

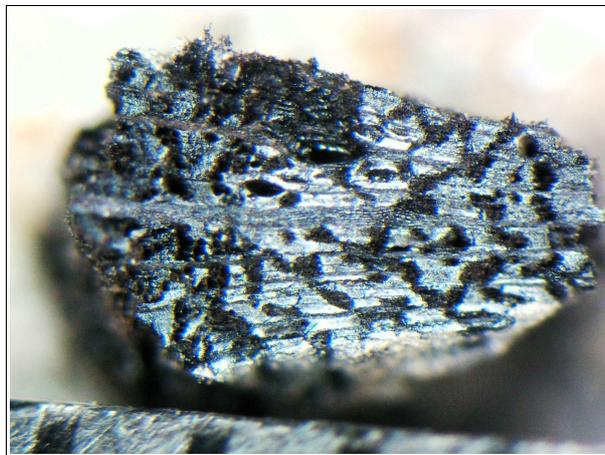


# ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES  
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS RÉALISÉS  
LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE DU SITE « LES  
OUCHETTES » SUR LA COMMUNE DE PAULX (44).**

**OPÉRATION : OA 187078**



**PÔLE ARCHÉOLOGIQUE DE  
LOIRE-ATLANTIQUE**

**Juin 2024**

## **Conseil Départemental de Loire-Atlantique**

### **Pôle archéologique**

---

Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération  
« Les Ouchettes » sur la commune de Paulx (44).

Opération : OA 187078

---

### **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](mailto:loic.gaudin@arkeomap.com)

Site web : [arkeomap.com](http://arkeomap.com)

---

**Juin 2024**

Illustration de la page de couverture :

*Fragment de Fabacée de type genêt (Cytisus scoparius), vue en coupe transversale, grossissement x30 (l'échelle représente des millimètres). Prélèvement n°203 (comblement de fosse de vidange 1164).*

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS.....</b>	<b>5</b>
<b>2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION .....</b>	<b>8</b>
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
<b>3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....</b>	<b>22</b>
3.1. Prélèvement n°191, comblement du fossé n°590 (niveau de rejet avec sole).	22
a. Résultats .....	22
b. Interprétations .....	24
3.2. Prélèvement n°216, comblement de fosse de vidange n°1249.....	27
a. Résultats .....	27
b. Interprétations .....	29
3.3. Prélèvement n°235, structure de combustion de type foyer n°1534/1591.....	32
a. Résultats .....	32
b. Interprétations .....	32
3.4. Prélèvement n°203, comblement de fosse n°1164.....	33
a. Résultats .....	33
b. Interprétations .....	34
<b>4. BILAN.....</b>	<b>36</b>
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	41
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	43
<b>5. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>44</b>
<b>6. ANNEXE – Photographies.....</b>	<b>46</b>

## INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une opération archéologique préventive menée sur le site de « Les Ouchettes » sur la commune de Paulx (44) (opération OA 187078).

Il s'agit d'une fouille de plusieurs occupations datées de la fin de l'âge du Fer (3e – 2e siècle av. J.-C.) et du Moyen Âge (8e – 12e siècle).

Les prélèvements sont issus de comblements détritiques de fossés, fosses et de d'une structure de combustion (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 des comblements des fossés et des fosses, il s'agit probablement de restes ou de rejets de combustibles, mais l'hypothèse reste à confirmer.
- s'il s'agit de restes de combustible, 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, comparer les compositions anthracologiques,
- caractériser les boisements qui existaient dans l'aire de ramassage.

Cette opération a été menée par le Pôle Archéologique de Loire-Atlantique (44). La fouille ci-présente a été dirigée par M. Axel LEVILLAYER, responsable d'opération.

# 1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

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

Les refus de tamis à 2 mm, principalement étudiés, ont livré quelques éléments assez petits a priori exploitables pour l'antracologie.

L'ensemble des prélèvements issus de tamisages de maille supérieure à 2 mm ont été analysés. Un prélèvement correspondant à un refus de tamis de 0,5 mm a aussi été analysé pour contrôle (prélèvement n° 191). Au total ce sont un peu plus de 300 fragments qui ont été étudiés (Fig 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE						
<b>Commune :</b>					Paulx (44)	
<b>Nom de l'opération / Lieu- Dit :</b>						
<b>Année :</b>					2023	
<b>N° OA :</b>					187078	
<b>Resp. d'Op. ; commanditaire</b>					A. LEVILLAYER	
<b>Type d'opération :</b>					Préventif	
<b>Période d'analyse pressentie</b>					mois de juin 2024	
N° prlv	Structure	Type	Carac/problématique	Datation	Volume traité (Volume total disponible)	Nombre de charbons observés
191	590	fossé (niveau rejet avec sole)	rejet probablement domestique	3e-2e av.	5 l (10l) ; Refus de tamis 2mm	100
					5 l (10l) ; refus de tamis 0,5 mm	10
216	1249	fosse vidange	potentielle activité artisanale	8e-10e s.	5 l (10l) ; Refus de tamis 2mm	101
235	1534	structure combustion	foyer peu chauffé ; domestique ?	9e-10e s. ?	5 l (10l) ; Refus de tamis 2mm	16
203	1164	fosse vidange	potentielle activité artisanale	10e-12e s.	5 l (10l) ; Refus de tamis 2mm	100
						<b>327</b>

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 prélèvements n°191 et n°203, seulement sept et cinq taxons ont été identifiés. Les courbes « effort-rendement » montrent des seuils situés entre 30 et 50 fragments (Fig. 2 et Fig. 3).

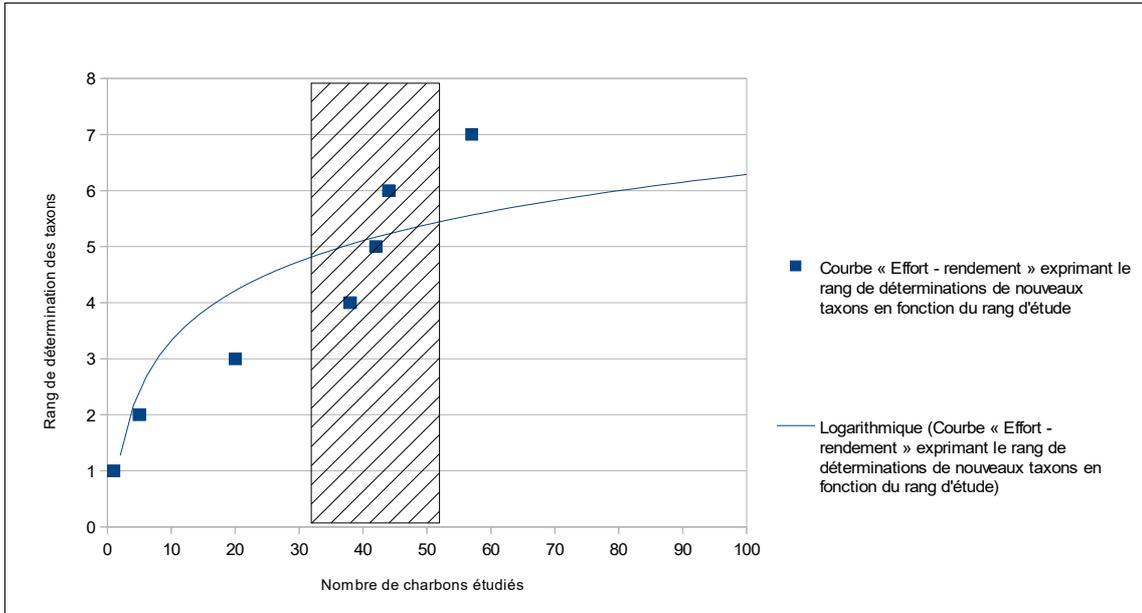


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°191 (Fossé 590). Dans cet exemple, le septième taxon identifié a été observé au 59e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 30 et 50 charbons.

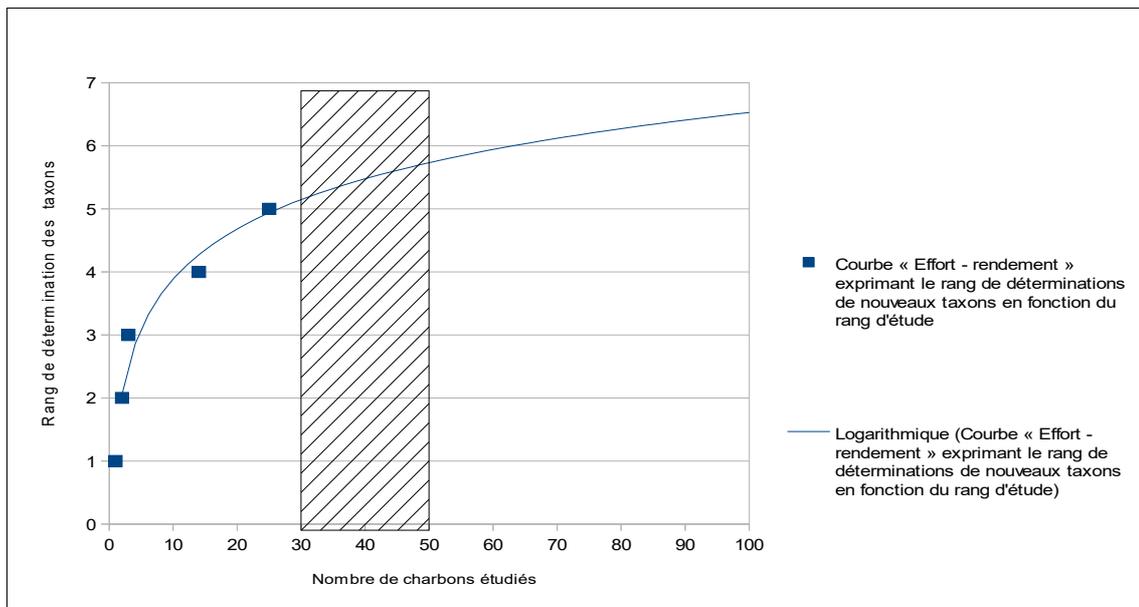


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°203 (fosse 1164). Dans cet exemple, le cinquième taxon identifié a été observé au 28e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 30 et 50 charbons.

De façon générale, les prélèvements étudiés montrent assez peu de diversité (cinq à sept taxons à la fois 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 jusqu'à 100 charbons par lot lorsque cela était possible.

## 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.

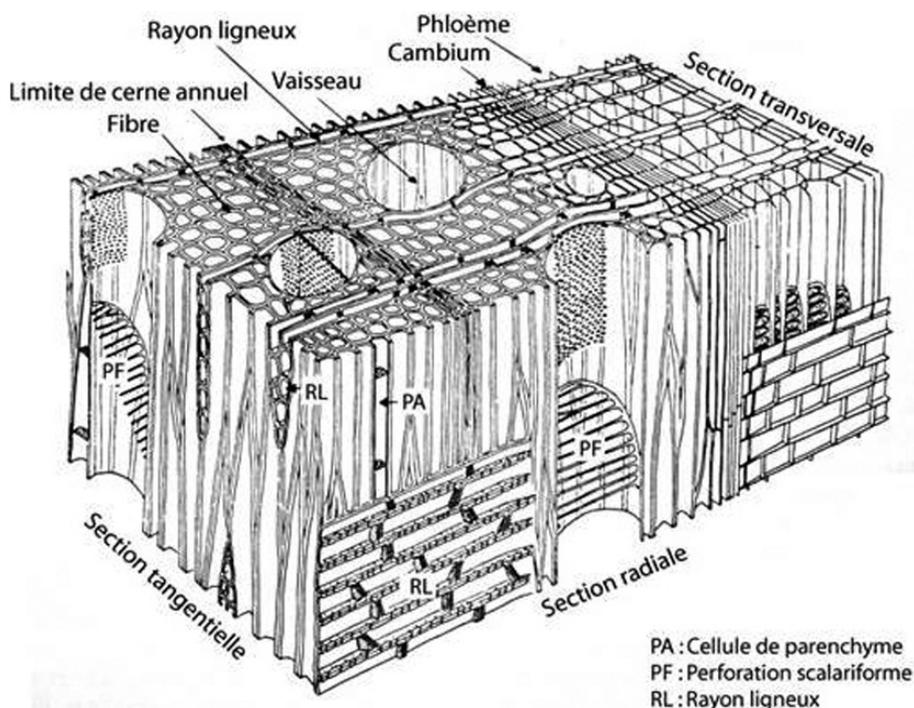


Fig. 5 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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).

