

**APPORT DE L'EXPERIMENTATION A LA COMPREHENSION DES PRATIQUES  
SOCIETALES EN ANTHRACOLOGIE : GESTION ET UTILISATION DU BOIS DE FEU  
DANS LES SOCIETES PREHISTORIQUES**

EXPERIMENTATION AS A TOOL FOR IDENTIFYING FIREWOOD USES AND  
MANAGEMENT IN PREHISTORIC SOCIETIES  
(*CONTRIBUIÇÃO DA EXPERIMENTAÇÃO À COMPREENSÃO DAS PRÁTICAS SOCIAIS EM  
ANTRACOLOGIA: GESTÃO E USO DA LENHA EM SOCIEDADES PRÉ-HISTÓRICAS*)

Isabelle Thery-Parisot  
Auréade Henry  
Julia Chrzavzez

Vol. XIII | n°25 | 2016 | ISSN 2316 8412



# Apport de l'expérimentation à la compréhension des pratiques sociétales en anthracologie : gestion et utilisation du bois de feu dans les sociétés préhistoriques

Isabelle Thery-Parisot\*

Auréade Henry\*

Julia Chrzavzez\*

**Résumé:** Le développement des approches socio-économiques appliquées à l'anthracologie permet de répondre aux questions relatives à l'acquisition et à l'utilisation du combustible ligneux qui intéressent particulièrement les archéologues. D'après l'ethnologie, les critères de choix qui président à la collecte du bois par les sociétés, ne peuvent être réduits à la seule sélection de l'essence. D'autres paramètres de forme et d'états (calibre, états phénologiques et physiologiques), dont le rôle est déterminant en termes de propriétés combustibles, peuvent faire l'objet de la sélection. C'est pourquoi il est important de pouvoir les mesurer. L'objectif de cet article est de faire un état des lieux des nouvelles méthodes dédiées à la caractérisation, à l'échelle anatomique, de la forme et des états du bois utilisé comme combustible par les sociétés de la Préhistoire. Ces méthodes sont adossées à la création de référentiels expérimentaux réalisés, en laboratoire, dans des conditions contrôlées et d'observations qualitatives et quantitatives de signatures anatomiques.

**Mots clés:** Anthracologie, Gestion du Bois, Expérimentation, Foyer, Signatures Anatomiques.

**Abstract:** The development of socioeconomic approaches applied to charcoal analysis has made it possible to focus on topics related to firewood use and management. Ethnographic studies remind us that the criteria according to which a society chooses its firewood cannot be reduced to a "simple" taxonomic selection: other characteristics, such as the calibre or the state of the wood (*i.e.* green, seasoned, rotten) are at least as important as the species. The framework of this paper is to present a synthesis of recent tools developed to improve the potential of charcoal analysis for the study of firewood uses and management. Standardized laboratory experiments on Scot Pine (*Pinus sylvestris*) combining both muffle furnace and open fireplace combustions allowed proposing new methods of identifying the calibre and the state of the wood based on anatomical signatures. Thanks to these methods, it becomes possible to contribute to a better knowledge of the technical traditions linked to the use of fire, from wood gathering to specialized hearths on archaeological charcoal samples.

**Keywords:** Charcoal Analysis, Fuel Management, Experimentation, Hearth, Anatomical Signatures.

## INTRODUCTION

### *Vers une approche socio-économique de l'anthracologie*

Depuis de nombreuses années, les recherches en Préhistoire mettent l'accent sur l'étude des comportements socio-économiques des sociétés préhistoriques en décrivant les activités qui sont menées,

---

\*CEPAM UMR 7264, CNRS-UNS Campus Saint-Jean-d'Angély 3. 24, avenue des Diables Bleus, F-06357 Nice Cedex 4, França.

en s'intéressant aux territoires parcourus par ces populations et au rôle joué par les sites au sein de ce territoire. Longtemps inscrites dans une perspective paléobotanique (VERNET 1973; BADAL-GARCIA 1988, 1992; THIEBAULT 1988; CHABAL 1990, 1992, 1997; HEINZ 1990; HEINZ et al. 1992), les études anthracologiques se sont plus récemment intéressées à ces pratiques sociales, intégrant les questions relatives à l'acquisition et à l'utilisation du combustible ligneux en tant que composante de l'économie des sociétés pré- proto et historiques (THERY-PARISOT 2001 ; THIEBAULT 2002; FIORENTINO et MAGRI 2006; THERY-PARISOT et al. 2009; BADAL GARCIA *et al.* 2014). Mais comment aborder les pratiques en anthracologie ? Pour les sites Paléolithiques en particulier, on souhaiterait pouvoir mettre en évidence des pratiques de collecte du bois (*e.g.* ramassage du bois mort plutôt que l'abattage), ou des sélections (espèce, calibre, état du bois) en vue d'une activité particulière, parce qu'elles alimentent une réflexion générale sur la fonction des sites et la saisonnalité des occupations. Mais, ces informations sont-elles enregistrées dans les restes que nous étudions ?

L'identification taxinomique des charbons de bois permet de déduire la signature écologique d'un spectre de fréquence à partir d'essences clés ou d'un ensemble de taxon dont l'écologie est connue, de définir les biotopes exploités, les territoires parcourus pour la collecte du bois et de discuter de l'utilisation de certains taxons au regard de propriétés déduites de leurs caractéristiques physiques et chimiques. Mais, les questions relatives à la gestion des ressources elles-mêmes, les pratiques de la collecte du bois, le choix des combustibles sont des aspects difficiles à appréhender par l'identification taxinomique seule. Par exemple, si les propriétés combustibles d'une essence relevaient uniquement de leurs propriétés physiques et chimiques, alors il serait possible de combiner les informations de forme des structures de combustion et de contenu floristique pour identifier la fonction des foyers. Or, à de rares exceptions près, le spectre de fréquence des essences identifiées dans un foyer permet rarement de remonter à sa fonction pour deux raisons principalement : les propriétés combustibles dépendent peu ou pas de l'espèce et les critères de sélection peuvent relever de préférences ou des croyances qui échappent totalement à l'anthracologue (THERY-PARISOT 2001, 2002b). De plus, d'autres marqueurs, *a priori* mesurables et interprétables, reposant sur la forme (calibre et morphologie des branches) et les états phénologiques et physiologiques (bois mort, bois sur pied, bois altéré, bois vert) semblent plus à même de documenter les pratiques. Cet article propose une synthèse des méthodes dédiées à l'identification de ces états et formes du bois, lesquelles reposent sur la création de référentiels, par l'expérimentation.

### ***Une approche expérimentale des processus : la création de référentiels en conditions contrôlées***

L'expérimentation sur du matériel actuel permet de produire des référentiels issus de lots de bois dont les caractéristiques *ante* combustion sont connues. Une difficulté est ici de prendre en compte la diversité d'un matériau bois dont la variabilité relève de paramètres multiples. La composition chimique du bois, ses caractéristiques physiques et mécaniques, sa densité, son anatomie, relèvent à la fois de ses

conditions de croissance (nature et type de sol, altitude, exposition), de l'âge de l'individu ou du rang de l'axe, de la saison de coupe et, enfin, de la génétique (variations populationnelles ou taxinomiques), lesquels conditionnent ensuite le comportement au feu. La préparation d'expériences doit donc intégrer cette variabilité, faute de quoi une variable cachée de l'expérimentation pourrait influencer les résultats. Le choix de la structure de combustion doit répondre à des exigences de conformité vis-à-vis des processus que l'on veut étudier, tout en limitant l'interférence de paramètres non contrôlables. L'expérimentation en conditions les plus proches possible de la réalité des sociétés passées est, *a priori*, le meilleur moyen de comprendre les processus que l'on étudie. Pourtant, s'agissant de foyer en plein air, les paramètres extrinsèques comme le vent, la pression atmosphérique ou l'humidité de l'air ont une telle importance sur le déroulement de la combustion qu'ils masquent presque complètement l'effet des variables dont on cherche à mesurer l'effet. C'est pourquoi nous utilisons souvent un foyer de laboratoire. Ainsi, en limitant l'incidence des paramètres extrinsèques et en standardisant au maximum les expériences, il est possible d'étudier le processus de la combustion, et ce, indépendamment de facteurs environnementaux. Le four à moufle est cependant utilisé pour certaines expériences nécessitant un contrôle rigoureux des températures et des durées de la combustion. Cette procédure tend à homogénéiser les résultats, l'échantillon y est chauffé de manière homogène, ce qui n'est jamais le cas dans une structure ouverte. La signification d'expériences réalisées en four à moufle doit donc être questionnée. Mais, les deux structures sont complémentaires et la duplication des expériences four à moufle/foyer ouvert permet de comparer les phénomènes et d'apporter davantage de précisions sur la compréhension des processus. Tous les référentiels ont été réalisés à partir de lots de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* L.), principal taxon des assemblages anthracologiques pléistocènes auxquelles ces méthodes sont appliquées.

## UN MODELE DISCRIMINANT ABATTAGE/RAMASSAGE

### **Enjeux**

Dans le contexte des occupations préhistoriques, un objectif de l'étude anthracologique est de mettre en évidence les modalités d'acquisition du bois de feu en distinguant les pratiques d'abattage et de ramassage du bois dont on suppose qu'elles nous renseignent sur le statut des occupations. De fait, les modes de vie préhistoriques se caractérisent par une importante mobilité, une occupation des sites de type saisonnière, depuis la très courte durée jusqu'au camp de base multi-saisonnier, et un équipement technique relativement limité, spécificités dont on suppose qu'elles contraignent la gestion de la ressource bois (THERY-PARISOT 2002a, 2002b). Au-delà des contraintes techniques de l'abattage, ce postulat repose sur une caractéristique physiologique du bois : sauf usage spécifique lié à des activités spécialisées (*e.g.* fumage, traitements thermiques de matières premières), le bois de feu doit être sec. On oppose alors

schématiquement le ramassage de bois mort facile à collecter, déjà sec, d'usage immédiat, et le bois d'abattage d'usage différé (de 18 à 36 mois de séchage selon les modalités de stockage et les conditions climatiques) qui relève à la fois de techniques et de stratégies plus complexes à mettre en œuvre, et qui sous-tend anticipation, stockage prévisionnel et réoccupation du site. L'abattage et le ramassage constituent par conséquent deux modalités de la collecte du bois de feu qu'il convient de différencier. La distinction entre ces deux pratiques repose en partie sur la mesure des calibres du bois utilisé comme combustible.

