

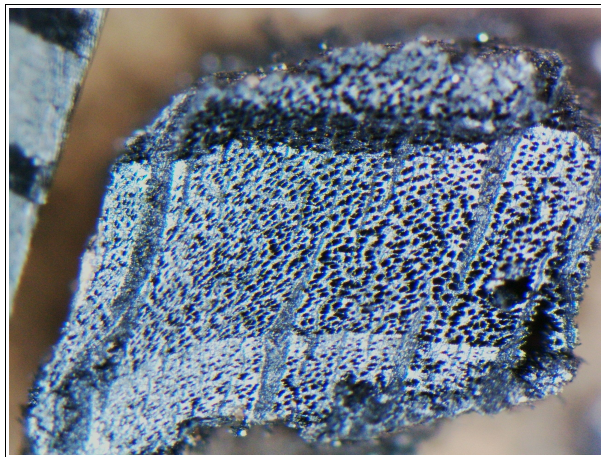


ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS
RÉALISÉS LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE
DU SITE DE « STOLZHECK »,
SUR LA COMMUNE DE HEISDORF (LUXEMBOURG).**

OPÉRATION : 2020.085



**INRA
SERVICE D'ARCHÉOLOGIE ALTO-MÉDIÉVALE**

Mai 2025

Institut National de Recherches Archéologiques

Service d'Archéologie Alto-Médiévale

**Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique
du site de « Stolzheck », sur la commune de Heisdorf (Luxembourg).**

Opération : OP. 2020.085

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

chargé de cours à l'Université de Rennes 1

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Illustration de la page de couverture :

*Fragment de hêtre (Fagus sylvatica), vue en coupe transversale, grossissement x40
(l'échelle représente des millimètres). Prélèvement n°22.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS	5
2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION	7
2.1. Équipement d'observation.....	7
2.2. Méthodologie.....	8
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux	14
2.4. La sélection de fragments charbonneux favorables à des datations radiocarbone.....	16
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	17
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION	19
3.1. Prélèvement n°12 d'une structure de type « sillon», (Structure ST 138 – US 353).....	19
a. Résultats	19
b. Interprétations	19
3.2. Prélèvement n°22 d'une structure de type « Trou de poteau», (Structure ST 343 – US 771).....	20
a. Résultats	20
b. Interprétations	20
3.3. Prélèvement n°25 d'une structure de type « Trou de poteau», (Structure ST 360 – US 789).....	21
a. Résultats	21
b. Interprétations	21
4. BILAN	23
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	24
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	25
5. BIBLIOGRAPHIE	26
6. ANNEXE – Photographies	28
7. ANNEXE – Inventaire des fragments sélectionnés pour datations radiocarbone	29
7.1. Prélèvement n°12 (ST 138 – US 353).....	29
7.2. Prélèvement n°22 (ST 343 – US 771).....	30
7.3. Prélèvement n°25 (ST 360 – US 789).....	31

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une opération archéologique préventive menée sur le site « Stolzheck » sur la commune de Heisdorf (Luxembourg) (Opération 2020-085).

Les charbons proviennent des comblements de deux trous de poteaux et « d'un sillon charbonneux ». Deux des structures correspondent potentiellement au début du Haut-Empire (Prélèvements n°22 et n°25) (Fig. 1).

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

- Tenter de percevoir l'origine des charbons. Dans le cadre de la fouille du « sillon charbonneux » (ST138 – US 353), il s'agit probablement de restes de combustibles en position de rejet, mais l'hypothèse reste à confirmer. Pour les comblements des trous de poteaux, s'agit-il des restes de poteaux ou bien de charbons venus combler ces structures postérieurement ?

- s'il s'agit de restes de combustibles, tenter de caractériser la qualité du bois utilisé. En déduire si les assemblages ont fait l'objet de sélections (ex. essences ou calibres particuliers), s'ils sont plutôt caractéristiques d'usages domestiques ou artisanaux,

- caractériser les boisements qui existaient dans l'aire de ramassage.

Enfin, pour les trois prélèvements, des charbons ont été sélectionnés pour des datations radiocarbone afin d'éviter l'effet « vieux bois ».

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

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

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

Les trois prélèvements analysés sont issus des comblements de deux trous de poteaux et d'un « sillon ». Au total, ce sont un peu plus de 80 fragments qui ont été étudiés (Fig 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE				
Commune :	Heisdorf (Luxembourg)			
Nom de l'opération / Lieu-Dit :	Stolzheck			
Année :	2020			
N° OA :	Code INRA : 2020-085			
Resp. d'Op. ; commanditaire	Cynthia Colling			
Type d'opération :				
Période d'analyse pressentie	mois de mai 2025			
Identifiant	Structure	Description	Nombre de charbons observés	Sélections pour datation
2020-085-1 (Privt n° 12)	ST 138 – US 353	Sillon charbonneux EST, éventuellement zone d'activité artisanale	30	2
2020-085-2 (Privt n° 22)	ST 343 – US 771	remplissage structure / TP (potentiellement début Haut-Empire)	30	5
2020-085-3 (Privt n° 25)	ST 360 – US 789	remplissage structure / TP (potentiellement début Haut-Empire)	25	5
			85	12

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

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

Pour le prélèvements n°022, prélèvement « le plus diversifié » mais avec seulement trois taxons, la courbe « effort-rendement » montre un seuil situé entre 10 et 20 fragments (Fig. 2).

