



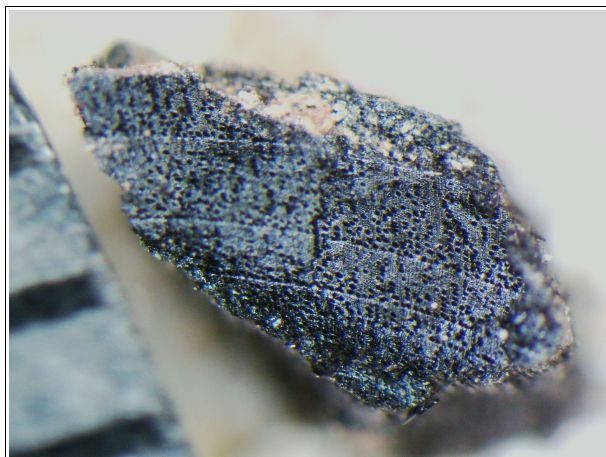
ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS
RÉALISÉS LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE D'UN
SITE DE LA COMMUNE DE SCHIEREN (LUXEMBOURG).**

**NIVEAUX DE COMBLEMENTS CHARBONNEUX D'UNE FOSSE
(US 276) ET D'UN FOSSÉ (US 502, US 505)**

OPÉRATION : 2022 – 013



INRA
SERVICE D'ARCHÉOLOGIE PROTOHISTORIQUE

Mars 2026

Institut National de Recherches Archéologiques

Service d'archéologie protohistorique

**Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique
d'un site de la commune de Schieren (Luxembourg).**

**Niveaux de comblements charbonneux d'une fosse (US 276)
et d'un fossé (US 502, US 505)**

Opération : 2022 – 013

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

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

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Illustration de la page de couverture :

*Fragment de aulne (Alnus sp.), vue en coupe transversale d'un fragment de forte courbure
de cerne. Grossissement x33 (l'échelle représente des millimètres). US 502.*

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS.....	5
2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION	8
2.1. Équipement d'observation.....	8
2.2. Méthodologie.....	9
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux	15
2.4. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	17
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....	20
3.1. Prélèvement de l'US 276, provenant de la fosse associée à un vase de stockage.....	20
a. Résultats	20
b. Interprétations	21
3.2. Prélèvements des US 505 et US 502 correspondant à des niveaux de comblement charbonneux d'un fossé.....	24
a. Résultats	24
b. Interprétations	25
4. BILAN.....	27
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	27
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	29
5. BIBLIOGRAPHIE.....	30
6. ANNEXE – Photographies.....	32

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une opération archéologique préventive menée sur un site de la commune de Schieren (Luxembourg).

Les charbons proviennent du comblement d'une fosse (US 276) de deux niveaux de comblement charbonneux d'un fossé (US 502 et US 505).

L'analyse a été menée en fonction de trois objectifs :

- Tenter de percevoir l'origine des charbons. Dans le cadre de la fouille de la fosse (US 276), des fragments appartenant à un grand vase de stockage ont été mis au jour, ainsi que des graines carbonisées. Ces éléments suggèrent que les charbons pourraient correspondre à des résidus de combustibles liés à des activités de traitement ou de transformation des graines. Concernant les niveaux charbonneux observés dans le fossé, ils pourraient également résulter de rejets de combustibles, bien que cette hypothèse reste à confirmer. En effet, il ne peut être exclu qu'il s'agisse de bois d'œuvre ayant subi une carbonisation accidentelle ou intentionnelle.

- Dans l'hypothèse où ces charbons correspondraient à des restes de combustibles, il conviendrait de caractériser la qualité du bois utilisé. Cette analyse permettrait de déterminer si les assemblages résultent de choix sélectifs — portant par exemple sur des essences ou des calibres spécifiques — ou d'un ramassage opportuniste de « tout-venant ». Elle contribuerait également à préciser si ces pratiques sont davantage représentatives d'usages domestiques ou d'activités artisanales.

- Enfin, l'étude anthracologique devrait permettre de caractériser les formations boisées présentes dans l'aire de ramassage, offrant ainsi des éléments de réflexion sur l'environnement végétal exploité et sur les modalités de gestion des ressources ligneuses.

Cette étude a été commanditée par l'Institut national de recherches archéologiques. La fouille en question a été dirigée par Madame Milena Crespi.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les prélèvements charbonneux ont fait l'objet de tamisages effectués au sein du service archéologique (mailles de 0,315 et 1 mm).

Au total, 180 fragments qui ont été observés (Fig 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE	
Commune :	Schieren (Luxembourg)
Nom de l'opération / Lieu-Dit :	
Année :	
N° OA :	OP. 2022- 013
Resp. d'Op. ; commanditaire	Iliya Hadzhipetkov
Type d'opération :	
Période d'analyse pressentie	mars 2026

Structure – US	Description (maille de tamis)	Description archéologique	Nombre de charbons observés
US 276	(maille 1 mm)	Comblement d'une fosse à l'intérieur de laquelle ont été trouvés un grand vase de stockage et des graines carbonisées	80
US 502	(maille 1 mm)	Couches supérieures (US 502) et inférieures (US 505) de remplissage d'un fossé	65
	(maille 0,315 mm)		10
US 505	(maille 1 mm)		25
			180

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

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

Pour l'ensemble des prélèvements, cinq à six taxons ont été identifiés (les taxons chêne-châtiagnier et chêne ont été rassemblés en un seul). Les courbes « effort-rendement » réalisées pour les prélèvements des US 276 et US 502 montrent des seuils situés entre 20 et 40 fragments (Fig. 2 et 3).

