



# ArkéoMap

ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES  
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES

**ANALYSE DES FRAGMENTS CHARBONNEUX DE LA  
FOUILLE DU SITE N°033280850309 AH - C  
309.11, PÔLE GARE, SITUÉ RUE DU CHEMIN DE  
FER À CHARTRES (28)**



**Service Archéologie de la Ville de Chartres**

Rapport d'étude anthracologique

**Février 2016**

**Site archéologique C309.11, situé rue du Chemin de Fer à Chartres (28)**

---

**Rapport d'étude anthracologique**

---

**Loïc GAUDIN**

**Docteur en archéobotanique**

membre associé à l'UMR 6566 CReAAH

E-mail : [loic.gaudin@arkeomap.com](mailto:loic.gaudin@arkeomap.com)

---

**Février 2016**

*Illustration de la page de couverture :*

*Charbon de chêne (Quercus sp.) d'aspect dur – luisant (structure 1004)*

*Coupe transversale vue sous loupe binoculaire (laboratoire ArkéoMap)*

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>4</b>
<b>1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS.....</b>	<b>5</b>
<b>2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION .....</b>	<b>6</b>
2.1. Méthodologie.....	6
2.2. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	8
2.3. Observation macroscopique du plan ligneux .....	9
2.4. Estimation du diamètre des arbres : technique de la « calibration ».....	10
<b>3. RESULTATS D'ANALYSES.....</b>	<b>13</b>
3.1. Lots issus du contexte artisanal d'affinage des métaux.....	14
3.1.1. Résultats.....	14
3.1.2. Interprétations.....	19
3.2. Lots issus du contexte domestique.....	21
3.2.1. Résultats.....	21
3.2.2. Interprétations.....	21
<b>4. Bilan.....</b>	<b>22</b>
<b>5. Bibliographie.....</b>	<b>26</b>

## INTRODUCTION

Le site archéologique « C309.11 » situé rue du Chemin de Fer à Chartres a permis de révéler des vestiges dont les niveaux sont attribués autour de 40-80 de notre ère.

Cette opération a été menée par la Direction de l'Archéologie de la Ville de Chartres. La fouille ci-présente a été dirigée par Pascal Gibut, archéologue à la Direction de l'Archéologie.

Les charbons étudiés proviennent pour partie de restes interprétés comme des rejets issus d'un atelier d'affinage des métaux. Dans une moindre mesure quelques lots correspondant plutôt à des rejets domestiques ont aussi été étudiés.

L'étude anthracologique porte sur une sélection de cinq prélèvements. Le tamisage a été effectué par la Direction de l'Archéologie de Chartres selon des mailles de 0,5 mm, 2.8 mm, 4 mm et de niveaux supérieurs (flottation).

Les observations microscopiques ont été réalisées au sein du laboratoire ArkéoMap (Loupe binoculaire au grossissement x10 à x60 et microscope au grossissement x100). Les traitements numériques et l'élaboration du rapport ont été effectués au sein de la structure ArkéoMap. Les référentiels anthracologiques ont pu être consultés au sein du laboratoire de l'UMR 6566 « CReAAH » à l'Université de Rennes1.

# 1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les restes anthracologiques proviennent d'un inventaire de cinq prélèvements correspondant à diverses couches et structures archéologiques. 112 charbons ont été étudiés.

Les lots ainsi qu'une brève description des couches de provenance sont listés dans le tableau suivant. L'ensemble des lots anthracologiques a été observé.

Devant les effectifs importants de charbons de certains lots et compte tenu du temps alloué, il fut parfois décidé d'étudier une sélection représentative de charbons soit environ 60 charbons maximum par structure.

Une diversité taxonomique très faible (deux taxons anthracologiques) a été constatée pour l'ensemble des lots. Ce résultat était quelque peu attendu au regard du contexte artisanal. Aussi, un protocole de calibration des bois, visant à apporter davantage de renseignements d'ordre technique a été mis en place (cf. chapitre 2.3. ).

Numéro de prélèvement	US	Contexte archéologique	Période / date	Nb de charbons étudiés
1004	10010	comblement d'abandon d'un espace semi-enterré de forge	40 – 80 ap. J.-C.	60
1006	10008	comblement d'abandon d'un cellier qui jouxte l'espace précédent et qui peut lui être associé et avec une datation très proche	40 – 60 ap. J.-C.	13
1014	10026	niveau de travail avec de très nombreuses battitures, dans l'espace précédent semi-enterré	30 – 70 ap. J.-C.	25
				<b>98</b>
1064	10118	comblement au fond (utilisation?) d'un cellier (CEL 10097)	40 – 80 ap. J.-C.	3
1025	10098	comblement intermédiaire d'un cellier (CEL 10097)	40 – 80 ap. J.-C.	11
				<b>14</b>

Fig.1 – Listes des lots et effectifs étudiés.

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

### 2.1. 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 (Marguerie et Hunot, 1992) :

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

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'énorme 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.

Les charbons que nous pouvons déterminer présentent au minimum des côtés de l'ordre de 2 à 5 mm.

Le genre des ligneux carbonisés (combustion partielle) se détermine à coup sûr et souvent l'espèce. Toutefois, il est délicat, voire impossible, de distinguer spécifiquement les chênes à feuillage caduc. Les variations biotopiques au sein d'une même espèce sont souvent plus importantes que les différences interspécifiques au sein du genre.

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

Nos résultats sont consignés dans des tableaux où les taxons sont rangés par groupement écologique. Nous nous abstenons, dans un essai de reconstitution paléo-environnementale, de prendre en compte l'aspect quantitatif de nos analyses anthracologiques. Les données phyto-écologiques que nous dégagerons de notre étude reposeront donc uniquement sur les informations écologiques intrinsèques à chaque taxon attesté et sur les groupements végétaux mis en évidence. Il sera cependant 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 de précieuses 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 connaître la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses,

### **- le rythme de croissance**

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

### **- la présence de thylles**

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

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

### **- 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).

**- la largeur moyenne des cernes** figurés sur le charbon pour apprécier les caractères biotopiques, (cf. chapitre 3.3 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.

La vitrification (ou aspect luisant du charbon) affecte plus souvent des petites pièces de bois. 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. 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).

Une combustion rapide à haute température peut causer une déformation des tissus, une apparition de fissures et une fusion (Schweingruber, 1982).

- **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). 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...

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

L'étude de l'ensemble des prélèvements a permis de déterminer deux taxons anthracologiques. Toutefois, l'association taxonomique est variable d'un lot à l'autre. Les ensembles étudiés sont parfois « mono spécifiques ». De façon générale, deux taxons se dégagent, il s'agit du chêne (*Quercus*) et du hêtre (*Fagus sp.*).

