CENTRE D'ÉTUDES PRÉHISTOIRE, ANTIQUITÉ, MOYEN ÂGE - UMR 6130
Actes de la table ronde, 27-29 mai 2008

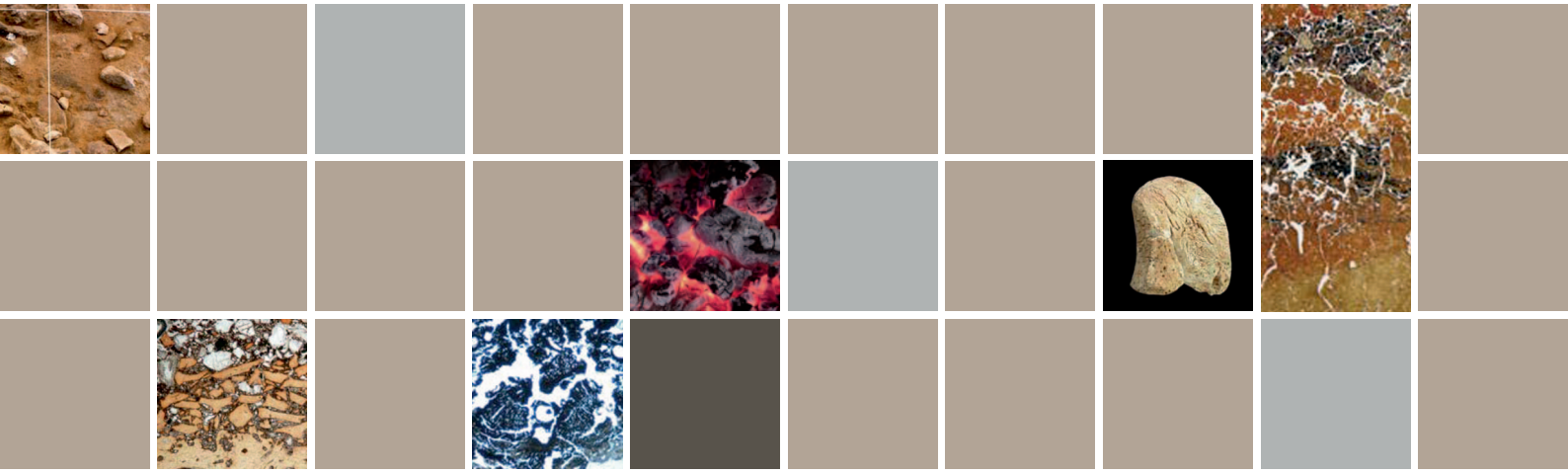
2010 # 2

http://www.palethnologie.org
ISSN 2108-6532

sous la direction de

Isabelle THÉRY-PARISOT
Lucie CHABAL
Sandrine COSTAMAGNO

TAPHONOMIE DE LA COMBUSTION DES RÉSIDUS ORGANIQUES ET DES STRUCTURES DE COMBUSTION EN CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE



P@LETHNOLOGIE
Revue bilingue de Préhistoire

P@LETHNOLOGIE
Revue bilingue de Préhistoire

Revue publiée par l'association P@lethnologie, créée et soutenue par le laboratoire TRACES, le laboratoire Ethnologie préhistorique, l'université de Liège, le ministère de la Culture et de la Communication.

Directrice

Vanessa LEA

Comité éditorial

François BON
Sandrine COSTAMAGNO
Karim GERNIGON
Vanessa LEA
Monique OLIVE
Marcel OTTE
Michel VAGINAY
Nicolas VALDEYRON

Comité scientifique

Michel BARBAZA, université de Toulouse, France
Laurent BRUXELLES, INRAP, France
Jacques CHABOT, université de Laval, Canada
Jesús GONZÁLEZ URQUIJO, université de Cantabrie, Espagne
Dominique HENRY-GAMBIER, CNRS, France
Jacques JAUBERT, université de Bordeaux, France
Béatrix MIDANT-REYNES, CNRS, France
Karim SADR, université de Witwatersrand, Afrique du Sud
Boris VALENTIN, université Paris I, France
Jean VAQUER, CNRS, France
Randall WHITE, université de New York, États-Unis

Traduction

Magen O'FARRELL

Maquette, mise en page

Yann BELIEZ

Couverture

Fabien TESSIER

Les contributions sont à adresser à :

REVUE P@LETHNOLOGIE
Vanessa LEA, chargée de recherche

TRACES - UMR 5608 du CNRS
Maison de la recherche
5 allées Antonio Machado
31058 Toulouse cedex 9, FRANCE

Téléphone : +33 (0)5 61 50 36 98
Télécopie : +33 (0)5 61 50 49 59
Courriel : vanessa.lea@univ-tlse2.fr

Cette manifestation et ses actes ont reçu le soutien de

TRACES
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère Culture Communication
Université de Toulouse
UNIVERSITE DE TOULOUSE LE MIRAIL
Université de Liège
RÉGION MIDI-PYRÉNÉES
cnrs dépasser les frontières
ARSCAN ETHNOLOGIE PRÉHISTORIQUE
MSH - NICE Maison des Sciences de l'Homme
Institut national de recherches archéologiques préventives Inrap
Centre Études Préhistoire Antiquité Moyen Âge

DU MICROCHARBON AU MACROCHARBON : RECONSTITUTION DU SIGNAL « CHARBON DE BOIS » EN CONTEXTE ARCHÉOLOGIQUE PALÉOLITHIQUE

Laurent MARQUER

P@lethnologie / 2010.2
Revue bilingue de Préhistoire

Résumé

Les charbons de bois mis au jour au cours des fouilles archéologiques, révèlent une image partielle du matériel anthracologique initialement produit par les activités humaines. Une fois enfouis, ils sont soumis à divers processus post-dépositionnels qui les fragmentent. Si les macrocharbons (> 500 µm) sont prélevés un par un et référencés sur un système de coordonnées ou extraits par des flottations et des tamisages lors de la fouille, les fragments les plus fins tels que les « mésocharbons » (500-160 µm) et les microcharbons (< 160 µm) ne peuvent être isolés des sédiments que par des protocoles adaptés. Une méthode d'extraction et de quantification par analyse d'images a alors été développée, afin de prendre en compte et d'évaluer l'importance des éléments présents dans les fractions les plus fines du sédiment. Ces analyses appliquées en contexte paléolithique, sur le site magdalénien du Grand Abri sur le *coteau de La Garenne* (Saint-Marcel, Indre, France), montrent que la présence de charbons dans ces fractions sédimentaires très fines (500-160 µm et < 160 µm) est supérieure à celle des macrocharbons. Ces quantifications offrent alors l'opportunité de reconstituer un « signal charbon » de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique, et ainsi d'appréhender les plus petites fractions des charbons *in situ*, résultant des processus taphonomiques ayant affectés un site archéologique.

