



# ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES  
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSES ANTHRACOLOGIQUES DE PRÉLÈVEMENTS  
RÉALISÉS LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE  
DU SITE DE « DUNGERLOCH ET HOHEICHWEG »,  
SUR LA COMMUNE DE GAMBSHEIM (67).**

**ENSEMBLE CHARBONNEUX ASSOCIÉ À UNE STRUCTURE DE TYPE  
« FOUR POLYNÉSIEEN » OU « FOYER À GALETS CHAUFFÉS »  
(ST345)**

**OPÉRATION / ID STRUCTURE :  
017836 – PAN – 345.2**



**ARCHÉOLOGIE - ALSACE**

**Février 2026**

## **Archéologie – Alsace**

**11 rue Champollion**

**67600 SÉLESTAT**

---

**Analyses anthracologiques de prélèvements réalisés lors de l'opération archéologique du site de « Dungerloch et Hoheichweg », sur la commune de Gamsheim (67).**

**Ensemble charbonneux associé à une structure de type « four polynésien »  
ou « foyer à galets chauffés » (ST 345)**

**Opération – Structure : n° 017836 – PAN – 345.2 .**

---

### **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](mailto:loic.gaudin@arkeomap.com)

Site web : [arkeomap.com](http://arkeomap.com)

---

Illustration de la page de couverture :

*Fragment de charme (Carpinus sp.), vue en coupe transversale d'une section entière avec l'écorce, grossissement x12 (l'échelle représente des millimètres).*

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS.....</b>	<b>5</b>
<b>2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION .....</b>	<b>7</b>
2.1. Équipement d'observation.....	7
2.2. Méthodologie.....	8
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux .....	14
2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration »	16
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	18
<b>3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....</b>	<b>20</b>
3.1. Couche charbonneuse issue du comblement de la structure ST 345.2.....	20
<a href="#">a. Résultats .....</a>	<a href="#">20</a>
<a href="#">b. Interprétations .....</a>	<a href="#">22</a>
<b>4. BILAN.....</b>	<b>25</b>
4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental.....	25
4.2. Informations d'ordre ethnographique.....	26
<b>5. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>27</b>
<b>6. ANNEXE – Photographies.....</b>	<b>29</b>

## INTRODUCTION

Le présent document expose les résultats des analyses de restes charbonneux prélevés dans le cadre d'une opération d'archéologie préventive menée sur le site « Dungerloch et Hoheichweg », sur la commune de Gamsheim (67).

Les charbons analysés proviennent du comblement d'une structure de type « four polynésien » ou « foyer à galets chauffés » (ST345), dans laquelle les résidus de combustion semblent avoir été rejetés en fin de fonctionnement. Plusieurs structures analogues ont été mises au jour sur le site. L'absence de rubéfaction observée sur les parois de l'ensemble de ces « foyers » suggère que les combustions n'étaient ni de longue durée ni d'intensité élevée (Fig. 1 et 2).

Les datations radiocarbone réalisées à partir de charbons issus de cette structure indiquent une dernière phase d'utilisation comprise entre 534 et 649 apr. J.-C. Ces résultats sont cohérents avec les datations obtenues pour l'ensemble du site, qui témoignent d'une occupation s'étendant de la fin du Ve siècle jusqu'au milieu du IXe siècle.

Au regard du contexte archéologique et des premières hypothèses d'interprétation du site, l'analyse anthracologique a été conduite selon trois objectifs principaux :

- Déterminer l'origine des charbons. Dans le cadre de la fouille du « four ou foyer », ceux-ci correspondent très vraisemblablement à des restes de combustibles, hypothèse qu'il convenait néanmoins de confirmer,
- dans l'hypothèse de restes de combustibles, caractériser la qualité des bois utilisés et déterminer si les assemblages résultent de sélections particulières (choix des essences et/ou des calibres), et s'ils relèvent plutôt d'usages domestiques ou artisanaux,
- caractériser les boisements exploités dans l'aire de ramassage des combustibles.

Cette étude a été commanditée par le service archéologie de la région Alsace. La fouille ci-présente a été commandée par la responsable de l'opération Elise Arnold.

# 1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les prélèvements charbonneux ont fait l'objet de tamisages effectués au sein du service archéologique (mailles de 4 et 2 mm).

Au total ce sont un peu plus de 150 fragments qui ont été étudiés (Fig 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE			
<b>Commune :</b>		Gambenheim (67)	
<b>Nom de l'opération / Lieu-Dit :</b>		Dungerloch et Hoheichweg	
<b>Année :</b>		F. 2022 / 2023	
<b>N° OA :</b>		017836 - PAN - 345.2	
<b>Resp. d'Op. ; commanditaire</b>		Elise Arnold	
<b>Type d'opération :</b>			
<b>Période d'analyse pressentie</b>		Février 2026	
Structure - US	Type	Description	Nombre de charbons observés
Prélèvement 345.2 - refus de tamis de maille de 4mm	Comblement de four de type "polynésien"	Résidu de combustion en fin d'utilisation	125
Prélèvement 345.2 - refus de tamis de maille de 2mm			30
			<b>155</b>

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



Fig. 2 – Photographies de la structure ST345 de type « four polynésien » ou « foyer à galets chauffés » et de son comblement. Structure présentée en début (image de gauche) et fin de fouille (image de droite).

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, seulement trois à cinq taxons ont été identifiés (les taxons chêne-châtaignier et chêne ont été rassemblés en un seul). La courbe « effort-rendement » montre un seuil situé entre 20 et 40 fragments (Fig. 3 ).

