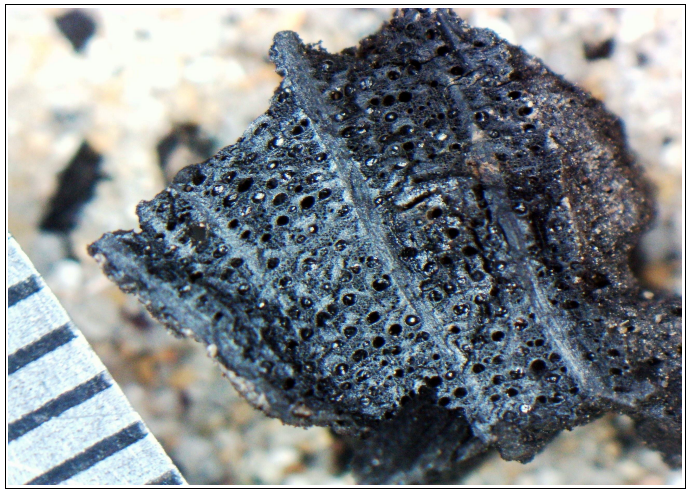
ArkéoMap

CENTRE DE RECHERCHE ARCHÉOLOGIQUE DE LA VALLÉE DE L'OISE (CRAVO)

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

ANALYSE DES FRAGMENTS CHARBONNEUX PRÉLEVÉS LORS DE L'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE DE « MOHIMONT »À DOUZY (08).

OPÉRATION : OA.07.7587



Cellule archéologique du Conseil Départemental des Ardennes

Rapport d'étude anthracologique

Mars 2020

Cellule archéologique du Conseil Départemental des Ardennes

Conseil Général des Ardennes

Hôtel du Département - CS 20001 -

08011 Charleville-Mézières Cedex

_____

Analyse des fragments charbonneux prélevés lors de l'opération archéologique de « Mohimont » à Douzy (08).

Opération : OA.07.7587

_____

Rapport d'étude anthracologique

_____

Loïc GAUDIN

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

E-mail : loic.gaudin@arkeomap.com

Site web : arkeomap.com

_____

Mars 2020

Illustration de la page de couverture :

Fragment de chêne caducifolié (Quercus sp.) de forte courbure de cerne. Prélèvement de la structure SD70 – F3 – US 7. Coupe transversale sous loupe binoculaire (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. 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....20
3.1. Prélèvement collecté dans la fosse 07 – US 12 20
3.1.1. Résultats....20
3.1.2. Interprétations 21
3.2. Prélèvements collectés dans la fosse F3 US 7, US 8 et US 9....22
3.2.1. Résultats....22
Prélèvement de la Fosse F3 - US 7....22
Prélèvement de la Fosse F3 - US 9....23
Prélèvement de la Fosse F3 - US 8....24
Calibration à partir des fragments de la Fosse F3 - US 8....25
3.2.2. Interprétations....26
4. BILAN....28
5. BIBLIOGRAPHIE....33
6. ANNEXE – Photographies et relevés archéologiques....35

INTRODUCTION

Ce document présente les résultats d'analyse des charbons prélevés lors de l'opération archéologique menée sur le site de Mohimont à Douzy (08). Les sondages se sont déroulés en deux phases durant 2019 et ont été réalisés par la Cellule archéologique du Conseil Départemental des Ardennes sous la direction de M. Etchart-Salas.

L'opération a donné lieu au creusement de 83 sondages et a permis de mettre au jour plusieurs fossés, trous de poteau et fosses.

Plusieurs structures de type « fosse » étaient caractérisées par des parois et fonds rubéfiés ainsi que des remplissages plus ou moins charbonneux. Elles sont interprétées comme des structures de combustion probablement associées à des pratiques de charbonnage. L'analyse anthracologique porte sur les contenus charbonneux de deux structures de ce type (SD70-F3 et SD75-F7).

Selon l'archéologue, « par la stratigraphie et le mobilier, deux phases d'occupations sont distinguées, avec les structures de combustion, les trous de poteau et les fosses qui peuvent correspondre à des vestiges datés entre La Tène finale et la période gallo-romaine et le fossé de parcellaire et l'ensemble d'ornières qui doivent dater du Moyen Age ou de l'époque moderne » (Etchart-Salas, 2019).

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

- caractériser le combustible utilisé (exemple : estimation du calibre des bois, bois ramassés à l'état vert ou sec, choix des essences),

- caractériser les végétations ligneuses qui existaient dans l'aire de ramassage (exemple : types et structures des boisements visités lors de la collecte).

L'étude anthracologique a été commandée par M. Etchart-Salas, responsable d'opération, avec l'accord de son directeur M. Brun auprès du Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Oise. Le travail a été sous-traité par le CRAVO auprès d'ArkéoMap.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les restes anthracologiques proviennent de quatre prélèvements réalisés à l'intérieur des comblements des deux fosses.

Les prélèvements ainsi que quelques éléments d'interprétation sont listés dans le tableau suivant (Fig. 1).

L'ensemble des lots a été observé. 286 charbons ont été étudiés.

Num. inventaire, structures (comblements)	Niv. Comble-ment – US	Datation	Éléments d'interprétation	Description (Etchart-Salas, 2019)	Effectifs étudiés
Fosse F07. Fouille du quart sud-ouest de la fosse.(cf. plan et relevé archéologique en annexe)	**US 12**	La Tène finale – période gallo-romaine.	Structure de combustion - Fosse de charbonnage	La fosse F07 est située au sud de la concentration de vestiges, elle est de forme rectangulaire aux angles arrondis avec une orientation ouest / est. F07 mesure 2,20 m de longueur, par 1,60 m de largeur et elle est conservée sur une épaisseur de 0,20 cm. Le comblement est constitué de trois couches plus ou moins charbonneuses, le fond et les parois sont rubéfiées. Aucun mobilier n'a été vu. La fosse est défi nitivement fermée par l'US 12 qui mesure 13 cm d'épaisseur et qui est un limon sableux légèrement argileux, brun, meuble, hétérogène avec des inclusions de poches sableuses jaunes, quelques charbons et de nombreuses bioturbations. Cet apport massif traduit probablement une fermeture volontaire.	**71**
Fosse F03. Fouille du quart sud-est de la fosse. (cf. plan et relevé archéologique en annexe)	**US 7**	La Tène finale – période gallo-romaine.	Structure de combustion - Fosse de charbonnage	La fosse est de forme rectangulaire et orientée nord-ouest / sud-est. F03 mesure 2,40 m de longueur par 1,40 m de largeur et elle est conservée sur une épaisseur de 0,30 m, ses parois sont verticales, son fond est plat. Le comblement est constitué de quatre couches qui sont plus ou moins charbonneuses, le fond et les parois sont rubéfiés. Aucun mobilier n'a été trouvé. La couche la plus ancienne est l'US 11 qui correspond au creusement et à la rubéfaction de l'encaissant US 06. La rubéfaction est plus prononcée le long des parois nord et ouest de la fosse où elle atteint environ 4 cm d'épaisseur, tandis qu'elle est très peu visible sur les parois est et sud et sur le fond. Au fond de la fosse, les dalles de calcaire de l'US 05 ne sont pas thermofractées, elles portent de faibles traces de rubéfaction se traduisant par une couleur légèrement rosée et par une friabilité superficielle conséquente au processus de chauffe. L'US 08 est un limon sableux légèrement argileux et très charbonneux de couleur brun noir. Cette US correspond au comblement de la fosse probablement de manière volontaire du fait de la forte teneur en charbon. Le centre de la fosse est ensuite comblé dans l'ordre stratigraphique par l'US 09 puis par l'US 07. L'US 09 est un limon sableux légèrement argileux de couleur brun avec des poches de sable. Cette couche est charbonneuse, elle est marquée de la présence de plusieurs terriers. L'US 07 est un limon sableux légèrement argileux, brun homogène et légèrement charbonneux. Cet apport massif en deux temps indique vraisemblablement un comblement volontaire. La lecture de la stratigraphie montre que la fosse a fait l'objet d'au moins deux chauffes, la fosse a ensuite été partiellement comblée par un apport de terres charbonneuses (US8, US7, US 9) puis définitivement par deux couches de terres moins charbonneuses (US1 et US2).	**72**
	US 8				**72**
	US 9				**71**
					286

Fig. 1 – Tableau présentant l'inventaire des prélèvements, les datations, les descriptions des niveaux de comblement et les comptages anthracologiques effectués.

Remarque :

Le tamisage a été commandé auprès du Centre de Recherche Archéologique de la Vallée de l'Oise (CRAVO). Ce tamisage a été réalisé par flottation. Des mailles de 2 mm et de 0,5 mm ont été utilisées, en vue notamment de réaliser des études carpologiques. Les quatre prélèvements ont donc été sous-échantillonnés en lots de fragments supérieurs à 2 mm et entre 2 et 0,5 mm. Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes concentrés sur les lots issus des refus de tamis supérieurs à 2 mm, lots qui paraissaient les plus prometteurs en termes d'informations anthracologiques. Toutefois, quelques fragments de taille comprise entre 2 et 0,5 mm ont été observés pour comparaison. Aucune différence importante n'est ressortie de cette vérification.

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

Cette technique est peu pertinente pour les compositions anthracologiques de faibles diversités, ce qui est le cas des lots étudiés. En effet, les lots sont composés d'une à quatre essences maximum.

La courbe « effort-rendement » réalisée pour le prélèvement de la fosse F07 (SD76 - F7 – US 12), lot comprenant quatre taxons pour 71 charbons observés, montre un seuil compris entre 35 et 70 charbons (Fig. 2). Ce seuil a systématiquement été atteint.

