



HAL
open science

Nouveau protocole de prélèvement et de préparation des macro-charbons pour une généralisation des études anthraco-chronologiques

Benoît Brossier, Philippe Poirier, Christophe Vaschalde, Isabel Figueiral, Lucie Chabal, Marylise Marmara

► To cite this version:

Benoît Brossier, Philippe Poirier, Christophe Vaschalde, Isabel Figueiral, Lucie Chabal, et al.. Nouveau protocole de prélèvement et de préparation des macro-charbons pour une généralisation des études anthraco-chronologiques. Carine Carpentier; Rose-Marie Arbogast; Philippe Kuchler. Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : Actes du 4e séminaire scientifique et technique de l'Inrap, 28-29 nov. 2019, Sélestat., Inrap, 14 p., 2020, 10.34692/dwr6-hg62 . hal-03085993

HAL Id: hal-03085993

<https://inrap.hal.science/hal-03085993v1>

Submitted on 22 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Nouveau protocole de prélèvement et de préparation des macro-charbons pour une généralisation des études anthraco-chronologiques

Benoît BROSSIER

CNRS – UMR 5554 ISEM

benoit.brossier@umontpellier.fr

Philippe POIRIER

Inrap – UMR 5554 ISEM

philippe.poirier@inrap.fr

Christophe VASCHALDE

Mosaïques Archéologie

christophe_vaschalde@yahoo.fr

Isabel FIGUEIRAL

Inrap – UMR 5554 ISEM

isabel.figueiral-rowe@inrap.fr

Lucie CHABAL

CNRS – UMR 5554 ISEM

lucie.chabal@umontpellier.fr

Marylise MARMARA

Université Lumière Lyon 2

UMR 5133 Archéorient – UMR 5138 ArAr

marylise.marmara@univ-lyon2.fr

Mots clés

Anthracologie, cerne, charbons de bois, datation, dendrochronologie, bioarchéologie, paléoenvironnement

Keywords

Anthracology, tree ring, charcoal, dating, dendrochronology, bioarchaeology, palaeoenvironment

Référence électronique

BROSSIER, Benoît, POIRIER, Philippe, VASCHALDE, Christophe, FIGUEIRAL, Isabel, CHABAL, Lucie & MARMARA, Marylise. (2020). Nouveau protocole de prélèvement et de préparation des macro-charbons pour une généralisation des études anthraco-chronologiques. Dans C. Carpentier, R.-M. Arbogast & Ph. Kuchler (dir.), *Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches : actes du 4^e séminaire scientifique et technique de l'Inrap*, 28-29 nov. 2019, Sélestat. <<https://doi.org/10.34692/dwr6-hg62>>.

Résumé

Les développements méthodologiques en anthracologie permettent actuellement d'obtenir des spectres de fréquences de taxons représentatifs des environnements passés, moyennant des conditions précises d'échantillonnage et de tamisage. Pourtant, d'autres informations sont disponibles dans les charbons de bois, en particulier ceux de taille pluricentimétrique. Depuis le début des années 2000, plusieurs recherches se fondent sur les informations de morphologie des cernes (courbure, largeur, etc.) des charbons de bois retrouvés en contexte archéologique, afin de répondre à des questions liées aux durées d'occupation des sites, à l'interdatation des structures domestiques ou artisanales, à la gestion du combustible, etc. Toutefois, l'aspect chronologique reste peu ou non exploité dans les études anthracologiques. D'une part, la friabilité des charbons, qui affecte notamment les restes d'assez grande taille (diamètre supérieur à 2 cm) les plus susceptibles de donner une information chronologique, rend la mesure d'une série de largeurs de cernes délicate. D'autre part, les méthodes classiquement utilisées en dendrochronologie sur de plus longues séries de cernes sont, ici, difficilement applicables. La première difficulté est aujourd'hui surmontée grâce au développement d'un nouveau protocole de laboratoire qui permet de créer une surface plane sur la totalité de la coupe transversale d'un charbon (Brossier & Poirier, 2018) ; cette méthode permet de mesurer des largeurs de cernes le long d'un ou plusieurs rayons. En ce qui concerne le nombre limité de cernes présents sur chaque coupe, un protocole précis d'échantillonnage doit également être appliqué afin de contextualiser au mieux le dépôt dans lequel est situé chaque charbon. Ce dernier vise à maximiser les chances de synchroniser les charbons de bois en laboratoire, pour établir des chronologies fiables de cernes de croissance. Cet article présente ce nouveau protocole ainsi que l'intérêt de la généralisation de l'anthraco-chronologie aux fouilles archéologiques.

Abstract

Methodological developments in anthracology make it now possible to register a large diversity of taxa, whose frequencies are representative of past environments, provided that reliable field sampling and sieving are undertaken. However, other information can be obtained from charcoal, especially from larger fragments. Since the early 2000s, several research projects have used the information provided by growth rings (pattern, width, etc.) visible on archaeological charcoal in order to answer questions related to duration of site occupations, inter-dating of artisanal or dwelling structures, fuel management, etc. Nevertheless, the chronological aspect remains underexploited, if not completely unexploited, in anthracological studies. On the one hand, the brittleness of charcoal, affecting precisely the fairly large fragments (over 2 cm large), those best able to provide chronological information, makes it difficult to measure a series of ring widths. On the other hand, the methods classically used in dendrochronology on longer series of rings are difficult to apply here. The first difficulty has been solved as a recent laboratory protocol makes it possible to obtain a flat surface over the entire cross-section, suitable for growth ring width measurements along one or more radius (Brossier & Poirier, 2018). Regarding the limited number of rings present on each observed section, the implementation of a precise sampling protocol is essential in order to contextualize the deposit from which each charcoal originates. Based on these protocols, which maximize the chances of synchronizing charcoal in the laboratory, reliable growth ring chronologies can be established. This paper presents this new protocol and underlines the interest of generalising the practice of anthraco-chronology in archaeological excavations.

1. Introduction

L'anthracologie est apparue à la fin du XIX^e siècle (Godwin & Tansley, 1941 ; Salisbury & Jane, 1940 ; Santa & Vernet, 1968). Elle repose actuellement sur l'interprétation paléoécologique des distributions de fréquences des taxons identifiés dans les charbons de bois. Les performances actuelles de ce champ disciplinaire ont été acquises au cours des années 1970 et surtout 1990, grâce aux avancées technologiques de la microscopie photonique et de la méthode d'échantillonnage (Chabal, 1982, 1991 et 1997 ; Chabal et coll., 1999 ; Heinz, 1990 ; Heinz & Thiébault, 1998 ; Kabukcu & Chabal, à paraître ; Vernet, 1973 et 1997).

Les charbons de bois constituent un matériel abondant sur la plupart des sites archéologiques. Contrairement au bois, dont la conservation nécessite des conditions anaérobies d'occurrence relativement rare, ils ne sont pas dégradés par les micro-organismes et sont généralement bien préservés au cours du temps, quels que soient les contextes sédimentaires (Billamboz, 2003 ; Kuniholm, 1996). Ils sont principalement affectés par des contraintes mécaniques (Chabal, 1988 ; Chrzazvez et coll., 2014). Les charbons étant mieux préservés et donc plus fréquents que les pièces de bois en contexte archéologique, il paraissait intéressant de développer des approches dendrologiques sur ce matériel.