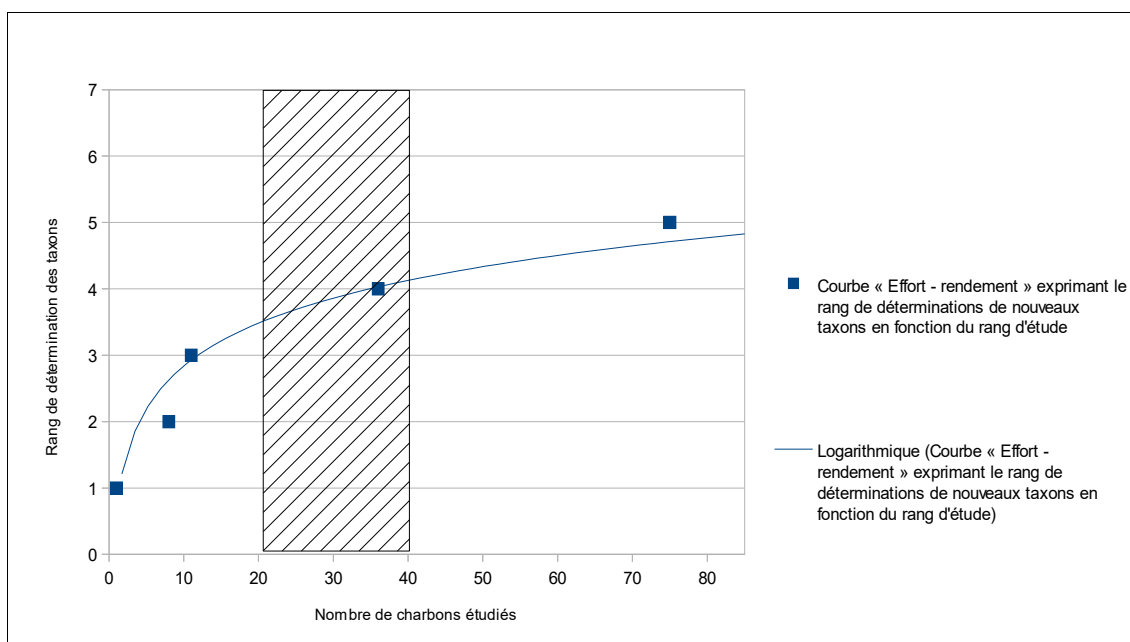


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement de l'US 276. Dans cet exemple, le cinquième taxon identifié (*Salix sp.* / *Populus sp.*) a été observé au 75e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 20 et 40 charbons.

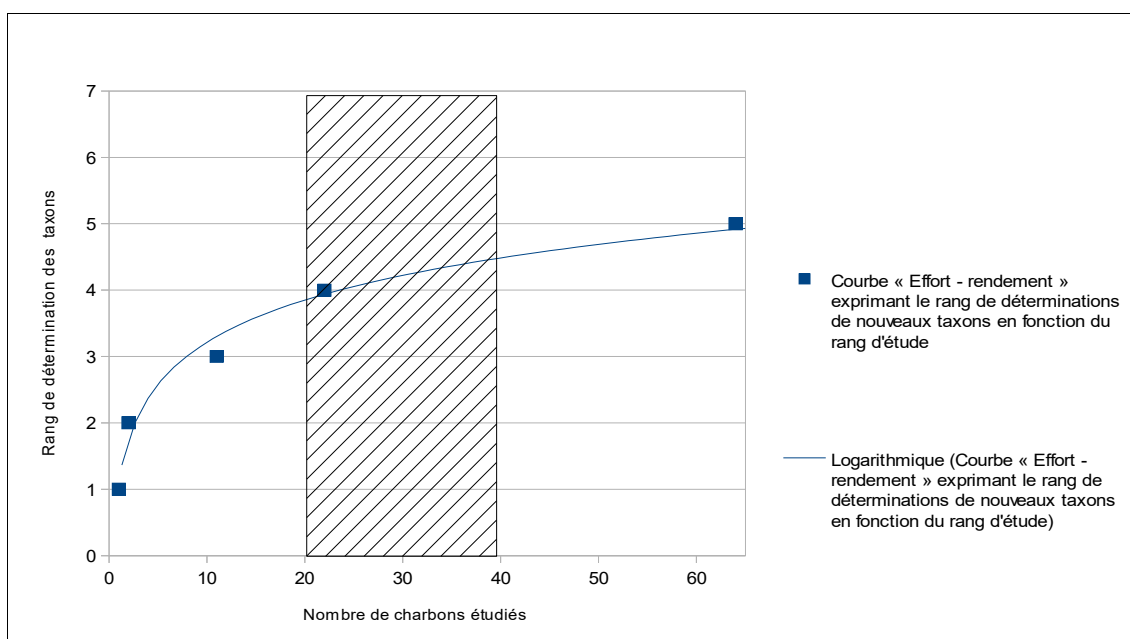


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement de l'US 502. Dans cet exemple, le cinquième taxon identifié (*Acer sp.*) a été observé au 64e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 20 et 40 charbons.

L'indicateur calculé à partir de la courbe « effort-rendement » est basé sur la diversité taxonomique. Or, 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 l'effectif d'échantillonnage représentatif.

En concertation avec l'archéologue et en fonction de l'enveloppe allouée pour cette étude, nous avons choisi d'étudier les prélèvements de façon la plus exhaustive possible, en poussant l'observation à environ 70 - 80 charbons par prélèvement lorsque cela était possible. Pour le prélèvement de l'US 505, l'ensemble charboneux était plus réduit, 25 fragments ont été observés.

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. 4 - 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.

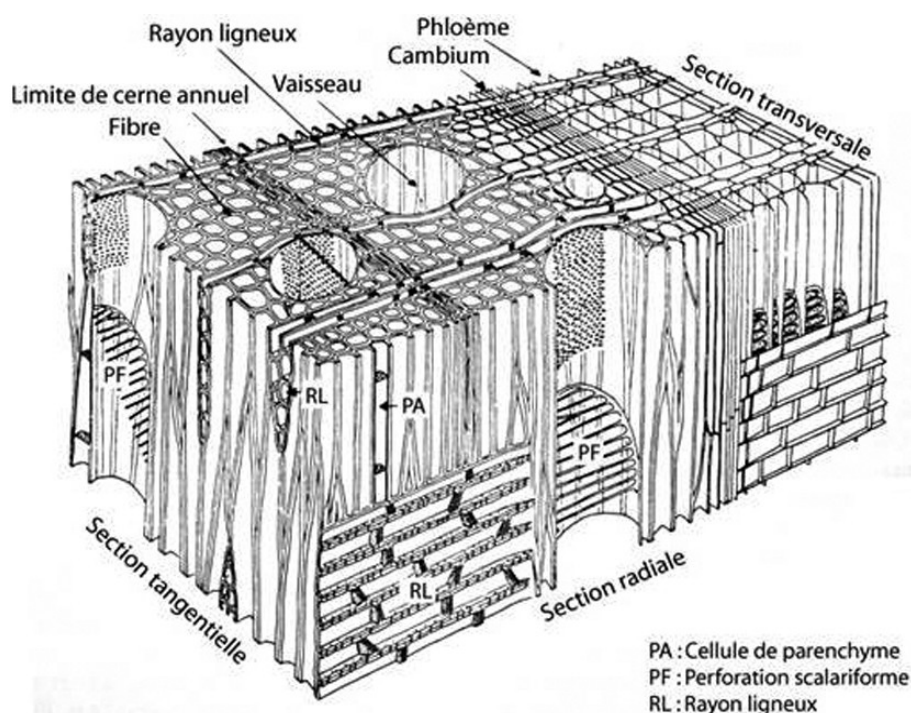


Fig. 5 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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).