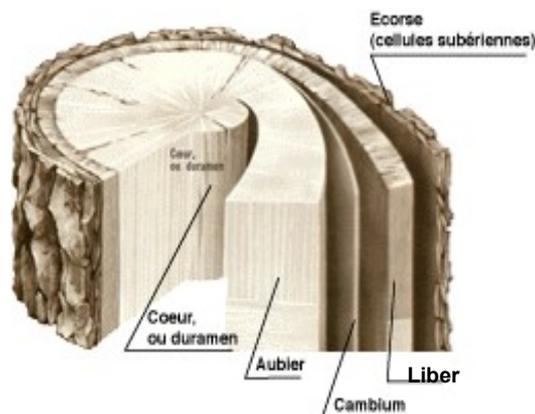
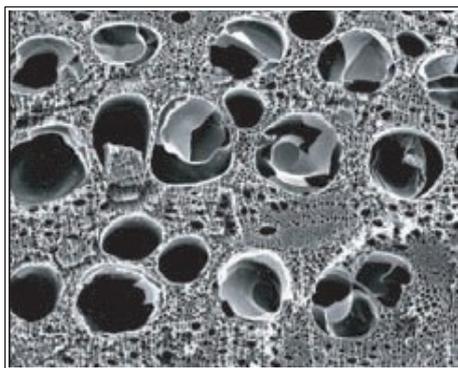
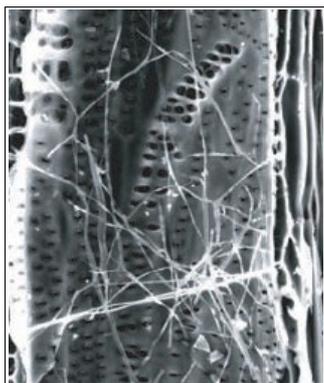


Fig. 6 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à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

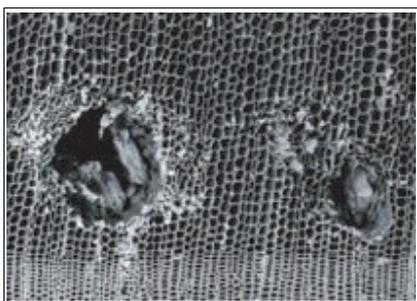
Fig. 7 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

**- 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.

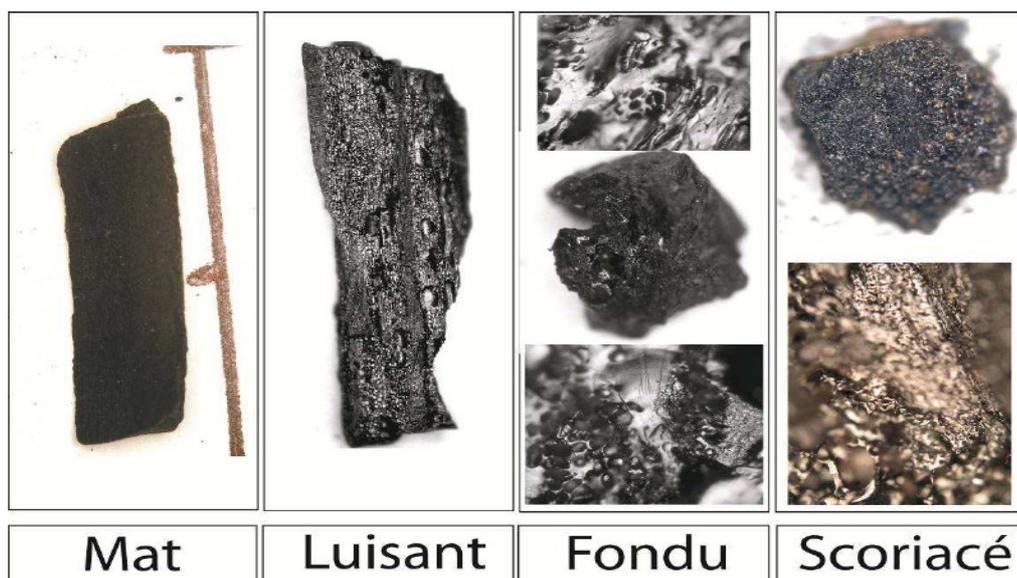
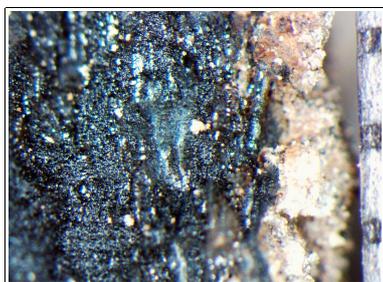


Fig. 10 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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.

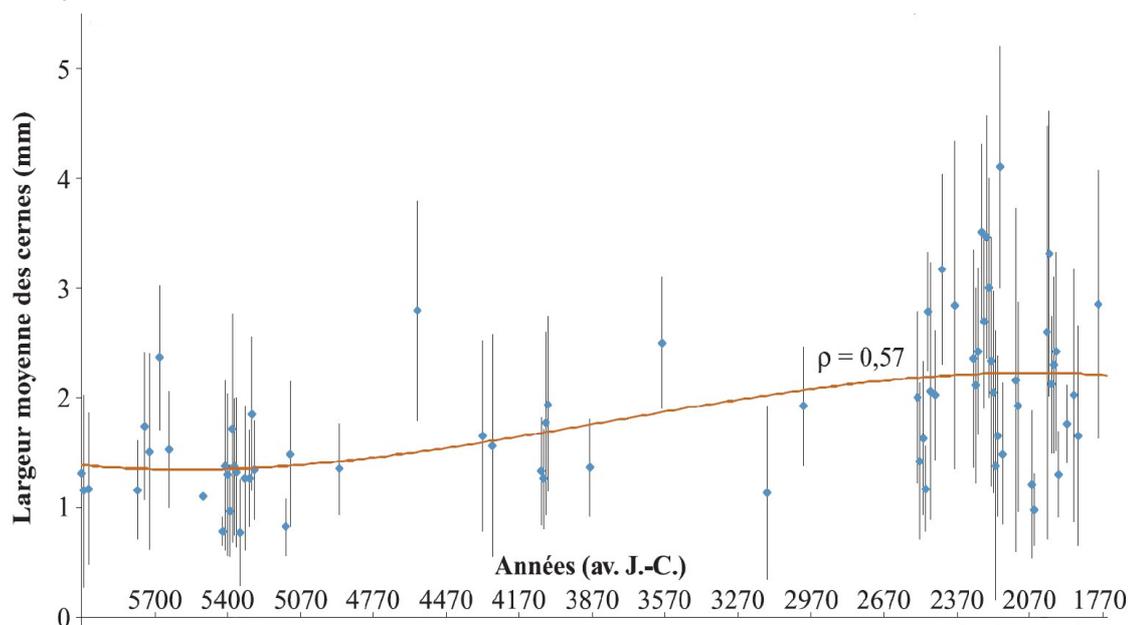


Fig. 12 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 24). 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.

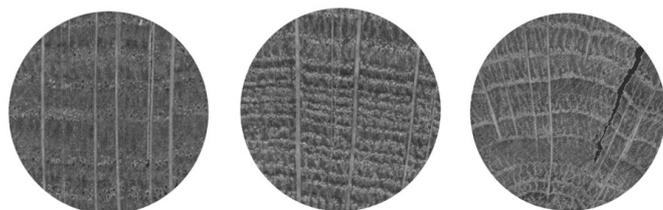


Fig. 13 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

## 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).

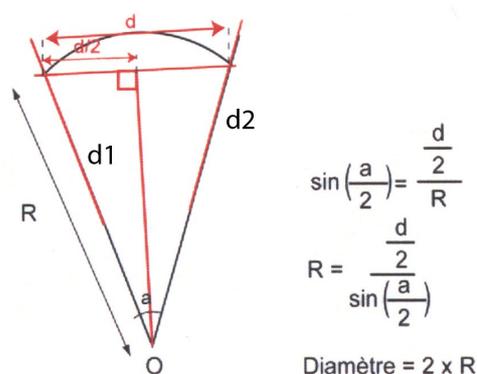


Fig. 14 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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.

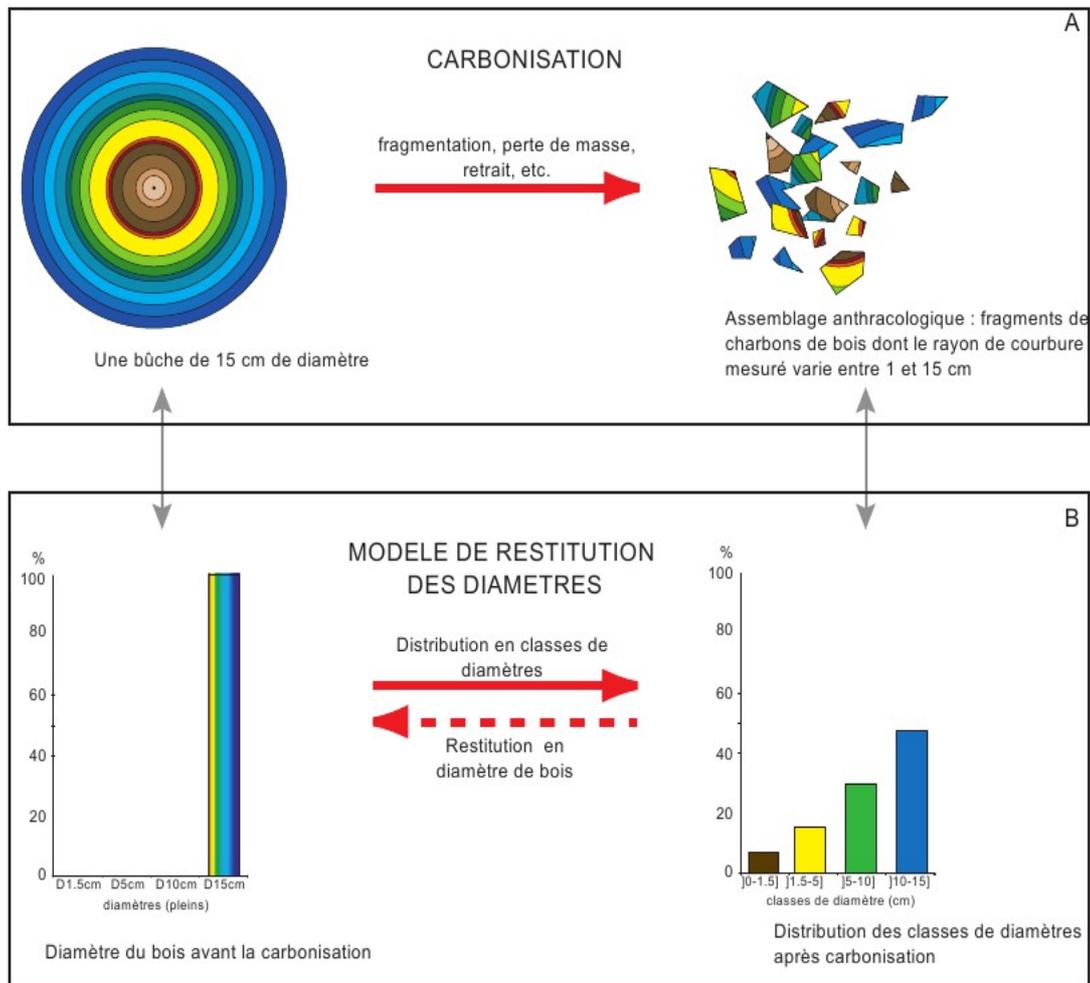


Fig. 15 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

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 dix à treize taxons anthracologiques. La composition taxonomique des ensembles étudiés doit être interprétée en tenant compte de choix particuliers de combustibles. 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. Il est identifié dans la plupart des prélèvements (exceptés les prélèvements n°3 et n°256).

**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.*).

**L'érable** (*Acer sp.*) et plus particulièrement l'érable champêtre dans l'aire considérée, 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. L'érable fait partie des bois « semi-lourds » (environ 500 Kg / m<sup>3</sup>), c'est donc un bois qui possède un bon pouvoir calorifique. Sa présence dans le paysage est toutefois à considérer avec précaution car il n'est représenté que par quelques fragments (prélèvements n°191 et n°216).

**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 partout en France, sauf dans le Sud-Ouest, en Bretagne et Basse-Normandie et sur le pourtour méditerranéen. 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. Il a potentiellement une durée de vie d'environ 150 - 200 ans (Rameau *et al.* 2008). Il est détecté uniquement dans le prélèvement n°191 (Fossé 590).



Fig. 16 – Représentation du noisetier (*Corylus avellana*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

**Le lierre** (*Hedera helix*) est une liane arbustive à feuilles persistantes pouvant atteindre 30 mètres. On voit parfois des arbres morts recouverts de lierre mais cela ne signifie pas qu'il est responsable de la mort de l'arbre, qui ne lui sert que de support. Quelques rares charbons sont observés dans le prélèvement n°191 (fossé 590).

