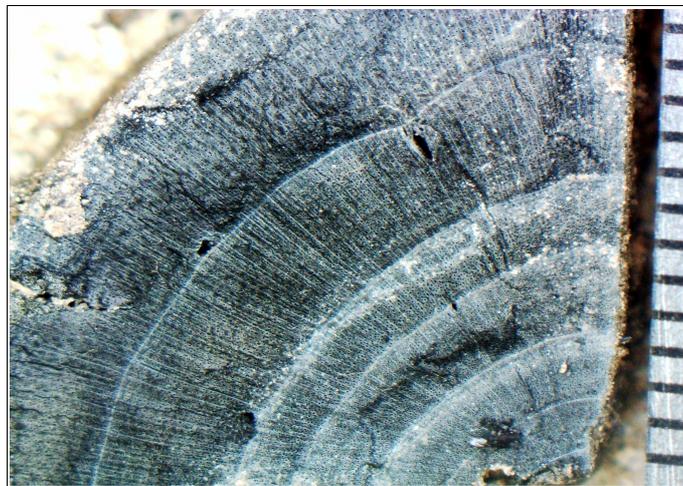




ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSE DES FRAGMENTS CHARBONNEUX PRÉLEVÉS
LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE
DU « CLOS DE L'OUCHE » À MIGNIÈRES (28).
OPÉRATION MIG 100_2**



Service Archéologique de la Ville de Chartres

Rapport d'étude anthracologique

Septembre 2020

Service archéologique de la Ville de Chartres

2 Rue Georges Brassens,

28000 Chartres

**Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération
archéologique du «Clos de l'Ouche » à Mignières (28).**

Opération MIG_100_02

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

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

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Septembre 2020

Illustration de la page de couverture :

*Fragment d'érable (Acer sp), de forte courbure de cerne. Prélèvement n°161
(Comblement du four 109 – US 15817). Coupe transversale sous loupe binoculaire
x5 (l'échelle représente des millimètres).*

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS.....	5
2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION	7
2.1. Équipement d'observation.....	7
2.2. Méthodologie.....	8
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux	13
2.4. Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration »....	15
2.5. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	17
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....	20
3.1. Prélèvements en provenance de structures du Haut-Empire : rejets d'un établissement agricole.....	20
3.1.1. Prélèvement du comblement de la cave 114 : Prélèvement n°6.....	20
a. Résultats.....	20
b. Interprétations	21
3.1.2. Prélèvement du comblement du four 107 : Prélèvement n°8.....	22
a. Résultats.....	22
b. Interprétation	22
3.1.3. Prélèvement du comblement d'une fosse de rejet de métallurgie : Prélèvement n°15.....	23
a. Résultats.....	23
b. Interprétation.....	24
3.1.4. Prélèvement du comblement du fond de cabane 115 : Prélèvement n° 27.....	25
a. Résultats.....	25
b. Interprétation.....	25
3.1.5. Prélèvement du comblement de la cave 15427 : Prélèvements n° 77 et 78...26	26
a. Résultats.....	26
b. Interprétation.....	26
3.1.6. Prélèvement du comblement de la fosse 15780 : Prélèvement n° 106.....	27
a. Résultats.....	27
b. Interprétation.....	27
3.2. Prélèvements en provenance de structures de la période mérovingienne : rejets de fosses d'accès et de fours domestiques.....	28
3.2.1. Prélèvements du comblement du four 109 : Prélèvements n°118, n°154, n°158, n°161, n°164.....	28
a. Résultats.....	28
b. Interprétation.....	29
3.2.2. Prélèvements du comblement de la fosse 15864, fosse d'accès au four n°109 : Prélèvement n°156.....	30
a. Résultats	30
b. Interprétation.....	30
3.2.3. Prélèvements du comblement du four 110 : Prélèvements n°111, n°147, n°172, n°176.....	31
a. Résultats.....	31
b. Interprétation.....	31
3.2.4. Prélèvements du comblement du four 111 : Prélèvement n°114.....	32
a. Résultats.....	32
b. Interprétation.....	32
4. BILAN.....	33
5. BIBLIOGRAPHIE.....	42
6. ANNEXE – Photographies.....	44

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une fouille menée sur le site du « Clos de l'Ouche » sur la commune de Mignéres (28).

Le site concerne plusieurs occupations qui s'étendent de la période néolithique à la période industrielle.

Les analyses anthracologiques présentées dans ce rapport concernent plus précisément des rejets d'un établissement agricole du Haut empire et des rejets de combustion de la période mérovingienne.

Pour la période mérovingienne, les contextes de collectes de charbons sont essentiellement des comblements de fours et de fosses d'accès. En revanche les structures sont plus variées pour la période du Haut-Empire : comblements de caves, de fours, de fosses, d'un fond de cabane.

Beaucoup des charbons prélevés de façon « éparses » (exemple dans les comblements de fosses et de caves) correspondent vraisemblablement à des rejets de combustions domestiques, mais quelques prélèvements associés à des structures de type « four » pourraient permettre d'aborder des aspects plus fonctionnels.

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

- Tenter de percevoir l'origine des rejets de charbons de l'établissement agricole du Haut-Empire. A-t-on affaire à des restes de combustible ou de bois d'œuvre (ex. pour les fonds de cabane),
- tenter de caractériser la qualité du combustible utilisé sur le site. En déduire si les assemblages ont fait l'objet de pratiques de charbonnage, s'ils sont plutôt caractéristiques d'usages domestiques ou artisanaux,
- caractériser les boisements qui existaient dans les aires de ramassage.

Cette opération a été menée par le service archéologique de la Ville de Chartres. La fouille ci-présente a été dirigée par Pascal Gibut, archéologue du service archéologique. L'étude a été commandée par le service avec l'accord de son directeur Monsieur Laurent Coulon.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les restes anthracologiques proviennent de dix-huit prélèvements. Les prélèvements ainsi que quelques éléments d'interprétation sont listés dans le tableau suivant (Fig. 21).

Les charbons ont généralement été directement extraits du sédiment.

L'ensemble des échantillons a été observé. 250 charbons ont été étudiés.

Numéros de Prélèvement	US	Structures	Période / interprétation	Datation	Effectifs étudiés
6	15035	comblement cave 114	Haut-Empire/ rejet établissement agricole	début IIIe s. début IVe s. ap. J.-C.	41
8	15364	comblement four 107	Haut-Empire/ rejet dans four domestique	IIIe s. début Ve s. ap. J.-C.	5
15	15131	comblement de fosse de rejet de métallurgie	Haut-Empire/ rejet établissement agricole	milieu IIe milieu IIIe s. ap. J.-C.	16
27	15406	comblement fond de cabane 115	Haut-Empire/ rejet établissement agricole	milieu IIe milieu IIIe s. ap. J.-C.	5
77	15641	comblement cave	Haut-Empire/ rejet établissement agricole	fin II fin IIIe s. ap. J.-C.	13
78	15640	15427			5
106	15781	comblement Fosse 15780	Haut-Empire/ rejet d'établissement agricole	milieu Ier fin IIe s. ap. J.-C.	10
					95

Fig. 1 – Tableau synthétique des prélèvements, comptages anthracologiques pour les prélèvements correspondant à la période du Haut-Empire.

Numéros de Prélèvement	US	Structures	Période / interprétation	Datation	Effectifs étudiés
118	15861	Comblement four 109	Mérovingien / rejet dans un four domestique	VII e s. ap. J.-C.	38
154	15812				16
158	15813				15
161	15815				12
164	15817				11
156	15865	comblement Fosse 15864	Mérovingien / rejet dans une fosse d'accès d'un four domestique (Four n° 109)	VII e s. ap. J.-C.	18
111	15786	Comblement four 110	Mérovingien / rejet dans un four domestique	VII e s. ap. J.-C.	13
147	15786				20
172	15786				10
176	15899				1
114	15546	Comblement four 111	Mérovingien / rejet dans un four domestique	VII e s. ap. J.-C.	1
					155

Fig. 2 – Tableau synthétique des prélèvements et comptages anthracologiques pour les prélèvements correspondant à la période mérovingienne.

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 premières identifications des taxons afin de déterminer des seuils, ou effectifs, au delà desquels l'apport de nouvelles essences ne paraît plus « rentable ».

Cette technique est peu pertinente pour les compositions anthracologiques de faibles diversités, ce qui est le cas des prélèvements étudiés. En effet, pour l'ensemble des prélèvements, on compte au maximum trois taxons par prélèvement.

Pour exemple la courbe « effort-rendement » réalisée pour le prélèvement n°6 (comblement de la cave 114, US 15035), prélèvement comprenant trois taxons pour 41 charbons observés, montre un seuil compris entre 10 et 20 charbons (Fig. 3). Ce seuil a systématiquement été atteint lorsque le nombre de charbons présents à l'intérieur des prélèvements était suffisant.

