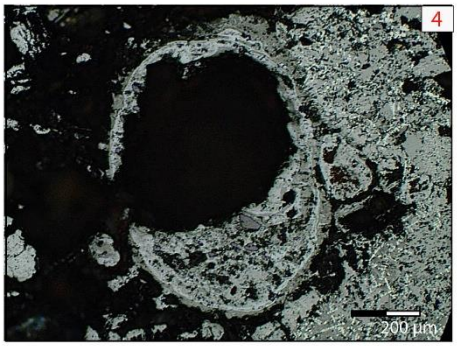
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice vitreuse comprenant de longues lattes de fayalites et de nombreuses dendrites de wüstite (1). La partie gauche comprend de plus fines dendrites de wüstite (2). Dans la partie droite, on peut observer la présence de magnétite pavimenteuse (3). Enfin, des battitures en cours de dissolution et des hydroxydes de fer sont répartis sur l'ensemble de la surface (4).

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice noire assez homogène dans laquelle est inclus plusieurs gros fragments d'oxydes de fer. Les porosités sont très importantes au centre de la scorie et de forme arrondie a étirées ce qui témoigne d'une scorie peu fluide (BERRANGER 2014 : 126). L'étude microscopique montre que ce culot comprend une phase vitreuse dans laquelle se trouve de longues lattes de fayalites ainsi que de très nombreuses dendrites de wüstite. Ces dernières sont de plus en plus petites lorsque l'on se dirige vers la partie inférieure et gauche de la scorie. Elles signalent un refroidissement très rapide initié vraisemblablement par la partie supérieure, zone la plus éloignée du foyer, et dans un milieu réducteur (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). Des grains de magnétites sont visibles à l'opposées, c'est-à-dire dans la partie droite de la scorie. Ces oxydes témoignent d'une atmosphère plus oxydante dans cette partie du foyer, probable car la scorie était en contact avec une aération. La présence de wüstite et de battitures en cours de dissolution vient appuyer l'interprétation de cet individu comme étant un culot de forge. Enfin, des hydroxydes sont observés sur toutes la surface de la pièce.

Echantillon n° : CHAT240

Site : F240
Forêt de Châteauroux

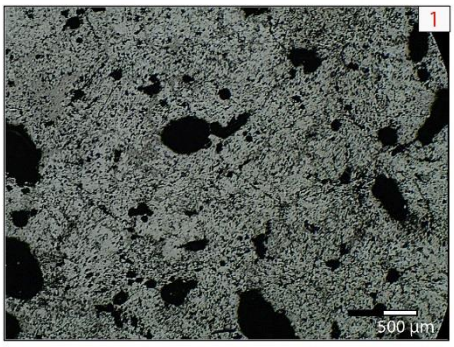
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

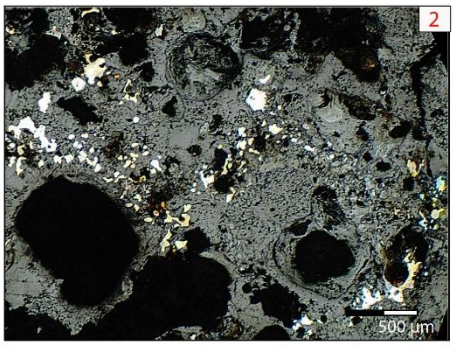
Macrographie : Culot de forge, noir, rugueux et plano-convexe légèrement oxydé en surface. La coupe est homogène, noire avec quelques inclusions d'oxydes de fer plutôt situées dans la partie droite. Les porosités sont nombreuses et réparties sur l'ensemble de la surface. Elles sont arrondies en périphérie et plus étirées au centre où elles sont également plus grandes.

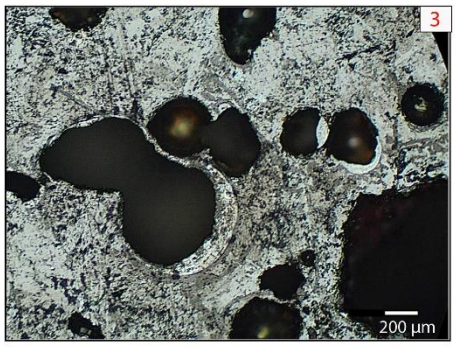
Dimensions : L = 9 cm l = 6,6 cm ep. = 3,4 cm
Masse : 0,2 kg

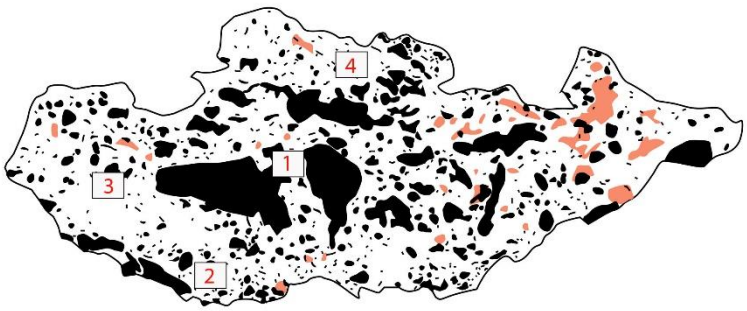


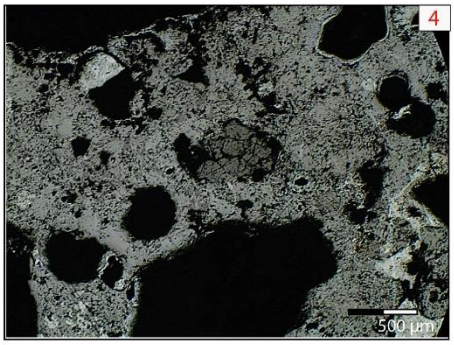
Observations Microscopiques











Légende
Porosité
Oxydes de fer

0 2 cm

Micrographie: Matrice composée presqu'uniquement d'une phase vitreuse (1). De la fayalite équigranulaires éparses est tout de même visible au centre de la scorie. On observe également des grains et nodules métalliques répartis sur l'ensemble de la surface (2), ainsi que des battitures en cours de dissolution (3) et quelques grains de silice (4). Enfin des hydroxydes sont visibles autour des porosités.

Synthèse :

Ce culot de forge comprend une matrice noire avec quelques inclusions d'oxydes de fer. Les porosités sont nombreuses et réparties sur l'ensemble de la surface. Elles sont arrondies en périphérie et plus étirées au centre où elles sont également plus grandes. Ces caractéristiques témoignent d'une faible fluidité de la scorie lors de l'opération (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend presqu'exclusivement une phase vitreuse uniquement associée à de la fayalites équigranulaires au centre ce qui témoigne d'un refroidissement moyen de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Quelques nodules et grains métalliques sont observées plus particulièrement dans la partie inférieure de la scorie mais leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.). Leur présence en faible quantité signale tout de même une opération maitrisée puisqu'elle a engendré peu de perte de métal dans la scorie. On observe également la présence de battitures en cours de dissolution qui appuient l'interprétation de cette scorie en tant que culot de forge. Des traces d'un ajout siliceux lors de la réduction est également visible ainsi que des hydroxydes autour des porosités.

Echantillon n° : CHAT546

Site : F546
Forêt de Châteauroux

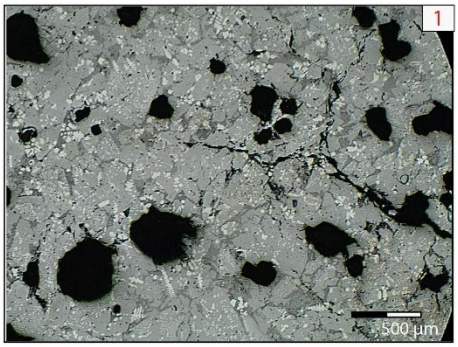
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

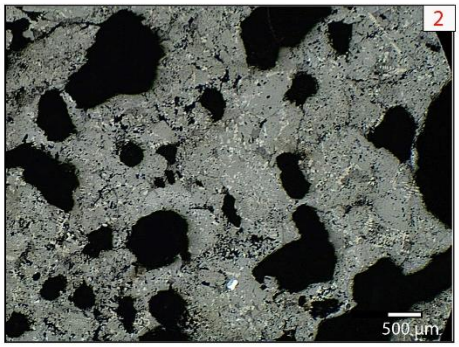
Macrographie : Culot de forge, brun, rugueux, plano-convexe et légèrement rougeâtre sur la face inférieure. La coupe est homogène, noire avec quelques inclusions d'oxydes de fer situées dans la partie centrale. Les porosités sont nombreuses mais de petites et moyennes dimensions. Les plus importantes sont concentrées au centre de la scorie. Elles sont de forme étirée ou déchiquetée.

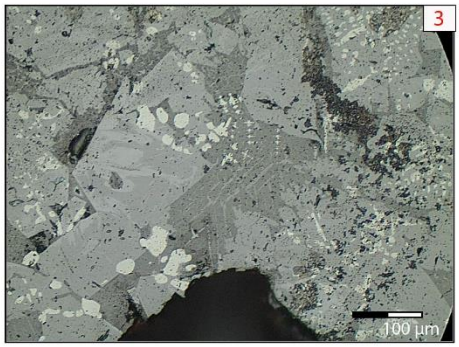
Dimensions : L = 15 cm l = 15 cm ep. = 4,5 cm
Masse : 1,3 kg

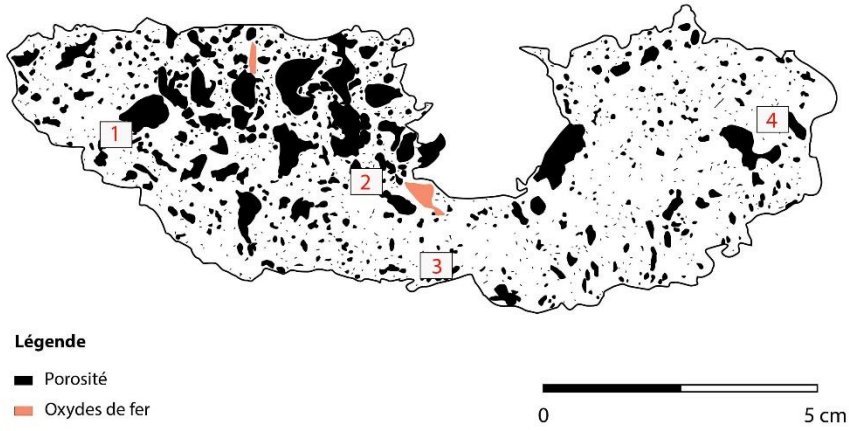


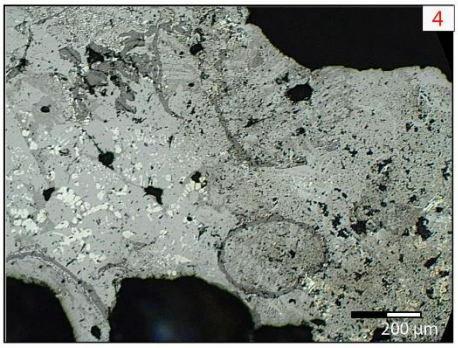
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice comprenant une phase vitreuse et une phase cristallisée avec de la fayalites équigranulaires associée à des dendrites de wüstite (1). Le centre de la scorie ne dispose que d'une phase vitreuse avec des dendrites de wüstite de plus petite dimension (2). Une seconde cristallisation est visible dans la partie inférieure avec de fines lattes de fayalite parallèles (3). Enfin, de nombreuses structures circulaires sont en cours de dissolution dans la partie droite de la scorie (4).

Synthèse :

Cette scorie dispose d'une matrice noire, homogène avec quelques inclusions d'oxydes de fer. Des porosités sont présentent sur l'ensemble de sa surface mais sont plus concentrées au centre et sont de moyenne à petite dimension. De forme étirées et déchiquetées, ces porosités signalent une scorie peu fluide lors de l'opération (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend majoritairement une phase vitreuse associée à de la fayalite équigranulaires et à des dendrites de wüstite largement représentées. Un second niveau de cristallisation est visible dans la partie inférieure de la scorie sous la forme de fines lattes de fayalite ce qui témoigne d'un refroidissement assez lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). La présence de battitures en cours de dissolution permet de l'identifier comme étant un culot de forge. Néanmoins, aucun de nodules ou grains métalliques n'est visible.

Annexe 5 : Fiches métallographies du site F155/1

5.1 Les fonds de four

_____

Echantillon n° : BOU1005-1

Site : F155/1
Forêt de Boulogne

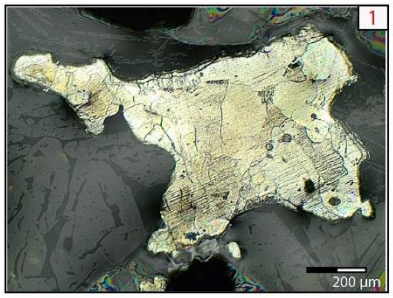
Nature de l'échantillon :
Fond de four

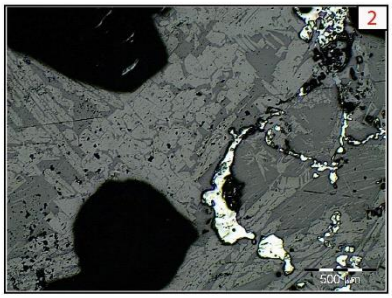
Macrographie : Fond de four plano-convexe brun dense avec inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer. Matrice de couleur verte. Des cristaux de fayalite sont visibles à l'œil nu (au moins 1 cm). Les porosités sont présentes sur l'ensemble de la surface mais sont plus grandes et nombreuses dans la partie supérieure et centrale. Les plus petites ont généralement une forme arrondie et les moyenne à grande sont informes ou étirées vers le centre et le haut. Au centre et sur l'ensemble du pourtour se trouvent des petits nodules métalliques informes de 5 mm et moins. Enfin, une fine couche d'oxydation est visible en surface.

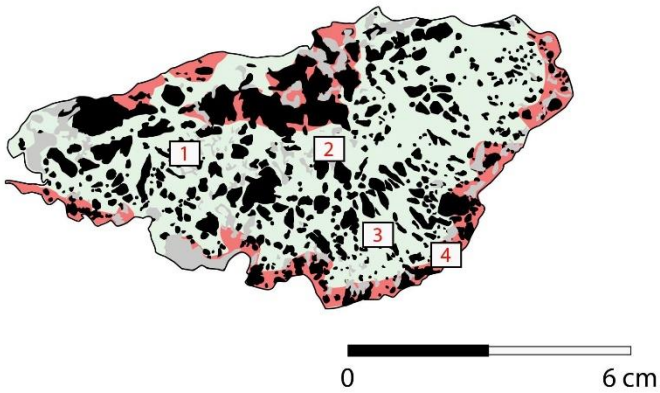
Dimensions : L = 10,2 cm l = 9,4 cm ep. = 4,7 cm
Masse : 0,541 g

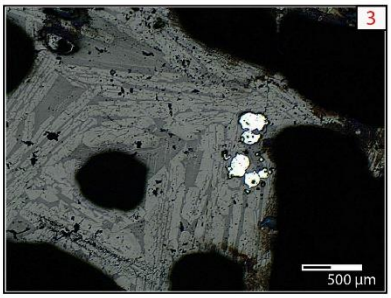


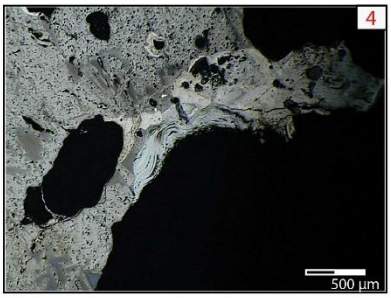
Observations Microscopiques











Micrographie : Nombreux nodules métalliques composée d'une structure ferritique divisée par des joins de grains noirs (1). Ces nodules se trouvent dans une phase vitreuse associée à une phase minérale comprenant de nombreuses longues lattes de fayalite. On y observe régulièrement des filaments métalliques (2) et des billes métalliques (3). Enfin, la superficie montre des traces d'altération sous forme d'hydroxyde de fer (4).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice verte très vitrifiée, homogène avec de nombreuses inclusions de nodules métalliques dans la partie superficielle et centrale. Des porosités sont présentes sur l'ensemble de la surface, elles sont nombreuses et de grandes dimensions dans la partie supérieure et centrale, témoignant d'une scorie peu fluide. En outre, elles présentent une forme étirée à déchiquetées ce qui signale une faible fluidité de la scorie lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de large latte de fayalites visible à l'œil nu, ce qui témoigne d'un refroidissement lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). De nombreux nodules anguleux, filaments et billes métalliques révèlent, après attaque au nital, une composition ferritique équiaxe légèrement carburée (moins de 0,02 % C) au centre et en périphérie du fond de four. Le métal produit est donc du fer doux. La forme de ces nodules montre que le fer était en cours de dissolution. Enfin, une légère hydroxydation est observée en périphérie.

Echantillon n° : BOU1005-2

Site : F155/1
Forêt de Boulogne

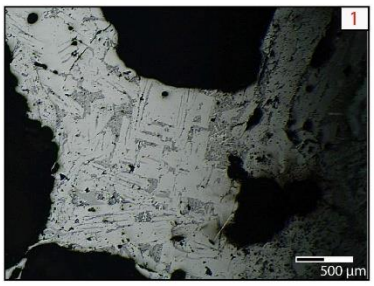
Nature de l'échantillon :
Fond de four

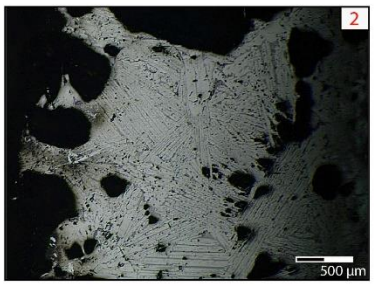
Macrographie : Fond de four plano-convexe, brun et dense avec des Inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer. Matrice de couleur grise aux extrémités, vert foncé dans la partie centrale et vert clair dans la partie inférieure. Des cristaux de fayalites sont visibles à l'œil nu (au moins 1 cm) dans les parties vertes. Des porosités sont présentes sur l'ensemble de la surface, elles sont plus nombreuses et concentrées dans la partie centrale. Les plus grandes se situent aux extrémités supérieures de la scorie. Généralement de forme arrondie, certaines sont étirées et orientées vers le centre et la partie inférieure de la scorie. Dans la partie supérieure, se trouve un alignement de charbon de bois.

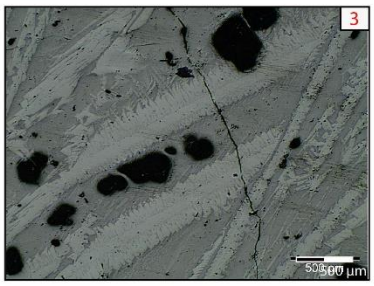


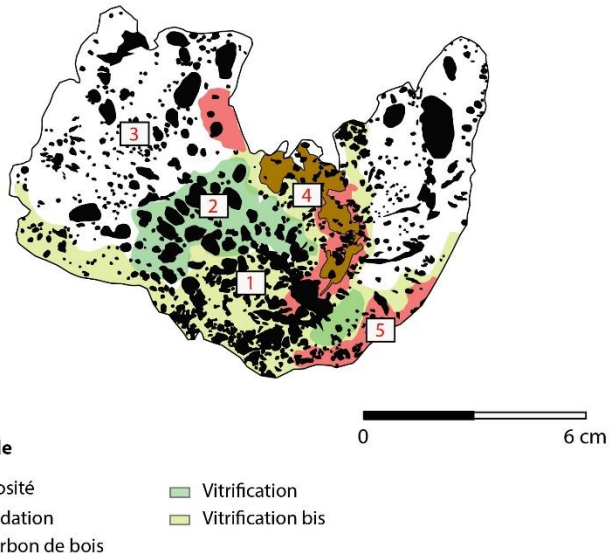
Dimensions : L = 13,2 cm l = 10,1 cm ep. = 7 cm
Masse : 1,203 g

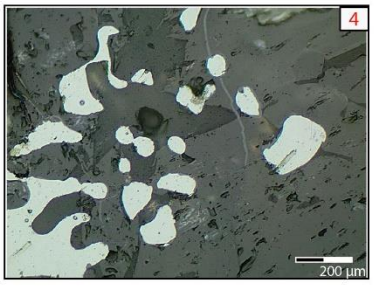
Observations Microscopiques

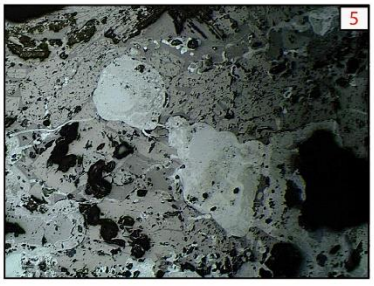












Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de la fayalite équigranulaires (1), en lattes fines et nombreuses (2) et en cristaux tabulaires (3) ce qui signale un refroidissement très hétérogène de la scorie. Un second niveau de fines lattes fayalitiques est visible au centre. Des nodules métalliques anguleux de moins de 5 mm sont visibles dans la partie supérieure de la scorie (4). Enfin, la superficie et le pourtour des charbons montrent des traces d'altération sous forme d'hydroxyde de fer (5).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée bicolore, grise en périphérie et verdâtre au centre. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). Des inclusions de charbon de bois sont visibles dans la partie supérieure ainsi que des nodules métalliques anguleux en périphérie et au centre. Des porosités se trouvent sur l'ensemble de la surface, elles sont plus nombreuses et concentrées dans la partie centrale. Les plus grandes se situent aux extrémités supérieures de la scorie. Généralement de forme arrondie, certaines sont étirées et orientées vers le centre et la partie inférieure de la scorie. Cette observation signale une fluidité assez importante de la scorie lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique présente une matrice composée essentiellement d'une phase minérale comprenant de la fayalite équigranulaires dans la partie centrale et inférieure, en fines et nombreuses lattes dans la partie centrale et en cristaux tabulaires aux extrémités. Cette différence de cristallisation signale un refroidissement hétérogène de la scorie. Il apparait ainsi de plus en plus rapide lorsque l'on s'éloigne du cœur de la scorie. Ces cristaux sont toutefois visibles à l'œil nu, ce qui témoigne toutefois d'un refroidissement général assez lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Quelques filaments et grains métalliques sont visibles mais leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.). Enfin, une légère hydroxydation est observée en périphérie.

Echantillon n° : BOU1005-3

Site : Ferrier F155/1
Forêt de Boulogne

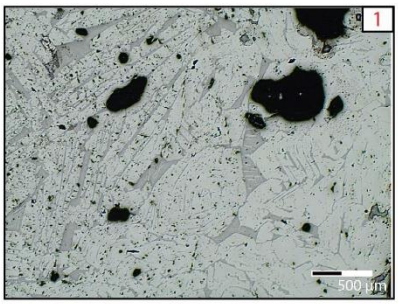
Nature de l'échantillon :
Fond de four

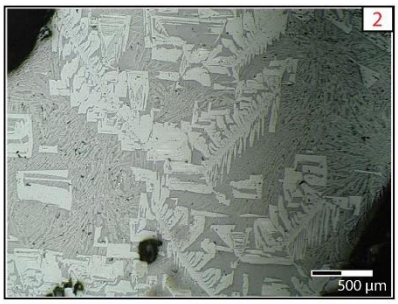
Macrographie : Fond de four plano-convexe, rugueux avec inclusions de charbon de bois. Matrice mixte, vert foncé dans la partie centrale et vert clair dans la partie inférieure. La partie inférieure est plus dense avec des cristaux de fayalite visibles à l'oeil nu (sup 1 cm). La partie supérieure comprend de nombreuses porosités de forme arrondie ou étirée. Plusieurs petits nodules métalliques allant de 1 cm à moins sont visibles dans la partie supérieure.

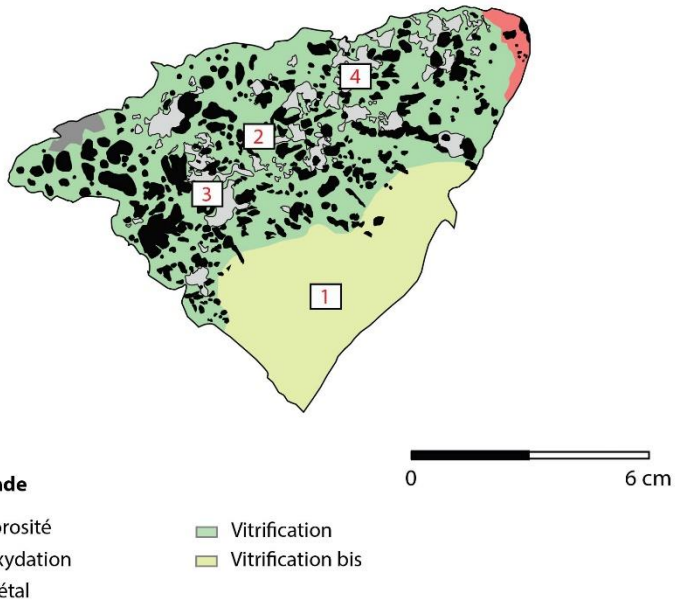
Dimensions : L = 11,3 cm l = 8,8 cm ep. = 6,7 cm
Masse : 1,203 g

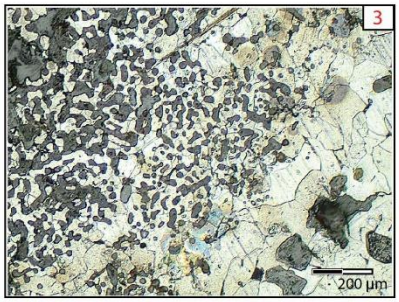


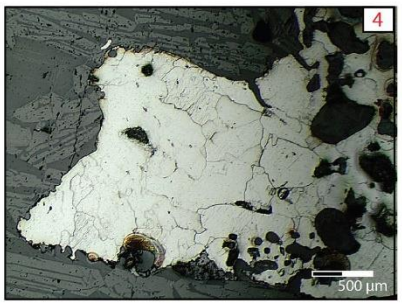
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de la fayalite équigranulaires (1), en lattes plus ou moins fine et en cristaux tabulaires (2). Un second niveau de cristallisation est visible sous la forme de très fines lattes de fayalite (2). La partie supérieure de la scorie présentent des nodules et filaments métalliques aux contours anguleux (3 et 4). Après attaque au réactif Nital, ces nodules ont une composition ferritique, légèrement carburée en périphérie (joints de grains bien visibles) (moins de 0,02 % C). Enfin, la partie supérieure est localement hydroxydée.

