

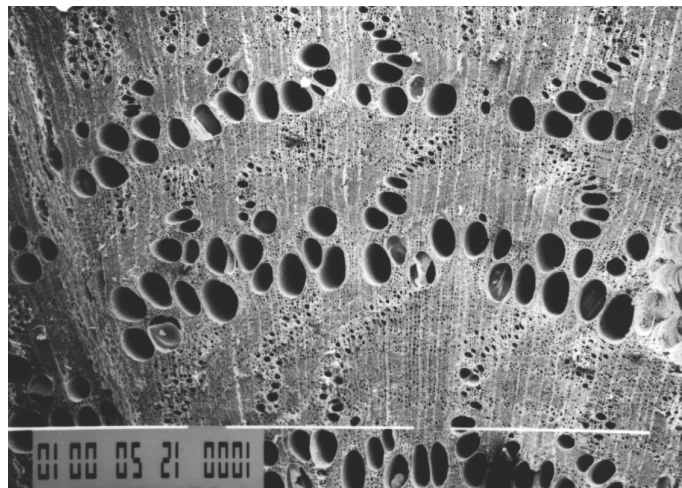


ArkéoMap
Alkante



**ANALYSES SCIENTIFIQUES DES DÉCOUVERTES
ARCHÉOLOGIQUES : ÉTUDES ANTHRACOLOGIQUES**

**ANALYSE DE FRAGMENTS CHARBONNEUX PROVENANT
DE LA FOUILLE DE LA ZAC DE LOIRON,
LA GRAVELLE (53)**



**ARCHEODUNUM -
Investigations archéologiques**

Rapport d'étude anthracologique

Mars 2014

ARCHEODUNUM

Investigations archéologiques

Site de la ZAC Loiron

(commune de La Gravelle)

Rapport d'étude anthracologique

Loïc GAUDIN

(membre associé à l'UMR 6566 CReAAH)

E-mail : l.gaudin@alkante.com

Mars 2014

Illustration de la page de couverture :

Charbon de chêne caducifolié (Quercus sp.)

Coupe transversale vue au microscope électronique à balayage (x 80)

SOMMAIRE

INTRODUCTION	4
1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS	5
2. BREF APERCU DU PRINCIPE DE L'ETUDE ANTHRACOLOGIQUE, ELEMENTS D'INTERPRETATION	6
2.1. Méthodologie.....	6
2.2. Les principales essences et formations végétales observées, éléments d'interprétation.....	8
3. RESULTATS D'ANALYSES	14
3.1. Les prélèvements 42, 43 : Fait 104 (Bas-Fourneau).....	14
3.1.1. Résultats.....	14
3.1.2. Interprétations.....	16
3.2. Les prélèvements 51, 80 : Fait 105 (Bas-fourneau)	18
3.2.1. Résultats.....	18
3.2.2. Interprétations.....	20
3.3. Les prélèvements 53 et 56 : Fait 106 (Bas-Fourneau).....	21
3.3.1. Résultats.....	21
3.3.2. Interprétations.....	23
3.4. Le prélèvement 035 : Fait 437	25
3.4.1. Résultats.....	25
3.4.2. Interprétations.....	25
3.5. Les prélèvements 38, 39, 40, 41 : Fait 438 (Bas-fourneau).....	27
3.5.1. Résultats.....	27
3.5.2. Interprétations.....	30
3.6. Le prélèvement 33 : Fait 439	32
3.6.1. Résultats.....	32
3.6.2. Interprétations.....	32
3.7. Les prélèvements 36, 37 : Fait 449.....	33
3.7.1. Résultats.....	33
3.7.2. Interprétations.....	34
3.8. Le prélèvement 68 : Fait 521.....	35
3.8.1. Résultats.....	35
3.8.2. Interprétations.....	35
3.9. Le prélèvement 67 : Fait 522.....	36
3.9.1. Résultats.....	36
3.9.2. Interprétations.....	36
3.10. Le prélèvement 69 : Fait 523	38
3.10.1. Résultats.....	38
3.10.2. Interprétations.....	38
4. Bilan	40
5. Bibliographie	42
6. Lexique	43

INTRODUCTION

Le projet de réalisation de la ZAC Loiron sur la commune de La Gravelle a entraîné la réalisation préalable d'un diagnostic archéologique mené par le Service du patrimoine du Conseil Général en 2012.

Il a révélé la présence d'une vaste occupation protohistorique marquée par un grand enclos elliptique de plus de 110 m de long qui remonte à La Tène moyenne. Il est accompagné de nombreuses structures fossoyées internes (enclos, divisions internes, fosses, trous de poteau appartenant à des bâtiments, mare,...) et externes qui s'étalent de La Tène ancienne à La Tène finale.

Des bas fourneaux répartis sur plusieurs secteurs contemporains de cette occupation ont aussi été détectés. Ce sont les résultats des études des charbons retrouvés au sein de ces structures qui sont présentés dans ce rapport.

Des secteurs à vocation funéraire (présence d'enclos en trou de serrure ?) de la fin de l'Age du bronze ou du début de l'Age du fer sont disséminés sur l'ensemble de la zone. Certains secteurs plus isolés remonteraient au Bronze final. Des indices d'occupation gallo-romaine et médiévale ont également été mis au jour.

La fouille a été réalisée par la société Archéodunum en 2013 sous la direction de Bertrand Bonaventure.

L'étude anthracologique présente dans ce rapport porte sur une sélection de prélèvements effectués au sein de dix structures de bas fourneaux, réalisés par les archéologues et présentant à priori des traces de charbons. Le tamisage a été effectué par la société Arché-ostrakon.

Les observations microscopiques ont été réalisées au sein du laboratoire ARKEOMAP (Loupe binoculaire x10 à x60 et Microscope à x100). Les traitements numériques et l'élaboration du rapport ont été réalisés au sein de la structure ARKEOMAP (ALKANTE). Les analyses d'images nécessaires pour réaliser les mesures de calibrations (estimations des diamètres des arbres) ont été réalisées au sein du laboratoire de l'UMR 6566 « CReAAH ».

Cette étude anthracologique prend place dans une étude paléoenvironnementale pluridisciplinaire puisque des prélèvements ont aussi été réalisés en vue d'études carpologiques et palynologiques. L'étude des macrorestes végétaux carbonisés présentée dans ce rapport renseignera à terme sur la nature des essences utilisées, sur leur provenance biotopique, mais aussi potentiellement sur des choix techniques.

1. INVENTAIRE ET ORIGINE DES PRELEVEMENTS

Les restes anthracologiques proviennent d'un inventaire de 17 prélèvements correspondant aux 10 structures de bas-fourneaux. Les lots sont les suivants : PLV 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 51, 53, 56, 67, 68, 69, 80.

L'ensemble des lots anthracologiques a été observé.

Devant les effectifs importants de charbons de certains lots et compte tenu de l'enveloppe allouée, il fut parfois décidé d'étudier une sélection représentative de charbons soit environ 50 charbons par structure.

Une faible diversité taxonomique (moins de 10) a été constatée pour l'ensemble des lots anthracologiques. Il n'a donc pas été possible de procéder au calcul des courbes « effort-rendement » qui auraient permis d'estimer un effectif d'échantillonnage optimal (Chabal, 1997 et Chabal *et al.*, 1999).

Fait	N° prélèv.	US	Description	Interprétation	Nb de charbons
F.104	PR.042	US.294	Comblement	Bas-fourneau	10
F.104	PR.043	US.295	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	42
F.105	PR.051	US.330	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	30
F.105	PR.080	US.330	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	30
F.106	PR.053	US.345	Comblement	Bas-fourneau	32
F.106	PR.056	US.351	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	30
F.437	PR.035	US.279	Comblement	Bas-fourneau	52
F.438	PR.038	US.278	Comblement	Bas-fourneau	10
F.438	PR.039	US.278	Comblement	Bas-fourneau	23
F.438	PR.040	US.290	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	10
F.438	PR.041	US.290	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	22
F.439	PR.033	US.288	Comblement	Bas-fourneau	48
F.449	PR.036	US.282	Comblement	Bas-fourneau	23
F.449	PR.037	US.283	Comblement	Bas-fourneau	32
F.522	PR.067	US.401	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	56
F.521	PR.068	US.403	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	51
F.523	PR.069	US.398	Comblement charbonneux	Bas-fourneau	53
TOTAL					554

Figure 1 - Listes des lots étudiés provenant des 10 bas-fourneaux fouillés. Un total de 550 charbons a été 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.

Le critère anatomique permettant la distinction entre le chêne et le châtaignier étant la présence ou l'absence de rayons multisériés, il n'a pas toujours été possible dans le cas des plus petits charbons d'obtenir une détermination au niveau du genre. En effet, la présence de rayons multisériés atteste le chêne, en revanche son absence peut aussi bien désigner une fraction de châtaignier qu'une fraction comprise entre deux rayons multisériés de chêne.

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 et masses) 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), pour connaître la section du bois d'origine : troncs ou branches plus ou moins grosses,

- **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 ont 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. 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 initiale (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 (charpente, 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 10 taxons anthracologiques. Toutefois, l'association taxonomique est variable d'un lot à l'autre. Les ensembles étudiés sont souvent « mono spécifiques ». De façon générale, un taxon se dégage très nettement, il s'agit du chêne (*Quercus*).

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.

L'orme (*Ulmus sp.*) est une espèce héliophile présente dans **les haies, forêts alluviales** et parmi les végétations rudérales. Autrefois communes partout en plaine, les populations ont été fortement décimées par la graphiose au début du XXe siècle.

Le **noisetier** (*Corylus sp.*), ainsi que le **bouleau** (*Betula sp.*) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre se rencontrant aussi bien en **lisières de forêts caducifoliées**, dans des bois clairs, dans des **landes** ou **friches**. Il faut noter que le bouleau s'adapte à tous les substrats, tant d'un point de vue hydrique qu'en terme de pH. Aussi, on trouve potentiellement le bouleau dans la plupart des écosystèmes, même s'il reste avant tout un arbre pionnier par excellence. Le noisetier est un bon combustible, il dégage beaucoup de chaleur et dure longtemps au feu (Rameau *et al.*, 1989).

Le **saule** (*Salix sp.*) et **l'aulne** (*Alnus sp.*) sont des essences vivant dans des contextes humides tels que les bordures de rivières, les berges des lacs et zones alluviales. Le **bouleau** (*Betula sp.*) vient souvent accompagné ces deux taxons.

Les **Pomoidées** (ex. aubépine, poirier, néflier) et **Prunelliers** (*Prunus sp.*) sont des essences héliophiles ou de demi-ombre se rencontrant aussi bien en **lisière de bois**, dans des **bois clairs**, des **landes** ou en **forêts caducifoliées ouvertes**. Il

n'est pas rares des les retrouvés associés aux **Genistae**. Ce sont de bons combustibles (Rameau *et al.*, 1989).

Les **Genistae**, famille regroupant notamment le genêt (*Cytisus sp.*) et les ajoncs (*Ulex sp.*) sont des essences héliophiles voire de demi-ombre se rencontrant surtout dans des landes arbustives (ou « landes fourrés ») et les friches. On peut retrouver aussi ces taxons en **lisières de forêts caducifoliées**, dans des **bois clairs**, dans **des haies**. Les associations de landes arbustives se retrouvent souvent dans des secteurs en cours de recolonisation végétale suite par exemple à une levée de pression des activités humaines (ex. terres cultivées abandonnées, espaces défrichés puis abandonnés..)

3.3. Observation macroscopique du plan ligneux et calibration

- 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 thylle, 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 (sur les branches cette mesure n'a pas de sens du fait de leur croissance totalement excentrée) 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. 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, Figure 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.

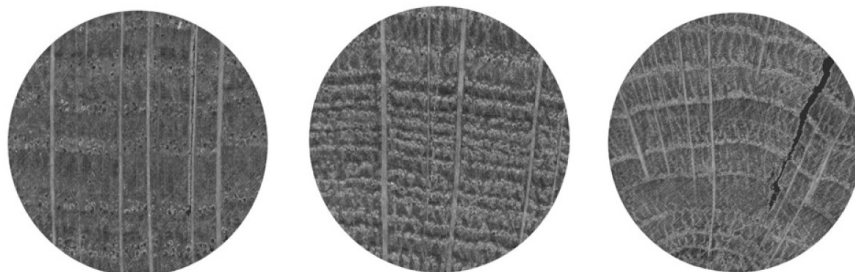


Figure 2 - Les trois catégories des courbures de cernes annuels de croissance : faible, intermédiaire et forte (Marguerie, Hunot 2007).