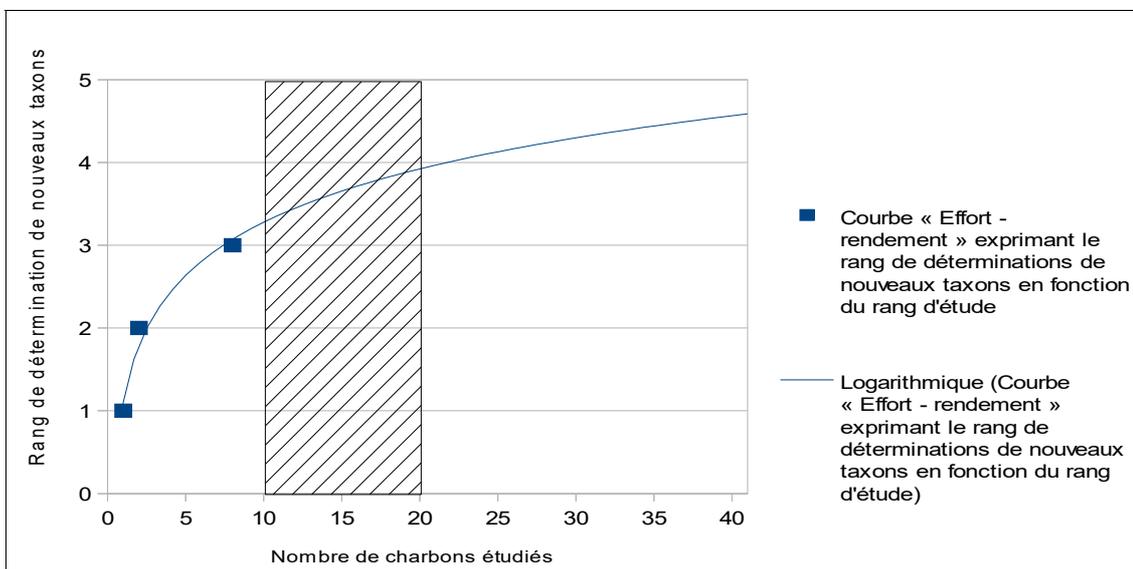


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°6. Dans cet exemple, le troisième taxon (*Quercus sp.*) a été observé au rang 8 et le seuil « d'effort - rendement » se situe entre 10 et 20 charbons. 41 fragments ont été observés pour ce prélèvement.

Les indicateurs calculés à partir des courbes « effort-rendement » sont basés sur la diversité taxonomique, or en plus des identifications nous avons aussi procédé à des observations permettant de préciser la nature des ensembles anthracologiques : mesures de largeurs de cerne, estimations des calibres, types de combustion, traces de découpes, de xylophages, etc... Les courbes « effort-rendement » étant basées sur la diversité taxonomique, nous n'avons donc pas jugé judicieux de nous baser exclusivement sur les seuils obtenus pour établir des effectifs d'échantillonnages représentatifs.

En concertation avec l'archéologue et en fonction de l'enveloppe allouée pour cette étude, nous avons choisi d'étudier les prélèvements de façon la plus exhaustive possible en répartissant l'effort de l'étude sur l'ensemble des 18 prélèvements. Ainsi nous avons fait en sorte que le nombre de charbons étudiés tienne aussi compte du nombre de fragments présents dans chacun des échantillons (Fig. 1 et 2).

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.

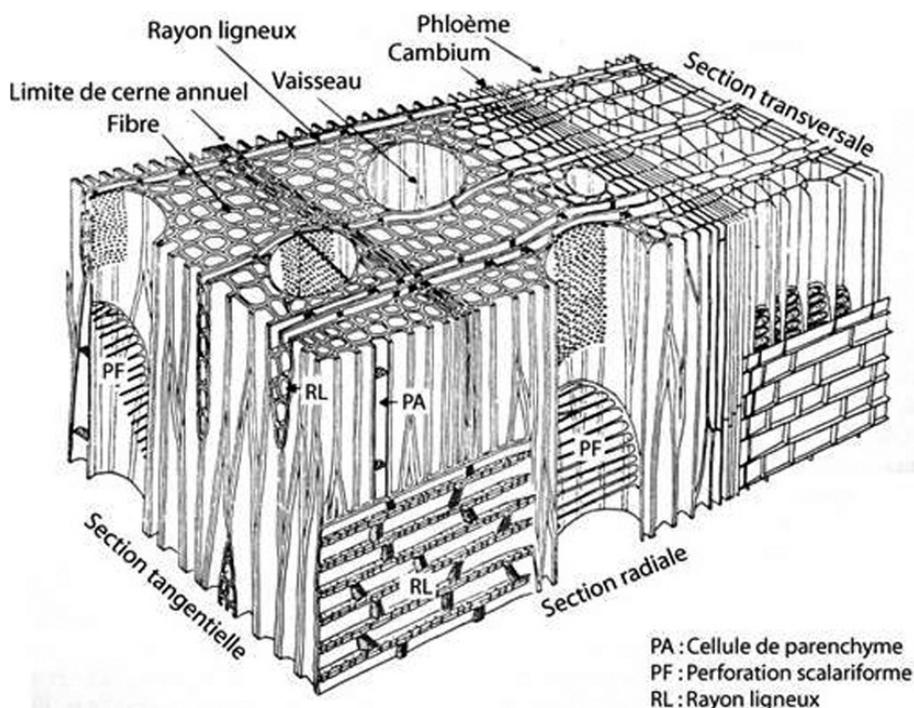


Fig. 5 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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.

De plus, toute une série d'espèces a été réunie dans le groupe des Pomoidées, sous-famille des Rosacées. Les espèces suivantes s'y retrouvent : Amélanquier (*Amelanchier ovalis*), Cotonéaster (*Cotoneaster sp.*), Aubépine (*Crataegus sp.*), Néflier (*Mespilus germanica*), Poirier-Pommier (*Pyrus sp.*) et Sorbier-Cormier-Alisier (*Sorbus sp.*).

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 :

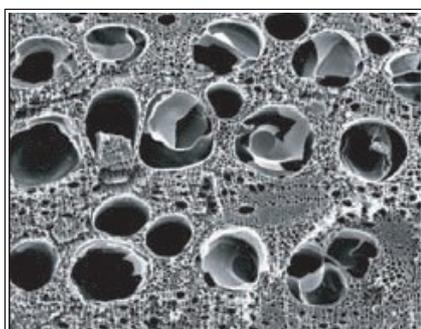
- **l'allure des limites de cernes** (de courbure très faible, intermédiaire ou nettement courbe, (cf. chapitre 2.3. sur les observations macroscopiques)), pour estimer la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses.

- **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**

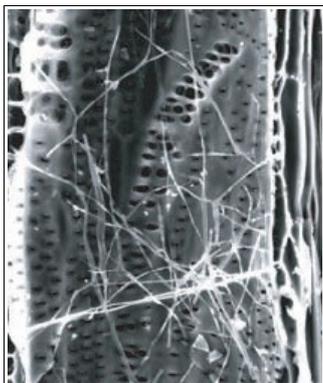
Les thylles ou extensions de cellules parenchymateuses vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans le duramen (ou bois de cœur des arbres). En effet, la partie centrale morte d'un tronc se transforme peu à peu. Certains auteurs parlent de "duraminisation". Cette transformation s'accompagne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

- la présence d'hyphes de champignons dans les vaisseaux.



Dans les vaisseaux observés en coupe longitudinale, des filaments blancs sont parfois détectés. Ils correspondent aux hyphes qui envahissent et pénètrent dans le bois mort ou mourant en conditions aérobies à partir des champignons qui se développent à la surface des arbres.

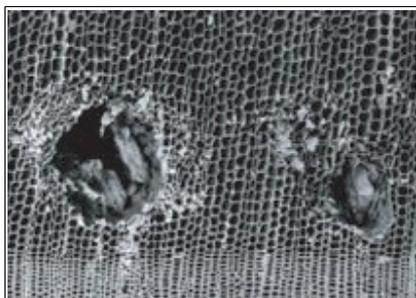
Fig. 7 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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). Selon H. Seignac (Nicolas *et al.*, 2013), la vitrification demeure un phénomène qui n'a jamais été reproduit en contexte expérimental mais on retrouve des charbons vitrifiés dans deux types de structures : les fours de réduction et les charbonnières. Elle reste un phénomène complexe, dépendant à la fois de la nature du combustible (bois vert ou sec, calibre, essence) et de son contexte de combustion (température, degré d'oxygénation).

En 2011, J.-C. Oilic réutilisa une classification du « degré de vitrification » de D. Marguerie et J.-Y. Hunot (2007).

Il discerne quatre niveaux de vitrification :

1. Aspect mat : Cet aspect correspond au degré 0 de la vitrification. Les charbons ont tous un aspect mat, gris ou noir.

2. Aspect luisant : les charbons ont un aspect gris foncé à clair très brillant.

3. Aspect fondu : Cette catégorie regroupe l'ensemble des charbons qui présentent des plages extrêmement brillantes, où les structures anatomiques du bois ont complètement disparues.

4. Aspect scoriacé : cet aspect correspond au dernier degré de vitrification. Les charbons de bois ont perdu la quasi-totalité de leurs structures anatomiques. Il ne persiste généralement qu'une sorte de magma informe solidifié, donnant parfois l'aspect d'être entré en ébullition. Ponctuellement, les reliefs de parois cellulaires peuvent être observés, seuls témoins de l'origine végétale de l'échantillon et qui permettent de le distinguer d'une scorie en contexte sidérurgique.

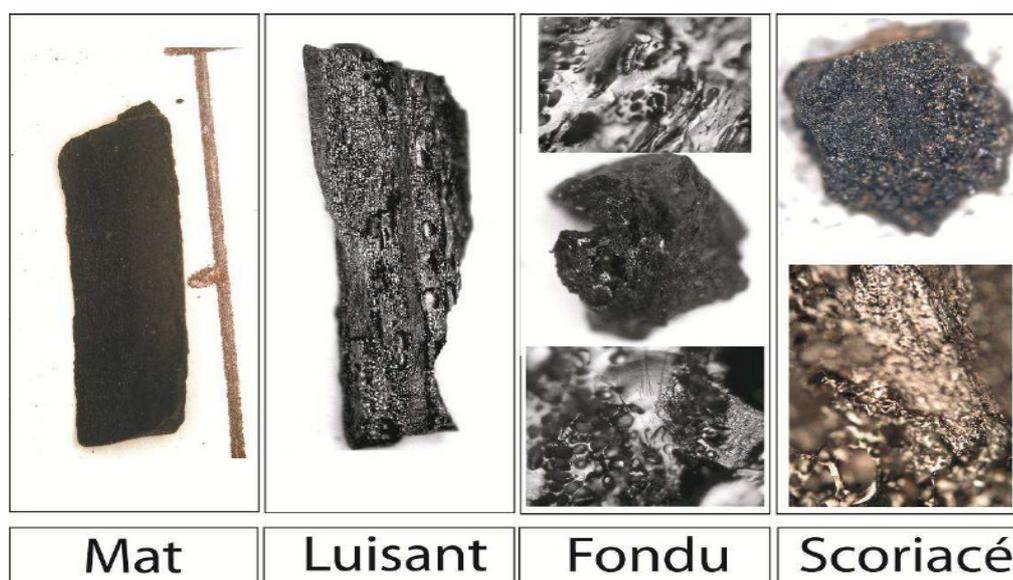
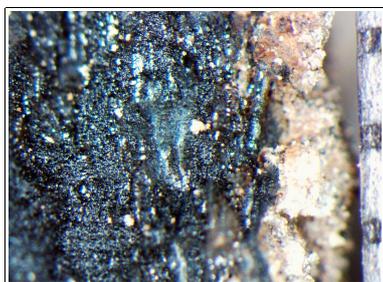


Fig. 10 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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.

