



ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS RÉALISÉS
LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE
DU SITE « LES BOISSELÉES, TRANCHE 2 »,
SUR LA COMMUNE DE LA MARNE (44).**

OPÉRATION : OA 187535



**PÔLE ARCHÉOLOGIQUE DE
LOIRE-ATLANTIQUE**

Septembre 2024

Conseil Départemental de Loire-Atlantique

Pôle archéologique

Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site « Les Boisselées, Tranche 2 », sur la commune de La Marne (44). Site du Haut Moyen-Âge (VIe-Xe s.).

Opération : OA 187535

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

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

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Septembre 2024

Illustration de la page de couverture :

Fragment de brindille de chêne (Quercus sp.), vue en coupe transversale, grossissement x20 (l'échelle représente des millimètres). Prélèvement de l'US6 - US7.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS	5
2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION	8
2.1. Équipement d'observation.....	8
2.2. Méthodologie.....	9
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux	15
2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration »	17
2.5. La sélection de fragments charbonneux favorables à des datations radiocarbone.....	19
2.6. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	20
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION	22
3.1. Prélèvement de l'US8/US10.....	22
a. Résultats	22
b. Interprétations	24
3.2. Prélèvement de l'US6/US7.....	27
a. Résultats	27
b. Interprétations	28
4. BILAN	30
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	31
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	33
5. BIBLIOGRAPHIE	35
6. ANNEXE – Photographies	37
7. ANNEXE – Inventaire des fragments sélectionnés pour datations radiocarbone	38
7.1. Prélèvement US6/US7.....	38
7.2. Prélèvement US8/US10.....	39

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une opération archéologique préventive menée sur le site de « Les Boisselées, tranche 2 » sur la commune de La Marne (44) (opération OA 187535).

Selon la description livrée par l'archéologue, « l'occupation principale est attribuée au 1er Moyen-Âge (VIe-Xe s.). L'emprise de la fouille menée à l'automne 2023 correspondrait à un secteur périphérique de l'habitat rural des Boisselées. Des fossés parcellaires ayant livrés de rares tessons médiévaux ont été mis au jour, ainsi qu'un petit enclos trapézoïdal vide de structure archéologique et interprété comme un potentiel enclos à bestiaux. En outre, quelques fosses et trous de poteaux ont été découverts mais aucun plan de construction se distingue franchement. Aucune activité artisanale n'a été identifiée. »

Les prélèvements sont issus de la seule et unique structure de combustion identifiée sur le site (Foyer F381). Les deux prélèvements proviennent de deux niveaux de comblement (Fig. 1 et 2).

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

- Tenter de percevoir l'origine des charbons. Au regard du type de structure de combustion, il s'agit très probablement de restes de combustibles, mais l'hypothèse reste à confirmer,
- s'il s'agit bien 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,
- existe-t-il des différences entre les compositions anthracologiques des deux US,
- 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-présentée a été dirigée par Mme Léa Clouet, responsable d'opération.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

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

Les deux prélèvements analysés sont issus de deux niveaux appartenant à une même structure (foyer F381). Au total ce sont un peu plus de 170 fragments qui ont été étudiés (Fig 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE						
Commune :		La Marne (44)				
Nom de l'opération / Lieu-Dit :		Les Boisselées - Tr 2				
Année :		2023				
N° OA :		187535				
Resp. d'Op. ; commanditaire		L. CLOUET				
Type d'opération :		Préventif				
Période d'analyse pressentie		mois de juin 2024				
US	Sondage	Structure	Type	Datation	Volume traité (Volume total disponible)	Nombre de charbons observés
US6 - US7	SD 45	F381	Foyer	1er Moyen-Âge (VIe - Xe s.)	12 kg (10l) ; Refus de tamis 2mm	87
US8 - US10					11kg (10l) ; Refus de tamis 2mm	87
						174

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



Fig. 2 - Photographie du foyer F381 en cours de fouille.

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

Pour les deux prélèvements, seulement sept et cinq taxons ont été identifiés. Les courbes « effort-rendement » montrent des seuils situés entre 30 et 50 fragments (Fig. 3 et Fig. 4).

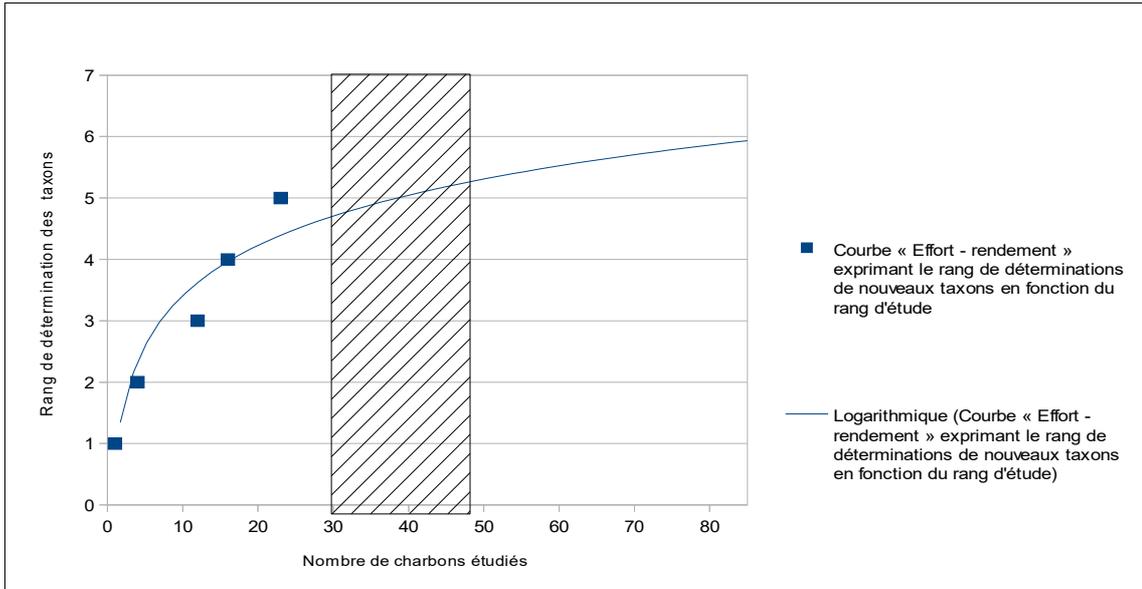


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement de l'US6 – US7. Dans cet exemple, le cinquième taxon identifié (*Cytisus sp.*) a été observé au 23e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 30 et 50 charbons. Remarque : pour la construction de la courbe, les taxons « chêne » et « chêne-châtaigner » ainsi que le « saule » et « saule-peuplier » ont été réunis dans deux taxons.

