

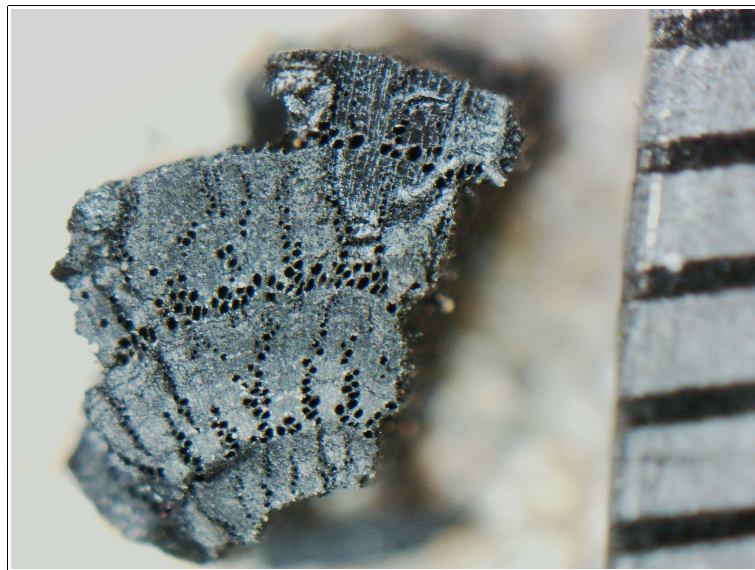


ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS
RÉALISÉS LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE DU
SITE DE POTASCHBERG SUR LA COMMUNE DE
GREVENMACHER (LUXEMBOURG).**

OPÉRATION : 2023.048



**INRA
SERVICE D'ARCHÉOLOGIE PROTOHISTORIQUE**

Décembre 2024

Institut National de Recherches Archéologiques

Service d'archéologie protohistorique

Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site de Potaschberg sur la commune de Grevenmacher (Luxembourg).

Opération : OP. 2023.048

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

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

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Décembre 2024

Illustration de la page de couverture :

Fragment de chêne (Quercus sp.), vue en coupe transversale, grossissement x20 (l'échelle représente des millimètres). Prélèvement n°57.

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	13
2.4. La sélection de fragments charbonneux favorables à des datations radiocarbone.	15
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	16
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....	19
3.1. Analyses de prélèvements charbonneux associés à des graines carbonisées.	19
a. Résultats	19
b. Interprétations	21
3.2. Analyses de prélèvements charbonneux ne comportant pas de graines carbonisées.	24
a. Résultats	24
b. Interprétations	27
4. BILAN.....	29
4.1. Informations d'ordre environnemental.....	29
4.2. Informations d'ordre ethnographique (techniques).....	31
5. BIBLIOGRAPHIE.....	33
6. ANNEXE – Photographies.....	35
7. ANNEXE – Inventaire des fragments sélectionnés pour datations radiocarbone.....	36

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une opération archéologique menée en 2023 sur le site de Potaschberg sur la commune de Grevenmacher (Luxembourg) (Opération 2023.048).

Le site est décrit comme une occupation protohistorique comportant de nombreuses fosses de stockage.

Les prélèvements étudiés correspondent pour l'essentiel à des comblements de fosses de stockage attribuées à la période La Tène B-C (?).

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 : Les prélèvements proviennent tous de comblements de fosses de stockage, voire de fosse (fosse/tombe?). Il s'agit donc de charbons en position secondaire, probablement des restes de combustibles, mais l'hypothèse reste à confirmer,

- s'il s'agit bien 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, comparer les compositions anthracologiques,

- des graines ont été observées dans certains prélèvements. Une distinction entre prélèvements « avec ou sans graines » sera prise en compte lors de l'interprétation en vue d'identifier du combustible potentiellement associé aux activités de traitement (ex. torréfaction?) des graines,

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

- Sélection de charbons pour des datations C14 : Quelques charbons ont aussi été sélectionnés pour des datations radiocarbone afin d'éviter l'effet "vieux bois". Ces sélections se sont concrétisées par des tris et conditionnements dans des tubes. Les résultats de ces sélections ont été consignés en annexe.

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

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Ce rapport fait état des observations anthracologiques effectuées sur des fragments de diverses dimensions, souvent des micro-charbons.

Les prélèvements charbonneux ont fait l'objet de tamisages par flottation. Les mailles de 2 mm, 1 mm ont systématiquement été utilisées.

L'ensemble des prélèvements a été observé. Au total ce sont un peu plus de 110 fragments qui ont été étudiés (Fig. 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE	
Commune :	Grevenmacher (Luxembourg)
Nom de l'opération / Lieu-Dit :	Potaschberg
Année :	2023
N° OA :	2023-048
Resp. d'Op. ; commanditaire	Iliya Hadzhipetkov
Type d'opération :	Préventif
Période d'analyse pressentie	Décembre 2024

N° prlvt	Structure	US	Type de structure	Paléobotanique (carpologie?)	Datation	Nombre de charbons observés	Charbons favorables sélectionnés pour C14
2023-048/058	48	55	Fosse de stockage	Oui	LT B-C?	8	
2023-048/051	45	51	Fosse de stockage	Oui	LT B-C?	10	1
2023-048/056	46	53	Fosse de stockage	Oui	LT B-C?	6	1
2023-048/050	43	50	Fosse de stockage	Oui	LT B-C?	6	
2023-048/046	26	30	Fosse / Tombe	Oui	LT B-C?	7	1
2023-048/069-2	77	78	Fosse de stockage	Oui	LT B-C?	6	
2023-048/062	57	58	Fosse de stockage	Oui	LT B-C?	10	2
2023-048/057	47	54	Fosse de stockage	Negative	LT B-C?	10	
2023-048/054	42	52	Fosse de stockage	Negative	LT B-C?	8	2
2023-048/039	26	28	Fosse de stockage	Negative	LT B-C?	5	1
2023-048/055	46	53	Fosse de stockage	Negative	LT B-C?	31	
2023-048/071	79	80	Fosse de stockage	Negative	LT B-C?	5	1
2023-048/068	75	76	Fosse de stockage	?	LT B-C?	5	
						117	9

Fig. 1 – Tableau de description synthétique des prélèvements analysés, 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 ».

Dans le cadre de cette étude le nombre de charbons par prélèvement était très faible, donnant lieu aussi à des diversités très faibles. Il n'a donc pas été possible de procéder à des courbes « effort-rendement ».

