

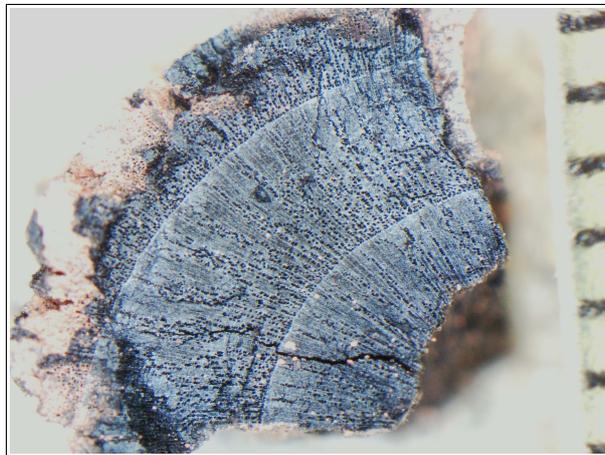


ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS
RÉALISÉS LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE
DU SITE DE « OBEN DEN GARTEN »,
SUR LA COMMUNE DE ELL (LUXEMBOURG).**

OPÉRATION : 2024.044



**INRA
SERVICE D'ARCHÉOLOGIE PROTOHISTORIQUE**

Février 2025

Institut National de Recherches Archéologiques

Service d'archéologie protohistorique

Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site « Oben den Garten » sur la commune de Ell (Luxembourg).

Opération : OP. 2024.044

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

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

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Illustration de la page de couverture :

Fragment de noisetier (Corylus avellana), vue en coupe transversale, grossissement x14 (l'échelle représente des millimètres). Prélèvement n°002.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS.....	5
2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION	8
2.1. Équipement d'observation.....	8
2.2. Méthodologie.....	9
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux	15
2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration »	17
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	19
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....	22
3.1. Prélèvement de la structure de type « fosse», structure n°9, n°001.....	22
a. Résultats	22
b. Interprétations	24
3.2. Prélèvements des structures de type « trou de poteau ». Prélèvement n°002, n°003, n°004.....	26
a. Résultats	26
b. Interprétations	29
4. BILAN.....	32
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	32
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	34
5. BIBLIOGRAPHIE.....	35
6. ANNEXE – Photographies.....	37

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une opération archéologique préventive menée sur le site « Oben den Garten » sur la commune de Ell (Luxembourg) (Opération 2024-044).

Les charbons proviennent des comblements de trois trous de poteaux et d'une fosse datés de la Protohistoire (La Tène B-C?) (Fig. 1).

Au regard du contexte archéologique et des premiers éléments d'interprétation du site, l'analyse a été menée en fonction de trois objectifs :

- Tenter de percevoir l'origine des charbons. Dans le cadre de la fouille de la fosse il s'agit très probablement de restes de combustibles en position de rejet, mais l'hypothèse reste à confirmer. Pour les comblements des trous de poteaux, s'agit-il des restes de poteaux ou bien de charbons venus combler ces structures postérieurement ?
- s'il s'agit de restes de combustibles, tenter de caractériser la qualité du bois utilisé. En déduire si les assemblages ont fait l'objet de sélections (ex. essences ou calibres particuliers), s'ils sont plutôt caractéristiques d'usages domestiques ou artisanaux,
- caractériser les boisements qui existaient dans l'aire de ramassage.

Cette étude a été commanditée par l'Institut National de Recherches Archéologiques. La fouille ci-présente a été dirigée et par M. Hadzhipetkov.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les prélèvements charbonneux ont fait l'objet de tamisages effectués au sein du service archéologique (mailles de 0,5 et 2 mm).

Les quatre prélèvements analysés sont issus des comblements de trois trous de poteaux et d'une fosse. Au total ce sont un peu plus de 330 fragments qui ont été étudiés (Fig 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE							
Commune :		Eil (Luxembourg)					
Nom de l'opération / Lieu-Dit :		Oben den Garten					
Année :		2024					
N° OA :		OP. 2024-044					
Resp. d'Op. ; commanditaire		Iliya Hadzhipetkov (Commanditaire)					
Type d'opération :		Préventif					
Période d'analyse pressentie		février 2025					
N° prlv	Structures	Type de structure	Contexte	Datation	Période (estimée)	Volume traité (Volume total disponible)	Nombre de charbons observés
2024-044/001	9	Fosse	Comblement		LT B-C?	>10 l	125
2024-044/002	10	trou de poteau	Comblement		LT B-C?	>10 l	50
2024-044/003-1	11	Trou de poteau	Comblement	cal BC 396-211	LT B-C1	>10 l	81
2024-044/004	13	Trou de poteau	Comblement		LT B-C?	>10 l	79
							335

Fig. 1 – Tableau de description synthétique des prélèvements du site, description des structures de provenance et comptages.

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 identifications des taxons afin de déterminer des seuils, ou effectifs, au delà desquels l'apport de nouvelles essences ne paraît plus « rentable ».

Pour les deux prélèvements n°003 et n°004, seulement cinq taxons ont été identifiés. Les courbes « effort-rendement » montrent des seuils situés entre 30 et 50 fragments (Fig. 2 et Fig. 3).

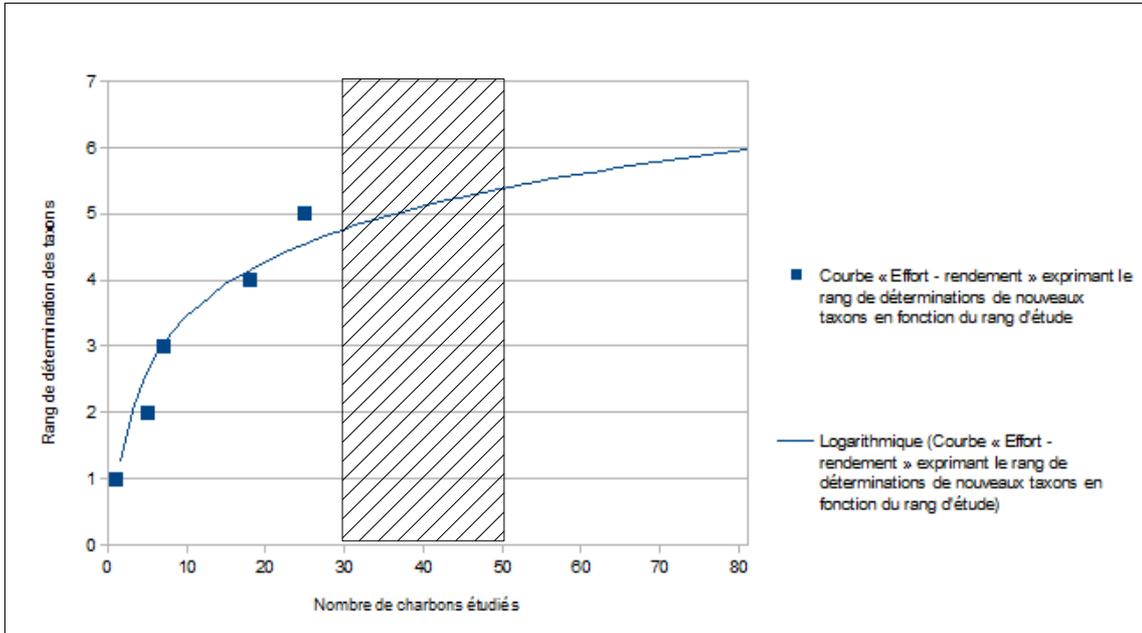


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°003. Dans cet exemple, le cinquième taxon identifié (*Betula sp.*) a été observé au 25e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 30 et 50 charbons.

