



# ArkéoMap

## ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS  
D'UNE COUCHE CHARBONNEUSE ASSOCIÉE À UN FOUR  
MÉDIÉVAL. OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE  
DU SITE DE « LA MOTTE DE NIDS »,  
SUR LA COMMUNE DE TOURNOISIS (45).**

**OPÉRATION : 2025**



**UMR 7324 CITERES**

**Octobre 2025**

**UMR 7324 CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires**  
**BP 60449, 37204 Tours cedex 3**

---

**Analyses anthracologiques de prélèvements d'une couche charbonneuse associée à un four médiéval. Opération archéologique du site de « la motte de Nids », sur la commune de Tournoisis (45).**

**Opération : 2025**

---

**Rapport d'étude anthracologique**

---

**Loïc GAUDIN**

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)

---

Illustration de la page de couverture :

*Fragment d'une petite branche de hêtre (*Fagus sylvatica*), vue en coupe transversale, grossissement x14 (l'échelle représente des millimètres). Prélèvement n°36.*

<b>SOMMAIRE</b>	
<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>7</b>
2.1. Équipement d'observation.....	7
2.2. Méthodologie.....	8
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux .....	13
2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration »	15
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	17
<b>3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....</b>	<b>19</b>
3.1. Prélèvements de la couche charbonneuse de l'US 1057.....	19
a. Résultats .....	19
b. Interprétations .....	21
<b>4. BILAN.....</b>	<b>25</b>
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	25
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	27
<b>5. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>28</b>
<b>6. ANNEXE – Photographies.....</b>	<b>30</b>

## INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses anthracologiques réalisées dans le cadre d'une opération archéologique menée sur le site « de la motte du Nids », situé sur la commune de Tournois (45).

Les charbons analysés proviennent d'une couche charbonneuse (US1057) découverte dans la partie inférieure d'un four (F117).

D'après la description archéologique fournie au moment de l'analyse, « la fonction de ce four est en cours de détermination mais sa forme fait penser à un four de réduction de métal. Sa datation provisoire est 10e-13e siècle. La fouille a révélé la présence de plusieurs états de construction et d'utilisation ».

L'objectif de cette étude vise à analyser les restes charbonneux issus d'une des dernières combustions à l'intérieur du four et ainsi contribuer à la compréhension de la fonction du four.

Compte tenu du contexte archéologique et des premières hypothèses d'interprétation, l'analyse anthracologique a été menée en suivant trois objectifs principaux :

- Déterminer l'origine des charbons : s'agit-il bien de restes de combustibles ? L'hypothèse de fragments de planches a été avancée pour le prélèvement n°26.
- Dans le cas où les charbons proviendraient bien de combustibles, caractériser la qualité du bois employé et le type de combustion : les assemblages révèlent-ils d'une sélection spécifique des essences et calibres ? L'ensemble charbonneux est-il plutôt issu d'usages domestiques ou artisanaux ? Quels aspects (luisants ou mats) montrent les charbons afin de caractériser le type de combustion (aérobie ou fermée).
- Caractériser les types de boisements présents dans l'aire de collecte à l'époque, afin de mieux cerner l'environnement végétal exploité.

Cette étude a été commandée par l'UMR CITERES - Laboratoire Archéologie et Territoires de Tours. La fouille a été dirigée par Mme Amélie Laurent-Dehecq (CNRS).

## 1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les quatre prélèvements analysés proviennent d'une même couche charbonneuse (US 1057) située dans la partie inférieure du four.

Au total ce sont un peu plus de 150 fragments qui ont été observés (Fig 1).

Les prélèvements ont été tamisés en utilisant des mailles de 4mm, 2mm et 0,5mm.

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE					
Structure et US	N° Prélèvement	mailles de tamisage	Description	Nombre de charbons observés	Nombre de charbons par prélèvement
F117 - US 1057	26	4mm 2mm	Comblement charbonneux, hypothèse de fragments de planche?	11 10	21
	35	4mm 2mm 0,5mm	Comblements charbonneux	21	
	36	4mm 2mm		22 11	54
	37	4mm 2mm		17 22	39
				24 20	44
					158

Fig. 1 – Tableau de description synthétique des prélèvements, 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 le prélèvement le plus diversifié, n°36, cinq taxons anthracologiques seulement ont été identifiés. La courbe « effort-rendement » montre un seuil situé entre 15 et 30 fragments (Fig. 2).

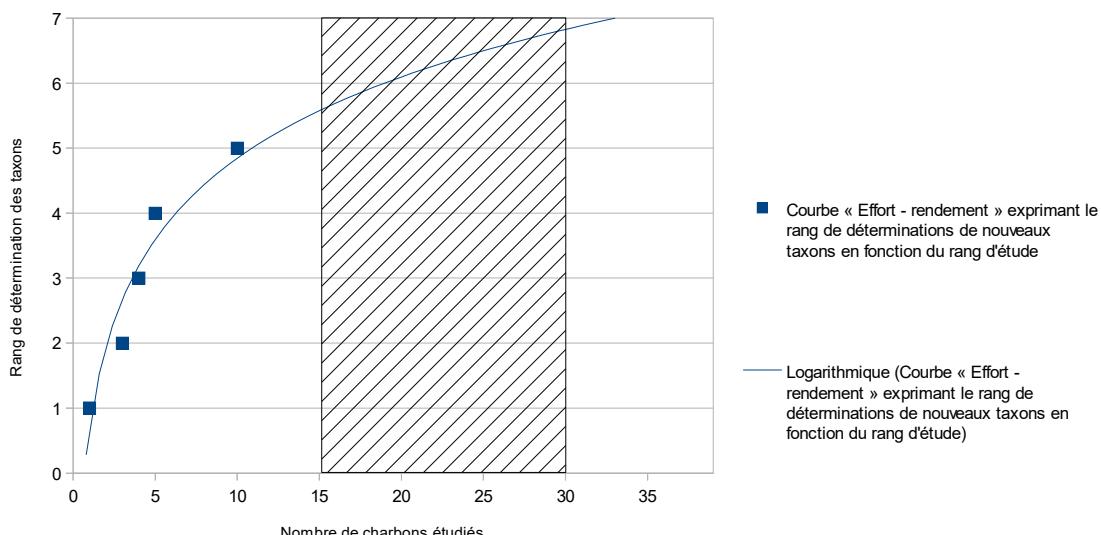


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°036. Dans cet exemple, le cinquième taxon identifié, un fragment d'érable (*Acer sp.*) a été observé au 10e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 15 et 30 charbons environ.