Mots clés : charbons, microcharbons, taphonomie, Paléolithique, coteau de La Garenne

Introduction

Les vestiges de la combustion mis au jour en contexte paléolithique, sont essentiellement des charbons de bois, des ossements brûlés, des pierres brûlées et des cendres. Ils sont issus des restes des foyers plus ou moins structurés, ou dispersés au sein d'un niveau archéologique. Un nombre important de sites du Paléolithique supérieur est caractérisé par une absence ou une grande rareté en charbon de bois alors qu'une abondance des autres artefacts issus de la combustion, en particulier les ossements brûlés est souvent observée (Perlès, 1977 ; Théry-Parisot, 1998, 2001 ; Costamagno *et al.*, 1999 ; Théry-Parisot, 2002a ; 2002b ; Villa *et al.*, 2002 ; Théry-Parisot *et al.*, 2005 ; Yravedra *et al.*, 2005). Il est supposé que la quantité élevée des os brûlés dans les foyers, par rapport aux charbons, pourrait être liée à une limitation de la collecte en bois relative à une faible biomasse arborée présente au cours de la dernière période glaciaire. La présence de charbon en contextes préhistoriques au cours des derniers 40 ka est cependant enregistrée au sein des divers contextes culturels et bioclimatiques européens de la fin du Paléolithique moyen au Paléolithique final. En conséquence, même si les évolutions paléoenvironnementales de la fin de la dernière période glaciaire en Europe (de Beaulieu & Reille, 1984, 1992a, 1992b ; Reille & de Beaulieu, 1988, 1990 ; Guiter *et al.*, 2003 ; Beaudouin *et al.*, 2007 ; Naughton *et al.*, 2007) ont pu influencer l'économie des combustibles, elles ne peuvent pas être les seules explications d'une absence ou d'une quasi-absence de charbons. L'utilisation de l'os dans les foyers à des fins économiques, culturelles et/ou énergétiques a ensuite été supposée (Théry-Parisot, 1998, 2001, 2002a, 2002b ; Villa *et al.*, 2002 ; Théry-Parisot & Costamagno, 2005 ; Théry-Parisot *et al.*, 2005).

Le bois étant essentiel pour initier un feu (Costamagno *et al.*, 2005 ; Théry-Parisot *et al.*, 2005), ses résidus issus de la combustion devraient donc être encore présents dans les niveaux d'occupations préhistoriques. Les fouilles archéologiques ne considèrent que rarement les charbons de bois des fractions de sédiment inférieures à un millimètre. Les plus petits fragments de charbon produits à la surface du bois (ou des herbacées) lors de la combustion, puis secondairement à la suite de la refragmentation des plus grosses particules, ne sont alors pas mis en évidence. Une perte d'information importante sur la présence de charbon peut alors être envisagée.

Diverses méthodes de quantification ont été développées sur les microparticules végétales brûlées, majoritairement non déterminables, qui ont été regroupées sous le terme de microcharbons. Ces quantifications se sont accrues et perfectionnées à la fin des années 1980, au sein des sédiments quaternaires (Clark, 1984 ; Patterson *et al.*, 1987 ; Clark, 1988 ; McDonald *et al.*, 1991 ; Clark & Hussey, 1996 ; Rhodes, 1998 ; Carcaillet *et al.*, 2001 ; Vannière, 2001 ; Thevenon, 2003 ; Carcaillet, 2007 ; Daniau, 2008). A partir de ces approches analytiques, nous avons élaboré un protocole d'étude des résidus des foyers, de la microscopie à la macroscopie, afin d'évaluer les pertes potentielles de deux signaux de la combustion (signal charbons et signal os brûlés) jusque dans les fractions les plus fines de sédiment.

Approche méthodologique

Protocole d'extraction des macro- méso-microcharbons

De multiples échantillons sont prélevés selon la disponibilité en sédiment de la structure archéologique étudiée. Ils sont prélevés sur l'ensemble de la structure dans le but d'obtenir la meilleure représentativité possible. Un échantillon correspond à un volume de sédiment compris entre 100 et 500 cm^3. Il est ensuite traité dans une colonne de tamisage (fig. 1). Un tamisage à l'eau a été préféré à un tamisage à sec, car l'eau diffusée à très faible pression et de façon homogène sur le sédiment permet d'éliminer les autres micro-particules qui peuvent se déposer sur les macro-, les méso-, et les microcharbons, gênant ensuite les observations lors des analyses optiques. Dans le cas des sédiments à forte teneur en argile, des défloculants peuvent être utilisés (héxamétaphosphate de sodium : $Na_6O_{18}P_6$). Les mailles de tamis retenues sont 500 µm et 160 µm dans le but d'extraire les fragments de charbons contenus dans les fractions sédimentaires

macroscopiques (> 500 µm : limite inférieure possible de l'identification taxonomique dans la plupart des cas), « mésoscopiques » (500-160 µm) et microscopiques (< 160 µm : seuil à partir duquel les micro-particules de charbons sont considérées sur les lames palynologiques) (Hounslow & Chepstow-Lusty, 2002 ; 2004 ; Marquer *et al.*, 2008a ; Marquer, 2009). Dans ces trois fractions, parallèlement à la présence des fragments de charbons, des fragments d'os brûlés sont observés. Ils ont en conséquence été analysés au même titre que les

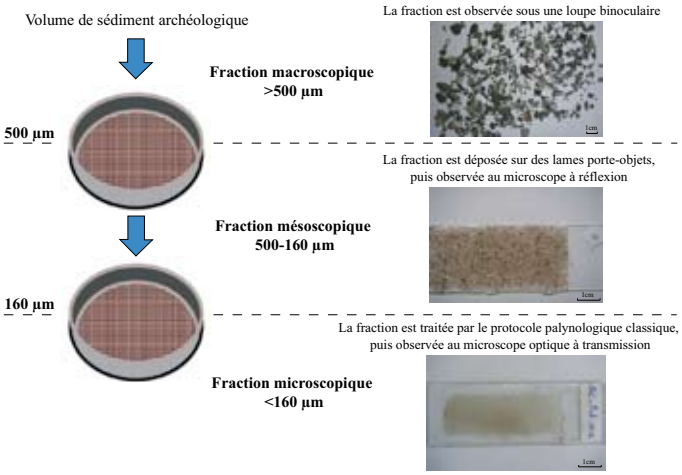


Fig. 1 - Extraction des trois fractions sédimentaires : macroscopique (> 500 µm), mésoscopique (500-160 µm) et microscopique (< 160 µm).

charbons, ce qui permettra une confrontation directe des données sur les présences relatives de ces deux types d'éléments issus de la combustion.