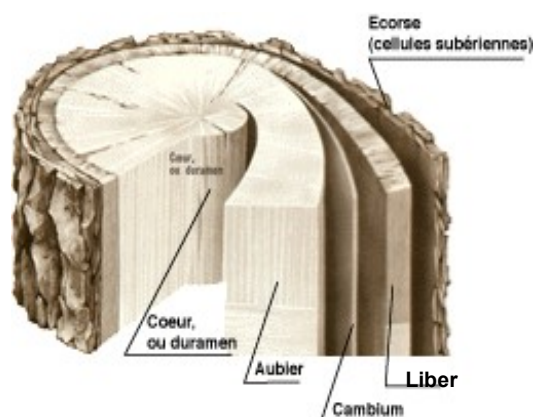
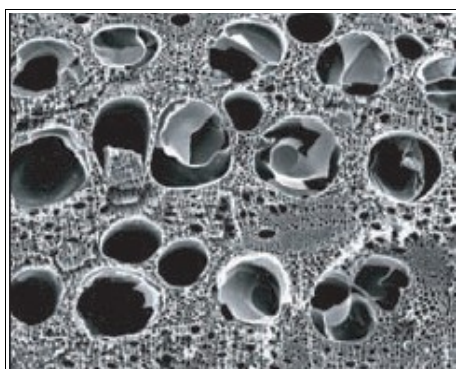
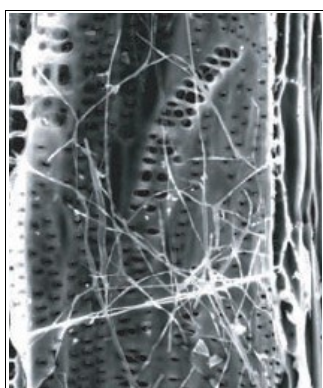


Fig. 6 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à 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.

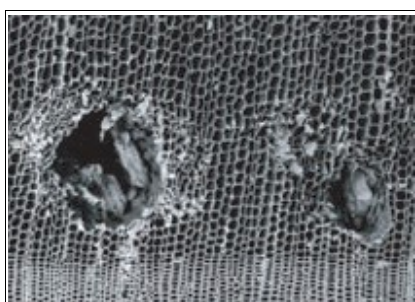
Fig. 7 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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. 8 – 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. 9 – 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). Des études un peu plus récentes d'A. Henry (*in* Excoffon., 2010), citées aussi par C. Cenzon-Salvayre (2014), tendent à montrer que l'effet de températures particulièrement élevées ne constituent pas un facteur déterminant dans l'apparition du phénomène de vitrification. Celui-ci semble en revanche étroitement lié à la durée de la combustion, tandis que la présence d'un milieu réducteur apparaît comme une condition indispensable. En 2010, A. Henry observe en effet une grande quantité de charbons vitrifiés dans une structure de crémation et émet l'hypothèse que ces charbons correspondent à des résidus qui ont « continué à cuire » sous la masse cendreuse du bûcher. 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 des types de structures tels que 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, durée, 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.

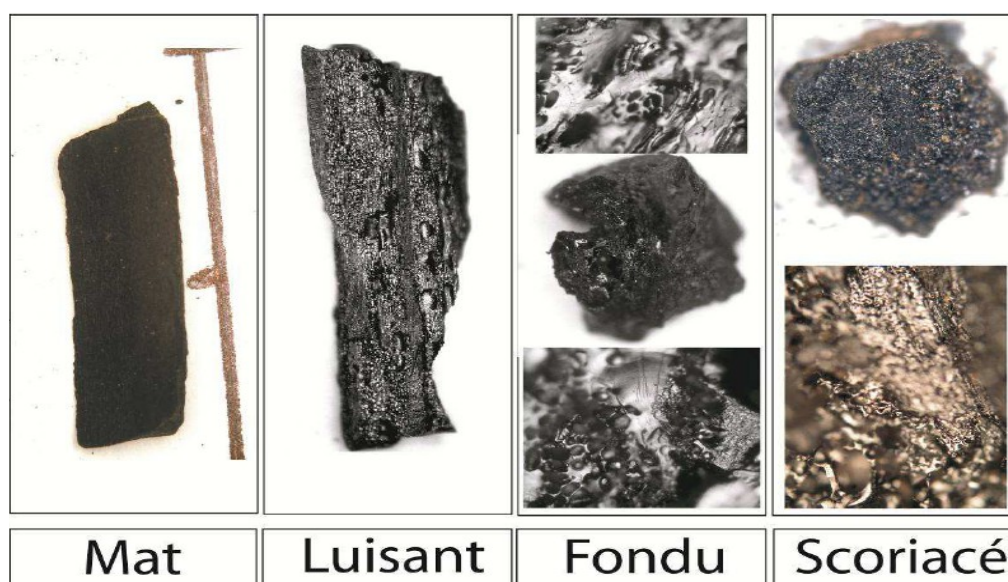
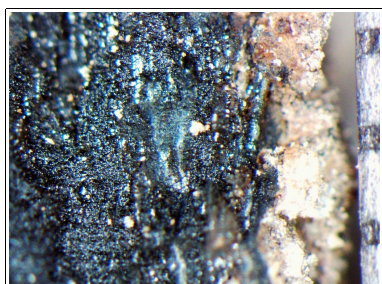


Fig. 10 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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. 11) a donc parfois été utilisé.

Fig. 11 – 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 :

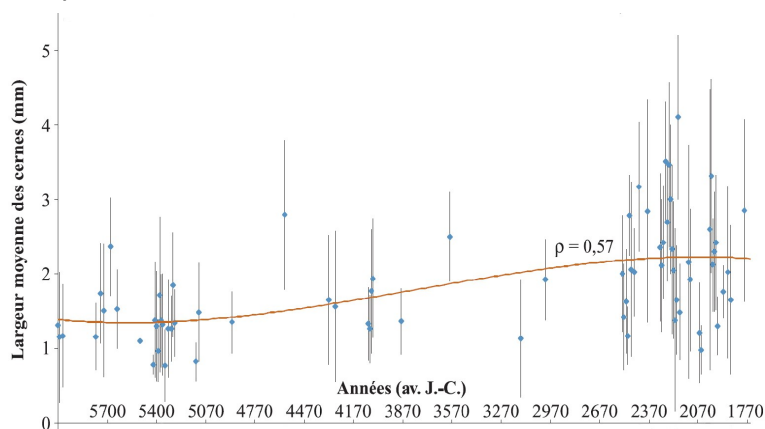
Une observation systématique des charbons de bois à faible grossissement a été effectuée en complément de la détermination des essences. Elle a permis de relever un certain nombre de caractères dendrologiques (types de courbure, types de combustion, occurrences de thylles, traces d'insectes...). Néanmoins, 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.



Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 12). 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 cerne renseigne sur l'origine des bois carbonisés.

Trois catégories de courbures sont potentiellement renseignées : faible, intermédiaire, forte (Fig. 13). 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.

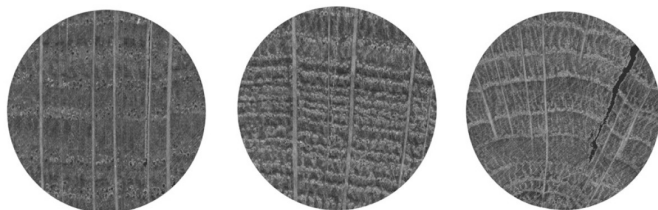


Fig. 13 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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

L'étude a permis de déterminer neuf à onze 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.

La longévité de la plupart des espèces de chêne est supérieure à 500 ans. Elle peut atteindre 1000 ans chez certaines espèces (Rameau *et al.*, 1989).

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

Remarque sur la détection du châtaignier :

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

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

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

L'érable (*Acer sp.*) et plus particulièrement l'érable champêtre 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.

Un probable fragment de **frêne** (*Fraxinus sp.*) a été identifié dans le prélèvement de l'US 505. Ce genre correspond au frêne commun (*Fraxinus excelsior*) dans la région considérée. C'est un taxon mésophile à mésohygrophile que l'on trouve dans les bois frais, aux bords des eaux, sur les versants ombragés. Il est souvent associé aux forêts ripicoles, chênaies et hêtraies-chênaies. Le feuillage est un très bon fourrage pour les animaux (Rameau *et al.*, 1989). Il est considéré comme un bon bois de chauffage car c'est un bois dense (570 kg / m³) avec un pouvoir calorifique important et générant une combustion lente.

Les Pomoïdeae ou Maloïdeae (ex. aubépine, poirier, néflier, alisier, cormier) 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 de *Pomoïdées* sont des bois denses et considérés comme de très bons combustibles, souvent employés sous la forme de bois de petit calibre (ex. type fagot), et privilégié pour générer des combustions vives telles que lors de phases d'allumages.

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 bouleau (*Betula sp.*) est une essence héliophile ou de demi-ombre. Elle se rencontre aussi bien dans les lisières de forêts caducifoliées, dans des bois clairs, dans des landes ou friches. Cette espèce 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 bouleau constitue 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.

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

On peut le retrouver associé au noisetier (*Corylus avellana*) ou au bouleau (*Betula sp.*) qui sont des essences qui peuvent aussi s'adapter à des sols humides.

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.

Le noyer (*Juglans sp.*, probablement le noyer commun *Juglans regia*) semble être identifié par l'intermédiaire d'un fragment du prélèvement de l'US 505. C'est une essence de climat assez doux qui reste sensible aux gelées. C'est une espèce héliophile et mésophile à méso-hygrophile. Il serait originaire des Balkans et aurait été planté un peu partout en France depuis l'époque gallo-romaine (y compris dans le diagramme pollinique de la grotte diaclose de la Karelsé (Gaudin L., 2019). Sa détection dans le cadre de cette étude semble donc précoce. Il serait « spontané » dans les zones alluviales (Rameau et al., 1989). Néanmoins, on le trouve régulièrement dans les études polliniques parfois de façon très ancienne. Il a parfois été cultivé pour ses noix à amandes comestibles. Il fournit un bois homogène à gros pores, duramen brun à brun-noir, facile à travailler, se courbant très bien, de très grande valeur, très recherché. Il est très régulièrement utilisé en ébénisterie, en tournerie, sculpture, marqueterie. Il fournit un bois de densité moyenne à forte donnant un bon combustible et un charbon estimé.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les différents échantillons anthracologiques proviennent de trois prélèvements effectués au sein de deux structures distinctes. Le prélèvement de l'US 276 correspond au comblement d'une fosse, à l'intérieur de laquelle a été mis au jour un grand vase de stockage. Les prélèvements des US 505 et 502 proviennent quant à eux de niveaux de comblement d'un fossé.

Les prélèvements ont été réalisés en masse, puis soumis à un tamisage à l'aide de mailles de 0,315 mm et de 1 mm. En raison de la très petite taille des charbons, l'analyse s'est principalement concentrée sur les refus de tamis constitués de fragments supérieurs à 1 mm. Quelques charbons issus du refus de tamis de 0,315 mm ont néanmoins été observés pour le prélèvement de l'US 502 ; ceux-ci ne présentent pas de différences notables par rapport aux charbons de taille supérieure à 1 mm.

3.1. Prélèvement de l'US 276, provenant de la fosse associée à un vase de stockage.

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Fendu très brillant - struct. Inform.	Aspect granuleux	Thylle	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud				
Betula sp.	10	0	2	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	5	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
rag. de brindille indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Indéterminé	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	17	0	0
Pomoidée	2	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	10	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	28	0	10	1	8	0	1	1	2	0	0	0	0	4	0
Salix/Populus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOMME	80	0	13	6	8	0	1	5	5	0	4	0	17	4	1

Fig. 14 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de l'US276.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	8	15	1,28	0,1	1,1	1,4

Fig. 15 – Tableau des résultats des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire.

b. Interprétations

80 charbons correspondant de cinq à six taxons anthracologiques ont été identifiés. Par ordre d'importance on constate des charbons de chêne (*Quercus sp.*), de chêne-châtaigner (*Quercus sp. / Castanea sp.*), de bouleau (*Betula sp.*), de hêtre (*Fagus sylvatica*). Dans une moindre mesure, des charbons de Pomoïdées et de saule/peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*) ont aussi été observés (Fig.14 et 16).

Notons que l'hypothèse de la présence du châtaignier est peu probable. Le taxon anthracologique « chêne-châtaigner » est surtout lié à la difficulté de distinguer le chêne du châtaignier pour les petits fragments (cf. notes à ce sujet chapitre 2.4.).