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, avec souvent 5 à 10 fragments par échantillon, mais parfois aussi en poussant les observations lorsque cela était possible.

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

2.1. Équipement d'observation

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



Fig. 2 - 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.

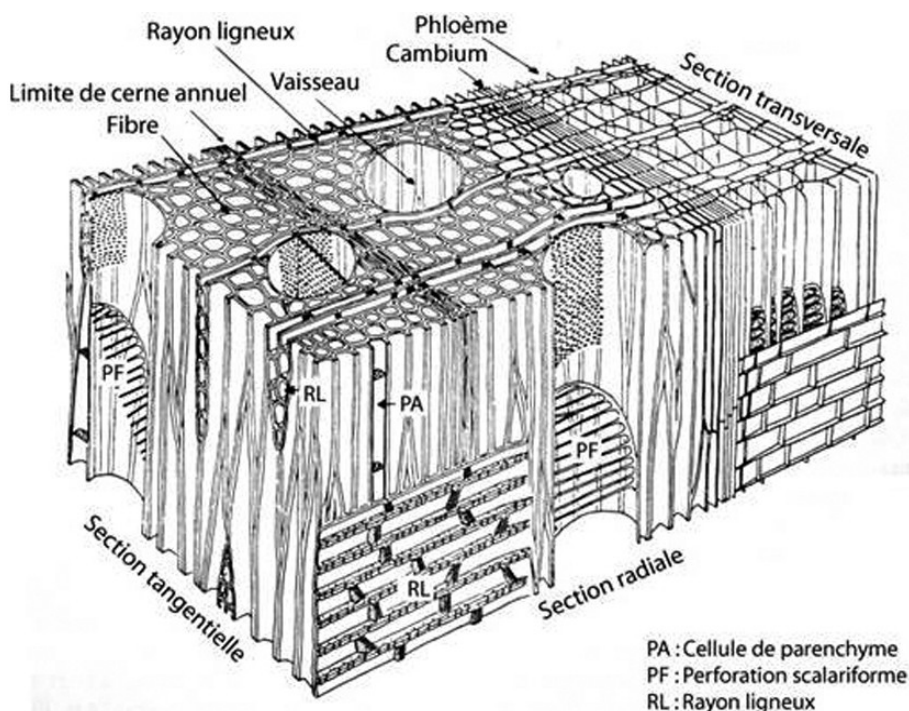


Fig. 3 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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 :

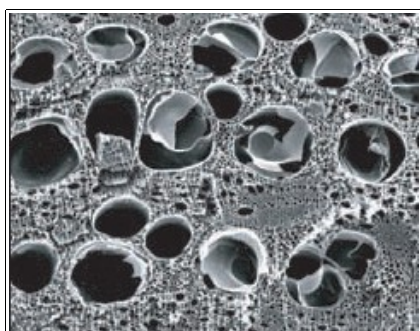
- **l'allure des limites de cernes** (de courbure très faible, intermédiaire ou nettement courbe, (cf. chapitre 2.3. sur les observations macroscopiques)), pour estimer la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses.

- **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**

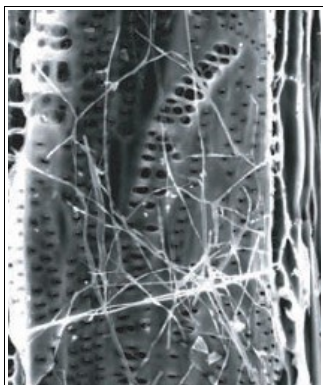
Les thylles ou extensions de cellules parenchymateuses vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans le duramen (ou bois de cœur des arbres). En effet, la partie centrale morte d'un tronc se transforme peu à peu. Certains auteurs parlent de "duraminisation". Cette transformation s'accompagne 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. 4 – Thylles dans du duramen carbonisé de chêne (Marguerie *et al.*, 2010).

- 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.

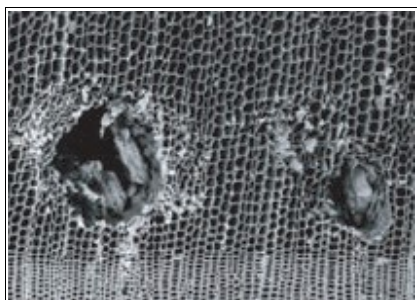
Fig. 5 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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. 6 – 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. 7 – 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.

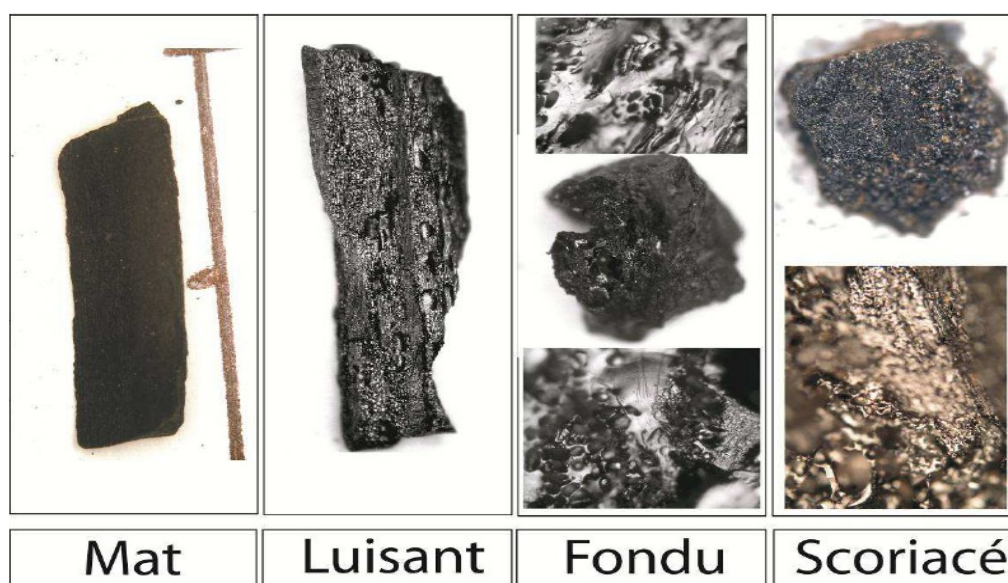
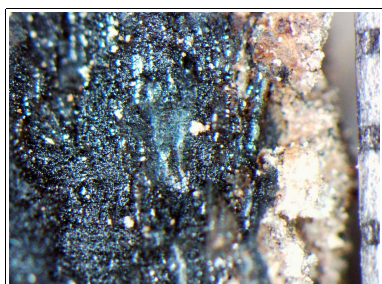


Fig. 8 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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. 9) a donc parfois été utilisé.