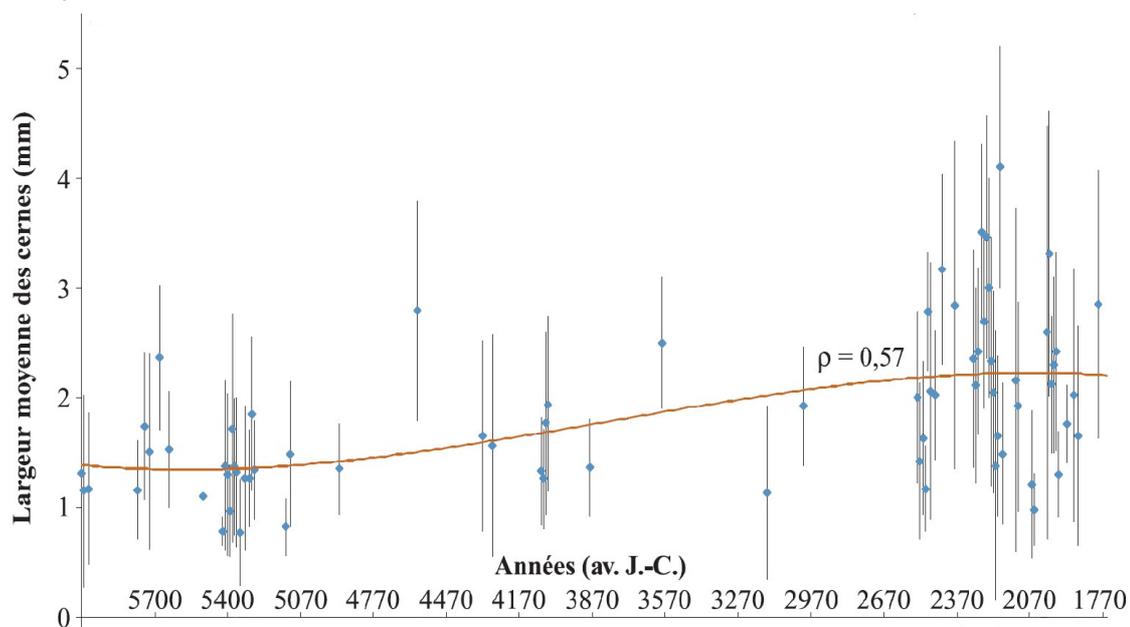


Fig. 12 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie et al., 2010).

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, recherche du diamètre des arbres utilisés : Mesures des calibres

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.

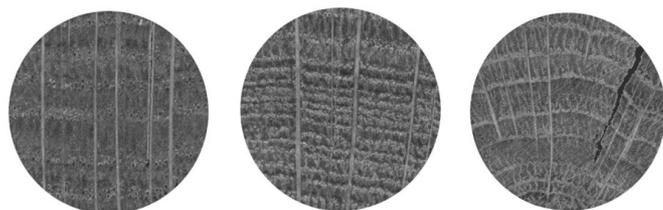


Fig. 13 - Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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).

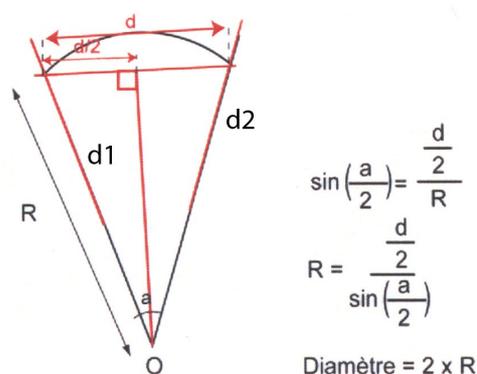


Fig. 14 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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.

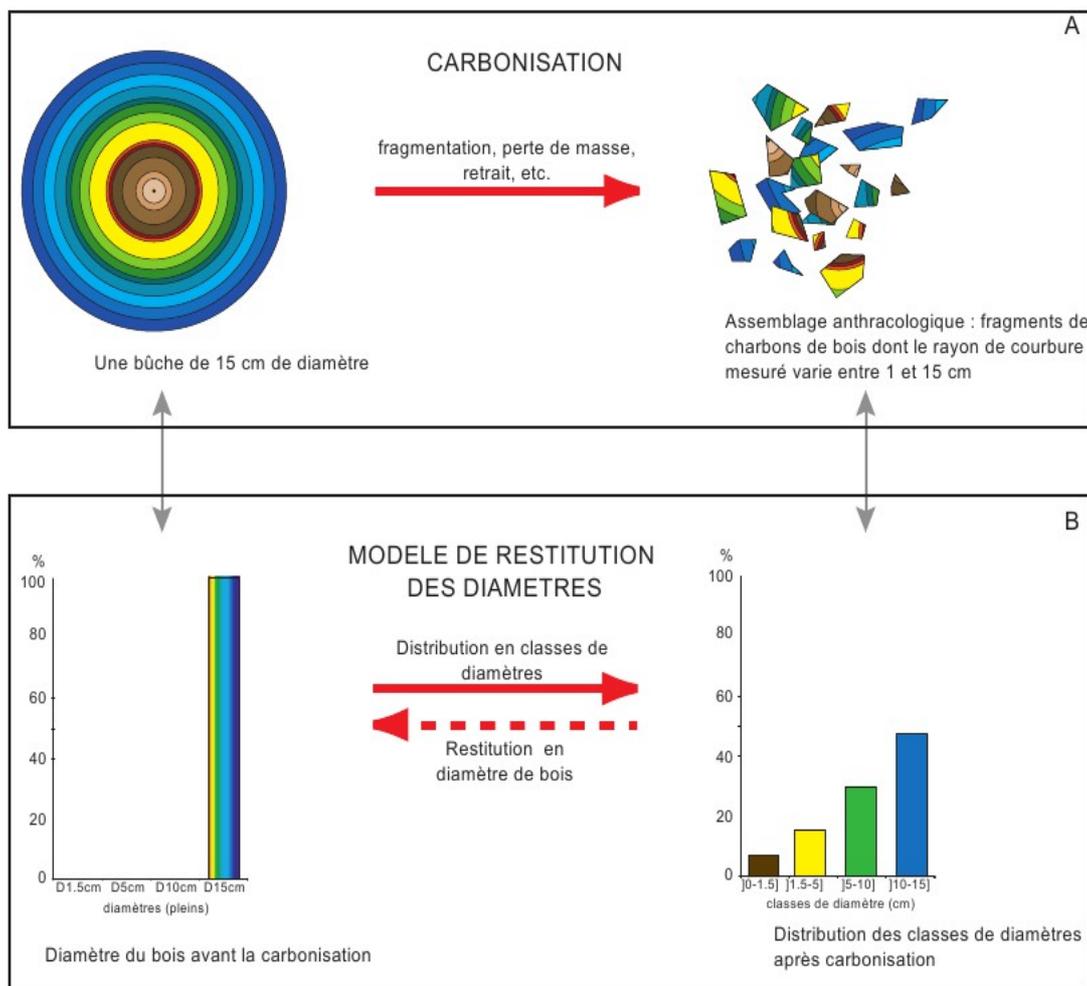


Fig. 15 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

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

L'étude des 18 prélèvements a permis de déterminer **onze** taxons anthracologiques. Toutefois, une majorité des prélèvements n'est composée que d'un à trois taxons.

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

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

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

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

Remarque sur la détection du châtaignier :

La présence du châtaignier (*Castanea sp.*) sur ce site reste hypothétique : d'une part c'est la détection d'un critère anatomique (les rayons multisériés) qui permet de différencier le chêne du châtaignier. 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 constitue un excellent bois de chauffage et fournit un charbon très estimé.

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.



Fig. 16 – Représentation de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

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

Quelques éléments de **frêne** (*Fraxinus sp.*) ont été identifiés. 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 fait parti des bois « lourds » (570 Kg / m³), il possède donc un bon pouvoir calorifique.

Les Pomoïdeae ou Maloïdeae (ex. aubépine, poirier, néflier) 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 **Pomoïdées** englobent par exemple les **poiriers-pommiers** mais aussi l'**aubépine**. Les charbons du genre *Prunus sp.* peuvent aussi correspondre aux **merisiers** et aux **cerisiers**. Excepté le merisier (*Prunus avium*), ces taxons fournissent de bons combustibles.

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. Ce sont des bois utilisés en vannerie. En revanche, il fournit 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 est trop rapide pour être un bon combustible.

Le sapin, probablement le sapin pectiné (*Abies alba*) dans l'aire considérée (?), est une essence commune dans l'est de la France et le Massif central. Il est plus rare dans l'ouest et le centre de la France, même si quelques stations seraient peut-être localisées en Normandie (L'Aigle), probablement dès l'Antiquité. Il exige une humidité atmosphérique élevée et constante tout au long de l'année. Il est souvent associé au hêtre dans l'étage montagnard et à la chênaie-hêtraie dans le collinéen supérieur. Il forme un bois blanc de bonne qualité, recherché pour la charpente, la menuiserie. De façon générale, les résineux s'enflamment rapidement du fait de leur teneur élevée en résines et sont appréciés pour leur montée rapide en température mais ils peuvent projeter hors du foyer des petites braises incandescentes lors de leur combustion.