Depuis les années 1980 et surtout 2000, de nouvelles recherches en anthracologie, souvent appelées « dendro-anthracologie », ont développé des méthodes allant de la simple prise en compte du diamètre des tiges à des mesures plus sophistiquées des caractéristiques des cernes de croissance du bois (par ex. largeur moyenne, degré de courbure), afin d'étudier l'utilisation des milieux et des ressources (Backmeroff, 2001 ; Deforce & Haneca, 2015 ; Dufraisse, 2006 et 2008 ; Dufraisse et coll., 2017 et 2020 ; Dufraisse & Garcia-Martinez, 2011 ; Kabukcu, 2018 ; Ludemann & Nelle, 2002 ; Lundström-Baudais, 1986 ; Marguerie, 1992 et 2011 ; Marguerie & Hunot, 2007 ; Marguerie et coll., 2010 ; Paradis-Grenouillet, 2012 ; Paradis et coll., 2013) ou de dater et d'estimer la durée des activités humaines (Ballarin et coll., 2007 ; Dieudonné-Glad, 2000 ; Liottier, 2019).

La principale difficulté à laquelle sont confrontées les approches dendro-anthracologiques est la friabilité des charbons de bois. Leur état initial reste difficile à conserver, principalement pour les fragments pluricentimétriques, de leur prélèvement sur le terrain à leur conditionnement pour archivage, en passant par leur analyse. Le plus souvent, les charbons de bois retrouvés en contexte archéologique sont refragmentés en raison de la taphonomie ou des méthodes de prélèvement classiques, utilisant un tamisage. De par la nature du matériel étudié, certaines études sont ainsi réalisées sur des fragments de charbon de bois relativement petits (centimétriques), ce qui limite les surfaces d'observation des courbures de cernes ainsi que le nombre de cernes observés par fragment.

Ainsi, malgré ces nouvelles avancées, l'information chronologique présente dans le bois est difficilement lisible et ne peut pas être généralisée à tous les charbons retrouvés en contexte archéologique (Marguerie, 2011). En effet, allant au-delà des méthodes classiques utilisées en anthracologie, l'approche chronologique requiert, pour chaque fragment, un nombre de cernes suffisant pour établir son patron de croissance et opérer sa synchronisation. L'interdatation des pièces de bois archéologiques nécessite généralement la présence d'environ 80 à 100 cernes, alors que les charbons de bois offrent rarement des séries de plus de 50 cernes, ce qui rend une synchronisation plus délicate. Pour compenser les limites inhérentes au matériel étudié et afin d'optimiser la synchronisation des différents charbons de bois entre eux,

il est essentiel de contextualiser au mieux chaque fragment dans l'espace archéologique, lors de son échantillonnage. En outre, afin de réaliser des mesures quantitatives fiables et non biaisées, il est nécessaire d'obtenir un plan transversal sans aspérité. Sans surface plane, la mesure des largeurs de cernes est difficilement reproductible et induit des erreurs significatives.

Ainsi, afin de répondre au développement des approches anthracologiques, cet article présente un protocole complet allant du terrain jusqu'au dépôt des charbons dans les collections : techniques d'échantillonnage, consolidation des charbons de bois au moyen d'une gaine thermorétractable (GTR), méthode d'analyse et conditionnement pour archivage. Ce protocole s'appuie sur une nouvelle méthode développée par B. Brossier et Ph. Poirier (2018) qui permet de manipuler et de poncer les charbons afin d'obtenir une surface parfaitement plane en coupe transversale. Il s'agit d'encourager la généralisation des mesures anthracologiques normalisées et reproductibles ainsi que l'archivage du matériel.

2. Matériel et typologie des dépôts

L'anthracologie « classique » et l'anthracologie présentent des contraintes différentes en termes d'échantillonnage et de qualité du matériel.

L'anthracologie peut se fonder sur l'étude de charbons mesurant seulement quelques millimètres. Elle nécessite des échantillons prélevés selon des protocoles bien établis, notamment afin d'obtenir des lots composés d'un nombre significatif de fragments de charbons de bois. Généralement, le prélèvement de gros charbons de bois isolés est déconseillé car ces derniers signalent le plus souvent une « concentration » (apport sur une brève durée), inapproprié en vue d'une reconstitution paléocologique.

À l'inverse, l'anthracologie tire profit de tous les fragments d'une dimension supérieure à environ 2-3 cm, qui sont les plus susceptibles de contenir des séries importantes de cernes de croissance. Un grand nombre de contextes archéologiques sont favorables à la présence de ces charbons de grandes dimensions et donc à l'application de l'anthracologie [fig. 1].

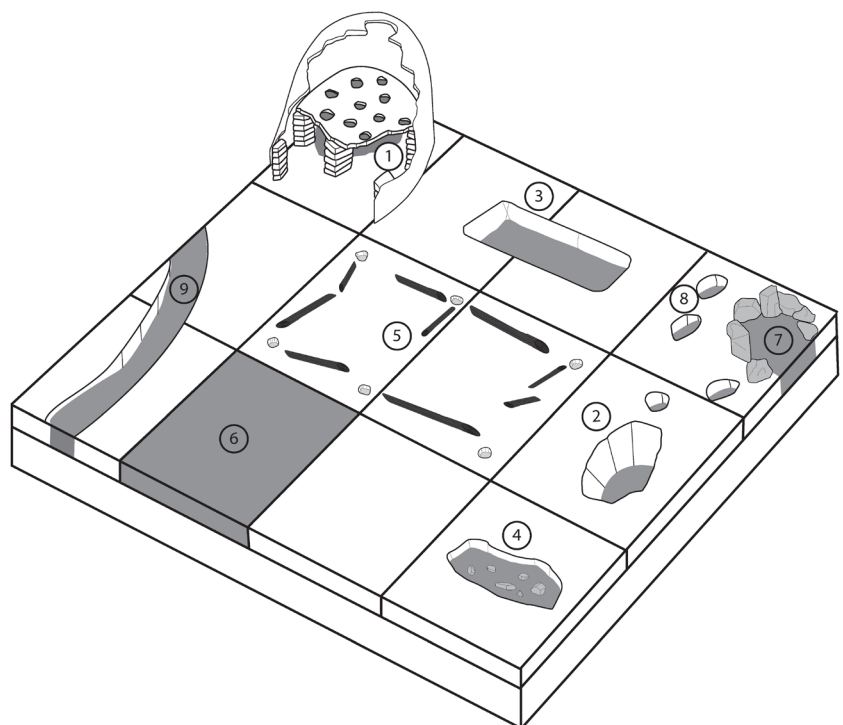


Fig. 1 - Représentation des différents contextes archéologiques pouvant contenir du charbon de bois.

1. Structures artisanales de cuisson (fours de potiers, fours de tuiliers, fours à chaux, charbonnières, structures de métallurgie) ;
2. Fosse de vidange ou dépotoir ;
3. Nécropole à incinération ;
4. Foyer à pierres chauffées ;
5. Bâti incendié ;
6. Niveau archéologique de circulation ou remblai d'habitat ;
- 7-8. Foyer domestique et rejets associés ;
9. Fossés.

(D'après Marguerie & Huot, 2007, modifié).