Le sédiment de la fraction macroscopique est conservé dans une boîte de Pétri avant le tri sous la loupe binoculaire. La fraction mésoscopique, après avoir été soumise à des quartages successifs, à la fin desquels un volume de sédiment est retenu, est déposée sur une lame porte-objet que nous avons spécialement adaptée pour l'analyse en microscopie à réflexion. Enfin, un volume de la fraction microscopique de sédiment est traité par le protocole palynologique classique (Cour, 1974 ; Faegri & Iversen, 1989) afin d'éliminer les diverses fractions minérales et organiques du sédiment gênant les observations en microscopie (Asselin & Payette, 2005). Cependant, le traitement chimique utilisé pourrait biaiser les proportions charbons/os brûlés, par l'intermédiaire d'une dissolution partielle des microfragments d'os brûlés par les acides, notamment par l'acide chlorhydrique attaquant les éléments carbonatés (Marquer *et al.*, sous presse). En conséquence, seules les quantifications des microcharbons sont considérées sur les lames microscopiques.

Discrimination en microscopie

Différents protocoles ont été menés à partir de chacune des fractions de sédiment afin de discriminer de façon certaine les os brûlés de couleur noire des particules de charbon (Stiner *et al.*, 1995 ; Cain, 2005). Des échantillons macroscopiques expérimentaux de bois et d'ossements soumis à diverses températures de combustion ont été broyés et observés dans chacune des fractions sédimentaires afin de définir les principaux critères d'identifications.

Les macrocharbons (> 500 µm)

La discrimination des fragments de charbons et d'os brûlés est effectuée sous une loupe binoculaire selon des critères colorimétriques (noir pour les charbons et divers gradients de couleur pour les os brûlés), morphologiques/anatomiques (avec notamment l'observation des fibres végétales pour les charbons et d'éléments spongieux pour les tissus osseux) et texturales (densité du fragment).

Les macrocharbons possèdent les trois plans de l'anatomie du bois observables et sont en conséquence potentiellement déterminables à l'espèce, au genre ou à la famille. La précision de l'identification dépend du taxon et de l'état du fragment.

« Les mésocharbons » (500-160 µm)

La fraction mésoscopique est observée à l'aide d'un microscope à lumière réfléchie afin de discriminer les charbons des os brûlés en fonction des différences de réflexion de leurs structures superficielles, ce qui permet de bien reconnaître les fibres végétales qu' elles soient de nature ligneuse ou herbacée (fig. 2).

Ces méso-particules végétales comportent deux à trois plans anatomiques, laissant envisager dans certains

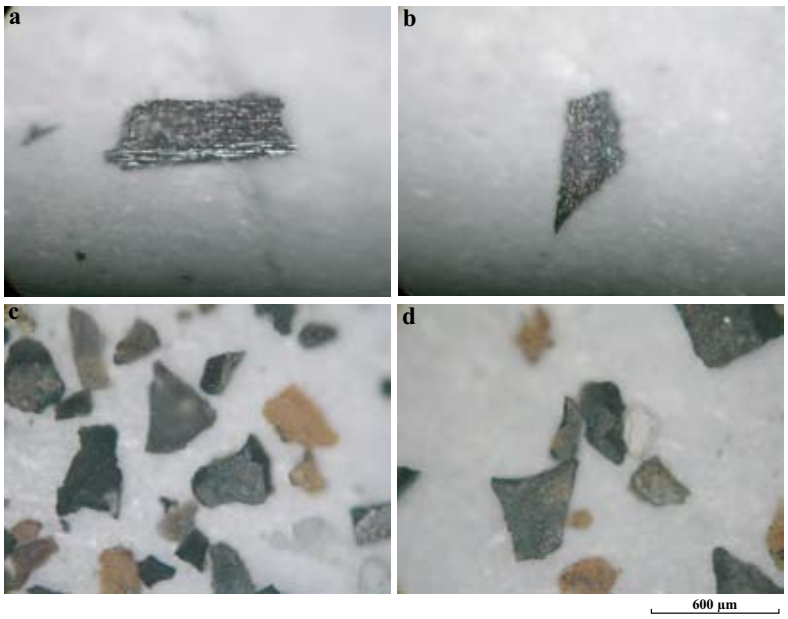


Fig. 2 - Fraction mésoscopique (500-160 µm) observée en microscopie à réflexion : fragments de charbons (a, b) et d'os brûlés (c, d).

cas des déterminations qui restent généralement imprécises (Monocotylédones, Dicotylédones ou Gymnospermes).

Les microcharbons <160 µm

Les microcharbons présents dans la fraction microscopique (< 160 µm) sont observés au microscope optique à transmission. La dimension minimale de discrimination des micro-particules végétales retenue dans nos analyses se situe aux environs de 20 µm. Ces micro-éléments sont produits lors de la combustion, puis secondairement à partir de la refragmentation des macrocharbons et des mésocharbons. Leurs contours et leurs structures rendent parfois reconnaissables des éléments cellulaires selon l'un des plans anatomiques du bois ou d'autres organes végétaux (fig.3 et 4).

Les microparticules comprenant des contours cellulaires observables sur les lames microscopiques, résultant des sections transversales des macrocharbons, sont peu abondantes, probablement en raison d'une fragmentation des macro- et méso-éléments majoritairement suivant un axe longitudinal. Des parties internes des vaisseaux avec des ponctuations intervasculaires peuvent être également identifiées et assimilées à une fragmentation selon un axe longitudinal. Cependant, les micro-particules noires opaques de forme angulaire, constituent la plus grande proportion des micro-éléments végétaux observés. Ces derniers peuvent correspondre à des fragmentations suivant des plans longitudinaux sans structures végétales caractéristiques visibles. De plus, ces microparticules sont généralement opaques en lumière transmise à cause de l'épaisseur du fragment, mais aussi probablement du degré de combustion.