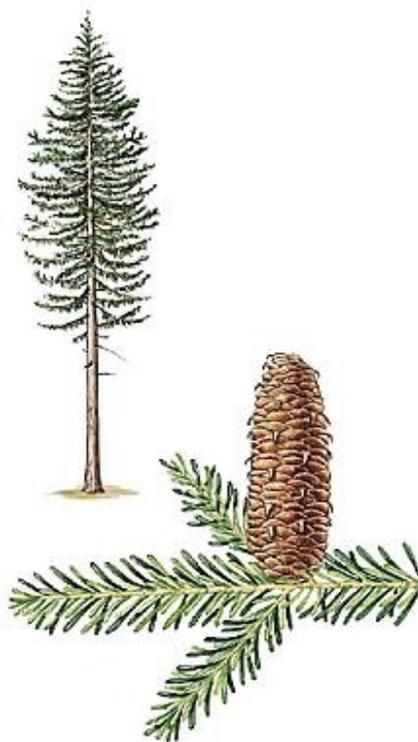


Fig. 17 – Représentation du sapin pectiné ou sapin blanc (*Abies alba*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les résultats sont présentés par période chronologique et par structure de provenance.

3.1. Prélèvements en provenance de structures du Haut-Empire : rejets d'un établissement agricole

3.1.1. Prélèvement du comblement de la cave 114 : Prélèvement n°6

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Alnus sp.	19	0	1	16	0	0	0	0	0	4
Fagus sylvatica	13	0	6	5	0	3	0	0	0	7
Quercus sp.	9	1	7	0	7	1	0	0	1	0

Fig. 18 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°6.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	13	0,74	0	0,74	0,74
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	7	55	0,96	0,24	0,74	1,45

Fig. 19 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°6.

b. Interprétations

Trois taxons ont été identifiés dans ce prélèvement. Par ordre d'importance on constate des charbons d'aulne (*Alnus sp.*), de hêtre (*Fagus sylvatica*) et de chêne (*Quercus sp.*).

Les fragments d'aulne proviennent de bois de petit calibre, alors que les charbons de hêtre et de chêne semblent correspondre à des bois de moyen calibre (grosses branches). Quelques mesures d'angles effectuées sur les plus gros fragments ont permis d'estimer quelques diamètres minimum (mesures non exhaustives) : pour le hêtre environ 14 cm, pour l'aulne entre 3 et 6 cm.

Au regard de cette composition, on peut émettre l'hypothèse d'une utilisation de bois d'aulne, bois léger et de petit calibre, comme bois d'allumage. Le chêne et le hêtre, qui sont des essences plus dures et réputées comme étant de bons combustibles, ont quant à elles été probablement utilisées pour alimenter les combustions.

Des traces de galeries ont été identifiées sur plusieurs fragments d'aulne et de hêtre, ce qui constitue un indice de « bois ramassés à l'état mort », voire de « bois d'œuvre » réutilisés.

Des irrégularités de croissance ont été observées sur quelques fragments de chêne (Fig. 20). Il pourrait s'agir des conséquences de coupes d'éclaircies réalisées sur des arbres environnants, par exemple dans le cadre de traitements de type « taillis-sous-futaie ».

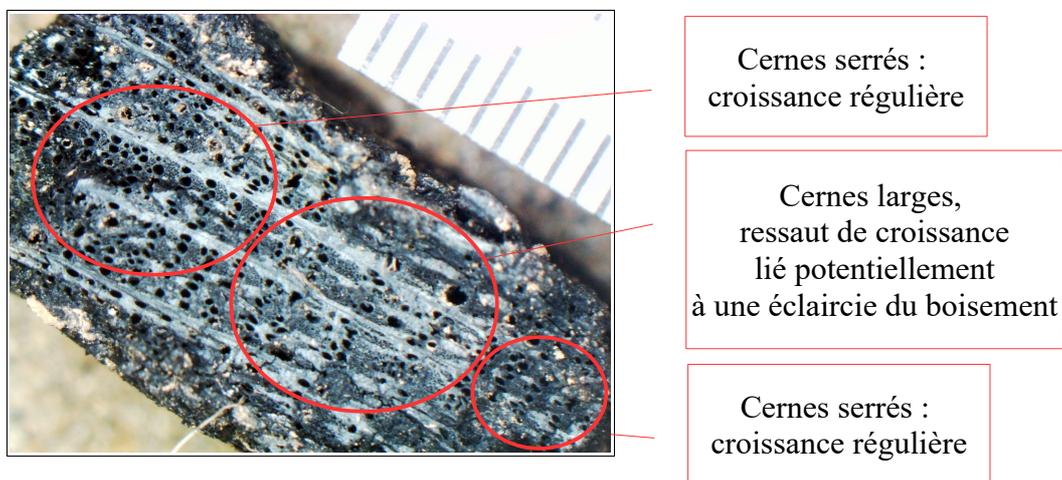


Fig. 20 - Fragment de chêne montrant des irrégularités de croissance (prélèvement n°6, grossissement x5).

Des mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur quelques fragments de chêne permettant de calculer une moyenne de l'ordre de 1 mm / an (Fig. 19). Cette valeur est caractéristique de contextes de croissance difficiles, peut-être un environnement contraignant (sols pauvres, mal exposés) ou bien soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense).

3.1.2. Prélèvement du comblement du four 107 : Prélèvement n°8

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform
Betula sp.	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Quercus/Castanea	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Quercus sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 21 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°8.

b. Interprétation

Les charbons étudiés proviennent de branches de petits calibres correspondant à du bouleau (*Betula sp.*), du chêne (*Quercus sp.*) et du chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*).

Une mesure d'angle effectuée sur un fragment de bouleau a permis d'estimer un diamètre minimum d'environ 1 cm (mesures non exhaustives) .

Les petits modules de bouleau, bois léger, ont probablement servi à allumer la combustion, entretenue par la suite avec du bois de chêne.

Un des fragments de bouleau avait un aspect particulièrement fondu-luisant, indicateur d'un niveau de vitrification élevé et conséquence possible d'une combustion en contexte chaud et anaérobie. Le contexte de four semble cohérent avec ce constat.

3.1.3. Prélèvement du comblement d'une fosse de rejet de métallurgie : Prélèvement n°15

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion		
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant
Betula sp.	7	0	2	4	0	0	0	6	0
Fagus sylvatica	6	1	4	1	0	0	0	3	1
Quercus sp.	3	0	3	0	3	0	0	2	1

Fig. 22 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°15.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	intermediaire	Régulier	3	14	1,46	1,02	0,86	2,63

Fig. 23 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement n°15.

b. Interprétation

Trois taxons ont été identifiés dans ce prélèvement. On constate des charbons de bouleau (*Betula sp.*), de hêtre (*Fagus sylvatica*) et de chêne (*Quercus sp.*).

Au regard des courbures de cerne observées, ce sont plutôt des fragments provenant de bois de petit et moyen calibre pour le bouleau et de bois de moyen calibre pour le hêtre et le chêne. Le bouleau a probablement été utilisé lors d'une phase d'allumage, le chêne et le hêtre pour l'entretien des combustions.

La presque totalité des fragments montre des aspects luisants (Fig. 22). L'aspect « luisant » est lié à un premier niveau de vitrification. L'interprétation archéologique indique que des rejets de métallurgie ont été retrouvés associés aux charbons. Ce fait apparaît cohérent avec les observations d'aspect luisant. Il existe en effet plusieurs étapes des activités de métallurgie (charbonnage, grillage, bas-fourneau, affinage) susceptibles d'avoir fourni des contextes favorables à la vitrification des charbons (conditions réductrices et températures élevées).

Quelques fragments de chêne ont pu faire l'objet de mesures de cernes (Fig. 23). La moyenne obtenue (1,46 mm / an) indique des contextes de croissances assez contraignants.

3.1.4. Prélèvement du comblement du fond de cabane 115 : Prélèvement n° 27

a. Résultats

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

Fig. 24 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n° 27.

b. Interprétation

Seulement cinq fragments ont été analysés pour ce prélèvement. On observe un fragment de la famille des Pomoïdées et quelques fragments de chêne-châtaignier (*Quercus sp.* - *Castanea sp.*).

3.1.5. Prélèvement du comblement de la cave 15427 : Prélèvements n° 77 et 78

a. Résultats

	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Thylle	
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform		Aspect granuleux - indet.
Prélèvement 77	Fagus sylvatica	4	3	1	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
	Fraxinus sp.	2	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
	Quercus sp.	7	0	1	3	0	0	0	5	2	0	0	0	0	1
	Abies sp.	2	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Prélèvement 78	Fagus sylvatica	2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 25 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements n°77 et n°78 de la cave 15427.

b. Interprétation

Deux prélèvements ont été réalisés à l'intérieur du comblement de la « cave 15427 ».

L'analyse permet d'identifier des fragments de hêtre (*Fagus sylvatica*), de chêne (*Quercus sp.*), de frêne (*Fraxinus sp.*) et de sapin (*Abies alba*).

Il s'agit pour le chêne, le frêne et le sapin de fragments provenant de bois de petit calibre. En revanche les charbons de hêtre montrent de faibles courbures de cerne, synonymes de bois de fort calibre.

La plupart des charbons a un aspect « dur-luisant », caractéristique d'un premier niveau de vitrification. Il pourrait donc s'agir de rejets de combustions associées à des contextes chauds et anaérobies (ex. fours).

La détection à la fois du hêtre, chêne et frêne, trois essences au pouvoir calorifique élevé et considérées comme d'excellents combustibles est à noter.

La présence du sapin est en revanche un peu plus surprenante, car ce n'est pas une essence clairement identifiée dans ce secteur géographique (Rameau *et al.*, 1989). Quelques fragments ont toutefois déjà été identifiées parmi les bois retrouvés lors des fouilles du bassin antique associé au sanctuaire de Saint-Martin-Au-Val à Chartres (28) et dans des niveaux de comblements de puisards retrouvés devant le sanctuaire du Vieil-Evreux (27), datés entre la fin du IIIe et le milieu du IVe siècle (Gaudin, 2018 et 2019).