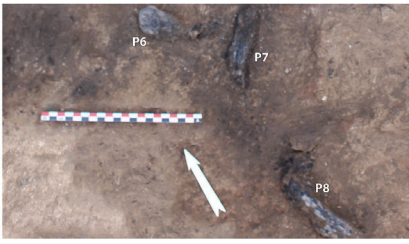
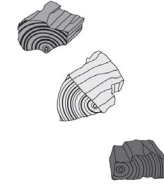
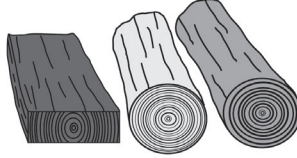
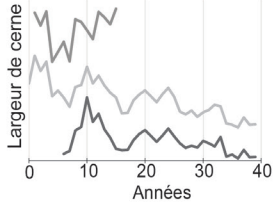
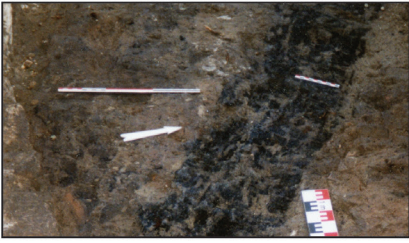
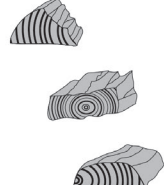
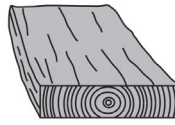
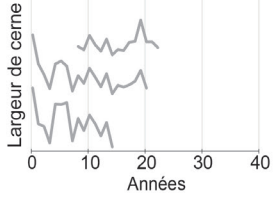
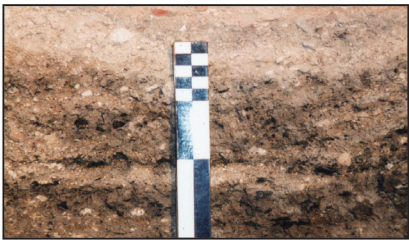
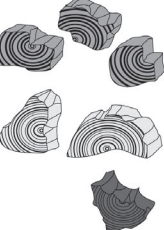
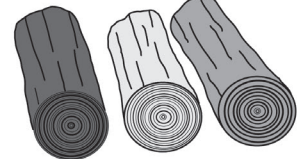
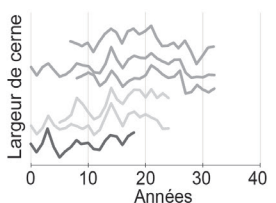
CAS	Contexte	Reste(s) archéologique(s)	Individu(s) Biologique(s)	Type de courbe d'accroissement
n° 1 :	Structure de combustion d'artisanat 			
n° 2 :	Incendie de bâtiment 			
n° 3 :	Fosses de vidange de combustible d'artisanat. 			

Fig. 2 - Principaux cas de fragmentation pouvant être rencontrés lors de l'échantillonnage en contexte archéologique. (D'après Brossier & Poirier, 2018, modifié).

En effet, les structures artisanales de cuisson (fours de potiers ou de tuiliers, fours à chaux, charbonnières, structures de métallurgie...) ainsi que les contextes de rejets associés (par ex. fosses de vidange) sont susceptibles de contenir des restes de combustible carbonisé de grande dimension (Vaschalde, 2018a ; Vaschalde & Chabal, 2020). Il en est de même pour les nécropoles à incinération et les foyers à pierres chauffées (Beausoleil et coll., 2007 ; Brossier & Poirier, 2018 ; Cenzon-Salvayre, 2014). D'autres contextes sont très favorables, tels que les habitats incendiés où il est possible de trouver des poutres entières carbonisées (Fiches, 2012 ; Marguerie et coll., 2010 ; Picornell-Gelabert & Dufraisse, 2018 ; Toriti, 2018 ; Vaschalde, 2015). Les contextes moins favorables sont ceux qui concernent le combustible domestique, tels que les sols d'habitat ou autres niveaux de circulation qui, du fait d'un piétinement récurrent, livrent des fragments de petite taille. Par ailleurs, les foyers domestiques et les rejets associés, ainsi que les fossés, contiennent parfois beaucoup de cendres et peu de charbons.

Dans ces contextes, les masses charbonneuses prélevées sur le terrain peuvent correspondre à trois cas de figures principaux (Poirier, 1999), illustrés dans la figure 2, qui peuvent être rencontrés individuellement ou se combiner :

1 - Objet carbonisé d'un seul tenant et bien conservé (par ex. bûche, planche) qu'on retrouve fréquemment dans les structures de cuisson artisanales, les nécropoles et les couches d'incendie. Dans ce cas, un prélèvement ponctuel est effectué, que ce soit un élément parfaitement identifié lors de la fouille, un charbon correspond à un organe biologique (par ex. branche, tronc) employé comme matériau de construction ou un résidu de combustion isolé.

2 - Objet carbonisé éclaté en plusieurs gros fragments, fréquemment rencontré en contexte d'incendie sur les objets ou individus de grandes dimensions (par ex. poutres, planches, meubles). Plusieurs charbons proviennent d'un même élément manufacturé carbonisé et fragmenté du fait des conditions d'enfouissement. Ces fragments ne peuvent être échantillonnés d'un seul tenant.

3 - Plusieurs gros charbons dispersés pouvant provenir de plusieurs individus. Ce cas est typique des dépôts de fosses et des fossés de vidange. Les fragments correspondent à différents types de rejets (par ex. incendie, feu artisanal ou domestique), à un ramassage sur l'ensemble d'un dépôt ou à un milieu fermé sans distinction (par ex. haldes, vidange de résidus de combustion dans un dépotoir).

Quel que soit le cas rencontré, le faible nombre de cernes de croissance présent sur les charbons impose de contextualiser chaque fragment avec rigueur. Cela implique, sur le terrain ou dans les collections archéologiques, de déterminer pour chaque échantillon :

- son environnement chrono-stratigraphique ;
- son origine (matériau ou combustible) et sa position dans la chaîne opératoire (production, stockage, utilisation, déchet) ;
- sa position spatiale et son état de fragmentation dans un contexte, par rapport aux autres masses carbonisées ;
- sa position anatomique (entre la moelle et l'écorce) et par rapport à d'autres fragments issus du même individu biologique ou objet archéologique.

3. Méthodes d'acquisition, d'analyse et de conservation

3.1. Sur le terrain

Lors de l'échantillonnage, une bûche carbonisée peut être prélevée de plusieurs manières en fonction de sa taille et de son état. Entre le moment de la mise au jour et celui du prélèvement, il peut s'écouler un temps plus ou moins long au cours duquel l'échantillon risque de sécher et de se fragmenter très rapidement. Il est donc indispensable de le couvrir, afin de le protéger du soleil, à l'aide d'un linge humide (serviette, torchon) directement déposé sur la masse charbonneuse, d'un film plastique maintenu par une motte de sédiment meuble ou de sable (méthodes de couverture les plus efficaces contre le séchage rapide). Une fois les charbons de bois extraits du sédiment, il est extrêmement important que tous les échantillons soient emballés de manière hermétique dans du film plastique (de type film alimentaire) ou dans un sac en plastique doté d'une fermeture zippée [fig. 3a].

Les gros fragments ou ensembles (> 10 cm) doivent être soutenus à leur base afin de les maintenir. Pour cela, une petite planche de bois fine ou un carton épais plastifié peuvent jouer ce rôle de support. Ensuite, ils doivent être emballés avec du film plastique [fig. 3b]. Les fragments plus petits (< 5 cm) peuvent être conditionnés dans des boîtes et maintenus dans du papier essuie-tout, le tout fermé de manière hermétique avec du film plastique ou dans un sac plastique hermétique [fig. 3c]. Il est parfois préférable de laisser un peu de sédiment autour afin de garder une certaine humidité et surtout, de ne pas perdre les derniers cernes.

