

Rapport final d'opération d'archéologie préventive

Volume I/III – Texte

Chaponnay, juin 2014

PAYS DE LA LOIRE / DÉPARTEMENT MAYENNE (53)

LA GRAVELLE

«ZAC de Loiron»



Code INSEE : 53108
N° Patriarce : EA 53 108 0006
N° d'opération : 185115
Arrêté de prescription n° 2012-60
Arrêté de désignation n° 2012-136

Sous la direction de
BERTRAND BONAVENTURE
Avec les contributions de
Julien BOHNY, Loïc GAUDIN,
Catherine LATOUR-ARGANT,
Chloé POIRIER-COUTANSAIS,
Carole VISSAC



Communauté de Communes du Pays de Loiron
Service Régional de l'Archéologie
Archeodunum SAS

ARCHEODUNUM
INVESTIGATIONS ARCHEOLOGIQUES

Avertissement

*Les rapports de fouille constituent des documents administratifs communicables au public dès leur remise au Service Régional de l'Archéologie, suivant les prescriptions de la loi n° 78-753 du 17 juillet modifié relative à l'amélioration des relations entre l'administration et le public. Aux termes de la circulaire du 26 mars 1993, ils pourront être consultés ; les agents des Services régionaux de l'archéologie rappelleront à tout demandeur les droits de propriété littéraires et artistiques possédés par les auteurs et les contraintes qui en résultent pour tout consultant. Les prises de notes et les photocopies sont utilisées pour un usage exclusivement privé et non destiné à une utilisation collective (article L122-5 du code de la propriété intellectuelle). Toute reproduction du texte accompagnée ou non de photographies, cartes ou schémas, n'est possible que dans le cadre du droit de courte utilisation, avec les références exactes et complètes de l'auteur et de l'ouvrage. Par ailleurs, l'exercice du droit à la communication exclut, pour ses bénéficiaires ou pour les tiers, la possibilité de reproduire, de diffuser ou d'utiliser à des fins commerciales les documents communiqués (Loi n°78-753 du 17 juillet, art. 10)
Le non respect de ces règles constitue un délit de contrefaçon puni par l'article 425 du code pénal.*

La Gravelle, «ZAC de Loiron» (53)

Rapport d'opération d'archéologie préventive

Illustration de couverture: **Le vaisseau collatéral sud de l'église moderne, vue de l'ouest, photo Q. Rochet.**

Sous la direction de
Bertrand BONAVENTURE

Avec la collaboration de
Julien BOHNY, Loïc GAUDIN, Catherine LATOUR-ARGANT, Chloé POIRIER-COUTANSAIS, Carole VISSAC

Mise en page
Eric SOUTTER

Sommaire

Volume I – Texte

<i>Remerciements</i>	8
Données administratives, techniques et scientifiques	9
Fiche signalétique du site.....	9
Mots-clés du Thesaurus	10
Générique de l’opération	11
Notice scientifique	12
Fiche d’état du site.....	13
Copie de l’Arrêté de prescription de fouille n° 2012-60	14
Copie de l’Arrêté d’autorisation de fouille n° 2012-136	17
Copie du cahier des charges scientifique n° 2012-136	20
Copie du Projet scientifique d’intervention (PSTI)	27
1. Introduction	47
1.1. Localisation du site	47
1.2. État des connaissances avant l’opération.....	47
1.2.1. Contexte archéologique	47
1.2.2. Résultats du diagnostic	48
1.2.3. Objectifs de la fouille.....	49
1.3. Méthodologie d’intervention	50
1.3.1. Moyens humains et techniques.....	50
1.3.2. Le décapage.....	50
1.3.3. La fouille des structures	51
1.3.4. Enregistrement et documentation	52
2. Contexte géologique et géomorphologique	53
2.1. Contexte général	53
2.2. Caractères macroscopiques des dépôts	53
2.2.1. Stratigraphie du site	53
2.2.2. Les structures curvilignes (chablis).....	54
2.2.3. Interprétation.....	54
2.3. Conclusion	55
3. Description des vestiges	57
3.1. Introduction.....	57
3.2. Les limites parcellaires (ensemble 2)	57
3.3. Les chablis (ensemble 16)	58
3.4. Les enclos	59

3.4.1. L'enclos A.....	59
3.4.2. L'enclos B.....	61
3.4.3. L'enclos C?	63
3.4.4. Étude micromorphologique	64
3.4.4.1. Principes et méthodes.....	64
3.4.4.2. Caractères généraux des comblements	65
3.4.4.3. Caractères micromorphologiques et interprétation	65
3.4.5. Synthèse et conclusion	67
3.4.6. Synthèse sur les fossés d'enclos	67
3.4.6.1. Chronologie	67
3.4.6.2. Comparaisons.....	68
3.5. Les bâtiments	69
3.5.1. Le bâtiment sur sablière : le bâtiment 1	69
3.5.2. Les bâtiments sur poteaux	71
3.5.2.1. Le bâtiment 3	71
3.5.2.2. Le bâtiment 4	72
3.5.2.3. Le bâtiment 5	73
3.5.2.4. Le bâtiment 6	74
3.5.2.5. Le bâtiment 7	74
3.5.2.6. Le bâtiment 8	75
3.5.2.7. Le bâtiment 9	76
3.5.3. Les autres concentrations de poteaux	76
3.5.3.1. L'ensemble 10	76
3.5.3.2. L'ensemble 11	77
3.5.3.3. L'ensemble 12	78
3.5.4. Synthèse	79
3.6. Les bas fourneaux	81
3.6.1. Description	81
3.6.1.1. L'ensemble 13	81
3.6.1.2. L'ensemble 14	84
3.6.1.3. L'ensemble 15	86
3.6.2. Étude des déchets sidérurgiques	89
3.6.2.1. Introduction	89
3.6.2.2. Une situation géographique propice à la découverte d'ateliers métallurgiques	90
3.6.2.3. Le minerai	90
3.6.2.4. Le combustible	91
3.6.2.5. Les scories	93
3.6.2.6. Les parois de four	95
3.6.2.7. Des éléments remarquables	95
3.6.3. Bilan	96
3.6.3.1. Conclusion.....	98
3.6.3.2. Perspectives	99
3.7. Les puits d'extraction	100
3.7.1. Le puits F.519	100
3.7.2. Le puits F.524	101
3.8. Les fosses	101
3.8.1. La fosse F.209	101
3.8.2. La fosse F.520	101
3.8.3. La fosse F.529	102

3.8.4. La fosse F.530	102
3.8.5. La fosse F.537	102
3.8.6. La fosse F.543	103
4. Études spécialisées	105
4.1. Étude céramologique	105
4.1.1. Méthodologie	105
4.1.2. Présentation du corpus	105
4.1.2.1. Répartition spatiale du mobilier	106
4.1.2.2. Aspects technologiques	107
4.1.2.3. Décors	107
4.1.3. Étude de la céramique par assemblage	108
4.1.3.1. L'enclos B	108
4.1.3.2. L'enclos C	109
4.1.3.3. Le bâtiment 1	109
4.1.3.4. Le puits F.519	110
4.1.3.5. La fosse F.209	110
4.1.3.6. La fosse F.530	110
4.1.3.7. Éléments découverts lors du diagnostic	110
4.1.4. Synthèse	110
4.2. Étude palynologique	112
4.2.1. Prélèvement des échantillons et objectifs	112
4.2.2. Traitement chimique des échantillons	112
4.2.3. Résultats	113
4.2.4. Description	114
4.2.4.1. La zone pollinique 1	114
4.2.4.2. La zone pollinique 2	115
4.2.5. Synthèse	116
4.3. Étude anthracologique	117
4.3.1. Introduction	117
4.3.2. Inventaire et origine des prélèvements	117
4.3.3. Bref aperçu du principe de l'étude anthracologique, éléments d'interprétation	118
4.3.3.1. Méthodologie	118
4.3.3.2. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation	120
4.3.3.3. Observation macroscopique du plan ligneux et calibration	121
4.3.4. Résultats d'analyse	124
4.3.4.1. Le bas fourneau F.104 (PR.042 et PR.043)	124
4.3.4.2. Le bas fourneau F.105 (PR.051 et PR.080)	128
4.3.4.3. Le bas fourneau F.106 (PR.053 et PR.056)	129
4.3.4.4. Le bas fourneau F.437 (PR.035)	132
4.3.4.5. Le bas fourneau F.438 (PR.038, PR.039, PR.040, PR.041)	133
4.3.4.6. Le bas fourneau F.439 (PR.033)	137
4.3.4.7. Le bas fourneau F.449 (PR.036, PR.037)	138
4.3.4.8. Le bas fourneau F.521 (PR.068)	140
4.3.4.9. Le bas fourneau F.522 (PR.067)	141
4.3.4.10. Le bas fourneau F.523 (PR.069)	142
4.3.5. Bilan	143
4.3.5.1. Informations d'ordre environnemental – paléopaysages	145
4.3.5.2. Informations d'ordre technique	146
4.3.6. Lexique	148
4.4. Carpologie	150

5. Synthèse générale	151
5.1. Phasage du site et chronologie.....	151
5.1.1. <i>La phase 0 (Néolithique-Hallstatt) : un bois ?</i>	151
5.1.2. <i>La phase 1 (Hallstatt-La Tène A) : premières installations sidérurgiques</i>	152
5.1.3. <i>La phase 2 (La Tène B-C) : développement de l'activité sidérurgique</i>	152
5.1.4. <i>La phase 3 (La Tène C2-D) : abandon progressif du site</i>	153
5.1.5. <i>La phase 4 (périodes modernes et contemporaines) : le parcellaire</i>	154
5.2. L'activité sidérurgique	154
5.2.1. <i>Étendue du site sidérurgique</i>	154
5.2.2. <i>Aspects chronologiques</i>	155
5.2.3. <i>La chaîne opératoire</i>	156
5.3. Le site de La Gravelle dans son contexte régional	157
5.3.1. <i>Implantation et nature des sites</i>	157
5.3.2. <i>Contribution à l'histoire de la sidérurgie dans le secteur de La Gravelle</i>	158
6. Conclusion	159
Bibliographie	161

Volume II – Planches

Liste des Planches	170
Planches	173

Volume III – Annexes

Annexe 1 : Inventaire des Unités Stratigraphiques (US)	313
Annexe 2 : Inventaire des faits archéologiques (F)	330
Annexe 3 : Inventaire des ensembles	348
Annexe 4 : Inventaire des sondages	350
Annexe 5 : Inventaire du mobilier	353
Annexe 6 : Inventaire des prélèvements	355
Annexe 7 : Inventaire des céramiques isolées	358
Annexe 8 : Inventaire des scories et des parois de four	360
Annexe 9 : Inventaire palynologique	364

Annexe 10: Inventaire des relevés graphiques.....	365
Annexe 11: Inventaire des clichés numériques	370
Annexe 12: Inventaire des points topo	406
Annexe 13: Rapport d'analyses radiocarbone (Beta Analytic)	448
Annexe 14: Inventaire de la documentation écrite.....	478
Annexe 15: Inventaire de la documentation numérique.....	479

Remerciements

Pour la transmission d'informations documentaires, Ludmilla GHAUMEZ, conservation du patrimoine du Rhône.

Merci à Camille COLLOMB pour sa participation à la recherche documentaire.

Un très grand merci à Philippe JUNET pour son implication dans la fouille et son savoir-faire.

Nous remercions Audrey BARADAT, David JOUNEAU et Isabelle PARRON pour leurs relectures et propositions.

Données administratives, techniques et scientifiques

Fiche signalétique du site

Localisation du site

Département :	Mayenne
Commune :	La Gravelle
Lieu-dit :	ZAC de Loiron
Code INSEE :	53108
N° d'opération :	185115
N° Patriarche :	EA 53 108 0006
Coordonnées géographiques (Lambert 93) :	x : 1399650 à 1399825 ; y : 7216445 à 7216607
Altitudes :	175,04 m NGF à 183,93 m NGF
Cadastre :	ZE 54 et ZE 151
Propriétaire du terrain :	Communauté de Communes du Pays de Loiron Maison de Pays – 53320 Loiron

Opération archéologique :

Type d'opération :	fouille archéologique préventive
Arrêté de prescription :	2012-60
Nature de l'aménagement :	Zone d'aménagements concertés
Maître d'ouvrage :	Communauté de Communes du Pays de Loiron Maison de Pays – 53320 Loiron
Opérateur :	Archeodunum SAS 500, rue Juliette Récamier – 69970 Chaponnay
Arrêté de désignation du responsable scientifique :	2012-136
Titulaire :	Bertrand Bonaventure
Organisme de rattachement :	Archeodunum SAS
Surface décapée :	13400 m ²
Dates d'intervention sur le terrain :	19 juin – 2 août 2013
Lieu de conservation temporaire du mobilier :	Archeodunum SAS 500, rue Juliette Récamier – 69970 Chaponnay

Mots-clés du Thesaurus

Thésaurus « Chronologie »

- Paléolithique
 - inférieur
 - moyen
 - supérieur
 - Mésolithique et Epipaléolithique
- Néolithique
 - ancien
 - moyen
 - récent
 - Chalcolithique
- Protohistoire
 - Âge du Bronze
 - ancien
 - moyen
 - final
 - Âge du Fer
 - Hallstatt (premier Âge du Fer)
 - La Tène (second Âge du Fer)
- Antiquité romaine (gallo-romain)
 - République romaine
 - Empire romain
 - Haut Empire (jusqu'en 284)
 - Bas Empire (de 285 à 476)
- Epoque médiévale
 - Haut Moyen Âge
 - Moyen Âge
 - Bas Moyen Âge
- Temps modernes
- Epoque contemporaine
 - Ere industrielle

Thésaurus « Interprétation »

Sujet et thèmes

- Edifice public
- Edifice religieux
- Edifice militaire
- Bâtiment commercial
- Structure funéraire
- Voirie
- Hydraulique
- Habitat rural
- Villa
- Bâtiment agricole
- Structure agraire
- Urbanisme
- Maison
- Structure urbaine
- Foyer
- Fosse
- Sépulture
- Grotte
- Abris
- Mégalithe
- Artisanat alimentaire
- Four
- Atelier métallurgique
- Artisanat
- Autre:

Mobilier

- Industrie lithique
- Industrie osseuse
- Céramique
- Restes végétaux
- Faune
- Flore
- Objet métallique
- Arme
- Outil
- Parure
- Habillement
- Trésor
- Monnaie
- Verre
- Mosaïque
- Peinture
- Sculpture
- Inscription
- Autre:

Etudes spécifiques

- Géologie, pédologie
- Datation
- Anthropologie
- Paléontologie
- Zoologie
- Botanique
- Palynologie
- Macrorestes
- An. de céramique
- An. de métaux
- Acq. des données
- Numismatique
- Conservation
- Restauration
- Autre: anthracologie, scories

Générique de l'opération

Intervenant scientifiques :

Hélène Courty : Ingénieur de recherche (SRA Pays de la Loire)
Bertrand Bonaventure : Responsable d'opération (Archeodunum SAS)

Intervenants administratifs :

Guy San-Juan : Conservateur régional d'archéologie (SRA Pays de la Loire)
Philippe Boeckler : Responsable d'agence Nantes (Archeodunum SAS)

Intervenants techniques et scientifiques :

Phase terrain :

Bertrand Bonaventure (responsable d'opération)
Mélanie Lefils (responsable adjoint)
Laëtitia Cure (technicienne)
Yann Esseul (technicien)
Adélaïde Hersant (technicienne)
Brice Nicot (technicien)
Elsa Paulien (technicien)

Phase de post-fouille :

Lavage et conditionnement du mobilier : Laetitia Cure, Mélanie Lefils, Chloé Poirier-Coutansais
DAO : Bertrand Bonaventure, Laetitia Cure
PAO : Éric Soutter

Rédaction du rapport :

Bertrand Bonaventure (rédaction du rapport, coordination)

Études spécialisées :

Julien Bohny (étude des bas fourneaux)
Loïc Gaudin (anthracologie)
Catherine Latour-Argant (palynologie)
Chloé Poirier-Coutansais (étude céramologique)
Carole Vissac (géomorphologie)

Remerciements :

Nous tenons à remercier plusieurs personnes n'ayant pas été avares de conseils concernant la méthode de fouille et d'études bas fourneaux, ainsi que leur interprétation : Michel Hubert, Marc Leroy, Lionel Orengo, Maxence Pieters et Florian Sarreste.

Notice scientifique

Le site de La Gravelle (53) a été fouillé préalablement à la réalisation d'une ZAC à l'ouest de la commune. Le décapage, distingué en trois zones couvrant une superficie totale d'environ 1,3 ha, a permis de documenter une occupation de l'âge du Fer centrée sur l'activité sidérurgique. Les datations ¹⁴C permettent de scinder cette occupation en trois phases. La première, qui remonte au premier âge du Fer ou au début du second (VIII^e-V^e siècles avant J.-C.) voit l'installation d'un probable enclos fossoyé et de trois bas fourneaux à scorie piégée et usage unique. Ces aménagements sont probablement consécutifs d'un déboisement, et résultent sans doute d'une exploitation locale du minerai et du combustible. Toutefois, c'est surtout pour la seconde phase que ces éléments ont pu être mis en évidence : datée de La Tène B-C (Ve-IIIe siècles), elle est marquée par la réalisation d'un nouvel enclos de 4800 m², et la construction d'un bâtiment sur sablière et poteaux porteurs probablement voué à l'habitat. D'autres petits bâtiments sont également construits, avec sans doute une fonction technique au sein de l'activité sidérurgique. Cette dernière est représentée par six bas fourneaux, un puits d'extraction et une fosse de rejet de déchets liés à la préparation du minerai. Enfin, la troisième phase, datée de La Tène C2-D2 (IIe-Ier siècles avant J.-C.), n'est représentée que par un enclos qui reprend dans les grandes lignes les limites du précédent, mais en doublant l'emprise qui atteint 9500 m². Toutefois, aucun bâtiment ni structure sidérurgique n'a été mise en évidence pour cette période. Elle marque ainsi la fin de l'occupation du site de La Gravelle. Cette occupation s'inscrit dans un contexte régional riche en établissements sidérurgiques protohistoriques, et vient compléter les informations concernant les débuts du travail du fer dans l'ouest de la Gaule.

Fiche d'état du site

L'emprise de fouille ayant été scindée en trois zones, il est certain que certains vestiges rattachables à l'occupation protohistorique demeurent dans les zones non atteintes par la fouille. Outre les deux enclos, dont les tracés n'ont été que partiellement dégagés, il existe probablement d'autres structures (bâtiments, bas fourneau) qui n'ont pas été documentée en dehors de l'emprise décapée. À ce titre, l'angle occidental de l'enclos B est probablement celui qui contient encore le plus grand nombre de vestiges, puisque le décapage a bien montré la densité d'occupation de ce secteur. C'est le cas également pour la bande séparant les zones 2 et 3, notamment au sud en bordure de laquelle un bas fourneau isolé a été mis au jour.

Au delà des limites de l'enclos, il est plus délicat d'estimer la densité des vestiges. Si le diagnostic a identifié la présence de rares structures de réduction en dehors de l'enclos A, le décapage de la zone 1 n'a montré que la présence de fossés de parcelles et de chablis. Quelques indices d'occupation médiévale sont également attestés, mais rien qui ne semble réellement structuré.

À l'intérieur de l'emprise de fouille, le décapage a atteint le terrain naturel sur toute l'emprise. Le traitement des structures est variable selon les cas : les bas fourneaux ont tous été intégralement fouillés ; les fossés d'enclos ont été sondés à raison d'environ 1/3 de leur longueur ; la plupart des fossés et trous de poteau ont été fouillés à moitié, à l'exception de l'extrémité sud de la zone 2 pour laquelle le traitement a été plus sommaire. Reste les deux puits d'extraction, dont les fonds n'ont pas été atteints.

Copie de l'Arrêté de prescription de fouille n° 2012-60



PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE

Arrêté portant prescription d'une fouille préventive (opération n°2012-136)

DIRECTION REGIONALE DES
AFFAIRES CULTURELLES

Affaire suivie par

**LE PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE,
PRÉFET DE LA LOIRE-ATLANTIQUE**

Officier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Ordre National du Mérite

VU le code du Patrimoine et notamment son livre V;

VU l'arrêté du 16 septembre 2004 portant définition des normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issu des diagnostics et fouilles archéologiques ;

VU l'arrêté du 27 septembre 2004 portant définition des normes de contenu et de présentation des rapports d'opérations archéologiques ;

VU l'arrêté n°2012/SGAR/300, en date du 27 août 2012 de Monsieur Christian GALLIARD de LAVERNÉE, préfet de la région Pays-de-la-Loire, portant délégation de signature administrative à Monsieur Georges POULL, directeur régional des affaires culturelles des Pays de la Loire ;

VU l'arrêté n°60 du 16/02/2012 portant prescription d'une opération d'archéologie préventive concernant la tranche 1 du projet de « ZAC de Loiron » par la Communauté de Communes du Pays de Loiron ; pour le terrain sis au lieu-dit « ZAC de Loiron » sur la commune de La Gravelle(53)

VU le rapport de diagnostic réalisé par opérateur remis au préfet de région le 6/08/2012 faisant suite à l'arrêté n°60 du 16/02/2012;

VU l'avis de la Commission interrégionale de la recherche archéologique en date du 17 octobre 2012;

CONSIDÉRANT la présence de vestiges archéologiques protohistoriques;

CONSIDÉRANT que les travaux projetés doivent être précédés d'une étude des vestiges par une fouille archéologique.

ARRETE
(n°397)

Article 1er

Une fouille archéologique préventive sera mise en œuvre préalablement à la réalisation du projet de ZAC, situé comme suit :

Région : **Pays -de-la-Loire**

Département : **Mayenne**

Commune : **La Gravelle**

Adresse / lieu-dit : **Zac de Loiron**

Cadastre : parcelles **ZB 54 et ZE 151**

Coordonnées Lambert : x : 348997 y : 2347464

Numéro des entités archéologiques dans la base de données " Patriarche " :

53 108 0006

Propriétaire : l'opérateur prendra l'attache de l'aménageur pour connaître l'état des propriétés au moment des travaux d'archéologie.

et réalisé par l'aménageur suivant :

M. le Président de la Communauté de Communes du Pays de Loiron (Maison de Pays Espace Tertiaire, 53320 LOIRON)

La fouille préventive porte sur une superficie de **24000 m²** selon le plan de situation annexé au présent arrêté.

Article 2

La fouille prescrite à l'article 1er sera réalisée conformément au cahier des charges scientifiques annexé au présent arrêté, sous la maîtrise d'ouvrage de l'aménageur désigné au même article.

Sa réalisation peut être confiée à l'Institut national de recherches archéologiques préventives ou à un opérateur titulaire de l'agrément prévu par l'article R. 522-8 du code du patrimoine susvisé.

Cet agrément devra couvrir la période suivante : âge du Fer.

L'aménageur conclura avec l'opérateur un contrat comportant le projet scientifique d'intervention, lequel précisera les modalités de mises en œuvre des prescriptions énoncées par le cahier des charges scientifique précité.

Article 3

La fouille pourra être entreprise après que l'aménageur ait sollicité et obtenu l'autorisation prévue par l'article R. 523-46 du code du patrimoine susvisé.

A cet effet, l'aménageur produira un dossier comprenant le contrat mentionné à l'article 2 du présent arrêté, le justificatif de l'agrément de l'opérateur et, le cas échéant, la déclaration sur l'honneur prévue à l'article R. 523-45 du code du patrimoine susvisé.

Article 4

L'aménageur notifiera au préfet de région les dates de début et d'achèvement des opérations de fouilles. Il est responsable de la bonne conservation du mobilier mis au jour. Il est tenu de remettre, au préfet de région, un rapport final en 8

exemplaires originaux paginés dont un non-relié, élaboré sous la direction du responsable d'opération désigné par le préfet et conforme à l'arrêté du 27 septembre 2004 susvisé.

Article 5 :

Le service régional de l'archéologie adressera l'inventaire, prévu à l'article 7-2 de l'arrêté du 27 septembre 2004, des vestiges archéologiques mobiliers recueillis au cours de la fouille, à la personne physique ou morale, propriétaire à la date de début de l'intervention archéologique du terrain visé à l'article 1er et informera celui-ci de ses droits.

Le mobilier archéologique ne pourra donner effectivement lieu au partage prévu par l'article L 523-14 du code du Patrimoine susvisé qu'au terme de son étude scientifique et après remise au service régional de l'archéologie, laquelle remise intervient au plus tard deux ans après l'achèvement de la phase de terrain de la fouille. La prise de données, le rapport et les archives de l'opération seront organisées conformément aux arrêtés du 16 et du 27 septembre 2004 susvisés et aux recommandations du service régional de l'archéologie des Pays-de-la-Loire émises à l'attention des responsables d'opérations archéologiques.

Article 6 : Le directeur régional des affaires culturelles est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à M. le Président de la Communauté de Communes du Pays de Loiron (Maison de Pays Espace Tertiaire, 53320 LOIRON).

Fait à Nantes, le 06/11/2012

Le Conservateur Régional
de l'Archéologie


Guy SAN JUAN

Copie de l'Arrêté d'autorisation de fouille n° 2012-136



PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE

COPIE

Arrêté portant autorisation d'une opération de fouille préventive (opération n°2012-136)

DIRECTION REGIONALE DES
AFFAIRES CULTURELLES

Affaire suivie par

**LE PREFET DE LA REGION PAYS DE LA LOIRE,
PRÉFET DE LA LOIRE-ATLANTIQUE**

Officier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Ordre National du Mérite

VU le code du Patrimoine, notamment son livre V ;

VU l'arrêté du 16 septembre 2004 portant définition des normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issu des diagnostics et fouilles archéologiques ;

VU l'arrêté du 27 septembre 2004 portant définition des normes de contenu et de présentation des rapports d'opérations archéologiques ;

VU l'arrêté n°2013/SGAR/DRAC/06, en date du 17 janvier 2013 de Monsieur Christian GALLIARD de LAVERNÉE, préfet de la région Pays-de-la-Loire, portant délégation de signature à Monsieur Louis BERGES, directeur régional des affaires culturelles des Pays de la Loire ;

VU l'arrêté de prescription de fouille archéologique n°397 du 06/11/2012 et son cahier des charges ;

VU le contrat conclu pour la réalisation de la fouille prescrite reçu le 19/04/2013 ;

CONSIDERANT que le contrat et notamment le projet d'intervention de l'opérateur sont conformes au cahier des charges prescrit ;

ARRETE
(n°211)

Article 1er :

La Communauté de Communes du Pays de Loiron, aménageur, est autorisée à faire réaliser par Archéodunum, opérateur, sous la direction scientifique de Monsieur

Bertrand BONAVENTURE , la fouille archéologique préventive portant sur le terrain sis en :

Région : **Pays de la Loire**

Département : **Mayenne**

Commune : **La Gravelle**

Lieu-dit : **ZAC de Loiron**

Cadastre : parcelles **ZB 54 et ZE 151**

Coordonnées Lambert : x : **348997** y : **2347464**

Numéro des entités archéologiques dans la base de données " Patriarche " :

EA 53 108 0006

Article 2 :

L'aménageur et l'opérateur notifient au service régional d'archéologie les dates de début et de fin de la fouille au moins cinq jours ouvrables avant le début de l'opération, facilitent, par tout moyen, aux représentants de l'Etat, l'exercice de leur mission de contrôle.

Avec le responsable scientifique, ils tiennent régulièrement informé le conservateur régional de l'archéologie des travaux et découvertes. Ils lui signalent immédiatement toute découverte importante de caractère mobilier ou immobilier. Les modalités et mesures de conservation provisoire des vestiges sont prises en accord avec le conservateur régional de l'archéologie.

Ils veillent, chacun pour ce qui le concerne, à la mise en œuvre des observations et des instructions formulées par le représentant de l'Etat lors de visites ou de réunions de chantier.

Le mobilier archéologique issu de la fouille est placé sous la garde de l'opérateur, qui en dresse l'inventaire, signale les objets d'importance notable, prend les dispositions nécessaires à sa sécurité et, en tant que de besoin, à sa mise en état pour étude.

Concernant le déplacement sur le territoire français des vestiges archéologiques mobiliers, l'opérateur qui souhaite les déplacer hors de la région d'origine de la découverte doit faire impérativement la demande auprès du préfet de région concerné. Cette demande doit préciser les raisons du déplacement et l'adresse du nouveau lieu de conservation.

De même que l'exportation hors du territoire français des vestiges mobiliers issus des opérations d'archéologie préventive est subordonnée à l'existence d'un certificat d'exportation (décret n°93-124 du 29 janvier 1993). Ce certificat est délivré sur demande conjointe de l'Etat et du propriétaire du terrain, copropriétaires des vestiges. L'opérateur ne peut donc pas prendre seul la décision d'exporter les vestiges archéologiques mobiliers qui lui sont confiés.

Article 3 :

A l'issue de l'opération, le responsable scientifique remet au conservateur régional de l'archéologie, le rapport final tel que défini par l'arrêté du 27 septembre 2004 sus-visé.

A l'expiration de la période de garde, qui ne peut excéder deux ans à compter de la date de délivrance de l'attestation de libération de terrain visée à l'article 5, l'opérateur remet à l'Etat, le mobilier et la documentation scientifique constituée au cours de l'opération selon les modalités prévues par l'arrêté du 16 septembre 2004 sus-visé.

Toutefois, dans un souci d'efficacité administrative, scientifique et juridique, il est demandé à l'opérateur, sauf justifications ou contraintes particulières, de remettre la documentation et le mobilier archéologique issu des fouilles dans un délai de six mois après la remise du rapport d'opération.

Article 4 :

Lorsqu'il n'est pas lui-même propriétaire du terrain, l'aménageur communique au service régional d'archéologie, le nom et l'adresse du ou des propriétaires afin que ceux-ci puissent, le cas échéant, exercer leurs droits sur le mobilier dont l'inventaire leur sera transmis par l'Etat.

Article 5 :

L'aménageur notifie l'achèvement de l'opération de fouille sur le terrain. Dans les quinze jours suivant la réception de cette notification, une attestation de libération du terrain lui est délivrée. Faute de délivrance de l'attestation dans ce délai, celle-ci est réputée acquise.

Article 6 : Le directeur régional des affaires culturelles est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à Archéodunum (102 La Bruère, 44390 NORT SUR ERDRE) et à la Communauté de Communes du Pays de Loiron (Maison de Pays, Espace Tertiaire, 53320 LOIRON).

Fait à Nantes, le 30 mai 2013

Le Conservateur Régional
de l'Archéologie

Guy SAN JUAN

Copie du cahier des charges scientifique n° 2012-136

Direction régionale des affaires culturelles des Pays-de-la-Loire
Service régional de l'archéologie
1 rue Stanislas Baudry – 44035 NANTES
Tél : 02.40.14.23.30 / Fax : 02.40.14.23.48

Annexe 1/2 à l'arrêté n°397 du 7 novembre 2012 portant prescription d'une fouille
d'archéologie préventive (opération n°2012-136)

CAHIER DES CHARGES SCIENTIFIQUES
de la fouille d'archéologie préventive du site n°53 108 0006
sur la commune de La Gravelle (Mayenne)
relative au projet de ZAC de Loiron

En application de l'article 2 de l'arrêté n°397 du 7 novembre 2012, la fouille préventive sera réalisée conformément au cahier des charges ci-après.

Références

S. Morin (dir.), A. Blanchard, A. Levillayer, C. Poirier-Coutansais, *La Gravelle, ZAC de Loiron*, rapport de diagnostic archéologique, opération n°2011-058, 26 mars-5 juin 2012, Conseil Général de la Mayenne, 2012.

Avis de la commission interrégionale de la recherche archéologique du 17 octobre 2012.

1. Données scientifiques

Le diagnostic a révélé sur une surface d'environ 2 hectares une concentration de structures fossoyées correspondant à des occupations à vocation domestique et artisanale. La chronologie de ces structures s'étend potentiellement de la protohistoire ancienne à La Tène finale, mais reste mal cernée en raison de la faible quantité de mobilier et du manque d'éléments structurants.

L'espace est marqué par un fossé d'enclos elliptique suivi sur une centaine de mètres, d'une largeur variant de 1 à 2,20 mètres pour une profondeur conservée d'environ 1 mètre. De très nombreuses structures (fosses, fossés, mares), conservées sur quelques dizaines de centimètres de profondeur maximum, se répartissent à l'intérieur et à l'extérieur de ce fossé d'enclos. Le peu de mobilier place cette occupation à La Tène moyenne.

Des zones d'activité de réduction du minerai de fer (fours de type 1), dont deux se trouvent dans l'emprise de fouille, ont été repérées au diagnostic. Ces activités semblent plutôt associées à des phases anciennes de La Tène voire au premier âge du Fer.

2. Objectifs de la fouille

La fouille a pour objectif l'étude des différentes installations humaines, notamment paléométallurgiques, dont il s'agit de préciser la nature, la datation, l'organisation.

3. Principes d'intervention

Emprise de fouille

La fouille préventive sera conduite dans une zone d'environ **2,4 hectares** délimitée sur le plan figurant en annexe.

- Au sein de celle-ci la fouille portera sur **une surface totale de 1 hectare**.

Méthodologie

Un décapage à la pelle mécanique jusqu'au niveau d'apparition des structures sera réalisé afin de percevoir le tracé nord-est du fossé d'enclos et d'étudier la zone de fours perçus dans la tranchée 37 du diagnostic. Des fenêtres de décapage supplémentaires pourront être ouvertes sur le reste de l'emprise de fouille en fonction des découvertes et en concertation avec la DRAC.

Les limites de la fouille devront être reportées sur un plan géolocalisé et sur fond cadastral à une échelle lisible. Les structures rencontrées feront l'objet de photographies et de relevés graphiques à une échelle adaptée au fur et à mesure du décapage puis de la fouille. Ces relevés seront localisés sur un plan ; l'épaisseur des terres décapées et la cote d'apparition des vestiges devront être figurées (cote NGF).

Le mode d'enregistrement, de traitement et d'exploitation des données stratigraphiques et du mobilier fera l'objet d'une présentation détaillée dans le projet scientifique. L'opérateur proposera un protocole de traitement du mobilier pour identification et étude comprenant les mesures conservatoires éventuellement nécessaires. A cet effet, il fera appel, en tant que de besoin, à la participation de spécialistes ou de laboratoires compétents pour le prélèvement et le traitement du mobilier issu de la fouille. Une fiche de suivi indiquant la provenance stratigraphique et le mode de traitement nécessaire sera attachée à chaque objet concerné et figurera dans le rapport d'opération. La DRAC – service régional de l'archéologie sera informée de tout mouvement du mobilier.

La céramique fera l'objet d'une étude techno-morphologique. Le traitement du mobilier céramique (lavage, référencement) devra être entrepris pendant la durée de l'opération de terrain sous le contrôle du céramologue afin d'orienter, le cas échéant, les décisions du responsable d'opération.

Les structures liées à l'activité métallurgique devront faire l'objet de prélèvements pour une étude de la chaîne opératoire de la fabrication du fer (analyse des scories) et pour datation. Cinq datations par radiocarbone et trois datations par archéomagnétisme sont à prévoir sur l'ensemble du chantier.

Trois à quatre tests palynologiques sont à prévoir dans les mares pour une mise en contexte du site par rapport à l'environnement naturel.

Qualification du responsable d'opération et de l'équipe d'intervention

Le responsable de l'opération devra être un **spécialiste de la Protohistoire**¹, ayant si possible des

¹ Le responsable de l'opération devra donc, au delà de la gestion de l'acquisition des données archéologiques, avoir une expérience de recherche scientifique aboutie sur la Protohistoire. On entend ainsi par « spécialiste de la

connaissance des problématiques liées à la paléoméallurgie..

Le responsable d'opération informera de manière régulière par courrier ou messagerie électronique le conservateur régional de l'archéologie de l'état d'avancement de l'opération et de l'adéquation des moyens mis en œuvre pour la fouille (travaux de terrain et phase d'exploitation des données). Il prendra toutes les mesures conservatoires qui s'imposent pour le mobilier archéologique mis au jour. Il devra informer immédiatement le conservateur régional de l'archéologie de toute découverte archéologique immobilière et mobilière d'intérêt majeur.

L'étude typo-chronologique du mobilier devra mobiliser les compétences d'un **céramologue** spécialiste des productions de l'Âge du Fer.

Moyens financiers particuliers, tranches conditionnelles :

- Une provision financière spécifique sera allouée à l'étude d'éventuelle sépultures : fouille d'environ 5 à 10 sépultures. Cette tranche complémentaire ne pourra être engagée qu'après un accord formel de la DRAC – service régional de l'archéologie.

4. Documentation archéologique

L'ensemble de la documentation constituée lors de l'opération archéologique doivent être rédigé en français.

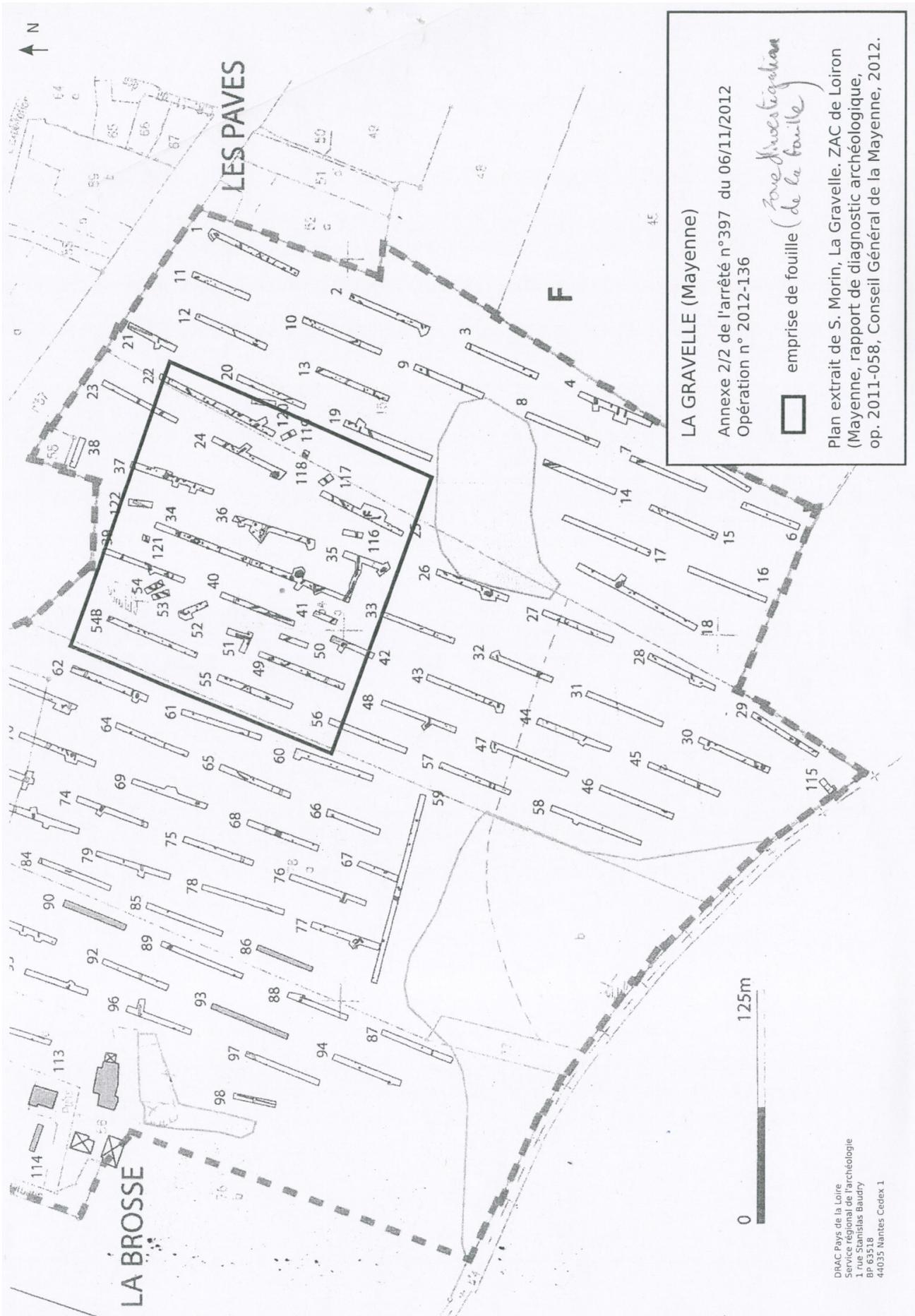
L'enregistrement et le conditionnement du mobilier archéologique (objets transformés par l'activité humaine) et de la documentation scientifique (documents écrits, graphiques, numériques, photographiques, matériaux naturels et de nature biologique recueillis lors de l'opération) doivent être conformes au cahier des charges établi par le service régional de l'archéologie des Pays de la Loire (« Enregistrement et conditionnement des archives de fouille pour l'archéologie préventive en Pays-de-la-Loire »).

Le **délaï limite de remise du rapport** est de **24 mois** après la fin des travaux de terrain. Le rapport doit être remis en huit exemplaires dont un non broché. Il doit être conforme à l'arrêté du 27 septembre 2004 portant définition des normes de contenu et de présentation des rapports d'opérations archéologiques.

Le rapport doit comporter une présentation synthétique, avec mise en perspective des résultats de l'opération par rapport à l'occupation du sol dans le secteur concerné et par rapport aux problématiques actuelles concernant la période concernée. Il doit s'attacher à proposer une modélisation de l'occupation du territoire en s'appuyant sur les opérations précédentes et sur la documentation existante.

Le **mobilier archéologique et la documentation scientifique** issus de l'opération archéologique doivent être remis à la DRAC **au maximum 24 mois** après la fin de l'opération sur le terrain, conformément aux dispositions de l'arrêté du 16 septembre 2004 portant définition des normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issu des diagnostics et fouilles archéologiques.

Protohistoire » un archéologue ayant déjà publié dans une revue de catégorie B (minimum) sur un sujet centré sur la Protohistoire.





PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE

**Arrêté portant prescription
d'une fouille préventive
(opération n°2012-136)**

DIRECTION REGIONALE DES
AFFAIRES CULTURELLES

—
Affaire suivie par

**LE PRÉFET DE LA RÉGION PAYS DE LA LOIRE,
PRÉFET DE LA LOIRE-ATLANTIQUE**

Officier de la Légion d'Honneur
Officier de l'Ordre National du Mérite

VU le code du Patrimoine et notamment son livre V;

VU l'arrêté du 16 septembre 2004 portant définition des normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issu des diagnostics et fouilles archéologiques ;

VU l'arrêté du 27 septembre 2004 portant définition des normes de contenu et de présentation des rapports d'opérations archéologiques ;

VU l'arrêté n°2012/SGAR/300, en date du 27 août 2012 de Monsieur Christian GALLIARD de LAVERNÉE, préfet de la région Pays-de-la-Loire, portant délégation de signature administrative à Monsieur Georges POULL, directeur régional des affaires culturelles des Pays de la Loire ;

VU l'arrêté n°60 du 16/02/2012 portant prescription d'une opération d'archéologie préventive concernant la tranche 1 du projet de « ZAC de Loiron » par la Communauté de Communes du Pays de Loiron ; pour le terrain sis au lieu-dit « ZAC de Loiron » sur la commune de La Gravelle(53)

VU le rapport de diagnostic réalisé par opérateur remis au préfet de région le 6/08/2012 faisant suite à l'arrêté n°60 du 16/02/2012;

VU l'avis de la Commission interrégionale de la recherche archéologique en date du 17 octobre 2012;

CONSIDÉRANT la présence de vestiges archéologiques protohistoriques;

CONSIDÉRANT que les travaux projetés doivent être précédés d'une étude des vestiges par une fouille archéologique.

Direction régionale des affaires culturelles
Adresse postale : 1 rue Stanislas Baudry – BP 63513 - 44035 NANTES Cedex 1
Téléphone 02 40 14 23 00 – Télécopie 02 40 14 23 01

ARRETE
(n°397)

Article 1er

Une fouille archéologique préventive sera mise en œuvre préalablement à la réalisation du projet de ZAC, situé comme suit :

Région : **Pays -de-la-Loire**

Département : **Mayenne**

Commune : **La Gravelle**

Adresse / lieu-dit : **Zac de Loiron**

Cadastre : parcelles **ZB 54 et ZE 151**

Coordonnées Lambert : x : 348997 y : 2347464

Numéro des entités archéologiques dans la base de données " Patriarche " :

53 108 0006

Propriétaire : l'opérateur prendra l'attache de l'aménageur pour connaître l'état des propriétés au moment des travaux d'archéologie.

et réalisé par l'aménageur suivant :

M. le Président de la Communauté de Communes du Pays de Loiron (Maison de Pays Espace Tertiel, 53320 LOIRON)

La fouille préventive porte sur une superficie de **24000 m²** selon le plan de situation annexé au présent arrêté.

Article 2

La fouille prescrite à l'article 1er sera réalisée conformément au cahier des charges scientifiques annexé au présent arrêté, sous la maîtrise d'ouvrage de l'aménageur désigné au même article.

Sa réalisation peut être confiée à l'Institut national de recherches archéologiques préventives ou à un opérateur titulaire de l'agrément prévu par l'article R. 522-8 du code du patrimoine susvisé.

Cet agrément devra couvrir la période suivante : âge du Fer.

L'aménageur conclura avec l'opérateur un contrat comportant le projet scientifique d'intervention, lequel précisera les modalités de mises en œuvre des prescriptions énoncées par le cahier des charges scientifique précité.

Article 3

La fouille pourra être entreprise après que l'aménageur ait sollicité et obtenu l'autorisation prévue par l'article R. 523-46 du code du patrimoine susvisé.

A cet effet, l'aménageur produira un dossier comprenant le contrat mentionné à l'article 2 du présent arrêté, le justificatif de l'agrément de l'opérateur et, le cas échéant, la déclaration sur l'honneur prévue à l'article R. 523-45 du code du patrimoine susvisé.

Article 4

L'aménageur notifiera au préfet de région les dates de début et d'achèvement des opérations de fouilles. Il est responsable de la bonne conservation du mobilier mis au jour. Il est tenu de remettre, au préfet de région, un rapport final en 8

exemplaires originaux paginés dont un non-relié, élaboré sous la direction du responsable d'opération désigné par le préfet et conforme à l'arrêté du 27 septembre 2004 susvisé.

Article 5 :

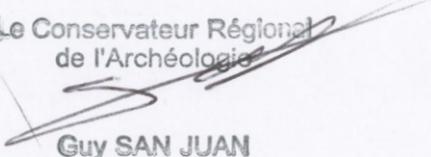
Le service régional de l'archéologie adressera l'inventaire, prévu à l'article 7-2 de l'arrêté du 27 septembre 2004, des vestiges archéologiques mobiliers recueillis au cours de la fouille, à la personne physique ou morale, propriétaire à la date de début de l'intervention archéologique du terrain visé à l'article 1er et informera celui-ci de ses droits.

Le mobilier archéologique ne pourra donner effectivement lieu au partage prévu par l'article L 523-14 du code du Patrimoine susvisé qu'au terme de son étude scientifique et après remise au service régional de l'archéologie, laquelle remise intervient au plus tard deux ans après l'achèvement de la phase de terrain de la fouille. La prise de données, le rapport et les archives de l'opération seront organisées conformément aux arrêtés du 16 et du 27 septembre 2004 susvisés et aux recommandations du service régional de l'archéologie des Pays-de-la-Loire émises à l'attention des responsables d'opérations archéologiques.

Article 6 : Le directeur régional des affaires culturelles est chargé de l'exécution du présent arrêté, qui sera notifié à M. le Président de la Communauté de Communes du Pays de Loiron (Maison de Pays Espace Tertiaire, 53320 LOIRON).

Fait à Nantes, le 06/11/2012

Le Conservateur Régional
de l'Archéologie


Guy SAN JUAN

Copie du Projet scientifique d'intervention (PSTI)

+

PROJET SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE D'INTERVENTION

LA GRAVELLE (53)

Opération de fouilles préventives relatives au projet de « ZAC de Loiron »

Présenté par le bureau Archeodunum S.A.S



Maître d'ouvrage de l'opération :

**Communauté de communes
du Pays de Loiron
Maison de Pays
Espace Tertiaire
53320 Loiron**



Opérateur archéologique :

Archeodunum S.A.S
500 rue Juliette Récamier
69970 Chaponnay
Agrément en qualité d'opérateur d'archéologie
préventive délivré le 22 janvier 2009
(J.O. du 25 février 2009)

Contrat : 2013.01.29-PB

TABLE DES MATIÈRES

PARTIE A : DONNÉES GÉNÉRALES	3
1. Localisation du site	3
2. Propriétaire	3
3. Maîtrise d'ouvrage (pouvoir adjudicataire)	3
4. Maîtrise d'œuvre (mandataire)	3
5. Projet d'aménagement	3
6. Contexte général	4
7. Objectifs des prestations demandées	4
8. Emprises concernées par les travaux archéologiques	4
9. Durée du marché	6
10. Documents contractuels	6
PARTIE B : GESTION DU CHANTIER	7
11. Organisation générale du chantier	7
12. Délais d'exécution	7
13. Démarrage et fin de l'intervention de terrain	8
14. Délai de remise du rapport	8
15. Installations de chantier et stockage des déblais	8
16. Préparation du chantier	9
17. Réunions de chantier	9
18. Communication et valorisation de la recherche	9
Partie C : Archéologie	10
19. Références administratives	10
20. Contexte archéologique de l'opération	10
21. Rappel des objectifs de la fouille	12
22. Mode opératoire proposé pour la fouille	13
22.1. Décapage	13
22.2. Fouille	13
22.3. Remise en état du chantier	15
23. Projet scientifique et technique pour l'étude post-fouille	15
24. Moyens techniques : quantitatif prévisionnel	16
25. Moyens archéologiques : quantitatif prévisionnel et qualifications	16
26. Personnel mobilisable pour l'intervention	18

PARTIE A : DONNÉES GÉNÉRALES

- **LOCALISATION DU SITE**

La communauté de communes du Pays de Loiron envisage de réaliser une zone d'aménagement concerté (ZAC) sur la commune de La Gravelle (Mayenne). Le site retenu pour l'implantation du projet se trouve sur les parcelles cadastrées section ZB 54 et section ZE 151 d'une superficie totale de 2,4 ha.

- **PROPRIÉTAIRE**

Le site est la propriété de la Communauté de communes du Pays de Loiron, qui est l'acheteur de la fouille archéologique préventive réalisée dans le cadre de la création d'une ZAC sur la commune de La Gravelle (Mayenne).

Communauté de communes du Pays de Loiron

Maison de Pays
Espace Tertiaire
53320 Loiron

- **MAÎTRISE D'OUVRAGE (POUVOIR ADJUDICATAIRE)**

La maîtrise d'ouvrage est représentée par :

Communauté de communes du Pays de Loiron

Maison de Pays
Espace Tertiaire
53320 Loiron

Elle est représentée par M. Claude LE FEUVRE.

- **MAÎTRISE D'ŒUVRE (MANDATAIRE)**

La maîtrise d'œuvre est assurée par :

Communauté de communes du Pays de Loiron

Maison de Pays
Espace Tertiaire
53320 Loiron

- **PROJET D'AMÉNAGEMENT**

Cette mission de fouille archéologique préventive s'inscrit dans le cadre de la création d'une ZAC sur la commune de La Gravelle (Mayenne).

- **CONTEXTE GÉNÉRAL**

Les travaux, objets du présent marché, concernent la réalisation de fouilles archéologiques préventives sur la commune de La Gravelle (Mayenne) prescrite par l'arrêté préfectoral n° 397 du 7 novembre 2012 relative au projet de création d'une ZAC sur les parcelles cadastrées section ZB 54 et section ZE 151.

Le projet d'aménagement a entraîné la réalisation d'un diagnostic archéologique, effectué par l'INRAP en 2012 sur une grande partie de l'emprise du projet. La présence de vestiges archéologiques a motivé la prescription d'une fouille archéologique sur une occupation protohistorique.

L'application de ces prescriptions générales sera détaillée dans la présente proposition.

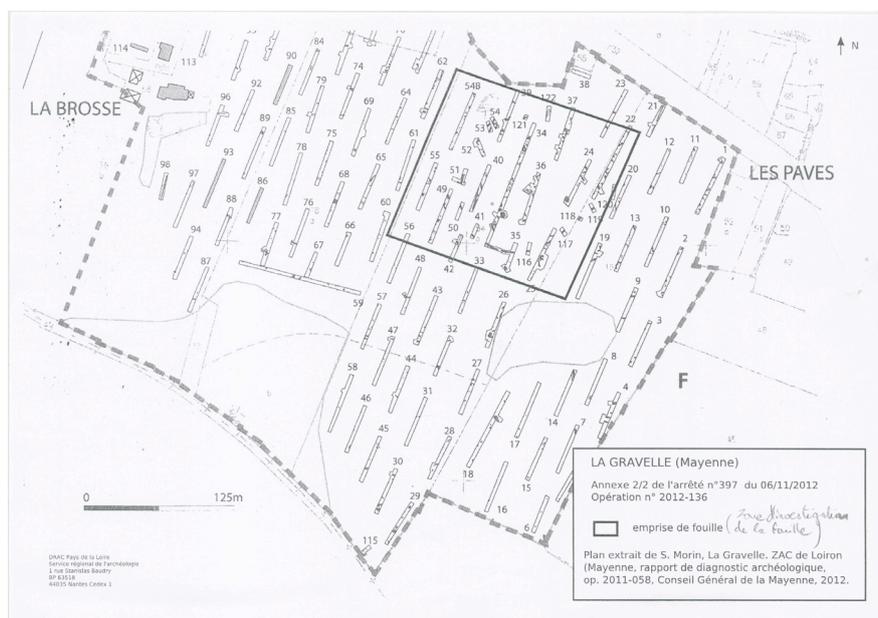
- **OBJECTIFS DES PRESTATIONS DEMANDÉES**

Les objectifs sont définis dans le cahier des charges scientifiques du Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire annexés à l'arrêté préfectoral n° 397 du 7 novembre 2012.

Les prestations portent sur la réalisation d'une fouille archéologique extensive ayant pour objectif l'étude des différentes installations humaines, notamment paléométallurgiques, dont il s'agira de préciser la nature, la datation et l'organisation.

- **EMPRISES CONCERNÉES PAR LES TRAVAUX ARCHEOLOGIQUES**

L'emprise concernée par la fouille archéologique est celle mentionnée sur le plan annexé à l'arrêté n° 397 du 7 novembre 2012, soit une zone d'environ 2,4 ha sur les parcelles cadastrées section ZB 54 et section ZE 151, telle qu'indiquées sur le plan ci-dessous.



Source : arrêté préfectoral n° 397 du 7 novembre 2012.

- **DURÉE DU MARCHÉ**

Selon l'article 3 du CCP, les délais sont proposés par l'opérateur archéologique, décomposé comme suit :

- Phase 1 : préparation, prise de connaissance et recherche de la documentation, visite de terrain – 1 semaine
- Phase 2 : Prospection du terrain par les personnes proposées dans le projet scientifique de l'opérateur y compris le matériel, les matériaux, la base de vie, le repli des installations et remise en état des emplacements – 6 semaines pour la tranche ferme et 1 semaine supplémentaire en tranche conditionnelle
- Phase 3 : Traitement des données et rapport final d'opération – 24 mois à l'issue de la signature du procès-verbal de libération des terrains

Selon le cahier des charges scientifique du Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire, les prestations s'achèveront avec le rendu du rapport final d'opération au Service régional de l'archéologie.

La date de démarrage sera convenue entre le maître de l'ouvrage et l'opérateur archéologique à partir du 03/06/2013. Cette date est proposée en tenant compte de la nature très argileuse du substrat et envisage la fouille en saison « sèche ». Cependant, en fonction des impératifs de l'aménageur, nous pouvons envisager une intervention plus rapide.

La phase de terrain pourrait ainsi (hors tranche conditionnelle) se terminer le 12/07/2013 et le rapport pourrait ainsi être rendu pour le 30/06/2014. La durée globale du marché serait donc de 18 mois à partir de la notification du marché.

- **DOCUMENTS CONTRACTUELS**

Les pièces constitutives du marché sont listées dans l'article 3-1-2 du règlement de consultation du marché et sont résumées ci-dessous.

Ces documents comprennent :

- L'acte d'engagement (AE) et ses annexes
- Le cahier des clauses administratives particulières (CCAP)
- Le cahier des charges scientifique (CCS)
- La décomposition du prix global et forfaitaire (DPGF)
- Le Projet scientifique et technique de l'intervention (PSTI)

PARTIE B : GESTION DU CHANTIER

• ORGANISATION GÉNÉRALE DU CHANTIER

La mise à disposition du terrain par l'aménageur, préalablement à l'intervention archéologique, ne nécessitera pas d'action particulière. Le terrain est réputé libre d'obstacles.

