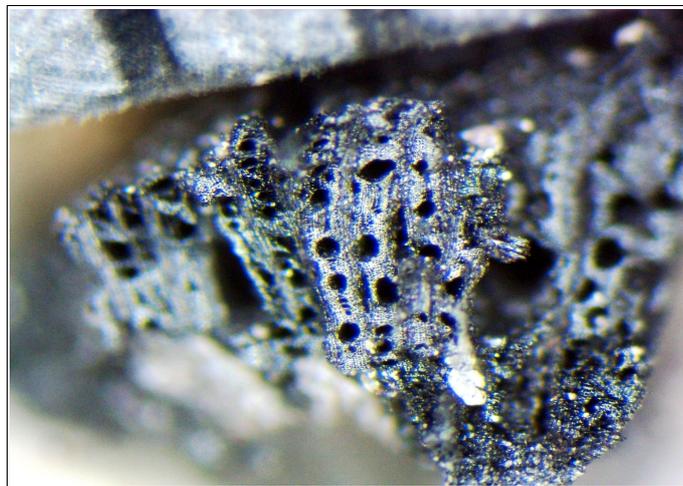




ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSE DES FRAGMENTS CHARBONNEUX PRÉLEVÉS
LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE
DE RIVECOURT (60).**



ARCHEOPOLE

Rapport d'étude anthracologique

Octobre 2020

ARCHEOPOLE

9 Z.A. Des Wattines, Pavé d'Halluin

59126 Linselles

**Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération
archéologique de Rivecourt (60).**

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

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

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

Octobre 2020

Illustration de la page de couverture :

*Fragment de vigne (Vitis vinifera), de forte courbure de cerne. Prélèvement n°51
Structure 491 – US 4913 (Comblement de Silo). Coupe transversale sous loupe
binoculaire x43 (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	8
2.1. Équipement d'observation.....	8
2.2. Méthodologie.....	9
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux	14
2.4. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	16
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....	20
3.1. Prélèvements provenant du comblement de la structure 491 de type silo (US 4913).....	20
3.1.1. Résultats.....	20
3.1.2. Interprétations	20
3.2. Prélèvement provenant du comblement de la structure 346 de type « Fosse de rejet » (US 3461).....	23
3.2.1. Résultats.....	23
3.2.2. Interprétations.....	23
3.3. Prélèvement provenant du comblement de la structure 351 (structure avec légère rubéfaction des parois).....	24
3.3.1. Résultats.....	24
3.3.2. Interprétations.....	25
3.4. Prélèvement provenant du comblement de la structure 333 de type « puits » (US 3333).....	26
3.4.1. Résultats.....	26
3.4.2. Interprétations.....	26
4. BILAN.....	27
5. BIBLIOGRAPHIE.....	32
6. ANNEXE – Photographies.....	34

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une fouille menée sur la commune de Rivecourt (60).

Le site correspond à une occupation du Haut Moyen Age, situé sous une ferme moderne et à proximité d'un château seigneurial.

Les analyses anthracologiques présentées dans ce rapport concernent plus précisément des rejets charbonneux retrouvés dans les comblements de diverses structures de type « Silo », fosse, puits.

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. A-t-on affaire à des restes de combustible ou de bois d'œuvre,
- 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 la société Archéopole. La fouille ci-présente a été dirigée par Hélène Assémat, responsable de l'opération.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les restes anthracologiques proviennent de quatre prélèvements. Les lots charbonneux ainsi que quelques éléments d'interprétation sont listés dans le tableau suivant (Fig. 22).

Le tamisage a été effectué par le service avec des mailles de 4 à 0,3 mm.

L'ensemble des lots a été observé. 201 charbons ont été étudiés.

Structure	US / lots	Structure / zone	Période / date	Effectifs étudiés
491	4913 - prélèvement 50	Silo	Médiévale	50
	4913 - prélèvement 51			50
346	3461	Fosse de rejet cendreux et charbonneux	?	30
351	/	Structure avec très légère rubéfaction des parois	Médiévale	61
333	3333	Puits	?	10
				201

Fig. 1 – Tableau synthétique des comptages anthracologiques des cinq prélèvements.

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 pertinente pour les compositions anthracologiques qui présentent d'importantes diversités.

Pour exemple les courbes « effort-rendement » réalisées pour les prélèvements n°50 et n°51 (comblement de la structure 491, US 4913), lots comprenant onze et neuf taxons pour 50 charbons observés, montrent des seuils compris entre 20 et 30 charbons (Fig. 2). Ce seuil a systématiquement été atteint lorsque le nombre de charbons présents à l'intérieur des lots était suffisant.

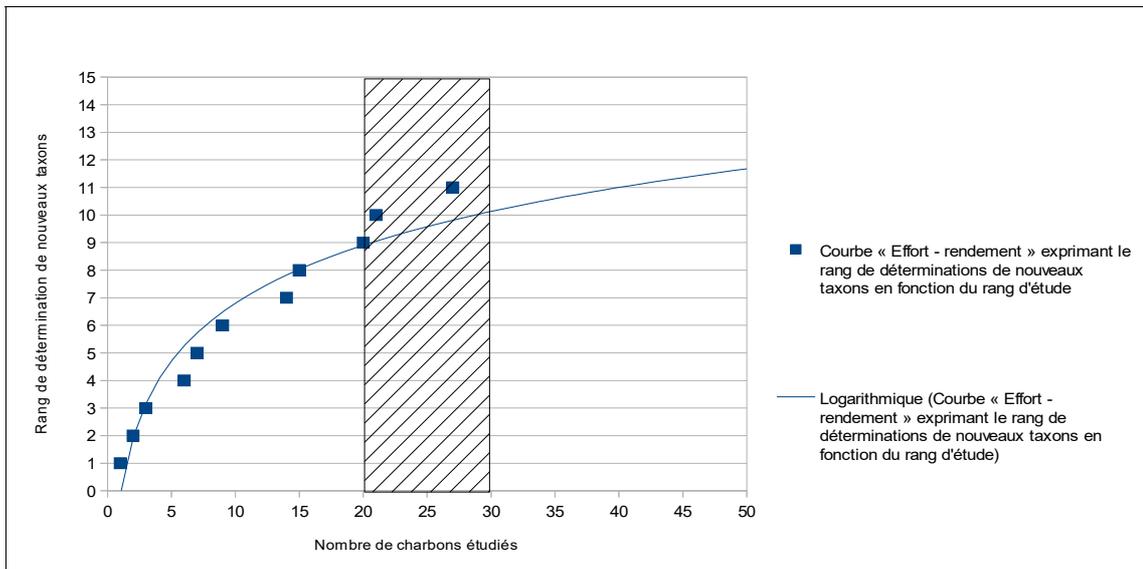


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°50. Dans cet exemple, le dixième taxon (*Fraxinus sp.*) a été observé au rang 27 et le seuil « d'effort - rendement » se situe entre 20 et 30 charbons. 50 fragments ont été observés pour ce lot.