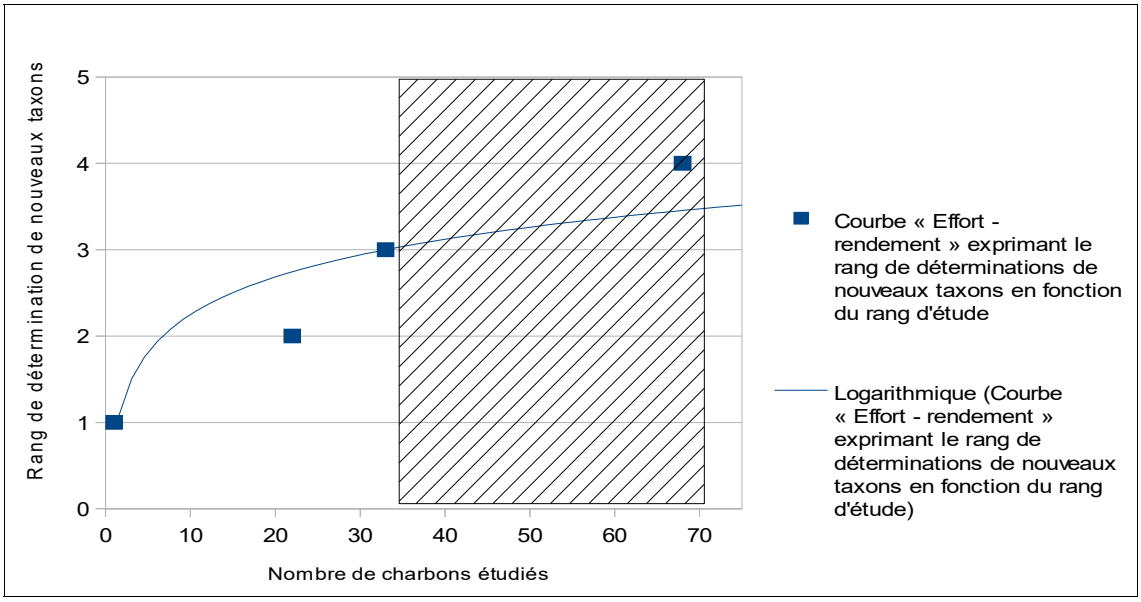


Fig. 2 – Courbe effort-rendement obtenue pour le prélèvement de la fosse F07 (SD76 - F7 – US 12). Dans cet exemple, le quatrième taxon (*Corylus avellana*) a été observé au rang 68 et le seuil « d'effort - rendement » est estimé entre 35 et 70 charbons. 71 fragments ont été observés pour ce lot.

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 de 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 quatre 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. 3 - 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.

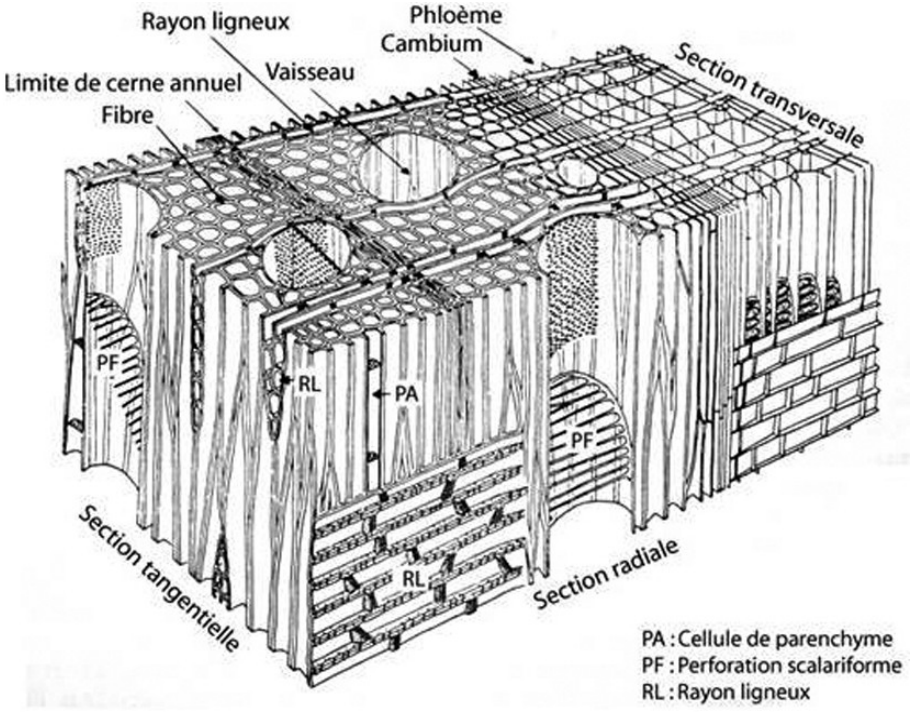


Fig. 4 - Schéma présentant les différents plans anatomiques du bois d'angiosperme.

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 / Castenea* » 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 :

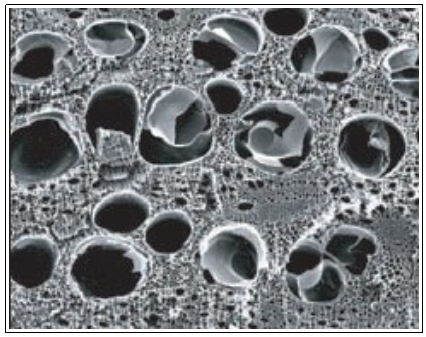
- l'allure des limites de cernes (de courbure très faible, intermédiaire ou nettement courbe, (cf. chapitre 2.3. sur les observations macroscopiques)), pour estimer la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses.

- 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

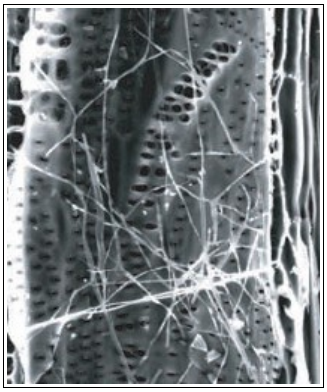
Les thylles ou extensions de cellules parenchymateuses vont venir combler les cavités cellulaires des vaisseaux dans le duramen (ou bois de cœur des arbres). En effet, la partie centrale morte d'un tronc se transforme peu à peu. Certains auteurs parlent de "duraminisation". Cette transformation s'accompagne 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. 5 – 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.

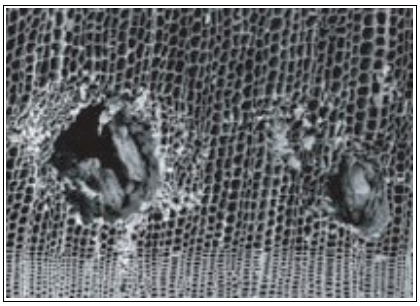
Fig. 6 – Hyphes de champignons dans un vaisseau de charbon de chêne (Marguerie *et al.*, 2010).

- 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. 7 – 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. 8 – 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 anaéorobie" (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. Oillic 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.

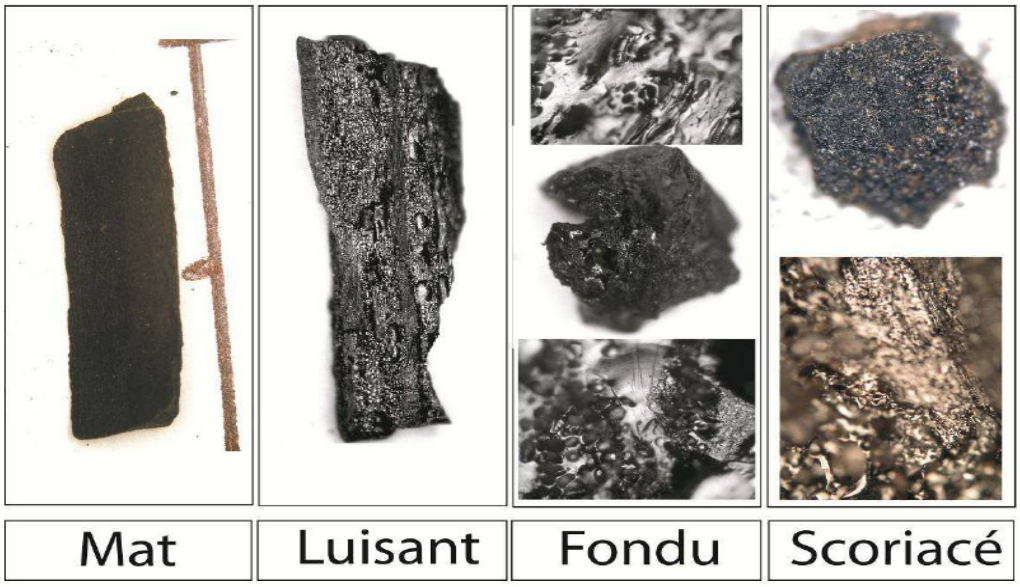
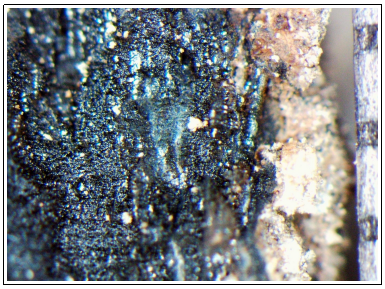


Fig. 9 – Les quatre degrés de vitrification observés dans les lots anthracologiques (Oilic, 2011).

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. 10) a donc parfois été utilisé.

Fig. 10 – 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.

