



ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSE DES FRAGMENTS CHARBONNEUX PRÉLEVÉS
LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE « RUE DU
REPOSE » SUR LA COMMUNE DE MONTBRISON (42).**

CAMPAGNE DE FOUILLE DE 2020.

OPÉRATION : 42 147 22 13562



ARCHEODUNUM

Rapport d'étude anthracologique

Octobre 2021

ARCHEODUNUM

Opération archéologique « rue du Repose » sur la commune de Montbrison (42).

Campagne de fouille 2020.

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 2021

Illustration de la page de couverture :

Charbon de hêtre (Fagus sylvatica) de forte courbure de cerne. Prélèvement 49.2.

Coupe transversale vue sous loupe binoculaire (laboratoire ArkéoMap). Grossissement x 5.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
1. 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)Estimation du diamètre minimum des arbres : technique de la « calibration ».....	16
2.5)Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	18
3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION.....	22
3.1) Prélèvements provenant de comblements de structures associés à des rejets de forge (seconde moitié du 1er siècle).....	22
3.1.1. Résultats.....	22
- Prélèvement n°49.2 (US 667), structure F.252.....	22
- Prélèvement n°50.2 (US 669), structure F.253.....	23
- Prélèvement n°51.2 (US 670), structure F.272.....	23
- Prélèvements n°53.2 et INV.523 (US 712), structure F.288.....	24
- Prélèvement n°62.2 (US 731), structure F.289.....	24
- Prélèvement n°67.2 (US 767), structure F.309.....	25
- Prélèvements n°70.2 et INV.576 (US 787), structure F.311.....	25
3.1.2. Interprétation.....	26
3.2) Prélèvements provenant du comblement d'une structure du début du IIe siècle..	29
3.2.1. Résultats.....	29
- Prélèvement n°37.2 (US 660), structure F.250.....	29
3.2.2. Interprétation.....	30
4. SYNTHESE.....	33
5. BIBLIOGRAPHIE.....	37
6. ANNEXE.....	39

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyses de restes charbonneux prélevés lors d'une fouille menée à Montbrison (42) dans l'un des quartiers antiques de la ville.

Plusieurs fosses situées au nord-ouest du site et datées de la seconde moitié du I^{er} siècle ont livré des rejets de forge. Ces fosses sont en bordure de fouille. La zone d'artisanat semble malheureusement située à l'extérieur de l'emprise.

Une seconde phase d'occupation (début du II^e s.) est marquée par divers aménagements successifs dont l'une des phases voit l'implantation d'une sépulture d'immaturation, de vases sans doute liés à celle-ci ainsi que d'une fosse de rejet sans doute alimentaire (F.250).

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

- Tenter de percevoir l'origine des rejets de charbons. A quel type de combustion a-t-on affaire et potentiellement confirmer l'utilisation d'un combustible associé à une activité de forge pour les comblements de fosses de la première phase d'occupation. Perçoit-on une différence avec les rejets charbonneux retrouvés dans le comblement de la structure F.250,
- tenter de caractériser la qualité du combustible utilisé sur le site. En déduire si les assemblages ont fait l'objet de sélections (ex. essences ou calibres particuliers), 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 Archéodunum (Agence Lyon). La fouille ci-présentée a été dirigée par Mme Nouet. L'étude a été commandée par la société avec l'accord de son directeur de projet, M. Bonaventure et directeur administratif, M. Parize.

1. ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les restes anthracologiques proviennent de 10 prélèvements réalisés dans les comblements de 8 structures. Environ 410 charbons ont été étudiés. Les lots ainsi qu'une brève description sont listés dans le tableau suivant (Fig. 1).

INVENTAIRE ANTHRACOLOGIQUE					
Commune :			Montbrison, 42600		
Nom de l'opération / Lieu-Dit :			Montbrison - rue du repose		
Année :			2020		
N° opération :			42 147 22 13562		
Resp. d'Op.			Camille Nouet		
Type d'opération :			fouille préventive		
Période d'analyse pressentie			Octobre-novembre 2021		
n° plv	US	Structure / zone	Description / type attendu	Période / date	Effectifs étudiés
49.2	667	F.252	charbons	seconde moitié du Ier s. de notre ère	66
50.2	669	F.253	charbons		50
51.2	670	F.272	charbons		50
53.2	712	F.288	charbons		50
INV.523			scories		5
62.2	731	F.289	charbons		50
67.2	767	F.309	charbons		41
70.2	787	F.311	charbons		25
INV.576			scories		5
37.2	660	F.250	charbons	début du IIe s.	71
					413

Fig. 1 – Inventaire des prélèvements par sondage, comptages anthracologiques.

Le tamisage et la flottation des sédiments ont été réalisés par les services de la société Archeodunum avec des mailles allant de 2 à 4 mm.

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

La courbe réalisée pour le prélèvement n°51.2 montre un seuil situé entre 20 et 30 fragments (Fig. 2). Pour le prélèvement n°37.2, lot le plus diversifié avec 7 taxons, la courbe « d'effort-rendement » montre un seuil compris entre 30 et 40 charbons (Fig. 3). Seulement trois à sept taxons ont été identifiés pour l'ensemble des prélèvements. Même si cette technique est « moyennement » pertinente pour les ensembles de faibles diversités, ces seuils ont systématiquement été atteints lorsque le nombre de charbons présents à l'intérieur des lots était suffisant.

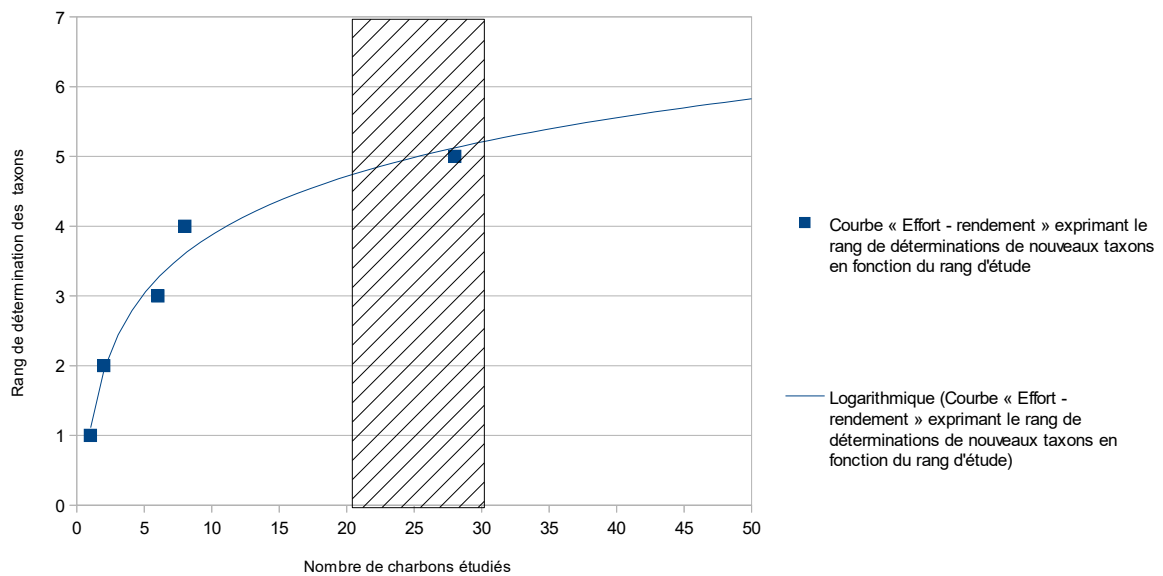


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°51.2 (structure F.272). Dans cet exemple, le septième taxon (*Ulmus sp.*) a été observé au rang 28 et le seuil « d'effort - rendement » se situe entre 20 et 30 charbons.

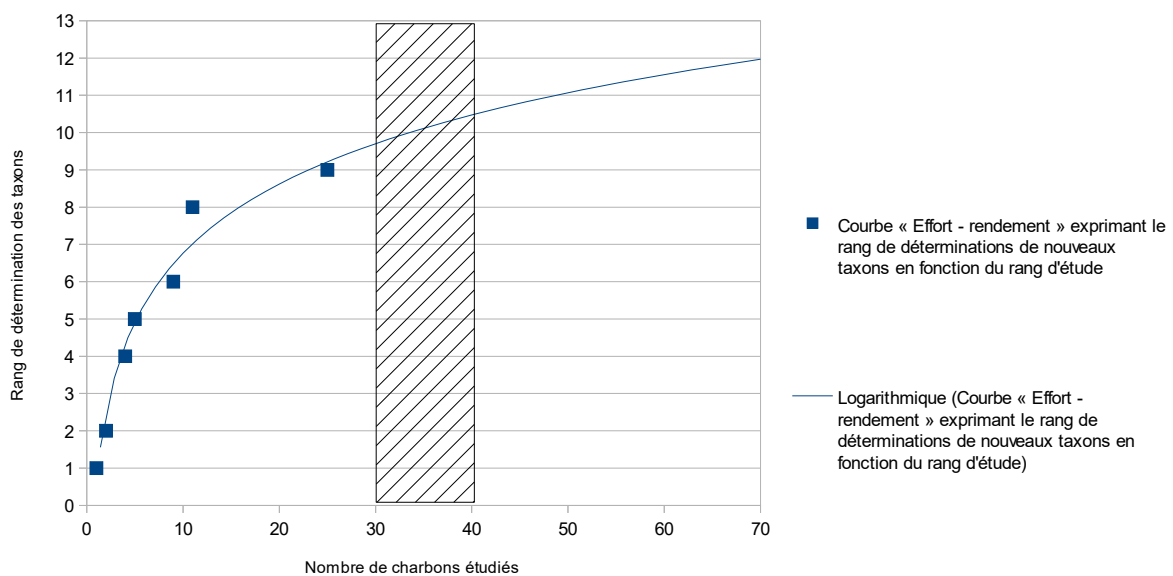


Fig. 3 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement n°37.2 (structure F.250). Dans cet exemple, le septième taxon (*Clematis sp.*) a été observé au rang 25 et le seuil « d'effort - rendement » se situe entre 30 et 40 charbons.