La discrimination des micro-particules végétales dans cette fraction microscopique est ainsi réalisée en fonction des critères de densités optiques et morphologiques : couleur noire, opaque, de forme angulaire avec parfois la présence de cellules végétales bien définies (Patterson *et al.*, 1987 ; Clark, 1988).

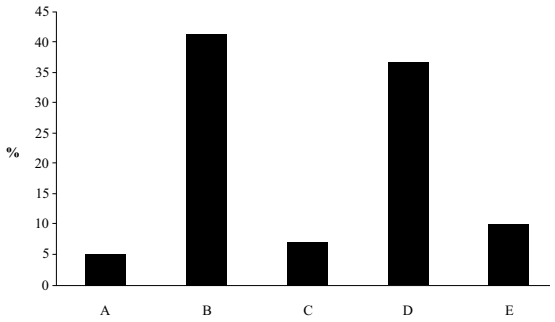


Fig. 3 - Pourcentages des différents types de microcharbons (< 160µm), observables sur les lames palynologiques (étude effectuée à partir du broyage de charbons de bois). A: microparticules opaques comportant des vestiges cellulaires, B: microparticules opaques de forme angulaire, C: microparticules opaques de forme allongée, D: autres types de microparticules opaques, E: microparticules translucides.

Quantification du signal charbon

Habituellement, les quantifications des charbons sont exprimées en nombre de charbon. Ces dénombrements qui relatent un état de fragmentation final sont affectés par les aléas de la fragmentation (Chabal, 1992 ; 1997 ; Chabal *et al.*, 1999). Dans le cadre des analyses des microcharbons en paléoécologie, les résultats sont

www.palethnologie.org

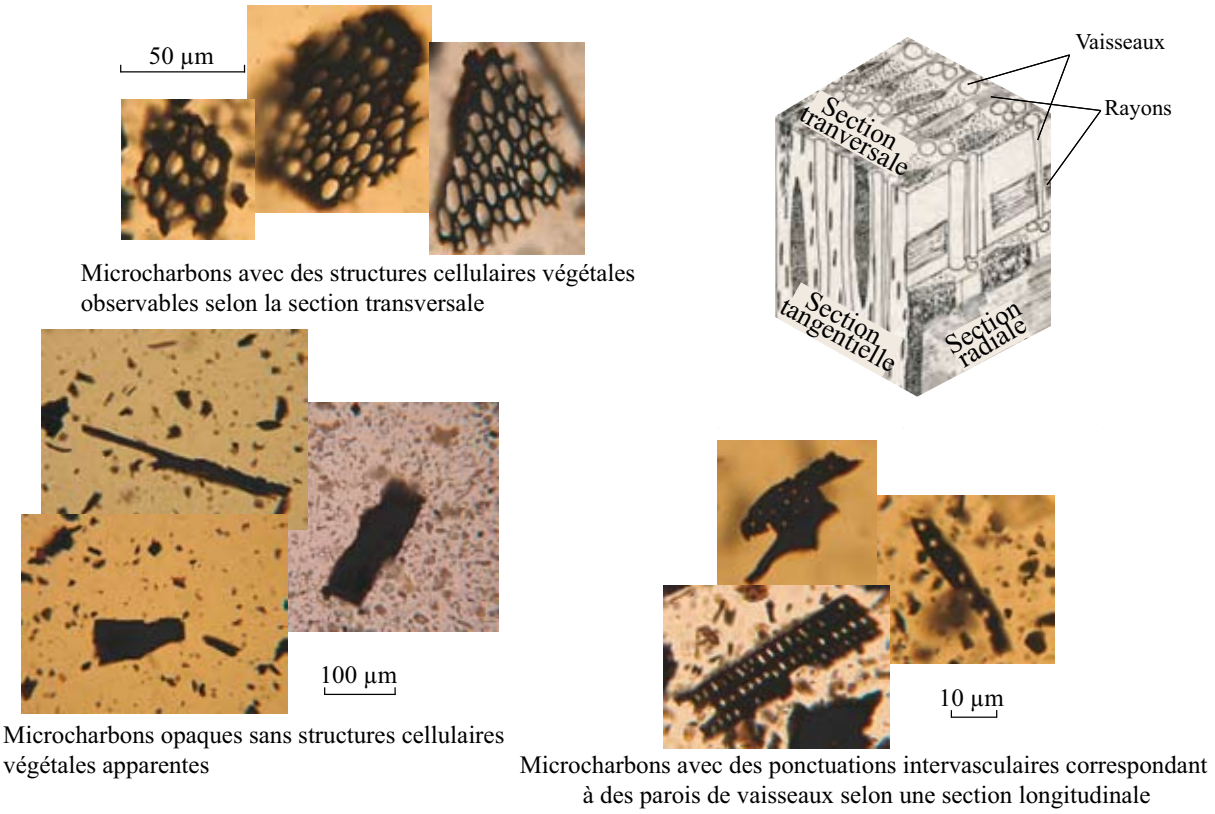


Fig. 4 - Différents types de microcharbons présents sur les lames polliniques en microscopie optique à transmission (observations effectuées à partir du broyage de charbons de bois).

calculés sous la forme de concentration en surface de charbon (cm^2) par volume de sédiment traité (cm^{-3}). Ces quantifications globales sous la forme de surface ne tiennent pas compte de l'état de fragmentation final et en conséquence elles annulent les aléas de la fragmentation. En effet, si nous prenons l'exemple d'un échantillon contenant un charbon dont la plus grande surface serait de 20 mm², fragmenté en quatre éléments de 5 mm², la valeur attribuée à l'échantillon est de 4. Cette valeur est dépendante des processus de fragmentation. Par contre, dans le cas des mesures des surfaces, quel que soit le nombre des fragments résultants, la surface d'origine sera reconstituée (4 x 5 mm^2 = 20 mm²). Ces mesures nous permettent alors de comparer les différentes fractions sédimentaires entre elles et de les sommer, en annulant les aléas liés aux processus de fragmentation, dans le but de reconstituer le signal charbon global présent dans les sédiments. Nous avons appliqué cette échelle de quantification aux trois fractions sédimentaires, permettant de mesurer les concentrations en macroscopie, mésoscopie et microscopie. Il est important de noter que la quantification sous la forme de surfaces sous-estime la quantité relative des macrocharbons par rapport aux microcharbons. En effet, les macrocharbons ont un troisième côté (épaisseur qu'on ne voit pas) en moyenne plus grand que les micro-particules. Les surfaces sont donc une approximation des volumes qui surestime les petits fragments par rapport aux gros. Cependant, nos analyses sont appliquées à des sites caractérisés par une très grande rareté ou absence des macrocharbons, les quelques macrocharbons retrouvés ont des volumes très réduits minimisant ainsi ce biais.