La composition taxonomique des ensembles étudiés doit être interprétée en tenant compte de choix particuliers de combustible. En effet, la pauvreté taxonomique qui est parfois constatée n'est aucunement le reflet d'une formation végétale ligneuse naturelle environnant le site. Néanmoins, 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 attestés peut cependant apporter quelques éléments d'interprétation :

**Le chêne** (*Quercus sp.*) à feuilles caduques correspond indifféremment, dans le domaine géographique considéré, aux chênes pédonculés et sessiles. Il s'agit dans les deux cas d'espèces héliophiles pouvant croître dans des **bois clairs**, des **friches** ou des **haies**.

**Le hêtre** (*Fagus sp.*) est une espèce de forêt caducifoliée (chênaie – hêtraie) de large amplitude. Il appartient le plus souvent à des **forêts fraîches et mûres**. C'est une essence d'ombre en climat sec et de lumière en climat humide. Il constitue un excellent bois de chauffage et fournit un charbon très estimé.

## 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 (type de courbure, type de combustion, occurrences de thylles, traces d'insectes...). Néanmoins, une partie des charbons n'ont 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 calculée sur les 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 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). Un milieu plus ouvert est, en revanche, riche en bois à croissance rapide (cernes larges).

### - Estimation du calibre des arbres, recherche du diamètre des arbres utilisés : Mesures des calibres

La plus ou moins grande courbure des cernes (Cf. les 3 catégories : faible, intermédiaire, forte, Fig. 2) renseigne sur l'origine du fragment carbonisé. Par exemple, une faible courbure de cerne indiquera une provenance d'une grosse pièce de bois : grosse branche ou tronc. Nous parlons alors de calibre des charbons de bois.

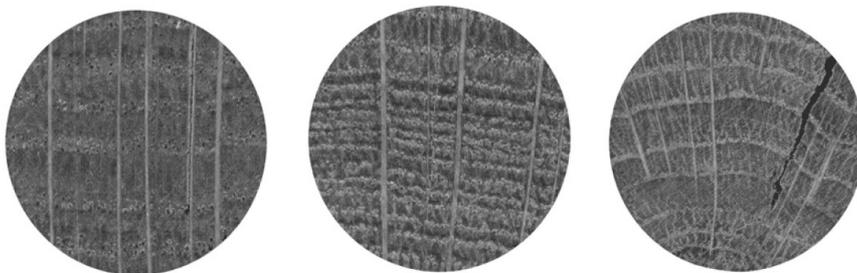


Fig. 2 – Les trois catégories des courbures de cernes annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

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

La technique dite de « calibration » (Dufraisse A., Garcia Martinez M.-S., 2011) a pour objectif d'estimer le diamètre 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 calibres de façon à mieux appréhender les calibres réellement utilisés.

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 12,5x ont été utilisés.

Selon N. Marcoux (2009), la capture est effectuée sur la partie la plus externe du charbon de façon à estimer au mieux son calibre. Deux droites sont dessinées : d1 et d2 (Fig. 5), chacune se superposant à un rayon ligneux. 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. 5).

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 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.

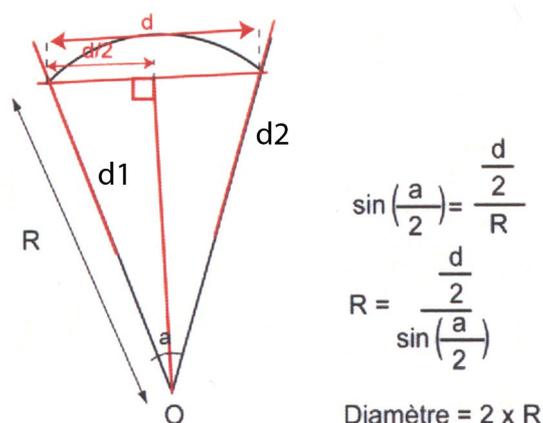


Fig. 3 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis 2007).

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 de plus fort rayon) sont en théorie aussi les plus nombreux. (Cf. Fig. 4, principe des histogrammes de fréquences, selon Dufraise A., Garcia Martinez M.-S., 2011). Le rayon de l'arbre pourra ainsi être estimé en prenant la classe de diamètre maximale.