De façon générale, les prélèvements étudiés montrent assez peu de diversité (souvent trois à cinq taxons). Or, les indicateurs calculés à partir des courbes « effort-rendement » sont basés sur la diversité taxonomique. En plus des identifications nous avons aussi procédé à des observations permettant de préciser la nature des ensembles anthracologiques : estimations des calibres, types de combustion, traces de découpes, de xylophages, etc... Les courbes « effort-rendement » étant basées sur la diversité taxonomique, nous n'avons donc pas jugé judicieux de nous baser exclusivement sur les seuils obtenus pour établir des effectifs d'échantillonnages représentatifs.

En concertation avec l'archéologue et en fonction de l'enveloppe allouée pour cette étude, nous avons choisi d'étudier les prélèvements de façon la plus exhaustive possible, en poussant l'observation de 30 à 40 charbons par prélèvement.

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

### 2.1. Équipement d'observation

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



Fig. 3 - 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.

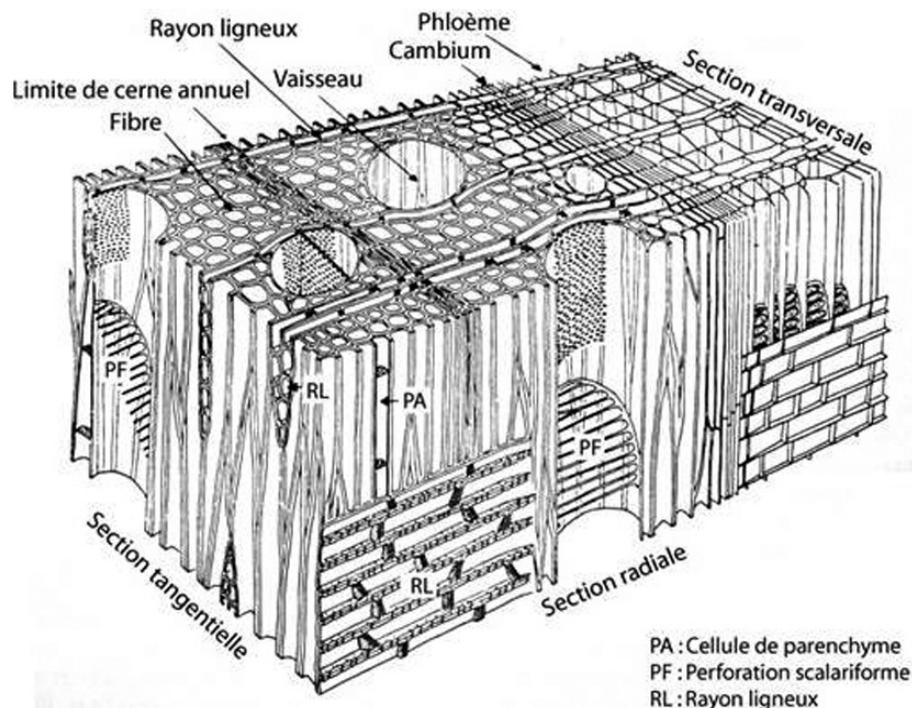


Fig. 4 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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).

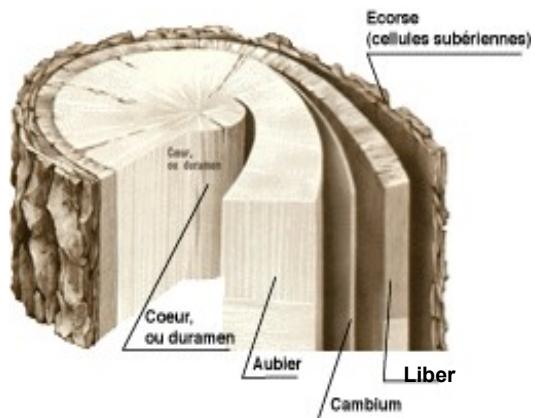
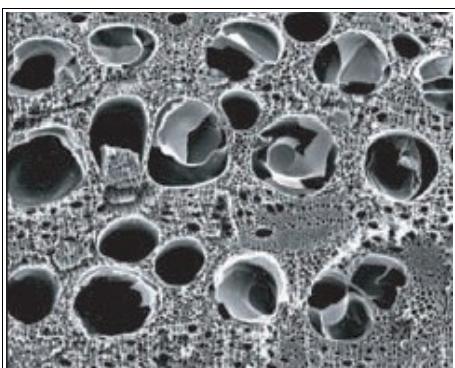
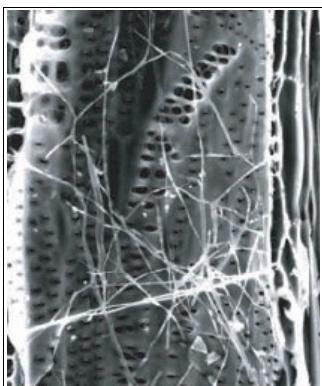


Fig. 5 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à 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.

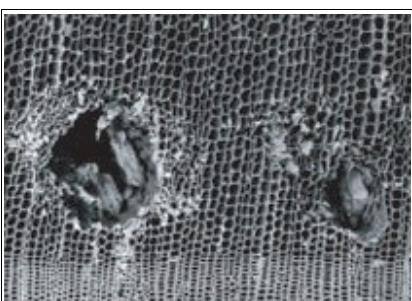
Fig. 6 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

#### **- 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.**

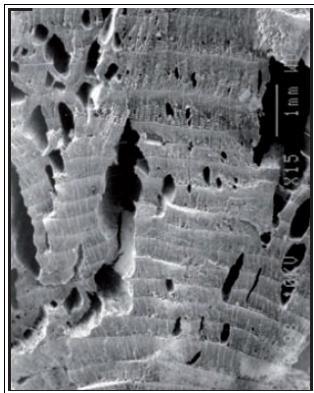


La présence de tels tunnels est plutôt un indicateur de bois morts, mais il existe parfois des bois vivants dont l'aubier peut être logiquement attaqué (Marguerie et al., 2010).

Fig. 7 – 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 biotiques, (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. 8 – Exemple de fentes de retrait (Marguerie *et al.*, 2010).

La vitrification (ou aspect luisant du charbon) affecte plus souvent des petites pièces de bois (Oillic, 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 anaérobiose" (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'oxygénéation).

En 2011, J.-C. Oillic 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.