L'aménageur fera son affaire des éléments suivants :

- fourniture et mise à disposition de zones de stockage des terres au plus près de l'emprise de fouille

L'opérateur fera son affaire des éléments suivants après avoir recueilli l'avis du maître d'ouvrage et de son mandataire :

- démarches administratives liées à l'accomplissement des travaux et prestations
- piquetage préalable de la zone à fouiller, définie dans le cahier des charges du Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire
- implantation de quatre bornes topographiques (points durs) rattachées au système Lambert II et au NGF, en concertation avec l'opérateur
- définition de l'accès de chantier
- implantation d'une base de vie
- définition des modalités de décapage, de stockage, de tri des terres et des déblais existants sur le site
- dévégétalisation et abattage des arbres
- création des pistes reliant les zones de fouille et les zones de stockage

À partir de l'ensemble de ces éléments, l'organisation générale du chantier devra être divisée en plusieurs phases :

- une phase de préparation
- une phase de fouille
- une phase de repli et de remise en état du chantier
- une phase d'étude post-fouille et de rédaction du rapport

• DÉLAIS D'EXÉCUTION

On rappelle que le terrain est restitué à l'aménageur dès que l'achèvement de la fouille a été constaté par le Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire et par la signature du procès-verbal de libération des terrains. Le délai consacré à l'étude et à la rédaction du rapport n'a pas d'impact sur la poursuite des travaux d'aménagement ou de construction.

Compte tenu de ces éléments et dans le respect des indications du Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire, nous proposons donc les délais d'exécution suivants :

- **phase de préparation : 1 semaine**
- **phase de fouille (exécution des travaux), y compris options : 6 semaines en tranche ferme et 1 semaine en tranche conditionnelle**
- **phase de repli et de remise en état du chantier : 1 semaines**
- **délai maximum de remise du rapport de fouille : 12 mois après la fin de l'intervention sur le terrain**

Le délai d'exécution de la phase de fouille indiqué ci-dessus s'entend en conditions non hivernales. En cas d'intervention hivernale, des conditions climatiques défavorables (couverture neigeuse, période de gel prolongée, etc.) sont susceptibles d'entraîner la suspension des travaux sur une longue durée et la dégradation du site archéologique.

- **DÉMARRAGE ET FIN DE L'INTERVENTION DE TERRAIN**

L'intervention archéologique pourra débuter dès la réception de la notification du marché par la Communauté de communes du Pays de Loiron et la délivrance de l'autorisation de fouille par la Préfecture de Région Pays-de-la-Loire, selon le planning défini en concertation avec le maître d'ouvrage.

Le calendrier précis de l'intervention fera l'objet d'une concertation avec l'aménageur. Il devra prendre en compte la disponibilité de nos personnels ainsi que les conditions exposées aux articles 11 et 12 ci-dessus. Nous proposons de situer la phase de fouille **à partir du 03/06/2013**.

- **DÉLAI DE REMISE DU RAPPORT**

Le délai de remise du rapport est fixé à 12 mois après l'achèvement de la phase de fouilles.

Comme exposé à l'article 12 du présent mémoire, nous rappelons que le délai de rendu du rapport n'a aucune incidence sur la remise du terrain à l'aménageur.

- **INSTALLATIONS DE CHANTIER ET STOCKAGE DES DEBLAIS**

L'opérateur définira, en concertation avec le maître d'ouvrage, les éléments suivants :

- l'accès au chantier
- le stockage des déblais
- l'implantation de la base de vie

- **PREPARATION DU CHANTIER**

La phase de préparation du chantier comprend les démarches et travaux suivants :

- mobilisation et coordination des intervenants et des moyens techniques
- démarches administratives (DICT, plan SPS, etc.)
- installation de la base de vie
- aménagement des pistes de chantier et de la zone de stockage
- participation aux réunions demandées par la Mairie

- **RÉUNIONS DE CHANTIER**

L'archéologue responsable d'opération participera aux réunions de chantier organisées à la demande du maître d'ouvrage ou du Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire.

De même, le responsable d'opération informera régulièrement le Conservateur régional de l'archéologie du déroulement de l'opération et des découvertes réalisées, de préférence par écrit.

- **COMMUNICATION ET VALORISATION DE LA RECHERCHE**

Exception faite du rapport final d'opération (RFO), pour toute action de communication et/ou de valorisation des résultats scientifiques, les principes suivants peuvent être définis :

- La maîtrise d'ouvrage sera le seul interlocuteur de l'opérateur en archéologie préventive
- La communication sera construite après une validation réalisée par la maîtrise d'ouvrage en lien étroit avec les services de la DRAC et l'opérateur ;
- Les types d'intervention sont à définir en fonction des besoins du maître d'ouvrage (dépliant 3 volets A4, poster, brochures 17x24 cm, journées portes ouvertes, visites pédagogiques, mini-exposition sur panneaux rigides, point presse, ...). Ces prestations ne sont pas incluses dans notre offre.

PARTIE C : ARCHÉOLOGIE

- **REFERENCES ADMINISTRATIVES**

- Le **code du Patrimoine** et notamment son livre V ;
- **arrêté du 16 septembre 2004** portant définition des normes d'identification, d'inventaire, de classement et de conditionnement de la documentation scientifique et du mobilier issu des diagnostics et fouilles archéologique ;
- **arrêté du 27 septembre 2004** portant définition des normes de contenu et de présentation des rapports d'opérations archéologiques ;
- **arrêté du 22 janvier 2009** portant agrément en qualité d'opérateur d'archéologie préventive de la société Archéodunum SAS.

- **CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE DE L'OPÉRATION**

Le diagnostic a révélé sur une surface d'environ 2 ha une concentration de structures fossoyées correspondant à des occupations à vocation domestique et artisanale. La chronologie de ces structures s'étend potentiellement de la Protohistoire ancienne à La Tène finale mais reste mal cernée en raison de la faible quantité de mobilier et du manque d'éléments structurants.

L'espace est marqué par un fossé d'enclos elliptique suivi sur une centaine de mètres, d'une largeur variant de 1 m à 2,20 m pour une profondeur conservée d'environ 1 m. De très nombreuses structures (fosses, fossés, mares), conservées sur quelques dizaines de centimètres de profondeur au maximum, se répartissent à l'intérieur et à l'extérieur de ce fossé d'enclos. Le peu de mobilier place cette occupation à La Tène moyenne.

Des zones d'activité de réduction de minerai de fer (fours de type 1), dont deux se trouvent dans l'emprise de la fouille, ont été repérés au diagnostic. Ces activités semblent plutôt associées à des phases anciennes de La Tène, voire au premier Âge du Fer.

- **RAPPEL DES OBJECTIFS DE LA FOUILLE**

Une fouille archéologique préventive a été prescrite par le Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire dans son cahier des charges annexé à l'arrêté préfectoral n° 397 du 7 novembre 2012.

L'objectif de cette opération est d'étudier les différentes installations humaines, notamment paléoméallurgiques, dont il s'agira de préciser la nature, la datation et l'organisation.

- **MODE OPÉRATOIRE PROPOSÉ POUR LA FOUILLE**

La fouille envisagée devra permettre d'atteindre les objectifs fixés par la prescription et définis par le cahier des charges du Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire. L'ensemble de la méthodologie sera soumise au Service régional de l'archéologie et définie en concertation avec lui.

L'équipe d'archéologues devra constamment optimiser son mode d'intervention et l'adapter à la nature et à la densité des vestiges, en conciliant et en respectant les objectifs fixés par la prescription, les délais et les mesures de sécurité.

22.1. Décapage

Selon le cahier des charges du Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire, l'emprise totale de la fouille atteint 1 ha.

Un déboisement partiel des parcelles devra être effectué en préalable du décapage mécanique. Les arbres ne doivent pas être arrachés de façon à pouvoir préserver les structures archéologiques sous-jacentes.

Les structures archéologiques sont conservées sous un recouvrement allant de 0,20 à 0,45 m. Il faudra éviter la destruction des vestiges par le passage répété des engins lors de l'évacuation des déblais (orniérage). À cette fin, il sera nécessaire de créer des pistes provisoires permettant d'accéder aux zones de fouille, et de rouler sur les zones non décapées sans affecter les vestiges sous-jacents.

Le décapage de moins de 1 ha sera réalisé à l'aide de deux pelles mécaniques chenillées de gamme 20 T, équipées d'un godet de curage et suivies par des archéologues. Les pistes provisoires seront retirées à l'avancement. Ce décapage sera réalisé jusqu'au niveau d'apparition des vestiges archéologiques afin de percevoir le tracé nord-est du fossé d'enclos et d'étudier la zone de fours perçus dans la tranchée 37 du diagnostic. Des fenêtres de décapage supplémentaire pourront être ouvertes sur le reste de l'emprise de 2,4 ha en fonction des découvertes et en concertation avec le Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire.

Il n'est pas improbable que, ponctuellement, des tranchées soient creusées plus profondément pour optimiser l'orientation de la fouille (en complément au diagnostic), ou pour aborder l'évolution de l'environnement naturel du site. Une fois repérées, les structures archéologiques seront systématiquement nettoyées et reportées sur un plan détaillé.

Les terres seront déplacées hors de l'emprise de fouille à l'aide d'engins adaptés. Elles seront mises en stock prioritairement en merlons ou en tas sur la zone fournie par l'aménageur.

22.2. Fouille

Méthodologie adaptée pour la fouille

De manière générale, l'intervention sera des plus classiques. Les vestiges ne présentant pas de particularité notable seront fouillés manuellement, dessinés et photographiés. Afin d'optimiser le travail, des interventions mécaniques seront effectuées à l'aide d'une mini-pelle, sous surveillance archéologique. L'ensemble de la méthodologie sera examiné en concertation avec le Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire.

À l'issue du décapage, les modalités particulières de fouille devront être examinées précisément avec le Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire.

Les structures en creux hors découvertes particulières seront fouillées par moitié, puis intégralement si cela s'avère pertinent. Les niveaux de circulation et les sols seront fouillés avec soin par tronçons en fonction de leur étendue.

Après documentation des vestiges dans leur état d'apparition, des sondages seront implantés, en particulier afin d'examiner l'évolution de l'occupation. Des zones comportant une séquence stratigraphique feront l'objet d'une fouille stratigraphique manuelle. Des sondages et des décapages mécanisés complémentaires seront effectués en cas de nécessité. L'emplacement et le nombre de ces travaux seront déterminés en concertation avec le Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire.

Les structures linéaires (fossés) feront l'objet de fouilles manuelles de sections significatives de leur linéaire.

Une attention particulière sera portée à la fouille de silos. Leur étude a pour objectif de permettre une approche homogène, dynamique et structurale des processus de comblement, de comprendre l'état des structures au moment de leur abandon ainsi que de déterminer l'origine des matériaux constitutifs de leur comblement.

L'étude des éventuelles sépultures qui pourraient être découvertes lors de la fouille suivra la méthode habituelle de l'anthropologie de terrain. Les restes osseux feront l'objet de relevés précis et pas seulement de photographies. Tous les indices susceptibles d'informer sur les habitudes funéraires locales seront recherchés.

La céramique fera l'objet d'une étude techno-morphologique. Le traitement du mobilier céramique (lavage, référencement) sera entrepris pendant la durée de l'opération sous le contrôle du responsable d'opération et/ou d'un céramologue protohistorien afin d'orienter, le cas échéant, les stratégies de fouille.

Les structures liées à l'activité métallurgique feront l'objet de prélèvements pour une étude de la chaîne opératoire de la fabrication du fer (analyse des scories) et pour datation (radiocarbone et archéomagnétisme).

Mode d'enregistrement des données

Les relevés en plan des structures seront précis et réalisés à une échelle pertinente pour la

démonstration (1/10^e, 1/20^e, 1/50^e, ...). Les relevés stratigraphiques des fossés et autres comblements de structures seront systématiques. Toutes les structures seront topographiées, photographiées et documentées par écrit sur des fiches adaptées (Unités stratigraphiques, Faits archéologiques, Sépultures, ...).

Prise en compte des données environnementales

Divers prélèvements seront effectués si leur analyse peut s'avérer utile à la compréhension des vestiges et du site en général. L'intervention d'un géomorphologue est prévue pour caractériser le terrain naturel et étudier la présence potentielle de paléosols notamment par la réalisation de prélèvements géomorphologiques et sédimentologiques.

Des analyses seront être mises en œuvre si elles s'avèrent utiles à la compréhension des vestiges et du site dans sa globalité (datations archéométriques, analyses anthracologiques, palynologiques, carpologiques, sédimentologiques, etc.).

Une provision forfaitaire est prévue pour les compléments de datation (radiocarbone, archéomagnétisme, etc.), les analyses (pétrographie, palynologie, anthracologie, sédimentologie, chimie), les radiographies des mobiliers métalliques et la stabilisation préventive de ces derniers.

Les laboratoires associés pour les analyses sont mentionnés à la suite du personnel mobilisable pour l'intervention.

En cas de découverte de mobilier sensible (par exemple des objets métalliques exceptionnels), on recourra à l'intervention d'un professionnel de la restauration d'objets archéologiques agréé par la DMF pour réaliser leur prélèvement *in situ* et d'éventuels traitements préliminaires (stabilisation des métaux).

22.3. Remise en état du chantier

La remise en état du chantier et le repli des installations incombe à l'opérateur.

Les modalités suivantes sont envisagées :

- Zones fouillées : remblaiement simple sans compactage
- Zone d'installation de la base vie : dégagement et repli des installations

Ces travaux seront confiés à l'opérateur TP en charge des prestations techniques.

• PROJET SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE POUR L'ÉTUDE POST-FOUILLE

Le processus habituel de mise au net et d'exploitation de la documentation, d'étude du mobilier archéologique puis de synthèse sera mis en œuvre en adaptant notre méthodologie à la spécificité du site. L'étude post-fouille se déroulera selon le processus suivant :

- Mise au net et transcription informatique de l'enregistrement de terrain (texte et graphique), production des listes d'inventaires
- Lavage, étude, dessin et conditionnement du mobilier

- Mise au net des plans et des relevés (topographie, DAO)
- Études spécialisées (paléoenvironnement, géomorphologie, anthracologie, carpologie, etc.)
- Phasage des structures et rédaction des parties descriptives
- Élaboration du plan-masse complet de la zone étudiée et des plans synthétiques de phasage permettant la compréhension des informations consignées dans le rapport
- Recherches historiques (synthèse bibliographique, recherches en archives...), travail comparatif
- Mise en contexte de la fouille et mise en perspective des résultats
- Élaboration du rapport final d'archéologie préventive

L'ensemble de ces opérations sera mené conformément aux normes en vigueur.

- **MOYENS TECHNIQUES : QUANTITATIF PREVISIONNEL**

Les prestations techniques et fournitures suivantes sont à la charge de l'aménageur :

- Fourniture et mise à disposition de zones de stockage des terres à proximité de l'emprise
- Fourniture et mise à disposition d'un espace pour l'installation de la base de vie

Ces prestations et fournitures devront être définies en concertation avec l'opérateur archéologique. Elles devront être opérationnelles avant le démarrage de l'opération archéologique.

Pour l'opération archéologique proprement dite, les moyens techniques nécessaires à la bonne conduite des travaux sont fournis et mis en place par l'opérateur.

L'affectation prévisionnelle des principaux moyens techniques et envisagée comme suit :

- Décapage mécanique : 2 pelles de gamme 20 T, 4 chargeurs articulés destinés à décaper un volume de 3500 m³ sur une surface de 1 ha, avec dépôt des terres en périphérie immédiate de la zone fouillée, pour une durée prévisionnelle de 6 jours
- Dévégétalisation et abattage des arbres au cours du décapage.
- Terrassement : mini-pelle de gamme 5 T ou 8 T pour la réalisation de sondages dans les vestiges fossoyés, pour une durée cumulée de 15 jours
- Installation de chantier (base de vie) : 2 modules vestiaire (1 femme / 1 homme), 1 module réfectoire, 1 module bureau, 2 WC chimiques ou toilettes sèches, 1 conteneur métallique, tonne à eau ; branchement et matériel électrique pour la base de vie et le chantier
- Moyens pour des prises de vue zénithales
- Équipement de chantier : mise à disposition d'abris (3*3 m) ; provision pour moyens de pompage
- Remise en place des terres : 1 pelle mécanique avec chargeurs ou 1 bulldozer

- **MOYENS ARCHÉOLOGIQUES : QUANTITATIF PRÉVISIONNEL ET QUALIFICATIONS**

Une affectation prévisionnelle des moyens humains peut être envisagée comme suit :

1) Préparation de l'opération (chef d'agence, responsable d'opération, logisticien, géomorphologue : 11 jh)

- Démarches administratives (dont DICT)
- Coordination des intervenants
- Mobilisation et démobilitation de l'équipe et des moyens techniques
- Participation aux réunions demandées par l'aménageur
- Étude du contexte géologique

2) Acquisition des données sur le terrain

2.1) Tranche ferme

La mise hors de terre et la fouille des vestiges durera 30 jours ouvrés et mobilisera une équipe d'un effectif moyen de 4 personnes, comprenant :

- un archéologue responsable d'opération, spécialiste de la Protohistoire et de la céramique
- le cas échéant, 1 céramologue protohistorien
- 3 postes de technicien
- un topographe (relevés, photogrammétrie, interventions ponctuelles)
- un géomorphologue (interventions ponctuelles)

Soit un total de 125 journées/homme pour l'ensemble de la fouille.

La fouille sera engagée rapidement après le début du décapage, afin d'étudier les stratigraphies de référence et d'affiner la stratégie de l'opération.

Le tableau ci-dessous récapitule les moyens prévus et leur déploiement :

Semaine	1	2	3	4	5	6	Total
Décapage							
Fouille							
Responsable	5	5	5	5	5	5	30
Céramologue	5	5	5	5	5	5	30
Technicien	5	5	5	5	5	5	30
Technicien		5	5	5	5	5	25
Topographe		1	1	1	1	1	5
Géomorphologue				5			5
Palynologue				4			5
						Total :	130

2.2) Tranche conditionnelle

Dans l'éventualité de la fouille de 5 à 10 sépultures, une tranche conditionnelle pourra être proposée par l'opérateur après validation par le Service régional de l'archéologie de la DRAC Pays-de-la-Loire. Cette fouille des vestiges durera 5 jours ouvrés et mobilisera une équipe d'un effectif moyen de 4 personnes,

comprenant :

- un archéologue responsable d'opération, spécialiste de la Protohistoire
- un anthropologue
- 2 postes de technicien

Soit un total de 20 journées/homme pour l'ensemble de la fouille.

La fouille de la tranche conditionnelle sera engagée rapidement après le début du décapage, afin d'étudier les stratigraphies de référence et d'affiner la stratégie de l'opération.

3) Post-traitement des données et réalisation du rapport

3.1) Tranche ferme

- Lavage du mobilier, tri, dessin et conditionnement : 20 jh
- Réalisation des inventaires des mobiliers, des documents graphiques (plans, relevés, minutes, dessins), photographiques et audiovisuels, numériques, écrits (fiches d'enregistrement), moulages et empreintes, matériaux naturels et de nature biologique : 10 jh
- Traitement photogrammétrique, mise au net des plans et des dessins, mise en forme du rapport (topographie/DAO/PAO) : 10 jh
- Étude du mobilier et études spécialisées (céramique, métal, faune, géomorphologie, palynologie, etc.) : 20 jh
- Rédaction du rapport final d'archéologie préventive conforme à la législation (arrêté du 27 novembre 2004) comprenant la rédaction d'un document scientifique auquel seront joints tous les documents nécessaires à la présentation de l'opération menée par l'opérateur et des données collectées ainsi que la réalisation d'un ordonnancement des archives de fouille destinées à leur bonne conservation : 30 jh

Soit un total de 90 journées/homme pour l'ensemble de la post-fouille.

Une provision forfaitaire est prévue pour les compléments de datation (radiocarbone, archéomagnétisme, etc.), les analyses (pétrographie, palynologie, anthracologie, sédimentologie, chimie), les radiographies des mobiliers métalliques et la stabilisation préventive de ces derniers.

• **PERSONNEL MOBILISABLE POUR L'INTERVENTION**

Constitution prévisionnelle de l'équipe de fouille :

Responsable d'opération :

Bertrand Bonaventure, archéologue spécialiste de la Protohistoire et céramologue, selon disponibilité

Céramologue protohistorien :

Bertrand Bonaventure, selon disponibilité

Anthropologie :

Marie-José Ancel / Sabrina Charbouillot / Cécile Rousseau, selon disponibilité

Topographe :
Guilhem Turgis

Géomorphologue, sédimentologue, malaccologue :
Hatem Djerbi

Palynologue :
Catherine Argant-Latour

Étude de la faune :
Thierry Argant

Étude des mobiliers métalliques :
Julien Bohny

Datation :
CDRC de Lyon Université Claude Bernard Lyon 1 ; UMR5138

Organismes pressentis pour la stabilisation des objets :
- Objets métalliques : CREAM, Vienne
- Objets et matière organiques : ArchNuclear, Grenoble
- Objets en autre matériau : Utica, Saint-Denis

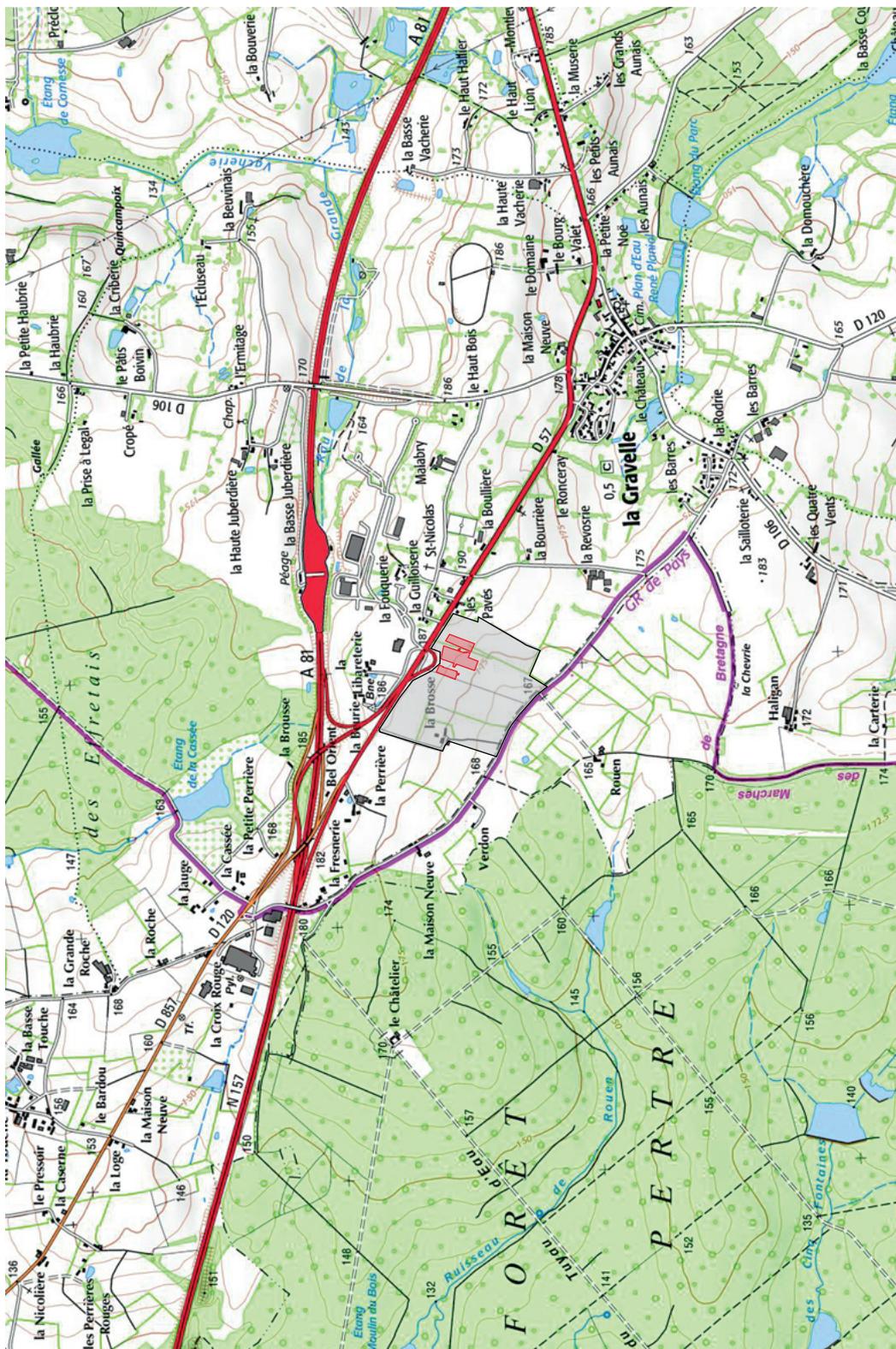
Techniciens :
à définir avec le responsable d'opération après acceptation du projet et selon la disponibilité des personnels pour la fouille et le post-fouille

Coordination :
Philippe Boeckler, responsable de l'agence de Nantes – Archeodunum SAS



Localisation du site sur fond topographique (éch. 1:25000).
Source : geoportail.fr ; DAO : B. Bonaventure

La Gravelle (53)
ZAC de Loiron - 2013
N° Patriarche : EA 53 108 0006



Localisation du diagnostic et de la fouille sur fond topographique (éch. 1:25000).
 Source : geoportail.fr ; DAO : B. Bonaventure

La Gravelle (53)
 ZAC de Loiron - 2013
 N° Patriarche : EA 53 108 0006

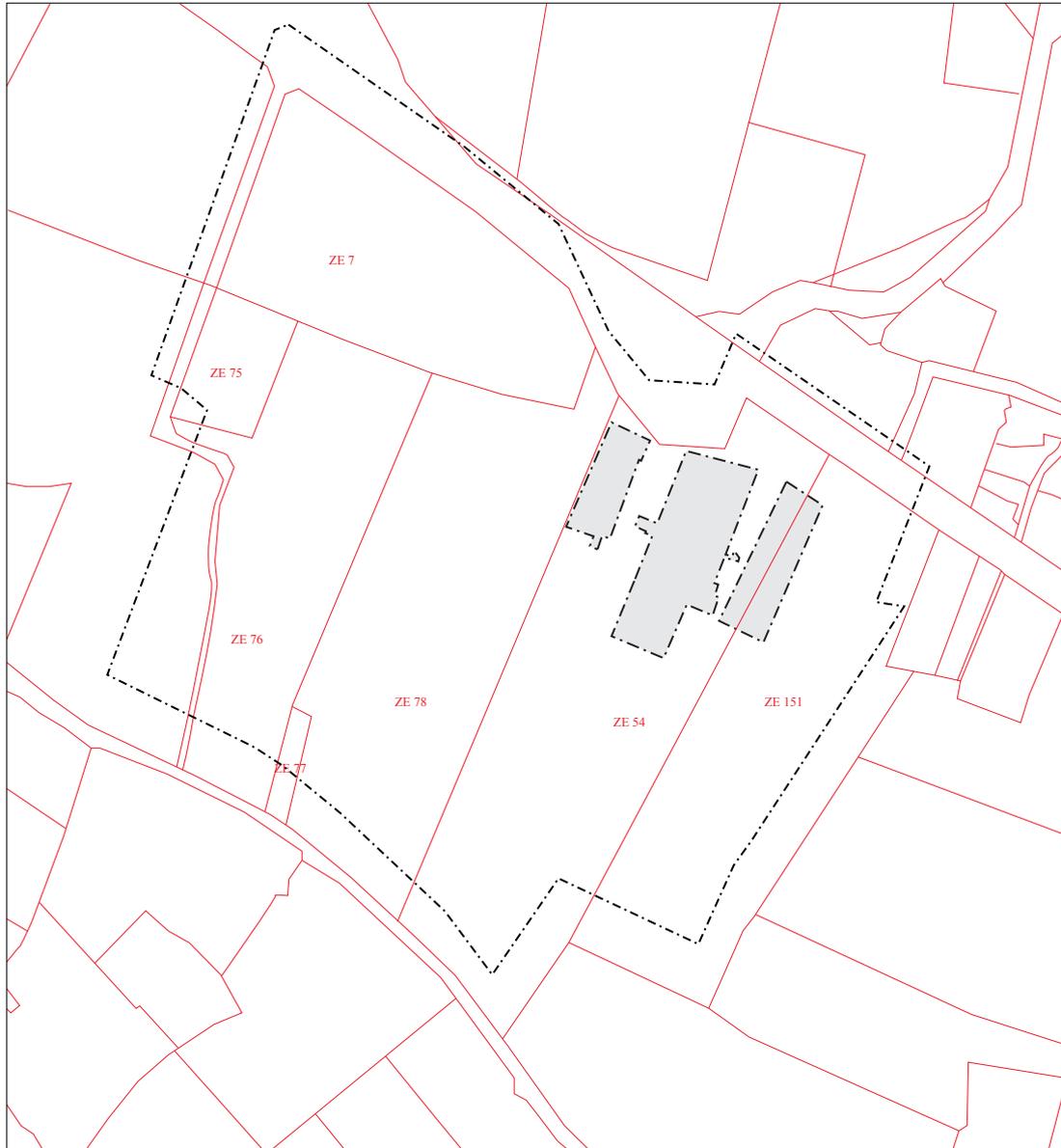


Emprise fouille

Emprise diagnostic

Echelle 1:25000

1000 m



-  Emprise du diagnostic
-  Emprise de la fouille

Echelle 1:5000
 200 m

ARCHEODUNUM
INVESTIGATIONS ARCHÉOLOGIQUES

La Gravelle (53)
ZAC de Loiron - 2013
N° Patriarche : EA 53 108 0006

Localisation du site sur fond cadastral (éch. 1:5000).
DAO : L. Cure / B. Bonaventure.

1. Introduction

B. Bonaventure

1.1. Localisation du site

La commune de La Gravelle se situe dans le département de la Mayenne, en région Pays de la Loire, à environ 45 km à l'est de Rennes et à une quinzaine de kilomètres à l'ouest de Laval (**Planche 1**). Le site de la «ZAC de Loiron» prend place à l'ouest de la commune, à la limite du département de l'Ille-et-Vilaine (**Planche 2**).

Ce secteur se caractérise par un relief de collines peu marquées culminant à 190 m NGF, entaillées d'un réseau hydrographique relativement dense et ponctué d'étangs (**Planche 3**; **Planche 4**). Trois cours d'eau prennent leur source à proximité du site : l'Oudon, qui naît à 800 m au sud-est du site, se déverse ensuite dans la Mayenne et appartient de ce fait au bassin versant de la Loire ; le Vicoin, au nord, est également un affluent de la Mayenne ; enfin, le ruisseau de Rouen, à l'ouest, appartient au bassin versant de la Vilaine.

La commune est par ailleurs ceinturée de plusieurs forêts qui impriment fortement leur marque dans le paysage ; La plus importante est la forêt du Pertre, chênaie-hêtraie d'une quinzaine de kilomètres carrés bordant le site de la ZAC de Loiron à l'ouest. Au nord et à l'est, on trouve respectivement deux bois de moindre importance : le bois des Effretais (environ 2 km²) et le bois des Gravelles (environ 9 km²).

Le site de la «ZAC de Loiron» est localisé sur le versant d'une colline, et culmine à une altitude de 184 m NGF. Le terrain accuse un pendage moyen d'environ 5 %, orienté vers le sud-sud-ouest.

1.2. État des connaissances avant l'opération

1.2.1. Contexte archéologique (Planche 5)

La Mayenne, située aux confins de la Bretagne et du Maine, a longtemps été considérée comme un désert archéologique caractérisé par un important boisement ayant longtemps constitué une zone frontière (Naveau 1992). Les toponymes actuels, hérités du Moyen Âge, semblent ainsi trahir une zone peu occupée. On a longtemps transposé cette réalité médiévale à la Protohistoire récente : en effet, la limite orientale du département (avec celui de l'Ille-et-Vilaine) semble reprendre dans les grandes lignes celle séparant les territoires des Riedones et des Diablites, et l'idée largement répandue de l'existence de *no mans land* entre les territoires des cités gauloises semblait s'appliquer à ce secteur.

Toutefois, les recherches récentes ont largement remis en cause une telle vision. C'est surtout le Craonnais, territoire situé au sud de La Gravelle, qui a fait récemment l'objet d'une documentation de plus en plus riche. La présence d'aurières (les Miaules), probablement exploitées dès l'âge du Fer, a ainsi été repérée notamment autour des communes d'Athée et de Livré-la-Touche, accompagnée de la découverte de plusieurs trésors monétaires et de monnaies isolées permettant d'attribuer ce secteur à la cité des Namnètes (Meuret 1992, p. 258). Par ailleurs, une avancée considérable de l'étude de l'âge du Fer dans ce secteur a

été apportée par les prospections aériennes conduites par G. Leroux (Leroux *et alii* 1999). Celles-ci ont en effet conduit à l'identification de nombreux enclos fossoyés de tailles et de morphologies diverses, notamment dans le Craonnais qui a révélé par endroit des densités de l'ordre de 8 occurrences au km² (Gautier 1999, p. 88).

Si le Craonnais est le secteur ayant livré le plus d'entités dans le département, le territoire autour de La Gravelle a également été documenté, quoique dans une moindre mesure. Toutefois, plusieurs enclos ont été identifiés sur la commune et dans les communes limitrophes (Naveau 1992). À la Gravelle, ce sont deux enclos emboîtés qui ont été observés au lieu-dit «L'Hermitage» (**Planche 5**, n° 1). À Loiron (53), on recense un enclos allongé trapézoïdal, tandis que la commune du Pertre (35) a livré un enclos subcirculaire de 60 m de diamètre («Haut-Pierre»), un enclos carré de 20 de côté («Bois d'Ossé») et un enclos trapézoïdal («L'Étang»). Deux enclos sont documentés sur la commune de Ruillé-le-Gravelais (53): l'un de forme carrée de 40 m de côté («Blanchardière»), l'autre présentant un système de partition interne («La Porterie»). À Bréal-sous-Vitré (35), on compte un enclos quadrangulaire à angles arrondis de 80 x 60 m («Grandes Haies»). En revanche, on soulignera l'absence de toute découverte, que ce soit en prospection aérienne ou sur le terrain, sur les communes de Saint-Cyr-le-Gravelais (53) et de La Brûlatte (53).

Outre ces enclos, c'est surtout l'activité sidérurgique qui a été documentée sur la commune, par le biais de l'étude des toponymes et de prospections conduites par M. Hubert (Hubert 2005). Ainsi, les toponymes «Ferrière», «Forge» et «Minerai» sont attestés sur le finage de la commune et des environs, et soulignent le potentiel métallurgique de ce territoire (**Planche 5**, n° 2). Ce sont toutefois les prospections au sol qui offrent les informations les plus fiables, surtout d'un point de vue chronologique. Les labours font en effet régulièrement remonter des traces d'anciens ferriers en surface, qui ont fait l'objet d'un recensement par l'auteur. À La Gravelle, ce sont les lieux-dits «La Brousse», «La Cassée», «La Haute-Juberdière», «L'Hermitage», «Cropé», «Le Pâtis-Boivin» et «La Prise-à-Légal» qui ont fait l'objet de telles découvertes (**Planche 5**, n° 3 à 9). Toutefois, il faut souligner que ces découvertes concernent les systèmes de réduction à scorie coulée, les sites à scorie piégée étant plus difficiles à repérer. Elles sont toutefois plus intéressantes pour notre propos, puisqu'elles reflètent sans doute une activité sidérurgique dès la Protohistoire. On en compte toutefois deux occurrences à La Gravelle, aux lieux-dits «Le Haut-Bois» et «Les Pavés» (**Planche 5**, n° 10 et 11). Ce dernier est sans doute le plus important à souligner, jusqu'il jouxte immédiatement la zone de fouille de la ZAC de Loiron.

Ainsi, La Gravelle et les communes alentours offrent un contexte archéologique plus riche qu'il n'y paraît, notamment concernant les deux problématiques principales de la fouille de la «ZAC de Loiron», celles des enclos et de la sidérurgie protohistoriques. Sur ce dernier point, il faut également inscrire le site de La Gravelle dans un contexte plus large, incluant la Sarthe et l'Ille-et-Vilaine, qui constitue l'une des régions les mieux documentées en termes de sidérurgie protohistorique, avec notamment les secteurs au nord du Mans, fouillés sur le tracé de l'autoroute A28 (Cabboi *et alii* 2009), et la Haute-Bretagne, qui fait l'objet d'un programme de recherche sur ce sujet (Vivet 2009). Si l'on pouvait regretter l'absence de fouille de ce type en Mayenne, l'opération archéologique de La Gravelle vient donc combler un manque important.

1.2.2. Résultats du diagnostic

L'opération de diagnostic a été réalisée du 26 mars au 6 juin 2012 sous la direction de Sylvaine Morin (Conseil général de la Mayenne). Il a porté sur une superficie totale de

178842 m², dont 8,3 % ont été sondés par le biais de 123 tranchées (soit environ 1,4 ha). Au sein de cette emprise, ce sont plus de 500 structures qui ont été mises au jour (**Planche 6**).

L'essentiel des vestiges appartient à une occupation de l'âge du Fer repérée sur environ deux hectares (**Planche 7**). Plusieurs segments de fossés, notamment, ont été repérés dans diverses tranchées, et interprétés par les auteurs du rapport comme un fossé d'enclos à dominante curviligne. Les quelques éléments de mobilier mis au jour dans le comblement permettent une datation centrée sur La Tène moyenne. Ce vaste enclos (son diamètre était alors estimé à 110 m) était accompagné de diverses structures plus ou moins bien caractérisées, essentiellement des trous de poteaux et des fosses ne dessinant aucun plan cohérent. Parmi les éléments remarquables, on soulignera la présence d'un vaste niveau à caractère hydromorphe (fosse 170), interprétée comme une mare, mais qui s'est avérée à la fouille être le comblement supérieur d'un puits.

L'autre point essentiel de ce diagnostic réside dans la mise au jour de six structures interprétées comme des bas fourneaux. Bien qu'ils n'aient pas été fouillés pendant l'évaluation, leur morphologie de surface a permis aux fouilleurs d'identifier cinq d'entre eux comme des bas fourneaux à scorie piégée, tandis que le sixième est signalé comme pouvant appartenir à un type plus évolué à scorie coulée. Toutes ces structures se répartissent autour de l'enclos, sur une large superficie. En l'absence de fouille, aucune n'a pu être datée, mais ce type de fourneau à scorie piégée paraît plutôt caractéristique de l'âge du Fer.

Plusieurs anomalies de surface, de forme curviligne, ont également été repérées sur toute l'emprise du diagnostic. De tailles et de morphologies très variables, elles ont néanmoins été interprétées, bien qu'avec prudence, comme d'hypothétique enclos funéraires. Le décapage extensif réalisé par la suite a toutefois rapidement montré qu'il s'agissait de chablis.

Le mobilier mis au jour lors du diagnostic s'est révélé particulièrement indigent. Outre une lame de poignard en silex turonien de la région du Grand-Pressigny, qui renvoie au Néolithique final, l'essentiel de la céramique mise au jour se rattache à une période centrée sur La Tène moyenne. Quelques éléments datables de la Tène finale et de l'Antiquité sont également à signaler.

1.2.3. Objectifs de la fouille

Sur ces éléments, le Service Régional d'Archéologie du Pays de la Loire a prescrit une fouille centrée sur l'enclos laténien et les structures sidérurgiques. Couvrant une emprise totale de 2,4 ha, cette prescription n'a toutefois demandé de fouiller qu'une partie de cette superficie, centrée sur l'angle nord-est de l'enclos dont le diagnostic n'avait pas pu dessiner les contours avec précision. Aussi, la surface effective à fouiller s'élevait à un hectare, tout en gardant la possibilité d'étendre la fouille via des tranchées complémentaires au sein de 2,4 ha prescrits.

L'objectif de la fouille consistait à documenter les installations humaines, principalement les structures à caractère sidérurgiques et les aménagements associés.

1.3. Méthodologie d'intervention

1.3.1. Moyens humains et techniques

Initialement prévue pour la période du 19 juin au 26 juillet, la fouille a finalement été réalisée du 19 juin au 2 août 2013, soit 33 jours ouvrés dont cinq de plus que prévus initialement, en raison d'une demande de décapage complémentaire par le Service Régional d'Archéologie. L'équipe était constituée de six personnes durant 28 jours, et de cinq personnes durant les cinq derniers jours, soit un total de 193 jours/homme. C'est la société Beaussire qui a livré les moyens mécaniques, à savoir deux pelles mécaniques de 20 tonnes, chacune doublée d'un tracteur (durée : 10 jours), et une mini-pelle mise à disposition durant 15 jours.

Pour certaines études et analyses, nous avons fait appel à des intervenants extérieurs : Carole Vissac (GéoArchÉon) pour la géomorphologie, Loïc Gaudin (Alkante) pour l'anthracologie, et le laboratoire BetaAnalytic pour les analyse ¹⁴C. Les photographies au ballon ont été réalisées par la société Balloïde Photo.

1.3.2. Le décapage

Le décapage a été réalisé durant les deux premières semaines de fouille, à l'aide de deux pelles mécaniques de vingt tonnes équipées de godets de curage de 3 m, mis à disposition par la société Beaussire (**Planche 8**). Ces deux pelles étaient accompagnées de deux tracteurs équipés de remorques pour l'évacuation des déblais.

La stratégie de décapage a été en grande partie conditionnée par la présence d'un alignement de huit chênes traversant l'intégralité du quart nord-est de la fouille. La nécessité de conserver ces arbres destinés à être intégrés au projet d'aménagement postérieur a été à l'origine d'un décapage en trois zones distinctes et parallèles, orientées NNE-SSO (**Planche 9**) :

- **La zone 1** : cette zone, située dans l'angle nord-ouest de l'emprise prescrite, ne faisait pas partie du secteur à décapier prioritairement. Toutefois, le délai imposé, dès l'amorce des travaux de décapage, par la question du statut des arbres présents sur l'emprise, nous a conduit à éviter provisoirement le secteur nord-est pour ce concentrer sur la zone 1 dont l'évacuation des terres n'avait aucune conséquence sur les éventuels décapages postérieurs. La zone 1 présente une superficie totale de 2270 m².
- **La zone 2** : cette zone se situe à l'ouest de la rangée d'arbre, et constitue la plus grande surface décapée du site (7080 m²). Elle s'est interrompue, à l'est, à environ 5 à 10 m des arbres, cette berme étant destinée à ne pas attaquer les racines de ces derniers. Par ailleurs, plusieurs extensions de la zone ont été réalisées : deux petites tranchées vers l'est et l'ouest destinées à documenter le prolongement de deux fossés, ainsi qu'une vaste zone d'environ 2000 m², au sud, décapée sur demande du service régional d'archéologie du Pays de la Loire ;
- **La zone 3** : cette zone se situe à l'est de la rangée d'arbres. Elle borde la limite de l'emprise prescrite à l'est, et s'interrompt à l'ouest, à quelques mètres des arbres. Sa superficie totale atteint 3400 m².

Au total, la surface décapée atteint donc 12750 m². Outre le problème des arbres, celui de l'éventualité de devoir étendre l'emprise du décapage vers le sud et l'ouest a nécessité une gestion raisonnée des terres, la plupart ayant été rejetées à l'autre extrémité de l'emprise,

au sud, afin de laisser dégagé l'espace bordant immédiatement la zone de décapage initiale et susceptible de faire elle aussi l'objet d'un décapage.

1.3.3. La fouille des structures

À l'issue du décapage, 551 anomalies de surface ont été individualisées. Nombre d'entre elles se sont révélées n'être que des variations superficielles du terrain naturel, et ont été rapidement annulées. D'autres, au contraire, ont nécessité un traitement mécanique sommaire afin de distinguer les chablis des anomalies d'origine anthropique. Ce sont 132 chablis qui ont ainsi été individualisés, même si l'interprétation de certains d'entre eux n'est pas dénuée d'ambiguïté. Leur traitement a essentiellement consisté en une coupe mécanique afin d'en valider l'identification, un traitement graphique intégral (relevé en plan et en coupe) n'étant paru ni pertinent scientifiquement, ni réalisable dans le temps imparti par la fouille. Seules quelques-unes de ces structures ont fait l'objet d'un tel traitement afin de documenter *a minima* cette part importante dans la compréhension du site de La Gravelle. Par ailleurs, plusieurs prélèvements de charbons ont été réalisés afin de pouvoir proposer une datation de ces chablis.

Le reste des structures mises au jour consiste essentiellement en trous de poteau (107), fossés ou segments de fossés (46) et fosses (6) auxquels il faut ajouter deux puits et dix bas fourneaux. Toutes ces structures n'ont pas bénéficié du même traitement. Dans la mesure du possible, les trous de poteau ont été traités manuellement, par le biais d'une fouille de la moitié de la structure. Les fosses ont été traitées selon une méthode mixte : manuelle pour les structures de petite dimension, et mécanique pour les aménagements plus importants, auxquels on associera les puits pour lesquels la réalisation de paliers de sécurité s'est avérée nécessaire. Concernant les fossés, il ont fait, dans la mesure du possible, l'objet d'un traitement le plus complet possible : dans un premier temps, des sondages manuels ont été réalisés à certains endroits, notamment aux intersections et aux extrémités. Ensuite, plusieurs sondages ont été réalisés à la mini-pelle afin de multiplier les points d'observation du profil et de la stratigraphie des fossés. Enfin, dans la mesure du possible, les segments restants ont été vidés mécaniquement afin de récolter un maximum d'éléments de mobilier (**Planche 10**).

Pour finir, les bas fourneaux ont fait l'objet d'un traitement manuel, même si l'intervention de la mini-pelle s'est parfois avérée nécessaire pour soulever l'importante masse de scorie contenue à l'intérieur de ces structures. Concernant la fouille proprement dite, elle a été réalisée en planimétrie afin d'appréhender au mieux l'organisation de ces structures. Chaque couche successive a été dégagée et fait l'objet d'un relevé en plan. Les coupes figurant dans le présent rapport sont des relevés cumulatifs, basés sur les observations en plan.

En raison du temps imparti à la fouille et au nombre d'anomalies de surface mises au jour, toutes les structures n'ont pas pu être traitées. Par ailleurs, une demande du service régional d'archéologie, intervenue une semaine avant la fin prévue du chantier, et consistant à étendre l'emprise de fouille vers le sud sur une superficie de 1500 m², a nécessité d'interrompre en partie la fouille des structures mises au jour dans l'emprise initiale pour ce concentrer sur ce second décapage. De même, les structures mises au jour lors du second décapage se sont révélées non pas nombreuses, mais particulièrement chronophages : on compte notamment deux puits et trois bas fourneaux. Toutes ces structures n'ont malheureusement pas pu être traitées de manière satisfaisante, et la documentation de cette zone sera essentiellement, sur demande du service régional d'archéologie, un traitement planimétrique complétant les données accumulées sur l'emprise initiale.

1.3.4. Enregistrement et documentation

Dès la phase de décapage, les anomalies de surface ont été marquées à la bombe de peinture et numérotées, puis géoréférencées. Chaque structure traitée a fait l'objet d'une documentation exhaustive : photographie et relevés graphiques en plan et en coupe ; documentation écrite. Les structures n'ayant pu faire l'objet d'une fouille ont simplement été positionnées en plan, avec estimation du diamètre à l'ouverture (pour les structures ponctuelles) ou de la largeur (pour les structures linéaires). Comme signalé plus haut, les nombreux chablis représentent un cas intermédiaire : la plupart ont été coupés afin de valider leur interprétation, mais leur documentation s'est limitée à des informations topographiques.

Toutes les structures ont été numérotées de F.001 à F.551. Elles se composent de plusieurs unités stratigraphiques (positives, négatives ou techniques) dont les numéros ont été attribués de US.001 à US.439. Les ensembles, qui regroupent plusieurs faits, ont reçu une numérotation comprise entre ENS.001 et ENS.016, tandis que les enclos se sont attribuer une lettre (A, B et C). Les sondages (logs stratigraphiques et sondages manuels ou mécaniques des structures) ont été numérotés de SD.001 à SD.095

Une politique de prélèvements systématique a été appliquée aux ensembles de La Gravelle. Dans les structures contenant à la fois du mobilier et du charbon, des prélèvements de sédiment ont été réalisés pour envisager une étude carpologique. Par ailleurs, les charbons apparaissant dans les comblements des structures ont également été systématiquement prélevés. Pour leur part, les contenus des bas fourneaux ont été intégralement prélevés pour envisager plusieurs types d'analyses, notamment anthracologique. Enfin, des prélèvements palynologiques ont été réalisés dans un puits, et des prélèvements micro-morphologiques dans les fossés d'enclos. Tous ces prélèvements ont été inventoriés dans un répertoire unique, ou chaque échantillon se voit attribuer un numéro d'ordre de PR.001 à PR.097.

Concernant la documentation graphique, les relevés ont été réalisés, dans la mesure du possible, sur papier millimétré A4 à l'échelle 1:20, et numérotés à partir de G.001 à G.173. La numérotation des photos reprend celle imposées par l'appareil utilisé (début à P1030820). Enfin, les points topographiques répondent à un système de double numérotation : la première est celle donnée par la station utilisée (de 1 à 2313), tandis que la seconde résulte de la numérotation « à la volée » des points d'axe utilisés sur le terrain pour la réalisation des relevés (numérotation de PT.001 à PT.364).

Toutes ces informations ont été enregistrées dans une base de données élaborée sous le logiciel Filemaker Pro, dans laquelle les différentes tables (faits, US, ensembles, sondages, prélèvements, relevés, photographies et points topo) sont reliées entre elles pour permettre une navigation aisée entre les différentes fiches et l'édition de listings.

2. Contexte géologique et géomorphologique

C. Vissac

2.1. Contexte général

Le site d'étude est localisé au nord-ouest de la commune de La Gravelle. Il occupe la partie supérieure d'un versant orienté au sud et marqué par une pente d'environ 4%. Une zone de replat sensible apparaît dans le secteur aval du site avant une rupture de pente. Le réseau hydrographique montre la présence de plans d'eau ou d'étangs alimentés par divers ruisseaux. L'Oudon, affluent de la Mayenne, prend sa source au sud du bourg de la Gravelle. On relève d'importantes zones boisées dans les environs, forêt du Pertre à l'ouest, bois des Effretais et des Gravelles au nord.

Situé à l'extrémité orientale du massif armoricain, le secteur d'étude occupe la marge méridionale du bassin carbonifère de Laval, dans une zone de contact et d'accidents tectoniques entre le bloc mancélien au nord et le bloc de Rennes au sud (Houlgatte *et alii* 1988). Ce bassin est composé de formations sédimentaires et volcaniques (**Planche 11**). On trouve ainsi des dépôts détritiques terrigènes (poudingue, schistes, grès) avec des couches de houille, des dépôts calcaires massifs et compacts, un complexe détritique de faciès variable schisteux ou gréseux et les schistes de Laval au centre du bassin (Milon *et alii* 1960). Au sud, le socle briovérien montrent divers faciès, souvent très altérés ou argilisés, différenciés en bancs de siltites, grès-grauwackes et grès quartzites (Vernhet *et alii* 2009).

Les formations superficielles sont composées de limons loessiques sur les plateaux et, sur les versants orientés vers l'est, de limons issus d'altérites plus ou moins remaniées. Des colluvions sont accumulées en bas de versant, dans des dépressions et sont alimentées par des altérites et des limons superficiels. Il s'agit de dépôts argilo-sableux ou sablo-argileux enrobant divers fragments rocheux, d'apports argileux à graviers ou de limons qui perdurent en raison des transformations du paysage par l'homme (Vernhet *et alii* 2009).

2.2. Caractères macroscopiques des dépôts

2.2.1. Stratigraphie du site

Les observations ont été limitées aux bermes conservées en limite de la fouille. Compte-tenu des faibles variations observées, un profil de sol a été relevé dans la partie haute de la zone et un second en partie basse (**Planche 12**). Les différents horizons de sol apparaissent distinctement.

Sur le profil de sol situé en amont (profil A, **Planche 13**), la partie supérieure des dépôts montre une texture limoneuse prédominante et l'intégration d'une fraction sableuse. La fréquence des éléments grossiers, cailloux et graviers est sensiblement plus importante dans ces couches (Ia et IIa). L'horizon de surface, humifère, est brun tandis que le niveau sous-jacent montre une teinte plus grise et une structure peu développée. Les caractères changent dans la partie inférieure, au-delà de 40 centimètres de profondeur. Celle-ci présente en effet une teinte plus orangée et une texture argileuse plus forte. On observe dans ces dépôts une structure polyédrique et plus localement une organisation lamellaire fine.

La transition entre les couches IIIa et IVa apparaît assez nette. À la base (IVa), on relève un réseau polygonal de veines grisâtres. Le niveau IIIa est également marqué par la présence de taches grises déferriées. L'ensemble de la séquence est affectée par des redistributions du fer et du manganèse qui forment des taches ocres à orangées et des concrétions noires ferro-manganiques.

Le profil de sol relevé en aval (profil B, **Planche 13**) possède des caractères analogues à ceux du profil A. Les dépôts de la partie supérieure (Ib et IIb) sont identiques. L'horizon IIIb se distingue ici par une teinte claire et une limite irrégulière de type glossique avec la base de la stratigraphie (IVb).

2.2.2. Les structures curvilignes (chablis)

L'ensemble du site a révélé la présence de structures curvilignes peu lisibles au sein des horizons IIa, IIb, pour lesquels l'hypothèse de chablis a été émise. Les sondages réalisées montrent de faibles variations dans le comblement avec des dépôts souvent homogènes, des bords peu contrastés par rapport à l'encaissant. L'une de ces structures, conservée sur une berme en limite de fouille, présente des couches plus distinctes avec des éléments plus grossiers à la base (profil C, **Planche 14**). Une formation gréseuse pourpre avec filon de quartz a été observée à 1,80 mètre de profondeur.

2.2.3. Interprétation

La partie supérieure de la stratigraphie apparaît peu différenciée d'un point de vue lithologique. L'horizon de surface actuel (Ia, Ib) plus foncé et à limite inférieure nette est un horizon de culture (horizon Ap). La teinte claire et le caractère plus massif du niveau sous-jacent (IIa, IIb) pourraient résulter d'une évolution pédologique liée à un appauvrissement et en particulier à un mauvais drainage (horizon A/E). La partie inférieure de la séquence présente en effet des caractères rédoxiques qui traduisent un excès d'eau (Baize, Girard 2009).

Les caractères des dépôts inférieurs montrent qu'ils ne favorisent pas les circulations hydriques. Le substrat plus argileux orangé (IVa, IVb) correspond à un horizon d'accumulation en argile (horizon Bt). Ce dernier supporte également une pédogenèse liée à un contexte périglaciaire comme le souligne le développement de lentilles de glace responsable d'une structure lamellaire. Cette pédogenèse peut être associée à une dégradation par engorgement (formation d'un horizon Btgd). Un contact glossique avec l'horizon sus-jacent appauvri (IIIa, IIIb ou horizon Eg) montre ainsi une différenciation importante du sol qui est plus accentuée en aval (IIIb), probablement en lien avec la zone de replat qui favorise une stagnation d'eau plus prononcée.

La formation d'un luvisol dégradé (plus accentué en aval) est donc attestée à la base de la séquence stratigraphique. Le luvisol qui s'est développé au sein de dépôts remaniés a évolué sous l'effet des modifications du milieu (changements climatiques notamment) qui ont accentué les processus de lessivage. Il en résulte une hydromorphie avec pénétration d'un horizon Eg en veines grises (lieu de circulation d'eau et de dégradation privilégié). Différentes phases pédo-sédimentaires sont envisageables mais elles ne peuvent être toutes précisées à cette échelle d'observation, notamment des discontinuités lithologiques éventuelles et les phases successives de couvert végétal sur le site.

Les apports supérieurs (I et II) relèvent de processus colluviaux sur un paléosol. Un substrat peu perméable et une évacuation latérale difficile des eaux superficielles ont pu induire

la formation d'une nappe perchée temporaire qui a conduit une prise en masse des sédiments, au changement d'état du fer (teinte grise) et à des comblements uniformes dans les structures. La réduction d'un couvert arboré peu de plus contribuer au relèvement de la nappe (Duchaufour, Souchier 1977).

Au sein des structures curvilignes, seul le caractère plus hétérogène des dépôts à la base évoque un mélange de matériau mêlant des éléments arrachés au substrat et des sédiments des niveaux supérieurs rapidement enfouis. Le comblement apparaît indifférencié, issu d'apports de sédiment de même nature, homogénéisé par l'activité biologique et des périodes de saturation en eau. L'hypothèse de chablis reste envisageable mais ne peut être confirmée à cette seule échelle d'observation.

2.3. Conclusion

La stratigraphie du site ne montre pas de variations notables des couches sur le secteur étudié. Elle est caractérisée par la présence de dépôts de colluvions sur un paléosol. L'évolution de ce dernier est marquée par un contexte périglaciaire et des phases de remaniements probables comme le suggèrent les observations micromorphologiques du niveau encaissant des fossés. Le substrat peu perméable favorise l'engorgement des niveaux supérieurs qui s'éclaircissent et deviennent compact. Il en résulte une lisibilité plus difficile des structures dans ces niveaux.

