

**Zeitschrift:** Cahiers d'archéologie romande  
**Herausgeber:** Bibliothèque Historique Vaudoise  
**Band:** 120 (2011)

**Artikel:** Apport de l'étude des microcharbons à la compréhension de la taphonomie des charbons végétaux dans les sites magdaléniens du coteau de "la Garenne" (Indre, France)  
**Autor:** Marquer, Laurent / Despirée, Jackie / Otto, Thierry  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-836081>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 24.05.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Apport de l'étude des microcharbons à la compréhension de la taphonomie des charbons végétaux dans les sites magdaléniens du coteau de « la Garenne » (Indre, France)

Laurent Marquer<sup>1,2</sup>, Jackie Desprieé<sup>1</sup>, Thierry Otto<sup>2</sup>, Bertrand Migaud<sup>1</sup> & Josette Renault-Miskovsky<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Département de Préhistoire, Muséum national d'histoire naturelle, 1 rue René Panhard, F-75013 Paris, France, UMR 7194 du CNRS. E-mail : marquer@mnhn.fr ; jackie.desprie@free.fr ; bertrandmigaud@yahoo.fr ; jrm@mnhn.fr.

<sup>2</sup> ECOLAB - Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle, Université de Toulouse 3, 29 rue Jeanne Marvig, F-31055 Toulouse, France, UMR-CNRS-UPS-INPT 5245. E-mail : marquer@mnhn.fr ; otto@cict.fr

**Résumé :** Les fouilles anciennes effectuées dans le coteau de « la Garenne » à Saint-Marcel (Indre, Région Centre France) ont mis au jour des occupations magdaléniennes caractérisées par une abondance d'ossements brûlés et une apparente absence de charbons de bois. Pourtant, des microcharbons ont été observés dans les lames palynologiques. De nouveaux prélèvements ont été réalisés dans le but d'extraire, de caractériser et de quantifier ces microparticules. Des critères de discrimination et un protocole de quantification par analyse d'image permettant de mesurer des surfaces individuelles et de calculer des concentrations des microcharbons ont été élaborés. Ces études permettent de confirmer la présence de microcharbons dans la totalité des échantillons.

Un signal incendie a été mis en évidence dans les dépôts sédimentaires karstiques et un signal « microcharbon archéologique » a été observé dans les niveaux d'occupation préhistoriques. Ce dernier résulte de la fragmentation des macrocharbons par le cumul de divers processus anté- et post-dépositionnels. Ces recherches constituent une première étape dans la compréhension taphonomique de la fragmentation des charbons et la dispersion des microcharbons résiduels. Elles contribuent à la compréhension de la présence originelle de vestiges de la combustion de végétaux au sein des niveaux d'occupation magdaléniens de « la Garenne ».

**Mots-clés :** Microcharbons, charbons, processus post-dépositionnels, taphonomie, contexte archéologique, Paléolithique supérieur, Région Centre France.

### Introduction

En Europe, après le dernier maximum glaciaire (environs de -18000 ans BP), les conditions climatiques étaient froides et sèches. Les paysages, au caractère steppique, étaient dominés par des taxons herbacés tels que les Armoises, les Chenopodiacées et les Poacées. Seules quelques espèces d'arbres et d'arbustes étaient présentes : Pin, Bouleau, Saule et Genévrier (Woillard, 1978 ; Beaulieu & Reille, 1984 ; 1992a, b ; Beaulieu *et al.*, 2006).

Cette pénurie en bois observée dans l'environnement a souvent été considérée comme la cause principale de la limitation de l'apport en matériel ligneux dans les foyers

préhistoriques, probablement à l'origine de modifications du comportement de subsistance de l'Homme, face à ce climat et à ces paysages. Divers types de combustibles ont pu être employés, tels des ossements (Perlès, 1977 ; Payne, 1983 ; Costamagno *et al.*, 1999 ; Théry-Parisot, 2001, 2002 ; Villa *et al.*, 2002 ; Yravedra, 2005) ou du charbon fossile (Théry-Parisot *et al.*, 1995, 1996 ; Théry-Parisot & Meignen, 2000), pour palier le manque de bois. Le choix du combustible a également pu varier selon les spécialisations des foyers (cuisson, chauffage, éclairage...). Les expérimentations menées démontrent que l'utilisation de l'os comme combustible est possible et efficace dans le cas d'activités spécifiques, mais que sa combustion ne peut s'initier sans une part minimale d'essences végétales (Costamagno *et al.*, 1999 ; Théry-

Parisot *et al.*, 2002; Théry-Parisot & Costamagno, 2005). Le bois était donc un élément indispensable au sein des foyers préhistoriques. Il aurait dû alors laisser de nombreux témoignages sur les sites archéologiques sous la forme de charbons, de microcharbons et de cendres.

Des fouilles anciennes et récentes sur des sites du Paléolithique supérieur révèlent de fortes quantités d'ossements brûlés et une apparente absence de charbons de bois à l'échelle macroscopique. Pourtant, sur certains sites (Marquer, 2009), des microcharbons peuvent être observés sur les lames palynologiques, à l'échelle microscopique (Renault-Miskovsky & Fellag, comm. pers.). Des questions sur les raisons de l'absence des charbons de bois et de la présence d'os brûlés sont alors posées. Les charbons de bois et les os brûlés ne possédant pas les mêmes caractéristiques physico-chimiques, ils réagissent peut-être différemment aux phénomènes post-dépositionnels qui se succèdent dans le temps. Une différence importante de préservation entre ces deux types de vestiges archéologiques, à l'origine de l'élimination d'une partie des résidus de la combustion, est alors envisageable. L'image du dépôt primaire serait ainsi modifiée.

Les analyses palynologiques effectuées dans des séquences sédimentaires terrestres ou lacustres mettent régulièrement en évidence la présence de microcharbons (<160  $\mu\text{m}$ ). Leur quantification permet de les considérer comme des signaux d'incendies (Carcaillet, 2007). L'application de ces méthodes au contexte archéologique pourrait permettre d'évaluer l'importance des résidus microscopiques de la combustion non repérables habituellement à l'œil nu (Diot, 1988; 1992). Les «microcharbons archéologiques» correspondraient alors à des microparticules issues principalement de la fragmentation de macrocharbons résiduels (>5mm) des activités humaines de combustion.

Dans le cadre de cette étude, les effets des divers agents post-dépositionnels sur la préservation des charbons de bois et des ossements brûlés contenus dans les sites magdaléniens du coteau de «la Garenne» à Saint-Marcel (Indre, Région Centre France) sont appréhendés. Ce site présente la particularité de posséder, dans les nombreux niveaux préhistoriques fouillés de la grotte Blanchard et du Grand-Abri, des quantités importantes d'ossements brûlés et une apparente absence de charbons de bois de taille macroscopique. L'hypothèse de l'utilisation de l'os en tant que combustible fut très tôt émise (Allain, 1953; Perlès, 1977). A l'occasion de nouvelles études sur les occupations de ces deux cavités, l'abondance des ossements animaux brûlés est confirmée (Crépin, 2007) et les analyses palynologiques permettent d'observer la présence de microcharbons (Renault-Miskovsky & Fellag, comm. pers.). La recherche de ces microéléments dans les fractions microscopiques du sédiment (<160  $\mu\text{m}$ ) prélevées dans les niveaux archéologiques et

sédimentologiques est alors systématiquement entreprise dans le but de quantifier cette présence qui contraste avec la relative absence des charbons de bois observée lors des fouilles anciennes (Allain *et al.*, 1985).