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 de calibres, types de combustions, 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 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.



Figure 4 - Détails du microscope équipé d'un dispositif en lumière incidente (Olympus BX60 à grossissements x50 à x1000). Laboratoire ArkéoMap.

2.2) Méthodologie

Chaque ligneux produit un bois particulier, spécifique et héréditaire, présentant une organisation particulière de ses tissus. La structure du bois s'étudie dans les trois plans anatomiques :

- plan transversal,
- plan longitudinal radial,
- plan longitudinal tangentiel.

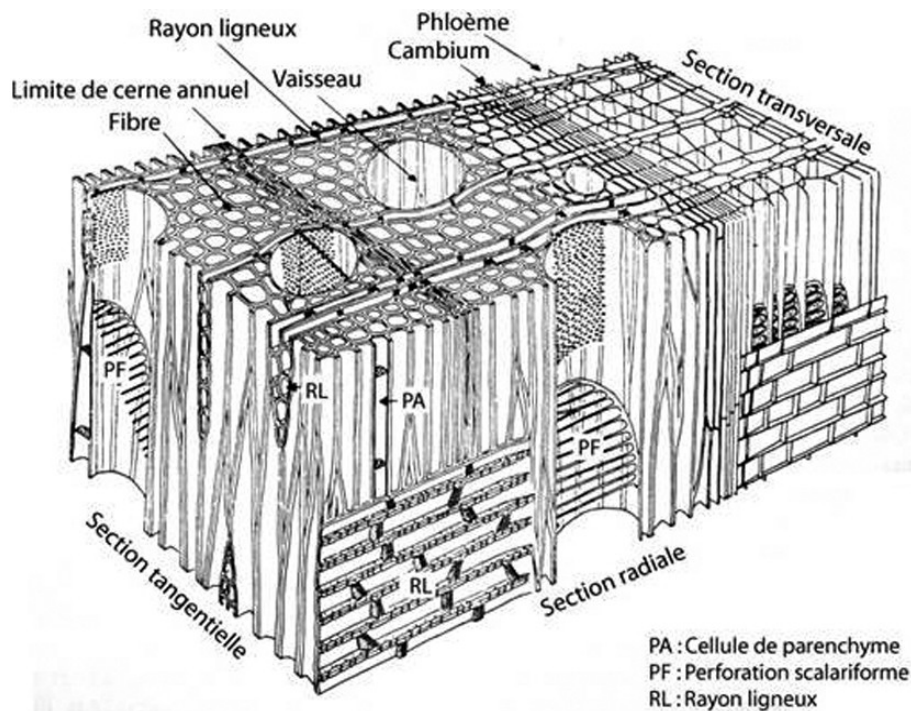


Fig. 5 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

Sur les charbons de bois, des cassures fraîches sont faites à la main et au scalpel. Celles-ci sont directement observées sous microscope optique à réflexion, voire au microscope électronique. Cette technique d'observation présente l'avantage de ne pas "polluer" l'échantillon par une imprégnation en résine de synthèse et le laisse donc tout à fait susceptible d'être daté par radiocarbone après étude anthracologique.

Une partie des mesures dendrologiques nécessite des charbons de bois d'environ 5 à 2 mm minimum. En revanche, il est possible de travailler sur des très petits charbons (2 à 1 mm) pour les déterminations taxonomiques.

La famille des ligneux carbonisés (combustion partielle) se détermine à coup sûr et souvent le genre. Toutefois, il est délicat, voire impossible, de distinguer certaines espèces. Les variations biotopiques au sein d'une même espèce sont souvent plus importantes que les différences interspécifiques au sein du genre, d'où par exemple le taxon anthracologique « *Quercus sp.* » pour désigner les chênes à feuillage caduc.

Notons aussi le taxon anthracologique « *Quercus / Castanea* » désignant aussi bien le chêne que le châtaignier. En effet, les deux taxons se différencient par la présence d'un critère anatomique (les rayons multisériés présents chez le chêne) qui n'est pas toujours visible sur les petits fragments.

Les données phyto-écologiques que nous dégagerons de notre étude reposeront sur les informations écologiques intrinsèques à chaque taxon attesté et sur les groupements végétaux mis en évidence. Il sera aussi fait parfois référence aux données quantitatives (effectifs) afin de souligner dans nos commentaires la dominance affirmée de certains taxons.

Nous complétons la détermination des essences ligneuses par un examen du plan ligneux transversal effectué à plus faible grossissement (loupe binoculaire) (Marguerie, 1992a et b). Ainsi, il est possible de collecter des informations sur :

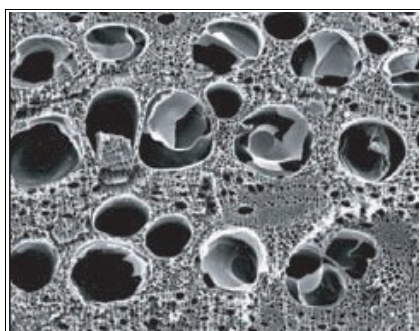
- **l'allure des limites de cernes** (de courbure très faible, intermédiaire ou nettement courbe, (cf. chapitre 2.3) sur les observations macroscopiques)), pour estimer la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses.

- **le rythme de croissance**

Cela correspond au rythme des croissances radiales (ou largeurs de cerne) année après année. Ce rythme peut être perturbé suite à des coupes réalisées sur l'arbre (ex. coupe de baliveaux lors de traitements en taillis), ou suite à des aléas climatiques (ex. années de sécheresse). Les calculs de largeurs moyennes de cernes nécessitent un rythme régulier.

- **la présence de thylles**

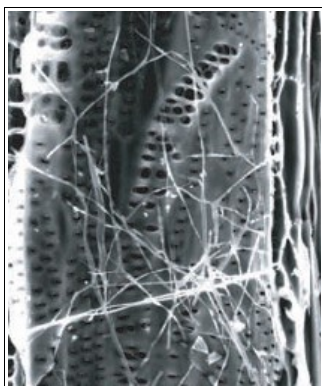
Les thylles ou extensions de cellules parenchymateuses vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans le duramen (ou bois de cœur des arbres). En effet, la partie centrale morte d'un tronc se transforme peu à peu. Certains auteurs parlent de "duraminisation". Cette transformation s'accompagne entre autres de sécrétions ou dépôts de gommes et d'excroissances cellulaires appelées thylles obstruant peu à peu les vaisseaux du duramen ne fonctionnant plus. Les thylles se conservent après carbonisation. Leur observation chez les charbons de bois indique que ceux-ci proviennent du duramen et non de l'aubier et reflète l'emploi de bois âgés, si toutefois les thylles ne résultent pas de traumatismes d'origine mécanique, physique ou chimique.



Elles sont bien visibles sous un microscope optique car elles sont réfringentes dans les charbons de bois. Elles sont faciles à repérer chez le chêne (Marguerie *et al.*, 2010). Ce critère est utilisé pour écarter des charbons du bois de cœur (pour les datations C14 notamment).

Fig. 6 – 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.

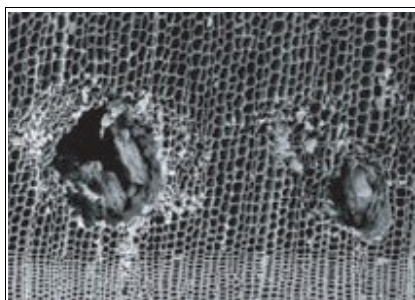
Fig. 7 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie et al., 2010).

- 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.

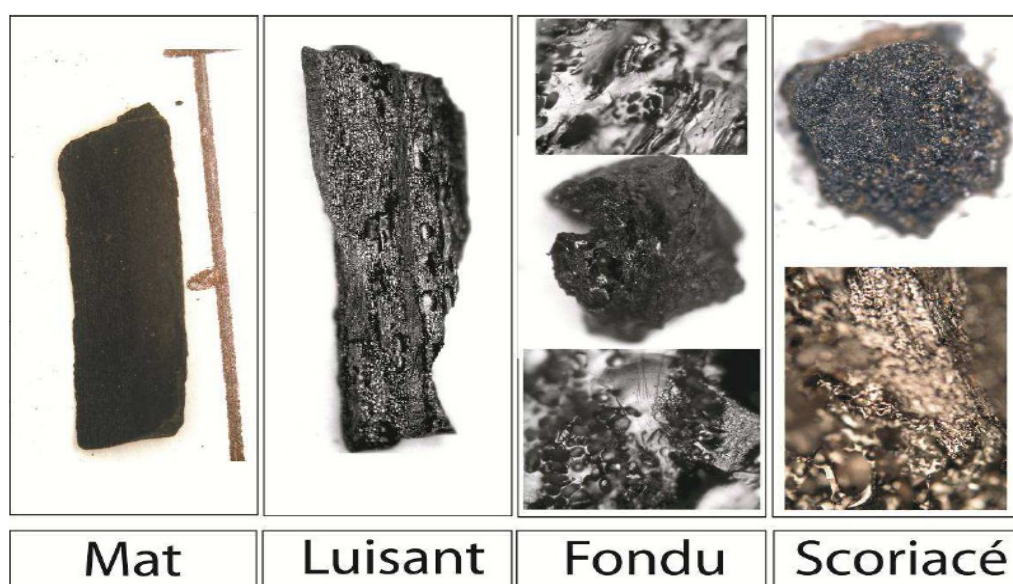
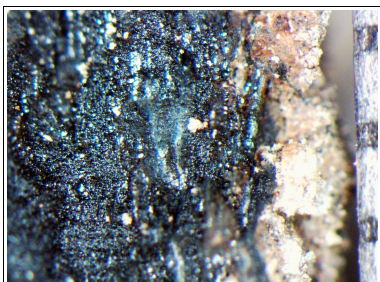


Fig. 10 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les prélèvements anthracologiques (extrait de Oilic, 2011).