Le **noisetier** (*Corylus avellana*) est une essence héliophile ou de demi-ombre se rencontrant aussi bien dans les lisières de forêts caducifoliées, dans des bois clairs, dans des landes ou friches. Il s'adapte à tous les substrats, tant d'un point de vue hydrique qu'en termes de pH. Aussi, on le trouve potentiellement dans la plupart des écosystèmes, même s'il reste avant tout un arbre pionnier par excellence. Le noisetier est un bon bois d'allumage, surtout sous la forme de brindilles (flamme longue, claire, sans fumée), il dégage beaucoup de chaleur et une combustion rapide. Il est identifié dans le prélèvement 191 (Fossé 590).

**Les Pomoïdeae ou Maloïdeae** (ex. aubépine, poirier, néflier, alisier, cormier) et les **Prunoïdées** dont le genre *Prunus sp.* (ex. merisier, cerisier, prunellier) 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 bois des Pomoïdées comme l'alisier, le cormier ou le poirier sauvage, ont une teinte généralement brun rougeâtre. Ce sont des bois denses, lourds constituant ainsi de bons combustibles car ils maintiennent des combustions dans la durée. Malgré leurs duretés ce sont des bois qui se travaillent bien. Leurs grains d'une grande finesse et d'un poli

exceptionnel, oriente les produits de qualité vers la lutherie, le tranchage pour des placages haut de gamme, la marqueterie, la tournerie, la sculpture et la gravure. Quelques charbons de Pomoidées et du genre *Prunus* sont identifiés dans le prélèvement n°203 (fosse de vidange n°1164).

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...). Ces essences fournissent du bois de petit calibre, utiles notamment pour l'allumage des combustions. Le genêt est identifié à la fois dans le prélèvement n°191 (fossé 590) et n°203 (fosse 1164).

La famille des **Ericacées ou bruyères**, comprend de nombreux genres existant dans les contextes méditerranéens et collinéens. Ce sont des végétations arbustives généralement assez rustiques. En contexte collinéen ces bruyères sont détectées dans des formations de boisements clairs, de fourrés (landes-fourrés) appartenant à la série dynamique de la chênaie et de la chênaie-hêtraie. La formation de landes est le niveau dynamique où les bruyères sont le mieux représentées (souvent associées aux Fabacées de type genêt). Ces landes sont généralement la conséquence d'importants défrichements et de sur-exploitations des sols. D'autres contraintes (vents, pauvreté des sols, mauvaises expositions, piétements, activités pastorales) peuvent aussi contribuer à la stabilisation de ces formations végétales. De façon générale, ces landes sont caractérisées par une forte inflammabilité et combustibilité. Les bruyères telles que la callune (*Calluna vulgaris*), la bruyère cendrée (*Erica cinerea*), ou la bruyère ciliée (*E. ciliaris*), (...) participent fortement à ces formations ouvertes : landes rases et boisements clairs, landes-fourrés mais aussi tourbières, lisières forestières (chênaies et hêtraies), pelouses. Les bruyères constituent un bois dur se travaillant et se polissant bien. C'est aussi un bon bois de chauffage, il peut fournir un excellent charbon de bois (Rameau *et al.*, 2008).

Les charbons de bruyère sont détectés uniquement dans le prélèvement n°203 (fosse de vidange 1164).

Le **saule** (*Salix sp.*) et/ou le **peuplier** (*Populus sp.*) sont des essences vivant dans des contextes humides tels que les bordures de rivières, les berges des lacs et zones alluviales. Ils sont souvent associés au noisetier et bouleau. 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. Quelques charbons sont identifiés dans le prélèvement n°191 (fossé 590), ils correspondent en revanche à une grande partie des fragments du prélèvement n°203 (fosse 1164).

### 3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les ensembles anthracologiques correspondent à deux périodes bien distinctes (second Age du Fer et Moyen-Âge). Pour les prélèvements du Moyen-Âge, il est même possible de différencier les prélèvements n°216 (fosse de vidange 1249), n°235 (structure de combustion 1534), attribués aux 8e-10e siècle, au prélèvement n°203 (fosse de vidange 1164) daté su 10e – 12e siècle. Même s'il existe un grand « hiatus » entre les résultats de l'Âge du Fer et du Moyen Age, il paraît pertinent d'interpréter les résultats de façon chronologique afin de percevoir et interpréter de potentielles évolutions paysagères.

De plus, il était intéressant d'analyser et de comparer les compositions anthracologiques au regard des diverses structures de provenance : comblements de fossés, fosses de vidange, restes de combustibles prélevés à l'intérieur de structures de combustion.

#### 3.1. Prélèvement n°191, comblement du fossé n°590 (niveau de rejet avec sole)

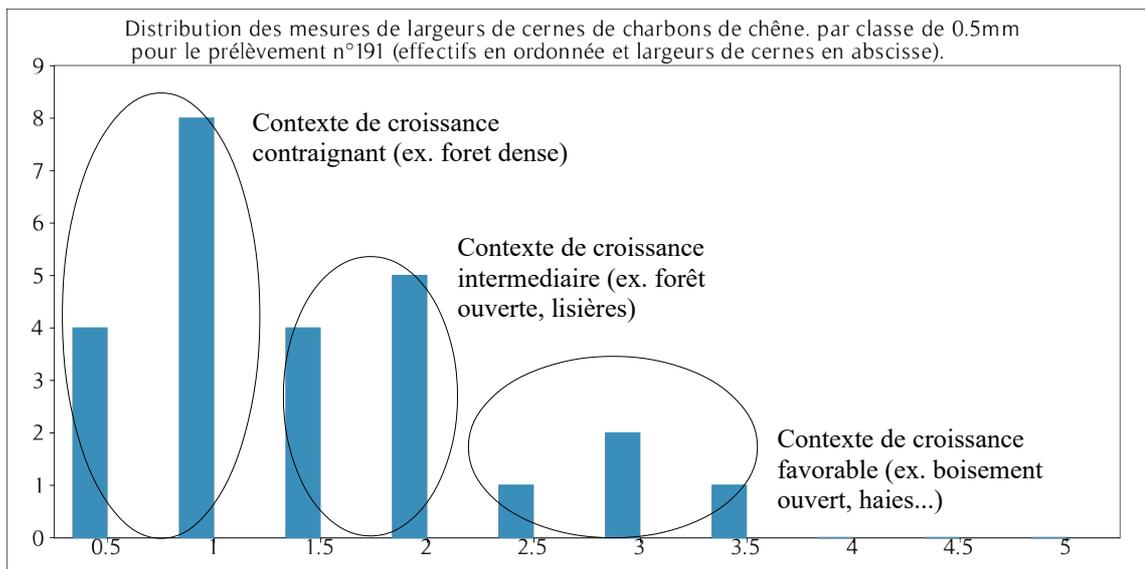
##### a. Résultats

Nom Espèce	Courbure				Rythme		Combustion						Thylle	Moelle
	Effectif	Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Aspect granuleux - indet.		
Acer sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Carpinus betulus	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Fabacée type Cytisus	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hedera sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0
Quercus/Castanea	7	0	2	1	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0
Quercus sp.	75	1	30	24	26	5	0	25	5	0	2	1	15	1
Salix/Populus	4	0	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Salix sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	100	1	35	33	26	5	0	31	6	0	3	1	16	1

Fig. 17 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°590, refus de tamis de maille 2 mm.

Nom Espèce	Courbure				Rythme		Combustion			Thylle
	Effectif	Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Quercus/Castanea	7	0	2	1	0	0	0	2	0	1
Quercus sp.	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	10	0	2	1	0	0	0	3	0	1

Fig. 18 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°590, refus de tamis de maille 0,5 mm.



Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	25	71	1,3	0,84	0,31	3,28

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°191, refus de tamisage de maille 2 mm.

## b. Interprétations

Le prélèvement n°191 provient du comblement d'un fossé (n°590). Les charbons étaient associés à un niveau de rejet avec des éléments de « sole perforée ».

Cinq à sept taxons anthracologiques ont été identifiés pour ce prélèvement. Il s'agit par ordre d'importance de fragments de chêne (*Quercus sp.*), de chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*), de saule (*Salix sp.*), saule / peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*) et de quelques occurrences de charme (*Carpinus sp.*), noisetier (*Corylus avellana*), lierre (*Hedera helix*), genêt (type *Cytisus scoparius*) et d'érable (*Acer sp.*).

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

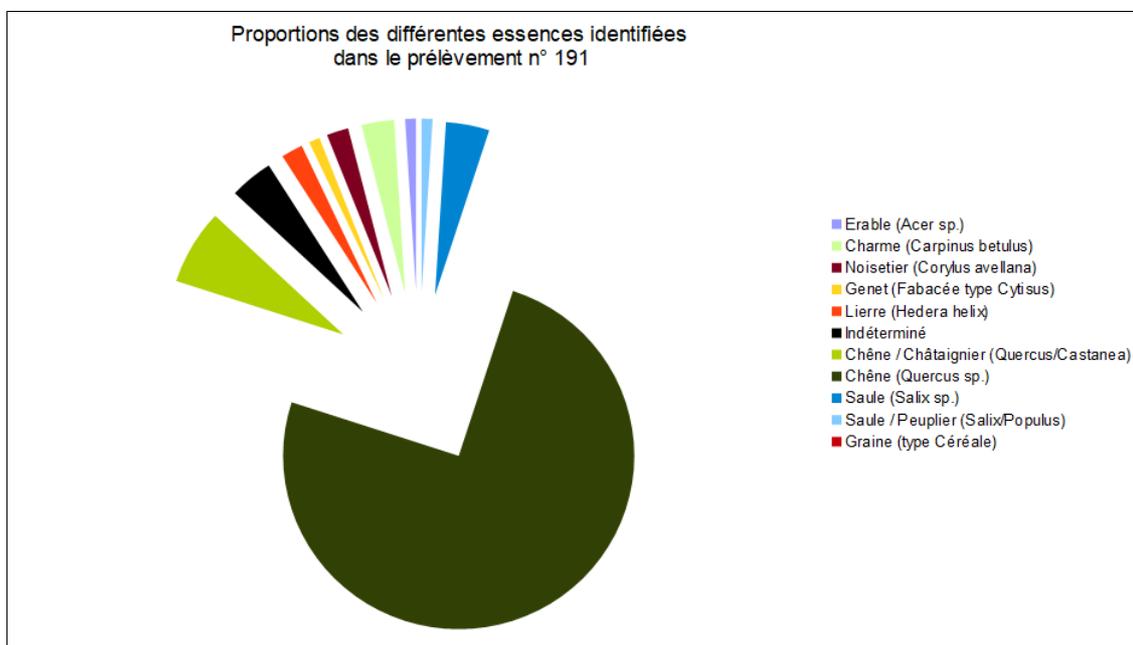


Fig. 20 – Représentation sous la forme d'un « camembert éclaté » des proportions des différents taxons identifiés pour le prélèvement n°191.

Quelques observations ont été réalisées sur le prélèvement correspondant aux refus de tamis de maille 0,5 mm pour vérification. L'ensemble des fragments correspondait aux taxons dominants : chêne (*Quercus sp.*) et chêne-châtaignier (*Quercus sp. - Castanea sp.*) (Fig. 18).

Les essences telles que le chêne, le charme, l'érable sont des bois denses, générant des braises avec beaucoup d'énergie et dans la durée. Ils peuvent être qualifiés d'« excellents » combustibles. En revanche, le saule, saule/peuplier, le genêt, le lierre et le noisetier sont des bois plus « tendres », qui s'enflamment rapidement mais durent peu. Le bois de chêne a donc principalement été utilisé pour alimenter les combustions, les bois de moindre qualité tels que le saule/peuplier et le noisetier ont probablement été employés lors de phases d'allumage.

L'observation des courbures de cerne montre des fragments avec des courbures fortes à intermédiaires dans des proportions sensiblement équivalentes. Aucun

charbon ne montre de faible courbure de cerne. Les charbons proviennent donc de bois de « petit à moyen calibre ». Ce sont probablement des bois de branches de quelques centimètres de diamètre, voire de brindilles qui ont été utilisées. Les quelques calculs de rayons minimum effectués sur six fragments ont permis des estimations entre 3 et 7 mm, mais des charbons de courbure « intermédiaire » devaient correspondre à des bois de sections un peu plus importantes. (probablement quelques centimètres).

De façon générale, les charbons montrant des fentes de retrait sont en faibles proportions (environ 10%). Ces observations caractérisent un bois brûlé à l'état sec (non vert). Ce constat implique une sélection du bois, lors de la collecte, mais probablement aussi des stockages préalables à l'emploi.

En ce qui concerne l'aspect des charbons, la proportion de charbons d'aspect luisant est relativement faible (environ 35%). L'hypothèse de charbons issus de combustions en contextes ouverts (ex. foyer) est 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 facteur ayant pu favoriser le phénomène sur certains charbons (Oilic, 2011).