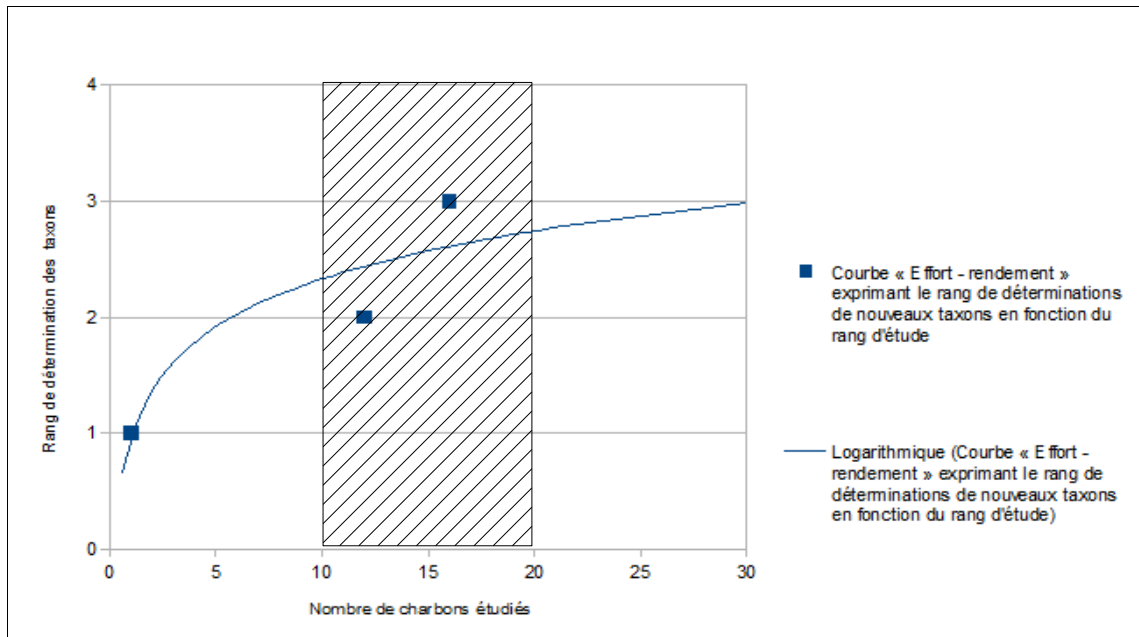


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°022. Dans cet exemple, le troisième taxon identifié (*Fagus sylvatica*) a été observé au 16e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 10 et 20 charbons.

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

En concertation avec l'archéologue et en fonction de l'enveloppe allouée pour cette étude, nous avons choisi d'étudier les prélèvements de façon la plus exhaustive possible, en poussant l'observation de 25 à 30 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.

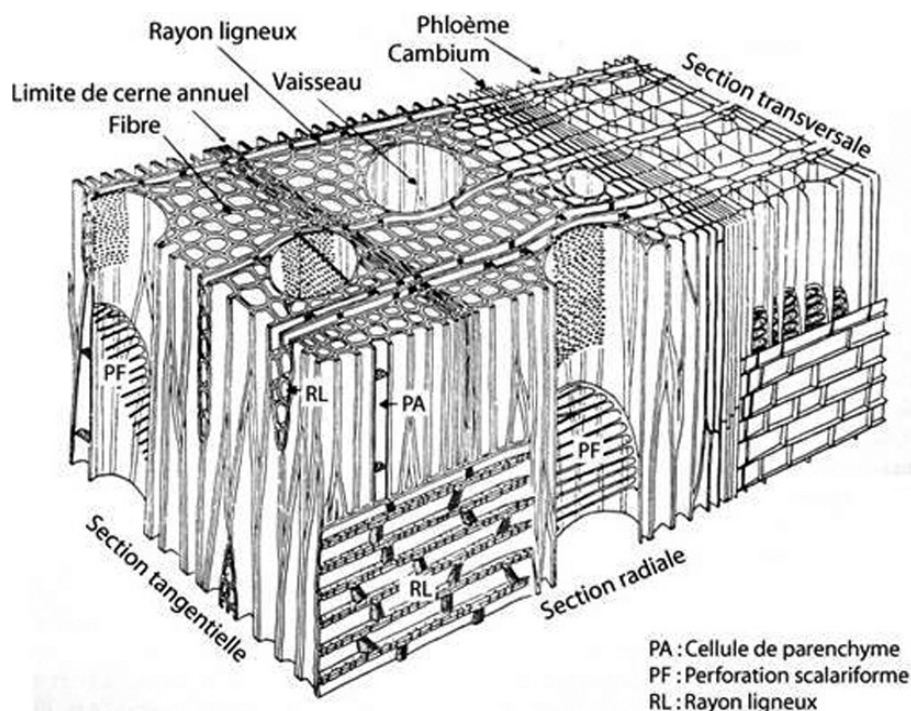


Fig. 4 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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).