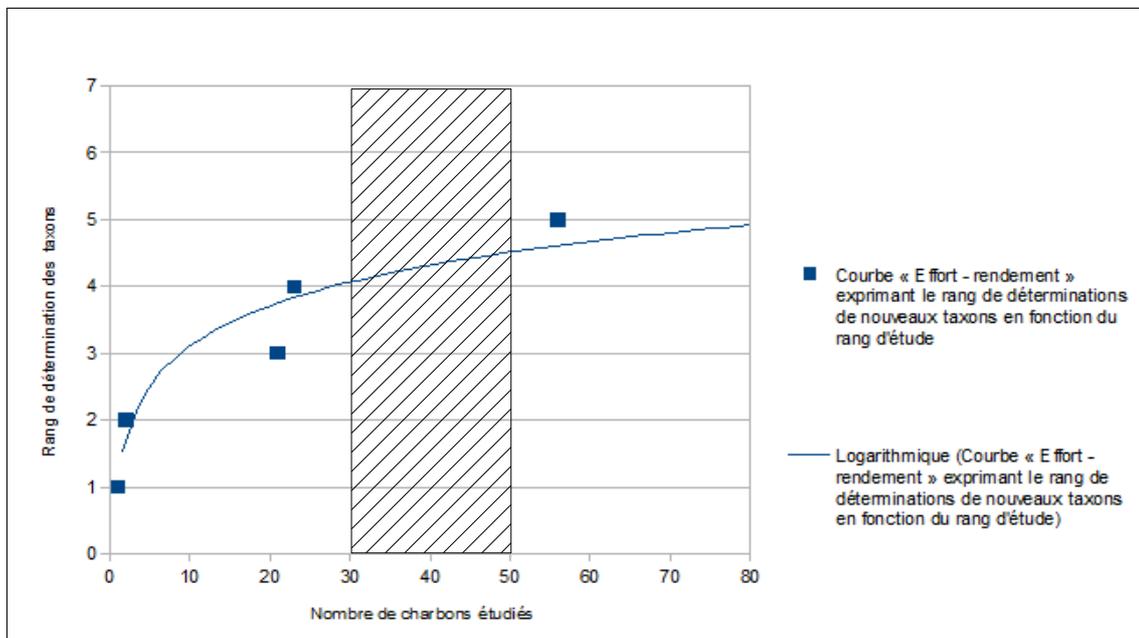


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement le prélèvement n°004. Dans cet exemple, le cinquième taxon identifié (*Alnus sp.*) a été observé au 56e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 30 et 50 charbons.

De façon générale, les prélèvements étudiés montrent assez peu de diversité (seulement cinq taxons à la fois au maximum). Or, les indicateurs calculés à partir des courbes « effort-rendement » sont basés sur la diversité taxonomique. En plus des identifications nous avons aussi procédé à des observations permettant de préciser la nature des ensembles anthracologiques : 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 prélèvements de façon la plus exhaustive possible, en poussant l'observation de 50 à 125 charbons par prélèvement.

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. 4 - 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.

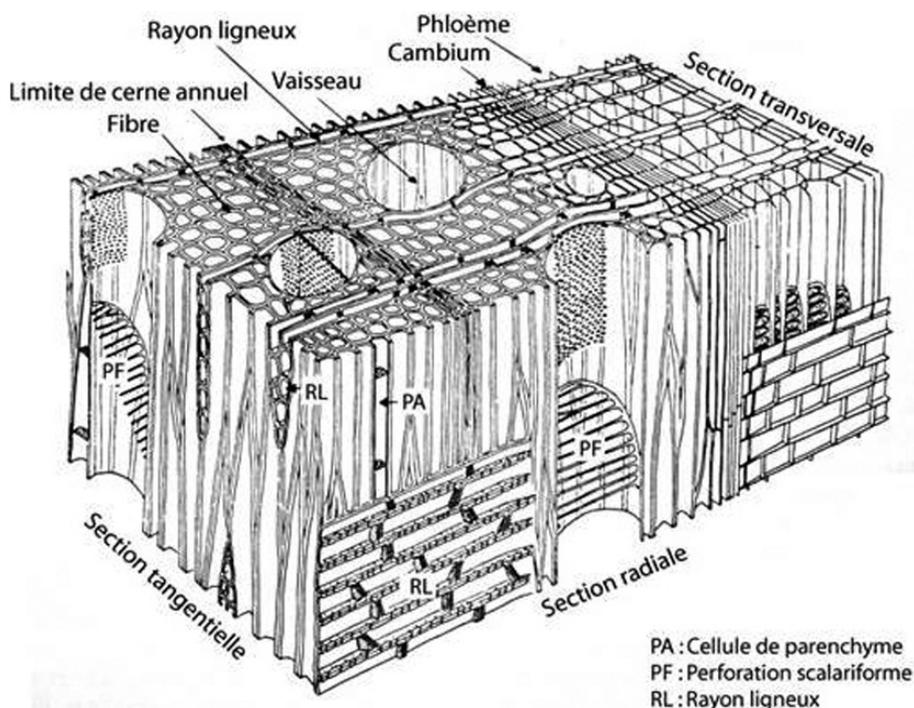


Fig. 5 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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.

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 gommes 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).

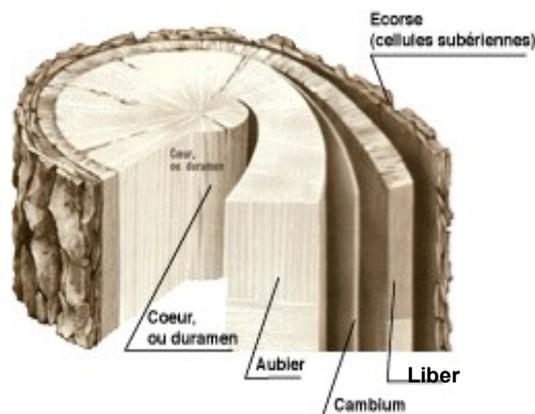
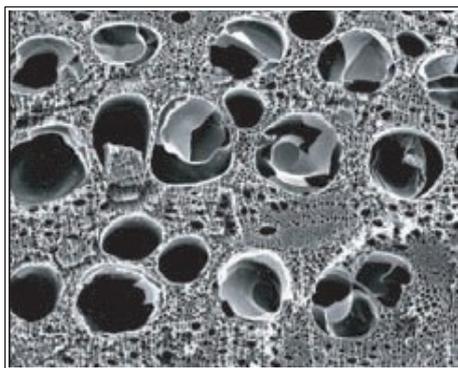
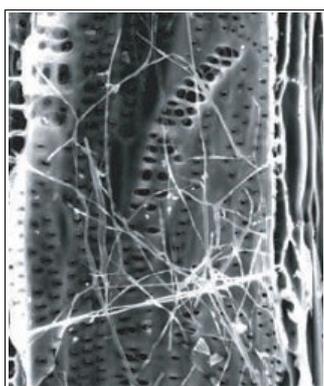


Fig. 6 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à la présence de thylles, des autres tissus dont l'aubier (thylles absents).

- 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.

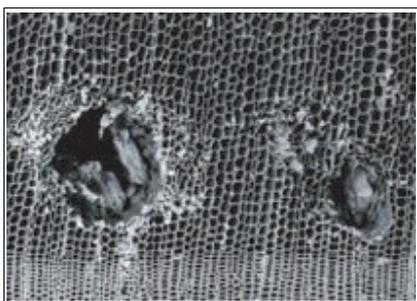
Fig. 7 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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. 8 – 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. 9 – Exemple de fentes de retrait (Marguerie *et al.*, 2010).

La vitrification (ou 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.

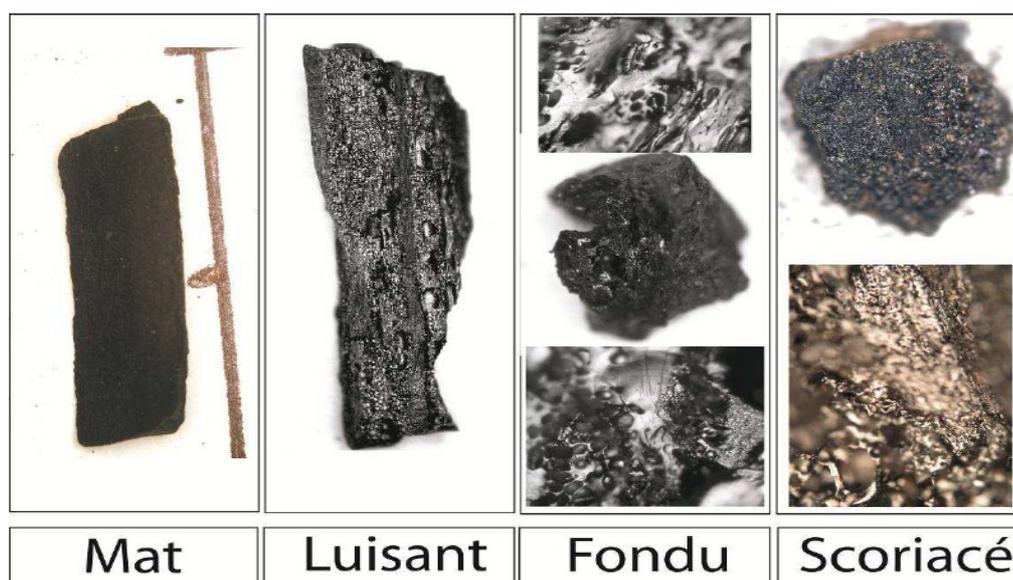
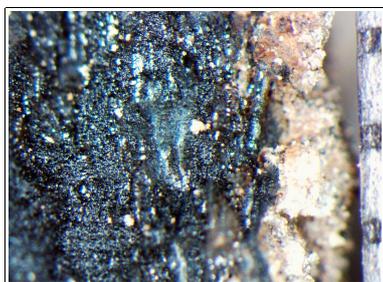


Fig. 10 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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. 11) a donc parfois été utilisé.