Une méthode d'analyse d'images permettant une quantification automatique des surfaces des charbons a été développée d'après Marquer *et al.* (2008b), permettant de calculer les surfaces totales de chaque classe de taille (> 500µm; 500-160µm; < 160µm). Les échantillons sont scannés à l'aide d'une camera connectée à un ordinateur. Pour chaque échantillon, les champs d'observations numériques sont capturés

et analysés avec un logiciel d'analyse d'images (©*Image J.1.41*), permettant la reconnaissance des particules brûlées selon leurs niveaux de gris (fig. 5). Un seuillage de l'image est ensuite effectué manuellement par l'observateur après l'identification de la nature des particules. Plusieurs paramètres de calcul peuvent alors être obtenus pour tous les champs numériques d'un échantillon, tels que la surface moyenne d'une particule et la surface totale de l'ensemble des particules présentes. A partir de ces mesures, nous avons calculé pour chaque échantillon, la surface moyenne d'une particule (cm^2, mm^2 or μm^2 selon la fraction sédimentaire analysée) et les concentrations ($cm^2\ cm^{-3}$) pour chaque fraction de sédiment.

Premières applications en contexte archéologique

Nous présenterons le cas de l'abri sous roche du « Grand Abri » situé sur le coteau de La Garenne (Saint-Marcel, Indre, France) qui contient des niveaux archéologiques datés du Magdalénien moyen (fig. 6 ; pour la synthèse des données archéologiques sur ce site, voir Allain, 1985 et Despriée *et al.*, 2004). Deux foyers encore présents en stratigraphie dans les niveaux archéologiques (A et B) ont été intégralement prélevés. Les descriptions des structures de combustion à La Garenne sont disponibles à partir des carnets de fouille du Docteur Allain (Musée Argentomagus à Argenton-sur-Creuse) et de l'article de J. Allain (1953).

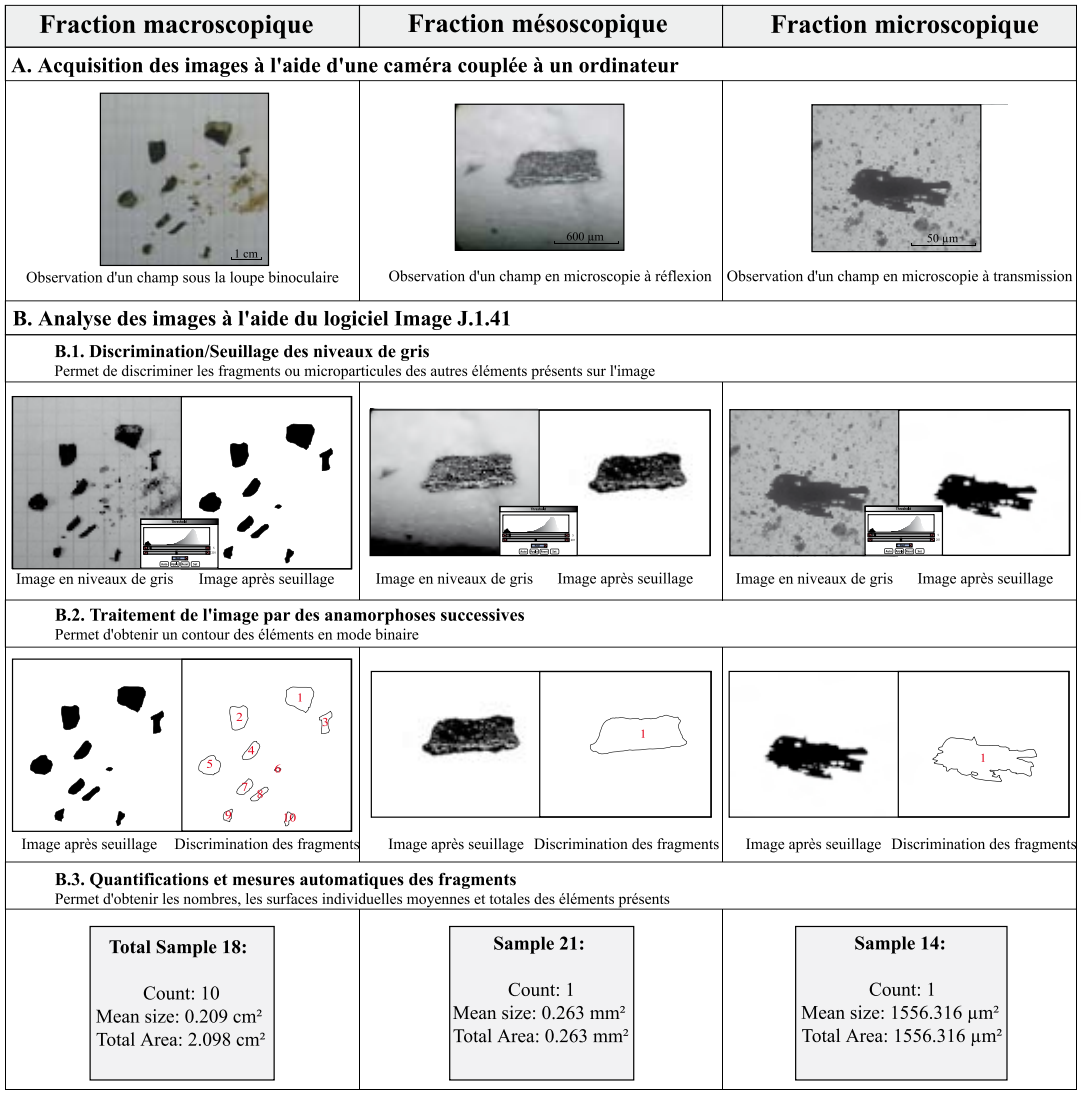


Fig. 5 - Synthèse du protocole de quantification des macro-, méso-, et microcharbons par analyse d'image.

www.palethnologie.org

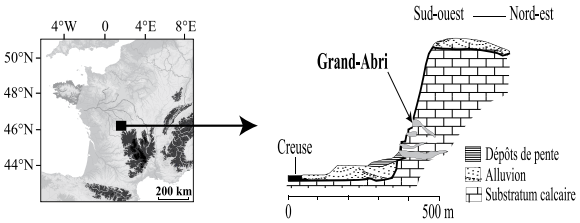


Fig. 6 - Coupe sud/nord du coteau de La Garenne (Saint-Marcel, Indre, France) : localisation de l'abri sous roche du Grand Abri.

