



ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSE DES FRAGMENTS CHARBONNEUX PRÉLEVÉS
LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE D'UN ATELIER
DE MÉTALLURGIE GALLO-ROMAIN.
SITE DE « PILLEVERTE II » À PLESDER (35).**



Centre Régional d'Archéologie d'Alet

Rapport d'étude anthracologique

Février 2020

Centre Régional d'Archéologie d'Alet

Rue de Gaspé

35400 SAINT-MALO

**Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération archéologique
d'un atelier de métallurgie gallo-romain. Site de « Pilleverte II » à Plesder (35).**

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

membre associé à l'UMR 6566 CReAAH et chargé de cours l'Université de Rennes 1

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Février 2020

Illustration de la page de couverture :

Fragment de chêne caducifolié (Quercus sp.), d'aspect « dur-luisant » et de courbure forte (petit calibre). Structure 1314.

Coupe transversale sous loupe binoculaire x5 (l'échelle représente des millimètres).

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	5
1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS.....	6
2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION	12
2.1. Équipement d'observation.....	12
2.2. Méthodologie.....	13
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux	18
2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration ».....	20
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	22
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....	25
3.1. Prélèvements collectés dans la zone de broyage du minerai.....	25
3.1.1. Résultats.....	25
- Prélèvements de la structure 428.....	25
3.1.2. Interprétations	26
3.2. Prélèvements collectés dans la zone de stockage de charbons de bois.....	27
3.2.1. Résultats	27
- Prélèvements de la structure 300.....	27
3.2.2. Interprétations.....	27
3.3. Prélèvements collectés dans l'aire du bas fourneau et dans les restes du chargement d'une cheminée	28
3.3.1. Résultats	28
- Prélèvements des structures 303 – 304, correspondant aux restes du chargement d'une cheminée.....	28
- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999.....	32
3.3.2. Interprétations.....	37
3.4. Prélèvements collectés dans les foyers de la zone d'épuration.....	40
3.4.1. Résultats	40
- Prélèvements de la structure ST 449.....	40
- Prélèvements de la structure ST 474.....	41
- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999.....	43
- Prélèvements de la structure ST 448.....	44
3.4.2. Interprétation	46
3.5. Prélèvements collectés dans une aire de stockage de charbons de bois à l'intérieur de la halle de travail.....	48
3.5.1. Résultats	48
- Prélèvements de la structure 1314.....	48
3.5.2. Interprétation	49
3.6. Prélèvements collectés dans une zone de ferrier.....	51
3.6.1. Résultats	51
- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999.....	51
3.6.2. Interprétation	52
3.7. Prélèvements collectés dans une zone de réserve de charbons proche du bas fourneau.....	53
3.7.1. Résultats	53
- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999.....	53
3.7.2. Interprétation	54
3.8. Prélèvements collectés dans une zone de stockage de minerai grillé ou de réserve de charbons proche du bas fourneau.....	55

3.8.1. Résultats	55
- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999.....	55
3.8.2. Interprétation	55
3.9. Prélèvements collectés dans le comblement d'une rigole de drainage de l'aire du bas fourneau.....	56
3.9.1. Résultats	56
- Prélèvements de la structure ST 423 (mobilier mélangé).....	56
3.9.2. Interprétation	58
4. BILAN.....	59
5. BIBLIOGRAPHIE.....	68
6. ANNEXE – Photographies.....	70

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors des différentes campagnes de fouille effectuées sur le site de « Pilleverte II » à Plesder (35).

Le site correspond aux vestiges d'un atelier de réduction de fer à scories de typologie dite en « plaquettes » de la période gallo-romaine (2^{ème} moitié IIe-début IIIe s. ap. J.-C). Il a été identifié lors de prospections en 1997 (Vivet, 1997).

Selon l'archéologue, le fonctionnement de l'atelier semble assez « standardisé ». Il n'apparaît pas de véritables spécificités « locales ». Il pourrait faire partie de la logistique romaine du secteur. Dans l'état actuel des recherches, le site peut être rapproché des ateliers identifiés au village les Martyrs dans les montagnes noir dans l'Aude (Domergue *et al.*, 1999), du site de Roche Brune identifié à l'est de la forêt de Sillé-le-Guillaume en Sarthe (Sarreste, 2008) et du site Le Buisson à Saint-Evroult de Montfort dans l'Orne (Langlois, 2005).

Dans les grands traits, le site se compose :

- d'une « halle de travail de métallurgie », à l'intérieur de laquelle on a identifié l'emplacement d'un bas fourneau, d'une zone d'épuration et d'une zone de stockage de charbons entre les 2 espaces,
- d'un ferrier (zone de rejet des scories) qui a recouvert une zone charbonneuse, probablement de stockage,
- des zones de stockage de charbons de bois, de minerais grillés,
- d'une aire domestique.

De nombreux lots de charbons ont été collectés dans les différentes structures du site.

La principale problématique de cette analyse anthracologique vise à qualifier la qualité du combustible utilisé lors des différentes phases de la chaîne opératoire pratiquée dans l'atelier de métallurgie.

Le site a fait l'objet de sondages (1999, 2011) et fouilles (2016, 2017, 2018) par le Centre Régional d'Archéologie d'Alet sous la direction de J.-B. Vivet.

L'étude a été commandée par le Centre avec l'accord de sa directrice Madame Catherine Bizien-Jaglin.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Plusieurs étapes de la chaîne opératoire de cet atelier de métallurgie ont pu être identifiées et interprétées au regard des artefacts archéologiques (Fig. 1). Elles correspondent à des zones ayant fait l'objet de prélèvements anthracologiques.

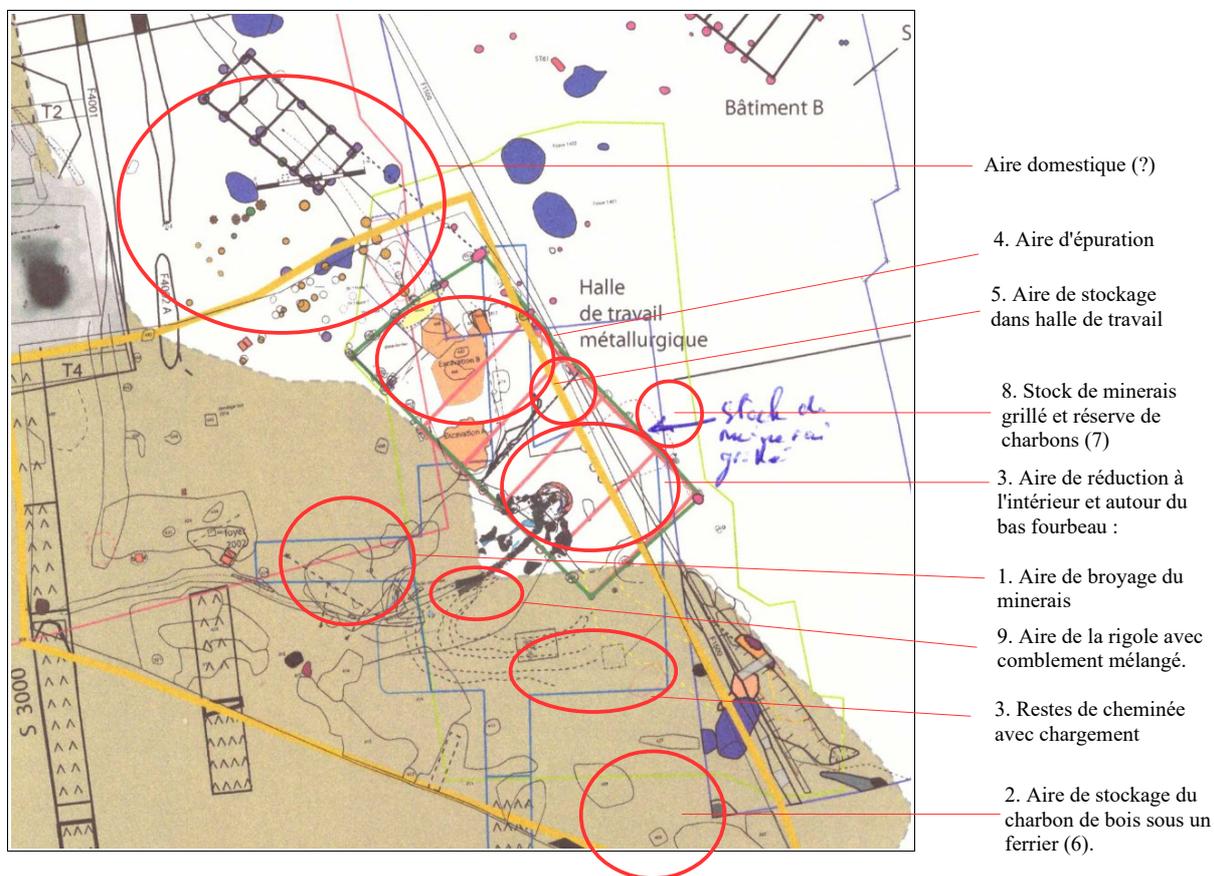


Fig. 1 – Plan du site et localisation des différentes zones d'activités identifiées (extrait de Vivet, 2017).

On discerne :

1. Une zone de broyage du minerai,

Après avoir collecté du minerai, a lieu une phase de grillage destinée à « fragiliser » le minerai. La zone de grillage n'a pas été identifiée mais la zone correspondant à la zone de broyage du minerai se situerait à l'ouest de la halle de travail.

Les fragments charbonneux correspondent aux résidus liés à la phase de grillage. (Ex. structure 428)

2. Une zone de stockage de charbons de bois,

L'aire de stockage à l'entrée du site, au sud-est, correspondrait à la première zone de dépôt de l'approvisionnement par les charbonniers.

La couche sous-jacente aux charbons n'était pas rubéfiée, cela accrédite l'hypothèse d'une zone de stockage plutôt qu'une zone de charbonnage.

La zone est apparue légèrement en creux. Cette aire de stockage a probablement connu une alternance de phases de dépôts et de collectes de charbons de bois, ayant ainsi créé un léger creusement (Ex. structure 300).

Notons qu'aucune fosse à charbonnage n'a été identifiée sur le site.

3. Un bas fourneau,

La construction du bas fourneau correspond à la phase de réduction. La base du bas fourneau devait rester fixe, implantée dans une paroi argileuse. Les artisans n'avaient qu'à refaire la façade et une partie de la cheminée (beaucoup de morceaux de parois et de portes de cheminées ont été retrouvés).

Les lots de charbons provenant directement de l'intérieur du bas fourneau correspondent pour beaucoup à des prélèvements de 1999. L'enregistrement a été effectué à l'aide d'un quadrillage qui était centré autour du bas fourneau. (cf. caisson 1999, ex. case K51).

De plus, une ancienne cheminée du bas fourneau munie encore d'une partie de son chargement a été identifiée. Nous avons ainsi pu étudier le contenu charbonneux des niveaux supérieurs de ce chargement (structure 303 et dans une moindre mesure, structure 302 et 304).



Fig. 2 – Photographie de la base du bas fourneau en cours de fouille (vue depuis le nord, extrait de Vivet, 2008).

4. Des foyers de la zone d'épuration,

La phase d'épuration (ou « affinage ») correspond à une phase où l'on « dégrossit », où l'on fusionne les morceaux issus de la réduction (morceaux de la « loupe » prélevée en fond de fourneau). C'est une phase qui nécessite de fortes températures, supérieures à celles de la phase de réduction. On a retrouvé des morceaux de « bloc-tuyères » (bloc avec tuyau qui se dédouble en Y) qui permettaient probablement d'atteindre ces hautes températures. De plus, ces zones d'épuration sont généralement caractérisées par des battitures. Celles-ci sont en forme de « goutte » si le métal frappé est très chaud (dans la zone d'épuration), elle sont de forme plus « plate » si le métal est moins chaud (ex. dans une forge).

Situés dans la partie nord-ouest du hall de travail métallurgique, les foyers identifiés ont livré des sédiments fortement rubéfiés de couleurs orangées mêlés à des fragments charbonneux. Quelques battitures de forme sphérique ont été identifiées. (cf. Fig. Fig. 3).

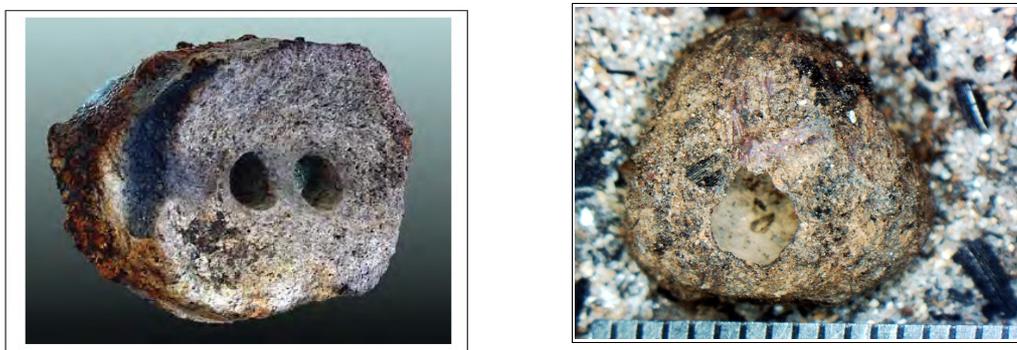


Fig. 3 – Photographies d'un « bloc-tuyère bifide » TBF 62 (extrait de Vivet, 2011) et d'une battiture de forme sphérique identifiée lors de l'étude d'un lot anthracologique provenant de la structure ST 474 (prélèvement 160). L'échelle représente des millimètres.

Les foyers d'épuration correspondent aux structures 449, 448 et 474.

5. Une zone de stockage de charbons de bois dans la « halle de travail »,

Zone fouillée en 2011, elle correspond à l'aire 1373 (lot n° 1314).

6. Un ferrier,

Quelques charbons ont pu être recueillis associés aux scories de réduction.

7. Une réserve de charbons proche du bas fourneau,

Selon J.-B. Vivet, il s'agit probablement d'une réserve importante de charbon de bois à proximité du bas fourneau, qui sert de manière fonctionnelle à l'alimenter directement au cours de l'opération de réduction. Elle est située contre l'angle sud-est de la halle de travail, voire même en partie à l'intérieur.

Cette réserve de charbons (7) vient en continuité avec la zone de stockage de charbon située à l'entrée du site (structure-fossé 300) présenté dans le point n°2 ci-dessus.

8. Une zone de stockage de minerai grillé (?) ou en réserve (cf. 7. ci-dessus ?)

Les vestiges de ce stock de charbons de bois (point n°7) recouvraient largement la fosse dans laquelle se trouvait le stock de minerai grillé. De ce fait, les niveaux inférieurs de la fosse correspondant au minerai grillé, accueillent des charbons de bois qui proviennent probablement davantage de la couche supérieure que du travail de grillage proprement dit.

La comparaison de ce lot anthracologique associé à du minerai grillé avec la composition des lots provenant de la zone de réserve n°7 permettra d'avancer par rapport à l'origine des charbons.

9. L'emplacement d'une « rigole » (comblement avec du mobilier mélangé).

En aval du bas fourneau a été aménagé un radier associé à une rigole permettant le drainage de l'espace du bas fourneau. Des sédiments dont des charbons de diverses provenances (domestiques et artisanales?) sont venus s'accumuler dans cette rigole (Ex. Structure 423).

La problématique abordée dans ce rapport visera principalement à qualifier la qualité du combustible utilisé lors des différentes phases de la chaîne opératoire.

Des restes charbonneux ont été prélevés dans une dizaine de structures en plus du décapage centré autour du bas fourneau en 1999. Plus d'une centaine de lots a ainsi été collectée pour l'ensemble des campagnes de fouille. Tenant compte de l'état de conservation de ces structures, de la problématique axée sur la caractérisation du combustible dans la chaîne opératoire et de l'enveloppe allouée, nous avons concentré l'effort d'analyse sur une sélection de 64 échantillons. Environ 1150 charbons ont été étudiés.

Les lots répartis en fonction de leur position dans la chaîne opératoire ont été listés dans le tableau suivant (Fig. 4).

Structures – US	Année	Num. prélèv.	Position Chaîne Opératoire	Nb. charb.
ST 428	2018	168	1. La zone de broyage du minerais	31
ST 428	2018	166	1. La zone de broyage du minerais	11
ST 428	2018	165	1. La zone de broyage du minerais	10
428 cote ouest	2018	167	1. La zone de broyage du minerais	45
ST 300 - strate charbonneuse	2017	ch1	2.La zone de stockage de charbons de bois	10
ST 303 – 304	2017	ch4	3. bas fourneau – chargement de cheminée	16
ST 303 – 304	2017	ch6	3. bas fourneau – chargement de cheminée	17
ST 303 – 304	2017	ch7	3. bas fourneau – chargement de cheminée	31
ST 303 – 304	2017	ch8	3. bas fourneau – chargement de cheminée	15
ST 303 – 304	2017	ch9	3. bas fourneau – chargement de cheminée	33
ST 303 – F1500	2017	ch11	3. bas fourneau – chargement de cheminée	20
ST 303 – jonction paroi et substrat	2017		3. bas fourneau – chargement de cheminée	32
ST 303 – F 1500	2017		3. bas fourneau – chargement de cheminée	33
ST 303 -304 – moitié sud-ouest	2017	s-o fosse	3. bas fourneau – chargement de cheminée	31
1999 – K51	1999	18	3. bas fourneau	15
1999 - K51 K52 – remplissage TP	1999		3. bas fourneau TP associable à interpréter	21
1999 – L51 – 2e décapage	1999	suite 13 ?	3. bas fourneau	18
US 1 fosse de travail ? 1999	1999		3. bas fourneau	27
1999 – L52 – bord de la fosse – ferrier	1999	22	3. bas fourneau	20
1999 – K51	1999	19	3. bas fourneau	26
1999 – L50	1999	16	3. bas fourneau	25
1999 – L51 – 1er décapage	1999	13	3. Dans le bas fourneau	20
1999 – L51 – M51 – Fourneau – A l'intérieur du fourneau – 30 premiers cm	1999	15	3. Dans le bas fourneau	32
1999 – L51 – M51 – Fourneau - Couche de charbons sous le niveau enduré (z =215cm)	1999		3. Dans le bas fourneau	33
1999 – L51 – M51	1999	2	3. Dans le bas fourneau	16
1999 – L51	1999	21	3. Dans le bas fourneau	20
1999 – L51 – M51 – Fourneau	1999	29	3. Dans le bas fourneau	5
449.1	2018	190	4. Foyers de la zone d'épuration	10
449.2	2018	172.2 et 172.1	4. Foyers de la zone d'épuration	40
449.2	2018	189	4. Foyers de la zone d'épuration	11
449.3	2018	191	4. Foyers de la zone d'épuration	6
474.1 est	2018	187.1	4. Foyers de la zone d'épuration	30
474.3	2018	186.3	4. Foyers de la zone d'épuration	5
474.3	2018	181	4. Foyers de la zone d'épuration	11
474.2 est	2018	179	4. Foyers de la zone d'épuration	5
474.2 bis	2018	180	4. Foyers de la zone d'épuration	20
474.2	2018	182	4. Foyers de la zone d'épuration	7
1999 – K52	1999	20	4. Foyers de la zone d'épuration (fosse A)	9
1999 – L53	1999	27	4. Foyers de la zone d'épuration	20
1999 – L53	1999	26	4. Foyers de la zone d'épuration	16
1999 – L55	1999	25	4. Foyers de la zone d'épuration	25
ST 448	2018	201	4. Foyers de la zone d'épuration	16
ST 448	2018	202	4. Foyers de la zone d'épuration	20
ST 448	2018	203	4. Foyers de la zone d'épuration	15
ST 448	2018	206	4. Foyers de la zone d'épuration	11
ST 448 ou US 448	2018	204	4. Foyers de la zone d'épuration	29
ST 448 ou US 448	2018	205	4. Foyers de la zone d'épuration	15
ST 1314 – aire de charbon de bois / aire 1373	2011	lot1	5.Stock de charbon de bois dans l'atelier de métallurgie	45
ST 1314	2011	lot2	5.Stock de charbon de bois dans l'atelier de métallurgie	2
1999 – L49	1999	30	6. Zone du ferrier	5
1999 – M49	1999	5	6. Zone du ferrier	10
1999 – M49	1999	9	6. Zone du ferrier	10
1999 – N48 – N49	1999	7	7. réserve charbon proche bas fourneau	32
1999 – N49	1999	8	7. réserve charbon proche bas fourneau	21
1999 – N50	1999	11	7. réserve charbon proche bas fourneau	21
1999 – N49 – N50	1999	6	8. lié au stock de minerai grillé (?) ou réserve 7 (10
1999 – N50	1999	10	8. lié au stock de minerai grillé (?) ou réserve 7 (20
ST 423	2018	170	9. Fond de rigole (mobilier mélangé)	5
ST 423	2018	162	9. Fond de rigole (mobilier mélangé)	5
ST 423	2018	178	9. Fond de rigole (mobilier mélangé)	3
ST 423	2018	176	9. Fond de rigole (mobilier mélangé)	12
ST 423 ?	2018	175	9. Fond de rigole (mobilier mélangé)	12
ST 423 ?	2018	177	9. Fond de rigole (mobilier mélangé)	7
ST 423	2018	174	9. Fond de rigole (mobilier mélangé)	12
				1166

Fig. 4 – Inventaire des prélèvements par structure. Les lots anthracologiques étudiés ont été répartis en fonction de leur position dans la chaîne opératoire.