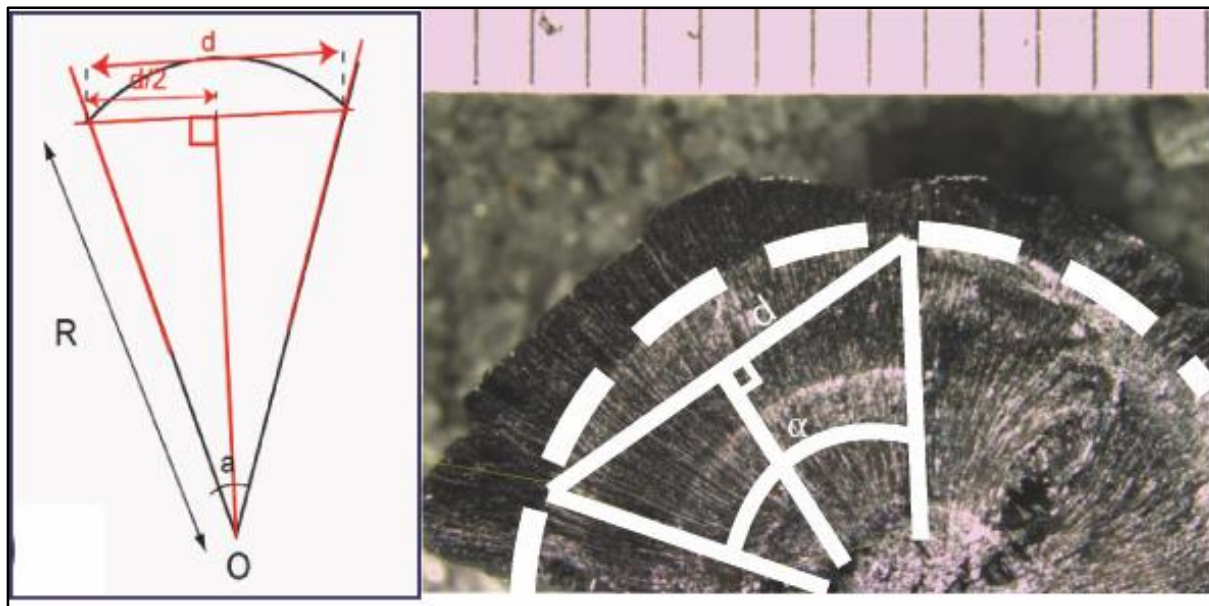
Dans un peuplement en équilibre, le bois mort au sol est majoritairement constitué de branchages provenant de l'élagage naturel des arbres et, plus ponctuellement, d'arbres entiers tombés à terre. Un peuplement d'arbres sur pied présente une plus grande diversité de diamètres des tiges et l'éventail de ces calibres témoigne de cette diversité (tous les calibres sont représentés, y compris les plus grands). Par conséquent, les calibres du bois utilisé comme combustible ont des chances de refléter les modalités de la collecte.

### ***Etat de la recherche***

Appliqués aux charbons de bois archéologiques, les premiers travaux en ce domaine ont permis de mettre au point une méthode de mesure du calibre extrapolé à partir de la courbure du dernier cerne visible. Ils sont d'abord fondés sur l'utilisation d'une simple cible (WILLERDING 1971; ALIX 2002; NELLE 2002; MARGUERIE et HUNOT 2007) puis sur le développement d'outils numériques d'analyse d'image (CHRZAVZEZ 2006; DUFRAISSE et GARCIA-MARTINEZ 2011; GARCIA-MARTINEZ et DUFRAISSE 2012; PARADIS-GRENOUILLET et al. 2013) (Figure 1). Pour autant, en raison de la fragmentation du bois au cours de la combustion ou de la réduction en cendres sur le pourtour des tiges, le dernier cerne visible correspond rarement au dernier cerne de la branche dont il est issu, et peut provenir indifféremment de n'importe quelle partie de celle-ci (DUFRAISSE 2005). Par conséquent, le dernier cerne visible enregistre le diamètre minimum de la branche dont provient le charbon mais ne nous dit rien sur le calibre de la tige. Seul le développement de méthodes analytiques plus poussées incluant des modélisations autorise le passage de mesures individuelles de cernes sur des fragments isolés au calibre d'un lot de bois supposé.

Les méthodes de restitution des calibres développées relèvent de deux approches distinctes. La première repose sur un modèle théorique fondé sur la géométrie des cylindres (DUFRAISSE 2005, 2006). Cette méthode prend en compte les effets de la fragmentation et cherche à corriger la distribution des diamètres des fragments d'un échantillon en distribution des calibres des tiges dont ils proviennent. Mais la correction proposée ne permet pas réellement de remonter aux calibres d'origine (THERY-PARISOT et al. 2011). La seconde est une méthode qualitative basée sur des référentiels expérimentaux. Ils permettent de comparer des histogrammes de fréquence des diamètres mesurés sur des lots de charbons de bois

archéologiques, avec des histogrammes de référence dont on connaît la composition, en termes d'éventail des calibres d'origine mis au feu (NELLE 2002; LUDEMANN 2008).



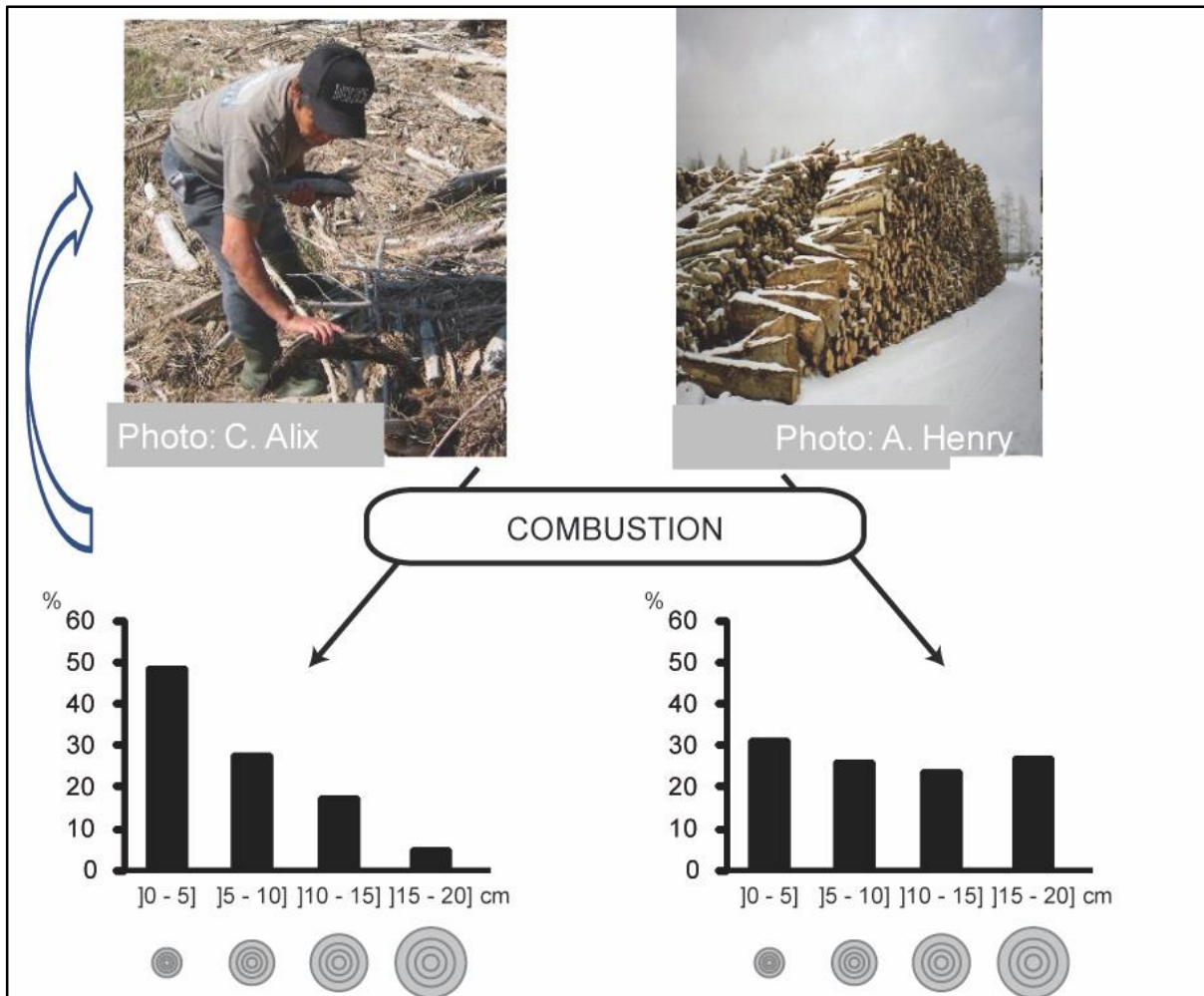
**Figure 1:** Méthode de mesure du diamètre du bois en microscopie optique à réflexion couplée avec l'analyse d'image (logiciel Image Pro-Plus). L'estimation du calibre repose sur la trigonométrie  $R = (d/2)/(\sin \alpha/2)$  (adapté de PARADIS-GRENOUILLET 2013).

Les travaux présentés ici s'inscrivent clairement dans la lignée des études de Nelle et Ludemann, avec l'objectif de dépasser l'approche qualitative et de proposer un modèle quantitatif (THERY-PARISOT et al. 2011; CHRZAVZEZ et al. 2012). Le processus de fragmentation des charbons de bois au cours de la combustion étant homogène (CHABAL 1992; THERY-PARISOT et al. 2010a, 2010b; HENRY 2011; CHRZAVZEZ et al. 2014), les histogrammes de proportion des calibres, obtenus à partir de diamètres mesurés sur des fragments, doivent refléter les lots de bois dont ils proviennent. C'est donc l'allure de l'historgramme et non les valeurs individuelles de chaque classe de l'historgramme qui est discriminante (Figure 2). En conséquence, il doit être possible d'estimer la probabilité d'appartenance d'un échantillon archéologique à un histogramme de référence et d'en déduire les calibres d'origine du bois. La création d'historgrammes de proportions de calibres de référence, à partir de lot de bois brûlés de calibres connus, repose sur l'expérimentation.

### **Matériel et méthode**

L'expérimentation poursuit plusieurs objectifs :

- étudier la relation entre la répartition en classes de calibres avant et après combustion ;
- vérifier la fidélité des histogrammes à l'égard de lots identiques dont ils proviennent ;
- tester la différence statistique entre des lots distincts ;
- proposer un modèle statistique pour l'étude d'échantillons archéologiques.



**Figure 2:** Une hypothèse: le profil de l'histogramme des diamètres mesurés est une fonction des calibres du bois mis au feu.

