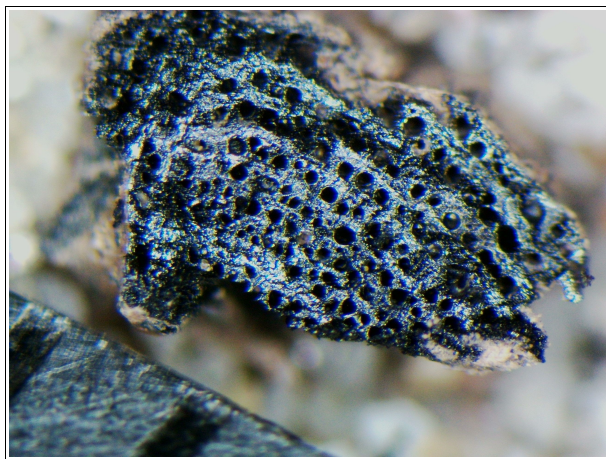




ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

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

OPÉRATION : 2024.139



**INRA
SERVICE D'ARCHÉOLOGIE PROTOHISTORIQUE**

Juillet 2025

Institut National de Recherches Archéologiques

Service d'archéologie protohistorique

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

Opération : OP. 2024.139

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 chêne (Quercus sp.) de forte courbure de cerne, vue en coupe transversale, grossissement x40 (l'échelle représente des millimètres). Prélèvement n°003.

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 radiocarbones.....	15
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	16
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRETATION.....	19
3.1. Ensembles anthracologiques des prélèvements (n°001, n°002, n°003 et n°004).....	19
a. Résultats	19
b. Interprétations	20
4. BILAN.....	23
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	23
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	25
5. BIBLIOGRAPHIE.....	26
6. ANNEXE – Photographies.....	28
7. ANNEXE – Inventaire des fragments sélectionnés pour datations radiocarbones.....	29
7.1. Prélèvement n°2024-139-001 (ST2).....	29
7.2. Prélèvement n°2024-139-002 (ST2).....	30
7.3. Prélèvement n°2024-139-003 (ST2).....	31
7.4. Prélèvement n°2024-139-004 (ST2).....	32

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats des analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une opération d'archéologie préventive menée sur le site « Buergruef », situé sur la commune de Grevenmacher (Luxembourg) (Opération 2024-139).

Les charbons analysés proviennent de différents niveaux de comblement d'une même fosse protohistorique « Hallstatt – La Tène » (structure ST2). Une datation radiocarbone réalisée sur un reste carbonisé du prélèvement n°001, a permis de cerner la période 741 à 412 Cal. BC (Fig. 1).

L'analyse anthracologique a été menée en suivant trois objectifs principaux :

- Déterminer l'origine des charbons : s'agit-il de résidus de combustibles ou de restes de bois d'œuvre ?
- Dans le cas où les charbons proviendraient de combustibles, caractériser la qualité du bois employé : les assemblages révèlent-ils une sélection spécifique des essences et calibres ? Sont-ils représentatifs d'usages domestiques ou relèvent-ils plutôt de pratiques artisanales ?
- Caractériser les types de boisements présents dans l'aire de collecte à l'époque, afin de mieux cerner l'environnement végétal exploité.

Enfin, pour certains prélèvements, des charbons ont été sélectionnés de manière à limiter l'effet de « vieux bois » dans la perspective de datations radiocarbone (cf. liste en Annexe 7.).

Cette étude a été commandée par l'Institut National de Recherches Archéologiques. La fouille a été dirigée par M. Hadzhipetkov.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les dix prélèvements analysés sont issus des comblements de tombes et de fosses. Au total ce sont un peu plus de 290 fragments qui ont été étudiés (Fig 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE							
Commune :			Grevenmacher (Luxembourg)				
Nom de l'opération / Lieu-Dit :			Buergruef				
Année :			2024				
N° OA :			2024-139				
Resp. d'Op. ; commanditaire							
Type d'opération :							
Période d'analyse pressentie			mois de juillet 2025				
Identifiant	Id. Structure	Type de structure	Description	Datation	Datation C14 (95%)	Nombre de charbons observés	Sélections pour datation
2024-139-001	ST 2	Fosse	SE 1, couche de remblai	Ha-LT	cal BC 741-412	25	7
2024-139-002			SE 2, couche de remblai. Échantillon de sol 1			60	6
2024-139-003			SE 2, Couche de remblai, échantillon de sol 2.			71	1
2024-139-004			SE 1, couche de remblai			35	1
						191	15

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

Les prélèvements ont été tamisés par flottation suivant les mailles de 2 et 0,5 mm.

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

Pour le prélèvement le plus diversifié, n°001, seulement trois taxons (graines exclues) ont été identifiés. La courbe « effort-rendement » montre un seuil situé entre 10 et 20 fragments (Fig. 2).