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée bicolore, dense et verte claire dans la partie inférieure et poreuse et foncée en partie supérieure. Cette coloration verte est probablement engendrée par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). De nombreuses porosités sont visibles uniquement dans la partie supérieure. Elles sont de petites à moyennes dimensions et sont de forme arrondies à étirées. Ces observations signalent que la scorie était dans un état de très grande fluidité, puis sa viscosité est devenue légèrement plus importante dans un second temps (BERRANGER 2014 : 126). De nombreux nodules métalliques anguleux, visibles uniquement dans la partie supérieure, confirment l'idée selon laquelle cette phase de la réduction a connu une scorie assez fluide et des conditions suffisamment importantes pour que le métal commence à se disloquer. En outre, l'absence de ces nodules dans la partie inférieure signale que lors de cette phase de production les conditions étaient assez bonnes pour que le métal soit totalement réduit. On observe donc un changement de technique entre ces deux phases. L'atmosphère dans le four est modifiée est la scorie formée l'est également. On peut alors se demander si ce changement était volontaire, ou non.

L'étude microscopique montre que cette scorie est composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de la fayalite équigranulaires dans la partie inférieure, témoignant d'un refroidissement lent, et de fayalite en latte et en cristaux tabulaires dans la partie supérieure, décrivant un refroidissement beaucoup plus rapide. Cette zone présente également un second niveau de cristallisation en lattes fine. Cette différence de cristallisation signale un refroidissement hétérogène de la scorie. Il apparait ainsi de plus en plus rapide lorsque l'on s'éloigne du cœur de la scorie. Les cristaux de fayalite sont toutefois visibles à l'œil nu, ce qui témoigne d'un refroidissement général assez lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Les nodules métalliques observés dans la partie supérieure sont pour certains en cours d'agglomération. Leur structure est ferritique, soit composée de fer doux où le carbone est très peu présent (moins de 0,02 %). Enfin, une légère hydroxydation est observée en périphérie.

Echantillon n° : BOU1005-4

Site : F155/1
Forêt de Boulogne

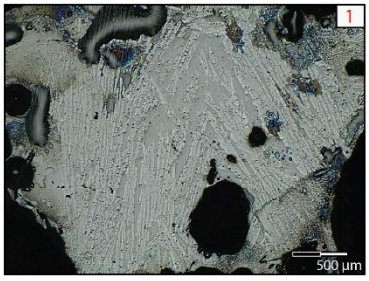
Nature de l'échantillon :
Fond de four

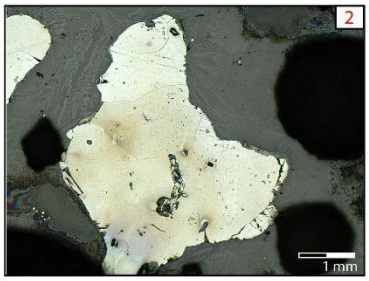
Macrographie : Fond de four plano-convexe, brun, dense avec Inclusions de charbons de bois et d'oxydes de fer. Matrice verte claire dans la partie supérieure et verte foncée dans le reste de la scorie. Des cristaux de fayalite sont visibles à l'œil (au moins 1 cm). Des porosités sont présentes sur l'ensemble de la surface mais sont plus grandes et nombreuses dans la partie centrale. Les plus petites ont généralement une forme arrondie et les moyenne à grande sont étirées vers le centre et le haut de la scorie. Des nodules métalliques informes de 5 mm et moins sont observés au centre et sur le pourtour de la scorie. Enfin, une fine couche d'oxydation se trouve en périphérie inférieure.

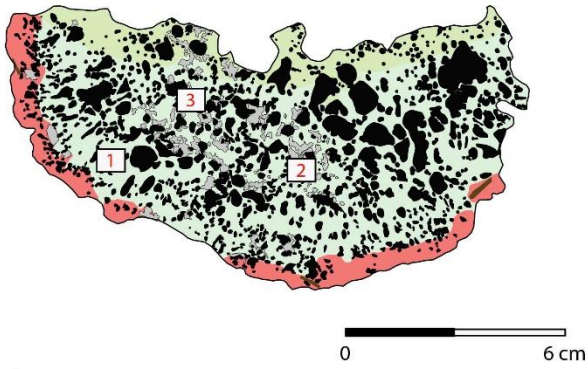
Dimensions : L = 13,1 cm l = 11,5 cm ep. = 6 cm
Masse : 1,164 g



Observations Microscopiques









Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de la fayalite en lattes fines et allongées (1). Un second niveau de cristallisation de fayalite en latte fines est visible (2). Des nodules métalliques anguleux se trouvent au centre de la scorie (2). Après attaque au réactif Nital, on constate qu'ils disposent d'une structure ferritique peu carburée. Dans la partie supérieure leur composition est ferrito-perlitique (acier doux) (3). Enfin, la partie inférieure de la scorie comprend des hydroxydes.

Synthèse :

Fond de four brun, dense, à la matrice mixte, verte claire en partie supérieure et verte foncée dans le reste de la scorie. Cette coloration verte est probablement engendrée par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). De nombreux nodules métalliques anguleux sont visibles dans la partie supérieure et centrale de la scorie ainsi que de nombreuses porosités sur l'ensemble de la coupe. Les plus petites ont généralement une forme arrondie et les moyenne à grande, plus nombreuses et de taille plus importante dans la partie centrale, sont étirées vers le centre et le haut de la scorie. Ce phénomène témoigne d'une fluidité assez faible (BERRANGER 2014 : 126). Enfin, une légère hydroxydation est observée en périphérie.

Ce fond de four comprend une phase vitreuse et une phase minérale composée de fayalite en fines et longues lattes visibles à l'œil nu. Un second niveau de cristallisation est également observé. Ces observations signalent un refroidissement très lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Les nodules métalliques visibles disposent d'une composition hétérogène. Au centre, ils disposent d'une structure ferritique caractéristique d'un fer doux (moins de 0,02 % de carbone) alors que dans la partie supérieure ils comprennent une structure ferrito-perlitique définissant un acier hypoeutechtoïde (teneur en carbone comprise entre 0,02% et 0,85%). Le métal produit est donc hétérogène en fonction de sa localisation dans le four. Il est toutefois globalement composé d'une structure peu carburée. Enfin, une légère hydroxydation est observée en périphérie.

Echantillon n° : BOU1005-6

Site : F155/1
Forêt de Boulogne

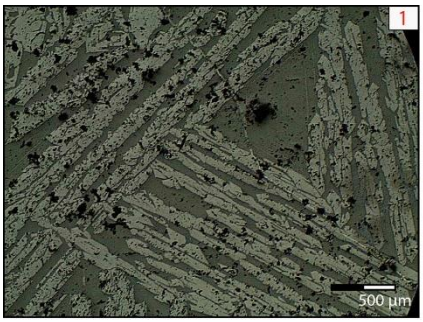
Nature de l'échantillon :
Fond de four

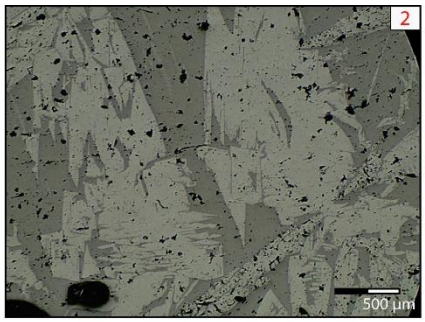
Macrographie : Fond de four brun, dense comprenant des inclusions d'oxydes de fer. Matrice dense et homogène de couleur vert sombre. Des cristaux de fayalite sont visibles à l'œil nu ainsi que de larges nodules métalliques principalement situés au centre. Des porosités de moyennes dimensions se trouvent sur l'extrémité gauche de la coupe. Elles ont une forme arrondie à étirée. Enfin, quelques fissures sont visibles dans la partie droite.

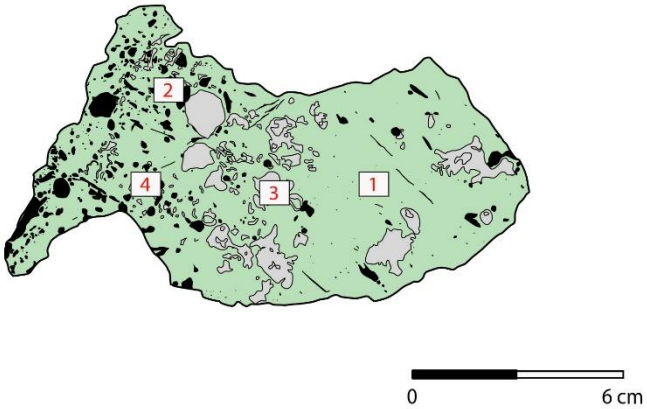
Dimensions : L = 10,8 cm l = 7,1 cm ep. = 6,7 cm
Masse : 0,71 g

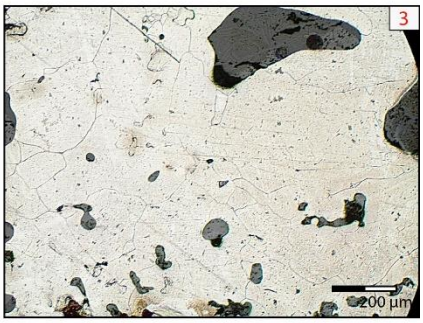


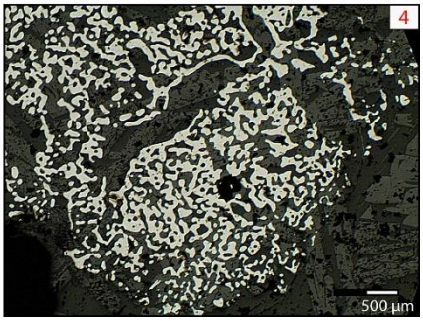
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase cristallisée comprenant de longues et fines lattes de fayalite dans la partie centrale/droite (1) et des cristaux équigranulaires dans la partie gauche associés à un second niveau de cristallisation sous forme de fines lattes (2). On observe également des nodules métalliques anguleux, caractérisés par une structure ferritique au joins de grain peu marqué (3) et des agglomérats métalliques constitués de nombreux grains en cours d'assemblage (4).

Synthèse :

Fond de four disposant d'une matrice vitrifiée dense et verte. Cette coloration verte est probablement engendrée par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). Très peu de porosités sont visibles, elles sont concentrées dans la gauche de la coupe. De taille moyennes à petites, elles sont de forme arrondies à étirées. Ces observations signalent une grande fluidité de la scorie lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Au vu de la répartition des porosités, il est probable que la source d'oxygène était située dans la partie gauche de la scorie. De très nombreux nodules métalliques de grandes dimensions (2 à 3 cm) sont visibles dans la partie centrale et signale une réduction pas totalement efficace. Leur forme anguleuse et les grains en cours d'agglomérations témoignent toutefois qu'ils ont été figés alors qu'ils étaient en train de se solidariser.

L'étude microscopique montre que cette scorie est composée d'une phase vitreuse et d'une phase minérale comprenant de la fayalite en longues et fines lattes la partie centrale/droite, témoignant d'un refroidissement moyen, et des cristaux équigranulaires dans la partie gauche associés à un second niveau de cristallisation sous forme de fines lattes, signalant cette fois un refroidissement lent (SERNEELS 1993 : 26). On constate ainsi un refroidissement hétérogène de la scorie, plus rapide dans la partie centrale et droite que dans la partie gauche. Enfin, les nodules métalliques présentent tous une structure ferritique caractéristique d'un fer doux (moins de 0,02 % de carbone).

Echantillon n° : BOU1005-7

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

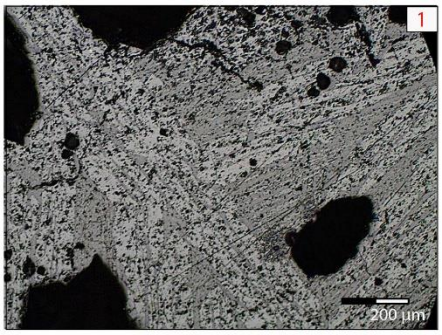
Nature de l'échantillon :
Fond de four

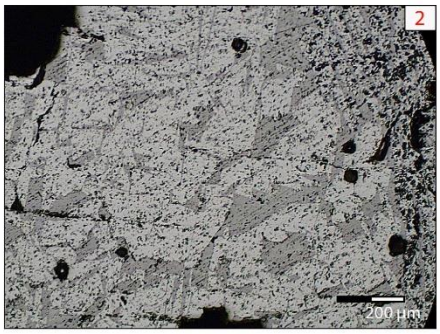
Macrographie : Fond de four brun, dense et vitrifié. Matrice vacuolaire de couleur grise au centre, et verte en périphérie. Des cristaux de fayalites sont visibles dans les zones vertes (au moins 1 cm). Les porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface. Elles se trouvent principalement dans la partie inférieure où elles sont de plus grandes dimensions, ainsi qu'au centre. Les plus importantes sont de forme étirées à déchiquetées alors que les plus petites sont arrondies.

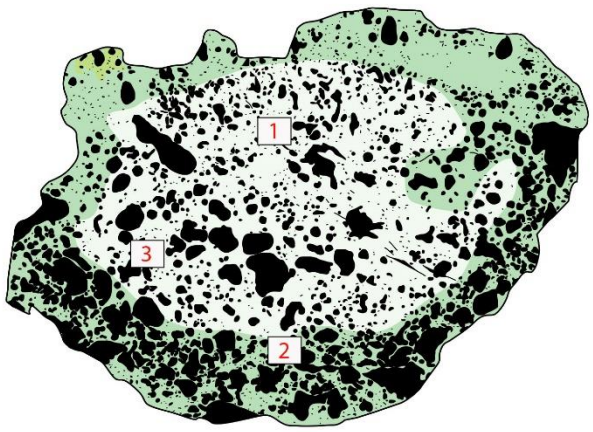
<u>Dimensions :</u> L = 8,6 cm l = 4,5 cm ep. = 5,8 cm
<u>Masse :</u> 0,293 g

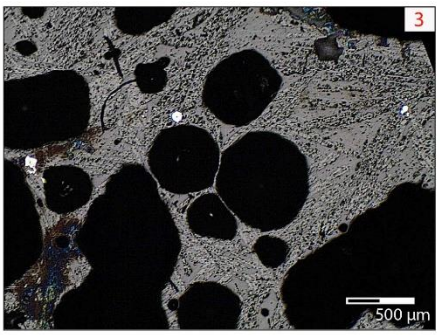


Observations Microscopiques









Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de larges lattes de fayalites au centre et dans la partie supérieure de la scorie, ainsi qu'un second niveau de cristallisation avec de fines lattes (1) et des cristaux équigranulaires dans la partie inférieure (2). Quelques grains métalliques sont visibles par endroit (3).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée mixte, de couleur noire au centre et verte en périphérie. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). Des porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface, toutefois elles sont plus nombreuses dans la partie inférieure et centrale. Les plus grandes sont de forme étirée à déchiquetée, ce qui signale une scorie ayant une viscosité importante lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Les plus petites, principalement en partie supérieure, sont de forme arrondie. Ces observations montrent que la matière était plus fluide en partie supérieure que dans le centre et la partie inférieure de la scorie.

L'observation microscopique montre une grande homogénéité de la matrice. Cette dernière comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de grandes lattes de fayalites associées à un second niveau de cristallisation, sous forme de lattes fines dans la partie périphérique verte. La partie noire située, au centre, présente quant à elle de la fayalite en cristaux équigranulaires. Ces indices témoignent d'un refroidissement très lent de la scorie mais plus rapide en périphérie, dans la partie verte, qu'au centre, dans la partie noire. Le refroidissement de la scorie est donc hétérogène. Enfin, seuls quelques grains métalliques sont visibles, ce qui témoigne d'une bonne gestion de la réduction.

Echantillon n° : BOU1005-8

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

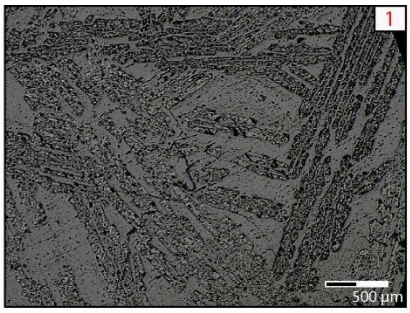
Nature de l'échantillon :
Fond de four

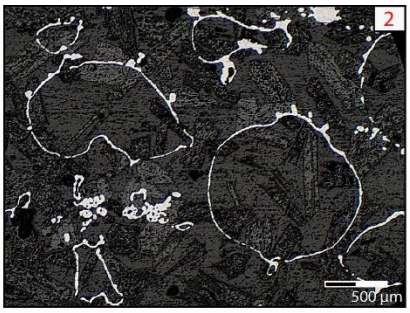
Macrographie : Fond de four brun, rugueux et vitrifié. Matrice vacuolaire de couleur verte à grise. Des cristaux de fayalites sont visibles dans les zones vertes (au moins 1 cm). Les porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface. Elles sont de plus grandes dimensions à droites où elles ont une forme étirée, qu'à gauche où elles sont plus petites et de forme étirées à arrondies. Des traces d'oxydation sont visibles dans la partie supérieure.

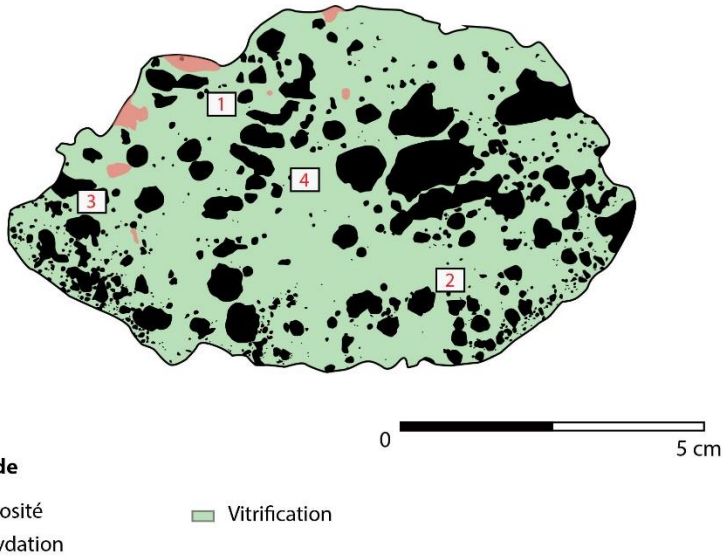
Dimensions : L = 11,4 cm l = 9,7 cm ep. = 6,3 cm
Masse : 0, 872 g

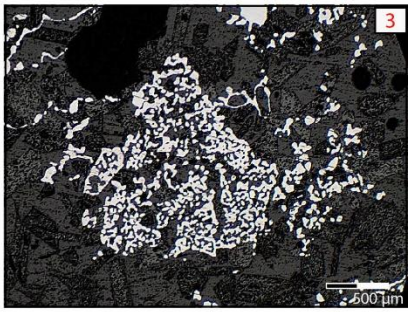


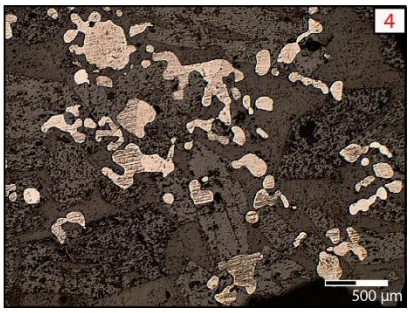
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de grandes lattes de fayalites et de la fayalite équigranulaires (1). Des grains métalliques et des filaments de forme parfois anguleuse sont visibles par endroit (2), ainsi que des nodules en cours de dissolution (3). L'attaque Nital a révélé une structure ferrique très peu carburée (4).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée de couleur verte, phénomène probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). Des porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface, elles sont de plus grandes dimensions à droites où elles ont une forme étirée, qu'à gauche où elles sont plus petites et de forme étirées à arrondies. Ces observations signalent signale une scorie assez fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). En outre, il est possible qu'il y avait une arrivée d'oxygène à droite de la scorie.

L'observation microscopique montre une grande homogénéité de la matrice. Cette dernière comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de grandes lattes de fayalites et de fayalite équigranulaires. Ces indices témoignent d'un refroidissement lent de la scorie, bien que certains cristaux sont visibles à l'œil. En outre, des nodules et grains métalliques sont présents. De forme anguleux, certains sont figés en cours de dissolution. Ces nodules métalliques présentent tous une structure ferritique caractéristique d'un fer doux (moins de 0,02 % de carbone). Enfin des hydroxydes sont visibles dans la partie supérieure.

Echantillon n° : BOU1005-9

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

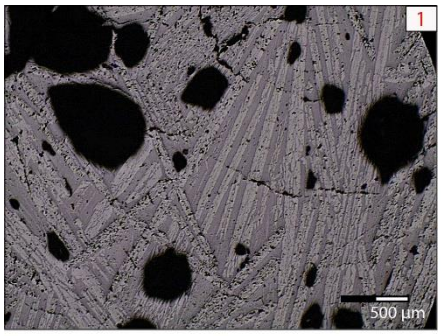
Nature de l'échantillon :
Fond de four

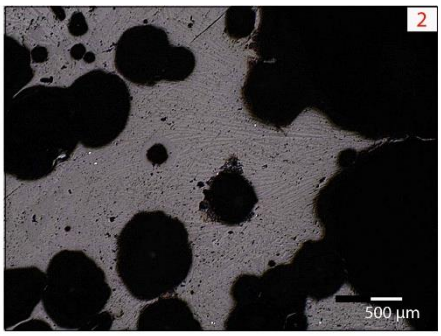
Macrographie : Fond de four brun, dense et vitrifié. Matrice vacuolaire vitrifiée de couleur verte en partie inférieure et grise en partis supérieure et centrale. Les porosités sont surtout concentrées dans la partie inférieure et centrale. Elles sont de grande à moyenne dimension dans la partie inférieure et présentent une forme étirée à déchiquetées. Elles sont plus éparses, plus petites et de forme arrondie dans la partie supérieure.

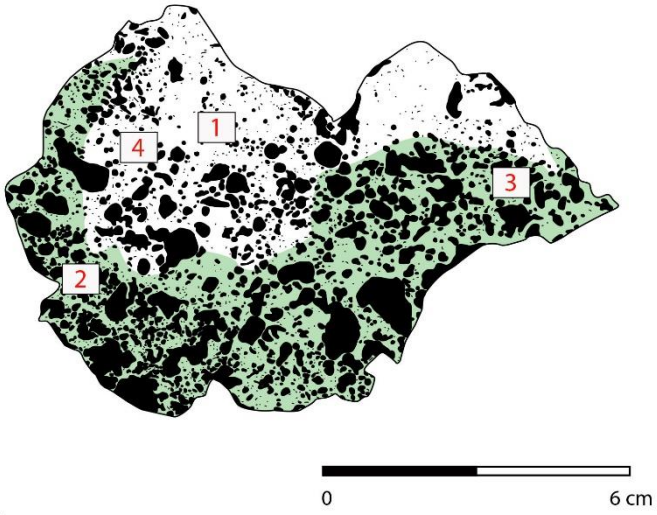


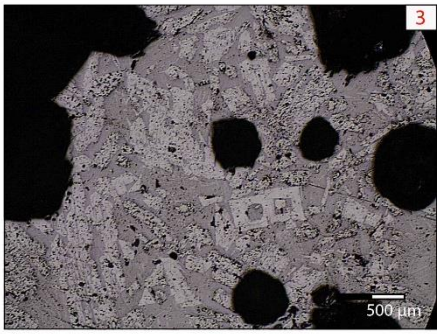
Dimensions : L = 10,7 cm l = 8,5 cm ep. = 5,8 cm
Masse : 0, 441 g

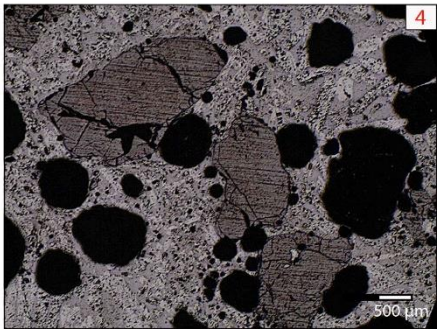
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de longues lattes de fayalites au centre et dans la partie supérieure de la scorie, ainsi qu'un second niveau de cristallisation avec de fines lattes (1). Dans la partie inférieure gauche, les cristaux de fayalites sont plus petits et fins associés à de rare grains métalliques (2). Dans la partie inférieure droite, on observe des cristaux équigranulaires (3). Enfin, quelques grains de silice sont visibles par endroit dans la partie supérieure (4).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée mixte, de couleur noire dans la partie supérieure et centrale et dans la partie inférieure et périphérique. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). Des porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface, toutefois elles sont plus nombreuses dans la partie inférieure et centrale. Les plus grandes sont de forme étirée à déchiquetée, ce qui signale une scorie ayant une viscosité importante lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Les plus petites, principalement en partie supérieure, sont de forme arrondie. Ces observations montrent que la matière était plus fluide en partie supérieure que dans le centre et la partie inférieure de la scorie.

L'observation microscopique montre une grande homogénéité de la matrice. Cette dernière comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de grandes lattes de fayalites associées à un second niveau de cristallisation, sous forme de lattes fines dans la partie noire, supérieure et centrale. La partie verte noire située présente quant à elle de la fayalite en cristaux équigranulaires à droite et très faiblement cristallisée à gauche. Ces indices témoignent d'un refroidissement hétérogène de la scorie. En effet, il semble qu'il ait refroidit plus rapidement à droite, puis au centre avant de terminer par la gauche. Enfin, seuls quelques grains métalliques sont visibles, ce qui témoigne d'une bonne gestion de la réduction.