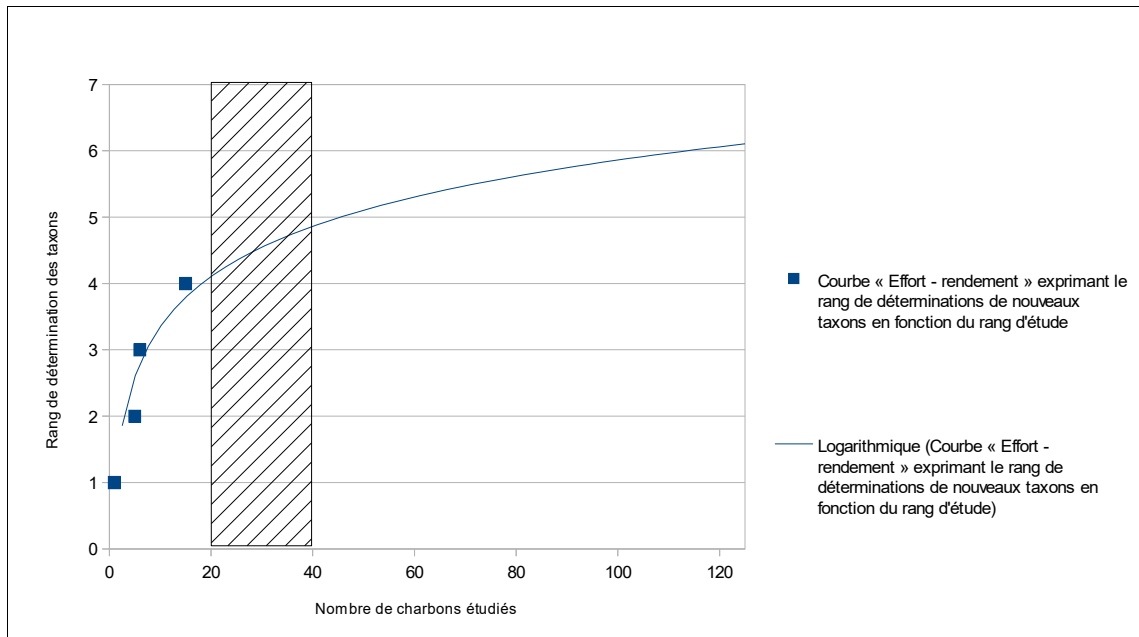


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement correspondant au refus de tamis de maille 4mm. Dans cet exemple, le quatrième taxon identifié (*Carpinus sp.*) a été observé au 15e rang et le seuil « d'effort - rendement » se situerait entre 20 et 40 charbons.

Le prélèvement étudié montre assez peu de diversité (seulement trois à cinq taxons). 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 150 charbons pour l'ensemble charbonneux.

## 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.

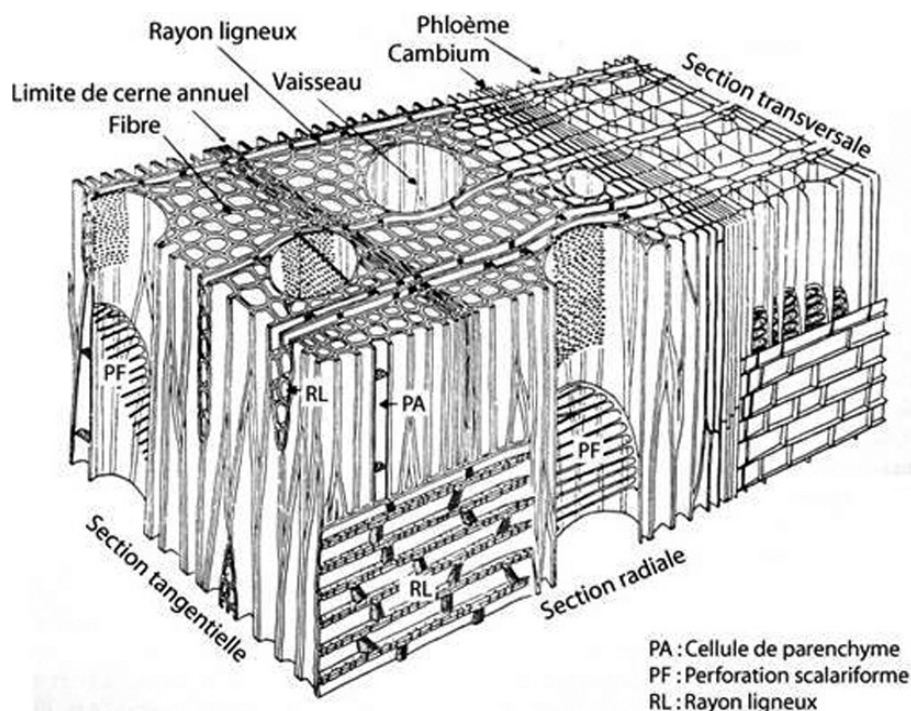


Fig. 5 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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 gommés 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).

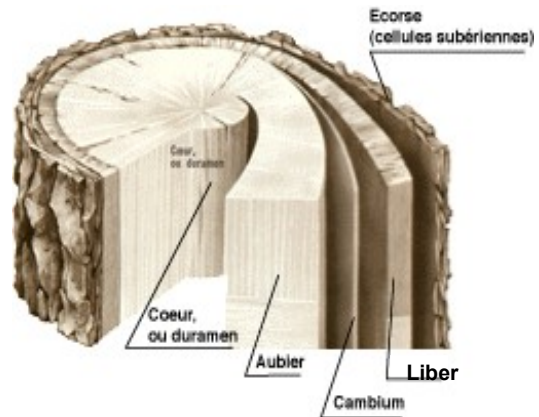
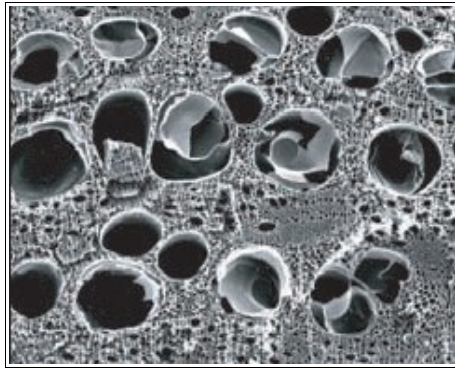
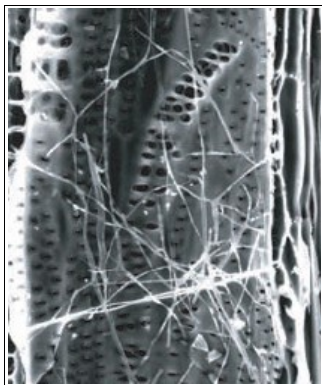