Toutefois afin de mieux connaître d'éventuels choix techniques nous avons cherché à mieux qualifier le calibre des bois utilisés. Pour cela nous avons utilisé la technique dite de « calibration » (Dufraisse, 2011). 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. 3), 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 (Figure 3).

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 de l'UMR 6566 CreAAH.

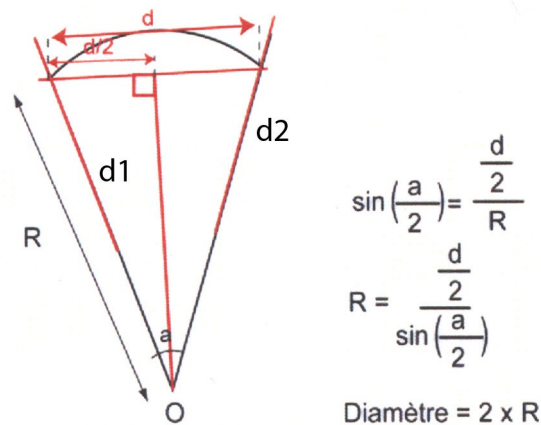


Figure 3 : calculs trigonométriques pour la détermination des calibres des bois à partir du sinus de l'angle (Paradis 2007).

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 aussi les plus nombreux de plus fort rayon sont en théorie aussi les plus nombreux. (Cf. Figure 4, principe des histogrammes de fréquences, selon Dufraisse A., 2011). Le rayon de l'arbre pourra être estimé en prenant la classe de diamètre maximale.

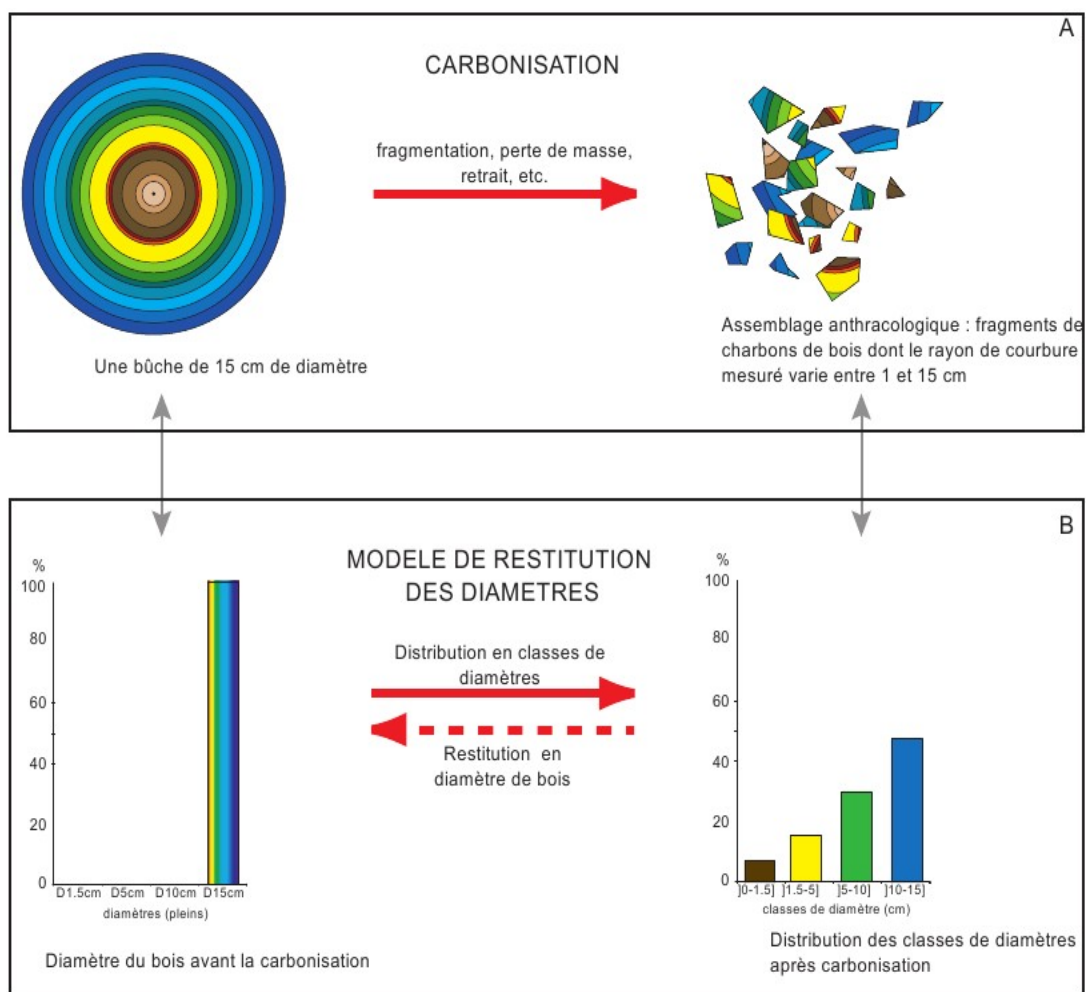


Figure 4 - Principe du modèle de restitution des diamètres de bois (extrait de Dufraise, 2011).

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		

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

Les classes des calibres mesurés ont été définies de façon à permettre un découpage correspondant aux calibres utilisés par les forestiers (Figure 5).

Les mesures de calibrations ont été réalisées sur des lots qui présentaient des tailles assez importantes pour pouvoir faire l'objet de mesures à savoir des lots des « Faits 104 et 438 ».

3. RESULTATS D'ANALYSES

3.1. Les prélèvements 42, 43 : Fait 104 (Bas-Fourneau)

3.1.1. Résultats

Prélèvement 42 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Quercus sp.	10	9	0	0	8	0	0	0	0	8

Prélèvement 43 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Quercus sp.	42	34	1	1	35	0	2	2	9	26	1

Total pour le fait 104 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	moëlle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Quercus sp.	52	43	1	1	43	0	2	2	9	34	1

Figure 6 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements 42, 43 et le total pour la structure 104

Prélèvement 42 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	9	29	0.83	0.40	0.60	1.86

Prélèvement 43 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	36	140	1.11	0.38	0.53	1.97

Total pour le fait 104 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	45	169	1.06	0.39	0.53	1.97

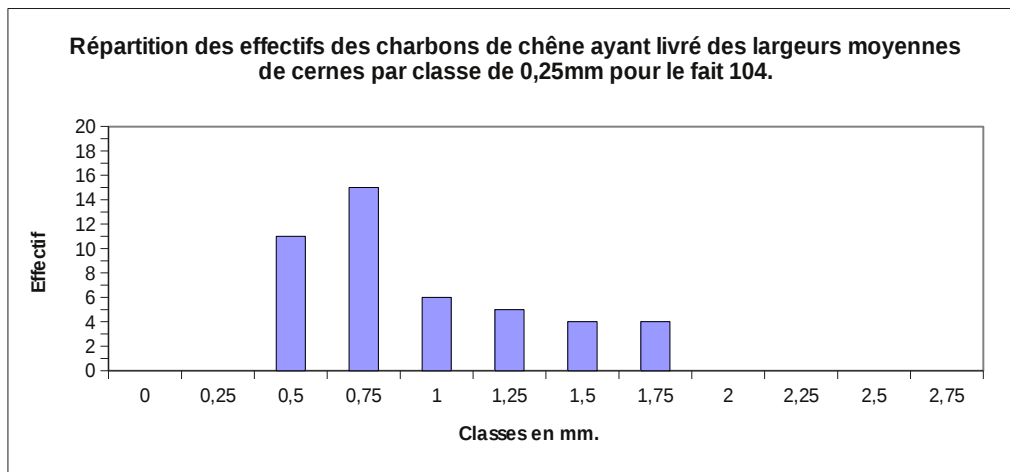


Figure 7 - Tableaux et histogrammes de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour le fait 104 (prélèvements 42 et 43).

Mesure du calibre (prélèvement 43) :

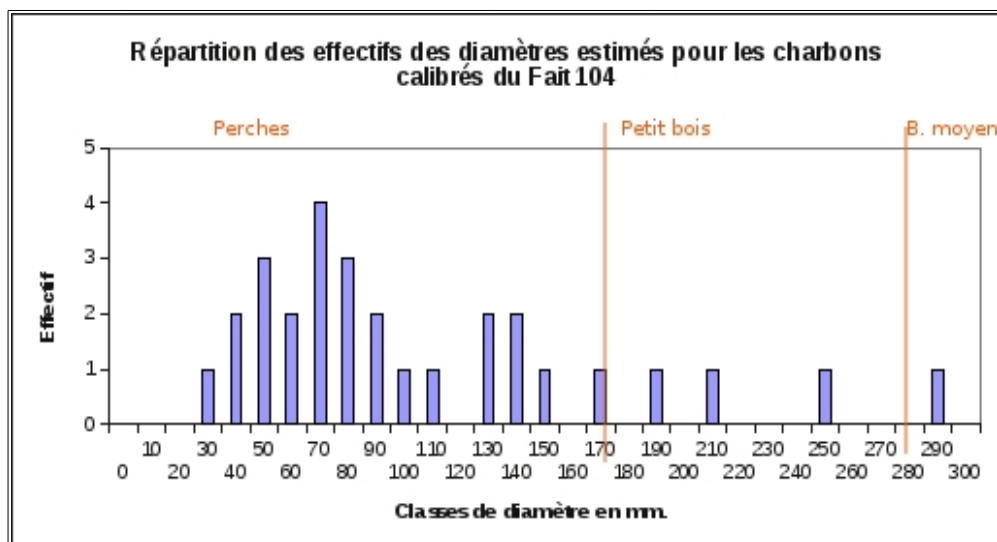


Figure 8 - histogrammes des classes de diamètres estimés par calibration pour les charbons du Fait 104 (Prélèvement 43)

Classes de diamètre (cm)	effectif	%
0-2	0	0
2-5	3	10,0
5-10	15	50,0
10-15	6	20,0
15-20	2	6,7
20-25	1	3,3
25-30	2	6,7
30-35	0	0
35-50	1	3,3

Figure 9 : effectifs de charbons par classe de diamètre, données brutes. Fait 104

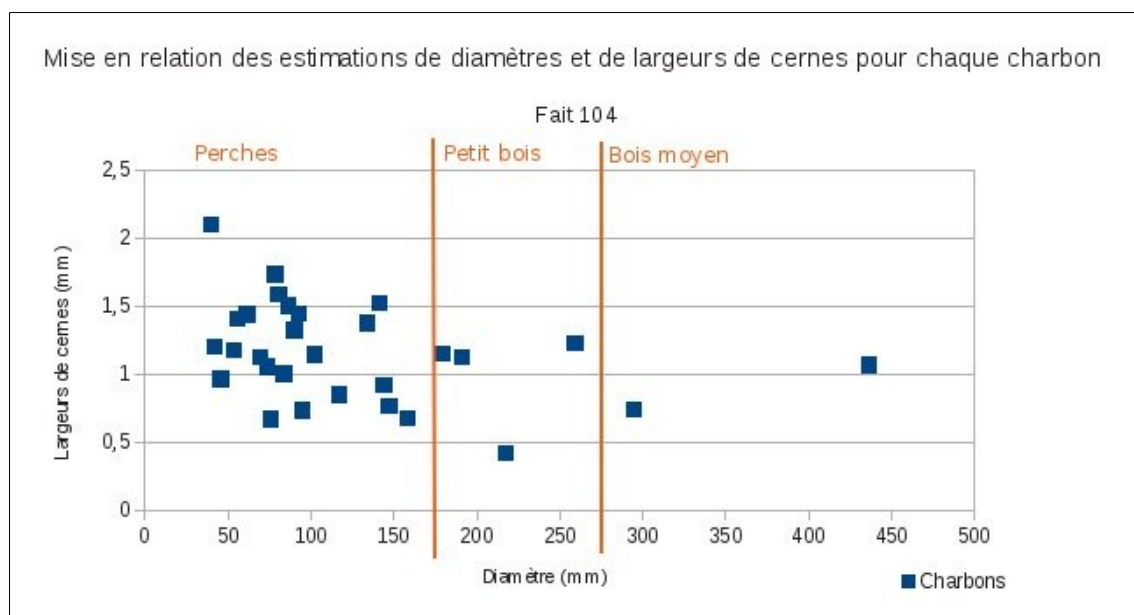


Figure 10 - Répartition des largeurs de cernes en fonction des calibres de bois. Fait 104

3.1.2. Interprétations

52 charbons ont été observées pour le Fait 104. Seul le chêne a été identifié. Il s'agit pour la plupart des charbons, d'éléments de bois de cœur (présence de thyllles fréquente).