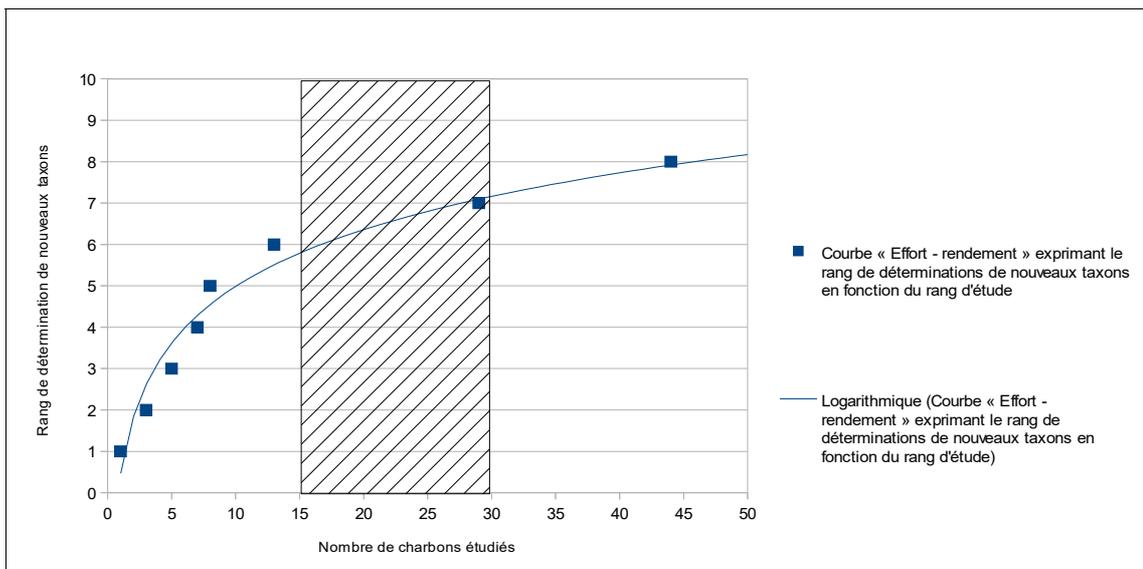


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°51. Dans cet exemple, le huitième taxon (*Carpinus sp.*) a été observé au rang 44 et le seuil « d'effort - rendement » se situe entre 15 et 30 charbons. 50 fragments ont été observés pour ce lot.

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 lots de façon la plus exhaustive possible en répartissant l'effort de l'étude sur l'ensemble des 5 lots. Ainsi nous avons fait en sorte que le nombre de charbons étudiés tienne aussi compte du nombre de fragments présents dans chacun des lots (Fig. 1).

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

2.1. Équipement d'observation

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



Fig. 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.

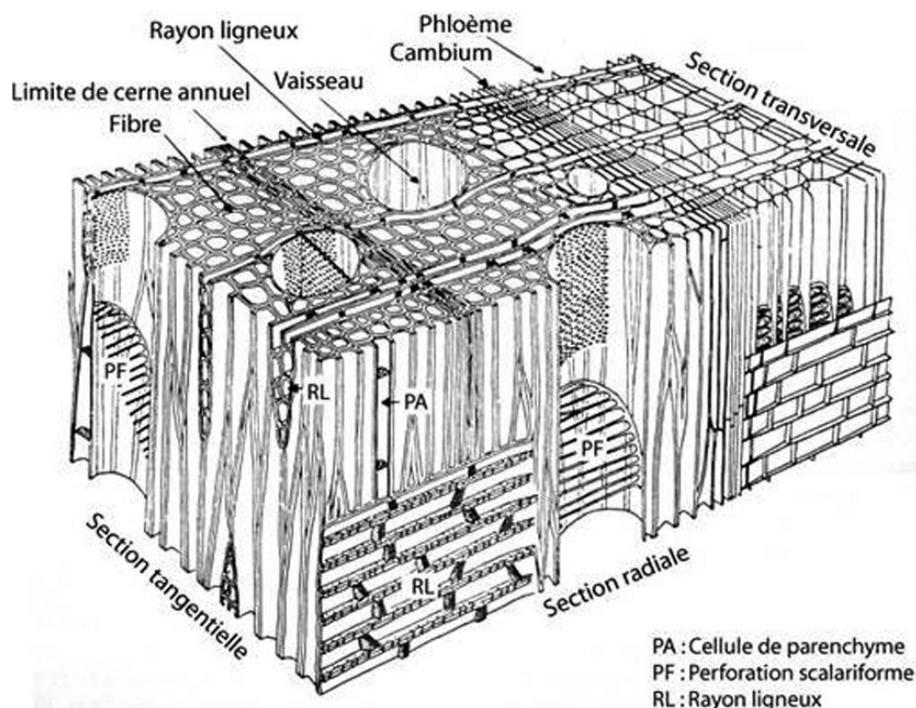


Fig. 5 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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 :

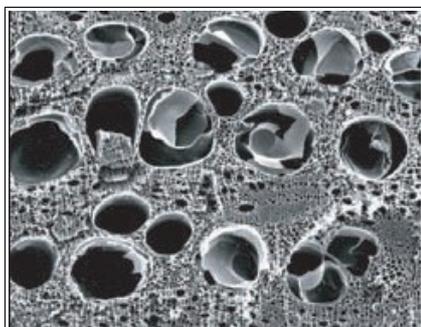
- **l'allure des limites de cernes** (de courbure très faible, intermédiaire ou nettement courbe, (cf. chapitre 2.3. sur les observations macroscopiques)), pour estimer la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses.

- 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

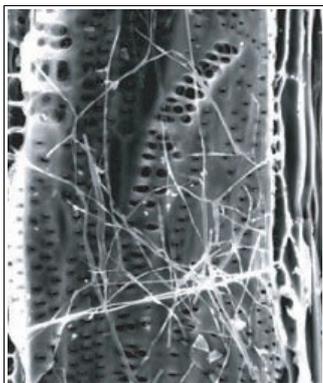
Les thylles ou extensions de cellules parenchymateuses vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans le duramen (ou bois de cœur des arbres). En effet, la partie centrale morte d'un tronc se transforme peu à peu. Certains auteurs parlent de "duraminisation". Cette transformation s'accompagne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

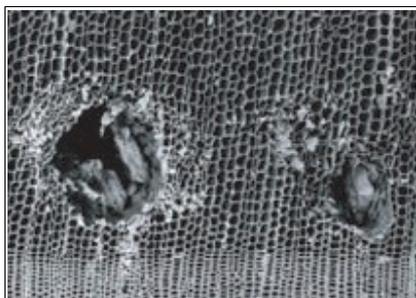
Fig. 7 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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.

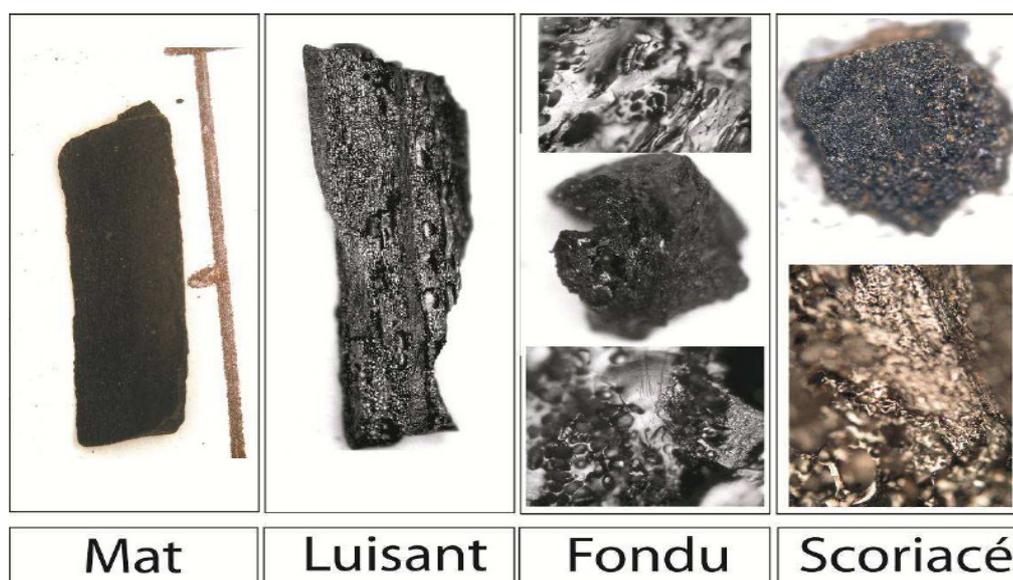
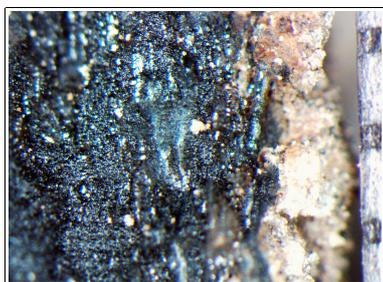


Fig. 10 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les lots anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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.