Fig. 11 – 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.

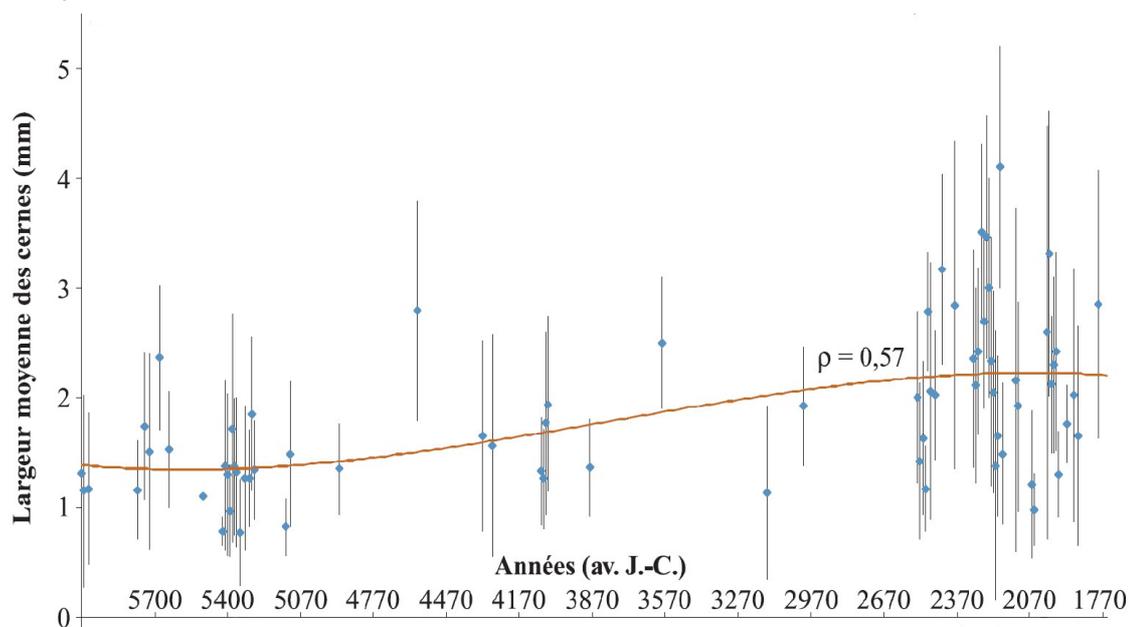


Fig. 12 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 12). 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

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

Trois catégories de courbures sont potentiellement renseignées : faible, intermédiaire, forte (Fig. 13). 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.

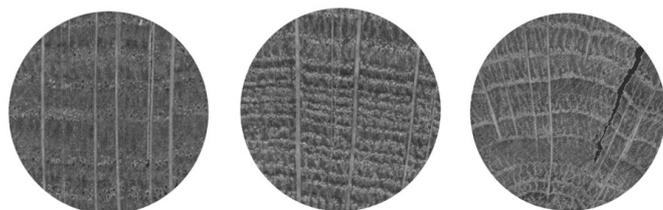


Fig. 13 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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. 14). 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. 14).

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).

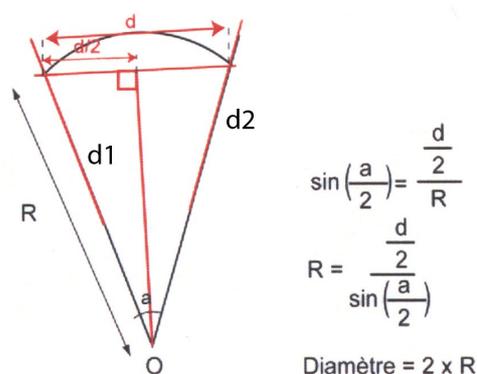


Fig. 14 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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. 15, 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.

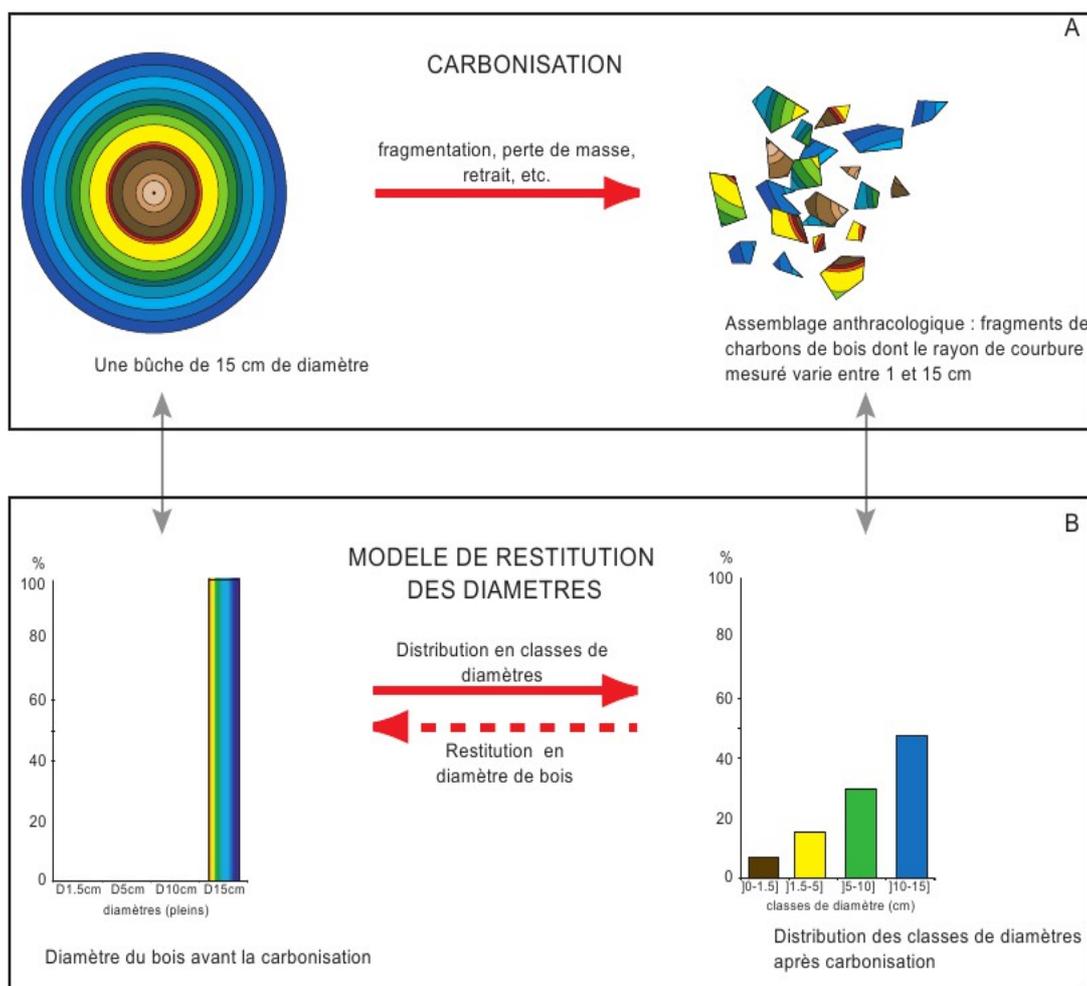


Fig. 15 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

Remarque : Dans le cadre de cette étude, une majorité de fragments provient de bois de petit calibre et il a parfois été possible d'identifier le centre de la tige (moelle). Dans ce cas, nous avons directement mesuré le rayon du fragment dans sa longueur maximale.