Lors des fouilles dirigées par le Docteur Jacques Allain (1946-1976), une quasi-absence des charbons de bois a été signalée. Nos recherches des vestiges de charbon au sein des fractions fines de sédiment, confirment ces premières observations (fig. 7). Les concentrations des charbons sont en effet très faibles, et seuls de rares macrovestiges de tailles très réduites sont conservés. Une fragmentation intense est vraisemblablement à l'origine de l'altération des macrocharbons. De plus, l'on retrouve essentiellement le signal dans les fractions mésoscopiques et microscopiques. Les charbons sont donc présents mais de trop petites tailles pour pouvoir être extraits au cours de la fouille, suggérant une perte importante d'information sur les résidus des foyers.

Des processus anté- et post-dépositionnels altérant les charbons de bois doivent alors être considérés. Les facteurs anté-dépositionnels liés à la combustion qui influencent la préservation des charbons, sont principalement la nature du bois (bois mort, flotté ou bois vert) (Théry-Parisot, 2001 ; Théry-Parisot & Texier, 2006), l'essence végétale collectée, la durée et les températures de la combustion qui sont liées à la fonction du foyer (Théry-Parisot, 2002a). J. Allain (1953) a supposé que la quasi-absence des charbons dans les niveaux archéologiques de La Garenne pouvait être causée par une combustion quasi-totale du bois. La présence des ossements dans les foyers qui augmente la durée de la combustion (Théry-Parisot, 2002a) pourrait avoir joué un rôle important dans la réduction de masse des macrocharbons, ce qui expliquerait en partie leurs faibles fréquences. Des processus post-dépositionnels tels que des facteurs climatiques et/ou édaphiques (gel/dégel, humidité des sédiments, compaction des sédiments), les activités biologiques (racines, champignons) ainsi que les

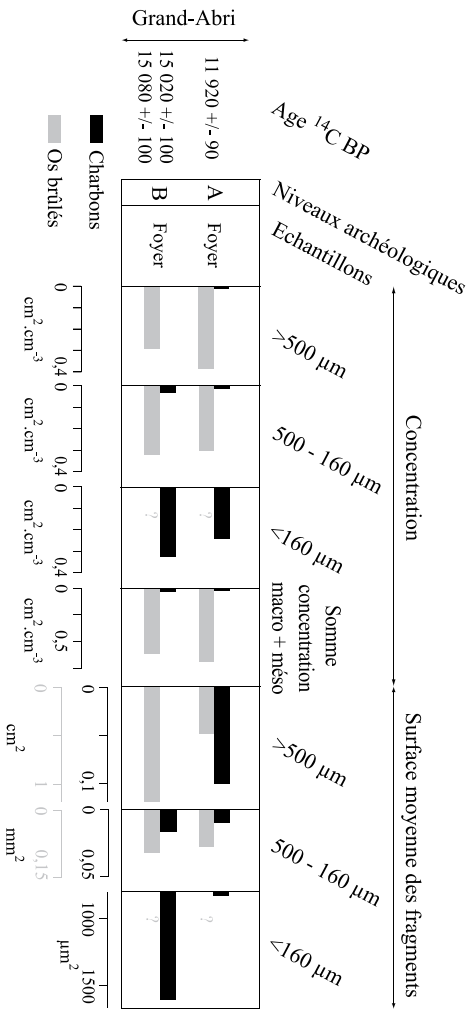


Fig. 7 - Résultats des quantifications des signaux de la combustion (charbons et os brûlés) dans les foyers des niveaux archéologiques A et B du Grand Abri. Les micro-fragments d'os brûlés observés sur les lames polliniques ne sont pas quantifiés car ils sont partiellement altérés par le protocole chimique utilisé en palynologie.

nombreuses activités humaines répétées proches du foyer (Thinon, 1992 ; Théry-Parisot, 1998) peuvent accroître « l'élimination » des charbons. L'altération des charbons par des agents chimiques et/ou biochimiques présents dans les sols, ne semblent pas avérés (Thinon, 1992 ; Nichols *et al.*, 2000) même si certains auteurs apportent des éléments tels que l'oxydation nuançant cette hypothèse (Cohen-Ofri *et al.*, 2006 ; 2007).

Lors de ses fouilles, le Docteur J. Allain indique également des quantités importantes d'éléments osseux brûlés. Ce deuxième signal issu de la combustion, que nous avons quantifié, confirme cette abondance

qui reste constante dans la fraction mésoscopique. Les os brûlés sont soumis aux mêmes effets de la combustion et processus post-dépositionnels que les charbons. Cependant, la différence physico-chimique de constitution des os brûlés doit être considérée. Les fragments osseux brûlés sont plus denses, et donc vraisemblablement plus résistants aux processus taphonomiques que les charbons de bois, plus friables. Le rapport entre l'abondance des os brûlés et celles des charbons de bois pourrait alors être supposé croissant en fonction de l'intensité des processus taphonomiques.

Conclusion

Le protocole d'extraction/quantification par analyse d'images défini expérimentalement, puis appliqué aux foyers magdaléniens du Grand Abri révèle la présence de macrocharbons (> 500 µm). Néanmoins, les concentrations sont faibles, et les surfaces des macrofragments sont très réduites, ne permettant pas leur extraction au cours des fouilles archéologiques de ce site, sans un protocole adapté. La quasi-intégralité du signal charbon est présente dans les fractions très fines des sédiments (< 160 µm), suggérant une importante fragmentation des charbons de bois. Ces « microvestiges » correspondent alors à la principale information sur la présence des résidus de la combustion, et à ce titre, elle doit être enregistrée.

A la suite des nombreux processus taphonomiques pouvant affecter un niveau archéologique, la fragmentation différentielle entre les charbons et les os brûlés pourrait être à l'origine d'une surestimation des fragments osseux brûlés. Cependant, les concentrations totales des charbons cumulant toutes les fractions sédimentaires, de la plus grosse à la plus fine, intégrant donc les fractions refragmentées, restent inférieures à la somme des concentrations en macro- et méso-fragments d'os brûlés. Elles laisseraient ainsi envisager une réelle abondance des os brûlés dans les foyers mis au jour sur le coteau de La Garenne, à condition que les os brûlés soient soumis à un taux de refragmentation ou de disparition égal à celui des charbons de bois, ce qui n'est pas certain en raison de leur plus grande résistance mécanique. Ces premières études sur les microvestiges de la combustion apportent d'importantes informations et posent de nombreuses questions sur la présence des éléments résiduels de la combustion au sein des foyers. Elles méritent alors d'être poursuivies, développées, et élargies à l'ensemble des éléments résiduels caractérisables issus de la combustion tels que les phytolithes, les graines, les fumiers ou de la lignine.