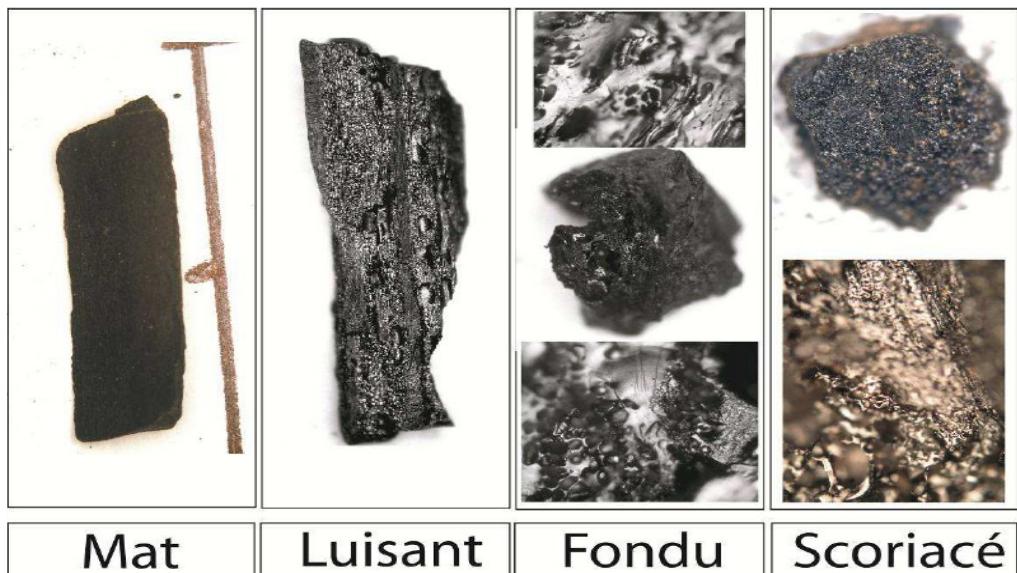
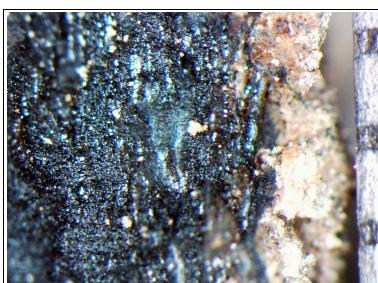


Fig. 9 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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. 10) a donc parfois été utilisé.

Fig. 10 – 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 (emmarchements, 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.

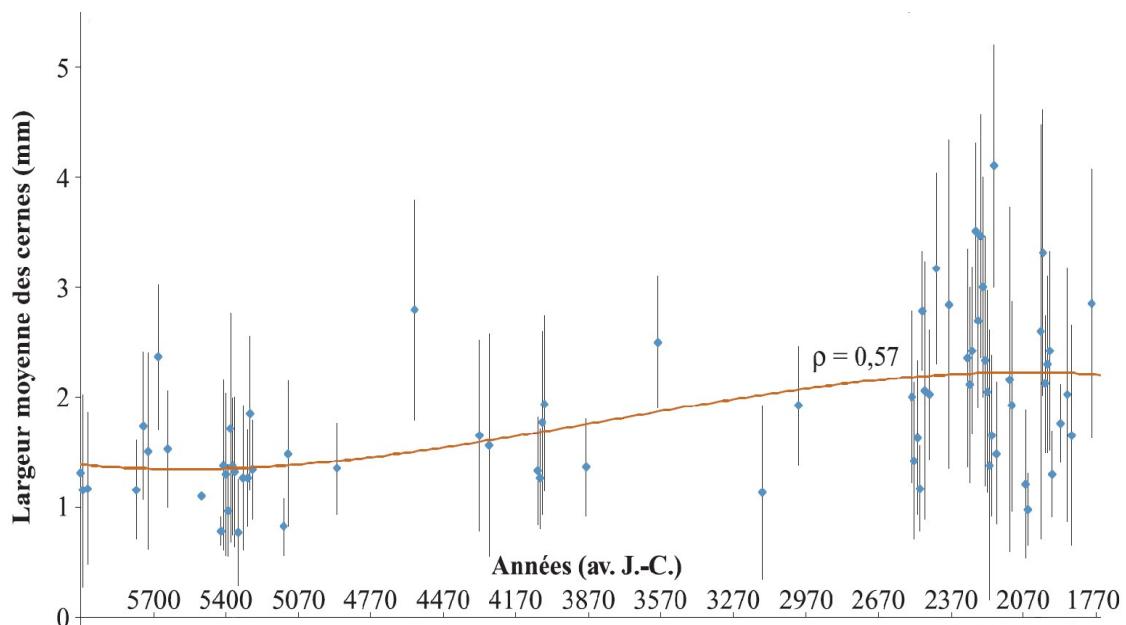


Fig. 11 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie et al., 2010).

Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 11). 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. 12). 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.

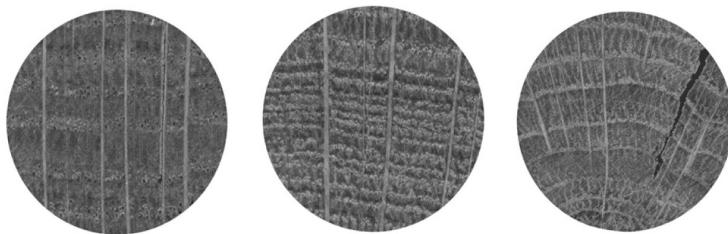


Fig. 12 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

## 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 :  $d_1$  et  $d_2$  (Fig. 13). Si la marge extérieure du charbon suit la courbure des cernes, une droite  $d$  est tracée entre les points de croisement des droites  $d_1$  et  $d_2$  et la bordure du charbon. La distance  $d$  et l'angle  $a$  formé par les deux droites  $d_1$  et  $d_2$  sont les données utilisées dans le calcul trigonométrique basé sur le sinus (Fig. 13).

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).

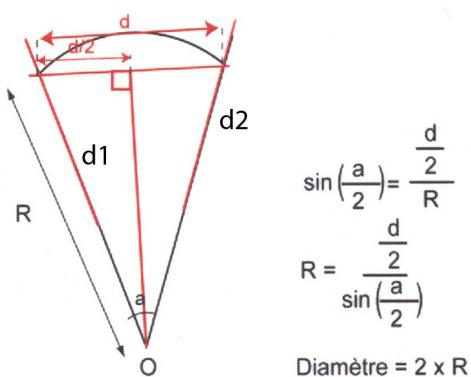


Fig. 13 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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. 14, 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.