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

L'étude a permis de déterminer six à sept taxons anthracologiques. La composition taxonomique des ensembles étudiés doit être interprétée en tenant compte de choix particuliers de combustibles. En effet, la diversité des essences 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. Il est identifié dans les quatre prélèvements.

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 très hypothétique car c'est la détection d'un critère anatomique (les rayons multisériés) qui permet de le différencier du chêne. 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 hêtre (*Fagus sp.*) est une espèce de forêt caducifoliée (chênaie – hêtraie) de large amplitude. Il appartient le plus souvent à des forêts fraîches et mûres. C'est une essence d'ombre en climat sec et de lumière en climat humide. Il offre un bois homogène sans duramen distinct se travaillant assez facilement. C'est un bois dur à fine écorce. Son utilisation est très variée : objets ménagers, manches d'outils, mobilier. Il peut aussi être utilisé dans la construction, mais plutôt pour les menuiseries intérieures car il est sensible à l'humidité. Il n'est pas adapté pour la structure d'une charpente, mais davantage pour l'ébénisterie, parquets, lambris, escaliers et pièces nécessitant un cintrage. Il constitue un excellent bois de chauffage et fournit un charbon très estimé. Toutefois, il peut être difficile à allumer, l'utilisation de petit bois provenant d'un arbre léger peut aider à l'allumage.



Le hêtre est décrit dans l'atlas du bois de Schweingruber (2011), comme un bois « peu abondant à relativement fréquent dans le matériel des couches archéologiques protohistoriques, en particulier sous la forme de copeaux. Rarement employé comme pieux, relativement fréquent dans les pièces coudées constituées par la ramification d'une branche avec le tronc ». Il est identifié dans les quatre prélèvements.

Fig. 16 – Représentation du hêtre (*Fagus sylvatica*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

Des fragments de **frêne** (*Fraxinus sp.*) ont été identifiés dans le prélèvement n°003. 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). Il est considéré comme un bon bois de chauffage car c'est un bois dense avec un pouvoir calorifique important et générant une combustion lente.

Le **noisetier** (*Corylus avellana*) 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 termes 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 constituent de bons bois d'allumage surtout sous la forme de brindilles (flamme longue, claire, sans fumée), ils dégagent beaucoup de chaleur et une combustion rapide.



Le bouleau est présent dans tous les prélèvements. Le noisetier est détecté dans les prélèvements n°002, n°003 et n°004.

Fig. 17 – Représentation du noisetier (*Corylus avellana*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

L'**aulne** (*Alnus sp.*) est une essence vivant dans des contextes humides tels que les bordures de rivières, les berges des lacs et zones alluviales. C'est un bois utilisé en vannerie. En revanche c'est un bois de feu assez médiocre, charbon léger (Rameau *et al.*, 1989). C'est une essence à forte croissance pouvant assurer un bon allumage du feu, mais sa combustion dure peu dans la durée.

Il est détecté exclusivement dans le prélèvement n°004.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les ensembles anthracologiques correspondent aux comblements de deux types de structures : trois structures de type « trou de poteau » (structures n°10, n°11, n°13) et une fosse (structure n°9).

Les deux types d'ensembles ont été analysés séparément (chapitre 3.1. et 3.2.). Après une description des deux compositions anthracologiques, nous envisageons de comparer les résultats dans le chapitre « Bilan » (chapitre 4.), afin de détecter d'éventuelles différences au niveau des aires de collecte de bois, mais aussi en termes de fonctionnement des combustions (ex. bois d'allumage et bois utilisé pour l'entretien de la combustion, qualité du bois employé...).

3.1. Prélèvement de la structure de type « fosse », prélèvement n°001 (structure n°9).

a. Résultats

- Prélèvement n°001, structure n°9

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion									
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informé solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux - indet.	Thylle	Insecte	Moelle
Betula sp.	24	0	5	12	0	0	1	3	0	0	1	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	31	2	5	18	0	0	0	5	0	0	1	0	0	0	1	
Frag. écorce	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Indéterminé	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	
Quercus/Castanea	12	0	1	4	0	0	1	1	5	0	2	0	0	2	0	
Quercus sp.	49	1	23	7	17	4	1	16	15	0	0	0	0	14	0	
	125	3	34	43	17	4	3	25	20	0	4	0	3	16	1	

Fig. 18 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°34 de l'US 10823, refus de tamis de maille 2 mm.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	17	33	1,59	0,48	0,83	2,7

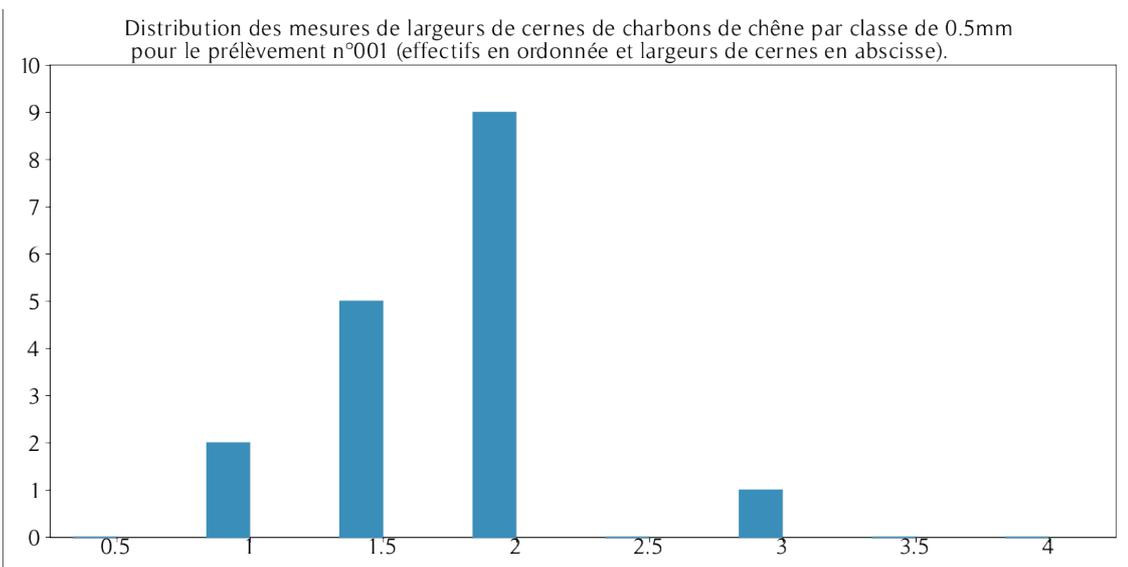


Fig. 19 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°001.

Distribution des effectifs cumulés des positions radiales (mm) mesurées sur des bois de section entière ou estimés par calibration, pour des fragments de bouleau, hêtre et chêne pour le prélèvement n°001.

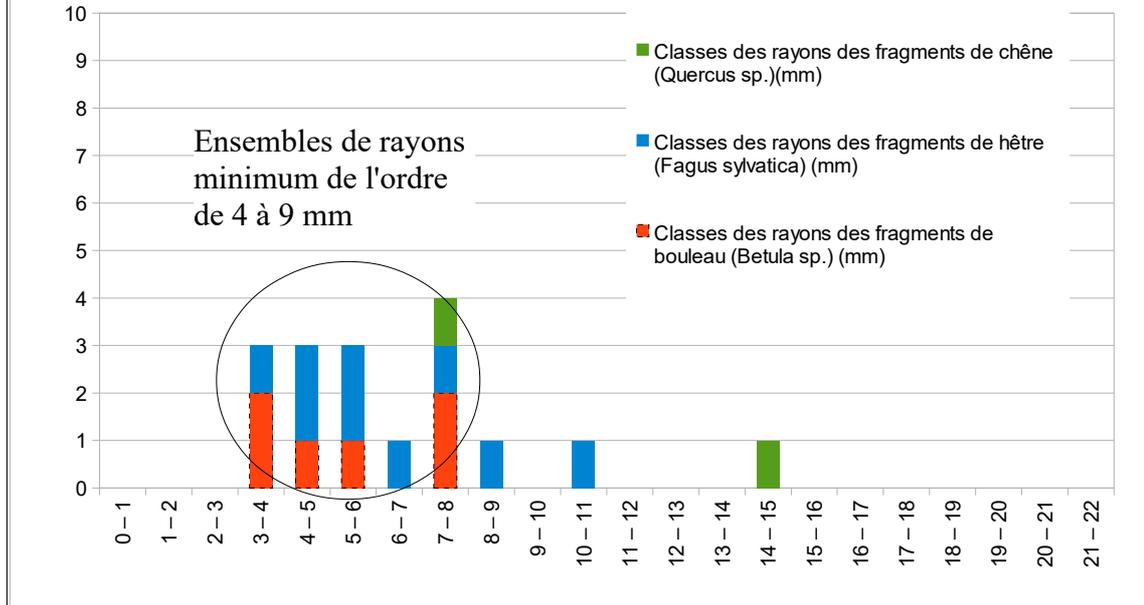


Fig. 20 – Distribution des rayons mesurés ou des positions radiales calculées pour des fragments de bouleau, chêne et hêtre du prélèvement n°001.