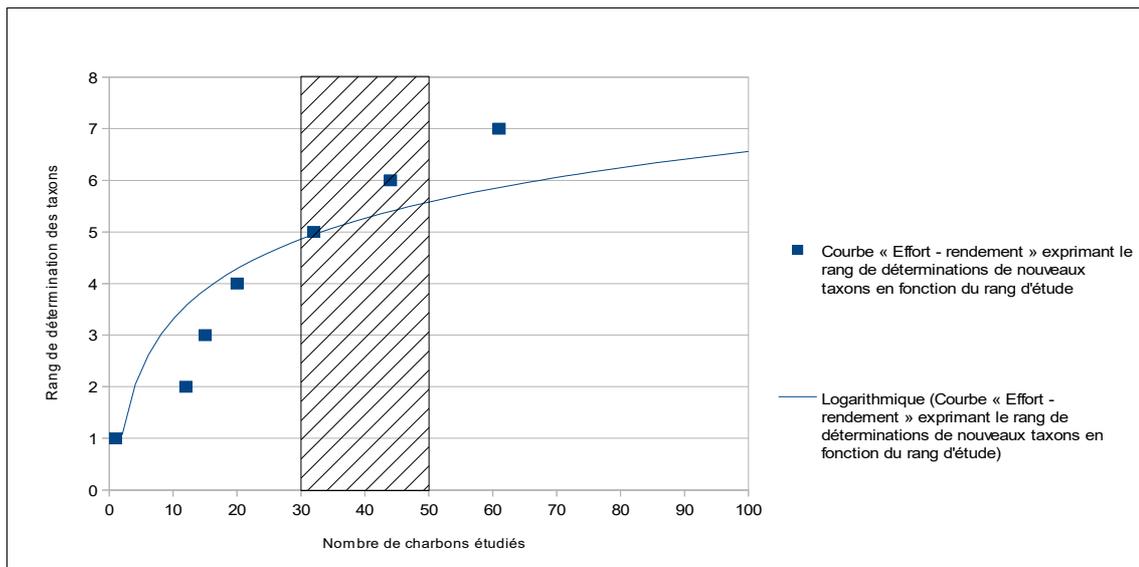


Fig. 4 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement de l'US8 – US 10. Dans cet exemple, le septième taxon identifié (*Cytisus sp.*) a été observé au 61e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 30 et 50 charbons. Remarque : Remarque : pour la construction de la courbe, les taxons « chêne » et « chêne-châtaigner » ont été réunis dans un même taxon.

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 environ 80 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. 5 - 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.

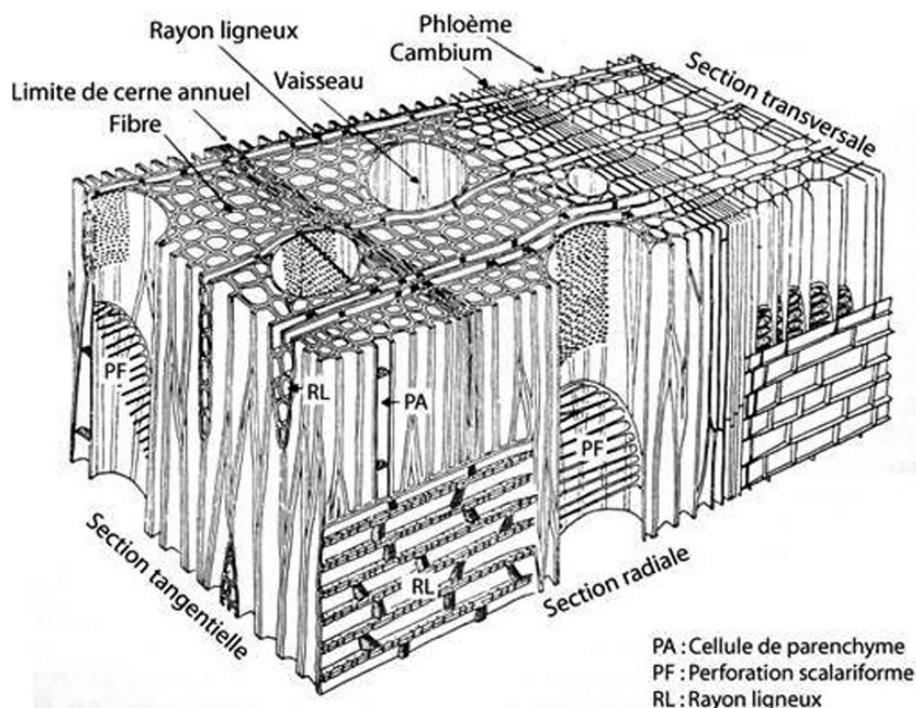


Fig. 6 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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).

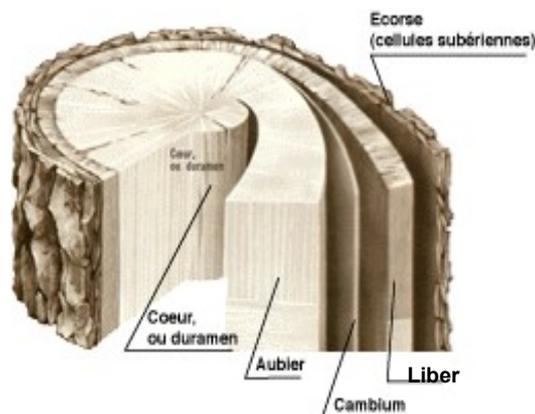
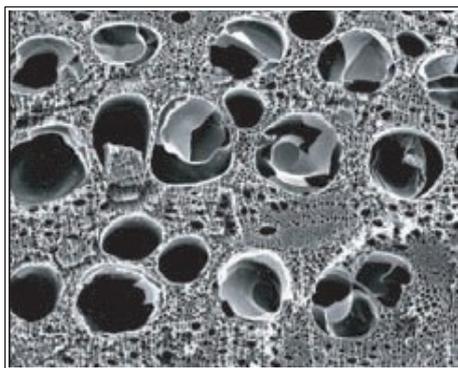
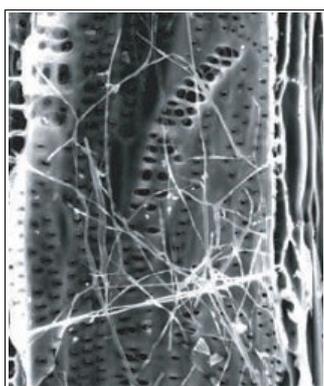


Fig. 7 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à 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.

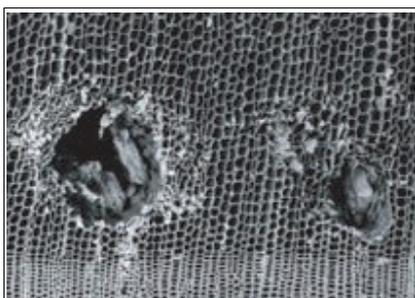
Fig. 8 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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. 9 – 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. 10 – 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.

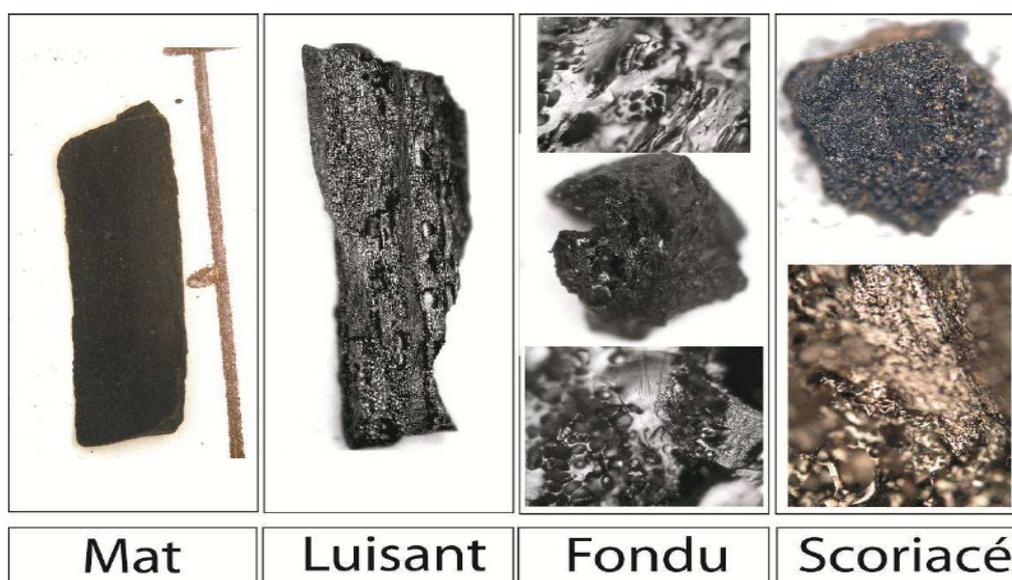
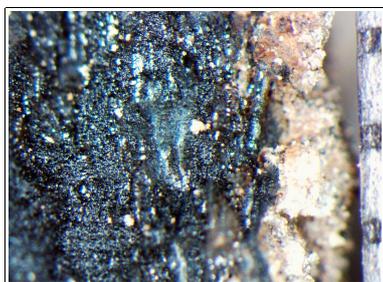


Fig. 11 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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. 12) a donc parfois été utilisé.