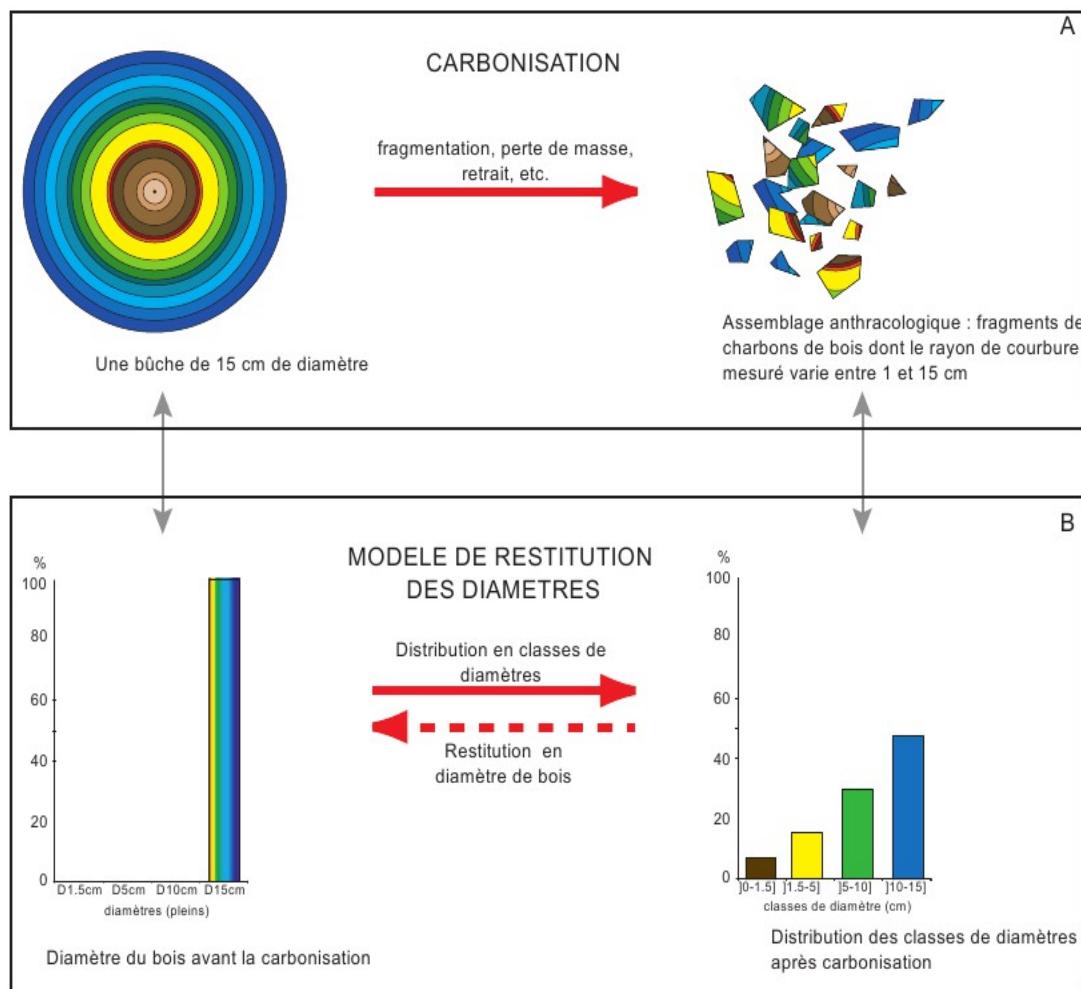


Fig. 14 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

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 cinq à six taxons anthracologiques. Quelques restes carpologiques (dont des graines de céréale à confirmer) ont aussi été observés (Fig.28). La composition taxonomique des ensembles étudiés doit être interprétée en tenant compte de choix particuliers de combustibles. En effet, la diversité des essences qui est parfois constatée n'est pas forcément le reflet d'une formation végétale ligneuse naturelle environnant le site. En l'absence de véritable association taxonomique, il n'est alors pas possible d'avancer d'interprétation d'ordre paléo-écologique solide.

L'autoécologie des taxons identifiés peut cependant apporter quelques éléments d'interprétation (Rameau *et al.*, 1989) :

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

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

### Remarque sur la détection du châtaignier :

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

- **L'orme** (*Ulmus sp.*) soit l'orme champêtre (*Ulmus minor*), l'orme de montagne (*Ulmus glabra*) ou l'orme lisse (*Ulmus laevis*) correspondent de façon générale à des essences de boisements humides (forêts alluviales), forêts collinéennes fraîches, dans les haies, parfois dans les chênaies (chênaie-hêtraie) et végétations rudérales. Son feuillage peut être utilisé comme fourrage. C'est un bois qui est très apprécié pour ses qualités mécaniques et décoratives. L'orme fait partie des bois « durs ou lourds ». Il fournit un bois de feu de première qualité et permet d'obtenir un charbon léger. Autrefois communes partout en plaine, les populations ont été fortement décimées par la graphiose au début du XXe siècle.

- Un fragment d'**érable** (*Acer sp.*) a été identifié dans le prélèvement n°36 (maille 4mm). Dans l'aire considérée, il s'agit probablement de l'érable champêtre. L'érable champêtre (*Acer campestre*) 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 », c'est donc un bois qui possède un bon pouvoir calorifique.

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

- 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 mais une combustion rapide.



Fig. 15 – Représentation du noisetier (*Corylus avellana*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

### 3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les quatre prélèvements proviennent d'une même couche charbonneuse décrite comme « homogène » (une seule unité stratigraphique : l'US1057).

Seule distinction entre les prélèvements : l'hypothèse d'une probable branche/planche pour le prélèvement n°26.

Les résultats d'analyses des quatre prélèvements ainsi que des sous-échantillonnages obtenus suite aux tamisages ont été décrits dans différents tableaux (Cf. Chapitre 3.1. a), de façon à percevoir d'éventuelles différences liées à la répartitions des prélèvements dans la couche charbonneuse. Nous avons aussi séparés les résultats en fonction des mailles de tamisage afin d'identifier de possibles différences liées aux calibres (brindilles ou non) des bois brûlés.

Les résultats d'analyses des quatre prélèvements ont été interprétés dans le chapitre (3.1. b).