b. Interprétations

125 charbons correspondant à trois à quatre taxons anthracologiques ont été identifiés pour le prélèvement n°001. Par ordre d'importance on constate des charbons de chêne et de chêne-châtaigner (*Quercus sp. / Castanea sp.*) (environ 50%), de hêtre (*Fagus sylvatica*) (environ 25%) et de bouleau (*Betula sp.*) (Fig. 21).

Notons que l'hypothèse de la présence du châtaignier est peu probable. Le taxon anthracologique « chêne-châtaigner » est surtout lié à la difficulté de distinguer le chêne du châtaignier pour les petits fragments (cf. note à ce sujet chapitre 2.5.).

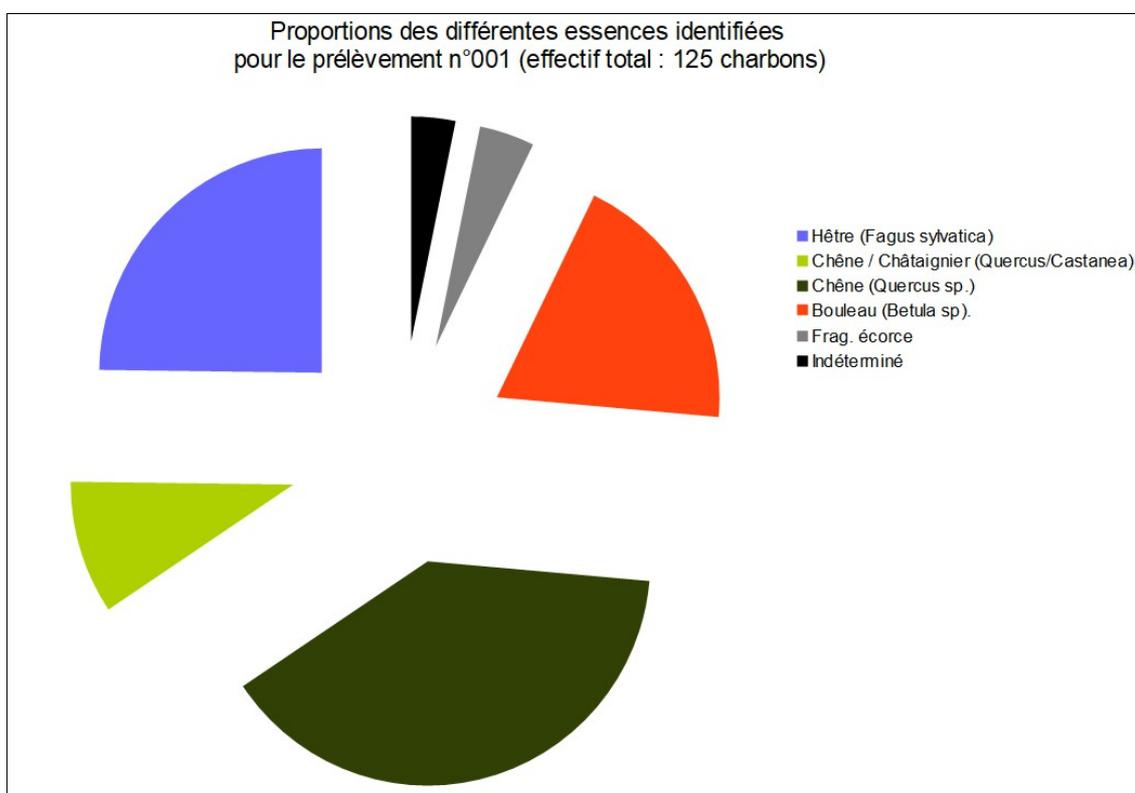


Fig. 21 – Représentation des proportions des différents taxons identifiés pour le prélèvement n°001 (structure n°9) sous la forme d'un « camembert éclaté ».

L'observation des courbures de cerne montre principalement des fragments de forte (53%) et moyenne courbure (42%). Seulement trois charbons semblaient montrer de faibles courbures de cernes (Fig. 18). Ce sont donc principalement des bois de petit et moyen calibre, voire des brindilles qui ont été utilisés. Des estimations de rayons minimum ont pu être réalisées sur une vingtaine de fragments de section entière ou partielle (Fig. 20). Les histogrammes montrent principalement l'emploi de petit bois de hêtre et de bouleau d'environ 4 à 9 mm de rayon.

Les essences telles que le hêtre et le chêne sont des bois denses, générant des braises avec beaucoup d'énergie et dans la durée. Ces bois peuvent être qualifiés d'« excellents » combustibles. En revanche, le bouleau est un bois plus « tendre », qui s'enflamme rapidement mais dure peu. Le bois de hêtre et chêne ont donc été employés pour alimenter les combustions dans la durée. Le bois de bouleau, voire les petites branches de hêtre, ont probablement été utilisés lors de phases d'allumage.

De façon générale les charbons montrant des fentes de retrait sont en faibles quantités (environ 18%). Ces observations caractérisent un bois brûlé à l'état sec (non vert). Ce constat implique une sélection du bois lors de la collecte, peut-être aussi un stockage préalable à l'emploi.

La proportion de fragments d'aspect luisant est faible mais non négligeable avec environ un tiers des charbons (Fig. 18). Les charbons semblent donc provenir de combustions plutôt aérobies avec des températures modérées.

Les aspects luisants observés peuvent être interprétés comme un premier stade de « phénomènes de vitrification », typiques de conditions de combustions chaudes et réductrices localisées (Blaizot et al., 2004). On peut par exemple évoquer des contextes de combustion de « fond de foyer ».

Seulement trois à quatre taxons ont été identifiés dans ce prélèvement ce qui ne permet pas de procéder aux statistiques (Indice de Pareto) permettant de caractériser le type de ramassage. Notons toutefois que le nombre réduit d'essences identifiées en plus de la qualité du combustible employé (bois dense) caractériserait plutôt un combustible sélectionné, potentiellement pour des activités spécifiques (type artisanales?).

Enfin, quelques mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur une vingtaine de fragments de chêne permettant de calculer une moyenne d'environ 1,59 mm / an (Fig. 19). Cette moyenne est caractéristique de contextes de croissance plutôt difficiles, peut-être un environnement contraignant (sols pauvres, mal exposés) ou un milieu soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense). Compte tenu du faible nombre de charbons mesurés, il faut considérer ce résultat avec précaution.

3.2. Prélèvements des structures de type « trou de poteau », prélèvements n°002, n°003, n°004.

a. Résultats

- Prélèvement n°002

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur / Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Thylle	Insecte
Betula sp.	5	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	23	0	3	20	0	0	0	5	0	0	0	1	2
Fagus sylvatica	7	0	0	5	0	0	0	1	0	0	2	0	1
Quercus/Castanea	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
Quercus sp.	14	0	8	6	3	1	0	7	3	0	0	3	0
	50	0	12	35	3	2	0	14	3	0	2	4	3

Fig. 22 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°002, refus de tamis de maille 2 mm.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	3	11	1,92	0,64	1,45	2,65

Fig. 23 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne (mm) réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°002.