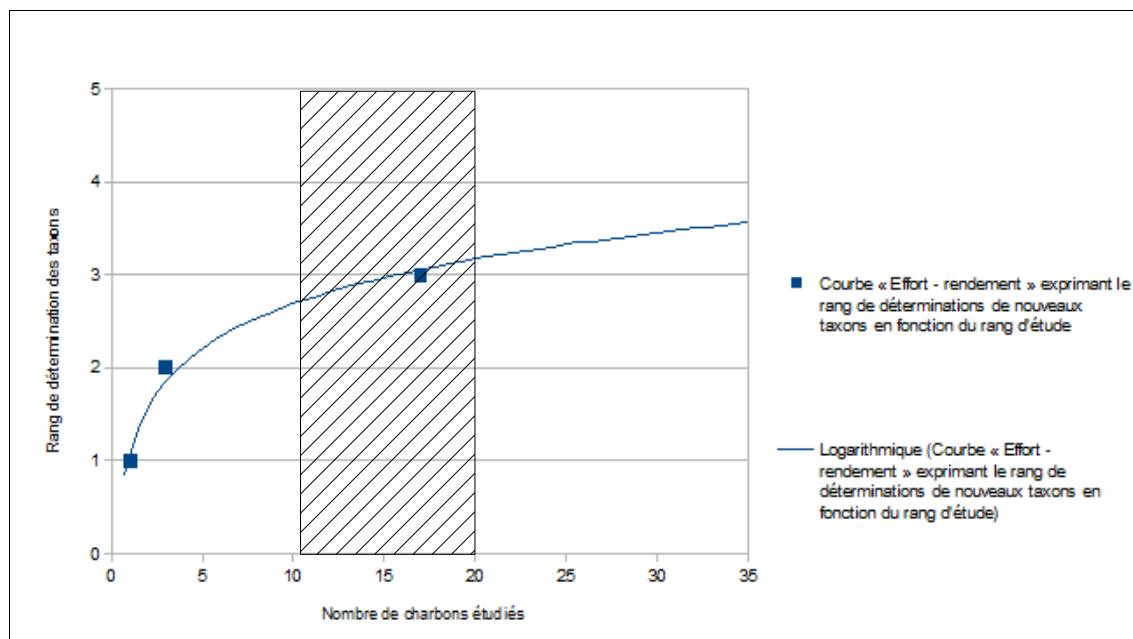


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°001. Dans cet exemple, le troisième taxon identifié, un fragment de noisetier, a été observé au 17e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 10 et 20 charbons.

De façon générale, les prélèvements étudiés montrent très peu de diversité (souvent un trois taxon) (Fig. 15). 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 les observations de 25 à 70 charbons par prélèvement (Fig. 1).

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.

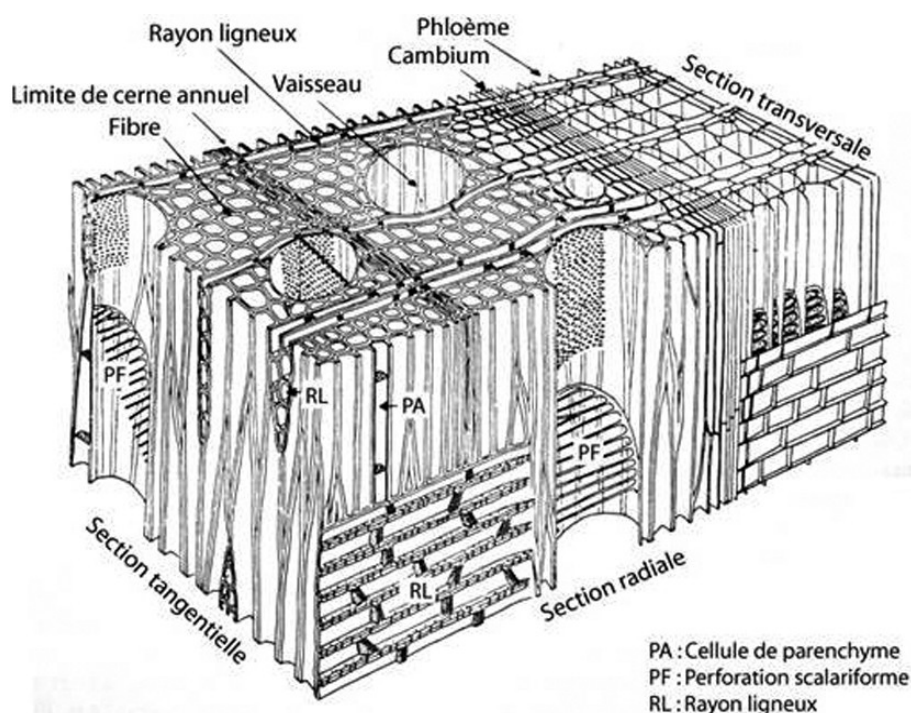


Fig. 4 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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).