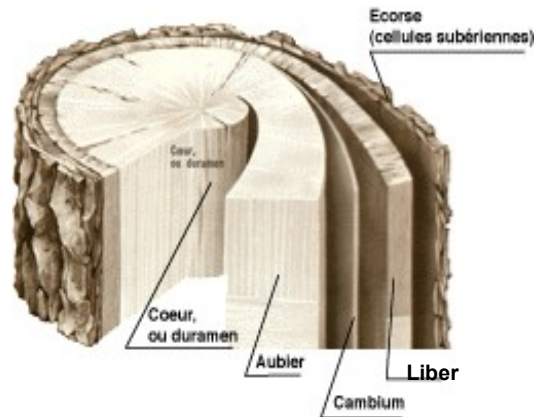
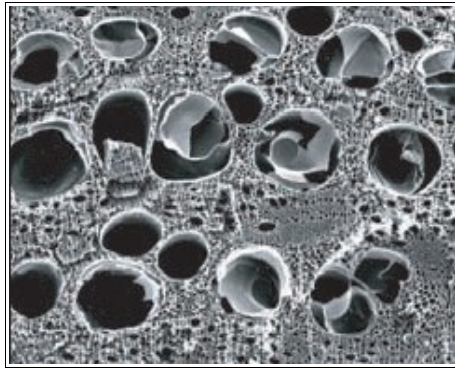
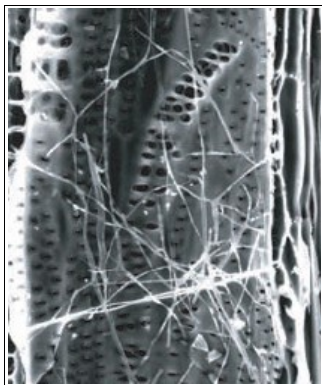


Fig. 5 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à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

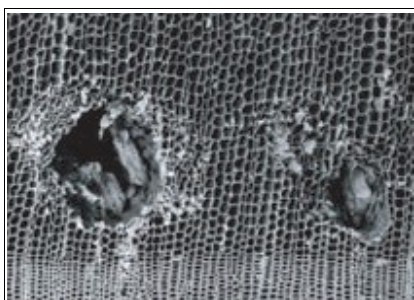
Fig. 6 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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.

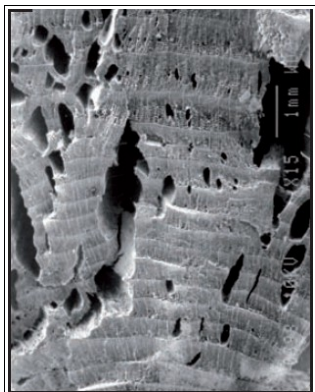


La présence de tels tunnels est plutôt un indicateur de bois morts, mais il existe parfois des bois vivants dont l'aubier peut être logiquement attaqué (Marguerie et al., 2010).

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 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. 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 (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.

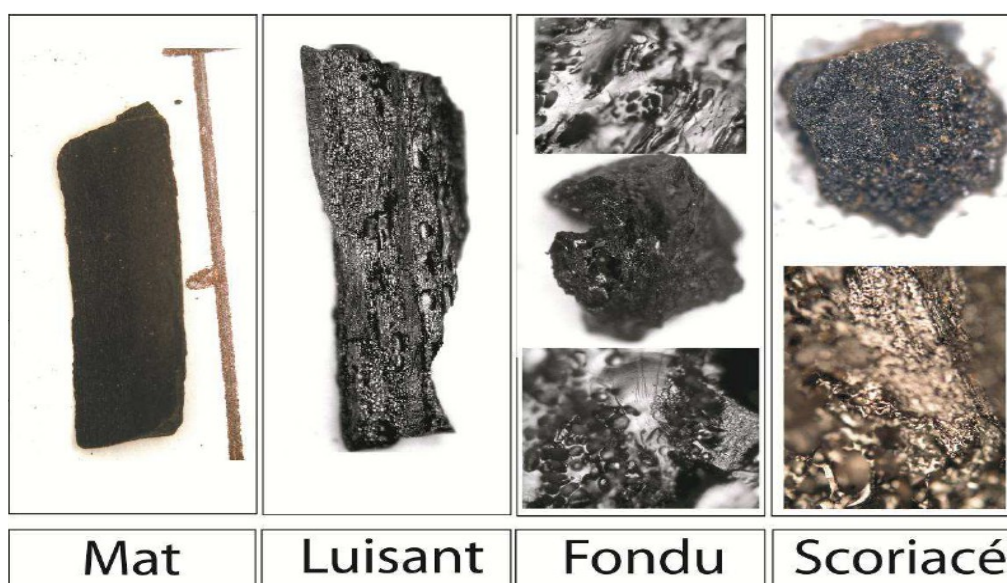
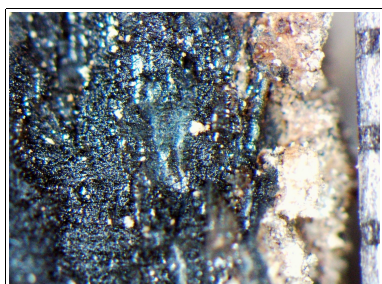


Fig. 9 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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 (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.