Fig. 12 – 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.

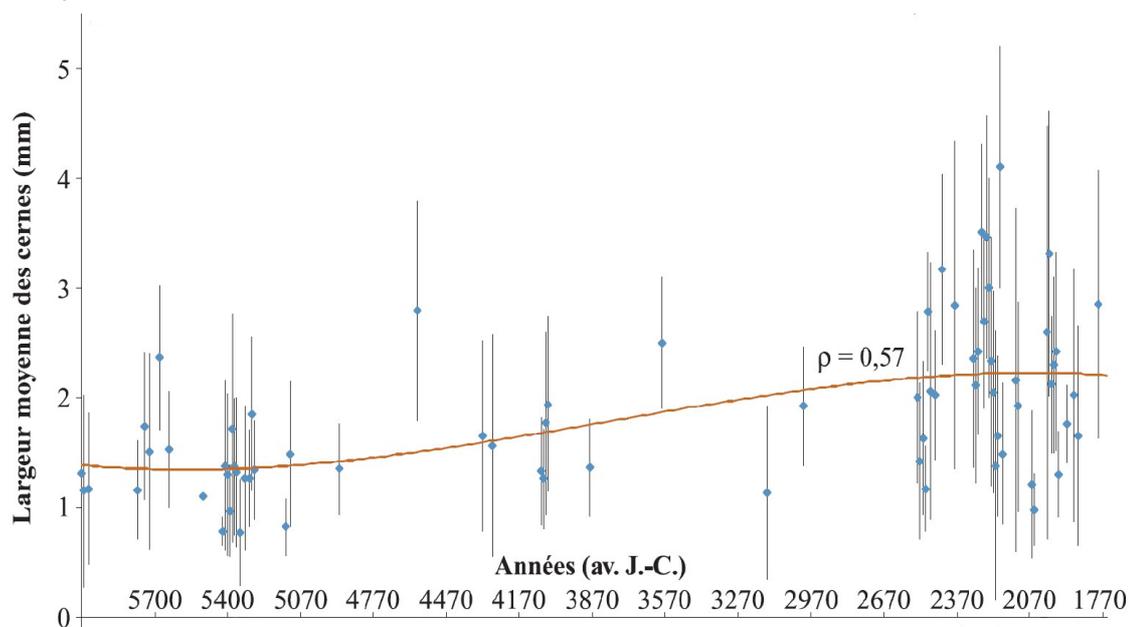


Fig. 13 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 13). 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. 14). 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.

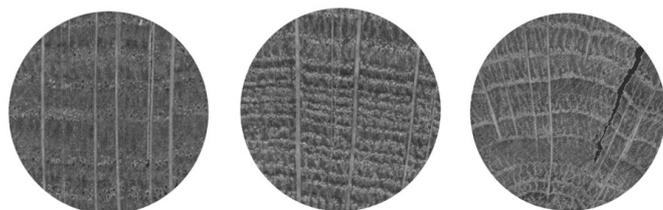


Fig. 14 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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. 15). 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. 15).

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).

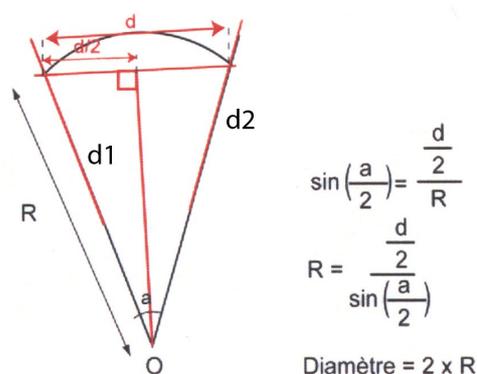


Fig. 15 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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. 16, 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.

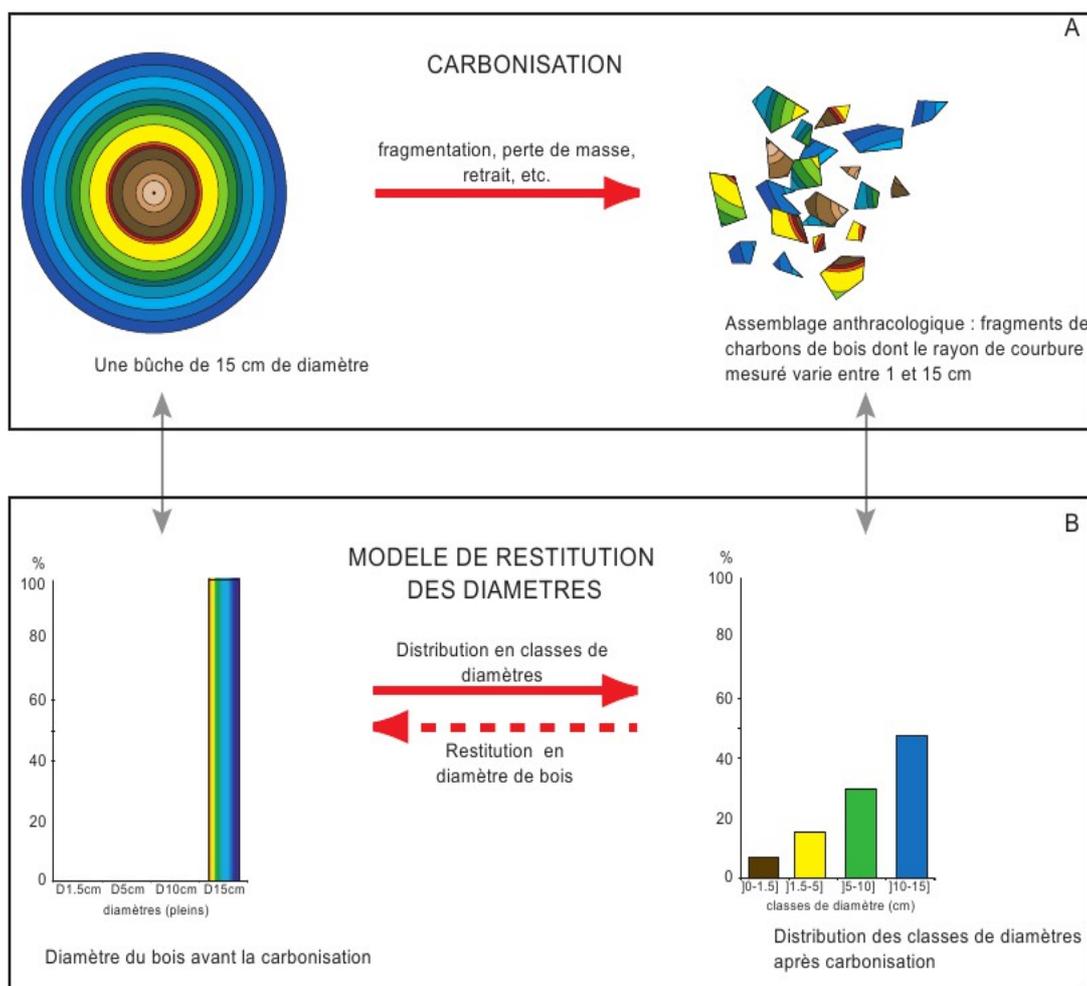


Fig. 16 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

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. La sélection de fragments charbonneux favorables à des datations radiocarbone.

Afin d'éviter « l'effet vieux bois » (certains arbres peuvent potentiellement vivre plusieurs siècles), il faut chercher des fragments correspondant soit à des parties d'arbre ayant eu une durée de vie courte (ex. brindilles, bois de petit calibre, graines carbonisées), soit des fragments provenant des dernières années de vie de l'arbre (ex. l'aubier). L'indice de priorité est basé sur ce principe.