Parmi les structures étudiées, les fosses curvilignes (chablis) montrent un remplissage peu différencié, en partie lié à une accumulation progressive. La base plus hétérogène suppose un mélange de matériau sédimentaire entre des niveaux de sol différents. La présence d'un couvert arboré reste envisageable.

3. Description des vestiges

B. Bonaventure, J. Bohny, M. Lefils

3.1. Introduction

Contrairement aux attentes consécutives aux résultats du diagnostic, la densité de vestiges s'est révélée assez faible. Si l'on exclu les 164 chablis, le nombre de structures anthropiques se limite en effet à 38 fossés ou segments de fossés, 107 trous de poteau, dix bas fourneaux, six fosses et deux puits (**Planche 15**). La densité est assez inégale selon les secteurs : la zone 1 (**Planche 16**) présente une densité très faible, et n'a révélé que la présence de fossés de parcellaire et de chablis. Elle marque ainsi clairement la limite de l'occupation protohistorique. Au contraire, les zones 2 et 3 (**Planche 17 et 18**), centrées sur l'enclos, sont assez densément occupées, même s'il convient de nuancer cette affirmation étant donné le nombre de chablis attestés.

En raison d'éléments de datation extrêmement rares et souvent peu pertinents, il a été choisi de ne pas présenter les structures par phase chronologique mais, au contraire, par type d'aménagement. Les questions chronologiques, si elles seront abordées dès cette partie, ne seront toutefois développées que dans un second temps durant lequel un phasage du site pourra être proposé.

3.2. Les limites parcellaires (ensemble 2)

Une série de fossés, manifestement contemporains ou sub-contemporains (comblement très meuble et organique, persistance de racines...) a été rassemblée sous l'appellation « ensemble 2 », et correspond très clairement à des limites de parcellaire (**Planche 19 et 20**). L'ensemble dessine un réseau d'orientation générale NNE-SSO et ONO-ESE, dans lequel on peut distinguer trois cas de figure :

- **Limite cadastrale contemporaine** : c'est le cas du fossé F.060, qui traverse l'intégralité de la zone 3 et qui marque la limite entre les parcelles ZE 54 et ZE 151. Le fossé et la haie étaient encore visibles avant l'intervention des pelles mécaniques pour le décapage ;
- **Ancienne limite cadastrale actuellement marquée** : ce cas de figure est représenté par l'alignement de chênes entre les zones 1 et 2. Cet alignement marque en effet la présence d'une ancienne limite cadastrale figurant sur le cadastre napoléonien de 1832, entre les parcelles 363 et 364, mais qui n'apparaît plus sur le cadastre actuel ;
- **Ancienne limite cadastrale actuellement non marquée** : il s'agit du cas le plus fréquent de fossés marquant des limites parcellaires figurant sur le cadastre napoléonien (**Planche 21**). Ces fossés, qui s'inscrivent dans l'US.007, limon brun venant recouvrir le terrain naturel, viennent également recouper toutes les structures se trouvant sur leur parcours.

Enfin, il faut également signaler la présence d'autres fossés dont la fonction est plus énigmatique. En effet, ces fossés ne suivent pas les limites cadastrales, même s'ils semblent les rejoindre parfois (c'est le cas de F.193, F.283 et F.518, dans la zone 2). Par ailleurs, ils

suivent globalement la même orientation que les parcelles, et même s'ils sont recoupés par les fossés liés au cadastre napoléonien, ils recourent aussi systématiquement les structures protohistoriques.

3.3. Les chablis (ensemble 16)

L'une des principales caractéristiques du site de La Gravelle est la présence nombreux chablis attestés sur toute la surface de l'emprise. En tout, 164 chablis ont été identifiés (**Planche 22**). Face à une telle densité, il était illusoire de vouloir traiter exhaustivement l'intégralité de cet ensemble, d'autant que les bénéfices scientifiques avaient peu de chance d'être à la hauteur de l'investissement. Il a donc été choisi de procéder en deux temps : d'une part, une sélection de quelques unes de ces structures a fait l'objet d'une documentation exhaustive (photos, relevés, documentation écrite), afin d'en valider la proposition d'interprétation (**Planche 23 et 24**); d'autre part, le reste des structures a simplement été coupé à la pelle mécanique afin de discriminer les chablis de ce qui pourrait être interprété comme des fosses anthropiques.

La répartition de ces chablis sur l'ensemble de la surface décapée ne révèle aucune organisation particulière : en effet, hormis un léger infléchissement de la concentration dans l'extrémité sud de l'emprise, les densités de chablis sont assez homogènes sur l'ensemble du site. On ne voit, notamment, aucun lien avec les limites parcellaires, qu'il s'agisse du cadastre actuel ou du cadastre napoléonien. À ce titre, ce dernier document indique que les parcelles concernées par l'emprise étaient déjà cultivées à la date à laquelle a été dressé le plan cadastral. En dépit d'une localisation plus ambiguë, la carte de Cassini montre également une absence de bois à ce niveau, alors que la forêt du Pertre semble déjà exister selon des limites approximativement identiques à celles d'aujourd'hui.

La stratigraphie montre également l'ancienneté de ces chablis : en effet, nombre d'entre eux sont recoupés par des structures datées de la Protohistoire, notamment les fossés d'enclos : c'est le cas de F.100, recoupé par l'enclos A, ou de F.271, recoupé par l'enclos B. Par ailleurs, les datations ¹⁴C réalisées sur trois de ces chablis ont montré, sinon leur antériorité par rapport aux aménagements du site, au moins leur caractère ancien : en effet, deux datations (F.151 et F.488) sont centrées sur une période comprise entre le Hallstatt C et La Tène B, tandis que la troisième (F.269) donne des résultats beaucoup plus anciens, avec une datation centrée sur le Néolithique final. On ne saurait généraliser ces résultats aux 164 chablis mis au jour, mais tout porte toutefois à croire que la plupart de ces structures témoignent de la présence d'un bois aux époques protohistoriques, antérieurement à l'installation des structures sidérurgiques.

3.4. Les enclos

Déjà repérée lors du diagnostic, la présence d'un premier enclos (enclos A) a été confirmée au cours de la phase de décapage. C'est toutefois la présence d'un second enclos (enclos B), inclus à l'intérieur du premier, qui constitue l'apport essentiel du décapage de l'angle nord-est de l'emprise. La lecture en plan et en coupe de ces enclos s'est avérée très variable selon les secteurs considérés, mais les tracés ont toutefois pu être suivis sans trop de difficultés, malgré quelques interruptions imputables à l'érosion (**Planche 25 ; Planche 26**). Aucun de ces deux enclos n'a pu être vidé intégralement, mais la réalisation de multiples sondages a permis une documentation satisfaisante des profils et de la stratigraphie (**Planche 27**), même s'ils ont rarement été à l'origine de la découverte de mobilier.

3.4.1. L'enclos A

Cet enclos est celui qui avait été partiellement repéré lors du diagnostic ; il est également celui dont le tracé, malgré quelques lacunes, se prête le mieux à des extrapolations permettant de palier aux lacunes du décapage. Il est apparu à une altitude comprise entre 175,09 et 180,67 m NGF, selon un pendage conforme à celui qu'imprime le terrain naturel. Il est creusé directement dans le niveau géologique (US.008), tandis qu'il est recouvert par un niveau de limon brun (US.007)

- Tracé général

Trois segments continus ont été documentés dans l'emprise (**Planche 28**) : au nord-ouest, le fossé d'enclos forme une courbe irrégulière qui a été suivie sur toute la largeur de l'emprise, sur une longueur de 53 m environ ; à l'est, la branche orientale se compose de deux branches parfaitement rectilignes qui se rencontrent pour former un angle droit, le tout sur une longueur totale de 77 m ; au sud enfin, le fossé curviligne a été documenté sur une longueur de 37 m. Les quelques tranchées de diagnostic situées entre nos différents segments confirment leur appartenance à un même enclos : on trouve notamment des segments de fossé de même gabarit dans les tranchées 39, 50, 51, 52 et 59 à l'est, et dans les tranchées 256, 35, 116 et 117 au sud.

En cumulant les données de fouille et celles des tranchées de diagnostic, il est possible de restituer de manière relativement fidèle le tracé de l'enclos : il présente une morphologie à dominante curviligne, notamment sur les segments nord, sud et ouest, bien que ce dernier ne soit documenté que par les tranchées de diagnostic. À l'est, au contraire, l'enclos forme une sorte de pointe à angle droit, conférant au tracé de l'enclos une forme générale en « tête d'alien ». Les dimensions maximales de l'enclos sont de 120 x 113 m, pour une surface enclos de 9500 m² environ. La longueur totale du fossé peut être estimée à 363 m. Une seule excroissance du tracé a été repérée : il s'agit d'une portion de fossé de faible profondeur (F.421), se développant à partir du fossé nord avec lequel il forme un angle aigu. Il s'interrompt après un tracé d'environ 8 m en direction de l'est.

Aucune interruption du tracé, pouvant permettre d'envisager la présence d'une porte dans l'emprise, n'a été documentée pour l'enclos A. Au contraire, l'interruption de 1,70 m signalée au sud dans le rapport de diagnostic a été invalidée par la fouille : le fossé est bien continu à cet endroit. Par ailleurs, aucun aménagement de fond de fossé (trou de poteau, empierrement) ne permet non plus de supposer la présence d'une porte. On doit ainsi supposer que celle-ci se situe hors de l'emprise décapée.

- Profils

Le fossé de l'enclos a fait l'objet de 31 sondages (manuels ou mécaniques) destinés à en étudier le profil et les dynamiques de comblement. Ils ont par ailleurs permis de vider le fossé à hauteur de 27 %, sans occasionner la moindre découverte de mobilier. Seuls quelques charbons ont pu être prélevés pour faire l'objet de datations ¹⁴C.

Les douze coupes réalisées dans les portions nord et est de l'enclos permettent d'apprécier la régularité du profil, en dépit d'un état de conservation variable selon les endroits (**Planche 29**). Globalement, le fossé présente un profil en V peu marqué, plutôt symétrique, avec un fond en cuvette. La largeur à l'ouverture oscille entre 1 m, au sud, et 2,70 m au nord qui constitue la partie la mieux conservée. La profondeur, quant à elle, atteint au maximum 1,50 m. Les niveaux de fond de creusements montrent un pendage conforme à celui du terrain naturel : si l'on s'en tient aux portions fouillées (soit les fossés nord et est), on constate un pendage régulier vers le sud. Le léger coude formé à l'extrémité nord de l'enclos semble former la ligne de partage des eaux.

- Stratigraphie

La stratigraphie du comblement varie selon les sondages considérés (**Planche 30 à 35**). Globalement, on constate des dynamiques de comblement relativement simples, fondées sur la superposition de couches lenticulaires successives, la seule différence résidant dans le nombre de celles-ci. Aucun événement (recreusement) ou aménagement (palissade) particulier n'a été repéré.

Dans le fossé nord (F.163/F.415 ; **Planche 30**), l'essentiel de la stratigraphie repose sur une bipartition générale entre un comblement primaire à caractère hydromorphe, caractérisé par une argile grise homogène, compacte et plastique (US.219 et US.229), et un comblement supérieur à caractère plus limoneux et plus riche en éléments carbonneux (US.224). Dans certains sondages, quelques lentilles répondant à des caractéristiques différentes viennent s'insérer à la base ou entre ces niveaux. À ce titre, seul le sondage SD.035 présente une stratigraphie plus complexe, avec notamment la présence de niveaux très proches de l'encaissant et pouvant être interprétés comme des niveaux d'érosion des parois, situés à la base (US.218) et sur les parois (US.221 et US.222) du creusement. On y trouve également, dans une phase de comblement intermédiaire, un niveau de sédiment argileux jaune présentant de nombreuses traces d'oxydation (US.220 et US.223). L'ensemble est néanmoins recouvert par le niveau limoneux commun à l'ensemble des sondages. Dans les sondages SD.043 et SD.046, on trouve à la base du comblement un niveau particulièrement oxydé (US.230).

Dans le fossé est (F.088 ; **Planche 31**), la stratigraphie est conforme à celle observée dans le fossé nord. On retrouve le niveau oxydé constaté dans les sondages SD.043 et SD.046 (US.003), dont l'épaisseur semble aller croissante jusqu'à atteindre 34 cm dans le sondage SD.001. Au dessus s'étend le niveau hydromorphe dont épaisseur est également croissante à mesure que l'on se dirige vers le sud (US.002). Enfin, le comblement final se compose d'un niveau plus limoneux (US.209 et US.211). La seule exception réside dans le sondage SD.022, dans lequel une couche de cailloutis d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur (US.210) vient s'intercaler entre deux niveaux limoneux.

Le segment sud de l'enclos, mis au jour à la fin de la fouille, n'a pas pu faire l'objet de coupes stratigraphiques. En revanche, les sondages réalisés dans les parties occidentales lors du diagnostic montrent, d'autant que l'on puisse en juger, un profil et une stratigraphie conformes à ceux mis au jour dans le décapage extensif.

Pour résumer, on peut considérer que la séquence de comblement de l'enclos B se limite à deux phases remplissage progressif et en grande partie naturelle. Ces éléments permettent d'exclure, *a priori*, l'idée que ces fossés aient été creusés pour accueillir une haie ou une palissade, tandis que l'on peut au contraire considérer qu'ils étaient maintenus ouverts. En revanche, il est impossible de dire, sur les seuls arguments stratigraphiques, si ces fossés étaient doublés d'un talus ou non.

- Chronologie

Malgré les 29 sondages – manuels et mécaniques – réalisés dans le comblement du fossé jusqu'à sa base, aucun élément de mobilier n'a été mis au jour dans l'enclos A. Ainsi, on doit s'en remettre exclusivement aux datations radiocarbone, malgré leur imprécision, pour envisager la chronologie de cet aménagement. Une datation a été ainsi réalisée dans le fossé F.088, avec pour résultats une datation comprise entre 205 et 50 avant J.-C. soit, en chronologie relative, La Tène C2 et La Tène D2a. Il s'agit ainsi de l'aménagement le plus récent mis au jour sur le site de La Gravelle.

3.4.2. L'enclos B

Cet enclos, qui s'inscrit à l'intérieur de l'enclos A, n'avait pas été identifié lors du diagnostic. Il apparaît à une altitude comprise entre 179,92 et 176,06 m NGF, ce qui représente un dénivelé important mais toutefois conforme à celui qu'accuse le terrain naturel.

- Tracé général

De part ses dimensions plus réduites que celles de l'enclos A, l'enclos B a pu être documenté sur quasiment tout son tracé. Seuls manquent deux segments situés sous la berme des arbres laissés sur place, ainsi que l'extrémité occidentale pour laquelle la tranchée Tr.40 du diagnostic permet d'estimer la position.

Le tracé de l'enclos B est plus complexe que celui de l'enclos A même si, sous bien des aspects, il semble en reprendre les grandes lignes (**Planche 36**). Il s'étend sur une surface moindre, avec une emprise maximale de 98 x 76 m, pour une superficie enclose de estimée à 4800 m², soit environ la moitié de celle de l'enclos A. La longueur totale de fossés peut être estimée à 358 m, dont 316 m dans l'emprise de fouille. Globalement, l'enclos B prend la forme d'un pentagone irrégulier, délimité par des fossés plus ou moins linéaires : si les fossés situés à l'est paraissent parfaitement rectilignes, ce n'est pas le cas du fossé nord-est qui semble amorcer un tracé curviligne avant de se développer hors emprise. Ainsi, la morphologie exacte de l'angle nord-est demeure inconnue, même si les caractéristiques générales de l'enclos permettent d'envisager un angle assez marqué.

Plusieurs éléments viennent se rajouter à ce tracé. D'une part, un gros fossé de partition interne (F.363) vient diviser la superficie enclose en deux parties inégales selon un axe NNO-SSE. Ce fossé se raccorde au fossé sud-ouest en formant un angle droit, tandis qu'il sert de point de départ au fossé sud-est, selon une configuration qui laisse envisager l'existence de plusieurs phases successives que les observations stratigraphiques n'ont malheureusement pas permis de documenter. Au nord, ce fossé de partition s'interrompt environ 2 m avant l'angle nord de l'enclos B.

L'angle oriental de l'enclos B, qui semble épouser assez fidèlement le tracé de l'enclos A, s'en distingue par la présence d'une interruption formant une chicane, ce qui trahit clairement son caractère archéologique, indépendamment des problèmes d'érosion. Par ailleurs,

le fossé oriental poursuit son tracé, au nord, au delà de l'angle nord-est, pour former une excroissance de 4 m de long qui n'est pas sans rappeler une configurations similaire, mais inversée, dans le même angle de l'enclos A.

- Profil

L'enclos a fait l'objet de 43 sondages permettant d'estimer les variations du profil et de la stratigraphie sur l'ensemble de son tracé. Ces paramètres varient considérablement d'un endroit ou d'un segment de fossé à l'autre (**Planche 37**). Dans les grandes lignes, les portions de fossé situées à l'est de l'emprise paraissent les moins biens conservées : concernant les largeurs à l'ouverture, on trouve des valeurs comprises entre 35 ou 90 cm, pour des profondeurs ne dépassant pas 50 cm. Les profils des fossés y varient entre une forme en V ou en cuvette.

Pour le reste, si les fossés sont globalement mieux conservés, ils n'en présentent pas moins des profils variables. Concernant l'enclos proprement dit, on trouve à la fois des profils en cuvette (SD.051, SD.076, SD.090), en V (SD.057) ou à fond plat (SD.079, SD.083), pour des largeurs à l'ouverture comprises entre 0,80 et 1,50 m, et des profondeurs oscillant entre 0,50 et 0,80 m. Aucune forme d'asymétrie des profils n'est à signaler.

Le fossé de partition central, au contraire, présente certaines spécificités qui le distingue des fossés externes : sa largeur peut atteindre 2,5 m, tandis qu'il atteint la profondeur de 1,40 m dans le sondage SD.060. Globalement, il présente un profil en V avec un évasement de la partie supérieure, jusqu'à former une véritable plate-forme qui peut se situer aussi bien à l'est (SD. 060) qu'à l'ouest (SD.059). Toutefois, sa spécificité réside surtout dans la présence, au milieu de son tracé, d'une nette remontée de son creusement sur une largeur de 4 m, qui forme une plate-forme horizontale sur toute sa largeur. À cet endroit, le « fossé », s'il est encore possible de le désigner ainsi, ne présente plus qu'une profondeur de 30 cm au maximum, et un profil irrégulier. En d'autres termes, il s'agit probablement d'une véritable interruption du fossé, la légère dépression pouvant résulter des passages répétés sur ce probable lieu de passage.

Globalement, le pendage général du fond des fossés respecte celui qu'accuse le terrain naturel. Ceci provoque nécessairement des « nœuds » au niveau desquels les eaux de pluie devaient s'accumuler : au sud, à l'intersection entre le fossé sud et de fossé interne ; et au sud-est, à l'intersection entre l'enclos et l'excroissance semi-circulaire.

- Stratigraphie

Quel que soit le segment considéré, et à quelques exceptions près, l'enclos B présente une stratigraphie très simple et comparable à celle de l'enclos A (**Planche 38 à 44**). Le fond des creusements est tapissé d'une couche de sédiment argileux très proche du terrain naturel, plus ou moins oxydé, et qui constitue selon toute probabilité des niveaux issus de l'érosion des parois des fossés (US.009, US.336). Épais entre 15 et 50 cm, ce niveau peut surtout s'observer dans les segments nord et est. Le reste du comblement se compose de couches de limon au sein desquelles il est souvent impossible de distinguer la moindre stratigraphie (US.005, US.011, US.013, US.275, US.345, US.335, US.369, US.412), mais qui correspond probablement à un comblement progressif des fossés. Dans quelques rares sondages, ce schéma diffère légèrement, avec notamment un comblement final très oxydé dans le sondage SD.083 (US.392). Enfin, on soulignera le fait qu'aucun phénomène de latéralisation des comblements ne peut être identifié.

Toutefois, c'est encore le fossé interne qui fait figure d'exception (**Planche 41**) : si la stratigraphie générale répond au même schéma global – une phase d'érosion des parois suivie

d'une phase de comblement progressif -, quelques points de détail démarquent ce comblement des autres. D'une part, la phase d'érosion est représentée par un niveau plus oxydé et surtout beaucoup plus épais que dans les autres fossés (US.312, US.315, US.322, US.383) : celui-ci s'accumule en effet sur une hauteur comprise entre 40 et 75 cm, sans toutefois qu'un phénomène de latéralisation ne puisse être observé. D'autre part, deux sondages présentent des stratigraphies particulières : dans le sondage SD.059, on trouve une couche riche en pierres de module moyen (US.313), épaisse d'une cinquantaine de centimètres, et qui semble se déverser dans le fossé depuis son flanc oriental. L'interprétation de ce niveau est délicate, surtout en raison de son caractère probablement anecdotique. Il s'agit probablement d'un rejet massif mais ponctuel.

Dans le sondage SD.058, c'est une autre anomalie qui doit être signalée : dans le comblement supérieur du fossé, on trouve une fine couche (environ 10 cm) très riche en scories et en charbons (US.325). Dans ce contexte de site à vocation sidérurgique, ce niveau peut être considéré comme un rejet ponctuel de résidus de bas fourneau. Ces résidus ont été déposés encore chauds dans le fossé, comme l'indique la rubéfaction qui affecte le niveau inférieur sur une épaisseur d'environ 5 cm.

En dépit de ces quelques exceptions, la séquence de comblement de l'enclos B se résume à deux phases de remplissage progressif et en grande partie naturelle. Ces éléments permettent d'exclure, *a priori*, l'idée que ces fossés aient été creusés pour accueillir une haie ou une palissade, tandis que l'on peut au contraire considérer qu'ils étaient maintenus ouverts. En revanche, il est impossible de dire, sur les seuls arguments stratigraphiques, si ces fossés étaient doublés d'un talus ou non.

- Chronologie

Sur les 43 sondages réalisés dans le comblement des fossés, représentant 26 % de la longueur incluse dans l'emprise, le mobilier récolté s'avère extrêmement pauvre, même s'il est toujours plus abondant que dans l'enclos A. On recense en effet un peu moins d'un kilogramme de céramique, pour un total de 41 restes. Avec sept formes recensées, il permet toutefois une bonne appréciation chronologique : celle-ci permet de situer le comblement des fossés de l'enclos à la fin de La Tène moyenne, même si l'on ne peut exclure un prolongement jusqu'au début de La Tène finale.

Toutefois, une telle proposition de datation n'est pas sans poser problème : en effet, le lien de l'enclos B avec les structures sidérurgiques semble, d'un point de vue planimétrique, assez évident, celles-ci se répartissant autour de son emprise. Toutefois, leurs datations sont systématiquement antérieures, puisqu'elles s'échelonnent entre le Hallstatt C et La Tène C1. Une seule (F.439) déborde légèrement sur La Tène C2. S'agit-il d'un problème de durée d'utilisation de l'enclos B ou, au contraire, doit-on voir dans l'enclos C, dont une infime partie est conservée, les restes d'un ancien enclos dont le tracé a largement repris par l'enclos B. Il paraît difficile de trancher entre les deux hypothèses, mais l'information qui doit être retenue est celle d'une continuité de l'occupation entre La Tène B et La Tène C, voire La Tène D.

3.4.3. L'enclos C ?

Ce troisième ensemble n'a été individualisé que de manière hypothétique, mais les données relevées au sud de l'emprise permettent de supposer la présence d'un système d'enclos antérieur à la mise en place de l'enclos B qui en aurait repris une grande partie le tracé.

En effet, deux fossés prennent place dans l'angle sud de l'enclos B (F.532 et F.538); ils forment un arc de cercle interrompu par un espace d'1,8 m (**Planche 45**). La branche occidentale (F.532) vient longer le fossé de l'enclos B avec de se perdre hors emprise, tandis que la branche orientale (F.538) se confond avec le fossé de l'enclos B. La coupe réalisée dans le sondage SD.083 permet d'affirmer que le tracé de l'enclos C est recoupé par celui de l'enclos B. Cette configuration semble indiquer que l'enclos B a largement repris le tracé de l'enclos C, ne laissant subsister de ce dernier que cet angle sud-ouest documenté dans l'emprise de fouille.

Hormis ces quelques informations, on ne peut pas dire grand chose de cet hypothétique enclos. La coupe réalisée dans le fossé F.532 montre un fossé à fond plat et parois légèrement évasées, large de 83 cm à l'ouverture et profond de 39 cm (**Planche 46**). Le comblement (US.465) se compose d'un limon argileux gris riche en charbons.

Une datation ¹⁴C a été réalisée sur un charbon provenant du comblement de l'enclos C (F.532). Celle-ci est comprise entre 770 et 415 avant J.-C., soit entre le Hallstatt C et La Tène A.

Sur des arguments chronologiques plus que stratigraphiques, nous avons choisi d'intégrer à cet ensemble un autre fossé situé plus au sud (F.526). Cet aménagement se développe selon une forme semi-circulaire de 11 m de rayon, qui semble rejoindre l'angle sud-ouest de l'enclos B. Cette intersection, qui concerne quatre fossés en tout (F.525 et F.528 de l'enclos B; F.526 de l'enclos C et F.527) avait fait l'objet d'un sondage lors du diagnostic, sans que les relations stratigraphiques n'aient été relevées. Cette perte d'information est regrettable puisqu'elle constituait l'une des rares relations stratigraphiques du site. Ainsi, bien que les plans du diagnostic suggéraient un rattachement de F.526 à l'enclos B, les datations contredisent cette observation: tandis que l'enclos B est daté de La Tène moyenne, le fossé F.526 a livré des datations parfaitement conformes à celles de l'enclos C, à savoir une période comprise entre le Hallstatt C et La Tène A (770-415 avant J.-C.). Si rien n'indique que l'ensemble forme un même aménagement, ils appartiennent au moins à la même phase.

3.4.4. Étude micromorphologique

C. Vissac

3.4.4.1. Principes et méthodes

La micromorphologie des sols permet d'étudier spécifiquement la nature et l'organisation des sédiments à l'échelle microscopique; elle est le prolongement d'une étude menée sur le terrain pour identifier les différents processus à l'origine de la formation et de l'évolution des sols. L'étude micromorphologique favorise la différenciation entre les processus sédimentaires (transport, mode de dépôt), anthropiques (nature des activités humaines) et pédologiques (évolution au cours du temps). L'étude des unités stratigraphiques peut donc être révélatrice d'un ou plusieurs épisodes attribués à des conditions de milieu, des rythmes d'occupations, à des activités humaines spécifiques (Cammass, Wattez 1999; Courty *et al.* 1989).

Les prélèvements réalisés en blocs orientés (haut/bas) et non perturbés ont été traités au laboratoire de Science du Sol du centre de Grignon, AgroParisTech. Après induration par capillarité à l'aide d'une résine synthétique, les échantillons sont découpés puis amincis jusqu'à l'obtention de lames minces de grandes dimensions (13x6 cm) et d'une épaisseur de 25/30 μ m (épaisseur de référence des manuels de pétrographie et de minéralogie) (Guilloré 1985).

Les lames minces sont décrites à différents grossissements à l'aide d'une loupe binoculaire et d'un microscope polarisant (**Planche 47 ; Planche 48**). La description s'appuie sur une terminologie reconnue (Bullock *et alii* 1985 ; Fédoroff, Courty 1994) et concerne principalement dans nos études :

- **Les constituants (naturels ou anthropiques)** : les éléments identifiables constituent la fraction grossière qu'ils soient organiques (résidus végétaux), minéraux (quartz, calcite, fragments de roches...), inorganiques et d'origine biologique (phytolithes, coquilles...) ou anthropiques (os, mortier, céramique...). Les particules peu différenciées représentent la masse fine caractérisée par son degré de limpidité;
- **La microstructure** : elle correspond à l'agencement des vides et des agrégats ;
- **Les traits pédo-sédimentaires** : ils désignent une unité discernable au sein du sol. Un trait se distingue du matériel adjacent par la concentration d'un ou plusieurs constituants, qu'il s'agisse de composés organiques, minéraux, chimiques ou d'une distribution particulière de ces constituants. Les traits pédo-sédimentaires rendent compte de la formation et de l'évolution du sol. Dans l'étude des couches archéologiques, ce concept est élargi aux entités qui sont spécifiques d'activités humaines.

3.4.4.2. Caractères généraux des comblements

Le comblement et la base des deux fossés d'enclos (A et B) se distinguent. Le fossé externe (A) montre une limite irrégulière avec le substrat orangé sous-jacent. La transition est marquée par un dépôt limono-argileux finement sableux gris-orangé (Vd). La limite s'avère plus nette avec le niveau supérieur gris, argilo-limoneux et à taches ocres diffuses (IVd). On relève de rares cailloux en limite inférieure et peu de graviers (distribués en lit) au sein de la masse. Le dépôt IIIId est caractérisé par une composante plus limoneuse avec des passées plus argileuses et des concentrations de petits graviers. Sa porosité s'avère plus importante. Une lentille plus hétérogène avec des blocs quartzeux est relevée au sommet (IIId). Enfin, la couche Id plus épaisse, est sensiblement moins argileuse, plus massive avec de petites concrétions ferro-manganiques et des taches grises diffuses dans la masse.

Dans le fossé interne, la limite avec le substrat est plus diffuse mais la base du fossé (IIIe) montre une texture fine, une organisation massive et quelques résidus organiques ferruginisés. Le dépôt supérieur brun-gris (IIe) présente une texture limono-argileuse et des passées plus argileuses grisâtres ou argilo-limoneuses avec des résidus (organiques) ferruginisés. Les cailloux et les blocs sont rares. Le sommet limono-argileux brun-jaune (Ie), apparaît plus homogène avec de rares cailloux.

3.4.4.3. Caractères micromorphologiques et interprétation

- L'enclos A

À la base du fossé de l'enclos A, le substrat échantillonné (VIId) est caractérisé par une matrice limono-argileuse brun-orangé qui renferme des sables fins et très fins principalement, ainsi que des sables moyens en moindre proportion. Les fragments rocheux supérieurs à 2 mm sont bien représentés, sous des degrés d'oxydation divers, subhorizontaux ou en lit discontinu. La structure est massive et une organisation lamellaire est relevée localement. On observe également des grains sableux et rocheux à enrobement matriciel. Ces caractères résultent du remaniement de formations locales, altérées et peut-être mélangées à une source d'apport allochtone (limons éoliens). Leur mise en place, d'origine colluviale, a pu être favorisée par des épisodes de déplacement sur pente sous l'effet d'alternance de gel-dégel comme le suggère la présence de coiffes périphériques sur les grains minéraux (Van Vliet-Lanoë 1987).

Des phases d'illuviation (ou accumulation) sont attestées par les revêtements argileux lités en colmatage ou à la base des vides. Ces revêtements d'argile fine résultent de processus de lessivage des horizons de sol supérieurs (entraînement de particules par les eaux gravitaires) sous couvert végétal dense (Fédoroff, Courty 2002). Ponctuellement, des revêtements limono-argileux interstratifiés marquent une déstabilisation de la surface du sol. Les sédiments ont subi postérieurement l'action du froid (structure lamellaire, revêtements fissurés). Les vides formés sont revêtus ponctuellement d'argile fine (illuviation). La coexistence de plages foncées et de teinte plus claire résulte d'une dégradation sous l'effet d'engorgements temporaires.

La composition de la couche Vd change. Elle devient limono-sableuse caractérisée par des lits plus sableux et de rares constituants plus grossiers. Ces lits sont plus ou moins lavés et associés à des papules (fragments de revêtements) et des agrégats de sol similaires à la couche sous-jacente (VIId). La structure massive montre en particulier des vides allongés ponctuels, lenticulaires, ou une plage lamellaire. Ces caractères témoignent de phases de ruissellement et d'érosion de sol qui remanie un horizon argilique (VIId). Un épisode froid a affecté ce dépôt postérieurement.

La partie supérieure de la couche est plus hétérogène et se démarque des niveaux inférieurs. Elle correspond à la base du fossé. La transition est caractérisée par la présence de divers agrégats imbriqués qui reflètent un mélange de matériau. Les agrégats proviennent de la partie inférieure et du substrat brun-orangé encaissant. On remarque une plage litée limoneuse et limono-sableuse attribuée à un épisode de ruissellement. La limite supérieure correspond à la base de la couche IVd sus-jacente. Elle est caractérisée par des intercalations litées granoclassées subhorizontales qui traduisent un transport hydrique de particules sédimentaires et un dépôt de type flaque. La fissuration résulte d'une phase d'assèchement.

La couche IVd montre une proportion de sables sensiblement plus faible que les niveaux inférieurs et de rares constituants plurimillimétriques. Ils sont sertis par une masse fine limono-argileuse poussiéreuse dans laquelle se distinguent ponctuellement des résidus organiques. Cette composante distincte des couches inférieures indique des apports issus des niveaux de sol supérieurs. On relève quelques constituants allochtones (agrégats brun-orangé subarrondis, papules) qui peuvent témoigner du caractère colluvial du sédiment d'origine.

La couche est homogène, marquée par des concentrations de masse fine, des litages diffus et des intercalations litées remaniées dans le sédiment. Elle est aussi caractérisée par sa structure massive à porosité polyconcave ou vésiculaire. Ces traits suggèrent des épisodes d'apports ruisselés plus ou moins boueux et repris par l'activité biologique. La migration de particules argileuses ou argilo-limoneuses dans la porosité du sol (revêtements) résulte probablement de variations du régime de percolations au sein du fossé. Enfin l'assemblage massif du sédiment, les pigmentations ferrugineuses et une teinte grise traduisent des épisodes d'engorgement.

- L'enclos B

La base du prélèvement correspond au substrat (IVe). Celui-ci présente des caractères pédologiques similaires à la couche VIId (illuviation, impact du gel, dégradation) mais sa charge en constituants grossiers est plus faible.

La transition avec le dépôt supérieur (base du comblement IIIe) est marquée par la présence d'agrégats limono-argileux brun-orangé et d'agrégats bruns lités. Ces derniers correspondent à des traits d'apports hydriques remaniés. La couche IIIe révèle une compo-

sante limono-argileuse à grains sableux épars analogue à la base du remplissage du fossé extérieur. On observe toutefois davantage de fragments rocheux et un assemblage plus hétérogène marqué par la coexistence de plages massives et de plages agrégées. Certaines plages montrent également un faciès composite avec fragments d'agrégats brun-jaune ou brun-orangé plus ou moins noyés dans la masse. Des concentrations ou des revêtements de particules grossières résultent de percolations de forte énergie. Des imprégnations ferrugineuses et des résidus organiques ferruginisés témoignent de conditions humides.

3.4.5. Synthèse et conclusion

L'étude comparée des deux fossés montre une distinction entre les deux remplissages, à la base en particulier. Le fossé extérieur (A) est caractérisé par un comblement progressif correspondant à des apports hydriques plus ou moins boueux. Ils sont probablement alimentés par des surfaces déstabilisées par la fréquentation anthropique. Le fossé a pu aussi contribuer à la collecte des écoulements sur un sol peu drainant. La partie supérieure brun-gris, non étudiée en micromorphologie, suppose un remplissage par colluvionnement et ruissellement. On note en effet des concentrations de petits graviers ou des passées plus argileuses (III_d). Une couche lenticulaire hétérogène et à charge grossière pourrait résulter d'une phase d'apport plus massive d'origine anthropique. Le comblement sus-jacent, analogue au sédiment des niveaux supérieurs du sol, peut correspondre à des apports latéraux.

La base du fossé intérieur (B) présente une composante sédimentaire proche de celle observée dans le fossé extérieur. On remarque également des traces relictuelles de circulations hydriques au fond. Le remplissage révèle toutefois un faciès plus hétérogène qui pourrait être attribué à des épisodes d'apports plus massifs. Ces derniers sont à mettre en relation avec des parois plus instables (effondrement par exemple) ou le démantèlement de matériaux déposés à proximité (talus ?). Le comblement supérieur, brun-jaune, évoque des phases d'apports par colluvionnement avec des passées argileuses grises probablement plus boueuses. Ces dernières s'estompent vers le sommet. La pédogenèse apparaît marquée par le développement d'une activité biologique (porosité, traces racinaires) dans un contexte d'accumulation progressive.

3.4.6. Synthèse sur les fossés d'enclos

3.4.6.1. Chronologie

L'interprétation des enclos de La Gravelle repose en premier lieu sur l'épineuse question de la chronologie. En effet, si nous avons pu identifier trois enclos (dont un seulement hypothétique), les éléments de datation sont bien maigres pour établir une chronologie relative entre eux. À ce titre, un seul argument stratigraphique peut être utilisé : il s'agit de l'antériorité de l'enclos C par rapport à l'enclos B. Les datations ¹⁴C et le rare mobilier confirment largement cette observation : en effet, l'enclos C est daté par ¹⁴C entre Hallstatt et La Tène A, tandis que l'enclos B a livré du mobilier attribuable à La Tène moyenne. Concernant l'enclos A, au contraire, nous ne disposons que d'une datation ¹⁴C pour lui donner une attribution chronologique : il n'a pas livré le moindre tessons de céramique, et ne présente aucune relation stratigraphique avec une quelconque structure du site autre que des chablis ou des fossés de parcellaire. Toutefois, la datation ¹⁴C obtenue est loin d'être inintéressante : située entre 205 et 50 avant J.-C. (soit entre La Tène C2 et La Tène D2), elle constitue en effet la date la plus récente obtenue (sur un total de 22 datations réalisées sur le site) dont l'enclos A est le seul représentant. En dépit des limites inhérentes au fait qu'une seule datation ait été réalisée, il y a donc de fortes chances pour que l'enclos A relève d'une dernière phase d'occupation du site de La Gravelle.

Ainsi, pour résumer et pour simplifier, on pourra considérer les éléments suivants, tout en gardant toutes les précautions requises par les limites exposées plus haut :

- **Phase 1** : enclos C (Hallstatt - La Tène ancienne)
- **Phase 2** : enclos B (La Tène moyenne)
- **Phase 3** : enclos A (La Tène finale)

3.4.6.2. Comparaisons

La région se prête particulièrement bien au petit jeu des comparaisons morphologiques d'enclos. En effet, non seulement de nombreuses opérations d'archéologie préventive sont venues documenter tout ou partie d'établissements ruraux laténiens, mais les campagnes de prospection permettent également de disposer d'une bonne connaissance des formes d'enclos à l'est de la Bretagne, même s'il est évident que le problème chronologique demeure pour ce genre de données (Naas *et alii* 1999). Aussi, nous n'évoquerons que quelques exemples permettant de replacer les enclos de La Gravelle dans leur contexte régional (**Planche 49**).

À défaut d'autres éléments, la superficie des enclos constitue l'un des arguments, bien que contestable, pour définir le statut social d'un site rural gaulois. Avec ses 9500 m², l'enclos A de La Gravelle se situe dans la moyenne régionale et, plus largement, constitue un cas de figure fréquent en Gaule. En effet, dans l'Ouest, les données récoltées à partir des prospections aériennes ont conduit P. Naas à définir quatre modules d'enclos pour des superficies comprises entre 1000 m² et 40000 m². Celui de La Gravelle s'inscrit dans le second groupe (enclos de taille moyenne), dont les superficies sont comprises entre 3000 m² et 1 ha. Il s'agit d'une surface assez commune dans la région, puisque les études menées dans la vallée de l'Oust ont permis de montrer une répartition bimodale des enclos, avec un premier pic autour de 3000-4000 m² et un second autour d'un hectare (Naas 1999, p. 53). Dans le Centre-Ouest, sur les 26 enclos dont la superficie est connue, la norme se situe autour de 1-1,5 ha (Maguer, Lusson 2009). Enfin, le dernier exemple que nous évoquerons, celui de la vallée de l'Oise, montre que la moyenne des tailles d'enclos, calculée sur plus de 300 occurrences, a été fixée à 5000 m² (Malrain, Pinard 2006). Ainsi, quel que soit la zone considérée, et en dépit du caractère largement lacunaire de ce rapide survol, le site de La Gravelle s'inscrit, en termes de surface, dans la moyenne des enclos de l'âge du Fer.

D'un point de vue morphologique, la région a livré plusieurs enclos mixtes, mêlant segments rectilignes et angulaires à d'autres segments curvilignes, dans lesquels on perçoit ce qui peut être généralement interprété comme des éléments de partition interne. À une quinzaine de kilomètres au sud de La Gravelle, sur la commune de Cossé-le-Viven (53), les photographies aériennes montrent un enchevêtrement d'enclos dont un, le plus important en termes de superficie, présente des caractéristiques communes avec celui de La Gravelle, ainsi qu'une superficie proche. Par ailleurs, deux fossés situés à l'intérieur de l'emprise de l'enclos pourraient être interprétés comme faisant partie d'un système de partition interne. Le cas est similaire sur la commune de Ménéac (56), avec une superposition d'enclos qui suggère l'existence de plusieurs phases de constructions. Le plus grand d'entre eux, dont la superficie atteint 2,5 ha, présente également les mêmes caractéristiques que celui de La Gravelle, mise à part sa surface beaucoup plus importante : on y trouve l'association de segments rectilignes et de segments curvilignes, ainsi qu'un probable fossé de partition interne. Toutefois, pour ces éléments, la comparaison s'arrête là en raison de l'absence d'éléments de datation et d'informations plus précises, tant sur l'organisation interne que sur les activités pratiquées dans l'enclos.

En revanche, on s'attardera un peu plus longuement sur le site de Coulans-sur-Gée «Les Nouis» (72). Ce site, fouillé par l'Inrap en 2012, a livré un système de deux enclos emboîtés, dont la superficie totale est très proche de celle de La Gravelle, à savoir environ 8000 m² (contre 9500 pour la Gravelle). La morphologie des enclos est comparable, même si ceux de Coulans-sur-Gée présentent une large dominante rectiligne. Un système de partition interne est également attesté, ainsi qu'un système d'entrée conduisant au bâtiment principal, ce qui constitue un autre point commun avec le site de La Gravelle. Toutefois, ce qui permet le plus de rapprocher ces deux sites est la présence d'activités métallurgiques sous forme de bas fourneaux, même si leur disposition diffère légèrement : égrenés autour de l'enclos à La Gravelle, ils se concentrent tous sur un même secteur à Coulans-sur-Gée, secteur également situé en dehors de l'enclos. Toutefois, la différence majeure se situe dans la chronologie : le site de Coulans est plus tardif que celui de La Gravelle, puisqu'il est daté de La Tène finale.

3.5. Les bâtiments

Un total de neuf bâtiments a été identifié dans l'emprise de fouille, auxquels on peut rajouter trois concentrations de trous de poteau qui, si elles n'ont pas permis d'identifier des plans cohérents, trahissent sans doute l'existence de constructions. La majorité de ces bâtiments est construite sur poteaux, seul le bâtiment 1 présentant un système mixte, avec une association entre sablières et poteaux. Tous se situent dans la zone 2, à l'intérieur de l'enclos B, à l'exception d'un seul (bâtiment 4) qui se trouve en zone 3, immédiatement à l'extérieur de l'enclos A (**Planche 50**).

3.5.1. Le bâtiment sur sablière : le bâtiment 1 (Figure 1 ; Planche 51 à 58)

Le bâtiment 1 paraît constituer le bâtiment principal du site de La Gravelle. Situé à l'ouest de la zone 2, il se compose d'une tranchée de sablière (F.215) à l'intérieur de laquelle se développent 13 trous de poteaux, auxquels il est possible de rajouter deux autres trous de poteaux situés à l'extérieur de l'emprise de la sablière, légèrement en retrait.

La tranchée de sablière délimite l'emprise du bâtiment. De forme légèrement trapézoïdale, elle couvre une superficie de 125 m², avec une longueur comprise entre 12 et 12,8 m, pour une largeur de 9,8 à 10,1 m. Elle orientée nord-sud. Large de 17 à 109 cm, elle présente une morphologie irrégulière, marquée par des excroissances sensibles notamment dans les angles nord-ouest et sud-ouest. La branche orientale, au contraire, paraît beaucoup plus régulière, mais elle présente également un fort arasement, avec des profondeurs conservées très faibles, de l'ordre de 2 à 16 cm, tandis que la branche occidentale atteint des profondeurs de 18 à 41 cm. Cette différence se répercute dans les niveaux relevés au fond du creusement, qui sont plus élevés à l'est (entre 177,31 et 177,64 m NGF) qu'à l'ouest (entre 177,03 et 177,08 m NGF). Les profils sont également variables, même si une tendance générale se dessine avec des fonds plats ou légèrement en cuvette, et des parois évasées. Le comblement se compose d'une ou plusieurs couches de limon argileux gris, dans lequel on trouve des inclusions d'argile jaune et des traces d'oxydation. Quelques rares niveaux tapissant le fond des creusements pourraient être considérés comme des traces d'érosion des parois. Au sein de cet ensemble relativement homogène, l'angle sud-ouest du bâtiment se distingue des autres portions de fossé : en effet, la présence de nombreuses petites pierres dans le comblement y a été relevé. Par ailleurs, c'est cet angle qui contenait l'essentiel du mobilier mis au jour dans le comblement de la tranchée de sablière F.215 : le sondage SD.013, à lui seul contenait 42 fragments de céramique, alors que le total de la structure s'élève à 52 fragments, les autres provenant des sondages SD.011 (9 fragments) et SD.015 (1 fragment).

À l'intérieur de l'emprise délimitée par cette tranchée de sablière se développe une série de trous de poteau. Bien que leur répartition dans cet espace ne soit pas dénuée d'ambiguïtés, les tests réalisés pour envisager la présence d'autres bâtiments antérieurs ou postérieurs se sont avérés infructueux, et justifie l'attribution de la totalité des trous de poteau de ce secteur au bâtiment 1.

Une première série de sept trous de poteaux délimite un espace rectangulaire de 9 x 6,7 m (F.217, F.221, F.224, F.231, F.233, F.235, F.455). L'absence de poteau d'angle au nord-ouest, nord-est et sud-ouest laisse supposer la présence d'angles tronqués, même si cette restitution ne s'accorde pas avec le plan de la sablière. En tout état de cause, seul l'angle sud-est présente un poteau d'angle bien identifié (F.235). Ces trous de poteau sont tous relativement bien conservés : de plan variable (circulaire, ovale, rectangulaire), ils présentent un diamètre compris entre 62 et 100 cm, pour une profondeur oscillant entre 11 et 45 cm. Ils présentent tous un profil à fond plat et parois légèrement évasées, et les mieux conservés se caractérisent par un surcreusement latéral plus ou moins marqué. Les altitudes des fonds de fosses d'implantation sont extrêmement variables, entre 176,93 et 177,61 m NGF. Des traces de négatifs de poteau ont été observées dans trois d'entre eux (F.217, F.221 et F.455) : leurs diamètres sont compris entre 16 et 33 cm. D'autres empreintes sont plus hypothétiques, comme celle relevée dans F.231, tandis que l'on ne peut supposer la présence de négatifs de poteaux que de manière hypothétique dans F.224 et F.235, grâce à la présence d'un surcreusement au fond de la fosse d'implantation.

Les autres poteaux constituant le bâtiment 1 paraissent participer de manière plus secondaire à la stabilité de la structure, bien que certains soient d'un gabarit comparable à ceux décrits plus haut. On compte en premier lieu une série de trois aménagements situés sur le tracé de l'emprise délimitée par les trous de poteau principaux (F.218, F.225 et F.228), et qui ont pu également servir à supporter une partie des charges des pannes sablières et de la toiture. Il s'agit de structures de plus faible diamètre que les trous de poteau principaux (entre 44 et 72 cm), mais la différence est surtout très nette dans les profondeurs conservées, puisque celles-ci ne dépassent pas 22 cm. Si l'on excepte F.218, dont l'identification doit être avec la plus grande prudence, les deux autres trous de poteau présentent des profils nettement marqués, à fond plat et parois verticales. Aucun négatif de poteau n'a été conservé. Ces trous de poteau pourraient correspondre à des supports intermédiaires, mais leur association avec d'autres aménagements pourrait suggérer une autre fonction.

Quatre derniers trous de poteau peuvent être intégrés au bâtiment 1, même s'ils sortent du schéma général puisqu'ils sont situés soit à l'intérieur (F.223 et F.454), soit à l'extérieur (F.229 et F.230) du bâtiment. Toutefois, ils semblent venir doubler d'autres trous de poteau attribués au bâtiment 1, selon une configuration qui pourrait faire penser à des aménagements sur quatre poteaux distincts de du bâtiment 1. Toutefois, certaines des fosses d'implantation étaient situées parfaitement dans l'emprise de ce dernier. Aussi, il a été choisi d'intégrer toutes ces structures au bâtiment 1.

On trouve en premier lieu deux trous de poteau (F.229 et F.230) situés à l'extérieur de l'emprise délimitée par la tranchée de sablière, à 28 cm à l'ouest de celle-ci. Ils sont espacés de près de 2 m, se développant parallèlement à la tranchée de sablière et répondant à deux autres trous de poteau situés à l'intérieur du bâtiment (F.228 et F.231). De plan irrégulier et d'un diamètre de 69 et 78 cm, ils présentent deux profils différents, l'un en cuvette (F.229), l'autre à parois évasées et surcreusement latéral (F.230). Les fonds des creusements se situent à 176,98 et 176,75 m NGF. Ces deux aménagements ont conservé leur négatif de poteau, dont les diamètres s'inscrivent dans une fourchette comprise entre 16 et 26 cm. Ces deux trous de poteau semblent fonctionner avec deux autres aménagements comparables

et situés de l'autre côté de la tranchée de sablière (F.228 et F.231), sans que l'on soit en mesure d'en proposer une hypothèse de reconstitution architecturale satisfaisante.

Deux autres poteaux se développent à l'intérieur de l'emprise de la tranchée de sablière (F.223 et F.454). Ils sont de plan sub-circulaire, pour un diamètre de 76 et 96 cm ; les profils sont radicalement différents d'une structure à l'autre : si le trou de poteau F.223 paraît extrêmement arasé et peu pertinent, la structure F.454 est au contraire profondément ancrée dans le sol, puisqu'elle apparaît profonde de 68 cm. Le fond est plat et les parois verticales, tandis que le négatif du poteau, visible en coupe, affiche un diamètre de 23 cm.

D'un point de vue chronologique, la datation du bâtiment 1 est permise par la découverte, dans le comblement de la tranchée de sablière, d'un abondant mobilier céramique (NR : 53) datable de La Tène moyenne, mais la présence d'un bord de tonnelet suggère un éventuel élargissement de la fourchette chronologique jusqu'au début de La Tène finale. Au contraire, la datation ¹⁴C réalisée sur un charbon provenant de l'un des trous de poteau (F.217) a donné un résultat compris entre 390 et 170 avant J.-C., soit La Tène B-C. Cette différence est probablement à mettre sur le compte de la durée d'utilisation de ce bâtiment, mais aussi de l'utilisation de deux méthodes de datation différentes : le charbon, provenant d'un négatif de poteau et donc du poteau lui-même, date la mise en place du bâtiment, tandis que la céramique, issue du comblement de la tranchée de sablière, est sans doute liée à la phase d'abandon. On considérera donc que le bâtiment 1 est utilisé entre La Tène B et La Tène C, voire le début de La Tène finale.

Type	Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
Principaux	F.217	100 cm	36 cm	29 cm	177,58 m	177,25 m
	F.221	90 cm	33 cm	45 cm	177,45 m	176,99 m
	F.224	80 cm	26 cm ?	29 cm	177,68 m	177,39 m
	F.231	100 cm	72 cm	40 cm	177,30 m	176,93 m
	F.233	62 cm	-	16 cm	177,35 m	177,22 m
	F.235	88 cm	33 cm ?	28 cm	177,38 m	177,01 m
	F.455	69 cm	16 cm	11 cm	177,71 m	177,61 m
Secondaires	F.218	72 cm	-	11 cm	177,71 m	177,60 m
	F.225	68 cm	-	22 cm	177,59 m	177,37 m
	F.228	44 cm	-	22 cm	177,35 m	177,13 m
Autres	F.223	96 cm	-	10 cm	177,48 m	177,38 m
	F.229	78 cm	16 cm	31 cm	177,28 m	176,98 m
	F.230	69 cm	26 cm	46 cm	177,21 m	176,75 m
	F.453	24 cm	-	29 cm	177,67 m	177,44 m
	F.454	76 cm	23 cm	68 cm	177,65 m	176,97 m

Figure 1 –
Caractéristiques
des trous de poteau
du bâtiment 1

3.5.2. Les bâtiments sur poteaux

3.5.2.1. Le bâtiment 3 (Figure 2 ; Planche 59 et 60)

Ce bâtiment se développe dans la zone 2, à environ 7 m au sud du bâtiment 1. Apparu à une altitude moyenne de 176,80 m NGF, il se compose de quatre trous de poteaux (F.241, F.242, F.539, F.540) délimitant un espace rectangulaire de 1,9 x 1,5 m, pour une superficie de 2,85 m², orienté selon un axe ONO-ESE.

Les quatre trous de poteau composant ce bâtiment présentent des diamètres à l'ouverture comparables, compris entre 72 et 76 cm, à l'exception de F.540 dont le diamètre s'élève à seulement 58 cm (figure 2). Seuls les deux trous de poteau situés au nord (F.241 et F.242) ont pu faire l'objet d'une fouille : ils présentent des parois verticales et un fond plat, pour une profondeur conservée de 36 et 40 cm. Les fonds de creusement se situent à des altitudes comparables (176,53 et 176,48 m). Ces deux aménagements ont conservés leurs négatifs de poteau : ils présentent des diamètres de 41 et 20 cm. On soulignera le caractère oblique de ces négatifs, particulièrement marqué pour F.242. Ainsi, les poteaux semblent s'infléchir vers l'intérieur du bâtiment. Toutefois, l'absence de fouille pour les poteaux situés au sud ne permet pas de s'assurer de la pertinence d'une telle observation.

Les calages de ces poteaux sont composés de limon gris à brun, dans lequel on remarquera la présence de poches de sédiment jaune similaire à celle du terrain naturel. Par ailleurs, la présence de quelques inclusions de pierres de petit module doit être également signalée.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

Figure 2 –
Caractéristiques
des trous de poteau
du bâtiment 3

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.241	72 cm	20 cm	36 cm	176,86 m	176,48 m
F.242	76 cm	41 cm	40 cm	176,96 m	176,53 m
F.539	75 cm	-	ND	176,72 m	ND
F.540	58 cm	-	ND	176,79 m	ND

3.5.2.2. Le bâtiment 4 (Figure 3 ; Planche 61 à 63)

Ce bâtiment est situé à l'extrémité sud-est de la zone 3, à l'extérieur des enclos A et B. Il est apparu à une altitude moyenne de 179,00 m NGF, et se compose de quatre poteaux (F.490, F.491, F.492 et F.494) délimitant un espace rectangulaire régulier de 5 x 3,2 m (superficie : 16 m²), orienté selon un axe OSO-ENE.

Les quatre trous de poteau le composant présentent des morphologies comparables, et accusent tous un degré d'arasement important. De plan circulaire ou ovale, leurs diamètres oscillent entre 56 et 80 cm, tandis que les profondeurs conservées ne dépassent pas 17 cm. D'autant que l'on puisse en juger, les fonds sont relativement plats, et se situent à une altitude comprise entre 178,68 et 179,04 m NGF, soit une variation de l'ordre de 42 cm, selon un pendage conforme à celui du terrain naturel. Ainsi, le mode de construction de ce bâtiment montre l'absence de volonté de nivellement.

À l'exception d'un trou de poteau (F.490), tous les éléments constitutifs de ce bâtiment ont conservé leur négatif de poteau. D'après les observations, les diamètres de ces poteaux se situent entre 7 et 17 cm. Ils apparaissent verticaux, et sont installés au centre de la fosse d'implantation ou légèrement décalé par rapport à cette dernière. Les matériaux utilisés pour le calage de ces poteaux se composent d'un sédiment argileux compact, de teinte orangée, manifestement issu du terrain naturel, dans lequel sont parfois mêlés des éléments plus limoneux et gris. Quelques rares charbons peuvent être signalés.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.490	56 cm	24 cm	7 cm	179,11 m	179,04 m
F.491	80 cm	-	10 cm	179,09 m	178,99 m
F.492	63 cm	20 cm	11 cm	179,02 m	178,91 m
F.494	71 cm	21 cm	17 cm	178,85 m	178,68 m

3.5.2.3. Le bâtiment 5 (figure 4 ; Planche 64 à 66)

Ce bâtiment se développe vers le centre de l'emprise de la zone 2, à quatre mètres à l'intérieur de l'enclos B, et à une quinzaine de mètres au nord du bâtiment 1. Apparu à une altitude comprise entre 178,25 et 178,43 m NGF, il se compose de quatre trous de poteaux (F.185, F.187, F.188 et F.189) formant un espace carré de 1,9 m de côté, pour une superficie interne de 3,8 m². Un cinquième trou de poteau (F.192), beaucoup plus hypothétique, se développe à 1,8 m au sud-est, et son rattachement au bâtiment 5 est fondé sur deux arguments : son alignement avec F.185 et F.189, d'une part, et la parfaite équidistance (1,8 m) entre ces trois aménagements d'autre part. Toutefois, le caractère hypothétique du cinquième trou de poteau permet d'avoir quelques doutes quant à son identification.