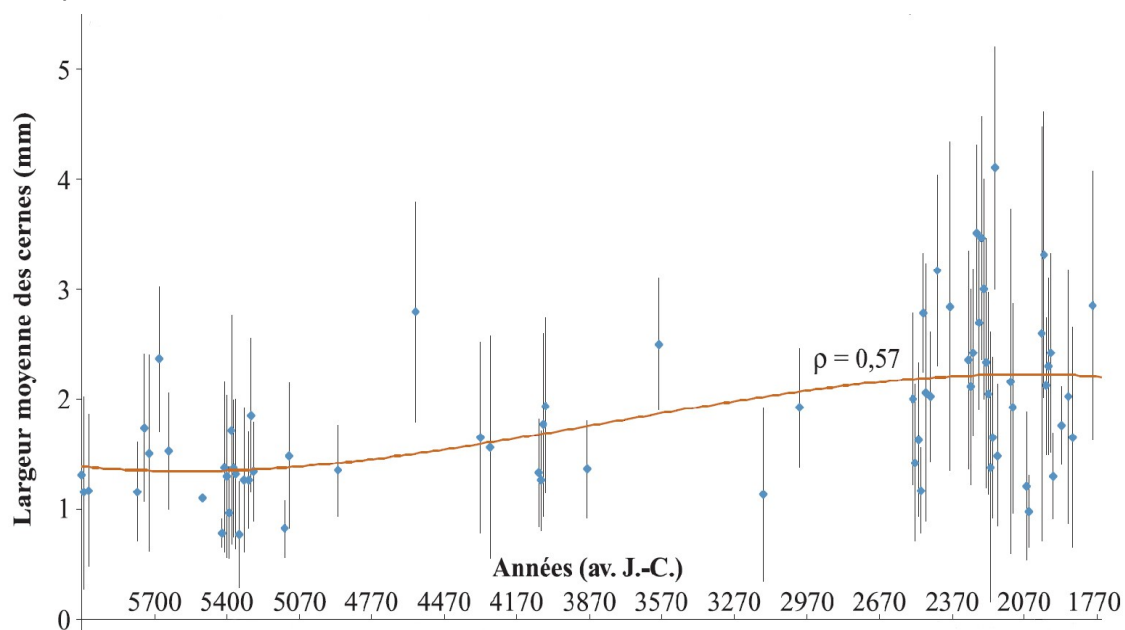


Fig. 11 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

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.

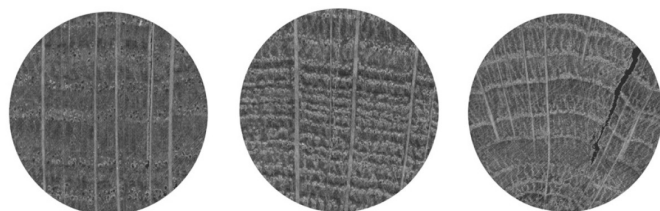


Fig. 12 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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

Les prélèvements ont livré des charbons favorables dont parfois des graines. Lorsqu'elles sont détectées, les graines sont très favorables car elles correspondent à une année de vie.

Pour les charbons de bois, 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), 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 (chapitre 7.).

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.

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

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

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

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

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

Remarque sur la détection du châtaignier :

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

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



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

Sa longévité est en moyenne de 100 à 150 ans. Plus exceptionnellement il peut vivre jusqu'à 400 ans. Il reste un bon candidat pour des datations radiocarbones, à condition de sélectionner des fragments provenant de la partie externe du tronc.

Fig. 13 – Représentation du hêtre (*Fagus sylvatica*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

Le charme (*Carpinus sp.*) est une essence de demi-ombre ou d'ombre que l'on retrouve plutôt sur les sols à richesse minérale variable : sols de pH basique à moyennement acide. Il apprécie les sols profonds secs à frais. C'est une espèce qui a besoin d'étés chauds pour la maturation des graines.

Il est fréquemment associé aux forêts collinéennes (*Carpinion betuli*) et chênaies mixtes, aux bois, aux haies. Il fournit un bois homogène à densité élevée, très dur et peu fissible. Plante astringente, c'est un excellent bois de chauffage, brûlant lentement avec une flamme vive. C'est un très bon charbon de bois. Il a potentiellement une durée de vie d'environ 100 - 150 ans (Rameau *et al.*, 1989).

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

La longévité de l'aulne est de l'ordre de 60 à 100 ans (Rameau *et al.*, 1989).

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

3.1. Prélèvement n°12 d'une structure de type « sillon», (Structure ST 138 – US 353).

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Granuleux	Insecte
<i>Carpinus betulus</i>	30	2	12	10	0	0	0	1	0	1	1

Fig. 14 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°12.

b. Interprétations

30 charbons ont été observés pour ce prélèvement. Tous se révélèrent être du charme (*Carpinus betulus*).

L'observation des courbures de cerne montre principalement des fragments de moyenne (50%) et forte courbure (42%). Seulement deux charbons semblaient montrer de faibles courbures de cernes (Fig. 14). Ce sont donc principalement des bois de petit et moyen calibre qui ont été utilisés.