Fig. 9 – 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.

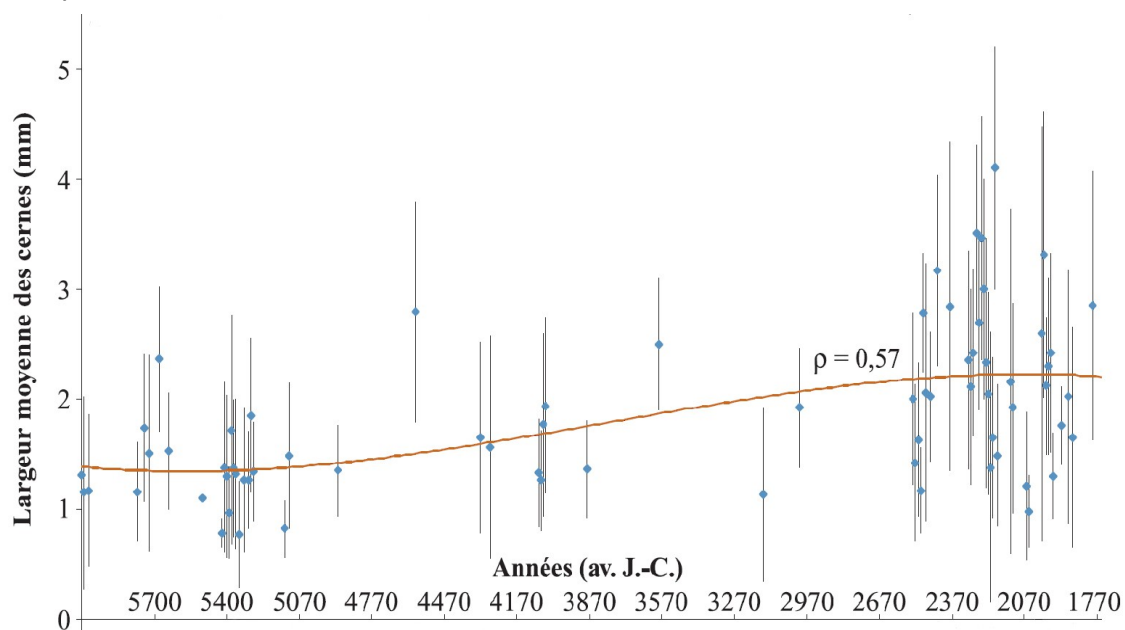


Fig. 10 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 10). 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. 11). 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.

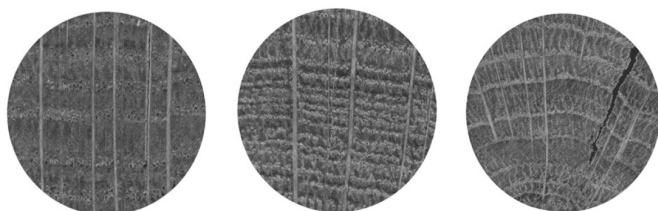


Fig. 11 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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

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, graine carbonisée), 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.

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

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

L'autoécologie et les caractéristiques « techniques » 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.

- **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 le site reste très hypothétique (sa diffusion dans le nord de la France est généralement antique), 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.

- **L'érable** (*Acer sp.*) et plus particulièrement l'érable champêtre (*Acer campestre*) dans l'aire considérée, est une essence héliophile ou de demi-ombre favorisée par les sols mésophiles et neutres à basiques. C'est un arbre que l'on retrouve plutôt sur des sols riches en bases mais aussi en azote (pH basique à neutre). Il possède une stratégie de croissance et de captation de la lumière typique d'une essence de trouée, qui le rend également apte aux systèmes bocagers.

A l'état naturel on le trouve plutôt en lisière forestière ou dans des forêts ouvertes. Il s'associe bien avec la chênaie-hêtraie. C'est un bois dur et dense qui présente une forte résistance mécanique, il est utilisé pour fabriquer des manches d'outils, des établis... Essence utilisée aussi en plantation d'alignement ou en ornement. L'érable fait partie des bois « semi-lourds » (environ 500 Kg / m³), c'est donc un bois qui possède un bon pouvoir calorifique.

- **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.

- Le **noisetier** (*Corylus avellana*) et le **bouleau** (*Betula sp.*) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre. Elles se rencontrent aussi bien dans les lisières de forêts caducifoliées, dans des bois clairs, dans des landes ou friches. Ces espèces s'adaptent à tous les substrats, tant d'un point de vue hydrique qu'en termes de pH. Aussi, on les trouve potentiellement dans la plupart des écosystèmes, même s'ils restent avant tout des arbres pionniers par excellence. Le noisetier et le bouleau constituent de bons bois d'allumage surtout sous la forme de brindilles (flamme longue, claire, sans fumée), ils dégagent beaucoup de chaleur et une combustion rapide.



Fig. 12 – Représentation du noisetier (*Corylus avellana*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

- Le **saule** (*Salix sp.*), le **peuplier** (*Populus sp.*) et l'**aulne** (*Alnus 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.

Remarque : Le saule et le peuplier sont assez proches anatomiquement parlant. La distinction n'a donc pas toujours été possible, d'où le taxon « saule/peuplier » (*Salix sp. / Populus sp.*) pour certains charbons.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

3.1. Analyses de prélèvements charbonneux associés à des graines carbonisées.

Les ensembles charbonneux analysés dans cette partie étaient systématiquement associés à des graines carbonisées.

a. Résultats

- Prélèvement n°058 (Structure 48, US 55)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant
Quercus/Castanea	7	0	0	0	0	0	0	4	0
Quercus sp.	1	0	0	0	0	0	0	1	0
	8	0	0	0	0	0	0	5	0

Fig. 13 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°58 (Comblement de la structure 48, de type « fosse de stockage »).

- Prélèvement n°051 (Structure 45, US 51)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Moelle	
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informé solidifié	Fendu / Luisant / noeud		
Fagus sylvatica	2	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
g. de brindille indéterm	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prunus sp.	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Quercus/Castanea	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	3	0	1	1	1	0	0	2	0	0	0	1	0
	10	0	2	6	1	0	0	2	0	0	0	1	1

Fig. 14 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°51 (Comblement de la structure 45, de type « fosse de stockage »).