Les quatre principaux trous de poteaux du bâtiment 5 présentent des morphologies assez variables : les formes à l'ouverture sont globalement assez irrégulières, pour des diamètres très hétérogènes (entre 46 et 104 cm). En coupe, les creusements présentent des profils assez réguliers pour trois d'entre eux : les fonds sont relativement plats, et les parois légèrement évasées. Le quatrième trou de poteau (F.185) paraît légèrement différent, avec des parois plus évasées ménageant une ouverture plus large. Les fonds des trous de poteau se trouvent à des attitudes régulières, comprises entre 177,90 et 178,08, soit une différence maximale de 18 cm, montrant une volonté de rattraper le pendage naturel du terrain. Le cinquième poteau est nettement différent des autres : de plan ovale, il présente un profil en V.

Deux de ces aménagements (F.185 et F.188) ont conservé leurs négatifs de poteau, particulièrement net dans F.188 où le poteau est souligné par une ligne très charbonneuse. Ces observations trahissent l'utilisation de pièces de bois dont le diamètre est compris entre 28 et 34 cm, qui reposent au centre des avant-trous dans un léger surcreusement pour F.185. Ce surcreusement se retrouve pour F.187, même si celui-ci n'a pas conservé son négatif de poteau. Cette dichotomie entre présence et absence de négatif se retrouve dans la stratigraphie : les trous de poteau ayant conservé leur négatif présentent des calages composés d'un sédiment proche du terrain naturel (argile jaune compacte), avec des inclusions plus ou moins importantes de limon gris et quelques rares charbons. Les deux autres trous de poteau (F.187 et F.189), qui n'ont pas conservé leurs négatifs, présentent une stratigraphie différente dans laquelle le fond est tapissé d'un sédiment majoritairement argileux et gris, à caractère relativement hydromorphe, et le reste du creusement rempli d'un sédiment plus proche du terrain naturel, mais dans lequel de nombreux charbons sont présents. Cette caractéristique pourrait résulter d'une récupération des poteaux après l'abandon du bâtiment, bien que les difficultés induites par la lisibilité du terrain ne permettent aucune certitude.

Une datation ¹⁴C a été réalisée sur un charbon provenant du trou de poteau F.188. Le résultat donne une fourchette comprise entre 395 et 210 avant J.-C., avec une probabilité plus importante pour la période comprise entre 395 et 350 avant J.-C. Toutefois, par prudence, on retiendra la datation large, soit La Tène B-C1.

Figure 4 –
Caractéristiques
des trous de poteau
du bâtiment 5

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.185	104 cm	28 cm	39 cm	178,43 m	178,02 m
F.187	62 cm	-	29 cm	178,31 m	178,00 m
F.188	76 cm	34 cm	35 cm	178,25 m	177,90 m
F.189	46 cm	-	34 cm	178,40 m	178,08 m
F.192	58 cm	-	27 cm	178,30 m	178,04 m

3.5.2.4. Le bâtiment 6 (Figure 5 ; Planche 67 à 69)

Ce bâtiment se situe au sud de l'emprise de la zone 1, à 7,2 m au nord de la limite de l'enclos B, et à environ 12 m au sud-est de du bâtiment 9. Apparu à une altitude moyenne de 178,30 m, il se compose de quatre trous de poteaux (F.323, F.235, F.326 et F.328) qui ont été isolés au sein d'un nuage de 12 aménagements comparables. Ils délimitent un espace de 2,8 x 2,3 m, pour une superficie de 6,44 m². Il adopte une orientation NE-SO.

Les trous de poteau composant cet ensemble présentent des morphologies comparables à tous point de vue, même si l'un d'eux (F.326) semble n'avoir été que partiellement fouillé : de plans irréguliers, ils affichent des diamètres compris entre 72 et 84 cm. Les creusements se caractérisent par des fonds plats et des parois légèrement évasées, et sont conservés sur des hauteurs comprises entre 22 et 44 cm. Les altitudes des fonds, quant à elles, oscillent entre 176,99 et 177,18 m NGF, soit une différence maximale de 19 cm, rattrapant imparfaitement le pendage naturel du terrain.

Tous ces aménagements ont conservé leur négatif de poteau : on signalera, à ce titre, que seul le négatif semble avoir été fouillé dans le trou de poteau F.326, le calage n'ayant pas été repéré sur le terrain en raison de ses caractéristiques très proches du terrain naturel. En dépit de cet écueil, les empreintes de poteaux montrent que ceux-ci ont été implantés au centre de l'avant trou, ou légèrement décalé par rapport à celui-ci. Les diamètres des négatifs de poteau sont compris entre 23 et 46 cm. Les calages, quant à eux, se composent d'un sédiment argileux jaune très compact, proche du terrain naturel. De rares pierres de petit module sont signalées.

Une datation ¹⁴C a été réalisée sur un charbon provenant du trou de poteau F.326. Le résultat donne une fourchette comprise entre 395 et 210 avant J.-C., soit La Tène B-C1.

Figure 5 –
Caractéristiques
des trous de poteau
du bâtiment 6

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.323	72 cm	23 cm	22 cm	177,26 m	177,03 m
F.325	84 cm	37 cm	26 cm	177,45 m	177,10 m
F.326	-	38 cm	24 cm	177,44 m	177,18 m
F.328	80 cm	46 cm	44 cm	177,36 m	176,99 m

3.5.2.5. Le bâtiment 7 (Figure 6 ; Planche 70 à 72)

Ce bâtiment se situe au sud de l'emprise de la zone 2, à environ 7 m du bâtiment 1. Apparu à une altitude comprise entre 177,12 et 177,39 m NGF, il se compose de quatre trous de poteau mis au jour au sein d'un ensemble plus conséquent rassemblant 15 trous de poteau, mais pour lequel seul l'ensemble 7 semble former un plan cohérent. Les autres trous de poteau ont été réunis sous l'appellation ensemble 9. Si l'on s'en tient aux quatre poteaux attribués au bâtiment 7 (F.251, F.309, F.310 et F.311), ceux-ci délimitent un espace rectangulaire de 3,7 x 2,2 m, soit une superficie de 8,14 m². Le bâtiment accuse une orientation E-O.

Les quatre poteaux constituant cet aménagement témoignent du fort arasement de ce secteur : conservés au maximum sur 20 cm de profondeur, ils présentent des plans ovalaires de 56 à 74 cm de diamètre. Les profils des creusements sont difficiles à caractériser en raison de la faible hauteur conservée : ils semblent être à fond plat ou en cuvette. Les niveaux de base des creusements sont assez proches, puisque l'écart maximum est de 15 cm (entre 177,07 et 177,22 m NGF).

Aucun de ces trous de poteau n'a conservé son négatif de poteau, limitant considérablement les possibilités de validation du plan de bâtiment. Les comblements se composent tous d'une unique couche de limon gris contenant quelques inclusions d'argile jaune et de rares charbons.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.251	74 cm	-	8 cm	177,17 m	177,10 m
F.309	56 cm	-	20 cm	177,39 m	177,22 m
F.310	58 cm	-	16 cm	177,30 m	177,17 m
F.311	66 cm	-	5 cm	177,12 m	177,07 m

Figure 6 –
Caractéristiques
des trous de poteau
du bâtiment 7

3.5.2.6. Le bâtiment 8 (Figure 7 ; Planche 73 et 74)

Le bâtiment 8 se situe dans la zone 2, à 7 m au sud du bâtiment 1 et entre les bâtiments 3 et 7. Apparu à une altitude comprise entre 176,77 et 176,99 m NGF, il se compose de six poteaux formant un demi cercle régulier de 4,5 m de diamètre. En fixant la limite du bâtiment au niveau du diamètre, sa superficie atteindrait 15,9 m². L'espacement entre les trous de poteau est assez irrégulier, situé entre 0,40 m et 1,40 m.

Les trous de poteau constituant ce bâtiment sont tous de petites dimensions : les diamètres varient de 40 à 48 cm, tandis que les profondeurs ne dépassent pas 17 cm. Les plans sont assez irréguliers, tandis que les coupes montrent généralement des profils en cuvette. Les fonds de creusements atteignent des altitudes comprises entre 176,99 et 176,77 m NGF, soit une différence de 22 cm. Le comblement se compose systématiquement d'un sédiment argileux gris à orangé très compact, dans lequel de rares charbons sont signalés. Aucun négatif de poteau n'a été repéré dans ces comblements. Ces caractéristiques invitent à voir dans ces vestiges les restes d'un aménagement léger, de type paravent.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

Figure 7 –
Caractéristiques
des trous de poteau
du bâtiment 8

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.481	42 cm	-	8 cm	177,06 m	176,99 m
F.482	42 cm	-	10 cm	176,90 m	176,81 m
F.483	28 cm	-	4 cm	176,86 m	176,82 m
F.484	48 cm	-	10 cm	176,92 m	176,82 m
F.485	45 cm	-	15 cm	177,02 m	176,90 m
F.503	40 cm	-	17 cm	176,95 m	176,77 m

3.5.2.7. Le bâtiment 9 (Figure 8 ; Planche 75 et 76)

Ce bâtiment, largement hypothétique, est situé au centre de la zone 2, à 14 m à l'est de l'ensemble 1. Apparu à une altitude moyenne de 178,10 m NGF, il n'est composé que de trois trous de poteau, mais la présence, à l'ouest, du fossé de parcelle F.265 est susceptible d'avoir occulté d'autres aménagements comparables. Les trois trous de poteau concernés (F.343, F.344 et F.345) forment un alignement de 3 m de long, orienté nord-sud. Leurs dimensions laissent penser qu'il s'agit bien d'un bâtiment, et non d'une structure légère.

En effet, les trous de poteau présentent des caractéristiques similaires : d'un diamètre compris entre 70 et 82 cm, ils affichent des profondeurs oscillant entre 20 et 33 cm. Le plan est ovalaire, tandis que les profils sont asymétriques avec, pour deux d'entre eux, un surcreusement latéral. Les altitudes des fonds des creusements sont très proches, avec une différence maximale de 3 cm (entre 177,82 et 177,85 cm).

Deux trous de poteau ont conservé leur négatif de poteau : bien que peu lisibles, ils semblent désigner la présence de poteaux dont les diamètres sont compris entre 31 et 41 cm, installés de manière oblique au fond des surcreusements des fosses d'installation. Les calages se composent d'un limon argileux gris à jaune, oxydé et présentant de nombreuses inclusions de terrain naturel et quelques charbons.

En l'absence de mobilier ou prélèvements de charbons, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

Figure 8 –
Caractéristiques
des trous de poteau
du bâtiment 9

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.343	70 cm	31 cm	30 cm	178,11 m	177,82 m
F.344	72 cm	41 cm	33 cm	178,15 m	177,83 m
F.345	82 cm	-	20 cm	178,05 m	177,85 m

3.5.3. Les autres concentrations de poteaux

D'autres concentrations de trous de poteau ont été identifiées sur le site. Bien qu'elles semblent trahir la présence de bâtiment, ou, au moins, d'une forme d'architecture légère, aucun plan cohérent n'a pu être dégagé de ces ensembles. On se contentera donc d'une description sommaire de ces aménagements.

3.5.3.1. L'ensemble 10 (Figure 9 ; Planche 77)

Cette première série de trous de poteaux, qui se situe au centre de la zone 1, pourrait être considérée comme les restes d'une palissade, même si certains détails laissent planer

quelques doutes quant à une telle identification. Cet aménagement est situé immédiatement à l'est de l'ensemble 1. Il se compose de dix trous de poteau ou assimilés qui forment un alignement très irrégulier, long de près de 12 m et orienté est-ouest. En dépit de l'absence d'une véritable cohérence dans l'organisation de cet ensemble, son caractère linéaire demeure indéniable.

La morphologie des trous de poteau confirme leur attribution à un même ensemble : en effet, si l'on exclu F.294 dont les caractéristiques diffèrent largement des autres, tous les aménagements de cet ensemble présentent des dimensions comparables, avec des diamètres compris entre 28 et 42 cm, et des profondeurs comprises entre 7 et 13 cm. Cette faible hauteur de conservation ne permet pas d'apprécier correctement les profils des creusements, qui semblent être à fonds plat ou en cuvette. Les altitudes des fonds reflètent le pendage naturel du terrain, avec une augmentation progressive de l'ouest vers l'est, entre 177,51 et 177,90 m NGF.

Toujours en excluant F.294, aucun des ces trous de poteau n'a conservé de traces de négatifs de poteaux. Ils sont tous comblés d'une unique couche de limon argileux, contenant des inclusions de terrain naturel beige et de rares charbons.

Le cas de F.294 est sensiblement différent, si bien qu'il est permis de penser qu'il devait appartenir à un aménagement différent. Toutefois, l'absence d'autres trous de poteaux comparables dans le secteur justifie son rattachement à l'ensemble 10. Ce trou de poteau avéré présente un diamètre de 88 cm, pour une profondeur de 41 cm. De plan oblong, il se caractérise par un profil en V asymétrique, avec un surcreusement central. C'est dans ce surcreusement qu'apparaît un négatif de poteau d'un diamètre de 18 cm. Le calage de ce poteau se compose d'un limon argileux gris dans lequel apparaissent quelques poches jaunes à beige.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.289	42 cm	-	10 cm	177,95 m	177,86 m
F.290	28 cm	-	9 cm	177,88 m	177,80 m
F.292	31 cm	-	4 cm	177,86 m	177,81 m
F.293	34 cm	-	12 cm	177,79 m	177,67 m
F.294	88 cm	18 cm	41 cm	177,83 m	177,41 m
F.296	38 cm	-	11 cm	177,71 m	177,60 m
F.297	32 cm	-	10 cm	177,73 m	177,63 m
F.298	29 cm	-	8 cm	177,63 m	177,55 m
F.299	39 cm	-	13 cm	177,64 m	177,51 m
F.514	34 cm	-	7 cm	177,97 m	177,90 m

Figure 9 –
Caractéristiques
des trous de poteau
de l'ensemble 10

3.5.3.2. L'ensemble 11 (Figure 10 ; Planche 78)

Cet ensemble de trous de poteau se développe au sud de la zone 2, et se confond en partie avec l'ensemble 7. Toutefois, contrairement aux trous de poteau constituant ce dernier, ceux attribués à l'ensemble 9 ne dessinent aucun plan cohérent, et présentent une telle diversité de morphologies et de dimension qu'il est impossible de dégager une quelconque cohérence de cet ensemble.

Toutefois, deux groupes de poteaux peuvent être grossièrement distingués. Le premier regroupe les excavations atteignant des altitudes inférieures à 177 m NGF (F.244, F.245, F.247, F.252 et F.253), et qui constituent les aménagements les plus imposants en termes de diamètres (entre 54 et 72 cm) ou de profondeurs (entre 24 et 42). Ils sont par ailleurs les seuls à pouvoir prétendre former un ensemble cohérent, bien que manifestement incomplet : en effet, quatre d'entre eux (F.244, F.247, F.252 et F.253) forment deux angles droits successifs et présentent des espacements réguliers permettant d'envisager la présence d'un véritable bâtiment, d'autant que l'un de ces trous de poteau a conservé son négatif de poteau, d'un diamètre de 42 cm.

Les cinq autres trous de poteau constituant cet ensemble apparaissent beaucoup plus hypothétiques (F.246, F.248, F.249, F.250 et F.308) : non seulement ils ne forment pas un ensemble cohérent, mais ils présentent en outre des dimensions qui peuvent faire douter de leur réalité en tant qu'aménagements architecturaux : même si les diamètres peuvent atteindre 50 cm, les profondeurs ne dépassent pas 18 cm, et la plupart se situe entre 4 et 7 cm. Aucun négatif de poteau n'a par ailleurs été identifié. Aussi, il serait vain de vouloir proposer une quelconque interprétation de cet ensemble.

Un seul tesson de céramique a été prélevé dans le comblement du trou de poteau F.253. Son aspect, conforme aux autres tessons mis au jour sur le site, permet une datation durant La Tène.

Figure 10 –
Caractéristiques
des trous de poteau
de l'ensemble 11

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.244	54 cm	35 cm	42 cm	177,22 m	176,81 m
F.245	52 cm	-	26 cm	177,20 m	176,94 m
F.246	36 cm	-	12 cm	177,25 m	177,13 m
F.247	72 cm	-	30 cm	177,23 m	176,93 m
F.248	42 cm	-	7 cm	177,31 m	177,24 m
F.249	38 cm	-	5 cm	177,24 m	177,20 m
F.250	50 cm	-	18 cm	177,25 m	177,08 m
F.252	54 cm	-	24 cm	177,15 m	176,96 m
F.253	65 cm	-	35 cm	177,22 m	176,89 m
F.308	20 cm	-	4 cm	177,34 m	177,31 m

3.5.3.3. L'ensemble 12 (Figure 11 ; Planche 79)

L'ensemble 10 se développe à l'extrémité orientale de la zone 1, à environ 3 m à l'intérieur de l'enclos B. Il se compose essentiellement de cinq trous de poteau (F.398, F.399, F.400, F.401, F.402), auxquels nous avons ajouté un sixième aménagement isolé au nord (F.405). Aucun plan cohérent ne peut être dégagé de cet ensemble : ni alignement, ni angles droits ne permettent une lecture raisonnée de leur répartition. Par ailleurs, les aménagements le constituant – dont l'interprétation comme trous de poteau peut parfois paraître contestable – présentent des dimensions et des morphologies très variables : les diamètres oscillent entre 54 et 100 cm, tandis que les profondeurs sont comprises entre 6 et 40 cm. Les altitudes inférieures des creusements illustrent également cette diversité, avec des niveaux compris entre 179,34 et 179,72 m NGF, soit une large fourchette de 38 cm.

Ainsi, bien que le caractère groupé et isolé de cet ensemble paraisse manifester l'existence d'une construction sur poteau, les données de terrain ne permettent pas d'en définir la nature ni même la morphologie.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

Fait	Diamètre fosse	Diamètre négatif	Profondeur	Z sup	Z inf
F.398	64 cm	-	12 cm	179,65 m	179,57 m
F.399	100 cm	-	22 cm	179,73 m	179,50 m
F.400	54 cm	-	7 cm	179,76 m	179,67 m
F.401	90 cm	-	37 cm	179,69 m	179,34 m
F.402	60 cm	-	6 cm	179,79 m	179,72 m
F.405	94 cm	-	40 cm	179,91 m	179,51 m

Figure 11 –
Caractéristiques
des trous de poteau
l'ensemble 12

3.5.4. Synthèse

L'étude de la répartition et de l'architecture des bâtiments du site de La Gravelle est entravée par plusieurs écueils, en premier lieu desquels on soulignera l'important degré d'arasement du site, particulièrement lessivé par les ruissellements consécutifs au déboisement. Ainsi, il faut sans doute considérer que bon nombre, voire la plupart, des aménagements architecturaux ont disparu, ne laissant que les creusements les plus profondément enfouis. Ceci peut expliquer, en partie du moins, les trois ensembles pour lesquels nous ne sommes pas en mesure de proposer des plans cohérents (ensembles 10, 11 et 12), mais génère aussi un doute important quant au caractère incomplet des autres plans identifiés. Par ailleurs, les limites d'emprise limitent également les considérations concernant la répartition des bâtiments sur le site et leur articulation avec les enclos et les bas fourneaux.

En dépit de ces limites, plusieurs éléments d'interprétation peuvent être proposés. Concernant la répartition des bâtiments, on ne peut que constater leur lien avec l'enclos B, à l'intérieur duquel ils s'inscrivent presque tous, notamment dans l'espace occidental qui regroupe neuf bâtiments ou assimilés sur les onze identifiés. Plus précisément, ils se concentrent essentiellement dans les deux tiers ouest de cet espace, laissant une marge de plus de 10 m avec le fossé de partition interne (F.363). Outre que ce constat permet d'envisager l'existence d'un talus bordant ce fossé, il permet également d'identifier la zone d'occupation principale du site. À ce titre, le bâtiment 1 constitue à l'évidence le seul pouvant être identifié à une unité domestique, d'autant que sa position, dans le prolongement de l'interruption du fossé, crée une perspective qui, bien qu'imparfaite, souligne la position privilégiée de cet aménagement. La présence de l'ensemble 9 pourrait souligner plus encore cette volonté de théâtralisation de l'espace, en délimitant un éventuel chemin d'accès entre le bâtiment 1 et l'entrée de l'enclos. La présence d'un mobilier relativement abondant, dans la tranchée de sablière du bâtiment 1, appuie également cette proposition d'interprétation comme unité domestique.

Malgré ce lien évident entre l'enclos B et les bâtiments, ces derniers présentent des orientations variées qui s'alignent rarement sur les limites fossoyées. Même le bâtiment 1, dont on a vu les liens avec l'enclos B, présente une orientation décalée par rapport à celui-ci, sans que l'on puisse donner d'explication à ce phénomène. Mais les autres aménagements présentent la même ambiguïté, avec des orientations qui semblent relever de l'aléatoire : seul l'ensemble 5 s'aligne avec le fossé nord de l'enclos B, et ménage avec lui une marge de 4 m qui permet d'envisager la présence d'un petit talus.

Le travail sur l'architecture et les fonctions précises des bâtiments est sujette à encore plus de caution étant donné l'érosion du site et la rareté du mobilier (**Planche 80**). On a vu que le bâtiment 1, de part sa taille, son architecture spécifique, sa position par rapport à l'interruption de l'enclos et son mobilier, constitue un bon candidat pour figurer au titre d'unité domestique du site de La Gravelle. Toutefois, concernant les autres bâtiments, il convient d'adopter une position plus circonspecte. Trois d'entre eux (bâtiments 3, 5 et 6), notamment, présentent des plans carrés aux dimensions réduites, avec des superficies au sol comprises entre 3 et 7 m². Ces caractéristiques renvoient à un modèle de bâtiment extrêmement fréquent à l'âge du Fer, et généralement interprété comme grenier surélevé. Cette proposition de lecture n'est toutefois pas sans poser problème à La Gravelle : en effet, l'étude palynologique (cf. infra) a permis de démontrer l'absence – ou la faiblesse – des activités agricoles sur le site, qui était sans doute ceinturé de bois et non de champs. Si greniers il y a, on se demande bien ce qu'ils ont pu contenir ! Le problème se pose également pour les autres bâtiments identifiés qui, s'ils présentent des plans légèrement plus rectangulaires, n'en affichent pas moins des superficies réduites (16 m² au maximum, à comparer aux 125 m² du bâtiment 1). Si tant est que ces plans soient complets (au moins dans leurs limites extérieures), il est exclu qu'ils aient pu servir de lieux d'habitation, et l'on doit plutôt s'orienter vers une interprétation comme bâtiments techniques. Si le stockage des céréales est à exclure, pourquoi ne pas envisager leur fonction dans la perspective de l'activité principale du site, à savoir la sidérurgie ? Ainsi, ces bâtiments pourraient avoir été utilisés pour le stockage, non pas des céréales, mais du bois nécessaire au bon fonctionnement des bas fourneaux. Bien entendu, les preuves pour étayer une telle hypothèse sont minces, voire inexistantes, et l'on devra se contenter de cette conjecture.

Il ne paraît pas nécessaire de s'étendre sur la restitution architecturale de la plupart des bâtiments, les éléments étant trop limités pour permettre une telle entreprise. En revanche, le cas du bâtiment 1 doit être évoqué un peu plus en détails. Sa morphologie est assez bien connue dans une large région occidentale de la Gaule (**Planche 81** ; Maguer, 2005 ; Maguer, Robert 2013), même si le cas de La Gravelle s'en distingue par un module porteur, représenté par les poteaux internes, plus important que sur les autres exemples où il se limite généralement à une petite emprise carrée, ménageant un espace relativement important entre les cet espace et la limite formée par la sablière. Au contraire, les poteaux porteurs du bâtiment de La Gravelle sont situés à moins d'un mètre de la sablière, et délimitent un espace rectangulaire dont trois des angles semblent coupés. Ce dernier point n'est pas sans poser des problèmes de restitution, notamment concernant le nombre et la position des chevrons et des arbalétriers. Malgré ces différences, le plan du bâtiment 1 ne s'oppose pas à une proposition de restitution de charpente telle que celle proposée par P. Maguer (Maguer 2005, p. 334) : le poteaux porteurs servent d'appui à des pannes sablières sur lesquelles reposent les chevrons qui relient les parois et la panne faîtière. L'interprétation des poteaux secondaires du bâtiment est plus délicate ; toutefois, la plupart semblent servir à répartir plus équitablement la charge de la charpente sur les pannes sablières.

3.6. Les bas fourneaux

J. Bohny

3.6.1. Description

Les dix structures liées à la métallurgie de la *Zac de Loiron* se répartissent en quatre ensembles distincts (**Planche 82**). Trois de ces ensembles sont constitués de trois structures, une seule est isolée. En raison du fort degré d'arasement du site, seule la partie inférieure des bas fourneaux est conservée.

3.6.1.1. L'ensemble 13

L'ensemble 13 est constitué des bas fourneaux **F.104**, **F.105** et **F.106**. Il se situe dans l'angle sud-est de l'emprise, à l'extérieur de l'enclos A et à proximité du bâtiment 4. La fouille des environs proches n'a révélé aucune trace d'aménagement particulier (abri ou autre).

- Le bas fourneau F.104 (**Planche 83 et 84**; Figure 12)

La structure F.104 se présente sous la forme d'une fosse de plan ovale, légèrement irrégulier, d'une longueur de 0,82 m et d'une largeur de 0,70 m. Creusée dans le substrat naturel, la partie inférieure de la structure, la cuve de récupération de la scorie (*slag-pit*) possède un profil tronconique. Elle est conservée sur 0,34 m de hauteur. Les parois, depuis la base de la structure, fléchissent vers l'intérieur sur environ 0,30 cm, puis s'évasent légèrement jusqu'au sommet conservé (alti. sup. : 178,65 m NGF), sur environ 0,04 m. La rubéfaction est inégale et semble plus marquée, ou du moins mieux conservée, sur la paroi sud-est. Le fond est relativement régulier. Il possède une légère pente d'ouest en est. Les dimensions de F.104 au niveau du fond sont supérieures à celles de son niveau d'ouverture avec 0,85 m de longueur pour 0,80 m de largeur.

La structure est comblée par une première couche (**US.295**), dont la matrice est limoneuse, meuble et homogène. Elle se caractérise par une grande quantité de charbons de bois, dont de très gros fragments intacts. Cette US correspond à une partie de la charge initiale de charbon piégée dans la fosse de récupération de la scorie du bas fourneau et non consommée par la réduction. Elle a livré une quantité conséquente de scories (29,3 kg). Une seconde couche, **US.294**, achève de colmater la structure à hauteur de l'évasement des parois, à une trentaine de cm du fond. Cette couche, meuble et homogène, possède également une matrice limoneuse. Elle a également livré une quantité significative de scories, soit 13,2 kg.

Du fait du degré d'arasement important de la structure, il n'est pas possible de préciser la localisation du ou des dispositifs de ventilation ni d'en définir le type (naturelle ou forcée). L'absence de fragments de la superstructure, à la fois dans le comblement de la cuve et aux alentours, ne permet pas non plus de restituer sa morphologie.

L'analyse ¹⁴C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.295 a donné une datation comprise entre 730 et 400 avant J.-C., avec une plus forte probabilité pour la période comprise entre 540 et 400 avant J.-C., soit le Hallstatt D3 ou La Tène A.

US	Parois de four	Scorie en gouttelettes	Scorie piégée	Total général
US.294	412	13260	0	13672
US.295	0	25708	3608	29316
Total	412	38968	3608	42988

Figure 12 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.104 (en grammes)

- Le bas fourneau F.105 (**Planche 85 à 87** ; Figure 13)

Le bas fourneau F.105 se présente sous la forme d'une fosse circulaire de 0,89 m de diamètre. La cuve est creusée dans le terrain naturel. Elle est conservée sur 0,40 m de hauteur. Son profil, tronconique, est proche du profil de F.104. Ses parois sont inclinées vers l'intérieur sur 0,28 m de hauteur, et s'évasent ensuite très légèrement sur 0,12 m jusqu'au niveau d'arasement de la structure (alti. sup. : 178,65 m NGF). La rubéfaction des parois est relativement homogène. Épaisse de 2 à 3 cm, elle est présente sur presque toute la hauteur. Le fond de la cuve est plat. Son diamètre atteint 0,98 m. Une légère rubéfaction marque le fond par endroits.

La cuve est comblée par trois couches distinctes. La première tapisse le fond de la structure (**US 330**). Elle se caractérise par une grande quantité de charbons de bois, de dimensions parfois importantes, dans une matrice limoneuse, homogène et meuble. Cette US a livré une grande quantité de scories (79,4 kg). La seconde, **US.329**, consiste en une poche argileuse compacte et homogène de couleur ocre qui surmonte l'US 330. Elle contenait une petite quantité de scories (1,2 kg). Enfin, la cuve est scellée par l'**US.328**. Elle se compose d'un limon gris, homogène et meuble. Elle a livré une quantité non négligeable de scories (14,4 kg).

À l'instar de F.104, l'emplacement et la nature du ou des dispositifs de ventilation sont inconnus, de même que la morphologie de la superstructure.

La scorie piégée est brisée en 6 fragments, sa masse totale est de 30,4 kg. La surface supérieure est abîmée, et présente un aspect rouillé. Elle est légèrement magnétique. Le bord de la scorie moule la paroi de la structure et forme un bourrelet, marquant ainsi le départ de la fosse réceptacle.

L'analyse ¹⁴C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.330 a donné une datation comprise entre 395 et 210 avant J.-C., soit La Tène B-C1.

Figure 13 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.105 (en grammes)

US	Parois de four	Scories en gouttelettes	Scorie piégée	Total général
US.327	449	0	0	449
US.328	212	5103	9263	14578
US.329	1125	1273	0	2398
US.330	141	58341	21130	79612
Total	1927	64717	30393	97037

- Le bas fourneau F.106 (**Planche 88 à 90** ; Figure 14)

La structure F.106 comporte des dimensions sensiblement supérieures à celles des bas fourneaux F.104 et F.105 qui composent l'ensemble 13. Elle adopte un plan ovale de 1 m diamètre. La cuve possède un creusement au profil tronconique. Ses dimensions à la base sont de 1,22 m de longueur et de 1,10 m de largeur. Les parois sont faiblement inclinées vers l'intérieur sur 0,60 m. Elles s'évasent ensuite légèrement sur 0,06 m, jusqu'au niveau d'arasement du bas fourneau (alti. sup. : 178,57 m NGF). Les parois sont rubéfiées de manière inégale. Très légère au sud, la rubéfaction est forte sur les parois de la moitié nord. Celles-ci sont d'ailleurs scoriacées par endroits. Les traces de chauffe sont observables sur 0,44 m de hauteur (au maximum), sur une épaisseur maximale de 7 cm en partie sommitale. Cette asymétrie de la rubéfaction permet de restituer l'emplacement du dispositif

de ventilation au nord de la structure, là où la chauffe a été la plus intense. En effet, les températures les plus élevées sont atteintes à proximité de l'arrivée d'air, grâce à l'apport en oxygène. L'impact thermique important sur les parois de la cuve (présence de parois scoriacées) pourrait éventuellement plaider en faveur d'une ventilation artificielle (à l'aide d'un soufflet), mais il ne s'agit pas d'un argument suffisant pour statuer définitivement.

La fosse de récupération de la scorie possède six comblements distincts. Le premier comblement possède une matrice argileuse grise, homogène et compacte, comportant des inclusions de charbons de bois (US.346). Il est localisé dans la partie est de la cuve, et a livré 8,5 kg de scories. Le second comblement (US.351) est constitué d'un limon noir, compact et homogène, très chargé en charbons de bois. 48 kg de scorie ont été récoltés au sein de cette couche. L'US.345 vient recouvrir les deux premières. Elle est constituée d'un limon orangé-gris, hétérogène et compact comportant des inclusions de charbons de bois. Environ 6 kg de scories ont été récoltés au sein de cette couche. L'US.344 possède une matrice argileuse grise, homogène et compacte. Elle n'a pas livré de scories, mais un gros fragment de paroi scoriacée. Cette US est recouverte par une couche limoneuse grise, hétérogène et compacte (US.343) ayant livré une petite quantité de scories (600 g) et de parois, dont un porte les traces d'un conduit de ventilation. Enfin, le dernier comblement (US.342) consiste en une couche argileuse orangée, hétérogène et compacte, correspondant probablement à du terrain naturel remanié. Elle a livré quelques fragments de parois rubéfiées.

La scorie piégée est brisée en 7 fragments pour une masse totale de 38,2 kg. La surface supérieure, altérée par les labours, présente un aspect déchiqueté et rouillé avec de très nombreuses empreintes de charbons de bois de petit module (2 à 4 cm). Elle est localement magnétique. Le bord de la scorie a épousé une portion importante de la paroi de la cuve.

L'analyse ^{14}C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.351 a donné une datation comprise entre 790 et 540 avant J.-C., soit le Hallstatt C-D2.

US	Parois de four	Scories en gouttelettes	Scories rouillées	Scorie piégée	Total général
US.343	1143	638	0	0	1781
US.344	805	0	0	0	805
US.345	558	3591	323	2175	6647
US.346	1906	3914	0	4592	10412
US.351	871	16500	0	31467	48838
Total	5283	24643	323	38234	68483

Figure 14 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.106 (en grammes)

- Conclusion sur l'ensemble 13

La morphologie et les dimensions des structures composant cet ensemble sont relativement homogènes. Les quelques fragments de parois de four semblent confirmer l'utilisation unique des structures et l'emploi du terrain encaissant pour la construction de la cheminée.

La disposition des bas fourneaux, très proches les uns des autres, permet d'exclure un fonctionnement simultané. Cette constatation est confirmée par les datations ^{14}C , même si l'écart est bien plus important qu'attendu. Ainsi, la structure F.106 peut être datée du Hallstatt C, la structure F.104 du Hallstatt D / La Tène ancienne et enfin la structure F.105 de La Tène ancienne / moyenne.

3.6.1.2. L'ensemble 14

L'ensemble 14 est constitué des structures **F.437**, **F.438** et **F.439**. Il se situe dans l'angle nord-est de la zone centrale de l'emprise, à l'extérieur de l'enclos A. La fouille des environs proches n'a révélé aucune trace d'aménagement particulier. Ces structures ont été mises au jour lors du diagnostic, sans toutefois avoir été fouillées. Seules quelques scories ont été prélevées à cette occasion.

- Le bas fourneau (?) F.437 (**Planche 91 et 92**)

La structure F.437 possède une forme globalement circulaire aux contours irréguliers. Ses dimensions sont importantes, avec 1,10 m de diamètre. En raison d'un degré d'arasement très important, la puissance stratigraphique de F.437 n'excède pas 10 cm (alti. sup.: 181,19 m NGF). Seul le fond est ainsi préservé. Ce dernier possède un profil en cuvette très évasée, et présente une légère rubéfaction répartie de manière inégale.

F.437 possède un comblement unique (**US.279**). Il s'agit d'un limon brun-noir, hétérogène et meuble, très chargé en charbons de bois. Cette couche était cependant dépourvue de tous déchets en lien avec la réduction : ni scories, ni fragments de minerai.

Son interprétation est donc délicate. L'observation des cotes du fond des structures qui composent l'ensemble 14¹ permet, semble-t-il, de restituer une déclivité dans le sens nord-sud. S'agissant de la structure la plus septentrionale de l'ensemble 2, F.437 a pu fort logiquement être plus impactée par les travaux agricoles récents. Bien que l'absence de scorie permette de douter d'une attribution comme bas fourneau, il s'agit de toute évidence d'une structure de combustion dont le format et le comblement inférieur sont conformes aux autres bas fourneaux du site.

Toutefois, un autre élément vient rendre encore plus délicate l'interprétation de cette structure. En effet, l'analyse ¹⁴C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.279 a donné une datation comprise entre 1020 et 1155 après J.-C. Cependant, quelques éléments permettent de remettre en doute la validité d'une telle datation : d'une part, la structure était très arasée ; d'autre part, elle avait déjà été décapée lors du diagnostic, entraînant de possibles pollutions. Ainsi, contrairement aux autres bas fourneaux pour lesquels les prélèvements ont pu être effectués sous la scorie, ceux de F.437 ont nécessairement eu lieu en surface. On considérera donc cette datation avec la plus grande précaution.

En conclusion, il nous semble envisageable de considérer cette structure comme un bas fourneau très arasé, bien que sa morphologie et sa chronologie resteront inconnues.

- Le bas fourneau F.438 (**Planche 93 à 95** ; Figure 15)

La structure F.438 présente un plan irrégulier, globalement ovale, d'une longueur de 0,80 m et d'une largeur de 0,75 m. La cuve est installée dans le substrat naturel. Elle possède des parois verticales et un fond quasiment plat. Arasée, elle est conservée sur 0,15 m de hauteur (alti. sup.: 181,13 m NGF). Les contours de la structure sont fortement perturbés. La rubéfaction semble homogène sur les parois conservées.

La cuve est comblée par deux couches distinctes. La première, **US.290**, tapisse le fond de la cuve. Elle se compose d'un limon noir, meuble et homogène, très chargé en charbon de bois, et correspond probablement aux résidus de la charge initiale de combustible. L'**US.278** surmonte la précédente. Elle possède une matrice limoneuse brun-noir, hétéro-

1 F437 : alti. inf. : 181,09 m NGF, F438 : alti. inf. : 180,98 m NGF, F439 : alti. inf. : 180,79 m NGF.

gène et meuble, et contient de nombreuses inclusions de charbons de bois. Elle contenait une petite quantité de scories (3,9 kg) à laquelle il faut ajouter les scories isolées dans des couches techniques : **US.289** (5,1 kg), **US.277** (9,8 kg) et **US.276** (0,7 kg). Enfin 22 kg de scories, provenant probablement de l'US 278, ont été prélevés lors du diagnostic.

Le mauvais état de conservation de la structure ne permet pas de restituer l'emplacement du dispositif de ventilation, ni de documenter la superstructure.

L'analyse ¹⁴C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.278 a donné une datation comprise entre 380 et 200 avant J.-C., soit La Tène B-C1.

US	Parois de four	Scories en gouttelettes	Scorie piégée	Total général
US.276	20	678	0	698
US.277	0	9772	0	9772
US.278	0	3900	0	3900
US.289	0	2942	2191	5133
Total	20	17292	2191	19503

Figure 15 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.438 (en grammes)

- Le bas fourneau F.439 (**Planche 96 et 97 ; Figure 16**)

La structure F.439 possède un plan circulaire d'un diamètre de 0,80 m. La cuve possède des parois verticales et un fond plat. Les parois sont rubéfiées, à l'exception d'une petite section à l'ouest. La moitié est, avec une épaisseur rubéfiée légèrement plus importante, semble avoir subi un impact thermique plus fort, qui pourrait éventuellement permettre de localiser le dispositif de ventilation sur ce côté de la structure. Il faut cependant noter l'existence d'un pendage d'est en ouest du niveau d'apparition de la structure. Cette dernière a en effet été légèrement entamée par les décapages successifs (diagnostic et fouille archéologique). Ainsi, l'asymétrie apparente de la rubéfaction doit être prise avec prudence, et peut simplement résulter de la différence de hauteur conservée des parois². Le fond comporte des traces de rubéfaction, très localisée. À l'instar des autres structures de l'ensemble 14, F.439 a subi un arasement important. Sa puissance stratigraphique n'excède pas 17 cm (alti. sup.: 180,93 m NGF).

Un comblement unique (**US.288**) scelle la cuve de F.439. Cette couche possède une matrice argileuse noire, meuble et homogène contenant une très forte proportion de charbons de bois, de dimensions parfois très importantes. Elle a livré une quantité limitée de scories (4,6 kg) à laquelle il faut ajouter 1,5 kg prélevé lors du diagnostic.

L'analyse ¹⁴C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.288 a donné une datation comprise entre 355 et 120 avant J.-C., mais les pics de probabilité permettent d'exclure la seconde moitié du II^e siècle avant J.-C. On retiendra donc une datation à La Tène B-C2.

US	Scories en gouttelettes	Scories internes rouillées	Total général
US.288	4616	40	4656

Figure 16 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.439 (en grammes)

² La rubéfaction des parois est plus importante à mesure de l'éloignement du fond de la cuve. L'absence d'oxygène à la base de la structure favorise le maintien d'une température « faible ». La rubéfaction du fond peut-être le résultat du préchauffage du bas fourneau, ou du contact entre la scorie en fusion s'écoulant et le substrat.

- Conclusion sur l'ensemble 14

Les apports concernant les trois structures qui composent l'ensemble 14 s'avèrent assez limités. Le degré d'arasement important de cette partie du site altère fortement la lisibilité des vestiges, et restreint de fait les possibilités d'interprétations. Aucun élément ne permet de documenter les dispositifs de ventilation ou la morphologie de la superstructure. F.438 et F.439 sont, selon les datations ¹⁴C, quasiment contemporains. Ils ont pu fonctionner au sein d'un même atelier de réduction même si il peut aussi s'agir de deux opérations distinctes relativement rapprochées. Compte tenu de sa datation tardive qui la place au milieu du Moyen Âge, la structure F.437 n'a probablement aucun lien avec la métallurgie.

3.6.1.3. L'ensemble 15

L'ensemble 15 se compose des bas fourneaux **F.521**, **F.522** et **F.523**. Ces structures sont situées à l'intérieur de l'enclos A, à proximité de la branche ouest de l'enclos B. Leur découverte fait suite à une extension de l'emprise initialement concernée par la prescription. Pour permettre une documentation pertinente des structures sidérurgiques malgré l'absence de délais supplémentaires dévolus à la fouille de l'extension, un choix méthodologique a été effectué. Seul un des trois bas fourneaux a fait l'objet d'une documentation et d'un prélèvement exhaustif. F.523, qui constitue l'exemplaire le mieux conservé, a ainsi été fouillé intégralement. F.521 et F.522 ont fait l'objet d'une couverture photographique, d'une description et d'une localisation sur le plan-masse. Le choix effectué ici présente l'avantage de fournir un bon degré de représentativité des données issues de l'étude des scories, au contraire d'un prélèvement et d'une documentation partielle de chaque structure.

- Le bas fourneau F.521 (**Planche 98** ; Figure 17)

La structure F.521 n'a pas fait l'objet d'une documentation poussée. De plan globalement circulaire, F.521 mesure environ 0,80 m de diamètre. La rubéfaction des parois est visible, principalement sur la moitié ouest. La cuve est comblée par une couche limoneuse noire, homogène et meuble (**US.403**), contenant une quantité importante de charbons de bois et de scorie ainsi que quelques fragments d'argile cuite. La majorité des scories et des charbons n'ont pas été prélevés. Seuls 4 kg de scories ont été ramassés.

Malgré l'absence d'observations plus poussées, l'asymétrie de la rubéfaction suggère une localisation du dispositif de ventilation à l'ouest.

L'analyse ¹⁴C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.403 a donné une datation comprise entre 400 et 230 avant J.-C., soit La Tène B-C1.

Figure 17 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.521 (en grammes)

US	Scories en gouttelettes	Scorie piégée	Total général
US.403	507	3475	3982

- Le bas fourneau F.522 (**Planche 99** ; **Figure 18**)

La structure F.522 a été fouillée mécaniquement. Elle comporte un plan circulaire de 0,78 m de diamètre. La rubéfaction des parois semble inégale, mais elle ne permet pas de tirer des informations claires sur la localisation de la ventilation. La cuve est colmatée par une couche limoneuse noire, homogène et meuble (**US 401**). Elle a livré une quantité importante de charbons de bois et de scories dont seul 0,8 kg ont été prélevés.

L'analyse ^{14}C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.401 a donné une datation comprise entre 795 et 545 avant J.-C., soit le Hallstatt C-D2.

US	Parois de four	Scories en gouttelettes	Total général
US.401	46	786	832

Figure 18 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.522 (en grammes)

- Le bas fourneau F.523 (**Planche 100 et 101** ; Figure 19)

Le bas fourneau F.523 possède un plan circulaire de 0,58 m de diamètre et s'avère de taille légèrement plus modeste que les autres bas fourneaux du site. La cuve est aménagée directement dans le terrain naturel. Son creusement adopte un profil tronconique. Les parois sont inclinées vers l'intérieur de la structure sur 0,30 m de hauteur. Aucun décrochement n'a été observé au sommet. La rubéfaction est répartie de manière inégale. Elle semble plus marquée sur la moitié ouest. Son épaisseur varie entre 2 et 4 cm et couvre les $\frac{3}{4}$ supérieurs des parois. Le fond possède un profil en légère cuvette et ne comporte pas de traces de chauffe.

La quasi-totalité de l'espace interne de la cuve est occupée par la scorie. Deux comblements ont néanmoins pu être identifiés. Le comblement principal, **US.398**, possède une matrice limoneuse noire, homogène et meuble, très chargée en charbons de bois. Ce comblement a livré une quantité importante de scories, soit 41,5 kg. Le second comblement, **US.399**, est situé en position intermédiaire, à mi-hauteur de la cuve, sur le pourtour. De nature limoneuse, sa texture est meuble et homogène. Il contenait une faible quantité de charbons de bois et a livré 26,8 kg de scories.

L'asymétrie de la rubéfaction tend à suggérer une localisation de la ventilation à l'ouest. La structure n'ayant livré aucun élément de l'élévation, sa morphologie ne peut être restituée. La surface de la scorie, localement magnétique, a gardé « l'empreinte » de la loupe de fer. Nous pouvons donc considérer que nous possédons l'intégralité de la masse de scorie produite par la réduction.

La scorie piégée est brisée en 7 fragments qui correspondent à une masse totale de 37,2 kg. Les observations menées sur le terrain montrent qu'elle remplissait presque totalement la fosse réceptacle. Cet exemplaire semble avoir été relativement préservé par les travaux agricoles. Sa surface supérieure est assez irrégulière. Elle possède un aspect rouillé et est magnétique. La partie inférieure est constituée de cordons verticaux de scories entre lesquels on distingue les négatifs des charbons de bois, parfois de grandes dimensions.

L'analyse ^{14}C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.398 a donné une datation comprise entre 400 et 230 avant J.-C., soit La Tène B-C1.

US	Parois de four	Scories en gouttelettes	Scorie piégée	Total général
US.398	37	12073	29389	41499
US.399	18	18911	7845	26823
Total	55	30984	37234	68322

Figure 19 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.523 (en grammes)

- Conclusion sur l'ensemble 15

En dépit de la fouille partielle de cet ensemble, les enseignements s'avèrent relativement satisfaisants. Les datations ¹⁴C font état de deux phases : l'une au Hallstatt C avec la structure F.522, et l'autre au IV^e siècle av. J.-C. avec F.521 et F.523. Ces dernières, strictement contemporaine sur le plan des datations, semblent toutes deux posséder une ventilation coté ouest, ce qui pourrait indiquer que les vents dominants suivaient la même direction. Il est donc possible, avec une relative prudence, d'assimiler F.521 et F.523 à un même atelier et à une seule opération de production de fer.

- Le bas fourneau isolé F.449 (**Planche 102 et 103** ; Figure 20)

Tous les bas fourneaux identifiés au sein du site sont regroupés par deux ou trois, à l'exclusion de la structure F.449. Celui-ci prend place à un peu plus de 15 mètres au nord-ouest de l'ensemble 13, à l'intérieur de l'enclos A et à l'extérieur de l'enclos B.

Seule une moitié de la structure F.449 a été observée. Celui-ci semble avoir possédé un plan circulaire, d'un diamètre de 0,71 m. La cuve est installée dans le terrain naturel. Elle possède un profil en cuvette. Ses parois sont conservées sur 0,20 m de hauteur. Leur surface est rubéfiée sur 1 à 2 cm d'épaisseur. La masse de scorie piégée encore en place au sein de la cuve semble avoir mieux résisté aux travaux agricoles que les parois de la cuve. En incluant la scorie, la structure est conservée sur 0,40 m de hauteur.

La structure est comblée par une première couche (**US.283**), dont la matrice est limoneuse, meuble et homogène. Elle se caractérise par une grande quantité de charbons de bois. Cette US correspond à une partie de la charge initiale de charbon non consommée par la réduction. Elle a livré une petite quantité de scories (1,2 kg). Le second comblement, **US.282**, achève de colmater la structure. Meuble et homogène, cette US possède une matrice argilo-limoneuse. Elle a livré une quantité importante de scories, soit 42,7 kg.

Du fait l'observation partielle de la structure, il n'est pas possible de préciser la localisation du ou des dispositifs de ventilation. Toute fois, l'existence d'un dispositif de prise d'air au sein de la cuve peut être suspecté. Le fort degré d'arasement des parois ne permet pas de préciser la morphologie de la cuve, ainsi que la morphologie de l'élévation.

La scorie piégée n'a été prélevée qu'à moitié, et se présente sous la forme de deux fragments d'une masse totale de 28,3 kg. La face supérieure est légèrement concave, et présente une surface criblée de petits cratères correspondant à la sortie des gaz avant son refroidissement. Elle est également localement rouillée et réactive à l'aimant. Le bord forme un bourrelet, marquant le départ de la cuve de recueil de la scorie. La paroi est en partie moulée et l'un des fragments possède une excroissance rectangulaire se prolongeant vers l'extérieur sur environ 5 centimètres. La forme de cet appendice oriente l'interprétation vers le remplissage du négatif d'un caillou arraché lors du creusement de la fosse réceptacle dans le substrat, plutôt qu'en direction d'un éventuel dispositif d'évent ou de prise d'air.

L'analyse ¹⁴C réalisée sur un charbon de bois provenant de l'US.282 a donné une datation comprise entre 380 et 200 avant J.-C., soit La Tène B-C1.

US	Parois de four	Scories en gouttelettes	Scories rouillées	Scorie piégée	Total général
US.282	18	14382	35	28350	42785
US.283	0	1253	0	0	1253
Total	18	15635	35	28350	44038

Figure 20 - Tableau récapitulatif des déchets de métallurgie de la structure F.449 (en grammes)

S'agissant d'une structure isolée et observée de manière partielle, les apports de la fouille du bas fourneau F.449 sont assez limités. Aucun enseignement complémentaire n'est fourni concernant la morphologie des bas fourneaux de la ZAC de Loiron. En revanche, le degré de représentativité des scories et autres déchets issus de la réduction reste acceptable.

3.6.2. Étude des déchets sidérurgiques

3.6.2.1. Introduction

En préambule à cette étude, il nous paraît important d'exposer quelques notions sur la métallurgie ancienne. Nous procéderons tout d'abord à un bref rappel sur le principe de la réduction, avant de détailler la chaîne opératoire et la typologie des bas fourneaux.

- Le principe de la réduction

La réduction du minerai de fer peut être réalisée selon deux filières : directe et indirecte.

La première constitue le procédé le plus ancien, utilisé depuis les débuts de la métallurgie jusqu'au Moyen Âge en Europe occidentale. Le fer métallique est produit à l'état solide : il n'y a pas de coulée de métal. Les températures restent inférieures au point de fusion. Le métal, à l'état « pâteux », s'agglomère lentement au point le plus chaud du bas fourneau, au débouché du dispositif de ventilation. La gangue du minerai, une partie du revêtement interne du bas fourneau, les cendres du charbon de bois et des ajouts éventuels se combinent à une grande part des oxydes de fer pour former la scorie (Fluzin *et alii* 2000). À l'état liquide, celle-ci s'écoule dans le fond de la structure ou à l'extérieur selon le type de fourneau utilisé.

La seconde filière est le plus souvent associée à l'utilisation du haut-fourneau. Celui-ci produit de la fonte (2 à 7% de carbone) et du laitier (scorie du haut-fourneau). La fonte peut être moulée, mais elle est trop cassante pour être forgée. Elle doit d'abord être affinée, c'est-à-dire décarburée jusqu'à des teneurs inférieures à 2% (fer doux : inférieur à 0,02 %, acier : de 0,02 à 2%). De cette étape supplémentaire découle le qualificatif « indirect ». Son usage se développe en Europe à partir du Moyen Âge (*ibid.*).

- Les étapes de la chaîne opératoire de la filière directe

Plusieurs étapes sont nécessaires à l'obtention d'une masse de fer compacte. Le minerai doit tout d'abord subir un traitement afin d'augmenter sa concentration en oxydes de fer. Selon sa nature, il peut être lavé, concassé, trié ou grillé. Après cette phase de préparation, le bas fourneau est allumé, et préchauffé. Le combustible est constitué de charbon de bois pour les périodes anciennes. Celui-ci peut être produit sur place, ou acheminé depuis les lieux de production. Une fois le bas fourneau en température, la charge de minerai est introduite progressivement par la cheminée, en alternance avec des couches de combustible. L'apport en oxygène, nécessaire à la montée en température, est fourni par la ventilation, qui peut être naturelle ou forcée (avec un soufflet). Une fois le processus de réduction terminé, le four est ouvert et le massiau (ou loupe : masse de fer métallique) est récu-

péré. Celle-ci présente bien souvent un aspect déchiqueté et contient encore une quantité importante de scories sous forme d'inclusions. Ces inclusions ou impuretés doivent être éliminées : la masse de fer subit donc une phase d'épuration par martelage à chaud. Elle est réchauffée plusieurs fois dans des foyers ou des fours dédiés, voire dans le bas fourneau, afin de fluidifier au maximum les scories internes et externes. Les déchets produits étant assez proches de ceux issus de la réduction, cette phase est relativement difficile à identifier sur le terrain. Une fois le métal suffisamment épuré, il peut être mis en forme (lingots) ou non, et est prêt à être utilisé pour le forgeage.

- Les bas fourneaux

Nous n'allons pas ici détailler une typologie précise des bas fourneaux, tant la variabilité est grande dans leur morphologie (Fluzin *et alii* 2000, p. 107). Il n'existe pas de « bas fourneau type » : ces structures obéissent simplement aux contraintes thermiques et atmosphériques nécessaires à la réduction des oxydes de fer (Sarreste 2008, p. 40).

La distinction entre les bas fourneaux peut néanmoins s'opérer en trois groupes, « selon que la scorie se sépare plus ou moins facilement du métal » (Fluzin *et alii* 2000, p. 107). Le premier groupe est constitué par les fourneaux sans séparation de la scorie (*bowl furnaces*). Le second concerne les bas fourneaux pourvus d'un système de séparation verticale de la scorie (*slag-pit furnaces*) sans écoulement externe (bas fourneau à scorie piégée). Enfin, le troisième groupe est constitué des structures possédant à la fois une séparation et un écoulement externe de la scorie (*tapping slag furnaces*).

Les bas fourneaux de la ZAC de Loiron appartiennent au second groupe. Ils possèdent une cuve excavée (*slag-pit*), permettant l'écoulement de la scorie et sa séparation avec le fer métallique. Ces structures sont destinées à effectuer une seule opération de réduction. Au terme de celle-ci, la récupération du massiau s'effectue en ménageant une ouverture dans la superstructure, ce qui entraîne ainsi la destruction d'une partie de la cheminée. L'existence d'un autre type de bas fourneau à scorie piégée mais à utilisation multiple doit être signalé. Ce type correspond probablement à une évolution technologique des *slag-pit furnaces*, datée entre la fin de La Tène ancienne et le début de La Tène finale (Cabboi *et alii* 2004). Quelques exemplaires ont ainsi été mis au jour dans la Sarthe, sur la commune de La Bazoge (« La Jousserie » ; « Les Maisons Neuves » ; « L'Aunay-Truchet » ; « Les Trois Couleurs » ; « Les Barres ») et de Changé (« Beauvais »).

3.6.2.2. Une situation géographique propice à la découverte d'ateliers métallurgiques

Le site de la ZAC de Loiron est situé dans un secteur à fort potentiel pour la métallurgie du fer. Une synthèse des données issues de prospections sur le secteur de La Gravelle, publiée par Michel Hubert, met en évidence une forte concentration de sites de réduction, couvrant une très large chronologie allant de la protohistoire au XIX^e siècle (Hubert 2005). Sur la commune de La Gravelle, deux sites ayant livré des scories piégées ont été identifiés : *le Haut-Bois* et *les Pavés*. Le second lieu-dit correspond à l'emplacement de la fouille de la ZAC de Loiron. M. Hubert note également la présence de 7 sites caractérisés par la présence de ferriers découlant de l'usage de bas fourneaux à scorie écoulée : *la Brousse*, *la Cassée*, *la Haute-Juberdrière*, *l'Hermitage*, *Cropé*, *le Pâtis-Boivin*, *la Prise-à-Légal* (Hubert 2005). Ces vestiges attestent de la continuité de l'activité métallurgique durant les périodes historiques.