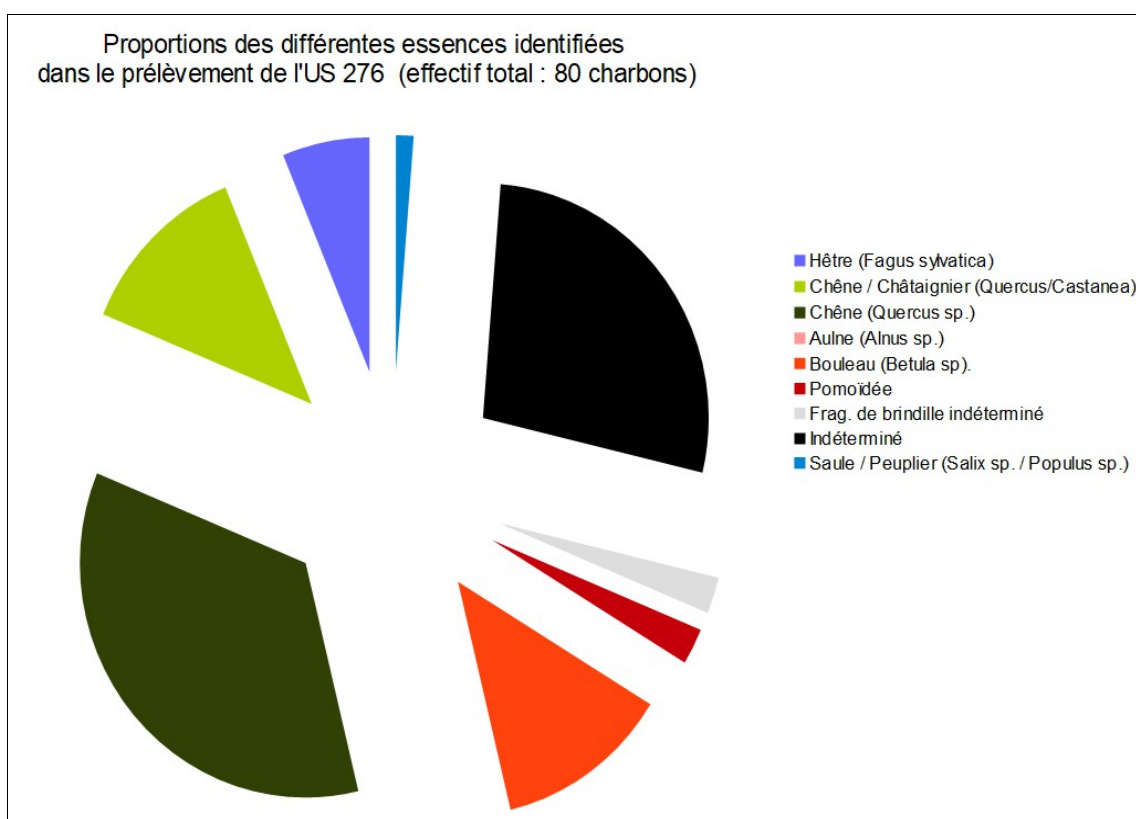


Fig. 16 – Représentation des proportions des différents taxons identifiés pour le prélèvement de l'US 276 sous la forme d'un « camembert éclaté ».

L'observation des courbures de cerne met majoritairement en évidence des fragments à courbure moyenne (66 %) (fig. 14). Ces résultats indiquent une utilisation dominante de bois de calibre intermédiaire, correspondant principalement à des branches de quelques centimètres de diamètre.

Les essences telles que le chêne et le hêtre appartiennent à la catégorie des bois durs, produisant des braises à fort pouvoir calorifique et à combustion durable. Elles peuvent ainsi être qualifiées d'« excellents » combustibles. À l'inverse, l'aulne, le bouleau, le saule/peuplier et l'aubépine (Pomoïdées) correspondent à des bois plus « tendres », qui s'enflamment rapidement mais présentent une durée de combustion plus limitée. Le chêne et le hêtre semblent donc avoir été privilégiés pour l'alimentation principale du feu. Leur mise à feu étant plus difficile, l'emploi complémentaire de bois de petite section et de bois tendres, notamment le bouleau, a probablement joué un rôle essentiel lors de la phase d'allumage.

De manière générale, les charbons présentant des fentes de retrait sont peu abondants (environ 12 %). Cette caractéristique est typique d'un bois brûlé à l'état sec, et non vert. Ce constat suggère une sélection préalable du bois lors de la collecte, voire l'existence d'un stockage avant son utilisation.

La proportion de fragments à aspect luisant demeure également limitée (17 %). Les charbons semblent ainsi résulter majoritairement de combustions aérobies (voir chapitre 2.2. concernant le phénomène de « vitrification »). L'hypothèse d'une production issue de combustions ouvertes, de type foyer, apparaît donc la plus probable. Les rares aspects luisants observés pourraient correspondre à des effets localisés, possiblement en fond de foyer. Dans l'ensemble, les modalités de combustion indiquent un feu bien oxygéné, confirmant une origine liée à des foyers ouverts.

Afin de caractériser les modalités de ramassage du bois, des calculs de l'indice de concentration de Pareto ont été réalisés à partir des proportions des cinq taxons anthracologiques identifiés. À cette occasion, les charbons de chêne et de chêne-châtaignier ont été regroupés au sein d'un même taxon (fig. 17).

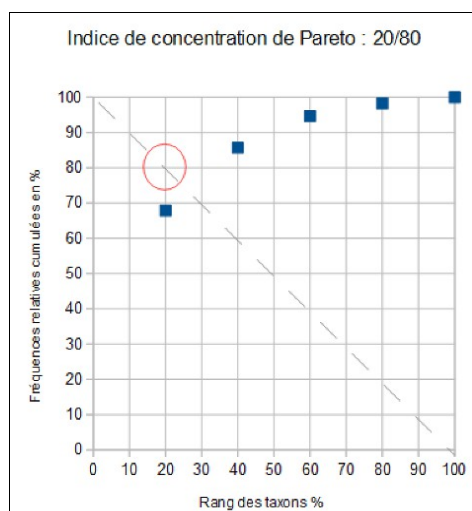


Fig. 17 – Indice de concentration de Pareto pour l'ensemble charbonneux de l'US 276. Le calcul a été effectué sur les effectifs de cinq taxons anthracologiques déterminés (Chêne, bouleau, hêtre, Pomoïdée, saule/bouleau). Les fragments de chêne et de chêne-châtaignier, ont été rassemblés. 56 charbons ont été retenus pour le calcul.

Le principe du calcul de l'indice de concentration de Pareto repose sur l'observation selon laquelle, au sein des communautés végétales en équilibre, environ 20 % des taxons concentrent près de 80 % de la biomasse (Chabal *et al.*, 1999). Or, le graphique obtenu montre que les proportions des taxons anthracologiques identifiés ne correspondent pas à cette distribution théorique, telle qu'elle est observée dans les communautés végétales naturelles.