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.

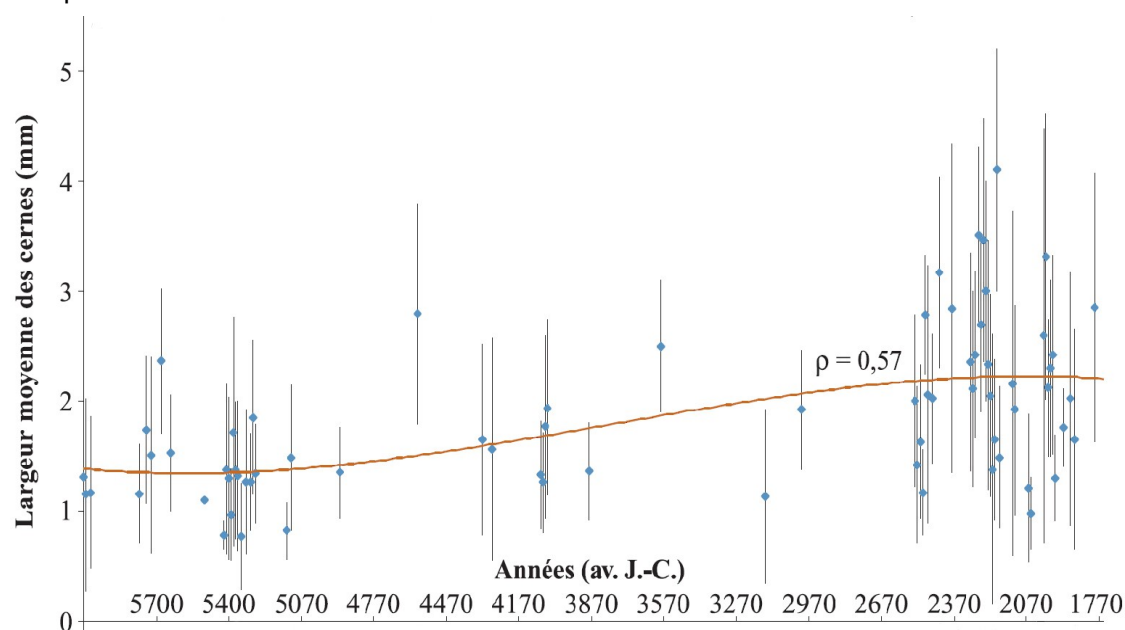


Fig. 12 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie et al., 2010).

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.

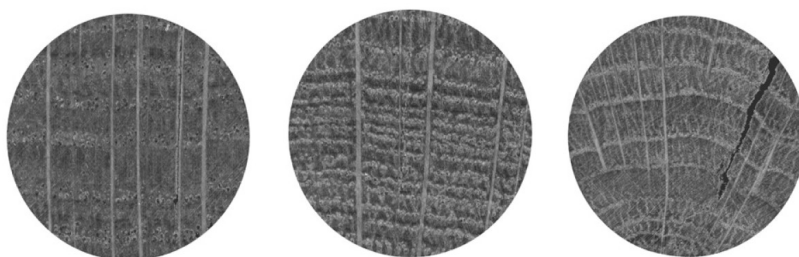


Fig. 13 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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).

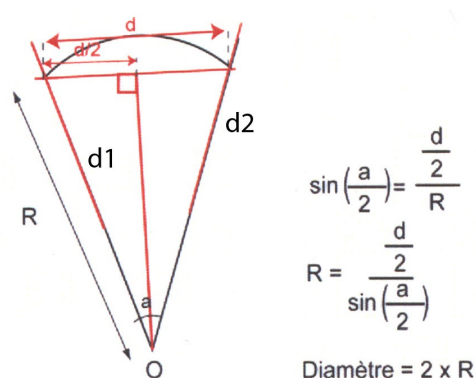


Fig. 14 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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.

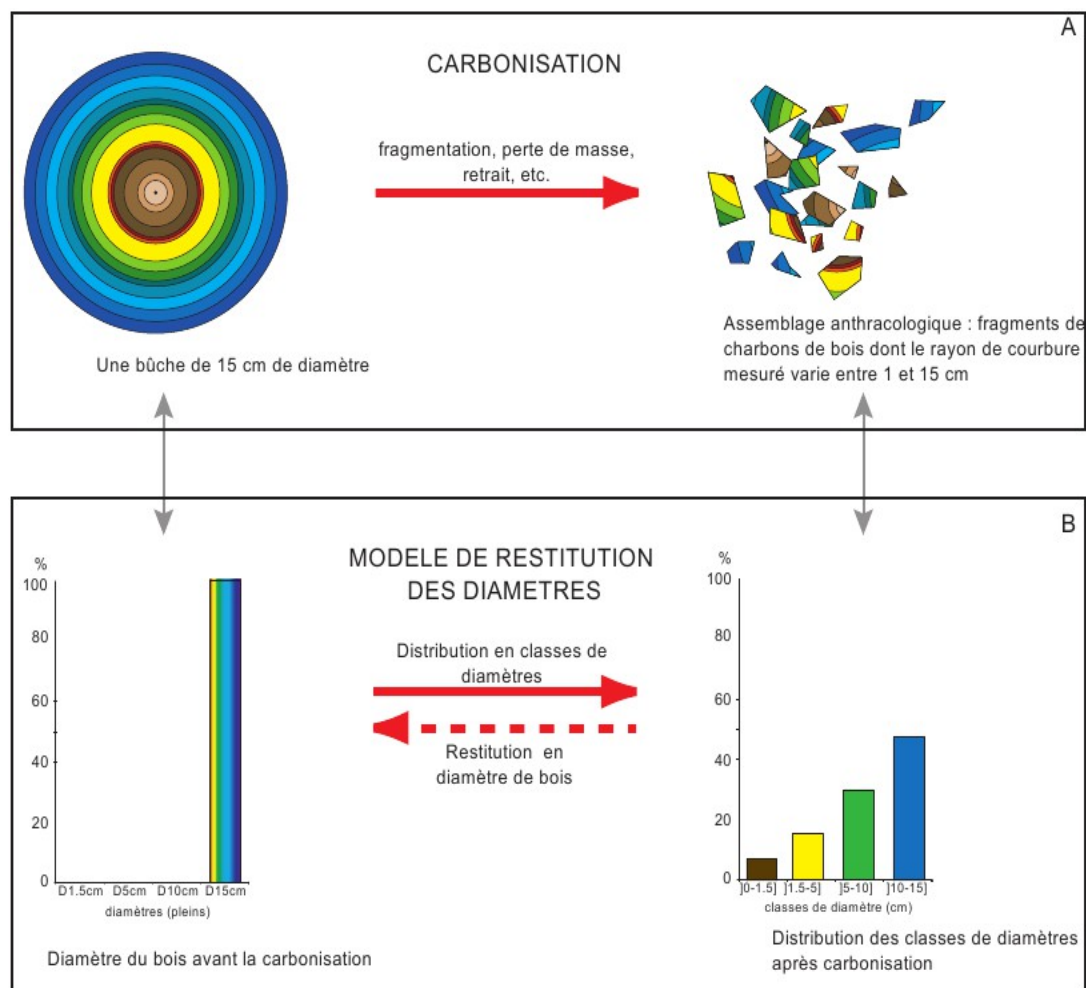


Fig. 15 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

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

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

L'étude de l'ensemble des prélèvements a permis de déterminer une quinzaine de taxons anthracologiques. Pour ce qui concerne les rejets charbonneux de la première phase (rejets de forge), trois taxons se dégagent, il s'agit du hêtre (*Fagus sylvatica*), de l'aulne (*Alnus sp.*) et du chêne (*Quercus sp.*). L'assemblage charbonneux du prélèvement n°37 (structure F.250) associé à la seconde période d'occupation est davantage dominé par des fragments de sapin (*Abies sp.*) et de chêne (*Quercus sp.*).

L'autoécologie et des informations d'ordre technique à propos des taxons identifiés peut apporter quelques éléments d'interprétation (Rameau *et al.*, 1989) :

Le chêne (*Quercus sp.*) à feuilles caduques correspond indifféremment, dans le domaine géographique considéré, essentiellement aux chênes pédonculé et sessile. Le chêne est surtout apprécié comme bois de charpente mais aussi comme combustible, c'est un bon charbon de bois. 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 car c'est la détection d'un critère anatomique (les rayons multisériés) qui permet de le différencier du chêne. Or, sur les petits fragments, l'absence de ce critère n'est pas forcément significatif du châtaignier, d'où la nécessité du taxon anthracologique « chêne-châtaignier » (*Quercus sp. / Castanea sp.*).

Le hêtre (*Fagus sp.*) est une espèce de forêt caducifoliée (chênaie – hêtraie) de large amplitude. Il appartient le plus souvent à des forêts fraîches et mûres. C'est une essence d'ombre en climat sec et de lumière en climat humide. Il offre un bois homogène sans duramen distinct se travaillant assez facilement. C'est un bois dur à fine écorce. Son utilisation est très variée : objets ménagers, manches d'outils, mobilier. Il peut aussi être utilisé dans la construction, mais plutôt pour les menuiseries intérieures car il est sensible à l'humidité. Il n'est pas adapté pour la structure d'une charpente, mais davantage pour l'ébénisterie, parquets, lambris, escaliers et pièces nécessitant un cintrage. Le hêtre est considéré comme un bois lourd (densité volumique d'environ 580 kg / m³). Les bûches se consumeront lentement et ainsi produiront de la chaleur plus longtemps. Il constitue un excellent combustible et fournit un charbon très estimé. Toutefois, il peut être difficile à allumer, l'utilisation de petit bois provenant d'un arbre léger (ex. aulne / saule) peut aider à l'allumage.