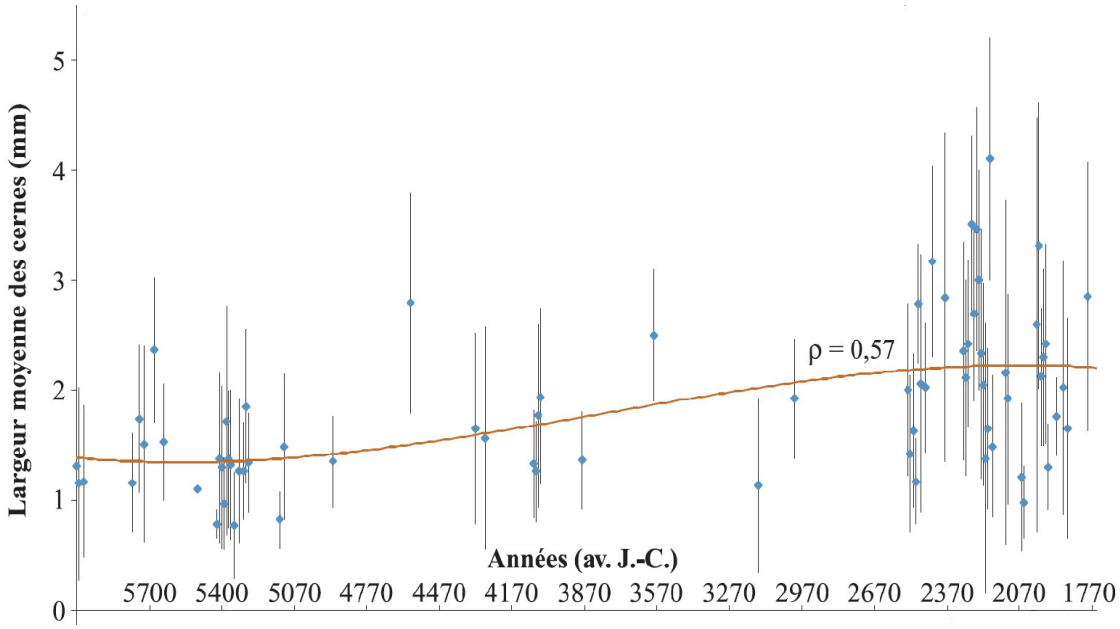


Fig. 11 – Graphique exprimant des largeurs moyennes de cerne en fonction du temps pour des études de l'ouest de la France (Marguerie *et al.*, 2010).

Le graphique ci-dessus exprime des largeurs moyennes de cerne entre le Néolithique et l'Antiquité (Fig. 11). 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. 12). 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.

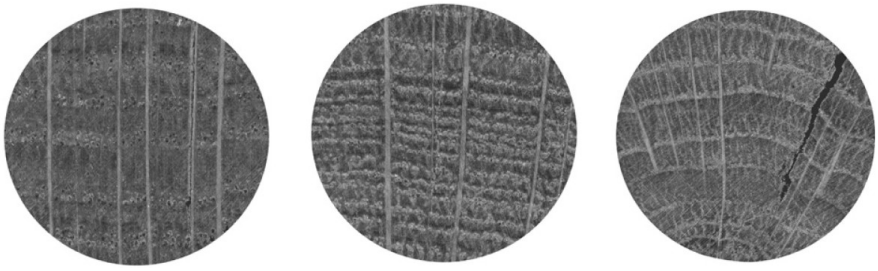


Fig. 12 – Les trois catégories des courbures de cerne annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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. 13). 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. 13).

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 consumées, 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).

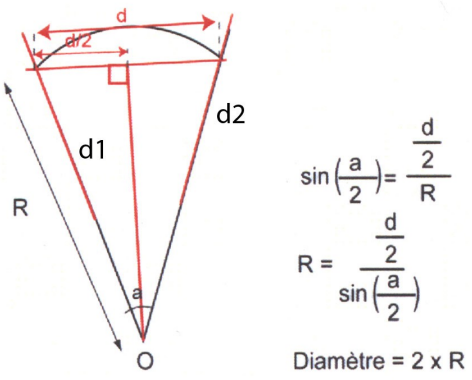


Fig. 13 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis S., 2007).

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. 14, 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.

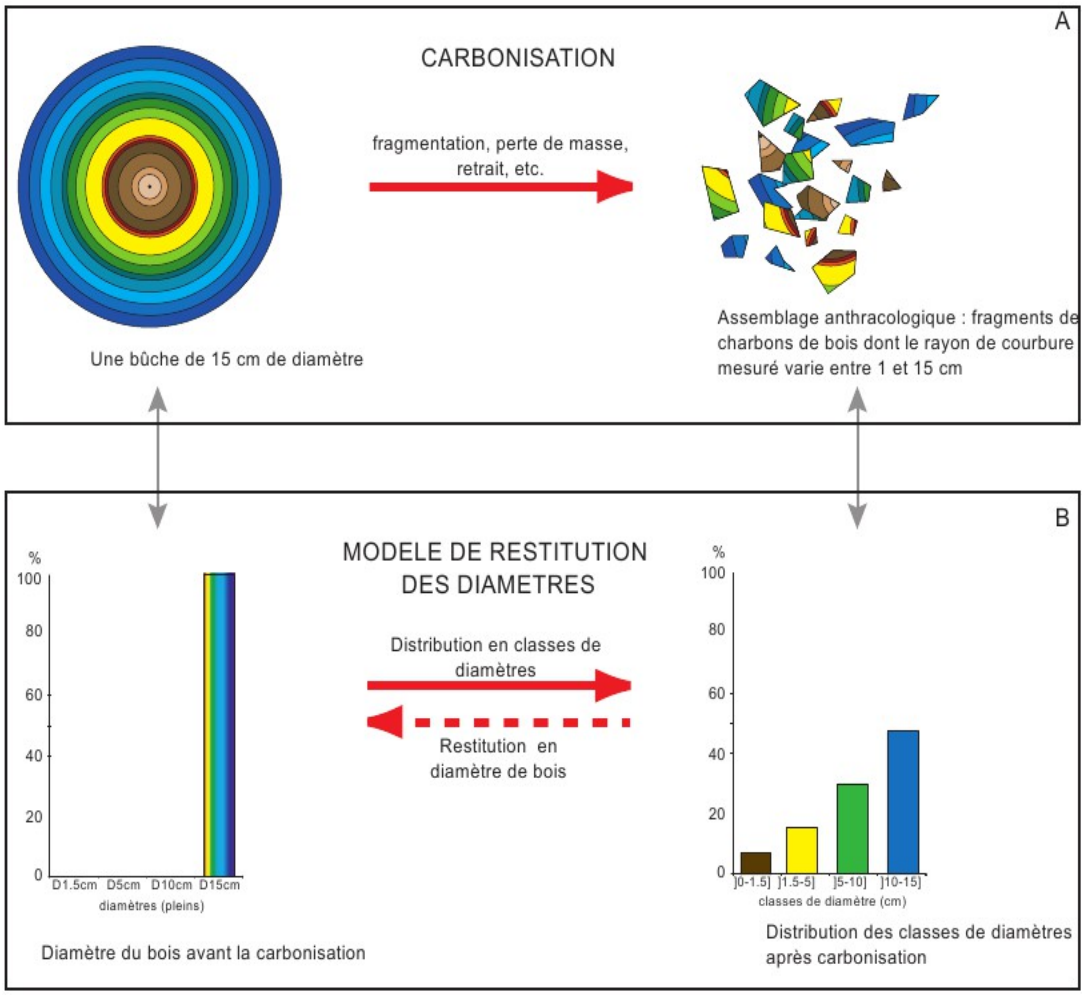


Fig. 14 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraisse *et al.*, 2011).

Remarque : Dans le cadre de cette étude, la calibration n'a été réalisée que sur une trentaine de charbons du lot de la fosse « F3 – US8 » (cf. chapitre 3.2.1.), car les fragments des autres lots étaient de taille trop réduite (généralement inférieure à 0,5 mm).

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

L'étude des quatre prélèvements a permis de déterminer quatre taxons anthracologiques. Toutefois, trois des quatre lots ne sont composés que d'un ou deux taxons dont principalement le chêne caducifolié (*Quercus sp.*).

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. La distinction du chêne et du châtaignier se fait par l'identification d'un critère anatomique : les rayons multisériés chez le chêne. Or, sur les très petits fragments, l'absence de ce seul 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 mâtures. C'est une essence d'ombre en climat sec et de lumière en climat humide. Il constitue un excellent bois de chauffage et fournit un charbon très estimé.

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

Fig. 15 – Représentation du noisetier (*Corylus avellana*), extrait de l'encyclopédie Larousse.

3. RESULTATS D'ANALYSE ET INTERPRÉTATION

Les résultats sont présentés par structure de combustion (Fig. 1).