Fig. 6 – A gauche : Photographie prise au microscope électronique de thylles dans les vaisseaux du duramen carbonisé de chêne (Marguerie et al., 2010). A droite, schéma permettant de distinguer les différents tissus composant le bois. Nous distinguons notamment le bois de cœur (ou duramen) associé à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

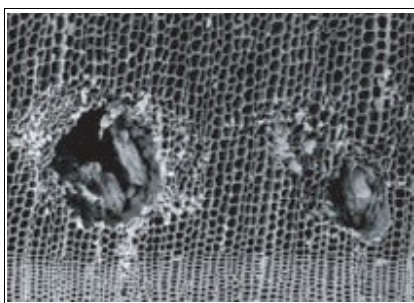
Fig. 7 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

**- 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.

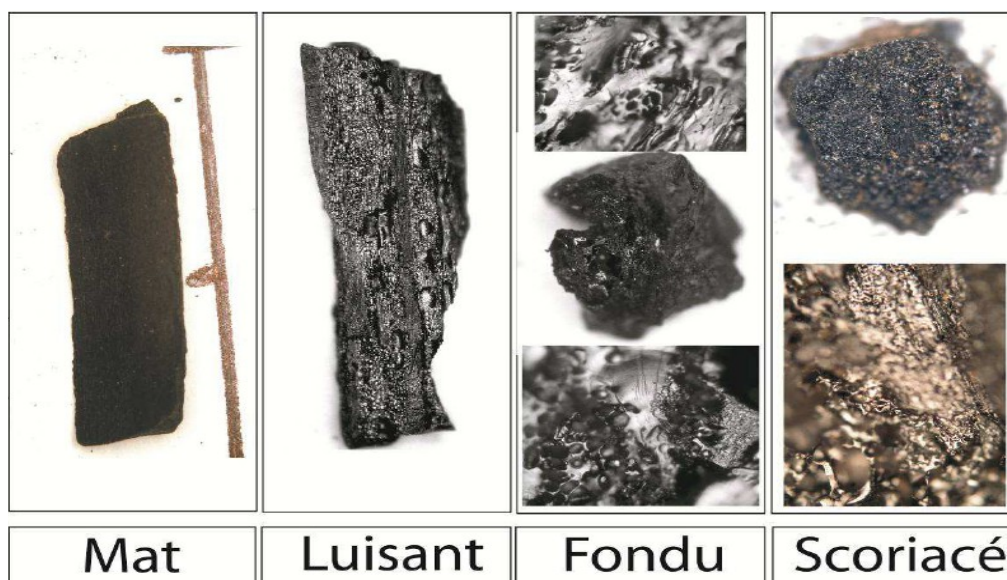
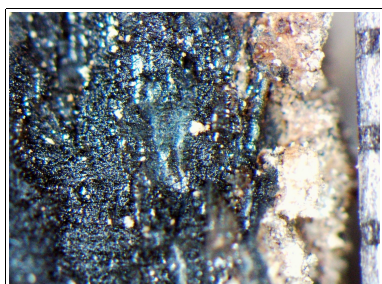


Fig. 10 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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 par exemple permis de montrer une évolution des largeurs de cerne en fonction du temps.

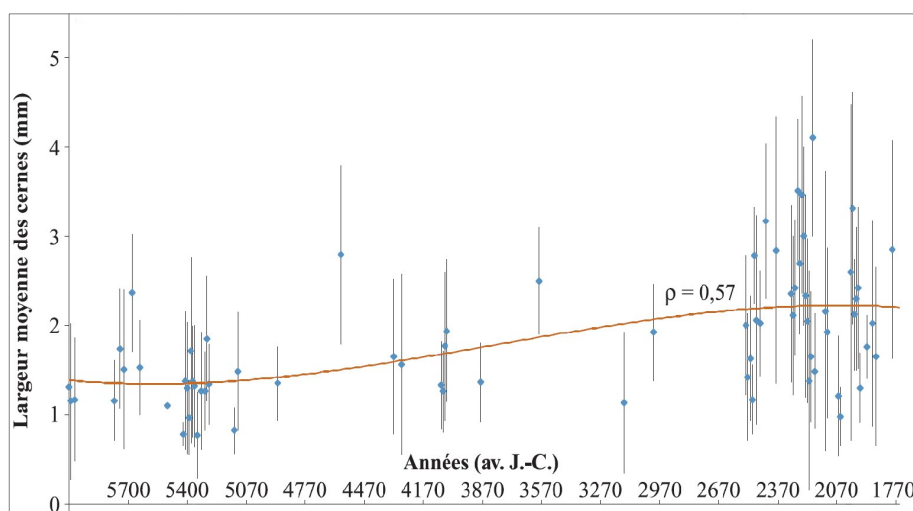


Fig. 12 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie et al., 2010).

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

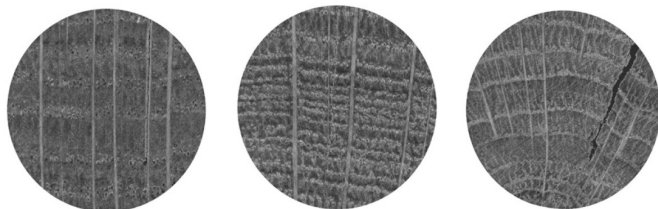


Fig. 13 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

## 2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration »

La technique dite de « calibration » a pour objectif d'estimer le diamètre minimum des arbres. Cette approche permet de mesurer les calibres minimum à partir de l'angle que forment les rayons ligneux entre eux. Il est ensuite possible de les répartir dans chacune des classes de calibre de façon à mieux appréhender les calibres réellement utilisés (Dufraisse *et al.*, 2011).