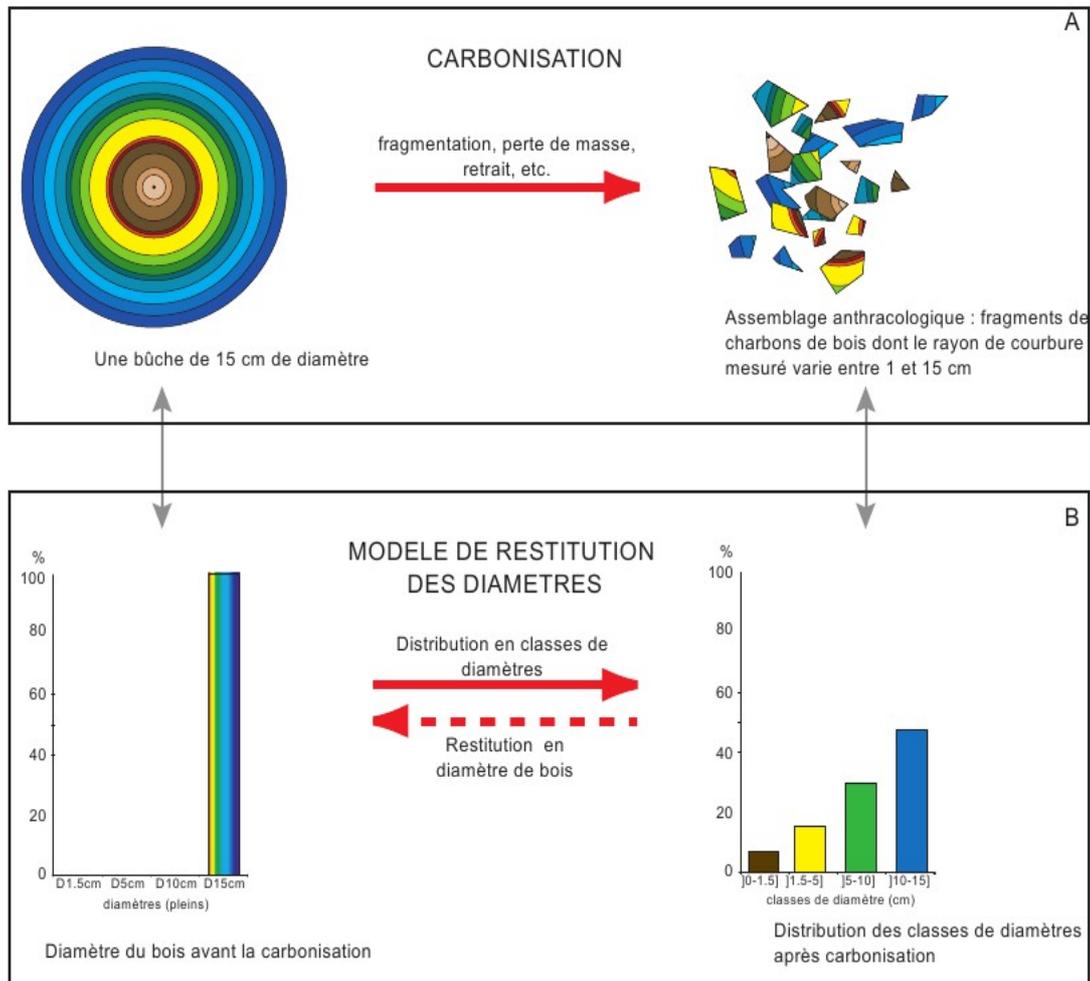


Fig. 4 – Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraise A., Garcia Martinez M.-S., 2011).

classes de diamètre (cm)	circonférence (cm)	catégorie
0-2,5	0-55	perches
2,5-7,5		
7,5-12,5		
12,5-17,5		
17,5-22,5	55-86	petit bois
22,5-27,5		
27,5-32,5	86-151	bois moyen
32,5-37,5		

Fig. 5: classes de diamètre, circonférences et catégories de calibre correspondantes utilisées par les forestiers actuels.

En fonction des différentes catégories de diamètres de bois identifiés, il est ensuite possible de qualifier le type de bois de provenance (cf. Fig. 5).

### 3. RESULTATS D'ANALYSES

Tenant compte des constatations et interprétations fournies par P. Gibut (cf. Fig. 1), les résultats sont présentés par contexte archéologique, à savoir, d'une part l'ensemble des lots provenant du contexte artisanal d'affinage des métaux (lots 1004, 1006, 1014) et d'autre part les lots provenant d'un contexte domestique (lots 1025 et 1064).

### 3.1. Lots issus du contexte artisanal d'affinage des métaux

98 charbons correspondant à trois lots ont été étudiés pour ce contexte. Les charbons proviennent de rejets d'une forge (prélèvements 1004, 1006 et 1014).

#### 3.1.1. Résultats

##### Analyse : Prélèvement 1004

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				Hyphe	Thylle	Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	Fondu			
Fagus sylvatica	8	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	4	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	0
Quercus sp.	48	42	3	0	40	2	7	6	7	0	1	22	2

##### Analyse :Prélèvement 1006

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Thylle	Insecte
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Fagus sylvatica	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	11	10	1	0	10	1	4	2	5	3	1

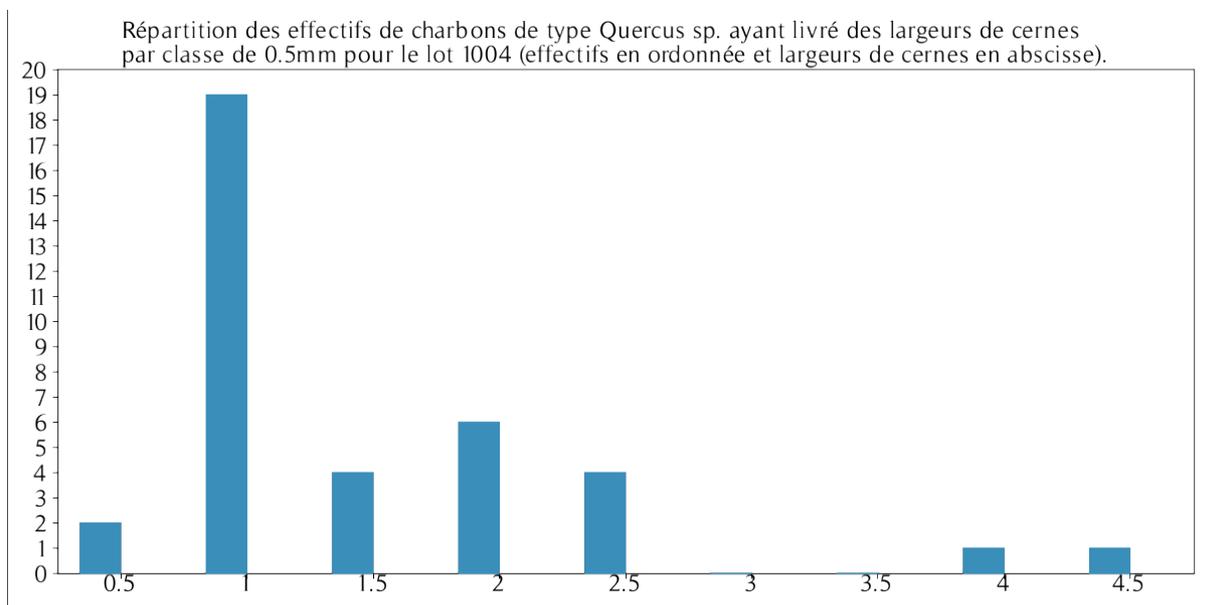
##### Analyse :Prélèvement 1014

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion				Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	Fondu	
Quercus sp.	25	14	1	3	11	1	2	7	2	2	8

Fig. 6 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements 1004, 1006 et 1014

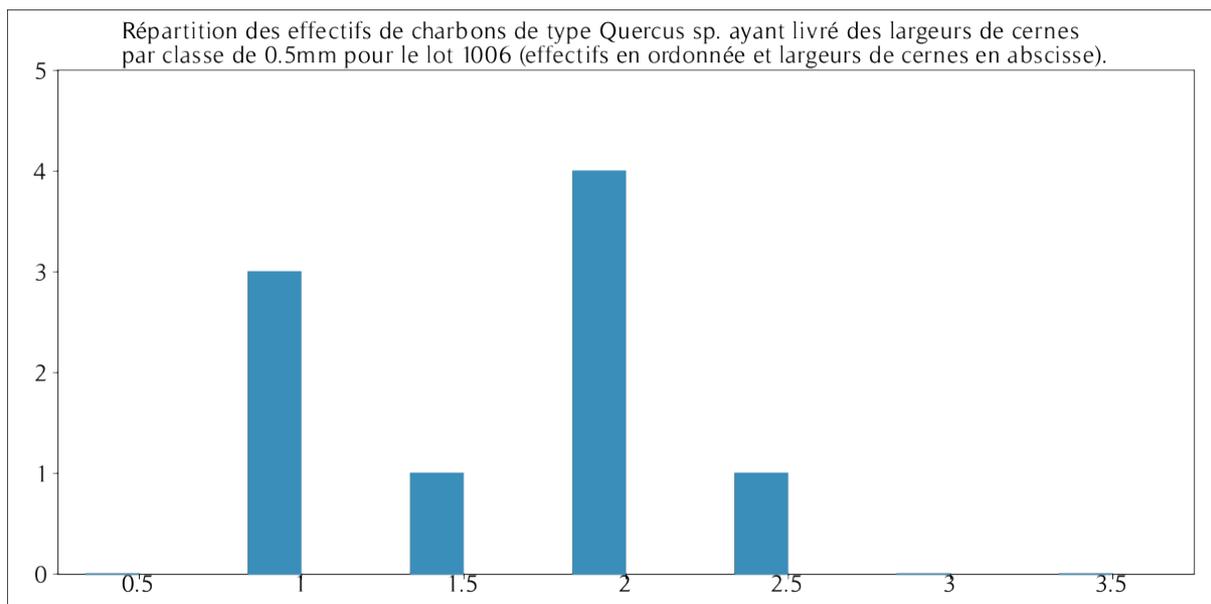
### Mesures des largeurs de cernes : Prélèvement 1004