La complexité de mise en œuvre de l'expérimentation et le caractère chronophage des mesures de diamètres, nous ont amenés à travailler dans un premier temps sur des lots de bois volontairement simples, le but n'étant pas de tester toutes les situations mais d'évaluer la pertinence de la méthode.

Trois séries d'expériences ont été réalisées : une première série (série 1 ;  $> 25 \text{ cm}$ ) de 4 combustions composées de lots de bois de calibre supérieur à 25 cm refendus ; une deuxième série (série 2 ; 7 à 10 cm) de 5 combustions composées de lots homogènes de faible calibre (7 à 10 cm); une troisième série (série 3 ; *arbre*) issue du débitage d'un arbre entier dont l'éventail des calibres est compris entre 1 et 20 cm, divisée en deux lots identiques de composition hétérogène (soit 2 répliques pour cette modalité).

Au terme des combustions, 5500 charbons ont été mesurés en analyse d'image en couplant les méthodes de Chrzavzez (2006) et Paradis-Grenouillet et al. (2013), soit 500 charbons de bois par combustion. Pour chaque feu, la mesure individuelle du dernier cerne visible sur chacun des fragments étudiés permet d'établir un histogramme de classes de diamètres représentées (4 classes de diamètres d'amplitude 5 cm).

### **Résultats (Figure 3)**

Avant combustion, la série 1 (> à 25 cm) est composée uniquement de rondins de calibre supérieur à 25 cm. Au terme de la combustion, la fragmentation du bois entraîne une redistribution au sein des différentes classes de diamètres, qui ne semble pas suivre un modèle linéaire. La redistribution est globalement homogène dans toutes les classes même si on observe en moyenne une légère surreprésentation de la classe [5-10cm]. La classe [15-20cm], qui représente la classe que nous appellerons la classe "attendue", c'est-à-dire conforme aux calibres avant combustion, rassemble au mieux 30% des effectifs. Les résultats de la deuxième série (7 à 10 cm) sont homogènes, la classe attendue des lots est toujours sous-représentée, voire non représentée (3/5 feux). La classe 5 à 10 atteint au mieux 3 % des effectifs. Avant combustion, les lots de la troisième série qui correspond au débitage d'un pin sont composés de 20% de calibres [15 à 20 cm], de 37% de calibres [10 à 15 cm], de 3% de calibres [5 à 10 cm] et de 40% de calibres [0 à 5cm]. La comparaison des deux histogrammes post combustion fait état d'une redistribution semblable au sein des différentes classes. Les classes [10-15cm] et [15-20 cm] sont systématiquement sous-représentées après la combustion alors que la classe [5-10cm], à peine augmentée, représente assez fidèlement les fréquences ante combustion ; la classe [0-5 cm] est surreprésentée avec près de 85% des effectifs post combustion contre 40% ante combustion.

La fragmentation du bois au cours de la combustion entraîne une redistribution au sein des différentes classes de diamètres. Par conséquent, les mesures individuelles ne reflètent pas le calibre initial des lots du bois mis en feu mais le résultat de la fragmentation. La classe supérieure est systématiquement sous-représentée alors que la classe inférieure est toujours surreprésentée [0-5cm]. Les effets combinés du retrait radial et du processus de combustion du bois depuis la périphérie jusqu'au cœur suffisent à expliquer la sous-représentation de la classe supérieure. La fragmentation est à l'origine de la surreprésentation systématique de la classe inférieure, [0-5cm], quel que soit le calibre du bois mis au feu. À cette dissemblance de représentation des classes ante et post combustion s'oppose la ressemblance des résultats entre répliques d'une même modalité. Cette reproductibilité de la mesure observée de manière systématique dans nos trois séries suggère le caractère non aléatoire de l'allure de l'histogramme qui reflète bien la composition du lot de bois dont il est issu.

Certaines analyses multivariées permettent de tester statistiquement la différence entre les lots. L'analyse factorielle discriminante (AFD) est une méthode descriptive et explicative, apparentée à l'analyse en composantes principales (ACP), s'appliquant à des données quantitatives sur lesquelles est déjà définie une typologie ou partition, ce qui correspond bien à nos données. La population statistique est composée des différentes combustions réalisées ; les variables correspondent à la valeur individuelle de chaque classe de calibre pour chacune de ces combustions. Cette méthode permet de tester à la fois la similitude des résultats d'une même modalité et la dissemblance des modalités entre elles (Figure 4). D'après l'analyse, la différence entre les barycentres des 3 groupes est significative (Test du Lambda de Wilks), le classement



des lots *a posteriori* est identique au classement *a priori* c'est-à-dire à la partition en trois groupes due à notre protocole. Conformément à notre hypothèse, les trois lots sont bien discriminés. On peut donc confirmer que la valeur individuelle de chaque classe de diamètres ne représente pas le lot de bois dont il provient mais que la distribution en classes est fonction de la composition du lot de bois mis au feu.

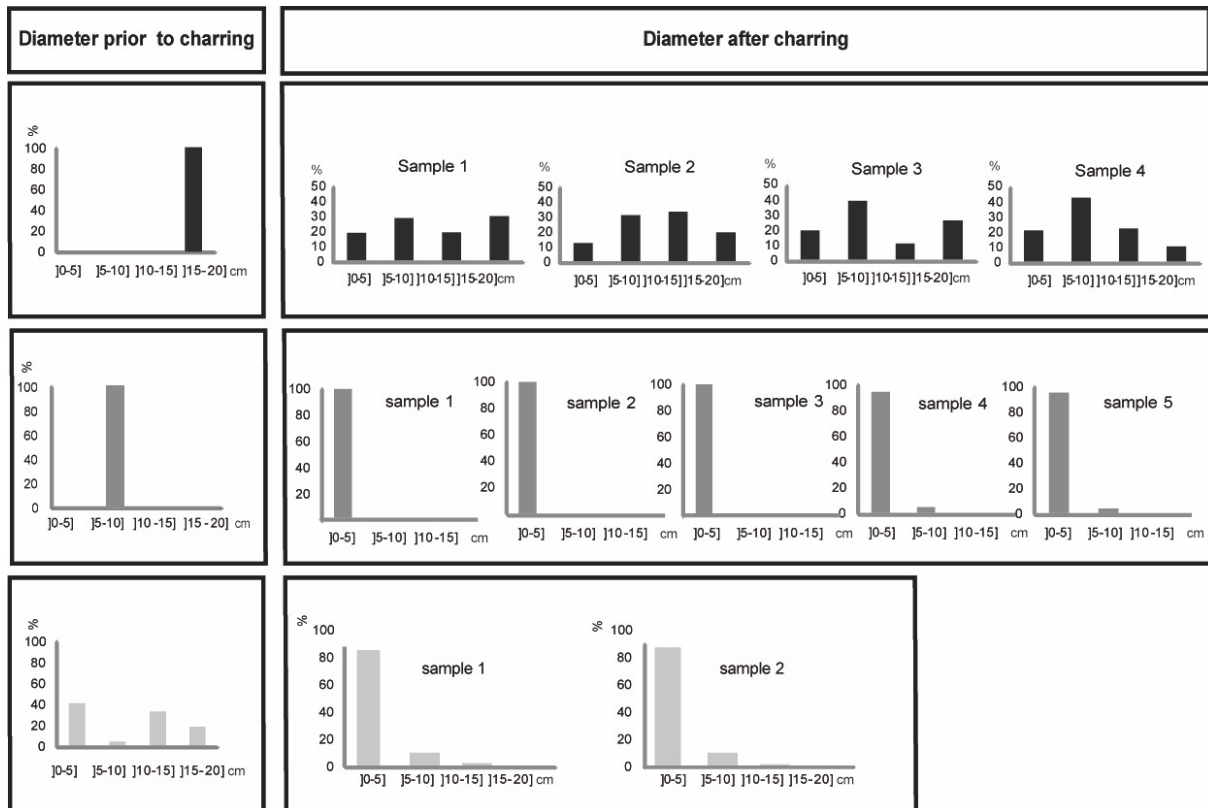


Figure 3: Profil des histogrammes des classes de diamètres obtenus expérimentalement.

## Discussion

Le référentiel expérimental a permis: d'étudier la relation entre la composition (éventail des calibres) de lots de bois et le profil des histogrammes de classes de diamètres des fragments qui en résultent après combustion; de montrer l'absence de différence statistique entre les profils des histogrammes des différentes répliques; de montrer que les lots de bois de composition différente sont statistiquement discriminés par le profil des histogrammes de classes de diamètres basé sur les mesures de chaque charbon après combustion.

En conséquence, sur son principe, le modèle est transposable aux contextes archéologiques. Une des applications de l'AFD porte sur la possibilité d'affecter statistiquement un assemblage archéologique à un modèle de partition établi à partir d'un référentiel et donc d'en déduire le calibre moyen du bois utilisé comme combustible. Deux conditions permettront de systématiser son application; d'une part, un référentiel expérimental plus large devra nourrir le modèle pour rendre compte d'un plus grand nombre de combinaisons de calibres, en vérifiant aussi si d'autres espèces que le Pin confirment ces profils (robustesse

du modèle); d'autre part, il faudra montrer que des lots de bois très différents entre eux ne conduisent pas à des histogrammes de même profil. Enfin, un outil statistique n'est pas un outil décisionnel, il est le support à la formulation d'hypothèses et d'interprétations archéologiques qui sont toujours étayées par d'autres données.