La mesure des calibres s'effectue à l'aide d'un logiciel d'analyse d'image. Une loupe binoculaire équipée d'une caméra et couplée à un ordinateur permet la capture de l'image du charbon à mesurer. Les grossissements 7x à 40x ont été utilisés.

Selon N. Marcoux (2009), la capture est à effectuer sur la partie la plus externe du charbon de façon à estimer au mieux son calibre. Deux droites correspondant à des rayons ligneux sont dessinées : d1 et d2 (Fig. 14). Si la marge extérieure du charbon suit la courbure des cernes, une droite d est tracée entre les points de croisement des droites d1 et d2 et la bordure du charbon. La distance d et l'angle a formé par les deux droites d1 et d2 sont les données utilisées dans le calcul trigonométrique basé sur le sinus (Fig. 14).

Dans ces exemples, il est préconisé d'utiliser la marge extérieure du charbon de bois de façon à estimer au mieux son calibre. Il s'avère parfois que dans cette partie, les rayons ligneux présentent une déviation liée vraisemblablement à une déformation du charbon. Dans ce cas, il est plus judicieux d'effectuer les mesures dans une partie saine du charbon et d'ajouter ensuite au rayon la distance entre le lieu de ces mesures et la marge externe du charbon.

Il est important de noter que les expérimentations ayant pour but de vérifier la méthode de mesures et de répartition des calibres ont montré que les calibres les plus gros sont sous-représentés dans les résultats (Paradis S., 2007) d'une part parce que les parties périphériques des bûches sont davantage consommées, diminuant l'effectif des restes carbonisés de ces calibres, et d'autre part parce que le bois se rétracte au moment de la combustion, diminuant d'autant le diamètre.

Ces mesures nécessitent des analyses d'images qui ont été réalisées au laboratoire ArkéoMap sous stéréomicroscope Olympus (SZX7).

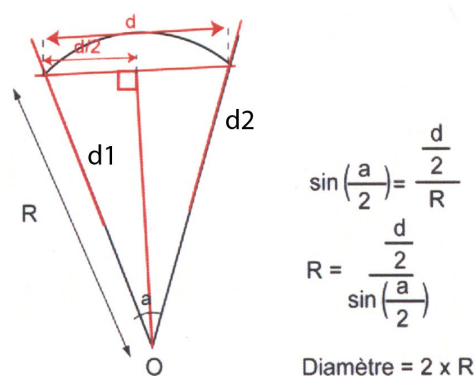


Fig. 14 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

Par la suite, c'est la fréquence des effectifs des rayons obtenus qui va permettre d'estimer le rayon des arbres utilisés. En toute logique, les charbons les plus à l'extérieur (et donc avec les plus fortes positions radiales calculées) sont aussi les plus nombreux. (Cf. Fig. 15, principe des histogrammes de fréquences, selon Dufraisse *et al.*, 2011). Le rayon de l'arbre pourra ainsi être estimé en prenant la classe de diamètre maximale.