#### 3.1. Prélèvements de la couche charbonneuse de l'US 1057.

##### a. Résultats

###### - Prélèvement n°26

Identifiants	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	
PR26 – 4mm	Quercus/Castanea	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ulmus sp.	7	0	2	4	0	0	0	0	0	0
PR26 – 2mm	Quercus/Castanea	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	4	0	2	0	2	0	0	0	1	1
	Ulmus sp.	4	0	3	1	0	0	0	0	0	0
		21	0	7	5	2	0	0	0	1	1

Fig. 16 – Tableau synthétique montrant les comptages des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées sur les charbons du prélèvement n°26 (refus de tamis de mailles 4 et 2mm)

###### - Prélèvement n°35

Identifiants	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	
PR35 – 4mm	Fagus sylvatica	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	18	0	6	8	3	0	1	0	0	3
	Ulmus sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PR35 – 2mm	Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Fagus sylvatica	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Quercus/Castanea	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	17	0	2	4	0	0	3	1	0	3
	Ulmus sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
PR35 – 0,5mm	Fagus sylvatica	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus/Castanea	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	5	0	1	0	0	0	1	0	0	2
		54	0	12	16	3	0	5	1	0	3
											9

Fig. 17 – Tableau synthétique montrant les comptages des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées sur les charbons du prélèvement n°35 (refus de tamis de mailles 4mm, 2mm et 0,5mm)

– Prélèvement n°36

Identifiants	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Thyllie	Moelle	
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud			
PR36 – 4mm	Acer sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Corylus avellana	5	0	0	5	0	0	0	0	1	0	1	0	3	
	Fagus sylvatica	5	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	Quercus sp.	5	0	3	1	3	0	0	1	0	0	0	1	0	
	Ulmus sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PR36 – 2mm	Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	Graine (type Céréale)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Quercus/Castanea	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	
	Quercus sp.	14	0	8	0	8	0	1	0	0	0	1	3	0	
	Ulmus sp.	5	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			39	0	17	14	11	0	1	2	1	0	4	4	3

Fig. 18 – Tableau synthétique montrant les comptages des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées sur les charbons du prélèvement n°36 (refus de tamis de mailles 4mm et 2mm)

– Prélèvement n°37

Identifiants	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Thyllie	Moelle	Insecte	
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud				
PR37 – 4mm	Fagus sylvatica	5	0	0	5	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	
	Quercus/Castanea	3	0	0	2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	
	Quercus sp.	11	0	7	1	5	2	0	1	1	0	0	8	0	0	
	Ulmus sp.	5	0	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
PR37 – 2mm	Fagus sylvatica	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Quercus/Castanea	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Quercus sp.	12	0	6	2	6	0	0	1	0	0	1	4	0	0	
	Ulmus sp.	5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			44	0	20	12	11	2	0	4	2	0	2	12	1	1

Fig. 19 – Tableau synthétique montrant les comptages des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées sur les charbons du prélèvement n°37 (refus de tamis de mailles 4 et 2mm)

Identifiants des lots	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
PR26 – 2mm	Faible et intermédiaire	Régulier	2	3	1,94	0,65	1,49	2,4
PR35 – 4mm	Faible et intermédiaire	Régulier	3	9	1,29	0,39	0,88	1,67
PR36 – 4 et 2mm	Faible et intermédiaire	Régulier	11	24	1,22	0,37	0,67	2
PR37 – 4 et 2 mm	Faible et intermédiaire	Régulier	27	62	1,18	0,39	0,5	2

Fig. 20 – Tableau montrant les moyennes de largeurs de cerne (mm) réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire pour les quatre prélèvements.

## **b. Interprétations**

158 charbons ont été observés pour l'ensemble des prélèvements de l'US 1057.

Pour chacun des quatre prélèvements, il y a eu systématiquement plusieurs taxons à avoir été identifiés.

On observe la présence de 2 à 3 taxons dans le prélèvement n°26, 4 à 5 taxons ainsi que quelques graines dans le prélèvement n°36, et 3 à 4 taxons dans les prélèvements n°35 et n°37. Ce constat, associé au calibre relativement modeste des bois brûlés (aucun fragment ne présentant de faible courbure des cernes et environ 50 % des fragments montrant une forte courbure) conduit à interpréter les charbons comme des restes de combustibles de type « petites branches et / ou brindilles ».

L'analyse globale révela une composition anthracologique assez peu diversifiée avec seulement cinq à six taxons anthracologiques identifiés (Fig. 21 et 22). Par ordre d'importance, on constate des fragments de chêne (*Quercus sp.*) (en forte proportion avec plus de 50%), chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*), d'orme (*Ulmus sp.*), de hêtre (*Fagus sylvatica*) et en moindre proportion, de noisetier (*Corylus avellana*) ainsi qu'une occurrence d'érable (*Acer sp.*) (prélèvement n°36).

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.).

De façon plus anecdotique, quelques fragments de graines (dont certaines de type céréale et pépins à confirmer) ont été observés dans le prélèvement n°36 (maille 2mm)(Fig. 28).

Une proportion importante des charbons montre de fortes courbures de cerne (environ la moitié des charbons mesurés, Fig. 21).

Des calculs de calibration réalisés sur une vingtaine de fragments de diverses essences ont permis d'estimer des rayons minimum compris entre 4 et 20 mm environ (Fig. 23). Notons toutefois que la petite taille (rarement plus de quelques millimètre) de la plupart des fragments permet difficilement de calculer les positions radiales. La calibration sous-évalue probablement le calibre de certains fragments, notamment car il est difficile d'évaluer l'angle entre deux rayons pour les petits fragments (cf. chapitre 2.4. à propos de la calibration). Mais d'une façon générale, ce sont donc surtout des bois de petites branches, voire de brindilles qui ont été utilisés.

En ce qui concerne l'aspect des charbons, on constate assez peu de fragments montrant des aspects luisants (12,5%) (Fig. 21). La majorité des charbons présentent un aspect mat (à 85%), suggérant une combustion dans des conditions relativement oxygénées, généralement caractéristiques des « foyers ouverts » (?). Les aspects luisants observés sur certains fragments pourraient correspondre à des phénomènes localisés, peut-être liés à des zones plus confinées, telles que le fond du foyer. Par ailleurs, le petit calibre des bois pourrait avoir favorisé l'apparition de ces aspects luisants, comme le souligne Oilic (2011).

Ces observations ne semblent pas concorder avec l'hypothèse d'une combustion à température élevée et en atmosphère réductrice (Blaizot et al., 2004), typique d'un four fermé. Il faut envisager que la combustion se soit peut-être déroulée à l'intérieur du four, mais maintenu probablement dans des conditions relativement ouvertes.

De manière générale, les charbons présentant des fentes de retrait sont négligeables (6,5%). Cela suggère que le bois a été brûlé à l'état sec (non vert), peut-être après avoir été stocké.

Les essences telles que le chêne, le hêtre et l'orme sont des bois denses, ou semi-denses (érable) générant des braises avec beaucoup d'énergie et dans la durée. Ces bois peuvent être qualifiés d'« excellents » combustibles. En revanche, ils peuvent être difficiles à enflammer, d'où la nécessité d'emploi de bois d'allumage, typiquement des essences de bois « tendres » (noisetier) ou des bois de petit calibre. L'hypothèse de l'utilisation de petites branches de noisetier pour faciliter l'allumage et la combustion de l'ensemble est très probable.