Le bois de sapin a potentiellement pu être utilisé comme bois de charpente (ex. avec les bois de Saint-Martin-au-Val), ce qui n'a visiblement pas été le cas ici car les fragments proviennent à priori plutôt de bois de petit calibre.

3.1.6. Prélèvement du comblement de la fosse 15780 : Prélèvement n° 106

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
<i>Corylus avellana</i>	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Pomoidée	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quercus sp.</i>	6	2	3	0	5	0	0	0	0	1

Fig. 26 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°106 de la fosse 15780.

b. Interprétation

Une dizaine de charbons a été étudiée pour ce prélèvement.

Trois essences ont été identifiées, on constate une prédominance des charbons de chêne suivie de quelques fragments de Pomoïdées et de noisetier (*Corylus avellana*).

Les fragments de chêne proviennent à priori plutôt de bois de moyen calibre, alors que les charbons de noisetiers correspondraient à des petites branches, peut-être un bois d'allumage (?).

3.2. Prélèvements en provenance de structures de la période mérovingienne : rejets de fosses d'accès et de fours domestiques

3.2.1. Prélèvements du comblement du four 109 : Prélèvements n°118, n°154, n°158, n°161, n°164

a. Résultats

Identifiants – prélèvements	Nom Espèce	Effectif	Courbure				Rythme			Combustion			Insecte	Moelle	Thylle
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant / noeud					
Prélèvement 118	Acer sp.	38	0	2	34	0	21	0	25	1	0	2	2	0	
Prélèvement 158	Acer sp.	15	0	0	13	0	0	0	6	4	0	1	1	0	
Prélèvement 161	Acer sp.	12	0	1	11	0	0	0	11	1	0	1	0	0	
Prélèvement 164	Acer sp.	11	0	0	10	0	0	0	10	1	0	0	1	0	
Prélèvement 154	Acer sp.	8	0	0	7	0	0	0	8	0	0	0	0	0	
	Quercus sp.	8	0	5	2	1	0	0	0	7	1	0	0	1	

Fig. 27 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements du four 109 : Prélèvements n°118, n°154, n°158, n°161, n°164

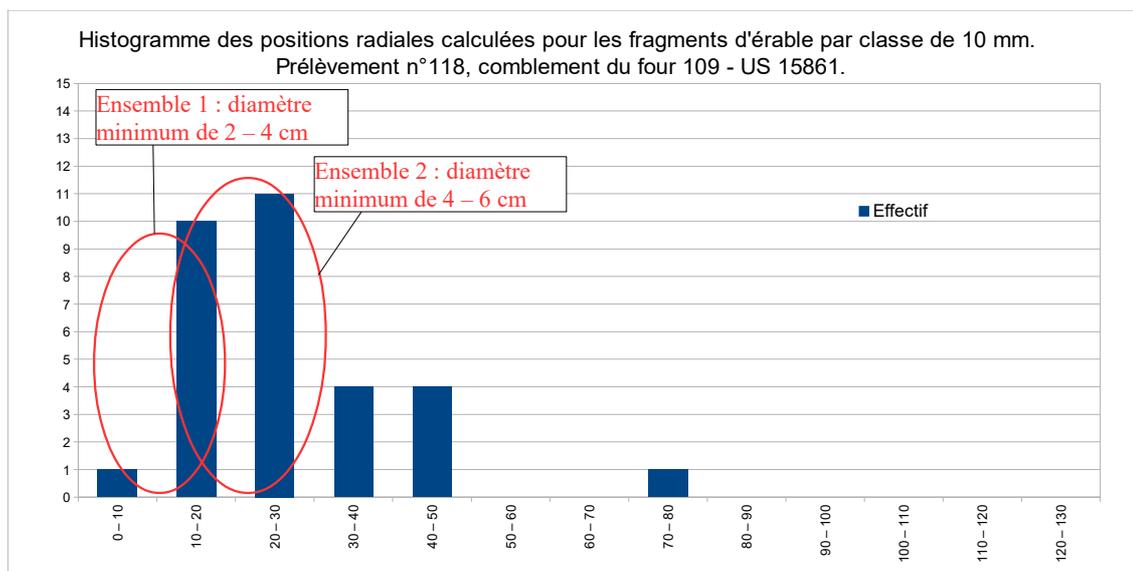


Fig. 28 – Distribution des positions radiales calculées pour 31 fragments, par classe de 10 mm. Fragments du prélèvement n°118, Four 109 - US 15861. Deux ensembles semblent se dégager : un ensemble n°1 correspondant à des bois de diamètre minimum de 2-4 cm et un ensemble n° 2 correspondant à des bois de diamètre minimum compris entre 4 à 6 cm.

b. Interprétation

Le comblement de la structure du « four n°109 » a fait l'objet de cinq prélèvements. Un total de 92 charbons a été observé.

L'érable (*Acer sp.*) est l'unique taxon retrouvé pour les prélèvements n° 118, 158, 161 et 164. Pour le prélèvement n°154, quelques fragments de chêne ont été identifiés en plus de l'érable (Fig. 27).

Il s'agit presque exclusivement de bois de petit calibre (90% des fragments d'érable montre une courbure de cerne forte).

Les mesures d'angles et calculs de diamètres minimum effectués sur une trentaine de charbons d'érable du prélèvement n°118 ont permis d'identifier des ensembles correspondant à des branches de 20 à 40 mm et 40 à 60 mm de diamètre minimum (Fig. 28). Quelques sections entières de branches ont aussi été mesurées dans d'autres prélèvements, appuyant aussi ce constat. Exemples : Prélèvement n°154 : fragments de rayon 10 à 20 mm, prélèvement n°158 : fragments de rayon minimum de 30 à 40 mm, prélèvement n°161 : fragments de rayon minimum de 20 à 40 mm, prélèvement n°164 : fragment de rayon minimum d'environ 30 mm.

De façon générale, les fragments d'érable proviennent donc principalement de bois de 20 à 60 mm de diamètre.

Une grande partie des fragments (plus de 80%) montre des aspects « durs-luisants » et dans une moindre mesure « fendus-luisants ». Ces aspects correspondent à un premier niveau de vitrification. Il est probable que le phénomène ait été favorisé par le petit calibre du bois (Oilic, 2011), mais très certainement aussi par un contexte de combustion réducteur et de fortes températures (Blazot *et al.*, 2004 ; Oilic, 2011). On peut évidemment évoquer le contexte du four mais aussi des pratiques de charbonnages lors d'une phase de préparation du combustible. Notons enfin que nous n'avons pas constaté de charbons montrant des aspects « scoriacées » ou « fondus » qui auraient été caractéristiques de combustions liées aux activités de métallurgie.

Contrairement aux fragments d'érable, les quelques charbons de chêne observés dans le prélèvement n° 154 sont souvent caractérisés par des fentes de retrait (aspect fendu-luisant), traits typiques de bois brûlés à l'état vert ou partiellement sec (Fig. 27). Mais ces observations restent cantonnées au bois de chêne, pour le reste du combustible, c'est visiblement du bois d'érable sec qui a été utilisé.

3.2.2. Prélèvements du comblement de la fosse 15864, fosse d'accès au four n°109 : Prélèvement n°156

a. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Acer sp.	9	0	0	6	0	0	1	3	3	1
Quercus/Castanea	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	8	0	5	0	5	0	3	0	0	0

Fig. 29 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fosse 15865 : Prélèvement n°156

b. Interprétation

L'analyse a permis d'identifier des charbons d'érable (*Acer sp.*), de chêne et de chêne-châtaigner (*Quercus sp.* - *Castanea sp.*).

Les fragments d'érable proviennent de bois de petit calibre (les courbures de cerne sont fortes et des mesures d'angles sur un fragment ont permis d'estimer un rayon minimum de 30 à 40 mm). En revanche, les charbons de chêne semblent provenir de bois de calibre un peu plus gros (calibre intermédiaire).

Les fragments d'érable montrent des aspects « luisants » typiques de conditions de combustions chaudes et anaérobies (peut-être en liaison avec la combustion en four ou bien des pratiques de charbonnage).

On observe régulièrement des fentes de retrait pour les charbons de chêne mais aussi d'érable, indicateurs de bois brûlés à l'état « vert ».

On retrouve là des similitudes avec les résultats anthracologiques des prélèvements en provenance des comblements des fours n°109 et n°110, notamment le prélèvement n°154 (four n°109) pour ce qui concerne le chêne.

3.2.3. Prélèvements du comblement du four 110 : Prélèvements n°111, n°147, n°172, n°176

a. Résultats

Prélèvement	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Insecte	
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud		
Prélèvement 111	Acer sp.	13	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Prélèvement 147	Acer sp.	20	0	0	20	0	0	0	4	0	0	0	1	3
Prélèvement 172	Acer sp.	10	0	0	9	0	0	0	10	0	0	0	0	0
Prélèvement 176	Acer sp.	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Fig. 30 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements du four 110 : Prélèvements n°111, n°147, n°172, n°176

b. Interprétation

L'analyse des quatre prélèvements en provenance du comblement du four n°110 permet d'identifier exclusivement des fragments d'érable (*Acer sp.*) (Fig. 30).

L'observation des courbures de cerne montre l'utilisation de bois de petit calibre (les fragments ont presque tous de fortes courbures de cerne). Quelques mesures d'angles sur les plus gros charbons ont permis des estimations de rayon minimum : prélèvement n°111 : fragments de rayon minimum de 15 à 30 mm, prélèvement n°147 : fragments de section entière de rayon compris entre 10 à 15 mm, prélèvement n°172 : fragments de rayon minimum de 10 à 15 mm, prélèvement n°176 : fragment de rayon minimum de 10 mm.