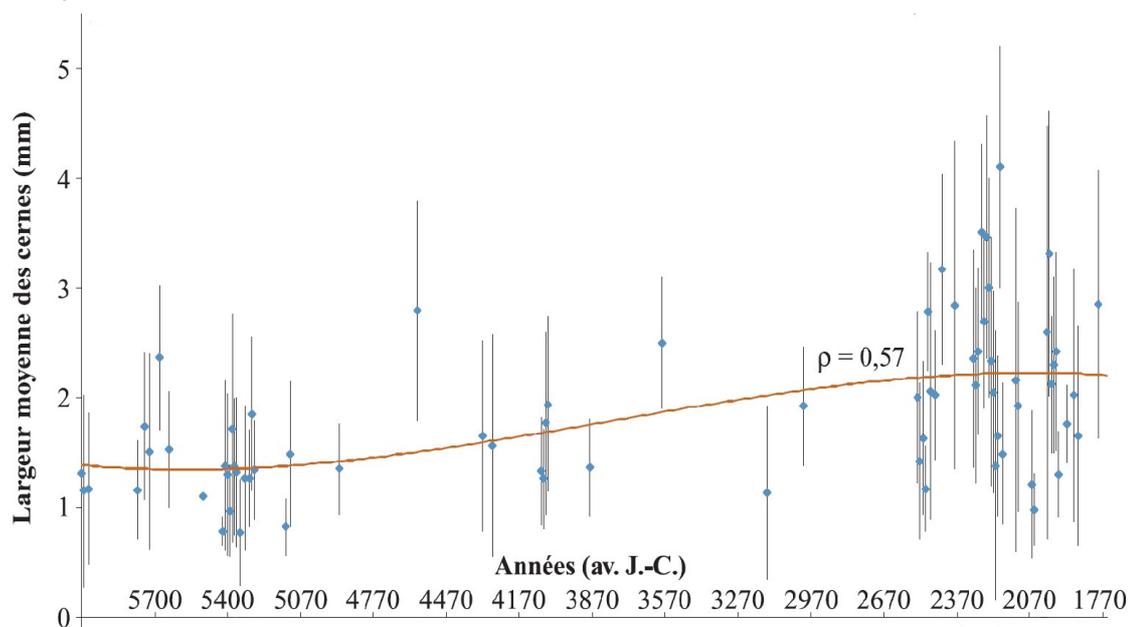


Fig. 12 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

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.

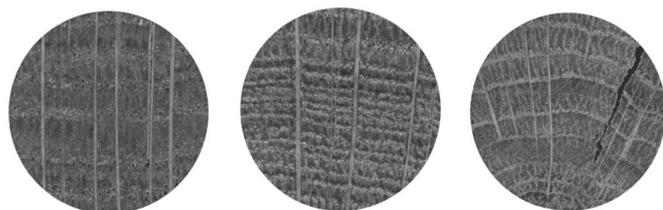


Fig. 13 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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

L'étude des 5 prélèvements a permis de déterminer **quinze** taxons anthracologiques.

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. C'est un bois dur et lourd. 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. 14 – Représentation de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

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.

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

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, alisier) et les **Prunoïdées** dont le genre *Prunus sp.* (ex. merisier, cerisier, prunellier) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre se rencontrant aussi bien dans les **lisières de bois**, dans des **bois clairs**, des **landes** ou en **forêts caducifoliées ouvertes**. Il n'est pas rare de les retrouver associés aux **Genistae (Fabacées)**.

Excepté le merisier (*Prunus avium*), ces taxons fournissent de bons combustibles.

Le cornouiller (*Cornus sp.*) est un genre qui correspond potentiellement à deux espèces d'arbres dans l'aire considérée : le cornouiller sanguin (*Cornus sanguinea*) et le cornouiller mâle (*Cornus mas*). Ce sont des arbustes héliophiles et poussant sur des sols riches en bases (pH basique à légèrement acide). On les trouve dans les bois de types chênaies, chênaies-hêtraies, forêts ripicoles, lisières forestières, haies, fourrés et friches. Il est utilisé en marqueterie, dans la confection d'outils... Le cornouiller mâle est réputé pour fournir un excellent bois de chauffage. Ses fruits sont comestibles à maturité. Les fruits du cornouiller sanguin donnent une huile utilisée autrefois pour l'éclairage et la fabrication du savon.

Les **Ericacées** correspondent à une famille comprenant de très nombreux genres (Ex. callunes, bruyères cendrées, bruyères ciliées...). Dans l'aire géographique considérée on les retrouve dans les formations ouvertes : landes, tourbières, lisières forestières (chênaies et hêtraies), pelouses, bois clairs.

Le fusain d'europe (*Euonymus europaeus*) est commune presque partout sauf en région méditerranéenne. C'est une espèce héliophile ou de demi-ombre vivant sur des sols à pH basique à neutre. On le trouve dans les formations de haies, lisières et dans les boisements ripicoles et de chênaies-hêtraies. Son bois donne un charbon ferme (fusain), très apprécié des dessinateurs.

Quelques fragments de **vigne** (*Vitis vinifera*) ont été identifiés. Ce sont des plantes grimpantes, ligneuses, des régions au climat tempéré ou de type méditerranéen. C'est une espèce rare que l'on trouve principalement dans les vallées des grands fleuves, ripisylves, bois humides. Selon Rameau (2008), on peut la trouver à l'état subspontané, notamment dans le sud de la France mais aussi dans le Centre, l'Alsace, dans les vallées de la Marne. Son implantation n'est donc pas complètement inattendue dans ce secteur géographique. *Vitis vinifera L.* est une espèce qui serait cultivée depuis le VI^e millénaire en Europe (dans le Caucase). Les Phocéens implantent la vigne au VIII^e avant J.-C. dans le sud de l'Italie, au VII^e à Marseille. Dans le nord de la France, la viticulture semble se développer à partir de l'Antiquité. Mais le taxon, sous une forme sauvage, est identifié bien avant par la palynologie et l'antracologie dans les zones alluviales du Bassin parisien. Selon V. Zech-Matterne (2011), « Dès le Haut-Empire, des indices polliniques ponctuels signalent l'existence d'une viticulture dans le Bassin parisien, notamment dans le bassin aval de la Marne, d'après les analyses de Chantal Leroyer (1997) ». L'analyse ci-présente ne permet pas de différencier la vigne sauvage de la vigne cultivée.

Le noyer (*Juglans sp.*) est un taxon de climat assez doux qui reste sensible aux gelées du nord de la France. C'est une espèce héliophile et mésophile à méso-hygrophile. Il serait originaire des Balkans et aurait été planté un peu partout en France depuis l'époque gallo-romaine. Il serait « subsponané » dans les zones alluviales (Rameau *et al.*, 1989). Néanmoins, on le trouve régulièrement dans les études polliniques parfois de façon très ancienne. C'est un bon combustible, donnant un charbon estimé. Il a parfois été cultivé pour ses noix à amandes comestibles.