Cet écart pourrait certes s'expliquer en partie par des limites de représentativité de l'échantillon analysé (56 charbons et seulement cinq taxons pris en compte pour le calcul). Toutefois, il semble plus probablement traduire des pratiques de ramassage sélectif, orientées principalement vers le bois de chêne et de hêtre (fig. 17). Une telle sélection est généralement caractéristique d'activités de type artisanal ou, plus largement, de systèmes techniques impliquant des choix précis et maîtrisés en matière de combustible.

Rappelons que le comblement de la fosse contenait un vase de stockage ainsi qu'un important assemblage de graines carbonisées (comm. pers. M. Hadzhipetkov). Dans ce contexte, l'hypothèse d'une sélection spécifique des combustibles en lien avec des activités de traitement des graines, telles que le grillage ou le séchage, apparaît plausible.

Enfin, quelques mesures de largeur de cernes réalisées sur des charbons de chêne ont permis de calculer une moyenne faible d'environ 1,28 mm/an (fig. 15). Cette valeur est caractéristique de conditions de croissance contraignantes, pouvant refléter un environnement défavorable (sols pauvres, humides ou mal exposés) ou un milieu soumis à une forte compétition inter- ou intraspécifique pour l'accès aux ressources, notamment dans le cas d'un boisement dense.

3.2. Prélèvements des US 505 et US 502 correspondant à des niveaux de comblement charbonneux d'un fossé.

a. Résultats

			Courbure				Rythme		Combustion							
Identifiants – prélèvements	Nom Espèce	Effectif	Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu / Luisant	Scoïacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fendu très brillant - struct. Inform.	Aspect granuleux	Thyll	
US 502 (maille 1 mm)	Acer sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Alnus sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Betula sp.	9	0	4	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	Frag. Coquille?	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fagus sylvatica	14	0	7	3	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	
	rag. de brindille indéterminé	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	2	0	
	Quercus/Castanea	10	0	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	
	Quercus sp.	22	0	7	4	1	0	0	5	1	0	0	0	0	3	
	Salix/Populus	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SOMMES		65	0	20	12	1	0	0	9	3	0	3	0	2	5	
US 502 (maille 0,315 mm)	Coquille indéterminée	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fagus sylvatica	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Quercus/Castanea	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Salix/Populus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SOMMES		10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fig. 18 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour les charbons du prélèvement de l'US 502. Les résultats des observations des refus de tamis de maille 1 et 0,315 mm sont présentés séparément.

			Courbure				Rythme		Combustion							
Identifiants – prélèvements	Nom Espèce	Effectif	Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/ Luisant	Fendu / Luisant	Scoïacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fendu très brillant - struct. Inform	Aspect granuleux	Thylle	
US 505 (maille 1 mm)	Alnus sp.	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Fagus sylvatica	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	rag. de brindille indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
	Fraxinus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Indéterminé	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	
	Juglans sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
	Pomoldée	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Quercus/Castanea	7	0	1	0	0	0	1	4	0	0	0	1	1	1	
	Quercus sp.	7	0	3	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	
SOMME		25	0	6	4	2	0	1	5	1	0	1	1	3		

Fig. 19 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour les charbons du prélèvement de l'US 505.

b. Interprétations

Une centaine de charbons a été observée pour les deux prélèvements provenant de deux niveaux de comblement d'un même fossé. L'US 502 correspond à la couche supérieure, tandis que l'US 505 provient du niveau inférieur. Les analyses anthracologiques ont systématiquement révélé la présence de charbons de chêne ou de chêne-châtaigner (*Quercus sp.* / *Castanea sp.*), de hêtre (*Fagus sylvatica*) et d'aulne (*Alnus sp.*). Dans les deux ensembles, le chêne et le hêtre sont dominants (en plus du bouleau pour l'US 502) (Fig. 20).

Outre ces trois taxons principaux, le prélèvement de l'US 505 a livré un fragment de Pomoïdée, ainsi que des charbons de frêne (*Fraxinus sp.*) et de noyer (*Juglans sp.*). Le prélèvement de l'US 502 se distingue, quant à lui, par la détection importante de bouleau (*Betula sp.*), accompagnée de quelques charbons de saule/peuplier (*Salix sp.* / *Populus sp.*) et d'érable (*Acer sp.*). Ces différences de composition, suffisamment marquées, indiquent qu'il s'agit vraisemblablement de rejets issus de deux combustions distinctes.

L'observation des courbures de cerne suggère majoritairement l'utilisation de bois de calibre moyen, correspondant à de grosses branches d'au moins quelques centimètres de diamètre. Les fragments à courbure intermédiaire représentent environ les deux tiers des charbons mesurés (respectivement 60 % et 62 %), tandis que ceux à forte courbure constituent un peu plus d'un tiers de l'ensemble (Fig. 20). En raison de la petite taille des fragments, il n'a toutefois pas été possible d'estimer les rayons minimum (calibration).

Compte tenu des calibres des bois utilisés (essentiellement du bois de moyen à petit calibre), des diverses essences observées, mais aussi du faible nombre de galeries de xylophages observées, l'hypothèse de restes de bois d'œuvre est peu plausible. L'hypothèse de rejets de combustible est donc la plus probable.

En ce qui concerne l'aspect des charbons, on constate que les fragments d'aspects luisants sont en nombre non négligeable mais en proportion trop faible (entre 23 et 32%) pour être interprétés comme étant issus de combustions très chaudes et anaérobies (type four). L'hypothèse de charbons provenant de combustions « ouvertes » (ex. foyer) est donc la plus probable. Les aspects luisants observés sur certains charbons relèvent probablement d'effets localisés, peut-être en fond de foyer.

De manière générale, les charbons présentant des fentes de retrait sont peu nombreux (entre 9 % et 16 %). Cette caractéristique est typique d'un bois brûlé à l'état sec (non vert), suggérant un stockage préalable avant utilisation.

Le chêne, le hêtre, ainsi que les rares éléments de frêne et d'érable, sont des bois « denses ou lourds » constituant des combustibles de qualité, capables de produire des braises livrant beaucoup d'énergie et dans la durée. Ces propriétés techniques ont pu être recherchées intentionnellement. L'hypothèse de restes de combustibles destinés à générer des braises dans le cadre d'activités spécifiques, possiblement de « type artisanales » est possible.

Ces bois denses étant relativement difficiles à enflammer, leur association avec des bois de petite section et des essences plus légères, telles que le bouleau, l'aulne, le saule/peuplier ou encore les Pomoïdées (type aubépine), apparaît cohérente, ces dernières facilitant l'allumage du foyer.