- Prélèvement n°056 (Structure 46, US 53)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				Aspect granuleux
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant		
Betula sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Quercus/Castanea	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1

Fig. 15 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°56 (Comblement de la structure 46, de type « fosse de stockage »).

- *Prélèvement n°050 (Structure 43, US 50)*

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

Fig. 16 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°50 (Comblement de la structure 43, de type « fosse de stockage »).

- *Prélèvement n°046 (Structure 26, « structure de type Fosse/Tombe », US 30)*

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud
Quercus/Castanea	7	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1

Fig. 17 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°46 (Comblement de la structure 26, de type « fosse / tombe »).

- *Prélèvement n°069-2 (Structure 77, US 78)*

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant
g. de brindille indéterm	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	3	0	0	0	0	0	0	0	1
Quercus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Salix/Populus	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig. 18 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°69-2 (Comblement de la structure 77, de type « fosse de stockage »).

- *Prélèvement n°062 (Structure 57, US 58)*

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	
Frag. écorce	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	3	0	2	1	1	0	0	1	0	1
Salix/Populus	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0
	10	0	4	4	1	0	0	1	0	1

Fig. 19 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°62 (Comblement de la structure 57, de type « fosse de stockage »).

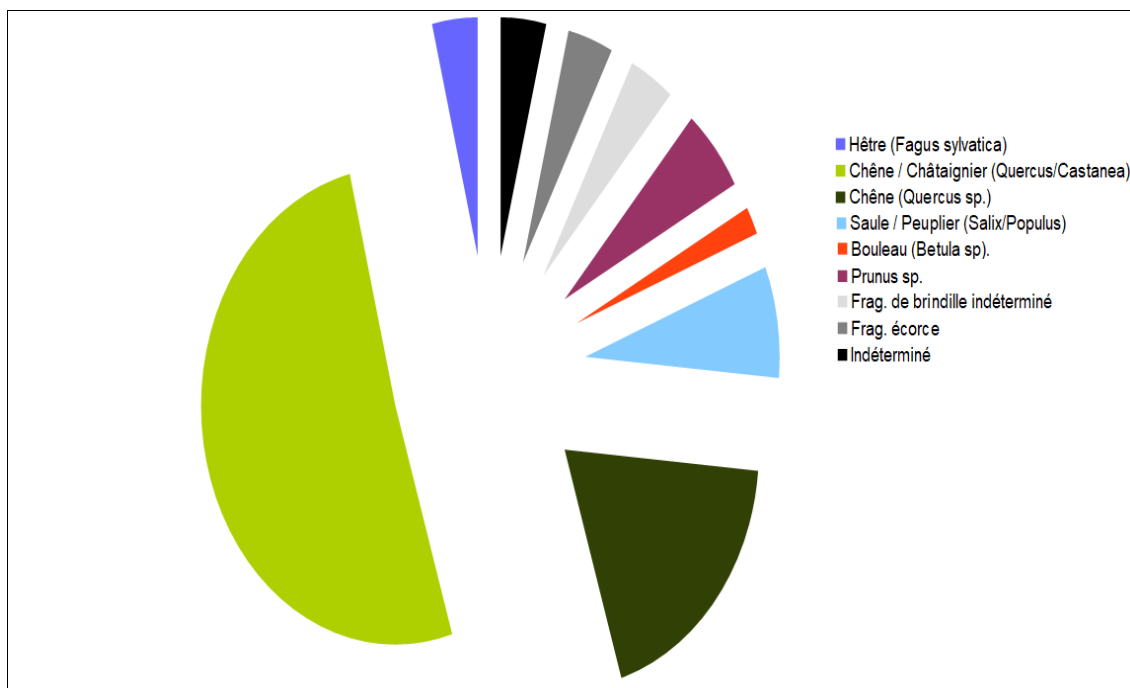


Fig. 20 – Représentation des proportions des différents taxons identifiés pour l'ensemble des prélèvements comportant des graines carbonisées, sous la forme d'un « camembert éclaté » (53 charbons).

b. Interprétations

Exception faite de trois prélèvements (n°46, n°50 et n°58), l'étude de l'ensemble des sept prélèvements permet de détecter plusieurs essences à la fois (cf résultats détaillés par prélèvement, Fig. 13 à 19).

L'analyse révéla une composition anthracologique globale assez « diversifiée » avec cinq à six taxons anthracologiques identifiés (Fig. 20). Par ordre d'importance, on constate des fragments de chêne, chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*) (en forte proportion avec environ 70%), de saule/peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*), du genre *Prunus*, de bouleau (*Betula sp.*) et de hêtre (*Fagus sylvatica*). Quelques brindilles de quelques millimètres de diamètre n'ont pu être déterminées (Fig. 20).

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

Une majorité des charbons ayant fait l'objet d'estimation de courbures des cernes montre de fortes courbures (environ les deux tiers des charbons mesurés, Fig. 13 à 19). L'ensemble anthracologique proviendrait donc plutôt de bois de « petit » calibre. De façon globale ce sont des bois de petites branches, voire de brindilles qui ont été déduits. Notons toutefois que la petite taille des fragments (rarement plus de quelques millimètres) favorise la reconnaissance de bois de petits calibres. En effet, il est difficile d'évaluer l'angle entre deux rayons pour les très petits fragments.

En ce qui concerne l'aspect des charbons, on constate assez peu de fragments montrant des aspects luisants (19%) ou fendus (5%).

L'hypothèse de charbons issus de combustions de contextes ouverts (ex. foyers) est donc la plus probable. Les aspects luisants observés sur certains charbons relèvent probablement d'effets localisés, peut-être en fond de foyer. Le petit calibre des bois est un autre facteur ayant pu favoriser le phénomène sur certains charbons (Oilic, 2011).

De plus, la faible fréquence des charbons montrant des fentes de retrait caractériserait des bois brûlés à l'état sec (non vert).

Afin de caractériser le type de ramassage, un calcul de l'indice de concentration de Pareto a été effectué sur l'ensemble des sept prélèvements. Notons que les charbons de chêne, chêne-châtaignier ont été rassemblés. Le calcul a donc été réalisé sur la base de cinq taxons anthracologiques (Fig. 30).