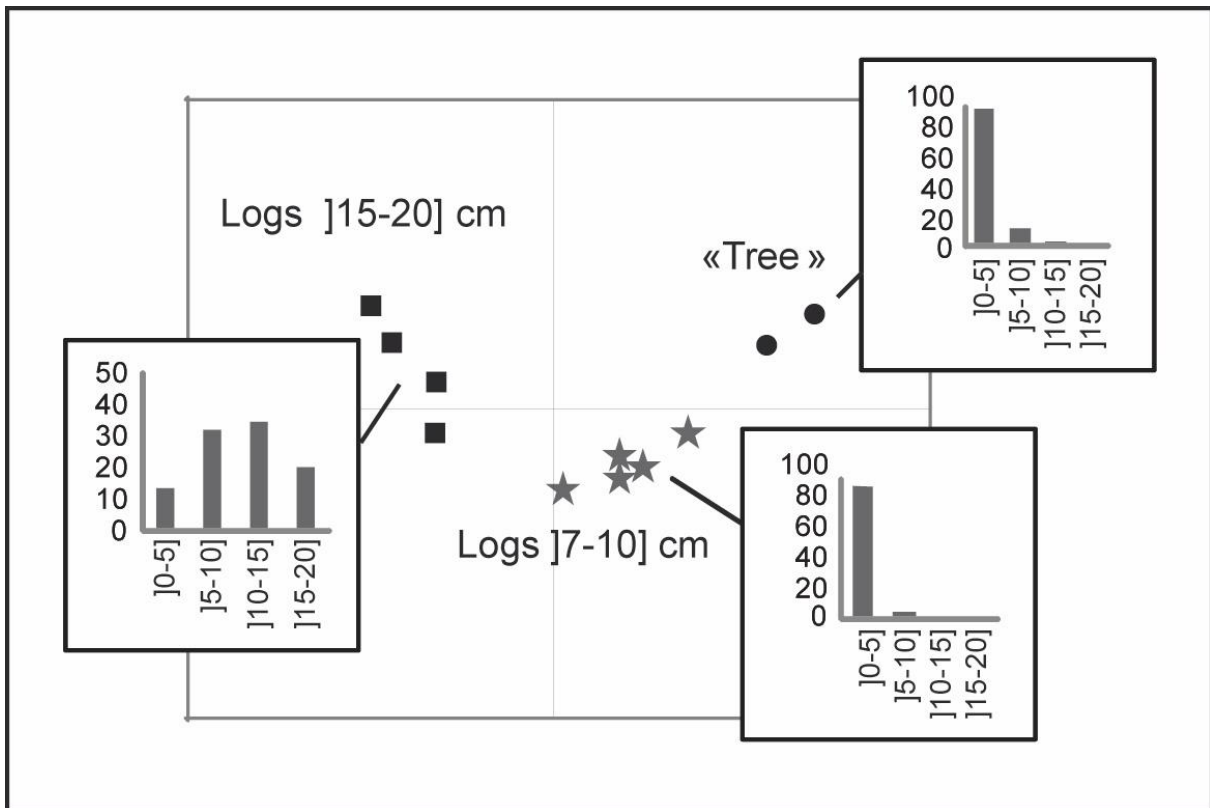


Figure 4: Distribution des profils d'histogramme dans le plan factoriel (Analyse Factorielle Discriminante).

Une première application du modèle a été proposée pour l'étude des charbons de bois du gisement Paléolithique de Fumane (Vénétie, Italie) (CHRZAVZEZ 2006; CHRZAVZEZ et al. 2012). Les résultats de l'analyse supportent l'hypothèse d'une collecte préférentielle de bois de faible calibre correspondant à un ramassage, hypothèse qui cadre bien avec le caractère ponctuel des occupations du Paléolithique privilégiant l'immédiateté des besoins en bois. Le bois de ramassage (bois mort sur l'arbre ou au sol, bois flotté de faible calibre) déjà sec et facile à collecter, semble plus adapté aux occupations brèves (activités journalières ou sites spécialisés) mais également à des occupations plus longues lorsque la nécromasse le permet (camp de base résidentiel). On parlerait alors de gestion opportuniste de bois est mort et sec qui n'exclut pas pour autant une sélection (essences, calibre) au sein de la nécromasse. A l'inverse, le bois d'abattage, qui relève à la fois de techniques et de stratégies plus complexes à mettre en œuvre, serait plutôt associé à des occupations « longues » du type camp de base résidentiel ou à des occupations plus ponctuelles lorsque la nécromasse est peu abondante ou inaccessible (e.g. sous la neige).

## BOIS MORT/BOIS ALTERE: QUELLES SIGNATURES ANATOMIQUES ?

### *Enjeux et état de la recherche*

La caractérisation anatomique du bois sain/mort/altéré s'inscrit dans la perspective de décrire les modalités de la collecte du bois de feu, en mettant en évidence : (i) deux pratiques opposées : le ramassage (bois mort potentiellement altéré par l'activité de dégradation biologique) et l'abattage (bois sain sur pied) ; et (ii) l'emploi de bois altéré pour des activités spécialisées, pratique observée actuellement, notamment chez les Evenk de Sibérie (HENRY 2011).

La distinction entre le bois sain et le bois mort est tributaire de la préservation post-combustion de signatures anatomiques dues à l'activité de dégradation biologique ante-combustion. Les travaux antérieurs ont porté sur quelques critères de caractérisation anatomique du bois mort (BLANCHETTE et al. 1997; BLANCHETTE 2000; THERY-PARISOT 2001; THERY-PARISOT et TEXIER 2006; ALLUE et al. 2009; MOSKAL-DEL HOYO et al. 2010). Mais les descripteurs proposés, toujours qualitatifs, posent problème dès lors que l'on cherche à interpréter un assemblage archéologique, notamment en raison de la faiblesse d'un argumentaire qui repose principalement sur la présence/absence d'altérations visibles. L'observation d'altérations sur les charbons de bois du site Mésolithique du Clos de Pujol (Massif Central, France) a conduit au développement d'un nouvel outil d'analyse (HENRY 2011; HENRY et THERY-PARISOT 2014). L'objectif était d'établir un référentiel actuel prenant en compte un gradient d'altérations et de proposer une approche quantitative transposable aux assemblages archéologiques.

### *Matériel et méthode*

L'échantillonnage de bois ou charbon de bois, destiné au référentiel, a été réalisé au sein de deux ensembles distincts : d'une part, des lots de bois prélevés sur pied ou au sol au sein de peuplements actuels de *Pinus sylvestris* (Causse du Larzac, France) ; d'autre part, des charbons de bois prélevés dans des foyers traditionnels Evenks de Sibérie, dans le cadre d'une mission ethno-archéologique.

Le référentiel « Bois » distingue quatre séries qui présentent un gradient d'altérations macroscopiques allant de non altéré à très altéré: deux lots de bois sain de référence (H1, H2), deux lots de bois mort sur pied ne présentant pas d'altération macroscopique (noté SD1, SD2), trois lots de bois mort au sol présentant localement des altérations macroscopiques (FD1, FD2, FD3) et trois lots de bois mort au sol présentant des altérations macroscopiques majeures (HRST, R1, R2).

Le référentiel « ethno-anthracologique » se compose de charbons de bois issus de deux types de foyers : le **Samnin** (noté S - Evenk smudge), foyer extérieur de fumigation destiné à protéger les animaux domestiques des moustiques, majoritairement composé de bois vert et de « tout-venant », mélange de mélèze sous différents états phénologiques et physiologiques ; le **Njučinak** (N - Evenk smoke) : foyer

spécialisé dans le boucanage des peaux, alimenté de mélèze très altéré, pulvérulent, de couleur rouge sombre, et allumé par adjonction de braises ardentes de mélèze *a priori* sain ou peu altéré.

Les échantillons du référentiel « Bois » ont été traités selon deux modalités: une série de témoins cuits en four à moufle sous forme de rondelle, à 500°C pendant 30 mn (9 échantillons de référence) et une série issue de combustions en foyer ouvert de laboratoire (10 combustions). Après la carbonisation, les échantillons sont observés au microscope à réflexion (grossissement 100, 200 et 500 fois) (plus de 900 charbons). Les observations portent sur les marqueurs d'altération à l'échelle de la microstructure et leur généralisation au sein d'un même charbon. Elles sont notées de 0 à 3 selon l'intensité de l'altération (pour une description des altérations se reporter à HENRY et THERY-PARISOT 2014).

Les charbons ethno-anthracologiques sont observés au microscope à réflexion sans préparation. Ils font l'objet des mêmes observations.

### Résultats (Figure 5)

Les altérations de la structure anatomique sont visibles en section transversale autorisant une caractérisation rapide de l'état d'altération ; l'examen des plans longitudinaux n'apporte pas d'information supplémentaire. La définition d'un indice d'altération (A.L. = 0 à 4) permet de classer chaque charbon de bois dans une classe d'altération, puis de quantifier les proportions de ces classes dans l'échantillon. Nous noterons A.L.(i) l'indice d'altération égal à i. Les observations sont faites sur un échantillon de 150 charbons prélevés au hasard dans chaque lot (soit un total de 1500 observations).

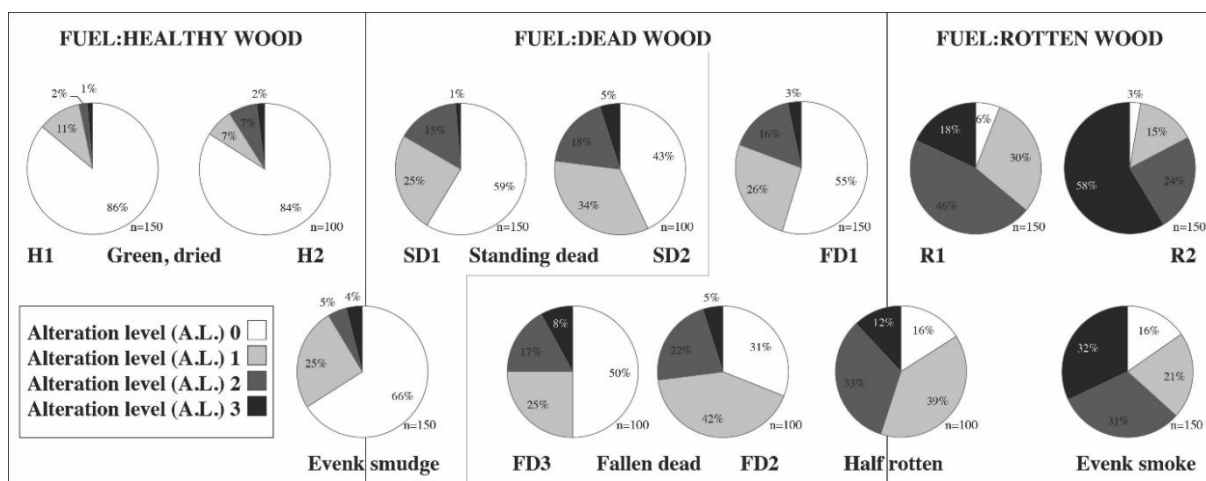


Figure 5: Fréquence des altérations (A.L. 0 à 3) observées sur le référentiel actuel et ethnoarchéologique.

### Les échantillons actuels

Les observations réalisées sur les lots de bois actuels montrent que les proportions des différents types d'altération se stabilisent autour de 100 charbons. Les échantillons témoins (H1, H2) sont très faiblement altérés, respectivement 84 et 86% pour A.L. (0). On note toutefois quelques échantillons

présentant un A.L. plus élevé. Les lots de bois mort sur l'arbre et mort au sol (SD1, SD2, FD1, FD2, FD3) ne sont pas discriminés, ils présentent en moyenne 42 % de charbons altérés type A.L. (1). Les échantillons issus de bois "très altéré" (HRST, R1 et R2) présentent effectivement des indices d'altération très forts, soit plus de 80 % de A.L. (3).