3.6.2.3. Le minerai

Comme le souligne M. Hubert, « les connaissances concernant la géologie et les ressources minières du secteur de La Gravelle n'ont malheureusement pas été actualisées depuis le

19^e siècle». La seule carte géologique disponible consiste en une carte au 1/80000^e plutôt imprécise, où seuls trois gîtes ferrifères sont mentionnés (Hubert 2005, p. 280). Deux formations géologiques contenant du minerai de fer ont néanmoins été identifiées sur le secteur. La première est une formation primaire constituée de schistes charbonneux du carbonifère. Elle ne semble pas avoir été reconnue anciennement. La seconde est sidérolithique. Elle correspond à des dépôts issus de la dégradation de grès ferrugineux de formations anciennes. Le minerai de fer se trouve ainsi piégé dans des poches d'argiles éocènes ou pliocènes. Les analyses d'échantillon menées par Florian Sarreste montrent qu'il s'agit d'un minerai relativement riche³. Leur localisation, à proximité de la surface, en fait une source privilégiée de matière première pour la métallurgie ancienne. Plusieurs échantillons de roche pouvant correspondre à du minerai de fer ont été prélevés sur le site à proximité des bas fourneaux et des structures F.519 et F.524. La première d'entre elles, relativement profonde (plus de 3,30 m, mais le fond n'a pas été atteint), comporte un comblement non hydromorphe et pourrait ainsi s'apparenter à un puits d'extraction. La caractérisation de ces échantillons, peu compatible avec le calendrier d'un rapport d'archéologie préventive, aura lieu dans un second temps. Par ailleurs, la présence d'une fosse (F.530) contenant de nombreux rejets de pierres riches en oxydes de fer pourrait témoigner d'une présence, sur place, d'une activité de pré-traitement du minerai.

3.6.2.4. *Le combustible*

- Origine

Une seule structure pourrait être liée à l'activité de charbonnage. Il s'agit d'une large fosse dont le fond plat était tapissé d'une fine couche de charbon (F.543). Par ailleurs, les analyses palynologiques et anthracologiques apportent quelques éléments en faveur d'une production locale de combustible.

Les analyses palynologiques mettent en évidence sur le site un épisode de « déboisement progressif des groupements forestiers proches, en particulier de la chênaie mixte peuplée également de quelques hêtres ». L'absence d'indices concernant l'agriculture dans les spectres polliniques enregistrés indiquerait selon Catherine Latour-Argant la présence d'une communauté qui se consacrerait majoritairement à l'activité artisanale. Ainsi, si le déboisement n'est pas la conséquence d'une volonté de mise en culture du sol, nous pouvons raisonnablement établir un lien entre cet épisode et la fabrication du combustible nécessaire au fonctionnement de l'activité métallurgique. Notons également que la chênaie mixte identifiée sur le site constitue un lieu d'approvisionnement idéal pour un combustible de qualité : en effet, « les charbons « forts » tirés de feuillus à bois dur (chêne, hêtre) semblent privilégiés dans les ateliers étudiés (Les Clérimois, Frouard, Saint-Dizier) » (Mangin 2004, p. 53).

Les analyses anthracologiques menées par Loïc Gaudin viennent confirmer les observations palynologiques. En effet, les essences présentes sous la forme de charbons de bois dans les structures de réduction sont également présentes dans les spectres polliniques. Enfin, la présence de nombreux chablis dans l'emprise de fouille avait dès le départ attiré l'attention, d'autant que certains semblaient être recoupés par les aménagements protohistoriques. Les datations réalisées sur trois d'entre eux confirment cette ancienneté : deux chablis sont en effet datés entre le V^e et le VIII^e siècle avant J.-C., tandis que le troisième a donné une datation centrée sur le Néolithique final, entre 2900 et 2600 avant J.-C. environ. Bien que ces résultats ne soient pas dénués d'ambiguïtés, ils permettent d'envisager un déboisement préalable à l'installation des premiers bas fourneaux, d'autant que le spectre

³ Communication personnelle de Florian Sarreste, que nous remercions vivement pour ses explications.

pollinique a clairement démontré que le site était encore ceinturé de bois durant l'époque protohistorique. Il est donc logique d'envisager que les grandes quantités de bois acquises lors de ce déboisement ont pu être utilisées pour alimenter les bas fourneaux. En tout état de cause, les éléments convergent pour garantir l'origine locale du combustible.

Une seule structure pourrait témoigner d'une activité de charbonnage sur place (F.543). Il s'agit d'une dépression peu profonde à fond plat, de près de 3 m de long, dont le fond était tapissé d'une fine couche de charbon. Toutefois, l'absence de rubéfaction des parois ne permet pas de s'assurer d'une telle proposition d'interprétation, et l'on retiendra surtout que l'important arasement subi par le site a probablement fait disparaître la plupart des traces liées à cette activité.

- Nature et utilisation dans le processus de réduction

Comme le précise Loïc Gaudin dans son étude, « il n'est pas possible de distinguer les charbons de bois résiduels d'une combustion de bois interrompue (ex. fabrication de charbon par calcination), de ceux subsistant au terme d'une combustion de charbons de bois. (ex. activités de forge) ». Cependant, des différences de calibres de charbons selon la position stratigraphique ont pu être mises en évidence : les plus faibles calibres se retrouvent généralement en partie basse, alors que les US supérieures comportent généralement de plus gros calibres. Cette observation permet de privilégier l'hypothèse d'une utilisation de bois pour l'allumage et la montée en température des structures. En effet, on peut supposer que si ces opérations avaient été menées avec du charbon de bois, le calibrage aurait été homogène entre les US inférieures et supérieures. Pour Loïc Gaudin, dont nous partageons l'analyse, l'allumage du feu a été effectué avec du bois de petit calibre, puis la montée en température a été conduite majoritairement grâce à du bois de chêne de plus fort calibre.

Les négatifs de charbons/bois présents sur la surface inférieure des scories piégées sont généralement orientés verticalement. Cela pourrait constituer un argument supplémentaire pour l'utilisation de bois puisque cette disposition est compatible avec le mode de chargement « par le haut » d'un bas fourneau à scorie piégée.

Signalons que tous les auteurs s'accordent pour dire que l'utilisation de bois pour les « opérations connexes à la réduction » est tout à fait plausible (Mangin 2004, p. 53 ; Sarreste 2008, p. 39).

En revanche, l'utilisation de bois vert relevé par l'observation de « fentes de retrait » dans les charbons de chêne est plus problématique, même si cela ne constitue pas en soi un obstacle majeur au fonctionnement des structures. En effet, que celui-ci ait été utilisé pour la montée en température de la structure ou employé lors d'opération de charbonnage ne remet pas en cause la qualité de l'opération de réduction qui s'effectue toujours à l'aide de charbon de bois. Le charbon de bois possède, outre son pouvoir calorifique supérieur, un rôle important dans le processus de réduction puisqu'il permet dans une certaine mesure de régler la vitesse de descente de la charge de minerai, qui ne doit pas être trop rapide afin de rester suffisamment au contact des agents réducteurs.

L'utilisation de charbon de bois n'est au final attesté que dans la structure F.449 ce qui peut paraître étonnant compte tenu de son utilisation systématique en phase de réduction, mais il faut souligner la mauvaise conservation générale des structures, ainsi que la position stratigraphique des prélèvements, à savoir uniquement au sein de la fosse réceptacle. Les charbons accompagnant la charge de minerai ont ainsi pu totalement disparaître lors de la réduction ou lors des altérations liées aux labours.

3.6.2.5. Les scories

Au cours de la fouille du site de la ZAC de Loiron, dix structures témoignant d'une activité métallurgique ont été mises au jour. Ces structures, très caractéristiques, ont très rapidement été identifiées comme des bas fourneaux à scorie piégée (*slag-pit furnace*), et traitées de manière adaptée. Compte tenu des contraintes inhérentes à l'archéologie préventive, seules huit structures ont fait l'objet d'une documentation exhaustive et d'un prélèvement systématique. La masse totale des déchets métallurgiques recueillis à cette occasion est d'un peu moins de 350 kg. Ces déchets proviennent presque exclusivement des cuves des bas fourneaux.

Trois catégories de scories ont pu être identifiées. Celles-ci sont globalement identiques aux catégories mises en évidence sur le site des *Clérimois* dans l'Yonne par C. Dunikowski et S. Cabboi (Dunikowski et Cabboi 1995, p. 155). Il s'agit uniquement de scories piégées à l'intérieur des bas fourneaux.

- Les scories internes en gouttelettes (**Figure 21**)

Ces scories, de petites dimensions, se présentent sous la forme de coulures ou de gouttelettes. Elles sont le résultat de l'écoulement d'une partie de la masse de scorie en fusion au travers de la charge de charbons de bois présente à la base de la cuve ou dans la fosse d'écoulement. Elles sont uniquement constituées de scorie dense (Dunikowski, Cabboi 1995; Vivet 2007, p. 75).

Tous les bas fourneaux de la ZAC de Loiron ont livré des scories internes en gouttelettes. La masse totale de ces déchets s'élève à 198 kg.

Fait	Masse totale (g)
F.104	38968
F.105	64717
F.106	24643
F.438	17292
F.439	4616
F.449	15635
F.521	507
F.522	786
F.523	30984
Total	198148

Figure 21 –
Quantification des
scories internes
en gouttelettes

- Les scories piégées ou de fond de four⁴ (**Figure 22**)

Les scories de fond de four sont denses et massives et adoptent une forme généralement cylindrique. Elles se forment directement sous la masse de fer dans la fosse réceptacle lorsqu'elle existe, ou directement au fond de la cuve. La partie inférieure présente un aspect « déchiqueté et caverneux » (Hubert 2005, 286) et est relativement fragile. Elle correspond à un agglomérat de cordons de scories internes qui se sont écoulées au travers de la charge de charbon de bois. La surface supérieure est généralement légèrement concave et peut présenter des zones oxydées souvent magnétiques, témoignant du contact avec la masse de fer.

⁴ La dénomination varie selon les auteurs : Cabboi *et alii* 2004 ; Dunikowski, Cabboi 1995 ; Hubert 2005 ; Sarreste 2008 ; Vivet 2007 ; Le Carlier de Veslud 2011.

Les dimensions de ces blocs de scories piégées sont importantes et peuvent dépasser 60 cm de diamètre pour une masse de plusieurs dizaines de kg.

Figure 22 –
Quantification des
scories piégées

Fait	Masse totale (g)
F.104	3608
F.105	30393
F.106	38234
F.438	2191
F.449	28350
F.521	3475
F.523	37234
Total	143485

Aucune scorie piégée ne nous est parvenue entière. Une bonne partie des exemplaires ont été brisés par les travaux agricoles récents. M. Hubert explique ainsi que « d'après des témoignages recueillis auprès des agriculteurs, un grand nombre d'éléments ont été extraits du sol et ont disparu, et souvent plusieurs par parcelle ». Il est probable que les fragments de la partie supérieure des scories piégées, souvent manquante sur les exemplaires de la *Zac de Loiron*, aient été arrachés par les labours. Ainsi, seuls quatre bas fourneaux ont livré des scories piégées avec une surface supérieure conservée au moins en partie : F.105, F.106, F.449 et F.523.

La partie inférieure de ces scories est également sujette à une forte fragmentation. La présence de la fosse d'écoulement à la base des bas fourneaux a favorisé l'écoulement en cordons verticaux au travers de la charge de charbon de bois, ce qui a pour résultat d'entraîner une fragilité importante de la partie inférieure. Il est possible que devant l'impossibilité d'effectuer des recollages, une partie des fragments appartenant à l'origine au bloc de scorie piégée ait été enregistrée comme scorie interne en gouttelettes.

- Les scories internes rouillées (**Figure 23**)

Ces scories sont généralement de petites dimensions (5 cm de longueur). Leur surface est irrégulière et présente un aspect rouillé. Elles sont très souvent localement magnétiques (parfois fortement). Elles possèdent ainsi un peu de fer métallique comme l'ont montré les analyses menées par V. Serneels, et pourraient correspondre à du minerai incomplètement traité (Eschenlohr *et alii* 1991, p. 84).

Ce type de scorie est relativement rare sur le site de la *ZAC de Loiron* et seuls les bas fourneaux F106, F439 et F449 en ont livré. Leur masse totale est de 398 g.

Figure 23 –
Quantification des
scories internes
rouillées

Fait	Masse totale (g)
F.106	323
F.439	40
F.449	35
Total	398

3.6.2.6. Les parois de four (Figure 24)

Une petite quantité de parois de four a été mise au jour lors de la fouille des bas fourneaux. Ce lot concerne principalement l'ensemble 1, et notamment le bas fourneau F.106. Les autres structures en ont livré sans exception, mais dans des quantités extrêmement limitées.

Fait	Masse totale (g)
F.104	412
F.105	1927
F.106	5283
F.438	20
F.449	18
F.522	46
F.523	55
F.524	117
F.525	19
F.530	1
Total	7898

Figure 24 –
Quantification des
parois de fours

Les fragments de paroi de four découverts au sein des structures F.104, F.105 et F.106 présentent des caractéristiques très homogènes. Il s'agit le plus souvent de petits nodules d'argile rubéfiée de 5 cm d'épaisseur au maximum ne présentant, le plus souvent, aucune trace de la surface d'origine. Leur composition est très homogène : il s'agit d'une argile légèrement sableuse qui ne comporte, semble-t-il, aucun ajout de dégraissant. La partie supérieure des bas fourneaux, la cheminée, a donc été probablement réalisée en terre crue, par modelage du terrain encaissant. Ce mode de construction est relativement fréquent (Mangin 2004, p. 58). La faible scorification des fragments ainsi que l'épaisseur limitée de la rubéfaction constituent un indice supplémentaire du caractère unique de l'utilisation des structures.

Concernant la morphologie et les dimensions de la cheminée, l'apport de l'observation des parois de four est très limité, et ne permet aucune précision.

En revanche, il faut souligner la présence d'un fragment de conduit de ventilation au sein du fait F.106 (US.343). Ce fragment possède une face scoriacée et mesure moins de 5 cm d'épaisseur (**Planche 104**, n°3). Il comporte les traces d'un conduit circulaire d'un diamètre pouvant être estimé à 4 cm, formant un angle d'environ 30 à 40° par rapport à l'horizontale.

3.6.2.7. Des éléments remarquables

Deux anomalies ont été repérées sur la surface externe de fragments de scorie piégée du bas- fourneau F.449. Le premier élément (**Planche 104**, n°1) se présente sous la forme d'une scorie dense à laquelle adhèrent encore des fragments d'argile cuite. Une partie de la scorie est venue au contact des parois de la structure, épousant le contour interne. Une excroissance à la section en arc de cercle semble mouler le fond d'un conduit circulaire. À en juger par la faible porosité de la scorie et sa surface supérieure relativement lisse, la viscosité de la scorie devait être faible. Cela indique une température élevée et induit donc un écoulement rapide. Un vide peut être observé entre la surface supérieure et la partie inférieure de l'écoulement. Il pourrait découler du refroidissement rapide des surfaces exposées à une température basse : les surfaces externes se figent tandis que l'intérieur reste suffisamment chaud et fluide pour continuer à s'écouler. À moins qu'il s'agisse d'une

poche de gaz piégée par le refroidissement rapide de la matière. Cet élément pourrait éventuellement illustrer l'étape finale de la réduction et correspondre à un écoulement de la scorie vers l'extérieur, lors de l'ouverture de la structure.

Le second élément (**Planche 104**, n° 2) comporte des similitudes avec le bloc de scorie précédent. En effet, celui-ci peut se décomposer en deux parties : une partie correspondant à de la scorie piégée à l'intérieur du bas fourneau, et une partie formant une excroissance en direction de l'extérieur de la structure. La partie interne se présente sous la forme d'un fragment de scorie piégée, dont le sens d'écoulement est difficile à déterminer. L'écoulement semble avoir eu lieu à l'intérieur d'une masse de charbons de bois, mais les négatifs de ceux-ci sont difficilement discernables. Cela pourrait indiquer une viscosité importante, donc une température relativement faible et permet de positionner ce fragment dans la partie inférieure du bas fourneau, au niveau de la cuve réceptacle. La seconde partie forme une excroissance qui semble avoir moulé un conduit cylindrique. Des traces d'argile cuite sont localisées au niveau de la jonction entre l'excroissance et le reste de la scorie. L'angle formé par le conduit et la paroi de la cuve est d'environ 45°.

Deux hypothèses peuvent être émises pour expliquer la présence de cette anomalie. Le facteur accidentel, tout d'abord, peut être envisagé. Le creusement de la cuve a ainsi pu recouper une cavité de petite dimension, comme un terrier. Celui-ci a pu être rempli par la scorie lors de l'opération de réduction. La seconde hypothèse pourrait éventuellement être reliée aux observations réalisées sur les bas fourneaux mis au jour sur plusieurs chantiers de l'autoroute A28 dans la Sarthe. Plusieurs types de dispositifs de ventilation ont en effet été identifiés : « soit un système de ventilation latéral d'un seul côté, soit un dispositif de ventilation multiple disposé sur le pourtour de la cuve, ou encore, un système de prise d'air qui aboutit dans la fosse réceptacle et qui vient compléter un dispositif supérieur » (Cabboi *et alii* 2004, p. 48). Le dernier système pourrait éventuellement correspondre aux éléments présents pour la structure F.449, même si la prudence s'impose.

3.6.3. Bilan

L'étude des structures, les observations réalisées sur les déchets de métallurgie, ainsi que les résultats des analyses palynologiques et anthracologiques permettent d'avancer des hypothèses quant au fonctionnement des ateliers.

- **Le combustible** : Si la fouille n'a révélé qu'une seule aire de charbonnage (hypothétique), les résultats des analyses palynologiques et anthracologiques montrent que l'origine du combustible est probablement locale. L'opération d'allumage de montée en température des structures de réduction a été conduite à partir de bois, souvent de bois vert. Les plus petits calibres semblent avoir été utilisés pour la phase d'allumage, tandis que les plus gros ont été privilégiés pour la phase suivante. L'utilisation de charbon de bois, obligatoire pour la phase de réduction du minerai, n'a pu être attestée que dans une seule structure : le bas fourneau F.449. L'absence de traces de combustible issu de charbonnage dans les autres structures est peut-être due à la conservation des vestiges, ou à la disparition de ceux-ci lors de la réduction.
- **Le minerai** : Au vu du potentiel minier très important du secteur, rien ne s'oppose à une utilisation du minerai local pour la réduction. Les structures F.519 et F.524 plaident d'ailleurs en ce sens. Des analyses chimiques seraient toutefois nécessaires afin de certifier son utilisation. Concernant le prétraitement du minerai avant la réduction, on peut soupçonner sa présence sur le site, d'après la présence d'une fosse ayant été probablement comblée de rejets de tri de minerai.

- **Les parois de four :** L'absence de traces de rechapage ainsi que la rubéfaction modérée des parois de four semble indiquer une utilisation unique des bas fourneaux, ce qui est généralement admis pour les *slag-pit furnaces*. En dehors du conduit de ventilation de la structure F.106, aménagé directement dans la paroi, le site n'a pas livré d'éléments permettant de caractériser précisément les systèmes d'alimentation en oxygène des bas fourneaux. L'usage de blocs tuyères semble peu probable étant donné leur absence, mais l'arasement du site pourrait éventuellement les avoir fait disparaître.
- **Les scories :** L'état de conservation relativement bon de quelques bas fourneaux permet de livrer une estimation de la masse de scories produite lors d'une opération de réduction à la *ZAC de Loiron*. Une masse totale comprise entre 60 et 100 kg semble constituer une fourchette, certes large, mais plausible par rapport aux observations réalisées sur le site. Elle s'inscrit dans la partie inférieure de la fourchette relevée pour ce type de structure, qui peut produire une quantité de scories variant entre 20 et 250 kg. Une bonne estimation de la quantité de scories produite est la base de toute interprétation sur les quantités de matière première utilisées et sur la production de fer.

Nous relevons également des quantités plus faibles pour certaines structures, notamment F.104 et F.438, qui découlent probablement d'un arasement plus important. On ne peut exclure cependant l'hypothèse d'une production de scorie plus faible.

- **Les éléments remarquables :** Leurs apports s'avèrent en définitive assez limités. Un seul élément nous apporte des informations permettant de suspecter la présence d'une prise d'air au sein de la cuve du bas fourneau F.449, sans toutefois pouvoir l'attester formellement.
- **L'apport des datations ^{14}C :** 22 datations ont été réalisées sur l'ensemble du site. Chaque bas fourneau a fait l'objet d'une datation sur un charbon de bois sélectionné par Loïc Gaudin pour sa pertinence, à savoir des charbons provenant de branchages ou de la partie externe des éléments de gros calibre (**Figure 25 à 27**).

Les résultats s'avèrent assez surprenants et prennent à contre-pied les premières interprétations émises quant à l'organisation générale des structures et de la production. En effet, les résultats montrent un échelonnement des structures entre le Hallstatt et la Tène moyenne, et cela au sein même des ensembles de structures. Ces ensembles, que nous aurions été tentés de qualifier d'atelier après une première lecture spatiale du site semblent avoir été constitués sur un temps beaucoup plus long (notamment pour l'ensemble 13).

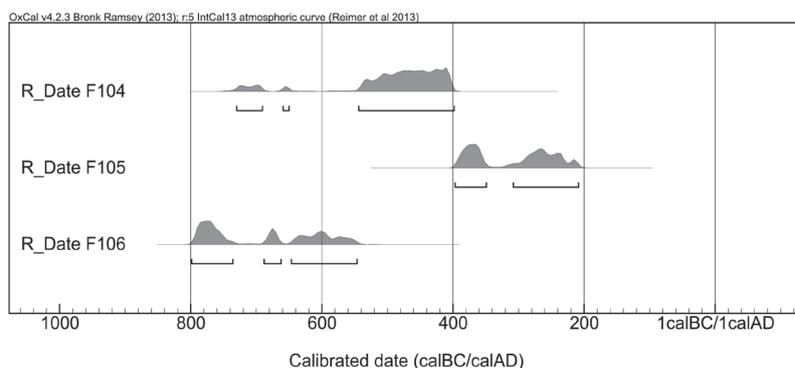


Figure 25 – Datations radiocarbone calibrées des bas fourneaux de l'ensemble 13

Figure 26 - Datations radiocarbones calibrées des bas fourneaux de l'ensemble 14

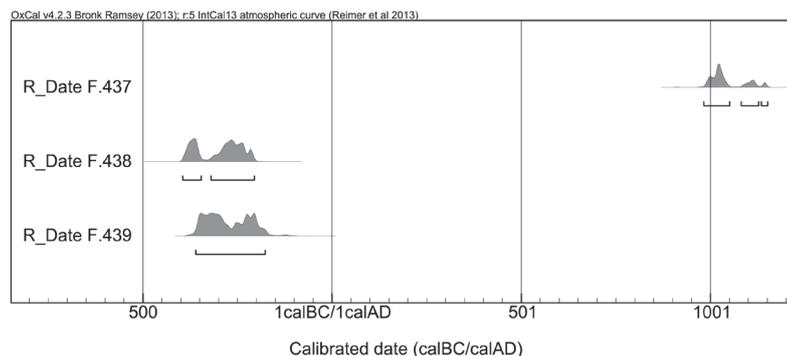
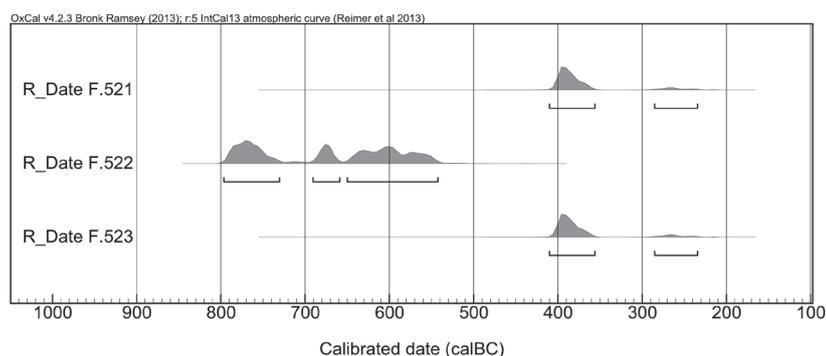


Figure 27 - Datations radiocarbones calibrées des bas fourneaux de l'ensemble 15



La notion d'atelier ne peut véritablement s'appliquer qu'aux bas fourneaux F.521 et F.523 (strictement contemporains) et aux bas fourneaux F.438 et F.439 même si la part d'incertitude est plus élevée.

3.6.3.1. Conclusion

Si les bas fourneaux de la ZAC de Loiron n'apportent pas d'information véritablement nouvelle sur un type de structure de mieux en mieux connu et documenté, notamment depuis les fouilles de l'autoroute A28 dans la Sarthe, ils constituent un exemple de petite production de fer étalée dans le temps. L'exploitation sidérurgique du site aux époques anciennes s'est déroulée en trois phases principales : au Hallstatt C/D (F.522, F.106), au Hallstatt D / La Tène A (F.104) et à La Tène B/C (F.105, F.438, F.439, F.449, F.521, F.523). La constitution des ensembles de bas fourneaux, parfois très disparates en terme de chronologie, ne peut être totalement fortuite. Deux hypothèses peuvent être formulées : soit la présence de structures anciennes permettait une réutilisation des éléments architecturaux dans l'élévation, facilitant ainsi la construction des structures, soit les groupes se sont formés par l'installation successive des structures de réduction à proximité de poches de minerai dont l'exploitation ancienne devait encore se percevoir en surface. Seules les structures F.438 et F.439, ainsi que peut-être la structure F.449, ne semblent pas obéir à ce schéma.

Dans tous les cas, aucune organisation particulière de la production de fer ne transparait sur le site de la ZAC de Loiron. Celle-ci, est comme nous l'avons vu, est probablement ponctuelle, d'importance variable selon les besoins (structures isolées ou en ateliers) et s'implante de façon opportuniste (présence de minières et de puits d'extraction plus anciens ?) dans un secteur au potentiel minier important et connu depuis le Hallstatt C/D. Son impact sur le milieu devait être limité, et il est d'autant plus difficile de relier cette production avec

les autres vestiges présents sur le site : bâtiments, enclos, etc. L'hypothèse d'un habitat d'artisan semble peu plausible à partir des seuls vestiges du site.

Pour conclure, il nous paraît important de souligner l'importance de poursuivre autant que possible l'exploration archéologique des environs proches, qui permettrait sans nul doute de découvrir d'autres structures de réduction, et ainsi de compléter une vision pour l'instant limitée de la production de fer durant la protohistoire dans le secteur de La Gravelle.

3.6.3.2. Perspectives

À l'issue de cette première étude archéologique des bas fourneaux et des déchets de métallurgie, une seconde phase d'étude incluant la réalisation d'analyses archéométriques et leur interprétation peut être envisagée. Elle doit être sérieusement préparée, aux côtés d'un archéomètre, qui devra confirmer la sélection des spécimens et définir les modes d'analyses permettant de répondre à des questions précises. Sur le plan du déroulement technique de l'opération, il conviendra de rechercher le minerai utilisé à la ZAC de Loiron. Si l'on suspecte fortement une origine locale, il est toutefois nécessaire de le confirmer, et les prélèvements réalisés dans les niveaux ferrugineux atteints par les puits devront être soumis à l'analyse, ce qui n'a pas pu être fait pour le présent rapport. La présence d'ajouts lors de la réduction pourra ensuite être également être recherchée, d'autant que la chronologie large de ces structures pourrait éventuellement permettre de mettre en évidence une possible évolution des pratiques et techniques. Concernant l'aspect quantitatif de la production, il pourrait également être intéressant de tenter d'évaluer les besoins en matières premières (charbons de bois et minerai) pour les opérations de réduction du Hallstatt à La Tène moyenne, à l'échelle de la structure et du site. Un calcul du rendement des opérations à partir des éléments présents sur le site (minerai, paroi, scorie) pourrait nous éclairer sur la quantité de fer produite lors d'une réduction pour les différentes périodes représentées. Ce calcul ne peut être effectué sur une simple comparaison des quantités avec celles d'autres sites, et doit obligatoirement découler d'analyses archéométriques (Eschenlohr *et alii* 1991, p. 104). Enfin, une mesure de la saturation en fer telle qu'exposée par V. Serneels dans sa thèse sur l'archéométrie des scories de fer (Serneels 1993, p. 29-30) peut également être envisagée. Cette mesure constitue, selon F. Sarreste, un bon moyen d'évaluer la « qualité du processus de réduction et, à travers ces données, le niveau de maîtrise atteint par les opérateurs » (Sarreste 2008, p. 176)

3.7. Les puits d'extraction

Deux puits ont été documentés. Ils sont tous deux situés à proximité l'un de l'autre, au sud de l'emprise, dans l'angle sud-ouest de l'enclos B (**Planche 105**). Cette zone n'ayant été décapée que lors de la dernière semaine d'intervention sur le terrain, la documentation de ces aménagements n'a pu être conduite de manière optimale.

3.7.1. Le puits F.519 (**Planche 106 et 107**)

Cette structure est située au sud de l'emprise de la zone 2, à l'intérieur des trois enclos, juste en face de l'interruption de l'enclos C. Elle est apparue à une altitude de 176,37 m NGF. Elle avait déjà fait l'objet d'un sondage par l'équipe du service archéologique de la Mayenne ayant eu en charge le diagnostic, et qui l'avait interprétée comme une mare (Tr.34, US 170). Or, la coupe réalisée pendant la fouille a très nettement montré une verticalisation du creusement qui ne permet aucun doute quant à une identification comme puits.

L'aspect de la structure en plan a été largement perturbé par la tranchée réalisée lors du diagnostic, mais le rapport signale « une vaste zone ovale apparue en surface sous forme d'un comblement marron argileux avec un pourtour grisâtre » (Morin 2012, p. 21). Concernant l'aspect en coupe, le profil supérieur se distingue par des parois très évasées et irrégulières, qui font passer le diamètre de 3,70 m dans la partie supérieure à 1,40 m au moment où les parois se verticalisent, soit à 1,60 m sous le niveau d'apparition. Le creusement se prolonge encore sur plus d'1,60 m de profondeur, avant que la fouille n'ait été interrompue pour des questions de sécurité, une partie du comblement s'étant déjà effondrée pendant la réalisation de la coupe. En tout, ce puits a donc été documenté sur une hauteur totale de 3,30 m, pour s'achever à 173,09 m NGF.

La stratigraphie relève d'une séquence de comblement assez simple. Les parois sont tapissées, sur toute la hauteur de la structure, d'un niveau oxydé proche du terrain naturel, qui pourrait résulter de l'altération de l'encaissant (US.354) ; en effet, l'hypothèse d'un reste de cuvelage ne peut être retenue en raison de la présence de cette couche dès la partie supérieure du puits constituant son cône d'effondrement. L'essentiel du comblement consiste toutefois en un sédiment limono-argileux marbré gris à brun, dont les proportions d'argile ou de limon varient selon les niveaux (US.353, US.356 et US.357). La verticalisation des limites d'US dans la partie inférieure du puits semble, là encore, trahir des transformations post-dépositionnelles du comblement de la structure. Ce comblement forme une cuvette dans la partie supérieure de la structure, dans laquelle s'est déposé un sédiment argileux gris hydromorphe (US.358), qui marque une stagnation de l'eau retenue par les niveaux argileux sous-jacents. Enfin, le dernier niveau identifié constitue de comblement limoneux de la tranchée de diagnostic (US.359).

L'anomalie de ce comblement réside dans l'absence de niveaux hydromorphes dans la partie inférieure, alors qu'ils apparaissent dans le comblement supérieur. Bien que le fond de la structure n'ait pas été atteint, il est permis de s'interroger sur la fonction hydraulique de ce puits, d'autant que le contexte du site permet d'envisager l'hypothèse d'un puits d'extraction de minerai, celui-ci apparaissant dans les niveaux inférieurs du terrain naturel.

Le puits F.519 a livré très peu de mobilier (NR : 3) mais qui permet toutefois une datation à la période laténienne.

3.7.2. Le puits F.524 (Planche 108)

Cette structure se situe au sud de l'emprise de la zone 2, à proximité du puits F.519. Apparue à une altitude de 176,72 m NGF, elle a été en partie traitée lors du diagnostic (Tr.34, US 169), et interprétée comme une fosse. La reprise de la coupe lors de la fouille a au contraire montré que le creusement se prolongeait verticalement.

De plan circulaire de 2,30 m de diamètre, le creusement présente des parois évasées dans la partie supérieure. Elles se verticalisent très progressivement pour atteindre un diamètre de 1,03 m. La coupe a été interrompue à 1,20 m de profondeur. Le comblement est assez homogène, avec un premier horizon caractérisé par un limon argileux brun-jaune très induré, contenant de nombreux fragments de pierres roses (US.375). Un second et dernier comblement, épais d'une trentaine de centimètres, présentant des caractéristiques très proches quoique les inclusions de pierre rose y sont moins importantes (US.376).

En dépit de la fouille incomplète de cette structure, la verticalisation des parois laisse peu de doutes quant à une interprétation comme puits. Toutefois, à l'image de la structure F.519, le lien de F.524 avec l'eau n'a rien d'évident, tandis que le contexte archéologique pourrait permettre d'envisager cette structure comme un puits d'extraction de minerai.

Une datation ¹⁴C a été réalisée sur un charbon provenant de l'US.375. Le résultat donne une fourchette comprise entre 390 et 205 avant J.-C., soit La Tène B-C1.

3.8. Les fosses

Six fosses ont été documentées. Elles sont toutes situées au sud de l'emprise, principalement dans l'angle sud-ouest de l'enclos B (**Planche 109**). Elles présentent des dimensions et des morphologies variables, mais la plupart d'entre-elles peut toutefois être rattachée à l'activité sidérurgique du site.

3.8.1. La fosse F.209 (Planche 110 et 111)

Cette structure se situe au centre de l'emprise de la zone 2, à moins de 3 m au nord-est du bâtiment 1. Apparue à une altitude de 177,90 m, elle présente un plan irrégulier de 3,20 m de long au maximum. En coupe, le creusement se caractérise par un profil asymétrique aux parois évasées et fond en V. Elle est conservée sur une hauteur de 1,17 m à son point le plus profond, situé à 176,72 m NGF. Le comblement se compose d'une unique couche d'argile et de limon mêlés et oxydés, de couleur grise et brune. Quelques rares charbons sont à signaler, mais surtout quelques grosses pierres rejetées au centre du comblement.

Deux tessons de céramique ont été prélevés dans le comblement, dont un bord permettant une datation durant la période laténienne. Par ailleurs, une datation ¹⁴C réalisée sur un charbon provenant de l'US.241 a donné un résultat compris entre 400 et 255 avant J.-C., soit La Tène B.

3.8.2. La fosse F.520 (Planche 112)

La fosse F.520 a été mise au jour à la limite orientale de la zone 2, en bordure du fossé de l'enclos B. Elle est apparue à une altitude de 178,31 m NGF sous forme d'une anomalie ovoïde charbonneuse, d'un diamètre d'environ 1,30 m. En coupe, elle présente un profil

très irrégulier (parois plus ou moins évasées, fond variable) et une faible conservation, de l'ordre de 18 cm au maximum. Le comblement (US.350) se compose d'un limon très riche en charbons et en inclusions de terre rubéfiée. En revanche, aucune trace de rubéfaction n'a été observée sur les parois. Aussi, cette structure correspond probablement à une fosse de vidange de foyer.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

3.8.3. La fosse F.529

Située au sud-ouest de la zone 2, cette structure n'a été découverte qu'en fin de fouille et n'a pas pu faire l'objet d'une documentation satisfaisante. Tout au plus peut on signaler qu'elle présente un diamètre réduit (50 cm environ), et un comblement supérieur composé d'un rejet massif de pierres gréseuses roses. Ainsi, il pourrait s'agir d'une fosse de rejet des déchets liés au tri du minerai de fer, mais sans certitude étant donné les lacunes de la documentation. De même, aucune datation n'est permise pour cet aménagement.

En l'absence de mobilier ou d'analyse radiocarbone, la datation de cet ensemble demeure indéterminée. Toutefois, eu égard au contexte général du site, une datation à l'âge du Fer est probable.

3.8.4. La fosse F.530 (Planche 113 et 114)

La fosse F.530 se situe au sud de l'emprise de la zone 2, à proximité des deux puits F.519 et F.524. Apparue à une altitude de 176,85 m NGF, elle prend la forme, en plan, d'une anomalie charbonneuse circulaire de 1,08 m de diamètre, contenant quelques pierres de module moyen. En coupe, le creusement affiche un profil régulier, avec des parois légèrement évasées et un fond plat. La profondeur totale atteint 43 cm. La séquence de comblement peut se décomposer en trois étapes distinctes : le fond de la fosse est en premier lieu tapissé d'une couche d'argile jaune oxydée (US.387), épaisse de 10 cm au maximum, et qui semble marquer une phase d'érosion des parois de la fosse. La structure subit ensuite un rejet massif de pierres sur une épaisseur de 25 cm (US.386). Enfin, le comblement final (US.385) est un niveau charbonneux épais de 20 cm au maximum dans lequel on retrouve quelques pierres.

L'absence de traces de rubéfaction permet d'exclure une interprétation comme structure de combustion, en dépit de la présence du niveau charbonneux. Toutefois, le lien avec les activités artisanales semble évident, et l'on peut proposer une interprétation comme fosse de rejet de foyer.

Le mobilier mis au jour dans cette fosse se résume à sept tessons provenant tous du comblement supérieur. Ils permettent une datation à La Tène moyenne ou finale, sans plus de précisions.

3.8.5. La fosse F.537 (Planche 115)

Cette structure se situe au sud de l'emprise de la zone 2, en contact direct avec l'enclos C mais sans toutefois présenter de relation stratigraphie avec lui. Elle est apparue à une altitude de 176,74 m NGF. Elle n'a été traitée que de façon sommaire par une coupe méca-

nique. Longue de 2,28 m, elle présente un profil asymétrique, avec une paroi orientale quasiment verticale tandis que la paroi occidentale affiche un évasement beaucoup plus net. Le fond est assez irrégulier et se caractérise par un léger pendage. La profondeur conservée atteint 60 cm. Le comblement se compose de deux couches de limon gris plus ou moins riche en poches d'argile jaune.

Cinq tessons de céramiques ont été mis au jour dans le comblement supérieur. Ils permettent une datation du comblement durant la période laténienne.

3.8.6. La fosse F.543 (Planche 116)

La fosse F.543 est située au sud de l'emprise de la zone 2, à l'intérieur des enclos A et B. En revanche, elle est recoupée par le fossé F.532, qui appartient à l'enclos C, lui même recoupé par l'enclos B. Ainsi, d'un point de vue purement stratigraphie, la fosse F.543 constitue la structure la plus ancienne du site.

Uniquement observée en coupe, elle se caractérise par un creusement peu profond (14 cm), observé sur une longueur de 2,60 m. Le fond est plat, quoiqu'il accuse un léger pendage, et les parois sont peu évasées. Le comblement se décompose en deux temps : tout d'abord, une fine couche charbonneuse tapisse le fond de la structure sur une épaisseur de 2 cm, et sur quasiment toute la longueur documentée (US.407). Au dessus se développe le comblement final, caractérisé par une unique couche de limon argileux également assez riche en charbon (US.408).

Aucune trace de rubéfaction n'ayant été observée au fond de la structure, on ne peut l'identifier clairement à une structure de combustion. De même, une interprétation comme fosse de vidange de foyer paraît difficile à admettre en raison de la finesse et la régularité de la couche charbonneuse. Toutefois, sa morphologie rappelle celle des fosses de charbonnages mises en évidence sur nombre de sites sidérurgiques (Cabboi *et alii* 2007, p. 49), et le contexte du site de La Gravelle invite donc à considérer cette hypothèse. On regrettera, toutefois, ne pas avoir pu traiter plus précisément cette structure, et notamment d'en prélever les charbons de bois qui auraient pu permettre de valider ou non cette hypothèse.

En l'absence de mobilier, les seules indications chronologiques concernant cette structure sont ses relations stratigraphiques avec le fossé de l'enclos C. Il est ainsi probable qu'elle remonte au Premier âge du Fer, sans plus de précisions.

4. Études spécialisées

4.1. Étude céramologique

Chloé Poirier-Coutansais

Le mobilier céramique découvert est modeste, puisque 147 restes (NR) ont été mis au jour pour un Nombre minimum d'individus (NMI) de 20 vases. Un fragment de fond, d'allure médiévale, a également été identifié lors du décapage de surface. L'opération de diagnostic, réalisée en 2012, avait quant à elle, permis de récolter 181 restes pour un NMI de 10 vases (Morin *et alii* 2012). Les éléments porteurs de chronologie sont minces mais permettent néanmoins de proposer ponctuellement des hypothèses de datation pour certains faits archéologiques.

4.1.1. Méthodologie

La quantification des céramiques se conforme aux recommandations de la table ronde du Mont-Beuvray (Arcelin, Truffeau-Libre *et alii* 1998). Ainsi, lors de cette étape de comptage, un Nombre de Reste (NR) (avant collage) et un Poids des Restes (PR) ont été établis. Un Nombre Minimum d'individus (NMI) (basé sur l'élément bord) a été comptabilisé.

L'étude typologique de la série a été réalisée selon une méthodologie qui s'attache aux critères morphologiques. Plusieurs auteurs ont produits des travaux définissant les modalités d'une telle étude pour la région (Menez 1996 ; Cherel 1996 ; Daire 1992). Des comparaisons ont été établies et se réfèrent aux études céramiques du second âge du Fer régional.

Le système de datation utilisé pour cette étude correspond à celui de Tischer-Montelius. On parlera ici de La Tène ancienne, La Tène moyenne et La Tène finale. Enfin, un système de normes graphiques a été adopté pour la représentation des techniques de fabrication des céramiques (**Figure 28**).

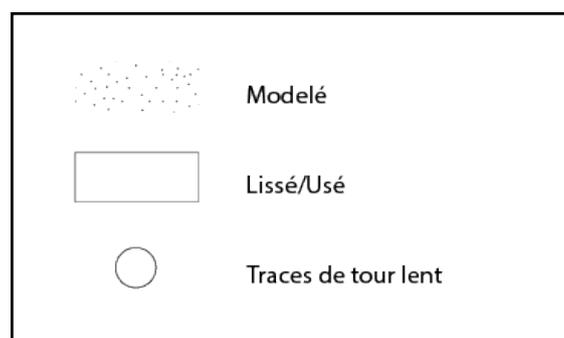


Figure 28 - Légende pour le traitement de surface des céramiques du second âge du Fer

4.1.2. Présentation du corpus

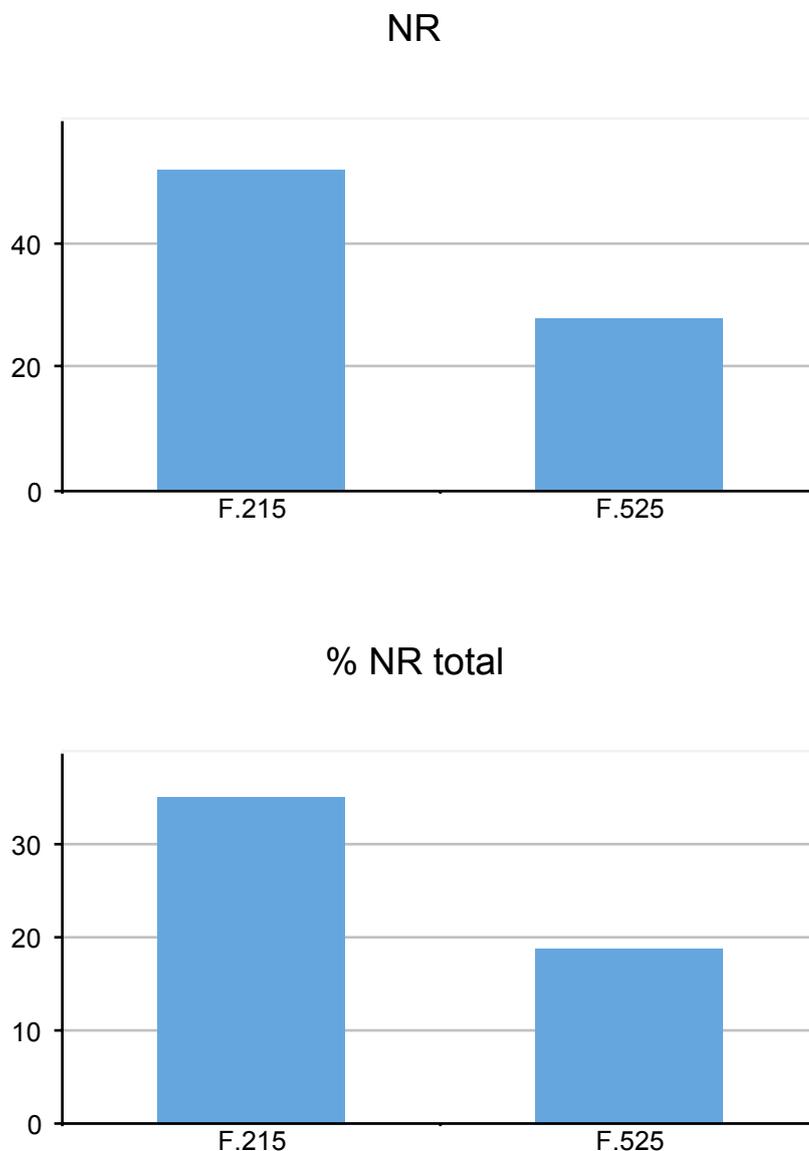
La céramique protohistorique du site de la «ZAC de Loiron» à La Gravelle est représentée par un NR de 147, pour un PR de 2,7 kg et un NMI de 20 vases. Le mobilier est fragmentaire puisqu'aucun vase archéologiquement complet n'a pu être observé. La surface d'une partie des tessons était manquante (environ 6%).

La céramique a été étudiée par Faits ou par Unités Stratigraphiques afin de raisonner par assemblage. Le nombre de dessin effectué s'élève à 22, les éléments trop fragmentaires et non porteurs d'information n'ayant pas été dessinés.

4.1.2.1. Répartition spatiale du mobilier

La majeure partie du mobilier est localisée dans les fossés F.215 (tranchée de sablière du bâtiment 1) et F.525 (enclos B) (**Figure 29**). Le reste des fragments découverts se répartit dans les faits suivant : la fosse F.209, le trou de poteau F.253 (ens.11), la fosse F.271, le trou de poteau F.323 (ens.6), le trou de poteau F.343 (ens.9), le trou de poteau F.344 (ens.9), le fossé F.363 (enclos B), la fosse F.399, le trou de poteau F.454 (ens.1), le puits F.519, la fosse F.530, le fossé F.532 (enclos C) et la fosse F.537. Le mobilier archéologique provenant de ces entités est inventorié en annexe dans l'inventaire du mobilier céramique protohistorique.

Figure 29 -
Quantification du
Nombre de Restes
(NR) par faits et du
pourcentage du NR par
Fait sur le NR total



4.1.2.2. Aspects technologiques

Les observations sur les céramiques ont été réalisées à l'œil nu. La céramique protohistorique a été répartie en trois catégories selon l'épaisseur de leur paroi et la taille des inclusions : la céramique fine, la céramique mi-fine et la céramique grossière.

La matrice de l'argile possède une base siliceuse. Les observations ont permis d'identifier principalement des inclusions de quartz, et ponctuellement des inclusions de chamotte, de feldspath et de nodules de fer.

Dans la plupart des cas, leur calibre varie entre 2 et 3 mm. Les céramiques modelées grossièrement présentent quant à elles des grains de quartz de plus grande dimension, certains pouvant aller jusqu'à 10 mm. La densité d'inclusion de quartz de certains vases est parfois très importante, caractéristique fréquemment associée à des fragments de vases modelés et non régularisés.

Les vases sont tous modelés sans l'aide d'un tour rapide. Cependant, une grande partie du lot a été soigneusement régularisé, probablement à l'aide d'un tour lent (Daire 1992, p. 25). Concernant les fragments à pâte grossière, leur surface est non régularisée, ce qui leur confère un aspect rugueux.

D'après l'observation de la coloration de surface des vases, ceux-ci semblent le plus souvent cuits en atmosphère réductrice de type B' ou B (Vaginay, Guichard 1988, p. 38). Quelques fragments ont été cuits en atmosphère oxydante (environ 9 %). Il n'a pas été possible de déterminer le mode de cuisson de 6 % des fragments observés en raison de leur fragmentation ou de la desquamation de leur surface.

4.1.2.3. Décors

Hormis les quelques cannelures et cordons, qui ne peuvent être considérés comme des décors à proprement parler, très peu d'ornements ont pu être identifiés sur le site. On note simplement la présence d'incisions obliques sur un fragment de vase (Cp-9, **Planche 118**).

Près de la moitié des fragments de lèvre observés présentent une cannelure labiale interne, mesurant entre 2 et 3 mm. Cette particularité est récurrente en Bretagne, où la largeur de la cannelure est discriminante de la chronologie du vase. En effet, les cannelures larges semblent plus caractéristiques qu'une phase ancienne de La Tène, tandis que les cannelures étroites signent les horizons les plus récents de cette période. Cette particularité morphologique tend à diminuer puis disparaître dans le courant de La Tène finale (Menez 1996, p. 127-128). La largeur des cannelures labiales interne du site de la «ZAC de Loiron» à La Gravelle correspondrait à une datation de La Tène moyenne.

Des motifs de stries et de cordons ont été identifiés sur les vases (F.215 US.017 Cp-9; F.215 US.016 Cp-2; F.530 US.385 Cp-21 et F. 525 US.392 Cp-18). Ces décors apparaissent généralement à partir du début de La Tène moyenne et perdurent à La Tène finale (Cherel 1996, p. 110).

Enfin, un fragment de panse de vase ornée d'un poinçon a été découvert lors du diagnostic, dans l'emprise de l'enclos protohistorique (Morin *et alii* 2012, fig. 27). Ce motif estampé a également été recensé sur le site du sanctuaire de Jublains en Mayenne et peut être attribuable à La Tène ancienne ou La Tène moyenne (Bouvet 1997, pl. 4 n° 11).

4.1.3. Étude de la céramique par assemblage

Seul le mobilier céramique présentant des caractéristiques typologiques pertinentes du point de vue chronologique est concerné par l'étude par assemblage. Il sera établi autant que possible des comparaisons avec des productions locales et régionales, afin d'affiner les attributions chronologiques.

Le reste des structures archéologiques ayant livrées de la céramique protohistorique figure quant à lui dans un inventaire détaillé du mobilier céramique en annexe.

Aucun recollage physique entre des fragments récoltés dans les comblements de différents faits archéologiques n'a été trouvé.

La présentation du corpus se fera de manière globale par par Fait archéologiques (F.) ou par ensemble (Ens.). On reprendra l'ordre adopté pour la partie descriptive des structures, à savoir : les enclos, les bâtiments, les puits et les fosses. On soulignera par ailleurs que les bas fourneaux n'ont livré aucun tesson de céramique.

4.1.3.1. L'enclos B (Planche 117)

L'enclos B a livré près d'1 kg de céramique, ventilé en 41 restes pour un NMI de 8. Seuls deux des fossés de l'enclos ont livré du mobilier : le fossé F.363 (fossé de partition) et le fossé F.525 (fossé sud).

- Le fossé F.363

Un vase à profil discontinu (Cp-13) à cannelure labiale interne a été découvert dans le comblement du fossé F.363. Cette forme est semblable à des individus mis au jour dans le comblement de la tranchée de sablière du bâtiment 1 (Cp-3 et Cp-11) et daterait le comblement de la fin de La Tène moyenne ou au début de La Tène finale. Un autre fragment (Cp-14) s'apparente à un pot de stockage à col court et lèvre arrondie, sans plus de précisions au vu de sa fragmentation.

Il est difficile de dater précisément le comblement du fossé F.363 sur la base de ces deux éléments céramiques. Tout au plus, il serait possible d'envisager une datation vers la fin de La Tène moyenne.

- Le fossé F.525

Trois formes de vases ont pu être identifiées dans le comblement du fossé F.525. Un bord de vase à profil discontinu (Cp-19), modelée non régularisée a été observé mais son état fragmentaire ne nous permet pas de dater précisément ce vase.

Un vase peu régularisé (Cp-20), de surface rugueuse à col court et lèvre arrondie est largement observé en Pays de la Loire, Bretagne et Normandie tout au long de La Tène. Il est difficile d'en préciser la chronologie.

Un fragment de bord à lèvre éversée à cannelure labiale interne complète cet assemblage (Cp-18). Il est orné d'un petit cordon à la transition col-panse. Ce type de forme correspond au vase issu du comblement du puits F.530 (Cp-21), et oriente la datation du comblement du fossé F.525 entre la fin de La Tène moyenne et le début de La Tène finale.

Deux jattes à profil discontinu à lèvre légèrement éversée ont également été découvertes (Cp-16, Cp-17). Ces vases sont peu porteurs de chronologie car très présents dans l'Ouest

de la France. On les retrouve sur le site de «La Gaudine» à Vivoin à La Tène moyenne (Guillier *et alii* 2006, fig. 9 n° 6a).

Ainsi, il est probable que le comblement du fossé puisse dater de la fin de La Tène moyenne jusqu'au début de La Tène finale.

4.1.3.2. L'enclos C (Planche 117)

Seul le fossé F.532 a livré du mobilier céramique pour l'enclos C. Un seul un vase issu du comblement de ce fossé a pu être étudié : un fragment de vase à col droit et lèvre légèrement débordante (Cp-22). Cette forme, régularisée, présente une cannelure labiale interne indiquant une datation autour de La Tène moyenne.

4.1.3.3. Le bâtiment 1 (Planche 118)

L'US.016 de comblement du fossé F.215 a livré 42 NR pour un NMI de 5 vases. Une écuelle à pâte sombre bien régularisée a été mise au jour (Cp-2). Cette forme basse à carène marquée s'apparente à des vases découverts sur les sites de la Plaine de Caen et notamment le site de la «Zac Object'Ifs sud» à Ifs (14), datés du début de La Tène moyenne dans la seconde moitié du III^e siècle av. J.-C (Cherel 2012, fig. 5). Ces mêmes vases retrouvent des parallèles dans la Sarthe sur le site de «La Gaudine» à Vivoin datés de la Tène moyenne (Guillier *et alii* 2006, fig. 10 : 8C). Des écuelles au profil fortement galbé ont été découvertes sur le site du Boisanne à Plouër-sur-Rance (22) à La Tène moyenne (Menez 1996, fig. 95).

Un vase de forme fermée à profil discontinu en «esse» a également été identifié (Cp-3). Il comporte une lèvre légèrement éversée, à cannelure labiale interne. De nombreuses comparaisons régionales existent pour ce type de forme. Il est notamment possible de le rapprocher de vases découverts à Jublains (53) à La Tène finale (Bouvet 1997, pl. 6) à «La Gaudine» à Vivoin à La Tène moyenne (72) (Guillier *et alii*, fig. 12 n° 14).

Un fragment de vase tonnelet a été découvert (Cp-6). Des équivalents sont connus sur le site de Château Gontier au «Clos Henry» (53) à La Tène finale (Valais *et alii* 2010 fig. 14, n° 18). Des comparaisons existent également sur le site «Le Panveau» à Aron (53) (Valais *et alii* 2007, fig. 53c) ainsi que sur le site du «Grand Aunay» à Yvré-l'Évêque (72) (Vacher 1999, pl. 86).

L'US.017 du fossé 215 a livré 9 restes pour un NMI (bord) de 2 vases. Un vase à profil discontinu (Cp-11) et à cannelure labiale interne se rapproche de la forme déjà étudiée dans l'US de comblement 16 du fossé F.215 (Cp-3). Ce vase présente de nombreuses comparaisons régionales entre la fin de La Tène moyenne et le début de La Tène finale (au début du II^e siècle av. J.-C). On note ici sa surface «rugueuse» non régularisée.

Un fragment de vase correspondant à une jatte à haut col (Cp-9) est décoré de cordons et d'incisions obliques en partie médiane. Cet ornement est connu à La Tène ancienne et à La Tène moyenne. Ce type de forme est fréquent en Bretagne, comme par exemple sur le site de la ferme «du Boisanne» à Plouër-sur-Rance (22) où les formes à haut col se situent dans la phase III ancienne du site, datée de la fin de La Tène moyenne (Menez 1996, fig. 99 n° 27). Les comparaisons régionales fournissent également des exemplaires sur le site de «La Gaudine» à Vivoin à La Tène moyenne (Sarthe) (Guillier *et alii* 2006, fig. 10, n° 10).

Un fragment de bord à lèvre prolongeant le col droit (Cp-10) et une lèvre à cannelure labiale interne (Cp-12) complètent cet assemblage et ne remettent pas en cause la datation proposée. Ainsi, d'après les formes céramiques identifiées, l'US.017 daterait de la fin de La Tène moyenne, notamment grâce à la l'identification d'un fragment de jatte à haut col et la présence de cannelures labiales interne sur deux vases.

En définitive, le mobilier issu du comblement du fossé F.215 contient une majorité d'éléments se référant à La Tène moyenne, à l'exception d'un seul élément caractéristique d'un horizon chronologique légèrement plus récent, centré sur La Tène finale. En raison de ce dernier élément, on retiendra une datation centrée sur la fin de La Tène moyenne, soit la première moitié du II^e siècle avant J.-C.

4.1.3.4. Le puits F.519 (Planche 118)

Trois fragments de céramique ont été identifiés dans le comblement du puits F.519, dont un fragment de bord modelé non régularisé, très fragmentaire, non porteur de chronologie.