L'érable (*Acer sp.*) 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.

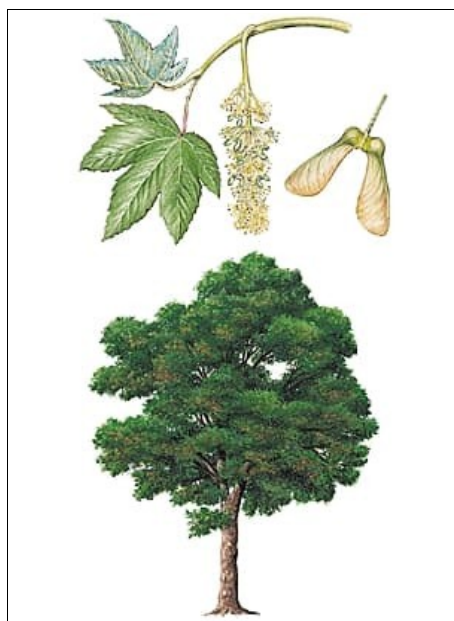


Fig. 16 – Représentation de l'érable sycomore (*Acer pseudoplatanus*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

L'orme (*Ulmus sp.*), probablement l'orme champêtre dans l'aire géographique considérée, est une espèce héliophile présente dans les haies, forêts alluviales et parmi les végétations rudérales. C'est un bois qui est très apprécié pour ses qualités mécaniques et décoratives. Il constitue aussi un bois de feu de première qualité et permet d'obtenir un charbon léger. Autrefois communes partout en plaine, les populations ont été fortement décimées par la graphiose au début du XXe siècle.

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.

Le **saule** (*Salix sp.*), le **peuplier** (*Populus sp.*) et l'**aulne** (*Alnus sp.*) sont des essences vivant dans des contextes humides tels que les bordures de rivières, les berges des lacs et zones alluviales. Ce sont des bois utilisés en vannerie et offrant pour le saule des propriétés médicinales. En revanche ce sont des bois de feu assez médiocres, charbon léger (Rameau et al., 1989). Ce sont des essences à forte croissance pouvant assurer un bon allumage du feu, mais leurs combustions respectives sont trop rapides. Dans le cadre d'une utilisation comme combustible, ils sont souvent associés à des bois plus denses tels que le chêne ou le hêtre.

La clématite (*Clematis vitalba*) est un ligneux poussant sous forme de lianes pouvant grimper jusqu'à 20 mètres. C'est une espèce héliophile vivant sur les sols neutres à basiques. On la trouve dans les bois claires, haies, friches, lisières forestières, clairières. Elle peut être utilisée en vannerie grossière ou pour faire des liens.

Les **Gymnospermes** correspondent aux arbres résineux ou conifères (par opposition les feuillus correspondent aux **Angiospermes**). Les charbons désignés comme tels, n'ont pas permis une détermination plus poussée généralement à cause de leur état très fragmentaire (ex. prélèvement n°37).

Les résineux ont des caractéristiques comparables à celles des bois tendres en terme de densité et de pouvoir calorifique. Ils 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.

Le **genévrier** (*Juniperus sp.*), probablement le genévrier commun (*Juniperus communis*) dans l'aire considérée, correspond à une végétation arbustive vivant dans des milieux pauvres et secs. Ses baies peuvent être utilisées dans la fabrication de liqueurs, son bois est odorant et est utilisé en marqueterie. Il est parfois planté pour faire des haies ou des brise-vent.

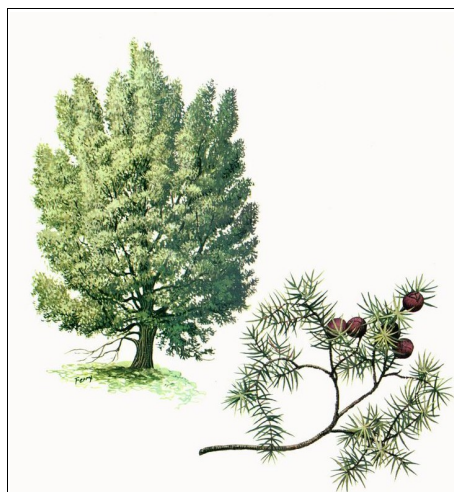


Fig. 17 - Représentation du genévrier (*Juniperus communis*)

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 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. Quelques fragments ont été identifiés avec des galeries de xylophages, probablement la petite vrillette (*Anobium punctatum*) (prélèvement n°37.2).

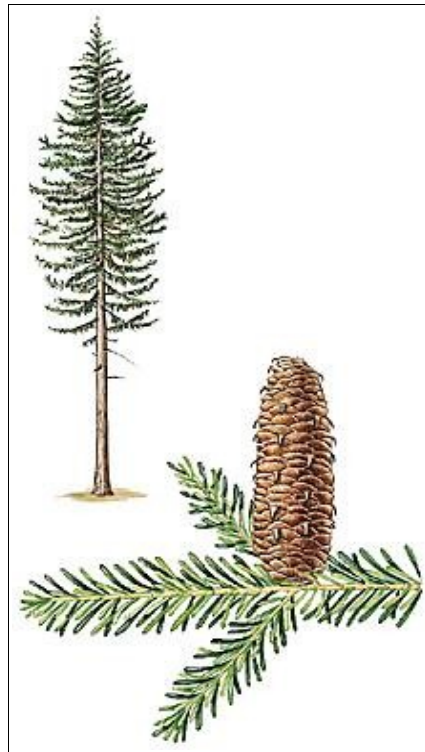


Fig. 18 – Représentation du sapin pectiné ou sapin blanc (*Abies alba*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

Pour certains fragments du prélèvement n°37.2, le mélèze n'a pu être différencié du sapin. D'où le taxon « *Larix / Abies* ». Le **mélèze** (*Larix decidua*) est une espèce plutôt caractéristique des étages montagnards et subalpins. Il fournit des bois aptes à toutes sortes d'emplois : bois à charpentes, menuiserie et constitue un combustible de bonne qualité.

Le pin (*Pinus sp.*) correspond à un genre comportant de nombreuses espèces aux biotopes variés. Le pin de type sylvestre (***Pinus sylvestris/mugo/nigra***) a pu être déterminé dans le prélèvement n°50. Il est subspontané dans de nombreuses régions et il se répartit depuis l'étage collinéen à l'étage subalpin, il montre un spectre écologique très large.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les résultats sont présentés par phase d'occupation. A savoir, un ensemble de prélèvements provenant des comblements de structures attribuées à la seconde moitié du 1er siècle associés à des rejets de forge et un ensemble charbonneux provenant du comblement d'une fosse (F.250), probablement d'origine domestique, daté du 2e siècle de notre ère.

3.1) Prélèvements provenant de comblements de structures associés à des rejets de forge (seconde moitié du 1er siècle).

3.1.1. Résultats

- Prélèvement n°49.2 (US 667), structure F.252

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Thylle	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud		
Alnus sp.	12	1	3	4	0	0	0	5	0	0	0	0	0
Corylus avellana	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	47	0	14	28	0	1	0	25	2	0	0	0	1
Frag. écorce	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus/Castanea	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
Quercus sp.	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0

Fig. 19 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°49.2.

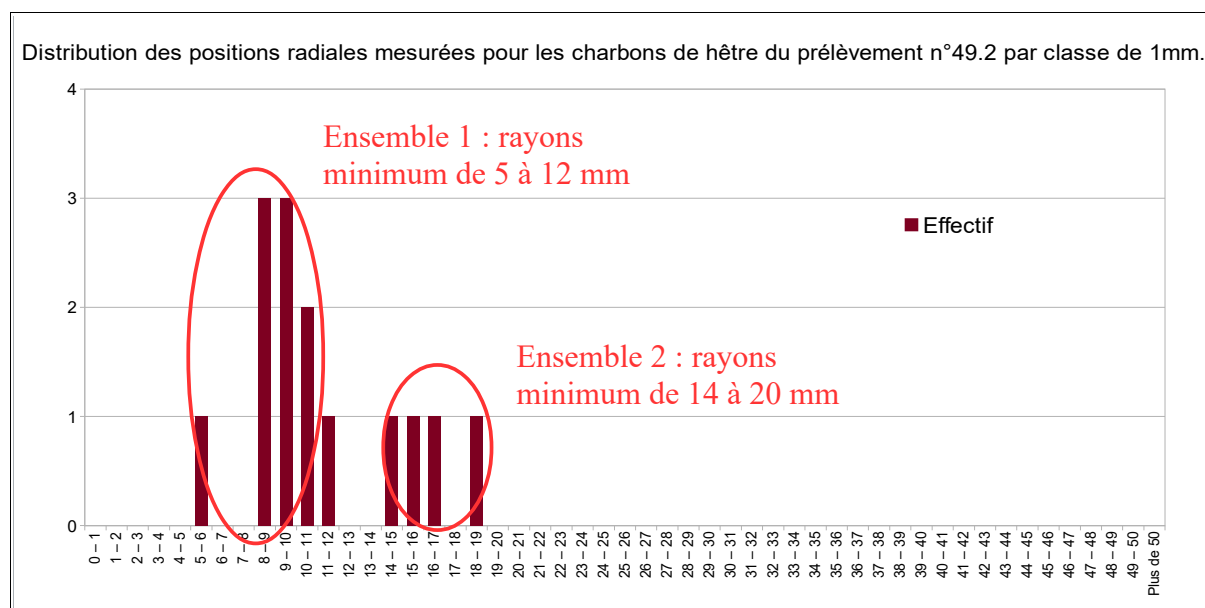


Fig. 20 – Distribution des rayons mesurés pour 14 fragments de hêtre par classe de 1 mm, prélèvement n°49.2.