Nous n'avons pas constaté de différences majeures entre les deux prélèvements tant sur le plan « composition taxonomique » que sur le plan des critères dendrologiques.

En ce qui concerne le type de combustion, beaucoup de charbons ont montré des aspects « fendus/luisants » et dans une moindre mesure « durs/luisants ». Ces aspects sont la conséquence d'une combustion en milieu anaérobie (conditions réductrices), typiques des conditions de combustion du bas-fourneau (milieu confiné et hautes températures). Nous avons aussi constaté quelques charbons présentant de nombreuses fentes de retrait ce qui pourrait caractériser la combustion de bois « verts » (Figure 6).

45 charbons ont pu faire l'objet de mesures de largeurs de cernes (les croissances apparaissent régulières) (cf. Figure 7). La moyenne de croissance du prélèvement 42 (0,80mm/an) est un peu plus faible que celle du prélèvement 43 (1,11mm/an). Au regard des écart-types, cette différence n'apparaît cependant pas significative. La moyenne obtenue pour l'ensemble du Fait 104 est de 1,06mm/an, ce qui correspond à une croissance radiale faible voire très faible. On peut supposer que les bois prélevés ont poussé dans des contextes de compétition vis à vis des ressources importantes, peut être une forêt dense.

Une grande partie des charbons observés présentaient des courbures faibles ce qui tendrait à décrire des bois de « fort calibre ». Quelques éléments ont montré des courbures importantes ou intermédiaires, typiques de bois de brindilles. Ces bois de petits calibres, relativement rares dans l'ensemble de la structure, ont pu servir de bois d'allumage.

Calibres mesurés (Figure 8, Figure 9 et Figure 10):

Les mesures de calibre ont pu être effectuées sur 30 charbons de chêne observés (ce qui correspond en réalité à environ 90 mesures car 3 mesures sont généralement effectuées sur chaque charbon).

Les données brutes d'effectifs (Figure 9) montrent que 50% des charbons se regroupent dans la classe de diamètre 5 - 10 cm. Plus de la moitié des charbons montrent un diamètre en deçà de 10 cm.

Selon 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, 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 élevées ; elles sont pour la majorité au-dessus de 1,25 mm/an. En revanche, les stades petit bois et bois moyen, certes peu représentés, ont des largeurs de cerne principalement au-dessous de 1,25 mm.

Au regard de la distribution des effectifs de diamètres (Figure 8), nous pouvons discerner un premier ensemble de 20mm à 60mm) puis un second de 60 à 110mm et un ensemble dont les diamètres varient autour de 130 à 150mm suivis de diamètres épars jusqu'à environ 300mm. On peut supposer que les charbons proviennent d'arbres de diamètres minimum d'environ 6cm, 10cm, 15cm et probablement un arbre d'environ 44cm. A noter que la mesure de 44cm est à considérer avec précaution, car les mesures au delà de 20cm perdent en précision (Dufraisse A., 2011).

Au final, les faibles croissances radiales obtenues (moyenne d'environ 1mm/an), nous invitent plutôt à penser que les bois ont été extraits d'un peuplement de type futaie. 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 (on ne constate qu'un écart-type de 0,4mm, Figure 7).

3.2. Les prélèvements 51, 80 : Fait 105 (Bas-fourneau)

3.2.1. Résultats

Prélèvement 51 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Pomoïdée	6	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	24	23	0	0	20	1	12	0	1	16

Prélèvement 80 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pomoïdée	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	25	21	1	0	21	0	15	0	6	16

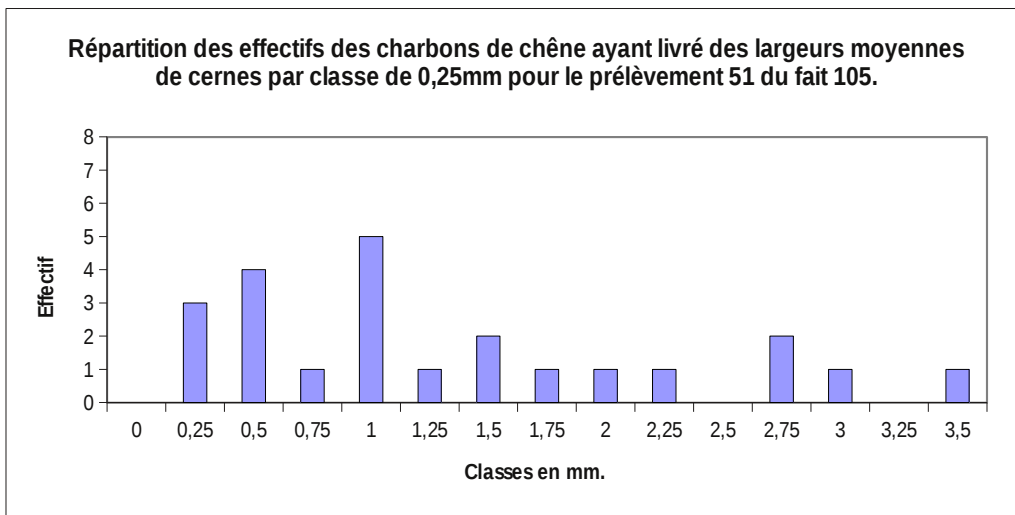
Total pour le fait 105 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pomoïdée	10	0	1	2	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	49	44	1	0	41	1	27	0	7	32

Figure 11 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements 51, 80 et le total pour la structure 105

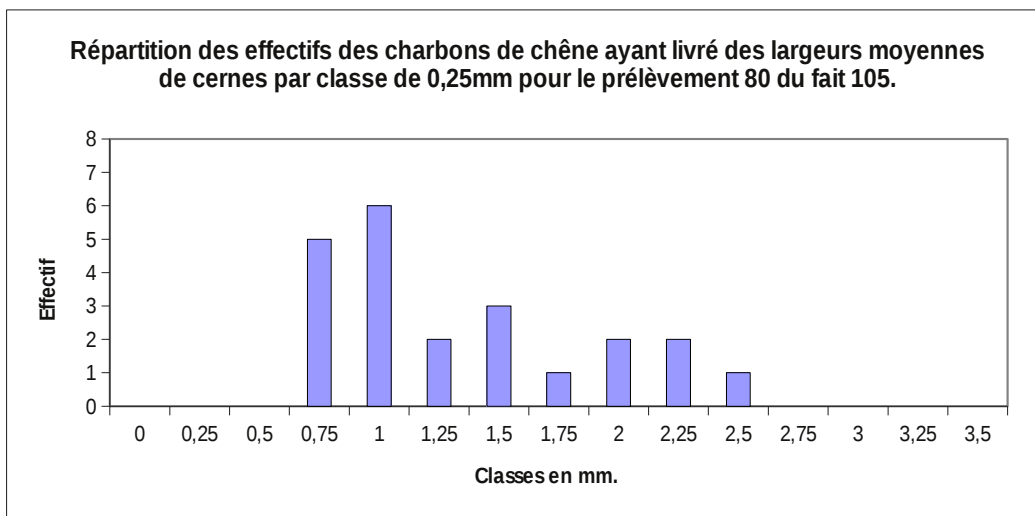
Prélèvement 51 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	23	92	1.45	0.96	0.35	3.64



Prélèvement 80 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	22	100	1.45	0.56	0.82	2.71



Total pour le fait 105 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	45	192	1.45	0.78	0.35	3.64

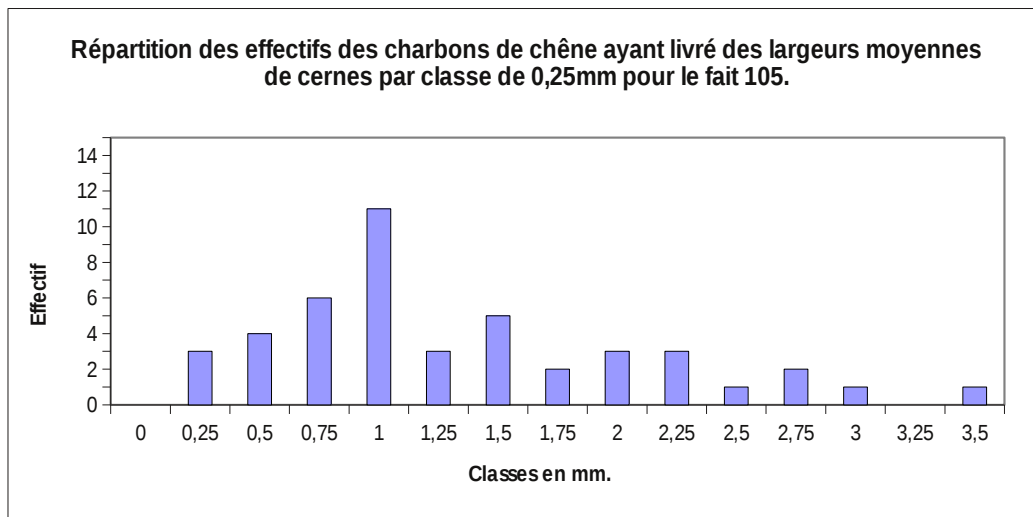


Figure 12 - Tableaux et histogrammes de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour les prélèvements 51 et 80 du fait 105.

3.2.2. Interprétations

Deux taxons ont été identifiés parmi les deux prélèvements de cette structure. Il s'agit du chêne et des Pomoïdées. Nous ne constatons pas de différence notable entre les compositions et mesures dendrologiques observées pour les deux prélèvements.

Les Pomoïdées observés sont des bois de faibles calibres, probablement des brindilles ou de petites branches. Le bois de chêne est en revanche constitué pratiquement que par du bois de fort calibre (44 attestations / 49) et notamment du bois de cœur (présence de thyllew dans 32 cas sur /49) (Figure 11). On peut supposer dans le cas de ce bas-founeau une utilisation du bois de Pomoïdée, voire quelques brindilles de chêne pour la phase d'allumage, et une utilisation de bois de chêne de gros calibres pour la phase d'entretien de la combustion.

En ce qui concerne la combustion, nous constatons des aspects « fendus/luisants » dans un certain nombre de cas (7/49) mais c'est surtout la fréquence de fentes de retrait qui domine (27cas / 49). Ce caractère est typique de combustions de bois humides et/ou à l'état « vert ».

L'étude des largeurs de cernes montre une moyenne identique pour les deux prélèvements 51 et 80, soit une croissance radiale moyenne de 1,45mm par an. Ce résultat est synonyme de conditions de croissance difficiles probablement une forêt dense.