3.1. Prélèvement collecté dans la fosse 07 – US 12

3.1.1. Résultats

		Courbure			Rythme		Combustion							
Nom Espèce	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
Corylus avellana	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fagus sylvatica	2	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	0
Quercus/Castanea	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Quercus sp.	59	1	33	11	27	9	1	40	8	0	0	2	0	28

Fig. 16 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fosse F07 – US 12.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	2	1,71	0	1,71	1,71
Quercus sp.	Faible et intermediaire	Régulier	25	64	1,76	0,72	0,55	3,8

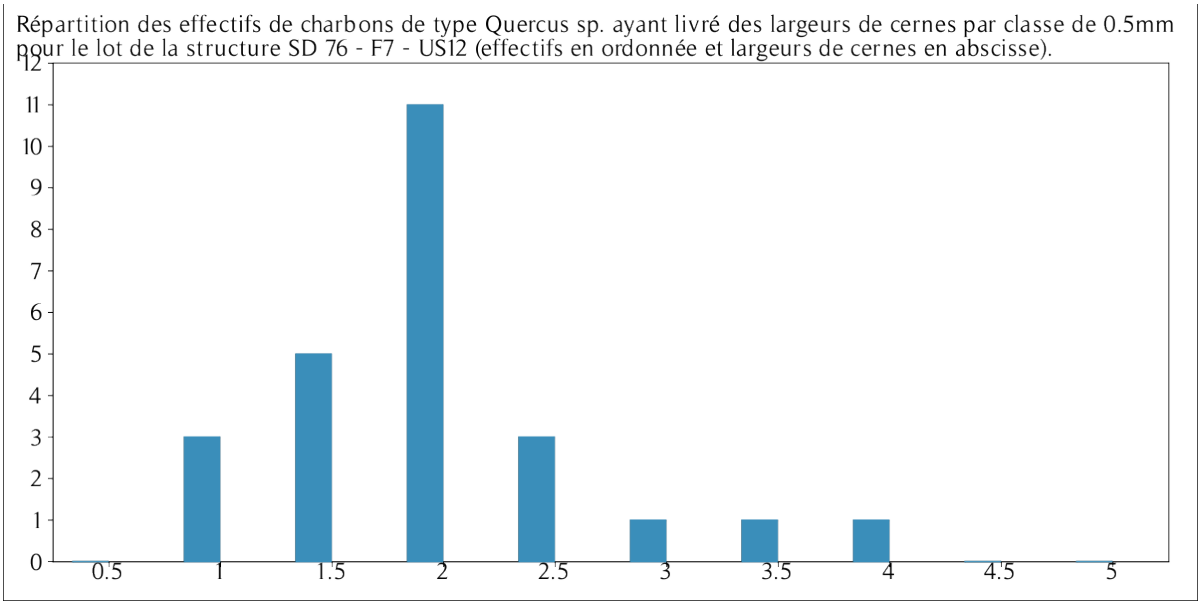


Fig. 17 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure forte à intermédiaire. Prélèvement de la fosse F07 – US 12.

3.1.2. Interprétations

Quatre taxons ont été identifiés dans ce lot. Le chêne est très largement majoritaire, quelques fragments de hêtre (*Fagus sylvatica*), chêne-châtaignier (*Quercus sp. - Castanea sp.*) et noisetier (*Corylus avellana*) complètent l'ensemble.

Il s'agit principalement de bois de moyen calibre (courbures de cerne intermédiaires) pour le chêne et de petit calibre pour le hêtre et le noisetier. Notons pour le noisetier qu'une section complète a pu être mesurée, indiquant un rayon d'environ 7 mm. Le hêtre et le noisetier ne sont donc présentes que sous la forme de petites branches voire de brindilles et sont donc probablement davantage le fait « des aléas » de la collecte plutôt que d'un véritable choix. Ils ont néanmoins pu être utilisés pour la phase d'allumage de la combustion.

Les charbons présentent souvent des aspects « durs-luisants » ou « fendus-luisants » (environ 60% des fragments). Ils correspondent à un premier niveau de vitrification et sont synonymes de contextes de combustion chauds et fermés (Blaizot *et al.,* 2004). L'hypothèse d'une combustion à l'intérieur d'une fosse de charbonnage apparaît cohérente avec ce type d'aspect (Oilic, 2011).

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

Des mesures de largeurs de cernes ont été effectuées sur quelques fragments de chêne. L'étude a permis de calculer une moyenne de l'ordre de 1,76 mm (calcul sur des fragments de courbure faible à intermédiaire et rythmes de croissance réguliers). Cette valeur correspond à des contextes de croissance difficiles (boisements denses, sols pauvres ?). (Fig. 17). L'histogramme des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les fragments de courbure faible à intermédiaire montre des valeurs assez bien centrées autour de 1,5 mm à 2 mm (Fig. 17). Ce constat va dans le sens d'une collecte bien circonscrite.

3.2. Prélèvements collectés dans la fosse F3 US 7, US 8 et US 9

3.2.1. Résultats

- ***Prélèvement de la Fosse F3 - US 7***

		Courbure			Rythme		Combustion							
Nom Espèce	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
Fagus sylvatica	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Frag. herbacée - Poacée	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Frag. ecorce ou coquille?	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
Quercus sp.	64	2	30	2	30	2	0	55	6	0	0	3	0	24

Fig. 18 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fosse F03 – US 7.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	1	2	1,22	0	1,22	1,22
Quercus sp.	Faible et intermediaire	Régulier	29	81	1,1	0,47	0,33	2,13

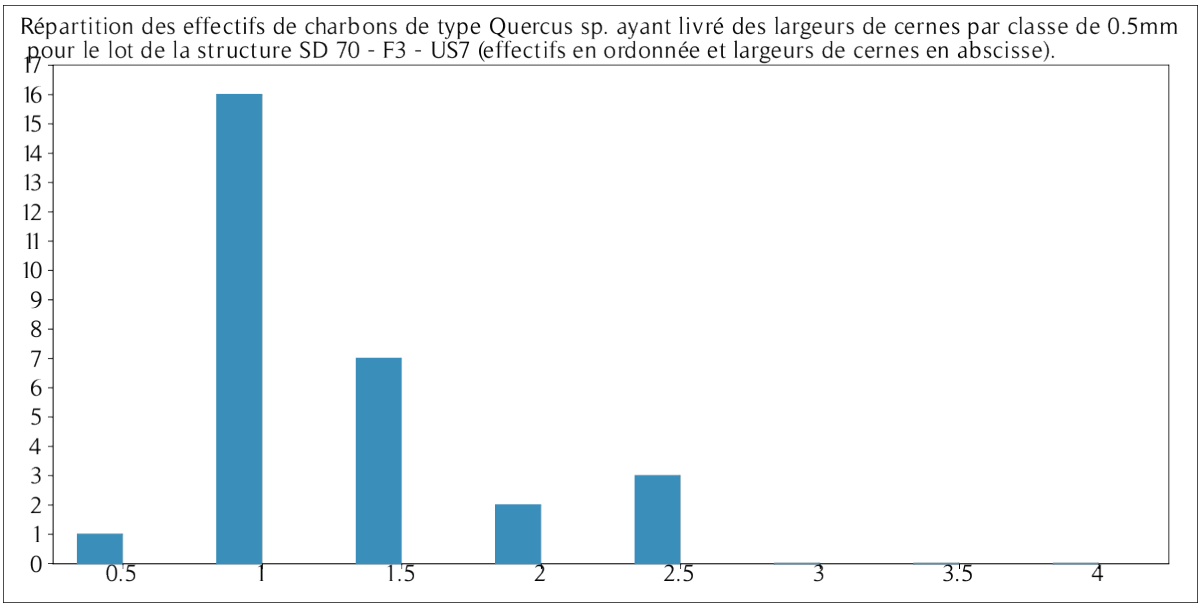


Fig. 19 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure forte à intermédiaire. Prélèvement de la fosse F03 – US 7.

- ***Prélèvement de la Fosse F3 - US 9***

		Courbure			Rythme		Combustion							
Nom Espèce	Effectif	Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu / Luisant	Scoriacé - magma informe solidifié	Fendu / Luisant / noeud	Fondu très brillant - struct. Inform	Aspect granulaux – indet.	Thylle
Fagus sylvatica	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Frag. herbacée - Poacée	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Quercus/Castanea	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	67	2	23	11	21	8	0	44	10	0	0	3	0	17

Fig. 20 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fosse F03 – US 9.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	2	6	1,74	0,03	1,71	1,76
Quercus sp.	Faible et intermediaire	Régulier	21	63	1,22	0,53	0,54	2,3

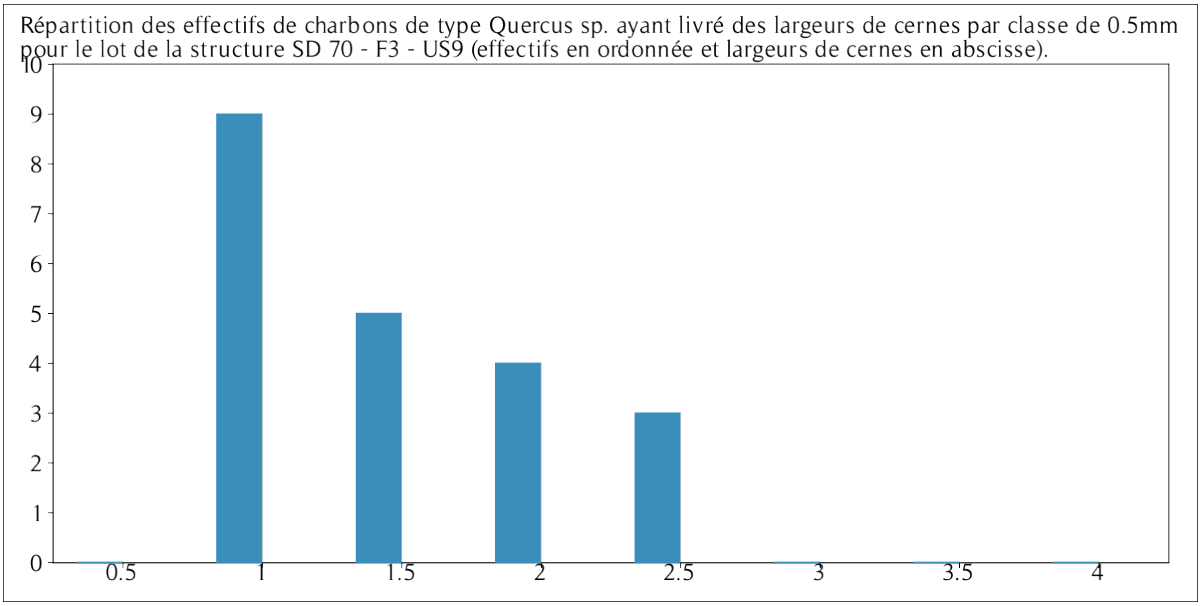


Fig. 21 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure forte à intermédiaire. Prélèvement de la fosse F03 – US 9.