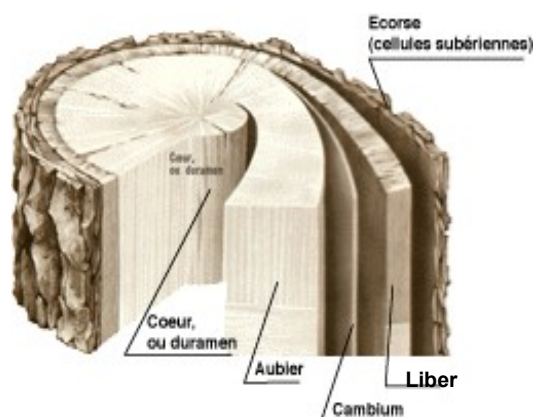
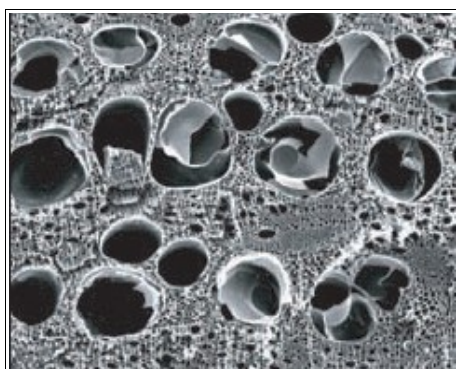
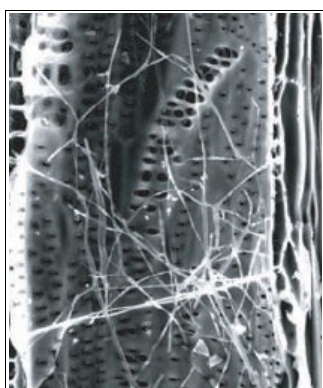


Fig. 5 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à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

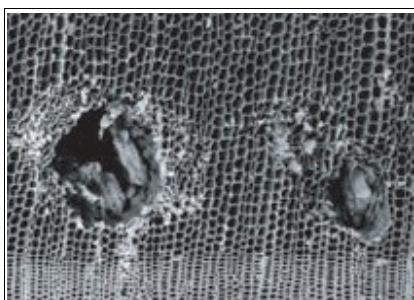
Fig. 6 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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.

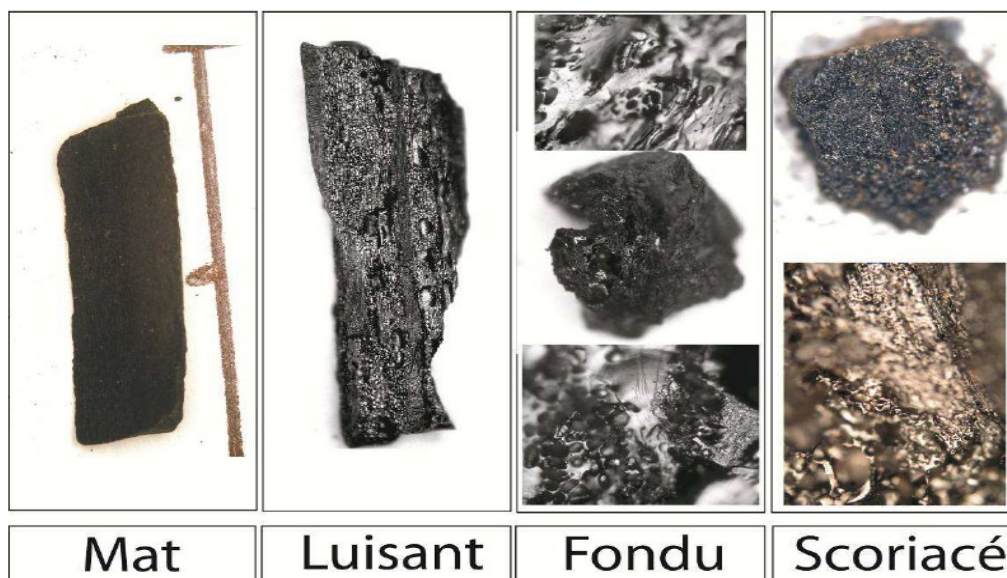
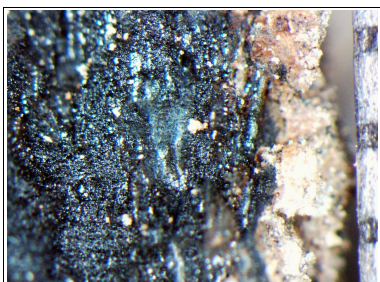


Fig. 9 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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.