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	37	178	1,31	0,83	0,33	4,04



### Mesures des largeurs de cernes : Prélèvement 1006

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	9	57	1,36	0,56	0,55	2,06



## Mesures des largeurs de cernes : Prélèvement 1014

Espèce	Courbure	Rythme	Nb Bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart Type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	Faible	Régulier	11	31	1,49	0,85	0,54	2,78

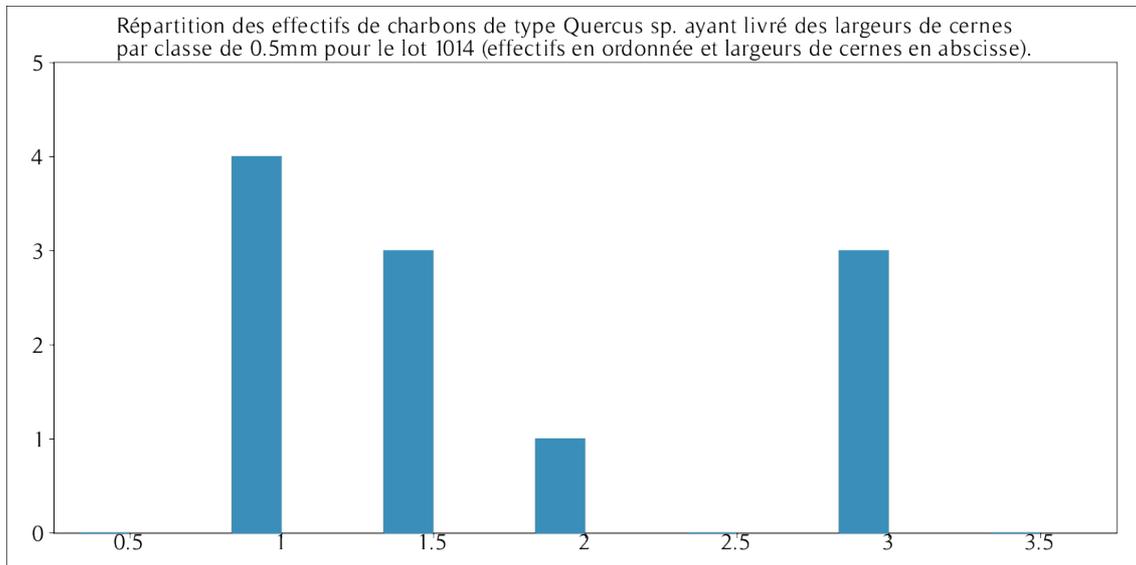


Fig. 7 - Tableaux et histogrammes des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons de chêne présentant une courbure faible et un rythme régulier pour les prélèvements 1004, 1006 et 1014

## Mesure du calibre : Prélèvement 1004

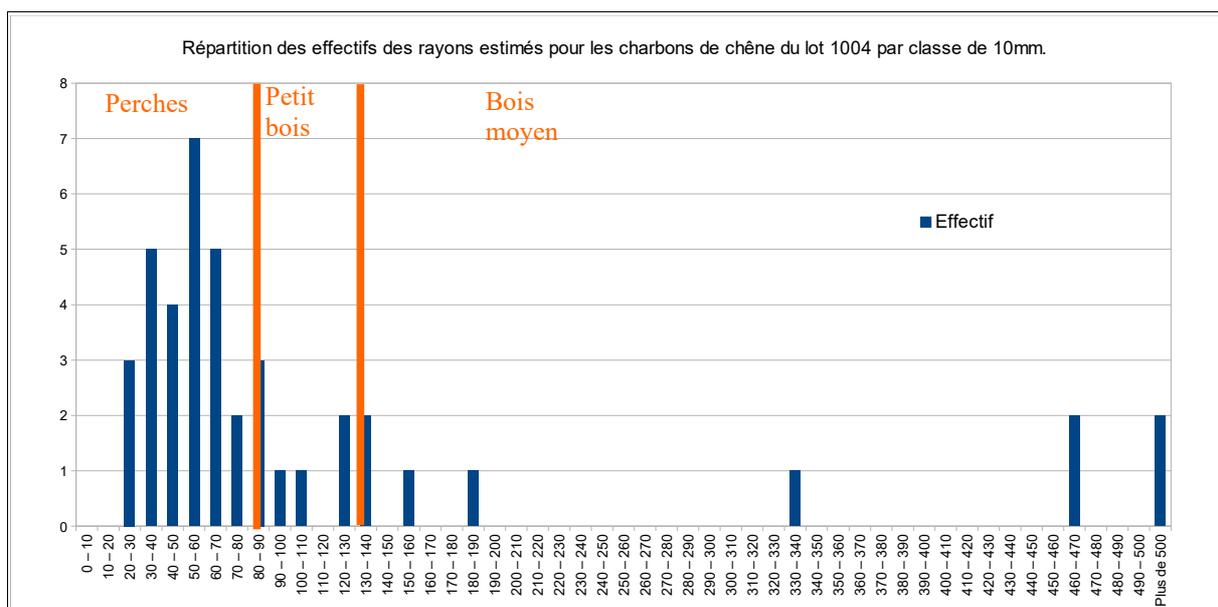


Fig. 8 - Histogramme de classes de rayons estimés par calibration pour les charbons du prélèvement 1004.

Classes de diamètres (cm)	Effectifs	%
0 – 2	0	0
2 – 5	0	0
5 – 10	12	28,6
10 – 15	14	33,3
15 – 20	4	9,5
20 – 25	2	4,8
25 – 30	3	7,1
30 – 35	1	2,4
35 – 50	1	2,4
+ de 50	5	11,9

Fig. 9 - Effectifs de charbons par classe de diamètre, données brutes pour le prélèvement 1004.