Les prélèvements ont été réalisés en « masse ». Ils sont le plus souvent rattachés à des structures ou par carré de fouille pour la campagne de 1999. Les prélèvements étaient généralement très riches en charbons et ont directement fait l'objet d'un tri avant observation.

Afin d'avoir une idée de la représentativité de la diversité taxonomique à l'intérieur des échantillons étudiés, il est courant de calculer des courbes « effort-rendement » (Chabal, 1997 et Chabal *et al.*, 1999). Le principe de cette courbe repose sur la mise en perspective du rang des premières identifications des taxons afin de déterminer des seuils, ou effectifs, au delà desquels l'apport de nouvelles essences ne paraît plus « rentable ».

Cette technique est peu pertinente pour les compositions anthracologiques de faibles diversités, ce qui est globalement le cas des lots étudiés. En effet, la majorité des lots est composée d'une à trois essences, seuls quelques prélèvements comportait davantage de taxons.

La courbe « effort-rendement » réalisée pour le prélèvement de la structure ST1314, lot comprenant quatre taxons pour 45 charbons observés, montre un seuil compris entre 15 et 30 charbons (Fig. 5). Ce seuil a systématiquement été atteint lorsque le nombre de charbons présents à l'intérieur des lots était suffisant.

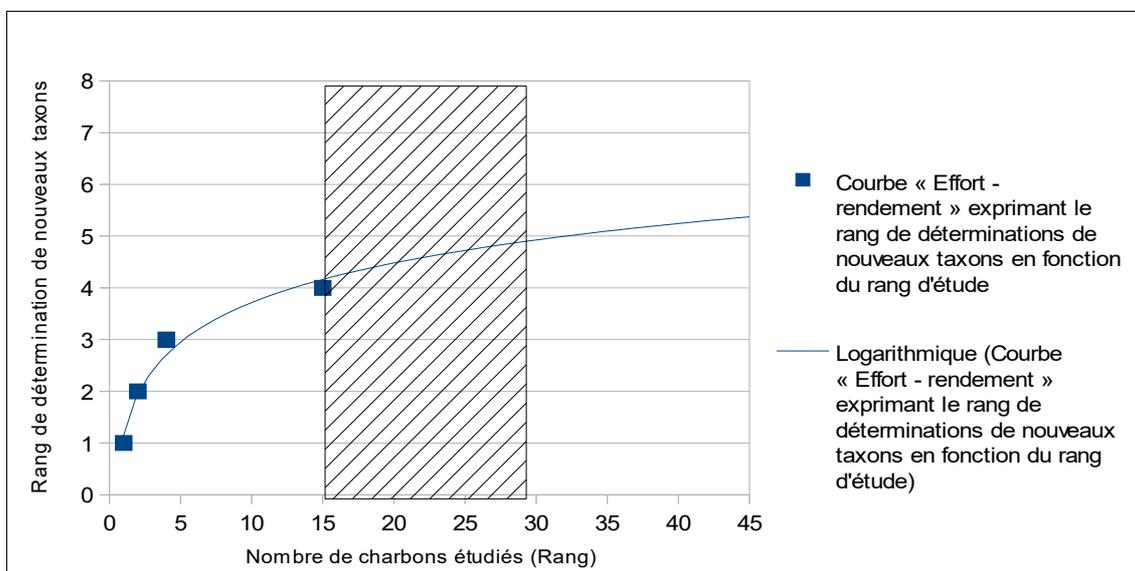


Fig. 5 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement de la structure « ST 1314, aire 1373 ». Dans cet exemple, le quatrième taxon (*Alnus sp.*) a été observé au rang 15 et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 15 et 30 charbons. 45 fragments ont été observés pour ce lot.

Les indicateurs calculés à partir des courbes « effort-rendement » sont basés sur la diversité taxonomique, or en plus des identifications nous avons aussi procédé à des observations permettant de préciser la nature des ensembles anthracologiques : mesures de largeurs de cerne, estimations des calibres, types de combustion, traces de découpes, de xylophages, etc... Les courbes « effort-rendement » étant basées sur la diversité taxonomique, nous n'avons donc pas jugé judicieux de nous baser exclusivement sur les seuils obtenus pour établir des effectifs d'échantillonnages représentatifs.

En concertation avec l'archéologue et en fonction de l'enveloppe allouée pour cette étude, nous avons choisi d'étudier les lots de façon la plus exhaustive possible en répartissant l'effort de l'étude sur l'ensemble des 64 lots. Ainsi nous avons fait en sorte que le nombre de charbons étudiés tienne aussi compte du nombre de fragments présents dans chacun des lots (Fig. 4).

2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION

2.1. Équipement d'observation

Les observations microscopiques ont été réalisées au sein du laboratoire ArkéoMap (Stéréomicroscope Olympus SZX7, grossissements x10 à x60 et microscopes Olympus CX40 ou BX60 à lumière incidente, grossissements de x50 à x1000). L'utilisation d'atlas d'anatomie du bois (Schweingruber, 2011), les traitements numériques et l'élaboration du rapport ont été effectués au sein de la structure ArkéoMap. Des référentiels anthracologiques ont pu être consultés au sein du laboratoire de l'UMR 6566 « CReAAH » à l'Université de Rennes1.



Fig. 6 - Détails du microscope équipé d'un dispositif en lumière incidente (Olympus BX60 à grossissements x50 à x1000). Laboratoire ArkéoMap.

2.2. 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 :

- plan transversal,
- plan longitudinal radial,
- plan longitudinal tangentiel.

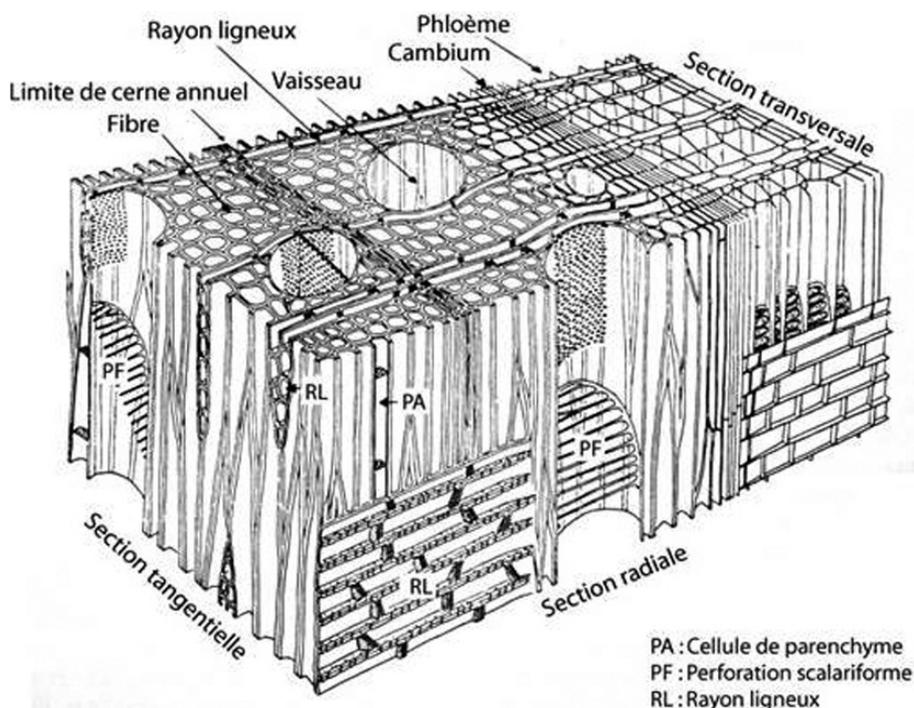


Fig. 7 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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'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.

Une partie des mesures dendrologiques nécessite des charbons de bois d'environ 5 à 2 mm minimum. En revanche, il est possible de travailler sur des très petits charbons (2 à 1 mm) pour les déterminations taxonomiques.

La famille des ligneux carbonisés (combustion partielle) se détermine à coup sûr et souvent le genre. Toutefois, il est délicat, voire impossible, de distinguer certaines espèces. Les variations biotopiques au sein d'une même espèce sont souvent plus importantes que les différences interspécifiques au sein du genre, d'où par exemple le taxon anthracologique « *Quercus sp.* » pour désigner les chênes à feuillage caduc.

Notons aussi le taxon anthracologique « *Quercus / Castanea* » désignant aussi bien le chêne que le châtaignier. En effet, les deux taxons se différencient par la présence d'un critère anatomique (les rayons multisériés présents chez le chêne) qui n'est pas toujours visible sur les petits fragments.

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

Les données phyto-écologiques que nous dégagerons de notre étude reposeront sur les informations écologiques intrinsèques à chaque taxon attesté et sur les groupements végétaux mis en évidence. Il sera aussi fait parfois référence aux données quantitatives (effectifs) 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 et b). Ainsi, il est possible de collecter des informations sur :

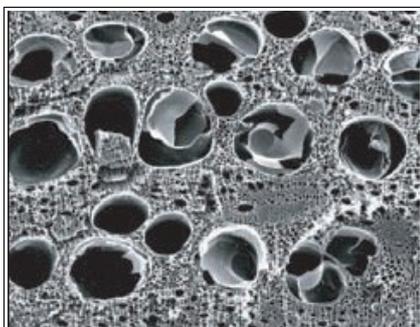
- **l'allure des limites de cernes** (de courbure très faible, intermédiaire ou nettement courbe, (cf. chapitre 2.3. sur les observations macroscopiques)), pour estimer la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses.

- **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 thylles**

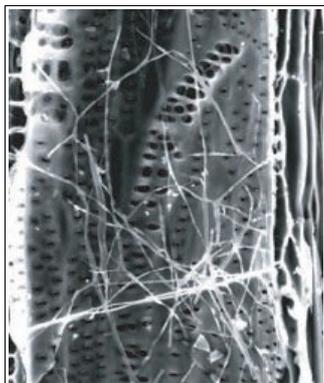
Les thylles ou extensions de cellules parenchymateuses vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans le duramen (ou bois de cœur des arbres). En effet, la partie centrale morte d'un tronc se transforme peu à peu. Certains auteurs parlent de "duraminisation". Cette transformation s'accompagne entre autres de sécrétions ou dépôts de gommés et d'excroissances cellulaires appelées thylles obstruant peu à peu les vaisseaux du duramen ne fonctionnant plus. Les thylles 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 thylles 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 al.*, 2010). Ce critère est utilisé pour écarter des charbons du bois de cœur (pour les datations C14 notamment).

Fig. 8 – Thylles dans du duramen carbonisé de chêne (Marguerie *et al.*, 2010).

- la présence d'hyphes de champignons dans les vaisseaux.



Dans les vaisseaux observés en coupe longitudinale, des filaments blancs sont parfois détectés. Ils correspondent aux hyphes qui envahissent et pénètrent dans le bois mort ou mourant en conditions aérobies à partir des champignons qui se développent à la surface des arbres.

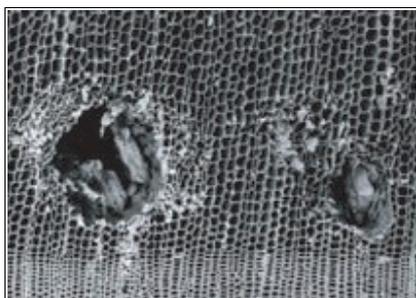
Fig. 9 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie *et al.*, 2010).

- 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 al.*, 2010).

Fig. 10 – Galerie d'insectes xylophages dans un charbon de pin sylvestre (*Pinus sylvestris L.*) (Marguerie *et al.*, 2010).

- la largeur moyenne des cernes figurés sur le charbon pour apprécier les caractères biotopiques, (cf. chapitre 2.3. 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 al.* (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.

Fig. 11 – Exemple de fentes de retrait (Marguerie *et al.*, 2010).

La vitrification (phénomène donnant lieu à l'aspect luisant du charbon) affecte plus souvent des petites pièces de bois (Oilic, 2011). Selon Marguerie *et al.* (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). Prior et Alvin y voient la conséquence d'une combustion à très haute température (Prior et Alvin, 1986), néanmoins ce seul critère serait remis en cause par McParland *et al.*, (2010). De fortes variations de températures comme "un refroidissement rapide de surfaces chaudes en conditions anaérobies" (conditions réductrices) pourraient par exemple provoquer ce phénomène de vitrification selon Blaizot *et al.* (2004). Selon H. Seignac (Nicolas *et al.*, 2013), la vitrification demeure un phénomène qui n'a jamais été reproduit en contexte expérimental mais on retrouve des charbons vitrifiés dans deux types de structures : les fours de réduction et les charbonnières. Elle reste un phénomène complexe, dépendant à la fois de la nature du combustible (bois vert ou sec, calibre, essence) et de son contexte de combustion (température, degré d'oxygénation).

En 2011, J.-C. Oilic réutilisa une classification du « degré de vitrification » de D. Marguerie et J.-Y. Hunot (2007).

Il discerne quatre niveaux de vitrification :

1. Aspect mat : Cet aspect correspond au degré 0 de la vitrification. Les charbons ont tous un aspect mat, gris ou noir.

2. Aspect luisant : les charbons ont un aspect gris foncé à clair très brillant.

3. Aspect fondu : Cette catégorie regroupe l'ensemble des charbons qui présentent des plages extrêmement brillantes, où les structures anatomiques du bois ont complètement disparues.

4. Aspect scoriacé : cet aspect correspond au dernier degré de vitrification. Les charbons de bois ont perdu la quasi-totalité de leurs structures anatomiques. Il ne persiste généralement qu'une sorte de magma informe solidifié, donnant parfois l'aspect d'être entré en ébullition. Ponctuellement, les reliefs de parois cellulaires peuvent être observés, seuls témoins de l'origine végétale de l'échantillon et qui permettent de le distinguer d'une scorie en contexte sidérurgique.

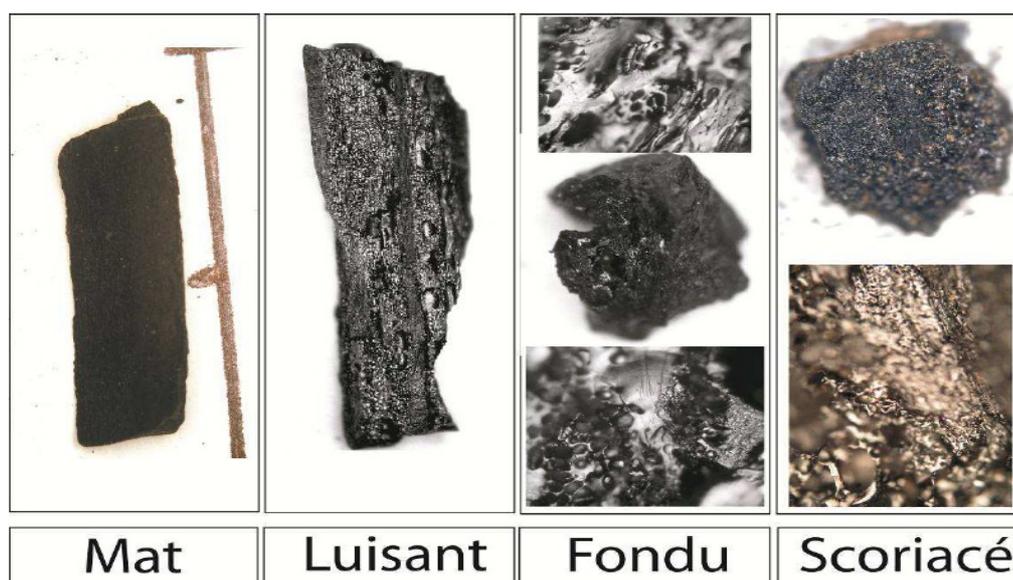
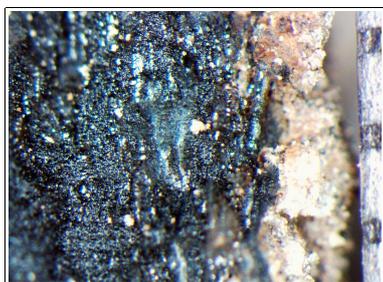


Fig. 12 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les lots anthracologiques (Oilic, 2011).

J.-C. Oilic expérimenta différents types de combustions afin d'associer les aspects des charbons (pourcentages) à des pratiques de charbonnage, de grillage et à l'utilisation de bas fourneaux, de haut-fourneaux.



Remarque : l'aspect de certains charbons n'a pu être qualifié par cette classification. Quelques charbons avaient en effet un aspect « granuleux », avec des structures anatomiques indéterminées. Cet aspect se différencie de l'aspect « scoriacé » par le fait qu'il ne semble pas se produire de phénomène de « fusion » des parois cellulaires. Un cinquième aspect, « granuleux » (Fig. 13) a donc parfois été utilisé.