- ***Prélèvement de la Fosse F3 - US 8***

		Courbure			Rythme		Combustion								
Nom Espèce	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	Moelle
Frag. herbacée - Poacée	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Quercus sp.	69	4	44	7	49	4	0	43	18	0	0	1	0	33	1

Fig. 22 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement de la fosse F03 – US 8.

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	4	17	1,11	0,29	0,83	1,49
Quercus sp.	Faible et intermediaire	Régulier	45	163	1,17	0,49	0,53	2,86

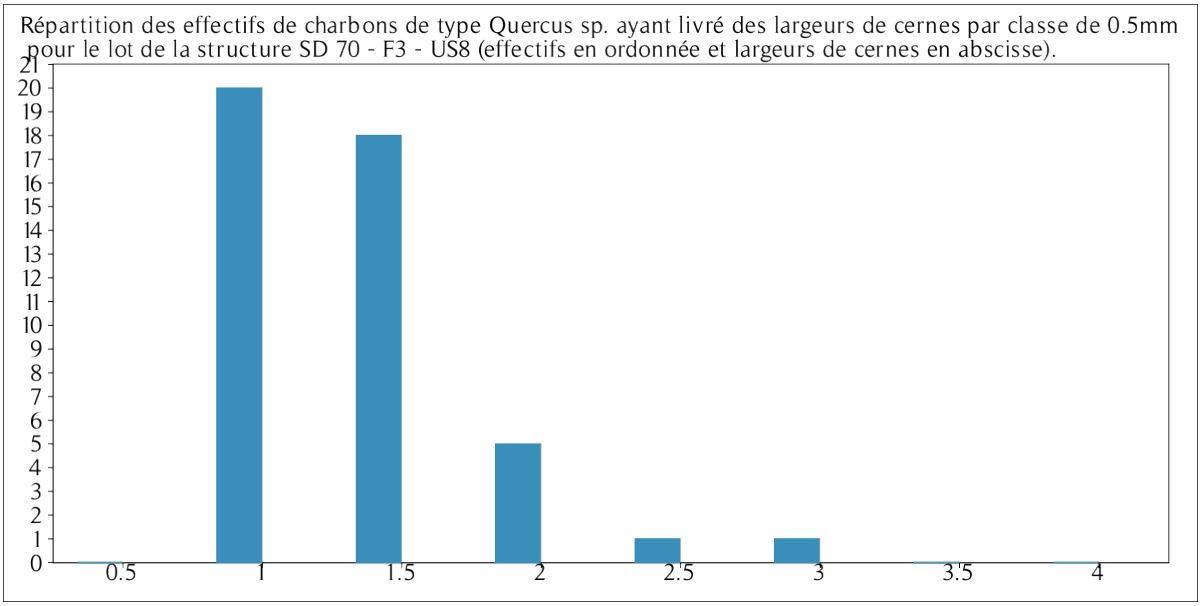


Fig. 23 – Tableau et histogramme des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure forte à intermédiaire. Prélèvement de la fosse F03 – US 8.

– ***Calibration à partir des fragments de la Fosse F3 - US 8***

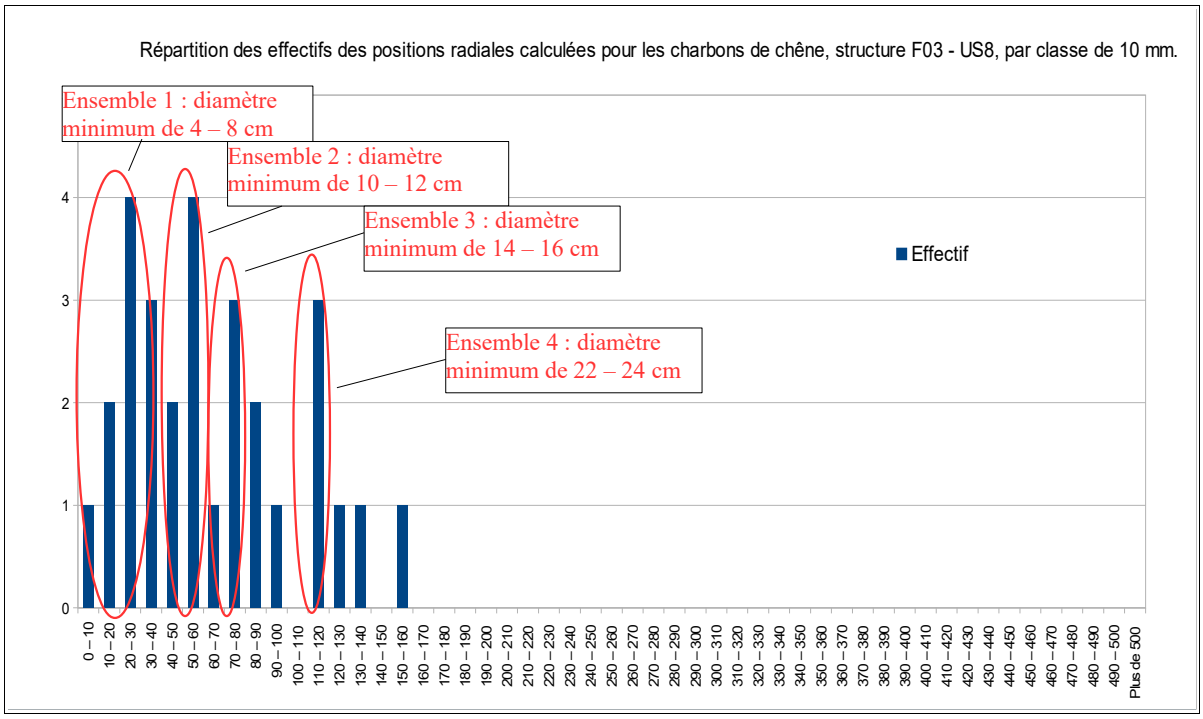


Fig. 24 – Distribution des positions radiales calculées pour 29 fragments, par classe de 10 mm. Fragments de la fosse F3 – US 8.

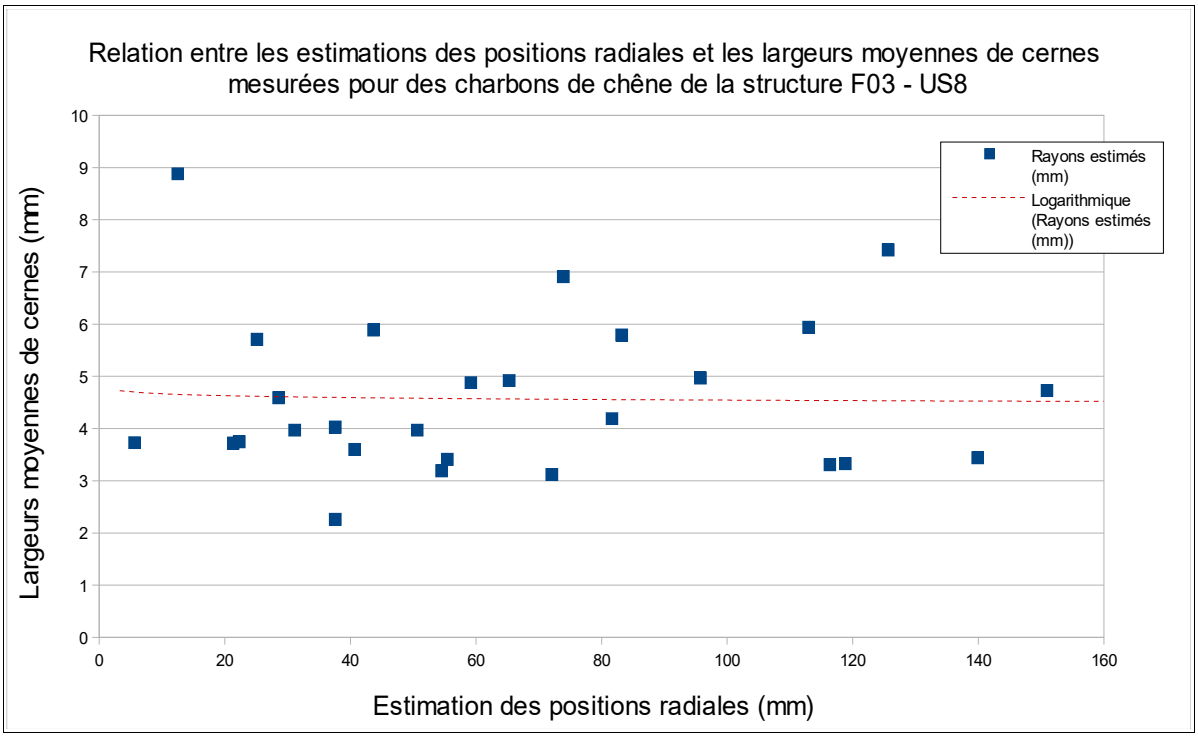


Fig.25 - Répartition des largeurs de cernes des charbons de chêne en fonction de leur position radiale. Fragments de la fosse F3 – US 8.

3.2.2. Interprétations

Les trois prélèvements proviennent des US de comblement de la fosse F3. Ils sont apparus assez semblables tant au niveau des essences rencontrées que des critères anatomiques mesurés.

Les lots sont essentiellement composés de charbons de chêne (*Quercus sp.*) à plus de 90 %. Quelques fragments d'herbacées et ligneux, de rares charbons de hêtre (*Fagus sylvatica*) et chêne-châtaignier (*Quercus sp. - Castanea sp.*) complètent les ensembles (Fig. 20).