- Prélèvement n°50.2 (US 669), structure F.253

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion						Insecte	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud			
Alnus sp.	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	42	0	14	21	0	0	1	7	0	0	4	3	2	
Frag. écorce	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Indéterminé	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Pinus sylvestris / mugho / nigra	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Fig. 21 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°50.2.

- Prélèvement n°51.2 (US 670), structure F.272

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				Thylle	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Aspect granuleux – indet.		
Acer sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
alnus/betula	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
Alnus sp.	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	31	0	13	13	0	0	0	14	0	0	0	2
Frag. écorce	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Quercus/Castanea	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	7	0	6	0	4	1	0	2	2	0	5	0
Ulmus sp.	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 22 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°51.2.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Intermediaire	Régulier	4	8	2,23	1,21	1,42	4

Fig. 23 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire et faible. Prélèvement n°51.2.

- Prélèvements n°53.2 et INV.523 (US 712), structure F.288

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Thylle	Insecte	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud			
Alnus sp.	41	3	13	21	0	0	0	1	0	0	0	0	13	1
Fagus sylvatica	7	0	1	5	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Quercus sp.	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Fig. 24 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°53.2.

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Fendu très brillant - struct. Inform.
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	
Fagus sylvatica	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Indéterminé	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Fig. 25 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées sur des fragments ligneux perminéralisés (sur scorie) pour le prélèvement « INV.523 ».

- Prélèvement n°62.2 (US 731), structure F.289

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	
Alnus sp.	9	0	0	7	0	0	0	3	0	0	1	2
Fagus sylvatica	32	4	15	8	1	0	0	18	0	0	0	2
Frag. écorce	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
Quercus sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 26 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°62.2.

- Prélèvement n°67.2 (US 767), structure F.309

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Thylle	Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud		
Acer sp.	4	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alnus/Corylus	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alnus sp.	10	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corylus avellana	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Fagus sylvatica	19	2	8	8	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Quercus sp.	3	0	1	2	0	3	0	0	2	0	0	2	0

Fig. 27 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°67.2.

- Prélèvements n°70.2 et INV.576 (US 787), structure F.311

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Alnus sp.	7	0	0	4	0	0	0	1	0	1
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	15	0	6	5	0	1	0	9	0	0
Indéterminé	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fig. 28 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°70.2.

		Courbure			Rythme		Combustion					
Nom Espèce	Effectif	Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fendu très brillant - struct. Inform.
Indéterminé	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Fig. 29 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées sur des fragments ligneux perminéralisés (sur scorie) pour le prélèvement « INV.576 ».

3.1.2. Interprétation

Les prélèvements étudiés proviennent des comblements de sept fosses. Les comblements avaient une composition « charbonneuse » et ont livré des scories, ce qui permet d'émettre l'hypothèse de rejets de forge.

Neuf essences ont été identifiées pour l'ensemble des prélèvements de ce secteur. Par ordre d'importance sont constatés : le hêtre (*Fagus sylvatica*), systématiquement détecté, l'aulne (*Alnus sp.*), le chêne (*Quercus sp.*) et dans une moindre mesure le noisetier (*Corylus avellana*), l'orme (*Ulmus sp.*), le pin de type sylvestre (*Pinus type sylvestris*) ainsi que quelques taxons anthracologiques « hybrides » : aulne/noisetier (*Alnus sp. / Corylus avellana*) et aulne/bouleau (*Alnus sp. / Betula sp.*) (Fig. 30).

	PR 49.2	PR 50.2	PR 51.2	PR 53.2	INV 523	PR 62.2	PR 67.2	PR 70.2	Classement / nombres d'occurrences
Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>)	+++	+++	+++	++	+	+++	+++	++	8
Aulne (<i>Alnus sp.</i>)	++	+	+	+++		++	++	++	7
Chêne et Chêne/châtaignier (<i>Quercus sp. / Castan</i>)	+		++	+		+	+		5
Noisetier (<i>Corylus avellana</i>)	+						+	+	3
Erable (<i>Acer sp.</i>)			+				+		2
Aulne/Bouleau (<i>Alnus sp. /Betula sp.</i>)			+						1
Aulne/Noisetier (<i>Alnus sp. /Corylus avellana</i>)							+		1
Orme (<i>Ulmus sp.</i>)			+						1
Pin (<i>Pinus type sylvestris</i>)		+							1

Fig. 30 - Tableau montrant les taxons anthracologiques identifiés pour chaque prélèvement. Le nombre de « + » indique l'importance relative des essences pour chaque prélèvement. Un classement tenant compte du nombre d'occurrences observées pour chaque essence est indiqué en dernière colonne.

L'association du hêtre, du chêne et de l'aulne marque l'ensemble des compositions anthracologiques. Il s'agit très probablement d'un choix technique. Le hêtre et le chêne correspondent à d'excellents combustibles. Ce sont des bois denses (densités volumiques de l'ordre de 570-580 kg / m³) et qui dégagent de ce fait davantage de chaleur. De plus, leurs braises durent plus longtemps et rayonnent davantage. Ce sont là des effets qui ont pu être recherchés dans le cadre d'une activité de forge.

Toutefois ce sont aussi deux essences difficiles à enflammer, d'où la nécessité de les associer à du bois de petit calibre, de préférence un bois tendre, tels que l'aulne, ou le noisetier.

Pour l'ensemble des lots, il s'agit de fragments provenant de bois de petit calibre à intermédiaire, brindilles ou petites branches (les courbures de cernes sont fortes à

intermédiaire) et ce quelles que soient les essences utilisées. Des mesures de calibration effectuées sur une quinzaine de fragments de hêtre du prélèvement n°49.2 ont permis d'estimer des rayons minimum compris entre 10 et 20 mm (Fig. 20).

D'autres mesures de calibration, moins exhaustives, ont aussi été réalisées ponctuellement sur quelques fragments et viennent confirmer cet ordre de grandeur :

- dans le prélèvement n°50.2, des rayons compris entre 5 et 20 mm ont été mesurés sur plusieurs charbons de hêtre,
- dans le prélèvement n°51.2, des rayons compris entre 5 et 10 mm ont été mesurés sur des charbons de hêtre,
- dans le prélèvement n°53.2, des rayons compris entre 10 et 20 mm ont été mesurés sur des charbons d'aulne.

Ces petits bois constituent généralement un type de combustible utilisé pour l'allumage et/ou pour obtenir des combustions vives. Il ne s'agit pas de restes de bois d'œuvre.

Quelques galeries d'insectes xylophages ont été observées sans toutefois excéder quelques unités par fragments (prélèvements n°50.2, 53.2, 62.2). En revanche, très peu de fentes de retrait ont été constatées. Ces observations appuient l'hypothèse de bois brûlés à l'état sec. Ce qui sous-tend probablement un stockage préalable du bois.

Notons que le caractère relativement homogène de tous les ensembles charbonneux (en termes d'essences, de qualité et de calibres des bois) montre que le combustible utilisé est issu d'une sélection soignée et probablement d'une même source d'approvisionnement.

La proportion des charbons montrant des aspects luisants varie d'un prélèvement à l'autre. On observe peu de charbons luisants pour les prélèvements n°50.2, n°67.2 et n°67.2. En revanche, on constate davantage de fragments luisants (de l'ordre de 40 à 53 %) pour les lots n°49.2, n°51.2, n°62.2 et n°70.2.

Ce premier niveau de « vitrification » a pu être favorisé par le petit calibre des bois utilisés (Ouilic, 2011), mais très probablement aussi par différents types de combustions. En effet, même si les phénomènes qui sont à l'origine de ces aspects ne sont pas encore parfaitement compris, il semble que des contextes de combustion anaérobies et de hautes températures soient favorables au processus de « vitrification » (Blaizot *et al.*, 2004). Notons dans le même temps l'absence de fragments aux aspects « très brillants », « fondus » ou « scoriacés » (cf. chapitre 2.3) correspondant à des niveaux de vitrification plus importants provoqués par exemple par des combustions à l'intérieur de bas-fourneaux.

L'hétérogénéité des valeurs des proportions de charbons luisants d'un prélèvement à l'autre traduit probablement des rejets de combustions d'origines diverses et correspondant potentiellement aux diverses activités de la forge : utilisation d'un four fermé ou foyer ouvert, nécessité d'obtenir des températures plus ou moins importantes en fonction des usages recherchés. De plus, cette hétérogénéité exclut l'hypothèse d'une préparation du combustible de type charbonnage (provoquant aussi parfois des aspects luisants) et qui aurait alors affecté l'ensemble des rejets charbonneux recueillis sur le site.

Deux prélèvements (INV 576 et INV 523) correspondant à des scories ont été étudiés. Des fragments ligneux perminéralisés y ont été observés. Quelques fragments de hêtre ont pu être déterminés dans le prélèvement n° INV 523.