Echantillon n° : BOU1010

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

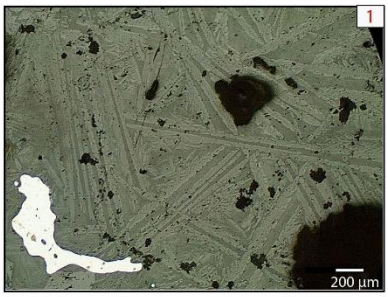
Nature de l'échantillon :
Fond de four

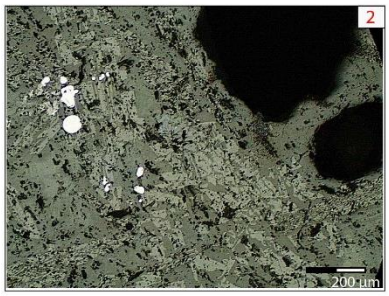
Macrographie : Fond de four brun, dense et vitrifié. Matrice vacuolaire de couleur grise au centre, verte foncée dans la partie inférieure et verte claire dans la partie supérieure. Des cristaux de fayalites sont visibles dans les zones vertes (au moins 1 cm). Les porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface. Elles se trouvent principalement en périphérie, sont de forme arrondies et étirées, de grandes à petites dimensions et sont orientées vers le centre de la scorie. Des petits nodules métalliques anguleux sont visibles au centre et en périphérie de la scorie.

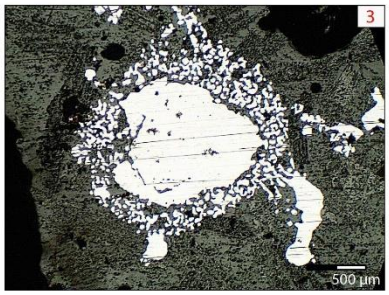
Dimensions : L = 16,5 cm l = 9,7 cm ep. = 3,3 cm
Masse : 0,592 g

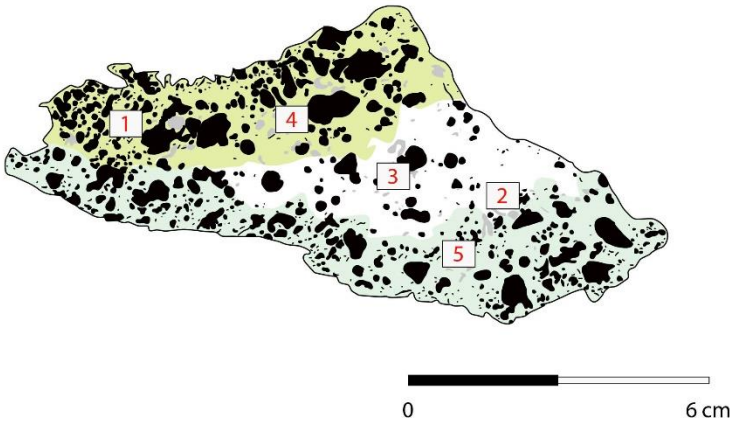


Observations Microscopiques

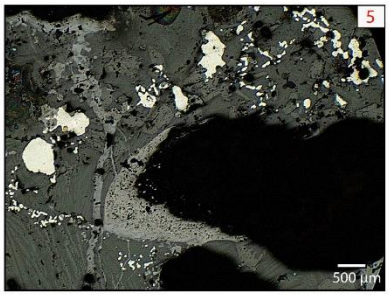












Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de grandes lattes de fayalites, ainsi que quelques rares cristaux tabulaires, dans les parties vertes avec un second niveau de cristallisation sous forme de fine lattes (1) et des cristaux équigranulaires dans la partie noire (2). Des nodules métalliques sont en cours de dissolution dans la partie centrale (3), ainsi que quelques filaments. L'ensemble du métal est constitué d'une structure ferritique très peu carburée (4). Des hydroxydes se trouvent autour des porosités (5).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée mixte vitrifiée, de couleur noire au centre et verte en périphérie. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). De nombreux nodules anguleux et filaments métalliques sont visibles au centre et en périphérie de la scorie. Ce qui signale que la réduction n'était pas pleinement efficace. Des porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface, toutefois elles sont plus nombreuses en périphérie. Elles sont de forme arrondies, voire étirées, de grandes à petites dimensions et sont orientées vers la partie supérieure droite de la scorie. Ces observations montrent que la matière était plus fluide au centre qu'en périphérie lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126).

Ce fond de four comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de grandes lattes de fayalites associées à un second niveau de cristallisation sous forme de lattes fines dans les parties vertes. Cette partie présente également quelques rares cristaux tabulaires. La partie noire située au centre, comprend quant à elle de la fayalite en cristaux équigranulaires. Ces indices témoignent d'un refroidissement très lent de la scorie mais plus rapide en périphérie, dans la partie verte, qu'au centre, dans la partie noire. Le refroidissement de la scorie est donc hétérogène. En outre, les nodules métalliques présentent une forme anguleuse et certains sont figés en cours d'agglomération en une masse plus importante. Ces nodules métalliques présentent tous une structure ferritique caractéristique d'un fer doux (moins de 0,02 % de carbone). Enfin des hydroxydes sont visibles autour des porosités.

Echantillon n° : BOU1013

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

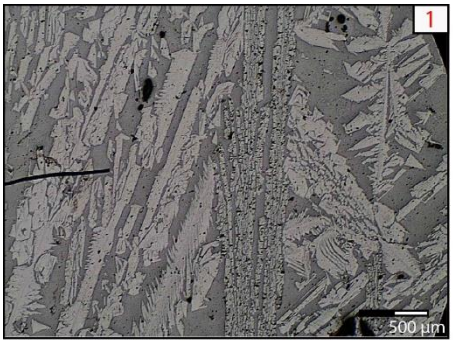
Nature de l'échantillon :
Fond de four

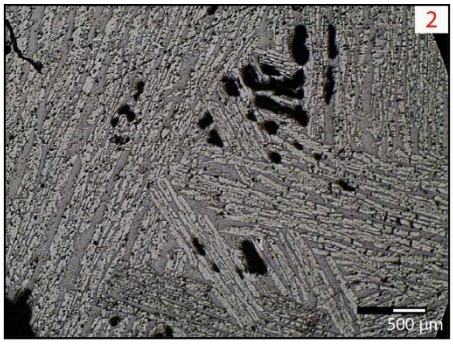
Macrographie : Scorie plano-convexe, brune, dense et vitrifiée. Matrice vacuolaire de couleur verte en partie inférieure et latérale et grise en partie supérieure. Des cristaux de fayalite sont visibles à l'œil (au moins 1 cm) dans la zone verte. Les porosités sont presqu'uniquement présentent dans la partie inférieure de la scorie. La partie supérieure, grise, est donc assez dense. Ces porosités sont de petites à moyennes dimensions et sont de forme étirées à déchiquetées. Quelques zones oxydées sont visibles en périphérie.

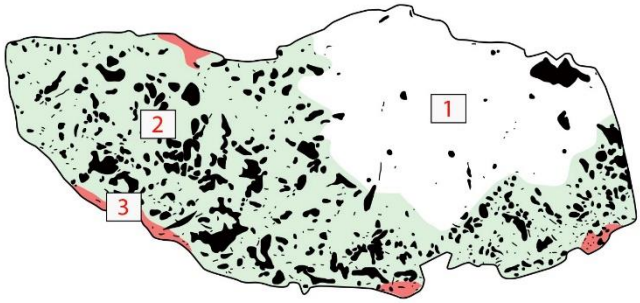
<u>Dimensions :</u> L = 10,6 cm l = 8,1 cm ep. = 3,4 cm
<u>Masse :</u> 0, 478 g

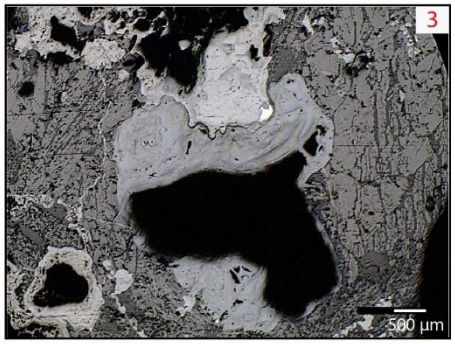


Observations Microscopiques









Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de fines lattes de fayalite associées à des cristaux tabulaires dans la partie supérieure droite (1). La partie inférieure, verte, comprend uniquement de longues et fines lattes de fayalite (2). Enfin, des hydroxydes en ruban sont visibles par endroit (3).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée mixte, de couleur verte en partie inférieure et latérale et grise en partie supérieure. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). Les porosités se trouvent uniquement dans la zone verte, sont de petites à moyennes dimensions et sont de forme étirées à déchiquetées. Ces observations signalent une scorie à la viscosité peu élevée en partie gauche et plus encore en partie droite (BERRANGER 2014 : 126).

L'observation microscopique montre que la matrice est très homogène avec une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de fines lattes de fayalites associées à des cristaux tabulaires dans la partie centrale, signalant un refroidissement rapide de la scorie, et uniquement à de fine lattes de fayalite en périphérie, témoignant d'un refroidissement rapide mais moins que la partie centrale. Aucun élément métallique n'est visible, ce qui signale une bonne maitrise de l'artisan. Enfin, des hydroxydes se trouvent autour des porosités.

Echantillon n° : BOU1100

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

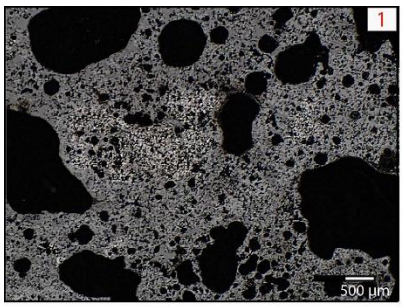
Nature de l'échantillon :
Fond de four

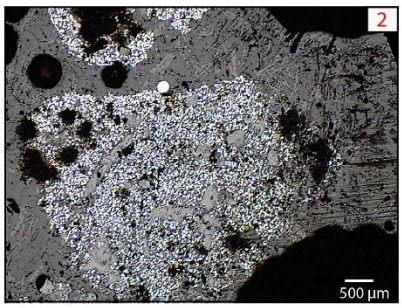
Macrographie : Scorie brune, dense et vitrifiée. Matrice vacuolaire de couleur verte au centre et grise en périphérie. On observe une cavité au centre de la scorie (env. 5 cm). Des porosités sont présentes sur toute la surface. Elles sont de petites à grandes dimensions et ces dernières se trouvent surtout en périphérie. Les grandes sont de forme étirées et les plus petite sont arrondies. D'importants nodules métalliques (1 à 3 cm) sont visibles dans la partie supérieure. Des cristaux de fayalite sont visibles à l'œil (env. 1 cm).

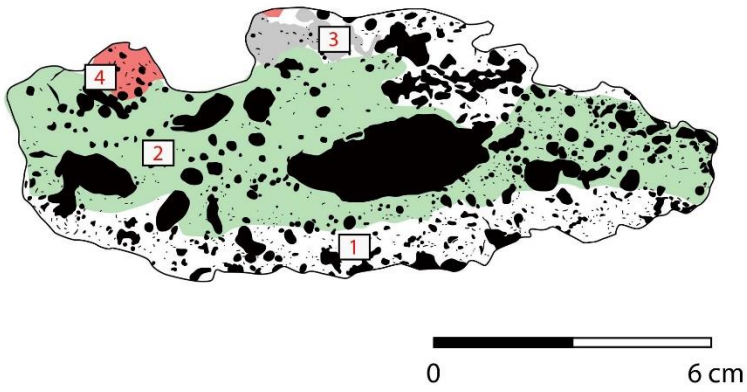
Dimensions : L = 13,3 cm l = 8,8 cm ep. = 3,2 cm
Masse : 0, 447 g

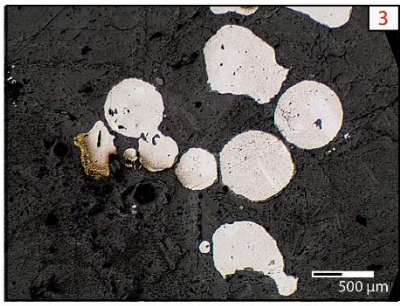


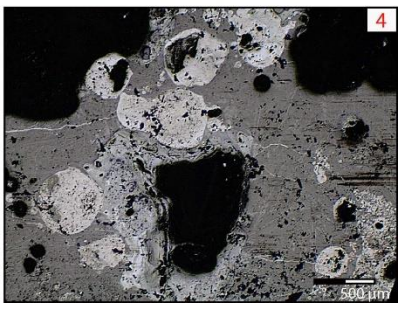
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse dans la zone noire (1). Cette phase vitreuse est accompagnée d'une phase minéralisée comprenant de la fayalite en fines lattes dans la partie verte. Dans la zone fayalitique on observe de nombreux grains métalliques en cours de dissolution (2). De nombreux nodules métalliques sont également visibles en partie supérieure. Ils comprennent une structure ferritique peu carburée (3). Enfin, des hydroxydes en bille et en ruban sont visibles dans la partie supérieure (4), ainsi que des agglomérats argilo-sableux.

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée mixte, de couleur noire dans la partie centrale et verte dans la partie périphérique. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). Des porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface, toutefois elles sont plus nombreuses dans la partie périphérique. Les plus grandes sont de forme étirée, ce qui signale une scorie ayant une viscosité assez élevée lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Cette observation est confirmée par la présence d'une cavité de plusieurs centimètres au centre de la scorie. Il est probable que l'arrivée d'oxygène était dirigée vers cette partie de la scorie. Les plus petites porosités sont de forme arrondie. D'importants nodules métalliques anguleux sont visibles en partie supérieure, ce qui signale que la réduction n'était pas pleinement efficace.

L'observation microscopique montre que la matrice comprend une phase vitreuse dans la partie inférieure et une phase cristallisée composée de lattes de fayalites dans la partie centrale. Ces indices témoignent d'un refroidissement globalement assez rapide de la scorie, mais plus rapide en périphérie qu'au centre. Des nodules métalliques en cours de dissolution sont visibles dans la partie supérieure de la scorie. L'ensemble du métal observé dans cette scorie dispose d'une structure ferritique faible carburée (moins de 0,02 % de carbone). Enfin, des hydroxydes en billes et en ruban sont visibles en périphérie.

Echantillon n° : BOU2009

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

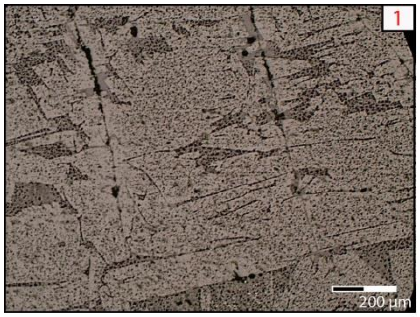
Nature de l'échantillon :
Fond de four

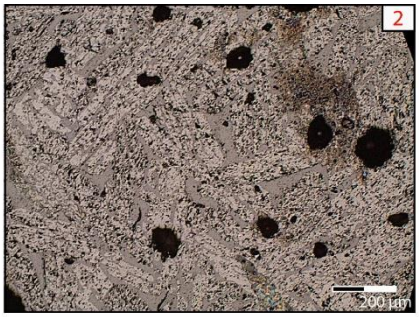
Macrographie : Fond de four brun, dense. Matrice dense de couleur noire. Des cristaux de fayalites sont visibles (au moins 1 cm). Les porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface. Elles se trouvent principalement en périphérie, sont concentrées dans la partie inférieure de la scorie. Elles sont de petites à grandes dimensions et de forme arrondies et étirées, surtout dans la partie droite. Plusieurs inclusions de charbon de bois se trouvent également dans cette partie.

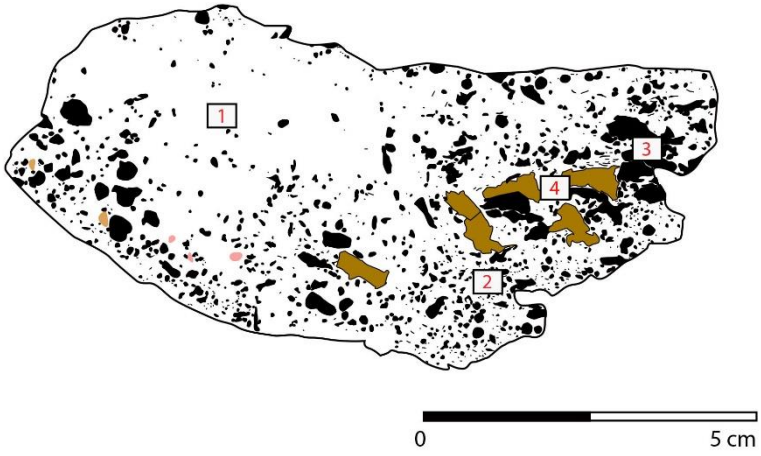
Dimensions : L = 11,6 cm l = 11 cm ep. = 4 cm
Masse : 0,833 g

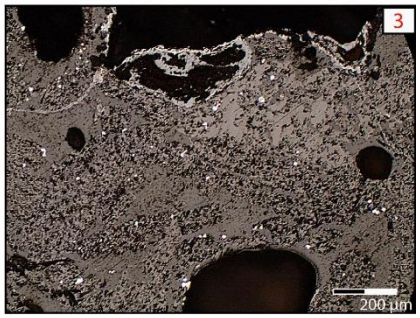


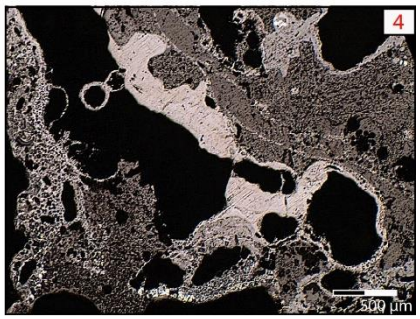
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de la fayalite équigranulaires (1). Dans la partie droite, la fayalite se présente sous la forme de fines lattes (2) dans laquelle on trouve des grains métalliques et argilo-sableux (3). Des hydroxydes en ruban sont visibles autour des porosités (4).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée très homogène, de couleur noire. De nombreux porosités sont concentrées dans la partie inférieure. De forme arrondie à déchiquetées, elles sont de petites à grandes dimensions. Les porosités les plus grandes se trouvent à droite de la coupe.
Ces observations signalent une scorie plus fluide en partie supérieure qu'inférieure (BERRANGER 2014 : 126). Plusieurs charbons de bois sont inclus dans cette même zone. En outre, aucun nodule métallique n'est visible.

Ce fond de four comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de fayalite équigranulaires dans la partie dense et fines lattes de fayalites dans la partie droite. Cela témoigne d'un refroidissement lent de la partie supérieure de la scorie, appuyé par les cristaux de fayalite centimétriques, et plus rapide dans la partie droite. La présence de matière argilo-sableuse montre l'utilisation d'un fondant lors de la réduction. Enfin, la seule présence de petits grains métalliques signale une opération bien maitrisée.

Echantillon n° : BOU2022-1

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

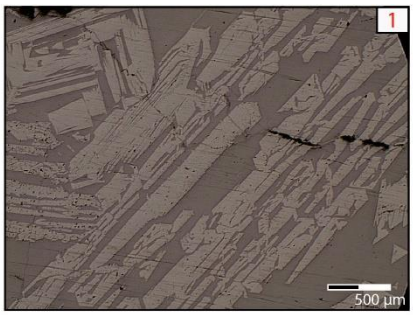
Nature de l'échantillon :
Fond de four

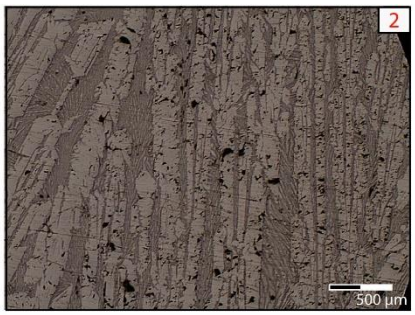
Macrographie : Fond de four brun, dense. Matrice dense de couleur noire. Une vitrification verdâtre se trouve en périphérie et des cristaux de fayalites sont visibles (au moins 1 cm). Les porosités sont peu nombreuses et concentrées dans la partie inférieure. Elles sont de petites dimensions et de forme assez arrondie. Quelques-unes de plus grandes dimensions et de forme étirées se trouvent dans la partie gauche.

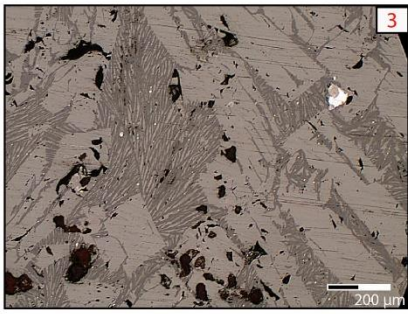
Dimensions : L = 12,5 cm l = 10 cm ep. = 3,3 cm
Masse : 0,57 g

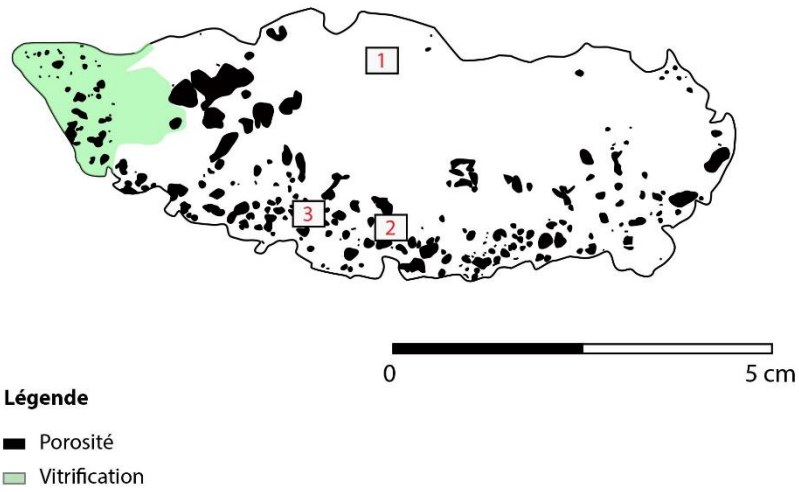


Observations Microscopiques









Micrographie : Dans la partie dense, la matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de la fayalite en larges lattes et équigranulaires par endroit (1). Dans la partie inférieure, vacuolaire, la fayalite se présente sous la forme de longues lattes et est associée à une seconde cristallisation en fines lattes radiales (2). Des grains métalliques sont visibles par endroit (3).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice vitrifiée très homogène, de couleur noire. Les porosités, en faible nombre, sont concentrées dans la partie inférieure. De forme arrondie, elles sont de petites dimensions. Les porosités les plus grandes se trouvent à gauche de la coupe. Ces observations signalent une scorie très fluide surtout en partie supérieure (BERRANGER 2014 : 126). Cette partie est d'ailleurs plus vitrifiée et verte qu'ailleurs. En outre, aucun nodule métallique n'est visible.

Ce fond de four comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de fayalite équigranulaires et en larges lattes dans la partie dense et sous forme de fines lattes de fayalites associées à une seconde cristallisation dans la partie inférieure. Cela témoigne d'un refroidissement hétérogène de la scorie, plus lent de la partie inférieure que dans la partie supérieure. Enfin, la seule présence de petits grains métalliques signale une opération bien maitrisée.

Echantillon n° : BOU1002

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

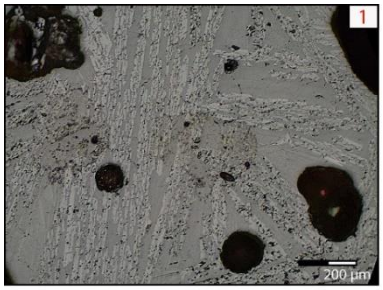
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

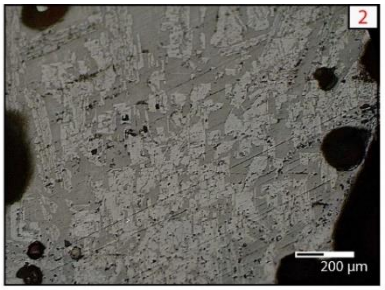
Macrographie : Culot de forge plano-convexe, brun, rugueux et vitrifié. Matrice très vacuolaire, notamment en surface, de couleur verte au centre et en périphérie et grise dans la partie inférieure. Des cristaux de fayalite sont visibles à l'œil (au moins 1 cm). Les porosités sont présentes sur toute la surface. Elles sont de petites à grandes dimensions et ces dernières se trouvent surtout dans la partie supérieure. Les grandes sont de forme étirées à déchiquetées et les plus petites, plutôt en partie inférieure, sont arrondies.

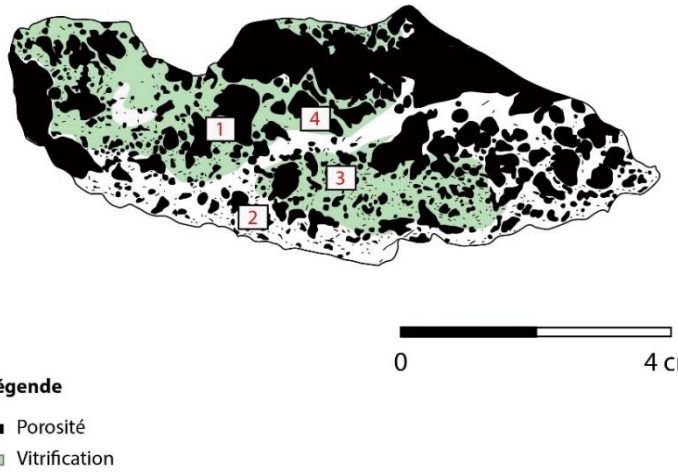
<u>Dimensions :</u> L = 8,8 cm l = 8 cm ep. = 2,8 cm
<u>Masse :</u> 0, 158 g

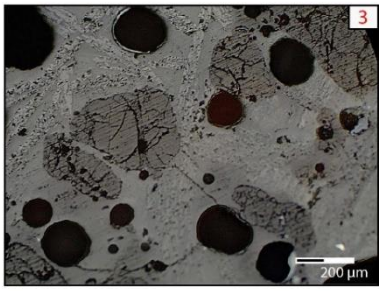


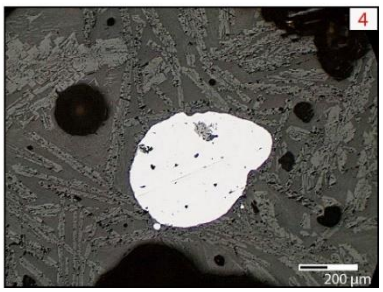
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée une importante phase vitreuse et une phase minéralisée comprenant de larges lattes de fayalite (1) avec quelques cristaux équigranulaires par endroit (2). Une seconde cristallisation est visible au centre de la scorie, ainsi que des inclusions de grains de silice et des vestiges de battitures (3). Quelques grains métalliques sont également visibles (4). Enfin, de nombreuses traces d'hydroxydes sont visibles autour des porosités.