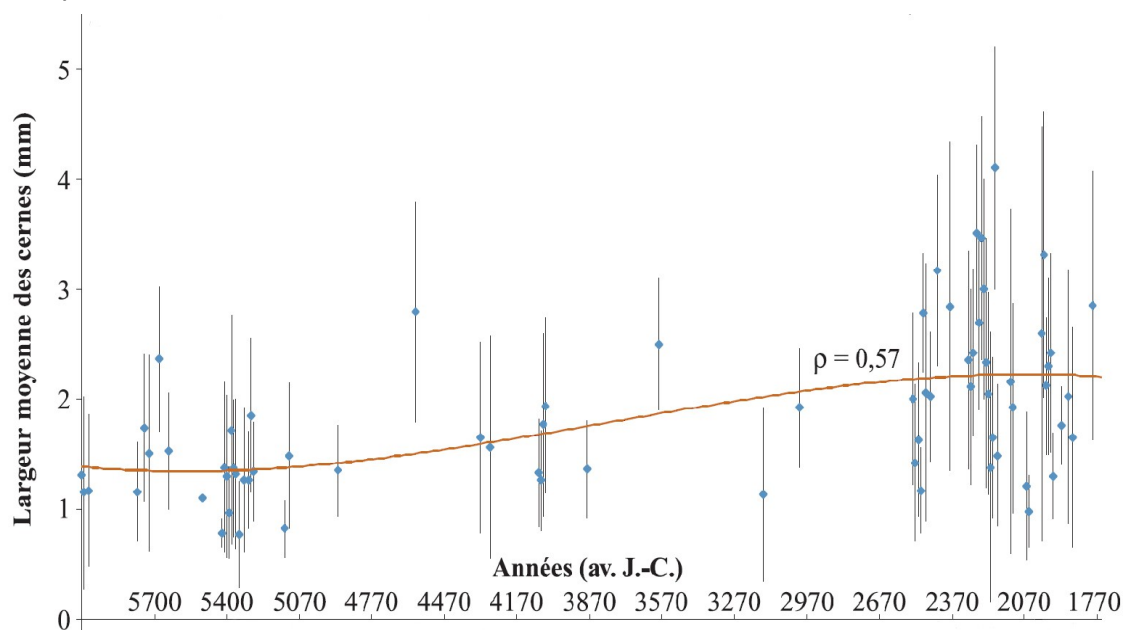


Fig. 11 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

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.

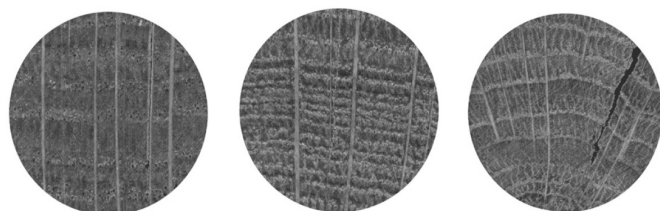


Fig. 12 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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 six à sept 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 prélèvements n°001, 005 et 009.

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

Remarque sur la détection du châtaignier :

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

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 tous les 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.

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).

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.

La longévité des Pomoïdées est hétérogène, potentiellement très longue pour l'aubépine (*Crataegus monogyna* jusqu'à 500 ans), plusieurs siècles pour le poirier (*Pyrus pyrausta*) et plus court pour les cotonéaster (jusqu'à 30 ans) (Rameau *et al.*, 1989).

Pour le genre *Prunus*, la longévité est généralement plutôt faible mais on constate des différences entre le cerisier (*Prunus avium*) qui peut vivre potentiellement un siècle et le prunellier (*Prunus spinosa*) qui n'excède guère plus de 50 ans (Rameau *et al.*, 1989).

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

La longévité du noisetier est de l'ordre de 20 à 30 ans (Rameau et *al.*, 2008). C'est donc un bon candidat pour des datations radiocarbone.



Fig. 14 – Représentation du noisetier (*Corylus avellana*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

Le **saule** (*Salix* sp.) et le **peuplier** (*Populus* sp.) sont des essences vivant dans des contextes humides tels que les bordures de rivières, les berges des lacs et zones alluviales. Ils sont souvent associés au noisetier et bouleau. Ce sont des bois utilisés en vannerie et offrant pour le saule des propriétés médicinales. En revanche ce sont des bois de feu assez médiocres, charbon léger (Rameau et *al.*, 1989). Ce sont des essences à forte croissance pouvant assurer un bon allumage du feu, mais leurs combustions respectives sont trop rapides.

La longévité du saule est faible (environ 50 ans maximum) pour la plupart des espèces. En revanche, la longévité du peuplier est potentiellement plus longue. Elle peut atteindre jusqu'à 300 – 400 ans pour le peuplier blanc. Elle n'est en revanche que de 70 – 80 ans pour le tremble.

Remarque : Le saule et le peuplier présentent des similitudes anatomiques marquées, ce qui justifie l'utilisation du taxon anthracologique « saule / peuplier » lorsque le critère différenciateur, en l'occurrence, le type de rayon sur le plan radial, n'a pas pu être observé.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les observations ont révélé des ensembles anthracologiques assez semblables. Ils proviennent d'un même remplissage de la fosse ST2. Les résultats et interprétations sont donc présentés dans un même chapitre ci-dessous.