Auteur

Laurent Marquer
Département de Préhistoire du Muséum national d'histoire naturelle, Paris (France), USM 103-UMR 7194 du CNRS
marquer@mnhn.fr

Références

Allain J. 1953 - Foyers et dallages dans le Magdalénien de la Garenne à Saint-Marcel (Indre). *L'Anthropologie*, 57 : 284-294.

Allain J., Desbrosse R., Kozlowski J.K., Rigaud A., Jeannet M. & Leroi-Gourhan Arl. 1985 - Le Magdalénien à navettes. G*allia Préhistoire*, 28 : 37-124.

Asselin H. & Payette S. 2005 - Detecting local-scale fire episodes on pollen slides. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 137 : 31-40.

Beaudouin C., Jouet G., Suc J.P., Berne S. & Escarguel G. 2007 - Vegetation dynamics in southern France during the last 30 ky BP in the light of marine palynology. *Quaternary Science Reviews*, 26 : 1037-1054.

Beaulieu de J.L. & Reille M. 1984 - A long upper-Pleistocene pollen record from Les Echets near Lyon, France. *Boreas*, 13 : 111-132.

Beaulieu de J.L. & Reille M. 1992a - Long Pleistocene pollen sequences from the Velay Plateau (Massif Central, France). *Vegetation History and Archaeobotany*, 1 : 233 - 242.

Beaulieu de J.L. & Reille M. 1992b - The last climatic cycle at La Grande Pile (Vosges. France) : a new pollen profile. *Quaternary Science Reviews*, 11 : 431-438.

Cain C.R. 2005 - Using burned animal bone to look at Middle Stone Age occupation and behaviour. *Journal of Archaeological Science*, 32 : 873-884.

Carcaillet C., Bouvier M., Fréchette B., Larouche A.C. & Richard P.J.H. 2001 - Comparison of pollen-slide and sieving methods in lacustrine charcoal analyses for local and regional fire history. *Holocene*, 11: 467-476.

Carcaillet C. 2007 - Charred particles analyses. *Encyclopedia of Quaternary Science* : 1582-1593.

Chabal L. 1992 - La représentativité paléo-écologique des charbons de bois archéologiques issus du bois de feu. *Bulletin de la Société Botanique de France*, 139 : 213-236.

Chabal L. 1997 - *Forêts et sociétés en Languedoc (Néolithique final, Antiquité tardive) : l'anthracologie, méthode et paléoécologie*. Editions de la maison des sciences de l'Homme, Documents d'Archéologie Française, 63 : 189 pp.

Chabal L., Fabre L., Terral J.-F. & Théry-Parisot I. 1999 - L'anthracologie. *In : La Botanique*, Bourquin-Mignot C., Brochier J.-E., Chabal L., Crozat S., Fabre L., Guibal F., Marinval P., Richard H., Terral J.F.& Théry I. (eds) : 43-104.

Clark R.B. 1984 - Effects on charcoal of pollen preparation procedures. *Pollen et Spores*, 26 : 559-576.

Clark J.S. 1988 - Particle motion and the theory of charcoal analysis : source area, transport, deposition, and sampling. *Quaternary Research*, 30 : 67-80.

Clark J.S. & Hussey T.C. 1996 - Estimating the mass flux of charcoal from sedimentary records : effects of particle size, morphology, and orientation. *Holocene*, 6 : 129-144.

Cohen-Ofri I., Weiner L., Boaretto E., Mintz G. & Weiner S. 2006 - Modern and fossil charcoal: aspects of structure and diagenesis. *Journal of Archaeological Science*, 33 : 428-439.

Cohen-Ofri I., Popovitz-Biro R. & Weiner S. 2007 - Structural characterization of modern and fossilized charcoal produced in natural fires as determined by using electron energy loss spectroscopy. *Chemistry European Journal,* 13 : 2306-2310.

Costamagno S., Griggo C. & Mourre V. 1999 - Approche expérimentale d'un problème taphonomique : utilisation de combustible osseux au Paléolithique. *Préhistoire Européenne*, 13 : 167-194.

Costamagno S., Théry-Parisot I., Brugal J.-P. & Guibert R. 2005 - Taphonomic consequences of the use of bones as fuel. Experimental data and archaeological applications. *In : Biosphere to Lithopshere. New studies in vertebrate taphonomy*, T. O'connor (ed). Actes du 9° Colloque de l'ICAZ, Durham, août 2002. Oxford, Oxbow Books : 51-62.

Cour P. 1974 - Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques : étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, XVI : 103-141.

Daniau A.L. 2008 - *Variabilité des incendies en Europe de l'Ouest au cours du dernier cycle climatique : relations avec le climat et les populations paléolithiques. Etude des microcharbons préservés dans les carottes marines*. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 238 pp.

Despriée J., Rigaud A., Vialou D. & Gageonnet R. 2004 - Le Paléolithique de la vallée moyenne de la Creuse: le coteau de « la Garenne », Grand Abri et Grotte Blanchard, Saint-Marcel (Indre). *Bulletin de l'Association pour la Sauvegarde du Site Archéologique d'Argentomagus et Amis du Musée*, numéro spécial, 119 pp.

Faegri K. & Iversen I. 1989 - *Textbook of pollen analysis*. London, John Wiley and sons, 328 pp.

Guiter F., Andrieu-Ponel V., Beaulieu de J.L., Cheddadi R., Calvez M., Ponel P., Reille M., Keller T. & Goeury C. 2003 - The last climatic cycles in Western Europe : a comparison between long continuous lacustrine sequences from France and other terrestrial records. *Quaternary International*, 111 : 59-74.

Hounslow M.W. & Chepstow-Lusty A. 2002 - Magnetic properties of charcoal rich deposits associated with a Roman bath-house, Butrint (Southern Albania). *Physics and Chemistry of the Earth*, 27 : 1333-1341.

Hounslow M.W. & Chepstow-Lusty A. 2004 - A record of soil loss from Butrint, southern Albania, using mineral magnetism indicators and charcoal (AD 450 to 1200). *Holocene*, 14 : 321-333.