3.3. Les prélèvements 53 et 56 : Fait 106 (Bas-Fourneau)

3.3.1. Résultats

Prélèvement 53 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Corylus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	31	27	0	0	18	1	9	4	5	26

Prélèvement 56 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Corylus sp.	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Pomoidée	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	22	14	0	0	9	0	1	11	4	10	0

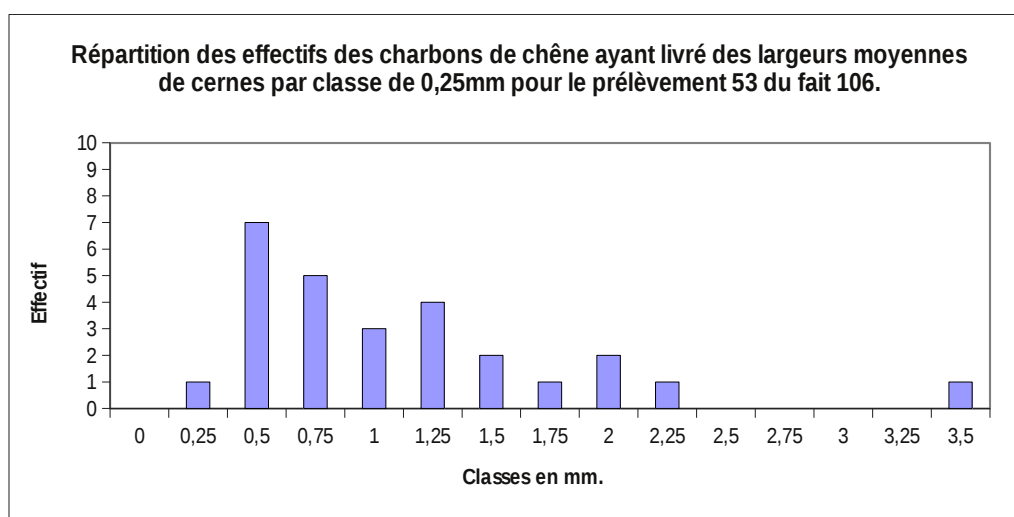
Total pour le fait 106 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Corylus sp.	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Pomoidée	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	53	41	0	0	27	1	10	15	9	36	0

Figure 13 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements 53, 56 du fait 106

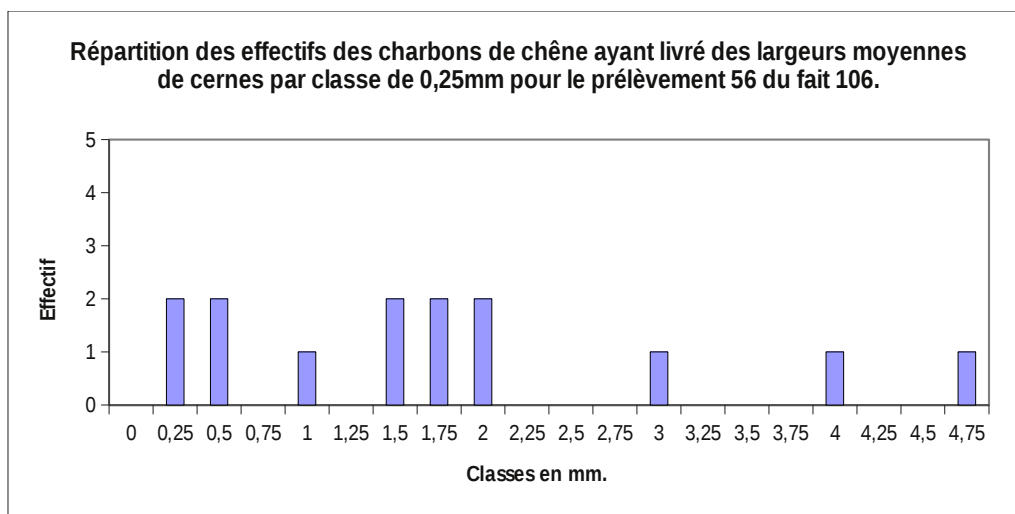
Prélèvement 53 :

Espèce	Nb bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	27	77	1.24	0.71	0.47	3.60



Prélèvement 56 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	14	27	1.91	1.37	0.33	5.00



Total pour le fait 106 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	41	104	1.47	1.02	0.33	5.00

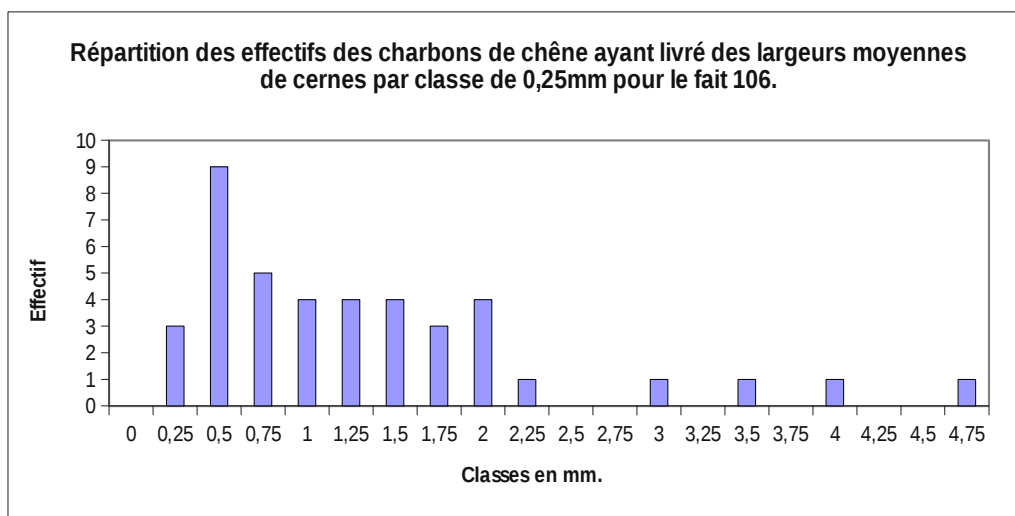


Figure 14 - Tableaux et histogrammes de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour les prélèvements 53 et 56 du fait 106.

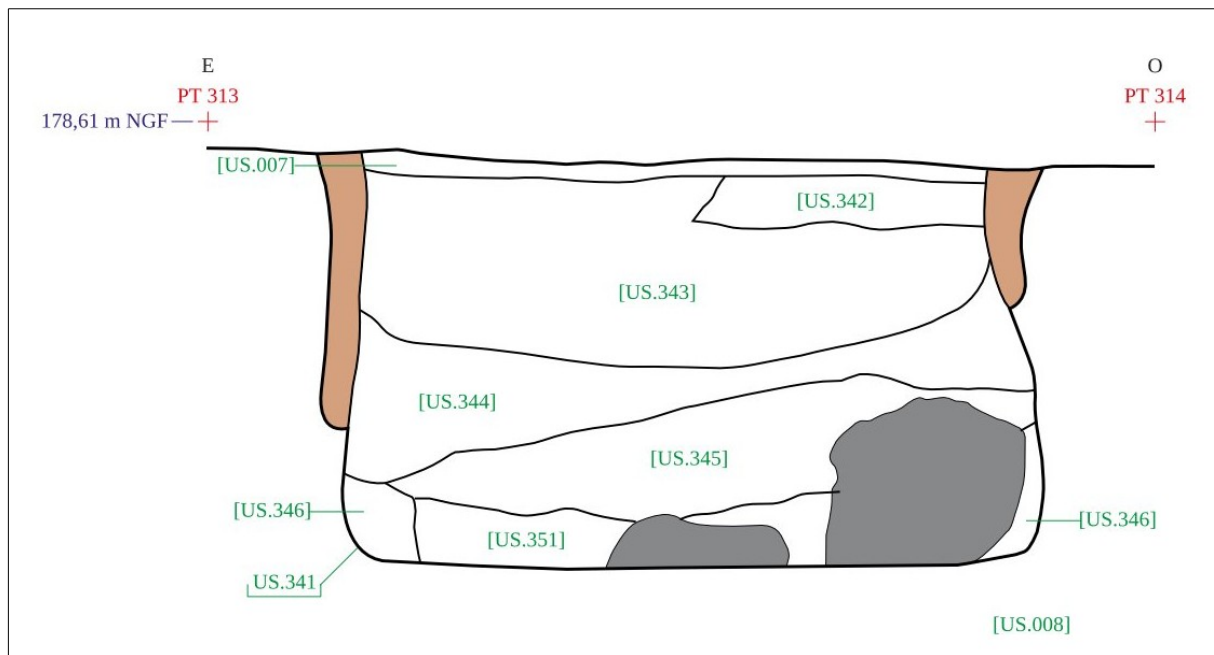


Figure 15 - Coupe stratigraphique du fait 106. Le prélèvement 53 correspond à l'us 345 et le prélèvement 56 à l'us 351.

3.3.2. Interprétations

53 charbons répartis en deux prélèvements ont été étudiés dans ce fait. Nous avons constaté de légères différences de composition (présence de Pomoïdées dans le prélèvement 56) et une croissance radiale de 1,91mm/an pour le prélèvement 56 contre 1,24mm/an pour le prélèvement 53.

La distribution des charbons selon les largeurs de cernes montre aussi une différence entre les deux prélèvements (Figure 14). La distribution des largeurs de cernes est plutôt centrée autour de 0,5 à 0,75mm/an, avec un maximum à 0,5 mm/an pour le prélèvement 53 alors que la répartition est plus homogène pour le 56, avec des charbons montrant des largeurs de cernes de 2,5 à 4,75mm/an.

Il y a là probablement une différence d'approvisionnement, le prélèvement 56 (us 351) correspondant à une couche de fond du bas fourneau, alors que le lot 53 (us 345) a été prélevé dans une couche supérieure.

Les autres critères (occurrence des thylles, répartitions des aspects liés à la combustion) ne laissent en revanche pas apparaître de grosses différences.

Trois taxons ont été identifiés dans l'étude du fait 106, il s'agit du noisetier, des Pomoïdées et du chêne.

Les occurrences du noisetier et des bois de Pomoïdées correspondent à des ramassages dans des milieux clairs, telles que les lisières forestières, les haies. Plusieurs charbons de Pomoïdées présentaient des courbures fortes, synonymes de bois de petits calibres. Ces deux essences sont réputées comme étant de bons combustibles (Selon Rameau *et al.* 1989, le noisetier génère une forte chaleur pendant une longue durée) et ont probablement servi de « bois d'allumage » au bas-fourneau.

Les charbons de chêne correspondent quant à eux à du bois de fort calibre (41/53 charbons présentent une courbure faible), provenant pour l'essentiel de bois de cœur (la fréquence de thylles est importante)(Figure 13).

En ce qui concerne la combustion nous constatons à la fois des charbons d'aspects fendus (10/53), fendus-luisants(9/53), dur-luisants (15/53). Ces traits sont caractéristiques d'une combustion de type anaérobie (typique des fourneaux), mais aussi probablement d'une combustion de bois « verts »(Figure 13).

L'étude de la croissance radiale des bois de chêne montre des résultats hétérogènes. Nous constatons pour le prélèvement 53 une moyenne de 1,24mm/an avec un écart-type de 0,71mm/an. Il y a en fait un charbon montrant une valeur de 3,5 mm/an qui produit cet écart. En écartant cet élément nous obtiendrions une répartition relativement homogène (unimodale) autour de 1 à 1,25mm/an. En bref, ces résultats vont dans le sens d'une seule aire de ramassage située dans une chênaie plutôt dense pour le prélèvement 53.

Les résultats de largeurs de cernes du prélèvement 56 sont étalés entre 0,25 mm/an et 4,75mm, ce qui tendrait à décrire des prélèvements d'origines (branches, troncs) et/ou de provenances diverses (lisières, forêts, haies). Ce que la présence de noisetiers et de Pomoïdées confortent.

En résumé, les deux couches charbonneuses du fait 106 semblent correspondre à deux approvisionnements différents. Les éléments du prélèvement 56, retrouvés en fond de fourneau, se composent de charbons provenant de bois d'origines diverses tant en termes de compositions taxonomiques (noisetiers, Pomoïdées, chênes) qu'en termes de croissances radiales (synonymes d'éléments de branches, troncs, types de peuplements d'origines différentes). Les bois de la couche supérieure (prélèvement 53) sont constitués essentiellement d'éléments de chêne aux traits plus homogènes, en provenance d'une forêt dense ou tout du moins caractérisée par une forte compétition inter-individuelle vis à vis des ressources.