Afin de caractériser le type de ramassage, un calcul de l'indice de concentration de Pareto a été effectué sur l'ensemble de la composition anthracologique de l'US1057 (Fig. 21). Le principe du calcul de l'indice repose sur le fait que dans les communautés végétales en équilibre, 20% des taxons correspondent à environ 80% de la biomasse (Chabal *et al.*, 1999).

Or, le graphique montre que la proportion des taxons anthracologiques constatée ne reflète pas les mêmes proportions que celles observées dans les communautés végétales naturelles.

Cette différence pourrait certes s'expliquer par un problème de représentativité des effectifs étudiés (158 charbons observés seulement), mais elle est plus probablement liée à des ramassages sélectifs orientés vers des bois durs tels que le chêne, le hêtre, l'orme (Fig. 21). Cette tendance corrobore l'hypothèse de combustions effectuées dans le cadre d'un système technique nécessitant des choix de combustible précis, hypothèse pleinement compatible avec une activité de type « artisanal » et un contexte de four.

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

Enfin, quelques mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur une quarantaine de fragments de chêne à l'intérieur des quatre prélèvements. Pour les prélèvements n°35, 36, et n°37, les moyennes obtenues sont très faibles avec des valeurs comprises entre 1,18 mm et 1,29 mm/an. Pour le prélèvement n°26, la moyenne est un peu plus élevée (1,94 mm / an) mais le résultat est à considérer avec prudence car le calcul repose sur très peu de charbons. De façon générale, ces moyennes sont caractéristiques de contextes de croissance difficiles, peut-être des environnements contraignants (sols pauvres, mal exposés) ou des milieux soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense).

Remarque : Concernant le prélèvement n°26 (Fig. 16), il ne s'agirait vraisemblablement pas de résidus de « planche », mais plutôt d'une masse charbonneuse plus compacte, dont la « forme » pourrait être en lien avec la présence d'une paroi ou d'une anfractuosité. Les deux taxons identifiés, le chêne et l'orme en proportions sensiblement équivalentes, ainsi que le petit calibre dont semble être issus les charbons (uniquement des charbons de forte et moyenne courbure de cerne) appuient l'hypothèse de restes de combustibles de type « branche ». Même si le nombre de taxons déterminés (2 à 3) est moindre que pour les autres prélèvements, on retrouve les deux essences principales, le chêne et l'orme.

Légende	Résultats synthétiques obtenus pour l'ensemble des quatre prélevements n°26, n°35, n°36 et n°37 de l'US 1057
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Orme (<i>Ulmus sp.</i>)</li> <li>■ Erable (<i>Acer sp.</i>)</li> <li>■ Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>)</li> <li>■ Chêne / Châtaignier (<i>Quercus/Castanea</i>)</li> <li>■ Chêne (<i>Quercus sp.</i>)</li> <li>■ Noisetier (<i>Corylus avellana</i>)</li> <li>■ Graine type céréale</li> </ul>	
<b>Nombre de charbons étudiés.</b>	158
<b>Diversité (nb de taxons anthracologiques)</b>	5 à 6 (avec le taxon « chêne-châtaignier », graines exclues)
<b>Indice de concentration de Pareto :</b>  RQ. Chêne et chêne-châtaignier réunis. Indéterminés et brindilles exclus.	<p>Indice de concentration de Pareto : 20/80</p> <p>La diversité anthracologique est faible (5 à 6 taxons) et le graphique montre que les proportions observées ne reflètent pas les mêmes rapports d'équilibre que ceux constatés en théorie dans les communautés végétales naturelles (20% des taxons correspondant à 80% de biomasse). Cette faible diversité est probablement liée à des ramassages sélectifs vers certaines essences et certains calibres de bois très probablement pour des raisons techniques de combustibilité.</p>
<b>Courbures des cernes</b>	Forte : 46% Intermédiaire : 54% Faible : 0%
<b>Fréquences des charbons d'aspect « luisant »</b>	12,50%
<b>Fréquences des charbons avec fentes de retrait</b>	6,50%
<b>Moyennes de largeurs de cerne (mm)</b>	Moyennes entre 1,18 et 1,29 mm / an pour les prélevements n°35, n°36 et n°37. Moyenne de 1,94 mm / an pour le prélevement n°26, mais calcul reposant sur seulement deux fragments. (Fig. 20).

Fig. 21 – Tableau synthétisant les principales caractéristiques (proportions des différentes essences, diversité, courbures des cernes, aspects luisants, aspects fendus, indice de concentratratation de Pareto) pour l'ensemble de la composition anthracologique de l'US 1057.

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur / Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Thyllé	Moelle	Insecte
Acer sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	7	0	0	7	0	0	0	0	1	0	2	0	0	3
Fagus sylvatica	16	0	2	13	0	0	0	2	0	0	0	0	1	1
Graine (type Céréale)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	16	0	0	4	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0
Quercus sp.	88	0	35	16	27	2	6	4	2	0	5	26	0	0
Ulmus sp.	29	0	18	7	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	158	0	56	47	27	2	6	7	4	0	9	26	1	4

Fig. 22 – Tableau synthétique montrant les comptages des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées sur les charbons des quatre prélèvements de l'US 1057.