Afin de caractériser le type de ramassage, un calcul de l'indice de concentration de Pareto a été effectué sur la base de sept taxons anthracologiques. (Fig. 21).

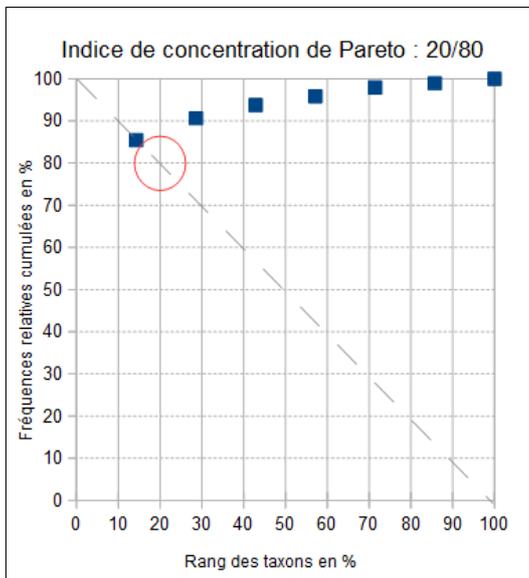


Fig. 21 – Indice de concentration de Pareto réalisé sur la composition anthracologique du prélèvement n°191 (comblement de fossé 590), soit 96 charbons. Notons que les charbons de chêne et chêne-châtaignier, saule et saule/peuplier ont été rassemblés pour constituer deux taxons.

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).

Même si la diversité anthracologiques est assez faible (sept taxons), le graphique montre que le rapport d'équilibre est assez proche de celui attendu en théorie dans la nature (Fig. 21). Il est probable que des analyses complémentaires auraient permis de se rapprocher davantage du rapport d'équilibre.

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.

Si l'on en croit cet indice, les compositions anthracologiques constatées sont donc probablement issues de ramassages de « tout venant », peu sélectifs, ce qui serait

plutôt à rapprocher d'usages domestiques. Notons que l'utilisation d'essences de combustibilité assez médiocre (lierre, genêt), ainsi que la détection de fragments de sole perforée associés aux charbons tendraient aussi à renforcer cette hypothèse. En effet, selon A. Levillayer, la proximité d'un bâtiment à vocation résidentiel, mais aussi l'architecture de la sole s'accorderaient assez bien avec l'hypothèse des restes d'un four à vocation « domestique ».

Enfin, des mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur 25 fragments de chêne permettant de calculer une moyenne d'environ 1,3 mm / an mais avec un écart-type assez important (0,84 mm) (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).

L'histogramme de répartition des valeurs montre en fait plusieurs modes centrés autour de 1 mm/an, 2 mm/an et 3 mm/an (Fig. 19). L'hétérogénéité de ces valeurs découle probablement de collectes dans des milieux différents, probablement à la fois dans une forêt dense (objet de la principale collecte) mais aussi dans des boisements plus ouverts (ex. lisières, haies).

### 3.2. Prélèvement n°216, comblement de fosse de vidange n°1249

#### a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Aspect granuleux - indet.		
Acer sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Graine (type Céréale)	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0
Quercus/Castanea	6	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Quercus sp.	86	3	64	14	61	13	5	15	7	0	0	0	0	48
	101	3	64	20	61	13	5	15	8	0	4	1	48	

Fig. 22 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°216.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb ceres	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermediaire	Régulier	60	234	1,1	0,45	0,39	2,22

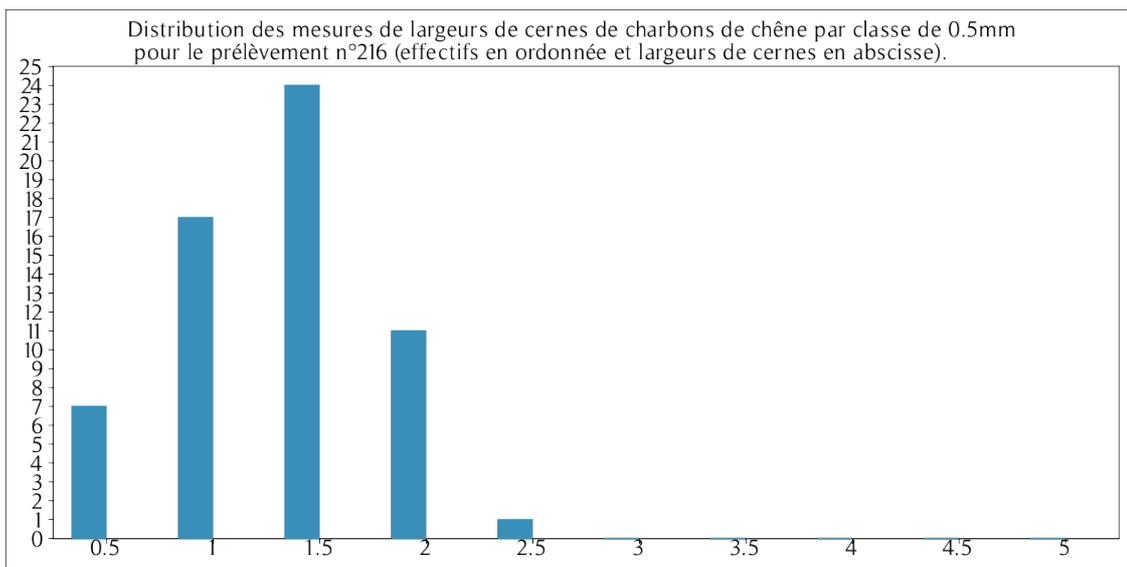


Fig. 23 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°60.

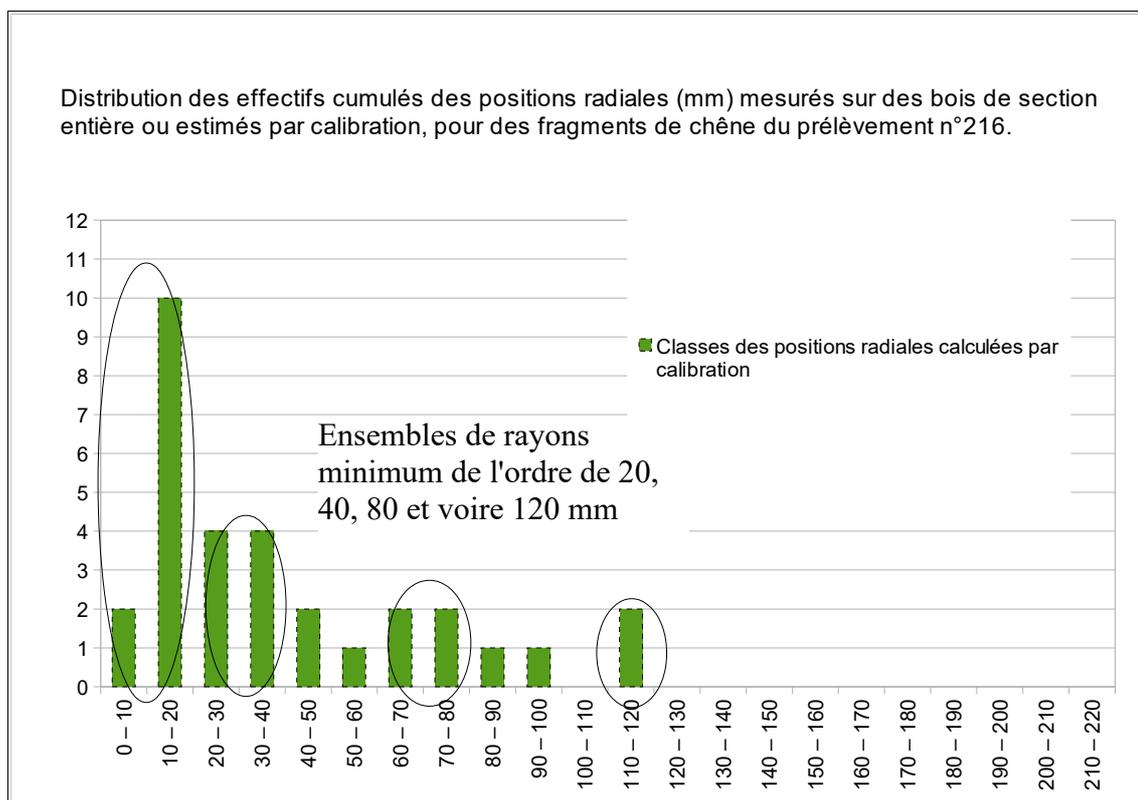


Fig. 24 – Distribution par classe de 10 mm des positions radiales calculées par calibration ou directement mesurées pour les fragments de section entière, des charbons de chêne du prélèvement n°216.

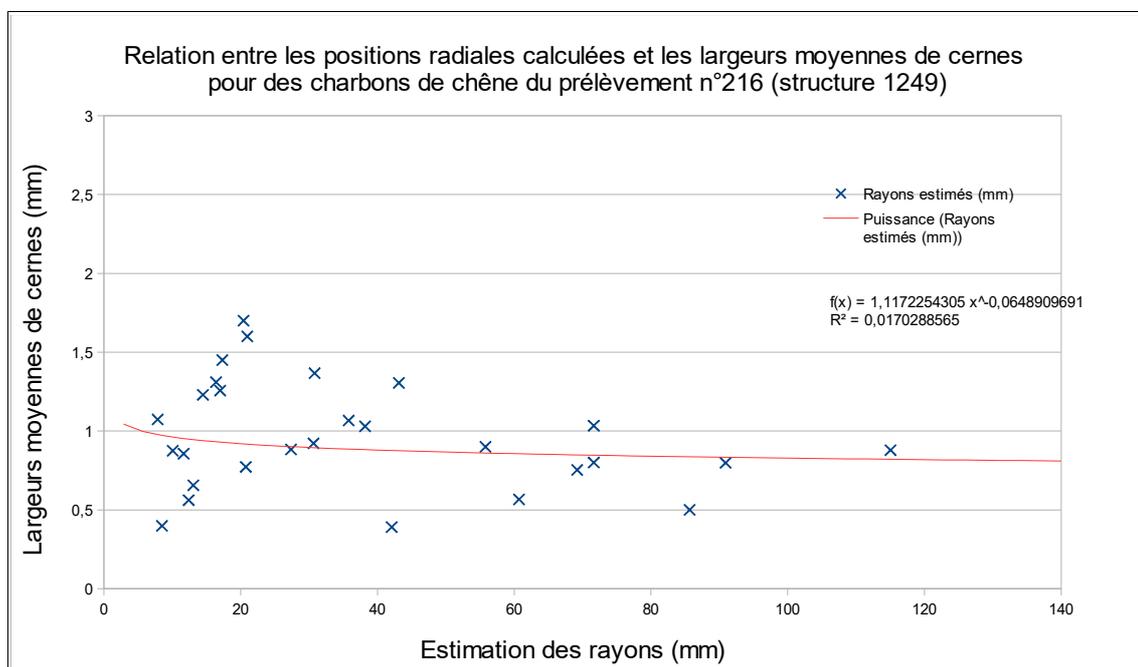


Fig. 25 Répartition des moyennes de largeurs de cerne (mm) en fonction des calibres de bois (positions radiales des fragments en mm).

## **b. Interprétations**

Le prélèvement provient du comblement d'une fosse de vidange.

L'ensemble anthracologique était principalement constitué de charbons de chêne (*Quercus sp.*) et de chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*). Seuls deux graines carbonisées de type céréale et un charbon d'érable (*Acer sp.*) sont venus donner un peu de diversité à cet ensemble (Fig. 22).

Pour ce qui concerne le chêne, il s'agit essentiellement de bois de « moyen et petit calibre », de petites branches de quelques centimètres de section. Quelques éléments semblent aussi correspondre à du bois de fort calibre (courbures de cerne faibles).

Des mesures de calibration (cf. chapitre 2.4. ) ont permis de préciser ces estimations :

Les mesures d'angles et calculs de rayon minimum effectués sur 31 fragments de chêne ont permis d'identifier des ensembles correspondant à des bois de 2 cm, 4 cm, 8 cm et voire jusqu'à environ 12 cm de rayon minimum (Fig. 24). Les bois de rayon minimum de 2 cm sont les plus représentés. De façon générale, les fragments proviennent principalement de bois de 2 à 4 cm de rayon, même si quelques bois de section plus importante ont pu être utilisés ponctuellement.

En ce qui concerne l'origine des charbons, compte tenu du calibre observé (bois de moyen, voire gros calibre), l'hypothèse de restes de bois d'œuvre pourrait être plausible. Toutefois, l'absence totale de traces de galeries de xylophages, typiques des bois d'œuvre, tendrait à écarter cette hypothèse.

L'hypothèse de rejets de combustible est donc la plus probable.