Fig. 13 – Exemple de fragments charbonneux avec un aspect « granuleux ».

- **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 initial (bois de printemps) du bois final (ou bois d'été). Par exemple, 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'anthraco-analyse 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...

2.3. Observation macroscopique du plan ligneux

- 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 (types de courbure, types de combustion, occurrences de thylles, traces d'insectes...). Néanmoins, une partie des charbons n'a 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 des charbons a également été tentée sur quelques 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.

A noter que sur les petites branches (bois de petit calibre, à forte courbure) cette mesure n'a pas de sens du fait de leur croissance totalement excentrée. De plus, la croissance des arbres est plus vigoureuse durant les premières années de vie ce qui donne en règle générale des largeurs très larges pour les premiers cernes. Nous écartons aussi ces cas en ne retenant que les charbons présentant des courbures faibles (charbons en provenance de troncs de fort calibre et donc relativement âgés). 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). En revanche, un milieu plus ouvert est riche en bois à croissance rapide (cernes larges).

Une synthèse des résultats réalisés sur le Massif armoricain (Marguerie et Hunot, 2007) a permis de montrer une évolution des largeurs de cerne en fonction du temps.

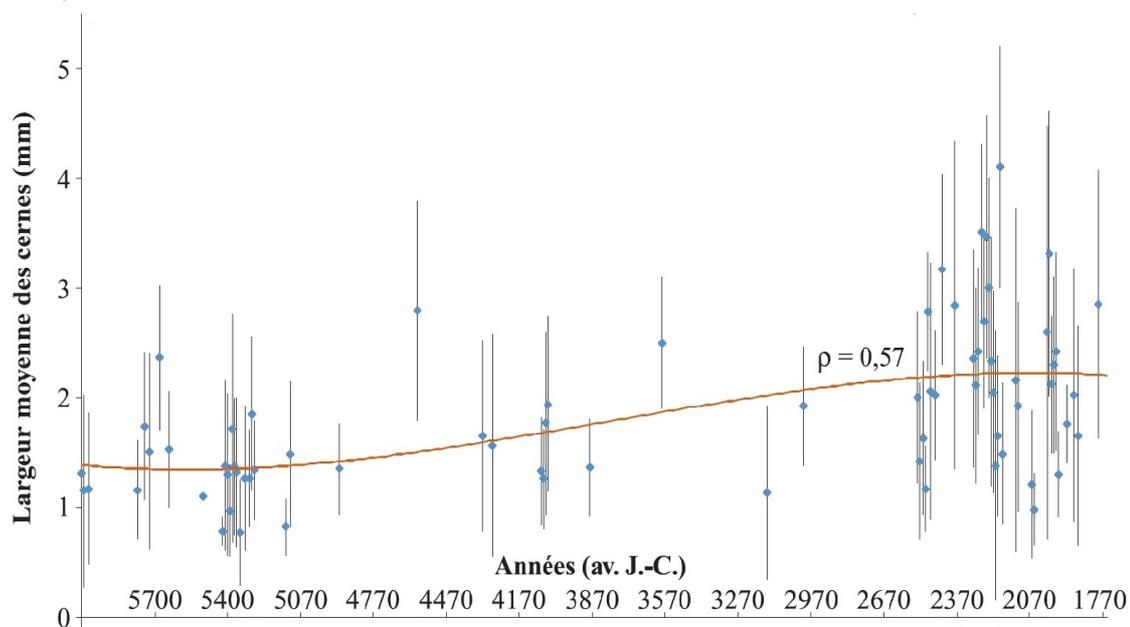


Fig. 14 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 14). On constate des valeurs comprises entre 1 et 2 mm au cours du Néolithique puis une augmentation régulière de ces valeurs au moins jusqu'au début de l'Antiquité. Cette évolution est principalement interprétée par l'effet de l'ouverture du paysage. Les boisements fermés du Néolithique se concrétisent par des croissances difficiles (moyennes des largeurs de cerne comprises entre 1 et 2 mm) et vont progressivement céder la place à des boisements plus clairs et des formations de types lisières, haies, plus favorables à la croissance des arbres (moyennes comprises entre 4 mm et 1 mm). On note toutefois une hétérogénéité des valeurs durant l'Age du fer indiquant probablement la coexistence de milieux plus ouverts mais aussi de milieux fermés.

De nos jours, les croissances recherchées par les forestiers dans le cadre de gestions sylvicoles de type futaie sont de l'ordre de 5 mm / an.

Remarque. Il n'existe actuellement pas de synthèse régionale.

- Estimation du calibre des arbres, recherche du diamètre des arbres utilisés : Mesures des calibres

L'observation des courbures des cernes renseigne sur l'origine des bois carbonisés.

Trois catégories de courbures sont potentiellement renseignées : faible, intermédiaire, forte (Fig. 15). Par exemple, une faible courbure de cerne indiquera la provenance d'au moins une pièce de bois de gros calibre : grosse branche ou tronc. Nous parlons alors de calibre des charbons de bois.

Remarque : L'interprétation doit s'appuyer sur des ensembles statistiquement représentatifs. Par exemple, l'interprétation de bois de petit calibre pourra se faire uniquement si l'on est en présence exclusivement de fragments de courbure de cerne forte. En revanche, l'observation dans un même ensemble de fragments avec à la fois des courbures faibles, intermédiaires et fortes ne permet pas de conclure sur la composition exacte du calibre des bois utilisés. Dans ce cas, seule l'utilisation pour une partie au moins de bois de gros calibre peut être avancée.

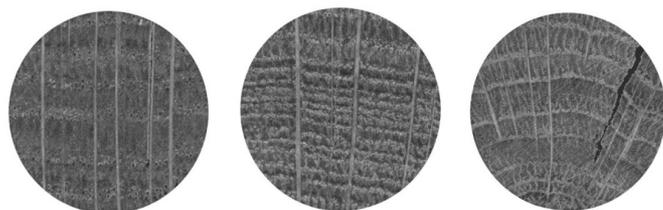


Fig. 15 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration »

La technique dite de « calibration » a pour objectif d'estimer le diamètre minimum des arbres. Cette approche permet de mesurer les calibres minimum à partir de l'angle que forment les rayons ligneux entre eux. Il est ensuite possible de les répartir dans chacune des classes de calibre de façon à mieux appréhender les calibres réellement utilisés (Dufraisse *et al.*, 2011).

La mesure des calibres s'effectue à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image. Une loupe binoculaire équipée d'une caméra et couplée à un ordinateur permet la capture de l'image du charbon à mesurer. Les grossissements 7x à 40x ont été utilisés.

Selon N. Marcoux (2009), la capture est à effectuer sur la partie la plus externe du charbon de façon à estimer au mieux son calibre. Deux droites correspondant à des rayons ligneux sont dessinées : d1 et d2 (Fig. 16). 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 a formé par les deux droites d1 et d2 sont les données utilisées dans le calcul trigonométrique basé sur le sinus (Fig. 16).

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 S., 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.

Ces mesures nécessitent des analyses d'images qui ont été réalisées au laboratoire ArkéoMap sous stéréomicroscope Olympus (SZX7).

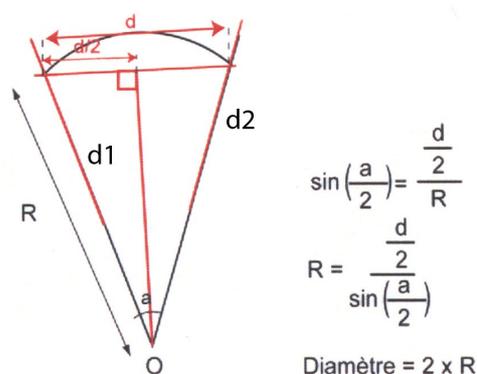


Fig. 16 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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 les plus fortes positions radiales calculées) sont aussi les plus nombreux. (Cf. Fig. 17, principe des histogrammes de fréquences, selon Dufraisse *et al.*, 2011). Le rayon de l'arbre pourra ainsi être estimé en prenant la classe de diamètre maximale.

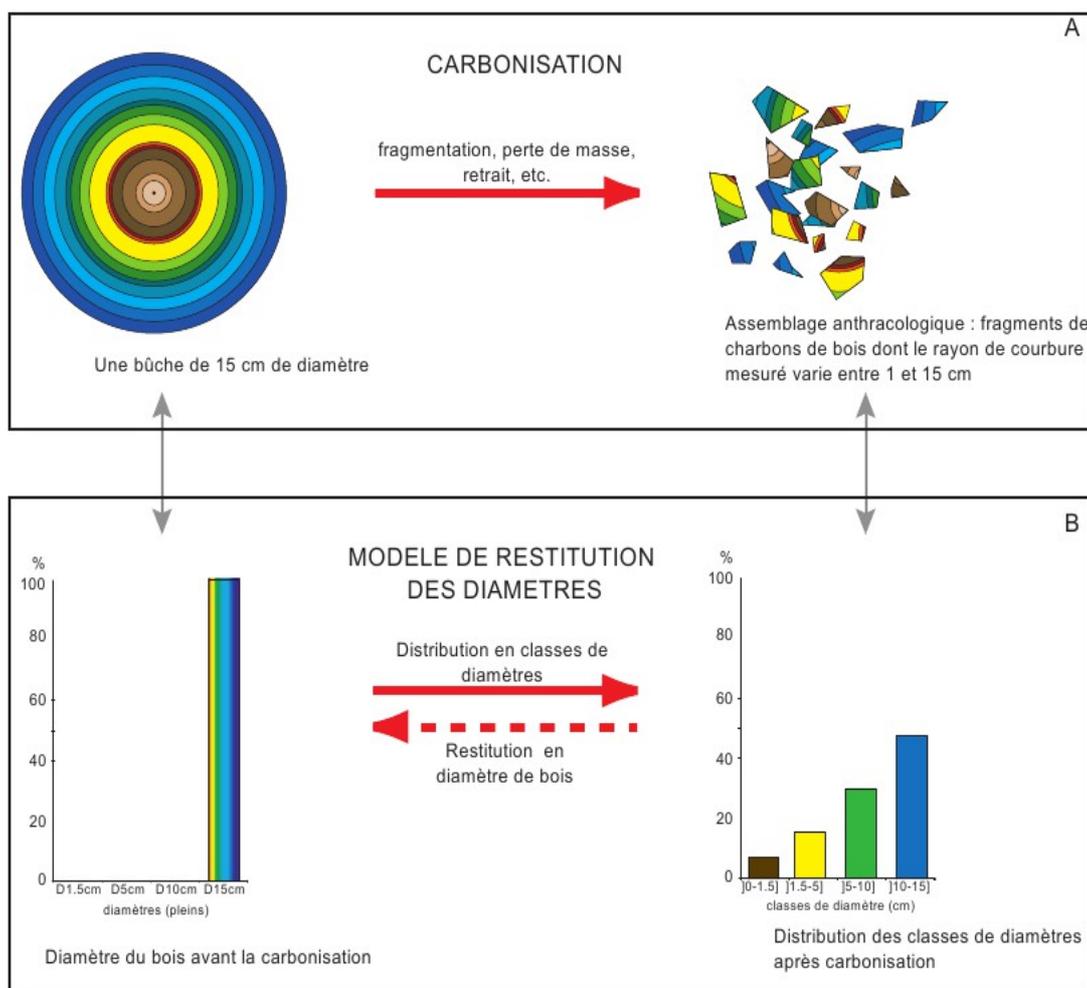


Fig. 17 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

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

L'étude des 64 prélèvements a permis de déterminer treize taxons anthracologiques. Toutefois, l'ensemble des compositions anthracologiques est dominé par le chêne caducifolié (*Quercus sp.*).

La composition taxonomique des ensembles étudiés doit être interprétée en tenant compte de choix particuliers en combustible. En effet, la richesse taxonomique qui est parfois constatée n'est pas forcément le reflet d'une formation végétale ligneuse naturelle environnant le site. 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 identifiés peut cependant apporter quelques éléments d'interprétation (Rameau *et al.*, 1989) :

Le chêne (*Quercus sp.*) à feuilles caduques correspond indifféremment, dans le domaine géographique considéré, essentiellement au chêne pédonculé et sessile. Le chêne est surtout apprécié comme bois de charpente mais aussi comme combustible, c'est un bon charbon de bois autrefois estimé en métallurgie (Rameau *et al.*, 1989). Il donne de bonnes braises et sa combustion est excellente. C'est un bois difficile à travailler, mais solide pour les constructions.

Le châtaignier (*Castanea sp.*) aurait une distribution naturelle en Corse, sur le pourtour méditerranéen et sans doute dans quelques points des Cévennes et des Pyrénées Orientales. Il a été planté partout ailleurs. C'est une espèce relativement thermophile, héliophile ou de demi-ombre que l'on retrouve plutôt sur les sols pauvres en bases et calcaires : sols de pH assez acides. De plus, il est favorisé par les sols assez secs à assez frais. On trouve cette espèce associée aux bois et forêts acidiphiles (ex. chênaies pubescentes sur sols acides). Il fournit un bois hétérogène et à densité assez élevée, il se travaille bien et se débite très bien par fendage. C'est cependant un bois de chauffage moyen, à utiliser en foyer fermé à cause de projections d'escarbilles. Le châtaignier éclatant à la combustion brûle assez rapidement et génère généralement très peu de charbons, ce qui pourrait expliquer sa faible représentation dans les études anthracologiques.

Remarque sur la détection du châtaignier :

La présence du châtaignier (*Castanea sp.*) sur ce site reste hypothétique : d'une part c'est la détection d'un critère anatomique (les rayons multisériés) qui permet de différencier le chêne du châtaignier. Or, sur les petits fragments, l'absence de ce critère n'est pas forcément significatif du châtaignier, d'où la nécessité du taxon anthracologique « chêne-châtaignier » (*Quercus sp. / Castanea sp.*).

Le charme (*Carpinus sp.*) est une essence de demi-ombre ou d'ombre que l'on retrouve plutôt sur les sols à richesse minérale variable : sols de pH basique à moyennement acide. Il apprécie les sols profonds secs à frais. C'est une espèce qui a besoin d'étés chauds pour la maturation des graines. On le trouve en quantité partout en France, sauf dans le Sud-Ouest, en Bretagne, en Basse-Normandie et sur le pourtour méditerranéen où il est plus rare.

Il est fréquemment associé aux forêts collinéennes (*Carpinion betuli*) et chênaies mixtes, aux bois, aux haies. Il fournit un bois homogène à densité élevée, très dur et peu fissible. Plante astringente, c'est un excellent bois de chauffage, brûlant lentement avec une flamme vive. C'est un très bon charbon de bois.

L'érable (*Acer sp.*) et plus particulièrement l'érable champêtre est une essence héliophile ou de demi-ombre favorisée par les sols mésophiles et neutres à basiques. C'est un arbre que l'on retrouve plutôt sur des sols riches en bases mais aussi en azote (pH basique à neutre). Il possède une stratégie de croissance et de captation de la lumière typique d'une essence de trouée, qui le rend également apte aux systèmes bocagers. A l'état naturel on le trouve plutôt en lisière forestière ou dans des forêts ouvertes. Il s'associe bien avec la chênaie-hêtraie. C'est un bois dur et dense qui présente une forte résistance mécanique, il est utilisé pour fabriquer des manches d'outils des établis... Essence utilisée aussi en plantation d'alignement ou en ornement. C'est un bon combustible.

Le houx (*Ilex sp.*) est une essence de forêts, lisières forestières et de haies. Elle s'adapte à tous les substrats, c'est une espèce à large amplitude thermique et hydrique. Ses baies rouges, sont toxiques. Son bois est parfois utilisé en marqueterie ou comme manches divers : fouet, cravache, instrument de dessin, (Rameau *et al.*, 1989). En revanche, il n'est pas connu pour ses qualités combustibles.

Le **noisetier** (*Corylus sp.*) et le **bouleau** (*Betula sp.*) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre. Elles se rencontrent aussi bien dans les **lisières de forêts caducifoliées**, dans des bois clairs, dans des **landes** ou **friches**. Ces espèces s'adaptent à tous les substrats, tant d'un point de vue hydrique qu'en terme de pH. Aussi, on les trouve potentiellement dans la plupart des écosystèmes, même s'ils restent avant tout des arbres pionniers par excellence. Le noisetier et le bouleau sont de bons combustibles (flamme longue, claire, sans fumée), ils dégagent beaucoup de chaleur et une combustion rapide. Leurs bois constituent un excellent bois d'allumage, surtout sous la forme de brindilles.

Le **saule** (*Salix sp.*), le **peuplier** (*Populus 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. Ce sont des bois utilisés en vannerie et offrant pour le saule des propriétés médicinales. En revanche ce sont des bois de feu assez médiocres, charbon léger (Rameau *et al.*, 1989). Ce sont des essences à forte croissance pouvant assurer un bon allumage du feu, mais leurs combustions respectives sont trop rapides.



Fig. 18 – Représentation de l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

Quelques éléments de **frêne** (*Fraxinus sp.*) ont été identifiés. Ce genre correspond au frêne commun (*Fraxinus excelsior*) dans la région considérée. C'est un taxon mésophile à mésohygrophile que l'on trouve dans les bois frais, aux bords des eaux, sur les versants ombragés. Il est souvent associé aux forêts ripicoles, chênaies et hêtraies-chênaies. Le feuillage est un très bon fourrage pour les animaux (Rameau *et al.*, 1989).

Les Pomoïdeae ou Maloïdeae (ex. aubépine, poirier, néflier) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre se rencontrant aussi bien dans les **lisières de bois**, dans des **bois clairs**, des **landes** ou en **forêts caducifoliées ouvertes**. Il n'est pas rare de les retrouver associés aux **Genistae (Fabacées)**.

Les **Pomoïdées** englobent par exemple les **poiriers-pommiers** mais aussi l'**aubépine**. Ces taxons fournissent de bons combustibles.

Les **Fabacées** ligneuses forment une famille regroupant notamment le genêt (*Cytisus sp.*) et les ajoncs (*Ulex sp.*). Ce 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...).

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les résultats sont présentés par structure archéologique (Fig. 4).

3.1. Prélèvements collectés dans la zone de broyage du minerais

3.1.1. Résultats

- Prélèvements de la structure 428

- Structure 428, lot 165

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Quercus sp.	7	0	3	1	2	0	0	0	0	0	0	0	7	1

Fig. 19 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 428, lot 165.

- Structure 428, lot 166

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Fondu très brillant - struct. Inform	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud			
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	7	0	4	3	2	0	0	1	1	0	0	0	0	1

Fig. 20 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 428, lot 166.

- Structure 428, lot 167

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
Indéterminé	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Quercus/Castanea	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	38	0	15	4	9	5	0	8	0	0	1	19	10	

Fig. 21 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 428, lot 167.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	9	22	1,56	0,56	0,81	2,55

Fig. 22 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la structure 428, lot 167.

- Structure 428, lot 168

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.	
Indéterminé	7	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0
Pomoidée	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
Quercus sp.	19	0	9	2	9	0	0	4	1	0	0	10	0
Salix/Populus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Salix sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 23 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 428, lot 168.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	9	30	0,87	0,58	0,21	1,85

Fig. 24 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la structure 428, lot 168.