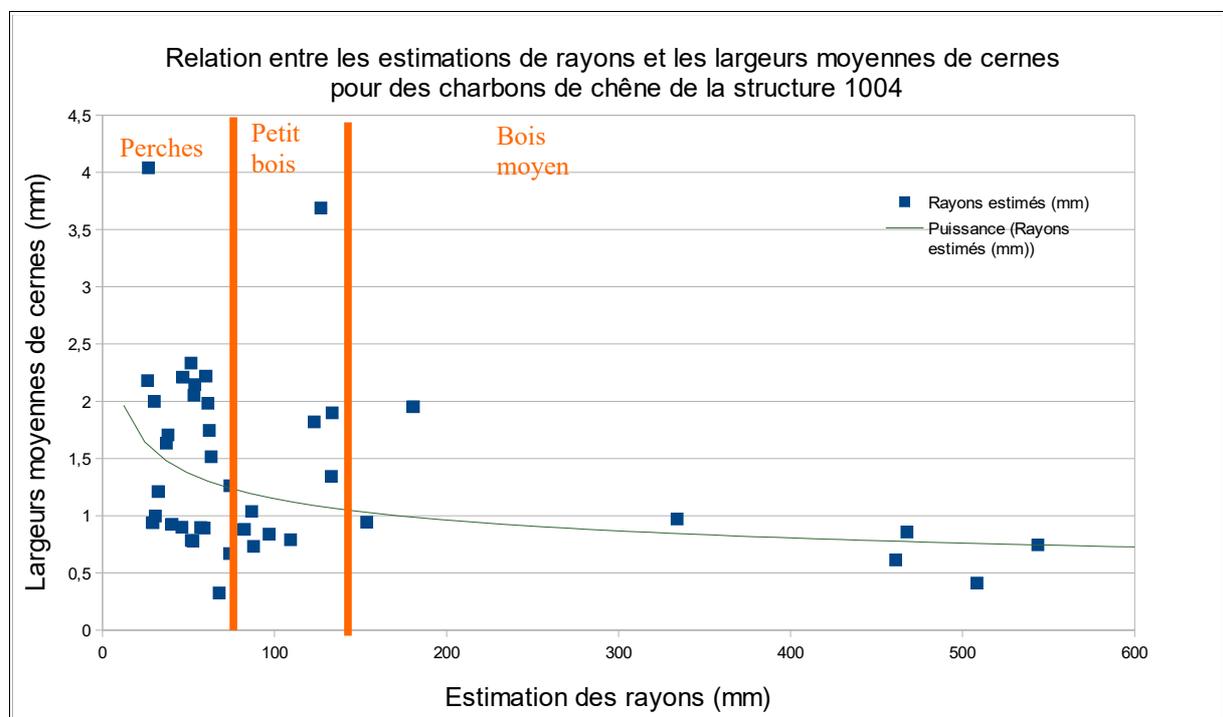


Fig. 10 - Répartition des largeurs de cernes en fonction des calibres de bois. Prélèvement 1004.

## Mesure du calibre : Prélèvement 1006

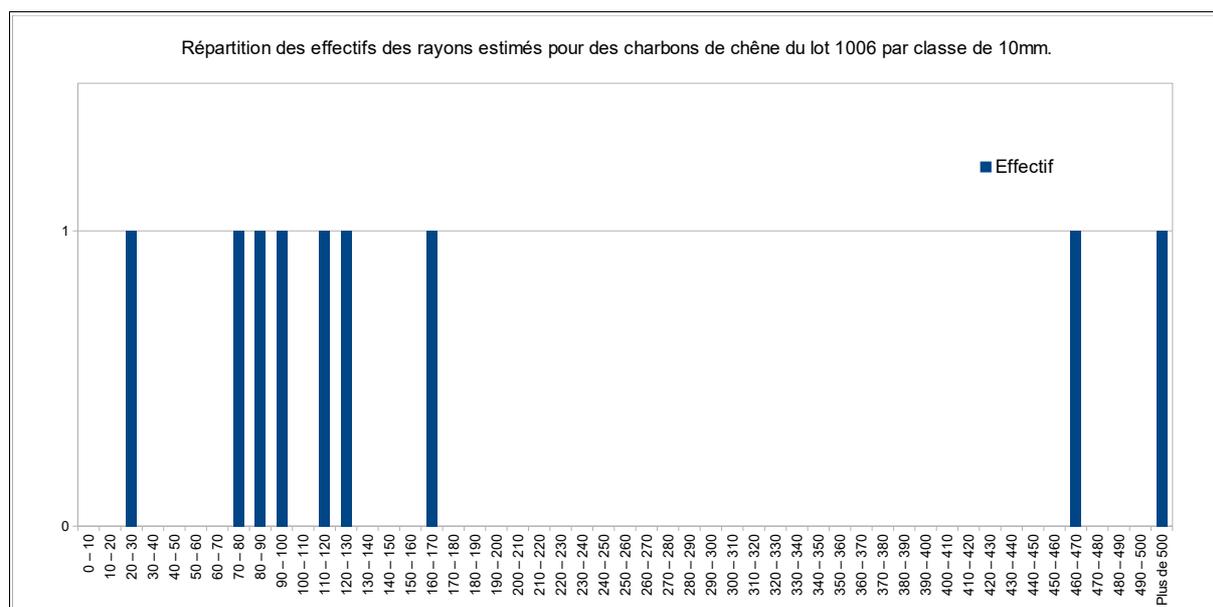


Fig. 11 - Histogramme de classes de rayons estimés par calibration pour les charbons du prélèvement 1006.

Classes de diamètres (cm)	Effectifs	%
0 - 2	0	0
2 - 5	0	0
5 - 10	1	11,1
10 - 15	1	11,1
15 - 20	2	22,2
20 - 25	2	22,2
25 - 30	0	0
30 - 35	1	11,1
35 - 50	0	0
+ de 50	2	22,2

Fig. 12 - Effectifs de charbons par classe de diamètre, données brutes pour le prélèvement 1006.

### 3.1.2. Interprétations

L'étude des prélèvements 1004, 1006 et 1014 montre des assemblages provenant exclusivement de bois de chêne et de hêtre. Ce sont plutôt des bois de forts calibres car on détecte des courbures faibles et la présence assez fréquente de thylles. Il y a donc peu de diversité tant du point de vue des taxons que des calibres. Ces caractères apparaissent cohérents avec l'interprétation archéologique de rejets d'origine artisanale.

Notons aussi la détection régulière de charbons aux aspects "durs-luisants", "fendus-luisants". De fortes variations de températures comme "*un refroidissement rapide de surfaces chaudes en conditions anaérobie*" (conditions réductrices) pourraient par exemple provoquer ce phénomène selon Blaizot *et al.*, 2004.