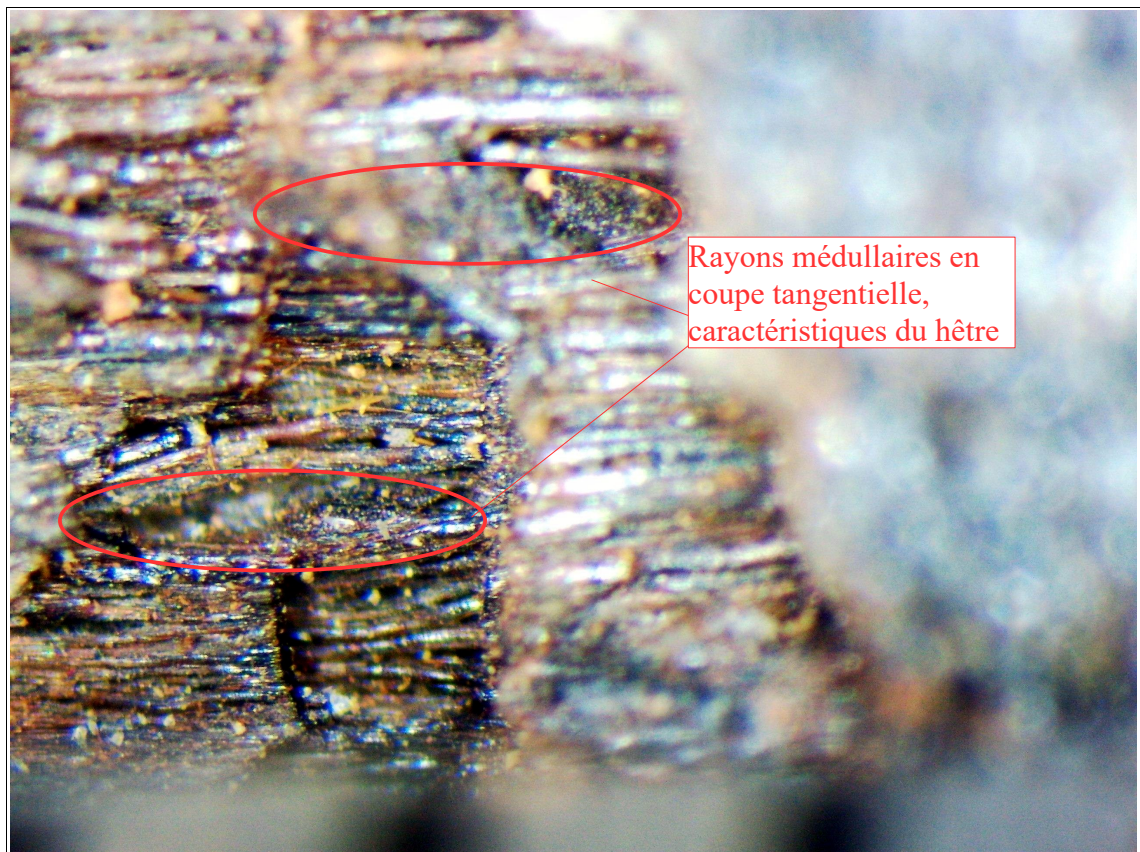


Fig. 31 Fragment de hêtre « perminéralisé », le bois a été remplacé par des particules métalliques au contact du métal. Les rayons médullaires d'une vingtaine de cellules de larges sont perceptibles en coupe tangentielle. Prélèvement n° INV 523, grossissement x43, l'échelle correspond à des millimètres.

Enfin, quelques fragments de chêne du prélèvement n° 51.2 ont pu faire l'objet de mesures de cernes (Fig. 23). Les moyennes obtenues sont de l'ordre de 2,23 mm / an. Elles correspondent à des contextes de croissances relativement favorables, probablement un environnement ouvert, peut-être des contextes de lisières ou de haies.

3.2) Prélèvements provenant du comblement d'une structure du début du IIe siècle.

3.2.1. Résultats

- Prélèvement n°37.2 (US 660), structure F.250

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion					Thylle	Insecte	Moelle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud			
Abies sp.	15	0	1	5	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0
Clematis vitalba	4	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	4	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Frag. écorce	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Graine	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gymnosperme	5	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0
Indéterminé	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Juniperus sp.	7	0	0	7	0	0	1	0	0	0	4	0	0	2
Larix sp. / Abies sp.	10	0	0	6	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0
Quercus/Castanea	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Quercus sp.	17	0	6	7	4	2	1	1	11	0	0	10	0	0
Salix/Populus	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0

Fig. 32 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement n°37.2.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Intermediaire	Régulier	4	24	0,81	0,22	0,56	0,99

Fig. 33 – Tableau des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure intermédiaire et faible. Prélèvement n°37.2.

3.2.2. Interprétation

Le prélèvement n°37.2 provient d'une structure située au sud de l'emprise de fouille (structure F.250) et interprétée comme une fosse de rejets « domestiques ». Elle est associée à une occupation du début du II^e s de notre ère.

L'ensemble anthracologique est très différent des ensembles associés aux rejets de forge.

Neuf taxons anthracologiques ont été identifiés à l'intérieur de ce seul prélèvement (Fig. 32). Par ordre d'importance on observe le chêne (*Quercus sp.*), le sapin (*Abies sp.*), le sapin-mélèze (*Abies sp. / Larix sp.*), le genévrier (*Juniperus sp.*), des fragments de résineux non déterminés (Gymnosperme) et dans une moindre mesure des fragments de hêtre (*Fagus sylvatica*), de clématite (*Clematis vitalba*), de saule-peuplier (*Salix sp. / Populus sp.*) et de chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*).

Il s'agit essentiellement de fragments provenant de bois de petit calibre à intermédiaire, brindilles ou petites branches. Quelques mesures de calibration, non exhaustives, ont permis d'estimer des rayons compris entre 5 et 15 mm. Seuls quelques fragments de chêne sembleraient provenir de bois de calibre intermédiaire, probablement de grosses branches (présence de thylls et courbures de cernes intermédiaires). Il ne s'agit pas de restes de bois d'œuvre.

Au regard du calibre des bois utilisés, on peut émettre l'hypothèse d'une utilisation de bois tendres (ex. saule/peuplier, résineux) et de petits calibres (ex. clématite, genévrier) pour la phase d'allumage. La phase d'entretien des combustions a été assurée principalement avec du bois de chêne (seuls les fragments de chêne pourraient correspondre à du bois de moyen calibre), mais aussi probablement par du petit bois de hêtre qui sont d'excellents combustibles. Ils sont énergétiques à la combustion et leurs braises durent longtemps.

Le bois a globalement été brûlé à l'état sec. Seuls les fragments de chêne semblent provenir d'un bois « vert » (nombreuses fentes de retrait observées).

La proportion des charbons montrant des aspects « luisants » est faible mais pas négligeable, environ 33%. Ce premier niveau de « vitrification » a pu être favorisé par le petit calibre des bois brûlés (Oilic, 2011), mais peut-être aussi par des contextes de combustions de « fonds de foyers » (contextes chauds et peu oxygénés). Compte tenu de la faible proportion de ces charbons « luisants », il s'agit probablement de rejets de combustion ouverte (ex. foyer).

Un calcul de l'indice de concentration de Pareto a été effectué sur les compositions anthracologiques du prélèvement n°37.2 (Fig.34).

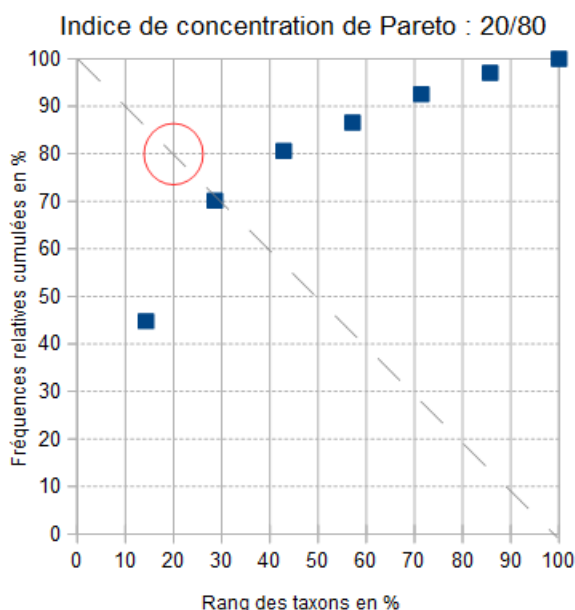


Fig. 34 – Indice de concentration de Pareto pour le prélèvement n°37.2. Le calcul a été effectué sur sept taxons, les effectifs du « sapin », « sapin-mélèze » et « résineux » ont été rassemblés.

Même si le rapport d'équilibre constaté dans la nature (20% des taxons correspondant à environ 80% de la biomasse) n'est pas tout à fait atteint (Fig. 34), il est probable que l'étude de davantage de charbons aurait permis de se rapprocher de cet équilibre (Chabal, 1997). Les proportions entre essences dans les échantillons de charbons de bois sont donc probablement assez fidèles aux proportions de végétations ligneuses qui devaient exister dans l'aire de ramassage autour du site. Si l'on en croit cet indice, la composition anthracologique constatée est probablement issue de ramassages de « tout venant », peu sélectifs et généralement associés à des usages domestiques. L'utilisation d'essences de combustibilité assez médiocre (résineux, clématite, bois de chêne « vert ») aurait aussi tendance à renforcer cette hypothèse.

Des mesures de largeurs de cernes ont pu être réalisées sur seulement quatre fragments de chêne (Fig. 33). Elles ont permis de calculer une moyenne de l'ordre de 0,81 mm / an. Cette valeur est caractéristique de contextes de croissance difficiles, peut-être un environnement contraignant (sols pauvres, mal exposé) ou bien soumis à des compétitions inter- ou intraspécifiques vis-à-vis des ressources naturelles (ex. un boisement dense). Compte tenu du faible nombre de charbons, il faut considérer ce résultat avec précaution.

Enfin, plusieurs galeries de xylophages ont été observées sur les fragments de sapin ou sapin-mélèze (Fig. 32). La forme des galeries en plus de l'analyse du contenu des vermoulures (tailles et formes, Fig. 35 et Fig. 36) permettent d'avancer l'hypothèse de la petite vrillette (*Anobium punctatum*) (à considérer avec précaution toutefois).