3.1.2. Interprétations

Les prélèvements collectés dans la zone de broyage du minerais proviennent exclusivement de la structure 428. Quatre lots ont été analysés.

Un seul taxon a été identifié pour trois des quatre lots, il s'agit du chêne (*Quercus sp.*) (Fig. 19, 20 et 21). Le quatrième prélèvement permet d'observer en plus quelques fragments de saule (*Salix sp.*), saule / peuplier (*Populus sp. / Salix sp.*) et de Pomoidées.

L'observation des courbures de cerne montre que les charbons proviennent exclusivement de bois de branches (courbures intermédiaires), voire de petites branches (courbures fortes). Ce type de calibre caractérise plutôt des combustions vives et de courtes durées. Il n'a pas été possible d'estimer les courbures de cerne pour le saule, en revanche les fragments de Pomoidées proviennent exclusivement de bois de petit calibre. Les charbons de chêne proviennent à la fois de bois de petit et moyen calibre.

Les charbons présentent souvent des aspects « fondus, très brillants » (environ 50% des fragments de chêne pour les lots 167 et 168) et dans une moindre mesure « durs-luisants », voire dans quelques cas « scoriacés ». Ces observations correspondent à des combustions de contextes chauds et fermés. Les observations régulières des aspects « fondus, très brillants » et parfois « scoriacés » correspondent aux derniers degrés de vitrification. Le phénomène est probablement en lien avec la phase de grillage du minerais.

Très peu de fragments présentaient des fentes de retrait. Le bois a donc été brûlé à l'état sec.

Quelques mesures de largeurs de cerne ont été réalisées sur les prélèvements 167 (Fig. 22) et 168 (Fig. 24). Les moyennes de largeurs de cerne obtenues sont assez différentes, elles sont respectivement de 1,56 mm et de 0,87 mm. Ces résultats indiquent des ramassages dans contextes de croissance hétérogènes (boisements fermés et ouverts).

3.2. Prélèvements collectés dans la zone de stockage de charbons de bois

3.2.1. Résultats

- Prélèvements de la structure 300

- Structure 300, prélèvement « ch1 ».

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Acer sp.	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0
Corylus avellana	7	0	0	7	0	0	0	4	0	1
Quercus sp.	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0

Fig. 25 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour la structure 300, prélèvement «ch1 ».

3.2.2. Interprétations

Un seul prélèvement provient de la zone interprétée comme une aire de stockage de charbons de bois. Il s'agit d'un lot de la structure 300.

Seulement trois taxons ont été identifiés : le chêne (*Quercus sp.*), l'érable (*Acer sp.*) et le noisetier (*Corylus avellana*).

Sur la dizaine de fragments observée, mis à part un fragment de chêne, pratiquement tous les charbons provenaient de bois de petit calibre (environ 1 cm de rayon avec de fortes courbures de cerne).

La plupart des charbons avait un aspect « dur-luisant ». Ces observations sont généralement interprétées comme la conséquence de combustions en conditions chaudes et anaérobies. Au cours de l'analyse, certains fragments se sont révélés particulièrement durs, rendant difficile l'obtention de cassures « fraîches » pour pouvoir observer les structures anatomiques (notamment l'érable). Ces traits caractérisent assez bien des charbons ayant fait l'objet de pratiques de charbonnage. Notons que la combustion de bois de petit calibre favoriserait aussi la vitrification (Oilic, 2011).

L'érable et le chêne sont des bois durs et denses. Ils sont donc plus énergétiques à la combustion, leurs braises durent plus longtemps et rayonnent davantage. Ils sont connus pour être d'excellents combustibles (Rameau *et al.*, 1989). Ils se prêtent assez bien aux pratiques de charbonnage.

En revanche, le noisetier est un bois plus tendre. Il flambe bien mais ses braises durent peu. C'est plutôt un bois employé pour l'allumage des combustions. Néanmoins, il est probable que le bois de noisetier ait aussi subi le charbonnage car ses fragments étaient aussi d'aspect « dur-luisant ».

L'absence de fentes de retrait et l'observation de galeries d'insectes sur un fragment de noisetier indiquent un ramassage de bois sec.

3.3. Prélèvements collectés dans l'aire du bas fourneau et dans les restes du chargement d'une cheminée

3.3.1. Résultats

- Prélèvements des structures 303 – 304, correspondant aux restes du chargement d'une cheminée

- Structures 303-304, prélèvement « ch4 »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Corylus avellana	2	0	0	2	0	0	0	2	0
Quercus sp.	14	1	1	11	2	8	2	7	1

Fig. 26 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303-304, prélèvement « ch4 ».

- Structures 303-304, prélèvement « ch6 »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.	Aspect granuleux - indet.
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Quercus sp.	16	0	6	9	5	3	6	5	3	0	1	0	0

Fig. 27 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303-304, prélèvement « ch6 ».

- Structures 303-304, prélèvement « ch7 »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.	Aspect granuleux - indet.	Thylle
Corylus avellana	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0
Quercus sp.	26	0	9	13	8	10	2	2	12	0	0	0	1	3

Fig. 28 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303-304, prélèvement « ch7 ».

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	8	52	1,3	0,25	0,99	1,61

Fig. 29 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire. Structures 303-304, prélèvement « ch7 ».

- Structures 303-304, prélèvement « ch8 »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Quercus sp.	15	0	8	6	6	4	4	1	2	1	1

Fig. 30 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303-304, prélèvement « ch8 ».

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	6	66	0,69	0,64	0,26	1,6

Fig. 31 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire. Structures 303-304, prélèvement « ch8 ».

- Structures 303-304, prélèvement « ch9 »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux - indet.
Indéterminé	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	4
Quercus sp.	26	0	10	13	7	9	5	6	6	0	2	0	1

Fig. 32 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303-304, prélèvement « ch9 ».

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	7	45	1,43	0,52	0,59	2,24

Fig. 33 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire. Structures 303-304, prélèvement « ch9 ».

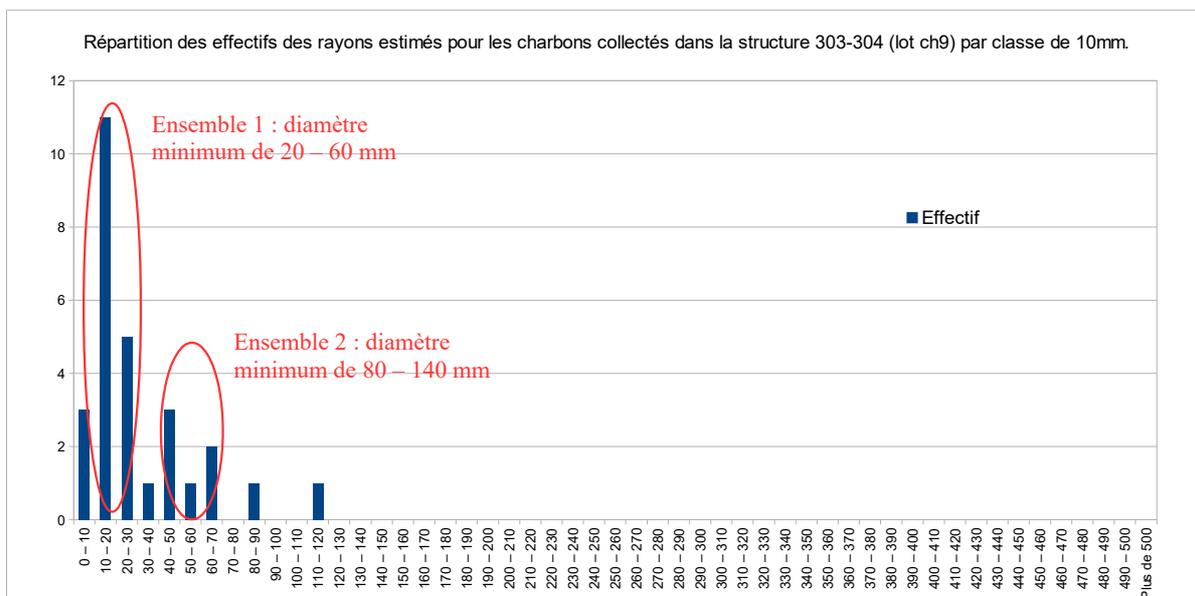


Fig. 34 – Distribution des rayons calculés pour 28 fragments par classe de 10 mm. Structures 303-304 - prélèvement « ch9 ».

- Structures 303 – 304 , prélèvement « de la moitié sud-ouest de la fosse »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							Thylle	Moelle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fonds très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux - indet.			
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	27	2	9	13	7	3	1	10	4	0	0	1	0	3	2	2

Fig. 35 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303-304, prélèvement « de la moitié sud-ouest de la fosse ».

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	2	11	1,32	0,46	1	1,65
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	7	37	1,53	0,43	0,97	2,09

Fig. 36 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire et faible. Structures 303-304, prélèvement « de la moitié sud-ouest de la fosse ».

- Structures 303 – F1500, prélèvement « ch11 »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	18	0	3	3	2	1	0	11	4

Fig. 37 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303-304, prélèvement « ch11 ».

- Structures 303 – F1500 (second lot)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion									
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux - indet.	Thylle	Insecte	
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
Quercus sp.	30	1	11	13	12	5	0	16	5	0	0	0	5	0	3	1

Fig. 38 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structures 303 et F1500 (second lot).

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	11	62	1,27	0,41	0,74	1,94

Fig. 39 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire. Structures 303 – F1500 (second lot).

- Structure 303 – prélèvement au niveau de la jonction entre « paroi et substrat »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion										
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux - indet.	Thylle	Insecte	Moelle	
Corylus avellana	10	0	0	10	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	2	3
Quercus sp.	22	0	9	5	7	2	2	13	4	0	1	0	1	2	1	0	

Fig. 40 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les structure 303, prélèvement à la jonction entre « paroi et substrat ».

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	7	41	1,47	0,5	0,5	1,98

Fig. 41 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire. Structure 303, prélèvement à la jonction entre « paroi et substrat ».

- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999

- Fouille 1999 – carré K51 – lot 18

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Quercus sp.	13	0	6	4	6	0	0	7	2	0
Salix sp.	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1

Fig. 42 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carré K51 – lot 18.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	6	47	1,4	0,11	1,27	1,57

Fig. 43 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire. Fouille 1999 – carré K51 – lot 18.

- Fouille 1999 – carrés K51 – K52

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.	Aspect granuleux - indet.
Acer sp.	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Corylus avellana	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Quercus sp.	16	1	5	7	4	3	0	10	2	0	0	2	0

Fig. 44 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carrés K51 - K52.

- Fouille 1999 – US1 – « fosse de travail »

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.	
Frag. écorce	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Quercus sp.	22	0	8	6	8	4	1	11	5	0	0	1	0

Fig. 45 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – US1 – « fosse de travail ».

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	8	40	0,92	0,36	0,29	1,48

Fig. 46 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – US1 – « fosse de travail ».

– Fouille 1999 – carré L52 – « bord de la fosse » - ferrier – lot 22

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Alnus sp.	8	0	0	6	0	0	0	5	0
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Ilex aquifolium	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Quercus sp.	10	0	4	4	4	1	0	7	0

Fig. 47 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carré L52 – « bord de la fosse » - ferrier.

– Fouille 1999 – carré K51 - lot 19

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Betula sp.	5	0	4	1	0	0	0	5	0
Corylus avellana	4	0	0	4	0	0	0	3	0
Quercus sp.	17	0	5	6	5	1	2	9	0

Fig. 48 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carré K51 – lot 19.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	5	17	2,51	0,98	1,68	4,2

Fig. 49 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – carré K51 – lot 19.

– Fouille 1999 – carré L50 - lot 16

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant			
Quercus sp.	25	0	9	14	6	13	0	20	0	0	1	1

Fig. 50 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carré L50 – lot 16.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	5	16	1,32	0,17	1,03	1,45

Fig. 51 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – carré L50 – lot 16.

- Fouille 1999 – carré L51 – 1er décapage - lot 13

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Quercus sp.	20	0	12	7	10	1	1	14	0	5

Fig. 52 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carré L51 – 1er décapage – lot 13.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	10	75	0,77	0,07	0,63	0,89

Fig. 53 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire. Fouille 1999 – carré L51 – 1er décapage – lot 13.

- Fouille 1999 – carré L51 – 2ème décapage

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fendu très brillant - struct. Inform.		
Acer sp.	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
Quercus sp.	17	1	9	3	9	1	0	4	7	0	0	0	4	5

Fig. 54 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carré L51 – 2ème décapage.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	4	1,07	0	1,07	1,07
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	8	43	1,11	0,4	0,28	1,5

Fig. 55 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – carré L51 – 2ème décapage.

- Fouille 1999 – carrés L51 - M51 – lot 15 (intérieur du fourneau : au-dessus du niveau induré)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	Moelle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.			
Acer sp.	9	0	0	8	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	1
Alnus sp.	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	18	1	8	5	8	4	0	8	2	0	0	3	4	0	

Fig. 56 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carrés L51-M51 - lot 15 (intérieur du fourneau : au-dessus du niveau induré).

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	8	39	2,1	1,82	0,81	6,18

Fig. 57 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – carrés L51-M51 - lot 15 (intérieur du fourneau : au-dessus du niveau induré).

- Fouille 1999 – carrés L51 - M51 – lot 15 (intérieur du fourneau : au-dessous du niveau induré)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.		Aspect granuleux - indet.
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Quercus sp.	32	0	22	3	20	1	0	17	4	0	0	10	0	7

Fig. 58 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carrés L51-M51 - lot 15 (intérieur du fourneau : au-dessus du niveau induré).

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	20	75	1,45	0,82	0,37	4,2

Fig. 59 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – carrés L51-M51 - lot 15 (intérieur du fourneau : au-dessus du niveau induré).

- Fouille 1999 – carrés L51 - M51 – lot 2 (intérieur du fourneau : au-dessus et au-dessous du niveau induré)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
Quercus sp.	16	1	11	4	13	1	0	7	0	0	0	0	3	2

Fig. 60 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carrés L51 - M51 - lot 2 (intérieur du fourneau : au-dessus et au-dessous du niveau induré).

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	6	1,24	0	1,24	1,24
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	12	136	1,14	0,44	0,11	1,84

Fig. 61 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – carrés L51- M51 - lot 2 (intérieur du fourneau : au-dessus et au-dessous du niveau induré).

- Fouille 1999 – carré L51 - lot 21

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
Alnus sp.	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	16	1	8	5	9	2	0	9	2	0	0	2	1	1

Fig. 62 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carré L51 - lot 21.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	3	0,96	0	0,96	0,96
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	9	35	1,16	0,32	0,81	1,74

Fig. 63 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire ou faible. Fouille 1999 – carré L51 – lot 21.

- Fouille 1999 – carrés L51 - M51 - lot 29

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform
Quercus sp.	5	0	5	0	4	1	0	2	0	0	0	2

Fig. 64 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées lors de la fouille 1999 – carrés L51 - M51 - lot 29.

3.3.2. Interprétations

- **Prélèvements des structures 303 – 304, correspondant aux restes du chargement d'une cheminée**

L'association chêne (*Quercus sp.*) et noisetier (*Corylus sp.*) a été constatée dans six des neuf lots étudiés. Dans ces cas, le chêne est prédominant, le noisetier ne correspondant qu'à quelques pourcents de ces ensembles.

Les fragments de noisetier proviennent systématiquement de bois de petit calibre, voire de brindilles. Les courbures de cernes constatées sur les charbons de chêne montrent davantage d'hétérogénéité, indiquant l'utilisation de branches de moyen à petit calibre. Il est possible que bois de noisetier ait été utilisé lors de phases d'allumage, le bois de chêne servant davantage à entretenir les combustions, à moins que l'ensemble ait été constitué dès le charbonnage.

Les mesures d'angles et calculs de diamètres minimum effectués sur les charbons des prélèvements « ch9 » ont permis d'identifier des ensembles correspondant à des branches de 20 à 60 mm et 80 à 140 mm de diamètre minimum (Fig. 34). Quelques sections entières de branches ont aussi été mesurées dans d'autres lots, appuyant aussi ce constat. Exemple : lot « ch4 » : fragments de rayon 10 à 30 mm, lot « ch6 » : fragments de 10 à 25 mm, lot « ch7 » : fragments de 20 à 40 mm, lot « ch8 » : fragments « à la jonction entre paroi et substrat » : de 10 à 50 mm, lot « F1500 » et lot « de la moitié sud-ouest de la fosse » : fragments de 10 à 20 mm.

De façon générale, les fragments proviennent donc principalement de bois de 20 à 60 mm de diamètre.

Une grande partie des fragments (plus de 50%) montre des aspects « durs-luisants » et dans une moindre mesure « fendus-luisants ». Il est probable que le phénomène de vitrification ait été favorisé par le petit calibre du bois (Oilic, 2011), mais très certainement aussi par un contexte de combustion réducteur et de hautes températures (Blaizot *et al.*, 2004 ; Oilic, 2011). On peut évidemment évoquer le contexte du bas fourneau mais aussi des pratiques de charbonnage. Notons enfin qu'assez peu de charbons montraient des aspects « scoriacées » ou « fondus et très brillants ». Les fragments collectés à l'intérieur du chargement de la cheminée ont donc subi un degré de vitrification intermédiaire.

Certains lots (« ch7 » et « ch9 ») se caractérisent par de nombreux charbons avec des fentes de retrait (aspects fendus ou fendu-luisant), traits typiques de bois

brûlés à l'état vert ou partiellement sec (Fig. 28 et 32), mais ces observations restent assez ponctuelles. Dans l'ensemble, c'est visiblement du bois sec qui a été utilisé.

Les mesures de largeurs de cerne ont permis de calculer des moyennes comprises entre de 1,3 et 1,5 mm typiques de conditions de croissance moyennes à difficiles (Fig. 29, 31, 33, 36, 39 et 41).

Enfin, des irrégularités de croissances ont régulièrement été observées. Il pourrait s'agir des conséquences de coupes réalisés sur les arbres dans le cadre de traitements de type « taillis » ou « taillis-sous-futaie ».

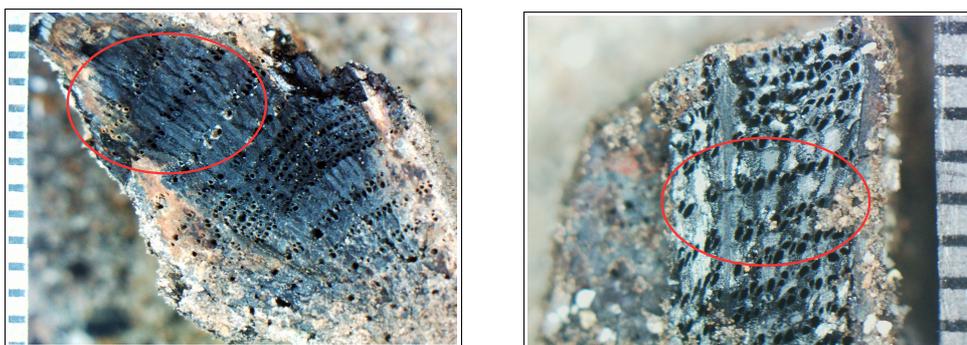


Fig. 65 – Fragments montrant des reprises de croissances pouvant être liées à des traitements de type « taillis-sous-futaie » (lot « ch4 », grossissements x5 et x10).