## Le coteau de «la Garenne»

Le coteau de «la Garenne» se situe sur la commune de Saint-Marcel, à proximité d'Argenton-sur-Creuse dans le département de l'Indre (France). Dans cette région de transition entre le nord du Massif Central et le sud du Bassin parisien, la vallée de la Creuse s'encaisse dans les formations secondaires et tertiaires. Elle suit les principaux accidents tectoniques mettant au jour les formations calcaires du Jurassique sur chaque versant en longues falaises de 40 à 50 m de hauteur (Cohen-Julien *et al.*, 1998). Sur la rive droite de la Creuse, dans la falaise qui forme le coteau de «la Garenne», s'ouvrent vers 120 m d'altitude NGF plusieurs grottes et abris bien exposés au sud (Fig. 1).

En 1849, des silex taillés et de grandes quantités d'ossements et de bois de renne furent mis au jour à la suite de travaux de construction d'une voie ferrée au niveau du coteau de «la Garenne». Diverses fouilles furent ensuite pratiquées, notamment dans la grotte Benoist (Benoist, 1901; Breuil, 1902). Au XX<sup>e</sup> siècle, trois nouvelles cavités ont été découvertes et particulièrement étudiées entre 1936 et 1976: la grotte Chapelle, la grotte Blanchard et l'abri sous roche dit «le Grand-Abri», à une vingtaine de mètres au-dessus de la plaine alluviale de la Creuse. Les nombreuses études menées ont rapporté le matériel archéologique au Magdalénien moyen. Un faciès culturel dit «à navettes» fut défini à partir de ce site qui sert de référence européenne (Allain *et al.*, 1985).

## Stratigraphie des dépôts et prélèvements

### La grotte Blanchard

La grotte Blanchard se présente actuellement sous la forme d'une petite cavité. Une coupe conservée dans le fond, le long de la paroi ouest, montre la stratigraphie suivante, avec de la base vers le sommet (Fig. 2):

- des argiles sableuses qui recouvrent le substratum calcaire (couche 1);
- des limons argileux (couche 2 et 3);
- un niveau archéologique de matrice argilo-sableuse contenant de très nombreux ossements brûlés et non brûlés, des bois de rennes et des silex taillés (couche 4).

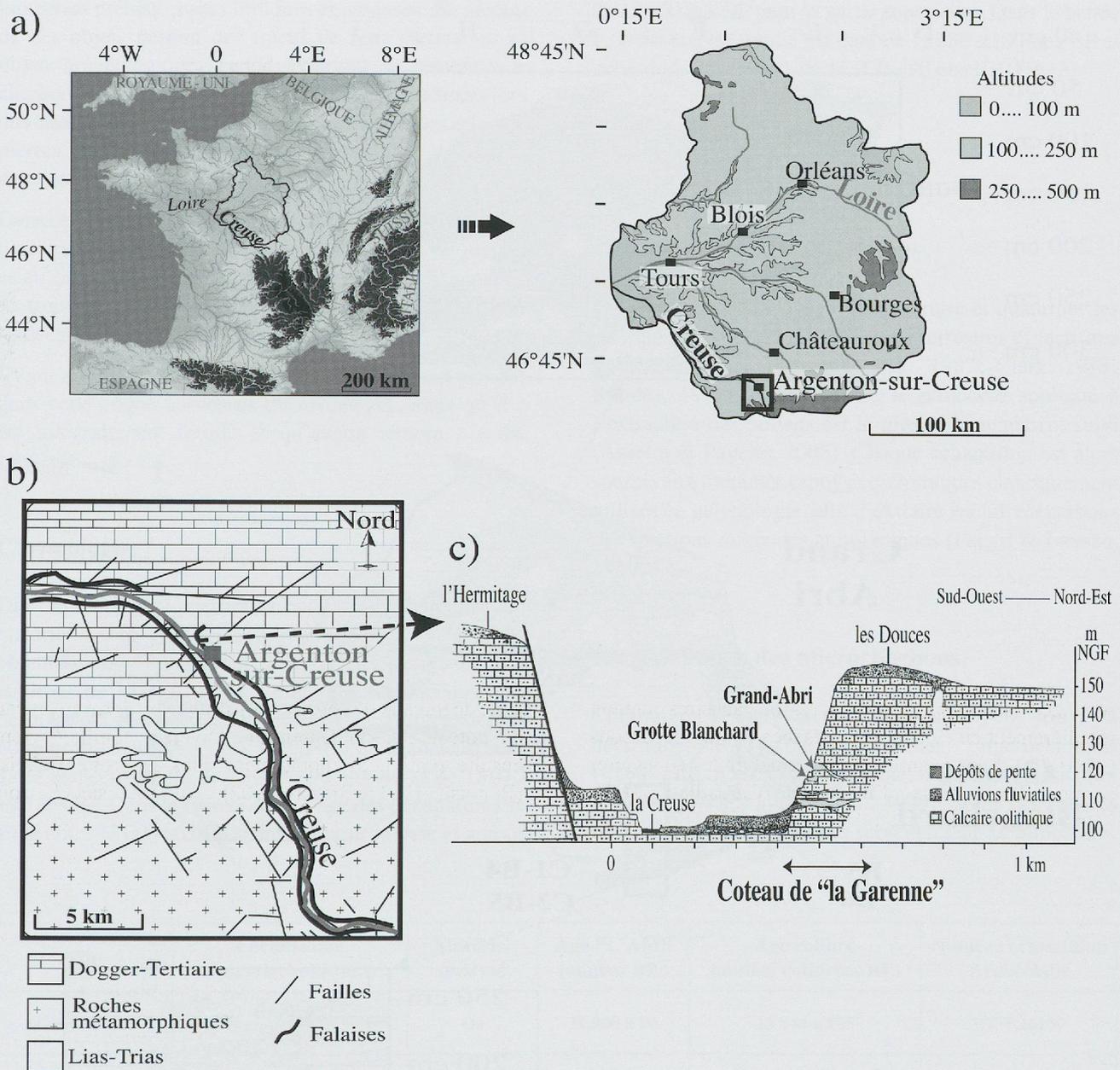


Fig. 1 : Localisation géographique et contexte géologique : a) Argenton-sur-Creuse (Indre, Région Centre France) ; b) le coteau de « la Garenne » dans la zone de transition entre le sud du Bassin parisien et le nord du Massif Central ; c) transect Nord/Sud de la vallée de la Creuse au niveau du coteau de « la Garenne ».

Ce niveau archéologique, dénommé C est subdivisé en C2 et C1, qui sont les prolongements des couches B5 et B4 fouillées sur le talus devant l'entrée de la cavité. Ces subdivisions sont nommées C2-B5 et C1-B4 (Jacquot, 2002 ; Crépin, 2007) ;

- et un éboulis de blocs calcaires et de vestiges archéologiques provenant d'un orifice karstique qui perforé le plafond servant de plancher au Grand-Abri situé au-dessus (couche 5).