Le chêne et le hêtre sont des bois durs et denses. Ils sont donc énergétiques à la combustion, leurs braises durent longtemps et rayonnent davantage. Ils sont connus pour être d'excellents combustibles (Rameau *et al.*, 1989). Ils se prêtent bien aux pratiques de charbonnage. La sous-représentation du hêtre pose question. Cela traduit peut-être un choix par rapport au système technique auquel le combustible était destiné (atelier de métallurgie, atelier de potier, utilisation domestique?...)

Les restes d'herbacées de racines et autres fragments ligneux non carbonisés correspondent vraisemblablement à des apports liés aux bioturbations signalées dans les trois US (Etchart-Salas, 2019).

En ce qui concerne le calibre des bois, on constate dans les trois lots des fragments provenant surtout de bois de chêne de moyen calibre (entre 30 et 60 % des fragments de chêne montrent une courbure de cerne intermédiaire), voire de petit calibre (environ 15% des fragments de chêne pour le lot de l'US 9).

Des calculs basés sur des mesures d'angles des rayons ont permis d'estimer les positions radiales d'une trentaine de fragments de chêne du lot de l'US 8 (Fig. 24). Quatre ensembles ont pu être discernés : un premier ensemble correspondant à des bois de 4 cm à 8 cm de diamètre minimum, puis un second de 10 à 12 cm, un troisième de 14 à 16 cm et un ensemble dont le diamètre minimum serait autour de 22 à 24 mm.

On peut donc supposer que les charbons proviennent de bois de diamètre minimum compris entre 4 cm et 24 cm. A noter que les dernières mesures éparses (sur la partie droite de l'histogramme, Fig. 24), sont à considérer avec précaution car les mesures au delà de 20 cm perdent en précision (Dufraisse, 2011).

Une part importante des charbons se caractérise par un aspect « dur-luisant » (environ 60 à 85 % des charbons de chêne), quelques fragments présentaient même des aspects « fondus – très brillants », significatifs d'un degré de vitrification plus important. Ces observations sont la conséquence de combustions en conditions chaudes et anaérobies. Ces traits sont typiques de charbons ayant fait l'objet de combustions en milieu fermé (Blaizot et al., 2004 ; Oilic, 2011) et vraisemblablement, au regard de la description des structures archéologiques, de pratiques de charbonnage en fosse.

Mis à part pour une vingtaine de charbons du lot de l'US 8, assez peu de fragments présentaient des fentes de retrait caractéristiques de bois brûlés à l'état « vert ». Le bois a donc globalement été utilisé à l'état sec.

Les mesures de largeurs de cerne ont permis de calculer des moyennes comprises entre de 1,11 et 1,22 mm. Ce sont des valeurs caractéristiques de conditions de croissance difficiles (boisements denses, sols pauvres ?) (Fig. 19, 21 et 23). La forme des histogrammes de valeurs montrent des distributions assez bien centrées

autour des moyennes (il n'y a qu'un mode par graphique), ce qui traduit des ramassages bien définis.

Enfin la mise en relation des largeurs de cernes en fonction des positions radiales des fragments de chêne permet de faire ressortir une très légère tendance avec une croissance plus dynamique lors des premiers stades de vie des arbres (Fig. 25). On constate en effet des largeurs de cernes plus larges pour les fragments situés dans la partie centrale de l'arbre. Cette tendance est typique d'arbres poussant dans les forêts traitées en « futaie » (Fig. 29). Néanmoins, cette tendance apparaît fortement perturbée. Il semble y avoir des fragments provenant des parties périphériques avec de fortes croissances (points situés à droite et en haut du graphique, Fig. 25). Ce constat est caractéristique d'irrégularités, voire de ressauts de croissance.

De telles irrégularités de croissance ont d'ailleurs été observées sur quelques fragments (Fig. 26). Il pourrait s'agir des conséquences de coupes réalisées sur les arbres dans le cadre de traitements de type « taillis-sous-futaie » (cf exemple figure 29 et chapitre de synthèse).

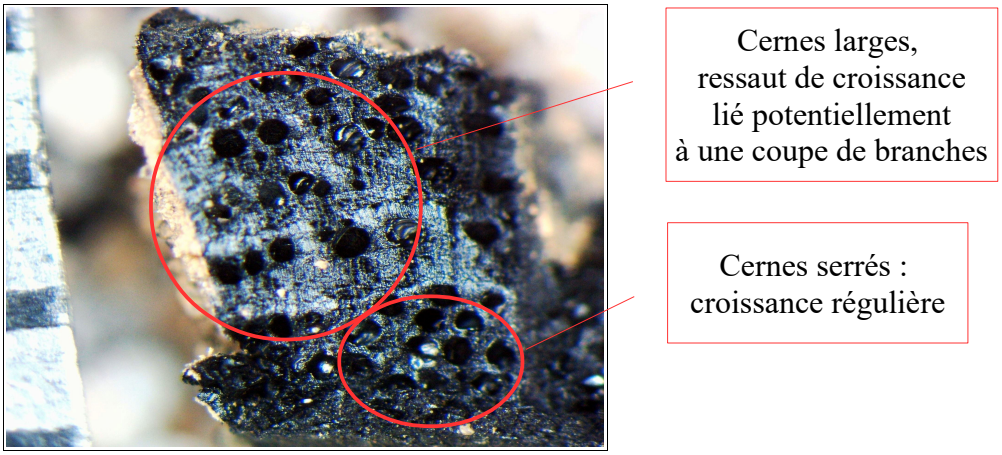


Fig.26 - Fragments montrant des irrégularités de croissance (lot F3 - US9, grossissement x25).

4. BILAN

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation sous l'angle des vestiges ligneux. 286 fragments ont été observés pour les quatre prélèvements étudiés.

Tableaux récapitulatifs :

N° inventaire et comblements associés	**Taxons**	**Hypothèses techniques**	**Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.**
Prélèvement de la fosse F7 – US 12 1 lot étudié.	Chêne (*Quercus sp.*), Hêtre (*Fagus sylvatica*), noisetier (*Corylus avellana*), chêne - châtaignier (*Quercus sp. - Castanea sp.*)	**Restes charbonneux associés à une activité de charbonnage.** Il s'agit principalement de bois de moyen calibre (courbures de cerne intermédiaires) pour le chêne et de petit calibre pour le hêtre et le noisetier. Ces deux essences ont pu être utilisées pour la phase d'allumage de la combustion. Les charbons présentent souvent des aspects « durs-luisants » ou « fendus-luisants » (environ 60% des fragments). Ils correspondent à un premier niveau de vitrification et sont synonymes de contextes de combustion chauds et fermés. L'hypothèse d'une combustion à l'intérieur d'une fosse de charbonnage apparaît cohérente avec cet aspect des charbons. Très peu de fentes de retrait ont été observées ce qui indique l'utilisation de bois sec. L'histogramme des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les fragments de faible et moyenne courbure montre des valeurs assez bien centrées autour de 1,5 mm à 2 mm. Ce constat va dans le sens d'une collecte bien circonscrite.	**Boisement de type chênaie - hêtraie :** *Quercus sp., Fagus sylvatica, Quercus sp. - Castanea sp.* **Boisement ouvert, lisière, haie :** *Corylus avellana.* **Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :** Moy. = 1,76 mm (N=25 ; Ec-type = 0,72 mm) Contextes de croissance difficiles (sols pauvres, boisements denses?)

Fig. 27 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour le prélèvement associé à la Fosse F7 – US 12.

N° inventaire et comblements associés	Taxons	Hypothèses techniques	Aires de collecte : informations sur les types et structures des boisements.
Prélèvement de la fosse F3 – US 7, US 8, US 9 3 lots étudiés provenant des niveaux de comblement de la fosse F3.	Chêne (*Quercus sp.*), Hêtre (*Fagus sylvatica*), chêne-châtaignier (*Quercus sp. - Castanea sp.*)	**Restes charbonneux associés à une activité de charbonnage.** Les trois ensembles anthracologiques sont apparus semblables tant au niveau des essences rencontrées que des critères anatomiques mesurés. On constate dans les trois lots des fragments provenant surtout de bois de chêne de moyen calibre. Des calculs basés sur des mesures d'angles des rayons ont permis d'estimer les positions radiales d'une trentaine de fragments de chêne. Quatre ensembles ont pu être discernés : un premier ensemble correspondant à des bois de 4 cm à 8 cm de diamètre minimum, puis un second de 10 à 12 cm, un troisième de 14 à 16 cm et un ensemble dont le diamètre minimum serait autour de 22 à 24 mm. On peut donc supposer que les charbons proviennent de bois de diamètre minimum compris entre 4 cm et 24 cm. Une part importante des charbons se caractérise par un aspect « dur-luisant » (environ 60 à 85 % des charbons de chêne), quelques fragments présentaient même des aspects « fondus – très brillants », significatif d'un degré de vitrification plus important. Ces observations sont la conséquence de combustions en conditions chaudes et anaérobies. Ces traits sont typiques de charbons ayant fait l'objet de combustions en milieu fermé. Au regard de la description des structures archéologiques, la pratique de charbonnage en fosse est plausible. Assez peu de fragments présentaient des fentes de retrait caractéristiques de bois brûlés à l'état « vert ». Le bois a donc globalement été utilisé à l'état sec. La forme des histogrammes de valeurs montrent des distributions assez bien centrées autour des moyennes (il n'y a qu'un mode par graphique), ce qui traduit des ramassages bien définis.	**Boisement de type chênaie - hêtraie :** *Quercus sp., Fagus sylvatica, Quercus sp. - Castanea sp.* **Mesures sur fragments de chêne de faible et moyenne courbure :** Lot US 7, Moy. = 1,1 mm (N=29 ; Ec-type = 0,47 mm) Lot US 8, Moy. = 1,22 mm (N=21 ; Ec-type = 0,53 mm) Lot US 9, Moy. = 1,17 mm (N=45 ; Ec-type = 0,49 mm) Contextes de croissance difficiles (sols pauvres, boisements denses?)