Le tamisage permet également de collecter des macro-charbons. Même si cette méthode n'est pas la plus adaptée, du fait des nombreuses manipulations et du risque de fragmentation, des individus en sont parfois extraits. Les plus gros fragments récoltés dans les structures en creux le seront par cette méthode [fig. 3d]. La récupération de charbons de bois dans ces conditions témoigne de leur bon état et de leur résistance (cas fréquent en contextes de métallurgie, charbonnières...). À la suite du tamisage, ils doivent être conditionnés de la même manière que les petits fragments.

Dans tous les cas décrits ci-dessus, il est important que les échantillons gardent leur humidité initiale avant leur conditionnement afin d'éviter au maximum la fragmentation par rétraction. Pour autant, ils ne doivent en aucun cas être ré-humidifiés après le prélèvement ou déposés dans l'eau, ce qui provoquerait d'autres fragmentations par dilatation brutale. Leur séchage très lent doit être réalisé en laboratoire.

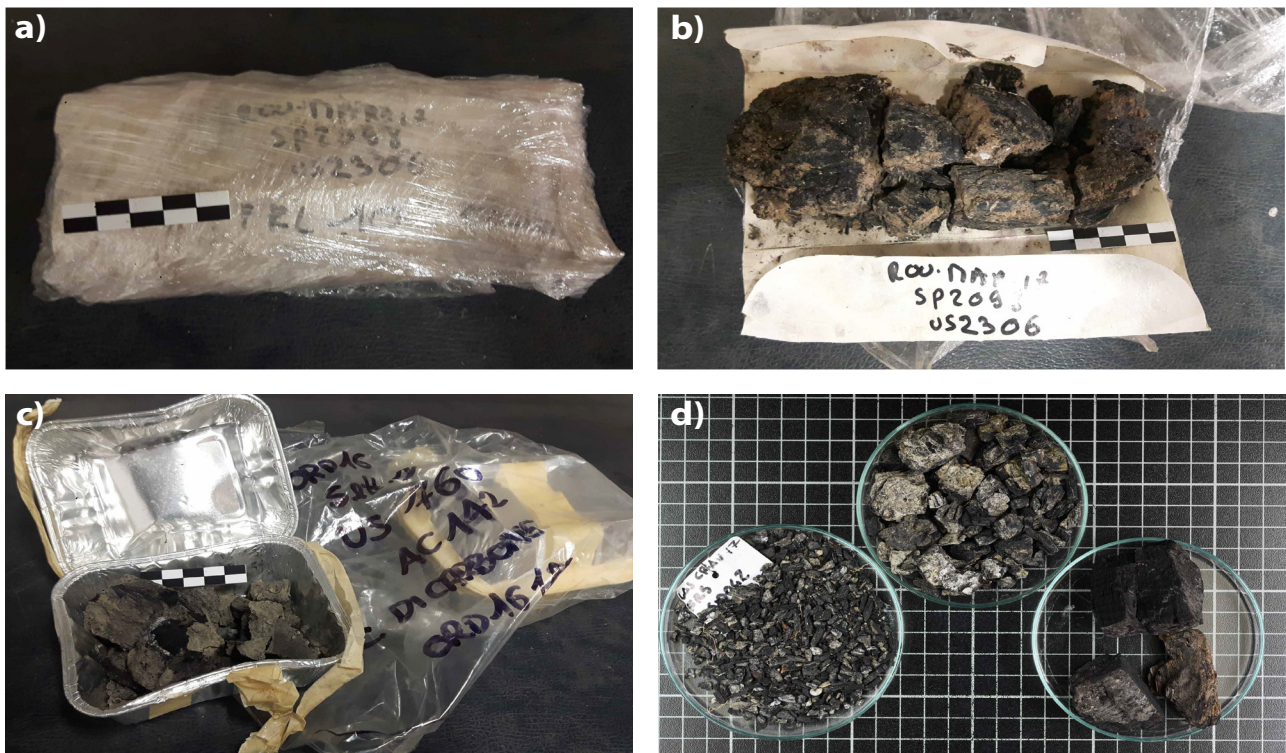


Fig. 3 - Type de conditionnement en fonction de la taille des charbons de bois. a – Gros fragments > 10 cm ; b – Petits fragments > 2.3cm ; c – Fragments issus du tamisage.

3.2. En laboratoire

Le choix des fragments à étudier ne peut pas être fondé sur les seules dimensions de l'échantillon. Un contrôle visuel doit être réalisé pour évaluer qualitativement leur friabilité et pour estimer le nombre de cernes présents dans leur plan transversal. L'objectif est d'évaluer l'intérêt de chaque fragment et d'optimiser l'étude en fonction de l'ensemble des échantillons disponibles. La dimension, la friabilité et le nombre de cernes, sont les trois paramètres à prendre en compte. Par exemple, un fragment supérieur à 3 cm de diamètre, présentant peu de fentes de retrait¹ et un minimum de 30 cernes, permet de réaliser des mesures exploitables le long d'un ou plusieurs rayons. En s'appuyant sur la méthode développée par B. Brossier et Ph. Poirier (2018) à l'Institut des Sciences de l'Évolution de Montpellier (ISEM), le traitement des charbons de bois en laboratoire se divise en quatre étapes [fig. 4]

3.2.1. Préparation

Cette étape permet de relever sur le fragment toutes les informations susceptibles de faire l'objet d'une analyse morphométrique : présence d'écorce, position anatomique (partie centrale ou externe de l'individu biologique), présence ou absence de marques d'origine anthropique (traces de taille, coup de hache, etc.).

Ensuite, le charbon est placé dans une gaine thermorétractable (GTR) préalablement découpée puis chauffée. Sous l'action de la chaleur, la gaine se rétracte et fixe le charbon dans sa position initiale. Si le charbon est humide, il va perdre du volume et se rétracter au cours de son séchage et, dans ce cas, il est donc nécessaire de chauffer à nouveau la GTR afin qu'elle se rétracte encore et vienne fixer le charbon. Cette étape de fixation peut nécessiter une à trois interventions, sur une période de 2 à 5 jours en fonction de l'humidité du charbon et de la température ambiante. Lorsque le charbon est sec, ce dernier doit être poncé et poli afin de créer une surface plane. Dans certains cas, afin de gagner du temps, le charbon peut être coupé si sa taille et son état le permettent (dimensions permettant de travailler en sécurité avec une scie à ruban, nombre de fentes de retraits limités) ou si

1 - Fissuration du bois dans le sens radial lors de l'évacuation de « l'eau libre » du bois. Elle se produit lors du séchage très rapide du bois, en particulier (mais pas seulement) dans la phase initiale de la combustion.

la position du plan transversal le nécessite (lorsque que le maximum de cernes est localisé au milieu d'un gros fragment). Cette découpe sera également suivie d'un ponçage et d'un polissage afin de rendre la surface parfaitement plane. Les poussières produites lors de cette opération, qui se sont déposées dans les cellules du charbon, sont soufflées afin de rendre les limites de cernes bien visibles. La réalisation d'une surface plane permet de s'affranchir des multiples mises au point nécessaires lors des mesures sur une cassure fraîche, observée à la loupe binoculaire sur le banc de mesure.