La colonne de prélèvements réalisés concerne l'ensemble de ces dépôts, excepté l'éboulis archéologique.

#### Le Grand-Abri

Dans cet abri une coupe axiale nord-sud conservée sur 7 m de longueur et visible sur environ 3 m d'épaisseur a été étudiée. Elle recoupe une succession complexe d'occupations préhistoriques et d'éboulis de blocs calcaires de taille centimétrique à métrique provenant d'effondrements du plafond (Fig. 2).

Dans les éboulis, les interstices sont comblés par des sédiments argileux ou limono-sableux, mais peuvent aussi rester très lacunaires. Les niveaux archéologiques de matrice limono-sableuse sont extrêmement riches en

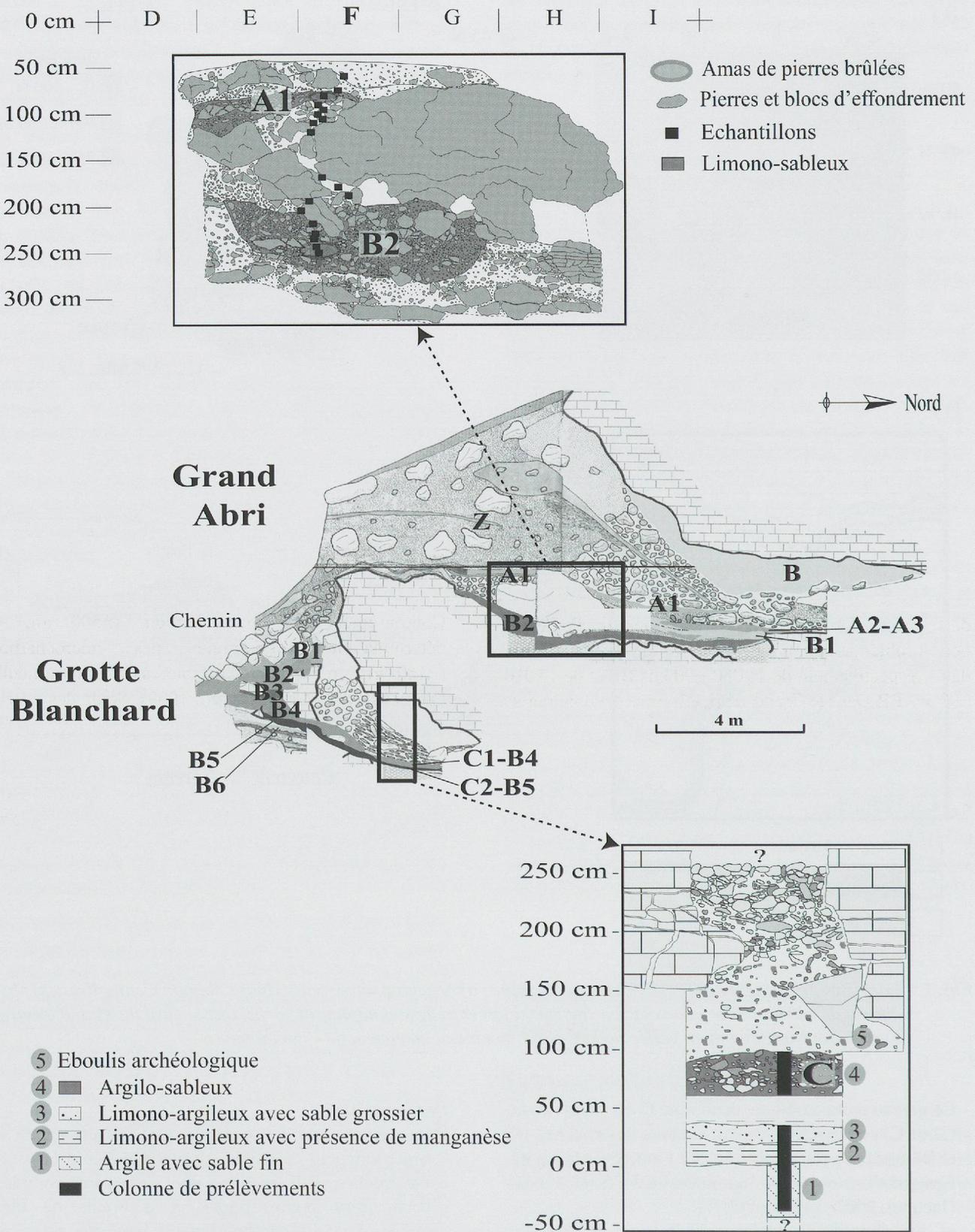


Fig. 2: Synthèse des données des remplissages des coupes stratigraphiques Nord/Sud de la grotte Blanchard et du Grand Abri (d'après Allain et al., 1975 modifié), et positionnement des échantillons.

industries préhistoriques lithiques et osseuses. Beaucoup de ces objets portent des traces de feu : pierres, os et objets archéologiques variés. Pourtant, la présence de charbons n'est jamais signalée dans les cahiers tenus lors des fouilles anciennes (1946-1976), bien que des amas de pierres brûlées et des sédiments d'apparence cendreuse aient été reconnus.

Dans cette coupe stratigraphique, la bande F contenant les niveaux archéologiques B2 et A1, très riches en pierres et en os brûlés a été échantillonnée. Des prélèvements se trouvent directement au contact d'amas de pierres brûlées (Fig. 2).

Il faut noter qu'un niveau archéologique Z était présent dans cette coupe au-dessus du niveau A1, mais qu'il a été intégralement fouillé et qu'aucun témoin n'a été conservé.

## Chronologie

Dix datations radiométriques ont été effectuées sur du matériel osseux et du bois de renne. Les dates  $^{14}\text{C}$  AMS obtenues sont homogènes et cohérentes, situant aux environs de 15 000 ans BP l'intégralité des occupations de la grotte Blanchard. Les niveaux liés directement à notre problématique, C2-B5 et C1-B4 de Blanchard sont datés respectivement de 15 050  $\pm$  90 ans BP et de 15 010  $\pm$  90 ans BP. Dans le Grand-Abri, l'âge des occupations se situe entre 15 000 et 14 000 ans BP pour la base et autour

de 12 000 ans BP pour la partie supérieure. Dans la bande F, le niveau B2 étudié est daté de 15 080  $\pm$  100 ans BP et celui de la couche A1 de 11 920  $\pm$  90 ans BP (Fig. 3).

## Approches méthodologiques

### Extraction des microcharbons

De nombreuses méthodes pour extraire et quantifier les microcharbons dans les sédiments terrestres et lacustres sont référencées (Patterson *et al.*, 1987; Clark, 1988; Rhodes, 1998). Actuellement, le protocole appliqué à l'extraction des pollens est le plus communément suivi (Asselin & Payette, 2005). Chaque échantillon est alors soumis aux traitements physico-chimiques classiquement utilisés en palynologie, afin d'extraire les microcharbons des fractions minérales et organiques (Faegri & Iversen, 1989).