3.1. Ensembles anthracologiques des prélèvements (n°001, n°002, n°003 et n°004).

a. Résultats

			Courbure			Rythme		Combustion						
Identifiants – prélèvements	Nom Espèce	Effectif	Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Thylle	Moelle
2024-139-001	Fagus sylvatica	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Graine	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Graine (type Céréale)	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus/Castanea	5	0	0	1	0	0	0	2	1	0	1	1	0
	Quercus sp.	11	0	6	0	4	0	1	3	1	0	1	2	0
	Salix/Populus	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	SOMME	25	0	6	3	4	0	1	5	2	0	2	3	1
2024-139-002	Fagus sylvatica	7	0	2	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Graine	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Graine (type Céréale)	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0
	Quercus/Castanea	24	0	4	2	0	1	0	8	1	0	0	2	0
	Quercus sp.	22	0	13	3	6	2	0	4	0	0	0	3	0
	SOMME	60	0	19	9	6	3	0	13	2	0	2	5	0
	Fagus sylvatica	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024-139-003	Graine (type Céréale)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Prunus sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Quercus/Castanea	20	0	0	6	1	1	0	4	3	0	4	2	0
	Quercus sp.	45	0	31	3	28	0	0	15	4	0	0	17	1
	SOMME	71	0	32	10	29	1	0	19	7	0	4	19	1
	Corylus avellana	3	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	Graine (type Céréale)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2024-139-004	Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
	Pomoidée	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Quercus/Castanea	10	0	1	1	0	0	0	2	2	0	0	1	0
	Quercus sp.	18	0	8	3	8	0	0	6	2	0	0	6	0
	SOMME	35	0	9	7	8	0	0	11	4	2	0	7	0
		191	0	66	29	47	4	1	48	15	2	8	34	2

Fig. 15 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour chacun des quatre prélèvements.

Identifiants des lots	Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
PR001	Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	4	10	1,37	0,55	0,74	2
PR002	Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	6	14	1,29	0,65	0,6	2,18
PR003	Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	27	60	0,86	0,27	0,49	1,33
PR004	Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	6	13	1	0,21	0,67	1,33

Fig. 16 – Tableau synthétisant les moyennes des largeurs de cerne (mm) réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire des quatre prélèvements.

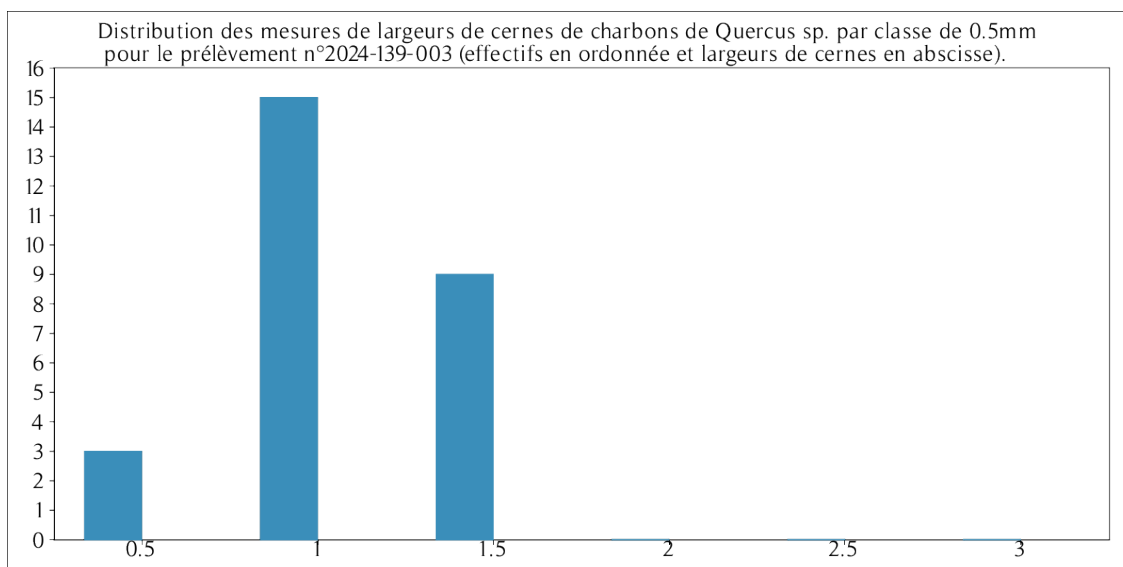


Fig. 17 – Histogramme des mesures de largeurs de cerne (mm) réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire du prélèvement n°003.

b. Interprétations

191 charbons ont été observés pour les quatre prélèvements.

Les analyses révélèrent des compositions assez semblables (Fig. 18). En effet, les charbons de chêne (*Quercus* sp.) et de chêne-châtaignier (*Quercus* sp. / *Castanea* sp.) constituent les deux tiers, voire, plus de trois quarts des quatre ensembles (Fig. 15).

Notons que l'hypothèse de la présence du châtaignier est peu probable à cette époque. 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.).

Le hêtre (*Fagus sylvatica*) correspond à l'essence la plus observée après le chêne. Il est détecté dans trois des quatre prélèvements (n°001, n°002, n°003).

De façon plus ponctuelle, des essences telles que le noisetier (*Corylus avellana*) (PR n°004), le saule/peuplier (*Salix* sp. / *Populus* sp.) (PR n°001), le genre *Prunus* (PR n°003), la famille des Pomoidées (PR n°004) sont aussi observées.

Enfin, la présence systématique de graines, notamment de type céréale, mérite d'être soulignée. Leur détection récurrente, parfois en nombre significatif (six graines dans le prélèvement n°001, quatre dans le prélèvement n°002), n'est probablement pas le fruit du hasard.