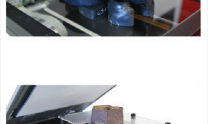
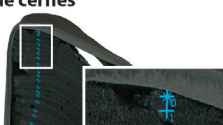
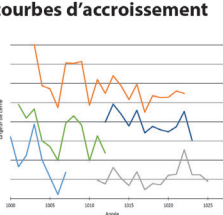





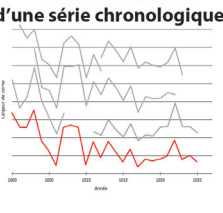
3.2.2. Numérisation

Afin de numériser la mesure des cernes, la surface plane est scannée à haute définition. Pour limiter les manipulations, les charbons sont scannés par lots issus d'un même individu, objet ou contexte. Les échantillons sont plaqués contre la vitre du scanner à l'aide de poids. Une résolution de 4 800 DPI permet de travailler confortablement pour la mesure de cernes étroits (0,1 mm).

3.3.3. Mesure

Grâce à l'image à haute résolution obtenue, le pointage et la mesure des largeurs de cernes sont directement réalisés au moyen du logiciel *CooRecorder* (v. 7.4), ce qui apporte un grand confort de travail (Larsson, 2014). En parallèle, l'utilisation d'une loupe binoculaire permet de dénombrer et de définir les limites de cernes peu distinctes ou les cernes très étroits. En fonction des caractéristiques de chaque charbon (taille, forme, état de conservation), les cernes sont mesurés sur deux rayons distants au minimum de 90° (Schweingruber, 1988), afin de mettre en évidence les anomalies de croissance, de les éviter (cerne incomplet ou manquant) et d'établir un patron de croissance moyen. Pour chaque échantillon, les rayons mesurés sont tracés puis synchronisés de manière visuelle grâce à la méthode de « glissement

Fig. 4 - Protocole de préparation et d'analyse des charbons de bois en laboratoire. (D'après Brossier & Poirier, 2018, modifié).

Préparation			Numérisation	Mesure et interdatation	Stockage
Etape 1	Etape 2	Etape 3			
1) Ficelage des fragments  2) Découpe de la GTR  3) Chauffe de la GTR  4) Marquage 	1) Découpe  2) Ponçage  3) Polissage 	Soufflage à l'air comprimé  	Numérisation de la surface plane   	1) Mesure des largeurs de cernes  2) Synchronisation des courbes d'accroissement 	
Fixation des charbons 	Création surface plane 	Nettoyage de la surface plane 	Création d'une image haute définition 	Etablissement d'une série chronologique 	

2 - Méthode consistant à trouver visuellement le meilleur synchronisme entre deux courbes d'accroissement en déplaçant d'un pas annuel l'une des deux courbes.

manuel »², à l'aide des logiciels *Cdendro* (v. 7.4) (Larsson, 2014) et *Tsap Win* (v. 4.69e) (Rinn, 2012). Ensuite, une chronologie flottante peut être réalisée en synchronisant les patrons de croissance des charbons ayant une même origine, tel qu'un individu, un objet archéologique ou un contexte.

3.3.4. L'archivage

Après leur analyse, les charbons de bois doivent être stockés et archivés dans des contenants rigides, dans une pièce sèche et tempérée. Ainsi, la numérisation et ce type d'archivage permettent d'exploiter la donnée a posteriori et de faire des analyses complémentaires, le cas échéant.

4. Applications et limites

Depuis deux ans, l'équipe de l'ISEM a pu tester un grand nombre de contextes archéologiques pour lesquels l'antraco-chronologie a pu apporter des informations complémentaires. Les champs d'applications et les limites de cette méthode ont également pu être évalués.

4.1. Champs d'applications

4.1.1. Site archéologique

Le support « charbon » offre, par sa longévité, l'accès à des informations parfois plurimillénaires. Son abondance et sa fréquence, dans les sites ou gisements archéologiques, ouvrent de grandes perspectives pour l'étude du matériel de futurs sites ou de collections déjà établies, notamment pour des sites où les charbons ont été récoltés mais où l'antraco-chronologie n'a pas encore pu être appliquée.

À l'échelle du site, l'application de ce nouveau « champ disciplinaire » apporte de nombreuses connaissances complémentaires à la compréhension des dépôts archéologiques. En effet, la synchronisation des différents fragments de charbons de bois peut permettre la datation de constructions et du fonctionnement entre les différentes structures bâties, afin de montrer l'existence d'une ou plusieurs période(s) d'occupation(s). Dans le cas d'alignements ou de regroupements de foyers à pierres chauffées, une chronologie relative de l'utilisation des aménagements peut être proposée, permettant de définir le degré de synchronicité des structures (Brossier et coll., 2019). L'allure des patrons de croissance établis grâce aux charbons retrouvés dans les structures artisanales peut mettre en lumière les modes de culture et de gestion des boisements en relevant des anomalies de croissance ou des rythmicités de coupe (*Ibid.*). La gestion du combustible peut être également retracée, comme cela a été possible à partir des bûches récoltées dans un four à amphores de l'officine de potiers de Loron (Croatie), lesquelles ont révélé une pratique de stockage du combustible (Vaschalde et coll., 2018). Plusieurs études montrent que la carbonisation entraîne des transformations des tissus et du patron de croissance moyen (Blondel et coll., 2018). Cependant, il a été démontré que des séries chronologiques établies grâce aux charbons peuvent être comparées et synchronisées à celles réalisées sur du bois (Blondel et coll., 2018 ; Fermé & Villalba, 2011). Ainsi, lorsque les courbes d'accroissement établies sur un site permettront la synchronisation aux référentiels, une datation à l'année, voire à la saison près, pourra être établie.

4.1.2. Chronologie régionale

L'antraco-chronologie permettra aussi d'établir ou de compléter les chronologies existantes, dans certaines régions où les bois sont rarement conservés. Grâce à l'abondance des charbons de bois, ces dernières pourront

avoir un maillage géographique plus fin qu'avec la dendrochronologie « classique ». Cette avancée sera fondamentale car, dans certaines régions, les grandes chronologies régionales ou nationales ne sont pas assez précises (Ferdrière et coll., 2014). Le chêne caducifolié (*Quercus* f.c) et le sapin (*Abies* sp.) restent les genres les plus couramment utilisés dans l'établissement des séries de référence. Cela est dû au fait de leur utilisation privilégiée dans le bâti (charpente, palissades...), ce qui permet d'établir de longues chronologies lors des études de dendro-archéologie. Les taxons plus rares dans l'établissement de séries de référence, tels que le pin (*Pinus* sp.), le bouleau (*Betula* sp.) et l'érable (*Acer* sp.), mais couramment retrouvés dans ces contextes archéologiques, pourront également faire l'objet d'études systématiques et permettre, à terme, d'établir de nouvelles séries de référence.

4.1.3. Alimentation des courbes ¹⁴C

La bonne conservation des charbons de bois, sur la très longue durée, ouvre également des perspectives dans la calibration des courbes de datation au radiocarbone, dont la précision pour certaines périodes est encore limitée du fait de l'existence de plateaux (Néolithique, âge du Fer, Haut Moyen Âge...).