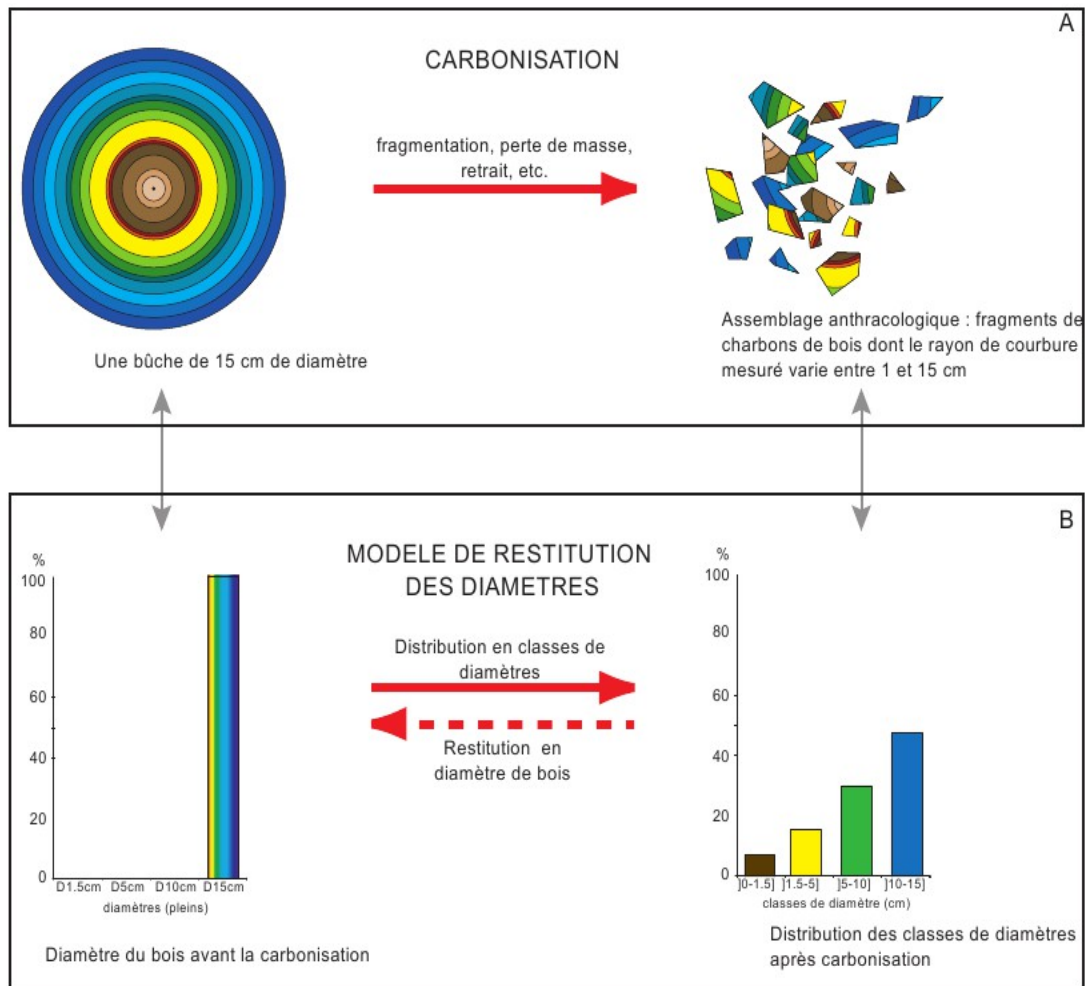


Fig. 15 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

Remarque : Dans le cadre de cette étude, une majorité de fragments provient de bois de petit calibre et il a parfois été possible d'identifier le centre de la tige (moelle). Dans ce cas, nous avons directement mesuré le rayon du fragment dans sa longueur maximale.

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

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

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

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

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 charme** (*Carpinus sp.*) est une essence de demi-ombre ou d'ombre que l'on retrouve plutôt sur les sols à richesse minérale variable : sols de pH basique à moyennement acide. Il apprécie les sols profonds secs à frais. C'est une espèce qui a besoin d'étés chauds pour la maturation des graines. On le trouve partout en France, sauf dans le Sud-Ouest, en Bretagne et Basse-Normandie et sur le pourtour méditerranéen.

Il est fréquemment associé aux forêts collinéennes (*Carpinion betuli*) et chênaies mixtes, aux bois, aux haies. Il fournit un bois homogène à densité élevée, très dur et peu fissible. Plante astringente, c'est un excellent bois de chauffage, brûlant lentement avec une flamme vive. C'est un très bon charbon de bois, mais très peu utilisé en menuiserie car son tronc est trop peu régulier.

Il a potentiellement une durée de vie d'environ 150 - 200 ans (Rameau *et al.*, 2008). Ces charbons sont donc plus favorables que les charbons de chêne pour une datation radiocarbone.



Fig. 16 – Représentation du charme (*Carpinus sp.*), 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.

Remarque : Pour les très petits fragments il n'est pas toujours possible de distinguer le saule du peuplier, d'où le taxon anthracologique « Saule - Peuplier » (*Salix sp. / Populus sp.*). Toutefois, quelques fragments de saule ont clairement pu être identifiés.

La longévité du saule est faible (env. 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.

### 3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

L'ensemble anthracologiques correspond à la couche charbonneuse prélevée à l'intérieur du comblement de la structure ST 345. Le prélèvement en masse a été tamisé selon des mailles de 2 et 4 mm.

Les deux sous-échantillons correspondant aux refus de tamis de mailles 2 et 4 mm ont été observés séparément afin d'identifier d'éventuelles différences, notamment des bois de petit calibre, compris entre 2 et 4 mm.

#### 3.1. Couche charbonneuse issue du comblement de la structure ST 345.2.

##### a. Résultats

Identifiants – prélèvements	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion								
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informé solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Thylle	Insecte	Moelle	
17836 - PAN - 345.2 – 4mm	Carpinus betulus	18	0	5	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Frag. écorce	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Quercus sp.	86	4	44	20	39	11	7	4	4	0	1	33	0	0	
	Salix/Populus	14	0	2	11	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	
	Salix sp.	6	0	1	5	0	0	1	0	0	0	0	0	2	1	
SOMMES		125	4	52	49	39	11	9	5	4	0	2	33	2	3	
17836 - PAN - 345.2 – 2mm	Carpinus betulus	5	0	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	0	
	Quercus/Castanea	6	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	
	Quercus sp.	16	0	1	2	1	0	2	0	0	0	0	2	0	0	
	Salix/Populus	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
SOMMES		30	0	1	3	1	0	2	1	1	0	0	2	0	0	
TOTAL pour ST 345		155	4	53	52	40	11	11	6	5	0	2	35	2	3	

Fig. 17 – Liste des taxons et mesures dendrologiques effectuées pour les charbons prélevés dans le comblement de la structure ST 345. Les résultats sont présentés par gamme de taille des mailles des refus de tamis, soit 2 et 4 mm.

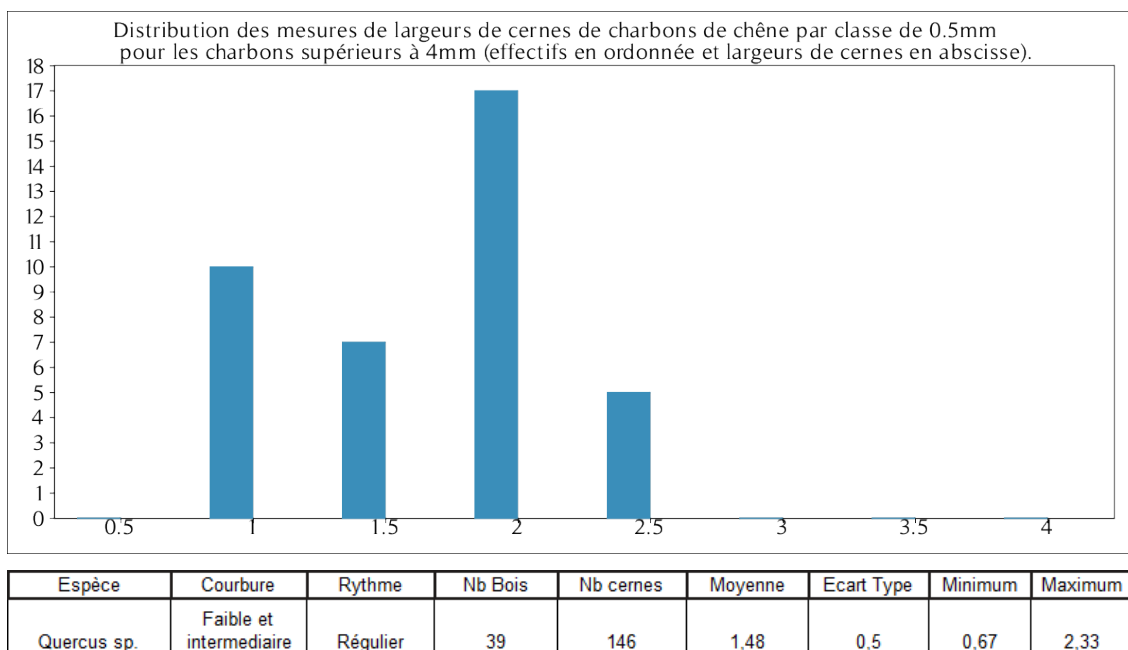


Fig. 18 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire.