Les observations du dernier cernes de croissance a parfois été possible, montrant des coupes réalisées l'hiver (ex. lot « ch11 ») mais aussi assez souvent au printemps (ex. lot « ch4 », lot « ch9 », lot « de la moitié sud-ouest de la fosse).

– Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999

L'analyse des lots collectés lors de la campagne de 1999 autour du bas fourneau montre un peu plus de diversité puisque sept taxons ont été identifiés. Par ordre d'importance (fréquences d'observation) on constate le chêne (*Quercus sp.*) systématiquement identifiés dans les lots, le noisetier (*Corylus avellana*), repérés dans cinq lots, l'érable (*Acer sp.*), l'aulne (*Alnus sp.*) (présents dans trois lots), suivis d'occurrences du saule (*Salix sp.*), du bouleau (*Betula sp.*) et du houx (*Ilex sp.*).

Le mode de prélèvement archéologique assez systématique dans la zone du bas fourneau, livre vraisemblablement une image de l'activité et de l'utilisation du combustible durant toute la durée d'utilisation du bas fourneau. Cela expliquerait la diversité perçue, car nous avons là des résultats qui s'inscrivent sur une durée d'occupation plus longue, intégrant davantage de variations potentielles dans les apports de combustibles.

En comparaison, les résultats obtenus sur le chargement de la cheminée sont assez homogènes avec l'association « chêne-noisetier » ce qui correspondrait finalement qu'à un temps assez bref, peut-être qu'à un chargement unique (cf. la structure ST 303-304).

Dans le cadre de la campagne de prélèvement de 1999, on constate pour l'ensemble des lots étudiés la présence systématique du chêne. C'est donc le principal combustible utilisé pour le fonctionnement du bas fourneau. Les fragments

proviennent de bois de petit à moyen calibre (courbures de cerne fortes à intermédiaires). Quelques fragments de section complètes ont permis de mesurer des rayons de l'ordre de 12 à 50 mm.

Associés aux fragments de chêne, des occurrences d'un ou deux autres taxons ont régulièrement été observées. Il s'agit du noisetier, de l'aulne, du houx, de l'érable et du bouleau. Ce sont généralement des charbons provenant de bois de petit calibre.

L'aspect luisant d'une grande partie des charbons indique des conditions de combustion chaudes et réductrices. Ces contextes pourraient correspondre à des combustions dans des bas fourneaux, mais aussi à de possibles pratiques de charbonnage (Oilic, 2011). Quelques fragments montraient des aspects « fondus très brillants » ou « scoriacés », mais ils sont assez rares, ce qui montre que les conditions de combustions n'ont permis de générer qu'un degré de vitrification des charbons « intermédiaire ».

Certaines essences comme le noisetier, le saule, l'aulne, le bouleau sont des bois tendres qui flambent bien mais durent peu. Ce sont donc des essences qui sont habituellement utilisées lors des phases d'allumage. Néanmoins, notons que l'ensemble des fragments, y compris les essences accompagnatrices, avait des aspects « durs-luisants » et l'on retrouve aussi ces taxons dans les différentes aires de stockage de charbons de bois (chapitres 3.2. , 3.5. et 3.7.). Il est donc vraisemblable que l'assemblage du bois de chêne et des autres essences ait été constitué dès la phase de charbonnage.

Peu de fentes de retrait ont été observées, ce qui indique l'utilisation de bois sec.

Les mesures de largeurs de cerne ont permis de calculer des moyennes assez hétérogènes allant de 0,77 mm à 2,51 mm. Ces résultats caractérisent une aire de collecte recoupant à la fois des secteurs densément boisés, mais aussi des secteurs plus ouverts. Toutefois, la plupart des moyennes sont comprises entre 1 et 1,5 mm ce qui se rapproche des résultats obtenus pour les structures 304-303 vus précédemment. Ces résultats caractérisent des croissances d'arbres en contexte plutôt difficile (forêts ou taillis assez denses).

3.4. Prélèvements collectés dans les foyers de la zone d'épuration

3.4.1. Résultats

- Prélèvements de la structure ST 449

- Structure 449, prélèvement 172

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	Insecte	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform			
Alnus sp.	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frag. de brindille indéterminé	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Ilex aquifolium	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0
Quercus sp.	31	0	15	1	14	0	0	8	5	0	0	8	7	0	0

Fig. 66 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 449, lot 172.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	13	48	1	0,38	0,49	1,75

Fig. 67 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la structure 449, lot 172.

- Structure 449, prélèvement 189

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1
Quercus sp.	7	0	5	0	1	0	0	6	0	0	0	1

Fig. 68 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 449, lot 189.

- Structure 449, prélèvement 190

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform
Alnus/Corylus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	9	0	3	2	3	0	0	0	1	0	0	6

Fig. 69 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 449, lot 190.

- Structure 449, prélèvement 191

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform
Corylus avellana	4	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig. 70 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 449, lot 190.

- Prélèvements de la structure ST 474

- Structure 474.1 est, prélèvement 187

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud		Fondu très brillant - struct. Inform
Alnus sp.	9	0	0	7	0	0	0	7	0	0	0	0	0
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Quercus sp.	13	0	8	2	8	0	1	0	3	0	0	1	1
Salix sp.	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0

Fig. 71 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 474.1 est, lot 187.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	8	46	1,32	0,24	1,09	1,84

Fig. 72 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la structure 474.1, lot 187.

- Structure 474.3, prélèvement 186.3

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Moelle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud		Fondu très brillant - struct. Inform
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	1
Quercus sp.	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Fig. 73 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 474.3, lot 186.

- Structure 474.3, prélèvement 181

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	
Alnus/Corylus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Quercus sp.	7	0	2	2	2	0	0	1	1	0	0	0	3

Fig. 74 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 474.3, lot 181.

- Structure 474.2 est, prélèvement 179

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	4	0	2	1	1	0	0	2	0	0	1

Fig. 75 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 474.2, lot 179.

- Structure 474.2 bis, prélèvement 180

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Moelle	Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
Alnus/Corylus	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alnus sp.	4	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Corylus avellana	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	5	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0
Quercus sp.	8	0	2	0	1	0	0	2	0	0	0	4	3	0

Fig. 76 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 474.2 bis, lot 180.

- Structure 474.2, prélèvement 182

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Alnus/Corylus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Quercus sp.	5	0	2	0	2	0	0	2	0	0	1

Fig. 77 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 474.2, lot 182.

- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999

- Fouille 1999 – carré K52 - lot 20

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	
Fraxinus sp.	6	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig. 78 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement effectué lors de la fouille 1999 – carré K52 – lot 20.

- Fouille 1999 – carré L53 - lot 27

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux – indet.
Corylus avellana	5	0	0	3	0	1	0	3	0	0	0	2	0
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2
Pomoidée	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Quercus sp.	11	1	3	0	2	2	0	7	3	0	0	1	0

Fig. 79 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement effectué lors de la fouille 1999 – carré L53 – lot 27.

- Fouille 1999 – carré L53 - lot 26

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Alnus sp.	3	0	0	3	0	0	0	3	0
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Quercus sp.	10	4	2	4	3	0	0	9	0
Salix sp.	2	0	0	2	0	0	0	2	0

Fig. 80 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement effectué lors de la fouille 1999 – carré L53 – lot 26.

- Fouille 1999 – carré L55 - lot 25

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Thylle
Alnus sp.	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	19	2	10	5	12	2	0	12	5	0	0	1	9

Fig. 81 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement effectué lors de la fouille 1999 – carré L55 – lot 25.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	2	19	1,29	0,54	0,9	1,67
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	12	77	0,82	0,5	0,27	1,67

Fig. 82 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement effectué lors de la fouille 1999 – carré L55 – lot 25.

- Prélèvements de la structure ST 448

- Structure 448, prélèvement 201

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme			Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fendu très brillant - struct. Inform	
Indéterminé	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	1
Quercus sp.	3	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2

Fig. 83 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 448, lot 201.

- Structure 448, prélèvement 202

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme			Combustion					Thylle	Insecte	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fendu très brillant - struct. Inform			
Corylus avellana	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Ilex aquifolium	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	
Quercus sp.	10	0	1	0	1	0	0	3	1	0	0	4	1	0	

Fig. 84 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 448, lot 202.

- Structure 448, prélèvement 203

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme			Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fendu très brillant - struct. Inform	
Corylus sp. / Betula sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
Quercus sp.	12	0	3	0	1	0	0	9	0	0	0	0	3

Fig. 85 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 448, lot 203.

- Structure 448, prélèvement 204

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
alnus/betula	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	9	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
Quercus sp.	19	0	3	3	1	0	0	6	0	1	0	10	5	

Fig. 86 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 448, lot 204.

- Structure 448, prélèvement 205

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
Alnus sp.	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Quercus sp.	9	0	1	3	0	0	0	3	0	2	0	2	1	

Fig. 87 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 448, lot 205.

- Structure 448, prélèvement 206

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	
Indéterminé	9	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	1	
Quercus sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	

Fig. 88 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 448, lot 206.

3.4.2. Interprétation

Les prélèvements collectés dans l'aire de la zone d'épuration proviennent de quatre ensembles : la structure 449, la structure 474, la structure 448 et des prélèvements réalisés lors de la campagne de 1999 avec les carrés K52, L53 et L55.

Très souvent le sédiment des prélèvements avait une couleur orangée et les charbons se sont montrés très fragmentés.

Huit taxons ont été identifiés pour l'ensemble des lots, mais le chêne reste le taxon principal. Il est systématiquement détecté.

Pour la structure 449, quatre taxons sont identifiés, il s'agit du chêne (*Quercus sp.*), du noisetier (*Corylus avellana*), de l'aulne (*Alnus sp.*) et du houx (*Ilex aquifolium*). Les courbures de cerne montre l'utilisation de bois de chêne de calibre intermédiaire (branches) alors que les autres essences correspondent uniquement à du bois de petit calibre (forte courbure des cernes). Les charbons sont apparus à la fois « durs-luisants » et « fondus, très brillants » (ex. prélèvement 172, Fig. 66).

Pour la structure 474, quatre taxons ont été détectés : le chêne, systématiquement observé, l'aulne, le noisetier et plus ponctuellement le saule (*Salix sp.*). De nouveau, les essences accompagnant le chêne correspondent à des bois de petit calibre (fortes courbures des cernes), alors que l'on constate plutôt des courbures intermédiaires pour le bois de chêne. Comme pour les fragments de la structure 449, on constate des fragments aux aspects à la fois « durs-luisants » mais aussi assez souvent « fondus, très brillants » (ex. les prélèvements 181 et 180, Fig. 74 et 76). L'aspect « scoriacé » est plus rarement perçu.

Les lots collectés lors de la campagne de 1999 montrent davantage de diversité. Cela est probablement lié au mode de prélèvement par carré, plus systématique donnant une image des activités de l'aire d'épuration sur une plus longue durée. Six taxons ont été identifiés : le chêne essence principale, suivie du noisetier, de l'aulne et plus ponctuellement du saule, du bois de Pomoïdée et de frêne (*Fraxinus sp.*). Là encore les essences accompagnant le chêne correspondent à des bois de petit calibre (courbures des cernes fortes). Les charbons de chêne semblent issus de bois de calibre intermédiaire voire de fort calibre (ex. prélèvements 25 et 26 avec quelques charbons de faible courbure de cerne, Fig.80 et 81). C'est l'aspect « dur-luisant » qui est le plus souvent observé. Les aspects « scoriacés » et « fondus » sont rares.

En ce qui concerne la structure 448, cinq taxons sont identifiés : le chêne, omniprésent, le noisetier, l'aulne et dans une moindre mesure le bouleau et le houx. Comme pour les lots des structure 449 et 474, les fragments de chêne montrent des courbures de cerne intermédiaires et fortes (bois de branches de calibre intermédiaire) alors que les autres essences correspondent uniquement à des bois de petit calibre (courbures des cernes fortes). Les aspects des charbons sont apparus souvent « fondus, très brillants » (ex. lot 204, Fig. 86, lot 202, Fig. 84) et « scoriacés » (ex. prélèvement 204, Fig. 86, lot 201, Fig. 83 et lot 206, Fig. 88, quelques fibres de bois « perminéralisées » ont été observées dans le lot 201).

De façon générale, les ensembles charbonneux observés à l'intérieur de l'aire d'épuration montrent une utilisation principale de bois de chêne de « moyen calibre », probablement des branches de quelques centimètres de diamètre (?). On détecte très régulièrement associés au bois de chêne l'utilisation d'autres

essences : noisetier, aulne, saule, bouleau et plus rarement le frêne, le houx et les Pomoïdées sous forme de bois de petit calibre. Ce sont pour beaucoup des bois « tendres » (noisetier, bouleau, aulne, saule).

En ce qui concerne les aspects des charbons, on constate à la fois des aspects « durs-luisants », notamment pour les prélèvements collectés lors de la campagne de 1999, mais aussi souvent des charbons « fondus-brillants » et « scoriacés », notamment à l'intérieur de la structure 448. C'est là une différence par rapport aux ensembles charbonneux observés dans l'aire du bas fourneau notamment. Ce niveau de vitrification plus élevé s'expliquerait par des températures et des niveaux de confinement (conditions de réduction) plus importantes.

Assez peu de charbons ont été observés avec des fentes de retrait, ce qui indique un bois brûlé à l'état sec. Quelques traces de galeries d'insectes ont été identifiées dans du bois de noisetier (lot 202, ST 448).

Des mesures de largeur de cerne ont été réalisées sur trois lots. Les moyennes calculées montrent globalement des valeurs faibles. Les moyennes calculées sont respectivement de 1 mm pour le lot 172 (Fig. 67), de 1,32 mm pour le lot 187 (Fig. 72) et de 0,82 mm pour le lot 25 (Fig. 82). Ces valeurs indiquent des contextes de croissance difficiles probablement une chênaie assez dense.

3.5. Prélèvements collectés dans une aire de stockage de charbons de bois à l'intérieur de la halle de travail

3.5.1. Résultats

- Prélèvements de la structure 1314

- Structure 1314, lot 1

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Alnus sp.	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0

Fig. 89 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 1314, lot 1.

- Structure 1314, lot 2

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	Insecte	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.			
Alnus sp.	6	0	0	5	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	13	0	0	13	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	1
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	18	0	7	11	9	2	1	15	0	0	0	1	1	0	
Salix sp.	7	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	

Fig. 90 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 1314, lot 2.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	7	46	1,39	0,97	0,53	3,28

Fig. 91 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la structure 1314, lot 2.

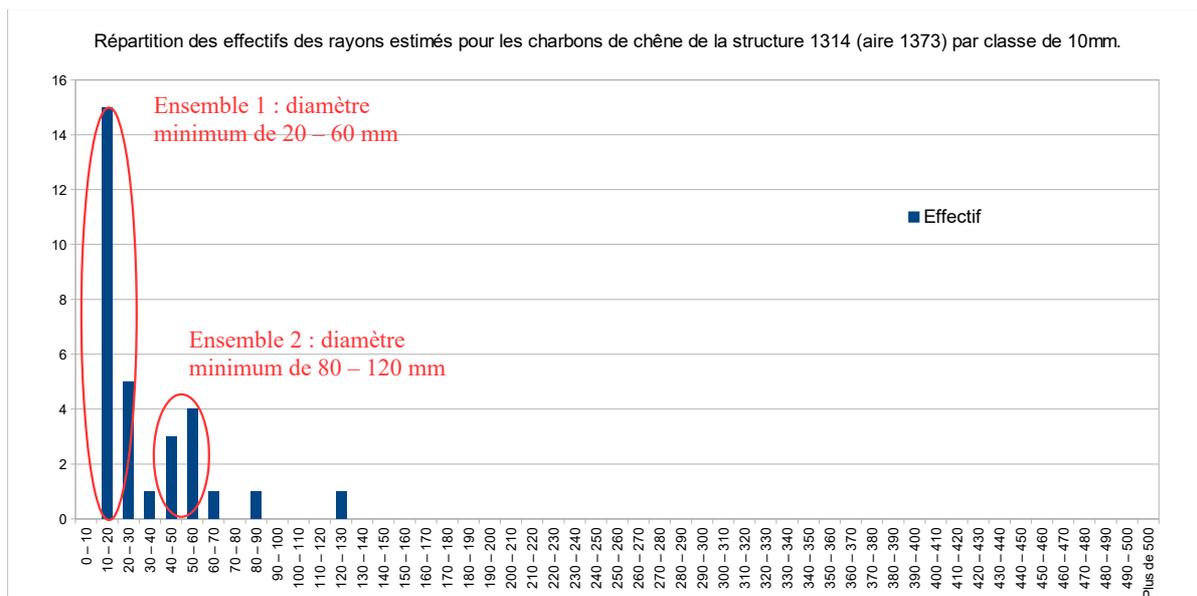


Fig. 92 – Distribution des rayons calculés pour 31 fragments, par classe de 10 mm. Structure 1314 – lot 2.

3.5.2. Interprétation

Deux prélèvements provenant de la structure 1314 ont été étudiés. Cet espace est interprété comme une aire de stockage de charbons de bois à l'intérieur de la halle de travail. Nous interpréterons les deux lots à la fois, le lot n°1 n'étant composé que de deux fragments.

Quatre taxons ont été identifiés, par ordre d'importance on constate le chêne (*Quercus sp.*), le noisetier (*Corylus avellana*), le saule (*Salix sp.*) et l'aulne (*Alnus sp.*).

En ce qui concerne le calibre des bois utilisés, on observe pour le chêne des fragments avec des courbures de cerne fortes et intermédiaires. Des calculs basés sur des mesures d'angles des rayons ont permis d'estimer deux ensembles de bois de diamètres minimum compris entre 20 à 60 mm (ensemble majoritaire) et entre 80 et 120 mm. Ces résultats sont assez semblables à ceux obtenus dans le chargement de la cheminée (Structure 303-304, échantillon « Ch9 », Fig. 34).

Les autres essences proviennent uniquement de bois de plus petit calibre.

Un calcul de l'indice de concentration de Pareto a été effectué sur la base des proportions des quatre taxons (Fig. 93).

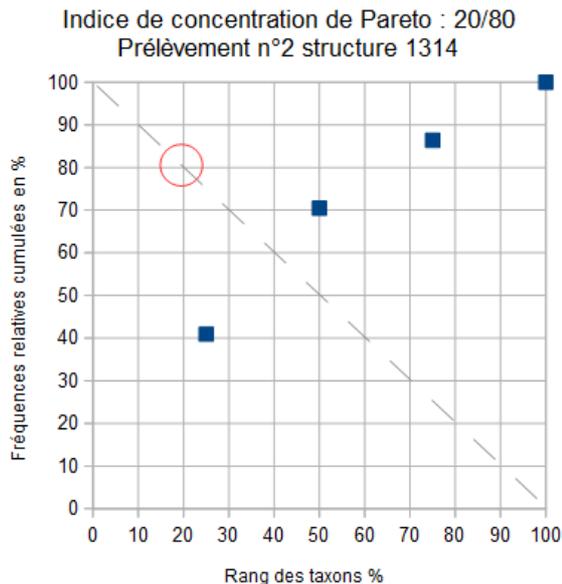


Fig. 93 – Indice de concentration de Pareto pour le prélèvement n°2 de la structure 1314.