4.2. Limites

4.2.1. Anatomie du bois

La méthode proposée est réalisable sur des taxons dont les limites de cernes correspondent à une rythmicité de croissance annuelle, avec une période de dormance hivernale entraînant une limite marquée entre bois initial et final. Chez les essences à feuillage persistant, cette limite est parfois difficilement identifiable. De plus, certains taxons sont souvent polycycliques et forment donc plusieurs unités de croissance par an, rendant la synchronisation beaucoup plus délicate, voire impossible. Si le potentiel du buis (*Buxus sempervirens*) et de l'arbousier (*Arbutus unedo*) a été testé (Liottier, 2019), d'autres essences méditerranéennes paraissent peu propices à l'antraco-chronologie. Du fait de limites de cernes très peu visibles, les chênes verts (*Quercus ilex*) et kermès (*Quercus coccifera*), ainsi que l'olivier (*Olea europaea*) sont sans doute à exclure. Chez les nerpruns (*Rhamnus* sp.), les filaires (*Phillyrea* sp.) et les bruyères (*Erica* sp.), les limites de cernes sont mieux visibles. Une interdatation à des référentiels, à partir de ces taxons, paraît difficile à obtenir du fait de leur rare utilisation en dendrochronologie, mais il est toutefois envisageable d'appliquer la méthode afin de traiter la question des modes de gestion des boisements. Cette limite liée aux modalités d'accroissement des cernes de certaines essences méditerranéennes a notamment été rencontrée au Clos de Roques « Route de Barjols » (Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, Var), dans un alignement de foyers à pierres chauffées de l'âge du Fer (Battentier et coll., 2019 ; Hervé et coll., 2019 ; Marmara et coll., 2018). Les nombreuses bûches utilisées pour alimenter les différents foyers appartiennent en grande majorité à des espèces méditerranéennes sur lesquelles les cernes de croissance sont difficilement observables.

4.2.2. Facteurs taphonomiques

Dans plusieurs cas, différentes limites d'ordre taphonomique ne permettent pas de mesurer les largeurs de cernes. Ainsi, le comblement des vaisseaux ou des trachéides par des dépôts sédimentaires rend la limite des cernes illisible, comme par exemple sur le camp romain de Lautagne à Valence (Drôme) (Vaschalde, 2018b) ou encore le rempart chasséen de Château-Percin à Seilh (Haute-Garonne) (Brossier & Poirier, 2018 ; Pons & Gandelin, 2018). Entraînant l'homogénéisation du tissu ligneux, la vitrification des charbons de bois pose également une limite du fait de la disparition des caractères anatomiques et des limites de cernes. Les fentes de retrait, quant à elles,

rendent la mesure de la largeur de cerne le long d'un même rayon très délicate. Elles rendent également le charbon extrêmement friable, surtout si ce dernier est sec (Brossier, étude en cours à partir de l'alignement de foyers d'Eyrein (Corrèze)).

5. Conclusion

L'exploitation des informations contenues dans les charbons de bois, matériel abondant dans la plupart des sites archéologiques, permet depuis longtemps d'aborder principalement des problématiques paléoenvironnementales et paléoéconomiques. Le nouveau protocole utilisant une gaine thermo-rétractable (GTR) bouleverse la pratique de la chronologie et de l'antracologie en ouvrant un nouveau champ d'application, l'antracochronologie. Son applicabilité dans un grand nombre de contextes archéologiques offre de nouvelles opportunités pour faciliter et généraliser les mesures dendrométriques. Le faible nombre de cernes présents sur chaque charbon de bois oblige à une rigueur particulière de contextualisation lors de l'échantillonnage, indispensable à la synchronisation de chaque fragment et à l'établissement de référentiels fiables. À l'échelle des sites, l'antracochronologie apporte des informations temporelles primordiales concernant la datation, l'évaluation de la durée d'une occupation ou d'une activité particulière (artisanale ou funéraire), ainsi que sur les pratiques humaines et la compréhension des modes d'utilisation et de gestion du combustible. Enfin, le fort potentiel de conservation des charbons de bois ainsi que leur fréquence sur les sites archéologiques, de loin plus importants que ceux du bois, permettra de compléter les chronologies de référence existantes, à l'échelle régionale, mais aussi d'en établir de nouvelles.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier particulièrement Adam Ali (ISEM), Catherine Ballarin (Inrap), Jean-Michel Beausoleil (Inrap), Brigitte Boissavit-Camus (Université de Nanterre), Luc Bourgeois (Université de Caen), Loïc Buffat (Mosaiques archéologie), Patrice Conte (SRA NAOM - centre de Limoges), Gwenaël Hervé (Université de Bordeaux-Montaigne, IRAMAT-CRP2A), Fabrice Pons (Inrap) et Corinne Rousse (AMU-CCJ), qui nous ont permis de tester cette nouvelle approche sur des échantillons récoltés lors des fouilles ou campagnes de terrain dont ils avaient la responsabilité. Tous nos remerciements vont à Alessandro Peinetti pour ses prélèvements qui ont permis d'illustrer la figure 3, ainsi qu'à Auréade Henry (UMR 7264 CEPAM), rapporteur de ce manuscrit pour ses remarques constructives et enfin, aux organisateurs du séminaire *Bioarchéologie : minimums méthodologiques, référentiels communs et nouvelles approches*.

Bibliographie

- BACKMEROFF, Christa E. (2001). Historical land-use and upper timberline dynamics determined by a thousand-year larch chronology made up of charcoal fragments from kilns and ancient trees. Dans M. K. Dobbertin & O. U. Bräker (dir.), *International Conference Tree rings and people, Davos, 22-26 Sept. 2001. Abstracts* (p. 1-2). Birmensdorf, Suisse : Swiss Federal Research Institute WSL.
- BALLARIN, Catherine, CAILLAT, Pierre, GUÉDON, Frédéric & POIRIER, Philippe. (2007). L'habitat de Naux à Colayrac-Saint-Cirq (Lot-et-Garonne) : Une maison forte de bourgeois ? *Archéologie médiévale*, 37, 111-145.
- BATTENTIER, Janet, VASCHALDE, Christophe, MARMARA, Marylise, REMINCOURT, Maxime, LAROCHE, Marie, THÉRY-PARISOT, Isabelle & DELHON, Claire.