On sélectionnera de façon prioritaire les fragments :

- de section entière avec une forte courbure de cerne, correspondant potentiellement à des brindilles. Dans la mesure du possible ces fragments devront présenter à la fois la moelle et l'écorce (cambium),
- appartenant à l'aubier (ex. pour le chêne, les charbons ne présentant pas ou peu de thylles),
- dont les essences n'ont pas une trop grande durée de vie (ex. la longévité du genêt est de l'ordre de 25 ans maximum, 50 ans pour le saule, mais potentiellement 500 à 1000 ans pour le chêne...).

En fonction de ces critères nous avons donné trois valeurs à cet indice :

0. Non prioritaire,

1. favorable à la datation.

2. très favorable à la datation.

Après avoir été étudiés et sélectionnés, les charbons ont ensuite été isolés dans des tubes numérotés et placés dans des sachets correspondant à chaque prélèvement. En vue d'obtenir des datations les plus précises possible, nous avons fait en sorte d'isoler chaque fragment par tube.

Dans la mesure du possible, nous avons aussi tenté d'identifier les taxons anthracologiques et faire des observations dendrologiques classiques (type de courbure de cerne, type d'aspect, présence ou pas de thylles, moelle, écorce...).

Les résultats sont présentés sous la forme de tableaux et placés en Annexe.

Pour chaque échantillon, nous proposons un tableau de synthèse par taxon, avec différents critères dendrologiques (type de courbure de cerne, rythme de croissance, type de combustion) et indice de priorité pour des datations radiocarbone.

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

L'étude a permis de déterminer huit à dix taxons anthracologiques. La composition taxonomique des ensembles étudiés doit être interprétée en tenant compte de choix particuliers de combustibles. En effet, la diversité des essences qui est parfois constatée n'est pas forcément le reflet d'une formation végétale ligneuse naturelle environnant le site. En l'absence de véritable association taxonomique, il n'est alors pas possible d'avancer d'interprétation d'ordre paléo-écologique solide.

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

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

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

Remarque sur la détection du châtaignier :

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

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. Les charbons de Pomoïdées sont identifiés dans les deux prélèvements. En revanche les fragments de *Prunus* ne sont identifiés que dans le prélèvement de « l'US8-US10 ».

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 les deux prélèvements.

L'orme (*Ulmus sp.*), probablement l'orme champêtre dans l'aire géographique considérée, est une espèce héliophile présente dans 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. 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. Il est détecté dans les deux prélèvements.

Quelques éléments de **frêne** (*Fraxinus sp.*) ont été identifiés dans le prélèvement de l'US8/US10. Ce genre correspond au frêne commun (*Fraxinus excelsior*) dans la région considérée. C'est un taxon mésophile à mésohygrophile que l'on trouve dans les bois frais, aux bords des eaux, sur les versants ombragés. Il est souvent associé aux forêts ripicoles, chênaies et hêtraies-chênaies. Le feuillage est un très bon fourrage pour les animaux (Rameau *et al.*, 1989). Il est considéré comme un bon bois de chauffage car c'est un bois dense avec un pouvoir calorifique important et générant une combustion lente.

L'aulne (*Alnus sp.*), 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 d'aulne sont identifiés dans le prélèvement de l'US8/US10. En revanche, le saule/peuplier n'est identifié que dans l'US6/US7.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les ensembles anthracologiques correspondent à deux niveaux de comblement, probablement deux niveaux de fonctionnement du foyer F381.

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

3.1. Prélèvement de l'US8/US10.

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	Moelle	Ecorce	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Aspect granuleux - indet.				
Alnus sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fabacée type Cytisus	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frag. de brindille indéterminé	3	0	0	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2
Frag. écorce	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraxinus sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Pomoidée	5	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Prunus sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Quercus/Castanea	9	0	0	7	0	0	0	4	1	0	1	1	0	0	0	0
Quercus sp.	56	0	4	51	7	14	0	35	6	0	1	0	3	10	7	7
Ulmus sp.	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	87	0	4	77	7	14	1	40	9	0	2	1	3	13	11	11

Fig. 17 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de l'US8/US10, refus de tamis de maille 2 mm.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Intermédiaire	Régulier	3	12	0,66	0,19	0,54	0,88

Fig. 18 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement de l'US8/US10.

Distribution des effectifs cumulés des positions radiales (mm) mesurées sur des bois de section entière ou estimés par calibration, pour des fragments d'aulne, genêt, chêne, Pomoïdeae, prunellier, orme, frêne et de brindilles indéterminées pour le prélèvement de l'US8 - US10.

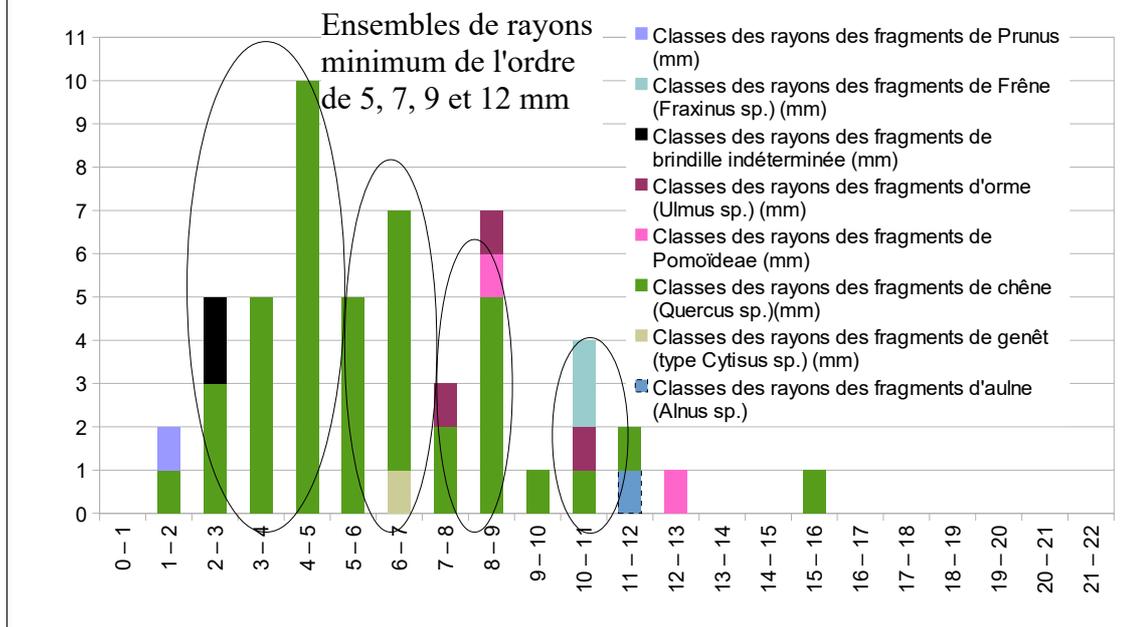


Fig. 19 - Distribution des rayons mesurés ou des positions radiales calculées pour les fragments d'aulne, genêt, chêne, Pomoïdées, genre Prunus, orme, frêne et brindilles indéterminées par classe de 1 mm, pour le prélèvement de l'US8/US10.

b. Interprétations

Sept à huit taxons anthracologiques ont été identifiés pour ce prélèvement de l'US8/US10. Il s'agit par ordre d'importance de fragments de chêne (*Quercus sp.*), de chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*), de Pomoïdée, d'orme (*Ulmus sp.*) et de quelques occurrences de frêne (*Fraxinus sp.*), de *Prunus*, d'aulne (*Alnus sp.*), de Fabacée de type genêt (*Cytisus 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 2.6.).