Une proportion non négligeable des charbons (environ un tiers) montre des aspects « durs-luisants », caractéristiques d'un premier niveau de vitrification. On peut évoquer des contextes chauds et anaérobies pour expliquer le phénomène, liés peut-être à des pratiques de charbonnage ou du contexte de combustion à l'intérieur du four.

Aucune fente de retrait n'a été observée, ce qui est plutôt un indice de bois brûlé à l'état sec.

On retrouve là des traits semblables aux compositions anthracologiques du four n° 109.

3.2.4. Prélèvements du comblement du four 111 : Prélèvement n°114

a. Résultats

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

Fig. 31 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement du four 111 : Prélèvement n°114

b. Interprétation

Un seul fragment a été observé, il s'agit d'un charbon de chêne de courbure de cerne faible (en provenance probable d'un bois de fort calibre).

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Environ 250 fragments ont été observés pour l'ensemble des 18 prélèvements.

Tableaux récapitulatifs :

Inventaire des prélèvements et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
<p>Cave 114 (US 15035)</p> <p>Prélèvement n°6</p> <p>1 PLV étudié.</p>	<p>Aulne (<i>Alnus sp.</i>), hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) et chêne (<i>Quercus sp.</i>)</p>	<p>Rejets charbonneux d'origine domestique (?)</p> <p>Les fragments d'aulne proviennent de bois de petit calibre, alors que les charbons de hêtre et de chêne correspondent à des bois de moyen calibre (grosses branches).</p> <p>On peut émettre l'hypothèse d'une utilisation de bois d'aulne, bois léger et de petit calibre, comme bois d'allumage. Le bois de chêne et de hêtre a probablement été utilisé pour alimenter les combustions.</p> <p>Des traces de galeries ont été identifiées sur plusieurs fragments d'aulne et de hêtre, ce qui est un indice de « bois ramassés à l'état mort », voire de « bois d'œuvre » réutilisés.</p> <p>Des irrégularités de croissance ont été observées sur quelques fragments de chêne. Il pourrait s'agir des conséquences de coupes d'éclaircies réalisées sur des arbres environnants, par exemple dans le cadre de traitements de type « taillis-sous-futaie ».</p>	<p>Boisement de type chênaie – hêtraie : <i>Quercus sp.</i>, <i>Fagus sylvatica</i></p> <p>Boisement humide : <i>Alnus sp.</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>PLV n°6 : Moy. = 0,96 mm (N=7 ; Ec-type = 0,24 mm)</p> <p>Contexte de croissance contraignant (sols pauvres ou boisements denses).</p>
<p>Four 107 (US 15364)</p> <p>Prélèvement n°8</p> <p>1 PLV étudié.</p>	<p>Bouleau (<i>Betula sp.</i>), chêne (<i>Quercus sp.</i>), chêne/châtaignier (<i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i>)</p>	<p>Rejets de combustion d'un four (?)</p> <p>Les charbons étudiés proviennent de branches de petits calibres. Les petits modules de bouleau, bois léger, ont probablement servi à allumer la combustion, entretenue par la suite avec du bois de chêne. Un des fragments de bouleau avait un aspect particulièrement fonduluisant, indicateur d'un niveau de vitrification élevé et conséquence possible d'une combustion en contexte chaud et anaérobie. Le contexte de four semble cohérent avec cette observation.</p>	<p>Boisement de type chênaie</p> <p><i>Quercus sp.</i> <i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i></p> <p>Boisement clair, lisière <i>Betula sp.</i></p>
<p>Fosse de rejets de métallurgie (US 15131)</p> <p>Prélèvement n°15</p> <p>1 PLV étudié.</p>	<p>Bouleau (<i>Betula sp.</i>), hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>) et chêne (<i>Quercus sp.</i>)</p>	<p>Rejets de combustion en relation avec une activité de métallurgie.</p> <p>Ce sont plutôt des fragments provenant de bois de petit et moyen calibre pour le bouleau et de bois de moyen calibre pour le hêtre et le chêne. Le bouleau a probablement été utilisé lors d'une phase d'allumage, le chêne et le hêtre pour l'entretien des combustions.</p> <p>Les fragments avaient très souvent des aspects luisants. Cet aspect est lié à un premier niveau de vitrification. L'interprétation archéologique indique que des rejets de métallurgie ont été retrouvés associés aux charbons. Ce fait apparaît cohérent avec les observations d'aspect luisant. Il existe en effet plusieurs étapes des activités de métallurgie (charbonnage, grillage, bas-fourneau, affinage) susceptibles d'avoir fourni des contextes favorables à la vitrification des charbons (conditions anaérobies et températures élevées).</p>	<p>Boisement de type chênaie – hêtraie</p> <p><i>Quercus sp.</i>, <i>Fagus sylvatica</i></p> <p>Boisement clair, lisière <i>Betula sp.</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :</p> <p>PLV n°15 : Moy. = 1,46 mm (N=3 ; Ec-type = 1,02 mm)</p> <p>Contexte de croissance contraignant (sols pauvres ou boisements denses).</p>
<p>Fond de cabane (US 15406)</p> <p>Prélèvement n°27</p>	<p>Chêne/châtaignier (<i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i>), Pomoïdées</p>	<p>Rejets d'origine indéterminée</p> <p>Seulement cinq fragments ont été analysés pour ce prélèvement. On observe un fragment de la famille des Pomoïdées et quelques fragments de chêne-châtaignier (<i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i>).</p>	<p>Boisement de type chênaie</p> <p><i>Quercus sp.</i> <i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i></p> <p>Boisement clair, lisière <i>Pomoideae</i></p>

<p>Cave 15427 (US 15641 et US 15640)</p> <p>Prélèvement n°77 et prélèvement n°78</p> <p>2 PLV étudiés.</p>	<p>hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>), chêne (<i>Quercus sp.</i>), frêne (<i>Fraxinus sp.</i>) sapin (<i>Abies alba</i>)</p>	<p>Rejets charbonneux d'origine mal définie, probablement artisanale (four?)</p> <p>Il s'agit pour le chêne, le frêne et le sapin de fragments provenant de bois de petit calibre. En revanche les charbons de hêtre correspondent à des bois de fort calibre.</p> <p>La majorité des charbons a un aspect « dur-luisant », caractéristique d'un premier niveau de vitrification. Il pourrait donc s'agir de rejets de combustions associées à des contextes chauds et anaérobies (ex. fours).</p> <p>La détection à la fois du hêtre, chêne et frêne, trois essences au pouvoir calorifique élevé et considérées comme d'excellents combustibles est à noter.</p> <p>La détection du sapin est atypique dans la région (Rameau <i>et al.</i>, 1989).</p>	<p>Boisement de type chênaie – hêtraie : <i>Quercus sp.</i>, <i>Fagus sylvatica</i>, <i>Fraxinus sp.</i>, <i>Abies alba</i></p> <p>Boisement humide : <i>Fraxinus sp.</i></p>
<p>Fosse 15780 (US 15781)</p> <p>Prélèvement n° 106</p> <p>1 PLV étudié.</p>	<p>chêne (<i>Quercus sp.</i>), <i>Pomoïdées</i>, noisetier (<i>Corylus avellana</i>)</p>	<p>Rejets charbonneux d'origine indéterminée</p> <p>Les fragments de chêne proviennent a priori plutôt de bois de moyen calibre, alors que les charbons de noisetiers correspondraient à des petites branches, peut-être un bois d'allumage (?).</p>	<p>Boisement de type chênaie <i>Quercus sp.</i> <i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i></p> <p>Boisement clair, lisière <i>Pomoïdeae</i>, <i>Corylus avellana</i></p>

Fig. 32 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour les prélèvements associés aux structures du Haut-Empire.