- (2019). Le paysage végétal des occupations de la plaine de St-Maximin-la-Sainte-Baume (Var) du Néolithique moyen à l'âge du Fer : Première synthèse diachronique des résultats anthracologiques des opérations du Clos de Roques. Dans M. Laroche, L. Bruxelles, Ph. Galant & M. Ambert (dir.), *Paysages pour l'homme. Actes du colloque international en hommage à Paul Ambert, Cabrières, 15-19 oct. 2019* (p. 165–167). Disponible en ligne sur <<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02467008>> (consulté le 12 décembre 2020).
- BEAUSOLEIL, Jean-Michel, POIRIER, Philippe, PÈPE, Claude, & ROCHER, Patrick. (2007). Un alignement de fours à pierres chauffées du premier âge du Fer : La ligne de feux d'Eyrein (Corrèze). *Documents d'archéologie méridionale*, 29-30, 75-111. <<https://doi.org/10.4000/dam.1572>>.
- BILLAMBOZ, André. (2003). Tree rings and wetland occupation in southwest Germany between 2000 and 500 BC: dendroarchaeology beyond dating in tribute to FH Schweingruber. *Tree-Ring Research*, 59 (1), 37–59.
- BLONDEL, François, CABANIS, Manon, GIRARD-CLOS, Olivier & GRENOUILLET-PARADIS, Sandrine. (2018). Impact of carbonization on growth rings : Dating by dendrochronology experiments on oak charcoals collected from archaeological sites. *Quaternary International*, 463, 268-281. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.030>>.
- BROSSIER, Benoit & POIRIER, Philippe. (2018). A new method for facilitating tree-ring measurement on charcoal from archaeological and natural contexts. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 19, 115-126. <<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.02.020>>.
- CENZON-SALVAYRE, Carine. (2014). *Le bûcher funéraire dans l'Antiquité : Une approche archéologique, bioarchéologique et historique d'après l'étude des structures de crémation en Gaule méridionale* (Thèse de doctorat). Université du Maine, Le Mans.
- CHABAL, Lucie. (1982). *Méthodes de prélèvement des bois carbonisés protohistoriques pour l'étude des relations homme-végétation* (DEA). Université de Montpellier II, Montpellier.
- CHABAL, Lucie. (1988). L'étude paléo-écologique de sites protohistoriques à partir des charbons de bois : la question de l'unité de mesure. Dénombrement de fragments ou pesées ? Dans T. Hackens, A. Munaut & C. Till. (dir), *Wood and archaeology: acts of the European symposium / Bois et archéologie : actes du symposium européen, Louvain-la-Neuve, 2-3 oct. 1987* (p. 189-205). Strasbourg : Conseil de l'Europe.
- CHABAL, Lucie. (1991). *L'Homme et l'évolution de la végétation méditerranéenne des âges des métaux à la période romaine; recherches anthracologiques théoriques, appliquées principalement à des sites du Bas-Languedoc* (Thèse de doctorat). Université Montpellier II, Montpellier.
- CHABAL, Lucie. (1997). *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) : L'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Paris : Maison des sciences de l'homme, 189 p.
- CHABAL, Lucie, FABRE, Laurent, TERRAL, Jean-Frédéric & THÉRY-PARISOT, Isabelle. (1999). L'anthracologie. Dans A. Ferrière, *La Botanique* (p. 43-104). Paris : Éditions Errance.
- CHRZAZVEZ, Julia, THÉRY-PARISOT, Isabelle, FIORUCCI, Gilbert, TERRAL, Jean-Frédéric & THIBAUT, Bernard. (2014). Impact of post-depositional processes on charcoal fragmentation and archaeobotanical implications: Experimental approach combining charcoal analysis and biomechanics. *Journal of Archaeological Science*, 44 (1), 30-42. <<https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.01.006>>.
- DEFORCE, Koen & HANECA, Kristof. (2015). Tree-ring analysis of archaeological charcoal as a tool to identify past woodland management : The case from a 14th century site from Oudenaarde (Belgium). *Quaternary International*, 366, 70-80. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.05.056>>.
- DIEUDONNÉ-GLAD, Nadine. (2000). L'atelier sidérurgique gallo-romain du Latté à Oulches (Indre). Dans Collectif, *Mines et métallurgies en Gaule* (p. 63-75). Paris : Revue Gallia, CNRS Éditions. <<https://www.jstor.org/stable/43608162>>.
- DUFRAISSE, Alexa. (2006). Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth. *BAR International Series*, 1483, 47.

- DUFRAISSE, Alexa. (2008). Firewood management and woodland exploitation during the late Neolithic at Lac de Chalain (Jura, France). *Vegetation History and Archaeobotany*, 17, 199-210. <<https://doi.org/10.1007/s00334-007-0098-6>>.
- DUFRAISSE, Alexa & GARCIA-MARTINEZ, Maria Soledad. (2011). Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. *Anthropobotanica*, 2, 1-18.
- DUFRAISSE, Alexa, COUBRAY, Sylvie, GIRARD-CLOS, Olivier, NOCUS, Noémie, LEMOINE, Michel, DUPOUEY, Jean-Luc & MARGUERIE, Dominique. (2017). Anthraco-typology as a key approach to past firewood exploitation and woodland management reconstructions. Dendrological reference dataset modelling with dendro-anthracological tools. *Quaternary International*, 463 (B), 232-249. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.065>>.
- DUFRAISSE, Alexa, BARDIN, Jérémie, PICORNELL-GELABERT, Llorenç, COUBRAY, Sylvie, GARCÍA-MARTÍNEZ, María Soledad, LEMOINE, Michel, VILA MOREIRAS, Silvia. (2020). Pith location tool and wood diameter estimation: Validity and limits tested on seven taxa to approach the length of the missing radius on archaeological wood and charcoal fragments. *Journal of Archaeological Science*, 29, 102166. <<https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102166>>.
- FERDIÈRE, Alain, FOUILLET, Nicolas, JOUQUAND, Anne-Marie, RODIER, Xavier & SEIGNE, Jacques. (2014). Discordances chronologiques à Tours aux I^{er} et II^e s. apr. J.-C. Questions posées à l'archéologie et à la dendrochronologie. *ArcheoSciences*, 38, 151-163. <<https://doi.org/10.4000/archeosciences.4240>>.
- FERMÉ, Laura Caruso & VILLALBA, Ricardo. (2011). Dendrochronological study of charred wood at the Cerro Pintado archaeological site (Patagonia, Argentina). *SAGVNTVM Extra*, 11, 37-38.
- FICHES, Jean-Luc (dir.). (2012). *Quatre puits de l'agglomération routière d'Ambrussum (Villetelle, Hérault)*. Montpellier : Éditions de l'Association de la Revue archéologique de Narbonnaise. 372 p.
- GODWIN, Harry & TANSLEY, Arthur George. (1941). Prehistoric charcoals as evidence of former vegetation, soil and climate. *Journal of Ecology*, 29 (1), 117-126. <<https://doi.org/10.2307/2256222>>.
- HEINZ, Christine. (1990). *Dynamique des végétations holocènes en Méditerranée nord-occidentale d'après l'anthracanalyse des sites préhistoriques. Méthodologie et paléocologie* (Paléobiologie continentale, vol. 16-2). Montpellier : Laboratoire de paléobotanique, Université des sciences et techniques du Languedoc. 212 p.
- HEINZ, Christsine & THIÉBAULT, Stéphanie. (1998). Characterization and palaeoecological significance of archaeological charcoal assemblages during late and post-glacial phases in southern France. *Quaternary Research*, 50 (1), 56-68. <<https://doi.org/10.1006/qres.1998.1978>>.
- HERVÉ, Gwenaél, MARMARA, Marylise, CHAUVIN, Annick, VASCHALDE, Christophe, BROSSIER, Benoît & MARTIN-KOBIERZYKI, Elodie (2019). Datation de structures de combustion à Saint-Maximin-la-Sainte-Baume (Var) : Intercomparaison de l'archéomagnétisme, du radiocarbone, de la dendrochronologie et de la chronotypologie céramique [Poster]. Dans *22^e colloque du GMPCA, 9-12 mai 2019, Montréal (Canada)*.
- KABUKCU, Ceren. (2018). Identification of woodland management practices and tree growth conditions in archaeological fuel waste remains: A case study from the site of Çatalhöyük in central Anatolia, Turkey. *Quaternary International*, 463 (B), 282-297. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.03.017>>.
- KABUKCU, Ceren & CHABAL, Lucie. (à paraître). Sampling and quantitative analysis methods in anthracology from archaeological contexts: achievements and prospects. Special issue Charcoal Science in Archaeology and Palaeoecology, *Quaternary International*. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.11.004>>.
- KUNIHOLM, Peter. (1996). *How to collect archaeological wood and charcoal for dendrochronological analysis* [Note]. Ithaca, New York : Université de Cornell. Disponible en ligne sur <<https://dendro.cornell.edu/manuals/howto-english.pdf>> (Consulté le 17 décembre 2020).
- LARSSON, Lars-Ake. (2014). *CDendro & CooRecorder program package* (version 7)