### Identifications des microcharbons

Contrairement aux macrocharbons (>500  $\mu\text{m}$ ), la détermination taxonomique des microcharbons (<160  $\mu\text{m}$ ) n'est pas réalisable, sauf cas particulier (Thinon, 1992; Chabal *et al.*, 1999). Seuls des critères optiques et morphologiques servent à leur identification.

Site	Localisation stratigraphique	Matériel analysé	Age $^{14}\text{C}$ AMS (années BP)	Age calibré (années calibrées BP)	Numéro échantillon Archéolabs
Grand-Abri	Carré E7 couche A1	Os	11 920 $\pm$ 90	13 844 $\pm$ 185	ETH-26100
Grand-Abri	Carré E8 couche supérieure B2	Bois de renne	14 070 $\pm$ 100	17 316 $\pm$ 233	ETH-26103
Grand-Abri	Couche B, secteur E	Os long <i>Equus</i>	14 840 $\pm$ 100	18 168 $\pm$ 270	ETH-29157
Grand-Abri	Couche B1, secteur F	Os long <i>Equus</i>	14 980 $\pm$ 100	18 241 $\pm$ 243	ETH-29154
Grand-Abri	Couche B2, secteur G	Os long <i>Equus</i>	15 020 $\pm$ 100	18 258 $\pm$ 243	ETH-29158
Grand-Abri	Couche B	Os long <i>Equus</i>	15 070 $\pm$ 100	18 279 $\pm$ 246	ETH-29156
Grand-Abri	Couche B2, secteur F	Os long <i>Equus</i>	15 080 $\pm$ 100	18 284 $\pm$ 247	ETH-29155
Grotte Blanchard	Couche C1-B4, secteur H0	Tibia <i>Equus</i>	15 010 $\pm$ 90	18 254 $\pm$ 241	ETH-28494
Grotte Blanchard	Couche C2-B5, secteur H0	Tibia Boviné	15 050 $\pm$ 90	18 271 $\pm$ 243	ETH-28493
Grotte Blanchard	Couche B6, secteur H0	Tibia Renne	15 290 $\pm$ 90	18 386 $\pm$ 292	ETH-28492

Fig. 3 : Datations radiocarbones  $^{14}\text{C}$  AMS effectuées dans les niveaux archéologiques de « la Garenne » (les données mises en gras correspondent aux niveaux étudiés dans cette étude). La calibration des dates est réalisée à l'aide du logiciel CalPal (Danzeglocke *et al.*, 2007).

En contexte archéologique, plus qu'au sein des dépôts sédimentaires naturels, divers types de particules peuvent interférer dans la discrimination des microcharbons, tels les microfragments d'os brûlés, les minéraux aux couleurs sombres ou noires et les microrestes de végétaux en cours de lignification. Les deux premiers microéléments cités sont les plus difficiles à discriminer des microcharbons. Afin de repérer ceux qui sont susceptibles d'être éliminés par le traitement physico-chimique, des échantillons bruts ont été soumis au protocole de laboratoire (Fig. 4). Les résultats montrent que les différents éléments minéraux tels que la pyrite, résistant aux diverses attaques chimiques, sont éliminés du culot et donc bien séparés des microcharbons et des microfragments d'os brûlés dont les pertes sont négligeables. Ces derniers devraient constituer l'essentiel des éléments présents dans le culot qui va servir à l'analyse optique. Dans ce culot final, une différence de concentration entre les microcharbons et les microfragments d'os brûlés a été observée, et révélerait une dissolution partielle des microfragments d'os brûlés par les acides, notamment par l'acide chlorhydrique attaquant les éléments carbonatés. Cependant, les surfaces individuelles ne sont pas altérées de façon sensible. Le protocole d'extraction étant le même pour tous les échantillons, le biais se reproduirait de façon identique. Les pertes en microfragments d'os brûlés sont alors supposées constantes pour mener la quantification. L'évolution d'un échantillon à l'autre pouvant être prise en compte, les microfragments d'os brûlés sont soumis au même protocole d'étude que les microcharbons. Seulement, une sous-estimation de la concentration des microfragments d'os brûlés devra être prise en considération lors de la discussion des résultats. Les caractéristiques optiques et morphologiques susceptibles de discriminer ces divers microéléments noirs ou sombres présents à la fin du protocole d'extraction ont été étudiées. A l'observation, les microcharbons sont des particules noires, complètement opaques, de formes anfractueuses et parfois allongées (Patterson *et al.*, 1987; Clark, 1988). Les microfragments d'os brûlés sont plus ou moins noirs, pas totalement opaques et de formes esquilleuses. Les éléments minéraux noirs ou sombres sont luisants, souvent transparents et de formes géométriques. Enfin, les microrestes végétaux en cours de lignification sont de couleur brunâtre pouvant être assez sombre, mais jamais noire et opaque. Parmi ces microéléments, les microfragments d'os brûlés sont les plus susceptibles de prêter à confusion avec les microcharbons. Des critères de densité optique permettent de les distinguer. La structure anatomique et la nature chimique des microfragments d'os brûlés est à l'origine de parties opaques, mais pas complètement noires, et de zones brunes translucides à la périphérie des particules. Les microcharbons sont eux entièrement opaques, présentant parfois des transparences noires.

## Quantification des microcharbons

Au cours du protocole d'extraction, une fragmentation des plus gros microcharbons est observée (Clark 1988; Carcaillet *et al.*, 2001). Plusieurs microparticules comptées pourraient alors en réalité ne correspondre qu'à une seule particule. Le dénombrement risque alors d'être faussé. Pour réduire l'importance de ces artefacts, une analyse d'image est effectuée, permettant la mesure de chaque surface individuelle de tous les microcharbons, dont la somme donne la surface totale de ces microparticules présentes sur la lame.

L'observation du culot final est réalisée entre lame et lamelle en microscopie optique au grossissement 1000. L'image «réelle» du champ microscopique observé est transformée en image numérique constituée de pixels correspondant à des informations codées en niveaux de gris. Cette image est ensuite capturée par ordinateur. Pour effectuer les quantifications automatiques des microcharbons et des microfragments d'os brûlés, des simplifications de l'image numérique par l'utilisation de filtres successifs sont réalisées à l'aide du logiciel *©Image J.1.41*. L'image ainsi «filtrée» permet de révéler le niveau de gris qui discrimine le mieux les microparticules noires concernées, et donc de les isoler individuellement.

Pour chaque échantillon prélevé, la surface individuelle de chaque microparticule présente sur chaque lame est évaluée. Par échantillon, la moyenne des surfaces individuelles des microéléments ( $\mu\text{m}^2$ ) est calculée. Pour chaque lame, la concentration est également calculée, c'est-à-dire la surface totale des microparticules rapportée au volume de sédiment traité ( $\text{mm}^2.\text{cm}^{-3}$ ). Enfin, un rapport moyenne des surfaces individuelles / surface totale (SI/ST) est calculé par échantillon.

## Résultats

### Les microcharbons de la grotte Blanchard

Des microcharbons (MC) sont observés dans tous les niveaux sédimentaires et archéologiques. Ces modes de dépôt étant différents, ils ont été étudiés séparément (Fig. 5).