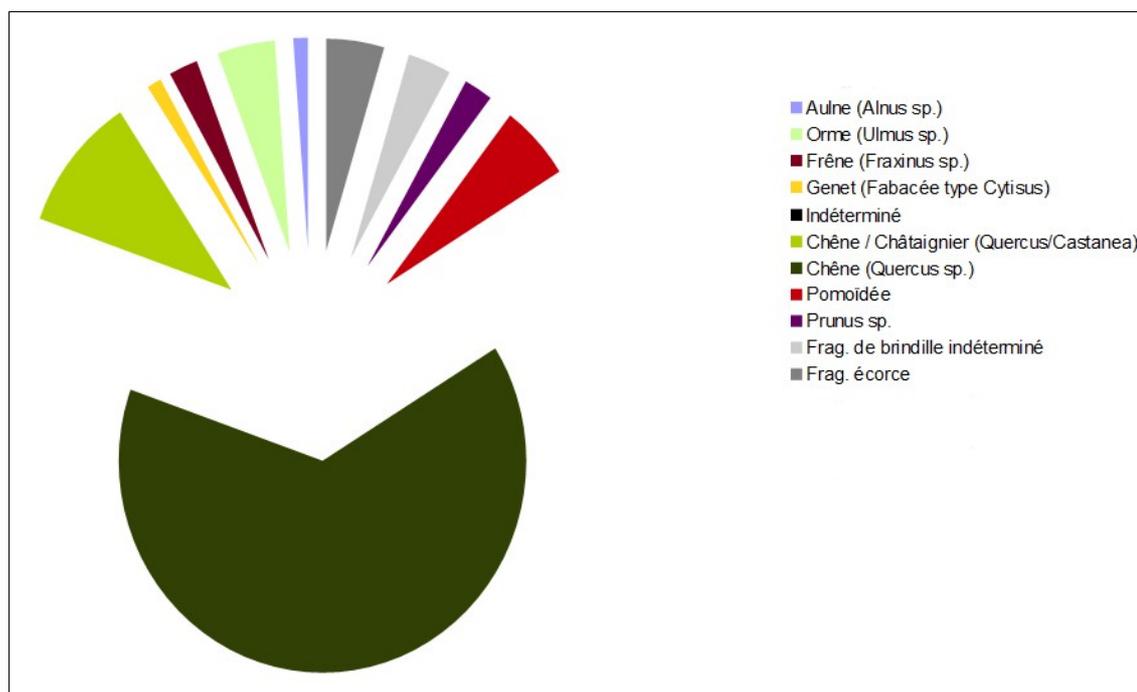


Fig. 20 – Représentation sous la forme d'un « camembert éclaté » des proportions des différents taxons identifiés pour le prélèvement de l'US8/US10.

Les essences telles que le chêne, le frêne, mais aussi le bois du genre *Prunus* ou de Pomoïdée (souvent de petit calibre) sont des bois denses, générant des braises avec beaucoup d'énergie et dans la durée. Ils peuvent être qualifiés d'« excellents » combustibles. En revanche, l'aulne, le genêt voire l'orme (densité intermédiaire) 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 l'aulne et le genêt ont probablement été employés lors de phases d'allumage.

L'observation des courbures de cernes montre des fragments avec des courbures fortes à 95%. Aucun charbon ne montre de faible courbure de cerne. Ce sont donc principalement des bois de petit calibre, voire de brindilles qui ont été utilisés. Des estimations de rayons minimum ont pu être réalisées sur une cinquantaine de fragments de section entière ou partielle (Fig. 19). L'histogramme montre l'emploi de bois de chêne d'environ 5 à 12 mm de rayon. Les estimations de calibre réalisées sur les autres essences sont du même ordre de grandeurs.

De façon générale, les charbons montrant des fentes de retrait sont en faibles proportions (environ 14%). Ces observations caractérisent un bois brûlé à l'état sec (non vert). Ce constat implique une sélection du bois, lors de la collecte peut-être aussi un stockage préalable à l'emploi.

En ce qui concerne l'aspect des charbons, la proportion de charbons d'aspect luisant est importante (environ 60%). Ces aspects luisants peuvent être interprétés comme un premier stade de « phénomènes de vitrification », typiques de conditions de combustions chaudes et relativement peu oxygénées (Blaizot *et al.*, 2004). Mais dans le cas ci-présent, la combustion de bois de petit calibre a pu favoriser une combustion intense favorisant le phénomène (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. Notons que les effectifs des deux taxons « chêne » et « chêne-châtaignier » ont été rassemblés. (Fig. 21).

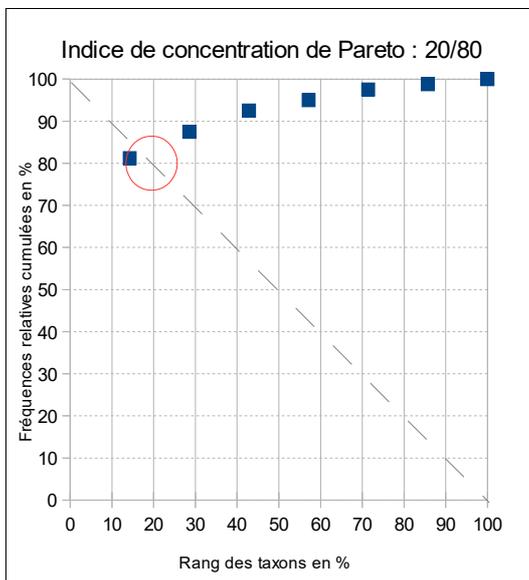


Fig. 21 – Indice de concentration de Pareto réalisé sur la composition anthracologique du prélèvement de l'US8/US10, soit 80 charbons. Notons que les charbons de chêne et chêne-châtaignie ont été rassemblés dans un même taxon.

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 (genêt), tendraient aussi à renforcer cette hypothèse.

Enfin, quelques mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur 3 fragments de chêne permettant de calculer une moyenne d'environ 0,66 mm / an (Fig. 18). Cette moyenne est caractéristique de contextes de croissance difficiles, peut-être un environnement contraignant (sols pauvres, mal exposés) ou un milieu soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense). Compte tenu du faible nombre de charbons mesurés, il faut considérer ce résultat avec prudence.

3.2. Prélèvement de l'US6/US7.

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion							Thylle	Traces travail	Moelle	Ecorce		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur / Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform.	Aspect granuleux - indet.						
Fabacée type Cytisus	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Frag. de brindille indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frag. écorce	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Pomoidée	4	0	0	2	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	5	0	1	4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	66	0	2	58	3	32	0	43	10	0	1	0	0	0	6	1	10	6	
Salix/Populus	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salix sp.	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Ulmus sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	87	0	3	73	3	32	0	51	10	0	2	1	1	6	1	12	7		