- [Logiciel]. Cybis Dendrochronology. <<http://www.cybis.se/forfun/dendro/>>.
- LIOTTIER, Léonor. (2019). *Bois et forêts en France méditerranéenne durant la Protohistoire : Une approche des pratiques et des usages* (Thèse de doctorat). Université Montpellier 3, Montpellier.
- LUDEMANN, Thomas & NELLE, Oliver. (2002). *Die Wälder am Schauinsland und ihre Nutzung durch Bergbau und Köblerei. Forstliche Versuchs- und Forschungsanst. Freiburg (Breisgau): Baden-Württemberg*. 139 p.
- LUNDSTRÖM-BAUDAIS, Karen. (1986). Étude paléoethnobotanique de la station III de Clairvaux. Dans P. Pétrequin (dir.), *Les sites littoraux néolithiques de Clairvaux-les-Lacs (Jura). I. Problématique générale, l'exemple de la station III* (p. 311-391). Paris : Maison des Sciences de l'Homme.
- MARGUERIE, Dominique. (1992). *Évolution de la végétation sous l'impact humain en Armorique du Néolithique aux périodes historiques*. Rennes : Université de Rennes 1. 313 p.
- MARGUERIE, Dominique. (2011). Short tree ring series: The study materials of the dendro-anthracologist. *SAGVNTVM Extra*, 11, 15-16.
- MARGUERIE, Dominique & HUNOT, Jean-Yves. (2007). Charcoal analysis and dendrology: Data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science*, 34 (9), 1417-1433. <<https://doi.org/10.1016/j.jas.2006.10.032>>.
- MARGUERIE, Dominique, BERNARD, Vincent, BÉGIN, Yves & TERRAL, Jean-Frédéric. (2010). Anthracologie et dendrologie. Dans S. Payette & L. Filion (dir.), *La dendro-écologie. Principes, méthodes et applications* (p. 311-347). Québec : Presses de l'Université de Laval.
- MARMARA, Marylise & LAROCHE, Marie (dir.). (2018). *Le Clos de Roques / Route de Barjols, Saint-Maximin-la-Sainte-Baume (83)* (Rapport final d'opération de fouille, vol. 3). Cournonterral : Mosaiques Archéologie, Paleotime, 1058 p.
- PARADIS-GRENOUILLET, Sandrine. (2012). *Étudier les « forêts métallurgiques » : Analyses dendro-anthracologiques et approches géohistoriques. Exemple des forêts du Mont Lozère et du Périgord-Limousin* (Thèse de doctorat). Université de Limoges, Limoges.
- PARADIS, Sandrine, DUFRAISSE, Alexa & ALLÉE, Philippe. (2013). Radius of curvature measurements and wood diameter: a comparison of different image analysis techniques. Dans F. Damblon (dir.), *4th International meeting of Anthracology, Brussels, 8-13 Sept. 2008* (p. 173-182). Bruxelles, Belgique : Royal Belgian Institute of Natural Sciences.
- PICORNELL-GELABERT, Llorenz & DUFRAISSE, Alexa. (2018). Wood for Building: Woodland Exploitation for Timber Procurement in the Prehistoric and Protohistoric Balearic Islands (Mallorca and Menorca; Western Mediterranean). *Environmental Archaeology*. <<https://doi.org/10.1080/14614103.2018.1521086>>.
- POIRIER, Philippe. (1999). *Anthracologie et environnement de la période gallo-romaine à la période médiévale en Poitou-Charentes* (Thèse de doctorat). Université Montpellier II, Montpellier.
- PONS, Fabrice & GANDELIN, Muriel. (2018). *Le rempart chasséen de Château-Percin à Seilh (Haute-Garonne). Une architecture monumentale de terre et de bois* (vol. 14). Paris : CNRS Éditions. 314 p.
- RINN, Frank (2012). *TSAPWin scientific : Time series analysis and presentation for dendrochronology and related applications* (version 4.69e) [Logiciel]. RINNTECH. <<http://www.rinntech.de/>>.
- SALISBURY, Edward James & JANE, Frank William (1940). Charcoals from Maiden Castle and their significance in relation to the vegetation and climatic conditions in prehistoric times. *The Journal of Ecology*, 28, 310-325.
- SANTA, Sébastien. & VERNET, Jean-Louis. (1968). Une technique de préparation des charbons de bois préhistoriques en vue de leur étude anatomique. Application. *Naturalia monspeliensia*, 19, 171-178.

- SCHWEINGRUBER, Fritz Hans. (1988). *Tree rings: Basics and applications of dendrochronology*. Dordrecht, Pays-Bas : Springer Netherlands. 276 p. <<https://doi.org/10.1007/978-94-009-1273-1>>.
- TORITI, Magali. (2018). *Les bois ouvragés en Gaule romaine : approches croisées archéologiques, anthracologiques et entomologiques* (Thèse de doctorat). Université du Maine, Le Mans.
- VASCHALDE, Christophe. (2015). Analyse anthracologique des bois d'œuvre. Dans D. Mouton (dir.), *La Moutte d'Allemagne-en-Provence : un castrum précoce du Moyen Âge provençal* (p. 113-115). Aix-en-Provence : Centre Camille-Jullian, Paris : Éditions Errance.
- VASCHALDE, Christophe. (2018a). *Fours à chaux et chauxfourneurs en France méditerranéenne au Moyen âge et à l'époque moderne. Approche interdisciplinaire autour des techniques, des savoir-faire et des artisans*. Drémil-Lafage : Éditions Mergoïl. 468 p.
- VASCHALDE, Christophe. (2018b). Rapport d'étude anthracologique. Dans M. Kielb Zaaraoui, Y. Zaaraoui, L. Buffat, J.-L. Brochier & W. Galin (dir.), *Camps de l'armée romaine et occupations diachroniques sur le plateau de Lautagne (Valence, Drôme)* (Rapport final d'opération préventive, p. 1047-1060). Courmonterral : Mosaiques Archéologie.
- VASCHALDE, Christophe & CHABAL, Lucie. (2020). Production du combustible pour l'atelier de potiers de Contours (Saint-Pargoire, Hérault) au cours du Haut-Empire d'après l'anthracologie et la dendrométrie : Exploitation par rotation des taillis de chênes méditerranéens. Dans S. Mauné, R. Bourgaut et coll., *Contours (Saint-Pargoire, Hérault, France). Recherches pluridisciplinaires sur un atelier d'amphores de Gaule Narbonnaise (fin du I^{er} s. av. J.-C.-début du III^e s. ap. J.-C.)* (p. 227-247). Drémil-Lafage : Éditions Mergoïl.
- VASCHALDE, Christophe, ROUSSE, Corinne, BROSSIER, Benoit & BENCIC, Gaetano. (2018). Récente fouille d'un four à amphore dans le complexe artisanal de Loron. Premiers résultats de l'étude archéologique et anthracologique [Communication]. Dans *Proceedings of the 19th International Congress of Classical Archaeology, Cologne/Bonn, 22-26 mai 2018*.
- VERNET, Jean-Louis. (1973). *Étude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire, d'après les charbons de bois principalement*. Université des sciences et techniques, Laboratoire de paléobotanique. 90 p.
- VERNET, Jean-Louis. (1997). *L'homme et la forêt méditerranéenne : De la préhistoire à nos jours*. Paris : Éditions Errance. 241 p.