Le chêne est un bois dense et constitue un combustible de qualité. Il génère notamment des braises livrant beaucoup d'énergie dans la durée. Il peut être difficile à enflammer d'où l'importance des bois de « petite section ». L'absence d'autres essences, par exemple de bois « légers » pour la phase d'allumage, est à noter.

La part des fragments de chêne et chêne-châtaignier montrant des aspects « luisants » est assez faible (environ 20%). Les charbons semblent donc provenir d'une combustion aérobie avec des températures peu élevées. Ce constat apparaît cohérent avec la description archéologique évoquant des restes de paroi de four (torchis) à l'intérieur du comblement, mais sans qu'aucune trace de rubéfaction ne soit véritablement perceptible sur le comblement argileux. La description sédimentologique et anthracologique s'accordent donc pour décrire des températures de chauffe relativement modérées.

De façon générale, les charbons montrant des fentes de retrait sont en faible proportion (environ 15%). Ces observations sont caractéristiques d'un bois brûlé à l'état sec (non vert) et probablement stocké préalablement à son utilisation.

L'emploi quasi-exclusif de bois de chêne relèverait plutôt d'activités de « type artisanale ». L'observation de quelques graines de céréale carbonisées associées aux charbons tendrait à rapprocher ces restes de combustibles à un système technique lié aux activités de traitement des céréales, par exemple une phase de grillage (torréfaction?) des graines. L'hypothèse reste à discuter au regard des artefacts archéologiques et des éventuelles analyses carpologiques.

En ce qui concerne le paysage, des irrégularités de croissance ont été observées sur quelques fragments de chêne (Fig. 26). Il pourrait s'agir des conséquences de coupes d'éclaircies réalisées sur des arbres situés dans l'aire de ramassage, par exemple dans le cadre de traitements de type « taillis » ou « taillis-sous-futaie », voire de haies. 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).

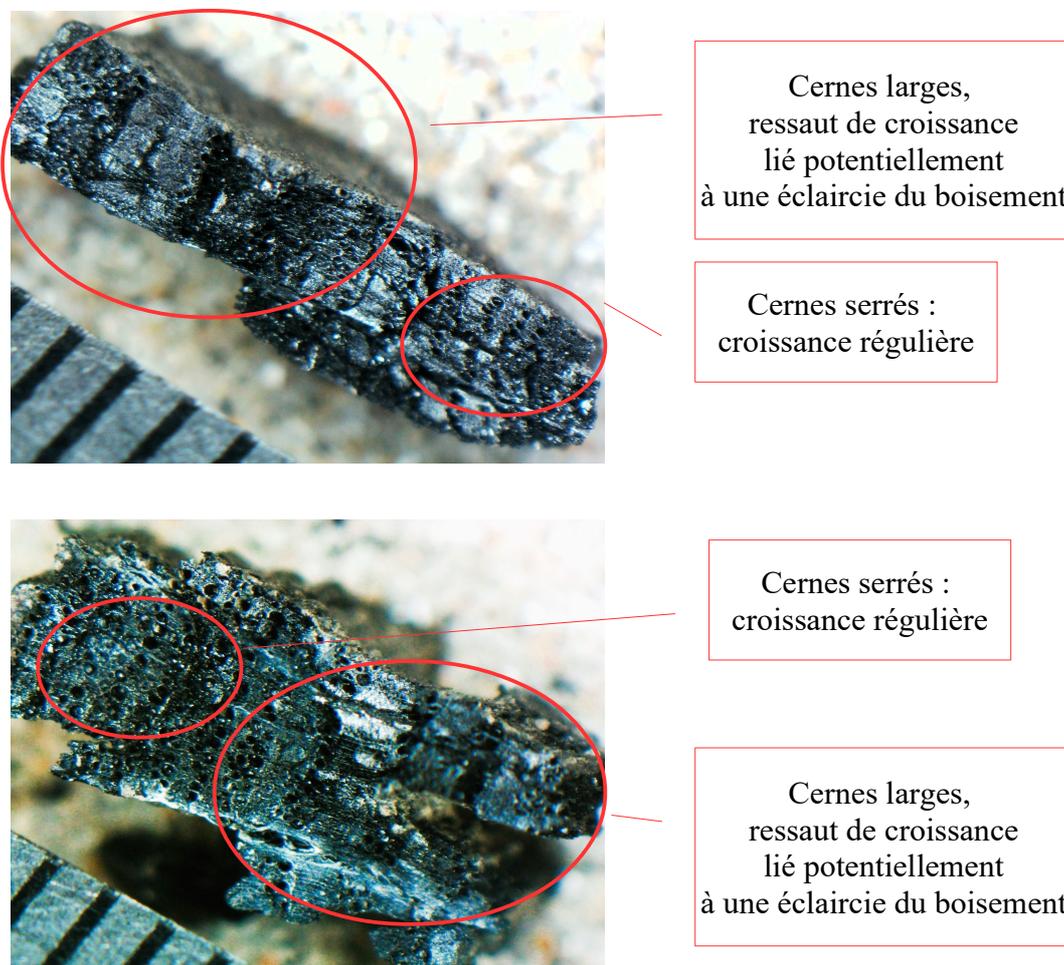


Fig. 26 - Fragments de chêne montrant des irrégularités de croissance (prélèvement n°216, grossissement x10 pour image du haut et x40 pour image du bas). L'échelle représente des millimètres.

Notons que la mise en relation des positions radiales des fragments (indicateur de l'âge de l'arbre) avec les largeurs moyennes de cerne (Fig. 25) ne permet pas de dégager de véritable tendance (le coefficient de détermination de la courbe de régression polynomiale de second degré est nul). Si l'on compare la forme du graphique obtenu (Fig. 25) avec les courbes de dynamiques de croissances d'arbres soumis à différents modes de gestions sylvicoles (Fig. 27, selon Girardclos et Perrault, 2019), les hypothèses d'arbres ayant poussé dans des boisements de type taillis régulier voire de taillis-sous-futaies restent plausibles (Fig. 27). Les faibles valeurs des moyennes de largeurs de cerne se rapprocheraient peut-être davantage de la dynamique de croissance du « taillis régulier » (?).

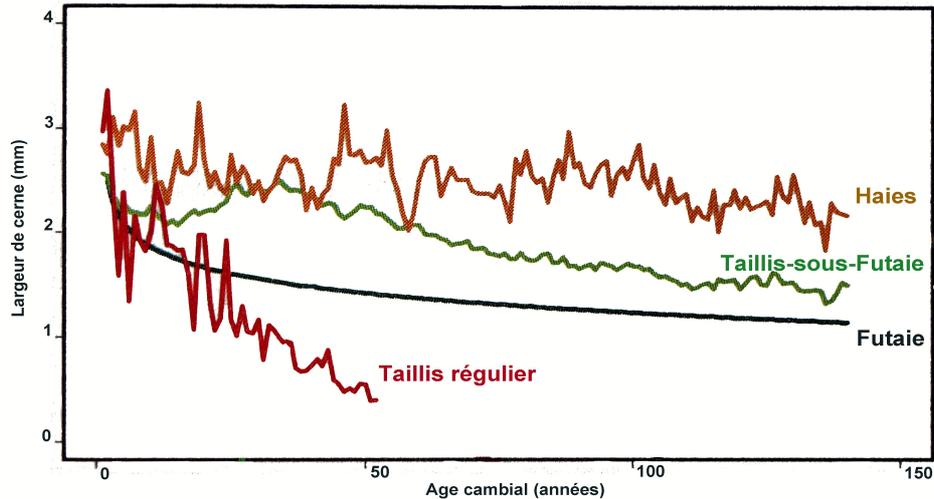


Fig. 27 - Graphique extrait de l'article d'O. Girardclos et Ch. Perrault (2019), montrant l'effet de différents modes de gestion sylvicole sur les dynamiques de croissance des arbres. (Graphique exprimant des largeurs de cerne en fonction de l'âge des arbres). A comparer avec le graphique obtenu pour la composition anthracologique du prélèvement n°216 (Fig. 25).

Des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne de courbure faible et intermédiaire ont permis de calculer une moyenne d'environ 1,1 mm / an avec un écart-type de 0,45 mm (Fig. 23). Cette moyenne est caractéristique d'un contexte de croissance difficile, peut-être un environnement contraignant (sols pauvres, mal exposés, coupes régulières sur les arbres) ou un milieu soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense). L'histogramme de répartition des valeurs montre une répartition unimodale, avec un mode situé entre 1 et 1,5 mm. Cette répartition unimodale montre que les fragments proviennent d'une collecte bien circonscrite.

### 3.3. Prélèvement n°235, structure de combustion de type foyer n°1534/1591

#### a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	4	0	0	1	0	0	0	1	0
Quercus sp.	11	0	2	6	0	1	1	1	0
	16	0	2	7	0	1	1	2	0

Fig. 28 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements n°235 (structure de combustion n°1534)

#### b. Interprétations

Le prélèvement provient d'un niveau de comblement d'une structure de combustion de type foyer.

Une quinzaine de fragments seulement a pu être observée. L'ensemble anthracologique s'est révélé mono-spécifique, composé uniquement de charbons de chêne (les charbons de chêne-châtaigner correspondent très probablement à du chêne, cf. remarque chapitre 2.5. ).

Compte tenu de la petite taille des fragments il n'a pas été possible de réaliser beaucoup de mesures dendrologiques. Les constats et interprétations sont donc à considérer avec précaution.

En ce qui concerne le calibre des bois utilisés, l'observation des courbures de cerne montre une prépondérance de fragments avec de fortes courbures par rapport aux charbons de courbure intermédiaire (sept charbons de forte courbure et deux fragments de courbure intermédiaire) (Fig. 28). Aucun charbon de courbure de cerne faible n'a été observé. Les fragments semblent donc provenir de bois de petites branches. Probablement des bois de quelques centimètres de diamètre.

Le chêne est un bois dense qui peut être difficile à allumer. Mais l'utilisation de petites branches a dû faciliter la combustion.

Seulement deux charbons montrent des fentes de retrait, indiquant des bois brûlés à l'état sec.

Les charbons ne semblent pas montrer d'aspect particulièrement luisant (seulement deux charbons), ce qui caractériserait plutôt une combustion ouverte.

### 3.4. Prélèvement n°203, comblement de fosse n°1164

#### a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Aspect granuleux - indet.	Insecte	Moelle
Ericacée	6	0	0	6	0	0	1	1	2	0	0	0	0	2
Ericacée type Erica	2	0	0	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	2
Fabacée type Cytisus	13	0	0	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Frag. de brindille indéterminé	8	0	0	4	0	0	0	0	1	0	1	0	0	3
Frag. écorce	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0
Pomoidée	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prunus sp.	3	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Quercus sp.	11	0	0	10	0	2	3	0	0	0	0	0	0	1
Salix/Populus	39	0	4	31	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2
Salix sp.	10	0	2	8	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	100	0	6	82	0	2	8	1	7	0	3	1	1	11

Fig. 29 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvement n°203 (fosse n°1164)

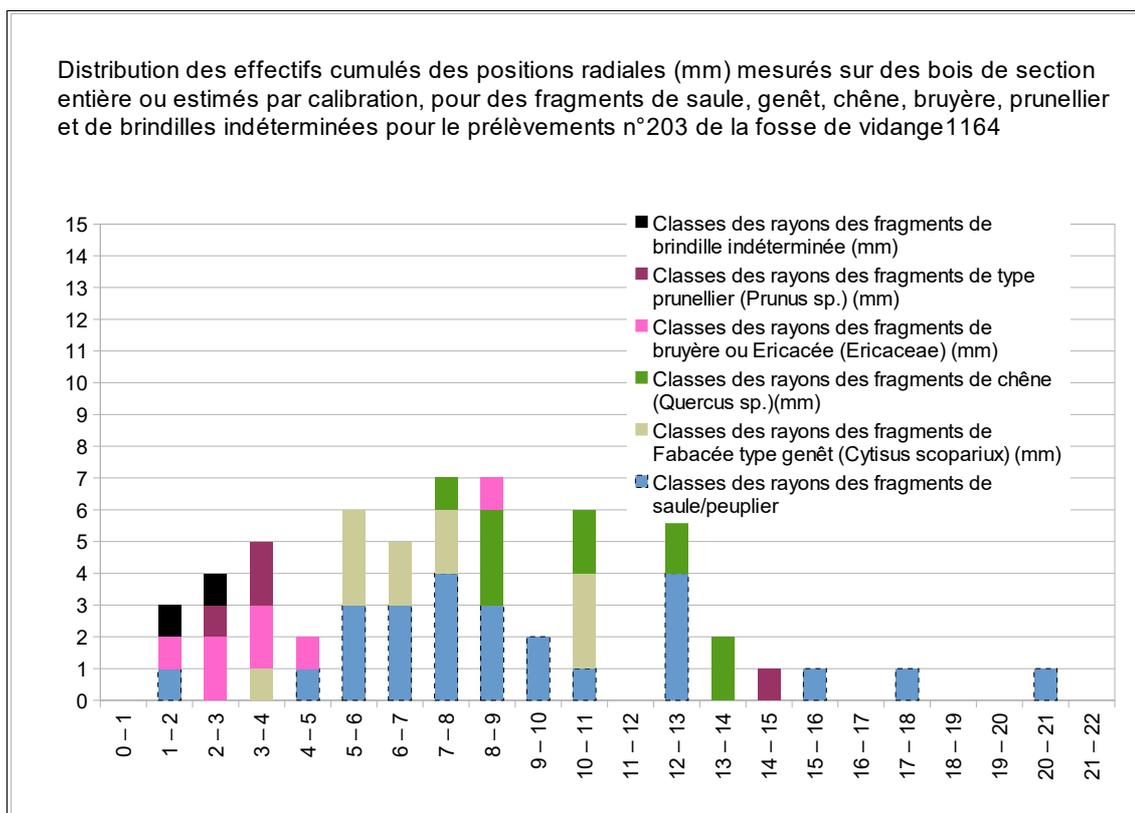


Fig. 30 – Distribution des rayons mesurés ou des positions radiales calculées pour les fragments de saule, genêt, chêne, bruyère et genre Prunus par classe de 1 mm, pour le prélèvement n° 203.