Fig. 22 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de l'US6/US7

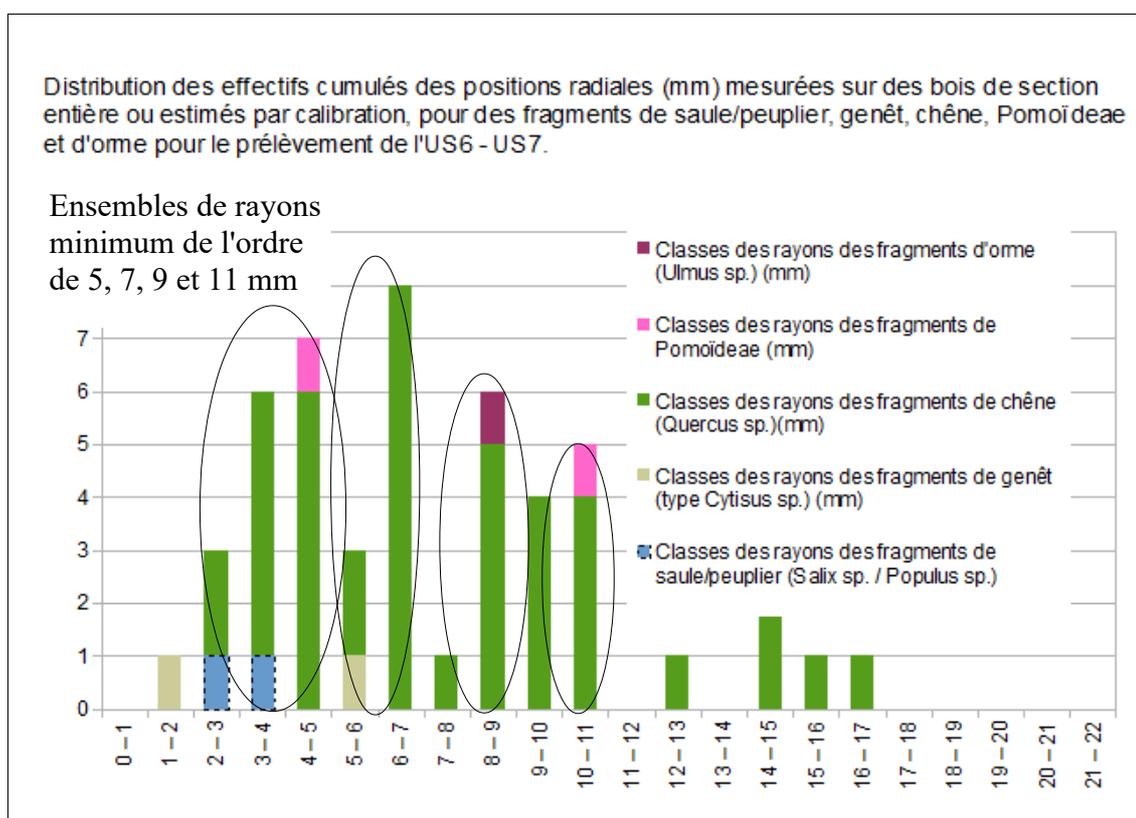


Fig. 23 – Distribution des rayons mesurés ou des positions radiales calculées pour les fragments de saule, saule/peuplier, genêt, chêne, Pomoïdées et d'orme par classe de 1 mm, pour le prélèvement de l'US6/US7.

b. Interprétations

Un peu plus de 80 charbons ont été observés dans ce prélèvement. L'ensemble charbonneux s'est révélé assez peu diversifié avec cinq à sept taxons anthracologiques identifiés.

Comme pour le prélèvement de l'US8/US10, l'ensemble est principalement composé de charbons de chêne et chêne-châtaignier (*Quercus sp.*, *Quercus sp. / Castanea sp.*). On retrouve aussi en second choix, le bois de Pomoïdée. Suivent ensuite, en petites quantités des fragments de saule (*Salix sp.*), de saule-peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*), d'orme (*Ulmus sp.*) et de genêt (*Cytisus sp.*).

Notons aussi la détection de quelques fragments d'écorce et de brindilles indéterminées (Fig. 24).

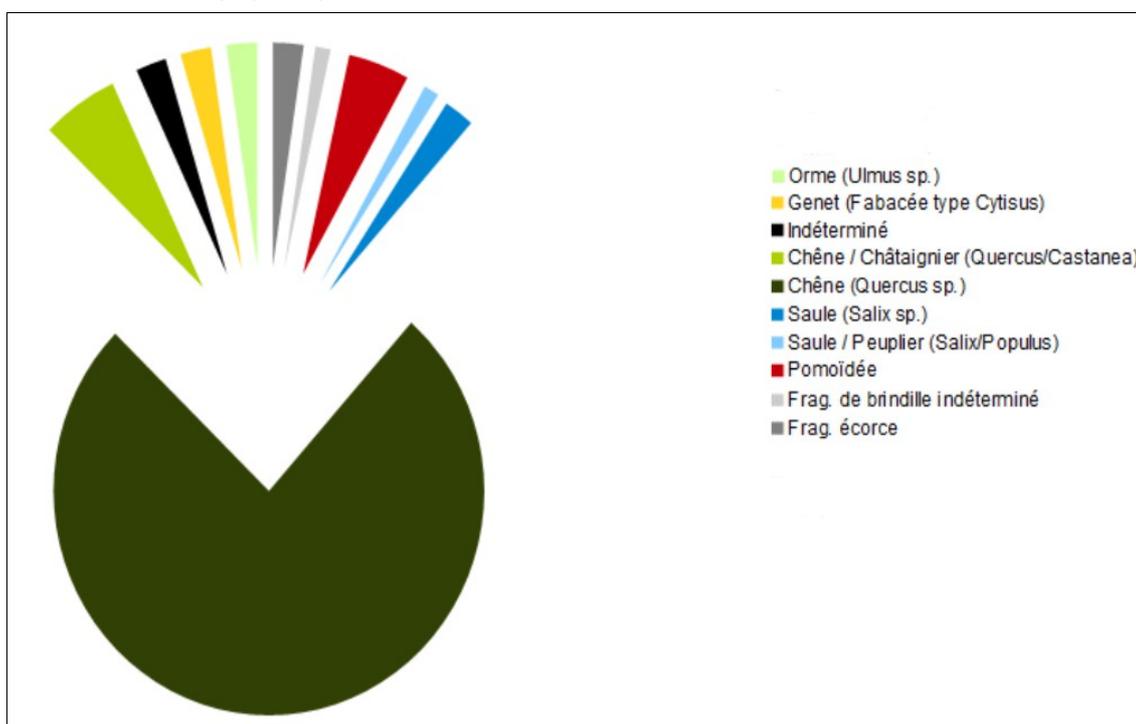


Fig. 24 – Représentation sous la forme d'un « camembert éclaté » des proportions des différents taxons identifiés pour le prélèvement de l'US6/US7.

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. 22). Ce sont donc là aussi des bois de petit calibre et des brindilles qui ont été utilisés. Des estimations de rayon minimum ont été réalisées sur une cinquantaine de fragments de section entière ou partielle (Fig. 23). L'histogramme montre l'emploi de petites branches de chêne d'environ 5 à 11 mm de rayon. Quelques mesures faites sur des charbons de saule, genêt et Pomoïdée indiquent aussi des estimations dans cette gamme de rayons.

Assez peu de charbons munis de fentes de retrait ont été observés (13%). Les bois ont donc été brûlés à l'état sec.

La proportion de fragments d'aspect luisant est en revanche importante, environ 70%. Là aussi on peut évoquer le petit calibre des bois, impliquant une combustion vive, pour expliquer le phénomène (Oilic, 2011).

En vue de caractériser le type de ramassage, un graphique exprimant l'indice de concentration de Pareto a été réalisé sur la base de 82 charbons correspondant à cinq taxons anthracologiques (Fig. 25).

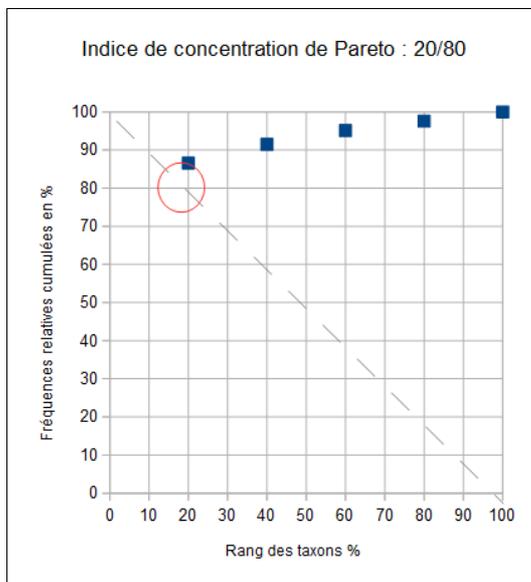


Fig. 25 - Indice de concentration de Pareto réalisé sur la composition anthracologique du prélèvement de l'US6/US7, soit 82 charbons. Les effectifs des charbons de chêne et chêne-châtaigner, de saule et saule/peuplier ont été rassemblés.