Peu de charbons présentaient des aspects « fondus ». Quelques éléments ont néanmoins été détectés notamment dans le prélèvement 1006. Il pourrait s'agir de restes de charbons de bois issus de pratiques de charbonnage. Rappelons que le charbons de bois est un combustible connu pour fournir un pouvoir calorifique supérieur au bois, qualité recherchée dans les contextes des bas-fourneaux et peut être de forges (Gaudin, 2015). Aussi, nous nous attendions à retrouver davantage de ce type de charbon de bois.

Plusieurs raisons peuvent être évoquées pour expliquer ce constat. Des raisons d'ordre taphonomique, car l'utilisation des charbons de bois permet d'obtenir des combustions « poussées » génératrices de températures importantes, mais ne laissant que très peu de gros fragments. Autre raison possible, nous sommes probablement en présence d'un contexte d'atelier où des travaux d'épuration du métal et d'élaboration étaient réalisés, aussi les températures recherchées n'étaient pas en permanence aussi importantes qu'en contexte de bas-fourneau par exemple.

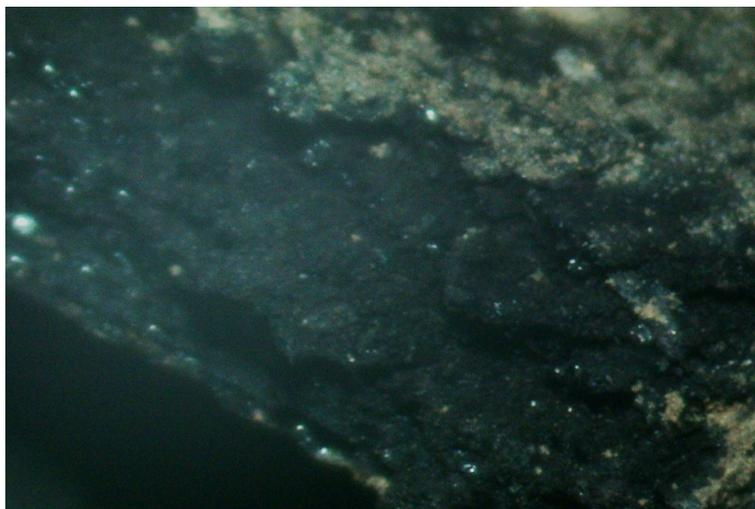


Fig. 13 - Vue sous loupe binoculaire d'un charbon « fondu ». Les structures anatomiques et notamment la porosité du bois sont complètement altérées (Prélèvement 1004).

En revanche, plusieurs charbons montraient des aspects fendus / fendus-luisants, traits généralement caractéristiques de bois brûlés à l'état « vert ».

Quelques traces de xylophages ont aussi été détectés.

Des mesures de largeurs moyennes de cernes ont été calculées pour les prélèvements 1004 (moyenne de 1,31 mm), 1006 (moyenne de 1,36 mm) et 1014 (moyenne de 1,49 mm). Ces résultats sont caractéristiques de conditions de croissances difficiles comme des chênaie-hêtraies denses.

Des mesures de calibrations ont été réalisées sur les prélèvements 1004 et 1006. 42 mesures de rayons ont été calculées pour le prélèvement 1004, lot qui présentait à priori davantage de « gros » charbons. Ces 42 estimations correspondent en réalité à plus de 120 mesures car 3 mesures au moins sont systématiquement effectuées sur chaque charbon.

Quelques mesures ont aussi été menées pour le lot 1006 à titre comparatif.

Les données brutes d'effectifs du lot 1004 montrent qu'environ 60% des charbons sont groupées dans les classes de diamètre de 5 à 15 cm (Fig. 9 ). Les charbons du lot 1006 semblent montrer des diamètres un peu plus larges (Fig. 12). Aussi, même si les largeurs moyennes de cernes apparaissent très proches, les compositions des lots 1004 et 1006 proviennent probablement de deux approvisionnements différents.

Selon N. Marcoux (2009), les calibres minimum mesurés sur chacun des charbons indiquent leur position horizontale dans le tronc, du cœur (petits calibres) à l'extérieur (gros calibres). Au moment de leurs formations, qui ne sont pas forcément synchrones, les bois d'une même catégorie sont tous au même stade de croissance, soit de « perches », de petit bois ou de bois moyen. La croissance radiale des bois aux différentes étapes de leur développement peut être estimée, ce qui donne des indications sur le type de peuplement dont ils sont issus (futaies ou taillis), et permet d'estimer l'âge moyen d'abattage des arbres.

Au vu de la figure 10, il apparaît que les bois au stade de « perches » ont les croissances radiales les plus dynamiques ; elles sont pour la majorité au-dessus de 1,25 mm/an. En revanche, les stades petit bois et bois moyen, certes moins représentés, ont des largeurs de cernes principalement au-dessous de 1,25 mm. La courbe de tendance (régression polynomiale de degré deux) montre clairement cette tendance. Cette courbe est typique de croissances radiales d'arbres ayant poussé dans des contextes peu perturbés, comme les futaies.

Au regard de la distribution des effectifs de rayons (Fig. 8), nous pouvons discerner un premier ensemble de 20 mm à 70 mm puis un second de 70 à 90 mm et un ensemble dont les rayons varient autour de 120 à 140 mm suivis de rayons épars jusqu'à environ 500 mm. On peut donc supposer que les charbons proviennent de bois de diamètres minimum d'environ 14 cm, 18 cm, 28 cm et probablement un arbre d'environ 1 mètre de diamètre. A noter que les dernières mesures, notamment celle de 1 mètre, sont à considérer avec précaution car les mesures au delà de 20 cm perdent en précision (Dufraisse A., 2011).

Au final, les faibles croissances radiales obtenues (moyenne d'environ 1,31 mm/an pour le lot 1004), nous invitent plutôt à penser que les bois ont été extraits d'un peuplement de type futaie dense. En effet, dans le cas de taillis nous aurions constaté des croissances plus dynamiques et une répartition des largeurs de cernes plus hétérogènes liées aux alternances des coupes des baliveaux.

## 3.2. Lots issus du contexte domestique

Seulement 14 charbons provenant de deux prélèvements ont été étudiés pour ce contexte. Ces prélèvements attribués à des rejets domestiques proviennent respectivement du lot 1025 et 1064.

### 3.2.1. Résultats

#### Prélèvement 1025

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

#### Prélèvement 1064

Nom Espèce	Effectif	Courbure			Rythme		Combustion			Moelle	Thylle	Insecte	B. Réaction
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant				
Fagus sylvatica	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Quercus sp.	2	0	2	0	0	2	2	0	0	0	2	1	

Fig. 14 – Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements 1025 et 1064

### 3.2.2. Interprétations

Seulement deux taxons ont été identifiés dans chacun des deux lots : le chêne et le hêtre.