Inventaire des prélèvements et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
<p>Comblement du four 109 :</p> <p>Prélèvements n° 118, 154, 158, 161 et 164</p> <p>5 PLV étudiés</p>	<p>Erable (<i>Acer sp.</i>), Chêne (<i>Quercus sp.</i>)</p>	<p>Rejets de combustion d'origine indéterminée (artisanale ?)</p> <p>L'érable (<i>Acer sp.</i>) est l'unique taxon retrouvé pour quatre des cinq prélèvements. Pour le prélèvement n°154, quelques fragments de chêne ont été retrouvés en plus de l'érable.</p> <p>Il s'agit presque exclusivement de bois de petit calibre. Les mesures d'angles et calculs de diamètres minimum effectués sur une trentaine de charbons d'érable du prélèvement n°118 ont permis d'identifier des ensembles correspondant à des branches de 20 à 40 mm et 40 à 60 mm de diamètre minimum.</p> <p>Une grande partie des fragments (plus de 80%) montre des aspects « durs-luisants » et dans une moindre mesure « fendus-luisants ». Ces aspects correspondent à un premier niveau de vitrification. Il est probable que le phénomène ait été favorisé par le petit calibre du bois (Oilic, 2011), mais très certainement aussi par un contexte de combustion réducteur et de fortes températures (Blaizot <i>et al.</i>, 2004 ; Oilic, 2011). On peut évidemment évoquer le contexte du four mais aussi des pratiques de charbonnages lors d'une phase de préparation du combustible.</p> <p>Contrairement aux fragments d'érable, les quelques charbons de chêne observés dans le prélèvement n° 154 sont souvent caractérisés par des fentes de retrait (aspect fendu-luisant), traits typiques de bois brûlés à l'état vert ou partiellement sec. Mais ces observations restent cantonnées au bois de chêne. Pour le reste du combustible, c'est visiblement du bois d'érable sec qui a été utilisé.</p>	<p>Boisement de type chênaie - hêtraie et chênaie mixte: <i>Quercus sp.</i> <i>Acer sp.</i></p> <p>Boisement ouvert, lisière, haie : <i>Acer sp.</i></p>
<p>Comblement de la fosse 15864, fosse d'accès au four 109 :</p> <p>Prélèvement n°156</p> <p>1 PLV étudié.</p>	<p>Erable (<i>Acer sp.</i>), Chêne (<i>Quercus sp.</i>), chêne/châtaignier (<i>Quercus sp. - Castanea sp.</i>)</p>	<p>Restes charbonneux en relation avec le four n°109, origine indéterminée, probablement artisanale.</p> <p>Les fragments d'érable proviennent de bois de petit calibre (les courbures de cerne sont fortes). En revanche, les charbons de chêne semblent provenir de bois de calibre un peu plus gros (calibre intermédiaire).</p> <p>Les fragments d'érable montrent des aspects luisants typiques de conditions de combustions chaudes et anaérobies (peut-être en liaison avec la combustion en four ou bien des pratiques de charbonnage). On observe régulièrement des fentes de retrait pour les charbons de chêne mais aussi d'érable, indicateurs de bois brûlé à l'état « vert ».</p> <p>On retrouve là des similitudes avec les résultats anthracologiques des prélèvements en provenance des comblements des fours n°109 et n°110, notamment le prélèvement n°154 (four n°109) pour ce qui concerne le chêne.</p>	<p>Boisement de type chênaie mixte, chênaie-hêtraie</p> <p><i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i>, <i>Acer sp.</i></p> <p>Boisement ouvert, lisière, haie : <i>Acer sp.</i></p>
<p>Comblement du four 110 :</p> <p>Prélèvements n° 111, 147, 172 et 176</p> <p>4 PLV étudiés</p>	<p>Erable (<i>Acer sp.</i>)</p>	<p>Restes charbonneux en relation avec le four n°111, origine indéterminée, probablement artisanale.</p> <p>L'observation des courbures de cerne montre l'utilisation de bois de petit calibre (les fragments montrent de fortes courbures de cerne).</p> <p>Une proportion non négligeable des charbons (environ un tiers) montre des aspects « durs-luisants », caractéristiques d'un premier niveau de vitrification. On peut évoquer des contextes chauds et anaérobies pour expliquer le phénomène, liés peut-être à des pratiques de charbonnage ou du contexte de combustion à l'intérieur du four.</p> <p>Aucune fente de retrait n'a été observée, ce qui est plutôt un indice de bois brûlé à l'état sec.</p> <p>On retrouve là des traits semblables aux résultats du four n° 109.</p>	<p>Boisement de type chênaie mixte, chênaie-hêtraie (?)</p> <p><i>Acer sp.</i></p> <p>Boisement ouvert, lisière, haie : <i>Acer sp.</i></p>
<p>Comblement du four 111 :</p> <p>PLV n°114</p>	<p>Chêne (<i>Quercus sp.</i>)</p>	<p>Rejets de combustion d'origine indéterminée</p> <p>Un seul fragment a été observé, il s'agit d'un charbon de chêne de courbure de cerne faible (en provenance probable d'un bois de fort calibre).</p>	<p>Boisement de type chênaie mixte, <i>Quercus sp.</i></p>

Fig. 33 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour les prélèvements associés aux structures mérovingiennes.

- **Informations d'ordre environnemental**

Onze taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude.

Il est bien sûr difficile d'interpréter directement les compositions anthracologiques en termes paléo-paysagers, car les proportions de chaque essence sont liées aux usages du combustible et aux aléas des aires de ramassages.

La plupart des essences (10 / 11) correspondent à la période du Haut-Empire. Cette diversité s'explique par la nature des rejets charbonneux constitués à la fois par des vestiges de bois d'allumage (ex. Pomoïdées, bouleau et noisetier) et de bois d'entretien (ex. chêne et hêtre).

En revanche, seulement deux essences ont été observées pour l'ensemble des structures de la période mérovingienne. L'érable, probablement sélectionné pour sa bonne combustibilité, est la principale essence identifiée avec un peu de chêne.

L'image du paléopaysage nous apparaît donc beaucoup plus variée pour la période du Haut-Empire. Pour cette raison, les informations paléoenvironnementales interprétées grâce aux associations anthracologiques ci-dessous concernent essentiellement la période du Haut-Empire.

Pour la période du Haut-Empire :

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

- les groupements forestiers de la **chênaie diversifiée** avec le chêne (*Quercus sp.*), le chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*) et de la **chênaie-hêtraie** avec le chêne (*Quercus sp.*), le hêtre (*Fagus sp.*), voire le frêne (*Fraxinus excelsior*) et le sapin (*Abies alba*). Notons que le groupement de la chênaie-hêtraie correspond au groupement forestier caractéristique de la période climatique du Subatlantique, largement détecté par la palynologie et majoritaire dans le nord-ouest de la France (Gaudin, 2004).

Remarque : La détection du sapin, atypique à l'état naturel dans la région (Rameau *et al.*, 1989) pose question. Quelques fragments ont toutefois déjà été identifiés parmi les bois retrouvés lors des fouilles du bassin associé au sanctuaire gallo-romain de Saint-Martin-Au-Val à Chartres (28) (daté par dendrochronologie au début du IIe siècle, com. pers Y. Ledigol et B. Bazin) et dans des niveaux de comblements de puisards retrouvés devant le sanctuaire du Vieil-Evreux (27), datés entre la fin du IIIe et le milieu du IVe siècle (Gaudin, 2018 et 2019).

Quelques populations sont aussi identifiées dans la région de L'Aigle (61) par les forestiers (Rameau *et al.*, 1989), mais sa spontanéité y est controversée...

Le bois de sapin a potentiellement pu être utilisé comme bois de charpente (exemple, avec les bois de Saint-Martin-au-Val), ce qui n'a visiblement pas été le cas ici car les fragments proviennent à priori plutôt de bois de petit calibre. Il pourrait aussi peut-être avoir une origine ornementale.

- **les lisières forestières, haies, associations héliophiles de sous-bois :** avec la détection des Pomoïdées (*Pomoïdeae*), du frêne (*Fraxinus excelsior*), du noisetier (*Corylus avellana*), du bouleau (*Betula sp.*). Ces essences attestent l'existence d'espaces ouverts ou clairsemés dans l'aire de ramassage.

Notons que la collecte d'essences pionnières comme le bouleau et le noisetier pourraient aussi indiquer des espaces en déprise agricole, en cours de reboisement durant le Haut-Empire.

- **les boisements hygrophiles** sont perçus avec l'aulne (*Alnus sp.*) et peut-être le frêne (*Fraxinus excelsior*). Ces boisements pourraient provenir d'une zone humide, de bord de cours d'eau ou depuis une zone alluviale.

Des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les fragments de chêne de gros et moyen calibre des prélèvements n°15 et n°6 (Haut-Empire), ont permis de calculer des moyennes de l'ordre de 1 mm / an. Ces valeurs correspondent à des croissances difficiles, en liaison avec des contextes abiotiques (ex. sols pauvres, météorologie,...) et/ou biotiques contraignants (compétition vis-à-vis des ressources, ex. chênaie dense).

Enfin, quelques observations directes effectuées sur des charbons de chêne du prélèvement n°6 (Haut-Empire) ont permis d'identifier des irrégularités de croissance (Fig. 20). Certes, ces perturbations peuvent être le fait d'aléas climatiques, mais peut-être aussi de coupes réalisées sur les arbres lors de traitements de type taillis ou taillis-sous-futaie (Fig. 34). Ce mode de gestion sylvicole fait intervenir des coupes régulières d'arbres et de branches (cépées) tout en maintenant quelques arbres en place (baliveaux et arbres de réserve : ex. chêne) (Fig. 35). Cette hypothèse trouve aussi quelques crédits dans le mode de prélèvement constaté (en grande partie des rameaux ou des branches) mais aussi dans la composition des bois prélevés (chêne, frêne, aulne, noisetier, châtaignier, bouleau). Car ce sont là des essences qui « rejettent » bien de souche et qui seraient adaptées à ce type de gestion sylvicole.

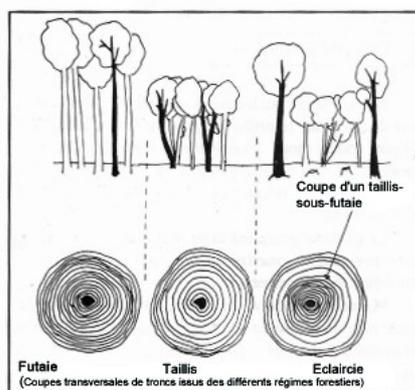


Fig. 34 – Schéma des trois régimes forestiers : futaie, taillis, taillis-sous-futaie.

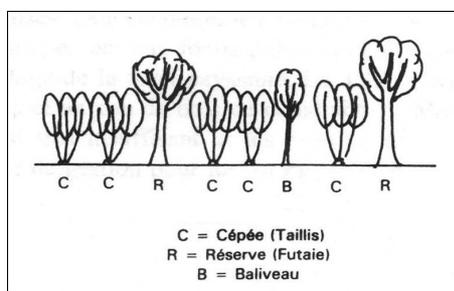


Fig. 35 - Illustration du mode de gestion sylvicole de type « taillis sous futaie ».

Une étude anthracologique a été réalisée en 2015 sur le site « Les Vergers » située aussi sur la commune de Mignières (Gaudin, 2015). Pour le Haut-Empire on avait pu observer les boisements de la chênaie, de la chênaie-hêtraie mais aussi des boisements clairs (avec le noisetier, le bouleau et la famille des Pomoïdées). Excepté les boisements hygrophiles détectés dans l'étude du « Clos de l'Ouche », on constate donc globalement des groupements végétaux assez similaires.

On note aussi la présence de fragments de résineux avec l'if sur le « site Les Vergers » mais pour un prélèvement de l'Antiquité tardive.

Pour la période mérovingienne :

Les charbons d'érable (*Acer sp.*) et de chêne (*Quercus sp.*), proviennent probablement de boisements de type chênaie mixte ou chênaie-hêtraie, voire de boisements clairs ou de lisières.