Là encore, même si le nombre de taxons est assez faible, le graphique montre que les proportions des taxons anthracologiques reflètent assez bien le rapport d'équilibre constaté dans la nature (cf. dans un environnement naturel en équilibre, 20% des taxons correspondent à environ 80 % de la biomasse). Cela est plutôt caractéristique de collectes de bois de « tout venant », à rapprocher des usages domestiques (cf. interprétation du prélèvement de l'US8/US10).

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 170 fragments ont été observés pour les deux prélèvements (Fig. 1).

Légende	Prélèvement de l'US6 / US7	Prélèvement de l'US8 / US10
<ul style="list-style-type: none"> ■ Aulne (Alnus sp.) ■ Orme (Ulmus sp.) ■ Frêne (Fraxinus sp.) ■ Genet (Fabacée type Cytisus) ■ Indéterminé ■ Chêne / Châtaignier (Quercus/Castanea) ■ Chêne (Quercus sp.) ■ Saule (Salix sp.) ■ Saule / Peuplier (SalixPopulus) ■ Pomoidée ■ Prunus sp. ■ Frag. de brindille indéterminé ■ Frag. écorce 		
Nombre de charbons étudiés.	87	87
Diversité (chêne et chêne-châtaignier, saule et saule-peuplier sont séparés)	7	8
Courbures des cernes	Forte : 96% Intermédiaire : 4% Faible :	Forte : 95% Intermédiaire : 5% Faible :
Fréquences des charbons d'aspect « luisant »	73,00%	59,00%
Fréquences des charbons avec fentes de retrait	11,00%	14,00%
Graphiques de l'indice de concentration de Pareto	<p>Indice de concentration de Pareto : 20/80</p> <p>Hypothèse de ramassages de « tout venant ».</p>	<p>Indice de concentration de Pareto : 20/80</p> <p>Hypothèse de ramassages de « tout venant ».</p>
Moyennes de largeurs de cerne (mm)		Moyenne = 0,66 mm (N=3 ; Ec-type = 0,19 mm)

Fig. 26 – Tableau synthétisant les principales caractéristiques (proportion des différentes essences, diversité, courbures des cernes, aspects luisants, aspects fendus, indices de concentration de Pareto) des deux compositions anthracologiques.

4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

Huit à dix taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude. Le chêne et le chêne-châtaigner ont été déterminés de façon majoritaire. Des fragments de Pomoïdées, d'orme et de genêt ont aussi été observés dans les deux prélèvements (Fig. 26).

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 orientés vers des bois de petit calibre sont probables...

L'identification des taxons ligneux permet toutefois de proposer différentes associations écologiques (Rameau *et al.*, 1989) (Fig. 27) :

- **le groupement forestier de la chênaie diversifiée** avec le chêne, (chêne-châtaigner) et potentiellement l'orme et le frêne.

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. Cette absence avait déjà été remarquée sur les prélèvements anthracologiques correspondant à la période médiévale d'un site situé à quelques kilomètres, sur la commune de Paulx (opération « Les Ouchettes » OA 187078, RO. A. Levillayer ; Gaudin 2024a). L'étude palynologique réalisée sur le même site de Paulx (Gaudin, 2024b) pour des niveaux médiévaux avait pourtant enregistré des pollens de hêtre.

Il pourrait donc s'agir soit de choix techniques, mais plus probablement d'une absence dans le paysage local. Les pollens de hêtre détectés pourraient provenir de boisements forestiers lointains.

- **les boisements clairs, lisières forestières et haies** : avec la détection de la famille des Pomoïdées, du genre *Prunus*, du frêne et de l'orme,
- **les formations de friches, fruticées, landes, fourrés** sont suggérées par l'association de ligneux de la famille des Fabacées comme le genêt (*Cytisus scoparius*) ou l'ajonc (*Ulex sp.*) voire aussi du genre *Prunus* et des Pomoïdées,
- **les boisements hygrophiles** (zone alluviales) sont identifiés avec le saule/peuplier, l'aulne.

	Prélèvement de l'US6 / US7	Prélèvement de l'US8 / US10
Groupes forestiers de la chênaie diversifiée		
Boisements clairs, haies, lisières		
les formations de friches, landes, fourrés, fruticées		
Boisements humides	(Saulé, Saule-peuplier) 	(Aulne) 

Fig. 27 – Tableau montrant les différents types de boisements explorés en fonction des différents contextes de prélèvement.

Les quatre formations ligneuses sont détectées dans les prélèvements des deux US (Fig. 27). Cela suggère de mêmes aires de ramassages du bois pour les compositions anthracologiques des deux US.

Les mesures de largeurs de cernes effectuées sur trois fragments de chêne de moyen calibre du prélèvement de l'US8/US10 ont permis de calculer une moyenne de 0,66mm / an (Fig. 26). Cette valeur correspondrait à un contexte de croissance difficile, 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). Toutefois, compte tenu du très faible effectif des fragments exploitables pour ces mesures (les charbons de fortes courbures de cernes ne peuvent faire l'objet de mesures, cf. chapitre 2.3.) Ce résultat est à considérer avec précaution.

4.2. Informations d'ordre ethnographique

Les prélèvements des deux US montrent des compositions et des qualités très semblables.

En ce qui concerne les compositions taxonomiques, on constate dans les deux cas une large prépondérance des charbons de chêne, chêne-châtaignier et dans une moindre mesure de Pomoïdée et de genêt. Les aires de collectes sont identiques (Fig. 27).

Les aspects des charbons sont assez proches. Dans les deux ensembles ce sont en très grande majorité des bois de petit, voire de très petit calibre qui ont été utilisés. La plupart des fragments montrent un aspect luisant, effet favorisé par les combustions vives des bois de petits calibres (Fig. 26).

Les deux prélèvements correspondent probablement à deux combustions distinctes mais relevant de même types de collectes et d'usages.

- Les interprétations de restes de combustibles :

Les deux ensembles anthracologiques correspondent à des restes de combustibles.

Le chêne, le frêne, mais aussi le genre Prunus et le bois de Pomoïdées, 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, mais le petit calibre des bois ainsi que les quelques branches de bois tendres (saule, aulne) employés ont dû faciliter l'allumage.

L'emploi d'un combustible composé presque exclusivement de bois de petit calibre permet potentiellement de générer des combustions vives et de fortes températures. De grandes quantités de combustible (type fagot) sont alors nécessaires pour la montée en température et surtout le maintien de la combustion dans la durée.

Pour les deux prélèvements, le calcul de l'indice de concentration de Pareto permet de mettre en évidence des collectes de bois de « tout venant », peu sélectives, ce qui est plutôt caractéristique d'usages domestiques. L'identification de quelques essences de combustibilité plutôt médiocre (genêt, saule, aulne) renforce aussi cette hypothèse.

La quasi absence de bois de gros et moyen calibre est à noter. Il pourrait s'agir de choix techniques (?), mais dans un cadre domestique, il s'agit plus probablement de choix subits, liés probablement à un manque de bois de gros calibre accessible dans l'environnement...

- Informations sur la saison de coupe :

Il a été possible d'observer le dernier cerne de croissance sur quelques fragments de section entière ou partielle. Ce dernier cerne montre assez clairement un arrêt de la croissance au niveau du bois initial (cf. Fig 28), indiquant une coupe au cours du printemps. Cela a été observé sur des charbons des deux US. Toutefois le bois a pu être stocké un certain temps avant d'être utilisé.