Les charbons montrant des fentes de retrait sont absents. Cela caractérise un bois brûlé à l'état sec (non vert) ce qui implique une sélection du bois lors de la collecte, peut-être aussi un stockage préalable à l'emploi.

La proportion de fragments d'aspect luisant est très faible (un seul charbon). Les charbons semblent donc provenir de combustions plutôt aérobies avec des températures modérées (il ne s'agit pas de rejets de combustions de type « four » ou « fourneau »).

Le charme est un bois à densité élevée, très dur, peu fissile. C'est un très bon charbon de bois (Rameau et al., 1989). C'est un excellent bois de chauffage, brûlant lentement avec une flamme vive, mais très peu utilisé en menuiserie car son tronc est trop peu régulier. L'hypothèse de reste de bois d'œuvre semble donc à écarter au profit de rejets de combustions.

3.2. Prélèvement n°22 d'une structure de type « Trou de poteau », (Structure ST 343 – US 771).

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				Insecte	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Granuleux		
<i>Alnus sp.</i>	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	0
<i>Carpinus betulus</i>	24	0	11	12	0	0	0	5	0	0	2	1
<i>Fagus sylvatica</i>	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	1	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	30	0	11	17	0	0	0	5	0	0	4	1

Fig. 15 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°022, refus de tamis de maille 2 mm.

b. Interprétations

Une trentaine de charbons a été observée pour ce prélèvement provenant d'un comblement de « trou de poteau » (St 343 – US 771). Les analyses révélèrent trois essences. On constate essentiellement du charme (*Carpinus betulus*) ainsi que quelques charbons de hêtre (*Fagus sylvatica*) et d'aulne (*Alnus sp.*) (Fig. 15).

L'observation des courbures de cerne montre l'emploi de bois de petit et moyen calibre (petites et grosses branches). En effet, les fragments de forte courbure représentent environ les deux tiers des charbons mesurés (60%) et un peu moins d'un tiers pour les charbons de courbure intermédiaire (Fig. 15).

Compte tenu des calibres majoritairement réduits des bois utilisés, de la diversité des essences observées ainsi que du faible nombre de galeries de xylophages (typique de bois mort), l'hypothèse selon laquelle il s'agirait de restes de bois d'œuvre (notamment de poteaux) semble peu probable. L'interprétation la plus vraisemblable est donc celle de rejets liés à l'utilisation de bois comme combustible.

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

Les charbons montrant des fentes de retrait sont absents, ce qui est caractéristique d'un bois brûlé à l'état sec (non vert) et probablement stocké préalablement à son utilisation.

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

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

3.3. Prélèvement n°25 d'une structure de type « Trou de poteau », (Structure ST 360 – US 789).

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	tendu/Luisant	
<i>Fagus sylvatica</i>	17	1	6	6	0	0	0	8	0	1
<i>Quercus/Castanea</i>	4	0	0	0	0	0	0	1	3	0
<i>Quercus sp.</i>	4	0	1	0	1	0	0	1	0	0
	25	1	7	6	1	0	0	10	3	1

Fig. 16 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°025, refus de tamis de maille 2 mm.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
<i>Quercus sp.</i>	Faible et intermédiaire	Régulier	1	4	0,36	0	0,36	0,36

Fig. 17 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire pour le prélèvement n°25.

b. Interprétations

L'analyse de ce prélèvement a permis d'identifier deux à trois taxons anthracologiques. Le hêtre (*Fagus sylvatica*) est l'essence majoritaire suivi du chêne (*Quercus sp.*) ou du chêne-châtaigner (*Quercus sp. / Castanea sp.*) (Fig. 16).

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

L'observation des courbures de cerne montre principalement des fragments de moyenne et forte courbure. Seul un charbon semblait montrer une faible courbure de cerne (Fig. 16). Ce sont donc principalement des bois de petit et moyen calibre qui ont été utilisés (petites branches).

Le hêtre correspond à l'essence dominante. Notons que ce bois n'est pas utilisé comme bois d'œuvre, en raison de sa sensibilité à l'humidité. Il ne convient donc pas à des usages structurels, tels que la charpente, mais se prête davantage à des applications en ébénisterie (ex. parquet). En revanche, il constitue un excellent combustible.

Les essences telles que le hêtre et le chêne sont des bois denses, générant des braises avec beaucoup d'énergie et dans la durée. Ces bois peuvent être qualifiés d'« excellents » combustibles. Le bois de hêtre et chêne ont donc probablement été employés pour alimenter les combustions dans la durée. Des petites branches de hêtre ont probablement été utilisés lors de phases d'allumage.

Le bois semble avoir été employé à l'état sec puisque très peu de fentes de retrait ont été observées sur les charbons. Ce constat implique une sélection du bois lors de la collecte, peut-être aussi un stockage préalable à l'emploi.

La proportion de fragments d'aspect luisant est assez importante avec environ 50% des charbons (Fig. 16). Les aspects luisants observés peuvent être interprétés comme un premier stade de « phénomènes de vitrification », typiques de conditions de combustions chaudes et réductrices (Blaizot et al., 2004). On peut par exemple évoquer des contextes de combustion de « fond de foyer », voire de « four » ou « fourneau ».