3.4. Le prélèvement 035 : Fait 437

3.4.1. Résultats

Prélèvement 35 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Quercus sp.	48	38	0	0	29	0	12	3	15	10
Ulex sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ulmus sp.	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0

Figure 16 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement 35 (Fait 437)

Espèce	Nb bois	Nb cerne	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	35	96	2.01	0.75	0.74	3.90

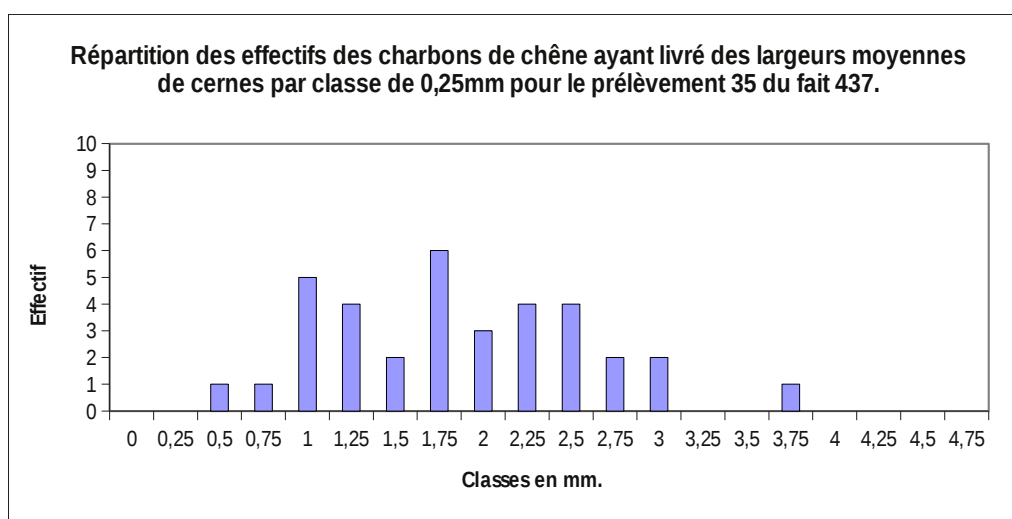


Figure 17 - Tableau et histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cerne réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour le prélèvement 35 (Fait 437).

3.4.2. Interprétations

L'ensemble des charbons étudiés pour ce fait proviennent d'un seul prélèvement. 52 charbons ont été étudiés.

L'ensemble est dominé par le chêne, mais une autre essence d'arbre a été détectée, il s'agit de l'orme, essence vivant plutôt dans les stations mésophiles à humides, dans les milieux clairs, clairières, lisières forestières, haies (Figure 16). Il constitue un bois de feu de première qualité (Rameau *et al.* 1989).

Un charbon de Genistae, probablement un morceau d'ajonc (*Ulex sp.*) a aussi été détecté. Cette occurrence correspond probablement à un ramassage dans une formation de fourrés telles qu'on peut les trouver auprès des haies, lisières, voire dans les landes-fourrés. Le choix de ce taxon est probablement technique car ce sont des bois de petits calibres (courbure forte) offrant un bon bois « d'allumage ».

L'ensemble des charbons de chêne provient essentiellement de bois de gros calibres (38 cas / 48). Les aspects des charbons oscillent entre des charbons fendus (15/48) et fendus/luisants (12/48). Ces résultats sont typiques des combustions en conditions réductrices (sans oxygènes) des bas-fourneaux. La fréquence assez importante des fentes de retraits caractérise plutôt un approvisionnement en bois « verts ».

L'étude des largeurs de cernes a permis de calculer une largeur moyenne de 2 mm/an ce qui décrit des conditions de croissances difficiles (probablement un milieu forestier) mais relativement moins concurrentiel que pour les approvisionnements des faits précédents (104, 105 et 106).

Enfin l'homogénéité de la répartition des valeurs (distribution unimodale recentrée autour de 1 à 2,5 mm/an avec un écart-type de 0,75) indique une source d'approvisionnement probablement unique (Figure 17).

3.5. Les prélèvements 38, 39, 40, 41 : Fait 438 (Bas-fourneau)

3.5.1. Résultats

Prélèvement 38 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Salix sp.	9	1	5	0	0	0	0	0	0	0
Ulmus sp.	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Prélèvement 39 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Corylus sp.	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
Quercus sp.	12	10	0	0	9	0	2	0	5	9	
Salix sp.	6	0	0	5	0	0	0	0	0	1	
Ulmus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Prélèvement 40 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Betula sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	6	5	0	0	5	0	1	0	2	3
Salix sp.	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Prélèvement 41 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Alnus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Betula sp.	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	16	15	0	0	15	0	4	1	2	10
Salix sp.	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Ulmus sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Total pour le fait 438 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle	Moëlle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant		
Alnus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Betula sp.	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
Corylus sp.	4	0	0	1	0	0	0	0	0	10	
Quercus sp.	34	30	0	0	29	0	7	1	9	22	
Salix sp.	19	1	5	6	0	0	0	0	0	1	
Ulmus sp.	3	1	0	1	0	0	0	0	0	0	

Figure 18 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour les prélèvements 38, 39, 40, 41 (Fait 438)

Prélèvement 39 :

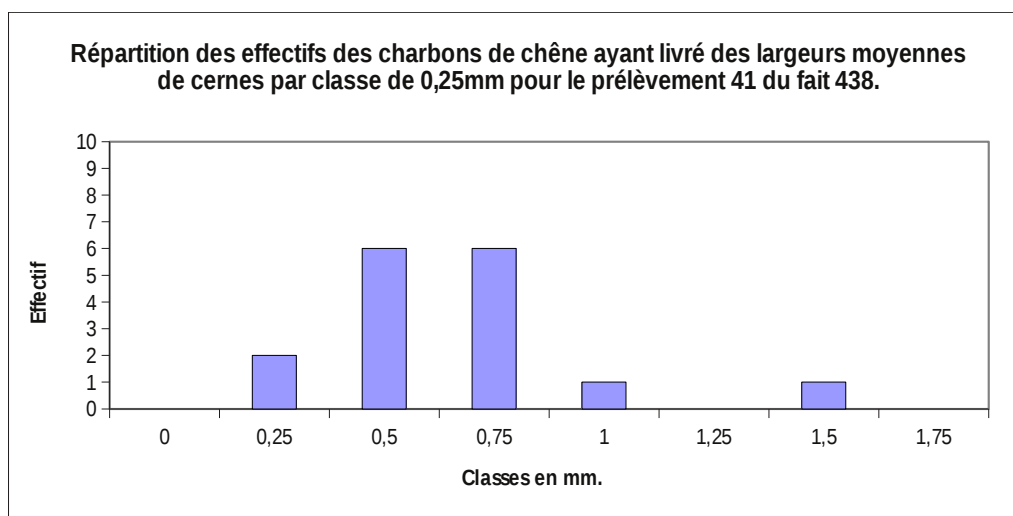
Espèce	Nb bois	Nb ceres	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	10	51	1.42	1.81	0.52	6.51

Prélèvement 40 :

Espèce	Nb bois	Nb ceres	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	5	26	0.82	0.04	0.77	0.86

Prélèvement 41 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	16	96	0.76	0.28	0.33	1.55



Total pour le fait 438 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	31	173	0.98	1.06	0.33	6.51

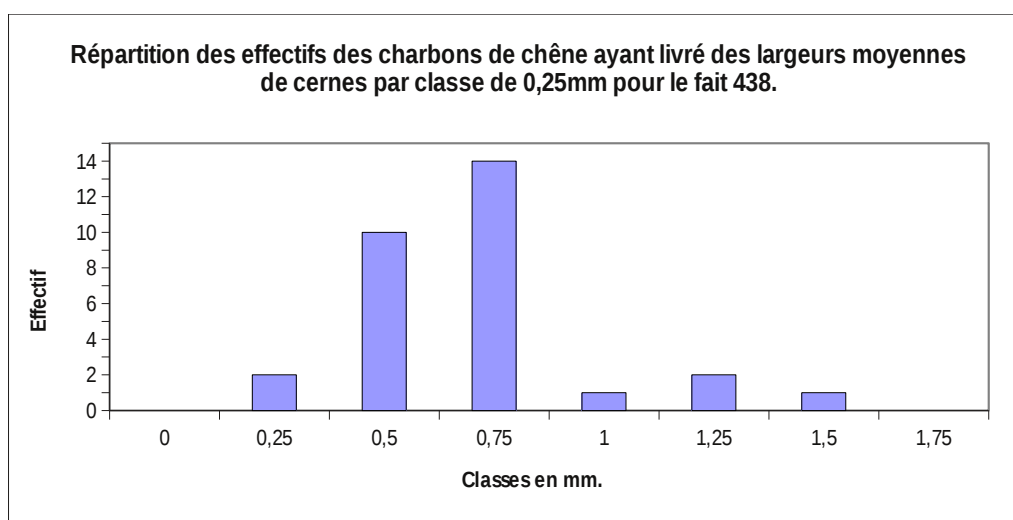


Figure 19 - Tableau des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour les prélèvements 38, 39, 40, 41 (Fait 438)

Mesure du calibre (prélèvement 41) :

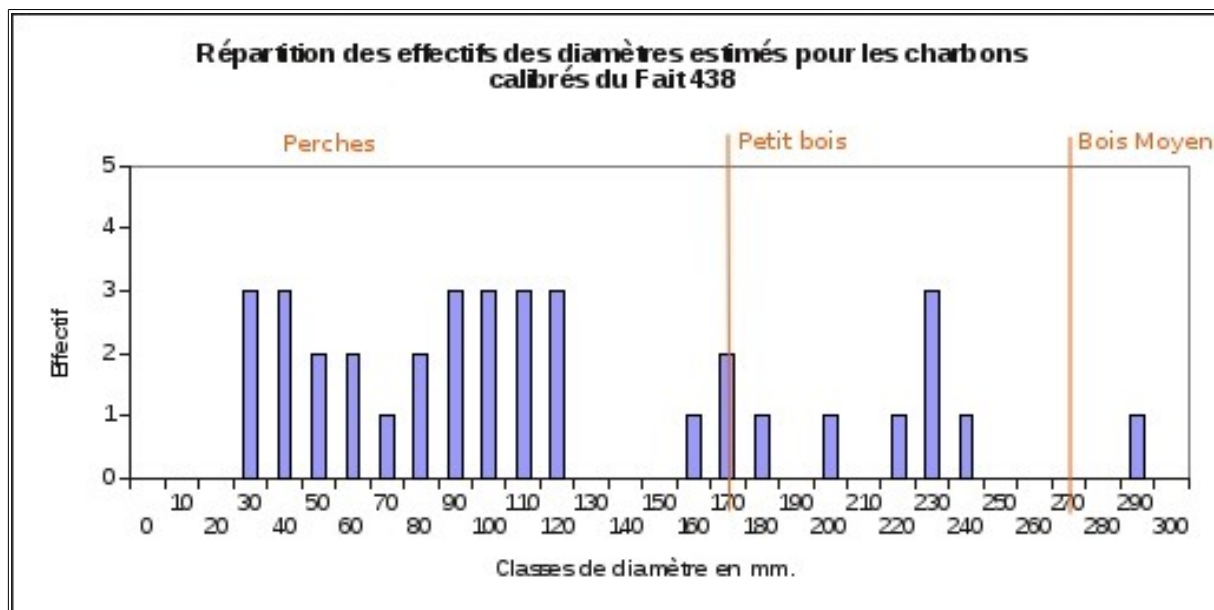


Figure 20 - histogrammes des classes de diamètres estimés par calibration pour les charbons du Fait 438 (Prélèvement 41)

Classes de diamètre (cm)	effectif	%
0-2	0	0
2-5	6	16,7
5-10	10	27,8
10-15	9	25,0
15-20	4	11,1
20-25	6	16,7
25-30	1	2,8
30-35	0	0
35-50	0	0

Figure 21 : effectifs de charbons par classe de diamètre, données brutes. Fait 104