### *Le matériel ethnographique*

Comme pour le bois du référentiel, les résultats se stabilisent après observation de 100 charbons de bois. Le *njučinak* évenk (boucanage des peaux) présente 80 % de charbons altérés (A.L. = \*), et une plus forte proportion d'altérations de type A.L. = 3. Le *samnín* (éloignement des moustiques) présente un taux d'altération plus faible (34 %) avec une majorité d'altérations de type A.L. (1). Le test de Mann-Whitney confirme la différence statistique entre les deux groupes.

### *Définition d'un indice d'altération*

Les résultats de l'expérimentation montrent que l'observation de 100 charbons de bois tirés au hasard est un sous-échantillonnage représentatif du lot de bois étudié. Les altérations de la structure anatomique sont préservées après carbonisation. Le bois d'apparence saine n'échappe pas à la colonisation par les agents de dégradation, les fortes intensités d'altération ne sont pas exclusives des échantillons les plus altérés à l'échelle macroscopique, et réciproquement. Le test des comparaisons multiples (Dunn) permet de tester la différence statistique entre les lots. La classification discrimine quatre groupes : un groupe non altéré correspondant au bois sain (H1, H2) et au foyer de fumigation (S); un groupe composé des lots de bois mort sur l'arbre (SD1 et SD2), et au sol moyennement altéré (FD1 à FD3) et un groupe constitué de bois mort très dégradé (HRST, R1 et R2) et du foyer de boucanage (V).

Sur la base de ces résultats, un indice d'altération, nommé AI, dont le but est de proposer un critère quantitatif de caractérisation des charbons de bois archéologiques peut être calculé (Figure 6). Cet indice permet de prendre en compte à la fois l'intensité et la fréquence des altérations :  $AI = (nA1x1+nA2x2+nA3x3)/n(0 \text{ à } 3)x3$ .

Par convention, si 100% des charbons de bois ont une altération nulle,  $AI = 0$ . Selon cette classification, un indice faible ( $<0.15$ ) correspond à un lot de bois sain. Des valeurs moyennes (de 0.2 à 0.34) signent un assemblage issu de bois mort (collecté sur l'arbre ou au sol); enfin, des valeurs supérieures à 0.5 caractérisent un lot de bois très dégradé, de type foyer de boucanage. Appliqué au matériel ethno-anthracologique, les charbons de bois se classent correctement au sein du référentiel: le *samnín*, composé de « tout venant » sans sélection particulière se classe entre le référentiel *bois sain* et le référentiel *bois mort* peu altéré, le *njučinak*, composé de bois très altéré se classe bien dans la catégorie très altéré.



Figure 6: Calcul d'un Indice d'altération (AI).

**Discussion: du calcul d'indice à l'interprétation**

Le calcul de l'indice d'altération permet d'identifier l'état du bois lors de sa mise au feu. Un indice très faible ou au contraire très élevé fournit une indication relativement précise de l'état phénologique du combustible employé. Ce n'est pas le cas des valeurs moyennes, interprétées comme résultant d'un mélange de valeurs extrêmes ou du cumul de valeurs moyennes. C'est alors plutôt l'aspect des différentes courbes de proportions des états d'altération qui permet une compréhension du degré d'altération. *In fine*, c'est la prise en compte du contexte socio-économique global, de la nature du site et du dépôt anthracologique, qui permettent de proposer une interprétation précise du dépôt.

Un travail préliminaire comparable a été réalisé sur des échantillons de chêne (*Quercus fc*). À des stades de décomposition macroscopiques équivalents, les indices d'altération du chêne sont bien inférieurs

à ceux obtenus pour le pin et le mélèze. Néanmoins, moyennant des tests adéquats, les lots de bois faiblement altérés, moyennement altérés et fortement altérés se discriminent bien.

Appliqué à des échantillons archéologiques, l'indice d'altération permet de discuter des modalités de la collecte du bois (ramassage, stockage, abattage). Il permet également de mettre en évidence la spécialisation des structures de combustion, par exemple en lien avec l'emploi de bois très altéré présentant des caractéristiques thermiques qui peuvent avoir été recherchées. Une application de la méthode a été proposée par Henry pour l'étude du site mésolithique du Clos de Poujol. D'après les résultats, la collecte du bois est orientée majoritairement vers le ramassage de bois mort au sol moyennement altéré. Ce qui est en concordance avec les indices saisonniers qui concourent à la mise en évidence d'occupations du site plutôt à la bonne saison, durant laquelle l'ensemble de la biomasse au sol est directement accessible (HENRY 2011; HENRY et BOBOEUF 2016).

## SEC OU FRAIS ? COMMENT IDENTIFIER L'ETAT DU BOIS MIS AU FEU ?

### *Enjeux et état de la recherche*

Certains assemblages anthracologiques présentent des altérations notables de la structure anatomique, dues notamment à la présence de fentes de retrait, dont l'apparition sur le matériel carbonisé est apparentée à celle observée sur le "bois rond" lors du séchage du bois. Elle correspond à un phénomène bien connu de rétraction des cellules due à l'évacuation de l'eau liée, en dessous du point de saturation des fibres, lequel se situe autour de 30% d'humidité et à l'incompatibilité du retrait tangentiel (de 8 à 10%) et du retrait radial (4 à 5%) lors du séchage du bois (MAC GINNES et al. 1971 ; BEALL et al. 1974 ; MOORE et al. 1974; SCHWEINGRÜBER 1978; SLOCUM et al. 1978; CUTTER et al. 1980; ROSSEN et OLSON 1985; STIMELY et BLANKENHORN 1985). La carbonisation, dont la première phase correspond à l'évacuation de l'humidité du bois, amplifie ce phénomène de rétraction (PRIOR et ALVIN, 1986; PRIOR et GASSON 1993; SCOTT et al. 2000; KUMAR et al. 2006; MCPARLAND et al. 2009; PASTOR-VILLEGAS et al. 2007). La présence de fentes de retrait visibles sur la section transversale des charbons de bois signe un fort taux d'humidité du bois. Les interprétations en sont classiquement l'utilisation préférentielle de bois vert en lien avec des activités spécialisées (*e.g.* fumage et fumigation) et s'inscrivent dans le cadre des travaux qui portent sur la fonction et le fonctionnement des foyers préhistoriques.

Néanmoins, aucun des travaux antérieurs n'a permis d'établir un lien direct entre le taux d'humidité du bois et le nombre d'occurrences de retrait dans les échantillons ou le nombre des fentes de retrait par échantillon. Une précédente étude avait notamment mis l'accent sur l'hétérogénéité interspécifique des résultats obtenus, sur la variabilité intra-spécifique et l'absence de loi entre température/humidité et fentes de retrait (THERY-PARISOT 2001). Or, dans ces expériences, un paramètre

du protocole établi pour la préparation des échantillons pouvait avoir induit une variabilité incontrôlable, les échantillons « verts » ayant été saturés artificiellement d'eau avec une pompe à vide. Pour cette raison, une étude complémentaire impliquant du matériel vert à l'état naturel a été menée.

### **Matériel et méthodes**

L'objectif de l'expérimentation était d'établir un référentiel à partir de lots de bois dont le taux d'humidité est parfaitement contrôlé, puis de préciser la relation entre l'occurrence du retrait (exprimée en nombre d'échantillons affectés par un retrait), le nombre de fentes de retrait par échantillon, l'amplitude des fentes de retrait (longueur et largeur), et le taux d'humidité avant combustion (Table 3). Les mesures sont rapportées à une surface d'observation toujours identique de 1cm<sup>2</sup>. Dans les mesures, nous noterons "FR" les fentes de retrait ("RC": radial cracks, en anglais).

Le référentiel a été réalisé à partir de lots de pin sylvestre sains secs et vert fraîchement abattus. Afin de prendre en compte la variabilité stationnelle et intraspécifique, les lots proviennent de plusieurs stations et de plusieurs axes d'un même individu.

Les échantillons ont été traités selon deux modalités (Voir THÉRY-PARISOT et HENRY 2012, pour la description précise du protocole) :

– en four à moufle sous forme de rondelles, permettant de contrôler le déroulement de la carbonisation et d'intégrer une variable de température (12 échantillons frais / 12 échantillons secs à 350°C, 12 échantillons frais / 12 échantillons secs à 500°C, 12 échantillons frais / 12 échantillons secs à 650°C), soit 36 échantillons frais et 36 échantillons secs;

– en foyer de laboratoire, quatre combustions standardisées (chaque feu est composé de 6 bûches de 33 cm, non refendues, de calibre 7 à 8 cm), plus proches des conditions archéologiques : deux combustions de bois vert et deux combustions de bois sec.

Au terme des combustions, les mesures ont été réalisées en analyse d'image sur la face transversale de chaque échantillon (logiciel image pro-plus®).

Les résultats portent sur un total de 272 échantillons traités (72 en four à moufle et 200 en foyer ouvert).