Fig. 15 – Représentation de l'érable sycomore (*Juglans regia*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

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.



3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

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

3.1. Prélèvements provenant du comblement de la structure 491 de type silo (US 4913).

3.1.1. Résultats

Identifiants – prélèvements	Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Insecte	Moelle	Thylle	
			Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud				
Structure 491 – US 4913 – PRL 50	Acer sp.	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Alnus sp.	4	0	0	4	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0
	Cornus sp.	2	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	Corylus avellana	3	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
	Euonymus europaeus	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fagus sylvatica	9	0	3	5	0	0	0	4	0	0	0	0	1	0	0
	Fraxinus sp.	3	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0
	Pomoidée	3	0	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	Prunus sp.	15	0	1	14	0	0	0	8	5	0	1	1	1	2	0
	Quercus sp.	2	0	2	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Structure 491 – US 4913 – PRL 51	Acer sp.	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	Alnus/Corylus	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Alnus sp.	3	0	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Carpinus betulus	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Corylus avellana	4	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	Fagus sylvatica	8	0	1	6	0	0	0	4	0	0	0	0	1	1	0
	Pomoidée	17	0	0	14	0	0	0	9	0	0	0	2	0	0	0
	Prunus sp.	8	0	0	7	0	0	1	1	6	0	0	1	0	0	0
	Quercus sp.	2	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	Vitis sp.	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

Fig. 16 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements n°50 et n°51.

3.1.2. Interprétations

L'analyse des prélèvements du comblement de la structure 491 a révélé une forte diversité taxonomique. Pas moins de douze essences ligneuses ont été observées. Par ordre d'importance on constate des fragments de type prunellier (*Prunus sp.*), Pomoidées, hêtre (*Fagus sylvatica*), noisetier (*Corylus avellana*), aulne (*Alnus sp.*), érable (*Acer sp.*), chêne (*Quercus sp.*). Dans une moindre mesure, quelques charbons de charme (*Carpinus sp.*), cornouiller (*Cornus sp.*), fusain (*Euonymus sp.*), vigne (*Vitis sp.*), frêne (*Fraxinus sp.*) viennent compléter l'ensemble.

L'aire de ramassage semble s'être orientée vers des zones de bois clairs, de lisières ou de haies (cf. chapitre 4. à propos de la synthèse paysagère).

Une grande majorité des fragments provient de bois de petit calibre (75 % des charbons ont une forte courbure de cerne). De rares fragments de hêtre, *Prunus* et de chêne semblent correspondre à des bois de moyen calibre, mais il ne peut s'agir que de quelques éléments.

Des mesures d'angles effectuées sur les plus gros fragments ont permis d'estimer des diamètres minimum qui s'établissent pour les bois de *Prunus*, Pomoidées, érable, noisetier et frêne à des fourchettes comprise entre 5 et 10 mm et à environ

7 à 12 mm pour des fragments hêtre (mesures destinées à donner un ordre d'idée mais non exhaustives).

Le combustible utilisé a visiblement fait l'objet d'une sélection de petit bois. Ce type de combustible (de type « fagot ») génère des combustions vives mais brèves. La faible proportion des fragments provenant de bois de moyen calibre et l'absence à priori de bois de fort calibre découlent probablement d'un choix « technique ». L'hypothèse d'une utilisation dans un cadre domestique est peu probable, car l'emploi exclusif de bois de petit calibre nécessite un apport très régulier afin de maintenir la combustion dans la durée.

Un calcul de l'indice de concentration de Pareto a été effectué sur les compositions anthracologiques des deux prélèvements (Fig. 17).

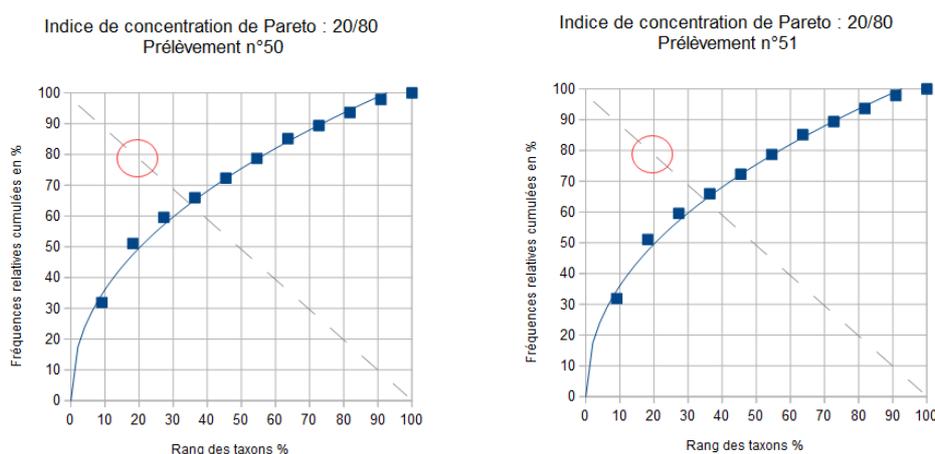


Fig. 17 – Courbes du calcul de l'indice de concentration de Pareto pour les prélèvements n°50 et 51.

Le calcul de l'indice de concentration de Pareto repose sur le principe que dans les communautés végétales actuelles, 20% des taxons correspondent à environ 80% de la biomasse (Chabal *et al.*, 1999). Dans ces deux lots, l'indice montre que 20% des taxons représentent environ 50 % des charbons. Les proportions des taxons anthracologiques constatées ne reflètent donc pas les mêmes rapports de compétition et d'équilibre que dans les communautés végétales naturelles. Les proportions entre essences dans les échantillons de charbons de bois sont donc probablement déformées à cause de ramassages sélectifs, ce qui est peut-être lié à une collecte orientée vers du bois de petit calibre.

Environ un tiers des charbons montre des aspects « durs-luisants » ou « fendus luisants », caractéristiques d'un premier niveau de vitrification. On peut évoquer des contextes chauds et anaérobies pour expliquer le phénomène (par exemple des pratiques de charbonnage ou du contexte de combustion à l'intérieur d'un four selon Blaizot *et al.*, 2004), même si le petit calibre des bois utilisés a pu aussi favoriser le phénomène de « vitrification » (Oilic, 2011).

Enfin, des traces de galeries de xylophages ont régulièrement été observées. La forme des galeries en plus de l'analyse des vermoulures et des « excréments » (tailles et formes, Fig. 17) permettent d'avancer avec l'aide des travaux de Magali Toriti (2018), l'hypothèse de la petite vrillette (*Anobium punctatum*). Notons que cet insecte se développe préférentiellement dans les bois secs et parfois œuvrés (bois de constructions, meubles...), même si on le rencontre aussi dans la nature à l'intérieur des bois morts.