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

Enfin, une mesure de largeurs de cerne a pu être réalisée sur un fragment de chêne révélant une moyenne d'environ 0,36 mm / an (Fig. 17). Cette moyenne est caractéristique de contextes de croissance très difficiles, peut-être un environnement contraignant (sols pauvres, mal exposés) ou un milieu soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense). Compte tenu du faible nombre de charbons mesurés, il faut considérer ce résultat avec précaution.

4. BILAN

Un peu plus de 80 fragments ont été observés pour les trois prélèvements (Fig. 1).

Malgré des contextes de prélèvements différents, ce sont à priori des rejets de combustions qui ont systématiquement été identifiés.

Légende	Prélèvement n°012 (St 138 – US 353)	Prélèvement n°022 (St 343– US 771)	Prélèvement n°025 (St 360 – US 789)
<ul style="list-style-type: none"> ■ Charme (Carpinus sp.) ■ Hêtre (Fagus sylvatica) ■ Chêne / Châtaignier (Q) ■ Chêne (Quercus sp.) ■ Aulne (Alnus sp.) 			
Nombre de charbons étudiés.	30	30	25
Diversité (nb de taxons anthracologiques)	1	3	3
Courbures des cernes	Forte : 42% Intermédiaire : 50% Faible : 8%	Forte : 61% Intermédiaire : 39% Faible : 0%	Forte : 43% Intermédiaire : 50% Faible : 7%
Fréquences des charbons d'aspect « luisant »	3,33%	17,00%	52,00%
Fréquences des charbons avec fentes de retrait	0,00%	2,50%	12,00%
Moyennes de largeurs de cerne (mm)			Moyenne = 0,36 mm (N=4)

Fig. 18 – Tableau synthétisant les principales caractéristiques (proportions des différentes essences, diversité, courbures des cernes, aspects luisants, aspects fendus) des trois compositions anthracologiques.

4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

Quatre à cinq taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude.

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

L'identification des taxons ligneux permet toutefois de proposer différentes associations écologiques (Rameau *et al.*, 1989) (Fig. 19) :

- **le groupement de la chênaie-hêtraie** avec le chêne, (chêne-châtaignier), le hêtre et potentiellement le charme,
- **les boisements humides** : avec l'aulne.





	Prélèvement n°012 (St 138 – US 353)	Prélèvement n°022 (St 343– US 771)	Prélèvement n°025 (St 360 – US 789)
Groupes forestiers de la chênaie-hêtraie et forêt collinéenne	 Charme unique essence.		
Boisements frais (humides)			

Fig. 19 – Tableau montrant les différents types de boisements explorés en fonction des différents contextes de prélèvement.

Le charme, le chêne, chêne-châtaignier, le hêtre et l'aulne ont été identifiés.

Les aires de ramassage correspondent potentiellement aux deux formations ligneuses interprétées par l'écologie des essences identifiées, à savoir : la chênaie-hêtraie (forêt collinéenne) et les boisements humides (Fig. 19).

L'observation de l'aulne dans le prélèvement n°022 montre une collecte dans un boisement humide, probablement dans une zone alluviale ou à l'intérieur d'une zone humide.

La moyenne de largeurs de cernes calculée sur un fragment de chêne indique une très faible croissance avec une valeur de l'ordre de 0,36 mm/an (prélèvement n°025). Cela suggère un ramassage dans un boisements soumis à des contraintes de croissance, peut-être un boisement dense ou associé à des sols pauvres, humides ou mal exposés. Compte tenu du faible nombre de mesures le résultat est à considérer avec précaution.

4.2. Informations d'ordre ethnographique

En ce qui concerne l'origine des bois brûlés, la nature des essences identifiées (le charme, le hêtre, l'aulne se prêtent mal au bois d'œuvre), le petit calibre de certains bois employés et le faible nombre de galeries de xylophages observés montrent qu'il s'agit des restes de combustibles et non de bois d'œuvre.

Dans les trois ensembles étudiés, on observe principalement l'usage de bois denses ou « lourds » (charme, chêne, hêtre), reconnus comme d'excellents combustibles. Ces essences ont permis une montée en température progressive tout en produisant des braises dans la durée. Bien qu'elles soient plutôt difficiles à enflammer, l'allumage a sans doute été facilité par l'emploi de bois de petit calibre ou de branches de bois tendre, comme l'aulne.

Les compositions anthracologiques des prélèvements n°12 (St. 138) et n°22 (St. 343) présentent des caractéristiques similaires. On y observe notamment des charbons de charme provenant de bois de moyen à petit calibre, probablement des petites branches. Dans les deux cas, la faible proportion de charbons luisants suggère une combustion en foyer ouvert plutôt qu'en four. Par ailleurs, l'absence de fentes de retrait indique l'utilisation de bois sec.