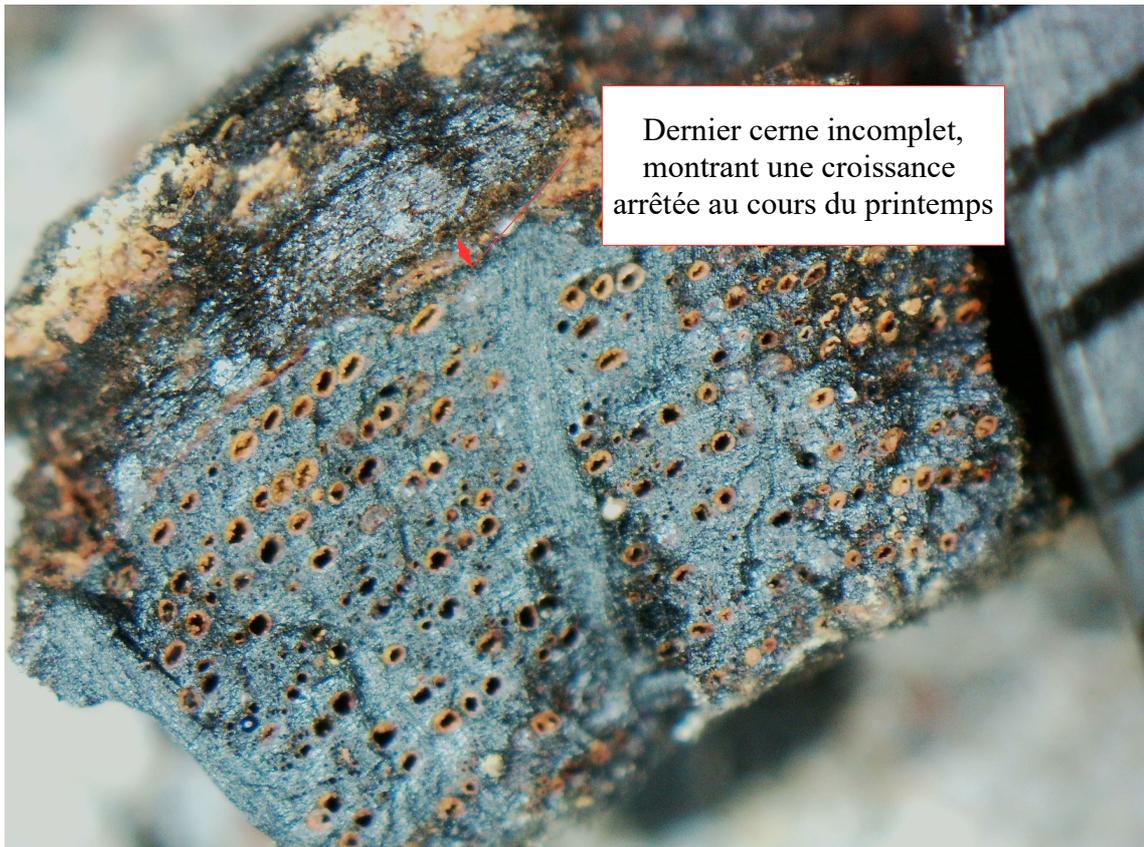


Fig. 28 – Photographie d'un charbon de l'US6/US7 montrant au niveau du dernier cerne, une croissance arrêtée au cours du printemps (le bois initial est présent mais le bois final absent).

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., 2024a - Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site de la commune de Paulx (44). Opération : 187078. 27 p. (Destinataire public : Pôle Archéologique de Loire-Atlantique. RO A. Levillayer)

GAUDIN L., 2024b - 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. 29 – Fragment d'orme (*Ulmus sp.*). Coupe transversale. Grossissement x22. Prélèvement US6/US7. L'échelle représente des millimètres.

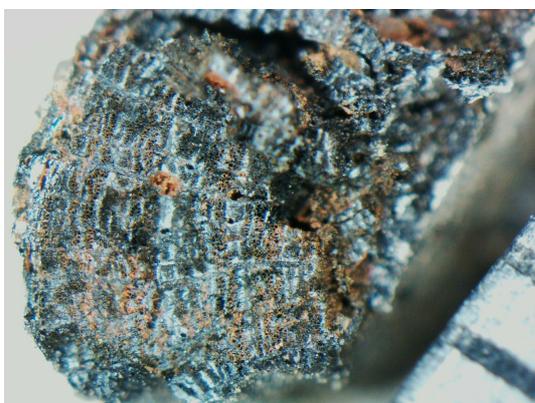


Fig. 30 – Fragment de Fabacée de type genêt (*Cytisus sp.*) de forte courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x22. Prélèvement US6/US7. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 31 – Fragment d'aulne (*Alnus sp.*). Coupe radiale. Détail d'une perforation scalariforme avec de nombreux barreaux. Grossissement x400. Prélèvement US8/US10.

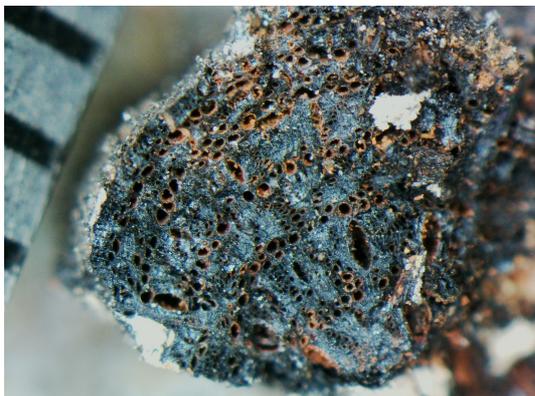


Fig. 32 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) de forte courbure. Coupe transversale. Grossissement x24. Prélèvement de l'US6/US7. L'échelle représente des millimètres.

7. ANNEXE – Inventaire des fragments sélectionnés pour datations radiocarbone.

7.1. Prélèvement US6/US7

- **Résultats**

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Thylle	Priorité
1	frag. Écorce probable	Forte	luisant	Absence	Absence	1
2	Frag. Brindille de section entière chêne	Forte	Mat	Absence	Absence	2
3	Frag. Brindille de section entière chêne	Forte	Mat	Présent	Absence	2
4	Frag. Brindille de genêt	Forte	Mat	Absence	Absence	2 (à choisir)
5	Frag. Brindille de section entière chêne	Forte	Mat	Absence	Absence	2

Fig. 33 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement « US6/US7 ».

- **Description**

L'observation globale n'a pas permis d'observer de graines, en revanche plusieurs brindilles de section entière ont été observées.

Tube 1 : Fragment d'écorce probable. Courbure forte et aspect luisant. Assez favorable.

Tube 2 : Fragment de brindille de section entière de chêne. 7-9 cernes. Très favorable.

tube 3 : Fragment de brindille de chêne avec écorce probable... Favorable.

tube 4 : Fragment de Genistae, type Cytisus? Rayon =1,7 mm ; très favorable. A choisir car le fragments correspond à quelques années de vie.

tube 5 : Fragment de chêne de 4-5 ans. Très favorable là aussi, à choisir en second choix (après tube 4) si besoin.

Remarque : quelques charbons d'orme et de saule ont été mis en tube aussi.

7.2. Prélèvement US8/US10

● Résultats

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Thylle	Priorité
1	frag.brindille indéterminée avec écorce	Forte	Mat	Présent	Absence	2
2	Frag. Brindille de section entière chêne	Forte	Mat	Présent	Absence	2(à choisir)
3	Frag.Pomoidées avec écorce	Forte	Mat	Présent	Absence	2
4	Frag.Prunus avec écorce	Forte	Mat	Présent	Absence	2
5	Frag.d'écorce	Forte	Mat	Absence	Absence	1

Fig. 34 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement « US8/US10 ».

● Description

L'observation globale n'a pas permis d'observer de graines, en revanche plusieurs brindilles de section entière ont été observées.

Tube 1 : Fragment de brindille indéterminée avec écorce. rayon = 2mm ; favorable.

Tube 2 : Fragment de brindille de section entière de chêne. 2 cernes comptés. Très favorable, à choisir en priorité.

Tube 3 : Fragment de Pomoïdée avec écorce.

Tube 4 : Fragment de Prunus avec écorce. Section entière moelle et écorce. 2-4 ans. Très favorable, à choisir en second choix (après tube 2) si nécessaire.

Tube 5 : Fragment d'écorce. Favorable.