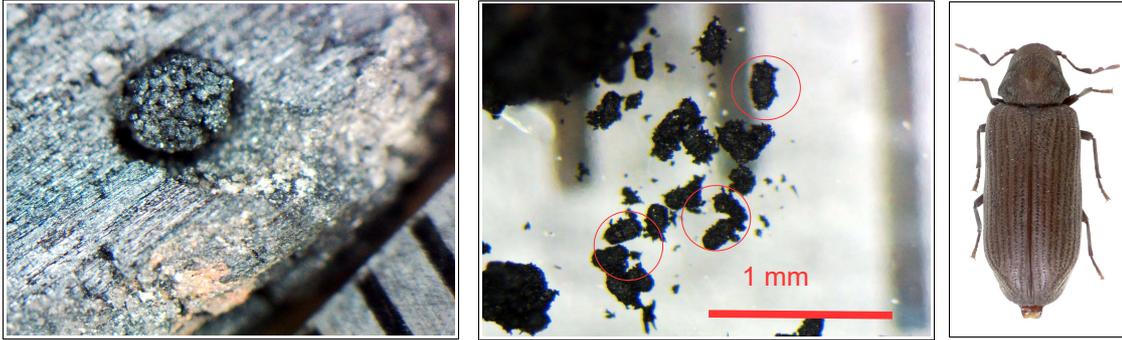


Fig. 18 – Figure de gauche : détail d'une galerie (vermoulures) à la surface d'un charbon du prélèvement 51 (structure 491), probablement de la petite vrillette (*Anobium punctatum*). Figure du milieu : Exemples d'unités « d'excréments » de xylophage identifiés à l'intérieur des vermoulures. Figure de droite : photographie de la petite vrillette (*Anobium punctatum*).

3.2. Prélèvement provenant du comblement de la structure 346 de type « Fosse de rejet » (US 3461).

3.2.1. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
<i>Alnus sp.</i>	10	0	0	9	0	0	0	2	0	0
Ericacée	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<i>Fagus sylvatica</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Frag. de brindille indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Prunus sp.</i>	9	0	0	9	0	0	0	8	0	0
<i>Quercus sp.</i>	7	0	5	0	3	0	1	1	0	1

Fig. 19 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement du comblement de la structure 346.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
<i>Quercus sp.</i>	Faible et intermédiaire	Régulier	3	9	1,75	0,47	1,46	2,3

Fig. 20 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement du comblement de la structure 346.

3.2.2. Interprétations

Cinq taxons ont été identifiés dans ce lot. Il s'agit principalement de charbons d'aulne (*Alnus sp.*), de prunoïdées (*Prunus sp.*) et de chêne (*Quercus sp.*). Dans une moindre mesure, quelques fragments de bruyère (Ericacées) et de hêtre (*Fagus sylvatica*) ont aussi été observés.

Excepté pour les charbons de chêne, les fragments proviennent surtout de bois de petit calibre (20 / 30 fragments montrent une forte courbure de cerne), voire de brindilles. Quelques sections entières ont pu être mesurées sur des charbons de prunoïdées : rayon d'environ 5 mm et d'aulne : rayons de 10 à 15 mm (mesures non exhaustives).

Dans le même temps, la plupart des fragments de chêne montre des courbures de cerne intermédiaires. On peut donc supposer qu'il y a eu une utilisation de bois de petit calibre de diverses essences (aulne, bruyère, prunellier) pour la phase d'allumage et du bois de chêne de calibre un peu plus important pour entretenir la combustion.

Les charbons ne montrent pas d'aspect particulièrement « dur-luisant », excepté pour les fragments de prunoïdées. Pour cette essence, le petit calibre du bois constaté (rayon d'environ 5mm) a pu favoriser le phénomène de vitrification.

Des mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur quelques fragments de chêne permettant de calculer une moyenne de l'ordre de 1,75 mm / an (calcul sur des fragments de courbures faibles à intermédiaires et rythmes de croissance réguliers) (Fig. 20). Cette valeur est caractéristique de contextes de croissance assez 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 semi-ouvert ou de type fourré dense). Compte tenu du faible nombre de mesures, il faut considérer ce résultat avec prudence.

3.3. Prélèvement provenant du comblement de la structure 351 (structure avec légère rubéfaction des parois).

3.3.1. Résultats

Nom Espèce	Courbure				Rythme			Combustion						
	Effectif	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.	Thylle
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Quercus/Castanea	10	0	2	1	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	50	2	25	18	23	9	1	20	9	0	1	0	1	8

Fig. 21 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement du comblement de la structure 351.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	2	9	0,97	0,06	0,93	1,02
Quercus sp.	Faible et intermédiaire	Régulier	23	75	1,8	1,05	0,67	4,84

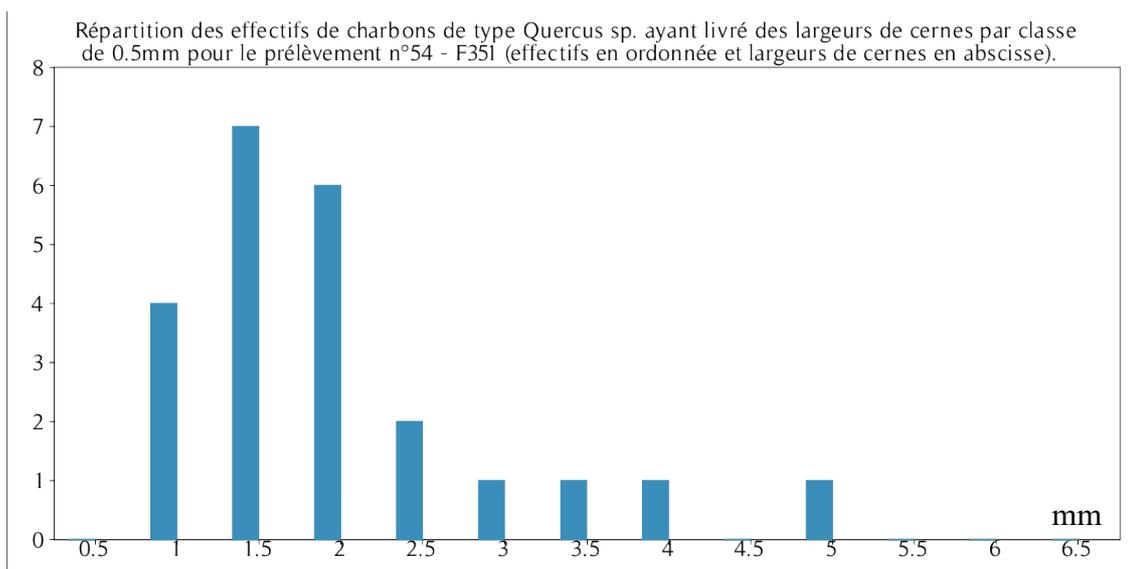


Fig. 22 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible à intermédiaire. Prélèvement du comblement de la structure 351.

3.3.2. Interprétations

L'analyse de ce lot permet d'identifier deux taxons, le chêne (*Quercus sp.*) et le chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castana sp.*).

Il s'agit principalement de bois de petit à moyen calibre (les courbures de cerne sont intermédiaires et fortes sur certains fragments). On peut donc supposer l'utilisation de bois de chêne de moyen calibre probablement de branches ou de troncs de jeunes arbres.

Un peu plus de la moitié des charbons (35 / 61) présentent des aspects « durs-luisants », ou « fendus-luisants ». Ces traits pourraient être la conséquence de combustions en milieu réducteur et chaud, en cohérence avec l'hypothèse d'une combustion en milieu confiné (fond de foyer, four?) ou d'une préparation du combustible par charbonnage. Néanmoins, le niveau de vitrification ne semble pas très élevé. Au regard des constats archéologiques indiquant « une légère rubéfaction sur les parois » de la fosse, on peut émettre l'hypothèse d'une combustion sur place et qui s'est pour partie déroulée à l'abri de l'oxygène, provoquant ce début de vitrification.

Assez peu de fentes de retrait ont été observées ce qui indique l'utilisation de bois sec.

Compte tenu du caractère monospécifique de l'ensemble, l'hypothèse d'un bois d'œuvre n'est pas à exclure.