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice vitrifiée mixte, de couleur noire et verte. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). De nombreuses porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface, surtout dans la partie supérieure ou elles sont de très grandes dimensions. Les plus grandes sont de forme étirée à déchiquetées, ce qui signale une scorie ayant une viscosité assez élevée lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Il est probable que l'arrivée d'oxygène était dirigée vers la partie supérieure. Les plus petites porosités sont de forme arrondie et se situe surtout en partie inférieure.

L'observation microscopique montre que la matrice comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de grandes lattes de fayalites dans la majeure partie de la scorie avec quelques cristaux équigranulaires surtout présent dans la partie centrale. Ces indices témoignent d'un refroidissement globalement assez lent de la scorie, on peut d'ailleurs voir les cristaux de fayalite à l'œil nu. La présence de vestiges de battitures globulaires confirme que cette scorie est bien un culot de forge. A cela s'ajoute la présence de silice, le sable étant souvent utilisé dans les activités de forge pour nettoyer la surface du métal (MANGIN 2004 : 84). La présence de grains métalliques est avérée à quelques endroits de la scorie mais leur dimension ne permet pas d'en apprendre davantage sur leur composition (acier, fonte, etc.). Néanmoins, la faible représentation du métal témoigne d'une bonne maitrise de l'artisan.

Echantillon n° : BOU1005-5

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

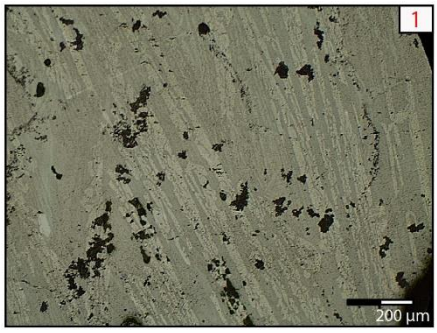
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

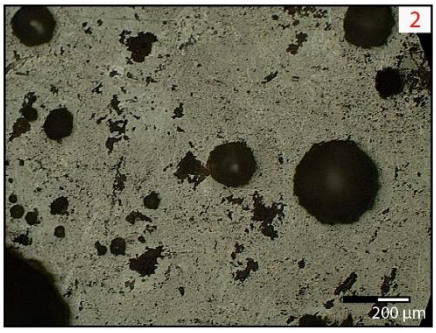
Macrographie : Culot de forge plano-convexe, brun, dense et vitrifié. Matrice vacuolaire de couleur verte en partie supérieure et grise en partie inférieure. Des cristaux de fayalite sont visibles à l'œil (au moins 1 cm) dans la zone verte. Les porosités sont présentes sur toute la surface. Elles sont de moyennes à grandes dimensions et sont de forme étirées à déchiquetées. Elles sont orientées parallèlement au bord de la scorie. Une zone oxydée de faible épaisseur est visible dans la partie inférieure.

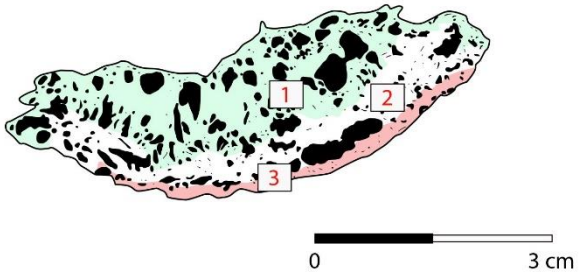
Dimensions : L = 6,7 cm l = 6,1 cm ep. = 2 cm
Masse : 0, 92 g

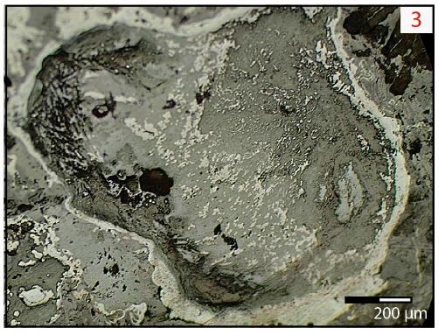


Observations Microscopiques









Légende

Porosité
Oxydation
Vitrification

Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase minéralisée comprenant de fines lattes de fayalite associées à une cristallisation secondaire dans la partie supérieure (1) uniquement d'une phase vitreuse dans la partie inférieure (2). Des hydroxydes en ruban sont visibles dans la partie inférieure (3).

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice vitrifiée mixte, de couleur noire en partie inférieure et verte en partie supérieure. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). De nombreuses porosités sont réparties sur l'ensemble de la surface. Elles sont de moyennes à grandes dimensions, de forme étirées à déchiquetées et sont orientées parallèlement au bord de la scorie. Ces observations signalent une scorie à la viscosité élevée lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). En outre, au vu de l'orientation des porosités l'arrivée d'oxygène devait se trouver au centre de la scorie.

L'observation microscopique montre que la matrice comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée composée de fines lattes de fayalites associé à un second niveau de cristallisation dans la partie verte et uniquement une partie vitreuse dans la partie grise. Ces indices témoignent d'un refroidissement rapide de la scorie, plus encore dans la partie inférieure que supérieure de la scorie. Aucun élément métallique n'est visible, ce qui signale une bonne maitrise de l'artisan. Enfin, des hydroxydes se trouvent autour des porosités.

Echantillon n° : BOU1006

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

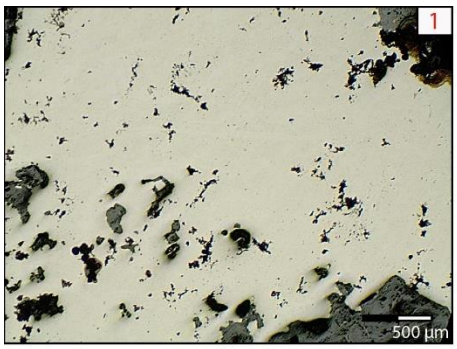
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

Macrographie : Culot de forge brun et dense. Matrice métallique recouverte d'une croûte d'oxydation. Quelques petites porosités étirées sont visibles aux deux extrémités.

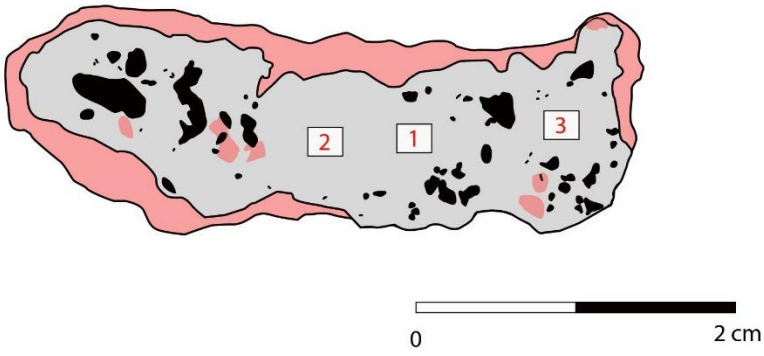
Dimensions : L = 5 cm l = 3,9 cm ep. = 1,9 cm
Masse : 0, 08 g

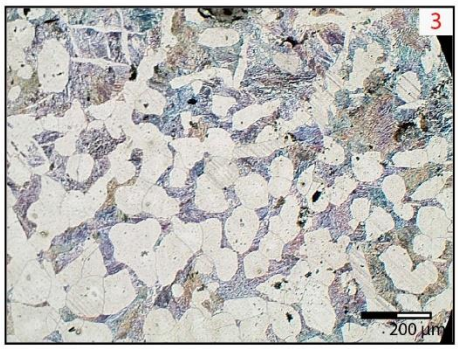


Observations Microscopiques









Micrographie : Matrice uniquement métallique entourée d'une croûte d'hydroxydes que l'on retrouve par endroit sur la coupe. Le métal très dense, comprend néanmoins de micro-porosités qui sont de forme déchiquetées et qui peuvent témoigner d'un premier travail de compactage par écrasement thermique (1) (MANGIN 2008 : 164). Néanmoins, la forme non allongée de ces porosités montre que ce travail n'était pas très avancé. Lorsque ce fragment métallique est tombé dans le foyer. Ce métal est constitué d'une structure ferrito-perlitique moins carburée au centre (2) qu'en périphérie (3). Toutefois, même en périphérie la pièce comprend assez peu de carbone.

Synthèse :

Ce vestige est composée d'une matrice métallique assez homogène comprenant une structure ferrito-perlitique peu carburée au centre (0,02 % de C) et dont la perlite est plus développée en périphérie (entre 0, 02 et 0,85 % de C). Au vu de la forme des micro-porosités, il est possible que ce fragment métallique soit issu d'une pièce plus importante et qu'il a été perdu lors de la mise en forme de la masse métallique. La présence de porosités plus importante et de forme arrondie montre qu'il n'a pas été totalement martelé. La présence de métal en cours de dissolution confirme ce passage dans le foyer.

Echantillon n° : BOU2011

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

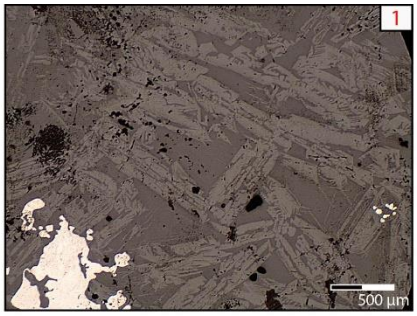
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

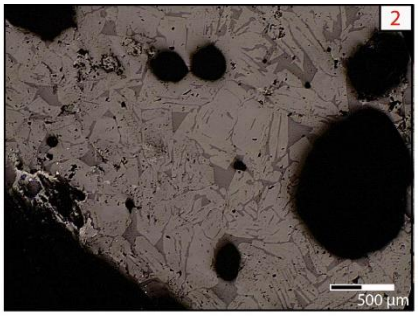
Macrographie : Petit culot de forge brun, dense et vitrifié. Matrice vacuolaire, de couleur noire. Des porosités sont présentes sur toute la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme plutôt anguleuse. Les plus importantes se trouvent aux extrémités. De nombreuses masses métalliques sont visibles au centre ainsi que quelques éléments argilo-sableux.

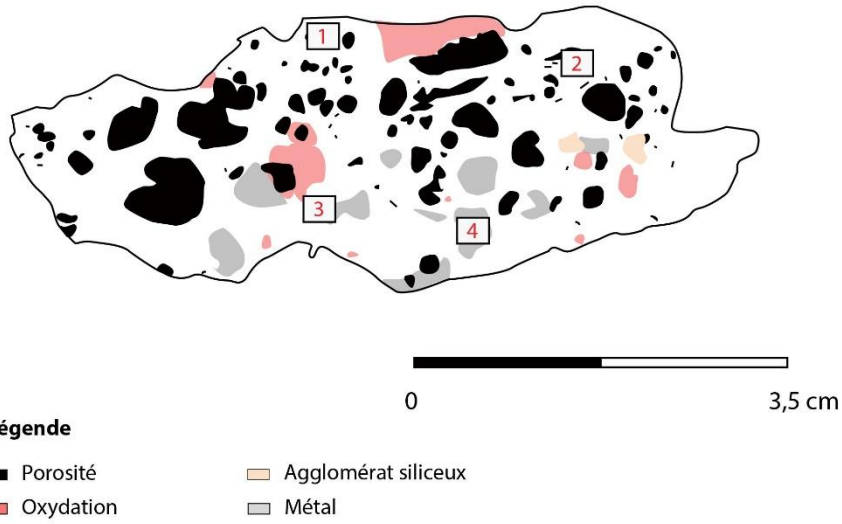
Dimensions : L = 7 cm l = 4,6 cm ep. = 2,1 cm
Masse : 0, 115 g

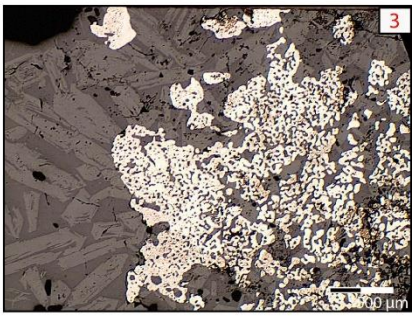


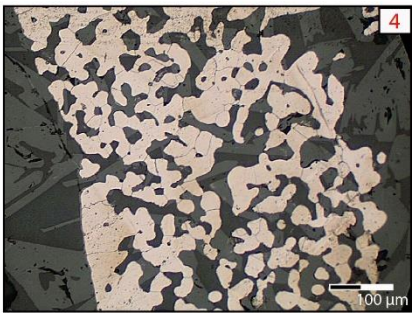
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse associée à de longues lattes de fayalite (1) et à de la fayalite équigranulaires en périphérie (2). Des grains argilo-sableux sont visibles par endroit. On observe de nombreux nodules métalliques en cours de dissolution au centre de la scorie dans une matrice à fine lattes désordonnées (3). Ce métal comprend une structure ferritique peu carburée (4).

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice assez homogène, vitrifiée, de couleur noire. Les porosités sont petites à moyennes et de forme assez anguleuse ce qui signale une scorie assez liquide (BERRANGER 2014 : 126). On observe une concentration de nodule métalliques en partie inférieure ainsi que la présence de grains argilo-sableux qui témoignent de l'utilisation d'un ajout sableux lors du travail du métal.

L'observation microscopique montre que la matrice comprend une phase vitreuse dans la partie inférieure et une phase cristallisée composée de large lattes de fayalites dans la partie supérieure, équigranulaires en périphérie et plutôt en lattes fines dans la partie centrale. Ces indices témoignent donc d'un refroidissement hétérogène de la scorie, plus rapide au centre qu'ailleurs. Les nodules métalliques en cours de dissolution sont visibles dans la partie inférieure de la scorie. L'ensemble du métal observé dans cette scorie dispose d'une structure ferritique faible carburée (moins de 0,02 % de carbone). Enfin, des hydroxydes en billes et en ruban sont visibles par endroit.

Echantillon n° : BOU2019

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

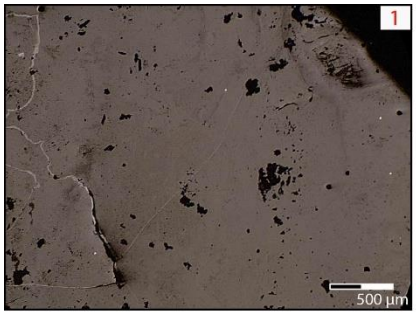
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

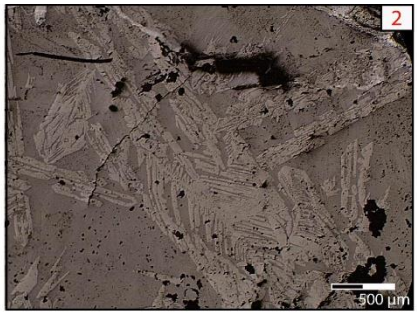
Macrographie : Petit culot de forge brun, dense et vitrifié. Matrice vacuolaire, de couleur verte avec de la fayalite visible à l'œil nu (env. 1 cm). Des porosités sont présentes sur toute la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme plutôt anguleuse sauf au centre où elles sont plutôt déchiquetées. Une vitrification légèrement plus importante se trouve dans la partie supérieure ainsi que quelques oxydes de fer éparses.

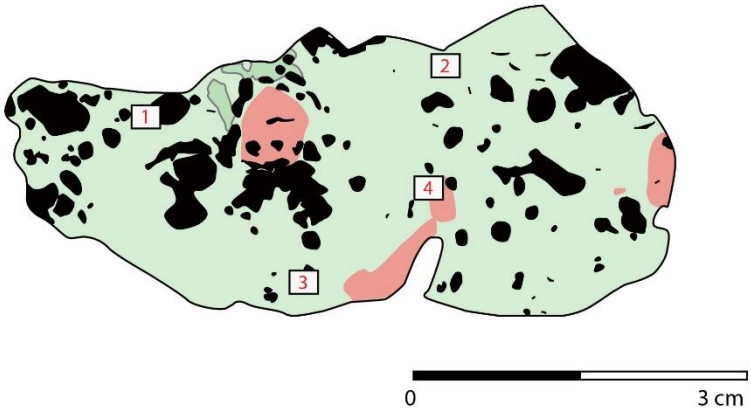


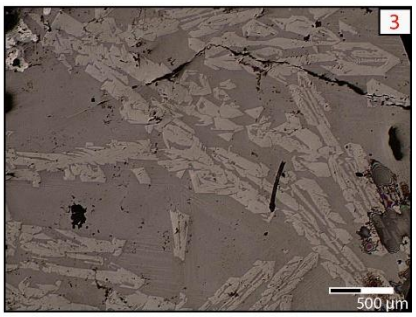
Dimensions : L = 7,8 cm l = 5,7 cm ep. = 3 cm
Masse : 0, 23 g

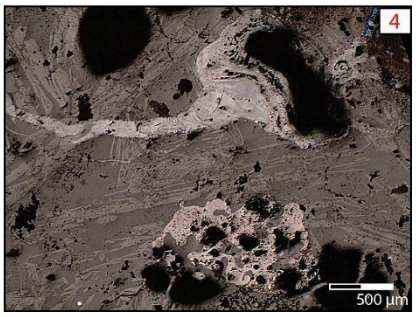
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse associée à des grains métalliques dans la partie supérieure gauche (1). Présence de fines lattes de fayalites et de cristaux tabulaires dans la partie droite (2) et de larges lattes de fayalite dans la partie inférieure (3). Hydroxydes en ruban (4).

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice assez homogène, très vitrifiée, de couleur verte. Les porosités sont petites à moyennes et de forme assez anguleuse sauf au centre où elles sont déchiquetées ce qui signale une scorie assez liquide (BERRANGER 2014 : 126). L'absence de métal tend à signaler une opération bien maitrisée.

L'observation microscopique montre que la matrice comprend une phase vitreuse dans la partie supérieure gauche, associée à une phase cristallisée composée à de la fayalite en fines lattes et cristaux tabulaires dans la partie supérieure droite ; et à de larges lattes de fayalites dans la partie inférieure. Ces indices témoignent d'un refroidissement hétérogène de la scorie, plus rapide dans la partie supérieure qu'inférieure. Enfin, des fragments d'oxydes de fer sont présents dans toute la scorie.

Echantillon n° : BOU2022-2

Site : 155/1
Forêt de Boulogne

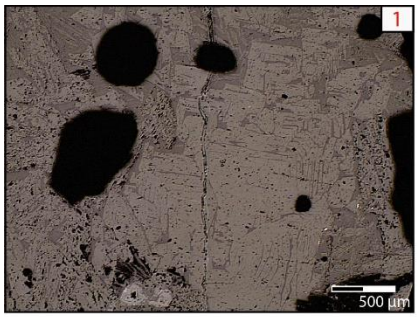
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

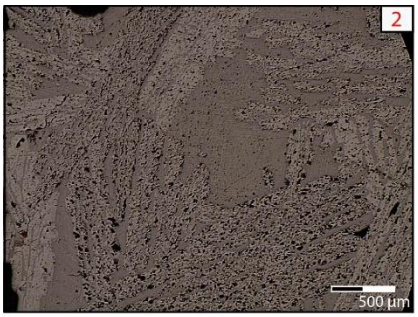
Macrographie : Petit culot de forge brun, dense. Des oxydes de fer sont visibles en surface. Matrice vacuolaire, de couleur noire. Des porosités sont présentes sur toute la surface. Elles sont de petites dimensions et de forme plutôt arrondies sauf dans la partie inférieure gauche où elles sont plus étirées. Des inclusions argilo-sableuses sont présentent par endroit. Un charbon de bois se trouve dans la partie supérieure. Il s'agit d'un fragment de chêne.

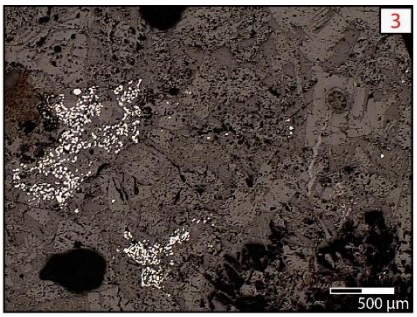
Dimensions : L = 8,9 cm l = 7,5 cm ep. = 3,3 cm
Masse : 0, 253 g

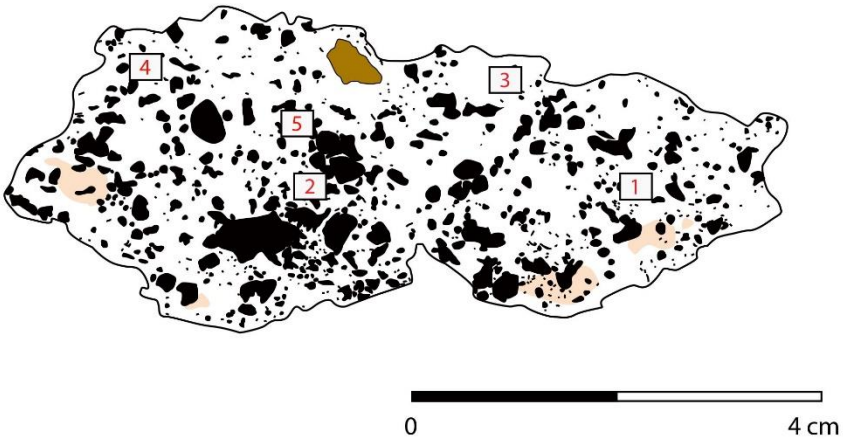


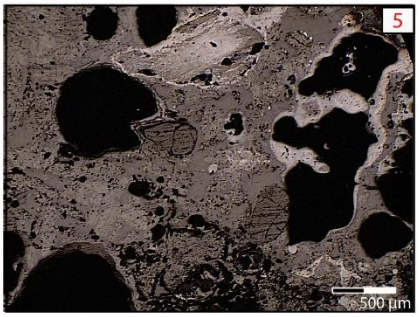
Observations Microscopiques

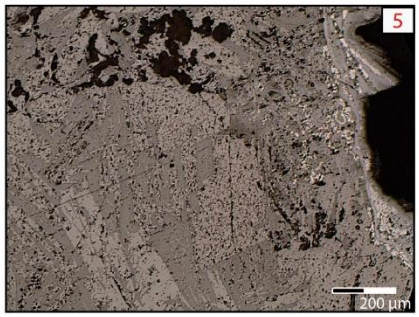












Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase cristallisée comprenant en périphérie de la fayalite en larges lattes et équigranulaires (1). Au centre la fayalite est en fines lattes et comprend une seconde cristallisation (2). Des nodules métalliques en cours de dissolution sont visibles par endroit, notamment dans la partie supérieure (3), ainsi que des inclusions de grains argilo-sableux (4). Enfin, on observe des hydroxydes en ruban autour des porosités ainsi que des grains de wüstite (5).

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice assez hétérogène, très vitrifiée, de couleur noire. Les porosités sont petites et de forme arrondie, à l'exception de celles situées dans la partie inférieure et centrale où elles sont plus étirées. Cela signale une scorie assez liquide (BERRANGER 2014 : 126). L'absence de métal tend à signaler une opération bien maitrisée. On observe des inclusions argilo-sableuses dans la partie inférieure qui signalent l'utilisation d'ajout pour protéger le métal lors de son travail.

L'observation microscopique montre que la matrice comprend une phase vitreuse et une phase cristallisée comprenant en périphérie de la fayalite en larges lattes et équigranulaires, et au centre de la fayalite est en fines lattes associée à une seconde cristallisation. Ces indices témoignent d'un refroidissement hétérogène de la scorie, plus rapide en périphérie qu'au centre. Seuls quelques nodules métalliques en cours de dissolution sont visible. Enfin, des hydroxydes sont visibles autour des porosités ainsi que quelques grains de wüstite témoignant d'une atmosphère plutôt réductrice dans le foyer.

Battitures fayalitiques (Type 1)

Boulbat 1

Battiture globulaire brune. Matrice vacuolaire peu vitreuse présentant un grain argilo-sableux, surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre et des fines lattes désordonnées en périphérie. Fayalite équigranulaires par endroit ainsi que de rares dendrites de wüstite de très petite dimension. Quelques grains métalliques sont épars.

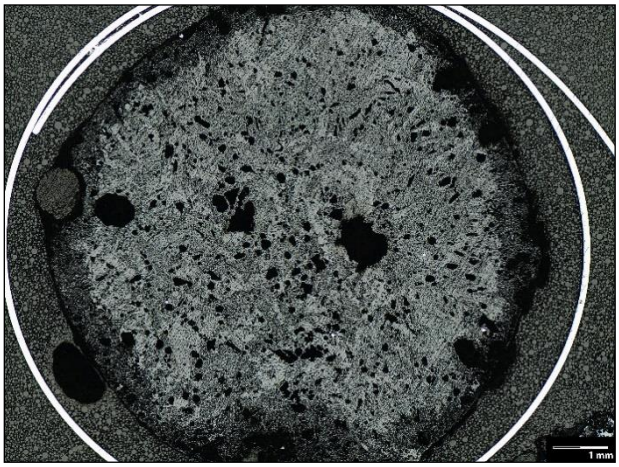


Fig. 1 : Vue générale de la section au microscope

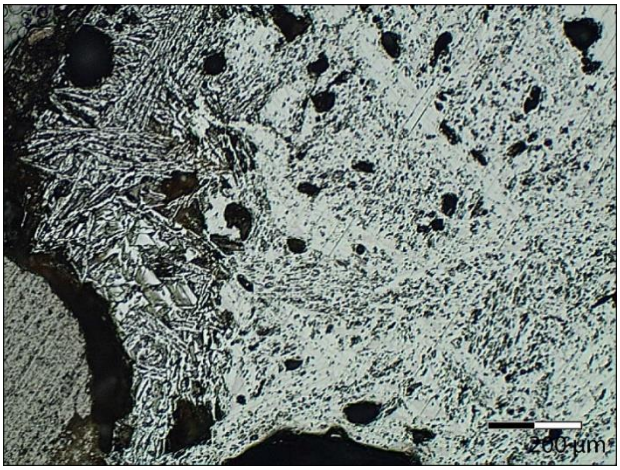


Fig. 2 : vue de détail : larges lattes de fayalite (centre) et fines lattes désordonnées (périphérie).