Notons que l'*Anobium punctatum* se développe préférentiellement dans les bois secs et parfois œuvrés (bois de constructions, meubles...), elle consomme principalement l'aubier des résineux et feuillus (rarement le chêne). En France on la rencontre surtout dans les régions où les conditions climatiques sont humides. C'est une espèce qui est inféodée à l'homme, elle est désormais rare dans la nature.

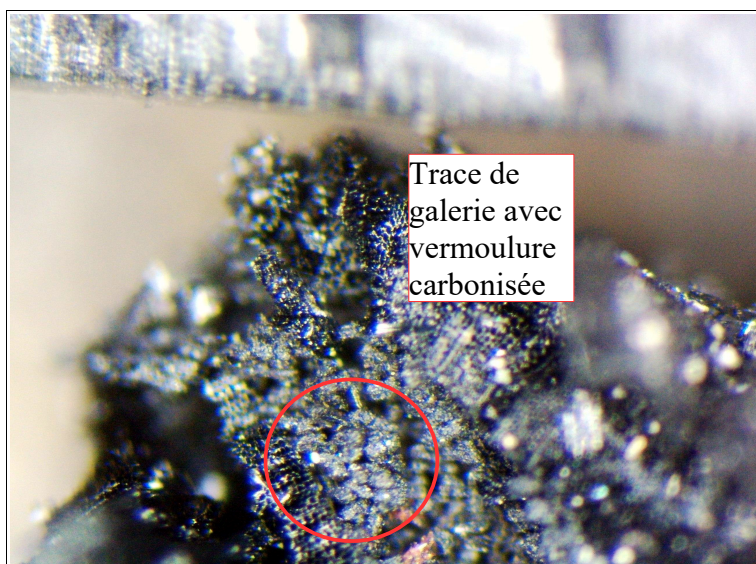


Fig. 35 Traces de galeries (vermoulures) de xylophage. Fragment de sapin (*Abies sp.*) en coupe transversale. Prélèvement n°37.2, grossissement x20, l'échelle représente des millimètres.



Fig. 36 Exemples de « grains fusiformes » retrouvés à l'intérieur des vermoulures du fragment de sapin. Prélèvement n°37.2, grossissement x20, l'échelle représente des millimètres.

4. SYNTHÈSE

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. Environ 410 fragments ont été observés pour l'ensemble des prélèvements (Fig. 1).

Sondages - Prélèvements	Datation	Taxons (par ordre d'importance)	Hypothèses techniques	Types de boisements	Largeurs moyennes de cernes
PRV 49.2 (F.252) ; PRV 50.2 (F.253) ; PRV 51.2 (F.272) ; PRV 53.2 et INV.523 (F.288) ; PRV 62.2 (F.289) ; PRV 67.2 (F.309) ; PRV 70.2 et INV.576 (F.311) Nature des vestiges : Hypothèse de rejets de combustion de forge (couche charbonneuse + scories).	Seconde moitié du Ier siècle de notre ère	hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>), chêne (<i>Quercus</i> sp.), aulne (<i>Alnus</i> sp.), chêne et chêne-châtaignier (<i>Quercus</i> sp., <i>Quercus</i> sp.-<i>Castanea</i> sp.), noisetier (<i>Corylus avellana</i>), érable (<i>Acer</i> sp.), aulne/bouleau (<i>Alnus</i> sp. / <i>Betula</i> sp.) ; aulne/noisetier (<i>Alnus</i> sp./<i>Corylus avellana</i>) ; orme (<i>Ulmus</i> sp.), pin type sylvestre (<i>Pinus</i> type <i>sylvestris</i>).	Rejets de combustions d'un atelier de forge. Rejets d'origines diverses : fours et foyers ouverts, températures chaudes : <u>L'association du hêtre, du chêne et de l'aulne marque l'ensemble des compositions anthracologiques.</u> Le hêtre et le chêne correspondent à d'excellents combustibles. Ce sont des bois denses qui dégagent beaucoup de chaleur et des braises qui durent longtemps. Ce sont deux essences difficiles à enflammer, d'où la nécessité de les associer à un bois tendre tels que l'aulne ou le noisetier. Il s'agit essentiellement de fragments provenant de bois de petit calibre à intermédiaire, brindilles ou petites branches. Des mesures de calibration ont permis d'estimer des rayons minimum compris entre 10 et 20 mm. Ces petits bois permettent de générer des combustions vives. L'absence de fente de retrait ainsi que l'observation de quelques galeries de xylophages vont dans le sens d'un bois brûlé à l'état sec, peut-être préalablement stocké. Les charbons montrent assez souvent des aspects luisants. Ce premier niveau de « vitrification » a pu être favorisé par le petit calibre des bois (Oilic, 2011), mais probablement aussi parfois par des combustions chaudes en milieu fermé (ex. four). Mais, il ne s'agit pas de rejets de bas-fourneaux.	Boisement de type chênaie diversifiée et chênaie-hêtraie (<i>Quercus</i> sp., <i>Fagus sylvatica</i>, <i>Acer</i> sp., <i>Ulmus</i> sp., <i>Pinus</i> sp.) Boisements ouverts, végétations de lisières, haies (<i>Corylus avellana</i>, <i>Betula</i> sp.) Boisements hygrophiles (<i>Alnus</i> sp.)	Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure : PRV 51.2 : Moy. = 2,23 mm (N=4 ; Ec-type = 1,21 mm) ; La valeur moyenne correspond à un contexte de croissance favorable : peut-être une haie ou une lisière.

Fig. 37 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour l'occupation de la seconde moitié du Ier siècle de notre ère.

Sondages	Datation	Taxons (par ordre d'importance)	Hypothèses techniques	Types de boisements	Largeurs moyennes de cernes
PRV 37.2 Nature des vestiges : <i>Comblement de fosse contenant des rejets domestiques</i>	Début du IIe siècle de notre ère	sapin (<i>Abies sp.</i>), et sapin-mélèze (<i>Abies sp.</i> - <i>Larix sp.</i>), chêne (<i>Quercus sp.</i>) et chêne-châtaignier (<i>Quercus sp.</i> / <i>Castanea sp.</i>), hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>), genévrier (<i>Juniperus sp.</i>), résineux indéterminés (<i>Gymnosperme</i>), Clématite (<i>Clematis sp.</i>).	Rejets de combustions de foyers ouverts d'origines domestiques (?) : <u>Il s'agit essentiellement de fragments provenant de bois de petit calibre à intermédiaire, brindilles ou petites branches.</u> Quelques mesures de calibration, non exhaustives, ont permis d'estimer des rayons compris entre 5 et 15 mm. Quelques fragments de chêne sembleraient provenir de bois de calibre intermédiaire, probablement de branches. On peut émettre l'hypothèse d'une utilisation de bois tendres (ex. saule/peuplier, résineux) et de petits calibres (ex. clématite, genévrier) pour la phase d'allumage. La phase d'entretien des combustions a été assurée avec du bois de chêne et de hêtre qui sont d'excellents combustibles. Compte tenu de la faible proportion des charbons « luisants », <u>il s'agit probablement de rejets de combustion ouverte.</u> les compositions anthracologiques constatées sont probablement issues de ramassages de « tout venant » (cf. calcul de l'indice de Pareto), peu sélectifs, ce qui serait plutôt à rapprocher d'usages domestiques. L'utilisation d'essences de combustibilité assez médiocre (résineux, clématite, bois de chêne « vert ») renforce aussi cette hypothèse.	Boisement de type chênaie diversifiée et chênaie-hêtraie (<i>Quercus sp.</i>, <i>Fagus sylvatica</i>, <i>Abies sp.</i>, <i>Abies sp.</i> - <i>Larix sp.</i>, <i>Quercus sp.</i> / <i>Castanea sp.</i>) Boisements ouverts, landes-fourrés, haies (<i>Juniperus sp.</i>, <i>Clematis sp.</i> ;)	Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure : PRV 37.2 Moy. = 0,81 mm (N=4 ; Ec-type = 0,22 mm) La valeur moyenne révèle des contextes de croissance difficiles, peut-être des boisements denses ou sols pauvres.

Fig. 38 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour l'occupation du début du IIe siècle de notre ère.

– Informations d'ordre environnemental

Une quinzaine de taxons anthracologiques a été identifiée dans cette étude. Huit à neuf taxons ont été déterminés dans chacune des phases d'occupation. La fosse de rejets domestiques (prélèvement 37.2) livra une diversité aussi importante que l'étude des neuf prélèvements provenant des rejets de forge.

De nombreux travaux ont montré que l'exploitation du combustible ligneux, notamment en contexte domestique, est en moyenne peu sinon pas sélective et qu'en conséquence les charbons de bois qui en résultent constituent de bons indicateurs des conditions environnementales (Chabal, 1992, 1994, 1997 ; Théry, 1998). En revanche, l'étude des prélèvements associés aux rejets de forge montre une sélection du type de combustible soignée (en terme d'essences mais aussi de type de bois), ce qui explique le peu d'essences observées pour l'ensemble de ces prélèvements.

Les différences perçues entre les deux phases sont probablement davantage liées à des (aires de) collectes différentes, pour des usages différents, plutôt qu'à de véritables évolutions paysagères.

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

- le groupement forestier de la **chênaie diversifiée** avec le chêne (*Quercus sp.*), le chêne-châtaignier (*Quercus sp.* / *Castanea sp.*), l'érable (*Acer sp.*), l'orme (*Ulmus sp.*) et le groupement de la **chênaie-hêtraie** avec le chêne (*Quercus sp.*), le hêtre (*Fagus sp.*), l'érable (*Acer sp.*), le sapin (*Abies alba*) et le pin (*Pinus type mugo / nigra / sylvestris*). Notons que le groupement de la chênaie-hêtraie correspond au groupement forestier caractéristique de la période du Subatlantique, largement détecté par la palynologie (Gaudin, 2004).
- **les boisements ouverts, lisières forestières, haies, associations héliophiles** : avec la détection du noisetier (*Corylus avellana*), du genévrier (*Juniperus sp.*), de la clématite (*Clematis vitalba*) voire du bouleau (*Betula sp.*). Ces végétations attestent l'existence d'espaces ouverts ou clairsemés dans l'aire de ramassage.
- **Les boisements hygrophiles** sont perçus grâce à l'aulne (*Alnus sp.*).