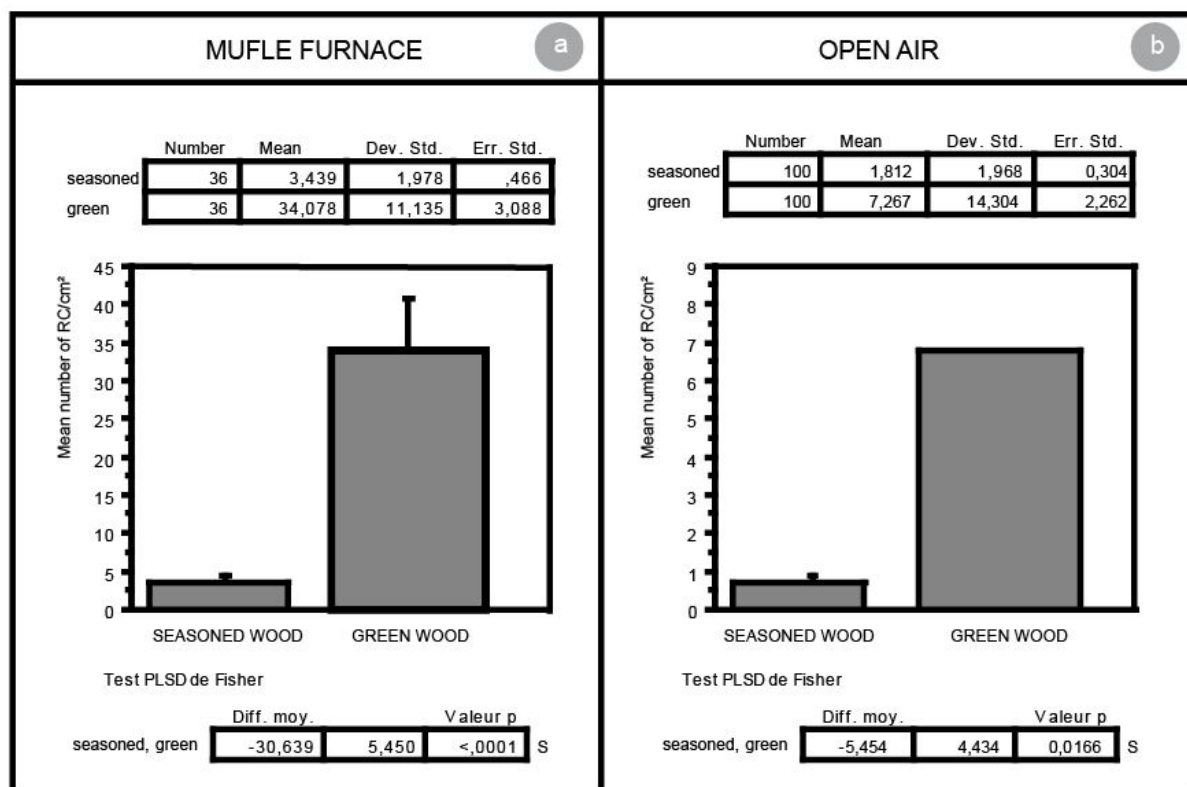
### **Résultats**

#### *Le référentiel en four à moufle (Figure 7a)*

Le premier résultat porte sur la fréquence d'occurrences du retrait. La totalité des échantillons présente des fentes de retrait visibles, quel que soit le taux d'humidité initial du bois. L'analyse de la variance montre que les variables *température* et *humidité* ont un effet significatif sur le nombre de fentes de retrait par échantillon. L'élévation de la température entraîne une augmentation du nombre moyen de



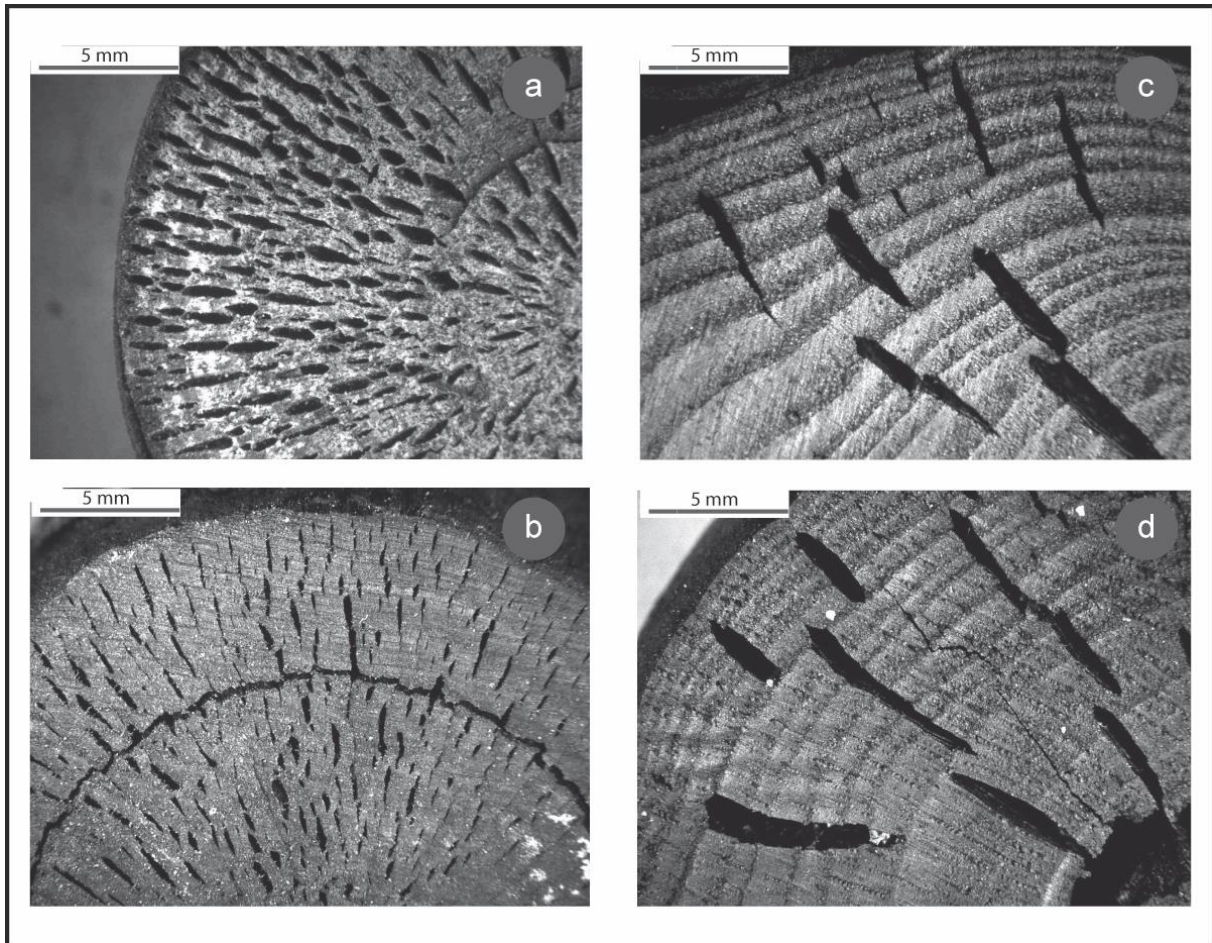
fentes de retrait avec un effet plus important sur les échantillons de bois vert (en moyenne 12 FR/cm<sup>2</sup> à 300°C, 30 FR /cm<sup>2</sup> à 500°C et 40 FR /cm<sup>2</sup> à 650°C). Néanmoins, la variable *température* a moins d'incidence que la variable *humidité*. L'analyse de la variance montre en effet que les échantillons verts sont nettement discriminés des lots secs ( $p < 0.0001$ ) et présentent en moyenne dix fois plus de fentes de retrait.



**Figure 7:** Effet du taux d'humidité sur le nombre de fentes de retrait/cm<sup>2</sup>, en four à moufle (a) en foyer ouvert (b) (ANOVA et test PLSD Fisher).

Les mesures systématiques montrent que les températures n'ont pas d'incidence sur la longueur et la largeur des fentes de retrait dont les variations de taille sont aléatoires dans un même lot (sec ou vert). Inversement, la variable « humidité » discrimine la longueur ( $p < 0.0002$ ) et la largeur ( $p < 0.0073$ ) des fentes de retrait : elles sont plus longues et plus larges sur les échantillons secs, plus courtes et moins développées sur les échantillons verts (Figure 8).

En résumé, la fréquence d'occurrences de fentes de retrait n'est pas en soi un indicateur du taux d'humidité du bois : tous les échantillons présentent du retrait. La température a un effet significatif sur le nombre de fentes de retrait mais cet effet est moins important que le taux d'humidité. Le nombre d'occurrences de fentes de retrait est dix fois plus élevé sur les échantillons verts mais il est essentiel de prendre en compte aussi la longueur et la largeur des fentes. Les fentes de retrait sont plus nombreuses et moins développées sur les échantillons verts, moins nombreuses mais plus développées sur les échantillons secs.



**Figure 8:** les fentes de retrait sont nombreux et peu développées sur le bois vert (a, b), elles sont moins nombreuses et plus développées sur le bois sec (c, d.).

#### *Le référentiel en foyer ouvert (Figure 7b)*

Les températures sont enregistrées par une série de 12 capteurs répartis dans le foyer. Elles sont sensiblement identiques pour toutes les expériences. Seule la durée des combustions distingue les lots secs des lots verts (4h40 en moyenne pour le bois sec contre 6h en moyenne pour le bois vert).

Dans nos expériences, 70% des échantillons présentent des fentes de retrait, quel que soit le taux d'humidité initial du bois. La fréquence d'occurrences de retrait ne présente, ici encore, aucune valeur diagnostic de l'état du bois mis au feu. En revanche, le nombre de fentes de retrait discrimine les échantillons secs et verts ( $p \approx 0.0166$ ) ; les fentes de retrait sont en moyenne quatre fois plus nombreuses sur les échantillons verts que sur les échantillons secs (avec respectivement 8 FR/cm<sup>2</sup> et 2 FR/cm<sup>2</sup>). Inversement, il n'y a pas de différence statistique entre les dimensions des échantillons sur bois sec et sur bois vert.

### **Synthèse et discussion**

D'après nos résultats, la totalité des échantillons présente des fentes de retrait visibles quel que soit le taux d'humidité initial du bois. Les variables température et humidité ont un effet significatif sur le nombre de fentes de retrait par échantillon. L'élévation de la température entraîne une augmentation du nombre moyen de fentes de retrait avec un effet plus important sur les échantillons de bois vert, en foyer ouvert comme en four à moufle. En four à moufle la variable humidité prévaut sur la variable *température*. Les échantillons verts sont nettement discriminés des lots secs ( $p < 0.0001$ ) et présentent en moyenne dix fois plus de fentes de retrait en structure fermée et en moyenne quatre fois plus en foyer ouvert. Les températures n'ont pas d'incidence sur la longueur et la largeur des fentes de retrait dont les variations de taille sont aléatoires. La variable *humidité* discrimine la longueur ( $p < 0.0002$ ) et la largeur ( $p < 0.0073$ ) des fentes de retrait en four à moufle mais pas en foyer ouvert. Les résultats sont moins tranchés en four à moufle, probablement en raison des conditions intrinsèques et extrinsèques plus hétérogènes de la combustion en foyer ouvert.

Nos observations montrent que le calcul d'un simple pourcentage des fentes de retrait sur un assemblage archéo-anthracologique ne peut en aucun cas servir à en déduire le taux d'humidité du bois, puisque ni la fréquence d'occurrences du retrait, ni l'amplitude des fentes n'ont de valeur diagnostique du taux d'humidité du bois.

Les variations dimensionnelles du bois se produisent dans le domaine hygrométrique, c'est-à-dire entre l'état anhydre (0% d'humidité) et le point de saturation de fibres, soit 30% d'humidité (AIESB, 2013). C'est donc l'évaporation de l'eau liée qui entraîne le phénomène de fissuration. Or, le bois, même parfaitement sec, contient toujours une proportion d'eau liée résiduelle (12% au minimum). L'évacuation de l'eau liée pendant la première phase de la combustion engendre un stress interne qui se traduit par l'apparition de fentes de retrait indépendamment du taux d'humidité du bois. En revanche, le nombre moyen de fentes de retrait au sein de l'échantillon semble être une bonne estimation du taux d'humidité du bois. Le phénomène est mieux marqué en four à moufle mais, dans les deux cas, les lots secs et verts sont statistiquement discriminés (1.4 à 2.5 FR/cm<sup>2</sup> sur sec vs de 6.8 à 8.2 FC/cm<sup>2</sup> sur vert).