A la base, la zone GB1 correspond aux dépôts argileux et limono-argileux. Les surfaces individuelles varient fortement entre 270 et 1570  $\mu\text{m}^2$ , avec une moyenne de 620  $\mu\text{m}^2$ . Les concentrations sont très faibles avec une moyenne de 0,02  $\text{mm}^2.\text{cm}^{-3}$ . Le rapport SI/ST montre de fortes fluctuations de 0,02 à 0,25, avec une moyenne de 0,08.

### ➤ MATERIEL DE DEPART

Broyage et tamisage à 160  $\mu\text{m}$  de :

- macrorestes ligneux et herbacés brûlés à 400°C ➔ **microcharbons de végétaux (MC)**
- macrorestes osseux brûlés à 300 et 400°C ➔ **microfragments d'os brûlés (MOB)**
- minéraux de couleur noire (pyrite) ➔ **microrestes de minéraux noirs (MN)**



### ➤ TRAITEMENTS PHYSICO-CHIMIQUES D'EXTRACTION DES MICROCHARBONS

#### A. Séries d'attaques chimiques par des acides

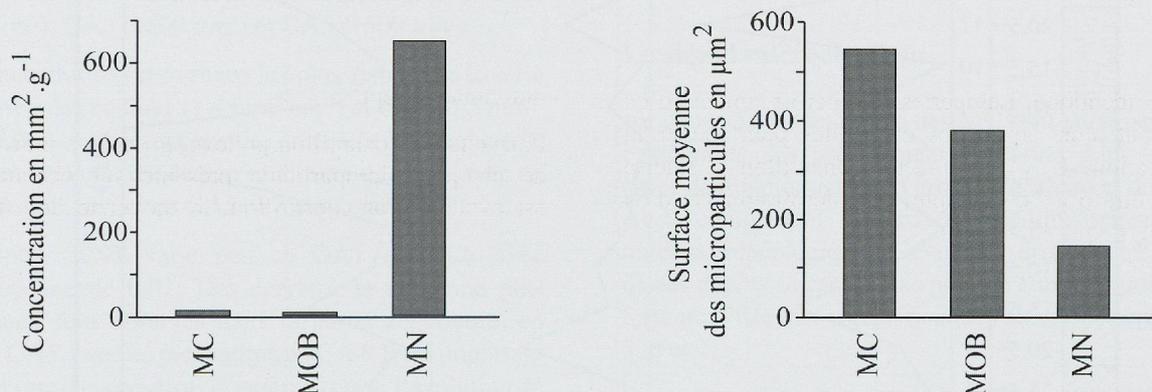
(élimination des éléments carbonatés, siliceux et organiques)

HCl 50% à froid, HF à froid, HCl 50% à chaud, KOH 10% à chaud

#### B. Traitement en liqueur dense, $\text{ZnCl}_2$ (densité 2,1)

(séparation des microcharbons des autres éléments de plus forte densité)

##### B.1. Eléments à forte densité séparés du culot final



##### B.2. Eléments à faible densité conservés dans le culot final prêts pour les quantifications des microcharbons

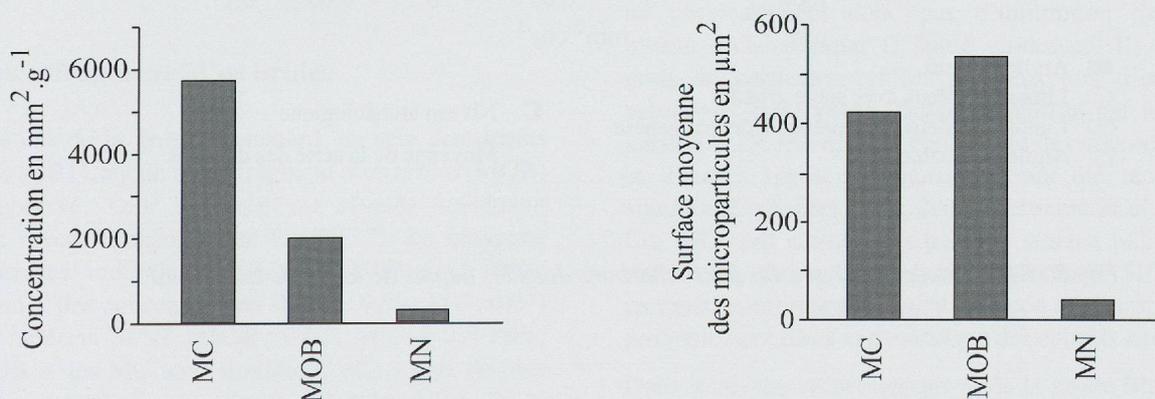


Fig. 4 : Quantification de la présence des microrestes biologiques et minéraux noirs au cours du protocole d'extraction palynologique.