Distribution des effectifs cumulés des positions radiales (mm) mesurées sur des bois de section entière ou estimées par calibration, pour des fragments de saule, charme et chêne provenant du prélèvement associé à la structure ST 345.

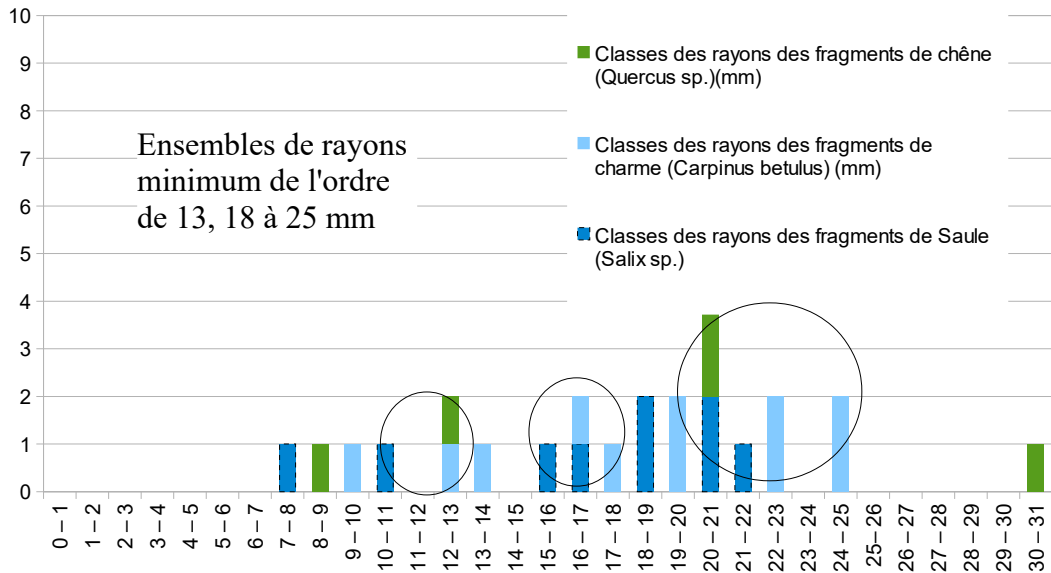


Fig. 19 - Distribution des rayons mesurés ou des positions radiales calculées pour des fragments de saule, chêne et de charme du prélèvement n°345.2.

## b. Interprétations

155 charbons correspondant de trois à cinq taxons anthracologiques ont été identifiés. Par ordre d'importance on constate des charbons de chêne et de chêne-châtaigner (*Quercus sp. / Castanea sp.*) (environ 70%), de charme (*Carpinus betulus*) (environ 15%) et de saule-peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*), saule (*Salix sp.*) (Fig. 20).

Notons que les hypothèses de la présence du châtaignier et du peuplier sont peu probables. Les taxons anthracologiques « chêne-châtaigner » et « saule-peuplier » sont surtout liés à la difficulté de distinguer le chêne du châtaignier et le saule du peuplier pour les petits fragments (cf. notes à ce sujet chapitre 2.5. ).

La comparaison entre les deux ensembles issus des deux refus de tamis de mailles 2 et 4 mm ne montre pas de différence notable (Fig. 17). On retrouve bien les essences principales, chêne, charme, saule-peuplier dans les deux refus de tamis en proportions sensiblement équivalentes.