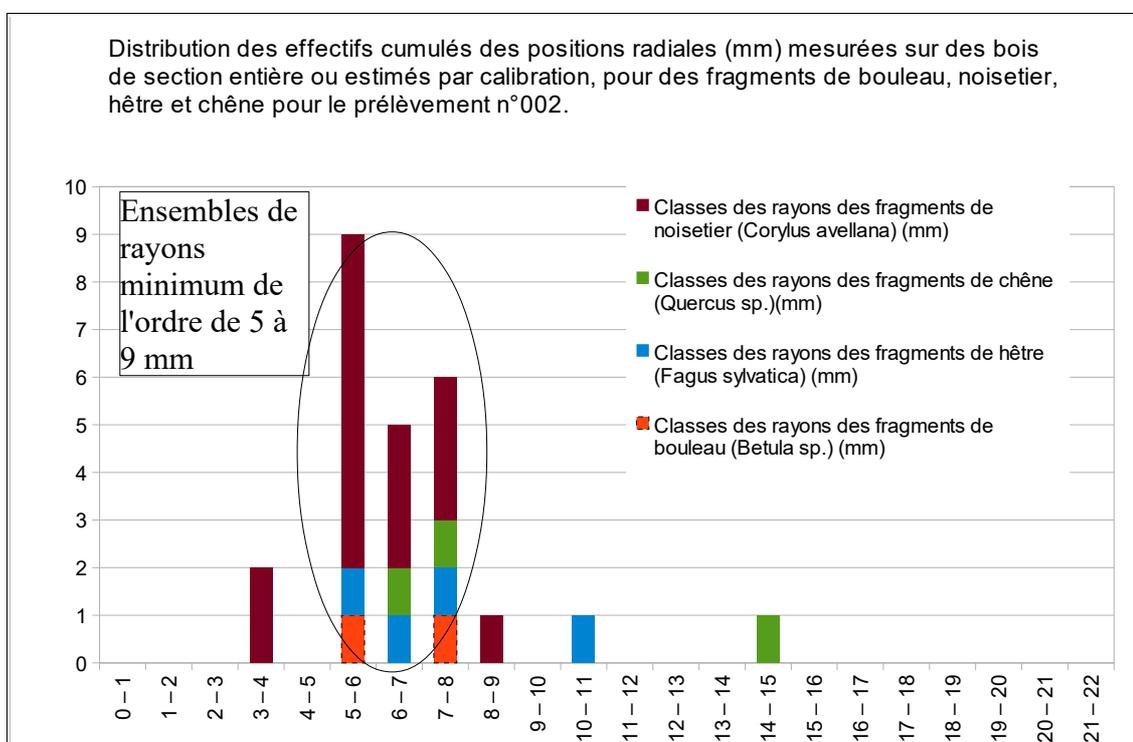


Fig. 24 – Distribution des rayons mesurés ou des positions radiales calculées pour des charbons du prélèvement n°002.

- Prélèvement n°003

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		
Betula sp.	5	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	4	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Fagus sylvatica	23	0	7	9	0	0	0	2	0	0	0	0	0
g. de brindille indétern	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
Frag. écorce	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraxinus sp.	12	12	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	6	0	0	5	0	0	1	2	1	0	0	0	0
Quercus sp.	27	0	8	14	2	3	0	7	0	0	0	0	1
	81	12	16	37	2	3	1	16	1	0	1	1	2

Fig. 25 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°003, refus de tamis de maille 2 mm.

- Prélèvement n°004

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							Thylle	Insecte	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/Corylus	7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alnus sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Betula sp.	4	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	29	0	0	25	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Fagus sylvatica	6	0	1	5	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Quercus/Castanea	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	27	0	17	3	11	4	0	10	0	0	0	0	0	0	8	0	0
	79	0	19	39	11	4	0	19	0	0	0	1	0	1	8	2	3

Fig. 26 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne (mm) réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°004

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	11	47	1,35	1,13	0,53	3,85

Fig. 27 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne (mm) réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°004.

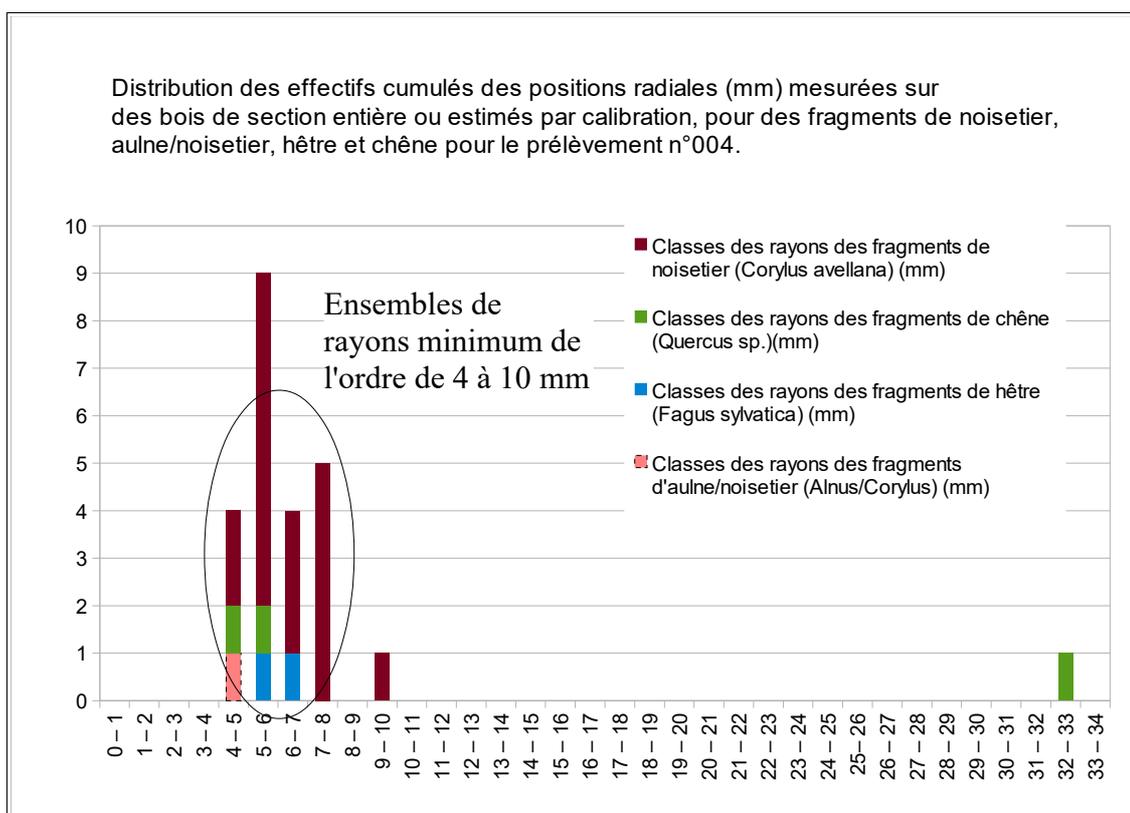


Fig. 28 – Distribution des rayons mesurés ou des positions radiales calculées pour des charbons du prélèvement n°004.

b. Interprétations

Un peu plus de 200 charbons ont été observés pour les trois prélèvements provenant des comblements des « trous de poteaux » (St n°10, St n°11 et St n°13). Les analyses anthracologiques révélèrent systématiquement à la fois des charbons de chêne ou de chêne-châtaigner (*Quercus sp.* / *Castanea sp.*), de hêtre (*Fagus sylvatica*), de noisetier (*Corylus avellana*) et de bouleau (*Betula sp.*). Les trois ensembles sont dominés par le chêne, le hêtre et le noisetier (Fig. 29)

En plus de ces quatre taxons, des fragments de frêne (*Fraxinus sp.*) ont été identifiés dans le prélèvement n°003 et d'aulne (*Alnus sp.*) dans le prélèvement n°004.

L'observation des courbures de cerne montre l'emploi de bois de petit et moyen calibre (petites et grosses branches). En effet, les fragments de forte courbure représentent environ les deux tiers des charbons mesurés (respectivement 57%, 67% et 75%) et un peu moins d'un tiers pour les charbons de courbure intermédiaire (Fig. 29).