Les mesures de largeurs de cerne ont permis de calculer des moyennes comprises entre 1 et 1,8 mm (Fig. 21) ce qui est caractéristique de conditions de croissance plutôt difficiles (ex. boisements denses ou sols pauvres). L'histogramme des valeurs de largeurs de cernes (Fig. 22) montre une distribution avec un mode situé autour de 1,5 mm. Cette distribution de type unimodale indique que l'ensemble anthracologique est probablement issu d'une seule et même collecte.

3.4. Prélèvement provenant du comblement de la structure 333 de type « puits » (US 3333).

3.4.1. Résultats

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle	Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Juglans sp	7	0	4	2	0	0	0	0	0	0	2
Quercus sp.	3	1	2	0	2	1	2	0	0	1	0

Fig. 23 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement du comblement de la structure 333.

3.4.2. Interprétations

Deux taxons ont été identifiés dans ce lot. Il s'agit de charbons de chêne (*Quercus sp.*) et de noyer (*Juglans sp.*).

Les fragments correspondent à des bois de moyen calibre pour le noyer, voire de moyen à gros calibre pour le chêne.

Quelques traces de galeries d'insectes ont été observées sur les fragments de noyer, ce qui laisse penser à une collecte de bois morts ou à des restes de bois d'œuvre.

Les fragments de chêne en revanche montrent des fentes de retrait synonymes de bois brûlés à l'état vert.

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 » (?).

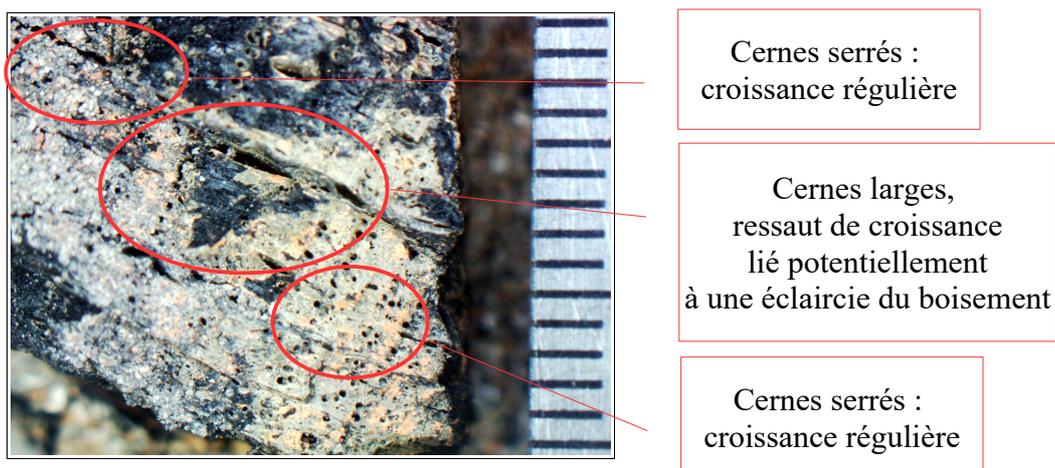


Fig. 24 - Fragment de chêne montrant des irrégularités de croissance (prélèvement de la structure 333, US 3333, grossissement x5).

Au regard du faible nombre de charbons analysés dans ce lot (une dizaine de charbons seulement), il est délicat de tirer des interprétations solides de ces résultats.

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Environ 200 fragments ont été observés pour l'ensemble des cinq prélèvements.

Tableaux récapitulatifs :

Inventaire des lots et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
<p>Structure 491 – US 4913.</p> <p>Structure de type silo.</p> <p>Lot n°50 et n°51</p> <p>2 lot étudiés.</p>	<p>Prunoïdées (<i>Prunus sp.</i>), Pomoïdées, hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), aulne (<i>Alnus sp.</i>), érable (<i>Acer sp.</i>), chêne (<i>Quercus sp.</i>), charme (<i>Carpinus sp.</i>), cornouiller (<i>Cornus sp.</i>), fusain (<i>Euonymus europaeus</i>), vigne (<i>Vitis vinifera</i>), frêne (<i>Fraxinus sp.</i>)</p>	<p>Rejets charbonneux probablement d'origine « artisanale » (sélection d'un combustible de petit calibre)</p> <p>Une grande majorité des fragments provient de bois de petit calibre. De rares fragments de hêtre, <i>Prunus</i> et de chêne semblent correspondre à des bois de moyen calibre.</p> <p>Des mesures d'angles effectuées sur les plus gros fragments ont permis d'estimer des diamètres minimum qui s'établissent pour les bois de <i>Prunus</i>, Pomoïdées, érable, noisetier et frêne à des fourchettes comprise entre 5 et 10 mm et à environ 7 à 12 mm pour des fragments hêtre (mesures destinées à donner un ordre d'idée mais non exhaustives).</p> <p>Le combustible utilisé a visiblement fait l'objet d'une sélection de petit bois. Ce type de combustible (de type « fagot ») génère des combustions vives mais brèves. La faible proportion des fragments provenant de bois de moyen calibre découle probablement d'un choix « technique ». L'hypothèse d'une utilisation dans un cadre domestique est peu probable, car l'emploi de ce type de combustible nécessite un apport très régulier afin de maintenir la combustion dans la durée.</p> <p>Le calcul de l'indice de concentration de Pareto effectué sur les deux lots anthracologiques montre que 20% des taxons ne représentent qu'environ 50% des charbons. Le rapport d'équilibre connu entre biomasse et répartition des essences dans un écosystème végétal n'étant pas respecté, il est fort probable que le combustible employé ait fait l'objet d'une sélection, peut-être en liaison avec à un tri orienté vers des bois de petit calibre.</p> <p>Environ un tiers des charbons montre des aspects « dur-luisants » ou « fendus luisants », caractéristiques d'un premier niveau de vitrification. On peut évoquer des contextes chauds et anaérobies pour expliquer le phénomène (par exemple des pratiques de charbonnage ou un contexte de combustion à l'intérieur d'un four), même si le petit calibre des bois utilisés a pu aussi favoriser le phénomène de « vitrification » (Ollivier, 2011).</p> <p>Des traces de galeries de xylophages (probablement la petite vrillette) indique une collecte de bois morts ou de restes de bois d'œuvre.</p>	<p>Boisement de type chênaie – hêtraie : <i>Quercus sp.</i>, <i>Fagus sylvatica</i>, <i>Acer sp.</i></p> <p>Boisement humide : <i>Alnus sp.</i>, <i>Fraxinus sp.</i>, <i>Vitis vinifera</i>.</p> <p>Boisements clairs, lisières, haies, espaces en déprise agricole : <i>Pomoïdeae</i>, <i>Prunus sp.</i>, <i>Corylus avellana</i>, <i>Carpinus sp.</i>, <i>Euonymus europaeus</i>, <i>Cornus sp.</i>, <i>Acer sp.</i>, <i>Fraxinus sp.</i></p> <p>Plantations (?) : <i>Vitis vinifera</i></p>