4.1.3.5. La fosse F.209 (Planche 118)

La fosse F.209 a livré deux tessons de céramique, pour un NMI de 1. Il s'agit d'un fragment de bol mayennais a été découvert dans le comblement de la fosse F.209 (Cp-1). Ces éléments sont très fréquents en Mayenne entre la fin de La Tène moyenne et La Tène finale, comme notamment sur le site du sanctuaire à Jublains (Bouvet 1997, pl. 7 n° 4 à 6) dans un contexte daté de La Tène finale, à Sainte Suzanne (Bocquet Bouvet Levillayer 2007) ou encore à Aron sur le site «Le Panveau» à la même période (Valais *et alii* 2007 p.101). Ces mêmes types ont été recensés également dans la Sarthe sur le site de «La Gaudine» à Vivoin à partir de La Tène moyenne (Guillier *et alii* 2006, fig. 9 n° 5), sur le site de «La Fosse» à Vivoin (Poirier-Coutansais 2012, type II 9) ainsi que sur le site «Les Rues Vertes» à Saint-Jean d'Assé à la fin de La Tène moyenne et au début de La Tène finale (Berga 1997, pl. 8) Ces vases sont également présents en Bretagne, notamment à Hédé (35), pour la même époque (Béguin 1995, fig. 2).

Il est difficile de dater l'US de comblement du fossé à partir d'un seul élément céramique. Cependant, la présence de ce vase orienterait la datation à la fin de La Tène moyenne ou au cours de La Tène finale, d'après les comparaisons régionales.

4.1.3.6. La fosse F.530 (Planche 118)

Un individu (Cp-21), de forme globulaire à col droit, lèvre éversée et cannelure labiale interne, a été reconnu. Cette forme, soigneusement régularisée, présente un décor de cordon à la liaison col/panse. Ce vase correspond aux vases étudiés précédemment (Cp-3, Cp-11, Cp-13) et indiquerait une datation allant de la fin de La Tène moyenne à La Tène finale. Un exemplaire similaire a été découvert à Aron sur le site «Le Panveau» dans un contexte allant de la fin de La Tène moyenne à La Tène finale (Valais *et alii* 2007, lot 209).

4.1.3.7. Éléments découverts lors du diagnostic

Les éléments découverts lors du diagnostic (Morin 2012) dans la zone correspondant à l'emprise de la fouille archéologique, ne contredisent pas les datations proposées pour les faits archéologiques de la fouille. En effet, deux fragments de bol mayennais avaient été découverts (TR 24 US 134 et 361 ; TR 36 US 152) ainsi que trois fragments de lèvre à cannelure labiale interne allant de 2 à 3 mm (TR 24 US 134 ; TR 118 US 42 ; TR 40 US 130).

Enfin, signalons la présence d'un fragment de vase à panse carénée et décorée de poinçons de poinçons (TR 34 US 168). Ce décor pourrait être attribuable à La Tène moyenne (Morin *et alii* 2012, p. 56). Cependant la fragmentation du vase rend cette datation difficile à confirmer.

4.1.4. Synthèse

Il paraît difficile de caractériser précisément le mobilier céramique mis au jour sur le site de «La Zone des Pavés» à La Gravelle en raison du faible nombre de reste céramique découvert dans le comblement des faits archéologiques.

Une forte présence de cannelures labiales internes allant de 2 à 3 mm sur les vases à profil discontinu a été constatée. Cette spécificité peut rattacher une partie du mobilier à La Tène moyenne et peut-être plus précisément du début du II^e siècle av. J.-C. Cette particularité courante en Mayenne (Valais *et alii* 2007) (Bouvet 1997), confirme les échanges commerciaux avec la Bretagne à cette époque, zone où cette particularité est récurrente. Toutefois, la présence de trois fragments de bol mayennais (un découvert lors de la fouille et les deux autres lors du diagnostic) avancerait la datation du site à la fin de La Tène moyenne ou à La Tène finale. En revanche, la présence de décors incisés obliques exclurait la datation de période récente de La Tène.

L'absence de fragments d'amphore gréco-italique peut être notée. Il est possible que ce soit un signe d'ancienneté du site archéologique (ce qui confirmerait la datation dans la première moitié du II^e siècle av. J.-C.) ou bien une conséquence de la minceur du corpus découvert lors de la fouille.

La prudence est donc de rigueur quant à la datation du site, d'autant que les analyses ¹⁴C viennent souvent vieillir les datations céramiques : c'est le cas principalement pour le bâtiment 1 (céramique : La Tène C/D ; ¹⁴C : La Tène B/C) et l'enclos C (céramique : La Tène C ; ¹⁴C : Hallstatt C / La Tène A). Il est certain que la céramique n'illustre qu'une courte période de l'occupation du site (fin III^e siècle – début II^e siècle avant J.-C.), tandis que les analyses ¹⁴C couvrent une fourchette beaucoup plus large, comprise entre le VIII^e et le II^e voire I^{er} siècle avant J.-C.

Le mobilier du site de « La zone des Pavés » à La Gravelle permet d'enrichir le corpus céramique de cette région de la Mayenne et s'intègre dans un faciès local (présence bol mayennais). Des affinités stylistiques sont largement perceptibles avec la Bretagne (présence de sept lèvres à cannelure labiale interne). Des influences provenant de la Basse Normandie sont également à signaler.

4.2. Étude palynologique

Catherine Latour-Argant

4.2.1. Prélèvement des échantillons et objectifs

Lors de l'opération d'archéologie préventive réalisée sur la commune de la Gravelle (53-Mayenne), six prélèvements destinés à une analyse palynologique ont été réalisés dans le comblement du puits d'extraction F.519 (**Figure 30**). Malgré l'absence de mobilier dans son comblement, cette structure semble contemporaine de l'occupation laténienne du site caractérisée par une activité métallurgique sous la forme de bas fourneaux.

Figure 30 - Tableau des prélèvements analysés

N° prélèvement	Altitudes	N° Fait/US	Période
PR.060	173,83 m	F.519/US.353	La Tène
PR.061	173,71 m	F.519/US.353	La Tène
PR.062	173,59 m	F.519/US.353	La Tène
PR.063	173,47 m	F.519/US.353	La Tène
PR.064	173,37 m	F.519/US.353	La Tène
PR.065	173,25m	F.519/US.353	La Tène

Les analyses palynologiques réalisées en contexte archéologique visent à restituer, dans la mesure du possible, une image du paysage aux alentours du site en distinguant les différentes phases d'occupation des lieux, et à mettre en évidence, le cas échéant, l'existence de pratiques agro-pastorales (céréaliculture, élevage,...). Les six échantillons ont été soumis à cette analyse.

4.2.2. Traitement chimique des échantillons

Le traitement chimique a été effectué au sein du laboratoire d'Archeodunum SA. Le protocole appliqué suit en partie celui qui a été proposé par K. Faegri et J. Iversen (Faegri, Iversen 1989), et T. Nakagawa (Nakagawa *et alii* 1998).

Afin d'isoler et de concentrer les grains de pollen, le protocole comporte les étapes suivantes :

- **Sélection** d'une vingtaine de grammes par échantillon ;
- **Rinçage et tamisage** des sédiments à l'eau distillée ;
- Les sédiments sont soumis à une **décarbonatation** par l'acide chlorhydrique à 20% suivie d'une **centrifugation** puis d'un **rinçage** ;
- On effectue une **désilicification** par l'acide fluorhydrique à 40% pendant 12 heures. Les échantillons subissent ensuite une **centrifugation** ;
- Pour dissoudre les fluorosilicates formés pendant l'attaque de l'acide fluorhydrique, on porte à ébullition les échantillons dans un bain d'acide chlorhydrique à 20% ;
- Les échantillons sont **centrifugés et rincés** ;

- On applique ensuite un **traitement par la potasse diluée** à chaud pour dissocier la matière organique ;
- Dans le cas où la matière organique est bien conservée, plusieurs **rinçages à l'eau** s'avèrent nécessaire ;
- Après **centrifugation**, les grains de pollens isolés sont concentrés à l'aide du chlorure de zinc (d=2) après **mixage et centrifugation** ;
- Les fonds de culots sont ensuite **montés dans la glycérine** ;
- L'**observation** des fonds de culots est réalisée sous microscopie optique au grossissement x40.

4.2.3. Résultats

Les résultats sont donnés sous la forme d'un tableau de comptages et de pourcentages (Annexe 1), distinguant le couvert arboré (AP=Arborean Pollen) des plantes herbacées (NAP =Non Arborean Pollen) (**Figure 31**). Pour chaque taxon, les pourcentages sont calculés à partir de la somme sporo-pollinique totale enregistrée par échantillon.

Sur les six échantillons issus du comblement du puits, seuls quatre fournissent des résultats satisfaisants, tant au niveau de la somme pollinique que de la diversité taxinomique, pour permettre une interprétation (Reille 1990). Il s'agit des échantillons PR.60, PR.63, PR.64 et PR.65. Ils donnent lieu à la réalisation d'un diagramme pollinique classique (**Planche 119**), et d'un diagramme simplifié d'anthropisation (**Planche 120**) à partir des formations végétales ainsi définies (Barbier *et alii* 2001) :

Groupements de végétation des AP	Taxons
Chênaie mixte	<i>Quercus</i> (chêne), <i>Tilia</i> (tilleul)
Essences alluviales	<i>Alnus</i> (aulne)
Essences héliophiles	<i>Corylus</i> (noisetier), <i>Betula</i> (bouleau)
Hêtraie	<i>Fagus</i> (hêtre)
Groupements de végétation des NAP	Taxons
Plantes rudérales	<i>Chenopodiaceae</i> , <i>Brassicaceae</i> , <i>Artemisia</i> , <i>Urticaceae</i> , <i>Plantago lanceolata</i> , <i>Fabaceae</i> , <i>Scrofulariaceae</i>
Plantes prairiales	<i>Poaceae</i> , <i>Apiaceae</i> , <i>Asteroideae</i> , <i>Cichorioideae</i> , <i>Caryophyllaceae</i> , <i>Ranunculaceae</i>
Plantes hygrophiles	<i>Cyperaceae</i> , <i>Typha/Sparg.</i> , <i>Potamogeton</i> , <i>Equisetum</i> , <i>Myriophyllum</i>
Plantes colonisatrices	<i>Spores monolètes et Polypodium</i>

Figure 31 - Tableau de répartition des formations végétales

Quant à la très faible représentation des grains de pollen dans les échantillons PR.61 et PR.62, celle-ci s'explique soit par une mauvaise conservation du matériel pollinique, soit par le comblement rapide de la structure qui n'a pas permis un dépôt satisfaisant des pluies polliniques.

4.2.4. Description

A travers les restitutions graphiques (**Planche 119 et 120**), deux zones polliniques se distinguent, la première formée par les échantillons PR.65 et PR.64, et la seconde par les échantillons PR.63 et PR.60.

4.2.4.1. La zone pollinique 1

- Description et interprétation

Situés à la base du comblement de la structure, ils livrent des résultats similaires où le taux des essences arboréennes compte respectivement pour 83% et 84% de la végétation recensée révélant ainsi un paysage relativement fermé.

La chênaie mixte (*Quercus* 12,1% et 15,9%; *Tilia* 8,2% et 3,3%) se distingue particulièrement dans ce paysage en affichant les taux respectifs de 20,3% et 18,8%. Le hêtre (*Fagus* 6,6% et 5,7%) peut soit se développer au sein de cette futaie dominée par le chêne, soit sous forme d'une hêtraie.

Le couvert arboré se manifeste également particulièrement à travers le très fort taux enregistré par le noisetier (*Corylus* 42,0% et 42,4%). Cette essence héliophile se développant favorablement en lisière des groupements forestiers suggère ainsi l'existence de clairières à proximité des zones boisées. Le bouleau, taxon également héliophile (1,5% et 5,3%), ponctue également ces aires ouvertes.

La présence d'une forêt caractéristique des milieux humides apparaît uniquement à travers le spectre pollinique de l'aulne (*Alnus* 10,8% et 7%).

On rencontre sporadiquement quelques pollens de lierre (*Hedera helix*) et de frêne (*Fraxinus*).

Avec l'échantillon PR.64, on remarque la présence de grains de pollen issus d'arbres fruitiers (*Rosaceae* 1,1%), mais il n'est malheureusement pas possible d'attester qu'il s'agit de plantations.

Concernant les plantes herbacées, leur taux atteint respectivement 8,2% et 10,1% de la végétation recensée, attestant ainsi l'existence de clairières.

Les plantes rudérales plus spécifiquement liées à l'anthropisation restent discrètes avec des taux de 2,2% et de 0,6%. Leur cortège apparaît faiblement diversifié comptant moins d'une dizaine de taxons.

Les hygrophyles, en particulier les carex (Cypéracées) qui se développent probablement sur les berges d'un cours d'eau ou d'une zone humide, totalisent 3,5% et 5% de la végétation. Les rares pollens de prêles (*Equisetum*) observés à l'échantillon PR.64 confirment l'existence d'une prairie humide et/ou d'un sous-bois.

Les plantes colonisatrices des espaces défrichés et des sous-bois, en particulier les fougères aigles (*Polypodium*) apparaissent bien représentées avec les taux de 7,9 et 5,7%.

- Conclusion

Le paysage ainsi révélé à travers ces deux échantillons semble correspondre à celui d'une clairière, occupée en majorité par une corylaie. Les déforestations opérées par les popu-

lations locales, nécessaires à leur implantation et à l'exploitation minière, ont favorisé le développement à la fois des essences héliophiles comme le noisetier et des plantes colonisatrices comme la fougère aigle. Il apparaît fort probable que les communautés locales se soient installées à proximité d'une formation forestière dominée par le chêne. On imagine également l'existence proche d'un cours d'eau sur les berges duquel les essences alluviales et une prairie humide se développent.

4.2.4.2. La zone pollinique 2

- Description et interprétation

Les échantillons PR.63 et PR.60 ont livré des résultats similaires permettant de définir une seconde zone pollinique.

Ils permettent d'observer une diminution du couvert arboré dont le taux atteint respectivement 67,5% et 57,4% de la végétation recensée, contre plus de 80% aux échantillons précédents.

Au sein des ensembles précédemment déterminés, on remarque que la représentation des essences héliophiles chute de 40,7% à 25,8%. Le noisetier (*Corylus*) domine toujours le cortège arboréen, mais la corylaie semble progressivement reculer.

La chênaie mixte reste quant à elle relativement stable dans le paysage avec un taux variant de 15,8% à 18,1%. On remarque cependant une inversion de la représentation du chêne et du tilleul entre les deux zones polliniques. Le tilleul devient majoritaire à l'échantillon PR.60 alors que ses taux restent inférieurs à ceux du chêne dans la première zone pollinique. L'équilibre entre ces deux essences s'établit à l'échantillon PR.63.

Le spectre pollinique du hêtre (*Fagus*) disparaît à l'échantillon PR.60, et compte seulement pour 0,4% du paysage à l'échantillon n°63. La raréfaction de cette essence est probablement imputable à l'exploitation du milieu par la communauté locale.

Au niveau de l'unique essence alluviale, l'aulne (*Alnus*), son influence apparaît identique à celle observée dans la zone pollinique précédente en enregistrant les taux de 8,3 et 8,1%.

Le lierre (*Hedera h.* 2,1% 0,9%) maintient une représentation toujours faible mais constante.

Au niveau des herbacées, si la représentation des plantes prairiales et des rudérales ne varie guère par rapport à la zone pollinique précédente, on observe le développement des hygrophiles et surtout celui des fougères, dont le taux progresse pour atteindre 17,5% à l'échantillon PR.63.

Les carex (Cypéracées) composant la prairie humide semblent ainsi se développer favorablement à l'échantillon PR.60 en affichant un taux de 5,7%.

Parmi les rudérales on observe la présence du plantain (*Plantago lanceolata*), absent dans les échantillons précédents, indiquant un piétinement fréquent d'origine humain ou animal à proximité du lieu de prélèvement.

- Conclusion

Malgré le hiatus entre ces deux échantillons, le phénomène de déboisement amorcé à l'échantillon PR.63 a continué à progresser et apparaît alors nettement amplifié à l'échantillon PR.60.

Ainsi, au cours de cette zone pollinique la corylaie a fortement diminué, et l'on observe une exploitation du hêtre et du chêne au sein de la chênaie mixte. On peut imaginer que ces essences ont été sélectionnées comme combustible, car ce sont des bois durs fournissant une forte quantité d'énergie lors de leur combustion. Les espaces déboisés semblent alors rapidement colonisés par les fougères.

Toutefois, malgré l'accélération de l'emprise de la communauté sur son territoire, l'environnement végétal reste sous la nette domination des essences arborées.

4.2.5. Synthèse

L'analyse palynologique appliquée au comblement du puits d'extraction F.519 a permis de révéler l'environnement végétal du site et de ses proches environs au cours de son occupation laténienne.

La communauté semble installée dans une vaste clairière dans laquelle s'est développée une corylaie, bénéficiant de l'ouverture du paysage créée par le déboisement progressif des groupements forestiers proches, en particulier de la chênaie mixte peuplée également de quelques hêtres. Les fougères aigles colonisent également les espaces fraîchement déboisés. On remarque également la présence d'un cours d'eau ou d'une zone humide probablement assez proche du site. Si l'environnement végétal a légèrement évolué entre les deux zones polliniques décrites, le couvert arboré reste encore majoritaire au sommet du comblement de la structure.

Aussi, malgré la fréquentation du site, les taux des taxons cultivés et ceux des types polliniques indicateurs d'anthropisation, comme les plantes rudérales, restent faibles (Behre 1981). La communauté semble ainsi toute entière se consacrer à l'activité artisanale, puisqu'aucun indice concernant l'agriculture n'apparaît dans les spectres polliniques enregistrés.

Ce paysage semble ainsi relativement cohérent à ce qui a déjà été observé en Mayenne, où, au cours de l'âge du Fer, la pression croissante humaine et le développement des proto-industries jouent un rôle majeur dans la destruction du couvert forestier (Naveau 1998, Visset *et alii* 2005).

4.3. Étude anthracologique

Loïc Gaudin

4.3.1. Introduction

L'étude anthracologique présente dans ce rapport porte sur une sélection de prélèvements effectués au sein de dix bas fourneaux, réalisés par les archéologues et présentant à priori des traces de charbons. Le tamisage a été effectué par la société Arché-ostrakon.

Les observations microscopiques ont été réalisées au sein du laboratoire ARKEOMAP (Loupe binoculaire x10 à x60 et Microscope à x100). Les traitements numériques et l'élaboration du rapport ont été réalisés au sein de la structure ARKEOMAP (ALKANTE). Les analyses d'images nécessaires pour réaliser les mesures de calibrations (estimations des diamètres des arbres) ont été réalisées au sein du laboratoire de l'UMR 6566 « CReAAH ».

Cette étude anthracologique prend place dans une étude paléoenvironnementale pluridisciplinaire puisque des prélèvements ont aussi été réalisés en vue d'études carpologiques. L'étude des macrorestes végétaux carbonisés présentée dans ce rapport renseignera à terme sur la nature des essences utilisées, sur leur provenance biotopique, mais aussi potentiellement sur des choix techniques.

4.3.2. Inventaire et origine des prélèvements

Les restes anthracologiques proviennent d'un inventaire de 17 prélèvements correspondant aux dix bas fourneaux. Les lots sont les suivants : PR.033, 035, 036, 037, 038, 039, 040, 041, 042, 043, 051, 053, 056, 067, 068, 069 et 080. L'ensemble des lots anthracologiques a été observé (**Figure 32**).

Devant les effectifs importants de charbons de certains lots et compte tenu de l'enveloppe allouée, il fut parfois décidé d'étudier une sélection représentative de charbons soit environ 50 charbons par structure.

Une faible diversité taxonomique (moins de 10) a été constatée pour l'ensemble des lots anthracologiques. Il n'a donc pas été possible de procéder au calcul des courbes « effort-rendement » qui auraient permis d'estimer un effectif d'échantillonnage optimal (Chabal 1997 ; Chabal *et alii* 1999).

Figure 32 - Listes des lots étudiés provenant des 10 bas fourneaux fouillés. Un total de 550 charbons a été étudié

Fait	US	N° prélèv.	Description	Nb charbons
F.104	US.294	PR.042	Niveau de scorie	10
	US.295	PR.043	Niveau charbonneux	42
F.105	US.330	PR.051	Niveau charbonneux	30
	US.330	PR.080	Niveau charbonneux	30
F.106	US.345	PR.053	Niveau de scorie	32
	US.351	PR.056	Niveau charbonneux	30
F.437	US.279	PR.035	Niveau charbonneux	52
F.438	US.278	PR.038	Niveau de scorie	10
	US.278	PR.039	Niveau de scorie	23
	US.290	PR.040	Niveau charbonneux	10
	US.290	PR.041	Niveau charbonneux	22
F.439	US.288	PR.033	Niveau charbonneux	48
F.449	US.282	PR.036	Niveau de scorie	23
	US.283	PR.037	Niveau charbonneux	32
F.521	US.403	PR.068	Niveau charbonneux	51
F.522	US.401	PR.067	Niveau charbonneux	56
F.523	US.398	PR.069	Niveau charbonneux	53

4.3.3. Bref aperçu du principe de l'étude anthracologique, éléments d'interprétation

4.3.3.1. Méthodologie

Chaque ligneux produit un bois particulier, spécifique et héréditaire, présentant une organisation particulière de ses tissus. La structure du bois s'étudie dans les trois plans anatomiques (Marguerie, Hunot, 1992) :

- plan transversal ;
- plan longitudinal radial ;
- plan longitudinal tangentiel.

Sur les charbons de bois, des cassures fraîches sont faites à la main et au scalpel. Celles-ci sont directement observées sous microscope optique à réflexion, voire au microscope électronique. Cette technique d'observation présente l'énorme avantage de ne pas «polluer» l'échantillon par une imprégnation en résine de synthèse et le laisse donc tout à fait susceptible d'être daté par radiocarbone après étude anthracologique.

Les charbons que nous pouvons déterminer présentent au minimum des côtés de l'ordre de 2 à 5 mm.

Le genre des ligneux carbonisés (combustion partielle) se détermine à coup sûr et souvent l'espèce. Toutefois, il est délicat, voire impossible, de distinguer spécifiquement les chênes à feuillage caduc. Les variations biotopiques au sein d'une même espèce sont souvent plus importantes que les différences interspécifiques au sein du genre.

Le critère anatomique permettant la distinction entre le chêne et le châtaignier étant la présence ou l'absence de rayons multisériés, il n'a pas toujours été possible dans le cas des plus petits charbons d'obtenir une détermination au niveau du genre. En effet, la présence de rayons multisériés atteste le chêne, en revanche son absence peut aussi bien désigner une fraction de châtaignier qu'une fraction comprise entre deux rayons multisériés de chêne.

De plus, toute une série d'espèces a été réunie dans les Pomoïdées, sous famille des Rosacées. Les espèces suivantes s'y retrouvent: Amélanchier (*Amelanchier ovalis*), Cotonéaster (*Cotoneaster sp.*), Aubépine (*Crataegus sp.*), Néflier (*Mespilus germanica*), Poirier-Pommier (*Pyrus sp.*) et Sorbier-Cormier-Alisier (*Sorbus sp.*).

Nos résultats sont consignés dans des tableaux où les taxons sont rangés par groupement écologique. Nous nous abstenons, dans un essai de reconstitution paléoenvironnementale, de prendre en compte l'aspect quantitatif de nos analyses anthracologiques. Les données phyto-écologiques que nous dégagerons de notre étude reposeront donc uniquement sur les informations écologiques intrinsèques à chaque taxon attesté et sur les groupements végétaux mis en évidence. Il sera cependant fait parfois référence aux données quantitatives (effectifs et masses) afin de souligner dans nos commentaires la dominance affirmée de certains taxons.

Nous complétons la détermination des essences ligneuses par un examen du plan ligneux transversal effectué à plus faible grossissement (loupe binoculaire) (Marguerie 1992a; Marguerie 1992b). Ainsi, il est possible de collecter de précieuses informations sur :

- **L'allure des limites de cernes** (de courbure très faible, intermédiaire ou nettement courbe), pour connaître la section du bois d'origine: troncs ou branches plus ou moins grosses;
- **Le rythme de croissance**: cela correspond au rythme des croissances radiales (ou largeurs de cerne) année après année. Ce rythme peut être perturbé suite à des coupes réalisées sur l'arbre (ex. coupe de baliveaux lors de traitements en taillis), ou suite à des aléas climatiques (ex. années de sécheresse). Les calculs de largeurs moyennes de cernes, nécessitent un rythme régulier;
- **La présence de thylls**: les thylls ou extensions de cellules parenchymateuses vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans le duramen (ou bois de cœur des arbres). En effet, la partie centrale morte d'un tronc se transforme peu à peu. Certains auteurs parlent de «duraminisation». Cette transformation s'accompagne entre autres de sécrétions ou dépôts de gommés et d'excroissances cellulaires appelées thylls obstruant peu à peu les vaisseaux du duramen ne fonctionnant plus. Les thylls se conservent après carbonisation. Leur observation chez les charbons de bois indique que ceux-ci proviennent du duramen et non de l'aubier et reflète l'emploi de bois âgés, si toutefois les thylls ne résultent pas de traumatismes d'origine mécanique, physique ou chimique. Elles sont bien visibles sous un microscope optique car elles sont réfringentes dans les charbons de bois. Elles sont faciles à repérer chez le chêne (Marguerie *et alii* 2010). Ce critère est utilisé pour écarter des charbons du bois de cœur (pour les datations ¹⁴C notamment);
- **La présence ou l'absence d'écorce et/ou de moelle**: sur les charbons portant à la fois de l'écorce et de la moelle, il est possible de mesurer un rayon complet et donc d'estimer précisément le calibre de la tige dont il provient;
- **Le bois de réaction** propre aux branches car résultant de l'action de la pesanteur sur ces éléments non perpendiculaires au sol;

- **Les traces de galeries** laissées par les insectes xylophages. La présence de tels tunnels est plutôt un indicateur de bois morts, mais il existe parfois des bois vivants dont l'aubier peut être logiquement attaqué (Marguerie *et alii* 2010);
- **La largeur moyenne des cernes** figurés sur le charbon pour apprécier les caractères biotopiques (cf. chapitre 3.3 sur les observations macroscopiques);
- **La présence de fentes radiales, de retrait et vitrification** : la présence ou l'absence de fentes radiales de retrait est un indice pour savoir si le bois fut brûlé vert ou sec.

Selon Marguerie *et alii* 2010, la fréquence des fentes radiales de retrait dépend de l'anatomie du bois (densité et largeur des rayons), de la partie de la tige (duramen ou aubier), du taux d'humidité du bois (fentes liées à l'évacuation de l'eau liée) et de la température de carbonisation (Théry-Parisot 2001). Selon Prior et Alvin (1986), la carbonisation du bois saturé d'eau favorise une augmentation substantielle du nombre de fentes de retrait.

La vitrification (ou aspect luisant du charbon) affecte plus souvent des petites pièces de bois. Selon Marguerie *et alii* 2010, elle est la conséquence de conditions spécifiques de combustion ou de taphonomie, voire d'un état particulier du bois avant le passage au feu. Une combustion rapide à haute température peut causer une déformation des tissus, une apparition de fissures et une fusion (Schweingruber 1982).

- **La saison d'abattage** est repérable lorsque le dernier cerne est identifié. Un examen détaillé de ce dernier cerne rend parfois possible la détection du bois initiale (bois de printemps) du bois final (ou bois d'été). L'arrêt brutal de la croissance du bois de printemps permet de situer l'abattage au printemps;
- **Le travail du bois** (traces d'abattage, d'élagage, de façonnage ...).

En dehors des strictes informations environnementales, l'analyse anthracologique a des retombées d'ordre ethnographique. L'identification des restes ligneux renseigne sur le choix et la sélection des essences destinées au bois d'œuvre (charpentes, planchers, huisseries...), à l'artisanat des objets domestiques (emmanchements, récipients, meubles...) et aux structures de combustion. De plus, grâce aux observations dendrologiques, des données peuvent être collectées sur les techniques de travail et de débitage du bois, sur l'âge et les périodes d'abattage des arbres, sur les traditions vernaculaires...

4.3.3.2. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation

L'étude de l'ensemble des prélèvements a permis de déterminer dix taxons anthracologiques. Toutefois, l'association taxonomique est variable d'un lot à l'autre. Les ensembles étudiés sont parfois « mono spécifiques ». De façon générale, un taxon se dégage très nettement, il s'agit du chêne (*Quercus*).

La composition taxonomique des ensembles étudiés doit être interprétée en tenant compte de choix particuliers de combustible. En effet, la pauvreté taxonomique qui est parfois constatée n'est aucunement le reflet d'une formation végétale ligneuse naturelle environnant le site. Néanmoins, en l'absence de véritable association taxonomique, il n'est alors pas possible d'avancer d'interprétation d'ordre paléo-écologique solide.

L'autoécologie des taxons attestés peut cependant apporter quelques éléments d'interprétation :

- **Le chêne** (*Quercus sp.*) à feuilles caduques correspond indifféremment, dans le domaine géographique considéré, aux chênes pédonculés et sessiles. Il s'agit dans les deux cas d'espèces héliophiles pouvant croître dans des **bois clairs**, des **friches** ou des **haies** ;
- **Le hêtre** (*Fagus sp.*) est une espèce de forêt caducifoliée (chênaie – hêtraie) de large amplitude. Il appartient le plus souvent à des **forêts fraîches et mûres**. C'est une essence d'ombre en climat sec et de lumière en climat humide. Il constitue un excellent bois de chauffage et fournit un charbon très estimé ;
- **L'orme** (*Ulmus sp.*) est une espèce héliophile présente dans **les haies, forêts alluviales** et parmi les végétations rudérales. Autrefois communes partout en plaine, les populations ont été fortement décimées par la graphiose au début du XX^e siècle ;
- **Le noisetier** (*Corylus sp.*), ainsi que le **bouleau** (*Betula sp.*) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre se rencontrant aussi bien en **lisières de forêts caducifoliées**, dans des bois clairs, dans des **landes** ou **friches**. Il faut noter que le bouleau s'adapte à tous les substrats, tant d'un point de vue hydrique qu'en terme de pH. Aussi, on trouve potentiellement le bouleau dans la plupart des écosystèmes, même s'il reste avant tout un arbre pionnier par excellence. Le noisetier est un bon combustible, il dégage beaucoup de chaleur et dure longtemps au feu (Rameau *et alii* 1989) ;
- **Le saule** (*Salix sp.*) et l'**aulne** (*Alnus sp.*) sont des essences vivant dans des contextes humides tels que les bordures de rivières, les berges des lacs et zones alluviales. Le **bouleau** (*Betula sp.*) vient souvent accompagné ces deux taxons ;
- **Les Pomoidées** (ex. aubépine, poirier, néflier) et **Prunelliers** (*Prunus sp.*) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre se rencontrant aussi bien en **lisière de bois**, dans des **bois clairs**, des **landes** ou en **forêts caducifoliées ouvertes**. Il n'est pas rares des les retrouver associés aux **Genistae**. Ce sont de bons combustibles (Rameau *et alii* 1989) ;
- **Les Genistae**, famille regroupant notamment le genêt (*Cytisus sp.*) et les ajoncs (*Ulex sp.*) sont des essences héliophiles voire de demi-ombre se rencontrant surtout dans des landes arbustives (ou « landes fourrés ») et les friches. On peut retrouver aussi ces taxons en **lisières de forêts caducifoliées**, dans des **bois clairs**, dans **des haies**. Les associations de landes arbustives se retrouvent souvent dans des secteurs en cours de recolonisation végétale suite par exemple à une levée de pression des activités humaines (ex. terres cultivées abandonnées, espaces défrichés puis abandonnés..).

4.3.3.3. Observation macroscopique du plan ligneux et calibration

- Observations de caractères dendrologiques

Une observation systématique des charbons de bois à faible grossissement a été effectuée en complément de la détermination des essences. Elle a permis de relever un certain nombre de caractères dendrologiques (type de courbure, type de combustion, occurrences de thylle, traces d'insectes...). Néanmoins, une partie des charbons n'ont pu donner lieu à une telle analyse car trop petits, fragmentés ou mal conservés, ils présentaient des plans ligneux alors impossibles à caractériser.

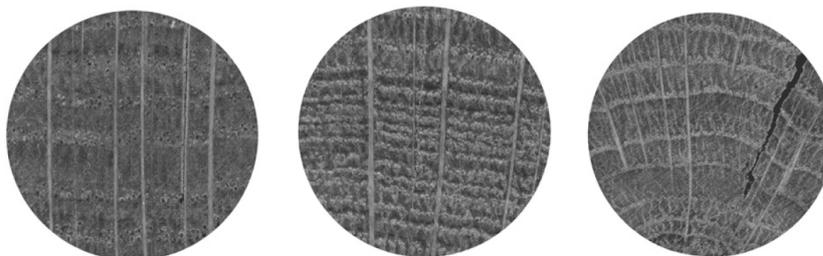
- Mesures des largeurs moyennes de cernes ou croissance radiale

La largeur moyenne des cernes à faible courbure (sur les branches cette mesure n'a pas de sens du fait de leur croissance totalement excentrée) des charbons a également été calculée sur les individus lisibles afin d'apprécier l'homogénéité ou l'hétérogénéité des biotopes d'approvisionnement et de déterminer la nature du peuplement d'où ont été extraits les charbons. L'observation de la largeur des cernes d'accroissement renseigne notamment sur l'état du peuplement végétal au sein duquel le bois a été récolté. En forêt dense, l'intensité d'assimilation et de transpiration des individus est telle que les arbres connaissent une pousse lente et régulière (cernes étroits). Un milieu plus ouvert est, en revanche, riche en bois à croissance rapide (cernes larges).

- Estimation du calibre des arbres, recherche du diamètre des arbres utilisés

La plus ou moins grande courbure des cernes (Cf. les 3 catégories: faible, intermédiaire, forte; **Figure 33**) renseigne sur l'origine du fragment carbonisé. Par exemple, une faible courbure de cerne indiquera une provenance d'une grosse pièce de bois: grosse branche ou tronc. Nous parlons alors de calibre des charbons de bois.

Figure 33 – Les trois catégories des courbures de cernes annuels de croissance: faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007)



Toutefois afin de mieux connaître d'éventuels choix techniques, nous avons cherché à mieux qualifier le calibre des bois utilisés. Pour cela nous avons utilisé la technique dite de «calibration» (Dufraisse 2011). Cette approche permet de mesurer les calibres minimums à partir de l'angle que forment les rayons ligneux entre eux. Il est ensuite possible de les répartir dans chacune des classes de calibres de façon à mieux appréhender les calibres réellement utilisés.

La mesure des calibres s'effectue à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image. Une loupe bino-culaire équipée d'une caméra et couplée à un ordinateur permet la capture de l'image du charbon à mesurer. Les grossissements 7x à 12,5x ont été utilisés.

Selon N. Marcoux (2009), la capture est effectuée sur la partie la plus externe du charbon de façon à estimer au mieux son calibre. Deux droites sont dessinées: d1 et d2 (**Figure 34**), chacune se superposant à un rayon ligneux. Si la marge extérieure du charbon suit la courbure des cernes, une droite d est tracée entre les points de croisement des droites d1 et d2 et la bordure du charbon. La distance d et l'angle α formé par les deux droites d1 et d2 sont les données utilisées dans le calcul trigonométrique basé sur le sinus.

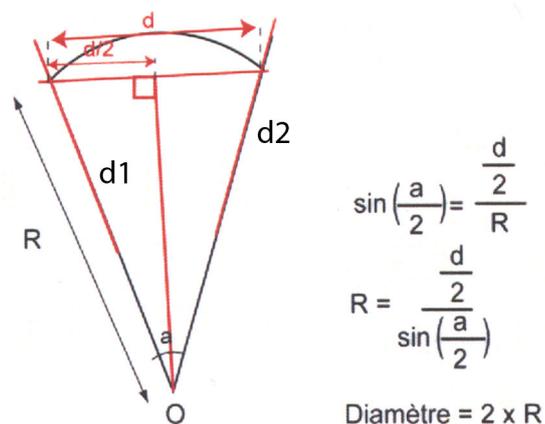


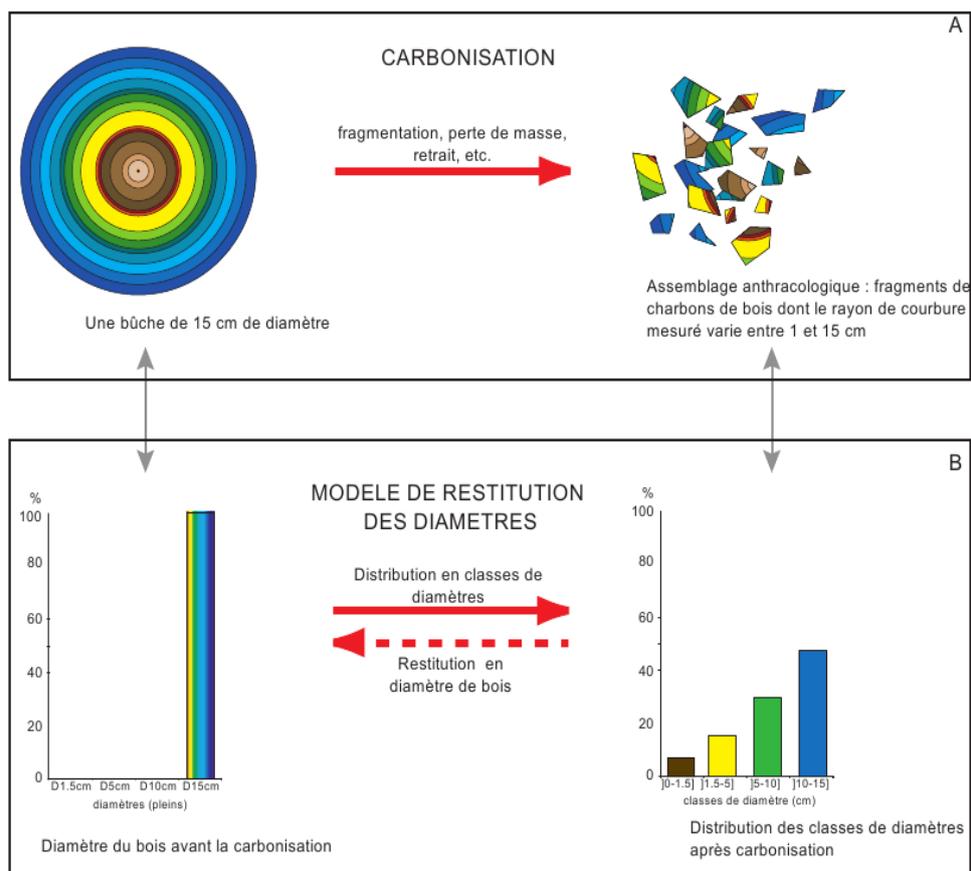
Figure 34 - calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis 2007)

Dans ces exemples, il est préconisé d'utiliser la marge extérieure du charbon de bois de façon à estimer au mieux son calibre. Il s'avère parfois que dans cette partie, les rayons ligneux présentent une déviation liée vraisemblablement à une déformation du charbon. Dans ce cas, il est plus judicieux d'effectuer les mesures dans une partie saine du charbon et d'ajouter ensuite au rayon la distance entre le lieu de ces mesures et la marge externe du charbon.

Il est important de noter que les expérimentations ayant pour but de vérifier la méthode de mesures et de répartition des calibres ont montré que les calibres les plus gros sont sous-représentés dans les résultats (Paradis 2007), d'une part parce que les parties périphériques des bûches sont davantage consommées, diminuant l'effectif des restes carbonisés de ces calibres, et d'autre part parce que le bois se rétracte au moment de la combustion, diminuant d'autant le diamètre.

Par la suite, c'est la fréquence des effectifs des rayons obtenus qui va permettre d'estimer le rayon des arbres utilisés. En toute logique, les charbons les plus à l'extérieur (et donc avec de plus fort rayon) sont aussi les plus nombreux (**Figure 35**). Le rayon de l'arbre pourra être estimé en prenant la classe de diamètre maximale.

Figure 35 - Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (d'après Dufraisse 2011)



Les classes des calibres mesurés ont été définies de façon à permettre un découpage correspondant aux calibres utilisés par les forestiers (**Figure 36**). Les mesures de calibrations ont été réalisées sur des lots qui présentaient des tailles assez importantes pour pouvoir faire l'objet de mesures à savoir des lots des bas fourneaux F.104 et F.438.

Figure 36 - Classes de diamètre, circonférences et catégories de calibre correspondantes utilisées par les forestiers actuels

Classes de diamètre (cm)	Circonférence (cm)	Catégorie
0-2,5	0-55	perches
2,5-7,5		
7,5-12,5		
12,5-17,5		
17,5-22,5	55-86	petit bois
22,5-27,5		
27,5-32,5	86-151	bois moyen
32,5-37,5		

4.3.4. Résultats d'analyse

4.3.4.1. Le bas fourneau F.104 (PR.042 et PR.043)

52 charbons ont été observés pour le bas fourneau F.104. Seul le chêne a été identifié. Il s'agit pour la plupart des charbons, d'éléments de bois de cœur (présence de thylles fréquente).

Même si les deux prélèvements appartiennent à des US différentes (le prélèvement PR.042 correspond à l'US.294 située au dessus de l'US.295 du prélèvement PR.043), nous n'avons

pas constaté de différences majeures entre les deux prélèvements tant sur le plan de la composition taxonomique que sur le plan des critères dendrologiques. Seuls quelques éléments de petits calibres, repérés dans l'US inférieure et non présents en sommet de stratigraphie semblent marquer une légère différence (**Figure 37**).

En ce qui concerne le type de combustion, beaucoup de charbons ont montré des aspects « fendus/luisants » et dans une moindre mesure « durs/luisants ». Ces aspects sont la conséquence d'une combustion en milieu anaérobie (conditions réductrices), typiques des conditions de combustion du bas fourneau (milieu confiné et hautes températures). Nous avons aussi constaté quelques charbons présentant de nombreuses fentes de retrait ce qui pourrait caractériser la combustion de bois « verts » (**Figure 37**).

45 charbons ont pu faire l'objet de mesures de largeurs de cernes (les croissances apparaissent régulières) (**Figure 38 ; Figure 39**). La moyenne de croissance du prélèvement PR.042 (0,80mm/an) est un peu plus faible que celle du prélèvement PR.043 (1,11mm/an). Au regard des écart-types, cette différence n'apparaît cependant pas significative. La moyenne obtenue pour l'ensemble de F.104 est de 1,06mm/an, ce qui correspond à une croissance radiale faible voire très faible. On peut supposer que les bois prélevés ont poussé dans des contextes de compétition vis à vis des ressources importantes, peut être une forêt dense.

Une grande partie des charbons observés présentaient des courbures faibles ce qui tendrait à décrire des bois plutôt de « fort calibre ». Quelques éléments ont montré des courbures importantes ou intermédiaires, typiques de bois de brindilles. Ces bois de petits calibres, relativement rares dans l'ensemble de la structure, ont pu servir de bois d'allumage.

Les mesures de calibre ont pu être effectuées sur 30 charbons de chêne observés (ce qui correspond en réalité à environ 90 mesures car 3 mesures sont généralement effectuées sur chaque charbon). Les données brutes d'effectifs (**Figure 41**) montrent que 50% des charbons se regroupent dans la classe de diamètre 5 - 10 cm. Plus de la moitié des charbons montrent un diamètre en deçà de 10 cm.

Selon Marcoux (2009), les calibres minimums mesurés sur chacun des charbons indiquent leur position horizontale dans le tronc, du cœur (petits calibres) à l'extérieur (gros calibres). Au moment de leurs formations, qui ne sont pas forcément synchrones, les bois d'une même catégorie sont tous au même stade de croissance, soit de « perches », de petit bois ou de bois moyen. La croissance radiale des bois aux différentes étapes de leur développement peut être estimée, ce qui donne des indications sur le type de peuplement dont ils sont issus, et permet d'estimer l'âge moyen d'abattage des arbres. Il apparaît (**Figure 42**) que les bois au stade de « perches » ont les croissances radiales les plus élevées ; elles sont pour la majorité au-dessus de 1,25 mm/an. En revanche, les stades petit bois et bois moyen, certes peu représentés, ont des largeurs de cerne principalement au-dessous de 1,25 mm.

Au regard de la distribution des effectifs de diamètres (**Figure 40**), nous pouvons discerner un premier ensemble de 20 mm à 60 mm, puis un second de 60 à 110 mm et un ensemble dont les diamètres varient autour de 130 à 150 mm suivis de diamètres épars jusqu'à environ 300 mm. On peut supposer que les charbons proviennent d'arbres de diamètres minimum d'environ 6 cm, 10 cm, 15 cm, 30 cm et probablement un arbre d'environ 44 cm. À noter que la mesure de 44 cm est à considérer avec précaution, car les mesures au delà de 20 cm perdent en précision (Dufraisse 2011).

Au final, les faibles croissances radiales obtenues (moyenne d'environ 1mm/an), nous invitent plutôt à penser que les bois ont été extraits d'un peuplement de type futaie. En

effet, dans le cas de taillis nous aurions constaté des croissances plus dynamiques et une répartition des largeurs de cernes plus hétérogènes liées aux alternances des coupes des baliveaux (on ne constate qu'un écart-type de 0,4mm).

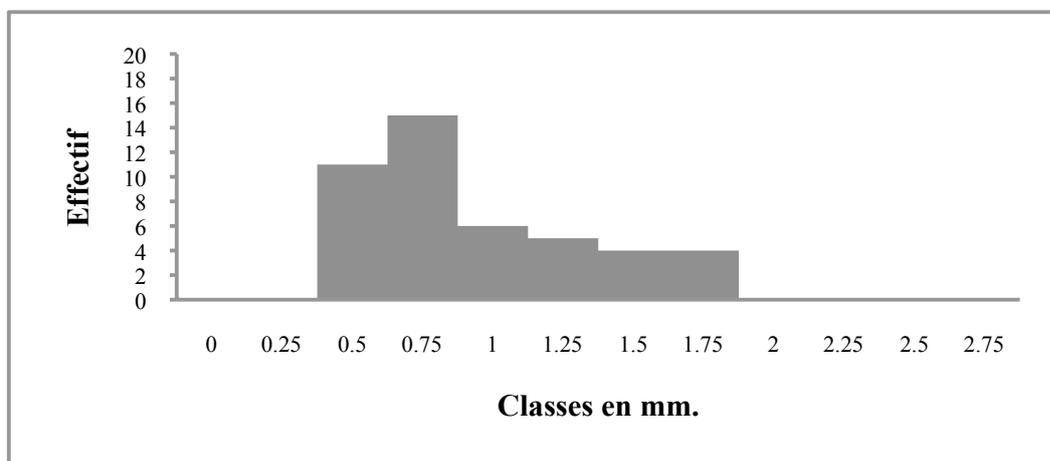
N° préél.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Interméd.	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
PR.042	<i>Quercus sp.</i>	10	9	0	0	8	0	0	0	0	8	
PR.043	<i>Quercus sp.</i>	42	34	1	1	35	0	2	2	9	26	1
Total	<i>Quercus sp.</i>	52	43	1	1	43	0	2	2	9	34	1

Figure 37 - Bas fourneau F.104 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

Figure 38 – Bas fourneau F.104 : tableau synthétique de mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

N° préél.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.042	<i>Quercus sp.</i>	9	29	0,83	0,4	0,6	1,86
PR.043	<i>Quercus sp.</i>	36	140	1,11	0,38	0,53	1,97
Total	<i>Quercus sp.</i>	45	169	1,06	0,39	0,53	1,97

Figure 39 - Bas fourneau F.104 : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible



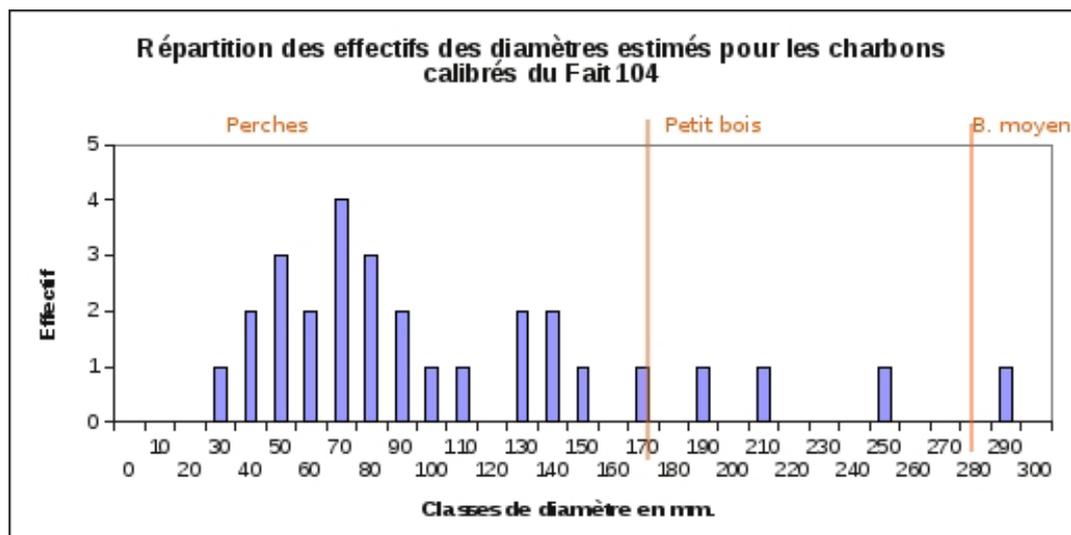


Figure 40 - Bas fourneau F.104 : histogrammes des classes de diamètres estimés par calibration (PR.043)

Classes de diamètres (mm)	Effectifs	%
0-2	0	0
2-5	3	10
5-10	15	50
10-15	6	20
15-20	2	6,7
20-25	1	3,3
25-30	2	6,7
30-35	0	0
35-50	1	3,3

Figure 41 - Bas fourneau F.104 : effectifs de charbons par classe de diamètre, données brutes

Mise en relation des estimations de diamètres et de largeurs de cerne pour chaque charbon

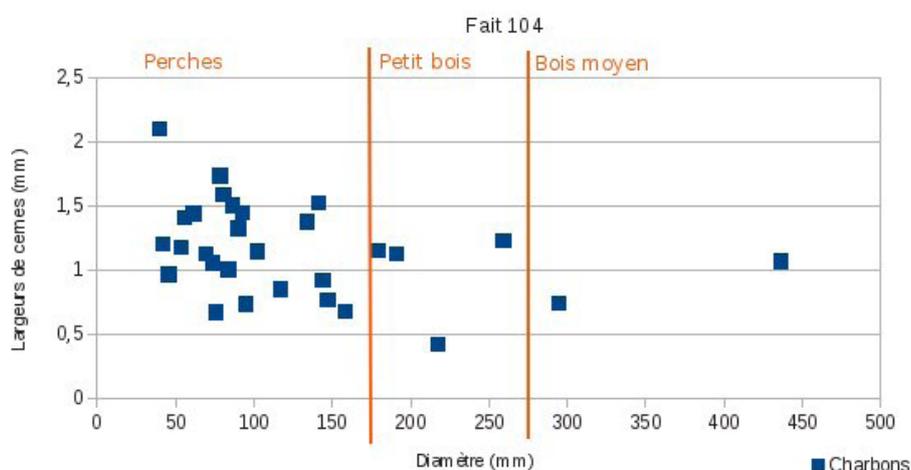


Figure 42 - Bas fourneau F.104 : répartition des largeurs de cerne en fonction des calibres de bois

4.3.4.2. Le bas fourneau F.105 (PR.051 et PR.080)

Deux taxons ont été identifiés parmi les deux prélèvements de cette structure. Il s'agit du chêne et des Pomoïdées. Nous ne constatons pas de différence notable entre les compositions et mesures dendrologiques observées pour les deux prélèvements (**Figure 43**).

Les Pomoïdées observés sont des bois de faibles calibres, probablement des brindilles ou de petites branches. Le bois de chêne est en revanche constitué pratiquement que par du bois de fort calibre (44 attestations / 49) et notamment du bois de cœur (présence de thylles dans 32 cas sur /49). On peut supposer dans le cas de ce bas fourneau une utilisation du bois de Pomoïdée, voire quelques brindilles de chêne pour la phase d'allumage, et une utilisation de bois de chêne de gros calibres pour la phase d'entretien de la combustion.

En ce qui concerne la combustion, nous constatons des aspects « fendus/luisants » dans un certain nombre de cas (7/49) mais c'est surtout la fréquence de fentes de retrait qui domine (27cas / 49). Ce caractère est typique de combustions de bois humides et/ou à l'état « vert ».

Figure 43 – Bas fourneau F.105 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

L'étude des largeurs de cernes montre une moyenne identique pour les deux prélèvements PR.051 et PR.080, soit une croissance radiale moyenne de 1,45 mm par an (**Figure 44 à 47**). Ce résultat est synonyme de conditions de croissance difficiles probablement une forêt dense.

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu/ Luisant		
PR.051	<i>Pomoïdée</i>	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	24	23	0	0	20	1	12	0	1	16	0
PR.080	Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pomoïdée</i>	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	25	21	1	0	21	0	15	0	6	16	0
Total	Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pomoïdée</i>	10	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	49	44	1	0	41	1	27	0	7	32	0

Figure 44 – Bas fourneau F.105 : tableau synthétique de mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.051	<i>Quercus sp.</i>	23	92	1,45	0,96	0,35	3,64
PR.080	<i>Quercus sp.</i>	22	100	1.45	0.56	0.82	2.71
Total	<i>Quercus sp.</i>	45	192	1.45	0.78	0.35	3.64

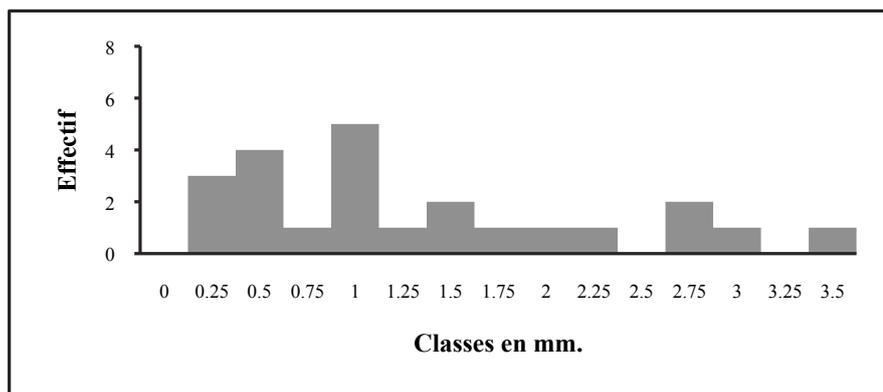


Figure 45 – Bas fourneau F.105 (PR.051) : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

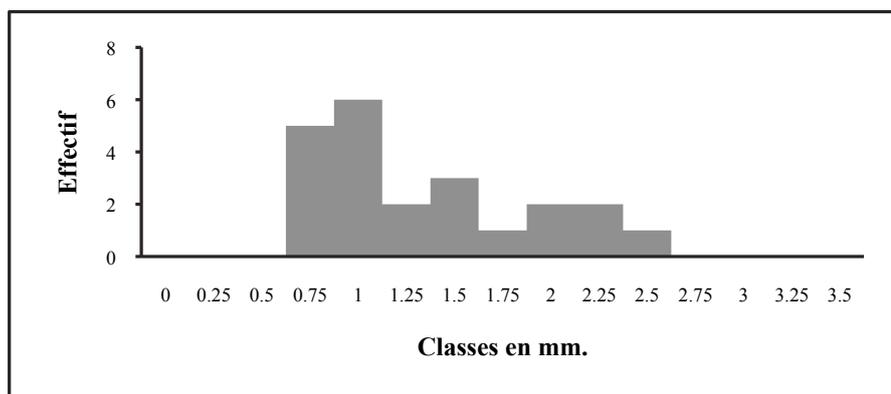


Figure 46 – Bas fourneau F.105 (PR.080) : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

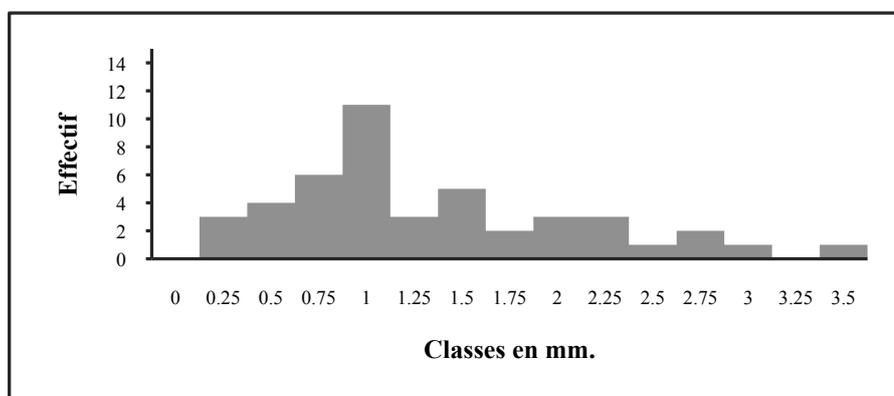


Figure 47 – Bas fourneau F.105 (total) : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

4.3.4.3. Le bas fourneau F.106 (PR.053 et PR.056)

53 charbons répartis en deux prélèvements ont été étudiés dans ce bas fourneau (**Figure 48**). Nous avons constaté de légères différences de composition (présence de Pomoidées dans le prélèvement PR.056) et une croissance radiale de 1,91mm/an pour le prélèvement PR.056 contre 1,24mm/an pour le prélèvement PR.053.