L'observation des courbures de cerne montre surtout l'emploi de bois de moyen calibre (petites et moyennes branches). En effet, les fragments de courbure intermédiaire représentent environ les deux tiers des charbons mesurés (respectivement 56% à 76%) et environ un tiers (24 % à 44 %) pour les charbons de forte courbure (Fig. 18).

Concernant l'aspect des charbons, on observe que les fragments luisants sont bien représentés (entre 28 et 48 %), ce qui plaide en faveur de rejets de combustions

très chaudes et anaérobies, de type four, voire de combustions confinées ou de fond de foyer (cf. chapitre 2.2.).

De manière générale, les charbons présentant des fentes de retrait sont plutôt rares (entre 3 et 12 %). Cela suggère que le bois utilisé était sec (non vert) au moment de la combustion.

Les essences telles que le hêtre et le chêne sont des bois denses, produisant des braises riches en énergie et durables. Ces bois peuvent donc être considérés comme d'excellents combustibles. En revanche, leur mise à feu peut s'avérer difficile, ce qui justifie l'utilisation de bois d'allumage, généralement issus d'essences « tendres » comme le saule, le peuplier ou le noisetier, ou encore de bois durs de petit calibre, tels que le bois de *Prunus* ou de Pomoidées. L'hypothèse de l'emploi de petites branches de hêtre ou de chêne pour l'allumage reste également envisageable.

Au regard des qualités de combustibilité des essences identifiées dans les quatre ensembles anthracologiques, ces derniers peuvent être interprétés comme le résultat d'un assemblage en combustible sélectionné avec soin.

Legende	Prélèvement n°001	Prélèvement n°002	Prélèvement n°003	Prélèvement n°004
■ Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) ■ Chêne / Châtaignier (<i>Quercus/Castanea</i>) ■ Chêne (<i>Quercus</i> sp.) ■ Saule / Peuplier (<i>Salix/Populus</i>) ■ Noisetier (<i>Corylus avellana</i>) ■ Pomoidée ■ <i>Prunus</i> sp. ■ Indéterminé ■ Graine type céréale ■ Graine				
Nombre de charbons étudiés.	25	60	45	35
Diversité (nb de taxons anthracologiques) Chêne et chêne-châtaignier distincts. Graines non prise en compte	4	3	4	4
Courbures des cernes	Forte : 33% Intermédiaire : 66% Faible : 0%	Forte : 32% Intermédiaire : 68% Faible : 0%	Forte : 24 % Intermédiaire : 76% Faible : 0 %	Forte : 44% Intermédiaire : 56% Faible : 0%
Fréquences des charbons d'aspect « luisant »	36,00%	28,00%	43,00%	48,00%
Fréquences des charbons avec fentes de retrait	12,00%	3,00%	10,00%	11,00%
Moyennes de largeurs de cerne (mm)	Moyenne = 1,37 mm (N=4 ; Ec-type = 0,55 mm)	Moyenne = 1,29 mm (N=6 ; Ec-type = 0,65 mm)	Moyenne = 0,86 mm (N=27 ; Ec-type = 0,27 mm)	Moyenne = 1 mm (N=6 ; Ec-type = 0,21 mm)

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

Afin de caractériser le type de ramassage, un calcul de l'indice de concentration de Pareto a été effectué sur l'ensemble des fragments des quatre prélèvements anthracologiques (soit 172 fragments, chêne et chêne-châtaignier rassemblés). Six taxons ont été retenus pour effectuer les calculs (Fig. 19).

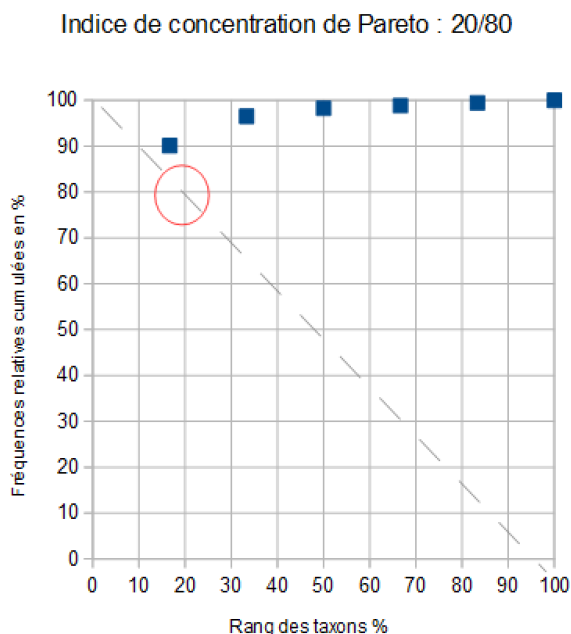


Fig. 19 – Graphiques exprimant l'indice de concentration de Pareto calculé sur l'ensemble des quatre compositions anthracologiques rassemblées, soit 172 charbons pris en compte pour six taxons anthracologiques. Remarque : les charbons de chêne, chêne-châtaignier ont été rassemblés dans un même taxon. Les graines et les indéterminés ont été exclus du calcul.