Des estimations de rayons minimum ont pu être réalisées sur une quarantaine de fragments de section entière ou partielle (Fig. 24 et 28). Les histogrammes montrent principalement l'emploi de petit bois de noisetier, de chêne et de hêtre d'environ 5 à 10 mm de rayon. Notons que le caractère très fragmenté des charbons (quelques millimètres tout au plus) n'a pas toujours permis de procéder à des mesures d'angles nécessaires aux calculs de calibration. Quelques charbons de frêne de faible courbure sont à signaler dans le prélèvement n°003. Cela montre l'emploi de bois de frêne de gros calibre.

Compte tenu des calibres des bois utilisés (essentiellement du bois de petit calibre), des diverses essences observées, mais aussi du faible nombre de galeries de xylophages observées, l'hypothèse de restes de bois d'œuvre est peu plausible. L'hypothèse de rejets de combustible est donc la plus probable.

En ce qui concerne l'aspect des charbons, on constate que les fragments d'aspects luisants sont en nombre non négligeable mais en proportion trop faible (entre 20 et 34%) pour être interprétés comme étant issus de combustions très chaudes et anaérobies (type four). L'hypothèse de charbons provenant de combustions « ouvertes » (ex. foyer) est donc la plus probable. Les aspects luisants observés sur certains charbons relèvent probablement d'effets localisés, peut-être en fond de foyer. Le petit calibre des bois est un autre facteur ayant pu favoriser le phénomène sur certains charbons (Oilic, 2011).

De façon générale, les charbons montrant des fentes de retrait sont en faible proportion (entre 1% et 6%). Ces observations sont caractéristiques d'un bois brûlé à l'état sec (non vert) et probablement stocké préalablement à son utilisation.

Le chêne, le hêtre et le frêne sont des bois denses et ils constituent un combustible de qualité. Ils génèrent notamment des braises livrant beaucoup d'énergie dans la durée. Ce sont là des caractéristiques techniques qui ont pu être recherchées. L'hypothèse de restes de combustibles pouvant générer des braises dans le cadre d'activités spécifiques (artisanales?) est possible.

Ces bois peuvent être difficiles à enflammer, d'où l'importance des bois de « petite section » et des bois « légers » tels que le noisetier, le bouleau et l'aulne.

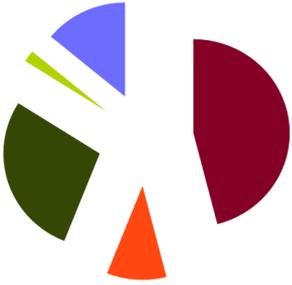
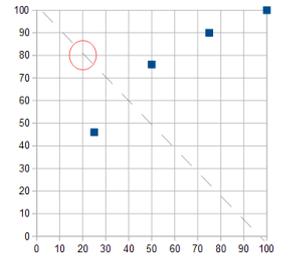
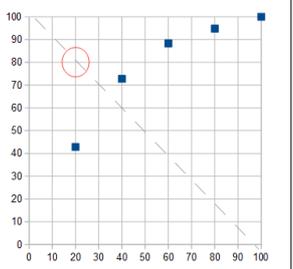
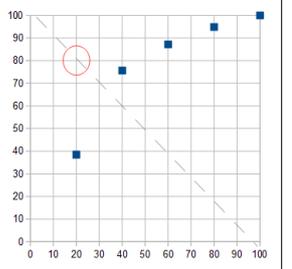
Légende	Prélèvement n°002 (Structure n°10)	Prélèvement n°003 (Structure n°11)	Prélèvement n°004 (Structure n°13)
<ul style="list-style-type: none"> ■ Frêne (Fraxinus sp.) ■ Hêtre (Fagus sylvatica) ■ Chêne / Châtaignier (Quercus/C) ■ Chêne (Quercus sp.) ■ Aulne (Alnus sp.) ■ Aulne / noisetier (Alnus/Corylus) ■ Bouleau (Betula sp.) ■ Noisetier (Corylus avellana) ■ Frag. de brindille indéterminé ■ Frag. écorce ■ Indéterminé 			
Nombre de charbons étudiés.	50	81	79
Diversité (nb de taxons anthracologiques)	4	5	5
Indices de concentration de Pareto :			
	<p>Même si les diversités anthracologiques sont assez faibles (4 et 5 taxons), les trois graphiques montrent que les proportions observées ne reflètent pas les mêmes rapports d'équilibre que ceux constatés en théorie dans les communautés végétales naturelles. Ces différences pourraient être dues à des ramassages sélectifs (chêne, hêtre, noisetier notamment).</p>		
Courbures des cernes	Forte : 75% Intermédiaire : 25% Faible :	Forte : 57% Intermédiaire : 25% Faible : 18%	Forte : 67% Intermédiaire : 33% Faible : 0%
Fréquences des charbons d'aspect « luisant »	34,00%	21,00%	25,00%
Fréquences des charbons avec fentes de retrait	6,00%	2,50%	1,20%
Moyennes de largeurs de cerne (mm)	Moyenne = 1,92 mm (N=3 ; Ec-type = 0,64 mm)		Moyenne = 1,35 mm (N=11 ; Ec-type = 1,13 mm)

Fig. 29 – Tableau synthétisant les principales caractéristiques (proportions des différentes essences, diversité, courbures des cernes, aspects luisants, aspects fendus) des trois compositions anthracologiques associées aux trous de poteaux (prélèvements n°002, n°003 et n°004).

Afin de caractériser le type de ramassage, des calculs de l'indice de concentration de Pareto ont été réalisés sur les trois compositions anthracologiques. Quatre et cinq taxons ont été retenus pour effectuer les calculs (Fig. 29).

Le principe du calcul de l'indice de concentration de Pareto repose sur le fait que dans les communautés végétales en équilibre, 20% des taxons correspondent à environ 80% de la biomasse (Chabal *et al.*, 1999).

Or, les trois graphiques montrent que les proportions des taxons anthracologiques constatées ne reflètent pas les mêmes proportions que celles observées dans les communautés végétales naturelles.

Cette différence pourrait s'expliquer certes, par un problème de représentativité des effectifs étudiés (respectivement 40, 77 et 78 charbons pris en compte), mais plus probablement par des ramassages sélectifs vers quelques essences notamment le chêne, le hêtre, le noisetier, voire le frêne. Cette tendance serait plutôt caractéristique d'activités de type « artisanales » ou appartenant à un système technique nécessitant des choix en combustible bien définis.

Remarque : De nombreux travaux ont montré que l'exploitation du combustible ligneux, notamment en contexte domestique, est en moyenne, peu sinon pas sélective (Chabal, 1994, 1997, Théry, 1998). Dans ces cas, l'indice de concentration de Pareto tend à se rapprocher du rapport d'équilibre constaté en théorie dans la nature, ce qui n'est pas le cas ici.

Des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne de courbure faible et intermédiaire ont permis de calculer des moyennes de 1,92 mm/an et 1,35 mm/an avec des écarts-types de l'ordre de 0,64 mm et 1,13 mm (Fig. 21). Ces moyennes sont caractéristiques de croissances plutôt difficiles liées probablement à des contextes de boisements denses ou des conditions abiotiques (sols, expositions) contraignantes. Compte tenu des faibles effectifs mesurés, il faut interpréter ces résultats avec prudence.

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 330 fragments ont été observés pour les quatre prélèvements (Fig. 1).

Malgré des contextes de prélèvements différents, comblement d'une structure de type « fosse » pour le prélèvement n°001, comblements de structures de type « trou de poteau » pour les prélèvements n°002, n°003 et n°004, ce sont des ensembles anthracologiques assez semblables qui ont été constatés. Il s'agit donc probablement de rejets d'une même combustion ou de combustions semblables.

4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

Six à sept taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude.

Il est bien sûr difficile d'interpréter directement les compositions anthracologiques en termes de paléo-paysages, car les proportions de chaque essence sont avant tout liées aux aléas des aires de ramassages mais aussi aux usages du combustible. Dans le cadre de cette étude, des choix techniques en rapport avec la qualité de combustibilité du chêne, du hêtre ou bien des choix orientés vers des bois de petit calibre plus « légers », bouleau, noisetier, sont probables.

L'identification des taxons ligneux permet toutefois de proposer différentes associations écologiques (Rameau *et al.*, 1989) (Fig. 30) :

- **le groupement de la chênaie-hêtraie** avec le chêne, (chêne-châtaignier), le hêtre et potentiellement le frêne,
- **les boisements clairs, lisières forestières et haies** : avec la détection de charbons de noisetier et de bouleau,
- **les bois frais** (zone alluviales) peuvent être suggérés avec le frêne et le noisetier,
- **les boisements humides** : avec l'aulne, voire le noisetier et le bouleau.