<p>Structure 346 (US 3461).</p> <p>Structure de type « fosse de rejet »</p> <p>1 lot étudié.</p>	<p>aulne (<i>Alnus sp.</i>), prunellier (<i>Prunus sp.</i>), chêne (<i>Quercus sp.</i>), bruyère (<i>Ericacées</i>), hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>)</p>	<p>Rejets de combustion d'origine indéterminée</p> <p>Les fragments proviennent surtout de bois de petit calibre (20 / 30 fragments montrent une forte courbure de cerne), voire de brindilles. La plupart des fragments de chêne montre des courbures de cerne intermédiaires. On peut donc supposer qu'il y a eu une utilisation de bois de petit calibre de diverses essences (aulne, bruyère, prunoidées) pour la phase d'allumage et du bois de chêne de calibre un peu plus important pour l'entretien des combustions.</p> <p>Des mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur des fragments de chêne permettant de calculer une moyenne de l'ordre de 1,75 mm / an. Cette valeur caractérise des contextes de croissance assez 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 semi-ouvert ou de type fourré dense). Compte tenu du faible nombre de mesures, il faut considérer ce résultat avec prudence.</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>Boisements clairs, lisières, haies, landes-fourrés : <i>Prunus sp.</i>, <i>Ericaceae</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure : Moy. = 1,75 mm (N=3 ; Ec-type = 0,47 mm)</p> <p>Contexte de croissance difficile.</p>
<p>Structure 351.</p> <p>Structure avec légère rubéfaction des parois</p> <p>1 lot étudié.</p>	<p>chêne (<i>Quercus sp.</i>) et chêne-châtaignier (<i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea</i>)</p>	<p>Rejets de combustion d'origine indéterminée.</p> <p>L'analyse a révélé l'utilisation de bois de petit à moyen calibre. On peut donc supposer l'utilisation de bois de chêne de moyen calibre probablement de branches ou de troncs de jeunes chênes.</p> <p>Environ 50% des charbons présentent des aspects « dur-luisants », ou « fendus-luisants ». Ces traits sont caractéristiques de combustions en milieu réducteur et chaud, en cohérence avec l'hypothèse d'une combustion en milieu confiné ou une préparation du combustible par charbonnage. Au regard des constats archéologiques indiquant « une légère rubéfaction sur les parois » de la fosse, on peut émettre l'hypothèse d'une combustion sur place et qui se serait déroulée à l'abri de l'oxygène (type de four ou fond de foyer?), provoquant un début de vitrification.</p> <p>Peu de fentes de retrait ont été observées ce qui indique l'utilisation de bois sec.</p> <p>Compte tenu du caractère monospécifique de l'ensemble, l'hypothèse d'un bois d'œuvre n'est pas à exclure.</p> <p>Les mesures de largeurs de cerne ont permis de calculer des moyennes comprises entre 1 et 1,8 mm ce qui est caractéristique de conditions de croissance difficiles (ex. boisements denses ou sols pauvres). L'histogramme des valeurs de largeurs de cernes montre une distribution avec un mode situé autour de 1,5 mm. Cette distribution de type unimodale indique que l'ensemble anthracologique est probablement issu d'une même collecte.</p>	<p>Boisement de type chênaie <i>Quercus sp.</i>, <i>Quercus sp.</i> - <i>Castanea sp.</i></p> <p>Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure : Moy. = 1,8 mm (N=23 ; Ec-type = 1,05 mm)</p> <p>Contexte de croissance assez contraignant (sols pauvres ou boisements denses).</p>
<p>Structure 333.</p> <p>US 3333.</p> <p>Structure de type « puits »</p> <p>1 lot étudié.</p>	<p>Noyer (<i>Juglans regia</i>), chêne (<i>Quercus sp.</i>)</p>	<p>Rejets de combustion d'origine indéterminée.</p> <p>Les fragments correspondent à des bois de moyen calibre pour le noyer, voire de moyen à gros calibre pour le chêne.</p> <p>Quelques traces de galeries d'insectes ont été observées sur les fragments de noyer, ce qui laisse penser à une collecte de bois morts ou à des restes de bois d'œuvre.</p> <p>Les fragments de chêne en revanche montrent des fentes de retrait synonymes de bois brûlés à l'état vert.</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 <i>Quercus sp.</i></p> <p>Boisement humide (?) : <i>Juglans regia</i></p> <p>Plantations (?) : <i>Juglans regia</i></p>

Fig. 25 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour les quatre structures.

- **Informations d'ordre environnemental**

Quinze taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude.

Le taxon dominant correspond au chêne, détecté dans les quatre structures suivi de l'aulne, du hêtre et des prunoïdées identifiés dans deux structures.

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.

L'identification des taxons ligneux permet de proposer différentes associations écologiques d'appartenance (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.*) et l'érable (*Acer sp.*). 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 de la France (Gaudin, 2004).
- **les lisières forestières, haies, associations héliophiles de sous-bois** : avec la détection du genre *Prunus sp.*, des Pomoïdées (*Pomoïdeae*), du fusain (*Euonymus europaeus*), du cornouiller (*Cornus sp.*), du noisetier (*Corylus avellana*), du charme (*Carpinus sp.*), de l'érable (*Acer sp.*), du frêne (*Fraxinus excelsior*) et des Ericacées. Ces essences attestent l'existence d'espaces ouverts ou clairsemés dans l'aire de ramassage.

Ce groupement végétal est particulièrement bien représenté à l'intérieur des prélèvements de la structure 491 (structure de type silo).

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

- **les boisements hygrophiles** sont perçus avec l'aulne (*Alnus sp.*), le frêne (*Fraxinus excelsior*) et potentiellement le noyer (*Juglans regia*) et la vigne (*Vitis vinifera*) sous une forme sauvage. Ces boisements pourraient provenir d'une zone humide, de bord de cours d'eau ou depuis une zone alluviale.
- **les plantations** : même s'il n'est pas possible de différencier l'origine « sauvage » ou « cultivée » des fragments de vigne et de noyer, des plantations ne sont pas à exclure. Le noyer aurait été introduit dans le nord de la France dès l'époque gallo-romaine. La vigne est quant à elle détectée par la palynologie sous une forme sauvage, bien avant sa mise en culture durant l'Antiquité (Zech-Matterne, 2011 ; Leroyer, 1997) (cf. chapitre 2.4.).

Des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les fragments de chêne de gros et moyen calibre des prélèvements des structures n°346 et n°351 ont permis de calculer des moyennes de l'ordre de 1,7 mm à 1,8 mm / an. Ces valeurs correspondent à des croissances assez difficiles, en liaison avec des contextes abiotiques (ex. sols pauvres, mauvaises expositions,...) 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 de la structure n°3333 ont permis d'identifier des irrégularités de croissance (Fig. 24). 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. 26). 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. 27). 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, Pomoïdées (ex. Alisier), charme, Prunoïdées (ex. merisier). Car ce sont là des essences qui « rejettent » bien de souche et qui seraient adaptées à ce type de gestion sylvicole.

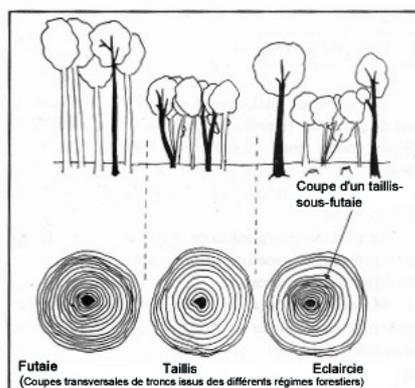


Fig. 26 – Schéma des trois régimes forestiers : futaie, taillis, taillis sous futaie.

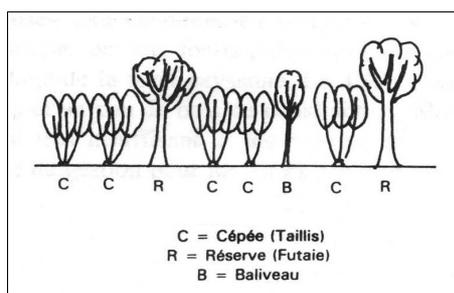


Fig. 27 - Illustration du mode de gestion sylvicole de type « taillis sous futaie ».