- **Informations d'ordre technique :**

Plusieurs ensembles peuvent être discernés en fonction de l'origine des Faits archéologiques, des compositions anthracologiques constatées et de la période considérée :

- Pour la période du Haut-Empire :

Trois ensembles anthracologiques sont marqués par des aspects « luisants ». **Il s'agit des prélèvements provenant du comblement du four 107, (US 15364, prélèvement n°8), du comblement de la fosse de rejets de métallurgie (US 15131, prélèvement n° 15) et de la cave 15427 (US 15641 et US 15640, prélèvements n°77 et n°78).** Le phénomène à l'origine de ces aspects n'est pas encore parfaitement compris. Il semble néanmoins que des contextes de combustion anaérobies et de hautes températures soient favorables au processus de « vitrification » (exemple : bas fourneaux, fours, pratiques de charbonnage selon Blaizot *et al.*, 2004 ; Oilic, 2011). Dans le cadre de cette étude, au regard des contextes archéologiques, des hypothèses de rejets de combustion de fours et de pratiques en liaison avec des activités de métallurgie, voire de préparation du combustible par charbonnage sont plausibles. De façon générale, ce sont des traits qui caractérisent plutôt des combustions « d'origines artisanales ».

L'utilisation du hêtre, chêne et frêne, trois essences réputées comme étant d'excellents combustibles est à noter. Le hêtre et dans une moindre mesure le chêne, ont été utilisés sous la forme de bois de moyen et gros calibre, probablement pour alimenter les combustions. Des fragments de bouleau, frêne et sapin observés sous la forme de bois de petit calibre ont à priori permis de « lancer » les combustions.

Les compositions anthracologiques de **la cave 114 (prélèvement n°6), du fond de cabane (US 15406) et de la fosse 15780 (US 15781)** montrent moins d'aspects luisants. Nous avons probablement affaire à des restes de combustion de contextes plus ouverts de type « foyer ».

On observe de nouveau l'utilisation du chêne et du hêtre comme bois d'entretien (bois de moyen et gros calibre). Alors que l'aulne, le noisetier et le bois de Pomoïdées, bois de petit calibre, ont probablement été réservés pour l'allumage.

- Pour la période mérovingienne :

Les prélèvements proviennent de comblements de fosses d'accès et de travail associées à des fours de formes tubulaires encore surnommés « fours cigares ». L'utilisation de ces structures reste encore assez énigmatique. Selon P. Gibbut, « les structures mérovingiennes de Mignières ont livré quantité de tessons provenant de ratés de cuisson de four, mais ce ne sont pas des fours à céramiques ». Les faits archéologiques tendraient donc plutôt à interpréter ces fours comme des structures à vocation domestique.

Les compositions anthracologiques observées pour les différents prélèvements sont assez homogènes car seulement deux essences ont été observées : l'érable (environ 90% des fragments) et dans une moindre mesure le chêne.

Les fragments d'érable proviennent essentiellement de bois de petit calibre. C'est plus diversifié en ce qui concerne le chêne avec des charbons provenant probablement de bois de petit et moyen calibre.

L'aspect « luisant » est un caractère détecté sur l'ensemble des prélèvements dans des proportions plus ou moins importantes (plus de 80% pour les prélèvements du four 109 à environ un tiers pour les prélèvements du four 110). Ces aspects correspondent à un premier niveau de vitrification. Il est probable que le phénomène ait été favorisé par le petit calibre du bois (Oilic, 2011), mais très certainement aussi par des conditions de combustion réductrices et de fortes températures (Blaizot *et al.*, 2004 ; Oilic, 2011). Le contexte archéologique apparaît cohérent avec l'hypothèse de contextes de combustion de type « four ». Mais on ne peut tout à fait écarter aussi l'hypothèse des pratiques de charbonnages dans le cadre d'une préparation du combustible.

Le choix de l'utilisation du bois d'érable :

L'utilisation de bois d'érable de petit calibre comme principal combustible est vraisemblablement le fruit d'un choix technique précis. Cela nous invite à nous intéresser aux propriétés de combustibilité de cette essence :

Le bois d'érable est un bois que l'on peut considérer comme appartenant aux bois « durs » et « mi-lourds » (densité volumétrique de l'érable : 500 kg / m³, en comparaison aux densités de 580 Kg / m³ pour le hêtre et 570 Kg / m³ pour le chêne).

Il est décrit comme un bon combustible (Rameau *et al.*, 1989). De façon générale, les bois durs génèrent des braises qui durent longtemps. Leurs flammes sont courtes et moins flamboyantes que celles des bois tendres mais le feu dure plus longtemps.

Les bois durs sont en revanche difficiles à enflammer. Néanmoins le petit calibre des bois utilisés a dû faciliter l'allumage et la combustion.

La question du calibre du bois utilisé :

Les fragments d'érable proviennent essentiellement de bois de 20 à 60 mm de diamètre. L'utilisation presque exclusive de « petit bois » est une caractéristique marquante et pose question car ce type de combustible génère des combustions vives mais assez brèves. Dans le cadre d'un foyer domestique, ce type de combustible serait utilisé pour la phase d'allumage mais l'entretien de la

combustion serait ensuite assuré par l'emploi de bois de plus gros calibre, ce qui n'a globalement pas été le cas ici.

Le choix systématique de l'utilisation de bois de petit calibre conforterait plutôt l'hypothèse « d'usages artisanaux ». En effet, l'utilisation exclusive d'un combustible de type « petit bois » permet d'atteindre de fortes températures si la combustion est alimentée de façon continue. C'est donc peut-être ce type de combustion qui a été recherché ici.

Pour émettre des hypothèses d'utilisation, il faut donc rechercher des systèmes techniques nécessitant de fortes températures. La détection de nombreux « ratés de cuisson » tendraient à indiquer l'existence d'activités de poterie dans les environs. L'utilisation de « petit bois » apparaîtrait assez cohérente avec de telles activités, mais d'autres usages nous échappent peut-être encore.

5. BIBLIOGRAPHIE

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

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

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

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

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

GAUDIN L., 2015 - *Analyse de fragments charbonneux provenant de la fouille du site « des Vergers » (MLV019), Mignièrès (28)*. Rapport d'étude anthracologique, 30p. (Destinataire public : Maison de l'Archéologie, Ville de Chartres, R.O. P. Gibut)

GAUDIN L., 2018 - *Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération archéologique du « Grand sanctuaire » sur le site de Gisacum. Prélèvements issus des structures S28 (1er puisard) et S39 (occupations devant le temple central). Le Vieil-Evreux (27)*. Rapport d'étude anthracologique, 60p. (Destinataire public : Mission Archéologique Départementale de l'Eure, R.O. S. Bertaudière)

GAUDIN L., 2019 - *Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération archéologique du « Grand Sanctuaire » sur le site de Gisacum, Le Vieil-Evreux (27). Campagne de fouille 2018. Sondages S39, S42 (devant le temple central) S51 (comblement du conduit du second puisard »)*. Rapport d'étude anthracologique, 78 p. (Destinataire public : Mission Archéologique Départementale de l'Eure, R.O. S. Bertaudière)

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.

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

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

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

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

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

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

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

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.

6. ANNEXE – Photographies

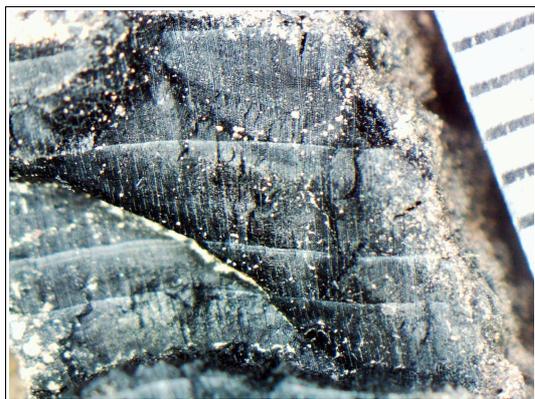


Fig. 36 – Fragment de sapin (*Abies alba*). Prélèvement n°78 (comblement de la cave 15427). Coupe transversale. Grossissement x9. L'échelle représente des millimètres.

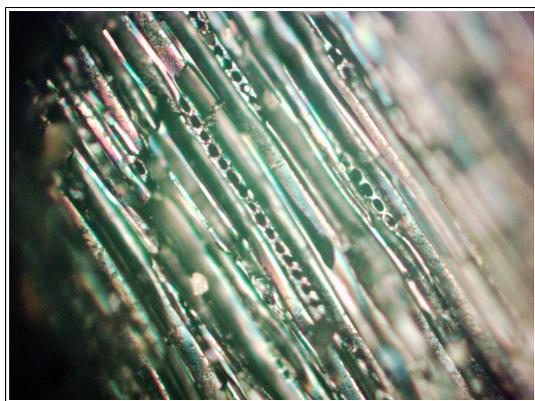


Fig. 37 – Fragment de sapin (*Abies alba*). Prélèvement n°78 (comblement de la cave 15427). Coupe tangentielle. Détail sur les rayons de 15 à 20 cellules de hauteur. Grossissement x400. L'échelle représente des millimètres.

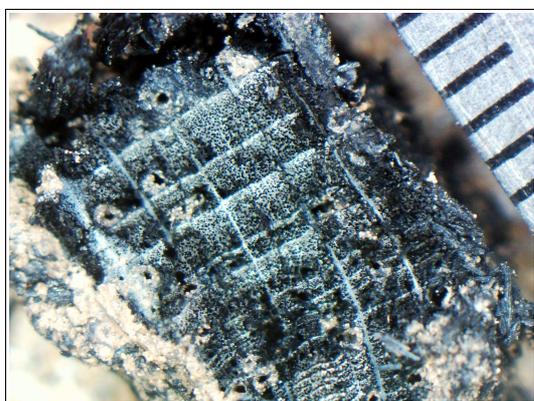


Fig. 38 – Fragment de hêtre (*Fagus sylvatica*) de courbure de cerne intermédiaire. Coupe transversale. Traces de xylophages probables. Prélèvement n°6 (comblement de la cave 114). Grossissement x8. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 39 – Fragment de noisetier (*Corylus avellana*). Coupe transversale. Prélèvement n°106 (Fosse 15780). Grossissement x12. L'échelle représente des millimètres.