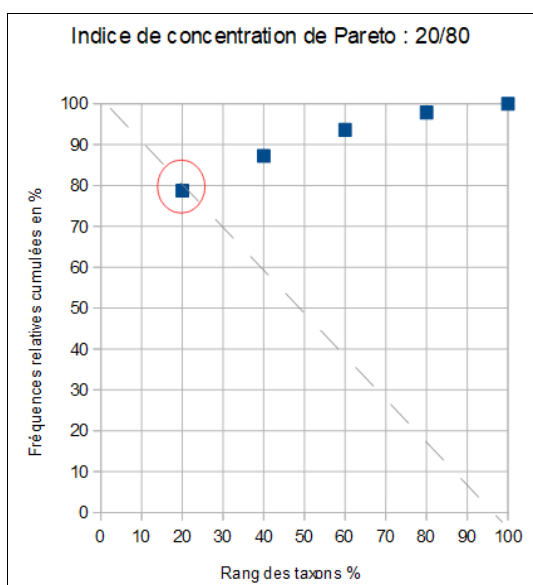


Fig. 21 - Indice de concentration de Pareto pour l'ensemble des prélèvements charbonneux associés à des graines (soit cinq taxons correspondant à 47 charbons).

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).

Le graphique obtenu montre que le rapport d'équilibre est assez proche de celui attendu en théorie dans la nature (Fig. 21).

Si l'on en croit cet indice, les compositions anthracologiques seraient probablement issues de ramassages de « tout venant », peu sélectifs, ce qui serait plutôt à rapprocher des usages domestiques.

Notons que la détection d'essences de combustibilité assez médiocre (fragments d'écorces, de brindilles, de saule/peuplier, bouleau) renforce aussi cette hypothèse.

Les essences identifiées telles que le chêne, le hêtre voire le genre Prunus sont d'excellents combustibles. Ces essences de bois denses génèrent des braises livrant beaucoup d'énergie et dans la durée. Ce sont là des caractéristiques techniques qui ont vraisemblablement été recherchées dans le cadre de combustions.

Ces bois « denses » peuvent être difficiles à enflammer d'où l'intérêt de les associer à du bois de petit calibre (une partie des fragments de forte courbure de cerne proviennent probablement de petites branches) ou des essences de bois tendres telles que le bouleau et le saule/peuplier.

Au regard de la composition anthracologique en présence, il n'est pas possible de relier les restes de combustibles identifiés avec un système technique qui aurait nécessité des combustions spécifiques (ex. hypothèse d'activités de traitement des graines).

Remarque. Notons que l'analyse du prélèvement associé à la structure de type « fosse-tombe », a livré un ensemble mono-spécifique constitué de chêne.

Au niveau paléoenvironnemental, l'ensemble charbonneux permet de reconnaître plusieurs formations végétales :

- des végétations forestières de type chênaie, chênaie-hêtraie, avec le chêne, le hêtre,
- des végétations de boisements clairs, haies, fourrés, fruticées avec le genre Prunus (ex. prunellier) et le bouleau,
- des boisements hygrophiles avec le saule/peuplier et le bouleau.Remarque.

Remarque. Notons que le bouleau peut s'accommoder de conditions humides.

3.2. Analyses de prélèvements charbonneux ne comportant pas de graines carbonisées.

Six prélèvements charbonneux ne comportaient aucune graine carbonisée.

Compte tenu du faible nombre de fragments observés à l'intérieur de chaque prélèvement, il a été nécessaire d'interpréter les résultats à la fois de façon séparée (Fig. 22 à 28), mais aussi pour l'ensemble des six prélèvements (Fig. 29).

L'analyse de ces charbons collectés de façon « éparsée » (à l'intérieur des comblements des fosses de stockage) avait pour principal objectif de fournir des informations sur le paysage boisé existant dans l'aire de ramassage, mais aussi de comparer les résultats obtenus avec les prélèvements comportant des graines (chapitre 3.1.).

a. Résultats

- Prélèvement n°057 (Structure 47, US 54)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	
Quercus/Castanea	7	0	0	5	0	0	0	4	0	0
Quercus sp.	3	0	1	0	1	0	0	1	0	1
	10	0	1	5	1	0	0	5	0	1

Fig. 22 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°57 (Comblement de la structure 47, de type « fosse de stockage »).

- Prélèvement n°054 (Structure 42, US 52)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant
Acer sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Alnus sp.	4	0	0	0	0	0	0	0	0
Pomoidée	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Salix/Populus	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	1	0	0	0	0	0	0

Fig. 23 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°54 (Comblement de la structure 42, de type « fosse de stockage »).

- *Prélèvement n°039 (Structure 26, US 28)*

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	2	0	0	0	0	0	0	1	0
Quercus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	1	0	0	0	1	0

Fig. 24 - Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°39 (Comblement de la structure 26, de type « fosse de stockage »).

- *Prélèvement n°055 (Structure 46, US 53)*

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	
Quercus/Castanea	10	0	3	2	0	1	0	0	0	1
Quercus sp.	21	0	9	10	5	0	0	0	2	3

Fig. 25 - Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°55 (Comblement de la structure 46, de type « fosse de stockage »).

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	5	7	1,92	0,54	1,05	2,55

Fig. 26 - Tableau des mesures de largeurs de cerne (mm) réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°55, Structure 46.

- *Prélèvement n°071 (Structure 79, US 80)*

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Quercus sp.	3	0	2	0	0	0	0	1	0	0
	5	0	2	2	0	0	0	1	0	1

Fig. 27 - Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°71 (Comblement de la structure 79, de type « fosse de stockage »).

- Prélèvement n°068 (Structure 75, US 76)

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Quercus sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Fig. 28 - Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°68 (Comblement de la structure 75, de type « fosse de stockage »).