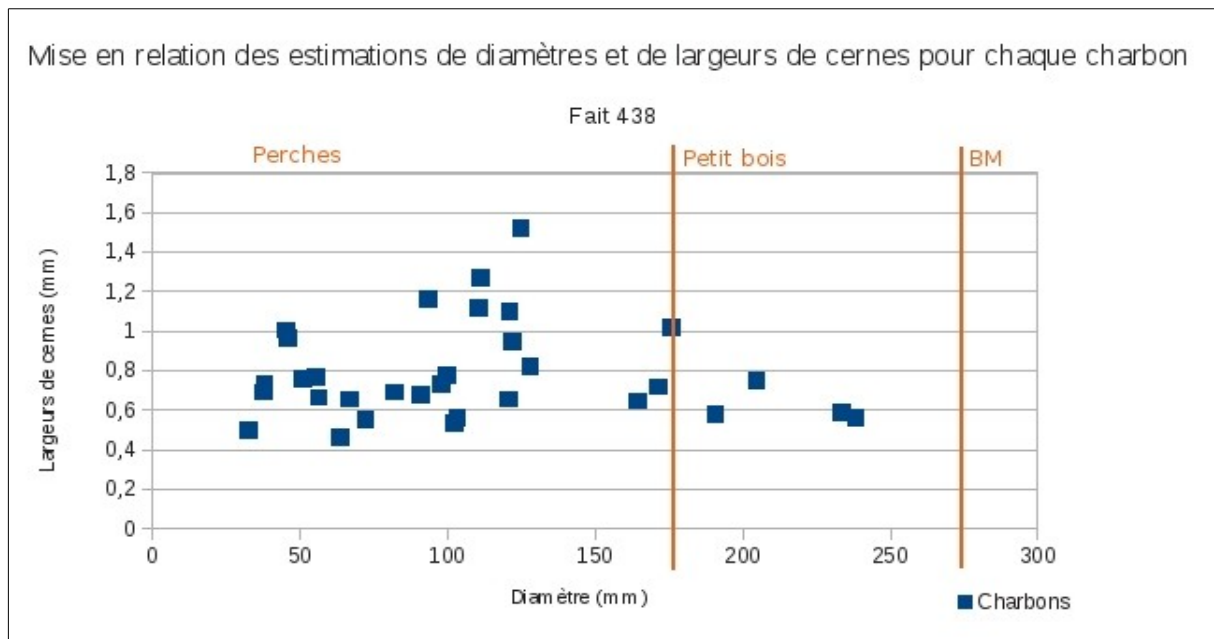


Figure 22 - Répartition des largeurs de cernes en fonction des calibres de bois. Fait 438

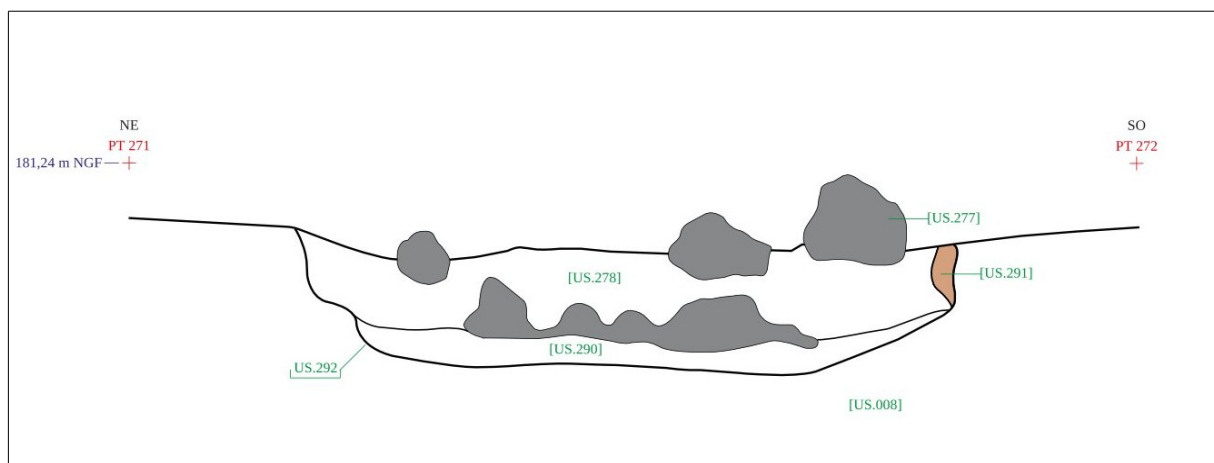


Figure 23 - Coupe stratigraphique du fait 438. Les prélèvements 38 et 39 correspondent à la couche 278, les prélèvements 40 et 41 à la couche 290.

3.5.2. Interprétations

Les analyses réalisées proviennent de 4 prélèvements issus de 2 couches distinctes. La couche 290 (prélèvements 40 et 41) correspond à la couche du fond du fourneau, la couche 278 à la couche située juste au dessus (prélèvements 38 et 39).

6 taxons ont été identifiés, il s'agit du chêne (*Quercus sp.*), de l'orme (*Ulmus sp.*), du saule (*Salix sp.*), de l'aulne (*Alnus sp.*), du noisetier (*Corylus sp.*), du bouleau (*Betula sp.*).

Le noisetier, le bouleau ainsi que l'orme sont des essences héliophiles. Elles proviennent probablement de formations forestières claires ou forêts dégradées, voire de lisières ou de haies. Le noisetier et le bouleau sont connus pour être des essences pionnières s'adaptant à tous les substrats (Rameau *et al.*, 1989).

Le saule, l'aulne accompagnés potentiellement du bouleau et de l'orme correspondent davantage à des formations hygrophiles, par exemple de zones alluviales ou de fonds de vallées.

Du point de vue de la composition taxonomique, nous notons quelques différences entre les lots des deux couches. Le noisetier est spécifique à la couche 278 alors que l'on trouve l'aulne et le bouleau uniquement dans la couche du fond de fourneau. Du point de vue des mesures de cernes, on détecte là aussi une différence puisqu'on a pu calculer une moyenne de 1,42 mm/an pour les charbons de chêne de la couche 278 (prélèvement 39), alors que nous obtenons des valeurs de 0,82 mm/an et 0,76 mm/an pour les lots de la couche 290. Les autres critères, de combustion et de calibre, ne laissent pas apparaître de différences notoires. Les charbons des deux couches correspondent, à priori, à deux approvisionnements différents.

En ce qui concerne les aspects des charbons, on note à la fois des aspects fendus (7/34), fendus/luisants (9/34) et durs-luisants (1 élément). Ces caractères sont le résultat d'une combustion en contexte anaérobie et probablement de bois encore à l'état « vert » (Figure 20).

Le calibre des bois est dominé par du bois de chêne de fort calibre (30/34), les autres taxons (noisetier, bouleau, saule notamment) sont des bois de petits calibres. On peut supposer une utilisation de bois d'allumage pour les taxons de petits calibres, alors que le bois de chêne a été utilisé pour alimenter le feu.

Les mesures de largeurs de cernes ont été réalisées sur les prélèvements 39, 40 et 41. Il n'y avait pas de charbons de chêne dans le prélèvement 38. Les croissances radiales calculées sont très proches pour les prélèvements 40 et 41 (0,82mm/an et 0,76mm/an). Nous obtenons une moyenne de 0,98mm/ an pour l'ensemble de la structure ce qui correspond globalement à une faible croissance radiale. Les bois de chêne dont sont issus les charbons ont connu des conditions de croissances difficiles probablement dans une forêt dense.

Les mesures de calibre ont pu être effectuées sur 34 charbons de chêne observés. Les données brutes d'effectifs (Figure 21) montrent que les deux tiers des charbons ont un diamètre inférieur à 15cm. Le dernier tiers des charbons est essentiellement compris dans la classe de diamètre 15 à 30cm (« petit bois »).

Afin d'estimer les diamètres des arbres, il faut identifier les ruptures dans le diagramme de classe. On peut discerner trois ensembles de fréquences sur le diagramme de classe : un ensemble allant de 3 à 6cm, de 7 à 12cm, de 16 à 18cm et autour de 22-24cm. La précision est moindre au delà de 20cm (Dufraisse A, 2011.). En résumé pour cette structure nous obtenons des diamètres minimum (les pourtour ont pu être détruits) de 6cm, 12cm, 18cm et 24cm. Nous notons une mesure de diamètre 30cm qui est à considérer avec précaution.

Nous observons comme diamètre maximale des valeurs autour de 12cm pour le premier ensemble et de 25cm voire 30cm pour les diamètres les plus importants. En résumé, les charbons de chêne proviennent probablement d'arbres ou branches d'environ 12cm et de 25cm à 30cm de diamètre.

Au regard de la Figure 22, il apparaît que les bois au stade « perchis » ont des croissances radiales légèrement plus élevées ; elles sont régulièrement au-dessus de 1 mm/an. En revanche, les stades « petit bois » et « bois moyens », certes moins représentés, ne montrent pas de croissances au dessus de 1,25 mm/an.

De façon identique aux mesures de calibration réalisées pour le fait 105, on peut interpréter ces résultats comme des croissances typiques de peuplements de type « futaie ». Le stade juvénile ou « perchis » apparaît plus vigoureux que les stades ultérieurs petit bois et bois moyens. Ce phénomène est probablement lié à la croissance naturellement plus importante au démarrage de l'arbre. On constate ensuite des croissances moindres liées à une compétition « inter-individuelle » qui s'accroît avec l'âge de l'arbre demandant de plus en plus de ressources.

3.6. Le prélèvement 33 : Fait 439

3.6.1. Résultats

Prélèvement 33 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Betula sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Corylus sp.	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Fagus sp.	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Indéterminé	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pomoidée	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	36	34	0	0	32	0	3	13	6	14
Salix sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0

Figure 24 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement 33 (Fait 439)

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	34	123	1.24	0.29	0.81	1.73

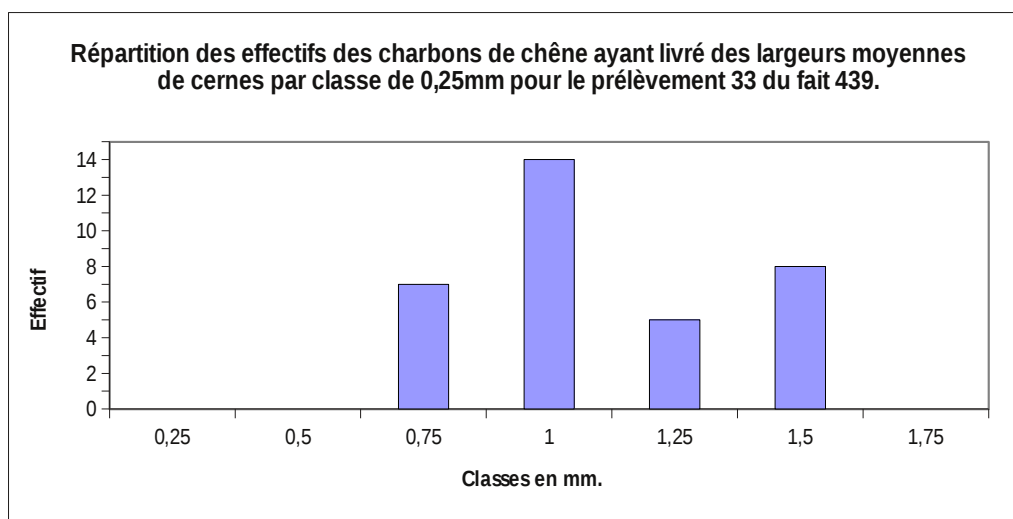


Figure 25 - Tableau et histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour le prélèvement 33 (Fait 439).

3.6.2. Interprétations

Six taxons ont été détectés dans le fait 439. Les essences de saules (*Salix sp.*), Pomoidées, bouleaux (*Betula sp.*), noisetiers (*Corylus sp.*), hêtres (*Fagus sp.*)

correspondent à des bois de petits calibres (bois d'allumage ?), alors que les éléments de chênes (*Quercus sp.*) sont issus de bois de gros calibres (faibles courbures et présence de thyllles) qui constituaient probablement le bois d'entretien du feu.

La détection du saule révèle un ramassage dans une zone « humide » ou mésophile (zone alluviale, fond de vallée). Les Pomoïdées, bouleaux, noisetiers, essences héliophiles sont quant à eux révélateurs de ramassages dans des boisements clairs, types « lisières », « haies », « clairières ».

L'observation des charbons de chêne montre des aspects « dur-luisants » (13/36) et fendus-luisants (6/36), effets caractéristiques de combustions « anaérobies » ou réductrices caractéristiques des bas-fourneaux. Quelques charbons (3/36) présentent de nombreuses fentes radiales, tendant à décrire un bois brûlé à l'état « vert ».

En ce qui concerne la croissance radiale, 34 charbons de chêne ont pu faire l'objet de mesures, permettant de calculer une largeur moyenne de 1,24mm/an. Ce résultat correspond à des conditions de croissances difficiles, probablement une forêt dense ou à forte concurrence inter-individuelle par rapport aux ressources.

On peut remarquer la similarité des contextes de ramassages avec le fait 438. Les calibres « forts » pour le chêne, plutôt faible pour les autres essences sont aussi semblables avec le fait 438. Compte-tenu des écart-types, les croissances radiales moyennes, de 1,24mm/an pour le fait 439 contre 0,98mm/an pour le fait 438, apparaissent assez proches aussi. On notera la proximité géographique des deux faits.