La distribution des charbons selon les largeurs de cernes montre aussi une différence entre les deux prélèvements (**Figure 49**). La distribution des largeurs de cernes est plutôt centrée autour de 0,5 à 0,75 mm/an, avec un pic de fréquence à 0,5 mm/an pour le prélèvement PR.053 alors que la répartition est plus hétérogène pour le prélèvement PR.056, avec des charbons montrant des largeurs de cernes de 2,5 à 4,75 mm/an.

Il y a là probablement une différence d’approvisionnement, le prélèvement PR.056 (US.351) correspondant à une couche de fond du bas fourneau, alors que le lot PR.053 (US.345) a été prélevé dans une couche supérieure.

Les autres critères (occurrence des thylls, répartitions des aspects liés à la combustion) ne laissent en revanche pas apparaître de grosses différences.

Trois taxons ont été identifiés dans l’étude du bas fourneau F.106: il s’agit du noisetier, des Pomoïdées et du chêne (**Figure 48**).

Les occurrences du noisetier et des bois de Pomoïdées correspondent à des ramassages dans des milieux clairs, telles que les lisières forestières, les haies. Plusieurs charbons de Pomoïdées présentaient des courbures fortes, synonymes de bois de petits calibres. Ces deux essences sont réputées comme étant de bons combustibles (selon Rameau *et alii* 1989, le noisetier génère une forte chaleur pendant une longue durée) et ont probablement servi de « bois d’allumage » au bas fourneau.

Les charbons de chêne correspondent quant à eux à du bois de fort calibre (41/53 charbons présentent une courbure faible), provenant pour l’essentiel de bois de cœur (la fréquence de thylls est importante).

En ce qui concerne la combustion nous constatons à la fois des charbons d’aspects fendus (10/53), fendus-luisants (9/53), dur-luisants (15/53). Ces traits sont caractéristiques d’une combustion de type anaérobie (typique des fourneaux), mais aussi probablement d’une combustion de bois « verts ».

L’étude de la croissance radiale des bois de chêne montre des résultats hétérogènes. Nous constatons pour le prélèvement PR.053 une moyenne de 1,24 mm/an avec un écart-type de 0,71 mm/an (**Figure 50**). Il y a en fait un charbon montrant une valeur de 3,5 mm/an qui produit cet écart. En écartant cet élément nous obtiendrions une répartition relativement homogène (unimodale) autour de 1 à 1,25 mm/an. En bref, ces résultats vont dans le sens d’une seule aire de ramassage située dans une chênaie plutôt dense pour le prélèvement PR.053.

Les résultats de largeurs de cernes du prélèvement PR.056 sont étalés entre 0,25 mm/an et 4,75mm (**Figure 51**), ce qui tendrait à décrire des prélèvements d’origines (branches, troncs) et/ou de provenances diverses (lisières, forêts, haies), ce que la présence de noisetiers et de Pomoïdées conforte.

En résumé, les deux couches charbonneuses du bas fourneau F.106 semblent correspondre à deux approvisionnements différents. Les éléments du prélèvement PR.056, retrouvés en fond de fourneau, se composent de charbons provenant de bois d’origines diverses tant en termes de compositions taxonomiques (noisetiers, Pomoïdées, chênes) qu’en termes de croissances radiales (synonymes d’éléments de branches, troncs, types de peuplements d’origines différentes). Les bois de la couche supérieure (prélèvement PR.053) sont constitués essentiellement d’éléments de chêne aux traits plus homogènes, en provenance d’une forêt dense ou tout du moins caractérisée par une forte compétition inter-individuelle vis à vis des ressources.

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu/ Luisant		
PR.053	Corylus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	31	27	0	0	18	1	9	4	5	26	0
PR.056	Corylus sp.	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Pomoïdée	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	22	14	0	0	9	0	1	11	4	10	0
Total	<i>Corylus sp.</i>	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Pomoïdée</i>	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	53	41	0	0	27	1	10	15	9	36	0

Figure 48 – Bas fourneau F.106 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.053	<i>Quercus sp.</i>	27	77	1.24	0.71	0.47	3.60
PR.056	<i>Quercus sp.</i>	14	27	1.91	1.37	0.33	5.00
Total	<i>Quercus sp.</i>	41	104	1.47	1.02	0.33	5.00

Figure 49 – Bas fourneau F.106 : tableau synthétique de mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

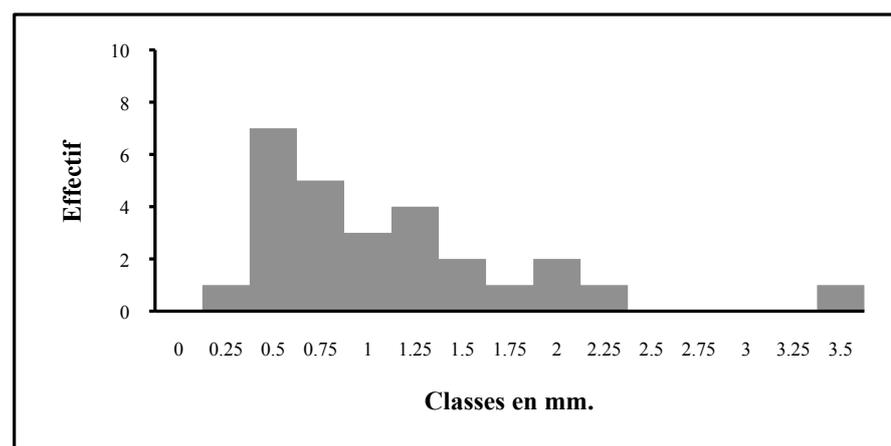


Figure 50 – Bas fourneau F.106 (PR.053) : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

Figure 51 – Bas fourneau F.106 (PR.056) : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

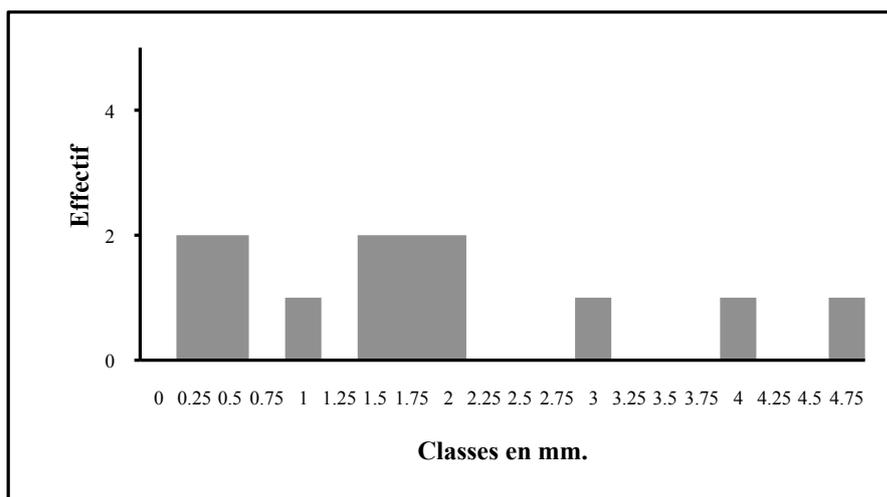
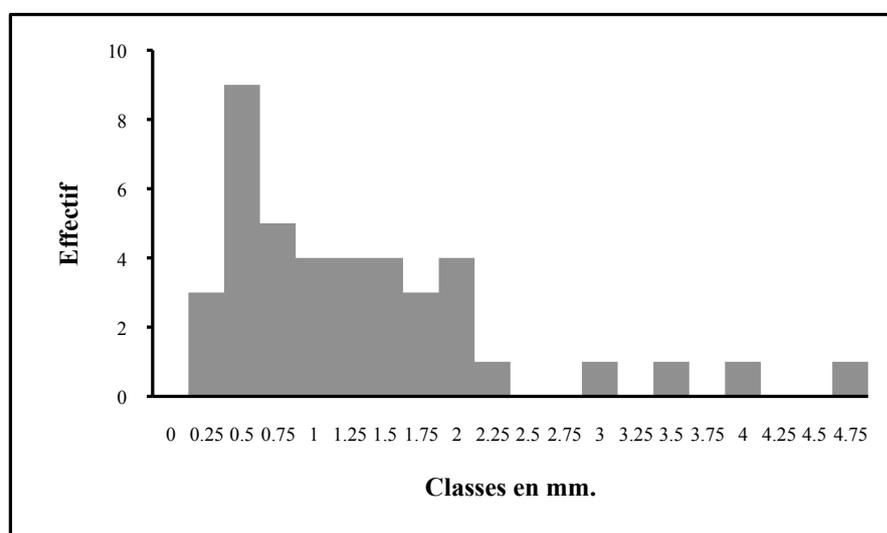


Figure 52 – Bas fourneau F.106 (total) : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible



4.3.4.4. Le bas fourneau F.437 (PR.035)

L'ensemble des 52 charbons étudiés pour ce bas fourneau provient d'un seul prélèvement (PR.035).

L'ensemble est dominé par le chêne, mais une autre essence d'arbre a été détectée (**Figure 53**) : il s'agit de l'orme, essence vivant plutôt dans les stations mésophiles à humides, dans les milieux clairs, clairières, lisières forestières, haies. Il constitue un bois de feu de première qualité (Rameau *et alii* 1989).

Un charbon de *Genistae*, probablement un morceau d'ajonc (*Ulex sp.*) a aussi été détecté. Cette occurrence correspond à un ramassage dans une formation de fourrés telles qu'on peut les trouver auprès des haies, lisières, voire dans les landes-fourrés. Le choix de ce taxon est probablement technique car ce sont des bois de petits calibres (courbure forte) offrant un bon bois d'allumage.

L'ensemble des charbons de chêne provient essentiellement de bois de gros calibres (38 cas / 48). Les aspects des charbons oscillent entre des charbons fendus (15/48) et fendus/luisants (12/48). Ces résultats sont typiques des combustions en conditions réductrices (sans oxygènes) des bas fourneaux. La fréquence assez importante des fentes de retraits caractérise plutôt un approvisionnement en bois « verts ».

L'étude des largeurs (**Figure 54 et 55**) de cernes a permis de calculer une largeur moyenne de 2 mm/an ce qui décrit des conditions de croissances difficiles (probablement un milieu forestier) mais relativement moins concurrentiel que pour les approvisionnements des faits précédents (F.104, F.105 et F.106).

Enfin, l'homogénéité de la répartition des valeurs (distribution unimodale recentrée autour de 1 à 2,5 mm/an avec un écart-type de 0,75) indique une source d'approvisionnement probablement unique.

Figure 53 – Bas fourneau F.437 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu/ Luisant		
PR.035	<i>Quercus sp.</i>	48	38	0	0	29	0	12	3	15	10	0
	<i>Ulex sp.</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ulmus sp.</i>	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.035	<i>Quercus sp.</i>	35	96	2,01	0,75	0,74	3,9

Figure 54 - Bas fourneau F.437 : tableau synthétique de mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible



Figure 55 – Bas fourneau F.437 : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

4.3.4.5. Le bas fourneau F.438 (PR.038, PR.039, PR.040, PR.041)

Les analyses réalisées proviennent de 4 prélèvements issus de 2 couches distinctes. La couche US.290 (prélèvements PR.040 et PR.041) correspond à la couche du fond du fourneau, la couche US.278 à la couche située juste au dessus (prélèvements PR.038 et PR.039) (**Figure 56**).

6 taxons ont été identifiés, il s'agit du chêne (*Quercus sp.*), de l'orme (*Ulmus sp.*), du saule (*Salix sp.*), de l'aune (*Alnus sp.*), du noisetier (*Corylus sp.*), du bouleau (*Betula sp.*).

Le noisetier, le bouleau ainsi que l'orme sont des essences héliophiles. Elles proviennent probablement de formations forestières claires ou forêts dégradées, voire de lisières ou de haies. Le noisetier et le bouleau sont connus pour être des essences pionnières s'adaptant à tous les substrats (Rameau *et alii* 1989). Le saule, l'aune accompagnés potentiellement du

bouleau et de l'orme correspondent davantage à des formations hygrophiles, par exemple de zones alluviales ou de fonds de vallées.

Nous notons quelques différences de compositions taxonomiques entre les lots des deux couches. Le noisetier est spécifique à la couche US.278, alors que l'on trouve l'aulne et le bouleau uniquement dans la couche du fond de fourneau. Du point de vue des mesures de cernes (**Figure 57**), on détecte là aussi une différence puisque l'on a pu calculer une moyenne de 1,42 mm/an pour les charbons de chêne de la couche 278 (prélèvement PR.039), alors que nous obtenons des valeurs de 0,82 mm/an et 0,76 mm/an pour les lots de la couche US.290. Les autres critères, de combustion et de calibre, ne laissent pas apparaître de différences notoires. Les charbons des deux couches correspondent, *a priori*, à deux approvisionnements différents voire une réutilisation.

En ce qui concerne les aspects des charbons, on note à la fois des aspects fendus (7/34), fendus/luisants (9/34) et durs-luisants (1 élément). Ces caractères sont le résultat d'une combustion en contexte anaérobie et probablement de bois encore à l'état « vert » (**Figure 56**).

Le calibre des bois est dominé par du bois de chêne de fort calibre (30/34), les autres taxons (noisetier, bouleau, saule notamment) sont des bois de petits calibres. On peut supposer une utilisation de bois d'allumage pour les taxons de petits calibres, alors que le bois de chêne a été utilisé pour alimenter le feu.

Les mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur les prélèvements PR.039, PR.040 et PR.041. Il n'y avait pas de charbons de chêne dans le prélèvement PR.038. Les croissances radiales calculées sont très proches pour les prélèvements PR.040 et PR.041 (0,82mm/an et 0,76mm/an). Nous obtenons une moyenne de 0,98mm/an pour l'ensemble de la structure, ce qui correspond globalement à une faible croissance radiale. Les bois de chêne dont sont issus les charbons ont connu des conditions de croissances difficiles probablement dans une forêt dense.

Les mesures de calibre ont pu être effectuées sur 34 charbons de chêne observés. Les données brutes d'effectifs (**Figure 61**) montrent que les deux tiers des charbons ont un diamètre inférieur à 15 cm. Le dernier tiers des charbons est essentiellement compris dans la classe de diamètre 15 à 30 cm (« petit bois »).

Afin d'estimer les diamètres des arbres, il faut identifier les ruptures dans le diagramme de classe. On peut discerner trois ensembles de fréquences sur le diagramme de classe : un ensemble allant de 3 à 6 cm, de 7 à 12 cm, de 16 à 18 cm et autour de 22-24 cm. La précision est moindre au delà de 20 cm (Dufraisse 2011). En résumé pour cette structure nous obtenons des diamètres minimum (les pourtour ont pu être détruits) de 6cm, 12cm, 18cm et 24cm. Nous notons une mesure de diamètre 30 cm qui est à considérer avec précaution.

Nous observons comme diamètre maximal des valeurs autour de 12 cm pour le premier ensemble et de 25 cm voire 30 cm pour les diamètres les plus importants. En résumé, les charbons de chêne proviennent probablement d'arbres ou branches d'environ 12 cm et de 25 cm à 30 cm de diamètre.

Il apparaît (**Figure 61**) que les bois au stade « perches » ont des croissances radiales légèrement plus élevées ; elles sont régulièrement au-dessus de 1 mm/an. En revanche, les stades « petit bois » et « bois moyens », certes moins représentés, ne montrent pas de croissances au dessus de 1,25 mm/an.

De façon identique aux mesures de calibration réalisées pour le bas fourneau F.105, on peut interpréter ces résultats comme des croissances typiques de peuplements de type «futaie». Le stade juvénile ou «perches» apparaît plus vigoureux que les stades ultérieurs petit bois et bois moyens. Ce phénomène est probablement lié à la croissance naturellement plus importante au démarrage de l'arbre. On constate ensuite des croissances moindres liées à une compétition «inter-individuelle» qui s'accroît avec l'âge de l'arbre demandant de plus en plus de ressources.

Figure 56 – Bas fourneau F.438 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu/ Luisant		
PR.038	<i>Salix sp.</i>	9	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ulmus sp.</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PR.039	<i>Corylus sp.</i>	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	12	10	0	0	9	0	2	0	5	9	0
	<i>Salix sp.</i>	6	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Ulmus sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PR.040	<i>Betula sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	6	5	0	0	5	0	1	0	2	3	0
	<i>Salix sp.</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PR.041	<i>Alnus sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Betula sp.</i>	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	16	15	0	0	15	0	4	1	2	10	0
	<i>Salix sp.</i>	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Ulmus sp.</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Total	<i>Alnus sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Betula sp.</i>	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Corylus sp.</i>	4	0	0	1	0	0	0	0	0	10	0
	<i>Quercus sp.</i>	34	30	0	0	29	0	7	1	9	22	0
	<i>Salix sp.</i>	19	1	5	6	0	0	0	0	0	0	1
	<i>Ulmus sp.</i>	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.038	<i>Quercus sp.</i>	0	0	0	0	0	0
PR.039	<i>Quercus sp.</i>	10	51	1.42	1.81	0.52	6.51
PR.040	<i>Quercus sp.</i>	5	26	0.82	0.04	0.77	0.86
PR.041	<i>Quercus sp.</i>	16	96	0.76	0.28	0.33	1.55
Total	<i>Quercus sp.</i>	31	173	0.98	1.06	0.33	6.51

Figure 57 – Bas fourneau F.438 : tableau des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

Figure 58 - Bas fourneau F.438 (PR.041) : histogramme de classes synthétiques de mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

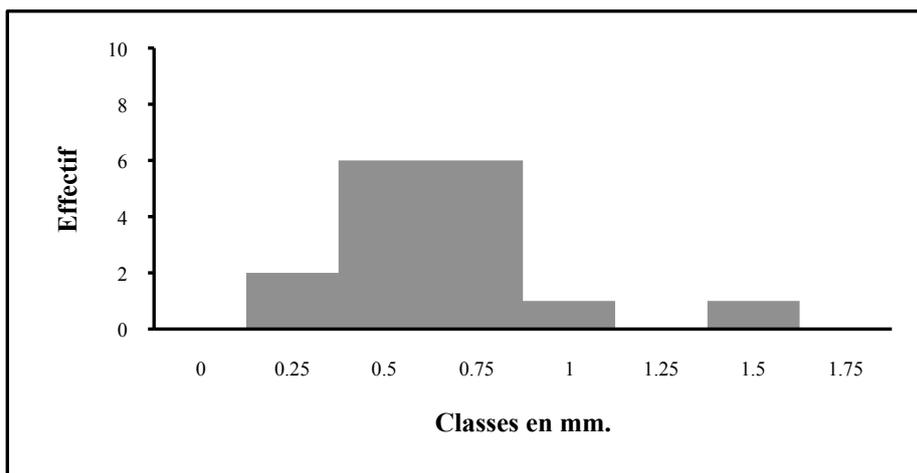


Figure 59 - Bas fourneau F.438 (total) : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

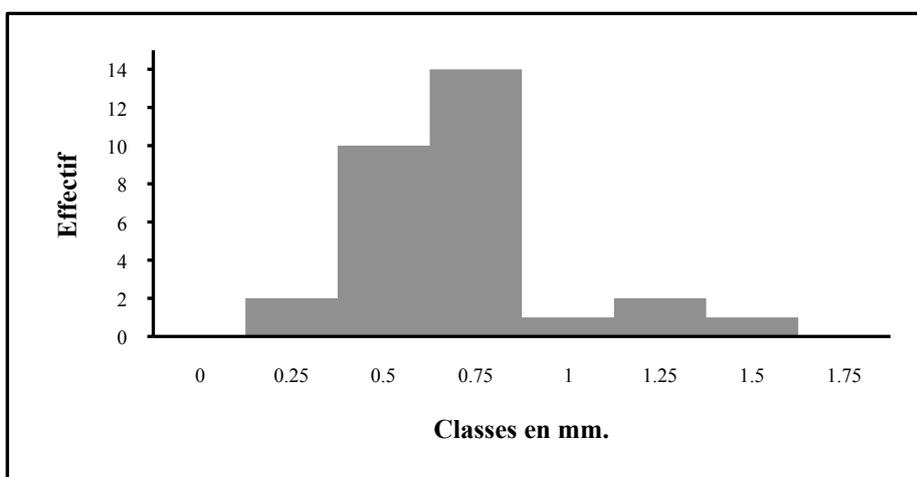
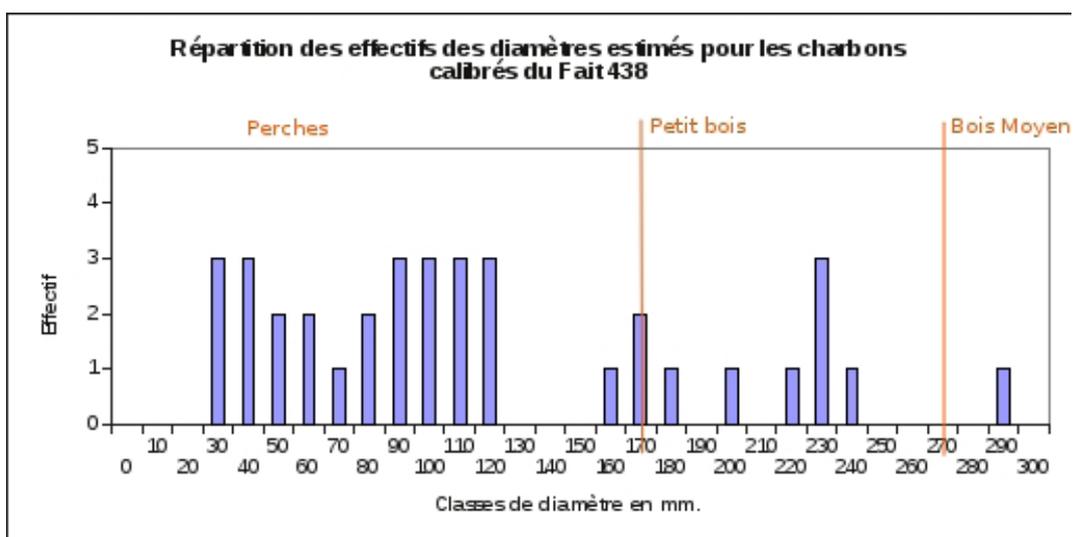


Figure 60 - Bas fourneau F.438 : histogrammes des classes de diamètres estimés par calibration



Classes de diamètres (mm)	Effectif	%
0-2	0	0
2-5	6	16,7
5-10	10	27,8
10-15	9	25
15-20	4	11,1
20-25	6	16,7
25-30	1	2,8
30-35	0	0
35-50	0	0

Figure 61 - Bas fourneau F.438 : effectifs de charbons par classe de diamètre, données brutes

Mise en relation des estimations de diamètres et de largeurs de cernes pour chaque charbon

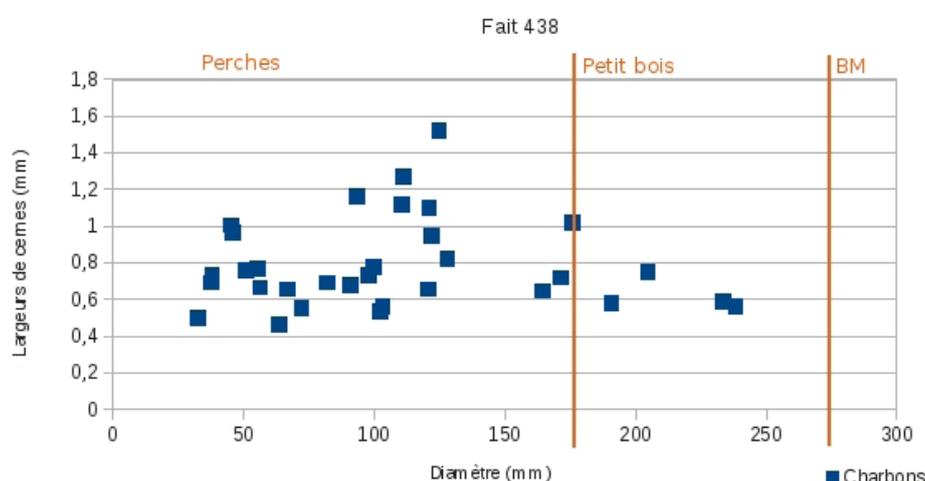


Figure 62 – Bas fourneau F.438 : répartition des largeurs de cernes en fonction des calibres de bois

4.3.4.6. Le bas fourneau F.439 (PR.033)

Six taxons ont été détectés dans le bas fourneau F.439 (**Figure 63**). Les essences de saules (*Salix sp.*), Pomoïdées, bouleaux (*Betula sp.*), noisetiers (*Corylus sp.*), hêtres (*Fagus sp.*) correspondent à des bois de petits calibres (bois d'allumage?), alors que les éléments de chênes (*Quercus sp.*) sont issus de bois de gros calibres (faibles courbures et présence de thylles) qui constituaient probablement le bois d'entretien du feu.

La détection du saule révèle un ramassage dans une zone « humide » ou mésophile (zone alluviale, fond de vallée). Les Pomoïdées, bouleaux, noisetiers, essences héliophiles sont quant à eux révélateurs de ramassages dans des boisements clairs, types « lisières », « haies », « clairières ».

L'observation des charbons de chêne montre des aspects « dur-luisants » (13/36) et fendus-luisants (6/36), effets caractéristiques de combustions « anaérobies » ou réductrices, caractéristiques des bas fourneaux. Quelques charbons (3/36) présentent de nombreuses fentes radiales, tendant à décrire un bois brûlé à l'état « vert ».

En ce qui concerne la croissance radiale, 34 charbons de chêne ont pu faire l'objet de mesures, permettant de calculer une largeur moyenne de 1,24 mm/an. Ce résultat corres-

pond à des conditions de croissances difficiles, probablement une forêt dense ou à forte concurrence inter-individuelle par rapport aux ressources.

On peut remarquer la similarité des contextes de ramassages avec le bas fourneau F.438. Les calibres « forts » pour le chêne, plutôt faible pour les autres essences sont aussi semblables avec F.438. Compte-tenu des écart-types, les croissances radiales moyennes, de 1,24 mm/an pour F. 439 contre 0,98mm/an pour F. 438, apparaissent assez proches aussi. On notera la proximité géographique des deux faits.

Figure 63 – Bas fourneau F.439 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

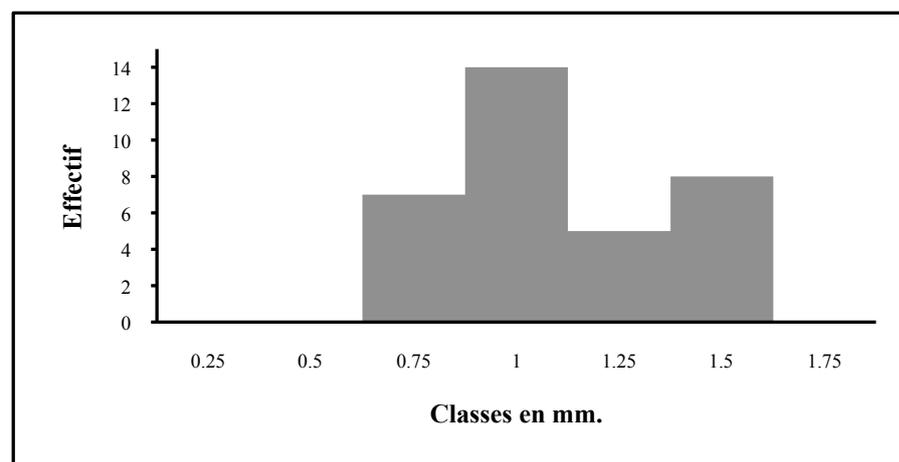
En revanche, le bas fourneau F.437, géographiquement très proche, apparaît différent de par sa composition taxonomique et par la croissance radiale mesurée (2,01mm/an).

N° préł.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu/ Luisant		
PR.033	<i>Betula sp.</i>	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Corylus sp.</i>	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Fagus sp.</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pomoidée</i>	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	36	34	0	0	32	0	3	13	6	14	0
	<i>Salix sp.</i>	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0

Figure 64 – Bas fourneau F.439 : tableau des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

N° préł.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.33	<i>Quercus sp.</i>	33	123	1,24	0,29	0,81	1,73

Figure 65 – Bas fourneau F.439 : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible



4.3.4.7. Le bas fourneau F.449 (PR.036, PR.037)

Deux prélèvements ont été étudiés pour le bas fourneau F.449, mais ils n'ont révélé qu'un seul taxon : il s'agit du chêne (Figure 66). La comparaison des résultats entre les deux lots n'a pas montré de différences majeures du point de vue dendrologique (proportions des aspects, calibres, et largeurs moyennes de cernes similaires).

En ce qui concerne le type de combustion, l'observation des charbons montre surtout des aspects « fendus » (17/42), « fendus-luisants » (7/42) et « durs-luisants » (4/42). Ces constats sont caractéristiques de bois brûlés à l'état « vert » dans des conditions de combustions réductrices typiques des bas fourneaux.

On note aussi de nombreux charbons indéterminés pour cette structure. Ces charbons sont caractérisés par des structures anatomiques « fondues », granuleuses, même si on peut encore reconnaître les grands traits anatomiques du charbons (ex. rayons multisériés, cernes). Ces charbons semblent avoir subi un traitement particulier (charbonnage ?), à moins que ce soit lié à un état particulier du bois avant le passage au feu. Une combustion rapide à haute température peut aussi causer une déformation des tissus et une fusion (Schweingruber 1982), mais dans ce cas le phénomène aurait affecté l'ensemble des charbons de la structure.

Les mesures de largeurs de cernes ont permis de calculer une moyenne de 1,48 mm/an, révélant des conditions de croissances des arbres difficiles. L'histogramme de classe des largeurs de cernes (**Figure 68**), montre une répartition homogène (la distribution est unimodale) indiquant une source d'approvisionnement probablement unique (seul un charbon montre une croissance très écartée).

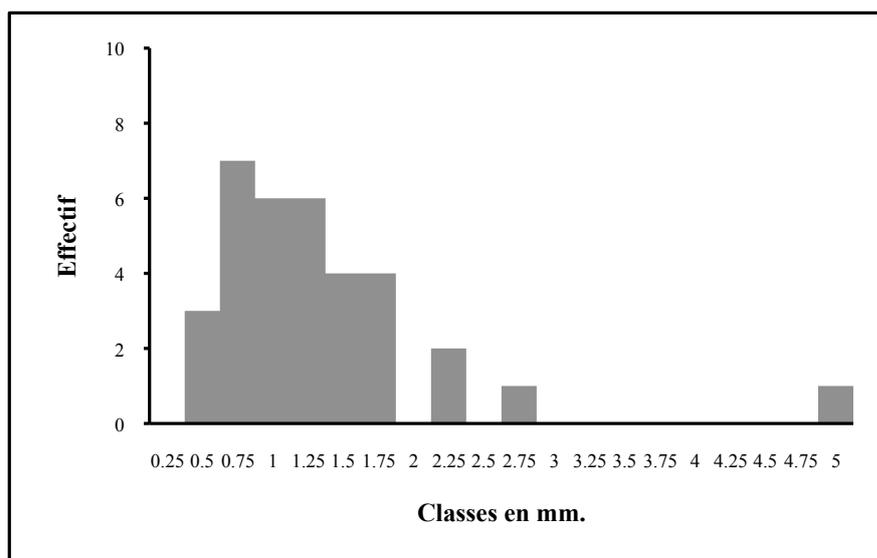
Figure 66 – Bas fourneau F.449 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
PR.036	Indéterminé	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	16	11	0	1	11	1	4	3	6	4	0
PR.037	Indéterminé	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	26	22	0	0	20	2	13	1	1	14	0
Total	Indéterminé	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	42	33	0	1	31	3	17	4	7	18	0

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.36	<i>Quercus sp.</i>	12	33	1,35	0,71	0,66	2,95
PR.37	<i>Quercus sp.</i>	22	76	1,55	0,92	0,58	5,14
Total	<i>Quercus sp.</i>	34	109	1,48	0,85	0,58	5,14

Figure 67 – Bas fourneau F.449 : tableau synthétique de mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

Figure 68 – Bas fourneau F.449 : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible



4.3.4.8. Le bas fourneau F.521 (PR.068)

Ce lot présentait des charbons de quatre taxons : le chêne, le hêtre, les Pomoidées ainsi qu'une occurrence de Saule/Peuplier (**Figure 69**). Ces taxons sont synonymes de ramassages probablement dans une zone humide (présence du Saule/Peuplier), dans une zone de boisements clairs (occurrence de Pomoïdées), et dans une forêt de type chênaie-hêtraie.

De nouveau, les charbons de chêne généralement de forts calibres (15/25 cas accompagnés de l'observation fréquente de thyllés) sont plutôt à attribuer à l'entretien du feu alors que les autres essences, globalement de petits calibres (fortes courbures de cernes des charbons) peuvent être attribués à la phase « d'allumage » du feu.

Les charbons de chêne apparaissent le plus souvent fendus (8/25) et fendus-luisants (7/25). Ces résultats sont caractéristiques de conditions de combustion de bas fourneaux (combustion réductrice). La fréquence des fentes de retrait est synonyme du passage au feu de bois « vert ».

16 charbons ont pu faire l'objet de mesures de largeurs de cernes donnant une moyenne de 0,91 mm/an pour 72 cernes mesurés (**Figure 70 et 71**). Le résultat est plutôt révélateur de conditions de croissance des chênes difficiles, forêts denses, ressources édaphiques insuffisantes? La distribution des largeurs de cernes est homogène la (distribution est unimodale) ce qui laisse penser à un ramassage localisé et unique.

Figure 69 - Bas fourneau F.521 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
PR.068	<i>Fagus sp.</i>	14	1	3	6	2	0	2	0	0	0	0
	Indéterminé	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	<i>Pomoidée</i>	8	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	25	15	2	0	15	0	8	2	7	12	0
	<i>Salix/Populus</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.068	<i>Quercus sp.</i>	16	72	0.91	0.51	0.28	2.37

Figure 70 - Bas fourneau F.521 : tableaux synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

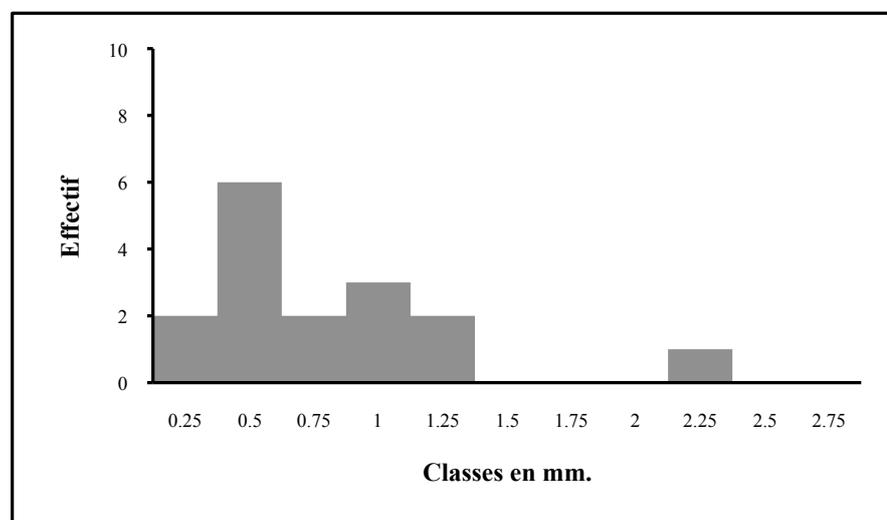


Figure 71 – Bas fourneau F.521 : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

4.3.4.9. Le bas fourneau F.522 (PR.067)

Seulement deux taxons ont été identifiés dans ce fait, il s'agit du chêne et du hêtre (**Figure 72**). Si la provenance des charbons de chêne a pu être attribuée à du bois de gros calibre (fréquence des faibles courbures des cernes: 38/55), le charbon de hêtre n'a pu être bien caractérisé.

Les aspects « fendus-luisants » (22/55) et « fendus » (19/55) des charbons de chêne permettent de caractériser une combustion de type « réductrice », typique des bas fourneaux avec du bois encore « vert ».

Les mesures de largeurs de cernes ont permis de calculer une croissance radiale moyenne de 1,37 mm/an, caractéristique de conditions de croissance difficiles.

En ce qui concerne la répartition des largeurs de cernes, on constate une distribution bimodale avec un premier ensemble, le plus important, réparti entre les classes 0,5mm/an à 1,75 mm/an et un second ensemble moins bien représenté, situé entre les classes 1,75 mm/an à 2,75mm (**Figure 73 et 74**). Il y a probablement eu deux approvisionnements en bois de chêne distincts.

Figure 72 - Bas fourneau F.522 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
PR.067	<i>Fagus sp.</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	55	38	0	0	35	0	19	3	22	11	0

Figure 73 - Bas fourneau F.522 : tableau synthétique des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.067	<i>Quercus sp.</i>	38	129	1.37	0.46	0.76	2.73

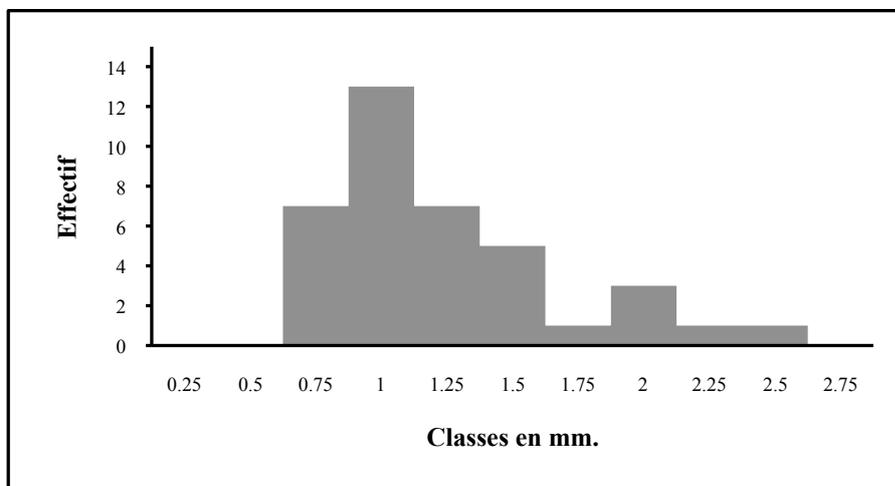


Figure 74 – Bas fourneau F.522 : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

4.3.4.10. Le bas fourneau F.523 (PR.069)

Quatre taxons ont pu être identifiés dans ce fait, il s'agit du chêne (*Quercus sp.*), du hêtre (*Fagus sp.*), du prunellier (*Prunus sp.*) et des Pomoïdées (**Figure 75**). La présence de charbons de Pomoïdées et prunelliers est caractéristique de ramassages dans des formations de boisements clairs, formations arbustives, lisières, haies.

Les charbons de chêne proviennent plutôt de bois de gros calibres car on note fréquemment la présence de thyllés (8 cas /32) et les courbures des cernes sont faibles (21/32). Les autres taxons proviennent davantage de bois de petits calibres. On peut de nouveau interpréter le bois de chêne comme du bois d'entretien du bas fourneau, alors que les autres essences ont surtout permis de fournir du bois de petits calibres, brindilles, petites branches, afin d'allumer le feu.

Les charbons de chêne sont souvent apparus fendus (13/32) ou fendus-luisants (9/32), ce qui caractérise une combustion de bois « vert » dans des conditions réductrices typiques des bas fourneaux.

En ce qui concerne les mesures de largeurs de cernes, nous constatons une croissance radiale moyenne de 1,68 mm/an (**Figure 76 et 77**). Ce résultat laisse paraître des conditions de croissances difficiles, même si la valeur est relativement meilleure que pour la plupart des autres faits.

La distribution des effectifs de charbons selon les classes de largeurs moyennes de cernes est de type bimodale (premier ensemble regroupant les classes 0 à 2 mm/an et un autre ensemble regroupant les classes 2,25 mm/an à 3,5mm), ce qui sous-tend au moins deux provenances de bois de chêne distincts.

N° pré.	Espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu/ Luisant		
PR.069	<i>Fagus sp.</i>	14	5	0	2	0	0	1	0	0	0	0
	Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Pomoidée</i>	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Prunus sp.</i>	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	<i>Quercus sp.</i>	32	21	0	3	19	2	13	1	9	8	0

Figure 75 - Bas fourneau F.523 : liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques

N° pré.	Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
PR.069	<i>Quercus sp.</i>	23	79	1.68	1.11	0.33	3.79

Figure 76 - Bas fourneau F.523 : tableau synthétique des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

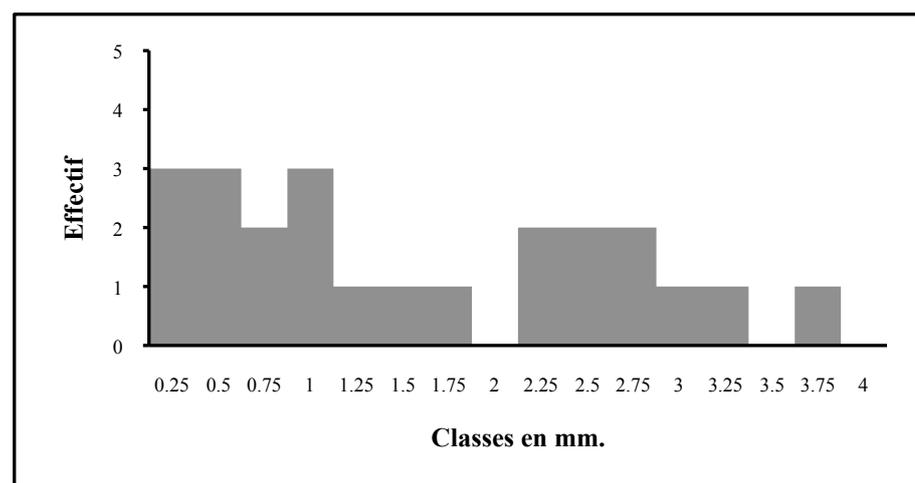


Figure 77 – Bas fourneau F.523 : histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible

4.3.5. Bilan

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation du site sous l'angle des charbons de bois. Environ 550 charbons ont été étudiés pour l'ensemble des dix structures. De plus, deux structures (F.104 et F.438), ont fait l'objet de mesures de calibration (soit environ 60 charbons mesurés).

Dans les pages précédentes, les résultats ont été présentés à l'aide de tableaux, graphiques et des interprétations ont été proposées structure par structure. Un tableau synthétique résume les principaux résultats, par lot et par structure (**Figure 78**).

Ensemble/ fait	Groupement	F.104			F.105			F.106		
		PR.042	PR.043	Total	PR.051	PR.080	Total	PR.053	PR.056	Total
Ens.13	P/A Ass. Chênaie	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	P/A Ass. Lisière	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	P/A Ass. Hygrophile	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Moy. Larg. Cernes	0,83	1,11	1,06	1,45	1,45	1,45	1,24	1,91	1,47
	Ec. type	0,4	0,38	0,39	0,96	0,56	0,78	0,71	1,37	1,02
	Aspect dominant	\	Fendu/ Luisant	Fendu/ Luisant	Fendu	Fendu	Fendu	Fendu/ Luisant	Dur/ luisant	Dur/ luisant

Ensemble/ fait	Groupement	F.437	F.438				F.439	
			PR.038	PR.039	PR.040	PR.041		Total
Ens.14	P/A Ass. Chênaie	1	0	1	1	1	1	1
	P/A Ass. Lisière	1	0	1	0	0	1	1
	P/A Ass. Hygrophile	0	1	1	1	1	1	1
	Moy. Larg. Cernes	2,01	\	1,42	0,82	0,76	0,98	1,24
	Ec. type	0,75	\	1,81	0,04	0,28	1,06	0,29
	Aspect dominant	Fendu/ Luisant	\	Fendu/ Luisant	Fendu/ Luisant	Fendu	Fendu/ Luisant	Dur/ Luisant

Ensemble/ fait	Groupement	F.521	F.522	F.523
Ens.15	P/A Ass. Chênaie	1	1	1
	P/A Ass. Lisière	1	0	1
	P/A Ass. Hygrophile	1	0	0
	Moy. Larg. Cernes	0,91	1,37	1,68
	Ec. type	0,51	0,46	1,11
	Aspect dominant	Fendu	Fendu/ Luisant	Fendu

Ensemble/ fait	Groupement	F.449			
		PR.036	PR.037	Total	
F.449	P/A Ass. Chênaie	1	1	1	
	P/A Ass. Lisière	0	0	0	
	P/A Ass. Hygrophile	0	0	0	
	Moy. Larg. Cernes	1,35	1,55	1,48	« Chênaie » = Quercus sp., Fagus sp. Ulmus sp.
	Ec. type	0,71	0,92	0,85	« Lisière » = Pomoïdées, Genistae, Prunus sp., Betula sp., Corylus sp.
	Aspect dominant	Fendu/ Luisant	Fendu	Fendu	« Hygrophile » = Alnus sp., Salix sp., Ulmus sp., Betula sp., voire Corylus sp.

Figure 78 - Tableaux synthétiques des principaux résultats obtenus pour les bas fourneaux

L'anthracologie offre des résultats à la fois d'ordre naturel et technique. Pour cette raison, l'interprétation ci-dessous s'articulera autour de deux grandes parties : une interprétation d'ordre environnemental et une interprétation d'ordre technique.

4.3.5.1. Informations d'ordre environnemental – paléopaysages

Les taxons les plus utilisés sont par ordre d'importance le chêne (omniprésent), les Pomoïdées (présents dans 5 faits/10), suivent le hêtre (4 faits/10), le noisetier, le saule (3 faits /10) et dans une moindre mesure le bouleau, l'orme (2 faits / 10), l'aulne, le prunellier, l'ajonc.

La présence de ces différents taxons a permis d'identifier potentiellement les associations écologiques suivantes :

- **Les boisements hygrophiles** (*Alnus sp.*, *Salix sp.*, *Ulmus sp.*, *Betula sp.*, voire *Corylus sp.*) détectés dans les faits 438, 439, 521 ;
- **Les landes-fourrés, lisières forestières**, associations heliophiles (Pomoïdées, *Genistae*, *Prunus sp.*, *Corylus sp.*, *Betula sp.*) : les Pomoïdées détectés dans F.105, F.106, F.437, F.439, F.521 ;
- **La chênaie-hêtraie** (*Quercus sp.*, *Fagus sp.*, *Ulmus sp.*) : détectée dans l'ensemble des prélèvements.

L'étude palynologique réalisée sur six prélèvements dans le puits d'extraction F.519 et contemporains de l'époque laténienne (cf. *supra*) a permis de constater en partie les taxons d'arbres détectés dans l'étude anthracologique : les pollens de chêne, d'aulne, de noisetier, de bouleau et de hêtre ont été observés. On note quelques différences, peut être liées à des choix techniques ou des phénomènes de production et diffusion pollinique : les taxons de Pomoïdées (Rosacées) sont très peu représentés dans l'étude pollinique, en revanche le frêne et le tilleul détectés dans l'étude pollinique sont absents de l'étude anthracologique. Enfin, le noisetier qui apparaît très présent au regard de l'étude pollinique, n'apparaît que sporadiquement dans l'étude anthracologique. En revanche, on retrouve les trois mêmes associations végétales que ce soit par la palynologie et l'anthracologie, à savoir la chênaie mixte (chênaie-hêtraie), des boisements hygrophiles et des groupements héliophiles.

La palynologie permet de quantifier quelque peu les résultats. En effet, il semble que la population protohistorique se soit installée à proximité d'une formation de noisetiers, peut être dans une clairière ou en lisière d'une chênaie mixte. De plus, l'absence de taxons allochtones (ex. *Céréales*) et la rareté des associations d'adventices et rudérales sembleraient écarter l'hypothèse de champs cultivés ou d'espaces consacrés à l'élevage dans les environs immédiats.

En ce qui concerne la structure des boisements, les taux de pollens d'arbres (AP) apparaissent importants dans les deux zones polliniques (60 à 80 %), même s'ils sont en partis liés aux pollens de noisetiers, forts producteurs polliniques. Ces constats semblent plutôt cohérents avec les faibles largeurs moyennes de cernes constatées dans la plupart des structures. En effet, excepté F.437, les résultats oscillent entre 0,98 mm/ an et 1,68 mm/an, ce qui correspond à de faibles, voire très faibles croissances radiales.

Les mesures de calibration réalisées sur deux structures (F.104 et F.438) ont permis de qualifier les peuplements forestiers de type « futaie ». Les charbons étaient issus de chênes allant de 10 cm à 30 cm de diamètre, mais il est bien sûr possible que des arbres de plus forts diamètres aient coexisté et n'aient pas été abattus pour des choix ou des contraintes techniques.

Les résultats palynologiques et anthracologiques s'accordent donc vers la description d'un paysage encore fermé, avec des boisements denses de type futaie.

Ces résultats cadrent assez bien avec les résultats polliniques obtenus notamment dans la thèse de D. Barbier (1999) sur le département de la Mayenne, mais aussi quelques travaux anthracologiques menés dans des communes un peu plus au sud dans une enceinte gauloise située à Rannée (35) (Marguerie 1992), à Athée (53) (Marguerie 1998) et sur le site de Roche Brune (Pezé-le-Robert, 72) (Marcoux, Marguerie 2008) où de faibles largeurs moyennes de cernes ont aussi été constatées.

Du point de vue régional, même si ce secteur subit durant l'âge du Fer des défrichements liés au développement des proto-industries (Barbier 1999) (et dont la corylaie pourrait être issue), cette partie du massif armoricain reste parmi les plus boisées (**Planche 121**).

4.3.5.2. Informations d'ordre technique

Avant d'interpréter les restes retrouvés en termes « techniques », il est intéressant de rappeler les grands traits d'une opération de réduction dans un bas fourneau. C'est grâce à l'expérimentation et à l'ethnologie que l'on peut retracer dans les grandes lignes les étapes du procédé :

Selon F. Sarreste (2008) « *un feu est tout d'abord allumé à la base de la structure et assure le préchauffage de la structure. Ensuite, le volume du four est chargé par le haut alternativement de charbon de bois et de minerai, préalablement traité ou non. Au fur et à mesure de la combustion du charbon, la charge descend dans le four, exposant progressivement les oxydes au gaz réducteur. Ils sont ainsi successivement réduits. Au-delà de 1 100°C, le mélange silicaté composé par la gangue, les parois du fourneau, et l'apport du combustible commence à fondre et forme la scorie. Cette dernière intègre une partie non négligeable des oxydes de fer, pour former de la fayalite (FeAlSiO₄). La scorie liquide se sépare par gravité. De petites quantités de fer, issues de chaque morceau de minerai, s'agglomèrent alors à l'état pâteux au fond de la structure de réduction et forment une masse plus ou moins compacte.*

Le charbon de bois est le combustible par excellence de la réduction directe. Il possède un pouvoir calorifique plus élevé que le bois et dégage plus de carbone lorsqu'il brûle. En outre, il joue un rôle crucial puisqu'il dicte la vitesse de descente du minerai dans le fourneau. S'il se consume trop vite, les gaz n'ont pas le temps de réduire les oxydes, la gangue ne fond pas totalement et on obtient une scorie contenant des morceaux de minerai non réduits. Du bois peut toutefois être utilisé pour préchauffer la structure ».

Au regard de la description de ce procédé, il est intéressant de noter le choix comme combustible à la fois de bois mais aussi de charbons de bois. Selon L. Chabal (1999), en l'état actuel des recherches, il n'est pas possible de distinguer les charbons de bois résiduels d'une combustion de bois interrompue (ex. fabrication de charbon par calcination), de ceux subsistant au terme d'une combustion de charbons de bois. (ex. activités de forge).

Fait unique dans cette étude, nous avons pu constater pour la structure F.449, un nombre important de charbons restés indéterminés, dont les structures anatomiques semblaient comme avoir été « fondues ». La fabrication de charbons de bois par calcination (charbonnage) pourrait être une hypothèse pour expliquer l'aspect de ces quelques charbons. Ce type de résultat a été aussi constaté sur le site d'Aunay-Truchet à la Bazoge dans la Sarthe (Marguerie, Garcia 1998). Il s'agit d'un site sidérurgique de l'époque gauloise et gallo-romaine, comportant ferriers et bas fourneaux. Dans cette étude, les auteurs notent la forte probabilité de l'utilisation de charbons de bois par l'observation des aspects « durs » et « fondus » sur de nombreux charbons.

- Distribution stratigraphique des résultats

Un certain nombre de structures présentaient des prélèvements appartenant à différentes unités stratigraphiques. Ainsi, on a pu comparer les compositions anthracologiques entre prélèvements à l'intérieur de trois structures (F.104, F.106 et F.438).

Pour les structures F.104 et F.106, il existe des différences au niveau du calibre des charbons de bois. En effet, les charbons de petits calibres sont plutôt détectés dans les couches inférieures. Le nombre de taxons est lui aussi légèrement plus important dans les prélèvements de stratigraphie inférieure. Ces constats pourraient trouver une explication dans la phase d'allumage ou « préchauffage » du bas fourneau. Cette phase d'allumage nécessite plutôt du bois de petit calibre correspondant potentiellement à du bois de « tout venant » et donc plus divers que la phase d'entretien (généralement du chêne) intervenant ultérieurement. Il y a donc probablement pour ces deux faits une différence stratigraphique qui pourrait s'expliquer par les phases d'utilisation (phase d'allumage et phase d'entretien) des bas fourneaux.

Pour ce qui concerne F.438, il existe une différence entre les compositions taxonomiques des deux US, mais cela n'affecte *a priori* pas la qualité des charbons. Nous retrouvons en effet des charbons de bois de petits calibres dans les deux lots et des taxons de densité faible dans les deux US (*Salix sp.*, *Corylus sp.*). Ce constat laisse penser qu'il y a plutôt eu deux approvisionnements successifs voire une réutilisation du bas fourneau pour cette structure.

- Distribution spatiale des résultats

Du point de vue spatial, les dix bas fourneaux sont répartis en trois ensembles (ensembles 13, 14 et 15) en plus d'une structure isolée (F.449). Cette répartition des structures sidérurgiques peut être liée à la technique de fabrication des bas fourneaux (ex. construction de bas fourneaux successifs par réemploi) ou à la délimitation des espaces artisanaux (ex. abris).

Si l'on considère les structures de l'ensemble 13 (F.104, F.105 et F.106), l'aspect dominant des charbons apparaît systématiquement différent (Fendu – Fendu/luisant – Dur/luisant). En revanche, la présence de l'association héliophile (Pomoïdées) ainsi que les valeurs de croissance radiale (1,45mm/an et 1,47mm/an) tendraient à rapprocher les structures F.105 et F.106.

Pour ce qui concerne l'ensemble 14 (F.437, F.438 et F.449), nous notons la détection systématique de boisements héliophiles. Néanmoins, ce type de végétation est représenté par le seul ajonc dans le cas de F.437, et par d'autres taxons (ex. noisetier et bouleau) pour F.438 et F.439. De plus, des boisements hygrophiles apparaissent seulement dans F.439 et F.438, représentés par la présence du saule notamment. Enfin, les mesures de croissance radiale (0,98mm/an et 1,24mm/an) tendraient aussi à rapprocher les structures F.438 et F.439.

Le cas de l'ensemble 14 (F.521, F.522 et F.523) ne déroge pas à la règle, car on trouve là aussi des différences au niveau des aspects dominants, des compositions taxonomiques et des croissances radiales mesurées.

Les trois ensembles de bas fourneaux n'apparaissent donc pas franchement au regard des résultats anthracologiques.

- L'impact de la combustion à l'intérieur du bas fourneau

L'observation presque systématique des aspects « fendus-luisants » et « durs-luisants » dans l'ensemble des faits est cohérente avec les combustions décrites pour les bas fourneaux. En

effet, selon Schweingruber (1982), une combustion rapide, à haute température peut causer une déformation des tissus, une apparition de fissures et une fusion provoquant ainsi un effet réfringent (luisant) à l'observation.

Dans l'ensemble des faits, nous avons pu constater des charbons de chêne avec des fentes de retrait. Ce constat est généralement interprété comme la combustion de bois « verts » et/ou avec un taux d'humidité important (Prior, Alvin 1986). On peut supposer qu'une part non négligeable du bois utilisé a été fraîchement coupé, ou tout du moins stocké durant peu de temps avant le passage au feu.

- Choix des essences, choix du calibre du bois utilisé

Le chêne est rarement retrouvé seul, il est le plus souvent associé à un ou plusieurs taxons sans qu'il n'y ait d'association systématique. En revanche, les autres essences sont presque toujours des charbons issus de bois de faibles calibres (brindilles, branches). Il n'y a pas ou très peu de charbons de bois de calibre intermédiaire.