Boulbat 2

Battiture brune lamellaire. La face inférieure est plane et la face supérieure est perturbée[1]. Les porosités indiquent une faible fluidité de la matière. Matrice vacuolaire surtout cristallisée avec larges et longues lattes de fayalite au centre et fines lattes désordonnées en périphérie. Des dendrites de wüstite sont visibles avec un fort grossissement (x 20).

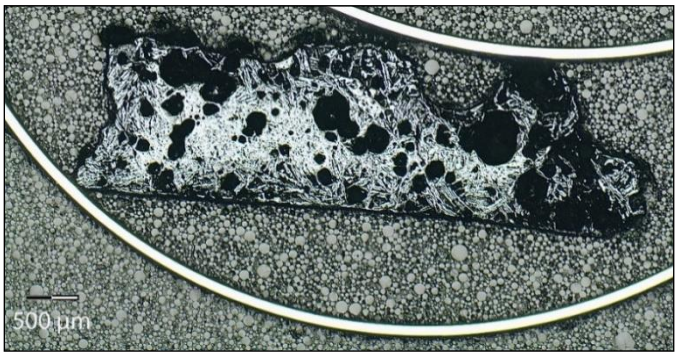


Fig. 3 *:* Vue générale de la section au microscope

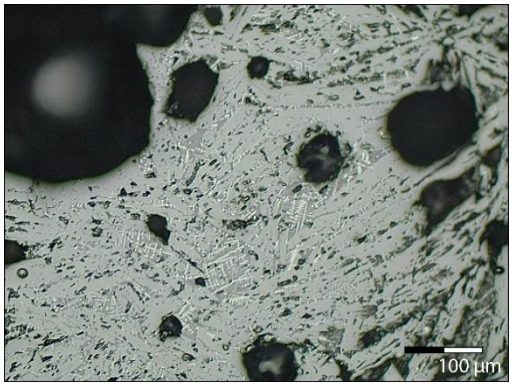


Fig. 4 *:* Vue de détail : larges lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et dendrite de wüstite (en blanc)

1. On parle de face inférieure pour celle qui était au contact du métal, et de face supérieure pour celle qui était au contact de l'air.

Boulbat 3

Battiture brune lamellaire. Les deux faces sont planes et les porosités sont arrondies. Matrice vacuolaire peu vitreuse, surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre et de fines lattes désordonnées en périphérie. Des dendrites de wüstite sont visibles avec un fort grossissement (x 10) en périphérie.

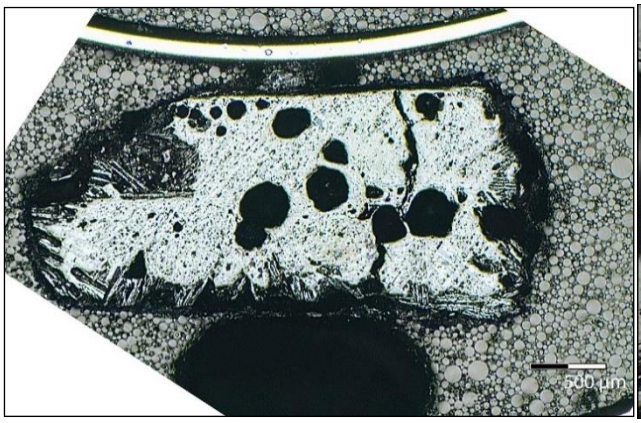


Fig. 5 : Vue générale de la section au microscope

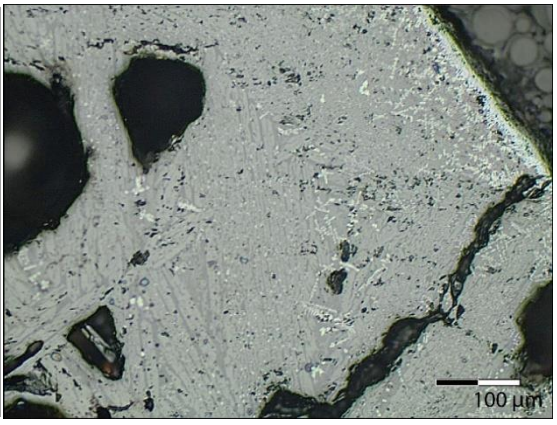


Fig. 6 : Vue de détail : larges lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et dendrite de wüstite (en blanc)

Boulbat 4

Battiture brune lamellaire, légèrement incurvée. Matrice brune vacuolaire, les porosités sont de petite dimension, peu vitreuse et surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre et de fines lattes désordonnées en périphérie. Des dendrites de wüstite sont visibles par endroit avec un fort grossissement (x 20).

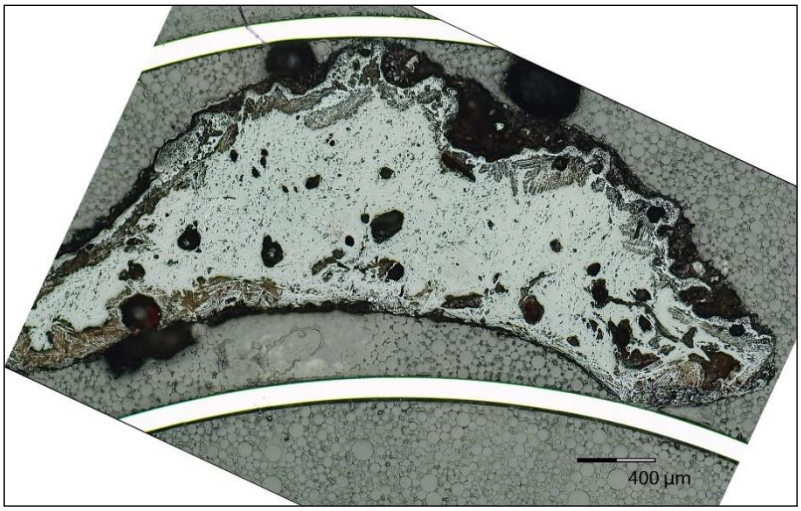


Fig. 7 : Vue générale de la section au microscope

Boulbat 5

Battiture brune lamellaire, légèrement incurvée. Matrice brune vacuolaire, les porosités sont nombreuses et arrondies, peu vitreuse et surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre et de fines lattes désordonnées en périphérie. Des dendrites de wüstite sont visibles par endroit, surtout en périphérie, avec un fort grossissement (x 20).

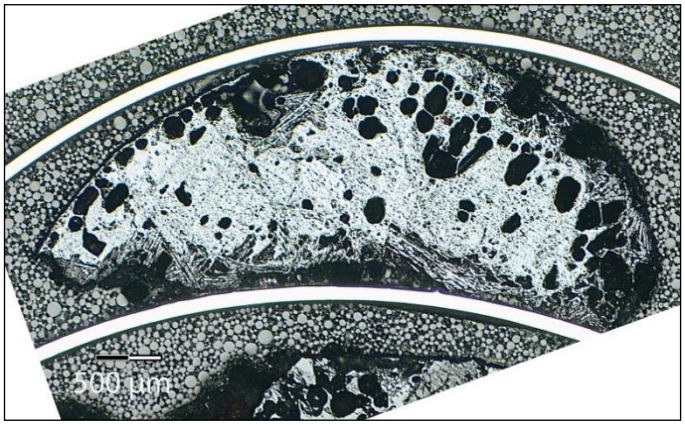


Fig. 8 : Vue générale de la section au microscope

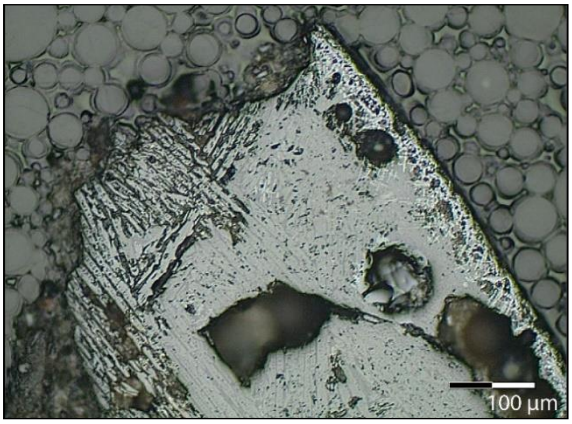


Fig. 9 : Vue de détail : larges lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et dendrite de wüstite (en blanc)

Boulbat 15

Battiture brune granulaire. Matrice composée de fayalite équigranulaires et en plaque comprenant des inclusions argilo-sableuses et des grains de wüstite par endroit. Présence de ruban d'hydroxydes en périphérie.

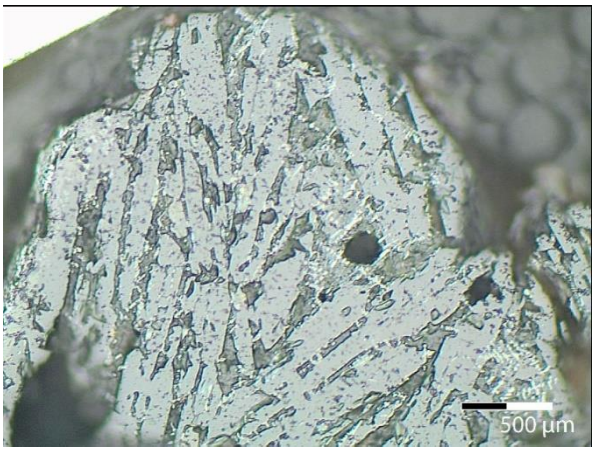


Fig. 10 : Vue de détail : lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et dendrites de wüstite (en blanc)

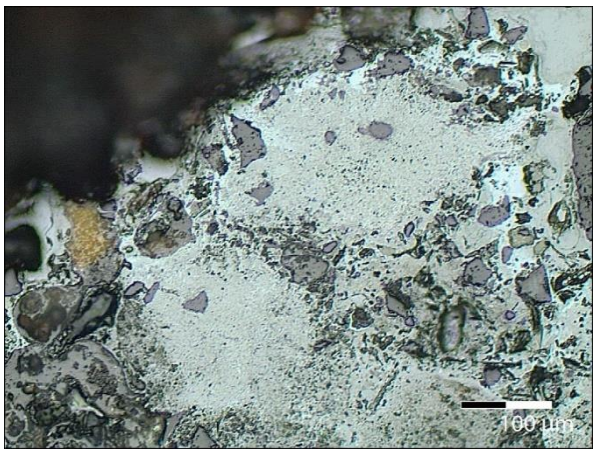


Fig. 11 : Vue de détail : Hydroxydes (en gris clair) avec inclusions de grains argilo-sableux (en violacé)

Boulbat 21

Battiture brune lamellaire. La face inférieure est plane et la face extérieure perturbée. Les porosités sont arrondies et surtout située vers l'extérieur. Matrice peu vitreuse et surtout cristallisée avec de fines lattes de fayalite au centre. Abîmée par l'oxydation en périphérie. Des grains métalliques sont visibles par endroit ainsi qu'un grain argilo-sableux.

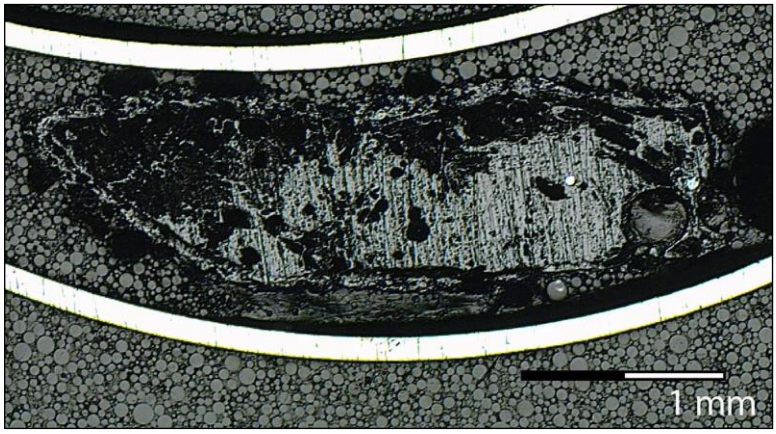


Fig. 12 : Vue générale de la section au microscope

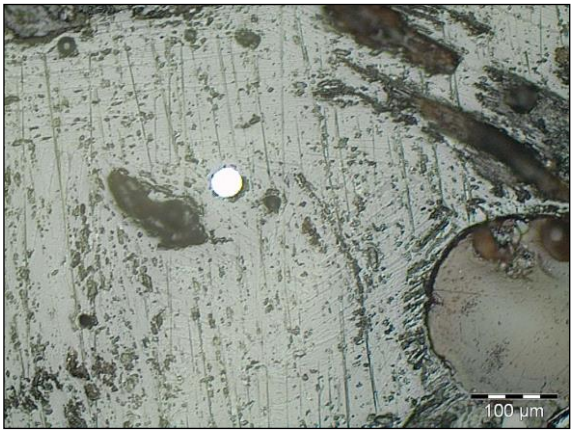


Fig. 13 : Vue de détail : fines lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et bille métallique (en blanc)

Boulbat 23

Battiture brune lamellaire. Les porosités sont déchiquetées et larges. Matrice peu vitreuse et surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre et de fines lattes désordonnées en périphérie. Des dendrites de wüstite sont visibles.

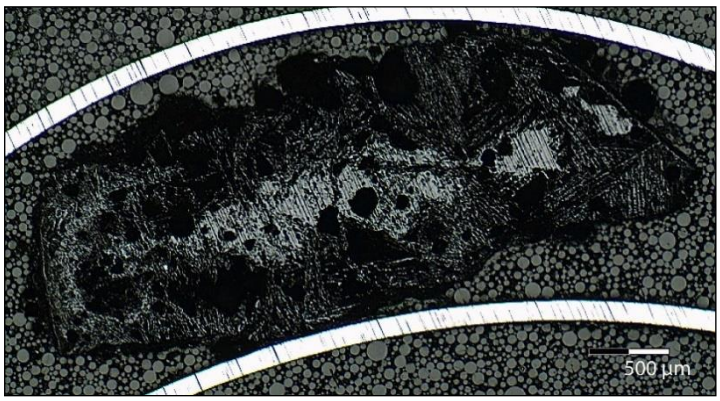


Fig. 14 : Vue générale de la section au microscope

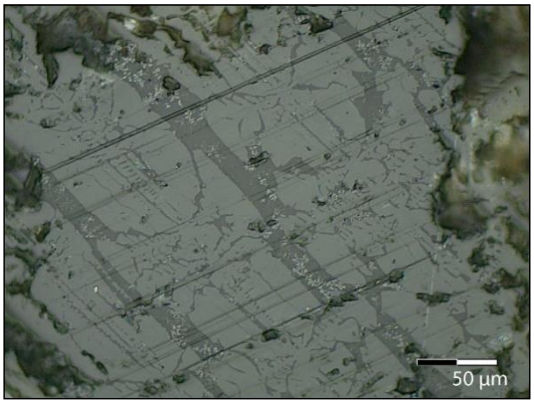


Fig. 15 : Vue de détail : larges lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et wüstite (en blanc)

Boulbat 26

Battiture brune lamellaire. Les porosités sont déchiquetées et larges. Matrice peu vitreuse et surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre. Des grains métalliques sont visibles par endroit. Des grains de wüstite sont visibles par endroit.

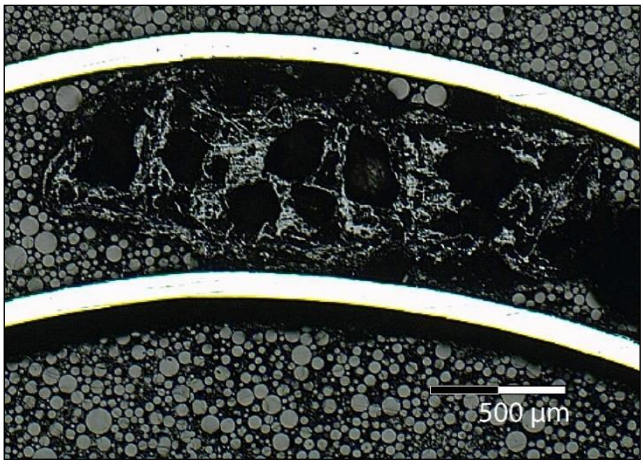


Fig. 16 : Vue générale de la section au microscope

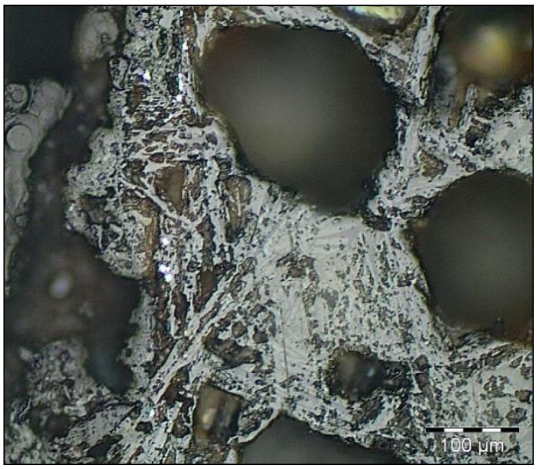


Fig. 17 : Vue de détail : larges lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et wüstite (en blanc)

Boulbat 27

Battiture brune lamellaire, légèrement incurvée. Les porosités sont déchiquetées et larges. Matrice peu vitreuse et surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre et de fines lattes désordonnées en périphérie.

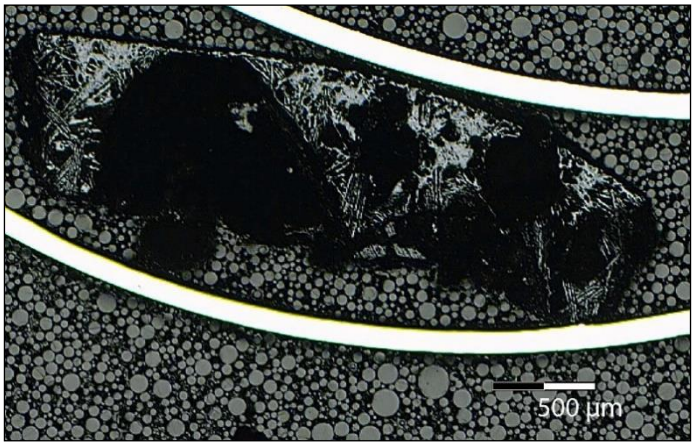


Fig. 18 : Vue générale de la section au microscope

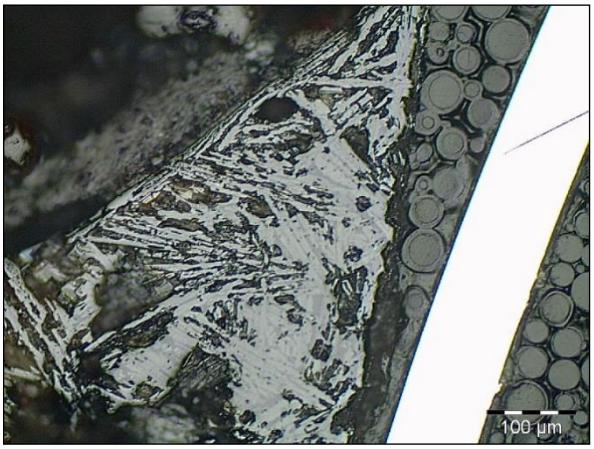


Fig. 19 : Vue de détail : larges lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé)

Boulbat 47

Battiture brune. Les porosités sont déchiquetées et larges. Matrice peu vitreuse surtout cristallisée avec de larges et longues lattes de fayalite au centre et de fines lattes désordonnées en périphérie. Des dendrites de wüstite sont visibles avec un fort grossissement (x 20). Des traces de micro-battitures en cours d'oxydation et des grains argilo-sableux sont visibles en périphérie.

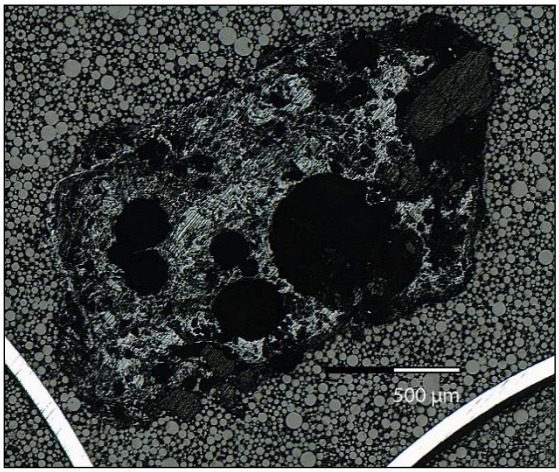


Fig. 20 *:* Vue générale de la section au microscope

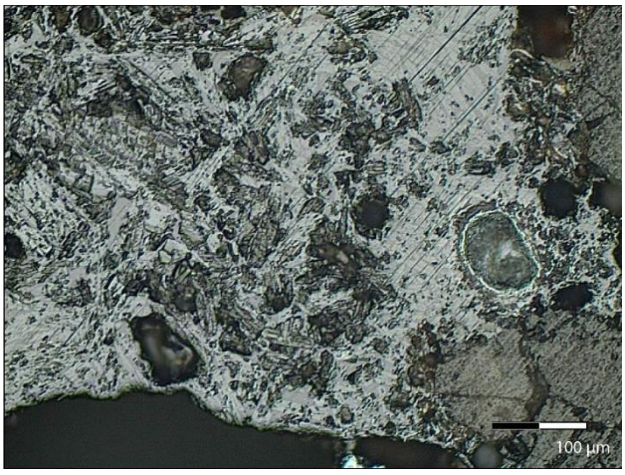


Fig. 21 : Vue de détail : larges lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise moyen). Inclusions argilo-sableuses (à droite) et battiture en cours d'hydroxydation (en blanc à droite).

Battitures à magnétite (Type 2)

Boulbat 10

Battiture brune granulaire à la matrice vacuolaire. Matrice composée de magnétite au centre et de quelques grains de wüstite en périphérie. Présence de nombreux grains argilo-sableux et d'hydroxydes en ruban en périphérie.

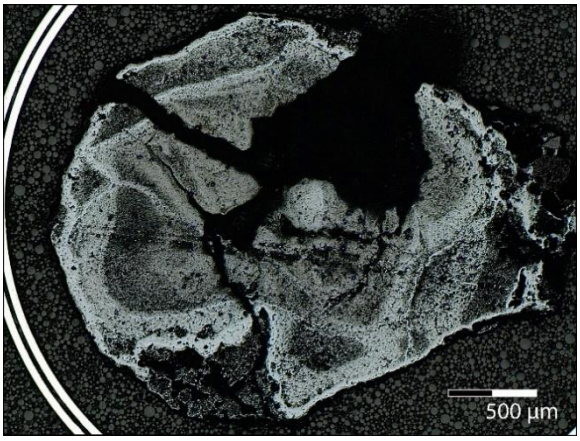


Fig. 22 : Vue générale de la section au microscope

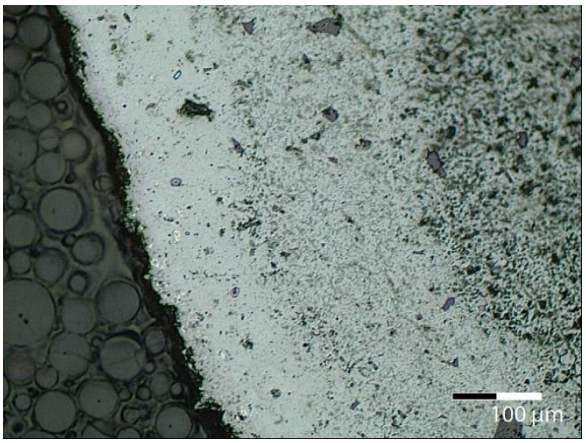


Fig. 23 : Vue de détail : matrice à magnétite (en gris foncé) avec des dendrites de wüstite (en blanc) et des grains argilo-sableux (en violacé)

Boulbat 11

Battiture brune granulaire à la matrice vacuolaire légèrement oxydée. Elle comprend une matrice vitreuse avec de nombreux globules de magnétite agglomérés associés à des rubans d'hydroxydes en périphérie dans lesquels se trouvent de nombreux grains argilo-sableux et des grains de wüstite par endroit.

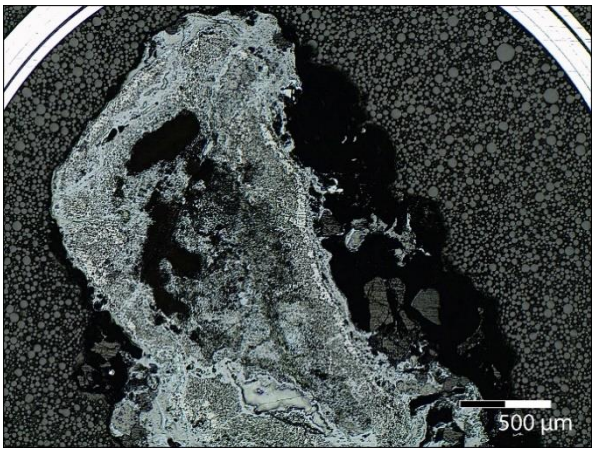


Fig. 24 : Vue générale de la section au microscope

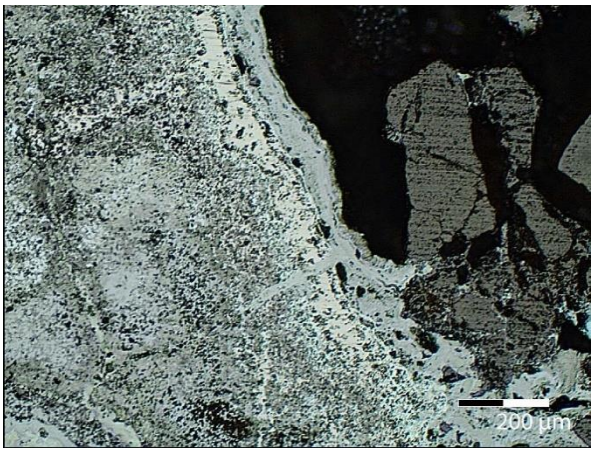


Fig. 25 : Vue de détail : matrice à magnétite (en gris clair) avec des rubans d'hydroxydes (en gris foncé) et des grains argilo-sableux (en noir)

Boulbat 12

Battiture brune granulaire, vacuolaire. Matrice composée de magnétite au centre et de quelques grains de wüstite en périphérie. Présence de nombreux grains argilo-sableux et d'hydroxydes en ruban en périphérie.