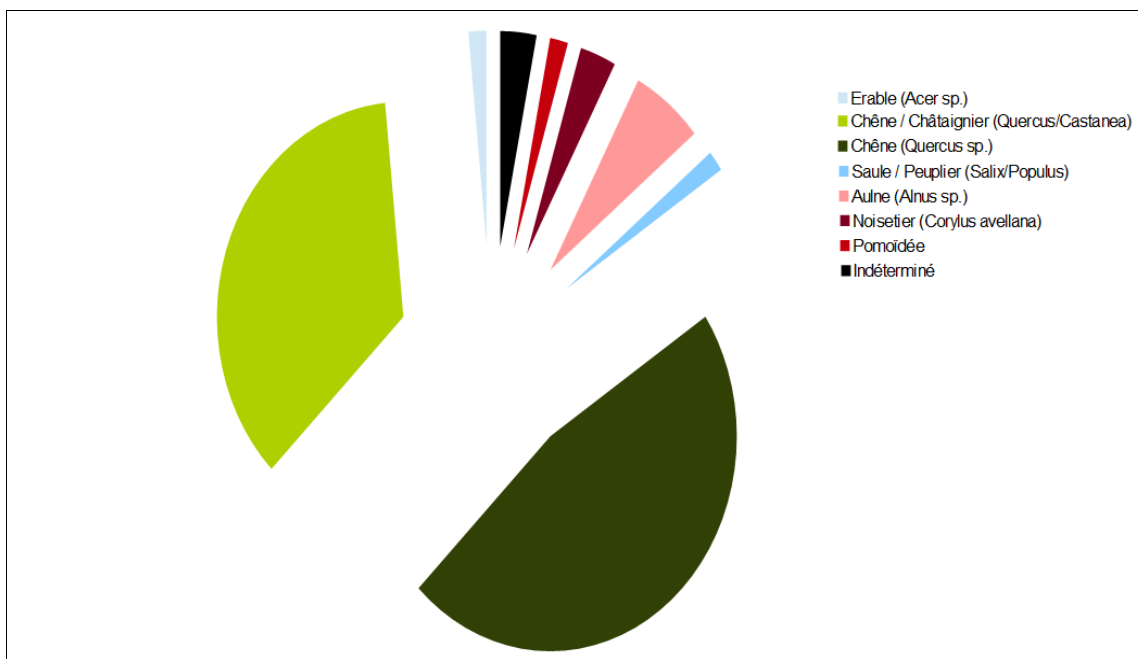


Fig. 29 - Représentation des proportions des différents taxons identifiés pour l'ensemble des prélèvements ne comportant pas de graines carbonisées, sous la forme d'un « camembert éclaté » (64 charbons).

b. Interprétations

L'analyse des six prélèvements révéla des compositions anthracologiques assez diversifiées avec au moins six à sept taxons identifiés. Exceptions faites des prélèvements n°55 et n°57, les ensembles anthracologiques comportaient au moins deux taxons. Par ordre d'importance, on constate des fragments de chêne (*Quercus sp.*), chêne-châtaignier (*Quercus sp.- Castaneas sp.*), très largement majoritaires (environ 80% des charbons), d'aulne (*Alnus sp.*), de noisetier (*Corylus avellana*), de Pomoïdée et de saule/peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*) (Fig. 29).

31 fragments ont fait l'objet d'estimations de courbures de cerne. Environ 60% montre de fortes courbures de cerne. L'ensemble anthracologique provient donc de bois de petit et moyen calibre.

En ce qui concerne l'aspect des charbons, on constate que la proportion des charbons d'aspect luisants (10%) est très faible. Les fragments proviennent donc de combustions ouvertes.

Les fragments présentant des fentes de retrait est aussi très faible (3%) ce qui révèle un bois brûlé à l'état sec (non vert).

Le calcul de l'indice de concentration de Pareto montre un rapport d'équilibre proche de celui attendu en théorie dans la nature (20% des taxons correspondant à environ 80% de la biomasse), à l'image de ramassages peu sélectifs (Fig.30). Ce type de collecte serait plutôt à rapprocher des usages domestiques

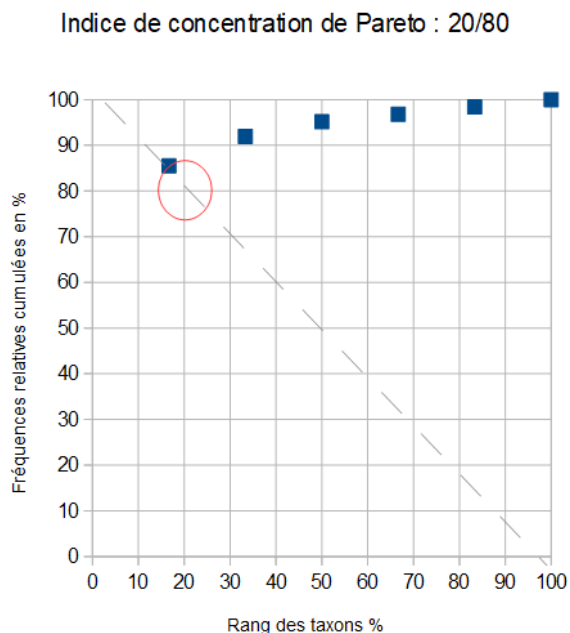


Fig. 30 – Indice de concentration de Pareto. Le calcul a été effectué sur les effectifs des six taxons identifiés à l'intérieur des prélèvements sans graines (les taxons chêne et chêne-châtaignier ont été regroupés).

Au niveau paléoenvironnemental, l'ensemble charbonneux permet de reconnaître plusieurs formations végétales :

- des végétations forestières de type chênaie diversifiée avec le chêne mais probablement aussi l'érable,
- des végétations de boisements clairs, haies, fourrés, fruticées avec les Pomoidées, l'érable et le noisetier,
- des boisements hygrophiles avec l'aulne et le noisetier.

Enfin, quelques mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur quelques fragments de chêne du prélèvement n°55, permettant de calculer une moyenne de l'ordre de 1,92 mm / an (Fig. 26). Cette moyenne est caractéristique de contextes de croissance plutôt difficiles, peut-être des environnements contraignants (sols pauvres, mal exposés) ou des milieux soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense). Compte tenu des faibles effectifs mesurés, il faut considérer ces résultats avec précaution.

De façon globale, on retrouve des traits similaires aux résultats obtenus pour les prélèvements comportant des graines carbonisées (cf. Chapitre 3.1.).

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 100 fragments ont été observés pour l'ensemble des prélèvements (Fig. 13).

Les problématiques ont été abordées en fonction de deux types de prélèvements, ceux qui comportaient des graines carbonisées et ceux sans graines (cf. Chapitres 3.1. et 3.2.).

4.1. Informations d'ordre environnemental

Neuf à dix taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude. Le chêne et le chêne-châtaigner ont été déterminés dans l'ensemble des prélèvements. Les Pomoïdées, *Prunus*, le noisetier, le bouleau, l'érable et dans une moindre mesure des essences de zones humides comme l'aulne, le saule ont aussi été observés ponctuellement (Fig. 32).