Quelques mesures de largeurs de cerne réalisées sur les fragments de chêne de gros et moyen calibre ont permis de calculer des moyennes pour une dizaine de fragments seulement. Il faut donc considérer ces résultats avec précaution.

La moyenne obtenue pour le prélèvement n°51.2 (rejet de forge) montre une valeur de 2,23 mm ce qui correspondrait à une collecte dans un contexte de croissance favorable : probablement un boisement clair (ex. taillis). En revanche, la moyenne obtenue pour le prélèvement n°37.2 (foyer domestique) montre un ramassage dans un contexte de croissance difficile. Par exemple des contextes abiotiques (ex. sols pauvres) et/ou biotiques (compétition vis à vis des ressources, ex. chênaie dense) contraignants. De nouveau, ces différences s'expliquent probablement davantage par des usages différents plutôt qu'à une véritable évolution paysagère.

– **Informations d'ordre technique :**

Les ensembles anthracologiques associés aux deux phases d'occupation différentes correspondent aussi à deux usages distincts :

– Pour la phase d'occupation de la seconde moitié du Ier siècle :

Il s'agit de rejets charbonneux de combustibles associés aux activités d'une forge.

Les compositions anthracologiques observées pour les différents prélèvements sont apparus assez homogènes. En effet, l'utilisation de bois de hêtre et d'aulne a systématiquement été observée. Le chêne a aussi été détecté de façon régulière et de façon plus ponctuelle, le noisetier. Ce sont en grande majorité des fragments provenant de bois de moyen et petit calibre.

Cet assemblage découle vraisemblablement de choix techniques : le hêtre et le chêne correspondent à des bois denses qui vont permettre d'obtenir davantage de chaleur. De plus, leurs braises durent longtemps et rayonnent davantage. Ce sont là probablement des caractéristiques qui ont été recherchées dans le cadre des activités de forge.

Pour certains lots (prélèvements n°49.2, n°51.2, n°62.2 et n°70.2), une grande partie des fragments (40% à 50%) montrait des aspects « luisants ». Il est possible que ce premier niveau de vitrification ait été favorisé par le petit calibre du bois, mais d'autres hypothèses sont plausibles, comme des contextes de combustion réductrices et de hautes-températures (Blaizot *et al.*, 2004 ; Oilic, 2011).

Des activités de forge telles que des pratiques d'affinage (épuration) ou les hypothèses évoquées suite à l'étude des scories tels que « la fabrication de produits finis et/ou l'entretien et la réparation d'objet » apparaissent cohérentes avec ces observations.

En revanche, très peu de fragments aux aspects « très brillants », « fondus » ou « scoriacées » ont été observés. Cela exclut l'hypothèse de rejets de bas-fourneaux.

– Pour la phase d'occupation du début du IIe siècle :

Ce sont surtout des fragments provenant de bois de petit et moyen calibre qui ont été constatés. L'hypothèse d'alternances entre des phases d'allumage et d'entretien des combustions, avec utilisation de petits bois pour l'allumage (ex. clématite, genévrier, saule/peuplier), puis de bois plus denses et de plus gros calibre (hêtre et chêne) pour la montée en température et l'entretien des combustions, est la plus plausible.

La diversité des essences observées et des calibres utilisés appuieraient l'hypothèse de restes de combustions d'origines domestiques. En effet, cette hypothèse a été confortée par le calcul de l'indice de concentration de Pareto (Fig. 34) montrant un ramassage de « tout venant ». L'utilisation d'essences de combustibilité assez médiocre (résineux, clématite, bois de chêne encore « vert ») renforce aussi cette hypothèse.

5. BIBLIOGRAPHIE

- BLAIZOT F., FABRE L., WATTEZ J., VITAL J., COMBES P., 2004 - *Un système énigmatique de combustion au Bronze moyen sur le plateau d'Espalem (canton de Blesle, Haute-Loire)* In: Bulletin de la Société préhistorique française. tome 101, N. 2. pp. 325-344.
- CHABAL L., 1992 - La représentativité paléo-écologique des charbons de bois issus du bois de feu. *Bulletin de la Société botanique Française*, 139, Actualités botaniques (2/3/4), p. 213-236.
- CHABAL L., 1994 - Apports récents de l'anthracologie à la connaissance des paysages passés : performances et limites. *Histoire et Mesure*, IX-3/4, p. 317-338.
- CHABAL L., 1997 - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Documents d'Archéologie Française. Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 63, 191p.
- CHABAL L., FABRE L., TERRAL J.-F. and THERY-PARISOT I., 1999 - *L'anthracologie*. In BROCHIER J.E., BOURQUIN-MIGNOT C., CHABAL L., CROZAT S., FABRE L., GUIBAL F., MARINVAL P., RICHARD H., TERRAL J.-F., THERY I. (éds.), Errance (Collection "Archéologiques"). La Botanique, Paris, 207 p.
- DUFRAISSE A., GARCIA MARTINEZ M.-S., 2011 - Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données. *ANTHROPOBOTANICA*, 2, 16p.
- GAUDIN L., 2004 - *Les transformations spatio-temporelles de la végétation du nord-ouest de la France depuis la fin de la dernière glaciation. Reconstitutions paléo-paysagères*. Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 2 tomes, 768 p.
- 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., 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.
- 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., 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
- 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, 320p.
- 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 pages.

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

Remerciements à Magali Toriti, Paléoentomologue, UMR 6566 – CreAAH, pour l'aide apportée concernant les galeries de xylophage (com. pers.).

6. ANNEXE



Fig. 39 – Coupe transversale d'un fragment de clématite (*Clematis vitalba*). Grossissement x20. Prélèvement n°37.2.

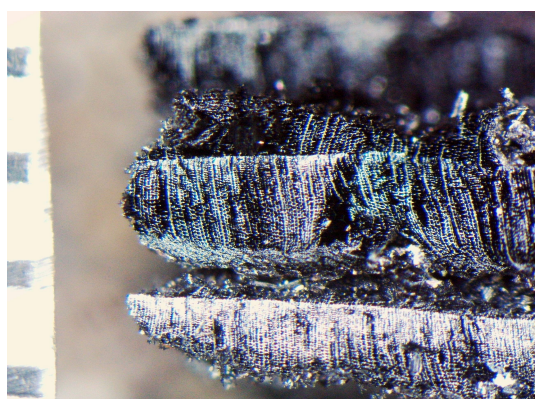


Fig. 40 – Coupe transversale d'un fragment de sapin (*Abies sp.*) montrant un contraste entre bois initial et bois final. Grossissement x23. Prélèvement n°37.2.

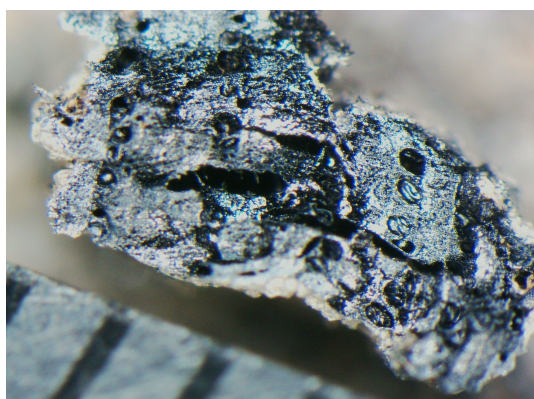


Fig. 41 – Coupe transversale d'un fragment de chêne (*Quercus sp.*) d'aspect fendu-luisant. Grossissement x24. Prélèvement n°67.2.

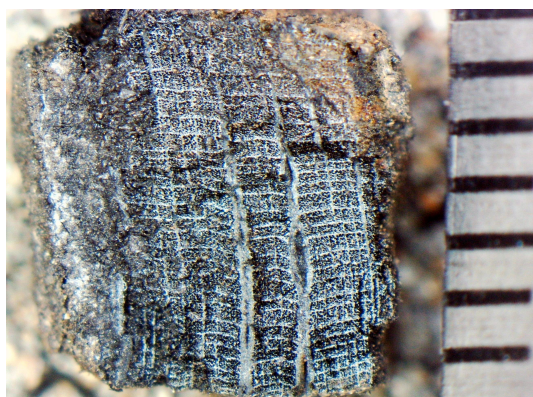


Fig. 42 – Coupe transversale d'un fragment de hêtre (*Fagus sylvatica*), de courbure de cerne intermédiaire et d'aspect luisant. Grossissement x10. Prélèvement n°62.2.

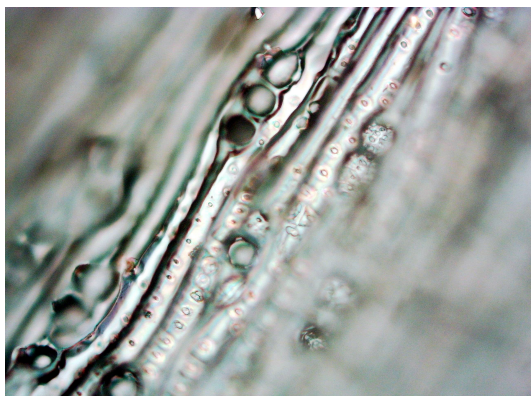


Fig. 43 – Coupe tangentielle d'un fragment de genévrier (*Juniperus sp.*). Grossissement x400. Prélèvement n°37.2.