En revanche, la composition du prélèvement n°25 se distingue nettement. L'ensemble est principalement constitué de charbons de hêtre (75 %) et de chêne-châtaignier (25 %). Les charbons correspondent également à des bois de calibre moyen à petit. Un fait remarquable par rapport aux autres prélèvements est que la moitié des fragments présentent un aspect luisant, indicatif de conditions de combustion « chaudes et anaérobies ». Cela pourrait suggérer qu'il s'agit de rejets issus de combustions dans un contexte confiné, peut-être un four.

Le nombre restreint d'essences identifiées, combiné à leur excellente combustibilité, suggère que les bois utilisés ont fait l'objet de sélections par opposition à un simple ramassage de « tout-venant ». Ce tri semble guidé par des critères techniques liés aux qualités de combustion des essences choisies. De tels choix sont plutôt caractéristiques d'activités à caractère « artisanal » ou relevant de systèmes techniques exigeant des combustibles spécifiques.

5. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

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

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

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

MARCOUX N., 2009 - Les bois utilisés comme combustible dans l'atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer in SARRESTE F., Archéologie dans le Silléen, Rapport d'opérations archéologiques programmées. Roche-Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe). p. 20-39.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. ANNEXE – Photographies

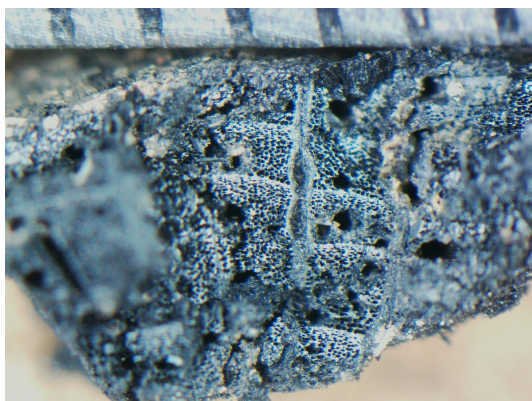


Fig. 20 – Fragment d'aulne (*Alnus sp.*) de courbure de cerne intermédiaire. A notre des traces de xylophages. Coupe transversale. Grossissement x25. Prélèvement n°022. L'échelle représente des millimètres.

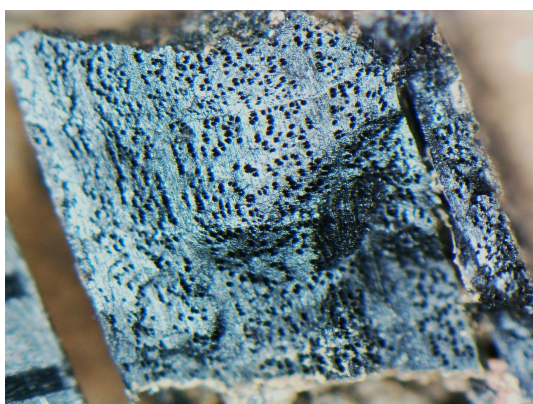


Fig. 21 – Fragment de charme (*Carpinus betulus*) de courbure forte. Coupe transversale. Grossissement x30. Prélèvement n°022. L'échelle représente des millimètres.

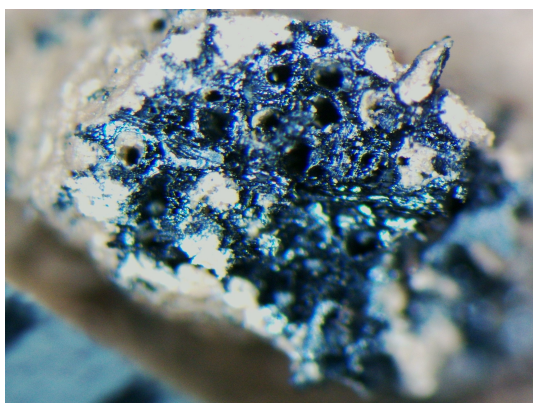


Fig. 22 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*). Coupe transversale. Grossissement x47. Prélèvement n°025. L'échelle représente des millimètres.

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

7.1. Prélèvement n°12 (ST 138 – US 353)

- **Résultats**

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Thylle	Moelle	Priorité
1	Carpinus betulus	Faible	Mat	Absence	Absence	Absence	0
2	Carpinus betulus	Faible	Mat	Absence	Absence	Absence	0 (à choisir)

Fig. 23 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement n°12.

- **Description**

L'observation globale n'a pas permis d'identifier de brindilles ni de graines.

Tube 1 : fragment de charme de courbure faible à intermédiaire. Le charme a une longévité de 100 – 150 ans (Rameau et al., 1989), pas particulièrement favorable, mais intéressant car le charbon est situé plutôt à l'extérieur.

Tube 2 : fragment de charme, de courbure faible à intermédiaire. Au regard de la courbure de cerne, le charbon semble situé un peu plus à l'extérieur que le charbon du tube n°1 (courbure faible). De plus, le charbon semble montrer un peu plus de matière. Le charbon est donc un peu plus favorable. **A choisir en premier.**

Charbons à sélectionner pour datation : Les deux fragments correspondent à du charme d'une longévité plutôt « moyenne » (150 ans maximum). Le fragment du tube n°2 semble un peu plus favorable.