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).

Or, le graphique montre que les proportions des taxons anthracologiques constatées ne reflètent pas tout à fait les mêmes proportions que celles observées dans les communautés végétales naturelles en équilibre.

Cette différence pourrait, certes, s'expliquer par un problème de représentativité des effectifs étudiés (avec seulement 172 charbons pris en compte), mais elle résulte plus probablement de choix délibérés, orientés vers des essences reconnues pour leurs excellentes qualités de combustibilité, telles que le chêne et le hêtre, qui représentent à eux seuls plus de 95 % des fragments identifiés.

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

Plusieurs mesures de largeurs de cernes ont été effectuées sur des fragments de chêne de moyen calibre des quatre prélèvements, et plus particulièrement sur le prélèvement n°003 (Fig. 16, 17et 18). Les moyennes obtenues montrent des croissances difficiles avec des valeurs de l'ordre de 1 mm/an. Cela suggère un approvisionnement en bois de chêne dans un boisement dense ou mal exposé.

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 190 fragments ont été observés pour les quatre prélèvements (Fig. 1).

Les analyses révélèrent des ensembles charbonneux assez semblables en partie composés de charbons de chêne, chêne-châtaigner et de hêtre, provenant de bois de moyen à petit calibre (branches).

4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

Six à sept taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude (Fig. 18).

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

L'identification des taxons ligneux permet toutefois de proposer différentes associations écologiques (Rameau *et al.*, 1989) (Fig. 20) :

- **les groupements de la chênaie-hêtraie et de la chênaie diversifiée** avec le chêne, (chêne-châtaigner), le hêtre, voire le noisetier,
- **les boisements clairs, lisières forestières et haies** : avec la détection de la famille des Pomoïdées, du noisetier, du genre *Prunus*,

Ces boisements forestiers et boisements clairs correspondent à des collectes de bois dans des secteurs bien drainés.

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

Ces boisements hygrophiles, surtout caractérisés par la présence du saule / peuplier étaient probablement situés dans une zone alluviale ou à l'intérieur d'une zone humide.

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

	Prélèvement n°001	Prélèvement n°002	Prélèvement n°003	Prélèvement n°004
Groupes forestiers de la chênaie-hêtraie et chênaie diversifiée				
Boisements clairs, haies, lisières				
Boisements frais (humides)				

Fig. 20 – Tableau montrant les différents types de boisements explorés en fonction des différents prélèvements.

4.2. Informations d'ordre ethnographique

Les analyses des quatre prélèvements ont révélé des assemblages assez similaires (Fig. 18). Les fragments de chêne, chêne-châtaignier et de hêtre constituent les essences majoritairement employées dans les quatre ensembles.

La détection systématique de graines carbonisées, dont certaines de type céréale est à noter.

De manière plus anecdotique, des charbons de Pomoïdées, de saule/peuplier, du genre *Prunus* ont également été identifiés.

L'emploi de bois de chêne et du hêtre, bois denses à l'excellente combustibilité, ont probablement servi à alimenter des combustions dans la durée. Les autres essences observées, telles que le bois de Pomoïdées, de *Prunus* ou encore de saule/peuplier, ont probablement été utilisées lors de phases d'allumages, en raison de leur inflammabilité plus rapide.

Les restes charbonneux proviennent majoritairement de bois de calibre moyen à petit, brûlés à l'état sec. La proportion relativement élevée de fragments présentant un aspect « dur-luisant » suggère des rejets issus de combustions plus ou moins confinées, chaudes et anaérobies, et caractéristiques d'un fonctionnement en foyer fermé ou en four.

L'analyse statistique sur la composition globale des quatre prélèvements (indice de Pareto) montra que l'ensemble anthracologique était probablement le fruit d'une sélection intentionnelle des essences.

Ce type d'assemblage sélectif est généralement associé à des chaînes opératoires spécifiques, souvent liées à des activités artisanales (par exemple, les fours de poterie, séchoirs...), où le choix des essences et du calibre du bois vise à assurer une combustion maîtrisée. Dans le cas présent, bien qu'aucune activité artisanale n'ait été formellement identifiée sur le site, la détection systématique de graines carbonisées dans les prélèvements permet d'envisager l'hypothèse de pratiques liées au traitement des graines, possiblement une activité de grillage ou séchage des graines.

Au regard des aspects luisants des charbons, on peut évoquer l'hypothèse d'enfournement dans des structures chauffées (fours, séchoirs, foyers couverts).

5. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

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

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

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

GAUDIN L., 2004 - *Les transformations spatio-temporelles de la végétation du nord-ouest de la France depuis la fin de la dernière glaciation. Reconstitutions paléo-paysagères*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 2 tomes, 768 p.

GAUDIN L., 2019 - Analyse palynologique de la grotte diaclose de la « Karelsé » (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., 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. 21 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) de courbure de cerne intermédiaire d'aspect luisant. Coupe transversale. Grossissement x24. Prélèvement n°003. L'échelle représente des millimètres.