Globalement, il n'y a apparemment pas eu de sélection dans les essences de bois pour allumer le foyer. Il n'y a pas eu non plus de choix systématique du type de bois « sec » ou « vert ». Seule l'utilisation du chêne et de bois à la fois de gros et de petit calibre semble systématique.

En fait, il semble que le choix technique se soit porté avant tout vers du bois de chêne, voire d'orme et de hêtre, de fort calibre pour entretenir et alimenter la montée en température des bas fourneaux. Le bois de chêne ou de hêtre fournit un bois dense permettant des durées de combustion à hautes températures (comburation) plus importantes. Les autres essences associées, caractérisées par de faibles calibres et probablement aussi leur faible densité (ex. saules, aulnes, selon Chabal *et alii* 1999), n'étant là que pour lancer l'allumage ou le « préchauffage » des bas fourneaux.

Les mesures de calibration ont permis d'estimer des diamètres d'arbres utilisés allant de 10 cm à 30 cm maximum. On ne peut tout à fait exclure l'hypothèse d'une futaie régulière où l'ensemble des arbres aurait eu un diamètre maximal de l'ordre de 30 cm (futaie régulière d'une centaine d'années). Toutefois, ce sont plus probablement des choix techniques liés d'une part aux contraintes d'abattage mais aussi de débitage des bûches qui expliqueraient le classement des diamètres d'arbres en dessous de 30 cm. Des résultats de calibration similaires ont d'ailleurs déjà été constatés dans l'étude de l'atelier romain de réduction du minerai de fer de Roche-Brune à Pezé-le-Robert (72) (Marcoux 2009).

4.3.6. Lexique

Allochtone : Se dit des espèces d'origine étrangère à l'ensemble écologique local, introduites volontairement ou accidentellement par l'homme.

Angiosperme : Plante à fleurs, à ovules puis graines renfermées dans un ovaire.

Aubier : Bois périphérique d'un tronc d'arbre dont les vaisseaux sont fonctionnels.

Autécologie : Condition de vie propre à l'espèce considérée.

Biotope : Milieu soumis à des conditions écologiques homogènes.

Caducifolié : Qui perd ses feuilles pendant la saison défavorable.

Cambium : Assise cellulaire assurant l'accroissement en épaisseur des organes plurianuels chez les végétaux dicotylédones.

Duramen (ou «Bois de cœur») : Partie du bois au centre du tronc dont les vaisseaux sont fermés et dont les autres tissus se chargent de produits de sécrétion et de pigments. Ce bois est moins sensible aux attaques biologiques que l'aubier.

Gymnosperme : Plantes à fleurs, à ovules puis graines nues, non enfermées dans un ovaire.

Espèce endémique : Espèce qui ne se trouve, à l'état spontané, que dans une région donnée.

Héliophile : Qui pousse à des endroits exposés au soleil.

Hydromorphe : Qui pousse dans des stations humides ou sur des sols humides.

Hygrophile : Qui pousse en milieu aquatique.

Mésohygrophile : Qui pousse en zone moyennement humide.

Mésophile : Plante vivant dans des conditions écologiques moyennes, sans fortes contraintes.

Phyto-écologie : Écologie du monde végétal.

Ripicole : Qui pousse le long des cours d'eau.

Sciophile : Qui croît à l'ombre.

Taxon : Unité occupant un rang défini dans la hiérarchie de la classification.

Thylles : Excroissances cellulaires obstruant les vaisseaux du duramen (accompagnées de sécrétions gommeuses ou tanniques).

Xylophage : Qui consomme du bois.

4.4. Carpologie

Parmi les 97 prélèvements effectués lors de la fouille, 19 devaient partie faire l'objet de tests carpologiques. Ces échantillons de 10 litres par structure (ou plus lorsque des prélèvement intégraux ont été réalisés) proviennent de tous les bas fourneaux, mais également de structures ayant livré quelques éléments de datation, notamment de la céramique et, plus fréquemment, des charbons de bois.

Malheureusement, l'étude carpologique n'a pas pu être réalisée dans le temps imparti par le présent rapport. Toutefois, les échantillons en question, tamisés par flottation selon des calibres de 1 et 0,5 mm, ont été conservés afin d'envisager ce type d'étude dans le cadre d'une publication.

5. Synthèse générale

5.1. Phasage du site et chronologie

En raison de la quasi absence de mobilier dans la plupart des structures mises au jour, mais aussi de la rareté des relations stratigraphiques entre ces aménagements, la question de la chronologie et du phasage du site n'est pas sans poser de problèmes. Toutefois, la réalisation de 22 datations ¹⁴C permet de se faire une idée de l'évolution de l'occupation, même si la plupart des aménagements mis au jour ne peuvent être rattachés à l'une ou l'autre phase, et que l'on connaît les ambiguïtés de cette méthode de datation, notamment pour l'âge du Fer (**Planche 122**).

En préambule à l'examen de ces datations, il faut souligner qu'une sélection des échantillons a été réalisée par Loïc Gaudin préalablement aux analyses, afin d'exclure les bois de cœur pour ne garder que les éléments de brindille ou des derniers cernes de l'arbre (absence de Thylles). Cette sélection rigoureuse permet d'éviter l'écueil des datations erronées, même si elle ne préjuge en rien de la fiabilité stratigraphique de l'échantillon. Ainsi, concernant les bas fourneaux, ce sont systématiquement des charbons mis au jour sous la scorie qui ont été sélectionnés. Pour les trous de poteau, on a privilégié, lorsque c'était possible, les charbons provenant du négatif du poteau. En revanche, concernant les autres structures (fosses, puits, fossés), les charbons ont été prélevés dans les comblements, de préférence vers le fond, aucun autre élément ne permettant d'approche plus raisonnée de la politique d'échantillonnage.

Hormis un chablis daté du Néolithique final et un bas fourneau daté, sans doute par erreur, du Moyen Âge central, toutes les structures datées s'échelonnent à l'intérieur d'une fourchette englobant quasiment tout l'âge du Fer, du VIII^e au I^{er} siècle avant J.-C. Au sein de cette longue période, trois phases peuvent être distinguées, qui se caractérisent par le très faible recoupement des datations : la première phase englobe tout le Premier âge du Fer et le début du second (VIII^e-V^e siècles) ; la seconde couvre une période comprise entre La Tène B et La Tène C (IV^e-III^e siècles), tandis que la troisième se rattache à la fin de La Tène C ou à La Tène finale (II^e-I^{er} siècles). Cette distinction, si grossière soit-elle, permet de documenter dans les grandes lignes l'évolution du site. On rajoutera à ces trois phases une phase initiale antérieure à l'occupation anthropique et marquée par la présence d'un bois, et une phase postérieure marquée par la mise en place du réseau parcellaire.

5.1.1. La phase 0 (Néolithique-Hallstatt) : un bois ? (**Planche 123**)

Cette phase initiale est marquée par l'absence de structures anthropiques, mais elle regroupe une série de chablis pour lesquels plusieurs indices permettent d'avancer une datation antérieure à l'installation humaine. Ainsi, le chablis le plus ancien a livré un charbon daté du Néolithique final (2880 - 2635 Cal BC), tandis que deux autres sont datés du Premier âge du Fer. L'imprécision des datations ne permet pas de savoir s'ils sont antérieurs aux structures anthropiques, mais le fait que plusieurs d'entre eux soient recoupés par des structures protohistoriques autorise à l'envisager sérieusement. Par ailleurs, l'étude palynologique a bien montré un faciès de reconquête consécutive d'un déboisement qui pourrait constituer la première intervention humaine sur le site.

5.1.2. La phase 1 (Hallstatt-La Tène A) : premières installations sidérurgiques (Planche 124)

Dès cette première véritable phase d'occupation, le site voit l'installation de trois bas fourneaux (F.104, F.106 et F.522) qui se rattachent déjà à deux zones distinctes de réduction : l'ensemble 13 (au sud-est) et l'ensemble 15 (au sud ouest). Une erreur manifeste de datation sur l'un des bas fourneaux de l'ensemble 14 laisse planer le doute quant à une éventuelle utilisation de ce secteur dès la phase 1. En dépit de cette lacune, l'information essentielle réside dans l'utilisation d'au moins deux zones distinctes pour l'installation de ces aménagements, et que ces deux zones seront encore utilisées lors de la phase suivante.

Outre les bas fourneau, la phase 1 est marquée par un probable enclos dont le tracé demeure toutefois très lacunaire (enclos C). Il n'est en effet représenté que par deux segments curvilignes, marqués par une interruption, qui rejoignent le tracé de l'enclos B par lequel l'un d'entre eux est recoupé. On peut ainsi supposer que l'enclos B, ayant repris en grande partie le tracé de l'enclos C, en a fait disparaître toute trace, mais rien ne permet un développement plus poussé de cette hypothèse. Un troisième segment de fossé se développe en arc de cercle plus au sud.

Aucune autre structure ne peut être rattachée à cette phase : ni bâtiments, ni aménagements techniques pour la préparation du minerai. La seule exception réside dans la fosse F.543, interprétée avec prudence comme une charbonnière, et qui a été recoupée par l'enclos C. Ce constat permet d'envisager l'existence de deux sous-phases au sein de la phase 1, ce que suggère également la datation des bas fourneaux : en effet, deux d'entre eux (F.106 et F.522) livrent des datations comprises entre 800 et 540 avant J.-C. (Hallstatt C-D2), tandis que le troisième est manifestement plus tardif, puisqu'il semble se référer à une période comprise entre 540 et 400 avant J.-C. (Hallstatt D3-La Tène A). Toutefois, les incertitudes concernant les datations ¹⁴C de cette période permettent difficilement d'aller plus loin dans cette distinction, d'autant que l'absence totale de mobilier de cet horizon chronologique doit être soulignée.

5.1.3. La phase 2 (La Tène B-C) : développement de l'activité sidérurgique (Planche 125)

Cette deuxième phase constitue incontestablement celle pour laquelle la documentation est la plus complète. Ainsi, pas moins de six bas fourneaux y sont rattachés sur la foi des datations ¹⁴C (F.105, F.438, F.439, F.449, F.521, F.523). Plus encore que pour la période précédente, ces aménagements sont dispersés en plusieurs pôles dont au moins deux avaient déjà connu une telle activité durant la phase 1 : l'ensemble 13, l'ensemble 14 et l'ensemble 15. Ils s'articulent autour d'un enclos dont presque tout le tracé a pu être documenté : il s'agit d'un enclos polygonal de 4800 m², présentant un imposant système de partition interne. Deux entrées sont attestées : la première se situe à l'extrémité sud-est, et consiste en un système en chicane. La seconde vient interrompre en son centre le fossé de partition, et correspond vraisemblablement à l'emprise d'une passerelle.

L'organisation interne de cet enclos peut être abordée grâce à quelques structures ayant bénéficié d'une datation. Le bâtiment 1 constitue sans conteste le principal aménagement. De taille imposante (125 m²), il prend place dans le prolongement de la passerelle permettant l'accès dans l'espace occidental de l'enclos. Il est jouté d'une vaste fosse (F.209) n'ayant pas livré de mobilier. Celui-ci est toutefois présent dans les tranchées de sablière du bâtiment 1, ce qui permet de supposer un usage domestique pour cet aménagement.

Autour du bâtiment, de nombreux trous de poteau forment des ensembles architecturaux plus ou moins clairs. Toutefois, aucun d'entre eux n'a pu être daté, et ce n'est qu'un peu plus loin, sur les franges septentrionales et méridionales de l'enclos, que deux petits bâtiments sur quatre poteaux ont pu être rattachés à cette phase (ensembles 5 et 6). C'est toutefois l'angle sud-ouest de l'enclos qui offre les vestiges les plus intéressants : on compte en effet un puits d'extraction (F.524) et une fosse probablement liée au prétraitement du minerai (F.530). D'autres structures, non datées cette fois, confirment cette tendance à voir dans ce coin de l'enclos une zone d'extraction et de traitement du minerai avant son passage dans les bas fourneaux.

La datation de la phase 2 n'est pas sans poser quelques problèmes de cohérence. En effet, les datations ¹⁴C réalisées sur des charbons provenant de bas fourneaux, de fosses, du puits ou de trous de poteau, indiquent une chronologie centrée sur la période comprise entre le IV^e et le III^e siècle avant J.-C., voire le début du II^e. Or, le rare mobilier mis au jour dans la tranchée de sablière du bâtiment 1 et dans le comblement de l'enclos B donne des dates légèrement plus récentes, centrées sur la fin de La Tène moyenne, voire, dans certains cas, le début de La Tène finale. Deux pistes peuvent être évoquées pour expliquer ce décalage :

Des réaménagements de l'enclos et du bâtiment ont entraîné des perturbations chronologiques. Ainsi, dans le bâtiment, la multiplicité des trous de poteau pourrait correspondre à plusieurs états du bâtiment, même si ceci n'a pu être mis en évidence. De même, l'enclos B a pu être entretenu sur le long terme et occasionné ainsi un mélange d'éléments chronologiquement disparates.

Ce décalage traduit la distinction entre les phases de construction et d'utilisation/abandon des structures. En effet, concernant le bâtiment, le fait que la datation la plus ancienne provienne d'un négatif de poteau suggère la phase de construction, tandis que le mobilier céramique, qui est issu de la tranchée de sablière, correspondrait aux phases d'utilisation et d'abandon. De même dans l'enclos, le mobilier provient systématiquement des parties supérieures du comblement, ce qui correspond à l'abandon de l'aménagement.

On serait tenté de privilégier cette seconde hypothèse, même si les arguments ne sont pas très nombreux. La seule solution résiderait dans une multiplication des datations ¹⁴C, ce qu'il n'a pas été possible de faire dans le cadre de ce rapport.

5.1.4. La phase 3 (La Tène C2-D) : abandon progressif du site (Planche 126)

Un seul aménagement peut être daté de cette troisième phase : il s'agit de l'enclos A, daté par radiocarbone entre 200 et 50 avant J.-C. environ, soit La Tène C2-D2. On a également vu que certains éléments de mobilier, mis au jour dans des structures de la phase 2, semblaient se référer à un horizon de transition entre les phases 2 et 3, ce qui corrobore l'idée, assez évidente à l'examen du plan, d'une continuité d'occupation entre les deux phases.

Les éléments pour caractériser la phase 3 sont donc assez ténus : outre la présence de l'enclos A qui agrandi l'enclos B pour atteindre quasiment 1 ha, on notera surtout l'absence de bas fourneaux attribuables à cette phase. Certes, l'emprise ne permet pas de s'assurer que cette absence soit le signe d'un réel abandon de l'activité sidérurgique ou de son déplacement vers un autre secteur du site non exploré dans le décapage. Mais il est toutefois acquis qu'au sein des trois ensembles de bas fourneau mis au jour, aucun n'a livré de structure attribuable à La Tène finale. Parmi le mobilier céramique, seule la présence de quelques

fragments de bols mayennais atteste de cette occupation. Plus qu'une phase d'occupation, la phase 3 se caractérise plutôt par l'abandon progressif du site, même si l'on s'interroge toujours sur la motivation qui a présidé au creusement de l'enclos A.

5.1.5. La phase 4 (périodes modernes et contemporaines) : le parcellaire (Planches 127)

Il ne paraît pas utile se s'étendre longuement sur cette phase qui n'a révélé que des fossés de parcellaire, qu'il s'agisse de limites figurant sur le cadastre napoléonien ou sur le cadastre actuel. Si les plans cadastraux permettent d'attribuer la plupart de ces aménagements aux périodes contemporaines, rien n'interdit d'envisager une mise en place plus précoce. Toutefois, en l'absence de datation ou de mobilier, on se limitera à ces considérations générales.

5.2. L'activité sidérurgique

Le site de La Gravelle «ZAC de Loiron» se caractérise avant tout par la présence d'une activité sidérurgique datée de l'âge du Fer, et qui concerne plus ou moins directement la quasi totalité des structures mises au jour. Cette activité s'inscrit dans un contexte régional riche en structures de réduction protohistoriques, notamment depuis les fouilles de l'A28 au nord du Mans (Cabboi 1998 ; Dunikowski 1998 ; Dunikowski, Soupart 1998 ; Gallien 1997 ; Langlois 1998). Au sein de ces ensembles, le site de La Gravelle montre certains particularismes que nous nous attacherons à préciser. Toutefois, avant toute chose, il convient de s'interroger sur l'étendue du site sidérurgique et sa chronologie.

5.2.1. Étendue du site sidérurgique

Les études archéologiques et paléoenvironnementales ont démontré l'installation du site au cœur d'un environnement à caractère fermé. Toutefois, la mise au jour, lors du diagnostic, de bas fourneaux dans d'autres secteurs de site (Morin 2012, p. 34), invite à s'interroger sur la validité de ce constat (**Planche 128**). Ainsi, au nord-est de l'emprise, on trouve un bas fourneau dans la tranchée 63 (US 085). Il présentait une excavation à l'avant de la fosse de combustion, permettant de supposer qu'il se rattache à un autre type de structure de réduction, soit à scorie piégée et usage multiple, soit à scorie coulée. Le premier type est utilisé dès La Tène ancienne mais ne se diffuse réellement qu'à partir de La Tène moyenne (Cabboi *et alii* 2009, p. 49), tandis que le second ne semble pas apparaître avant La Tène finale (Cabboi *et alii* 2009, p. 57). Quoiqu'il en soit, le bas fourneau de la tranchée 63 se réfère à une technologie qui n'a pas été utilisée dans les autres structures de La Gravelle, et pourrait donc être postérieur.

Pour les autres bas fourneaux mis au jour lors du diagnostic, on ne dispose d'aucune information chronologique. Un exemplaire est attesté dans la tranchée 62, mais n'a pas pu être documenté. Un autre est signalé dans la tranchée 15 : sa description semble concorder avec celle d'une structure à scorie piégée et usage unique. Un dernier est attesté dans la tranchée 1, mais la description proposée ne permet pas de s'assurer de son type. Enfin, quelques scories ont été mises au jour dans diverses structures, notamment des fossés localisés dans les tranchées 9, 10 et 15.

En dépit des lacunes de la chronologie, on remarquera que tous ces bas fourneaux et, à une exception près, les concentrations de scories, se répartissent dans un rayon ne dépassant pas

150 m autour des enclos A et B. L'absence totale de toute structure à caractère sidérurgique dans les tranchées situées à l'ouest de l'emprise du diagnostic semble constituer un bon jalon pour fixer la limite de cette activité vers les tranchées 69 et 70. À l'est, en revanche, la présence d'un bas fourneau en limite d'emprise conduit à s'interroger sur un éventuel prolongement de cette activité, d'autant que c'est dans ce secteur que M. Hubert a relevé la présence de scories piégées dans les labours (Hubert 2005).

5.2.2. Aspects chronologiques

Cette question a déjà été discutée dans la partie concernant le phasage du site, mais mérite toutefois une mise en perspective concernant la technique de réduction du minerai. En effet, les bas fourneaux mis au jour sont tous datés de l'âge du Fer (à l'exception d'un pour lequel nous avons envisagé une datation erronée), avec une fourchette maximale comprise entre 790 et 165 avant J.-C. (nous avons exclu de cette fourchette les plages de datation à très faible probabilité). En dépit des incertitudes concernant ces datations, rendues imprécises par le «pallier de l'âge du Fer», trois groupes se distinguent au sein de cet ensemble (**Figure 79**).

Phase	Bas fourneaux	Datation absolue	Datation relative
Phase 1 ancienne	F.106 ; F.522	790-540	Hallstatt C-D2
Phase 1 récente	F.104	540-400	Hallstatt D3-La Tène A
Phase 2	F.105 ; F.438 ; F.439 ; F.449 ; F.521 ; F.523	400-165	La Tène B-C

Figure 79 – Synthèse des datations des bas fourneaux

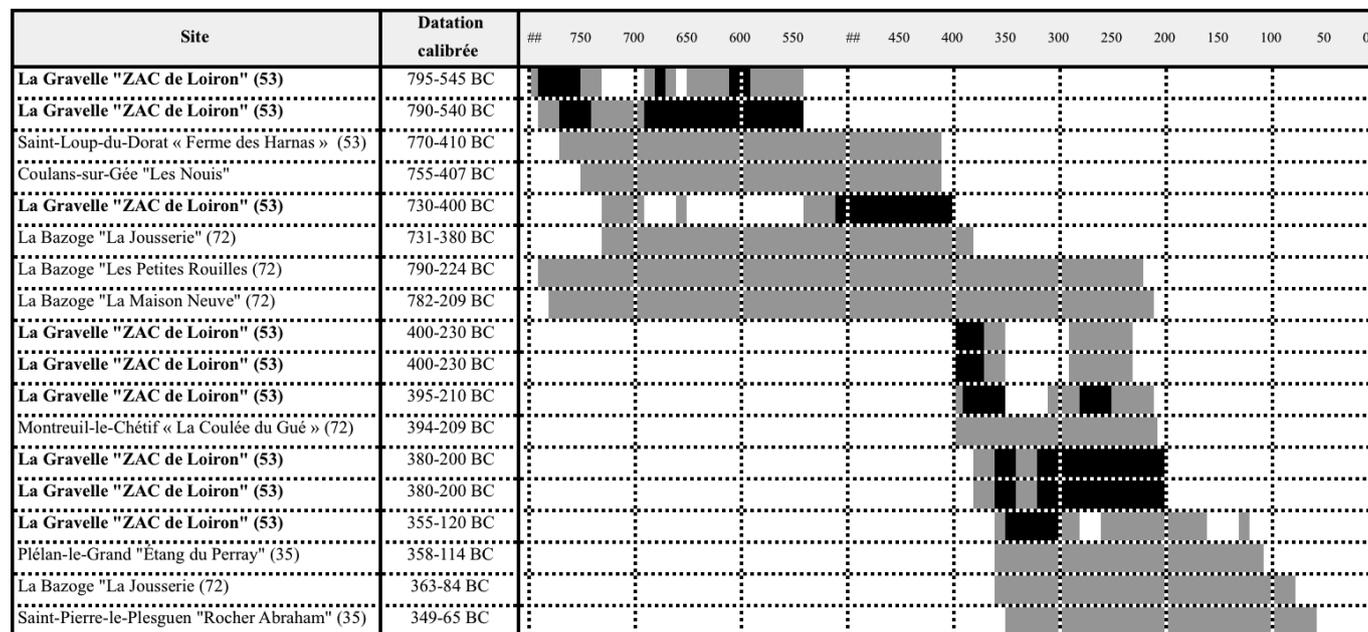
Le premier concerne deux bas fourneaux et permet de situer *terminus post quem* de l'activité de réduction au plus tard au Hallstatt D2. Malgré les nombreuses découvertes récentes dans la région, rares sont les sites ayant livré des datations aussi précoces (**Figure 80**). L'analyse d'un charbon provenant d'une scorie piégée découverte sur la commune de Saint-Loup-du-Dorat «Ferme des Harnas» (Mayenne) a ainsi donné une datation légèrement plus récente, comprise entre 770 et 410 avant J.-C. (Sarreste 2011, p. 99). À La Bazoge (fouilles de l'autoroute A 28), toutes les datations à l'âge du Fer prennent en écharpe tout ou partie de la période de La Tène, et seules quelques-unes débordent sur le Premier âge du Fer (Naveau 1992) : au lieux-dits «Les Petites Rouilles» (790-224 avant J.-C.), «La Maison Neuve» (782-209 avant J.-C.), «La Jousserie» (731-380 avant J.-C.). À Coulans-sur-Gée «Les Nouis» (fouilles de la LGV), les datations sont comprises entre 755 et 407 avant J.-C. Enfin, on signalera également que cette phase pourrait être représentée aux Clérimois (Yonne), puisqu'un bas fourneau a livré une datation comprise entre 770 et 310 avant J.-C. (Dunikowski, Cabboi 1995). En dépit de ces quelques exemples, il faut souligner que les deux bas fourneaux de La Gravelle sont les seuls pour lesquels les datations donnent une fourchette strictement limitée au Premier âge du Fer.

La phase 1 récente n'est représentée que par un seul bas fourneau dont la datation se situe probablement à la transition entre les phases 1 et 2, entre 540 et 400 avant J.-C. (Hallstatt D3-La Tène A). Parmi les exemples sarthois, aucun n'est aussi clairement restreint à cette période, et les parallèles sont les mêmes que pour la phase 1 ancienne.

La phase 2 est celle du développement maximal du site sidérurgique de La Gravelle. Elle est représentée par six bas fourneaux dont la datation s'échelonne entre 400 et 165 avant J.-C., soit La Tène B-C. À La Bazoge, on trouve déjà à cette période un bas fourneau à scorie piégée et usage multiple («La Jousserie» ; 363-84 avant J.-C.). C'est également à cette

période que semblent se développer les minières des « Petites Rouilles » (Langlois 1998). Plus largement, les points de découverte se multiplient pour cette période charnière dans le développement de la métallurgie gauloise : à Montreuil-le-Chétif « La Coulée du Gué » (Sarthe), une scorie a été datée entre 394-209 av. J.-C., tandis que le département d’Ille-et-Vilaine livré aussi quelques exemples : à Plélan-le-Grand « étang du Perray » (358-114 avant J.-C.) et Saint-Pierre-le-Plesguen « Rocher Abraham » (349-65 av. J.-C.) (Sarreste 2011).

Figure 80 – *Datations de quelques bas fourneaux de Mayenne, Sarthe et Ille-et-Vilaine*



5.2.3. La chaîne opératoire

Les technologies mises en œuvre pour la réduction du minerai à La Gravelle n’évoluent pas entre La Tène ancienne et La Tène moyenne, ce qui permet de dresser un tableau général des techniques et de la chaîne opératoire utilisées sur le site, même si les données sont lacunaires.

La présence des deux ressources essentielles au travail de réduction (le bois et le minerai) a sans doute été essentielle pour l’installation du site. Le bois était présent avant l’arrivée des premiers occupants, qui ont probablement déboisé une clairière, à la fois pour créer l’espace nécessaire à leur installation et pour récupérer du combustible. La présence d’une charbonnière probable, rattachée à la phase 1, invite à identifier l’étape du charbonnage sur le site, même si la conservation de ce genre de vestiges n’a pas permis d’en documenter un plus grand nombre.

Le minerai est présent dans le sous sol, à environ 1 m sous le niveau actuel. L’extraction s’est faite par des puits dont deux ont été documentés. On est toutefois loin des mines attestées dans la région du Mans, notamment à La Bazoge « Les Petites Rouilles » et Saint-Saturnin « Le Grand Hameau » (72) où les fouilles de l’A28 ont mis au jour d’importants systèmes d’extraction de minerai (ciel ouvert, puits, galeries) dont les plus anciens semblent remonter au moins au début du Second âge du Fer (Langlois 1998).

Le prétraitement du minerai n’est documenté que par une seule fosse (F.530) ayant vraisemblablement reçu des rejets issus du concassage et du tri de la matière première. Cette

structure constitue le seul témoin d'une étape du travail laissant rarement de traces archéologiques (Cabboi *et alii* 2007, p. 37-38), à plus forte raison sur un site arasé comme celui de La Gravelle : qu'il s'agisse des foyers, des aires de grillage ou des meules, il fait peu de doutes que, si elle ont pu être présentes dans l'emprise de fouille, ces structures n'ont laissé aucune trace du fait de leur profondeur limitée. La mise en évidence d'aménagements liés à cette étape de la chaîne opératoire est d'ailleurs rare sur les sites protohistoriques : tout au plus peut-on citer, dans les fouilles de l'A 28, celui de La Bazoge « Les Trois Couleurs » (Dunikowski 1998a). Sur ce site comme à La Gravelle, seul le bon sens permet d'envisager la présence de toute la chaîne opératoire entre l'extraction et la réduction.

Cette dernière constitue l'activité ayant laissé le plus de traces, du moins les plus évidentes. Dix bas fourneaux à scorie piégée et usage unique sont ainsi documentés dans l'emprise de fouille, auxquels on pourrait peut-être ajouter trois autres individus (non datés) mis au jour lors du diagnostic. Ils se répartissent autour des enclos, notamment l'enclos B avec lequel ils s'articulent par groupe de trois. La surprise des datations ¹⁴C fut de montrer que ces groupements ne constituaient pas des ensembles chronologiquement homogènes, mais qu'au contraire ils regroupent des bas fourneaux datés du Premier âge du Fer, et d'autres du Second. Ce constat pose la question de la continuité de l'occupation, à plus forte raison lorsqu'on sait que ces bas fourneaux étaient à usage unique. En effet, si l'on considère que l'activité du site a perduré pendant au moins deux siècles – plus vraisemblablement trois ou quatre –, le nombre de réductions est extrêmement limité, entre 2,5 et 5 par siècle, soit une réduction tous les 20 ou 40 ans. C'est peu, insuffisant pour envisager un débouché commercial, et constitue plus probablement le résultat d'une production opportuniste, au grès des besoins. Toutefois, on touche là à des questions d'organisation du travail qui dépassent de loin les possibilités offertes par le chantier de La Gravelle.

5.3. Le site de La Gravelle dans son contexte régional

Le site La Gravelle s'inscrit dans un contexte régionale élargi (nord du Pays de Loire et est de la Bretagne) riche en gisements sidérurgiques de l'âge du Fer. Deux grandes opérations d'archéologie préventive sont ainsi venues totalement renouveler la documentation : celle de l'A 28 (entre Rouen et Tours), et celle de la LGV (entre Rennes et Le Mans). Les rapports de fouille n'étant pas encore disponibles pour cette dernière, on devra se contenter d'informations générales. Une thèse récente apporte par ailleurs un éclairage synthétique sur la question de la sidérurgie dans le Bas Maine, même si la Protohistoire n'y prend pas une très grande place (Sarreste 2008 ; Sarreste 2011).

5.3.1. Implantation et nature des sites

C'est le secteur au nord du Mans qui offre le plus grand nombre de sites, révélant un territoire en grande partie consacré à l'extraction et au traitement du minerai de fer. Si l'on se limite aux bas fourneaux à scorie piégée, les sites mis au jour regroupent, comme à La Gravelle, des quantités limitées de bas fourneaux, souvent regroupés en « batteries » de deux ou trois structures (Sarreste 2008, p. 52), à l'exception notable du site de La Bazoches « Les Barres », qui a livré pas moins 56 bas fourneaux (Cabboi 1998). Par ailleurs, il faut noter l'absence quasi systématique de structures d'habitat associées à ces structures sidérurgiques, contrairement à La Gravelle où le système d'enclos s'accompagne d'un bâtiment probablement utilisé dans un cadre domestique. Seul le site de Coulans-sur-Gée « Les Nouis » semble se conformer à ce modèle, même s'il faudra attendre le rendu du rapport de fouille pour avoir des précisions quant à la chronologie précise des enclos, des bâtiments et des bas fourneaux (Chevet *et alii* 2012). Dans d'autres régions, on pourra également

évoquer le site d'Écuellenes «Charmoy» (77) qui associait à la fois habitat, bas fourneau et étapes de la post-réduction, pour une chronologie centrée sur le Hallstatt D3 (Dunikowski *et alii* 2007, p. 280).

Une autre ambiguïté du site de Gravelle réside dans sa probable implantation au milieu d'un bois. Ce schéma peut toutefois trouver un équivalent au Moyen Âge, pour lequel la situation des sites est mieux documentée, notamment par les textes qui évoquent à plusieurs reprises l'existence d'activités sidérurgiques en forêts (Sarreste 2009, p. 289), dans lesquels le bois est mis à profit dans les charbonnières pour fournir du combustible aux bas fourneaux. Pour en revenir à l'âge du Fer, les études anthracologiques ou palynologiques réalisées dans la région montrent l'importance de la forêt au Premier âge du Fer, tandis que cette omniprésence s'amenuise à partir du début de La Tène, principalement au détriment du chêne, du noisetier et du tilleul (Gaudin 2004 ; Barbier 1999 cité par Sarreste 2008, p. 292). Cette évolution correspond à celle mise en évidence à La Gravelle, et pourrait être en partie liée au développement des activités sidérurgiques.

5.3.2. Contribution à l'histoire de la sidérurgie dans le secteur de La Gravelle

Le secteur de La Gravelle/Saint-Pierre-la-Cour a fait l'objet d'un article synthétique par M. Hubert (Hubert 2005), ainsi que d'un court chapitre dans la thèse de F. Sarreste (Sarreste 2008). Selon ce dernier, le secteur de La Gravelle/Saint-Pierre-la-Cour constitue une zone de production de second niveau, soit «une région regroupant entre 11 et 25 sites parmi lesquels on peut délimiter au moins un pôle de plus de 10 sites» (Sarreste 2009, p. 315). Toutefois, le chiffrage exact des sites est rendu difficile du fait que les indices des sites se résument souvent à des scories ou des ferriers trouvés hors contexte. En tout état de cause, l'existence d'une production de fer à l'époque antique est attestée par une datation ^{14}C , et celle au Moyen Âge fortement suspectée.

Le site de La Gravelle ne change pas grand chose en termes d'importance sidérurgique de la région. Toutefois, il vient donner une origine au développement de cette activité dans la région, puisqu'il s'agit maintenant du site de plus ancien dans le secteur.

6. Conclusion

La fouille de La Gravelle «ZAC de Loiron» a permis de documenter, sur une superficie d'un peu plus d'un hectare, un petit établissement de l'âge du Fer consacré à l'extraction, au traitement et à la réduction de minerai de fer. Les premières attestations de cette activité remontent du Premier âge du Fer, et font sans doute suite au déboisement d'un petit secteur afin de dégager l'espace et de fournir du combustible. La construction d'un enclos a probablement permis non seulement de délimiter l'espace, mais aussi de drainer un terrain rendu humide par le déboisement. L'extraction du minerai était faite sur place, à l'aide de puits qui permettaient d'atteindre une couche ferrugineuse située à 1 m de profondeur. Si la plupart des étapes du prétraitement du minerai étaient réalisées sur place, c'est la réduction qui a laissé le plus de traces, avec dix bas fourneaux à scorie piégée et usage unique répartis autour de l'enclos. Cette activité s'est étalée sur une période longue, puisqu'elle a débuté au plus tard au VI^e siècle pour s'interrompre au plus tôt IV^e siècle avant J.-C. Le faible nombre de structures de réduction documentées et l'absence d'évolution des techniques permettent de supposer une activité périodique, qui n'avait pas d'objectifs commerciaux mais uniquement de subsistance. La présence d'un grand bâtiment suggère la présence d'un habitat, mais qui ne semble pas s'être accompagné d'une mise en culture du terroir environnant qui est sans doute resté couvert d'arbres pendant l'exploitation du site. Les rejets domestiques sont rares, et l'on peut ainsi s'interroger sur l'existence d'une occupation pérenne des lieux.

Cette fouille apporte donc d'importants jalons à l'histoire des premières activités sidérurgiques en Gaule. Outre les techniques de réduction, aujourd'hui mieux connues grâce aux travaux, entre autres, de S. Cabboi, Ch. Dunikowski et M. Leroy, c'est surtout la problématique de l'organisation de cette production que pose le site de La Gravelle, même s'il soulève plus de questions qu'il n'en résout. Il souligne également l'intérêt, pour ce type de site, de croiser les données archéologiques, anthracologiques et palynologiques pour comprendre les interactions entre l'activité sidérurgique et son milieu. Enfin, on ne saurait trop insister sur la nécessité de tenter la datation de toutes les structures de réduction – et, si possible, des aménagements associés –, puisque celles-ci ont réservé quelques surprises qu'une approche sélective n'aurait pas permis de repérer.

Bibliographie

Arcelin, Tuffreau-Libre 1998: ARCELIN (P.), TUFFREAU-LIBRE (M.) - *La quantification des céramiques, conditions et protocole*, Actes de la table ronde du Centre archéologique européen du Mont Beuvray (Glux-en-Glenne, 7-9 avril 1998), Glux-en-Glenne : Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, 1998 (Bibracte, 2), 139 p.

Baize, Girard 2009: BAIZE (D.), Girard (M-C) coord. - *Référentiel pédologique 2008*, Editions Quae, 2009, 405p.

Barbier et alii 2001: BARBIER (D.), BURNOUF (J.), VISSET (L.) – Les diagrammes société/végétation : un outil de dialogue interdisciplinaire pour la compréhension des interactions Homme/Milieu, *Quaternaire*, 12 (1-2), 2001, p. 103-108.

Béguin 1995: BEGUIN (F.) - La céramique d'un enclos du second âge du Fer à Hédé (Ille-et-Vilaine) au lieu-dit «Le Bas-Chesnay», *Revue archéologique de l'Ouest*, n° 12, Rennes : Presses Universitaires de Rennes, 1995, p. 111-115.

Behre 1981: BEHRE (K.E.) - The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et Spores*, XXIII (2), 1981, 225-245.

Berga 1997: BERGA (A.), *Commune de Saint-Jean-d'Assé, «Les rues Vertes» (72)*, Rapport d'évaluation archéologique, A 28, série évaluation n° 14, Nantes : SRA Pays de la Loire, 1997.

Bocquet et alii 2007: BOCQUET (A.), BOUVET (J.-Ph.), LEVILLAYER (A.), avec la coll. de AUBIN (G.), EGLOFF (F.) et ROBIN (B.) - Un dépôt à caractère rituel de l'âge du Fer à Sainte-Suzanne, *La Mayenne : Archéologie, Histoire*, 30, 2007.

Bouvet 1997: BOUVET (J.-Ph.) - Les céramiques de l'Age du Fer, *in*: NAVEAU (J.) (dir.), *Recherches sur Jublains (Mayenne) et sur la cité des Diablintes*, Rennes : Documents Archéologiques de l'Ouest, 1997, p. 222-240.

Bullock et alii 1985: BULLOCK (P.), FÉDOROFF (N.), JONGERIUS (A.), STOOPS (G.), TURSINA (T.), BABEL (U.) - *Handbook for soil thin section description*, Wolverhampton : Waine Research Publications, 1985, 152 p.

Cabboi 1998: CABBOI (S.) - *A 28 section Alençon-Le Mans-Tours. La Bazoge «Les Barres» (72)*, Rapport de fouille, Nantes : AFAN, 1998 (Série Fouille, 15), 34 p.

Cabboi et alii 2007: CABBOI (S.), DUNIKOWSKI (Ch.), LEROY (M.), MERLUZZU (P.) - Les systèmes de production sidérurgique chez les Celtes du Nord de la France, *in*: MILCENT (dir.) - *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*, Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF (Toulouse, 20-23 mai 2004), Bordeaux : Fédération Aquitania, 2007 (Supplément à la Revue Aquitania, 14/2), p. 34-62.

Cammass, Wattez 1999: CAMMAS (C.), WATTEZ (J.) - L'approche micromorphologique : méthodes et applications aux stratigraphies archéologiques, *in*: FERDIÈRE (A.) dir. - *Les sciences de la terre*, Paris : Errance, 1999 (collection «Archéologique»), p. 139-153.

Chabal 1997: CHABAL (L.) – *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) L'anthracologie, méthode et paléoécologie*, Paris : Maison des sciences de l'Homme, 1997 (Documents d'Archéologie Française, 63), p. 18-61.

Chabal et alii 1999: CHABAL (L.), FABRE (L.), TERRAL (J.-F.), THERY-PARISOT (I.) - L'anthracologie, *in*: BROCHIER (J.-E.), BOURQUIN-MIGNOT (C.), CHABAL (L.), CROZAT

(S.), FABRE (L.), GUIBAL (F.), MARINVAL (Ph.), RICHARD (H.), TERRAL (J.-F.), THERY (I.) - *La Botanique*, Paris: Errance, 1999 (Collection «Archéologiques»), 207 p.

Cherel 2012: CHEREL (A.-F.) - Chronologie de la fin de l'âge du Fer (III^e-I^{er} s. av. J.-C.) au sud de la Plaine de Caen: le cas de la «ZAC Object'Ifs Sud» à Ifs (Calvados), in: BARRAL (Ph.), FICHTL (S.) - *Regards sur la chronologie de la fin de l'âge du Fer (III^e-I^{er} siècle avant notre ère) en Gaule non méditerranéenne*, Actes de la table-ronde de Bibracte (15-17 octobre 2007), Glux-en-Glenne: Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, 2012 (Bibracte, 22), p. 245-256.

Cherel 1996: CHEREL (A.-F.) - *Ornementation et comparaison des céramiques armoricaines du deuxième Age du Fer*, Mémoire de DEA, Paris: Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 1996, 233 p.

Chevet et alii 2012: CHEVET (P.), GUICHETEAU (A.), GALLIEN (V.), HINGUANT (S.), LANGLOIS (J.-Y.), LE ROUX (F.), MARE (E.), NILLESSE (O.), PEAN (E.), SERIS (D.), VALAIS (A.), ZAOUR (N.) - Contournement en sous-sol, *Maine découvertes*, 75, 2012, p. 34-47.

Courty et alii 1989: COURTY (M.-A.), GOLDBERG (P.), MACPHAIL (R.-I.) - *Soils and micro-morphology in archaeology*, Cambridge: Cambridge University Press, 1989, 340 p.

Daire 1992: DAIRE (M.-Y.) - *Les céramiques armoricaines de la fin de l'Age du Fer*, Travaux du Laboratoire Anthropologie, Rennes: Université de Rennes I, n°39, 1992, 315 p.

Duchaufour, Souchier 1977: DUCHAFOUR (Ph.), SOUCHIER (B.) - *Pédologie I. Pédogenèse et classification*. Paris: Masson, 1977, 477 p.

Dufraisse, Garcia Martinez 2011: DUFRAISSE (A.), GARCIA MARTINEZ (M.-S.) - *Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données*. *Anthropobotanica*, 2, 2011, 16 p.

Dunikowski 1998a: DUNIKOWSKI (Ch.) - *A 28 section Alençon-Le Mans-Tours. La Bazoge «Les Trois Couleurs» (72)*, Rapport de fouille, Nantes: AFAN, 1998 (Série Fouille, 7), 54 p.

Dunikowski 1998b: DUNIKOWSKI (Ch.) - *A 28 section Alençon-Le Mans-Tours. La Bazoge «La Jousserie» (72)*, Rapport de fouille, Nantes: AFAN, 1998 (Série Fouille, 6), 53 p.

Dunikowski, Cabboi 1995: DUNIKOWSKI (Ch.), CABBOI (S.) - *La sidérurgie chez les Sénons: les ateliers celtiques et gallo-romains des Clérimois (Yonne)*, Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1995 (Documents d'archéologie Française, 51), 188 p.

Dunikowski, Soupert 1998: DUNIKOWSKI (Ch.), SOUPART (N.) - *A 28 section Alençon-Le Mans-Tours. Changé «Beauvais» (72)*, Rapport de fouille, Nantes: AFAN, 1998 (Série Fouille, 9), 24 p.

Dunikowski et alii 2007: DUNIKOWSKI (Ch.), SEGUIER (J.-M.), CABBOI (S.) - La production du fer protohistorique dans le sud-est du bassin parisien, in: MILCENT (dir.) 2007 - *L'économie du fer protohistorique: de la production à la consommation du métal*, Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF (Toulouse, 20-23 mai 2004), Bordeaux: Fédération Aquitania, 2007 (Supplément à la Revue Aquitania, 14/2), p. 279-289.

Eschenlohr et alii 1991: ESCHENLOHR (L.), SERNEELS (V.) et HILTPOLD (B.) - Les Bas fourneaux mérovingiens de Boécourt, Les Boulies, Ju, Suisse, *Cahiers d'archéologie jurassienne*, 3, Porrentruy: Cercle d'archéologie de la Société jurassienne d'émulation, 1991.

Faegri, Iversen 1989: FAEGRI (K.) et IVERSEN (J.) - *Textbook of pollen analysis*. Chichester, 4^{ème} éd., 1989, 328 p.

Fédoroff, Courty 1994: FÉDOROFF (N.), COURTY (M.-A.) - Organisation du sol aux échelles microscopiques, in: BONNEAU (M.), SOUCHIER (S.) éd. - *Pédologie 2*, 2^e éd., Paris: Masson, 1994, p. 349-375.

Fédoroff, Courty 2002: FÉDOROFF (N.), COURTY (M.-A.) - Paléosols et sols reliques, in: MISKOVSKY (J.-C.) dir. - *Géologie de la Préhistoire : Méthodes, Techniques*, Paris : Géopré, 2002, p 277-316.

Fluzin et alii 2000: FLUZIN (P.), PLOQUIN (A.) et SERNEELS (V.) – Archéométrie des déchets de production sidérurgique. Moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe, *Gallia*, 57-1, Paris : éditions du CNRS, 2000, p. 101-121.

Gallien 1997: GALLIEN (V.) - A 28 section Alençon-Le Mans-Tours. La Bazoge «La Maison Neuve», Rapport de fouille, Nantes : AFAN, 1997 (Série Fouille, 2), 24 p.

Gaudin 2004: GAUDIN (L.) - *Les transformations spatio-temporelles de la végétation du nord-ouest de la France depuis la fin de la dernière glaciation. Reconstitutions paléo-paysagères*, Thèse de doctorat, Rennes : Université de Rennes 1, 2004, 2 tomes, 768 p.

Gautier 1999: GAUTIER (M.) - V - Les parcellaires associés aux enclos, in: LEROUX (G.), GAUTIER (M.), MEURET (J.-C.), NAAS (P.) - *Enclos gaulois et gallo-romains en Armorique*, Rennes : Documents archéologiques de l'Ouest, 1999, p. 63-93.

Guillier et alii 2006: GUILLIER (G.), AUXIETTE (G.) et CHEREL (A.-F.) - L'établissement rural de La Tène moyenne de la Gaudine à Vivoin (Sarthe) et ses activités de transformation, *Revue archéologique de l'Ouest*, n°23, 2006, p. 45-70.

Guilloré 1985: GUILLORÉ (P.) - *Méthode de fabrication mécanique et en série des lames minces*, Paris-Grignon : Institut National d'Agronomie, Département des sols, 1985.

Houlgatte et alii 1988: HOULGATTE (E.), LE HÉRISSÉ (A.), PELHATE (A.), ROLET (J.) - Evolution géodynamique du Bassin carbonifère de Laval, *Géologie de La France*, n°1, p. 27-46.

Hubert 2005: HUBERT (M.) – La métallurgie ancienne en Mayenne : recherches autour de La Gravelle, *MAH*, n° 28, 2005, p. 290-311.

Langlois 1998a: LANGLOIS (J.-Y.) - A 28 section Alençon-Le Mans-Tours. La Bazoge «Les Petites Rouilles» (72), Rapport de fouille, Nantes : AFAN, 1998 (Série Fouille, 13/14), 161 p.

Langlois 1998b: LANGLOIS (J.-Y.) - A 28 section Alençon-Le Mans-Tours. La Bazoge «Rougemont» et «Les Barres» (72), Rapport de fouille, Nantes : AFAN, 1998 (Série Fouille, 10), 54 p.

Langohr 2000: LANGOHR (R.) - *Creusement, érosion et comblement des fossés ; l'approche des sciences de la terre*, *Revue archéologique de Picardie*, n°1-2, 2000, p. 57-65.

Le Carlier de Veslud (2011): LE CARLIER DE VESLUD (C.) – La sidérurgie ancienne en Bretagne. Recherche des ateliers de production - Filiation minerais/objets, *Bulletin de la Société d'Archéologie et d'Histoire du Pays de Lorient*, n° 39, 2011.

Leroux et alii 1999: LEROUX (G.), GAUTIER (M.), MEURET (J.-C.), NAAS (P.) - *Enclos gaulois et gallo-romains en Armorique*, Rennes : Documents archéologiques de l'Ouest, 1999, 335 p.

Mangin 2004: MANGIN (M.) – *Le Fer*, Paris : éditions Errance, 2004 (Collection «Archéologiques»).

Marcoux, Marguerie 2008: MARCOUX (N.), MARGUERIE (D.), 2008 - Étude anthracologique sur le site de Roche Brune (*Pezé-le-Robert, Sarthe*). *Atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer*, Rennes : UMR 6566 Centre de Recherche en Archéologie, Archéosciences et Histoire (CNRS – Université de Rennes 1), rapport n°0804, 2008, 21 p.

Marcoux 2009: MARCOUX (N.) - Les bois utilisés comme combustible dans l'atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer, *in*: SARRESTE (F.) - *Archéologie dans le Silléen*, Rapport d'opérations archéologiques programmées. Roche-Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe). 2009, p. 20–39.

Marguerie 1992a: MARGUERIE (D.) - Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques. *Travaux du Laboratoire d'Anthropologie Rennes*, 40, 1992, 262 p.

Marguerie 1992b: MARGUERIE (D.) - Charbons de bois et paléoenvironnement atlantique. *Dossier A.G.O.R.A. Les bois archéologiques*, n°2, 1992, p. 15-20.

Marguerie, Hunot 1992: MARGUERIE (D.), HUNOT (J.-Y.) - Le bois: évolution, structure et détermination, *Dossier A.G.O.R.A. Les bois archéologiques*, n°2, 1992, p. 3-8.

Marguerie 1998: MARGUERIE (D.) - *La Glânerie (Athée, Mayenne). Rapport d'étude des structures F35, plaque foyère anthracologique*, Rennes: Université de Rennes 1, 1998, 15 p.

Marguerie, Garcia 1998: MARGUERIE (D.), GARCIA (Y.) - *L'Aunay-Truchet (La Bazoge, Sarthe). Pré-rapport d'étude anthracologique*, Rennes: Université de Rennes 1, 1998, 20 p.

Marguerie, Hunot 2007: MARGUERIE (D.), HUNOT (J.-Y.) - Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France, *Journal of Archaeological Science*, 2007, p. 1417-1433.

Marguerie et alii 2010: MARGUERIE (D.), BERNARD (V.), BEGIN (Y.), TERRAL (J.-F.) - Dendroanthracologie, *in*: PAYETTE (S.), FILION (L.), *La Dendroécologie: Principes, méthodes et applications*. Laval: Presses de l'Université Laval, 2010, p. 311-347.

Menez 2012: MENEZ (Y.) - Chronologie de la fin de l'âge du Fer (III^e-I^{er} s. av. J.-C.) dans l'Ouest de la France m: l'apport des ensembles céramiques du Camp de Saint-Symphorien à Paule (Côtes-d'Armor), *in*: BARRAL (Ph.), FICHTL (S.) - *Regards sur la chronologie de la fin de l'âge du Fer (III^e-I^{er} siècle avant notre ère) en Gaule non méditerranéenne*, Actes de la table-ronde de Bibracte (15-17 octobre 2007), Glux-en-Glenne: Centre Archéologique Européen du Mont Beuvray, 2012 (Bibracte, 22), p. 257-271.

Menez 1996: MENEZ (Y.) - *Une ferme de l'Armorique gauloise. Le Boisanne à Plouër-sur-Rance (Côtes-d'Armor)*, Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1996 (Documents d'archéologie Française, 58), 267 p.

Meuret 1993: MEURET (J.-C.) - *Peuplement, pouvoir et paysage sur la marche Anjou-Bretagne (des origines au Moyen Âge)*, Laval: Société d'Archéologie et d'Histoire de la Mayenne, 1993, 656 p.

Milon et alii 1960: MILON (Y.), BERTOIS (L.), LUCAS (G.), RENAUD (A.), PHILIPPOT (A.) - *Carte géologique de Laval n°76 à 1/80 000*, 2e édition, 1960.

Morin 2012: MORIN (S.) - *La Gravelle, Zac de Loiron (53)*, Rapport de diagnostic, Nantes: SRA Pays de la Loire, 2012, 96 p.

Naas 1999: NAAS (P.) - IV - Les enclos: essai de typologie et organisation des réseaux de clôture, *in*: LEROUX (G.), GAUTIER (M.), MEURET (J.-C.), NAAS (P.) - *Enclos gaulois et gallo-romains en Armorique*, Rennes: Documents archéologiques de l'Ouest, 1999, p. 51-62.

Nakagawa et alii 1998: NAKAGAWA (T.), BRUGLIAPAGLIA (E.), DIGERFELDT (G.), REILLE (M.), DE BAULIEU (J.-L.) et YASUDA (Y.) - Dense-media separation as more efficient pollen extraction method for use with organic sediment/deposit samples: comparison with the conventional method, *BOREAS*, 27, 1998, p. 15-24.

Naveau 1992: NAVEAU (J.) - *La Mayenne (53)*, Paris: Académie des Inscriptions et Belles-Lettres, 1992 (Carte archéologique de la Gaule), 176 p.

Naveau 1998: NAVEAU (J.) - *Le chasseur, l'agriculteur et l'artisan (guide du musée archéologique départemental de Jublains)*, Laval: Conseil général de la Mayenne (service départemental de l'archéologie et des musées), 1998, 174 p.

Paradis 2007: PARADIS (S.) – Étude *dendro-anthracologique: une approche méthodologique pour l'étude du calibre des bois*. Mémoire de Master 2, Dijon: Université de Dijon, 2007, 64 p.

Poirier-Coutansais 2012: POIRIER-COUTANSAIS (C.) - *Le mobilier céramique du site de La Fosse à Vivoin (72) du Hallstatt final à La Tène finale*, Mémoire de Recherche de Master 2, Rennes: Université de Rennes 2, 2012, 282 p.

Prior, Alvin 1986: PRIOR (J.), ALVIN (K. L.) – Structural changes on charring woods of *Dichrostachys* and *Salix* from southern Africa: The effect of moisture content, *International Association of Wood Anatomists*. Bulletin (Special issue), 7, 1986, p. 243 – 249.

Rameau et alii 1989: RAMEAU (J.-C.), MANSION (D.), DUME (G.) - *Flore forestière française, guide écologique illustré. T.1, plaines et collines*, Paris: Institut pour le développement forestier, 1989, 1785 pages.

Reille 1990: Reille (M.) - *Leçon de palynologie et d'analyse pollinique*. Paris: CNRS éd., 1990, 206 p.

Sarreste 2008: SARRESTE (F.) - *La sidérurgie ancienne dans le Bas Maine (VIII^e s. av. J.-C. - XV^e s. ap. J.-C.)*, Thèse de doctorat, Tours: Université François Rabelais, 2008, 834 p.

Sarreste 2011: SARRESTE (F.) - *La sidérurgie antique dans le Bas Maine*, Tours: Presses Universitaires François Rabelais, 2011 (Perspectives historiques), 313 p.

Schweingruber 1982: SCHWEINGRUBER (F. H.) – *Microscopic Wood Anatomy*. Flück-Wirth, Teufen, 1982.

Serneels 1993: SERNEELS (V.) – Archéométrie des scories de fer, recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale, *Cahiers d'Archéologie Romande*, 61, Lausanne, 1993.

Vacher 1999: VACHER (S.) - *Commune d'Yvré-l'Evêque «Le Grand Aunay» (Sarthe)*, Rapport de fouille, Nantes: SRA Pays de La Loire, 1999.

Valais 2007: VALAIS (A.) - *Commune d'Aron «Le Panveau» (Mayenne)*, Rapport Final d'Opération, Nantes: SRA Pays de la Loire, 2007.

Valais et alii 2008: VALAIS (A.), MEURET (J.-C.), NAULEAU (J.-F.), EDIN (F.), HAMON (G.), MUTTARELLI (E.) - Le Clos-Henry: une ferme de La Tène finale à Château-Gontier (Mayenne), *Revue archéologique de l'Ouest*, Rennes: Association pour la diffusion des recherches archéologiques dans l'Ouest de la France, 2008, p. 139-161.

Vaginay, Guichard 1988: VAGINAY (M.), GUICHARD (V.) - *L'habitat gaulois de Feurs (Loire). Fouilles récentes (1978-1981)*, Paris: Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, 1988 (Documents d'archéologie Française, 14), 200 p.

Van Vliet-Lanoë 1987: VAN VLIET-LANOË (B.) - *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest: processus et héritages*, Thèse d'État, Paris: Université de Paris I, 1987, 854 p.

Venet 1974: VENET (J.) - *Identification et classement des bois français. E.N.G.R.E.F.*, 2^e édition, 1974, Nancy, 310 p.

Vernhet et alii 2009: VERNHET (Y.), PLAINE (J.), TRAUTTMANN (F.), PIVETTE (B.), avec coll. CHÈVREMONT (P.) coll., BOURDILLON (C.) coll., COCHERIE (C.) coll. - *Notice explicative, carte géol. France (1/50 000), feuille Cossé-Le-Vivien 355*, Orléans: BRGM, 2009, 222 p.

Visset et alii 2005: VISET (L.), BERBIER (D.), OUGUERRAM (A.) - Le paysage végétal dans le Bas-Maine (Mayenne, France), le long de la vallée de l'Erve, de la fin du Mésolithique à l'époque récente, *RAO*, 22, 2005, p. 85-92.

Vivet 2007: VIVET (J.-B.) - La production du fer protohistorique en haute Bretagne d'après les résultats des prospections, des fouilles d'ateliers et des analyses archéométriques, *in*: MILCENT (dir.) - *L'économie du fer protohistorique : de la production à la consommation du métal*, Actes du XXVIII^e colloque de l'AFEAF (Toulouse, 20-23 mai 2004), Bordeaux : Fédération Aquitania, 2007 (Supplément à la Revue Aquitania, 14/2), p. 63-84.