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 usages du combustible et aux aléas des aires de collecte.

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

- les groupements forestiers de **la chênaie diversifiée et de la chênaie-hêtraie** avec le chêne, chêne-châtaigner, le hêtre, l'érable.

Remarque : Le groupement forestier de la chênaie-hêtraie est typique de la période Subatlantique, notamment le Subatlantique ancien, contemporain des périodes de l'Age du Fer. Les résultats palynologiques obtenus à l'intérieur de la grotte-diaclase de la Karelslé (Waldbilig) (Gaudin, 2019) montrent par exemple des taux continus de pollens de hêtre mais aussi des attestations plus ou moins importantes d'érable à partir de cette période, en cohérence donc avec les résultats anthracologiques.

- **les boisements clairs, fourrés, haies, fruticées** : avec la détection notamment de la famille des Pomoïdées (ex. Aubépine, poirier sauvage...), du genre *Prunus* (ex. Prunellier, merisier...), du noisetier, du bouleau.
- **les boisements hygrophiles et/ou méso-hygrophiles** peuvent être suggérés avec la détection de l'aulne, du saule, saule/peuplier, du noisetier, du bouleau. L'aulne et le saule/peuplier sont des essences véritablement hygrophiles. Ce sont des essences qui proviennent de ramassages à l'intérieur d'une zone humide.

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























	Prélèvements avec graines carbonisées							Prélèvements sans graines carbonisées					
	PR 58	PR 51	PR 56	PR 50	PR 46	PR 69-2	PR 62	PR 57	PR 54	PR 39	PR 55	PR 71	PR 68
Groupes forestiers de la chênaie diversifié													
chênaie-hêtraie													
Boisements clairs, fourrés, haies, lisières													
Boisements humides													

Fig. 31 – Tableau montrant l'évolution des différents types de boisements explorés en fonction des différents prélèvements. Les contextes de prélèvements comportant des graines carbonisées ont été colorés en jaune.

La mise en perspective des types de boisements explorés en fonction de prélèvements, avec ou sans graines, montrent une continuité dans les aires de collectes. En effet, on retrouve les trois types de boisements (forêts, boisements clairs, boisements humides) parmi les compositions anthracologiques des deux types de prélèvements.

La mise en perspective des types de boisements collectés en fonction des deux types de prélèvements ne permet pas de mettre en évidence de relation entre la détection de graines carbonisées et la collecte de bois dans un type de boisement en particulier.

Les mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne de moyen calibre du prélèvement n°55, permirent d'obtenir des informations sur le contexte de croissance des chênaies explorées.

La moyenne obtenue de l'ordre de 1,9 mm/an (Fig. 26) correspond à un contexte de croissance plutôt difficile, en liaison avec des contextes abiotiques (ex. sols pauvres, inondés, mauvaise exposition, pentes...) et/ou biotiques contraignants (compétition vis-à-vis des ressources, ex. chênaie dense). On peut suggérer des collectes de bois et des abattages d'arbres (chênes) dans une chênaie plutôt dense.

4.2. Informations d'ordre ethnographique (techniques)

On constate une dominance du chêne, chêne-châtaigner pour l'ensemble des prélèvements (Fig. 32).

Le chêne (chêne-châtaigner), le hêtre, l'érable, mais aussi à un degré moindre les Pomoidées, le genre *Prunus* sont qualifiés de bois « denses ou lourds ». Ces essences sont considérées comme de bons combustibles dans le sens où leur combustion génère beaucoup de chaleur et des braises qui durent longtemps. Toutefois, ils peuvent être difficiles à enflammer, d'où la nécessité de les utiliser avec du bois de petit calibre, souvent du bois de Pomoïdée ou de *Prunus*, mais parfois aussi avec des bois plus « légers ou tendres », offrant des combustions rapides. Ce sont ces dernières qualités qui expliquent probablement la détection régulière du noisetier et du bouleau. On note aussi l'utilisation du saule, saule/peuplier et de l'aulne, bois légers (Rameau *et al.*, 1989), probablement pour des raisons techniques identiques d'allumage.

Très peu de charbons avaient un aspect luisant, ce qui caractérise plutôt des combustions aérobies, de type « foyers ouverts » (Fig. 32).

On note aussi très peu de charbons avec des fentes de retrait. Les bois ont donc été brûlés à l'état sec (non vert).

L'observation des courbures des cerne a permis d'estimer le calibre des bois utilisés. Ce sont des bois de petit à moyen calibre (petites branches) qui ont globalement été utilisés.

Les calculs de l'indice de Pareto sur l'ensemble des prélèvements, associés ou non à des graines carbonisées, montrent que les proportions des taxons anthracologiques constatées sont assez proches de celles observées dans les communautés végétales naturelles. Si l'on en croit cet indice, les ensembles charbonneux sont donc probablement issus de ramassages de « tout venant », peu sélectifs, ce qui serait plutôt à rapprocher des usages domestiques. L'utilisation d'essences de combustibilité assez médiocre comme des fragments d'écorce, de brindilles et des mélanges de graines carbonisées aurait aussi tendance à renforcer l'hypothèse de rejets de combustions d'origines domestiques.

La comparaison entre ensembles anthracologiques associés à des graines et sans graines (Fig. 32) permet de reconnaître des traits assez semblables :

- Le chêne et chêne-châtaigner dominent les ensembles anthracologiques,
- les calculs de l'indice de concentration de Pareto montrent systématiquement des rapports d'équilibre proches à celui attendu en théorie dans la nature. Ces résultats sont significatifs de ramassages de « tout venant »,
- l'analyse des courbures de cerne montre des fragments provenant essentiellement de bois de petit à moyen calibre,
- l'observation des charbons ne montrent pas d'aspect particulièrement luisant, indiquant des conditions de combustion plutôt aérobies (combustions de type « foyers ouverts »),
- assez peu de fentes de retrait ont été globalement observées. Les charbons sont donc issus de bois « secs ».

La présence ou pas de graines carbonisées associées aux prélèvements charbonneux ne semble donc pas être corrélée à des combustions différentes. Des rejets de combustions associées à des usages domestiques semble l'hypothèse la plus probable pour la plupart des prélèvements.