Légende	Prélèvement n°US 502 (couche supérieure)	Prélèvement n°US 505 (couche inférieure)
■ Frêne (Fraxinus sp.) ■ Hêtre (Fagus sylvatica) ■ Chêne / Châtaignier (Quercus/Castanea) ■ Chêne (Quercus sp.) ■ Pomoidée ■ Auline (Alnus sp.) ■ Noyer (Juglans sp.) ■ Bouleau (Betula sp.) ■ Erable (Acer sp.) ■ Saule / Peuplier (Salix sp. / Populus sp.) ■ Frag. de brindille indéterminé ■ Frag. Coquille indet. ■ Indéterminé		
Nombre de charbons étudiés.	75	25
Diversité (nb de taxons anthracologiques)	6 à 7	6 à 7
Indices de concentration de Pareto :	Indice de concentration de Pareto : 20/80 Indice de concentration de Pareto : 20/80 Même si les diversités anthracologiques sont assez faibles (6 taxons), les deux graphiques montrent que les proportions observées ne reflètent pas les mêmes rapports d'équilibre que ceux constatés en théorie dans les communautés végétales naturelles. Ces différences pourraient être dues à des ramassages sélectifs (chêne, hêtre, bouleau notamment).	
Courbures des cernes	Forte : 38% Intermédiaire : 62% Faible : 0%	Forte : 40% Intermédiaire : 60% Faible : 0%
Fréquences des charbons d'aspect « luisant »	23,00%	32,00%
Fréquences des charbons avec fentes de retrait	9,00%	16,00%

Fig. 20 – Tableau synthétisant les principales caractéristiques (proportions des différentes essences, diversité, courbures des cernes, aspects luisants, aspects fendus) des deux compositions anthracologiques associées aux niveaux de comblement des US 505 et US 502.

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Un peu plus de 150 fragments ont été observés pour l'ensemble des prélèvements (Fig. 1).

4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

Neuf à onze taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude.

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

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

- **le groupement de la chênaie-hêtraie** avec le chêne, (chêne-châtaignier), le hêtre et potentiellement l'érable,
- **les boisements clairs, lisières forestières et haies** : avec la détection de charbons de Pomoïdées (type aubépine), d'érable et de bouleau,
- **les bois frais** (zones alluviales) peuvent être suggérés avec le bouleau, le frêne et le noyer,
- **les boisements humides** : avec l'aulne, le saule/peuplier, voire le frêne et le bouleau,
- **les plantations** : avec potentiellement l'introduction du noyer.

Les aires de ramassage du bois correspondent à différentes formations ligneuses, déduites de l'écologie des essences identifiées, à savoir principalement une chênaie-hêtraie, des boisements clairs et des lisières forestières. Les détections de l'aulne, du frêne et du saule/peuplier indiquent en outre l'exploration de boisements frais et humides.

Les mesures de largeur de cernes effectuées sur quelques fragments de chêne à faible et moyenne courbure de cerne issus du prélèvement de l'US 276 ont permis d'établir une valeur moyenne d'environ 1,28 mm par an. Cette valeur correspond à une croissance annuelle faible. Elle suggère un prélèvement dans des chênaies soumises à des contraintes de croissance, possiblement des peuplements denses ou implantés sur des sols pauvres, humides ou défavorablement exposés.

Remarque – écologie du bouleau

Le bouleau est une essence pionnière que l'on rencontre aussi bien dans les boisements clairs que dans les lisières forestières et les haies. Il peut également se développer dans des espaces en déprise agricole ou au sein de fourrés arbustifs. Il s'agit d'une essence ubiquiste, fréquemment associée au noisetier, et capable de s'accommoder de conditions écologiques variées, y compris humides.

Remarque : détection du noyer

La détection d'un très probable fragment de noyer (*Juglans sp.*) (Fig. 21) mérite d'être soulignée. Cette essence est en effet couramment considérée comme un marqueur de la transition vers la période gallo-romaine. Elle a notamment été mise en évidence dans l'analyse pollinique de la grotte diaclase de la Karelslé (Gaudin, 2019). En revanche, la présence du noyer durant les périodes de l'Âge du Fer demeure exceptionnelle. Aucune attestation n'avait par exemple été relevée dans l'ensemble des études polliniques et anthracologiques menées sur les sites protohistoriques de Grevenmacher (Gaudin, 2025).

Parmi les usages possibles, rappelons qu'il a parfois été cultivé pour ses noix à amandes comestibles. De plus, il fournit un bois facile à travailler. Il est très régulièrement utilisé en ébénisterie, en tournerie, sculpture, marqueterie (Rameau *et al.*, 1989).

L'hypothèse reste toutefois fragile car elle ne repose que sur un seul petit fragment (cf. vues sous différentes coupes Fig. 21).

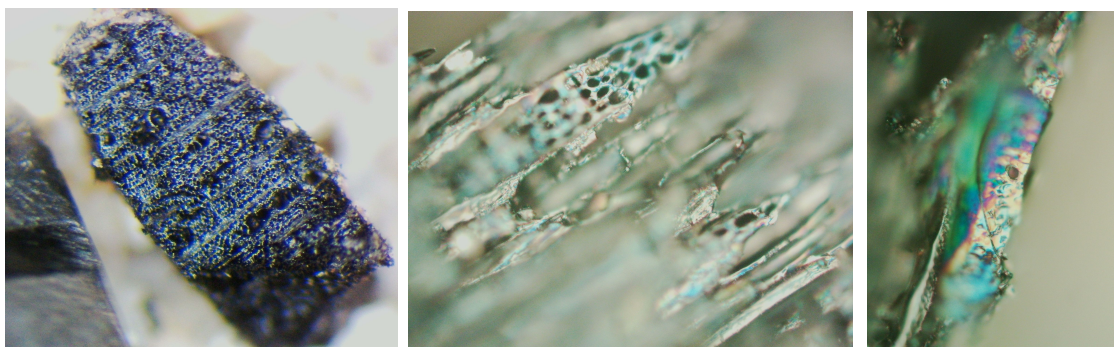


Fig. 21 – Photographies du fragment de noyer (*Juglans sp.*), prélèvement de l'US 505. Coupe transversale (vue de gauche), l'échelle représente des millimètres. Détail de quelques « gros » pores accolés radialement et de porosité diffuse. Coupe tangentielle sur la vue du milieu (grossissement x 400). Détail d'un rayon multi-sérié de 4-5 cellules de large. Vue de droite (coupe radiale), absence d'ornementation de type digitation et absence de perforations scalariformes permettant d'écarter l'hypothèse du bouleau (*Betula sp.*)

4.2. Informations d'ordre ethnographique

En ce qui concerne la nature des bois brûlés, l'identification d'un nombre élevé d'essences (neuf à onze taxons anthracologiques), le petit calibre de certains fragments ainsi que l'absence de galeries de xylophages confirment qu'il s'agit de restes de combustibles et non de bois d'œuvre.