Fig. 28 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour les prélèvements associés à la Fosse F3 – US 7, US 8, US 9.

- ***Informations d'ordre environnemental***

Seulement quatre taxons anthracologiques ont été identifiés dans cette étude. Le taxon dominant correspond au chêne, il forme l'essentiel des ensembles anthracologiques. On constate ensuite quelques rares fragments de hêtre, « chêne-châtaignier » et de noisetier. Le noisetier est détecté uniquement dans le lot de la fosse F7 – US12.

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

- les groupements forestiers de la **chênaie diversifiée** avec le chêne (*Quercus sp.*), le chêne-châtaignier (*Quercus sp. / Castanea sp.*) et de **la chênaie-hêtraie** avec le chêne (*Quercus sp.*), le hêtre (*Fagus sp.*). 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-est de la France (Gaudin, 2019).

- **les lisières forestières, haies, associations héliophiles** : avec la détection du noisetier (*Corylus avellana*). Cette essence attestent l'existence d'espaces ouverts ou clairsemés dans l'aire de ramassage.

Notons qu'aucun reste de végétations hygrophiles (exemple : saule, aulne) n'a été détecté. L'aire de ramassage semble donc être restée éloignée des zones humides telles que les bords de rivières ou zones alluviales.

La faible représentation du hêtre, pourtant excellent combustible et bien représenté par la palynologie dans les forêts du Subatlantique du nord-est de la France (Gaudin, 2019) est à souligner.

Les mesures de largeurs de cerne réalisées sur les fragments de chêne de gros et moyen calibre ont permis de calculer des moyennes de largeurs de cerne pour les quatre prélèvements. Nous constatons des valeurs moyennes assez homogènes, centrées entre 1 et 1,25 mm pour la fosse F3 et 1,71 mm pour le lot de la fosse F7. Ces valeurs correspondent à des croissances difficiles, en liaison avec des contextes abiotiques (exemple sols pauvres, météorologie,...) et/ou biotiques contraignants (compétition vis à vis des ressources, exemple chênaie dense).

Nous avons observé sur certains fragments des « ressauts de croissance » (Fig. 26) mis en évidence aussi par la mise en relation des mesures de calibration et des largeurs de cernes (Fig. 25). 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. 29). 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. 30). Cette hypothèse trouve aussi quelques crédits dans le mode de prélèvement constaté (en grande partie des branches) mais aussi dans la composition des bois prélevés, essentiellement du chêne. Car c'est une essence qui « rejette » bien de souche et qui serait adaptée à ce type de gestion sylvicole. Notons d'ailleurs que le hêtre, essence très peu représentée, ne rejette que « moyennement » de souche après coupe.

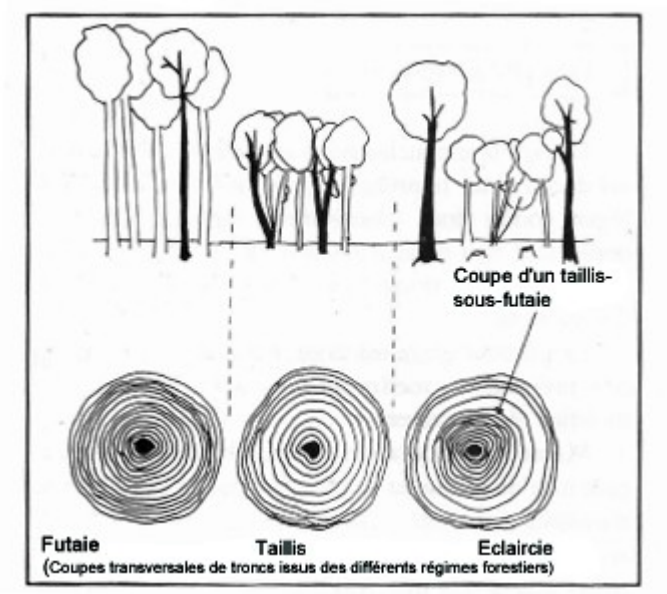


Fig. 29 – Schéma des trois régimes forestiers : futaie, taillis, taillis-sous-futaie.

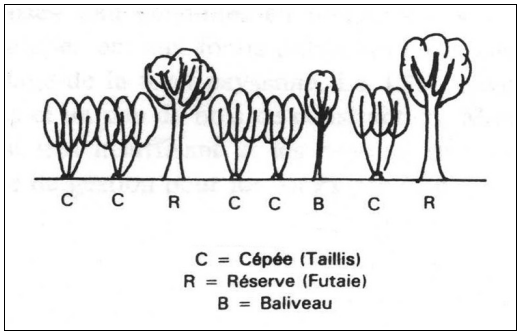


Fig. 30 - Illustration du mode de gestion sylvicole de type « taillis-sous-futaie ».

- ***Informations d'ordre technique :***

De façon générale, les quatre ensembles charbonneux étudiés présentent des compositions semblables :

- Les lots sont composés essentiellement de fragments de chêne provenant de bois de moyen calibre, accompagnés de quelques fragments de hêtre et de noisetier correspondant à des bois de petits calibres. Les quelques différences de composition, notamment au niveau des essences accompagnatrices, semblent assez secondaires et sont probablement liées aux aléas des différents approvisionnements. Les fragments montrant des courbures de cerne faibles sont assez rares. C'est donc avant tout du bois de branches, avec probablement quelques brindilles peut-être pour l'allumage, qui ont été utilisés. Seuls quelques charbons pourraient provenir de bois de gros calibre (grosses branches) mais qui n'ont dû être utilisés que très ponctuellement.

  Une étude de calibration a permis de préciser le diamètre des bois utilisés pour le lot de la fosse F3 – US8. Les mesures ont montré l'utilisation de bois compris entre 4 et 24 cm de diamètre minimum avec toutefois une légère prédominance de bois compris entre 4 et 12 cm.

- Parmi l'ensemble des lots, très peu de charbons présentaient des fentes de retrait. On a donc prêté une attention particulière afin d'exploiter un bois à l'état sec.

- La plupart des charbons était de très petite dimension, rarement supérieure au centimètre. Cela pourrait être lié aux activités associées aux structures de combustion. En effet, dans l'hypothèse de pratiques de charbonnage, le fonctionnement implique une sélection des plus gros charbons lors du désenfournage et un rejet des plus petits fragments restés à l'intérieur ou dans les environs immédiats de la fosse.

- Une grande partie des charbons montre des aspects « durs-luisants ». Le phénomène à l'origine de ces aspects n'est pas encore parfaitement compris. Il semble néanmoins que des contextes de combustion anaérobies et de hautes températures soient favorables au processus de « vitrification » (exemple : bas fourneaux, fours, pratiques de charbonnage selon Blaizot *et al.,* 2004 ; Oilic, 2011). Pour ce qui concerne le site, au regard des indices archéologiques (formes des fosses, parois et fonds des fosses rubéfiés, contenus charbonneux régulièrement observés) l'hypothèse de pratiques de charbonnage en fosse apparaît cohérente pour expliquer les aspects observés.

L'utilisation du chêne comme essence principale n'est pas surprenante, c'est un bois dur constituant un excellent combustible et estimé pour le charbonnage. En revanche, l'absence du hêtre, lui aussi excellent combustible et bien représenté dans les forêts du début du Subatlantique du nord de la France (Gaudin, 2004, 2019) est à souligner. Un choix local, d'ordre technique au niveau des pratiques de charbonnage mais peut-être aussi pour alimenter un système technique particulier est plausible. Une comparaison avec des résultats d'analyses anthracologiques de structures de combustions similaires mais aussi de vestiges d'activités artisanales potentiellement consommatrices de tels combustibles (ateliers de potier, de métallurgie ?), pourrait nous apporter des éléments de réponse à ce sujet.

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. p. 325-344.

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

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

ETCHART-SALAS M., 2019 - Douzy, « Derrière Mohimont », « Mohimont », « Chemin dit de Mohimont » phase 2 (Ardennes). Rapport de diagnostique archéologique. Cellule archéologique du Conseil Départemental des Ardennes, 111 p.

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

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

GAUDIN L., 2019 – Analyse palynologique de la grotte diaclase de la « Karelslé » (Waldbillig). Reprise et interprétation des observations effectuées par J. Heim en 1992. *Bulletin du centre national de recherche archéologique*, 2019-5, 20-53.