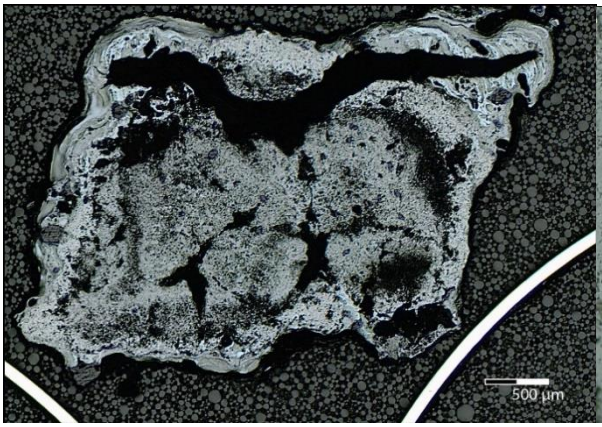


Fig. 26 : Vue générale de la section au microscope

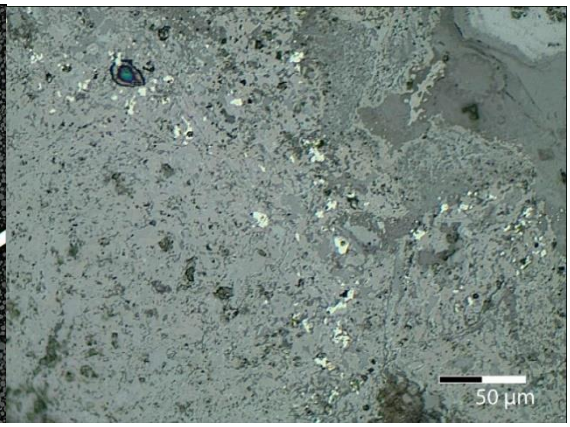


Fig. 27 : Vue de détail : matrice à magnétite (en gris clair) avec des rubans d'hydroxydes (en gris foncé) et des grains de wüstite (en blanc)

Boulbat 14

Battiture brune, granulaire. Matrice vacuolaire composée de magnétite au centre et de quelques grains de wüstite par endroit. Présence de nombreux grains argilo-sableux et d'hydroxydes en ruban en périphérie.

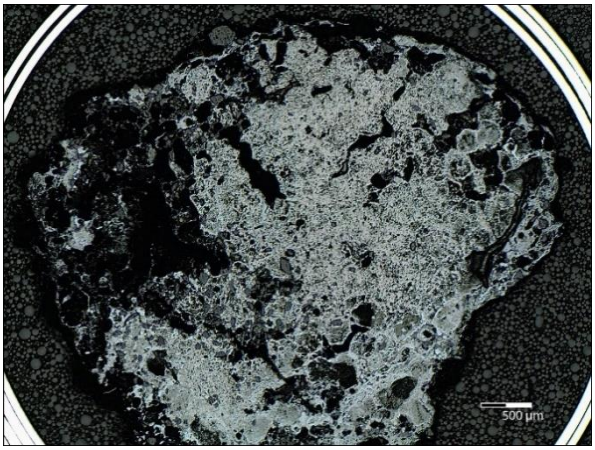


Fig. 28 : Vue générale de la section au microscope

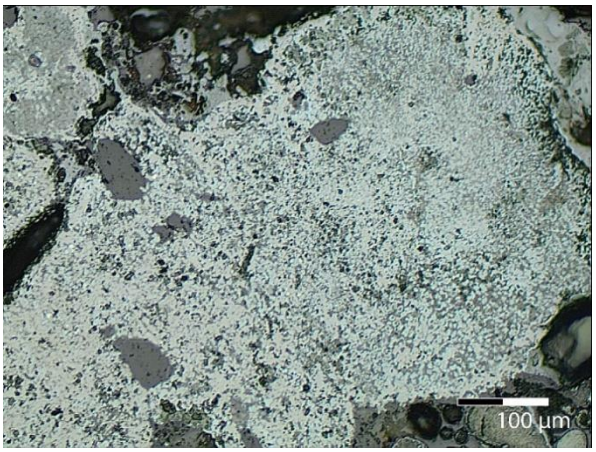


Fig. 29 : Vue de détail : matrice à magnétite (en gris clair) avec des rubans d'hydroxydes (en gris foncé) et des grains argilo-sableux (en violacé)

Boulbat 24

Battiture brune, lamellaire. Matrice vitreuse avec globules et dendrites de wüstite visibles à un très fort grossissement.

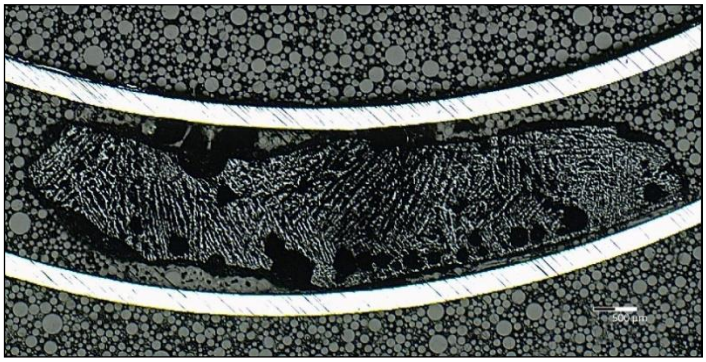


Fig. 30 : Vue générale de la section au microscope

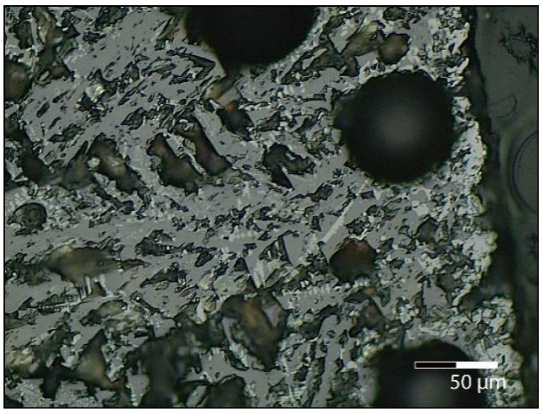


Fig. 31 : Vue de détail : matrice vitreuse (en gris foncé) avec dendrites de wüstite (en gris clair)

Boulbat 37

Battiture brune granulaire. Matrice vacuolaire, vitreuse, comprenant des liserés de magnétite et de très nombreux grains argilo-sableux ainsi que des rubans d'hydroxydes en périphérie.

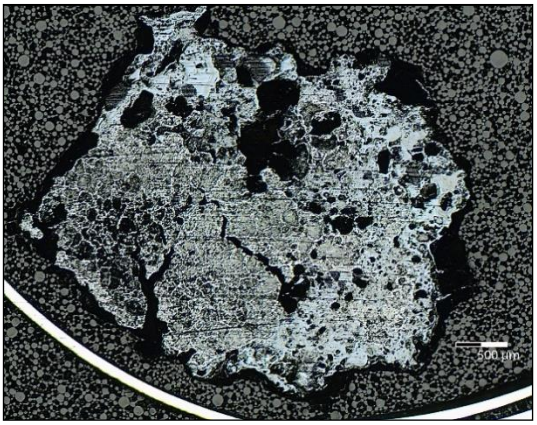


Fig. 32 : Vue générale de la section au microscope

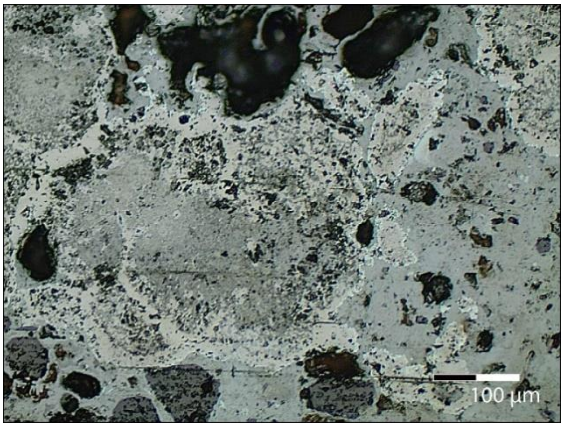


Fig. 33 : Vue de détail : matrice vitreuse (en gris foncé) avec globules magnétites (en gris clair) et liserés d'hydroxydes (en gris bleuté)

Boulbat 38

Battiture granulaire, brune. Matrice dense composée d'une phase vitreuse présentant une succession de vacuoles aux liserés de magnétite. Quelques petits grains argilo-sableux sont visibles par endroit.

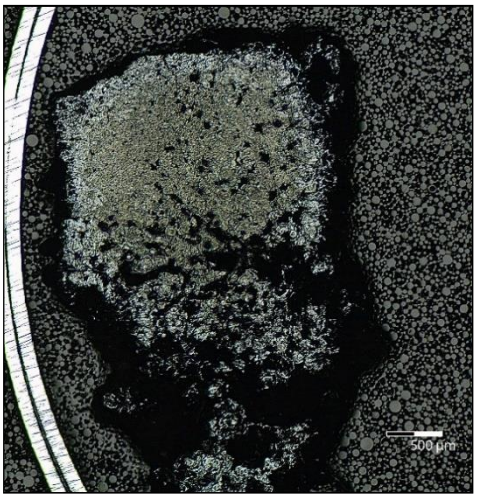


Fig. 34 : Vue générale de la section au microscope

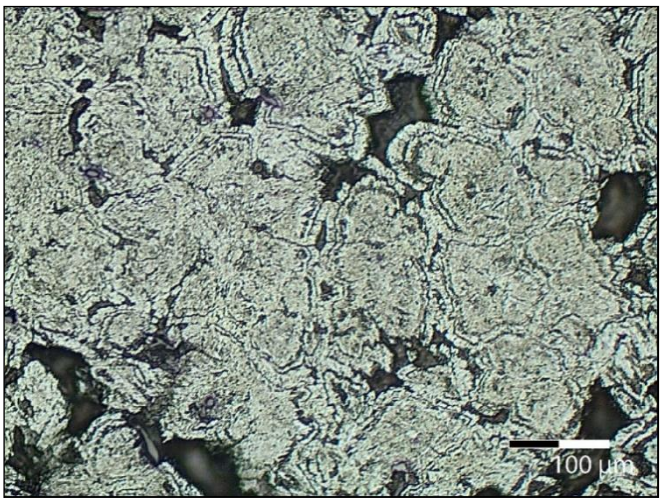


Fig. 35 : Vue de détail : matrice avec globules de magnétites (en gris clair) et liserés d'hydroxydes (en gris bleuté)

Battiture granulaire, creuse et brune. Matrice vacuolaire légèrement oxydée. Matrice comprenant des globules de magnétite agglomérés et de très nombreux grains argilo-sableux dans des rubans d'hydroxydes en périphérie. Grains de wüstite éparses visibles au fort grossissement.

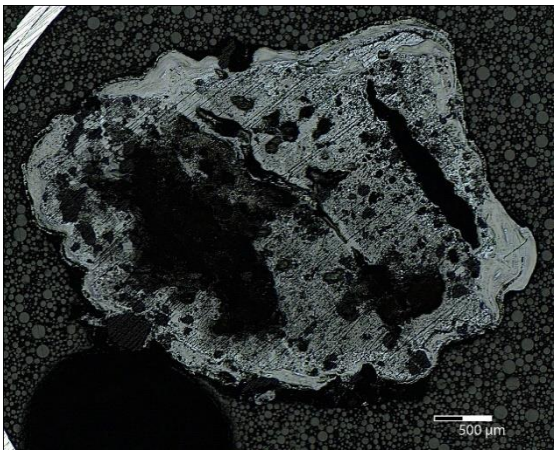


Fig. 36 : Vue générale de la section au microscope

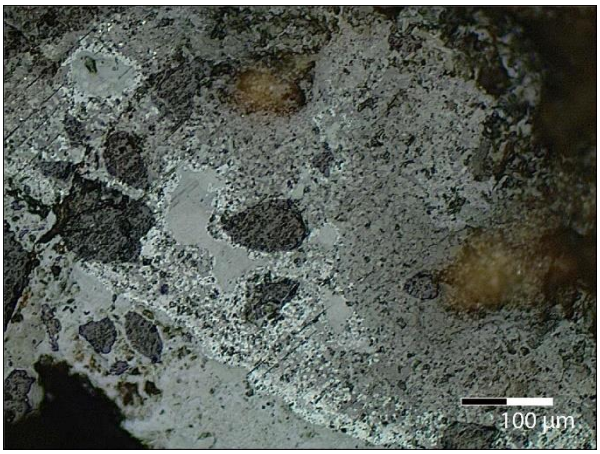


Fig. 37 : Vue de détail : matrice avec globules de magnétites (en gris foncé), liserés d'hydroxydes (en gris bleuté) et dendrite de wüstite (en blanc)

Battitures vitreuses (Type 3)

Boulbat 8

Battiture brune globulaire. Bille vitrifiée de couleur verdâtre avec une croûte brune en périphérie. Matrice vitreuse et cristallisée avec de très petites lattes de fayalite orientées vers l'extérieur. Présence de grains métalliques et d'une mini bille métallique associée à un filament d'hydroxyde. L'attaque nital n'a pas permis de caractériser la structure métallique. Composition légèrement différente des autres battitures de ce type.

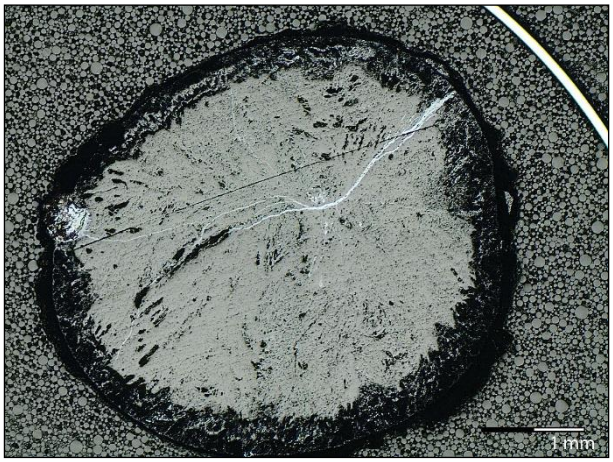


Fig. 38 : Vue générale de la section au microscope

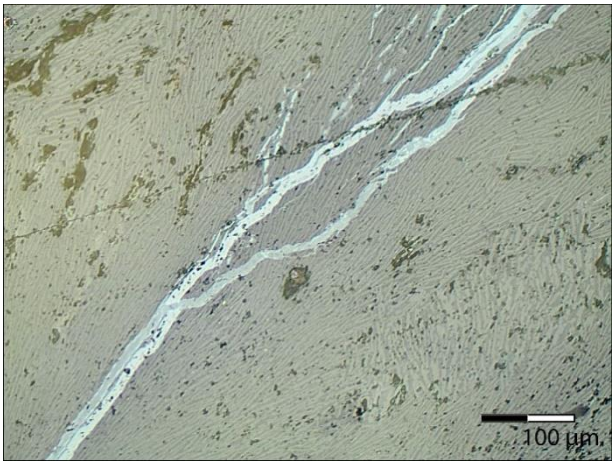


Fig. 39 : Vue de détail : fines lattes de fayalite (en gris clair) dans masse vitreuses (en grise foncé) et liseré d'hydroxyde (en blanc)

Boulbat 22

Battiture brune lamellaire. Quelques porosités surtout en périphérie qui signalent une matière assez fluide. La face inférieure et plane et celle supérieure est perturbée. Matrice uniquement vitreuse avec des grains métalliques par épars.

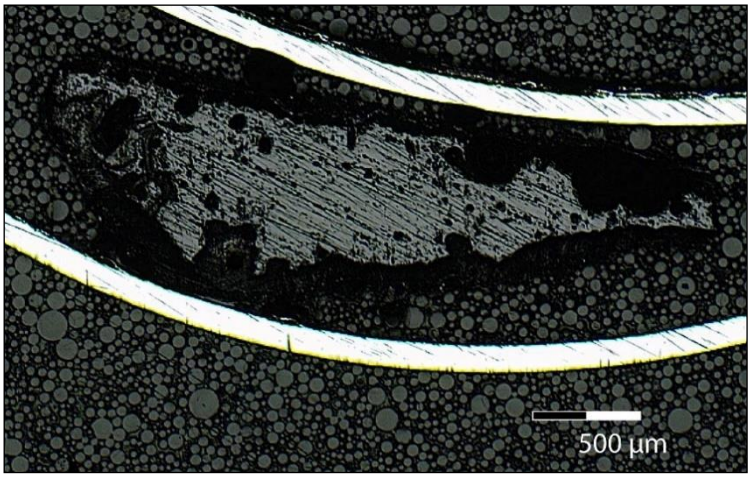


Fig. 40 : Vue générale de la section au microscope

Boulbat 25

Battiture brune lamellaire. Des porosités arrondies se trouvent au centre signalant une matière assez fluide. Matrice relativement dense, vitreuse avec des dendrites de wüstite en périphérie.

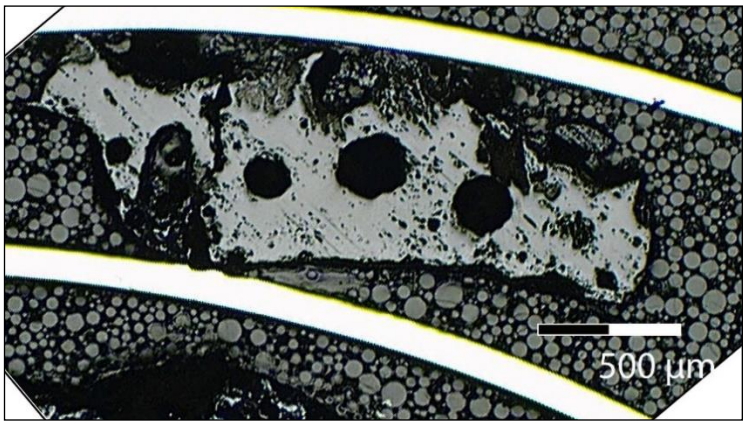


Fig. 41 *:* Vue générale de la section au microscope

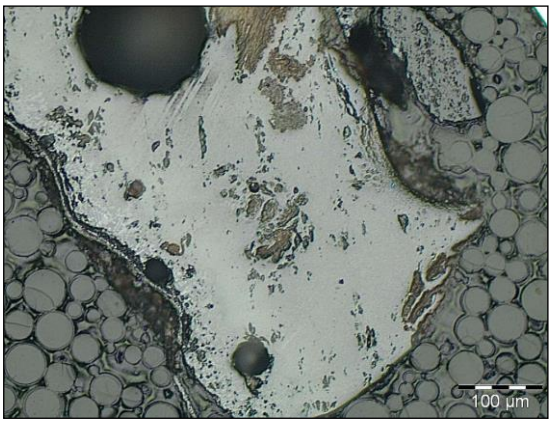


Fig. 42 : Vue de détail : matrice vitreuse (en gris foncé) avec des dendrites de wüstite en périphérie (en blanc)

Boulbat 29

Battiture brune globulaire. Quelques porosités arrondies sont visibles ainsi que des billes métalliques. Matrice uniquement vitreuse présentant des dendrites wüstite de très petite dimension en périphérie et de quelques fines lattes de fayalite autour d'une porosité. On observe un liseré de magnétite/wüstite en périphérie.



Fig. 43 : Vue générale de la section au microscope

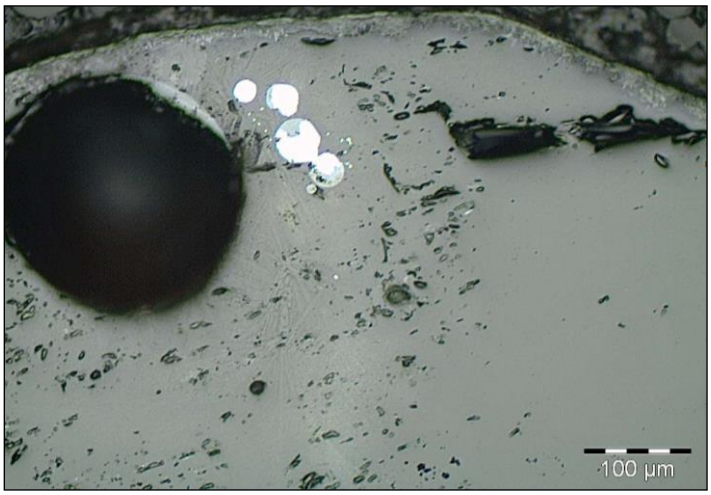


Fig. 44 : Vue de détail : matrice vitreuse (en gris foncé) avec des dendrites de wüstite en périphérie (en blanc), des billes métalliques (en blanc arrondie) et de fines lattes de fayalite (autour de la porosité)

Boulbat 34

Battiture brune globulaire. Matrice dense présentant une vitrification blanche, uniquement vitreuse avec des grains métallique épars. Des rubans d'hydroxydes sont visibles sur un côté ainsi que des grains argilo-sableux.

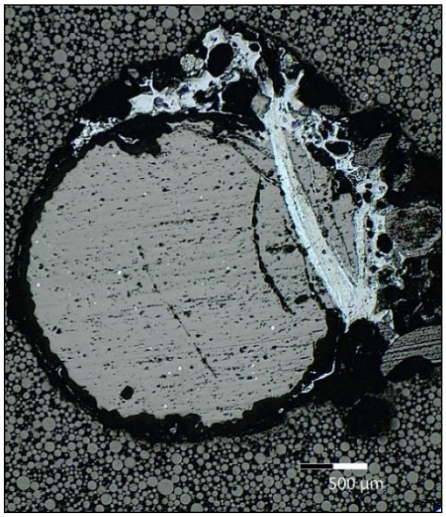


Fig. 45 *:* Vue générale de la section au microscope

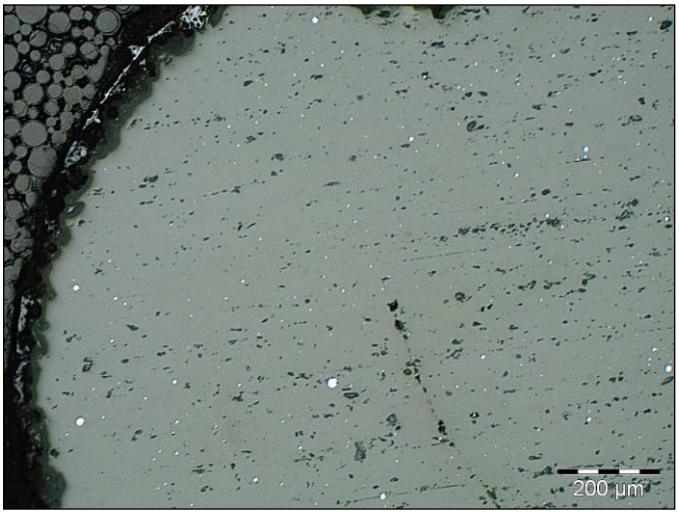


Fig. 46 : Vue de détail : matrice vitreuse (en gris foncé) avec des dendrites de grains métallique (en blanc)

Boulbat 39

Battiture brune. Matrice vacuolaire comprenant des micro-inclusions de battitures et des grains argilo-sableux. Les porosités sont circulaires et de petites dimensions. La matrice est biphasée avec d'un côté une phase vitreuse comprenant des micro-grains métalliques et de l'autre une phase hydroxydée où l'on observe des grains violacés.

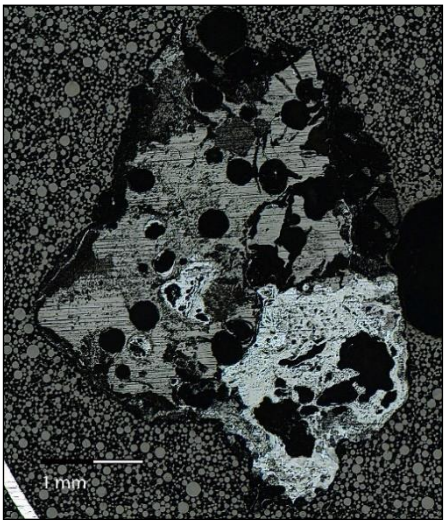


Fig. 47 : Vue générale de la section au microscope

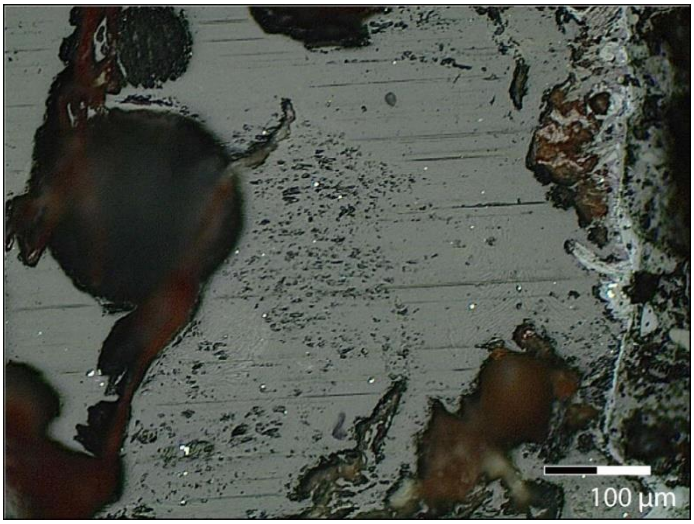


Fig. 48 : Vue de détail : matrice vitreuse (en gris foncé) avec des dendrites de grains métallique (en blanc)

Boulbat 46

Battiture brune. Matrice vacuolaire comprenant une bille métallique. Les porosités sont nombreuses et circulaires. La matrice est uniquement vitreuse avec des grains métalliques épars. L'attaque nital n'a pas permis de déterminer la structure du métal.