Légende	Prélèvements avec graines	Prélèvements sans graines
<ul style="list-style-type: none"> ■ Erable (Acer sp.) ■ Hêtre (Fagus sylvatica) ■ Chêne / Châtaignier (Quercus/Castanea) ■ Chêne (Quercus sp.) ■ Saule / Peuplier (Salix/Populus) ■ Auline (Alnus sp.) ■ Bouleau (Betula sp.) ■ Noisetier (Corylus avellana) ■ Pomoidée ■ Prunus sp. ■ Frag. de brindille indéterminé ■ Frag. écorce ■ Indéterminé 		
Nombre de charbons étudiés.	53	64
Diversité (dont chêne-châtaignier)	6	7
Indices de concentration de Pareto :	<p>Indice de concentration de Pareto : 20/80</p> <p>Chêne et chêne-châtaignier réunis. Indéterminés et brindilles exclus. 47 charbons, 5 taxons.</p>	<p>Indice de concentration de Pareto : 20/80</p> <p>Chêne et chêne-châtaignier réunis. Indéterminés et brindilles exclus. 62 charbons, 6 taxons.</p>
	<p>Même si les diversités anthracologiques sont assez faibles (5 et 6 taxons), les graphiques montrent que les rapports d'équilibre sont assez proches de ceux attendus en théorie dans la nature. <u>Cela serait plutôt caractéristique de ramassages de « tout venant ».</u></p>	
Estimation calibre	Bois de courbures fortes (2/3), et intermédiaire (1/3). Bois de petit et moyen calibre.	60% des fragments mesuré montrent une forte courbure. Bois de petit et moyen calibre.
Fréquences des charbons d'aspect « luisant »	19% Combustion probablement de type foyer ouvert.	10,00% Combustion probablement de type foyer ouvert.
Fréquences des charbons avec fentes de retrait	5,00% Bois brûlé à l'état sec.	3,00% Bois brûlé à l'état sec.
Moyennes de largeurs de cerne (mm)		Pour le prélèvement n°55 : Moyenne = 1,92mm (N=5 ; Ec-type = 0,54 mm)

Fig. 32 – Tableau résumant les principaux descripteurs (compositions taxonomiques, Ind de Pareto, calibre, aspects des charbons) par type d'ensemble de prélèvements (avec ou sans graines).

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., 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., 2019 - *Analyse palynologique de la grotte diaclase de la "Karelslé" (Waldbillig). Reprise et interprétation des observations effectuées par J. Heim en 1992*. Bulletin du centre national de recherche archéologique, 2019-5, 20-53.

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

6. ANNEXE – Photographies

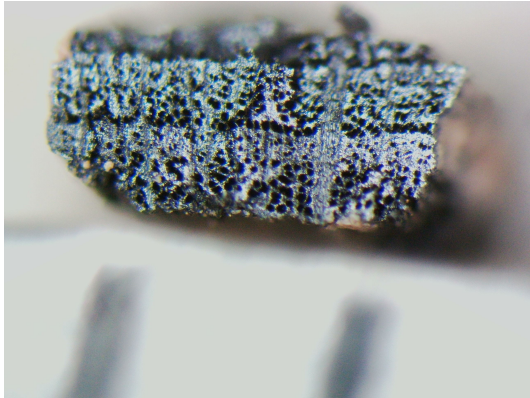


Fig. 33 – Fragment de hêtre (*Fagus sylvatica*). Coupe transversale. Courbure de cerne intermédiaire. Grossissement x56. Prélèvement n°51. L'échelle représente des millimètres.

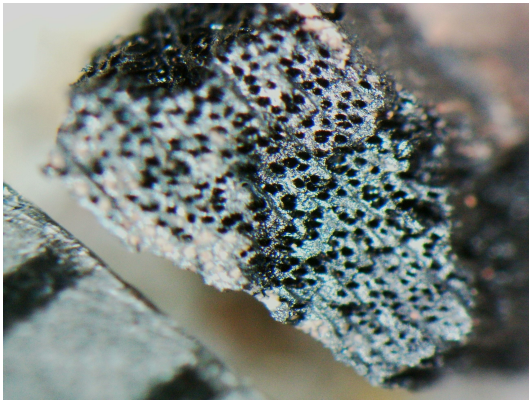


Fig. 34 – Fragment de Pomoidée. Coupe transversale. Grossissement x41. Prélèvement n°54. L'échelle représente des millimètres.

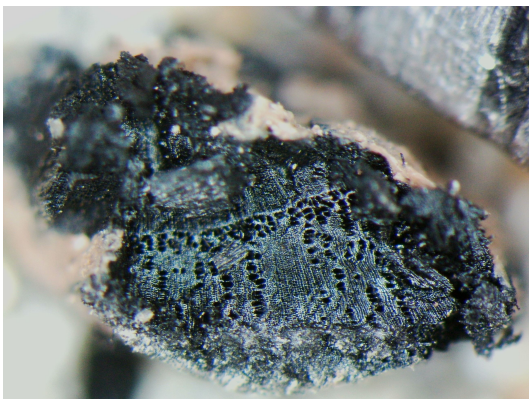


Fig. 35 – Fragment de noisetier (*Corylus avellana*) de forte courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x42. Prélèvement n°71. L'échelle représente des millimètres.

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

Au cours des observations quelques charbons favorables pour des datations C14 ont été conditionnés dans des tubes.

Prélèvement n° 71 :

Tube n°1 : Fragment de noisetier de forte courbure de cerne. Intéressant pour datation car faible longévité.

Prélèvement n° 62 :

Tube n°2 : Fragment de saule/peuplier de forte courbure de cerne. Intéressant pour datation car faible longévité.

Tube n°3 : Fragment probable d'écorce.

Prélèvement n° 39-1 :

Tube n°4 : Fragment de noisetier de forte courbure de cerne. Intéressant pour datation car faible longévité.

Prélèvement n° 54 :

Tube n°5 : Fragment d'aulne. Intéressant pour datation car faible longévité.

Tube n°6 : Fragment de saule/peuplier. Intéressant pour datation car faible longévité.

Prélèvement n° 56 :

Tube n°7 : Fragment de bouleau. Intéressant pour datation car faible longévité.

Prélèvement n°51 :

Tube n°8 : Brindille de Prunus. Intéressant pour datation car faible longévité.

Prélèvement n°46 :

Tube n°9 : Probable fragment d'écorce. Favorable.