L'effet des températures sur le nombre de fentes de retrait est probablement surestimé par notre protocole en four à moufle qui induit un choc thermique et non une montée progressive en température. Il s'agit donc d'un phénomène difficile à lier à un processus naturel de combustion en structure ouverte. En revanche, il s'agit probablement d'un facteur à prendre en compte pour l'étude de charbons provenant de structures fermées, de type artisanal, où les températures sont plus élevées, même si le taux d'humidité est toujours un facteur prépondérant dans la fréquence du retrait.

La transposition directe de ces résultats à l'étude de charbons de bois archéologiques reste une étape délicate. Sur le matériel archéologique, et plus encore sur les charbons d'âge pléistocène, la surface d'observation est généralement réduite ce qui limite sensiblement l'observation du phénomène. De plus, si

l'essentiel de la fragmentation du matériel se produit dans les zones à forte densité de fentes de retrait, les plus fragiles, on ne pourra plus les observer. Enfin, comment interpréter des valeurs intermédiaires ? Comme un mélange de bois sec et de bois vert au sein d'un même feu ou comme la combustion successive de bois vert puis de bois sec ? Cette méthode d'évaluation du taux d'humidité du bois est optimale pour l'étude de dépôts concentrés, témoignant d'un événement de combustion bien identifié et dont on pourra discuter la fonction. Inversement, les dépôts synthétiques sont plus difficilement éligibles à ce type d'étude, précisément si les résultats sont peu tranchés.

Les études antérieures témoignent de la forte hétérogénéité des mesures de fréquences de fentes de retrait, notamment pour les Angiospermes dont la variabilité anatomique est plus grande que pour les Gymnospermes (THERY-PARISOT 2001). Les conditions stationnelles qui peuvent induire une variabilité intraspécifique représentent un facteur d'hétérogénéité peu contrôlable. Enfin, la position de l'échantillon dans la branche constitue également un facteur de variabilité, les tensions induites par la combustion étant plus importantes près du cœur qu'en périphérie.

## CONCLUSIONS

L'observation conjointe et systématique de signatures anatomiques appliquées aux charbons de bois archéologiques couplées à l'antraco-analyse et à l'étude des autres combustibles permettent de formuler un certain nombre d'hypothèses, qui portent sur les modalités d'acquisition et de gestion du bois de feu. Ils permettent notamment d'identifier des pratiques de collecte (bois d'abattage/ bois de ramassage), de discuter la fonction des foyers au regard de la nature du combustible utilisé (bois sain/ bois vert/ bois altéré) et d'apporter des éléments à la définition du statut des occupations (*e.g.* occupations brèves, sites spécialisés). Il convient toutefois de s'interroger, au cas par cas, sur l'applicabilité de ces méthodes aux assemblages qui sont étudiés. L'état de conservation des charbons de bois peut constituer une limite à l'observation des signatures anatomiques. En section transversale, les surfaces d'observation trop petites (< 2mm) ne permettent pas une lecture optimale et l'information trop localisée ou fragmentaire conduirait à une surinterprétation.

Il est également indispensable de s'interroger en amont sur la nature du dépôt, lequel n'est pas toujours adapté à l'application de ces méthodes. On distingue classiquement: (i) les dépôts bien calés chrono-stratigraphiquement en relation avec une activité spécialisée; (ii) les dépôts dit «synthétiques» composés de charbons dispersés, déposés sur un plus ou moins long terme (CHABAL 1992; THERY-PARISOT et al. 2010a). Pour les dépôts bien calés, la mise en évidence de bois vert ou très altéré, de petits calibres, peut nous renseigner sur les spécificités thermiques de la structure étudiée (charbonnage ou fumigation, boucanage, par exemple); alors que dans le cas de dépôts synthétiques, ce que nous pourrions identifier

comme une pratique est souvent une représentation moyenne de collectes de bois de feu multiples, sans valeur de constante en termes de stratégie d'acquisition et d'utilisation.

Bien entendu, l'amélioration des référentiels reste un objectif à court et moyen terme. Afin de ne pas lier les résultats à un seul taxon (le pin) dont l'arrangement cellulaire sous-tend nécessairement son comportement au feu, nous avons élargi le référentiel à l'étude d'autres taxons, dont les résultats, en cours de traitement, font état de similarités mais également de spécificités qui méritent d'être confirmées par des analyses complémentaires. La modélisation de la relation entre calibres avant combustion et calibres post combustion, impliquant des modalités intermédiaires permettant de définir un plus large panel d'histogrammes de références, et également d'autres taxons, permettra de proposer des interprétations plus fines des pratiques de la collecte et d'élargir à un plus grand nombre de contextes.

Pour autant, ces outils d'analyse ou grille de lecture ne se suffisent pas à eux-mêmes et contribuent à la formulation d'hypothèses sur les pratiques, au même titre que les méthodes plus classiques et que l'ensemble des données contextuelles, celles du site, et que les résultats qui portent sur l'étude d'autres matériaux. Même si les interprétations doivent rester inhérentes au contexte archéologique elles apportent toujours un éclairage plus original et plus large que l'étude taxinomique seule. Il est maintenant établi que les référentiels fondés sur des observations de la structure anatomique du bois développés ou en cours de développement permettent d'élever le potentiel interprétatif de l'anthracologie. Ces méthodes commencent pour certaines à être appliquées en routine sur des assemblages préhistoriques (CARUSO-FERME 2011, 2012). Les perspectives de recherche offertes par la chimie analytique nous amènent également à envisager d'autres pistes et la prise en compte d'autres marqueurs pour la caractérisation des pratiques d'acquisition et de gestion des combustibles.

## REFERENCES

- ALIX, C. *Exploitation du bois par les populations néo-eskimo entre le nord de l'Alaska et le Haut Arctique canadien*. 2002. Thèse - Université de Paris I, Panthéon Sorbonne, Paris, 2002.
- ALLUE, E.; EUBA, I.; SOLE, A. Charcoal Taphonomy: The Study of the Cell Structure and Surface Deformations of *Pinus sylvestris* type for the Understanding of Formation Processes of Archaeological Charcoal Assemblages. *Journal of Taphonomy*, v. 7, n. 2-3, p. 57-72, 2009.
- BADAL GARCIA, E.; CARRION, Y.; GRAU, E.; MACIAS, M.; NTINOU, M. *The charcoal as cultural and biological heritage*. 5th International Meeting of Charcoal Analysis. Valencia, Spain, September 5th-9th 201. *Sagvntum Extra* 11, 2014, 220 p.
- BADAL-GARCIA, E. La antracología: Método de recogida y estudio del carbón prehistórico, *Saguntum*, v. 21, p.169-182, 1988.
- BADAL-GARCIA, E. L'antracologie préhistorique: à propos de certains problèmes méthodologiques. In: VERNET, J.L. (Org.). Les charbons de bois les anciens écosystèmes et le rôle de l'Homme, *Bulletin de la Société Botanique de France*, v. 139, n. 2-4, p.167-189, 1992.
- BEALL, F.C.; BLANKENHORN, P.R.; MOORE, G.R. Carbonized wood-physical properties and use as an SEM Preparation. *Wood and Science*, v. 6, n.3, p. 212-219, 1974.
- BLANCHETTE, R.A. A review of microbial deterioration found in archaeological wood from different environments. *International Biodeterioration and Biodegradation*, v.46, p.189-204, 2000.
- BLANCHETTE, R.A.; KRUEGER, E.W.; HAIGHT, J.E.; AKHTAR, M. et AKIN, D.E. Cell wall alterations in loblolly pine wood decayed by the white rot fungus *Ceriporiopsis subvermispora*. *Journal of Biotechnology*, v. 53, p. 203-213, 1997.
- CARUSO FERMÉ, L. *Modalidades de adquisición y usos de los recursos leñosos entre grupos cazadores-recolectores patagónicos (Argentina)*. Tese - Université Autonome de Barcelone, Barcelone, 2012.
- CARUSO FERMÉ, L.; THÉRY -PARISOT, I.; PIQUE I HUERTA, R. Recolectar o cortar? Modalidades de adquisición del material leñoso en cazadores-recolectores de Patagonia. In *Acta del VIII Jornadas de Arqueología de la Patagonia*, Malargüe, 3-7 octubre 2011, 2013.
- CHABAL, L. 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 ? In : HACKENS, T. ; MUNAUT, A.V. et TILL, CL. *Wood and Archaeology. Bois et archéologie*. First European Conference, Louvain-la-Neuve, Belgique, October 2nd-3rd 1987, *PACT* 22, 1990, p. 189-205.
- CHABAL L. La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. In: VERNET, J.L. Les charbons de bois les anciens écosystèmes et le rôle de l'Homme. *Bulletin de la Société Botanique de France*, v. 139, n. 2-4, p. 213-236, 1992.

- CHABAL, L. Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive. L'anthracologie, méthode et paléoécologie. *Documents d'Archéologie Française*, v. 63. Paris: Maison des Sciences de l'Homme, 1997.
- CHRZAVZEZ, J. *Collecte du bois de fer et paléoenvironnements au Paléolithique. Apport méthodologique et étude de cas: la grotte de Fumane dans les Pré-alpes italiennes*. 2006. Mémoire de Master 2, Université de Paris I, Panthéon-Sorbonne, Paris, 2006.
- CHRZAVZEZ, J.; HENRY A.; THÉRY -PARISOT, I. Identificando estrategias de adquisición del combustible leñoso en antracología: ¿puede contribuir la experimentación a determinar el calibre de los carbones en contexto arqueológico. In: Morgado, Antonio, Baena Preysler, Javier, García Gonzalez, David. *La Investigación Experimental Arqueología*. Actes du 2ème Congrès International d'Archéologie expérimentale, 26 au 28 nov.2008. Ronda, Málaga, 2012.
- CHRZAVZEZ, J.; THÉRY-PARISOT, I.; FIORUCCI, G.; TERRAL, J.-F.; THIBAUT, B. Impact of post-depositional processes on charcoal fragmentation and archaeobotanical implications: experimental approach combining charcoal analysis and biomechanics. *Journal of Archaeological Science*, v. 44, p.30-42, 2014.
- CUTTER, B.E.; CUMBIE, B.G.; MAC GINNES, E.A. S.E.M. and Shrinkage Analyses of Southern Pine Wood Following Pyrolysis. *Wood Science and Technology*, v.14, p.115-130, 1980.
- DUFRAISSE, A. Economie du bois de feu et sociétés Néolithiques : études anthracologiques appliquées aux sites d'ambiance humide des lacs de Chalain et de Clairvaux (Jura, France). *Gallia Préhistoire*, v. 47, 187-234, 2005.
- DUFRAISSE, A. Charcoal anatomy potential, wood diameter and radial growth. In: DUFRAISSE, A. (Org.). *Charcoal analysis: new analytical tools and methods for archaeology*. Basel 2004, Archaeopress, Oxford p. 47-60, BAR International Series S1483, 2006.
- DUFRAISSE, A.; GARCIA-MARTINEZ, M.S. Mesurer les diamètres du bois de feu en anthracologie. *Anthropobotanica*, v.11, p. 1-18, 2011.
- FIORENTINO, G.; MAGRI, D. *Charcoals from the Past: Cultural and Palaeoenvironmental Implications*. Proceeding of the third international meeting of anthracology, Cavallino – Lecce (Italy), June 28th- July 1st, 2004. BAR International Series 1807, 2006.
- GARCIA-MARTINEZ, M.S.; DUFRAISSE, A. Correction factors on archaeological wood diameter estimation. In: BADAL, E.; CARRION, Y.E.; GRAU, E.; GARCIA, M.; NTINOU, M. *Wood and charcoal : evidence for human and natural history*. Valencia, Espagne, Saguntum Extra p. 283–290, 2012.
- HEINZ, C. Dynamique des végétations holocènes en Méditerranée nord occidentale d'après l'anthracanalyse de sites préhistoriques: méthodologie et paléoécologie. *Paléobiologie continentale*, v. XVI, n. 2, 212 p., 1990.