## b. Interprétations

Le prélèvement n°203 provient du comblement d'une fosse interprétée comme une potentielle fosse de vidange de foyer. Des fragments de terre cuite ont été récoltés dont certains pourraient correspondre à des éléments de parois. Quelques graines carbonisées et un fer à équidé du Xe – XIe y ont aussi été prélevés.

Une centaine de charbons a été observée dans ce prélèvement. L'ensemble charbonneux s'est révélé assez diversifié avec sept à neuf taxons anthracologiques identifiés.

Contrairement aux compositions anthracologiques précédentes, l'ensemble est principalement composé de charbons de saule (*Salix sp.*), saule/peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*) avec environ 50% des charbons. On constate ensuite par ordre d'importance des charbons de chêne, chêne-châtaignier (*Quercus sp.*, *Quercus sp. / Castanea sp.*), de Fabacée de type genêt (type *Cytisus scoparius*), de bruyère (Ericacées de type *Erica* mais aussi probablement de type *Calluna vulgaris*) et dans une moindre mesure quelques fragments de Pomoidée et du genre *Prunus sp.* Notons aussi la détection de quelques fragments d'écorce et de brindilles indéterminées (Fig. 31).

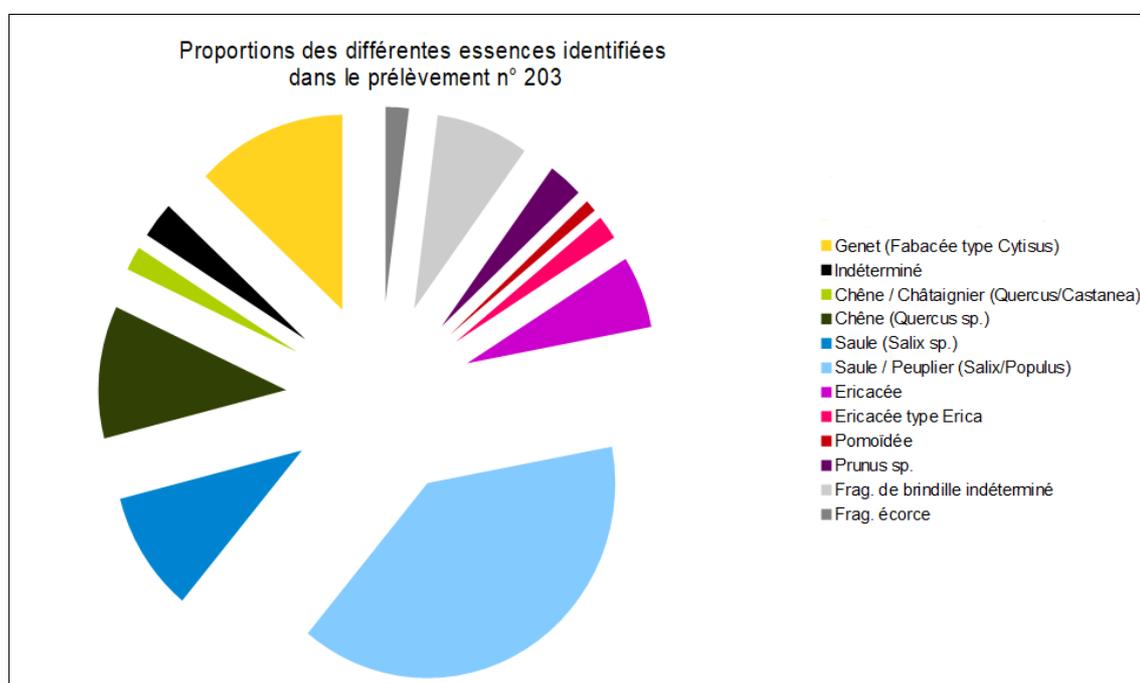


Fig. 31 – Représentation sous la forme d'un « camembert éclaté » des proportions des différents taxons identifiés pour le prélèvement n°203.

En ce qui concerne l'estimation du calibre des bois, on constate une forte majorité (à plus de 80%) des charbons de forte courbure de cerne (Fig. 29). Ce sont donc principalement des bois de petit calibre, voire de brindilles qui ont été utilisés. Des estimations de rayon minimum ont pu être réalisées sur une soixantaine de fragments de section entière ou partielle (Fig. 30). L'historgramme montre l'emploi de bois de saule/peuplier d'environ 5 à 13 mm de rayon, de branches de bruyère de 2 à 5 mm de rayon, de bois de chêne d'environ 7 à 14 mm de rayon.

Très peu de charbons munis de fentes de retrait ont été observés. Les bois ont donc été brûlés à l'état sec, ce qui implique probablement un stockage préalable.

Notons aussi la faible proportion de fragments d'aspect luisant (environ 10%). Le phénomène de « vitrification » souvent associé à des contextes anaérobies et de températures chaudes (ex. cas des fours), ne semble pas avoir affecté la combustion. Il pourrait donc s'agir de restes d'une combustion ouverte.

En vue de caractériser le type de ramassage, un graphique exprimant l'indice de concentration de Pareto a été réalisé sur la base de 87 charbons correspondant à sept taxons anthracologiques.

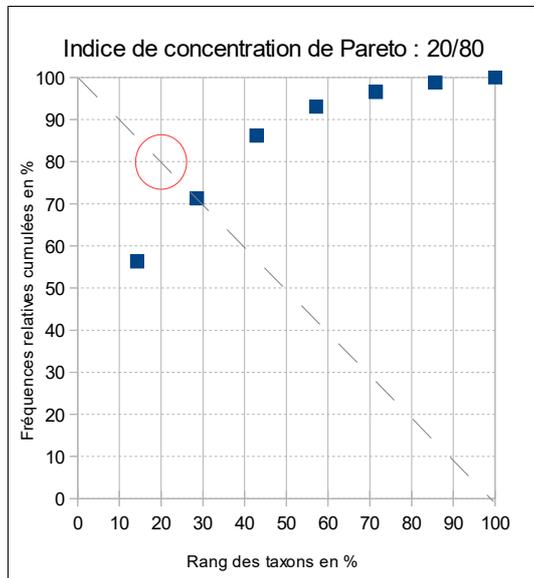


Fig. 32 – Indice de concentration de Pareto réalisé sur la composition anthracologique du prélèvement n°203 (comblement de fosse 1164), soit 87 charbons. Les effectifs des charbons de chêne et chêne-châtaigner, de saule et saule/peuplier ont été rassemblés. En revanche, les charbons de bruyère de type *Erica* et ceux de type *Calluna* ont été maintenus séparés.

Le graphique montre que les proportions des taxons anthracologiques constatées ne reflètent pas les mêmes proportions que dans les communautés végétales naturelles (Chabal *et al.*, 1999) (cf. dans un environnement naturel en équilibre, 20% des taxons correspondent à environ 80 % de la biomasse, alors que pour le prélèvement ci-présent, 20% des taxons correspondent à environ 60% de la biomasse). Cette différence pourrait s'expliquer par un problème de représentativité des effectifs étudiés (insuffisants) mais très probablement aussi par un ramassage sélectif du combustible. Ce type de collecte est généralement associé à des besoins techniques de combustions particulières, souvent liés à des activités « artisanales ».

Dans le cas ci-présent, au regard des calibres des bois utilisés, on peut évoquer l'hypothèse de ramassages orientés avant tout vers des bois de petit calibre.

L'utilisation de façon presque exclusive de bois de petit calibre, alors que des modules de bois de plus grosses sections était potentiellement accessibles dans l'environnement (ex. chêne, saule) est probablement un choix technique. Le bois de petit calibre, notamment de bois tendre (saule, genêt) génèrent des combustions vives. Il faut donc envisager l'emploi de ce combustible dans le but d'obtenir un type de combustion répondant à des besoins techniques de combustions de forte intensité... On peut évoquer par exemple les systèmes techniques de fabrication de certains types de poterie (ex. grès) nécessitant l'obtention de combustions très vives afin d'atteindre des températures importantes. Ces combustions peuvent nécessiter l'emploi de petit bois mêlant alternativement des essences de bois dur (ex. chêne) et de bois « blanc » (ex. saule). (ex. com. pers. cas sur le fonctionnement du « four couché » de la bâtisse à Moutier-en-Puisaye (89)). Il faut alors beaucoup de fagots afin d'alimenter et maintenir les combustions dans la durée. Cette hypothèse serait à discuter au regard d'éventuels restes de structures de combustion, fragments de poterie ou de terre cuite identifiés sur le site.

## 4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 300 fragments ont été observés pour l'ensemble des quatre prélèvements (Fig. 1).

Inventaire des prélèvements et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
<p><b>Ensemble provenant du comblement du fossé 590 en position de rejet.</b></p> <p><b>Prélèvements Faits :</b></p> <p>PR n°191, fossé 590</p> <p><b>3e – 2e siècle avant J.-C.</b></p>	<p>chêne (<i>Quercus sp.</i>), chêne-châtaigner (<i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sativa</i>), saule (<i>Salix sp.</i>), saule / peuplier (<i>Salix sp.</i> / <i>Populus sp.</i>), charme (<i>Carpinus betulus</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), lierre (<i>Hedera helix</i>), genêt (type <i>Cytisus scoparius</i>), érable (<i>Acer sp.</i>).</p>	<p><b>Probables rejets d'une combustion « domestique ».</b></p> <p>La combustion a principalement été alimentée par du bois de chêne, les bois de moindre qualité tels que le saule/peuplier, genêt et le noisetier ont probablement été employés lors de phases d'allumage.</p> <p>Les charbons proviennent surtout de bois de « petit à moyen calibre ». Ce sont probablement des bois de branches de quelques centimètres de diamètre, voire de brindilles qui ont été utilisées.</p> <p>De façon générale, les charbons montrant des fentes de retrait sont en faibles proportions (environ 10%). Ces observations caractérisent un bois brûlé à l'état sec (non vert).</p> <p>En ce qui concerne l'aspect des charbons, la proportion de charbons d'aspect luisant est relativement faible (environ 35%). L'hypothèse de charbons issus de combustions en contextes ouverts (ex. foyer) est la plus probable.</p> <p>La construction d'un graphique montrant l'indice de concentration de Pareto permet d'émettre l'hypothèse de ramassages de « tout venant », peu sélectifs. <u>Ce type de collecte est plutôt caractéristique des combustions domestiques. L'utilisation d'essences de combustibilité assez médiocre (lierre, genêt) tendrait aussi à renforcer cette hypothèse.</u></p>	<p><b>Boisement de type chênaie diversifiée :</b></p> <p><i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus sp.</i>- <i>Castanea sativa</i>, <i>Acer sp.</i>, <i>Carpinus betulus</i>, <i>Hedera helix</i></p> <p><b>Boisements clairs, haies :</b></p> <p><i>Corylus avellana</i>, <i>Hedera helix</i>, <i>Cytisus scoparius</i>. <i>Carpinus betulus</i>.</p> <p><b>Friches, landes fourrés :</b> Fabaceae type <i>Cytisus</i>, <i>Corylus avellana</i>.</p> <p><b>Boisements hygrophiles (frais) :</b></p> <p><i>Salix sp.</i>, <i>Salix sp.</i> / <i>Populus sp.</i>, <i>Corylus avellana</i></p> <p><b>Mesures de largeurs de cernes :</b></p> <p><b>PR191 :</b> Moy. = 1,3 mm (N=25 ; Ec-type = 0,84 mm)</p> <p>L'écart type important découle probablement de collectes dans des milieux différents, probablement à la fois dans une forêt dense (objet de la principale collecte) mais aussi dans des boisements plus ouverts (ex. lisières, haies).</p>

Fig. 33 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques associées au prélèvement n°191.