De façon générale ce sont des bois de calibres hétérogènes, probables restes de bois d'allumage et d'entretien de foyers domestiques. Quelques charbons présentaient des aspects fendus, ce qui laisse penser que les morceaux de bois ont été brûlés à l'état vert. En revanche, les charbons ne présentaient pas d'aspects luisants ou dur-luisants synonymes de fortes températures.

A noter la détection de deux fragments qui présentaient des aspects fondus. Peut-être des éléments de charbons de bois.

## 4. Bilan

Compte tenu de l'origine « artisanale » des charbons étudiés nous nous attendions à obtenir relativement peu de diversité taxonomique ce qui s'est révélé exact. En effet, les études anthracologiques réalisées dans des contextes de rejet artisanaux (ex. fours de potiers, exploitations de bas-fourneaux ...) présentent généralement peu de diversité car les critères retenus par les artisans pour choisir le combustible sont généralement bien définis. Dans l'étude ci-présente nous avons détecté seulement deux taxons : le chêne et le hêtre.

Aussi, en plus des techniques habituelles mises en œuvre dans les études anthracologiques (cf. chapitres 2.2. et 2.3. ), nous avons choisi de procéder à la calibration des charbons afin d'estimer le diamètre des bois brûlés, le type de boisement de provenance (cf. chapitre 2.4. ) et ainsi préciser les choix techniques des artisans.

Une centaine de charbons ont été étudiés pour l'ensemble des cinq prélèvements. Mais c'est en réalité plus de 300 mesures de largeurs de cernes, d'angles de rayons et de largeurs de côté qui ont été effectuées en plus des mesures habituelles.

L'étude a été divisée en deux ensembles en fonction du contexte des prélèvements. Les prélèvements 1004, 1006 et 1014 sont en rapport avec un contexte de forge, alors que les lots 1025 et 1064 seraient davantage liés à un contexte domestique.

Contextes	Taxons	Hypothèses ethnologiques	Types de boisement	Largeurs moyennes de cernes
<b>Lots issus du contexte artisanal d'affinage des métaux</b>	<i>Quercus sp.</i> , <i>Fagus sp.</i>	<b>Foyers artisanaux</b> : bois plutôt de fort calibre, quelques éléments de charbons de bois et davantage de bois « verts ». Les aspects « dur-luisants » laissent penser à une combustion sous hautes températures	<b>Forêt dense de type chênaie-hêtraie.</b> La relation entre croissance radiale et rayon met en évidence une forêt de type <b>futaie</b> .	1,31 mm (prélèvement 1004), 1,36 mm (prélèvement 1006), 1,49 mm (prélèvement 1014)
<b>Lots issus du contexte domestique</b>	<i>Quercus sp.</i> , <i>Fagus sp.</i>	<b>Foyer domestique</b> (bois de qualité hétérogène)	<b>Boisements hétérogène,</b> lisières ou haies, forêt de type chênaie-hêtraie	

Fig. 15 – Tableau récapitulatif des informations anthracologiques collectées pour les différentes phases chronologiques

### - Informations d'ordre environnemental

Les taxons les plus utilisés sont par ordre d'importance : le chêne et le hêtre

La présence des différents taxons ligneux a permis d'identifier l'association écologique suivante (Rameau *et al.*, 1989) :

- la chênaie mixte, chênaie-hêtraie (chêne, hêtre).

L'étude des largeurs moyennes de cernes nous apporte des informations sur le contexte de croissance des arbres. Les résultats obtenus (Fig. 15) montrent des valeurs situées entre 1,31 mm et 1,49 mm, ce qui correspond à des contextes de forêts denses. Ces valeurs ///

De plus, la calibration des charbons réalisée sur le lot 1004 a permis de mettre en évidence une croissance des arbres typique d'une futaie (Fig. 10).

Afin de comparer ces constats par rapport à d'autres études, nous avons ajouté ces valeurs aux résultats déjà acquis sur différents sites antiques de la ville. Ces résultats sont indiqués dans les graphiques suivants, mettant en relation les moyennes de largeurs de cernes en fonction du temps (Fig. 16).

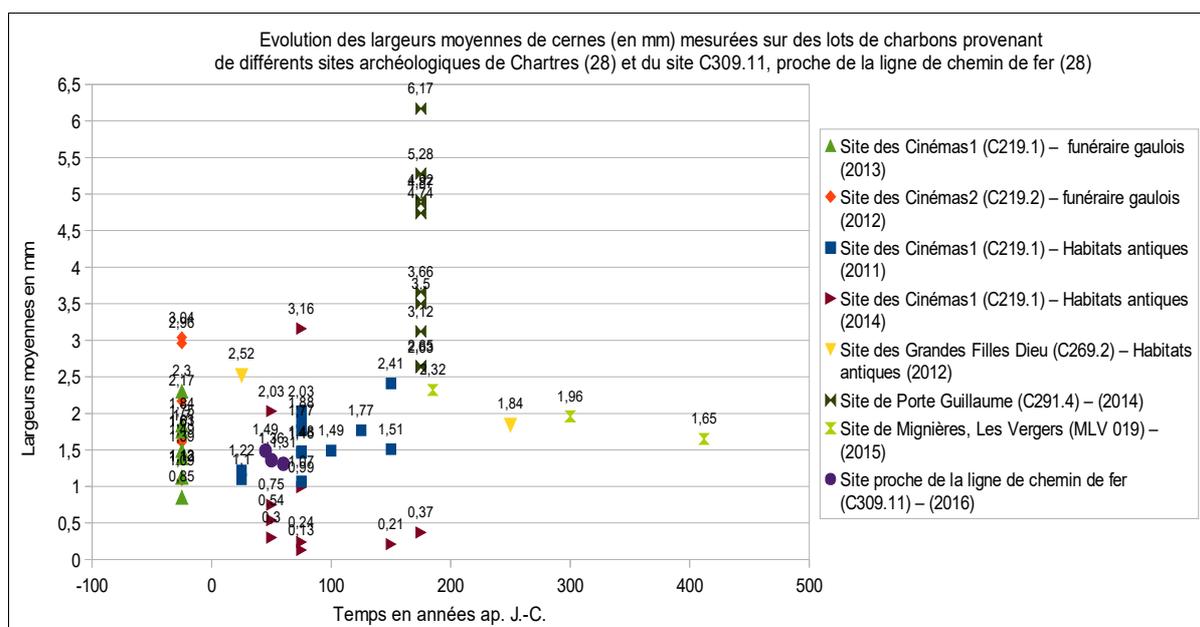


Fig. 16 - Graphique mettant en relation les mesures de largeurs moyennes de cernes en fonction du temps (estimation de la date médiane de chaque phase), calculées sur différents sites de Chartres et de Mignières, intégrant les données collectées sur le site de la Rue du Chemin de Fer (C309.11)



- Informations d'ordre technique :

Les prélèvements étudiés nous ont permis de discerner des charbons provenant de rejets de foyers artisanaux et des foyers de nature domestique.