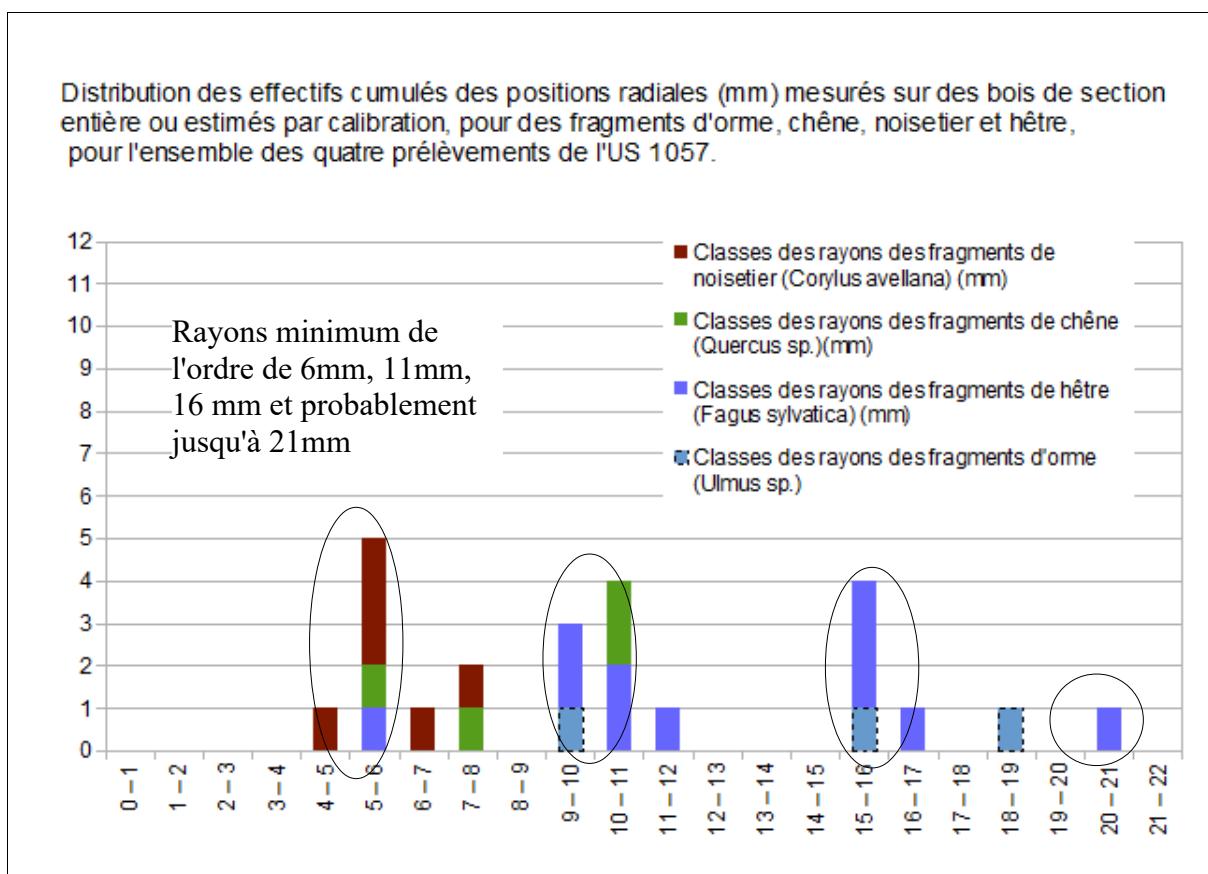


Fig. 23 – Distribution des rayons directement mesurés sur des fragments de section entière ou positions radiales calculées par calibration pour des fragments de chêne, noisetier, hêtre et orme, par classe de 1 mm, pour les quatre prélèvements de l'US 1057.

## 4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 150 fragments ont été observés pour les quatre prélèvements provenant de la couche charbonneuse US 1057 (Fig. 1).

Les analyses des quatre prélèvements ont livré des associations taxonomiques assez semblables de cinq à six essences maximum.

### 4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

Cinq à six taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude.

Il est bien sûr difficile d'interpréter directement les compositions anthracologiques en termes de paléo-paysages, car les proportions de chaque essence sont avant tout liées aux aléas des aires de ramassages mais aussi aux usages du combustible. Dans le cadre de cette étude, des choix techniques en lien avec la qualité de combustibilité du chêne, du hêtre, de l'orme ou bien des choix orientés vers des bois d'allumage tel que le noisetier sont très probables.

L'identification des taxons ligneux permet toutefois de proposer différentes associations écologiques (Rameau *et al.*, 1989) (Fig. 24) :

- **Le groupement forestier de la chênaie diversifiée et/ou chênaie-hêtraie** avec le chêne, (chêne-châtaignier), le hêtre, l'érable, voire aussi l'orme et le noisetier,
- **les boisements clairs, lisières forestières et haies** : avec la détection du noisetier, de l'érable, voire de l'orme,
- **les boisements frais ou humides** (zone alluviales, proximité de zone humide) avec l'orme, voire le noisetier.

Les moyennes de largeurs de cernes calculées sur des fragments de chêne de moyen calibre indiquent de faibles croissances avec des valeurs allant essentiellement de 1,2 mm/an à 1,3mm/an.

Cela suggère des ramassages dans des boisements soumis à des contraintes de croissance, peut-être des boisements denses ou associés à des sols pauvres, humides ou mal exposés.

Remarque : la moyenne calculée pour le prélèvement n°26 (1,94 mm / an) est à considérer avec prudence car basée sur seulement deux fragments (Fig. 20).

Résultats pour l'ensemble des prélevements n°26, 35, 36, 37 (US 1057)	
<b>Groupes forestiers de la chênaie (chêne, chêne-châtaignier), chênaie-hêtraie (chêne - hêtre)</b>	
<b>Boisements clairs, haies lisières (noisetier - érable)</b>	
<b>Boisements frais, humides (orme)</b>	
<b>Graines carbonisées (dont céréales)</b>	

Fig. 24 – Tableau montrant les différents types de boisements identifiées à l'intérieur de la composition anthracologique. Le nombre de symboles permet d'estimer l'importance de chaque formation végétale explorée.

Les quatre prélevements charbonneux sont composés par cinq à six essences : le chêne, chêne-châtaignier, hêtre, orme, érable et noisetier. Leur détection récurrente suggère des choix délibérés, probablement motivés par des considérations techniques liées aux qualités de combustibilité de ces essences, en rapport avec le fonctionnement du four.

Ce sont des espèces que l'on retrouvent en partie dans les groupements forestiers de la chênaie, chênaie-hêtraie (chêne, chêne-châtaignier, hêtre, érable), des boisements clairs (noisetier, érable). L'orme par son caractère hygrophile suggère des collectes dans des secteurs plus frais, plus humides.

A noter la détection de quelques fragments de graines dont certaines de type céréale (Fig. 28). Leur présence pose question, car il s'agit probablement de dépôts « accidentels », à moins que la combustion ait été associée aux traitements des graines, ce qui n'est à priori pas le cas. Cela contraste avec les choix « motivés » des autres essences.

Les choix de combustibles étant déterminés avant tout par des contraintes techniques de combustibilité, il faut envisager des circuits d'approvisionnement élargis, impliquant le recours à des ressources potentiellement éloignées des lieux de consommation.

## 4.2. Informations d'ordre ethnographique

Le nombre relativement restreint des principales essences identifiées (chêne, hêtre, orme) plaident en faveur de choix délibérés, vraisemblablement motivés par des considérations techniques liées aux qualités de combustibilité de ces essences.

L'analyse statistique de l'ensemble anthracologique de l'US1057 par l'intermédiaire de graphiques exprimant l'indice de concentration de Pareto (selon le principe développé par Chabal *et al.*, 1999), confirmèrent l'hypothèse de sélections intentionnelles des essences et non de collectes opportunistes de type « tout-venant ». Ce type d'assemblage sélectif est généralement associé à des chaînes opératoires spécifiques, souvent liées à des activités artisanales, en cohérence donc avec le contexte de four.