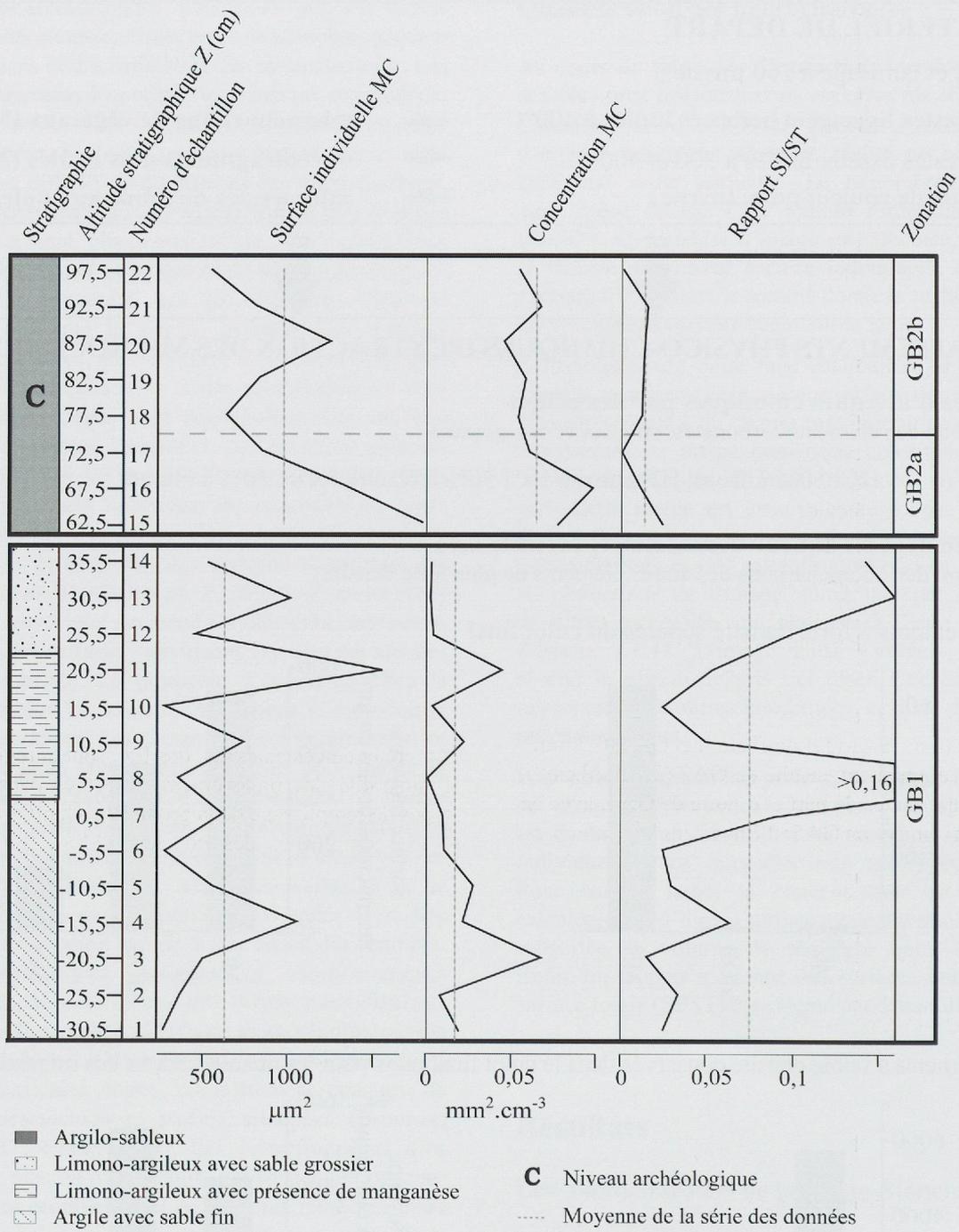


Fig. 5 : Résultats des analyses des microcharbons dans les dépôts de la grotte Blanchard.

La zone GB2, correspondant à la couche archéologique C, révèlent des surfaces individuelles et des concentrations plus importantes qu'en GB1, avec des moyennes respectivement de  $1000 \mu\text{m}^2$  et de  $0,07 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$ . Par contre, le rapport SI/ST est plus faible et stable avec une moyenne de 0,01. La subdivision en GB2a et GB2b est réalisée au regard de l'ensemble des données qui sont plus importantes à la base (GB2a), et qui diminuent et se stabilisent vers le sommet (GB2b), à l'exception des surfaces individuelles de l'échantillon 20.

### Les microcharbons du Grand-Abri

Dans le cas du Grand-Abri, les MC sont observés dans tous les dépôts au-dessous et au-dessus du gros bloc effondré. L'observation de l'évolution des MC sur la séquence permet d'effectuer une zonation de ce signal en cinq zones : GA1 à 5 (Fig. 6).

Les moyennes des surfaces individuelles les plus faibles sont observées en GA1 et GA4, avec respectivement  $1300$  et  $770 \mu\text{m}^2$ . Elles sont plus importantes en GA2 ( $2300 \mu\text{m}^2$ ), GA3 ( $1600 \mu\text{m}^2$ ) et GA5 ( $1500 \mu\text{m}^2$ ).

Les concentrations moyennes les plus faibles de la série sont observées en GA1 ( $1,4 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$ ) et GA4 ( $0,3 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$ ). Elles augmentent ensuite en GA2 ( $3,1 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$ ), puis sont importantes de part et d'autre de GA4, avec en GA3 :  $7 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$  et en GA5 :  $17 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$ .

Le rapport SI/ST varie peu en GA1 et GA2, avec une moyenne de 0,01. Des écarts à la moyenne plus importants sont observés dans la partie supérieure, en GA3 et GA5, avec un pic marqué en GA4. Il est important de noter que dans ces trois dernières zones, l'évolution de l'indice de fragmentation est asynchrone avec celle de la concentration.

### Les microfragments d'os brûlés

Dans le cas de la grotte Blanchard, au sein des dépôts naturels (GB1), aucun microfragment d'os brûlés (MOB) n'est observé. Leur présence est révélée seulement dans le niveau archéologique C (Fig. 7). La moyenne des surfaces individuelles (MOB :  $1100 \mu\text{m}^2$ ; MC :  $1000 \mu\text{m}^2$ ), des concentrations (MOB : 0,06; MC : 0,07) et des rapports SI/ST (MOB : 0,02; MC : 0,01) entre les MOB et les MC sont similaires, mis à part de plus importantes variations au niveau des échantillons 20 et 21. Au regard des surfaces individuelles plus élevées à la base du niveau, et inversement pour les rapports S:I/ST, la subdivision en GB2a et GB2b établie d'après les résultats des MC semble pertinente.

Dans le cas du Grand-Abri, la moyenne des surfaces individuelles est relativement stable en GA1 et GA2 :

$1200 \mu\text{m}^2$ , avec un pic marqué dans l'échantillon 2 :  $1900 \mu\text{m}^2$  (Fig. 7). Les valeurs sont ensuite plus élevées à la base de la zone GA3 ( $1700 \mu\text{m}^2$ ), puis diminuent dans sa partie supérieure et dans les zones sus-jacentes GA4 et GA5 ( $1000 \mu\text{m}^2$ ). L'ensemble des surfaces est inférieur à celles des MC, avec des moyennes globales pour les MOB de  $1200 \mu\text{m}^2$  et pour les MC de  $1600 \mu\text{m}^2$ . En ce qui concerne la moyenne des concentrations, la plus importante est observée dans les échantillons 1 et 2 dans la zone GA1 ( $1,7 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$ ), avec des valeurs supérieures à celles des MC. Le reste de la séquence révèle des moyennes de concentration très inférieures à celles des MC (GA2, 3, 4 et 5, MOB :  $0,5 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$  et MC :  $7 \text{ mm}^2.\text{cm}^{-3}$ ). Le rapport SI/ST, à l'exception de la zone GA1, est plus élevé (GA2, 3, 4 et 5 : 0,04) que pour les MC (GA2, 3, 4 et 5 : 0,01). Une évolution asynchrone des courbes des rapports SI/ST entre les MOB et les MC est également observée.

## Discussion

### Le signal microcharbon

Au cours de ces analyses, des MC sont enregistrés dans l'intégralité des prélèvements effectués dans les deux types de remplissage de la grotte Blanchard et du Grand-Abri, comprenant des couches sédimentaires et des niveaux archéologiques. L'évolution du signal MC au sein de ces dépôts se caractérise par une zonation qui semble fortement liée aux caractéristiques stratigraphiques (Fig. 5, 6 et 7).

Les argiles et les limons argileux de la grotte Blanchard (GB1) résultent du fonctionnement temporaire du karst. Ces sédiments étant peu perméables, les MC présents ne proviendraient donc pas d'infiltration depuis le niveau archéologique C, situé au-dessus. Ils seraient issus de particules brûlées générées lors d'incendies naturels et transportées depuis le plateau par le réseau karstique. De tels apports concernant des microcharbons et d'autres types de microrestes ont été récemment signalés (Carcaillet *et al.*, 2007; Lebreton *et al.*, 2007). Ces MC sont caractérisés par une surface individuelle réduite, de faible concentration et rapport SI/ST. Les paramètres enregistrés varient de façon assez importante, probablement liés à la dynamique des apports karstiques.