MARCOUX N., 2009 - Les bois utilisés comme combustible dans l'atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer in SARRESTE F., Archéologie dans le Silléen, Rapport d'opérations archéologiques programmées. Roche-Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe). p. 20–39.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. ANNEXE – Photographies et relevés archéologiques

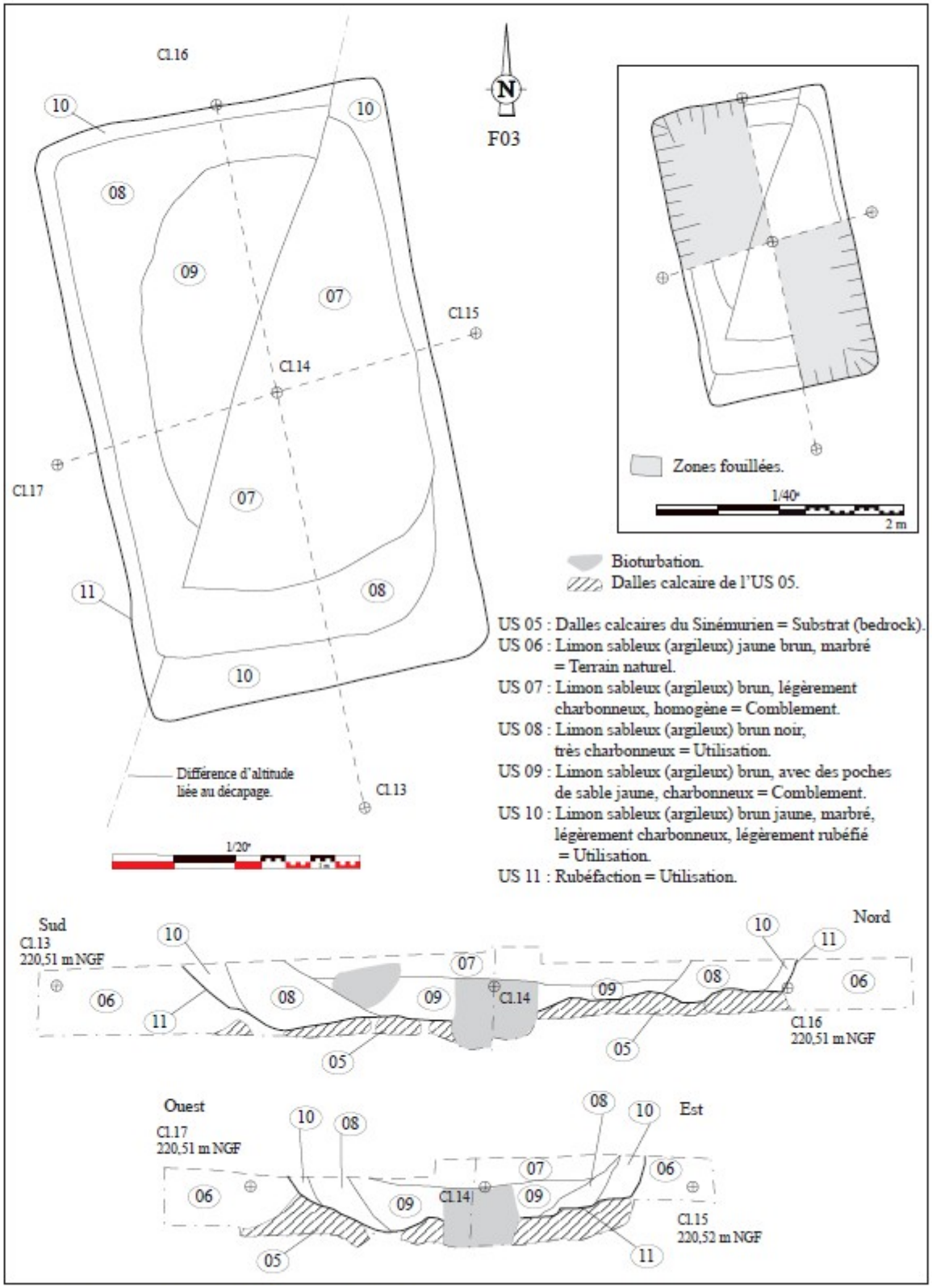


Fig. 31 – Relevé du fait F03. Extrait du rapport de fouille 2019 (Etchart-Salas, 2019).

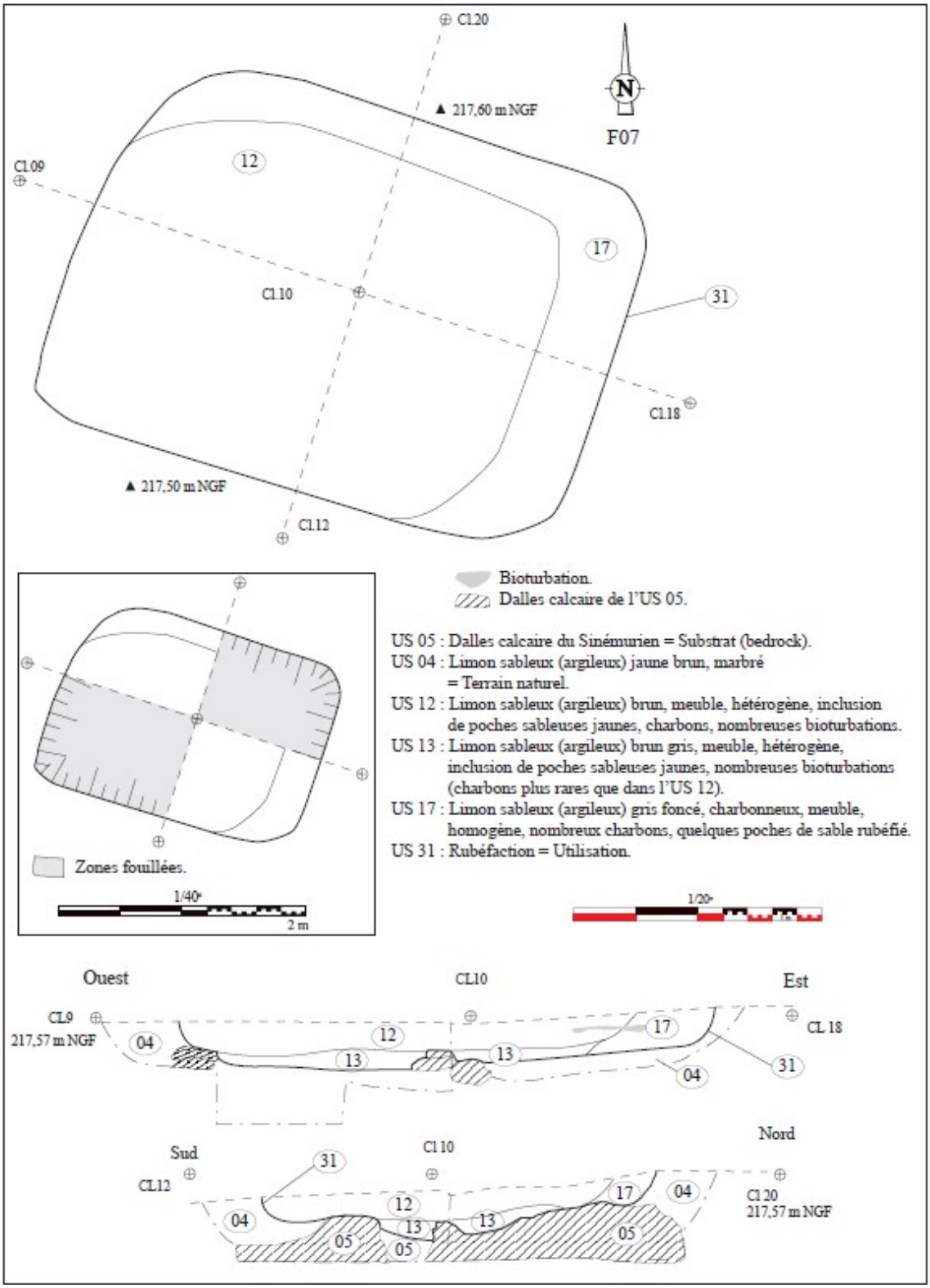


Fig. 32 – Relevé du fait F07. Extrait du rapport de fouille 2019 (Etchart-Salas, 2019).

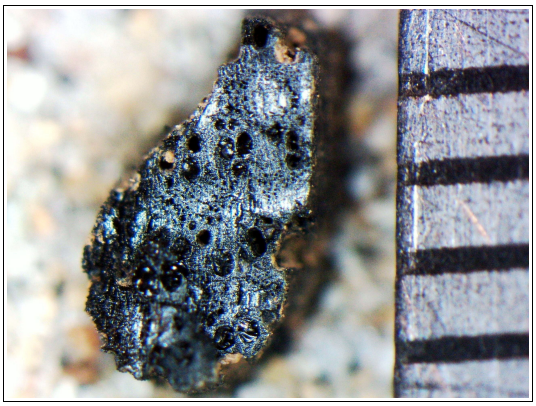


Fig. 33 – Fragment de chêne (*Quercus sp.*), aspect dur-luisant brillant. Prélèvement de la Fosse F7 – US 12. Coupe transversale. Grossissement x20. L'échelle représente des millimètres.

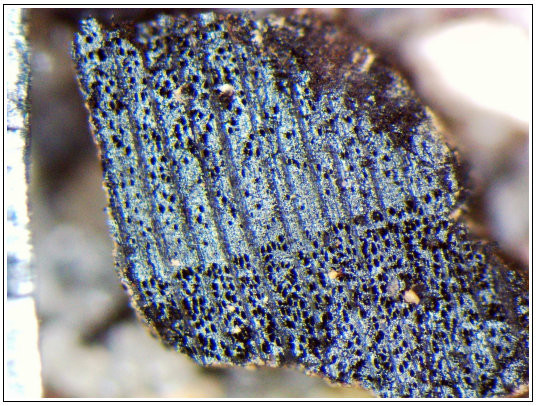


Fig. 34 – Fragment de hêtre (*Fagus sylvatica*). Fosse F3 – US 7. Coupe transversale. Grossissement x40. L'échelle représente des millimètres.

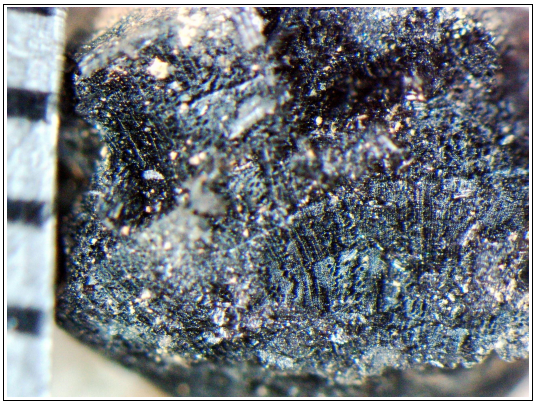


Fig. 35 – Fragment de noisetier (*Corylus avellana*). Coupe transversale. Fosse F3 – US 7. Grossissement x40. L'échelle représente des millimètres.