Inventaire des prélèvements et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
<p><b>Ensemble provenant du comblement d'une fosse de vidange (n°1249).</b></p> <p>PR n°216</p> <p>Fosse n°1249</p> <p><b>8e – 10e s. ap. J.-C.</b></p>	<p>chêne (<i>Quercus sp.</i>), chêne-châtaigner (<i>Quercus sp. - Castanea sativa</i>), érable (<i>Acer sp.</i>),</p> <p>graines carbonisées de type céréale.</p>	<p><b>Rejets de combustibles à l'intérieur des remplissages de fosses. Hypothèse de rejets d'activité « type artisanal ».</b></p> <p>L'ensemble charbonneux était composé presque exclusivement de fragments de chêne, chêne-châtaigner. Une seule occurrence d'érable a été observée.</p> <p>Il s'agit essentiellement de bois de « moyen et petit calibre », de petites branches de quelques centimètres de section. Des mesures de calibration réalisées sur une trentaine de charbons ont permis d'estimer des bois allant de 2 à 12 cm de rayon. De façon générale, les fragments proviennent principalement de <u>bois de 2 à 4 cm de rayon, même si quelques bois de section plus importante ont pu être utilisés ponctuellement.</u></p> <p>Aucune trace de galeries de xylophage n'a été observée ce qui a permis d'écarter l'hypothèse de restes de bois d'œuvre.</p> <p>Le chêne et l'érable sont des bois denses générant des braises livrant beaucoup d'énergie et dans la durée. Ce sont là des caractéristiques techniques qui ont vraisemblablement été recherchées dans le cadre des combustions.</p> <p>La part des fragments de chêne et chêne-châtaigner montrant des aspects « luisants » est assez faible (environ 20%). Les charbons semblent donc provenir d'une combustion aérobie avec des températures modérées.</p> <p><u>L'emploi quasi-exclusif de bois de chêne relèverait plutôt d'activités de « type artisanale ».</u> L'observation de quelques graines de céréale carbonisées associées aux charbons tendrait à rapprocher ces restes de combustibles à un système technique lié aux activités de traitement des céréales, par exemple une phase de grillage (torréfaction?) des graines. L'hypothèse reste à discuter au regard des artefacts archéologiques et des éventuelles analyses carpologiques.</p> <p><u>En ce qui concerne le paysage,</u> des irrégularités de croissance ont été observées sur quelques fragments de chêne. Il pourrait s'agir des conséquences de coupes d'éclaircies réalisées sur des arbres situés dans l'aire de ramassage, par exemple dans le cadre de traitements de type « taillis » ou « taillis-sous-futaie », voire de haies.</p> <p>La mise en relation des positions radiales des fragments (indicateur de l'âge de l'arbre) avec les largeurs moyennes de cerne n'a pas permis pas de dégager de véritable tendance. La comparaison de la forme du graphique obtenu avec les courbes de dynamiques de croissances d'arbres soumis à différents modes de gestions sylvicoles (selon Girardclos et Perrault, 2019), laissent plausibles les hypothèses d'arbres ayant poussé dans des boisements de type « taillis régulier », voire de « taillis-sous-futaies ».</p>	<p><b>Boisement de type chênaie diversifiée :</b></p> <p><i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus sp. - Castanea sativa</i>, <i>Acer sp.</i>,</p> <p><b>Mesures de largeurs de cernes :</b></p> <p><b>PR216 :</b> Moy. = 1,1 mm (N=60 ; Ec-type = 0,45 mm)</p> <p>Ces valeurs sont caractéristiques de collectes dans des boisements aux contextes de croissance <u>contraignants</u> (sols pauvres, mal exposés, coupes régulières sur les arbres) ou un milieu soumis à des compétitions inter- ou intra-spécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense).</p>

Fig. 34 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques associées au prélèvement n°216 provenant de l'intérieur du comblement de la fosse n°1249.

Inventaire des prélèvements et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
<p><b>Ensemble provenant d'une structure de combustion de type foyer (n°1534 / 1591).</b></p> <p>PR n°235</p> <p>Structure de combustion n°1534/1591.</p> <p><b>9e – 10e s. ap. J.-C.</b></p>	<p>chêne (<i>Quercus sp.</i>),</p> <p>chêne-châtaigner (<i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sativa</i>).</p>	<p><b>Combustibles en place. Combustion ouverte.</b></p> <p>Une quinzaine de fragments seulement a pu être observée. L'ensemble anthracologique s'est révélé mono-spécifique, composé uniquement de charbons de chêne.</p> <p>Compte tenu de la petite taille des fragments, il n'a pas été possible de réaliser beaucoup de mesures dendrologiques. Les constats et interprétations sont donc à considérer avec précaution.</p> <p>En ce qui concerne le calibre des bois utilisés, l'observation des courbures de cerne montre une prépondérance de fragments avec de fortes courbures par rapport aux charbons de courbure intermédiaire. Les fragments semblent donc provenir de bois de petites branches. Probablement des bois de quelques centimètres de diamètre.</p> <p>Le chêne est un bois dense qui peut être difficile à allumer. Mais l'utilisation de petites branches a dû faciliter la combustion.</p> <p>Les charbons ne montrent pas d'aspect particulièrement luisant (seulement deux charbons), ce qui caractériserait plutôt une combustion ouverte.</p>	<p><b>Boisement de type chênaie diversifiée :</b></p> <p><i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus sp.</i>-<i>Castanea sativa</i></p>

Fig. 35 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques associées au prélèvement n°235, structure de combustion de type foyer, n°1534/1591.

Inventaire des prélèvements et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
<p>Ensembles provenant du comblement de la fosse n°1164,</p> <p>PR n°203</p> <p>Fosse de vidange n°1164.</p> <p>10e – 12e s. ap. J.-C.</p>	<p>Saule (<i>Salix sp.</i>),</p> <p>saule/peuplier (<i>Salix sp.</i> / <i>Populus sp.</i>),</p> <p>chêne, chêne-châtaignier (<i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus sp.</i> / <i>Castanea sp.</i>),</p> <p>Fabacée de type genêt (type <i>Cytisus scoparius</i>),</p> <p>bruyère (Ericacées de type <i>Erica</i> mais aussi probablement de type <i>Calluna vulgaris</i>),</p> <p>Pomoïdée,</p> <p>Prunellier : genre <i>Prunus sp.</i></p>	<p><b>Rejets de combustibles constitué uniquement de restes de bois de petit calibre. Combustible sélectionné, probablement associé à une activité de type « artisanale ».</b></p> <p>On constate une grande majorité des charbons de forte courbure de cerne. Ce sont donc principalement des bois de petit calibre, voire de brindilles qui ont été utilisés. Des estimations de rayon minimum ont pu être réalisées sur une soixantaine de fragments, montrant l'emploi de bois de saule/peuplier d'environ 5 à 13 mm de rayon, de branches de bruyère de 2 à 5 mm de rayon, de bois de chêne d'environ 7 à 14 mm de rayon.</p> <p>Très peu de charbons munis de fentes de retrait ont été observés. Les bois ont donc été brûlés à l'état sec, ce qui implique probablement un stockage préalable.</p> <p>Notons aussi une faible proportion de fragments d'aspect luisant (environ 10%). Le phénomène de « vitrification » souvent associé à des contextes anaérobies ne semble pas avoir affecté la combustion. Il pourrait donc s'agir de restes d'une combustion ouverte.</p> <p>Un calcul de la courbe de concentration de Pareto a été effectué. Le graphique montre que les proportions des essences observées à l'intérieur des lots ne correspondent pas à ce que l'on observe dans la nature.</p> <p><u>Ce déséquilibre est très probablement lié à un ramassage sélectif du combustible. Ce type de collecte est généralement associé à des besoins techniques de combustions particulières, souvent liés à des activités « artisanales ».</u></p> <p>Dans le cas ci-présent, au regard des calibres des bois utilisés, on peut évoquer l'hypothèse de ramassages orientés avant tout vers des bois de petit calibre.</p> <p>L'utilisation presque exclusive de bois de petit calibre est probablement un choix technique. Le bois de petit calibre, notamment de bois tendre (saule, genêt) génèrent des combustions vives. <u>Il faut donc envisager l'emploi de ce combustible dans le but d'obtenir un type de combustion répondant à des besoins techniques de combustions de forte intensité...</u></p> <p>L'hypothèse de rejets de combustion d'un système technique de fabrication de poterie a été évoqué.</p>	<p><b>Boisement de type chênaie hêtraie et chênaie diversifiée :</b></p> <p><i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus sp.</i>-<i>Castanea sativa</i>,</p> <p><b>Boisements clairs, haies, fourrés :</b></p> <p><i>Pomoïdées</i>, <i>Prunus sp.</i>, <i>Fabaceae</i> type <i>Cytisus</i></p> <p><b>Friches, landes fourrés :</b> <i>Ericaceae</i>, <i>Fabaceae</i> type <i>Cytisus</i>,</p> <p><b>Boisements hygrophiles (frais) :</b></p> <p><i>Salix sp.</i> / <i>Populus sp.</i></p>

Fig. 36 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques associées au prélèvement n°203. Fosse de vidange n°1164.

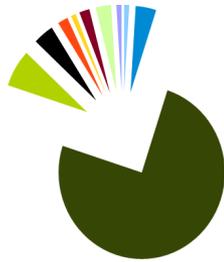
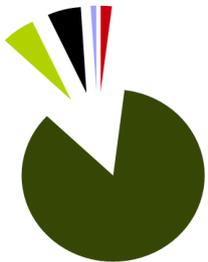
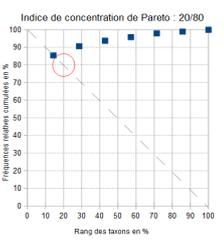
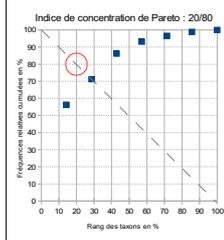
<b>Légende</b>	PR n°191, structure 590, 3e -2e s. av. J.-C.	PR n°216 structure 1249, 8e -10e s. ap. J.-C.	PR n°235 structure 1534, 9e -10e s. ap. J.-C.	PR n°203 structure 1164, 10e -12e s. ap. J.-C.
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erable (Acer sp.)</li> <li>■ Chêne (Carpinus betulus)</li> <li>■ Noisetier (Corylus avellana)</li> <li>■ Genêt (Fabacée type Cytisus)</li> <li>■ Lierre (Hedera helix)</li> <li>■ Indéterminé</li> <li>■ Chêne / Châtaignier (Quercus/Castanea)</li> <li>■ Chêne (Quercus sp.)</li> <li>■ Saule (Salix sp.)</li> <li>■ Saule / Peuplier (Salix/Populus)</li> <li>■ Ericacée</li> <li>■ Ericacée type Erica</li> <li>■ Pomoidée</li> <li>■ Prunus sp.</li> <li>■ Frag. de brindille indéterminé</li> <li>■ Frag. écorce</li> <li>■ Graine (type Céréale)</li> </ul>				
<b>Nombre de charbons étudiés.</b>	110	101	16	100
<b>Diversité (chêne et chêne-châtaignier, saule et saule-peuplier sont séparés)</b>	9	3	2	9
<b>Courbures des cernes</b>	Forte :48% Intermédiaire :50% Faible 1% :	Forte : 23% Intermédiaire : 73% Faible : 3%	Forte : 78% Intermédiaire : 22% Faible :	Forte :93% Intermédiaire : 7% Faible :
<b>Fréquences des charbons d'aspect « luisant »</b>	35 - 40 % dont nombreux fragments de « nœuds »	23,00%	12,50%	11% dont quelques fragments de « nœuds »
<b>Fréquences des charbons avec fentes de retrait</b>	9,00%	13,00%	6,00%	15,00%
<b>Graphiques de l'indice de concentration de Pareto</b>	 <p>Hypothèse de ramassages de « tout venant ».</p>	Hypothèse de ramassage sélectif vers du bois de chêne	Hypothèse de ramassage sélectif vers du bois de chêne	 <p>Hypothèse de ramassage sélectif vers du bois de petit calibre exclusivement.</p>
<b>Moyennes de largeurs de cerne (mm)</b>	Moy. = 1,3 mm (N=25 ; Ec-type = 0,84 mm)	Moy. = 1,1 mm (N=60 ; Ec-type = 0,45 mm)		

Fig. 37 – Tableau synthétisant les principales caractéristiques (proportion des différentes essences, diversité, courbures des cernes, aspects luisants, aspects fendus, indices de concentration de Pareto) des quatre compositions anthracologiques.