- HEINZ, C. ; RUAS, M.-P. ; VAQUER, J. La grotte de l'Abeurador (Félines-Minervois, Hérault): paléoécologie d'après l'anthracologie et la carpologie. In: VERNET, J.L. Les charbons de bois les anciens écosystèmes et le rôle de l'Homme. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 1992, v. 139, n. 2-4, p. 465-482, 1992.
- HENRY, A. *Paléoenvironnements et gestion du bois de feu au Mésolithique dans le sud-ouest de la France: anthracologie, ethno-archéologie et expérimentation*. Thèse de doctorat, University of Nice-Sophia Antipolis. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00726927>, 2011.
- HENRY, A.; THÉRY-PARISOT, I. From Evenk campfires to prehistoric hearths: charcoal analysis as a tool for identifying the use of rotted wood as fuel. *Journal of Archeological Science*, v. 52, p.321–336, 2014.
- HENRY, H.; BOBOEUF, M. Environnement ligneux et gestion du bois de feu au cours du Mésolithique au Clos de Pujol (Campagnac, Aveyron). *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, v. 113, n. 1 à 4, p. 5-30, 2016.
- KUMAR, R.R.; KOLAR, A.K.; LECKNER, B. Shrinkage characteristics of Casuarina wood during devolatilization in a fluidized bed combustor. *Biomass and Bioenergy*, v. 30, n.2, p. 153-165, 2006.
- LUDEMANN, T. Experimental charcoal-burning with special regard to charcoal wood diameter analysis. In: FIORENTINO, G.; MAGRI, D. *Charcoals from the past: cultural and palaeoenvironmental implications*. BAR International Series, Lecce, 2008, p. 147-158.
- MAC GINNES, E.A.; KANDEL, S.A.; SZOPA, P.S. Some structural changes observed in the structure of wood. *Wood and Fiber Science*, v. 3, n. 2, p.77-83, 1971.
- MARGUERIE, D.; HUNOT, J.-Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in north-western France. *Journal of Archaeological Science*, v. 34, n.9, p. 1417-1433, 2007.
- MCPARLAND, L.C.; COLLINSON, M.E.; SCOTT, A.C.; CAMPBELL, G. The use of reflectance values for the interpretation of natural and anthropogenic charcoal assemblages. *Archaeological and Anthropological Science*, v. 1, p.249-261, 2009.
- MOORE, G.R.; BLANKENHORN, P.R.; BEALL, F.C.; KLINE, D. Some physical properties of birch carbonised in a nitrogen atmosphere. *Wood and Fiber Science*, v. 6, n.3, p.193-199, 1974.
- MOSKAL-DEL HOYO, M.; WACHOWIAK, M. et BLANCHETTE, R. Preservation of fungi in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, v. 37, n.9, p.2106-2116, 2010.
- NELLE, O. Charcoal burning remains and forest stand structure - Example from the Black Forest (south-west-Germany) and Bavarian Forest (south-east-Germany), In: THIÉBAULT, S. *Charcoal analysis. Methodological approaches, Palaeoecological results and wood uses*. Proceedings of the second international meeting of anthracology, Paris, September 2000. B.A.R. International Series, v.1063, p. 201–207, 2002.
- PARADIS-GRENOUILLET, S.; DUFRAISSE, A.; ALLEE, P. Radius of curvature measurements and wood diameter: a comparison of different image analysis techniques. In: Damblon, F. *4th International*



- Meeting of Anthracology*, Brussels, sept. 2008. British Archaeological Report Serie, v. 1063, Brussels, 2013.
- PASTOR-VILLEGAS, J.; MENESES RODRÍGUEZ, J.M.; PASTOR-VALLE, J.F.; GARCÍA GARCÍA, M. Changes in commercial wood charcoal by thermal treatments. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, v. 80, n. 2, p.507-514, 2007.
- PRIOR, J.; ALVIN, K.L. Structural changes on charring woods of *Dichrostachis* and *Salix* from Southern Africa: the effect of moisture content. *IAWA Journal*, v.7, n.3, p.243-249, 1986.
- PRIOR, J.; GASSON, P. Anatomical changes on charring six African hardwoods. *IAWA Journal*, v. 14, p.77-86, 1993.
- ROSSEN, J. et OLSON, J. - The controlled carbonisation and archaeological analysis of SE U.S. wood charcoals. *Journal of Field Archaeology*, v.12, p.445-456, 1985.
- SCHWEINGRÜBER, F.H. *Anatomie microscopique du bois*. Ed: Institut fédéral de Recherche Forestière, Zurcher, A. G, 1978.
- SCOTT, A.C.; CRIPPS, J.A.; COLLINSON, M.E. et NICHOLS, G. The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implications for the interpretation of fossil charcoal deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 164, n. 1-4, p.1-31, 2000.
- SLOCUM, D.H.; MAC GINNIS, E.A. et BEALL, F.C. Charcoal yield, shrinkage, and density changes during carbonization of oak and hickory woods. *Wood Science*, v. 11, n. 1, p.42-47, 1978.
- STIMELY, G.L.; BLANKENHORN, P.R. Effects of species, specimen size, and heating rate on char yield and fuel properties. *Wood and Fiber Science*, v.17, n. 4, p.477-489, 1985.
- THÉRY-PARISOT, I. *Economie des combustibles au Paléolithique, Anthracologie, Expérimentation, Taphonomie*. Paris : CNRS-éditions, Dossier de Documentation Archéologique, v. 20, 2001, 195 p.
- THÉRY-PARISOT, I. Fuel management (bone and wood) during the lower Aurignacian in the Pataud rock shelter (lower Palaeolithic, les Eyzies de Tayac, Dordogne, France): contribution of experimentation and anthraco-analysis to the study of the socio-economic behaviour. *Journal of Archaeological Science*, v.29, p. 1415-1421, 2002a.
- THÉRY-PARISOT, I. The gathering of firewood during Palaeolithic time. In: THIÉBAULT, S. *Charcoal analysis. Methodological approaches, Palaeoecological results and wood uses*. Proceedings of the second international meeting of anthracology, Paris, September 2000. B.A.R. International Series, v.1063, p. 243-250, 2002b.
- THÉRY-PARISOT, I.; TEXIER, P.J. L'utilisation du bois mort dans le site moustérien de la Combette (Vaucluse). Apport d'une approche morphométrique des charbons de bois à la définition des fonctions de site, au Paléolithique. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, v. 103, n. 3, p.453-463, 2006.

- THÉRY-PARISOT, I.; CHABAL, L. et CHRAZVZEZ, J. Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.291, n.1, p. 142-153, 2010a.
- THÉRY-PARISOT, I.; CHABAL, L.; NTINOU, M.; BOUBY L.; CARRÉ A. From wood to wood charcoal: an experimental approach to combustion/ Du bois au charbon de bois, approche expérimentale de la combustion. In: THÉRY-PARISOT, I.; CHABAL, L.; COSTAMAGNO, S. The taphonomy of burned organic residues and combustion features in archaeological contexts. Proceedings of the round table, Valbonne, May 27-29, 2008. *Palethnologie*, v. 2: p. 79-91/81-93, 2010b.
- THÉRY-PARISOT, I.; COSTAMAGNO, S.; HENRY, A. *Gestion des combustibles au Paléolithique et au Mésolithique: nouveaux outils, nouvelles interprétations*. Proceedings of Workshop 21. UISPP, XV congress Oxford Archaeopress: BAR International Series 1914, Lisbon, 4-9 September 2006, 2009.
- THÉRY-PARISOT, I.; DUFRAISSE, A.; CHRZAZVZEZ, J.; HENRY, A. et GRENOUILLET-PARADIS, S. Charcoal analysis and wood diameter: inductive and deductive methodological approaches for the study of firewood collecting practices. *Sagvntum Extra*, v. 11, p. 31-32, 2011.
- THÉRY-PARISOT, I.; AND HENRY, A. Seasoned or green? Radial cracks analysis as a method for identifying the use of green wood as fuel in archaeological charcoal. *Journal of Archaeological Science*, v. 39, n. 2, p. 381-388, 2012.
- THIÉBAULT, S. *Charcoal analysis. Methodological approaches, Palaeoecological results and wood uses*. Proceedings of the second international meeting of anthracology, Paris, September 2000. B.A.R. International Series 1063, 2002.
- THIEBAULT, S. L'homme et le milieu végétal: analyses anthracologiques de six gisements des Préalpes au tardi et au Postglaciaire. *Documents d'Archéologie Française*, v. 15, 111 p., Maison des Sciences de l'Homme, 1988.
- VERNET, J.-L. Etude sur l'histoire de la végétation du sud-est de la France au Quaternaire, d'après les charbons de bois principalement, *Paléobiologie Continentale*, v 4, n.1, 1973, 190p.
- WILLERDING, U. *Methodische probleme bei der Untersuchung und Auswertung von Pflanzenfunden. und frühgeschichtlichen Siedlungen*. Narchr aus Neidersachsens Urgesch, p. 180–198, 1971.

Recebido em:14/04/2016  
Aprovado em:13/05/2016  
Publicado em:22/06/2016