L'indice de concentration de Pareto est basé sur le fait que dans les communautés végétales en équilibre, 20% des taxons correspondent à environ 80% de la biomasse (Chabal *et al.*, 1999). Dans ce lot, l'indice montre que 20% des taxons correspondent à environ 40% seulement du nombre de charbons. Les proportions des taxons anthracologiques constatées ne reflètent donc pas les mêmes rapports de compétition et d'équilibre que dans les communautés végétales naturelles. Les proportions entre essences dans les échantillons de charbons de bois sont donc probablement déformées à cause de ramassages sélectifs, ce qui caractérise plutôt des usages « artisanaux ». Toutefois, il faut rester prudent par rapport à ce résultat car le calcul repose sur une diversité taxonomique très faible.

L'aspect des charbons est apparu très souvent « dur-luisant », ce qui est généralement interprété comme la conséquence de combustions en contexte chaud et fermé (Oilic, 2011 ; Blaizot *et al.*, 2004). Notons que certains charbons (d'aulne et de noisetier en particulier) se sont montrés particulièrement durs au moment de faire les cassures nécessaires pour les observations. Le degré de vitrification n'apparaît pas très élevé (il y a très peu de charbons à l'aspect « fondu - brillant»), mais il affecte en revanche pratiquement l'ensemble des charbons observés. Dans le cadre d'une réserve en combustible, l'hypothèse de charbons issus de pratiques de charbonnage apparaît cohérente avec ces observations.

Très peu de fentes de retrait ont été observées, c'est donc un bois sec qui a été utilisé.

Les mesures de largeurs de cerne ont permis de calculer une moyenne de 1,39 mm, caractéristique de conditions de croissance plutôt difficiles.

3.6. Prélèvements collectés dans une zone de ferrier

3.6.1. Résultats

- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999

- Fouille de 1999, carré L49 – Lot 30

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform
Fabacée type Cytisus	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Quercus sp.	4	0	2	1	1	0	0	3	0	0	0	1

Fig. 94 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carré L49, Lot 30.

- Fouille de 1999, carré M49 - Lot 5

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	9	0	8	1	8	1	0	7	1	1

Fig. 95 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carré M49, Lot 5.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	8	36	1,35	0,16	1,16	1,63

Fig. 96 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la fouille de 1999, carré M49, Lot 5.

- Fouille de 1999, carré M49 - Lot 9

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Alnus sp.	3	0	0	2	0	0	0	2	0
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	1	0
Quercus sp.	6	0	4	2	2	2	0	6	0

Fig. 97 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carré M49, Lot 9.

3.6.2. Interprétation

Trois lots prélevés lors de la campagne de 1999 proviennent de ce secteur interprété comme un ferrier. Les charbons identifiés sont associés aux scories et sont probablement des restes de combustible liés à la réduction du minerai dans le bas fourneau.

Quatre taxons ont été identifiés. Le chêne est observé dans les trois lots, il est associé à un fragment de genêt (*Fabaceae type Cytisus*) dans le lot n°30 (Fig. 93) ainsi qu'à l'aulne et au noisetier dans le lot n°9 (Fig. 96).

Les charbons de chêne proviennent de bois de petit et moyen calibre, alors que les autres essences correspondent uniquement à du bois de petit calibre.

Quelques mesures de rayon ont pu être effectués sur des sections complètes de charbons. Des rayons compris entre 12 mm à 50 mm ont été mesurés pour les prélèvements 9 et 5.

Dans les trois lots, une grande partie des charbons montrent des aspects « dur-luisants ».

Ces faits se rapprocheraient des résultats observés dans les ensembles charbonneux liés au bas fourneau ou aux aires de stockage de bois à l'intérieur et à l'extérieur de la halle de travail.

Des mesures de largeurs de cerne ont été réalisées sur le lot n°5. La moyenne obtenue, de l'ordre de 1.35 mm, indique un contexte de croissance plutôt difficile probablement une chênaie assez dense.

3.7. Prélèvements collectés dans une zone de réserve de charbons proche du bas fourneau

3.7.1. Résultats

- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999

- Fouille de 1999, carrés N48 - N 49 - Lot 7

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							Thylle	Moelle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux - indet.			
Alnus sp.	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
Carpinus betulus	2	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	2	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
Quercus/Castanea	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Quercus sp.	22	1	13	5	11	4	1	15	0	0	0	5	0	3	2	

Fig. 98 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carrés N48 - N49, Lot 7.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	5	0,41	0	0,41	0,41
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	11	67	1,04	0,71	0,32	2,84

Fig. 99 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la fouille de 1999, carrés N48 - N49, Lot 7.

- Fouille de 1999, carré N 49 - Lot 8

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		
Quercus sp.	21	0	4	17	5	6	1	12	2	0	0	4	1	

Fig. 100 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carré N49, Lot 8.

– Fouille de 1999, carré N 50 - Lot 11

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	Moelle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.			
<i>Corylus avellana</i>	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<i>Quercus sp.</i>	17	0	6	10	5	7	0	15	0	0	0	1	1	1	1

Fig. 101 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carré N50, Lot 11.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
<i>Quercus sp.</i>	Faible et intermédiaire	Régulier	5	40	0,65	0,19	0,45	0,93

Fig. 102 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la fouille de 1999, carré N50, Lot 11.

3.7.2. Interprétation

Trois prélèvements collectés au cours de la campagne de 1999 proviennent d'une zone interprétée comme une réserve de charbons proche du bas fourneau.

Cinq taxons anthracologiques ont été déterminés. On observe le chêne (*Quercus sp.*), présent dans les trois lots, le noisetier (*Corylus avellana*) dans le lot n°7 et n°11, puis l'aulne (*Alnus sp.*), le charme (*Carpinus betulus*) et le chêne-châtaignier (*Quercus sp.* - *Castanea sp.*) dans le lot n°7 (Fig. 97, 99 et 100).

Une grande partie des charbons montrent des aspects « durs-luisants » (plus de 50%), il est donc probable que ces charbons soient là aussi le résultat de pratiques de charbonnage. Il faut noter la détection du charme, essence réputée pour fournir un très bon charbon de bois.

En ce qui concerne le calibre des bois, on retrouve des compositions anthracologiques semblables aux ensembles précédents, à savoir : des fragments de chêne de courbures fortes et intermédiaires (bois de branches), les autres essences correspondant en partie à des bois de petit calibre. Quelques mesures de rayons ont pu être effectuées sur des sections complètes, livrant des valeurs comprises entre 12 et 40 mm.

Les mesures de largeurs de cerne ont été réalisées sur les charbons de chêne du lot n°11, la moyenne obtenue, de l'ordre de 0,65 mm sous-tend un contexte de croissance très difficile peut-être une chênaie dense.

3.8. Prélèvements collectés dans une zone de stockage de minerai grillé ou de réserve de charbons proche du bas fourneau

3.8.1. Résultats

- Prélèvements réalisés lors de la campagne de fouille de 1999

- Fouille de 1999, carrés N49 - N50 - Lot 6

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Quercus sp.	10	0	2	5	0	4	0	7	2

Fig. 103 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carrés N49 - N50, Lot 6.

- Fouille de 1999, carré N50 - Lot 10

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							Thylle	Moelle		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.	Aspect granuleux - indet.				
Corylus avellana	6	0	0	6	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Quercus sp.	9	0	3	6	2	2	0	4	3	0	1	1	0	1	0	1	1
Salix sp.	4	0	1	3	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 104 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fouille de 1999, carré N50, Lot 10.

3.8.2. Interprétation

Deux prélèvements collectés lors de l'opération menée en 1999 proviennent d'une couche de minerai grillé située en dessous le niveau correspondant à la zone de réserve de charbons proche du bas fourneau (cf. chapitre 3.7.). L'objectif de l'analyse de ces deux lots vise à comparer ces ensembles anthracologiques avec ceux de la réserve de charbons afin d'attribuer ces charbons à l'un ou l'autre des deux niveaux.

L'analyse des deux lots a permis d'identifier trois taxons : le chêne, présent dans les deux lots, le noisetier et le saule.

Les fragments de chêne proviennent de bois de moyen et petit calibre, alors que les deux autres essences correspondent essentiellement à des bois de petit calibre.

Une grande partie des fragments (plus de 50%) montre un aspect « dur-luisant » traduisant probablement des pratiques de charbonnage.

Les traits anthracologiques de ces ensembles sont assez semblables aux ensembles charbonneux de la réserve de charbons proche du bas fourneau. Il est donc probable que les deux prélèvements soient davantage rattachés à la réserve de charbons de bois plutôt qu'à la couche de minerai grillé.

3.9. Prélèvements collectés dans le comblement d'une rigole de drainage de l'aire du bas fourneau

3.9.1. Résultats

- Prélèvements de la structure ST 423 (mobilier mélangé)

- Structure ST 423, lot 162

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig. 105 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 423, lot 162.

- Structure ST 423, lot 170

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	4	0	3	0	3	0	0	3	0	0	0	0	2

Fig. 106 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 423, lot 170.

- Structure ST 423, lot 174

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform
Quercus sp.	12	0	4	7	4	1	0	5	3	0	1	3

Fig. 107 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 423, lot 174.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	4	14	1,79	0,71	1,01	2,67

Fig. 108 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la structure 423, lot 174.

- Structure ST 423, lot 175

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud
Corylus avellana	3	0	0	3	0	0	0	2	1	0	0
Indéterminé	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Quercus sp.	3	0	0	2	0	0	0	1	1	0	1

Fig. 109 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 423, lot 175.

- Structure ST 423, lot 176

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Corylus avellana	2	0	0	2	0	0	0	1	0	1
Quercus sp.	10	2	5	2	6	1	0	8	0	0

Fig. 110 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 423, lot 176.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	5	1,5	0	1,5	1,5
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	6	21	1,6	0,13	1,46	1,78

Fig. 111 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de la structure 423, lot 176.

- Structure ST 423, lot 177

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Quercus sp.	7	0	0	7	0	0	0	7	0

Fig. 112 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 423, lot 177.

- Structure ST 423, lot 178

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Pomoidée	2	0	0	2	0	0	0	2	0

Fig. 113 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la structure 423, lot 177.

3.9.2. Interprétation

Les sept prélèvements étudiés proviennent du comblement d'un petit fossé de drainage : la structure 423. L'origine des charbons n'est pas bien définie. Ils peuvent provenir à la fois des activités métallurgiques de l'atelier mais aussi d'activités domestiques situées au nord du fossé.

Trois essences ont été identifiées pour les sept lots étudiés. C'est principalement le chêne (*Quercus sp.*) qui a été identifié. C'est le taxon unique pour quatre prélèvements. Il est associé à des fragments de noisetier (*Corylus avellana*) dans deux prélèvements et on trouve des fragments de noisetier associés à des charbons de Pomoïdée dans un dernier prélèvement (lot 178).

En ce qui concerne les calibres des bois, on constate de nouveau l'utilisation de bois de chêne de petit et moyen calibre, alors que les charbons de noisetier et de Pomoïdée correspondent uniquement à des bois de petit calibre. Pour les plus petites branches, plusieurs fragments de section entière ont permis de mesurer des rayons. Pour les prélèvements 175, 176, 177, on a pu mesurer des bois de 1 à 2 cm de rayon et 2 à 3 cm pour le lot 178.

Dans la grande majorité des cas, les charbons montrent des aspects « dur-luisants », traits généralement caractéristiques de conditions de combustions chaudes et réductrices. L'hypothèse de pratiques de charbonnage est plausible (Oilic, 2011). Quelques charbons aux aspects « fondus – très brillants » ont aussi été repérés dans les lots 174 et 162. Ils correspondent à des degrés de vitrification plus poussés, phénomènes déjà constatés pour les ensembles charbonneux de la zone de minerai grillé (chapitre 3.1.) et surtout des foyers d'épuration (chapitre 3.4.).

Des mesures de largeurs de cerne ont été réalisées sur des fragments de chêne de deux prélèvements (Fig. 107 et 110). Les moyennes obtenues, respectivement 1,7 mm et 1,6 mm indiquent des conditions de croissance plutôt difficiles.

Les compositions anthracologiques ressemblent beaucoup aux résultats constatés dans plusieurs étapes de la chaîne opératoire métallurgique. Nous avons donc probablement affaire à un mélange de rejets charbonneux liés à l'activité de l'atelier. Nous n'avons malheureusement pas d'ensembles charbonneux en provenance des zones d'activités domestiques pour comparer, mais nous aurions pu nous attendre dans ce cas à des compositions plus diverses (le combustible domestique provient souvent de ramassages de « tout-venant ») et des charbons n'ayant pas ou peu subi de vitrification (aspect mat).

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 1150 fragments ont été observés pour les 64 prélèvements étudiés.

Tableaux récapitulatifs :

Position chaîne opératoire. Classification technique. N° structure	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : types de boisements détectés. Indicateurs sur la structure des boisements.
<p>1. Zone de broyage du minerai.</p> <p>Structure ST 428.</p> <p>4 lots étudiés</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), saule (<i>Salix sp.</i>), saule / peuplier (<i>Salix sp. / Populus sp.</i>), Pomoïdeae.</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Restes charbonneux associés au grillage du minerai.</p> <p>Les charbons étudiés sont essentiellement issus de bois de chêne de petit et moyen calibre (petites branches). Les fragments de Pomoïdées proviennent exclusivement de bois de petit calibre.</p> <p>Les charbons présentent souvent des aspects « fondus, très brillants » (environ 50% des fragments de chêne pour les lots 167 et 168) et dans une moindre mesure « durs-luisants », voire dans quelques cas « scoriacées ». Ces observations correspondent à des combustions dans des contextes chauds et fermés. L'observation régulière des aspects « fondus, très brillants » et parfois « scoriacés » correspondent aux derniers degrés de vitrification. Le phénomène est probablement en lien avec la phase de grillage du minerai.</p> <p>Très peu de fragments présentaient des fentes de retrait, ce qui caractériserait un bois brûlé à l'état sec.</p>	<p>Boisements de type chênaie : <i>Quercus sp.</i></p> <p>Boisements hygrophiles : <i>Salix sp., Salix sp. / Populus sp.</i></p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : Pomoïdeae</p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>Lot 167 : Moy. = 1,56 mm (N=9 ; Ec-type = 0,56 mm)</p> <p>Lot 168 : Moy. = 0,87 mm (N=9 ; Ec-type = 0,58 mm)</p> <p>Contextes de croissance hétérogènes.</p>
<p>2. Zone de stockage de charbons de bois à l'entrée du site.</p> <p>Structure ST 300.</p> <p>Un lot étudié.</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), érable (<i>Acer sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>).</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Réserve de combustible de type charbon de bois :</p> <p>L'analyse de ce prélèvement porte sur un petit effectif, seulement dix charbons ont été étudiés.</p> <p>La plupart des fragments provenaient de bois de petit calibre.</p> <p>Une grande partie des charbons avait un aspect « dur-luisant ». Certains charbons se sont révélés particulièrement durs. Ces observations sont généralement interprétées comme la conséquence de combustions en conditions chaudes et anaérobies, probablement des pratiques de charbonnage. Le petit calibre des bois a pu aussi favoriser le phénomène de vitrification (Oilic, 2011).</p> <p>L'absence de fentes de retrait et l'observation de galeries d'insectes indiquent l'utilisation de bois mort et sec.</p>	<p>Boisement de type chênaie <i>Quercus sp., Acer sp., Corylus avellana</i></p> <p>Boisement ouvert, lisière, haie : <i>Corylus avellana</i></p>

Fig. 114 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées dans les secteurs interprétés comme « 1. zones de broyage du minerai » et « 2. zone de stockage de charbons de bois ».

Classification technique. N° structure	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : types de boisements détectés. Indicateurs sur la structure des boisements.
<p>3. Aire du bas fourneau et restes du chargement d'une cheminée.</p> <p>Structures ST 303 – 304 (chargement cheminée).</p> <p>9 lots étudiés</p> <p>Prélèvements de l'opération de 1999 dans l'aire du bas fourneau.</p> <p>13 lots étudiés</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), érable (<i>Acer sp.</i>), aulne (<i>Alnus sp.</i>), saule (<i>Salix sp.</i>), bouleau (<i>Betula sp.</i>), houx (<i>Ilex aquifolium</i>).</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Restes charbonneux associés à l'aire du bas fourneau et au chargement d'une cheminée.</p> <p>Pour l'ensemble des lots ce sont les fragments de chêne provenant de bois de petit et moyen calibre qui sont principalement observés, mais ils sont régulièrement associés à d'autres essences de plus petit calibre.</p> <p>Les mesures d'angles et calculs de diamètres minimum effectués sur les charbons des prélèvements « ch9 » ont permis d'identifier des ensembles correspondant à des branches de 40 à 60 mm et 100 à 140 mm de diamètre minimum. L'essentiel des fragments provient de branches de 40 à 60 mm.</p> <p>L'aspect luisant d'une grande partie des charbons indique des conditions de combustion chaudes et réductrices. <u>Ces contextes pourraient correspondre à la fois aux combustions dans des bas fourneaux, mais aussi à de possibles pratiques de charbonnage</u> (Oilic, 2011). Quelques fragments montraient des aspects « fondus très brillants » ou « scoriacés », mais ils sont assez rares, ce qui montre que les conditions de combustions n'ont permis de générer qu'un degré de vitrification des charbons « intermédiaire ». Notons que les charbons observés dans les différentes aires de stockage montrent en majorité aussi des aspects « durs-luisants ». <u>Ce constat renforce donc plutôt l'hypothèse de l'effet des pratiques de charbonnage.</u></p> <p>Certaines essences comme le noisetier, le saule, l'aulne, le bouleau sont des bois tendres qui flambent bien mais durent peu. Ce sont donc des essences qui sont habituellement utilisées lors des phases d'allumage. Néanmoins, il faut noter que l'ensemble des fragments, y compris les essences accompagnatrices, avait des aspects « durs-luisants » et l'on retrouve aussi ces taxons dans les différentes aires de stockage de charbons de bois. <u>L'assemblage du bois de chêne et des autres essences a donc probablement été constitué dès la phase de charbonnage.</u></p> <p>Peu de fentes de retrait ont été observées, ce qui indique l'utilisation de bois sec.</p> <p>Enfin des « irrégularités de croissance » ont été observées sur plusieurs fragments. Ce sont là probablement des conséquences de coupes réalisées sur les arbres dans le cadre de traitements de type « taillis » ou « taillis-sous-futaie ».</p> <p>Des sections complètes avec l'écorce, ont pu être observées sur plusieurs charbons. Elles montrent des coupes réalisées en hiver mais aussi régulièrement au printemps.</p>	<p>Boisements de type chênaie : <i>Quercus sp. Corylus avellana, Acer sp., Ilex aquifolium</i></p> <p>Boisements hygrophiles : <i>Salix sp., Salix sp. / Populus sp., Acer sp., Alnus sp. Betula sp., Corylus avellana</i></p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : <i>Corylus avellana, Betula sp., Acer sp.</i></p> <p>Mesures de largeurs de cerne sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lot « ch7 » : Moy. = 1,3 mm (N=8 ; Ec-type = 0,25 mm) - Lot « ch8 » : Moy. = 0,69 mm (N=6 ; Ec-type = 0,64 mm) - Lot « ch9 » : Moy. = 1,43 mm (N=7 ; Ec-type = 0,52 mm) - Lot « moitié sud-ouest fosse » : Moy. = 1,53 mm (N=7 ; Ec-type = 0,43 mm) - Lot « ST 3030 - F1500 » : Moy. = 1,27 mm (N=11 ; Ec-type = 0,41 mm) - Lot « ST 303, jonction avec le substrat et la paroi » : Moy. = 1,47 mm (N=7 ; Ec-type = 0,5 mm) - Lot « 1999 - K51 » : Moy. = 1,4 mm (N=6 ; Ec-type = 0,11 mm) - Lot « 1999 - US1 » : Moy. = 0,92 mm (N=8 ; Ec-type = 0,36 mm) - Lot « 1999 - lot 19 » : Moy. = 2,51 mm (N=5 ; Ec-type = 0,98 mm) - Lot « 1999 - lot 16 » : Moy. = 1,32 mm (N=5 ; Ec-type = 0,17 mm) - Lot « 1999 - lot 13 » : Moy. = 0,77 mm (N=10 ; Ec-type = 0,07 mm) - Lot « 1999, L51, 2e décapage » : Moy. = 1,11 mm (N=8 ; Ec-type = 0,4 mm) - Lot « 1999 - lot 15 » : Moy. = 1,45 mm (N=20 ; Ec-type = 0,82 mm) - Lot « 1999 - lot 2 » : Moy. = 1,14 mm (N=12 ; Ec-type = 0,44 mm) - Lot « 1999 - lot 21 » : Moy. = 1,16 mm (N=9 ; Ec-type = 0,32 mm) <p>Les résultats caractérisent des contextes de croissance plutôt difficiles (forêts ou taillis assez denses).</p>

Fig. 115 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées dans les secteurs interprétés comme « 3. aire du bas fourneau et restes du chargement d'une cheminée ».