## 4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

Dix à treize taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude. Le chêne et le chêne-châtaigner ont été déterminés dans l'ensemble des prélèvements. Le saule, saule/peuplier compose l'essentiel du prélèvement n°203. L'érable, le noisetier, les Fabacées de type genêt ont régulièrement été observés.

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 ou bien des choix de bois de petit calibre sont très probables...

L'identification des taxons ligneux permet toutefois de proposer différentes associations écologiques (Rameau *et al.*, 1989) (Fig. 38) :

- **le groupement forestier de la chênaie diversifiée** avec le chêne, (chêne-châtaigner), l'érable, le charme, voire le lierre.

Remarque : L'absence du hêtre et de la chêne-hêtraie, groupement forestier pourtant typique de la période subatlantique dans le nord de la France (Gaudin, 2004), est à noter. L'absence de cette essence pose question car c'est pourtant un excellent combustible. De plus, il est identifié dans l'étude palynologique pour les deux périodes (Gaudin 2024). Il pourrait s'agir d'un choix technique.

- **les boisements clairs, lisières forestières et haies** : avec la détection de la famille des Pomoïdées, du genre *Prunus*, du noisetier, de l'érable, du lierre et du charme. Ces boisements sont détectés à la fois dans le prélèvement n°191 (Age du Fer) et n°203 (10e – 12e).
- **les formations de friches, landes, fourrés** sont suggérées par l'association de ligneux de la famille des Fabacées comme le genêt (*Cytisus scoparius*) ou l'ajonc (*Ulex sp.*), les bruyères (Ericacées type *Erica* ou *Calluna vulgaris*) et le noisetier.

Ces végétations sont détectées à la fois dans le prélèvement n°191 (Age du Fer) et n°203 (10e – 12e). Notons toutefois l'identification des bruyères uniquement dans le prélèvement n°203, évoquant l'existence de landes rases au cours du Moyen-Âge.

Les résultats de l'analyse palynologique recourent assez bien cette description puisque des pollens de bruyères et de Fabacées, avaient déjà permis d'identifier ces formations dans le paléoenvironnement protohistorique et médiéval. L'interprétation des taux de pollens laissent aussi déjà suggérer des formations de landes un peu plus étendues durant le Moyen-Age que durant l'Age du Fer (Gaudin, 2024).

Suivant une dynamique végétale bien connue dans l'ouest de la France, (Marguerie, 2001 ; Gaudin 2004), l'apparition puis le développement des végétations de landes sont la conséquence de défrichements précoces, au moins dès la Protohistoire à Paulx (Gaudin 2024), suivis de sur-exploitations agricoles (pastoralisme, cultures...) entraînant une dégradation générale des sols. Les déprises agricoles qui s'en suivirent ont probablement donné lieu à des recolonisations végétales sous forme de formations de landes et landes-fourrés dans les environs de Paulx.

- **les boisements hygrophiles ou frais** sont identifiés avec le saule/peuplier, le noisetier.

Là aussi ces boisements sont identifiés dans le prélèvement n°191 et n°203. Ils laissent suggérer l'existence d'une zone humide dans les environs.

Remarque : Le noisetier est une essence pionnière 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. C'est une essence ubiquiste pouvant s'accommoder de conditions humides.

	Comblement de fossé n°590 PR 191 3e – 2e s. av. J.-C.	Comblement de fosse de vidange 1249 PR 216 8e – 10e s. ap. J.-C.	Structure de combustion 1534 PR 235 9e – 10e s. ap. J.-C.	Comblement de fosse de vidange 1164 PR 203 10e – 12e s. ap. J.-C.
<b>Groupes forestiers de la chênaie diversifiée</b>				
<b>Boisements clairs, fourrés, haies, lisières</b>				
<b>les formations de friches, landes, fourrés</b>				
<b>Boisements humides</b>				

Fig. 38 – Tableau montrant les différents types de boisements explorés en fonction des différents contextes de prélèvement.

Les quatre formations ligneuses sont détectées à la fois dans le paysage protohistorique et médiéval (Fig. 38).

Les mesures de largeurs de cernes effectuées sur les fragments de chêne de gros et moyen calibre des prélèvements n°191 et n°216 ont permis de calculer des moyennes de l'ordre de 1,1 mm et 1,3 mm / an (Fig. 37). Ces valeurs correspondent à des contextes de croissances difficiles, en liaison avec des contextes abiotiques (ex. sols pauvres, mauvaise exposition, pentes...) et/ou biotiques contraignants (compétition vis-à-vis des ressources, ex. chênaie dense). On peut suggérer des collectes de bois et des abattages d'arbres (chênes) dans des chênaies denses. Si l'on s'en tient à ces résultats, il n'est pas possible de percevoir d'évolution de structures des boisements entre l'Âge du fer et le Moyen-Âge. Ces deux environnements n'ont pourtant probablement rien à voir (il y a un hiatus de plus d'un millénaire)...

Notons toutefois une plus forte hétérogénéité des valeurs pour le prélèvement n°191 (protohistorique), ce qui suggèrent des collectes dans des boisements de structures diverses (boisements à la fois denses et plus ouverts).

En ce qui concerne l'environnement forestier du Moyen-Age, les valeurs moyennes de largeurs de cerne obtenues pour le prélèvement n°216 sont assez homogènes et laissent penser à un approvisionnement en bois de chêne exclusivement depuis un contexte de croissance difficile, potentiellement une forêt dense. En ce sens, l'hypothèse d'un établissement « pionnier » récemment établi dans un environnement encore très boisé, apparaîtrait assez cohérente.

Enfin, quelques observations directes effectuées sur des charbons de chêne du prélèvement n°216 ont permis d'identifier des irrégularités, des « sauts », de croissance (Fig. 26). Certes, ces perturbations pourraient être le fait d'aléas climatiques, mais plus probablement de coupes réalisées lors de traitements de type taillis ou taillis-sous-futaie (Fig. 39).

Le mode de gestion sylvicole de type taillis-sous-futaie 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. 40). 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 pour le prélèvement n°203 (chêne, l'érable, le châtaignier, les Pomoïdées (ex. alisier), Prunoïdées (ex. merisier)). Car ce sont là des essences qui « rejettent » bien de souche et qui seraient adaptées à ce type de gestion sylvicole.

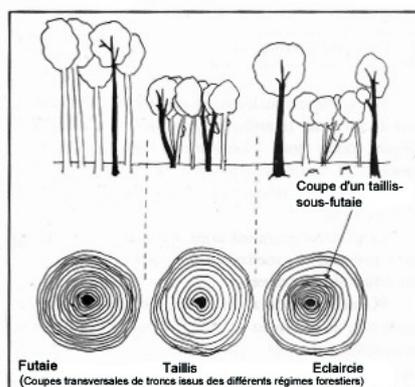


Fig. 39 – Schéma des trois régimes forestiers : futaie, taillis, taillis-sous-futaie.

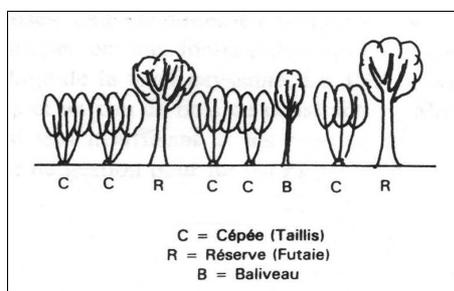


Fig. 40 - Illustration du mode de gestion sylvicole de type « taillis-sous-futaie ».

## 4.2. Informations d'ordre ethnographique

### - Les interprétations de restes de combustibles :

Les quatre ensembles anthracologiques ont été interprétés comme des restes de combustibles. Les deux prélèvements n°216 et n°235 livrèrent des compositions quasi-monospécifiques, ce qui pouvait laisser suggérer l'hypothèse de restes de bois d'œuvre. Toutefois, l'absence totale de traces de galeries de xylophages a permis d'écarter cette interprétation.

Les quatre ensembles anthracologiques relèvent à priori d'usages différents.

- Pour les prélèvements n°191, n°216, n°235, l'essence principalement utilisée est le chêne, excellent combustible.

Le choix du chêne mais aussi du charme et de l'érable (prélèvements n°191 et n°216), essences considérées comme des bois « durs » ou « denses » ont probablement permis une montée en température relativement lente tout en générant des braises dans la durée. Ces essences de bois « durs » sont plutôt difficiles à enflammer, d'où la nécessité de les associer à des bois plus tendres ou de petits calibres. L'emploi du noisetier, du saule/peuplier (bois tendres) ou de bois de petit calibre comme des Fabacées (genêt, ajoncs), de Pomoïdée, du genre *Prunus*, voire de lierre ont probablement facilité l'allumage des combustions.

Pour le prélèvement n°191, le calcul de l'indice de concentration de Pareto permet de mettre en évidence une collecte de bois de « tout venant », peu sélective, ce qui est généralement plutôt caractéristique d'usages domestiques. L'identification de quelques essences de combustibilité plutôt médiocre (genêt, lierre...) renforce aussi cette hypothèse.

Le caractère monospécifique du prélèvement n°216 découle probablement de choix techniques vis à vis des qualités de combustibilité du chêne (braises générant beaucoup de chaleur dans la durée). De tels choix sont plutôt caractéristiques d'activités de type « artisanal ». Quelques graines carbonisées observées à l'intérieur du prélèvement ont permis d'évoquer l'hypothèse de rejets de combustion en relation avec des activités de traitement des céréales, comme par exemple le grillage (torréfaction?) des grains de céréale. L'hypothèse reste à discuter au regard des autres résultats d'analyses (carpologie?).

Le prélèvement n°235 était lui aussi mono-spécifique en chêne. Toutefois, trop peu de charbons ont pu être observés pour pouvoir avancer une interprétation solide des résultats.

- Pour le prélèvement n°203 : l'ensemble charbonneux est marqué par l'emploi presque exclusif de bois de petit calibre, notamment de saule, saule/peuplier. L'indice de concentration de Pareto montre une collecte de bois sélective, ce qui caractériserait là aussi plutôt un usage dans le cadre d'une activité de type « artisanal ». L'emploi d'un combustible composé presque exclusivement de bois de petit calibre, qui plus est de bois « tendre » (saule), permet potentiellement de générer des combustions de fortes températures. De grandes quantités de combustible (type fagot) sont alors nécessaire pour la montée en température et le maintien de la combustion dans la durée. Parmi les systèmes techniques pouvant nécessiter ce type de combustion, nous avons émis l'hypothèse des activités de fabrication de poteries (ex. grès). Cette hypothèse resterait bien sûr à discuter au regard d'autres artefacts archéologiques identifiés sur le site.

## 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.

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.

GAUDIN L., 2024 - Analyses palynologiques de quatre prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site de la commune de Paulx (44). Site gaulois, antique et médiéval. Opération : 187078. 27 p. (Destinataire public : Pôle Archéologique de Loire-Atlantique. RO A. Levillayer)

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.

SAEDLOU N., DUPERON M., 2014 - Utilisation de résineux dans l'artisanat du bois en Gaule romaine. In : BERNARD V., FAVORY F., FICHES J.-L. (Dir.), *Silva et Saltus en Gaule romaine : dynamique et gestion des forêts et des zones rurales marginales*. Actes du Colloque AGER VII, Rennes, 27-28 octobre 2004., Besançon : Presses Universitaires de Franche-Comté, Besançon, pp. 199-210.

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. 41 – Fragment d'érable (*Acer sp.*). Coupe transversale. Grossissement x30. Prélèvement n°191. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 42 – Fragment de bruyère (*Ericaceae*) de forte courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x20. Prélèvement n°203. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 43 – Fragment de saule (*Salix sp.*) de forte courbure. Coupe transversale. Grossissement x24. Prélèvement n°191. L'échelle représente des millimètres.

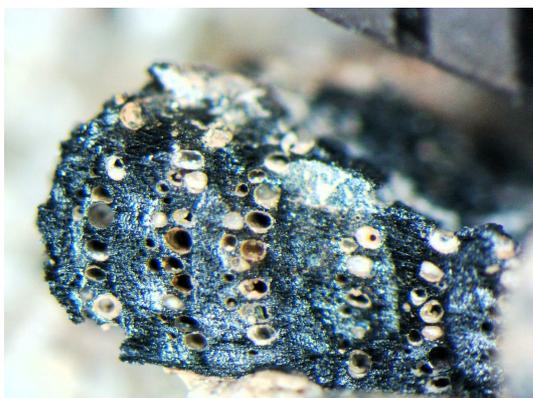


Fig. 44 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) de forte courbure. Coupe transversale. Grossissement x30. Prélèvement n°191. L'échelle représente des millimètres.