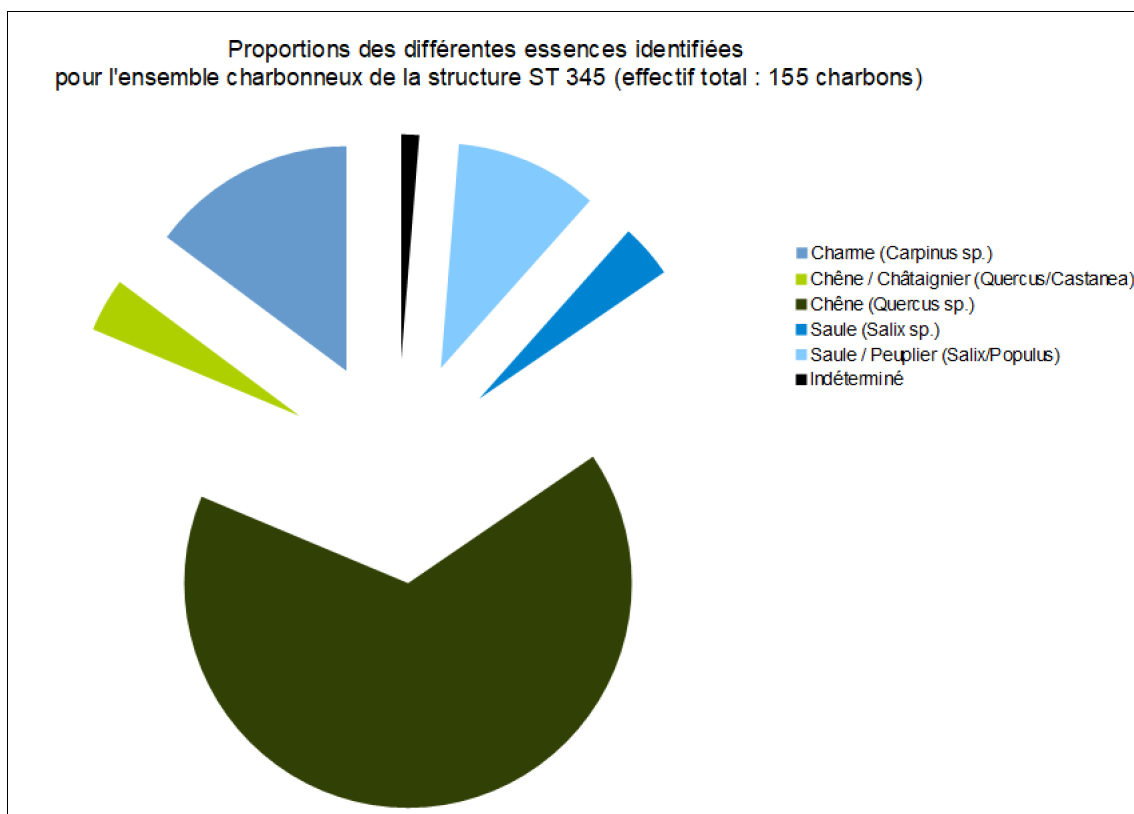


Fig. 20 – Représentation des proportions des différents taxons identifiés pour l'ensemble des prélèvements de la structure (ST 345), sous la forme d'un « camembert éclaté ».

L'observation des courbures de cernes met en évidence une nette prédominance de fragments présentant des courbures fortes (48 %) et moyennes (49 %). Seuls quatre charbons montrent des courbures faibles (fig. 17). Ces données indiquent que les combustibles utilisés proviennent majoritairement de bois de petit et moyen calibre.

Des estimations de rayons minimum ont pu être réalisées sur un peu plus d'une vingtaine de fragments présentant une section entière ou partielle (fig. 19). Les histogrammes révèlent principalement l'emploi de petits bois de saule, chêne et de charme, dont les rayons se situent majoritairement entre 15 et 25 mm environ.

Les essences telles que le chêne et le charme correspondent à des bois « durs », capables de produire des braises à fort pouvoir énergétique et à combustion prolongée ; elles peuvent à ce titre être qualifiées d'« excellents combustibles ». À l'inverse, le saule et le peuplier, correspondent à des bois plus « tendre », s'enflammant rapidement mais offrant une durée de combustion limitée. Il apparaît ainsi que le chêne et le charme ont été principalement utilisés pour alimenter la combustion, tandis que les bois de faible section et les essences légères ont probablement joué un rôle dans la phase d'allumage. La densité élevée du chêne et du charme permet en effet la formation de braises se consumant lentement, un effet vraisemblablement recherché dans le cadre de ce type de structure assimilable à un « four polynésien » ou « foyer à galets chauffés ».

De manière générale, les charbons présentant des fentes de retrait sont peu nombreux (environ 10 %). Cette faible proportion caractérise un bois brûlé à l'état sec (et non vert), ce qui implique une sélection du combustible lors de la collecte et suggère éventuellement l'existence d'un stockage préalable.

La proportion de fragments d'aspect luisant est également très faible (environ 8 %). Les charbons semblent donc résulter de combustions majoritairement aérobies (cf. chap. 2.2. concernant le phénomène de « vitrification »). L'hypothèse de rejets issus de combustions ouvertes, de type foyer, apparaît ainsi la plus probable. Les rares surfaces luisantes observées sur certains charbons relèvent vraisemblablement d'effets localisés, possiblement en fond de foyer (Blaziot *et al.*, 2004). Dans l'ensemble, la combustion semble avoir été bien oxygénée, les résidus carbonneux proviennent donc plutôt d'une combustion de type « foyer ouvert ».

Seuls trois à cinq taxons ont été identifiés dans ce prélèvement, un effectif insuffisant pour appliquer des analyses statistiques de type indice de Pareto visant à caractériser les modalités de ramassage (Chabal *et al.*, 1999). Néanmoins, le nombre réduit d'essences, associé à la prédominance de bois denses et de haute qualité combustible, plaide en faveur d'un approvisionnement sélectif plutôt que d'un ramassage opportuniste. Dans le cas présent, la recherche de bois « durs » ou denses, tels que le chêne et le charme, semble avoir constitué un critère déterminant, probablement afin d'obtenir des braises délivrant une énergie importante et dans la durée.

Enfin, des mesures de largeur de cernes ont été effectuées sur une quarantaine de fragments de chêne, permettant de calculer une moyenne d'environ 1,50 mm/an (fig. 18). Cette valeur est caractéristique de conditions de croissance relativement contraignantes, pouvant correspondre à un environnement défavorable (sols pauvres, exposition limitée) ou à un milieu soumis à une forte compétition inter- ou intraspécifique pour l'accès aux ressources (par exemple un boisement dense). La distribution des valeurs, de forme « plutôt unimodale », suggère l'existence d'une source unique ou d'une aire d'approvisionnement homogène.

## 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 le prélèvement provenant du comblement de la structure à « galets chauffés » (ST 345) (Fig. 1).

### 4.1. Informations d'ordre paléo-environnemental

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

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

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

- **le groupement de la chênaie** avec le chêne, (chêne-châtaignier) et potentiellement le charme (en lisière) ,
- **les boisements clairs, lisières, landes boisées (accrus), haies** : le charme
- **les boisements humides** : avec le saule, voire le peuplier.

Les aires de ramassage correspondent potentiellement à des formations ligneuses interprétées par l'écologie des essences identifiées, à savoir : une chênaie et des boisements clairs suggérés par l'identification du chêne et du charme. Les identifications du saule et du saule-peuplier indiquent l'exploration de boisements « frais et humides ». L'observation du saule notamment implique l'existence de boisements humides, potentiellement dans la zone alluviale du Rhin.