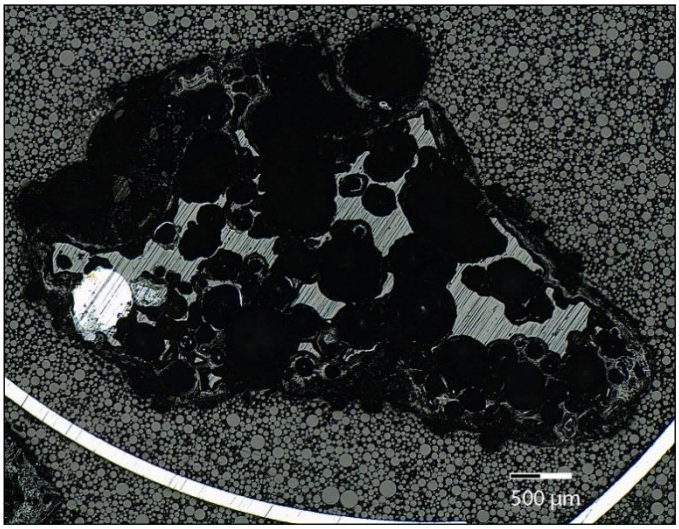


Fig. 49 *:* Vue générale de la section au microscope

Annexe 6 : Fiches métallographies du site F090

6.1 Les vestiges de réduction

Echantillon n° : CHAT1004

Site : F090
Forêt de Châteauroux

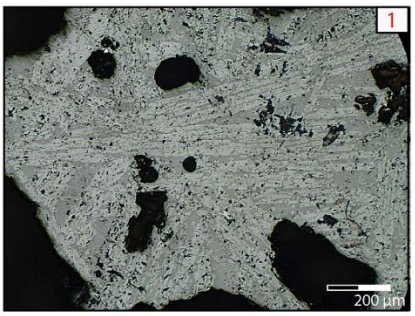
Nature de l'échantillon :
Fond de four

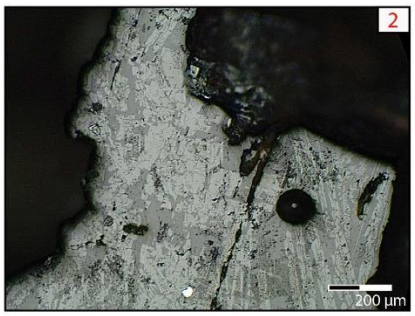
Macrographie : Fond de four plano-convexe brun et rugueux. Matrice de couleur brune à noire comprenant de très nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites dimensions et de forme arrondie à légèrement étirée.

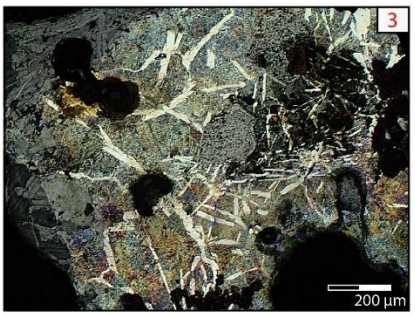
Dimensions : L = 10 cm l = 8,9 cm ep. = 5,6 cm
Masse : 0,41 g

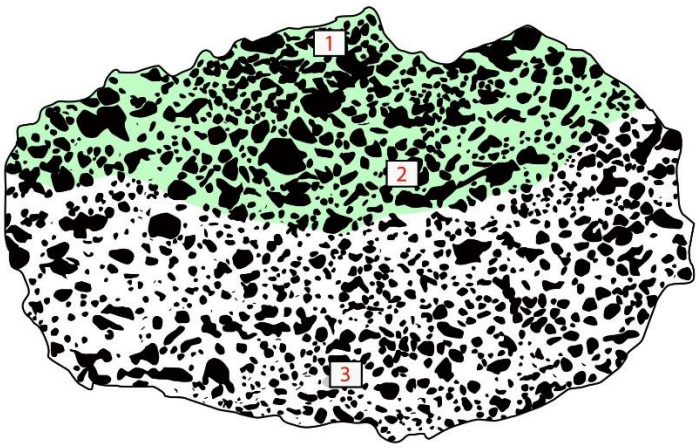


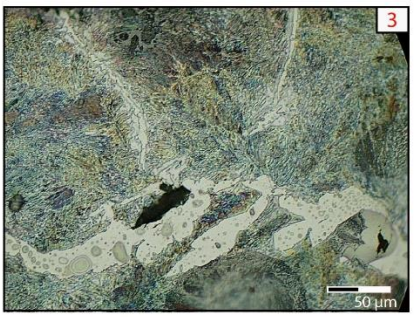
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse associée à une phase cristallisée comprenant de la fayalite en longues lattes (1) et en lattes épaisses à équigranulaires (2). Une bille métallique est visible dans la partie inférieure de la scorie et comprend une structure constituée d'aiguilles de ferrite associée à de la perlite caractéristique d'un acier hypoeutechtoïde (3).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice brune à noire dans la partie inférieure et verte dans la partie supérieure. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24). La matrice est homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de sa surface. Elles sont de petites dimensions et de forme arrondie à légèrement étiré ce qui témoigne d'une scorie relativement fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite en longues lattes en périphérie et en larges lattes et fayalites équigranulaires au centre. Cela témoigne d'un refroidissement plus lent de la scorie au centre (SERNEELS 1993 : 26). Une bille métallique centimétrique montre que la température du four était élevée dans le four. En outre, elle est constituée d'acier hypoeutechtoïde.

Echantillon n° : CHAT1011-1

Site : F090
Forêt de Châteauroux

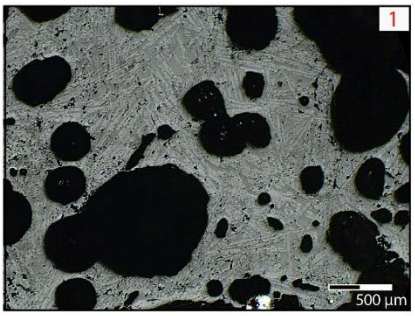
Nature de l'échantillon :
Fond de four

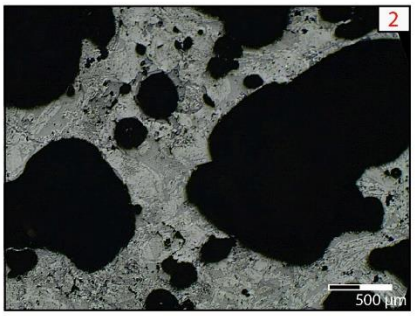
Macrographie : Scorie plano-convexe brune et rugueuse. Matrice de couleur noire à verdâtre comprenant de très nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites dimensions et de forme arrondie à légèrement étirée. On observe une concentration moins importante dans la partie supérieure.

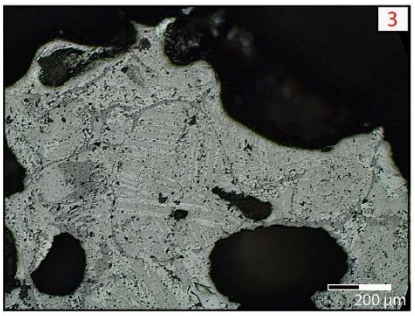
Dimensions : L = 13 cm l = 11,9 cm ep. = 5 cm
Masse : 0,65 g

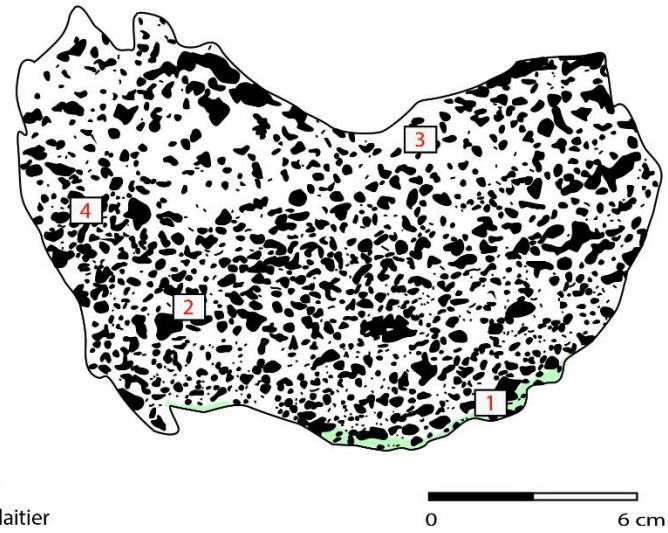


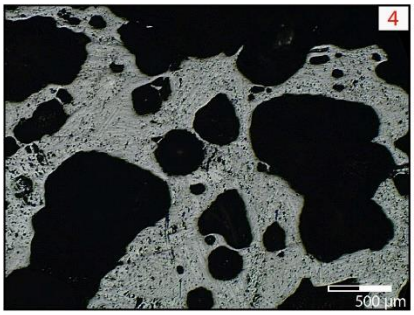
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse associée à une phase cristallisée comprenant de la fayalite en longues lattes avec des grains métalliques dans la partie inférieure (1) et de la fayalite équigranulaires dans la partie centrale (2). La partie supérieure est principalement composée de fines lattes de fayalite (3). Enfin, on observe la présence d'éléments roses, globulaires à courbes par endroit (4).

Synthèse :

Cette scorie présente une matrice noire à verte vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites dimensions et de forme arrondie à légèrement étiré ce qui témoigne d'une scorie relativement fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite en fines lattes en périphérie et à de la fayalites équigranulaires au centre. Cela témoigne d'un refroidissement plus lent de la scorie au centre (SERNEELS 1993 : 26). En outre, de très nombreux éléments courbes à globulaires en cours de dissolution sont présents dans la matrice.

Echantillon n° : CHAT1011-2

Site : F090
Forêt de Châteauroux

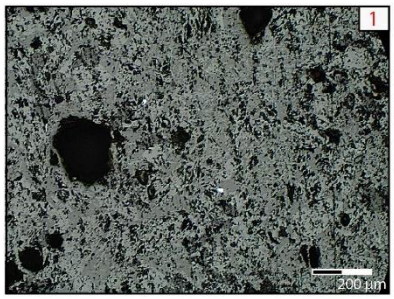
Nature de l'échantillon :
Fond de four

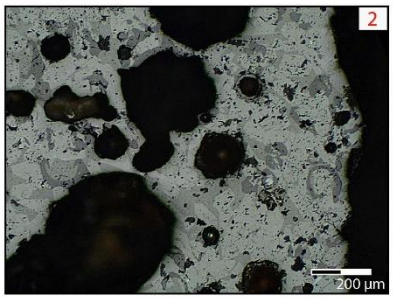
Macrographie : Scorie plano-convexe brune et rugueuse associée à de la scorie écoulée par endroit. Matrice de couleur noire comprenant de très nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface et particulièrement dans la partie centrale. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à étirée. La matrice est de couleur verdâtre en périphérie. Un fragment de charbon de bois se trouve au centre ainsi que deux nodules métalliques dans la partie inférieure.

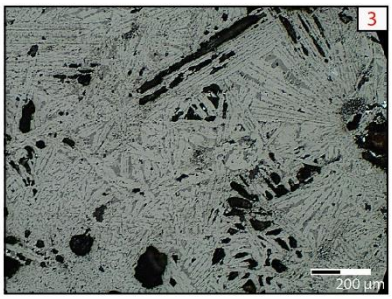
Dimensions : L = 13,5 cm l = 13 cm ep. = 6,7 cm
Masse : 1,1 g

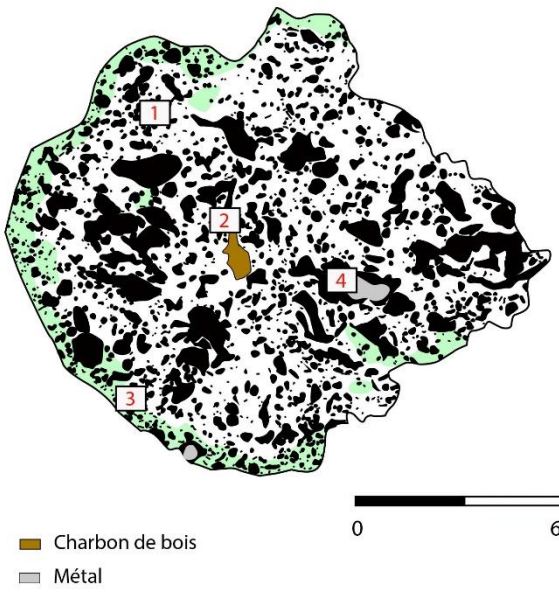


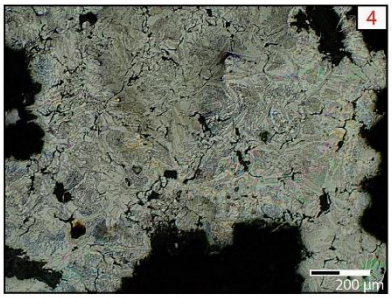
Observations Microscopiques

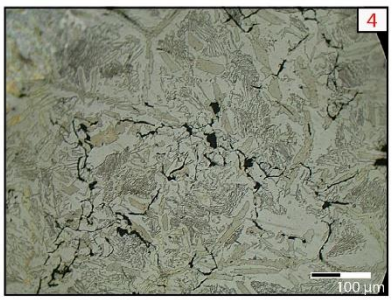












Micrographie: Matrice composée d'une phase vitreuse associée à une phase cristallisée comprenant des petits cristaux de fayalite équigranulaires et des grains métalliques par endroit (1). Les cristaux de fayalite sont de plus en plus important au centre de la scorie et associé à des grains roses argilo-sableux prenant des formes courbes à globulaires par endroit (2). Dans la partie inférieure la fayalite est en longue latte qui irradie depuis les porosités (3). Les nodules métalliques révèlent une structure composée d'aiguille de ferrite associée à de la perlite caractéristique d'un acier hypereutechtoïde (4).

Synthèse :

Cette scorie présente une matrice noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à étiré ce qui témoigne d'une scorie relativement peu fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Une vitrification verdâtre est visible en périphérie. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à des petits cristaux équigranulaires dans la partie supérieure, des cristaux plus massif au centre et de fines lattes de fayalite dans la partie inférieure. Cette cristallisation indique un refroidissement de la scorie plus lent en partie centrale et plus rapide en périphérie (SERNEELS 1993 : 26). De nombreuses inclusions identifiées comme étant des éléments argilo-sableux sont visibles dans la partie centrale. Enfin, les nodules métalliques piégés dans la scorie témoignent de la production d'acier hypereutechtoïde dont la morphologie de la ferrite laisse percevoir un refroidissement à l'air (POKORNY 1971 : 34).

Echantillon n° : CHAT1011-3

Site : F090
Forêt de Châteauroux

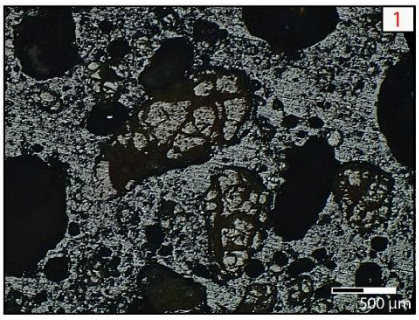
Nature de l'échantillon :
Paroi scorifiée

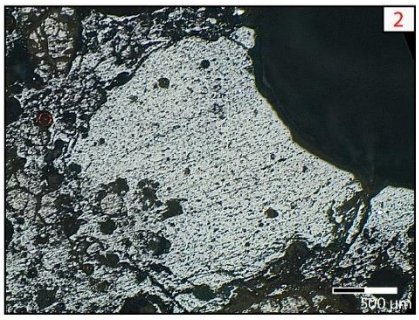
Micrographie : Paroi scorifiée plano-convexe brune. Matrice de couleur marron à orangée comprenant de très nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. La matrice est de couleur verdâtre par endroit. Plusieurs fragments de charbon de bois y sont inclus ainsi qu'une bille métallique dans la partie inférieure.

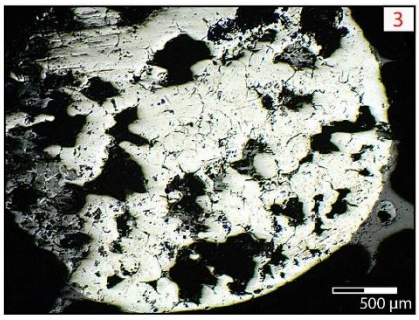
Dimensions : L = 15,4 cm l = 11 cm ep. = 8,1 cm
Masse : 0,84 g

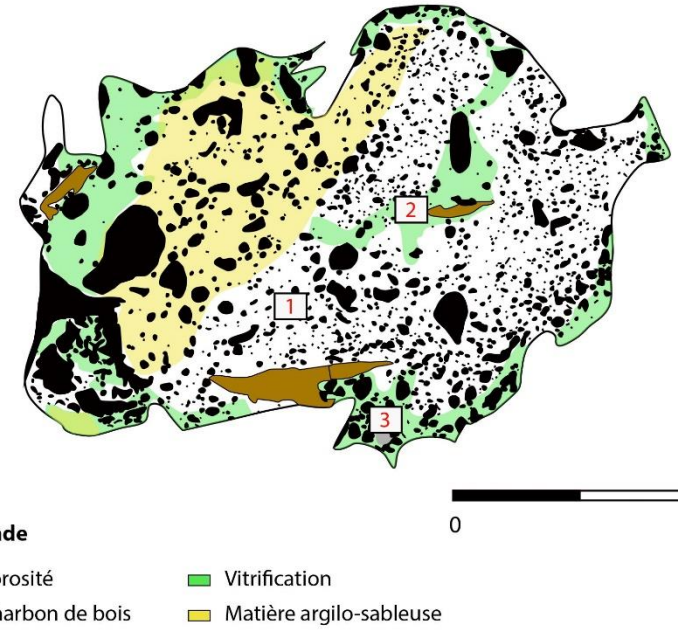


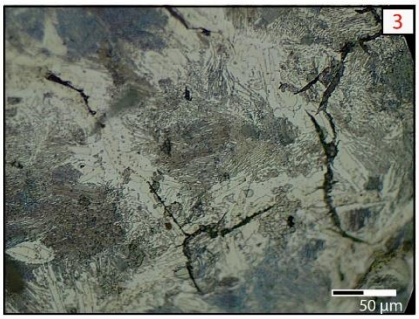
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice vitreuse comprenant de très nombreux grains argilo-sableux (1), des grains métalliques sont visibles par endroit (2). La bille métallique présente dans la partie inférieure est constituée de lamelles de perlite assez développées dans de l'austénite, caractéristique d'un acier eutectoïde (3).

Synthèse :

Ce vestige présente une matrice marron à orangée hétérogène comprenant de nombreuses inclusions argilo-sableuses et une importante vitrification verdâtre par endroit. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24).

L'étude microscopique montre qu'il est composé d'une phase vitreuse où l'on observe de nombreux grains métalliques ainsi qu'une bille dans la partie inférieure dont la structure révèle un acier eutectoïde, c'est-à-dire moyennement carburé (env. 0,8 % C).

Echantillon n° : CHAT1014-2

Site : F090
Forêt de Châteauroux

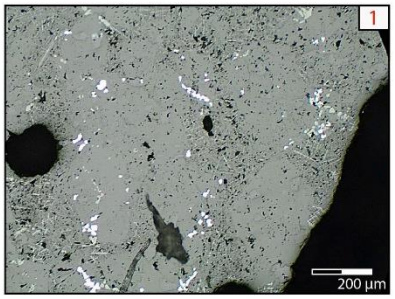
Nature de l'échantillon :
Fond de four

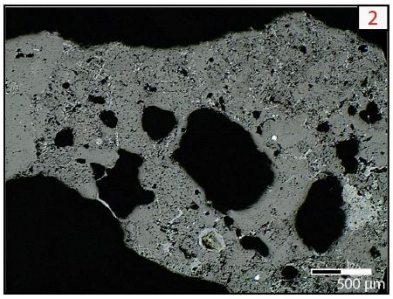
Macrographie : Scorie plano-convexe brune, rugueuse avec inclusions de charbons de bois. Matrice de couleur brune à noire. De très nombreuses porosités sont présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à grandes dimensions, surtout au centre, et principalement de forme étirée. Des inclusions de charbons de bois sont visibles et des nodules métalliques centimétriques dans la partie droite.

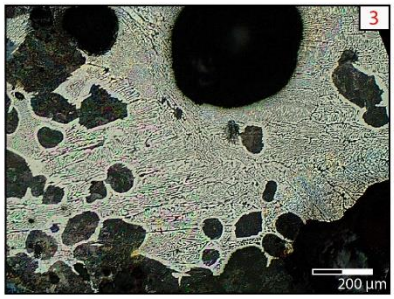
Dimensions : L = 14,1 cm l = 12,6 cm ep. = 7,8 cm
Masse : 1,4 g

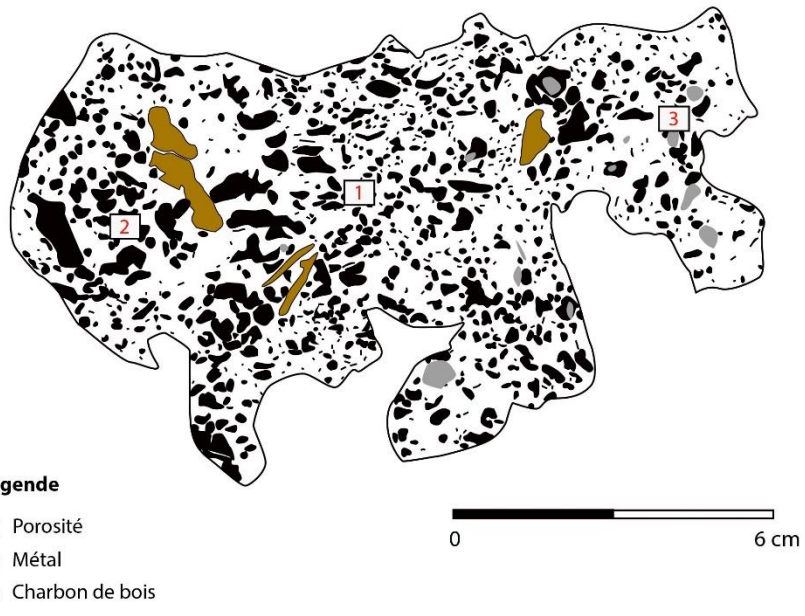


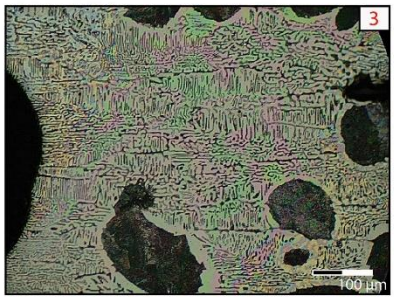
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse en périphérie associée à une phase cristallisée sous forme de fayalite équigranulaires avec second niveau de cristallisation (1). Des dendrites de wüstite sont visibles ainsi que des grains métalliques et des grains argilo-sableux (2). Les nodules métalliques présentent une structure composée de perlite et de cémentite caractéristique de la fonte blanche (3).

Synthèse :

Ce fond de four présente une matrice brune à noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à grandes dimensions et principalement de forme anguleuse ce qui témoigne d'une scorie relativement peu fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). En outre, on constate la présence de nombreux fragments de charbons de bois et de nodules métalliques.

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite équigranulaires présentant une seconde cristallisation par endroit, ce qui témoigne d'un refroidissement très lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Des dendrites de wüstite sont visibles par endroit ce qui signale un milieu réducteur lors du refroidissement de la scorie (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). Ce phénomène est appuyé par la présence d'hydroxydes autour des porosités. Les nodules métalliques, en nombre surtout dans la partie droite de la scorie, sont constitués de fonte blanche, c'est-à-dire que le fer produit est très riche en carbone (sup 2% de C). La présence de ce type de métal confirme l'environnement très réducteur dans le bas-fourneaux qui a produit la scorie et laisse supposer que cette activité n'était pas bien maitrisée.

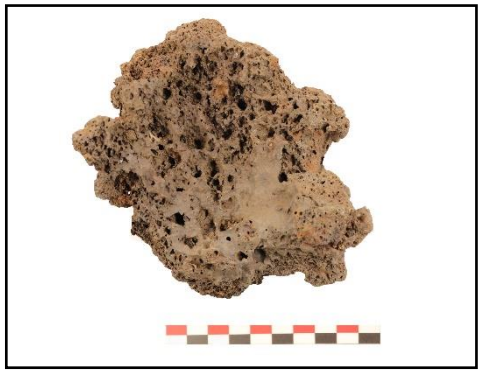
Echantillon n° : CHAT1014-3

Site : F090
Forêt de Châteauroux

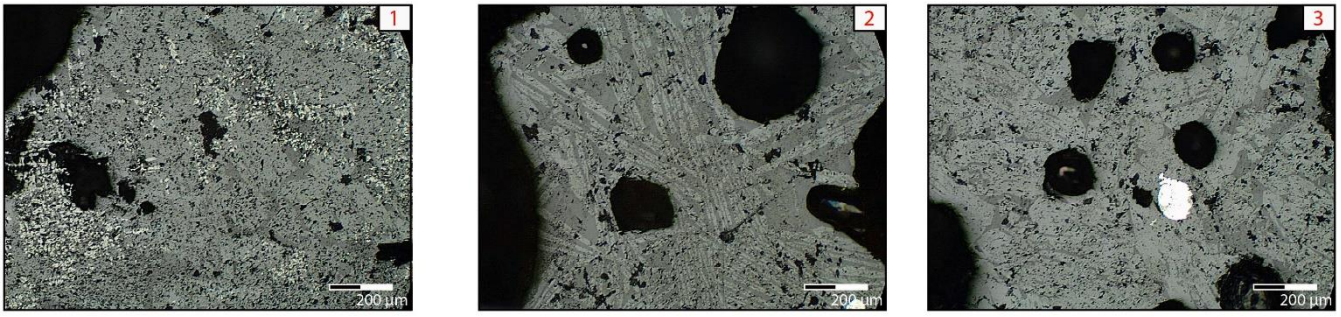
Nature de l'échantillon :
Scorie interne

Macrographie : Scorie plano-convexe brune et rugueuse. Matrice de couleur noire comprenant de nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à grandes dimensions et de forme arrondie à étirée. Les plus grandes se trouvent dans la partie centrale. Un liseré de vitrification verdâtre est visible dans la partie inférieure.