L'étude des charbons issus de rejets interprétés comme provenant de structures artisanales (lots 1004, 1006, 1014) a montré une homogénéité dans la qualité des bois brûlés. Au regard de la courbure des cernes, ce sont principalement des bois de gros calibres qui ont été utilisés. Les mesures de calibre du bois ont permis d'estimer des diamètres de 14 cm, 18 cm, 28 cm et probablement d'éléments d'un arbre d'environ 1 mètre de diamètre.

Les combustions à vocation artisanale, comme cela semble être le cas ici, se caractérisent par des systèmes techniques dont les choix en combustible sont souvent bien définis, tant au niveau du choix des espèces que de la qualité du bois. La phase d'allumage caractérisée par l'utilisation de petit bois est peu représentée par rapport à la phase d'entretien des foyers avec du bois de plus fort calibre. Les ensembles interprétés comme des rejets domestiques, même s'ils sont aussi composés par le chêne et le hêtre, présentent une hétérogénéité plus importante des calibres.

Autre différence importante entre les deux contextes de prélèvement, les aspects "fendus/luisants", "durs-luisants" sont régulièrement détectés sur les restes issus du contexte artisanal (environ 30 % des ensembles 1004, 1006 et 1014) alors qu'ils sont totalement absents dans le contexte domestique.

Plusieurs hypothèses ont été émises sur ces aspects (Marguerie *et al.*, 2010). La vitrification d'où découlerait l'aspect "luisant" du charbon serait la conséquence de conditions particulières de combustions. De fortes variations de températures comme "un refroidissement rapide de surfaces chaudes en conditions anaérobies" (conditions réductrices) pourraient, par exemple provoquer ce phénomène selon Blaizot *et al.*, 2004. De telles observations apparaissent logiques dans un contexte de forge car de fortes températures sont nécessaires pour travailler les métaux.

En revanche, les aspects fendus des charbons sont plus surprenants. En effet, ces traits caractérisent plutôt des bois brûlés alors qu'ils n'étaient pas encore dans un état totalement « sec ».

De plus, il est assez courant de trouver des restes de charbons de bois, aux aspects « fondus » en contexte de paléo-métallurgie comme par exemple sur le site de Mignières (Gaudin, 2015). Ces charbons, même s'ils ne sont pas absents, sont relativement rares.

Au regard de ces résultats, il semble donc qu'une partie du bois ayant servi pour alimenter la forge n'était pas encore totalement sec. L'utilisation de charbon de bois est tout de même très probable compte tenu des quelques attestations et aussi car c'est le combustible susceptible de fournir un pouvoir calorifique recherché dans les contextes de forges. Le charbon de bois est employé comme réducteur en métallurgie dont il est le combustible de prédilection à partir de l'Age du Fer (Bonaventure *et al.*, 2014 ; Chabal *et al.*, 1999 ; Sarreste, 2008).

Il faut donc probablement rechercher une explication d'ordre taphonomique à la sous-représentativité des restes de charbons de bois. Peut-être que les morceaux de charbons de bois ont subi une combustion plus « complète », ne laissant que des cendres résiduelles et très peu de gros fragments.

## 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.
- BONAVENTURE B., BOHNY J., GAUDIN L., LATOUR-ARGANT C., POIRIER-COUTANSAIS C., VISSAC C., 2014 - La Gravelle « ZAC de Loiron ». Rapport final d'opération d'archéologie préventive. 3 volumes. Société ARCHEODUNUM. Chaponnay, juin 2014., 479p.
- BONNIEL-VEYRON., 1996 - *Evolution du paysage autour de la ville de Chartres depuis l'Antiquité : Etude palynologique d'une séquence organique de fond de vallée (site Mendes-France)*. Rapport de DEA, 40 p.
- CHABAL L., 1997 - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Documents d'Archéologie Française. Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 63, p. 18-61.
- CHABAL L., FABRE L., TERRAL J.-F. and THERY-PARISOT I., 1999. *L'anthracologie*. In BROCHIER J.E., BOURQUIN-MIGNOT C., CHABAL L., CROZAT S., FABRE L., GUIBAL F., MARINVAL P., RICHARD H., TERRAL J.-F., THERY I. (éds.), Errance (Collection "Archéologiques"). La Botanique, Paris, 207 p.
- DUFRAISSE A., GARCIA MARTINEZ M.-S., 2011 - Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. Outils dendrométriques et interprétation des données. ANTHROPOBOTANICA, 2, 16p.
- GAUDIN L., 2015 - *Analyse de fragments charbonneux provenant de la fouille du site « des Vergers » (MLV019), (Mignièrès, Eure-et-Loir), 30p.* (Destinataire public : Maison de l'Archéologie, Ville de Chartres.)
- GAUDIN L., 2014 - *Analyse de fragments charbonneux provenant de la fouille du site des Cinémas 1 (C219.1 - suite antiquité), (Chartres, Eure-et-Loir), 42 p.* (Destinataire public : Maison de l'Archéologie, Ville de Chartres)
- GAUDIN L., 2011 - *Analyse de fragments charbonneux provenant de la fouille du site des 'Cinémas1' (C.219.1), (Chartres, Eure-et-Loir), 35 p.* (Destinataire public : Maison de l'Archéologie, Ville de Chartres)
- 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., BERNARD V., BEGIN Y., TERRAL J.-F., 2010 - Dendroanthracologie p. 311-347 in PAYETTE S., FILION L., *La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications*. Presses de l'Université Laval, Québec
- MARGUERIE D., HUNOT J.-Y. 2007 - *Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France*. Journal of Archaeological Science. p. 1417-1433
- MARGUERIE D. et HUNOT J.-Y., 1992 - Le bois : évolution, structure et détermination. *Dossier A.G.O.R.A. Les bois archéologiques*, n°2, p. 3-8.
- 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.

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.

SARRESTE F., 2008 - *La sidérurgie ancienne dans le Bas-Maine (VIIIe s. av. J.-C. - XVe s. ap. J.-C.)*, These de doctorat, Université François Rabelais de Tours, 843p.

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

THERY-PARISOT I., 2001 – *Économie des combustibles au Paléolithique. Expérimentation, anthracologie, Taphonomie*, CNRS Éditions (« Dossiers de documentation archéologique » 20), 200 p.

VENET J., 1974 - *Identification et classement des bois français*. E.N.G.R.E.F., 2e édition, Nancy, 310 p.