Dans le niveau archéologique C de la grotte Blanchard, dans la partie inférieure, l'augmentation des surfaces et des concentrations observées révèle des valeurs nettement supérieures à la zone GB1. Elle pourrait correspondre à une accumulation progressive des microparticules vers le bas du niveau C (GB2a) et un appauvrissement de la partie supérieure (GB2b). Seul un pic des surfaces individuelles est noté dans l'échantillon 20.

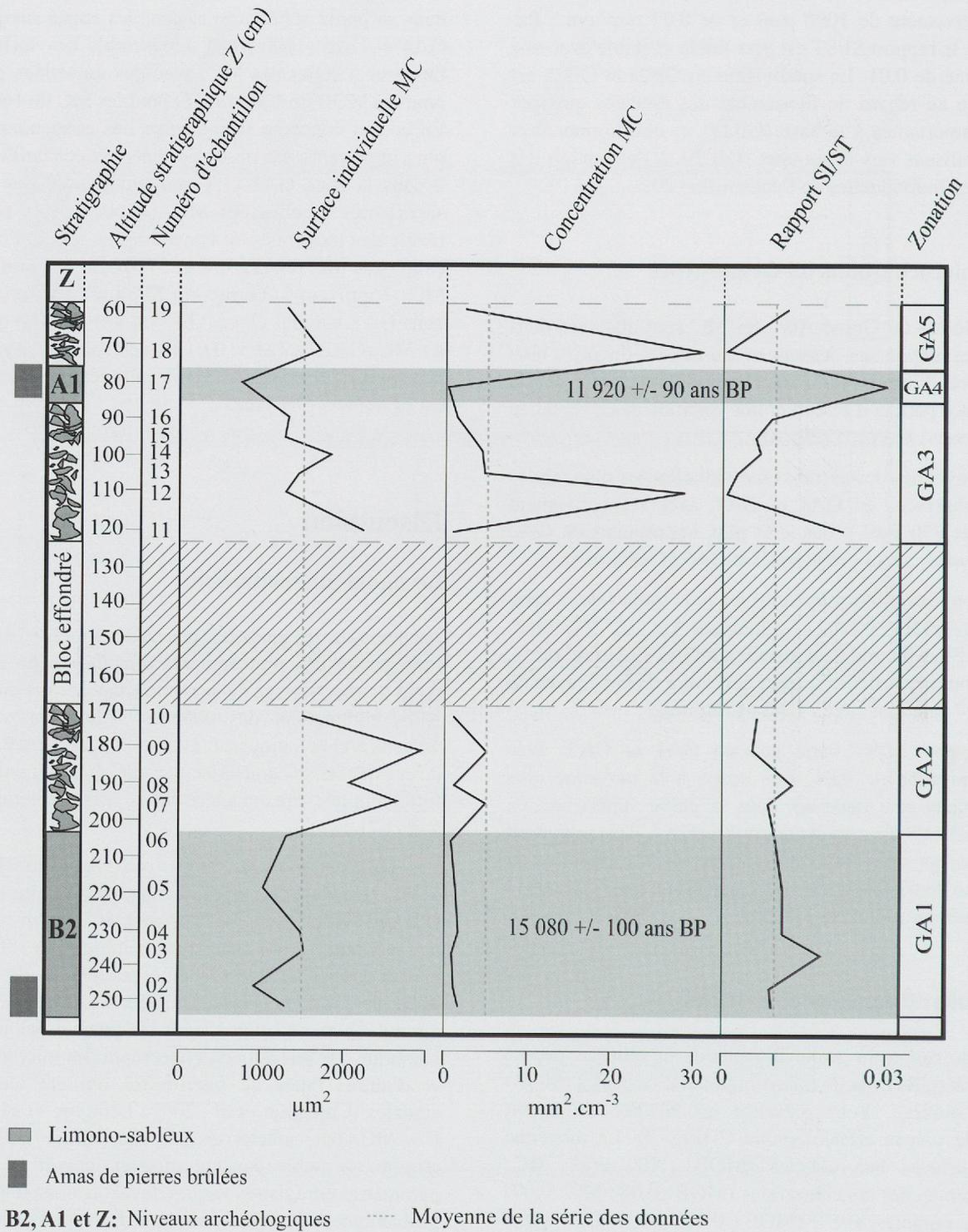


Fig. 6: Résultats des analyses des microcharbons le long de la coupe stratigraphique située dans la bande F du Grand-Abri.