Classification technique. N° structure	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : types de boisements détectés. Indicateurs sur la structure des boisements.
<p>4. Zone d'épuration</p> <p>Structures ST 449, ST 474, ST 448, et opération de 1999 avec les carrés K52, L53 et L55.</p> <p>20 lots étudiés</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), aulne (<i>Alnus sp.</i>), houx (<i>Ilex aquifolium</i>), saule (<i>Salix sp.</i>), frêne (<i>Fraxinus sp.</i>), Pomoïdeae, bouleau (<i>Betula sp.</i>).</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Ensembles charbonneux en provenance des foyers d'épuration.</p> <p>Les ensembles charbonneux montrent une utilisation principale de bois de chêne de « petit et moyen calibre ». D'autres essences y sont régulièrement associées : le noisetier, l'aulne, le saule, le bouleau et plus rarement le frêne, le houx et les Pomoïdées. L'ensemble des essences accompagnatrices correspond à des bois de petit calibre.</p> <p>En ce qui concerne les aspects des charbons, on constate à la fois des aspects « durs-luisants », notamment pour les prélèvements collectés lors de la campagne de 1999, mais aussi souvent des charbons « fondus-brillants » et « scoriacés », notamment à l'intérieur de la structure 448. C'est là une différence par rapport aux autres ensembles charbonneux, y compris dans l'aire du bas fourneau. Ce niveau de vitrification plus élevé s'explique vraisemblablement par des températures et des niveaux de confinement (conditions de réduction) plus importantes.</p> <p>Assez peu de charbons ont été observés avec des fentes de retrait, ce qui indique un bois brûlé à l'état sec.</p>	<p>Boisements de type chênaie : <i>Quercus sp.</i>, <i>Corylus avellana</i>, <i>Ilex aquifolium</i></p> <p>Boisements hygrophiles : <i>Salix sp.</i>, <i>Alnus sp.</i></p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : Pomoïdeae, <i>Corylus avellana</i>, <i>Betula sp.</i>, <i>Fraxinus sp.</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>Lot « 1999, lot 25 » : Moy. = 0,82 mm (N=12 ; Ec-type = 0,5 mm)</p> <p>Lot « ST 474.1, lot 187 » : Moy. = 1,32 mm (N=8 ; Ec-type = 0,24 mm)</p> <p>Lot « ST 449, lot 172 » : Moy. = 1 mm (N=13 ; Ec-type = 0,38 mm)</p> <p>Les résultats caractérisent des contextes de croissance difficiles probablement une chênaie assez dense.</p>
<p>5. Aire de stockage de charbon de bois, à l'intérieur de la halle de travail.</p> <p>Structure ST 1314</p> <p>Deux lots étudiés.</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), aulne (<i>Alnus sp.</i>), saule (<i>Salix sp.</i>).</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Charbons de bois stockés à l'intérieur de la halle de travail :</p> <p>Quatre taxons ont été identifiés, par ordre d'importance on constate le chêne (<i>Quercus sp.</i>), le noisetier (<i>Corylus avellana</i>), le saule (<i>Salix sp.</i>) et l'aulne (<i>Alnus sp.</i>). On observe des fragments provenant de bois de chêne de « petit et moyen calibre », les autres essences sont issues de bois de petit calibre.</p> <p>Les mesures d'angles et calculs effectués sur les charbons du « lot 2 » ont permis d'identifier des ensembles correspondant à des branches de 20 à 60 mm et 80 à 120 mm de diamètre minimum. L'essentiel des fragments provient de branches de <u>20 à 60 mm</u>.</p> <p>Le calcul de l'indice de concentration de Pareto sur le lot n°2 montre que 20% des taxons représente environ 40% des charbons. Le rapport d'équilibre connu dans les communautés végétales n'est pas respecté, ce qui suggère des ramassages sélectifs. Ce résultat caractérise plutôt des usages artisanaux. Il faut toutefois considérer ce résultat avec précaution au regard de la faible diversité des taxons.</p> <p>L'aspect des charbons est apparu très souvent « dur-luisant ». Le degré de vitrification n'apparaît pas très élevé (il y a très peu de charbons à l'aspect « fondu - brillant »). L'hypothèse de charbons issus de pratiques de charbonnage apparaît cohérente avec ces observations.</p> <p>Très peu de fentes de retrait ont été observées, c'est donc probablement un bois sec qui a été utilisé.</p>	<p>Boisement de type chênaie</p> <p><i>Quercus sp.</i>, <i>Corylus avellana</i></p> <p>Boisements hygrophiles : <i>Salix sp.</i>, <i>Alnus sp.</i></p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : <i>Corylus avellana</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>Lot « ST1314 - lot » : Moy. = 1,39 mm (N=7 ; Ec-type = 0,97 mm)</p> <p>Les mesures de largeurs de cerne ont permis de calculer une moyenne de 1.39 mm, caractéristique de conditions de croissance plutôt difficiles.</p>

Fig. 116 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées dans les secteurs interprétés comme « 4. Une zone d'épuration », « 5. Une aire de stockage de charbons de bois à l'intérieur de la halle de travail ».

Position chaîne opératoire. Classification technique. N° structure	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : types de boisements détectés. Indicateurs sur la structure des boisements.
<p>6. Zone d'un ferrier</p> <p>Opération de 1999. Carrés M49 et L 49.</p> <p>Trois lots étudiés</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), aulne (<i>Alnus sp.</i>), genêt (Fabaceae de type <i>Cytisus</i>).</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Charbons associés aux scories, probablement des restes de combustibles liés à la réduction du fer dans le bas fourneau.</p> <p>Les charbons de chêne proviennent de bois de petit et moyen calibre, alors que les autres essences correspondent uniquement à du bois de petit calibre.</p> <p>Dans les trois lots, une grande partie des charbons montrent des aspects « durs-luisants ».</p> <p>Ces résultats se rapprochent de ceux déjà observés dans les ensembles anthracologiques de l'aire du bas fourneau et dans les aires de stockage à l'intérieur et à l'extérieur de la halle de travail.</p>	<p>Boisements de type chênaie : <i>Quercus sp. Corylus avellana</i></p> <p>Boisements hygrophiles : <i>Alnus sp.</i>,</p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : <i>Corylus avellana, Cytisus sp.</i> (landes?)</p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>Lot « 1999 – lot 5 » : Moy. = 1,35 mm (N=8 ; Ec-type = 0,16 mm)</p> <p>Contexte de croissance difficile.</p>
<p>7. Zone de réserve proche du bas fourneau.</p> <p>Opération de 1999. Carrés N48, N49 et N50.</p> <p>Trois lots étudiés.</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), aulne (<i>Alnus sp.</i>), charme (<i>Carpinus betulus</i>), chêne-châtaignier (<i>Quercus sp. - Castanea sp.</i>)</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Réserve de combustible de type charbon de bois :</p> <p>On retrouve des compositions anthracologiques semblables aux ensembles précédents, à savoir : des fragments de chêne de courbures fortes et intermédiaires, les autres essences correspondant à des bois de petit calibre.</p> <p>Une grande partie des charbons montrent des aspects « durs-luisants » (plus de 50%). Il est donc probable que ces charbons soient là aussi le résultat de pratiques de charbonnage. Il faut noter la détection du charme réputé pour fournir un très bon charbon de bois.</p>	<p>Boisements de type chênaie : <i>Quercus sp. Carpinus betulus, Quercus sp. / Castanea sp., Corylus avellana</i></p> <p>Boisements hygrophiles : <i>Alnus sp.</i>,</p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : <i>Corylus avellana,</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>Lot « 1999 – lot 11 » : Moy. = 0,65 mm (N=5 ; Ec-type = 0,19 mm)</p> <p>Contexte de croissance difficile.</p>

Fig. 117 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées dans les secteurs interprétés comme « 6. zone d'un ferrier » et « 7. zone de réserve proche du bas fourneau ».

Position chaîne opératoire. Classification technique. N° structure	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : types de boisements détectés. Indicateurs sur la structure des boisements.
<p>8. zone de stockage de minerai grillé ou réserve du bas fourneau</p> <p>Opération de 1999. Carrés N49 et N50</p> <p>Deux lots étudiés</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), saule (<i>Salix sp.</i>).</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Charbons associés à une couche de minerai grillé située en dessous le niveau correspondant à la zone de réserve de charbons proche du bas fourneau.</p> <p>L'objectif de l'analyse visait à comparer les ensembles anthracologiques avec ceux de la réserve de charbons afin d'attribuer ces charbons à l'un ou l'autre des deux niveaux.</p> <p>Les fragments de chêne proviennent de bois de moyen et petit calibre, alors que les deux autres essences correspondent essentiellement à des bois de petit calibre (courbures des cernes fortes).</p> <p>Une grande partie des fragments (plus de 50%) montre un aspect « dur-luisant » traduisant probablement des pratiques de charbonnage.</p> <p>Les traits anthracologiques de ces ensembles sont assez semblables aux ensembles charbonneux de la réserve de charbons proche du bas fourneau. Il est donc probable que les deux prélèvements soient rattachés à la réserve de charbons de bois plutôt qu'à la couche de minerai grillé.</p>	<p>Boisements de type chênaie : <i>Quercus sp.</i>, <i>Corylus avellana</i></p> <p>Boisements hygrophiles : <i>Salix sp.</i>,</p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : <i>Corylus avellana</i></p>
<p>9. Comblement d'une rigole de drainage de l'aire du bas fourneau.</p> <p>Structure ST 423.</p> <p>Sept lots étudiés.</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), Pomoïdeae.</p> <p>Le chêne est le principal taxon, il est présent dans tous les prélèvements.</p>	<p>Comblement d'une rigole de drainage de l'aire du bas fourneau, comblement avec du mobilier mélangé :</p> <p>On retrouve des compositions anthracologiques semblables aux ensembles précédents, à savoir : des fragments de chêne de courbures fortes et intermédiaires (bois de branches), les autres essences correspondant à des bois de petit calibre (courbures de cerne fortes).</p> <p>Une partie important des charbons montre des aspects « durs-luisants », traits caractéristiques de conditions de combustions chaudes et réductrices. L'hypothèse de pratiques de charbonnage est une explication plausible. Quelques charbons aux aspects « fondus – très brillants » ont aussi été repérés dans les lots 174 et 162. Ils correspondent à des degrés de vitrification plus poussés, phénomènes déjà constatés pour les ensembles charbonneux de la zone de broyage du minerai et surtout des foyers d'épuration.</p> <p>Les compositions anthracologiques ressemblent aux résultats constatés dans plusieurs ensembles de la chaîne opératoire. Nous avons donc probablement affaire à un mélange de rejets charbonneux liés à l'activité de l'atelier.</p>	<p>Boisements de type chênaie : <i>Quercus sp.</i>, <i>Corylus avellana</i></p> <p>Boisements ouverts, lisières, haies : <i>Corylus avellana</i>, <i>Pomoïdeae</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>Lot « ST 423 – lot 174 » : Moy. = 1,79 mm (N=4 ; Ec-type = 0,71 mm)</p> <p>Lot « ST 423 – lot 176 » : Moy. = 1,6 mm (N=6 ; Ec- type = 0,13 mm)</p> <p>Contexte de croissance assez difficile.</p>

Fig. 118 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées dans les secteurs interprétés comme « 8. zone de stockage de minerai grillé ou réserve du bas fourneau » et « 9. comblement d'une rigole ».

- **Informations d'ordre environnemental**

Treize taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude. Le taxon dominant est le chêne. Il est régulièrement associé au noisetier, à l'aulne et au saule. Le houx, le frêne, le charme, la famille des Pomoïdées, le bouleau, le genêt, l'érable sont aussi détectés, parfois sous la forme de quelques occurrences.

Notons qu'un certain nombre de bois gorgés d'eau, dont certains interprétés comme des déchets de taille, ont été retrouvés dans le comblement d'un puits lors de la campagne de 2017 (Vivet, 2017). L'analyse xylogologique réalisée par Q. Lemouland, révéla quatre taxons : le chêne, le noisetier, le saule et l'aulne, soit aussi les quatre essences principales des compositions anthracologiques.

C'est un recoupement intéressant car ces bois gorgés d'eau n'ont pas fait l'objet de charbonnage, mais pourraient provenir d'une aire de ramassage commune avec les charbons de bois.

Notons que l'étude anthracologique réalisés sur le site paléométallurgique du Rocher Abraham à Saint-Pierre-de-Plesguen (Vivet, 2001 ; Marguerie et Gaudin, 2001) avait aussi livré des compositions taxonomiques très semblables (chêne, aulne, peuplier, saule, bouleau, Pomoïdée, noisetier).

L'identification des taxons ligneux permet de proposer différentes associations écologiques (Rameau *et al.*, 1989) :

- les groupements forestiers de la **chênaie diversifiée** avec le chêne (*Quercus sp.*), le chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*), le charme (*Carpinus betulus*), l'érable (*Acer sp.*), le houx (*Ilex aquifolium*), le noisetier (*Corylus avellana*) et le bouleau (*Betula sp.*).
- **Les boisement clairs, les "landes-fourrés", lisières forestières, haies, associations héliophiles** : avec la détection des Pomoïdées, du noisetier (*Corylus avellana*), du bouleau (*Betula sp.*), voire du frêne (*Fraxinus sp.*) et de l'érable (*Acer sp.*). Ces végétations attestent l'existence d'espaces ouverts ou clairsemés dans l'aire de ramassage.
- **les boisements hygrophiles** sont régulièrement perçus avec l'aulne (*Alnus sp.*), le saule (*Salix sp.*), le saule / peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*) et le frêne (*Fraxinus sp.*). Ces boisements pourraient provenir d'une zone humide, des bords de cours d'eau ou depuis une zone alluviale.

L'absence du hêtre, pourtant excellent combustible et bien représenté dans les forêts du Subatlantique du nord-ouest de la France (Gaudin, 2004) est à souligner.

En ce qui concerne le calibre du bois utilisé, nous constatons pour l'ensemble des prélèvements une majorité de fragments montrant des courbures de cerne fortes et intermédiaires. Très peu de fragments en provenance de bois de gros calibre (courbure de cerne faible) ont été observés.

De façon générale, les fragments de chêne montrent des courbures de cerne forte à intermédiaire. Les charbons des autres essences avaient en grande partie des courbures de cerne fortes correspondant à des bois de petit calibre.

Les mesures de largeurs de cerne réalisées sur les fragments de chêne de gros et moyen calibre ont permis de calculer des moyennes pour une vingtaine de prélèvements. Nous constatons des valeurs moyennes globalement comprises entre 1 et 2 mm. Ces valeurs correspondent à des croissances plutôt difficiles, en liaison avec des contextes abiotiques (ex. sols pauvres, météorologie,...) et/ou biotiques contraignants (compétition vis à vis des ressources, ex. chênaie dense).

Les fragments observés, provenant souvent de rameaux de moins de 20 mm de rayon, n'ont pas permis la mise en perspective des dynamiques de croissance (largeurs de cerne) en fonction des positions radiales. De ce fait, il n'a pas été possible de suivre, statistiquement, le rythme de croissance des arbres sur de longues durées ce qui aurait pu nous fournir des indices précieux sur le type de peuplement forestier (futaie, taillis, taillis sous futaie).

Néanmoins, quelques observations directes ont permis d'identifier des irrégularités de croissance (Fig. 121, 65). Certes, ces perturbations peuvent être le fait d'aléas climatiques, mais peut-être aussi de coupes réalisées sur les arbres lors de traitements de type taillis ou taillis sous futaie (Fig. 119). Ce mode de gestion sylvicole fait intervenir des coupes régulières d'arbres et de branches (cépées) tout en maintenant quelques arbres en place (baliveaux et arbres de réserve : ex. chêne) (Fig. 120). Cette hypothèse trouve aussi quelques crédits dans le mode de prélèvement constaté (en grande partie des rameaux ou des branches) mais aussi dans la composition des bois prélevés (chêne, frêne, érable, aulne, noisetier, charme, châtaignier, bouleau). Car ce sont là des essences qui « rejettent » bien de souche et qui seraient adaptées à ce type de gestion sylvicole. Notons d'ailleurs que le hêtre, essence absente, ne rejette que « moyennement » de souche après coupe.