7.2. Prélèvement n°22 (ST 343 – US 771)

● Résultats

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Thylle	Moelle	Priorité
1	Carpinus betulus	Intermédiaire	Mat	Absence	Absence	Absence	0
2	Carpinus betulus	Intermédiaire	Mat	Absence	Absence	Absence	0 (choix n°3)
3	Alnus sp.	Forte	Mat	Absence	Absence	Absence	1 (choix n°1)
4	Carpinus betulus	Intermédiaire	Mat	Absence	Absence	Absence	0 (choix n°2)
5	Alnus sp.	Forte	Mat	Absence	Absence	Absence	0
6	Fagus sylvatica	Forte	Mat	Absence	Absence	Absence	0

Fig. 24 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement n°22.

● Description

L'observation globale n'a pas permis d'identifier de brindilles ni de graines.

Tube 1 : Fragment de charme, de courbure forte à intermédiaire, pas particulièrement favorable mais de longévité « moyenne » (150 ans maximum).

Tube 2 : Fragment de charme, de courbure forte à intermédiaire pas particulièrement favorable, mais situé un peu plus à l'extérieur que le charbon du tube n°1.

Tube 3 : Fragment d'aulne. Forte courbure de cerne. Probable fragment de petite branche mais écorce non visible. Longévité plus courte que le charme. Pour l'aulne glutineux (*Alnus glutinosa*) : 60 à 100 ans. **Premier choix.**

Tube 4 : Fragment de charme, de courbure intermédiaire, pas particulièrement favorable. Situé un peu plus à l'extérieur que les tubes n°1 et n°2. **Second choix** après le fragment d'aulne du tube n°3.

Tube 5 : Fragment d'aulne. Forte courbure de cerne. Probable fragment de petite branche mais écorce non visible. Beaucoup de traces de xylophages. Longévité plus courte que le charme. Moins favorable que tube n°3 car le charbon est plus dégradé.

Tube 6 : Fragment de hêtre de courbure forte. Pas particulièrement favorable. Longévité de 100 à 150 ans.

Charbons à sélectionner pour datation : Le fragment d'aulne du tube n°3 est le plus favorable compte tenu de la longévité (100 maximum) et de la quantité de matière. Les charbons de charme des tubes n°1 et n°3 pourraient être des seconds choix.

7.3. Prélèvement n°25 (ST 360 – US 789)

● Résultats

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Thylle	Moelle	Priorité
1	Fagus sylvatica	Intermédiaire	Mat	Absence	Absence	Absence	0
2	Fagus sylvatica	Intermédiaire	Mat	Absence	Absence	Absence	1 (choix n°2)
3	Quercus sp.	Forte	Mat	Absence	Absence	Absence	1 (choix n°3)
4	Graine	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	Absence	1
5	Graine	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	Absence	2 (choix n°1)

Fig. 25 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement n°25.

● Description

L'observation globale n'a pas permis d'identifier de brindilles, mais de petites graines ont été observées (Tubes n°4 et n°5).

Tube 1 : Fragment de hêtre de courbure intermédiaire. Longévité moyenne de l'ordre de 100 à 150 ans (exceptionnellement 400 ans).

Tube 2 : Fragment de hêtre de courbure intermédiaire. Position un peu plus extérieure que le charbon du tube n°1, donc plus favorable. **A choisir en second** si les graines des tubes n°4 et n°5 ne présentent pas de quantités de matières suffisantes.

Tube 3 : Fragment de chêne de courbure intermédiaire à faible. Très rares thylles, donc potentiellement fragment d'aubier. Mais le fragment est très petit. La longévité du chêne est très longue (plusieurs siècles), plus longue que le hêtre. **Troisième choix si besoin.**

Tube 4 : fragment de graine carbonisée (Fig. 26). Possiblement de Chénopode (Chenopodium)? A déterminer par un carpologue. Si le fragment est bien ancien (des percolations sont possibles...), le fragment serait intéressant pour une datation. Toutefois, la quantité de matière est très faible. Choisir plutôt la graine du tube n°5, de même espèce, mais avec un petit peu plus de matière.

Tube 5 : Graine qui semble bien être carbonisée (cf. photo). A déterminer par un carpologue. Très intéressant pour datation. Mais très peu de matière (un peu plus que la graine du tube n° 4). **Choix n°1** à condition que la quantité de matière soit suffisante.

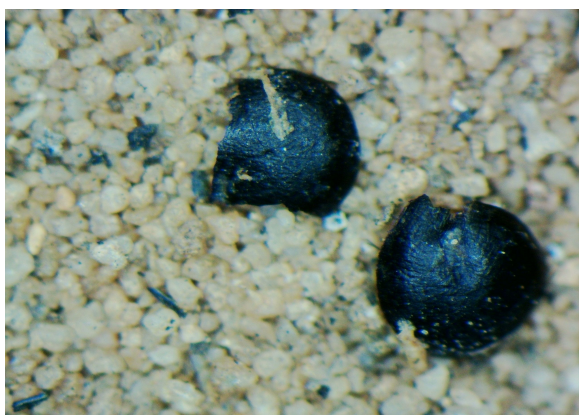


Fig. 26 – Photographie des fragments de graines. Grossissement x36.