Par ailleurs, la très faible fréquence des fentes de retrait observées sur les charbons indique l'utilisation de bois sec (« non vert »), impliquant vraisemblablement un stockage préalable du combustible avant son emploi.

L'assemblage se caractérise par une utilisation majoritaire de bois denses ou « lourds », principalement le chêne et le hêtre, qui peuvent être considérés comme d'excellents combustibles. Ces essences dominantes, auxquelles s'ajoutent l'érable et le frêne, représentent environ 80 % des charbons identifiés. Leur emploi permet une montée en température progressive, tout en assurant la production de braises livrant beaucoup d'énergie et de façon lente. Bien que ces bois soient relativement difficiles à enflammer, l'association avec des bois de petit calibre et des branches issues d'essences plus tendres (aulne, bouleau, Pomoïdées, saule/peuplier) a très probablement facilité l'allumage et favorisé l'activation de la combustion.

La proportion relativement faible de charbons d'aspect luisant (environ 17 à 32 %) suggère des rejets issus de combustions ouvertes, de type foyer, par opposition à des structures fermées assimilables à des fours à combustion étouffée.

Concernant le calibre des bois, les combustibles employés semblent majoritairement de diamètre moyen, probablement de l'ordre de quelques centimètres. En effet, 60 à 66 % des fragments présentent une courbure intermédiaire des cernes, tandis qu'aucun charbons de faible courbure n'a pu être interprété.

Le nombre « relativement élevé » d'essences identifiées (neuf à onze taxons anthracologiques pour les trois prélèvements, mais jamais plus de six pour chaque prélèvement) est souvent interprété comme le résultat de ramassages de type « tout venant ». Toutefois, les calculs de l'indice de concentration de Pareto (Fig. 17 et 20) effectués pour chacun des trois ensembles montrent que le rapport d'équilibre théorique 20% des essences correspondant à 80% de la biomasse, tel qu'il est attendu dans un écosystème en équilibre (Chabal *et al.*, 1999), ne sont jamais atteints. Cette distribution plaide ainsi davantage en faveur d'une sélection intentionnelle des combustibles que d'un ramassage strictement opportuniste.

Ces choix, que l'on peut qualifier de « techniques », rapprocheraient les compositions anthracologiques observées de celles fréquemment associées à des activités de « type artisanal » ou à des systèmes techniques nécessitant une sélection rigoureuses des combustibles.

Dans le cadre du prélèvement de l'US 276, un vase de stockage ainsi qu'un nombre important de graines carbonisées ont été mis en évidence au sein du comblement de la fosse. Dans ce contexte, l'hypothèse de rejets charbonneux issus de la chaîne opératoire de traitement des graines, notamment lors d'opérations de grillage ou de torréfaction, apparaîtrait crédible.

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.

CENZON-SALVAYRE C., 2014 - *Le bûcher funéraire dans l'Antiquité : une approche archéologique, bioarchéologique et historique d'après l'étude des structures de crémation en Gaule méridionale*. Archéologie et Préhistoire. Volume 1. Université du Maine, 2014. 444 p.

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.

CHALLINOR D., 2011 - The wood charcoal », in TIMBY (Dir.), *A slice of Rural Essex Archaeological discoveries from the A120 between Stansted Airport and Braintree*. Oxford Wessex Archaeology, Chap. 8, CD-Rom.

EXCOFFON P., 2010 - *Une tombe à incinération du premier âge du fer au quartier du Capitou à Fréjus (Var)*. BAP, 33, p. 19-26.

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.

GAUDIN L., 2025 - *Bilan des résultats anthracologiques et palynologiques acquis lors des opérations des sites protohistoriques de Grevenmacher (Luxembourg) entre 2022 et 2024*. INRA Service d'archéologie protohistorique. 35p.

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.

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

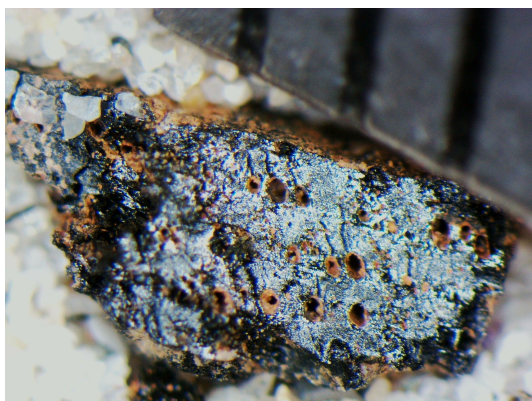


Fig. 22 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) de courbure de cerne intermédiaire et d'aspect luisant. Coupe transversale. Grossissement x39. Prélèvement n°US 505. L'échelle représente des millimètres.

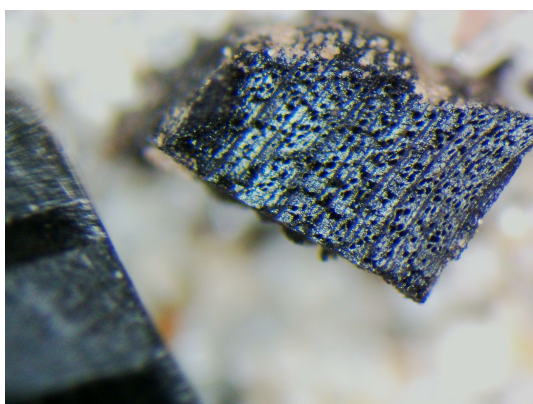


Fig. 23 – Fragment de hêtre (*Fagus sylvatica*) de courbure intermédiaire. Coupe transversale. Grossissement x43. Prélèvement n°US 505. L'échelle représente des millimètres.

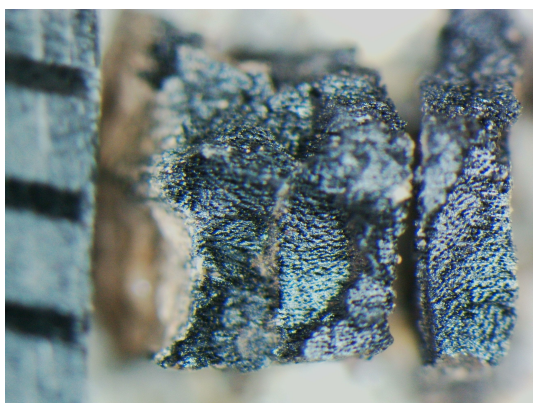


Fig. 24 – Fragment de Pomoïdée. Coupe transversale. Grossissement x29. Prélèvement n°US 502. L'échelle représente des millimètres.