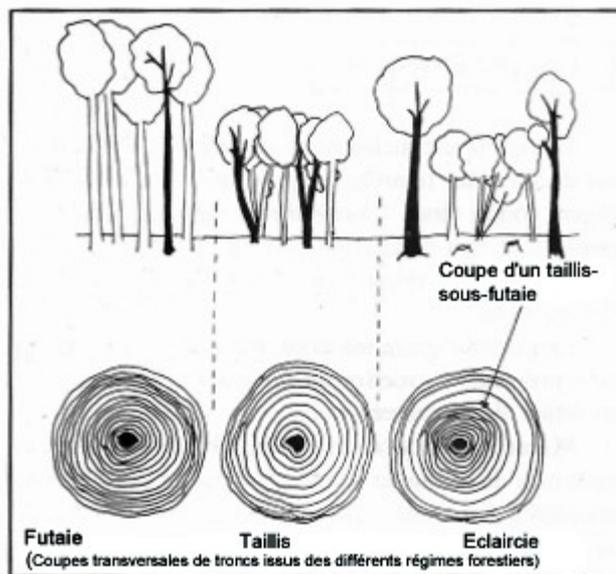


Fig. 119 – Schéma des trois régimes forestiers : futaie, taillis, taillis-sous-futaie.

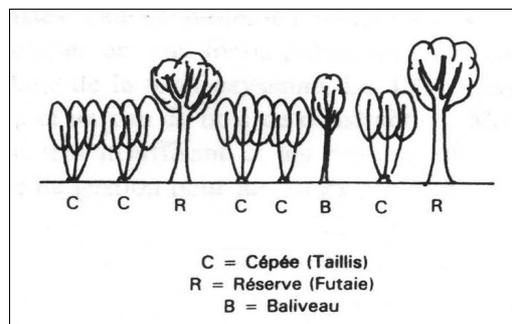


Fig. 120 - Illustration du mode de gestion sylvicole de type « taillis sous futaie ».

- **Informations d'ordre technique :**

De façon générale, les ensembles charbonneux étudiés dans les différentes zones du site présentent des compositions semblables :

- On constate la prépondérance de fragments de chêne provenant de bois de petits et moyens calibres (courbures des cernes fortes et intermédiaires), accompagnés d'autres essences correspondant à des bois de petits calibres. Les quelques différences de composition, notamment au niveau des essences accompagnatrices, semblent assez secondaires et sont probablement liées aux aléas des différents approvisionnements.
- Mis à part dans certaines structures de l'aire d'épuration et dans l'aire de broyage, une grande partie des charbons montre des aspects « durs-luisants ». Le phénomène à l'origine de ces aspects n'est pas encore parfaitement compris. Il semble néanmoins que des contextes de combustion anaérobies et de hautes températures soient favorables au processus de « vitrification » (exemple : bas fourneaux, fours, pratiques de charbonnage selon Blaizot *et al.*, 2004 ; Oilic, 2011). Pour ce qui concerne l'aspect « dur-luisant », l'hypothèse de pratiques de charbonnage est plausible, car l'on retrouve cet aspect dès les zones de stockage du charbons. En revanche, une partie importante des fragments prélevés dans les zones d'épuration et de broyage du minerai avaient des aspects « fondus – très brillants » ou « scoriacés », correspondant à des niveaux de vitrification plus poussés. Ces différences d'aspect pourraient s'expliquer par les conditions de températures plus élevées générées lors des phases de grillage du minerai et d'épuration.
- Parmi l'ensemble des lots, très peu de charbons présentaient des fentes de retrait. On a donc prêté une attention particulière afin d'exploiter un bois à l'état sec.

Cette relative homogénéité dans les résultats va dans le sens d'une source d'approvisionnement unique, que ce soit pour alimenter les zones de réserve mais aussi de grillage, de réduction ou d'épuration, ce qui n'est pas toujours le cas. Selon un Mémoire du maître de forge de Chaufaille (1789), cité par S. Paradis-Grenouille (2012), « *On emploie de préférence le chêne et le hêtre pour réduire le minerai en fonte, à défaut on se sert du châtaignier. Le châtaignier et les autres bois plus légers (ex. saule, aulne, noisetier...) sont préférés pour le travail des affineries, lequel nécessite pour obtenir du fer forgé de bonne qualité un combustible moins abondant en carbone et produisant du fer plus doux.* » Dans l'atelier de Pilleverte, il semble que l'assemblage en combustible ait donc été constitué dès la phase de charbonnage et, après avoir été livré sur le site, ait servi à alimenter l'ensemble des phases de l'activité métallurgique.

Il n'est pas surprenant de trouver le chêne comme essence principale, c'est un bois dur constituant un excellent combustible et estimé en métallurgie. En revanche, l'absence du hêtre, lui aussi excellent combustible et bien représenté dans les forêts gallo-romaines du nord-ouest de la France (Gaudin, 2004) est à souligner. De plus, comme cité précédemment il est généralement largement employé, au même titre que le chêne, dans les activités métallurgiques (Paradis-Grenouillet, 2012 ; Sarreste *et al.*, 2009). Un choix local, d'ordre technique au niveau des pratiques de charbonnage mais aussi ensuite dans l'activité métallurgique est possible. Il est d'ailleurs aussi absent des compositions anthracologiques protohistoriques et antiques étudiées dans les fosses à charbonnage retrouvées sur le site de Châteaulin (Nicolas *et al.*, 2013) et sur le site paléométallurgique du Rocher Abraham à Saint-Pierre-de-Plesguen situé à quelques kilomètres (Vivet , 2001 ; Marguerie et Gaudin, 2001).

Des estimations des calibres des bois ont été réalisées sur deux lots de charbons (cf. lot de la « structure 1314 », Fig. 92 et lot « ch9, structure 303-304 », Fig. 34). Elles montrent dans les deux cas une prédominance de bois compris entre 20 à 60 mm. Quelques bois de diamètre un peu plus important, de l'ordre de 100 mm, semblent aussi avoir été utilisés mais de façon moins importante.

L'observation de plusieurs charbons ayant un rayon complet, prélevés notamment dans les structures ST 303-304, ont permis d'identifier des coupes en hiver mais assez régulièrement aussi au (début?) printemps.

5. BIBLIOGRAPHIE

BLAIZOT F., FABRE L., WATTEZ J., VITAL J., COMBES P., 2004 - *Un système énigmatique de combustion au Bronze moyen sur le plateau d'Espalem (canton de Blesle, Haute-Loire)* In: Bulletin de la Société préhistorique française. tome 101, N. 2. pp. 325-344.

CHABAL L., 1997 - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Documents d'Archéologie Française. Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 63, p. 18-61.

CHABAL L., FABRE L., TERRAL J.-F. and THERY-PARISOT I., 1999 - *L'anthracologie*. In BROCHIER J.E., BOURQUIN-MIGNOT C., CHABAL L., CROZAT S., FABRE L., GUIBAL F., MARINVAL P., RICHARD H., TERRAL J.-F., THERY I. (éds.), Errance (Collection "Archéologiques"). La Botanique, Paris, 207 p.

DOMERGUE C., JARRIER C., TOLLON F., 1999 - La métallurgie extractive du fer dans la Montagne Noire (France) à l'époque romaine. Nouveaux documents. In: *Revue archéologique de Narbonnaise*, Tome 32, 1999. pp. 147-156.

DUFRAISSE A., GARCIA MARTINEZ M.-S., 2011 - Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données. ANTHROPOBOTANICA, 2, 16p.

GAUDIN L., 2004 - *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, Université de Rennes 1, 2 tomes, 768 p.

LANGLOIS J.-Y., DELOZE V., GUILLER G., ZAOUR N. (collab.), 2005 - ALENCON - SAINT-EVROULT DE-MONTFORT - Le Buisson A28 Rouen RFO, 2005 (RAP 001709). SRA Basse-Normandie.

MARCOUX N., 2009 - 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). p. 20-39.

MARGUERIE D., BERNARD V., BEGIN Y., TERRAL J.-F., 2010 - Dendroanthracologie p. 311-347 in PAYETTE S., FILION L., *La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications*. Presses de l'Université Laval, Québec

MARGUERIE D., HUNOT J.-Y. 2007 - *Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France*. Journal of Archaeological Science. p. 1417-1433

MARGUERIE D. et GAUDIN L., 2001d - Rapport d'étude anthracologique sur le site du Rocher Abraham (Saint-Pierre-de-Plesguen, Ille et Vilaine). Rapport d'étude UMR 6566, Rennes, 15 p.

MARGUERIE D., 1992a - *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie Rennes, 40, 262 p.

MARGUERIE D., 1992b - Charbons de bois et paléoenvironnement atlantique. *Dossier A.G.O.R.A. Les bois archéologiques*, n°2, p. 15-20.

MCPARLAND L.C., COLLINSON M.E., SCOTT A.C., CAMPBELL G., VEAL R., 2010 - Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science*, doi: 10.1016/j.jas.

NICOLAS E., BLANCHET A., BRISOTO V., CHEREL A.-F., DAOULAS G., GUITTON V., HENAFF A., HINGUANT S., JOUANET N., LABAUNE-JEAN F., LE FORESTIER S., SEIGNAC K., 2013 - *Châteaulin (29). Penn ar Roz : un site d'activité métallurgique protohistorique et antique*. Rapport de fouille, Cesson Sévigné, Inrap, Grand ouest, 2013, 364p

OILIC J.-C., 2011 - *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis le Tardiglaciaire*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 320p.

PARADIS S., 2007 - *Étude dendro-anthracologique : une approche méthodologique pour l'étude du calibre des bois*. Mémoire de Master 2, université de Dijon, 64 p.

PARADIS-GRENOUILLET S., 2012 - *Etudier les forêts métallurgiques : analyses dendro-anthracologiques et approches géohistoriques : exemple des forêts du mont Lozère et du Périgord-Limousin*. Université de Limoges, 452 p.

PRIOR J., ALVIN K. L., 1986 - *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, p. 243 - 249.

RAMEAU J.C., MANSION D. et DUME G., 1989 - *Flore forestière française, guide écologique illustré*. T.1, plaines et collines, Institut pour le développement forestier, Paris, 1785 pages.

SCHWEINGRUBER F. H., 1982 - *Microscopic Wood Anatomy*. Flück-Wirth, Teufen.

SCHWEINGRUBER F. H., 2011 - *Anatomie europäischer Hölzer - Anatomy of European Woods*. Verlag Kessel, 800 p.

SARRESTE F., 2008 - *La sidérurgie ancienne dans le Bas Maine (VIIIe s. av.-XVe s. ap. J.-C.* Thèse soutenue le 24 novembre 2008, à l'Université de Tours, sous la direction de Alain Ferdière et Nadine Dieudonné-Glad, Ressource électronique SCD de l'université de Tours, 835 p.

SARRESTE F., JAFFROT E. et MARCOUX N., 2009 - *Archéologie dans le Silléen*. Nantes, SRA des Pays de la Loire, rapport d'opérations archéologiques programmées sur les sites de Roche Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe) EA 72 234 0008 opération n°2009-043 et Roullée (Mont-Saint-Jean, Sarthe) EA 72 211 0004 opération n° 2009-45, 2009, 154 p.

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

VIVET J.-B., 2001, - Le Rocher Abraham, St Pierre de Plesguen (35): un témoin essentiel de l'activité sidérurgique gauloise du Nord de la Haute-Bretagne, *Les Dossiers du Ce.R.A.A.*, 29, p. 79-94.

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

VIVET J.-B., 2011 - Pilleverte II, en Plesder (35) : un atelier gallo-romain de production massive de fer spécialisé, rapport d'opération de sondage 2011, 120 p., 148 photos, 47 fig.

VIVET J.-B., 2017, - Pilleverte II en Plesder (35) - Un atelier gallo-romain de production massive de fer du grand Ouest, rapport de fouille programmée pluriannuelle 2016-2017, 226 p.

6. ANNEXE – Photographies

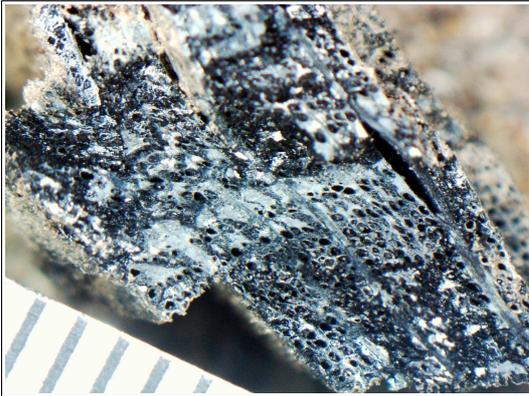


Fig. 121 – Fragment de chêne, aspect dur-luisant, avec reprise de croissance. Opération de 1999 – Carré L55 - Lot25. Grossissement x8. L'échelle représente des millimètres.

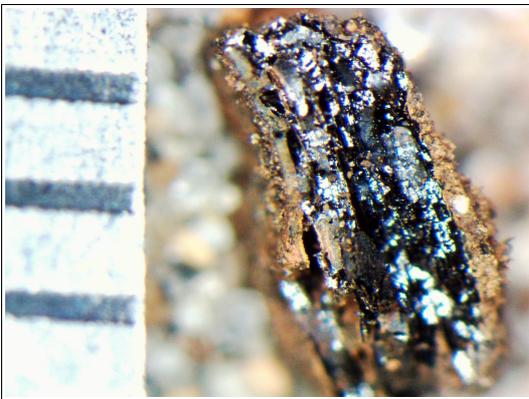


Fig. 122 – Fragment de chêne, aspect fondu – très brillant. Structure 449, Lot 189. Grossissement x24. L'échelle représente des millimètres.

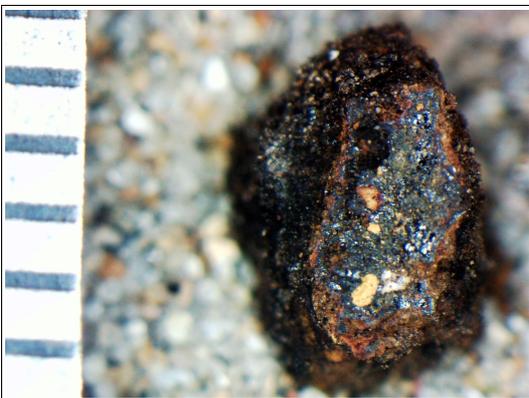


Fig. 123 – Charbon d'aspect « scoriacé », formant un magma informe avec d'autres éléments minéraux et métalliques. Structure 428, lot 165. Grossissement x13. magma informe solidifié, donnant parfois l'aspect d'être entré en ébullition.

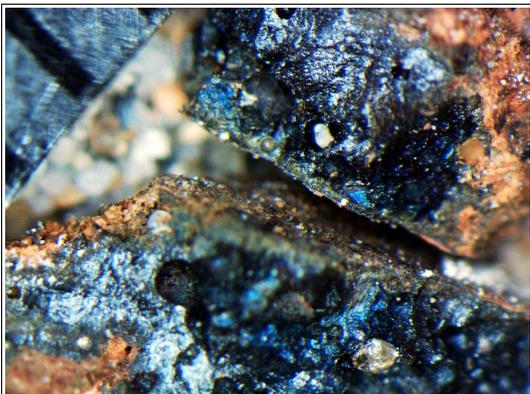


Fig. 124 - Fragment d'aspect « scoriacé ». Structures ST 474 - lot 186. Grossissement x2. L'échelle représente des millimètres.

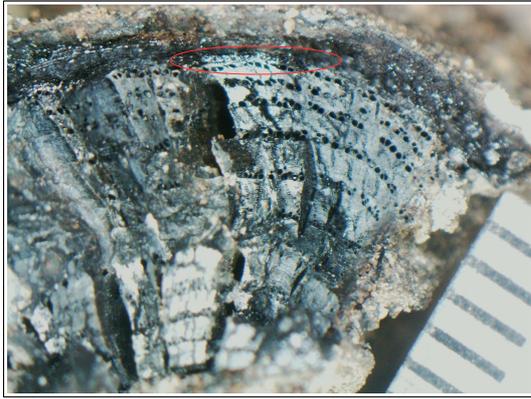


Fig. 125 - Fragment de chêne de forte courbure de cerne. Coupe de printemps, on aperçoit une zone de bois initial juste sous l'écorce. Structures ST 303-304 -lot « ch9 ». Grossissement x7. L'échelle représente des millimètres.

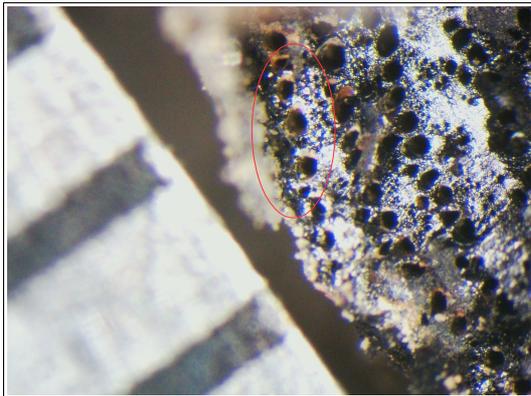


Fig. 126 - Fragment de chêne de forte courbure de cerne. Coupe de printemps, on aperçoit une zone de bois initial juste sous l'écorce. Structures ST 303-304 -lot « ch9 ». Grossissement x7. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 127 - Fragment d'aulne (*Alnus* sp.), d'aspect « dur - luisant ». La coupe a eu lieu en tout début de printemps. Structure ST 474. Grossissement x7. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 128 - Fragment de saule dont la partie externe est fortement altérée, effet de charbonnage ? vitrification ? partie de l'écorce ? Structures ST 1314. Grossissement x7. L'échelle représente des millimètres.

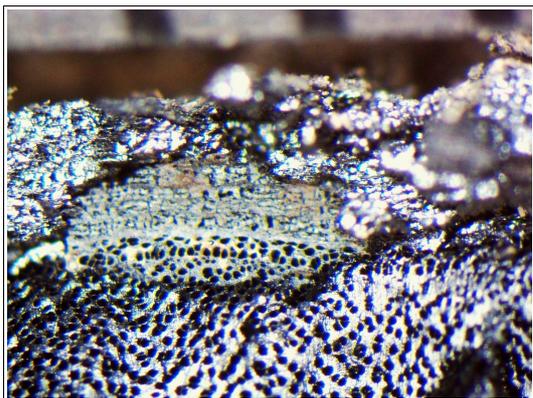


Fig. 129 - Fragment de saule (*Salix sp.*) de forte courbure de cerne et d'aspect luisant. Structure 1314. Grossissement x40. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 130 - Fragment de charme (*Carpinus betulus*). Opération 1999 - carrés N48-N49. Grossissement x24. L'échelle représente des millimètres.

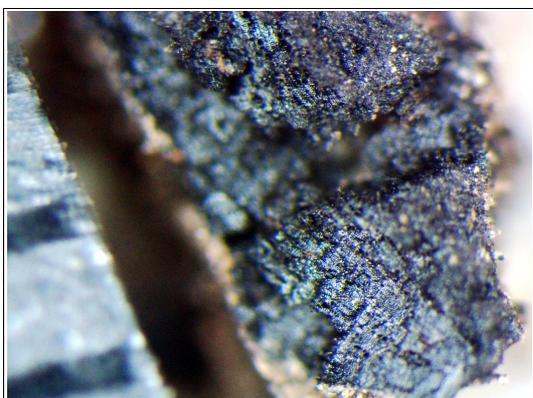


Fig. 131 - Fragment de houx (*Ilex aquifolium*). Structure ST 449. Grossissement x40. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 132 - Fragment d'érable (*Acer campestre*). Structure ST 300, lot « ch1 ». Grossissement x13. L'échelle représente des millimètres.