En revanche, le fait 437 (cf. chapitre 3.4) géographiquement très proche, apparaît différent de par sa composition taxonomique et par la croissance radiale mesurée (2,01mm/an).

3.7. Les prélèvements 36, 37 : Fait 449

3.7.1. Résultats

Prélèvement 36 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Indéterminé	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	16	11	0	1	11	1	4	3	6	4

Prélèvement 37 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Indéterminé	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	26	22	0	0	20	2	13	1	1	14

Total pour le fait 449 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Indéterminé	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	42	33	0	1	31	3	17	4	7	18

Figure 26 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement 36, 37 (Fait 449)

Prélèvement 36 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	12	33	1.35	0.71	0.66	2.95

Prélèvement 37 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	22	76	1.55	0.92	0.58	5.14

Total pour le fait 449 :

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	34	109	1.48	0.85	0.58	5.14

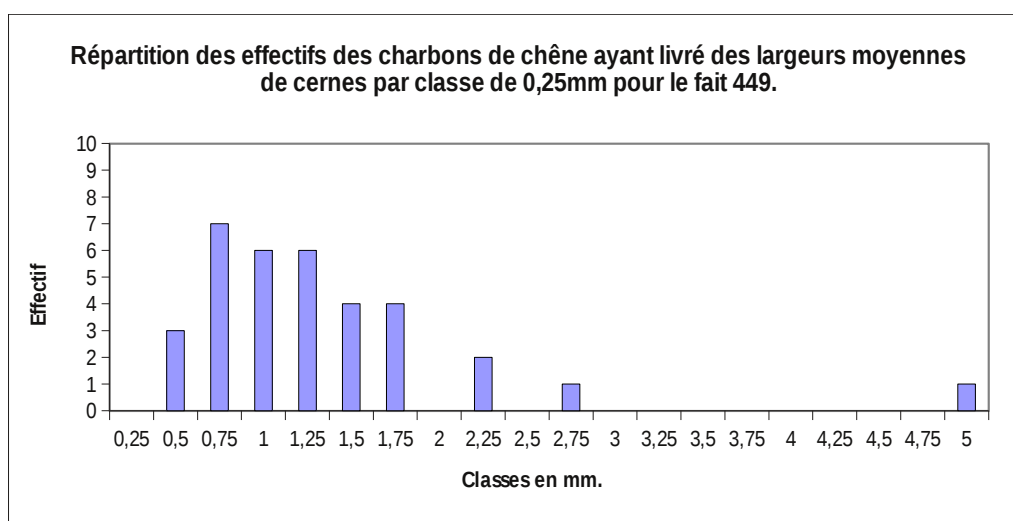


Figure 27 - Tableau et histogramme de classes synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour les prélèvements 36, 37 du Fait 449

3.7.2. Interprétations

Deux prélèvements ont été étudiés pour le fait 449, mais ils n'ont révélé qu'un seul taxon, il s'agit du chêne. La comparaison des résultats entre les deux lots n'a pas montré de différences majeures du point de vue dendrologique (proportions des aspects, calibres, et largeurs moyennes de cernes similaires).

En ce qui concerne le type de combustion, l'observation des charbons montre surtout des aspects « fendus » (17/42), « fendus-luisants » (7/42) et « durs-luisants » (4/42). Ces constats sont caractéristiques de bois brûlés à l'état « vert » dans des conditions de combustions réductrices typiques des bas-fourneaux.

Les mesures de largeurs de cernes ont permis de calculer une moyenne de 1,48mm/an, révélant des conditions de croissances des arbres difficiles. L'historgramme de classe des largeurs de cernes, montre une répartition homogène (la distribution est unimodale) indiquant une source d'approvisionnement probablement unique (seul un charbon montre une croissance très écartée).

3.8. Le prélèvement 68 : Fait 521

3.8.1. Résultats

Prélèvement 68 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Fagus sp.	14	1	3	6	2	0	2	0	0	0
Indéterminé	3	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Pomoïdée	8	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	25	15	2	0	15	0	8	2	7	12
Salix/Populus	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Figure 28 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement 68 (Fait 521)

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	16	72	0.91	0.51	0.28	2.37

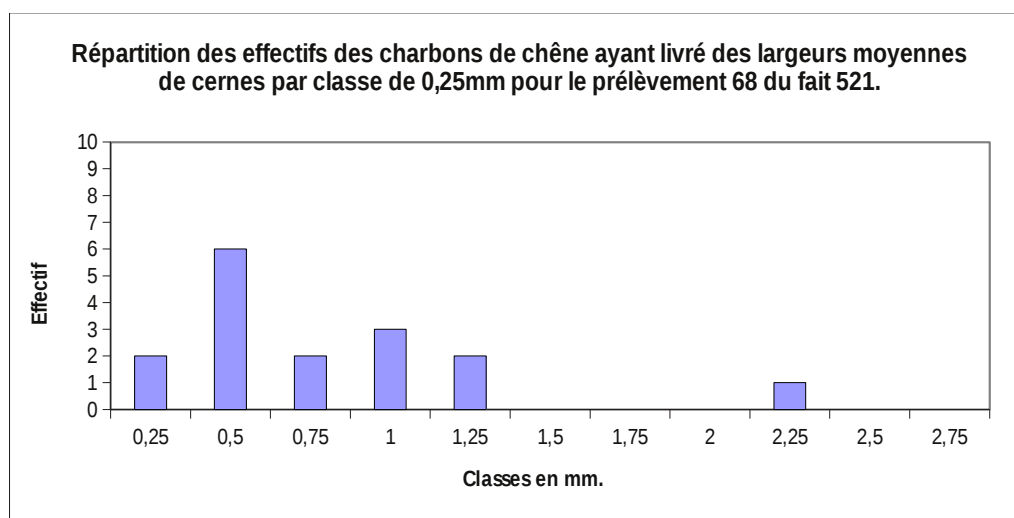


Figure 29 - Tableaux synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour le prélèvement 68 (Fait 521).

3.8.2. Interprétations

Le lot présentait des charbons de quatre taxons : le chêne, le hêtre, les Pomoïdées ainsi qu'une occurrence de Saule/Peuplier.

Ces taxons sont synonymes de ramassages probablement dans une zone humide (présence du Saule/Peuplier), dans une zone de boisements clairs (occurrence de Pomoïdées), et dans une forêt de type chênaie-hêtraie.

De nouveau, les charbons de chêne généralement de forts calibres (15/25 cas accompagnés de l'observation fréquente de thylles) sont plutôt à attribuer à l'entretien du feu alors que les autres essences, globalement de petits calibres (fortes courbures de cernes des charbons) peuvent être attribués à la phase « d'allumage » du feu.

Les charbons de chêne apparaissent le plus souvent fendus (8/25) et fendus-luisants (7/25). Ces résultats sont caractéristiques de conditions de combustion de bas-

fourneaux (combustion réductrice). La fréquence des fentes de retrait est synonyme du passage au feu de bois « verts ».

16 charbons ont pu faire l'objet de mesures de largeurs de cernes donnant une moyenne de 0,91mm/an pour 72 cernes mesurés. Le résultat est plutôt révélateur de conditions de croissances des chênes difficiles, forêts denses, ressources édaphiques insuffisantes? La distribution des largeurs de cernes est homogène la (distribution est unimodale) ce qui laisse penser à un ramassage localisé et unique.

3.9. Le prélèvement 67 : Fait 522

3.9.1. Résultats

Prélèvement 67 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Fagus sp.	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	55	38	0	0	35	0	19	3	22	11

Figure 30 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement 67 (Fait 522)

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	38	129	1.37	0.46	0.76	2.73

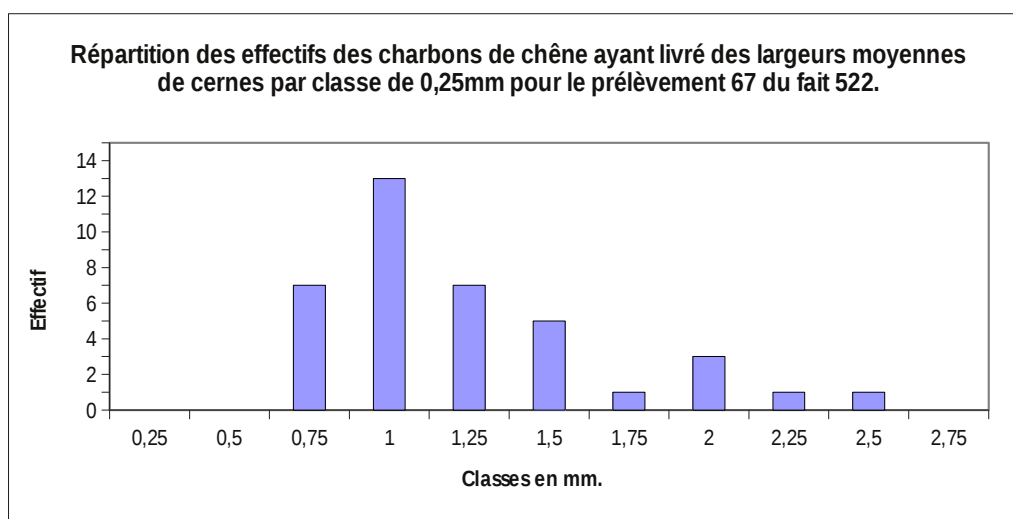


Figure 31 - Tableaux synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour le prélèvement 67 (Fait 522).

3.9.2. Interprétations

Seulement deux taxons ont été identifiés dans ce fait, il s'agit du chêne et du hêtre. Si la provenance des charbons de chêne a pu être attribué à du bois de gros calibre (fréquence des faibles courbures des cernes : 38/55), le charbon de hêtre n'a pu être bien caractérisé.

Les aspects « fendus-luisants » (22/55) et « fendus » (19/55) des charbons de chêne permettent de caractériser une combustion de type « réductrice », typique des bas-fourneaux avec du bois encore « vert ».

Les mesures de largeurs de cernes ont permis de calculer une croissance radiale moyenne de 1,37mm/an, caractéristiques de conditions de croissance difficiles.

En ce qui concerne la répartition des largeurs de cernes, on constate une distribution bimodale avec un premier ensemble, le plus important, réparti entre les classes 0,5mm/an à 1,75 mm/an et un second ensemble moins bien représenté, situé entre les classes 1,75 mm/an à 2,75mm. Il y a probablement eu deux approvisionnements en bois de chêne distincts.

3.10. Le prélèvement 69 : Fait 523

3.10.1. Résultats

Prélèvement 69 :

Nom espèce	Effectif	COURBURE			RYTHME		COMBUSTION			Thylle
		Faible	Intermédiaire	Forte	Régulier	Particulier	Fendu	Dur/Luisant	Fendu/Luisant	
Fagus sp.	14	5	0	2	0	0	1	0	0	0
Indéterminé	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pomoidée	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Prunus sp.	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Quercus sp.	32	21	0	3	19	2	13	1	9	8

Figure 32 - Liste des taxons anthracologiques et mesures dendrologiques effectuées pour le prélèvement 69 (Fait 523)

Espèce	Nb bois	Nb cernes	Moyenne	Ecart type	Minimum	Maximum
Quercus sp.	23	79	1.68	1.11	0.33	3.79

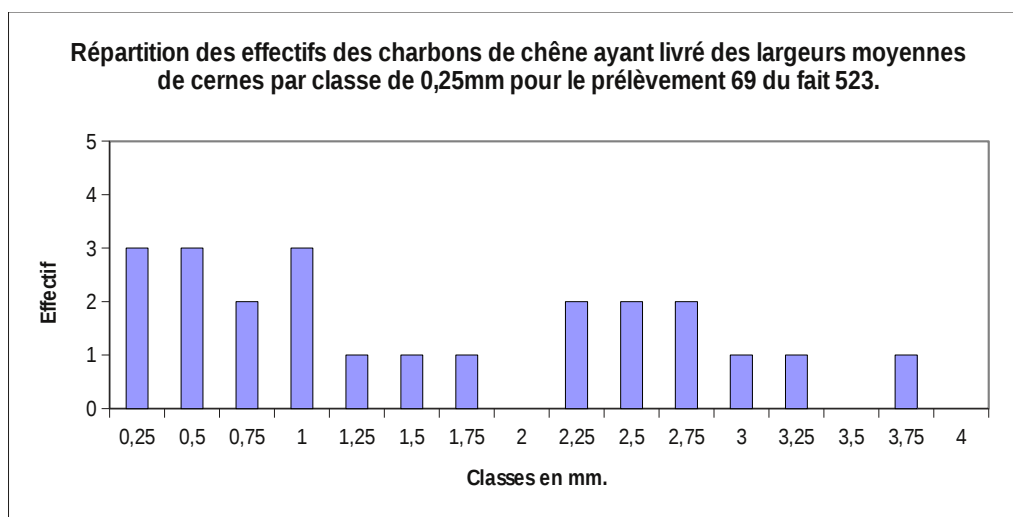


Figure 33 - Tableaux synthétiques des mesures de largeurs de cernes réalisées sur les charbons présentant une courbure faible pour le prélèvement 67 (Fait 522).