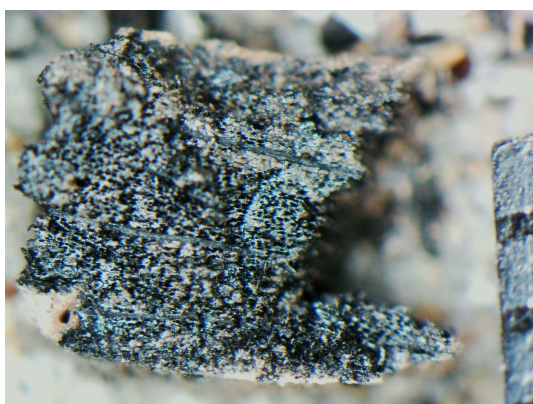


Fig. 22 – Fragment de hêtre (*Fagus sylvatica*) de courbure intermédiaire. Coupe transversale. Grossissement x22. Prélèvement n°002. L'échelle représente des millimètres.

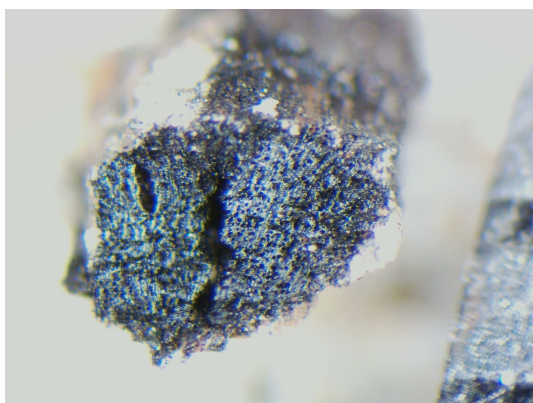


Fig. 23 – Fragment de Prunus. Coupe tangentielle. Grossissement x43. Prélèvement n°003.



Fig. 24 – Graine de type céréale. Grossissement x17. Prélèvement n°001. L'échelle représente des millimètres.

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

7.1. Prélèvement n°2024-139-001 (ST2)

● Résultats

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Moelle	Priorité
1	Quercus sp.	Intermédiaire	Mat	Absence	Absence	0
2	Salix sp. / Populus sp.	Forte	Mat	Absence	Absence	1
3	Frag. Graine	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2
4	Frag. Graine	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2
5	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (1er choix)
6	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (2d choix)
7	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (3e choix)

Fig. 25 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement n°001.

● Description

L'observation globale a permis d'identifier des graines.

Tube 1 : Fragment de chêne, de courbure intermédiaire, luisant, mais un des côté du fragment semble être de l'écorce. Reste probable. Pas particulièrement favorable.

Tube 2 : Très probable brindille de section entière de saule/peuplier. Plus probablement saule (rayons de types hétérogènes). Faible longévité. Indice favorable.

Tube 3 : Fragment de graine, indéterminé, mais potentiellement intéressant. A confirmer par un carpologue?

Tube 4 : Fragment de graine, indéterminé, mais potentiellement intéressant. A confirmer par un carpologue?

Tube 5 : Graine type céréale. Très favorable. 1er choix.

Tube 6 : Graine type céréale. Très favorable. 2e choix.

Tube 7 : Graine type céréale. Très favorable. 3e choix.

7.2. Prélèvement n°2024-139-002 (ST2)

● Résultats

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Moelle	Priorité
1	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (3e choix)
2	Frag. Graine	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2
3	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (3e choix)
4	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (3e choix)
5	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (2d choix)
6	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2 (1er choix)

Fig. 26 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement n°002.

● Description

L'observation globale a permis d'identifier des graines.

Tube 1 : Fragment de graine de type céréale. Très favorable. 3e choix.

Tube 2 : Fragment de graine indéterminée. Très favorable.

Tube 3 : Fragment de graine de type céréale. Très favorable. 3e choix.

Tube 4 : Fragment de graine de type céréale. Très favorable. 3e choix.

Tube 5 : Fragment de graine de type céréale. Très favorable. à choisir en second choix (plus de matière que tube 1).

Tube 6 : Fragment de graine de type céréale. Très favorable. à choisir en premier choix (plus de matière que les tubes 1 et 5).

7.3. Prélèvement n°2024-139-003 (ST2)

- **Résultats**

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Moelle	Priorité
1	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2

Fig. 27 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement n°003.

- **Description**

L'observation globale a permis d'identifier des graines.

Tube 1 : Fragment de graine de type céréale. Très favorable.

7.4. Prélèvement n°2024-139-004 (ST2)

- **Résultats**

Numéro de tube	Code Espèce	Courbure	Combustion	Cambium	Moelle	Priorité
1	Graine type céréale	Indéterminé	Mat	Absence	Absence	2

Fig. 28 – Inventaire des fragments, informations dendrologiques et indice de priorité proposé pour la réalisation d'une datation C14. Prélèvement n°004.

- **Description**

L'observation globale a permis d'identifier des graines.

Tube 1 : Fragment de graine de type céréale. Très favorable.