Les mesures de largeurs de cernes réalisées sur une quarantaine de fragments de chêne de faible et moyenne courbure de cerne, ont permis de calculer une moyenne de l'ordre de 1,5 mm / an. Cette valeur correspond à de très faibles croissances annuelles. Cela suggère des ramassages dans des boisements de chêne soumis à des contraintes de croissance, peut-être des boisements denses ou associés à des sols pauvres, humides ou mal exposés.

## 4.2. Informations d'ordre ethnographique

En ce qui concerne la nature des bois brûlés, l'observation de plusieurs essences (trois à cinq taxons), le petit calibre de certains bois employés et l'absence de galeries de xylophages confirment qu'il s'agit de restes de combustibles et non de bois d'œuvre.

De plus, très peu de fentes de retrait ont été constatées sur les charbons, indiquant l'emploi de bois sec (« non vert »). Cela implique probablement un stockage préalable du combustible.

On observe une utilisation majoritaire de bois denses ou « durs », principalement le chêne et le charme. Ces essences, employées comme combustible, présentent parmi les pouvoirs calorifiques les plus élevés, celui du charme étant même supérieur à celui du chêne. Elles peuvent ainsi être qualifiées d'excellents combustibles. Ces deux à trois essences (en incluant le chêne/châtaignier) représentent près de 85 % de l'ensemble du combustible identifié. Leur emploi permet une montée en température relativement lente, tout en assurant la production de braises durables. Bien que ces bois soient relativement difficiles à enflammer, l'utilisation de bois de petit calibre et/ou de branches appartenant à des essences plus tendres (par exemple le saule ou le saule-peuplier) a très probablement facilité l'allumage du feu.

La proportion relativement faible (8%) de charbons luisants suggère des rejets issus de combustions ouvertes (de type foyer ouvert), par opposition à des structures fermées assimilables à des « fours » à combustion étouffée. L'absence de rubéfaction observée sur les parois des foyers va dans le même sens et indique des combustions ouvertes, probablement de faible intensité.

Concernant le calibre des bois, les combustibles employés sont majoritairement de petit et moyen diamètre. Des calculs de calibration ont mis en évidence l'utilisation de bois d'environ 15 à 25 mm de rayon, bien que l'emploi de bois de plus gros calibre soit très probable. L'observation de faibles courbures de cernes sur certains fragments, notamment de chêne, suggère en effet l'utilisation de branches de fort diamètre.

Le nombre relativement restreint d'essences identifiées indique une sélection intentionnelle des combustibles, par opposition à un ramassage opportuniste de bois de type « tout venant » (ensemble charbonneux qui aurait été beaucoup plus diversifié). Cette sélection semble avoir été guidée par des critères techniques liés aux propriétés de combustion des essences choisies. Dans le cadre de l'interprétation de foyers à galets chauffés, le recours à des essences de bois durs telles que le chêne et le charme apparaît particulièrement pertinent, celles-ci produisant des braises à fort pouvoir énergétique et à longue durée de restitution thermique.

Ces choix, que l'on peut qualifier de « techniques », rapprochent la composition anthracologique observée de celles fréquemment associées à des activités de type artisanal ou à des systèmes techniques nécessitant une gestion et une sélection rigoureuses des combustibles.

## 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.

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.

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

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

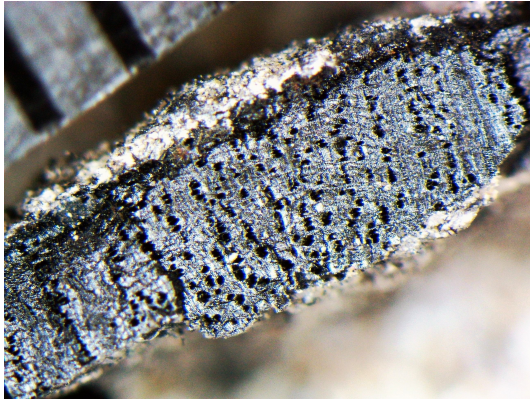


Fig. 21 – Fragment de charme (*Carpinus sp.*) de forte courbure de cerne. Coupe transversale. Grossissement x24. L'échelle représente des millimètres.

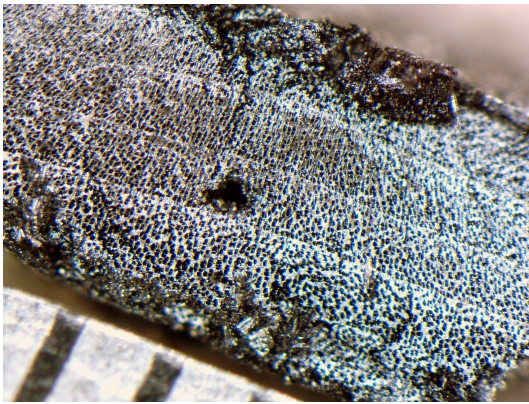


Fig. 22 – Fragment de saule (*Salix sp.*) de courbure intermédiaire. Coupe transversale. Grossissement x23. L'échelle représente des millimètres.

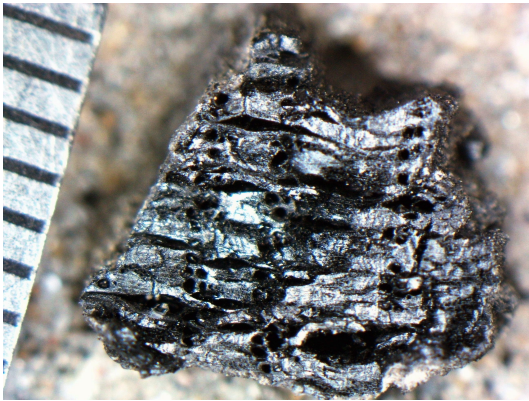


Fig. 23 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*) d'aspect « fendu-luisant ». Coupe transversale. Grossissement x10. L'échelle représente des millimètres.