3.10.2. Interprétations

Quatre taxons ont pu être identifiés dans ce fait, il s'agit du chêne (*Quercus sp.*), du hêtre (*Fagus sp.*), du prunellier (*Prunus sp.*) et des Pomoidées (Figure 32).

La présence de charbons de Pomoidées et prunelliers est caractéristique de ramassage dans des formations de boisements clairs, formations arbustives, lisières, haies.

Les charbons de chêne proviennent plutôt de bois de gros calibres car on note fréquemment la présence de thylles (8 cas /32) et les courbures des cernes sont faibles (21/32). Les autres taxons proviennent davantage de bois de petits calibres. On peut de nouveau interpréter le bois de chêne comme du bois d'entretien du bas-fourneau, alors que les autres essences ont surtout permis de fournir du bois de petits calibres, brindilles, petites branches, afin d'allumer le feu.

Les charbons de chêne sont souvent apparus fendus (13/32) ou fendus-luisants (9/32), ce qui caractérise une combustion de bois « verts » dans des conditions réductrices typiques des bas-fourneaux (Figure 32).

En ce qui concerne les mesures de largeurs de cernes, nous constatons une croissance radiale moyenne de 1,68mm/an. Ce résultat laisse paraître des conditions de croissances difficiles, même si la valeur est relativement meilleurs que pour la plupart des autres faits.

La distribution des effectifs de charbons selon les classes de largeurs moyennes de cernes (Figure 33) est de type bimodale (premier ensemble regroupant les classes 0 à 2 mm/an et un autre ensemble regroupant les classes 2,25 mm/an à 3,5mm), ce qui sous-tend au moins deux provenances de bois de chêne distincts.

4. Bilan

Cette étude vient apporter des éléments d'interprétation du site sous l'angle des charbons de bois.

// tableau de synthèse

- Informations d'ordre environnementale - paléopaysages

Les taxons les plus utilisés sont par ordre d'importance le chêne, les Pomoïdées (présent dans 5 faits/10), suivent le hêtre (4faits/10), le noisetier, le saule (3faits / 10) et dans une moindre mesure le bouleau, l'orme (2faits / 10), l'aulne, le prunellier, l'ajonc.

La présence de ces différents taxons a permis d'identifier potentiellement les associations écologiques suivantes :

- les boisements hygrophiles (*Alnus sp.*, *Salix sp.*, *Ulmus sp.*, *Betula sp.*, voire *Corylus sp.*) détectés dans les faits 438, 439, 521,
- les landes-fourrés, lisières forestières (Pomoïdées, *Genistae*, *Prunus sp.*) : les Pomoïdées détectés dans les faits 105, 106, 437, 439, 521,
- la chênaie-hêtraie (*Quercus sp.*, *Fagus sp.* *Ulmus sp.*) : détectée dans l'ensemble des prélèvements.

XXXXXXXXX// resultats palynologiques //////////////////////////////////////

XXXXXXXX resultats palyno transmis..

→ contexte boisements ? Thèse ? Barbier..

XXXXXXXX

→ interprétation des mesures de largeurs de cerne : forêt dense :

→ type de peuplement type futaie grâce à la calibration.

Est ce un effet lié à l'aire de ramassage ? Les études palynologiques (et notamment l'évolution des taux de pollen d'arbres) pourraient apporter des éclaircissements à ce sujet.

- Informations d'ordre technique :

Avant, d'interpréter les restes retrouvés en termes « techniques », il est intéressant de rappeler les grands traits d'une opération de réduction dans un bas fourneau. C'est grâce à l'expérimentation et à l'ethnologie que l'on peut retracer dans les grandes lignes les étapes du procédé.

Selon F. Sarreste (2008) « *un feu est tout d'abord allumé à la base de la structure et assure le préchauffage de la structure. Ensuite, le volume du four est chargé par le haut alternativement de charbon de bois et de minerai, préalablement traité ou*

non. Au fur et à mesure de la combustion du charbon, la charge descend dans le four, exposant progressivement les oxydes au gaz réducteur. Ils sont ainsi successivement réduits. Au-delà de 1 100°C, le mélange silicaté composé par la gangue, les parois du fourneau, et l'apport du combustible commence à fondre et forme la scorie. Cette dernière intègre une partie non négligeable des oxydes de fer, pour former de la fayalite (FeAlSiO₄). La scorie liquide se sépare par gravité. De petites quantités de fer, issues de chaque morceau de minerai, s'agglomèrent alors à l'état pâteux au fond de la structure de réduction et forment une masse plus ou moins compacte

Le charbon de bois est le combustible par excellence de la réduction directe. Il possède un pouvoir calorifique plus élevé que le bois et dégage plus de carbone lorsqu'il brûle. En outre, il joue un rôle crucial puisqu'il dicte la vitesse de descente du minerai dans le fourneau. S'il se consume trop vite, les gaz n'ont pas le temps de réduire les oxydes, la gangue ne fond pas totalement et on obtient une scorie contenant des morceaux de minerai non réduits. Du bois peut toutefois être utilisé pour préchauffer la structure ».

Au regard de la description de ce procédé, il est intéressant de noter le choix comme combustible à la fois de bois mais aussi de charbons de bois. En l'état actuel des recherches, il n'est pas possible de distinguer les charbons de bois résiduels d'une combustion de bois interrompue (ex. fabrication de charbon par calcination), de ceux subsistant au terme d'une combustion de charbons de bois. (ex. activités de forge).

- L'impact de la combustion à l'intérieur du « Bas-Fourneau »

L'observation presque systématiques des aspects « fendus-luisants » et « durs-luisants » dans l'ensemble des faits est cohérente avec les combustions décrite pour les bas-fourneaux. En effet, selon Schweingruber, (1982) une combustion rapide, à haute température peut causer une déformation des tissus, une apparition de fissures et une fusion provoquant ainsi un effet réfringent à l'observation.

Dans l'ensemble des faits nous avons pu constater des charbons de chêne avec des fentes de retrait. Ce constat est généralement interprété comme la combustion de bois « verts » et/ ou avec un taux d'humidité important (Prior et Alvin, 1986). Même si l'utilisation de bois humide ou vert est difficilement envisageable dans ce contexte artisanal. Une étape préalable de fabrication de charbons de bois à partir de bois « vert » via le principe de la calcination (arrêt de la combustion en diminuant le taux d'oxygène, Chabal L., 1999) est envisageable et pourrait expliquer la fréquence de ces fentes de retrait.

- Choix des essences, choix du calibre du bois utilisé

Le chêne est rarement retrouvé seul, il est souvent associé à un ou plusieurs taxons sans qu'il n'y ait d'association systématique. En revanche, les autres essences sont presque toujours des charbons issus de bois de faibles calibres (brindilles, branches). En fait, il semble que le choix technique se soit porté avant tout vers du bois de chêne, voire d'orme, de fort calibre pour entretenir et alimenter la montée en température des bas-fourneaux. Le bois de chêne est un bois dense permettant des durées de combustion à hautes températures (combustion) plus importantes. Les autres essences associées, caractérisée par leur faible calibre et probablement aussi leur faible densité (Saules, Aulnes, selon Chabal et al., 1999), n'étant là que pour lancer l'allumage des bas-fourneaux.

XXXXXXXXX

Bilan calibrations Calibration -> voir interprétation de nancy / trinité ?

XXXXXXXXX

- Distribution stratigraphique

XXXXXXXXXX

Dans le cadre des faits 106 ... voir si on peut voire des différences entres les couches..... nous avons pu discerner une couche de fond de fourneau de couches supérieures.. La comparaison..

- Préchauffage ??-> impact sur la couche du fond ?

- Distribution spatiale à l'échelle du site

XXXXXXXXXX

5. Bibliographie

- CHABAL L., 1997 - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) L'antracologie, méthode et paléoécologie*. Documents d'Archéologie Française. Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 63, p. 18-61.
- CHABAL L., FABRE L., TERRAL J.-F. and THERY-PARISOT I., 1999. *L'antracologie*. In BROCHIER J.E., BOURQUIN-MIGNOT C., CHABAL L., CROZAT S., FABRE L., GUIBAL F., MARINVAL P., RICHARD H., TERRAL J.-F., THERY I. (éds.), Errance (Collection "Archéologiques"). La Botanique, Paris, 207 p.
- 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.
- MARCOUX N., 2009 - Les bois utilisés comme combustible dans l'atelier gallo-romain de réduction du minerai de fer in SARRESTE F., Archéologie dans le Silléen, Rapport d'opérations archéologiques programmées. Roche-Brune (Pezé-le-Robert, Sarthe). p. 20-39.
- MARGUERIE D., 1992a - *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Travaux du Laboratoire d'Anthropologie Rennes, 40, 262 p.
- MARGUERIE D., 1992b - Charbons de bois et paléoenvironnement atlantique. *Dossier A.G.O.R.A. Les bois archéologiques*, n°2, p. 15-20.
- MARGUERIE D. 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., HUNOT J.-Y. 2007 - *Charcoal analysis and dendrology : data from archaeological sites in north-western France*. Journal of Archaeological Science. p. 1417-1433
- MARGUERIE D., BERNARD V., BEGIN Y., TERRAL J.-F., 2010 - Dendroanthracologie p. 311-347 in PAYETTE S., FILION L., *La Dendroécologie : Principes, méthodes et applications*. Presses de l'Université Laval, Québec
- 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.), Thèse de doctorat, Université François Rabelais de Tours, 843p.
- SCHWEINGRUBER, F. H., 1982 - *Microscopic Wood Anatomy*. Flück-Wirth, Teufen.
- VENET J., 1974 - *Identification et classement des bois français*. E.N.G.R.E.F., 2e édition, Nancy, 310 p.

6. Lexique

Angiosperme	Plante à fleurs, à ovules puis graines renfermés dans un ovaire
Aubier	bois périphérique d'un tronc d'arbre dont les vaisseaux sont fonctionnels
Autécologie	condition de vie propre à l'espèce considérée
Biotope	milieu soumis à des conditions écologiques homogènes
Caducifolié	qui perd ses feuilles pendant la saison défavorable
Cambium	assise cellulaire assurant l'accroissement en épaisseur des organes pluriannuels chez les végétaux dicotylédones
Duramen (ou "Bois de cœur")	partie du bois au centre du tronc dont les vaisseaux sont fermés et dont les autres tissus se chargent de produits de sécrétion et de pigments. Ce bois est moins sensible aux attaques biologiques que l'aubier.
Gymnosperme	Plantes à fleurs, à ovules puis graines nues, non enfermées dans un ovaire
Espèce endémique	espèce qui ne se trouve, à l'état spontané, que dans une région donnée
Héliophile	qui pousse à des endroits exposés au soleil
Hydromorphe	qui pousse dans des stations humides ou sur des sols humides
Hygrophile	qui pousse en milieu aquatique
Mésogyrophile	qui pousse en zone moyennement humide
Mésophile	plante vivant dans des conditions écologiques moyennes, sans fortes contraintes
Phyto-écologie	écologie du monde végétal
Ripicole	qui pousse le long des cours d'eau
Sciaphile	qui croît à l'ombre
Taxon	unité occupant un rang défini dans la hiérarchie de la classification
Thylles	excroissances cellulaires obstruant les vaisseaux du duramen (accompagnées de sécrétions gommeuses ou tanniques)
Xylophage	qui consomme du bois