Les essences telles que le chêne, le hêtre, l'orme voire l'érable sont des bois denses (ou semi-denses dans le cas de l'érable), produisant des braises se consumant lentement et à fort rendement énergétique. Ces essences peuvent ainsi être considérées comme d'« excellents » combustibles. En revanche, leur mise à feu peut être plus difficile, ce qui implique généralement l'usage de bois d'allumage, en particulier des essences plus tendres (noisetier) ou des bois de petit calibre. L'emploi de petites branches ont dû jouer le rôle de « facilitateur de l'allumage » et « d'activateur » des combustions. Il ressort de cet assemblage un équilibre entre des essences à fort pouvoir calorifique se consumant lentement (chêne, hêtre, orme, érable) et des essences plus inflammables représentées par le noisetier.

Notons aussi la forte proportion de fragments issus de bois de petit calibre, y compris de chêne, dans les quatre prélèvements. Quelques calculs de calibration réalisés ont permis d'évaluer des rayons minimum de 6 à 21 mm. L'emploi de ces petits bois a dû générer des combustions assez intenses.

De manière générale, les charbons présentant des fentes de retrait (aspect fendu) sont en faible proportion (environ 6,5%). Cela suggère que les bois utilisés étaient secs (non verts) au moment de leur emploi. Il est très probable que le combustible ait fait l'objet d'un stockage préalable afin d'obtenir un bois sec et ainsi de meilleures combustions.

Enfin, concernant l'aspect des charbons, les proportions de fragments d'aspect luisant apparaissent assez faibles (environ 12,5%). Les aspects luisants sont généralement considérés comme caractéristiques de conditions de combustion intenses et réductrices (Blaizot *et al.*, 2004). Toutefois, les mécanismes en jeu sont complexes et dépendent de multiples facteurs : les essences utilisées, leurs états (bois vert ou sec), le calibre (un calibre réduit favoriserait le phénomène selon Oilic, 2011), le volume de combustible employé ainsi que sa position dans la structure de combustion (au cœur ou en périphérie). Dans l'ensemble, la prédominance de charbons d'aspect mat suggère des combustions plutôt bien oxygénées, de type foyer ouvert donc(?), ce qui va à l'encontre des combustions plutôt « chaudes et réductrices » généralement associées aux fours et plus particulièrement à un four dont la fonction serait associée à des activités de réduction de métal.

## 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.
- MARCOUX N., 2009 - Les bois utilisés comme combustible dans l'atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer in SARRESTE F., Archéologie dans le Silléen, Rapport d'opérations archéologiques programmées. Roche-Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe). p. 20-39.
- MARGUERIE D., BERNARD V., BEGIN Y., TERRAL J.-F., 2010 – Dendroanthracologie p. 311-347 in PAYETTE S., FILION L., *La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications*. Presses de l'Université Laval, Québec
- MARGUERIE D., HUNOT J.-Y. 2007 – *Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France*. Journal of Archaeological Science. p. 1417-1433
- MARGUERIE D., 1992a - *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie Rennes, 40, 262 p.
- MARGUERIE D., 1992b - Charbons de bois et paléoenvironnement atlantique. *Dossier A.G.O.R.A. Les bois archéologiques*, n°2, p. 15-20.
- MCPARLAND L.C., COLLINSON M.E., SCOTT A.C., CAMPBELL G., VEAL R., 2010 - Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science*, doi: 10.1016/j.jas.
- NICOLAS E., BLANCHET A., BRISOTO V., CHEREL A.-F., DAOULAS G., GUITTON V., HENAFF A., HINGUANT S., JOUANET N., LABAUNE-JEAN F., LE FORESTIER S., SEIGNAC K., 2013 - Châteaulin (29). *Penn ar Roz : un site d'activité métallurgique protohistorique et antique*. Rapport de fouille, Cesson Sévigné, Inrap, Grand ouest, 2013, 364 p.
- OILIC J.-C., 2011 – *Végétation, peuplement, métallurgie en Brocéliande : étude interdisciplinaire de la forêt de Paimpont (Bretagne, France) depuis le Tardiglaciaire*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 320 p.

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

PRIOR J., ALVIN K. L., 1986 - *Structural changes on charring woods of Dichrostachys and Salix from southern Africa : The effect of moisture content*. International Association of Wood Anatomists. Bulletin (Special issue), 7, p. 243 – 249.

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

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

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

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

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

## 6. ANNEXE – Photographies



Fig. 25 – Fragment d'orme (*Ulmus sp.*) de courbure intermédiaire. Coupe transversale. Grossissement x20. Prélèvement n°36. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 26 – Fragment d'érable (*Acer sp.*). Coupe transversale. Grossissement x19. Prélèvement n°36. L'échelle représente des millimètres.

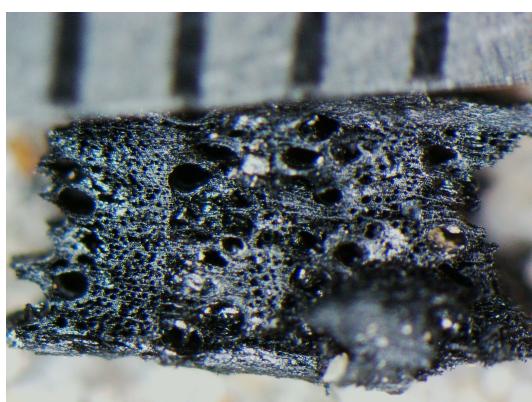


Fig. 27 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) de courbure intermédiaire. Coupe transversale. Grossissement x28. Prélèvement n°36. L'échelle représente des millimètres.

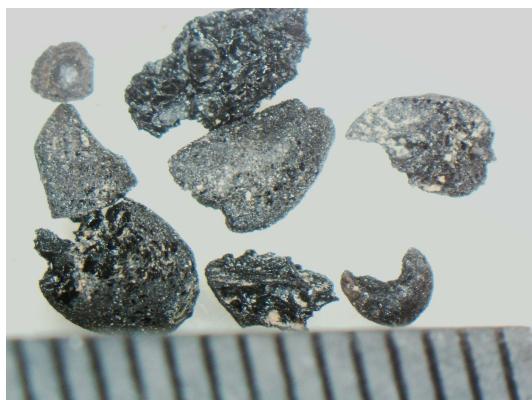


Fig. 28 – Fragment de graines, voire de pépins (?) observés dans le prélèvement n°36 (refus de tamis maille 2). Grossissement x38. L'échelle représente des millimètres.