Dimensions : L = 12 cm l = 10,5 cm ep. = 2,9 cm
Masse : 0,46 g



Observations Microscopiques





Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et de fayalite équigranulaires dans la partie inférieure, associée à des dendrites de wüstite (1). La partie supérieure comprend de la fayalite en fines et larges lattes également associée à des dendrites de wüstite (2). Des petits nodules métalliques sont visibles dans la partie inférieure (3).

Synthèse :

Cette scorie présente une matrice noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à grandes dimensions, surtout au centre, et de forme arrondie à étiré ce qui témoigne d'une scorie relativement peu fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). La concentration des porosités plus importantes signale qu'une source d'oxygène devait être dirigée dans cette partie du four. Une vitrification verdâtre est visible en partie inférieure. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite équigranulaires dans la partie inférieure et en longues lattes dans la partie supérieure et centrale. Cela témoigne d'un refroidissement plus lent de la scorie dans la partie inférieure (SERNEELS 1993 : 26). Des nodules métalliques sont visibles par endroit mais leur dimension ne permet pas de déterminer leur structure.

Echantillon n° : CHAT1014-4

Site : F090
Forêt de Châteauroux

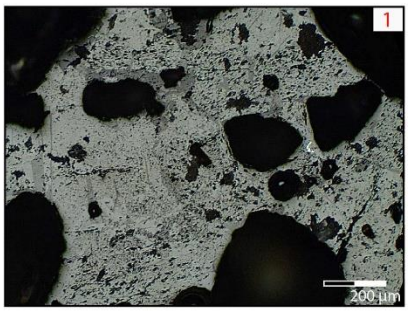
Nature de l'échantillon :
Fond de four

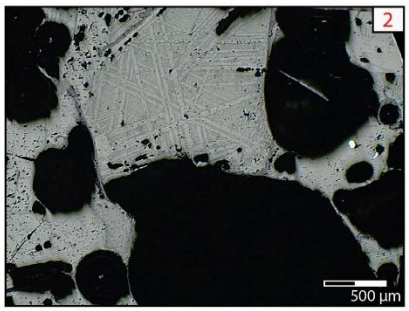
Macrographie : Scorie plano-convexe, brune et rugueuse très vitrifiée. Matrice de couleur noire comprenant de nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à anguleuse notamment en partie centrale. Une vitrification verdâtre est visible dans la partie inférieure. Inclusion d'hydroxydes par endroit.

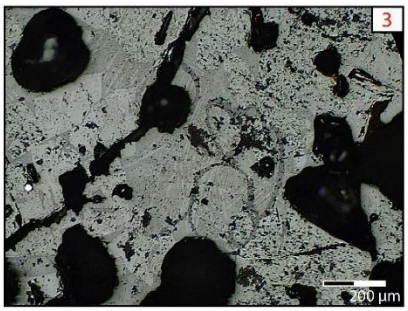
Dimensions : L = 12,6 cm l = 10,8 cm ep. = 4 cm
Masse : 0,5 g

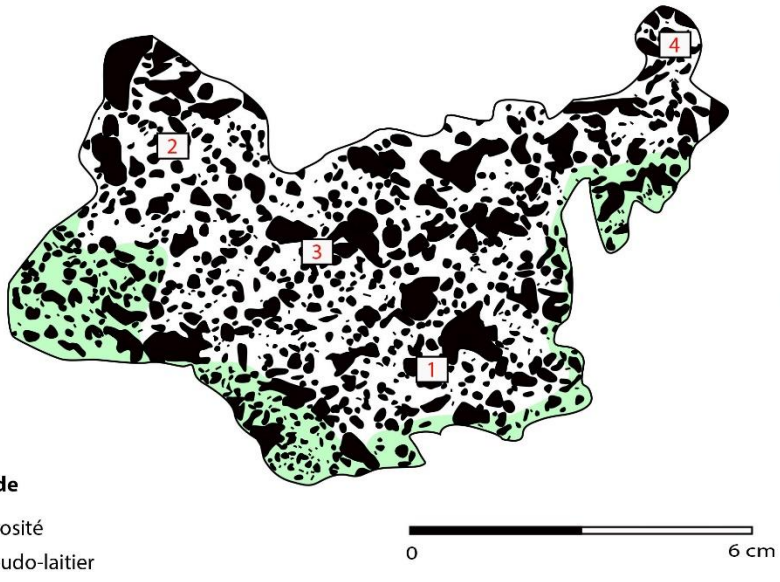


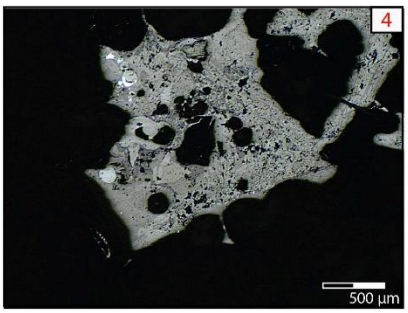
Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse associée à une phase cristallisée comprenant de la fayalite en large lattes et en cristaux équigranulaires (1). Dans la partie gauche on trouve de la fayalite en fine lattes avec un second niveau de cristallisation (2). Des éléments roses, courbes à circulaires, sont visibles par endroit (3). Enfin, présence d'hydroxydes autour des porosités (4).

Synthèse :

Cette scorie présente une matrice noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à anguleuse, plus particulièrement dans la partie centrale. Cela témoigne d'une scorie assez fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Une vitrification verdâtre est visible en partie inférieure. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite en larges lattes et en cristaux équigranulaires. Dans la partie gauche la fayalite est présente en fines lattes associées à une cristallisation secondaire. Cela signale un refroidissement lent de la scorie plus rapide dans la partie gauche (SERNEELS 1993 : 26). De nombreux éléments circulaires à globulaires sont présents dans la matrice. Enfin, une légère hydroxydation est observée autour des porosités témoignant d'une atmosphère réductrice dans le foyer.

Echantillon n° : CHAT1014-5

Site : F090
Forêt de Châteauroux

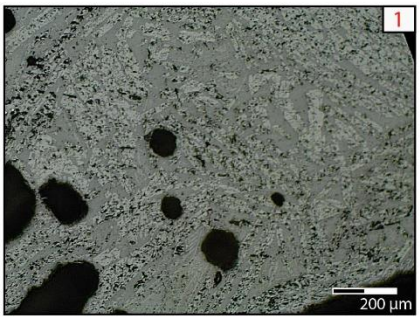
Nature de l'échantillon :
Scorie interne

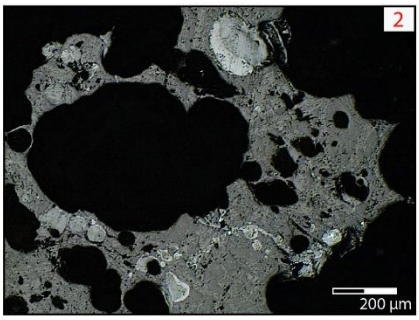
Macrographie : Scorie brune, rugueuse. Matrice de couleur noire comprenant de nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à anguleuse. La partie inférieure est vitrifiée et présente une coloration verdâtre.

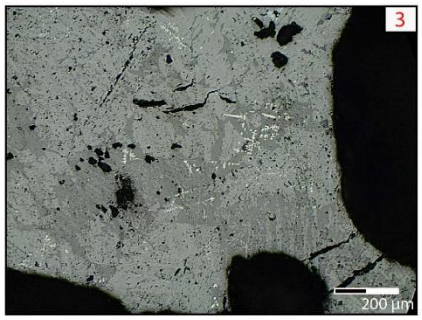
Dimensions : L = 8 cm l = 6,5 cm ep. = 3,5 cm
Masse : 0,2 g

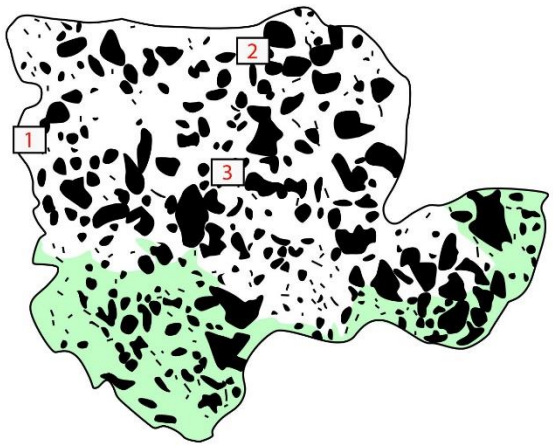


Observations Microscopiques









Légende

Porosité

Pseudo-laitier

0 4 cm

Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase cristallisée comprenant de la fayalite équigranulaires et en lattes associée à un second niveau de cristallisation en périphérie (1). La matrice est principalement vitreuse et associée à de la fayalite en fine lattes dans la partie gauche de la scorie (2). Des hydroxydes sont également observés. Enfin, des dendrites de wüstite se trouvent au centre de cette dernière (3).

Synthèse :

Cette scorie présente une matrice noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à anguleuse ce qui témoigne d'une scorie relativement fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126). Une vitrification verdâtre est visible en partie inférieure. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite équigranulaires et en lattes larges en périphérie et en fines lattes dans la partie gauche. Cela témoigne d'un refroidissement plus rapide de la scorie à gauche (SERNEELS 1993 : 26). En outre, des dendrites de wüstite sont observées au centre. Or, ces oxydes de fer cristallisent en milieu réducteur lors du refroidissement rapide de la scorie (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). Cette observation est appuyée par la présence d'hydroxydes par endroit.

6.2 Les culots de forge

Echantillon n° : CHAT1014-1

Site : F090
Forêt de Châteauroux

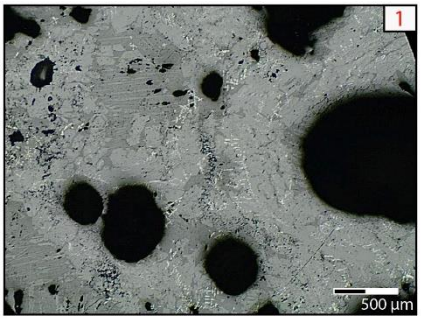
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

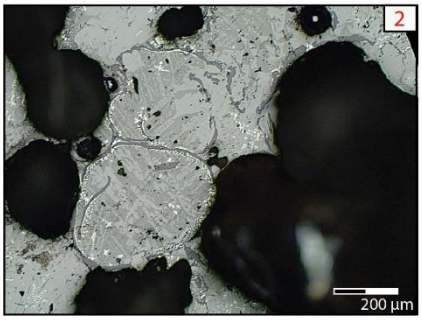
Macrographie : Scorie plano-convexe, brune et rugueuse. Matrice de couleur noire comprenant de nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à étirée notamment en partie supérieure. Une vitrification verdâtre est visible dans la partie supérieure.

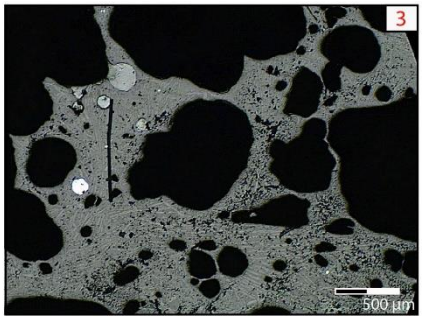
Dimensions : L = 18 cm l = 13,5 cm ep. = 3,8 cm
Masse : 0,7 g

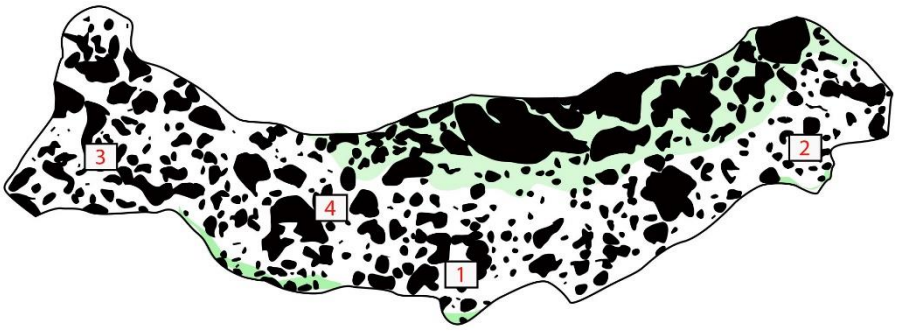


Observations Microscopiques









Légende
Porosité
Vitrification

0 6 cm

Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse associée à une phase cristallisée comprenant de large lattes de fayalite associées à des dendrites de wüstite (1). Des éléments courbes à circulaires, roses, sont visibles par endroit (2). Les lattes de fayalite sont plus fines dans la partie droite et supérieure de la coupe. Des hydroxydes et des billes métalliques y sont observés (3).

Synthèse :

Cette scorie présente une matrice noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme arrondie à étiré, plus particulièrement dans la partie supérieure. Cela témoigne d'une scorie peu fluide lors de son refroidissement et la potentielle présence d'une arrivée d'oxygène (soufflerie ?) en partie supérieure (BERRANGER 2014 : 126). Une vitrification verdâtre est visible par endroit. Ce phénomène est probablement engendré par la présence d'impuretés telles que Fe^{3+}, Ni^{2+} et/ou Cr^{2+} (SERNEELS 1993 : 24).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite en large lattes dans la partie inférieure et centrale et en fines lattes dans la partie supérieure et gauche. Cela signale un refroidissement moyen de la scorie commençant dans la partie supérieure et se terminant avec la partie inférieure (SERNEELS 1993 : 26). Des dendrites de wüstite sont largement représentées à la surface de la coupe. Ces oxydes de fer cristallisent en milieu réducteur lors du refroidissement de la scorie (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). En outre, de très nombreux éléments circulaires à globulaires en cours de dissolution sont présents dans la matrice. Enfin, une légère hydroxydation est observée autour des porosités.

Echantillon n° : CHAT1014-6

Site : F090
Forêt de Châteauroux

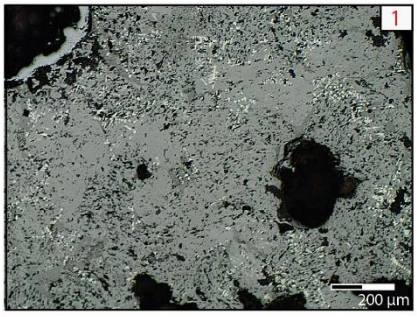
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

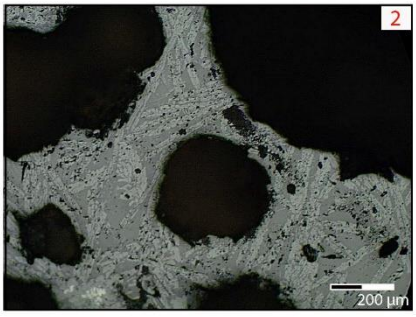
Macrographie : Scorie plano-convexe, brune et rugueuse. Matrice de couleur noire comprenant de nombreuses porosités sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme majoritairement étirée. Des inclusions d'oxydes de fer sont visibles par endroit.

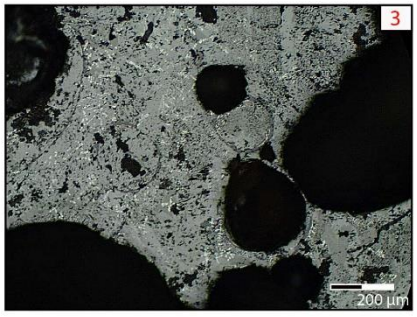
Dimensions : L = 12,6 cm l = 10 cm ep. = 2,7 cm
Masse : 0,34 g

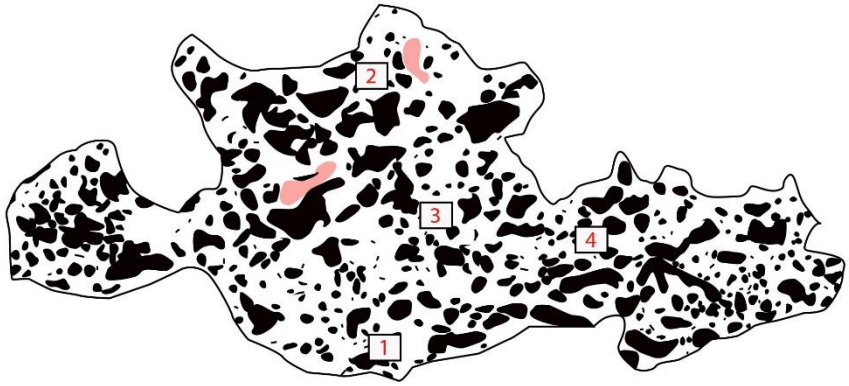


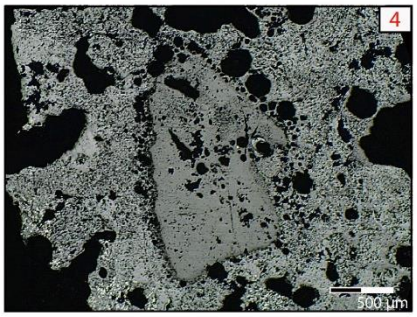
Observations Microscopiques











Micrograophie : Matrice composée d'une phase vitreuse et d'une phase cristallisée avec de la fayalite équigranulaires comprenant des dendrites de wüstite et quelques grains métalliques (1). Les cristaux de fayalite sont en fines lattes dans la partie supérieure (2). Des éléments courbes à circulaires, roses, sont visibles par endroit (3). Présence de masses argilo-sableuses par endroit et de rubans d'hydroxydes (4).

Synthèse :

Cette scorie présente une matrice noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites à moyennes dimensions et de forme principalement étirée. Cela témoigne d'une scorie relativement fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite équigranulaires en partie inférieure et centrale et en latte fine dans la partie inférieure. Cela signale un refroidissement lent de la scorie commençant dans la partie supérieure et se terminant avec la partie inférieure (SERNEELS 1993 : 26). Des dendrites de wüstite sont largement représentées à la surface de la coupe. Ces oxydes de fer cristallisent en milieu réducteur lors du refroidissement de la scorie (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). En outre, de très nombreux éléments courbes à globulaires en cours de dissolution sont présents dans la matrice. Enfin, des masses argilo-sableuses (paroi ?) sont visibles dans la matrice ainsi qu'une légère hydroxydation autour des porosités.

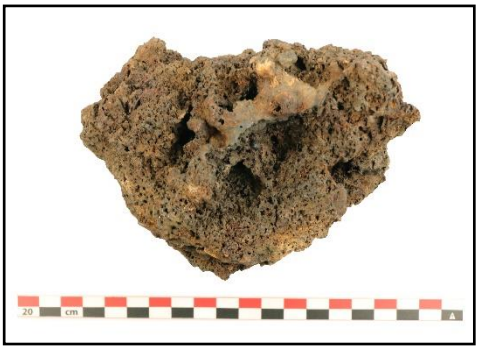
Echantillon n° : CHAT1018

Site : F090
Forêt de Châteauroux

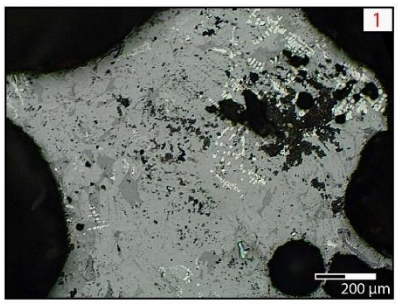
Nature de l'échantillon :
Culot de forge

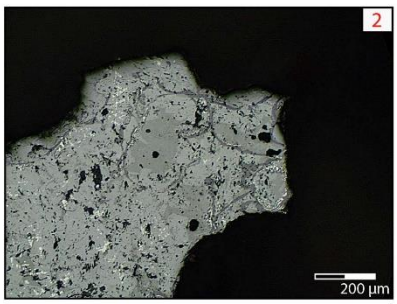
Macrographie : Scorie plano-convexe brune rugueuse avec inclusions de charbons de bois. Matrice de couleur brune à noire. De très nombreuses porosités sont présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites dimensions et de forme arrondie à légèrement étirée.

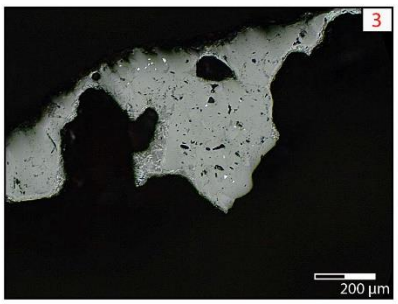
Dimensions : L = 12,8 cm l = 9,5 cm ep. = 5,5 cm
Masse : 0,48 g

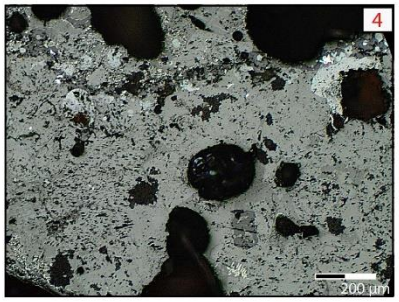


Observations Microscopiques











Micrographie : Matrice composée d'une phase vitreuse associée à une phase cristallisée comprenant de la fayalite en plaque et des dendrites de wüstite éparses (1). Présence de nombreux éléments courbes à globulaires, roses et de faible épaisseur en cours de dissolution (2). Des cristaux indéterminés sont associés à la fayalite dans la partie gauche de la coupe (3). Enfin, des hydroxydes sont visibles autour de certaines porosités (4).

Synthèse :

Ce culot de forge présente une matrice brune à noire vitrifiée, homogène avec de nombreuses porosités présentes sur l'ensemble de la surface. Elles sont de petites dimensions et de forme arrondie à légèrement étiré ce qui témoigne d'²une scorie relativement fluide lors de son refroidissement (BERRANGER 2014 : 126).

L'étude microscopique montre que cette scorie comprend une phase vitreuse associée à de la fayalite équigranulaires, ce qui témoigne d'un refroidissement lent de la scorie (SERNEELS 1993 : 26). Des dendrites de wüstite sont largement représentées à la surface de la coupe. Ces oxydes de fer cristallisent en milieu réducteur lors du refroidissement rapide de la scorie (DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103). Des grains argilo-sableux sont également visibles dans la partie gauche de la scorie. En outre, de très nombreux éléments courbes à globulaires en cours de dissolution sont présents dans la matrice. Enfin, une légère hydroxydation est observée autour des porosités.

Bibliographie

BERRANGER 2014

Berranger M.- *Le fer, entre matière première et moyen d'échange, en France du 7e-1er siècle avnt J.C.*, éditions universitaires de Dijon, Dijon, 382 p.

DUNIKOWSKI, LEROY, MERLUZZO, PLOQUIN 1996 : 103

Dunikowski C., Leroy M., Merluzzo P., Ploquin A.- « L'atelier de forge gallo-romain de Nailly (Yonne) : contribution à l'étude des déchets de production », in *Archéologie de l'Est*, vol. 47, p. 97-121.

MANGIN 2004

Mangin M. (dir.) – « Le fer », in Ferdière A. (dir.) *Collection « Archéologiques »*, Paris.

POKORNY 1971

Pokorny J.- *Album de métallographie*, Centre d'Études Supérieures de la Sidérurgie, Metz, 206 p.

SERNEELS 1993

Serneels V. – *Archéométrie des scories de fer. Recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*, Lausanne.

Solène LACROIX

ATELIERS DE PRODUCTION DU FER ANTIQUES ET MEDIEVAUX DANS LE CENTRE DE LA FRANCE

Résumé :

Le fer est un métal étroitement lié à la vie des populations anciennes. L'étude des zones sidérurgiques de Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) et de Châteauroux (Indre) documente la métallurgie et ses changements dans une région, le centre de la France, où cet artisanat est peu étudié et de façon disparate. Son approche de la période médiévale, que ce soit le haut Moyen Âge en forêt de Boulogne/Chambord ou le bas Moyen Âge dans le massif de Châteauroux, renseigne une période pour laquelle peu d'études approfondies sont actuellement disponibles en France. Il contribue également à enrichir nos connaissances de la métallurgie antique dans l'Indre. Ces résultats sont obtenus grâce à la mobilisation et au croisement de nombreuses sources d'informations: sources planimétriques et textuelles anciennes, données de prospections pédestres, géomagnétiques et LiDAR, données de fouilles archéologiques, études anthracologiques, études macroscopiques et métallographiques du mobilier ainsi que des analyses chimiques (ICP/MS et 14C). Les interprétations et hypothèses établies à propos de ces deux zones sidérurgiques contribuent finalement à trouver la juste place qu'elles ont occupée dans le contexte historique, politique et social qui est le leur.

Mots-clefs : Métallurgie, fer, archéométrie, scories, réduction, Moyen Âge, épuration, Antiquité, forêt, anthracologie

Abstract :

Iron is a metal closely linked to the life of ancient populations. The study of the siderurgical areas of Boulogne/Chambord (Loir-et-Cher) and Châteauroux (Indre) documents metallurgy and its changes in a region, the centre of France, where this craft is little studied and in a disparate way. Its approach to the medieval period, whether it be the early Middle Ages in the Boulogne/Chambord forest or the late Middle Ages in the Châteauroux massif, provides information on a period for which few in-depth studies are currently available in France. It also contributes to our knowledge of ancient metallurgy in the Indre. These results are obtained by mobilising and crossing numerous sources of information: planimetric and ancient textual sources, data from pedestrian, geomagnetic and LiDAR surveys, data from archaeological excavations, anthracological studies, macroscopic and metallographic studies of the material as well as chemical analyses (ICP/MS and 14C). The interpretations and hypotheses established for these two iron and steel areas finally contribute to finding their rightful place in their historical, political and social contexts.

Key words : Metallurgy, iron, archaeometry, slag, reduction, Middle Ages, purification, Antiquity, forest, anthracology