McDonald G.M., Larsen C.P.S., Szeicz J.M. & Moser K.A. 1991 - The reconstruction of boreal forest fire history from lake sediments : a comparison of charcoal, pollen sedimentological, and geochemical indices. *Quaternary Science Reviews*, 10 : 53-71.

Marquer L., Nespoulet R., Chiotti L., Otto T. & Théry-Parisot I. 2008a - Etudes sur la taphonomie des charbons de bois au cours des occupations du Paléolithique supérieur de l'abri Pataud (Dordogne, France). Colloque international Q6: « *Biodiversité au Quaternaire: Climats, Environnements et Peuplements* », 166 pp.

Marquer L., Pomel S., Abichou A., Schulz E., Kaniewski D. & Van Campo E. 2008b - Late Holocene high resolution palaeoclimatic reconstruction inferred from Sebkha Mhabeul, Southeast Tunisia. *Quaternary Research*, 70 : 240-250.

Marquer L. 2009 - Apports des signaux polliniques et charbons à la reconstitution des paléoenvironnements et à la connaissance des relations homme/milieu au Pléistocène dans le bassin de la Loire moyenne (France). Thèse du Muséum national d'histoire naturelle, 233 pp.

Marquer L., Despriée J., Otto T., Migaud B. & Renault-Miskovsky J. sous presse - Apport de l'étude des microcharbons dans la compréhension de la taphonomie des macrorestes végétaux brûlés sur le site magdalénien du coteau de « la Garenne » (Indre, France). *Cahiers d'archéologie romande*.

Naughton F., Sanchez Goñi M.F., Desprat S., Turon J.L., Duprat J., Malaizé B., Joli C., Cortijo E., Drago T. & Freitas M.C. 2007 - Present-day and past (last 25000 years) marine pollen signal off western Iberia. *Micropaleontology*, 62 : 91-114.

Nichols G.J., Cripps J.A., Collinson M.E. & Scott A.C. 2000 - Experiments in waterlogging and sedimentology of charcoal: results and implications. *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, 164 : 43-56.

Patterson W. A., Edwards K.J. & Maguire D.J. 1987 - Microscopic charcoal as a fossil indicator of fire. *Quaternary Science Reviews*, 6 : 3-23.

Perlès C. 1977 - *Préhistoire du Feu.* Paris, Masson, 174 pp.

Reille M. & Beaulieu de J.L. 1988 - History of the Würm and Holocene vegetation in western Velay (Massif Central, France) : a comparison of pollen analysis from three corings at lac du Bouchet. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 54 : 233-248.

Reille M. & Beaulieu de J.L. 1990 - Pollen analysis of a long upper Pleistocene continental sequence in a Velay maar (Massif Central, France). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 80 : 35-48.

Rhodes A.N. 1998 - A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terrestrial and lacustrine sediment cores. *Holocene*, 8 : 113-117.

Stiner M.C., Kuhn S.L., Weiner S. & Bar-Yosef O. 1995 - Differential burning, recrystallization, and fragmentation of archaeological bone. *Journal of Archaeological Science*, 22 : 223-237.

Théry-Parisot I. 1998 - *Économie du combustible et Paléoécologie en contexte glaciaire et périglaciaire, Paléolithique moyen et supérieur du sud de la France (Anthracologie, Expérimentation, Taphonomie)*. Thèse de doctorat, Université Panthéon-Sorbonne de Paris, 500 pp.

Théry-Parisot I. 2001 - *Économie des combustibles au Paléolithique, Anthracologie, Expérimentation, Taphonomie*. Editions CNRS, Dossier de Documentation Archéologique, 20, 195 pp.

Théry-Parisot I. 2002a - 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. *Journal of Archaeological Science*, 29 : 1415-1421.

Théry-Parisot I. 2002b - The gathering of firewood during Palaeolithic time. *In* : *Nouvelles approches méthodologiques, histoire de la végétation et des usages du bois depuis la Préhistoire*, Thiébault S. (ed). Actes du second colloque international d'Anthracologie, BAR international series, 1063 : 243-250.

Théry-Parisot I. & Costamagno S. 2005 - Propriétés combustibles des ossements. Données expérimentales et réflexions archéologiques sur leur emploi dans les sites paléolithiques. *Gallia Préhistoire*, 47 : 235-254.

Théry-Parisot I. & Texier P.J. 2006 - 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*, 103 : 453-463.

Théry-Parisot I., Costamagno S., Brugal J.-P., Fosse P. & Guilbert R. 2005 - The use of bone as fuel during the Palaeolithic, experimental study of bone combustible properties. *In* : *The zooarchaeology of fats, oils, milk and dairying*, J. Mulville & A.K. Outram (eds). Actes du Colloque de l'ICAZ, Durham, août 2002. Oxford, Oxbow Books : 50-59.

Thevenon F. 2003 - *Les résidus carbonés de feux dans les sédiments lacustres et océaniques intertropicaux : Implications méthodologiques, climatiques et anthropiques*. Thèse de doctorat, Université de Droit, d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille III, 127 pp.

Thinon M. 1992 - *L'analyse pédoanthracologique : aspects méthodologiques et applications*. Thèse de doctorat, Université de Droit d'Économie et des Sciences d'Aix-Marseille, 297 pp.

Vannière B. 2001 - *Feux, Agro-Pastoralisme et Dynamiques Environnementales en France durant l'Holocene. Analyse du signal incendie, approches sédimentologiques et études de cas en Berry, Pyrénées et Franche-Comté*. Thèse INA-PG/Université de Franche-Comté, 327 pp.

Villa P., Bon F. & Castel J.C. 2002 - Fuel, fire and fireplaces in the Palaeolithic of western Europe. *Review of Archaeology*, 23 : 33-42.

Yravedra J., Baena J., Arrizabalaga A. & Iriarte M.J. 2005 - El empleo de material óseo como combustible durante el Paleolítico Medio y Superior en el Cantábrico. Observaciones experimentales. Museo de Altamira. *Monografias*, 20 : 10-38.

Pour citer cet article

Marquer L. 2010 - Du microcharbon au macrocharbon : reconstitution du signal « charbon de bois » en contexte archéologique paléolithique. *In* : Taphononomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, Théry-Parisot I., Chabal L. & Costamagno S. (eds). Actes de la table ronde, Valbonne, 27-29 mai 2008. *P@lethnologie*, 2 : 109-119.

P@LETHNOLOGIE

Revue bilingue de Préhistoire