- **Informations d'ordre technique :**

Deux ensembles anthracologiques sont marqués par des aspects « luisants ». **Il s'agit du lot provenant du comblement de la structure 351 (structure avec légère rubéfaction des parois) et surtout du prélèvement du comblement de structure 491 (de type silo).** 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 potentiellement aussi par des conditions de combustion réductrices (ou anaérobies) et de fortes températures (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, de fond de foyer, voire de préparation du combustible par charbonnage sont plausibles. De façon générale, ce sont des traits qui caractérisent plutôt des combustions « d'origines artisanales ».

Les compositions anthracologiques de **la structure 346 (de type « fosse de rejet ») et de la structure 333 (de type « puits »)** montrent moins d'aspects luisants. Nous avons probablement affaire à des restes de combustion de contextes plus ouverts de type « foyer ». On observe l'utilisation du chêne comme bois d'entretien (bois de moyen calibre). Pour le lot de la structure 346, l'aulne et le bois de Pomoidées, *Prunus sp.*, hêtre, employés sous forme de modules de petits calibres ont probablement été réservés pour l'allumage.

La question du petit calibre du bois utilisé dans les lots provenant des structures n° 491 et n° 346 :

Pour les prélèvements des structures n° 491 (de type silo) et n° 346 (type fosse de rejet), les charbons proviennent essentiellement de bois de petit calibre, de type « fagot » (?). 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 pas été le cas.

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.

Les restes charbonneux correspondent vraisemblablement à des systèmes techniques nécessitant de fortes températures : ex. activités liées à la poterie, à la métallurgie (?), exception faite de l'utilisation de bas-fourneaux car les niveaux de vitrification observés ne sont pas très élevés, 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'antracologie, 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'antracologie*. 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.

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.

LEROYER Ch., 1997 - *Homme, climat, végétation au Tardi- et Postglaciaire dans le Bassin parisien : apports de l'étude palynologique des fonds de vallée*, thèse, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, vol. 1, 574 p.

MARGUERIE D., BERNARD V., BEGIN Y., TERRAL J.-F., 2010 - Dendroanthracologie p. 311-347 in PAYETTE S., FILION L., *La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications*. Presses de l'Université Laval, Québec

MARGUERIE D., HUNOT J.-Y. 2007 - *Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France*. Journal of Archaeological Science. p. 1417-1433

MARGUERIE D., 1992a - *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie Rennes, 40, 262 p.

MARGUERIE D., 1992b - Charbons de bois et paléoenvironnement atlantique. *Dossier A.G.O.R.A. Les bois archéologiques*, n°2, p. 15-20.

MCPARLAND L.C., COLLINSON M.E., SCOTT A.C., CAMPBELL G., VEAL R., 2010 - Is vitrification in charcoal a result of high temperature burning of wood? *Journal of Archaeological Science*, doi: 10.1016/j.jas.

NICOLAS E., BLANCHET A., BRISOTO V., CHEREL A.-F., DAOULAS G., GUITTON V., HENAFF A., HINGUANT S., JOUANET N., LABAUNE-JEAN F., LE FORESTIER S., SEIGNAC K., 2013 - *Châteaulin (29). Penn ar Roz : un site d'activité métallurgique protohistorique et antique*. Rapport de fouille, Cesson Sévigné, Inrap, Grand ouest, 2013, 364 p.

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

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

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

RAMEAU J.C., MANSION D., DUME G. et GAUBERVILLE C., 2008 - *Flore forestière française, guide écologique illustré*. T.3, Région méditerranéenne, Institut pour le développement forestier, Paris, 2426 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.

TORITI M., 2018 - *Les bois ouvragés en Gaule romaine : approches croisées archéologiques, anthraco-xylogiques et entomologiques*. Archéologie et Préhistoire. Thèse de doctorat, Université du Maine, 525 p.

ZECH-MATTERNE V., BOUBY L., COUBRAY S., BOULEN M., LEMAÎTRE S., 2011 - *Viticulture et viniculture dans le nord du Bassin parisien d'après les données archéobotaniques*. Gallia. 68. 257-262.

6. ANNEXE – Photographies



Fig. 28 – Fragment de noyer commun (*Juglans regia*). Prélèvement de la structure n°333 (US 3333). Coupe transversale. Grossissement x17. L'échelle représente des millimètres.

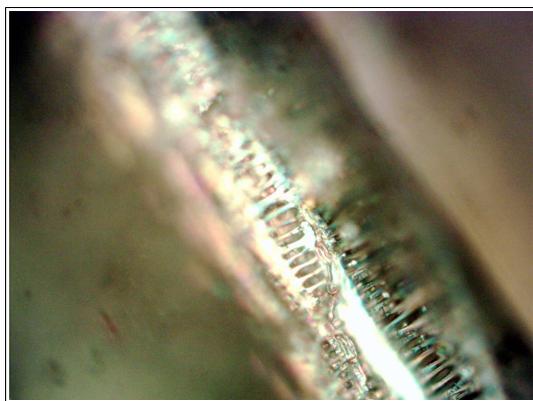


Fig. 29 – Fragment de vigne (*Vitis vinifera*). Prélèvement de la structure 491 – prélèvement n° 51. Coupe tangentielle. Détail de l'ornementation des cellules de vaisseau. Grossissement x400.

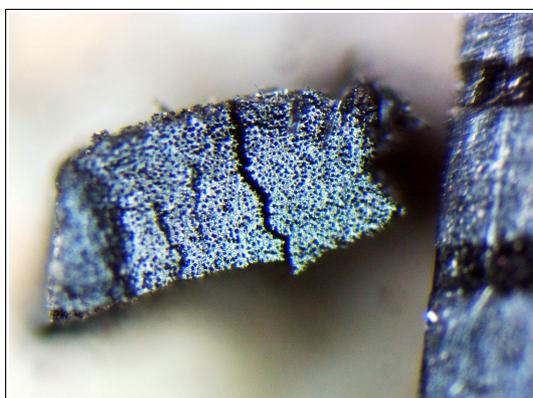


Fig. 30 – Fragment de fusain (*Euonymus europaeus*). Coupe transversale. Prélèvement de la structure 491 – prélèvement n° 50. Grossissement x43. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 31 – Fragment du genre *Prunus* sp. Coupe transversale. Prélèvement de la structure 491 – prélèvement n° 51. Grossissement x8. Probables traces d'insectes xylophages. L'échelle représente des millimètres.

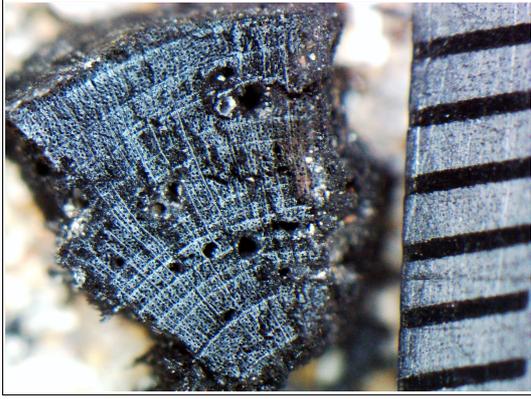


Fig. 32 - Fragment d'érable (*Acer sp.*). Coupe transversale. Prélèvement de la structure 491 – prélèvement n° 50. Grossissement x13. Probables traces d'insectes xylophages. L'échelle représente des millimètres.



Fig. 33 - Fragment du genre *Prunus sp.* Coupe transversale. Prélèvement de la structure 346. Grossissement x8. L'échelle représente des millimètres.