Remarque : Le noisetier et le bouleau sont des essences pionnières que l'on va retrouver à la fois dans les boisements clairs, en lisières forestières, dans les haies, mais potentiellement aussi dans les espaces en déprise agricole, dans les fourrés arbustifs. Ce sont des essences ubiquistes pouvant aussi s'accommoder de conditions humides.

	Prélèvement n°001, structure n°9 (Fosse)	Prélèvement n°002, structure n°10 (TP)	Prélèvement n°003, structure n°11 (TP)	Prélèvement n°004, structure n°13 (TP)
Groupes forestiers de la chênaie-hêtraie				
Boisements clairs, haies, lisières				
Boisements frais				
Boisements frais (humides)				

Fig. 30 – Tableau montrant les différents types de boisements explorés en fonction des différents contextes de prélèvement.

Le chêne, le hêtre et le bouleau ont été identifiés dans les quatre prélèvements.

Les aires de ramassage correspondent potentiellement aux deux formations ligneuses interprétées par l'écologie des essences identifiées, à savoir : la chênaie-hêtraie et les boisements clairs (Fig. 30).

L'identification du frêne dans le prélèvement n°003 indique potentiellement l'exploration de boisements « frais et humides ». L'observation de l'aulne dans le prélèvement n°004 montre l'existence de boisements humides, probablement dans une zone alluviale ou à l'intérieur d'une zone humide.

Les moyennes de largeurs de cernes calculées sur des fragments de chêne de moyen calibre indiquent toutes de faibles croissances avec des valeurs allant de 1,35 mm/an (prélèvement n°004) à 1,9 mm/an (prélèvement n°002). Cela suggère des ramassages dans des boisements soumis à des contraintes de croissance, peut-être des boisements denses ou associés à des sols pauvres, humides ou mal exposés.

4.2. Informations d'ordre ethnographique

En ce qui concerne la nature des bois brûlés, le caractère diversité des ensembles charbonneux (au moins trois essences), le petit calibre de certains bois employés et l'absence de galeries de xylophage montrent que nous avons affaire à des restes de combustibles et non de bois d'œuvre.

On constate dans les quatre ensembles l'utilisation principale de bois denses ou « lourds » (chêne, hêtre, voire frêne), que l'on peut qualifier « d'excellents combustibles ». Ces bois ont permis une montée en température relativement lente tout en générant des braises dans la durée. Ces essences sont plutôt difficiles à enflammer, mais l'utilisation de bois de petit calibre ou l'utilisation de branches de bois tendres (ex. noisetier, bouleau, aulne) ont dû faciliter l'allumage.

La proportion de charbons luisants est apparue relativement faible, ce qui laisse penser à des rejets de combustions ouvertes (type foyer ouvert et non de four). Des combustions associées à des activités de métallurgie semblent pouvoir être écartées.

En ce qui concerne le calibre des bois, ce sont principalement des bois de petit et moyen calibre qui ont été employés. Quelques calculs de calibration ont permis de montrer l'utilisation de bois de 5 à 10 mm de rayon environ, mais l'utilisation de bois de « plus gros calibre » est très probable. L'observation de faibles courbures de cerne sur les fragments de frêne notamment, suggère l'utilisation de bois de gros calibre (prélèvement n°003).

Le choix assez réduit du nombre d'essences constatées ainsi que les différents calculs de l'indice de Pareto tendent à montrer que les bois employés ont fait l'objet de sélections (à la différence de ramassages de « tout venant »), probablement dictées par des choix techniques en rapport avec les qualités de combustion des essences collectées. Ces choix seraient plutôt caractéristiques d'activités de type « artisanal » ou appartenant à des systèmes techniques nécessitant des choix en combustibles bien définis.

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., 1992 - La représentativité paléo-écologique des charbons de bois issus du bois de feu. *Bulletin de la Société botanique Française*, 139, Actualités botaniques (2/3/4), p. 213-236.

CHABAL L., 1994 - Apports récents de l'anthracologie à la connaissance des paysages passés : performances et limites. *Histoire et Mesure*, IX-3/4, p. 317-338.

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.

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.

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., 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, 364 p.

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, 320 p.

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.

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.

THERY-PARISOT I., 1998 - *Economie du combustible et Paléoécologie en contexte glaciaire et périglaciaire, Paléolithique moyen et supérieur du sud de la France. Anthracologie, Expérimentation, Taphonomie*. Thèse de doctorat, Université de Paris 1, 500 p.

THERY-PARISOT I., 2001 - *Economie des combustibles au Paléolithique*. Dossier de Documentation Archéologiques, 20, CNRS, Paris.

6. ANNEXE – Photographies

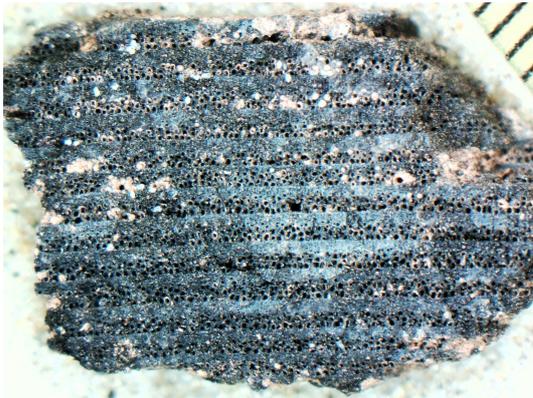


Fig. 31 – Fragment de frêne (*Fraxinus sp.*) de faible courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x6. Prélèvement n°003. L'échelle représente des millimètres.

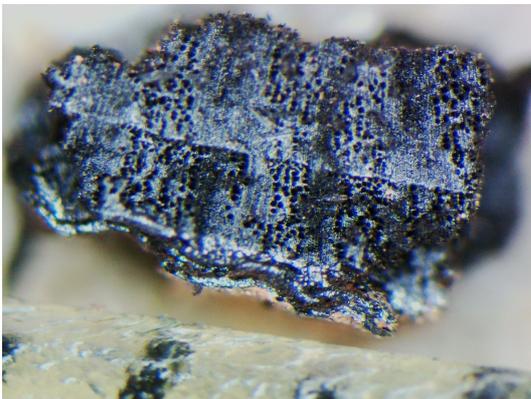


Fig. 32 – Fragment de noisetier (*Corylus avellana*) de courbure forte. Coupe transversale. A noter la présence d'écorce. Grossissement x40. Prélèvement n°004. L'échelle représente des millimètres.

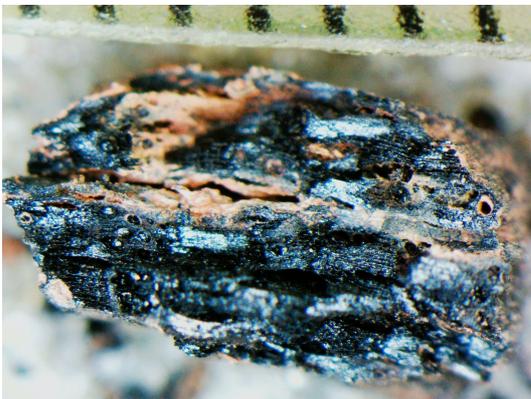


Fig. 33 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) d'aspect « fendu-luisant ». Coupe transversale. Grossissement x19. Prélèvement n°001. L'échelle représente des millimètres.

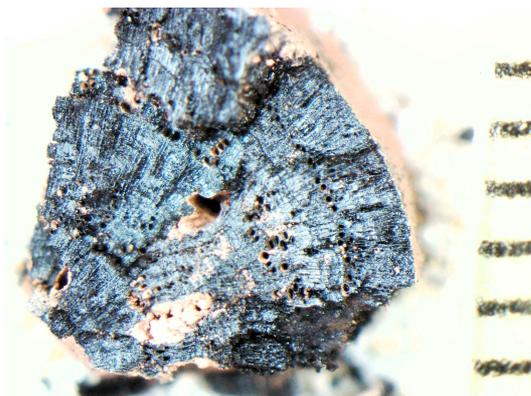


Fig. 34 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) de forte courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x13. Prélèvement n°002. L'échelle représente des millimètres.