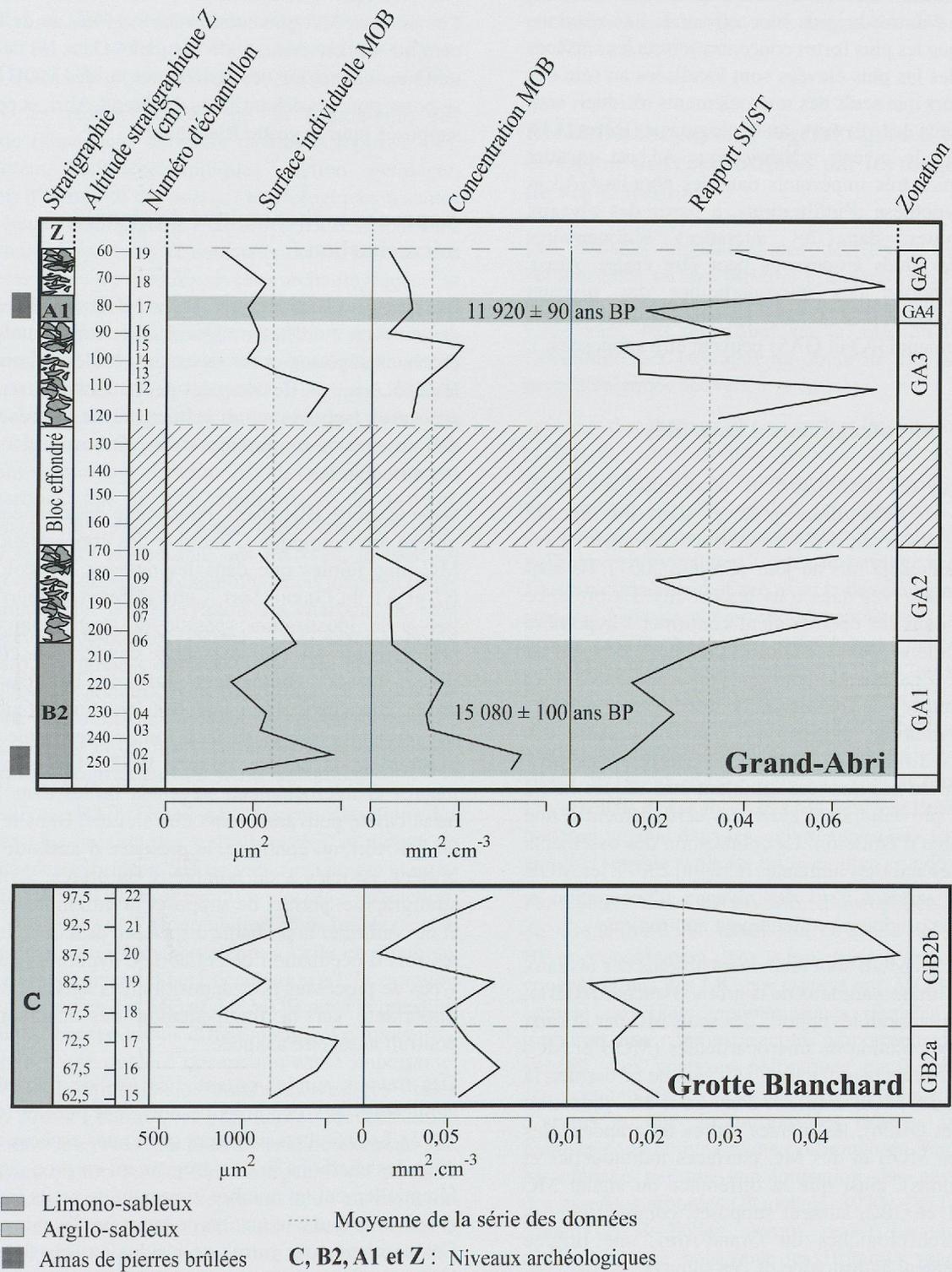


Fig. 7 : Résultats des analyses des microfragments d'os brûlés dans les dépôts de la grotte Blanchard et du Grand-Abri.

Dans les dépôts du Grand-Abri, les surfaces individuelles et les concentrations sont plus importantes que dans la grotte Blanchard. Elles révèlent d'importantes variations de part et d'autre du gros bloc effondré. Les résultats montrent que les plus fortes concentrations et les surfaces individuelles les plus élevées sont localisées au sein des éboulis, alors que seuls des microéléments résiduels sont présents dans les niveaux archéologiques (B2 et A1). Notamment, le niveau archéologique A1 est encadré par deux pics très importants dans les éboulis GA3 et GA5. L'hypothèse d'infiltrations, à partir des niveaux archéologiques, dans les interstices sédimentaires des éboulis situés au-dessous peut être émise. Ainsi, des percolations des microparticules des niveaux archéologiques A1 et Z dans les éboulis sous-jacents (respectivement GA3 et GA5) peuvent être supposées.

### **Le signal microfragments d'os brûlés**

Dans le cas du Grand-Abri, la récurrence des MOB dans tous les échantillons prélevés dans les niveaux archéologiques serait liée à la présence des macrorestes osseux brûlés déjà mis au jour (Crépin, 2007). Ils sont également observés dans tous les éboulis. La présence des MOB dans les éboulis vient confirmer l'hypothèse de percolations par l'intermédiaire des lacunes de sédiments. Également, dans les zones GA3, GA4 et GA5, les indices de fragmentation des MOB et des MC ont des évolutions asynchrones pouvant traduire des dispersions différentielles entre les MOB et les MC. L'ensemble de ces données semblent être lié, les MOB et les MC proviendraient alors très certainement d'une même source d'émission. La combustion des ossements résultant des activités humaines (Crépin, 2007), les MOB et les MC seraient issus des niveaux d'occupation et auraient une origine essentiellement anthropique.

Par contre, les MOB sont totalement absents des niveaux argileux et limono-argileux de la grotte Blanchard (GB1), ce qui corroborerait les apports des seuls MC par le karst et la non percolation de microparticules (MOB et MC) sous le niveau archéologique C. Au sein de ce dernier, la répartition des MOB similaire à celle des MC (zonation en GB2a et GB2b), les mêmes ordres de grandeur des valeurs des MOB et des MC (surfaces individuelles et concentrations), ainsi que la différence du signal MC entre GB1 et GB2, laissent supposer, comme pour les niveaux archéologiques du Grand-Abri, une origine majoritairement anthropique de ces signaux.

Il est important de noter que les concentrations des MOB, dans le cas du Grand-Abri, sont très largement inférieures à celles des MC. Au vu de l'abondance des macrorestes osseux brûlés et des conditions sédimentologiques similaires pour les deux types de microparticules, deux origines expliquant cette infériorité peuvent être supposées. La première pourrait être due à la digestion partielle des

MOB par les acides au cours du protocole d'extraction (Fig. 4), alors que la deuxième correspondrait à un facteur physique et/ou chimique intrinsèque à la nature de l'os, limitant la fragmentation des os brûlés au-delà d'une certaine surface critique de particule. Dans les deux cas, une sous-estimation des concentrations des MOB semble se poser pour les échantillons du Grand-Abri, et peut être supposée pour la grotte Blanchard.

### **Approche taphonomique du signal microcharbon**

Les quantifications des MC et des MOB dans l'ensemble des niveaux étudiés témoignent de la fragmentation des charbons végétaux et des ossements brûlés présents dans le dépôt originel. Ces données permettent de discuter des processus taphonomiques à l'origine de la présence ou de l'absence de ces vestiges de la combustion à l'échelle macroscopique.

Dans la grotte Blanchard, l'ensemble des données sur le niveau archéologique C indique des concentrations des MC plus faibles que dans les niveaux archéologiques B2 et A1 du Grand-Abri. Cette différence pourrait être liée à la localisation spatiale et stratigraphique des prélèvements au sein des deux cavités. En effet, les foyers étaient certainement situés à l'extérieur de la grotte Blanchard, bien que des structures n'aient pas été observées sur la surface fouillée restreinte devant l'entrée de la cavité (Allain, 1953). Les apports en macro- et microéléments végétaux brûlés dans le fond de la cavité pouvaient alors être limités. Dans le cas du Grand-Abri, au contraire, la présence d'amas de pierres brûlées associés à de nombreux os brûlés, visibles en stratigraphie, permet de supposer la proximité de foyers et de confirmer la probable dispersion de leur contenu sur les sols d'occupation de cet abri. L'hypothèse de divers types de processus post-dépositionnels agissant de façon importante sur la fragmentation des macrocharbons pourrait aussi être avancée.

Des travaux sur les potentielles lois de fragmentation applicables aux charbons de bois sont publiés (Chabal, 1992). Les résultats montrent que toutes espèces confondues, les charbons se désagrègeraient en produisant préférentiellement un nombre important de petits fragments consécutifs à une réduction de la masse des macrorestes. Ces derniers, sous forme de résidus au sein des assemblages anthracologiques paléolithiques, ne pourraient alors être observés qu'à l'échelle microscopique. Les facteurs responsables de ces altérations sont mal connus. Les facteurs anté-dépositionnels, tels que les modalités de la collecte (bois mort ou vert), ainsi que les durées et les températures de la combustion (Thinon, 1992; Théry-Parisot & Texier, 2006), peuvent conditionner la conservation du matériel anthracologique, cependant, ils sont

difficilement appréhendables. Après leur enfouissement, l'altération des charbons par des actions chimiques et/ou biochimiques ne semble pas avérée (Thinon, 1992; Nichols *et al.*, 2000), même si certains auteurs évoquent des éléments tels que l'oxydation nuanciant cette hypothèse (Cohen-Ofri *et al.*, 2006; Cohen-Ofri *et al.*, 2007).

D'après les études menées sur la taphonomie des restes de faune dans les deux cavités (Crépin, 2007), les facteurs climato-édaphiques (action gel/dégel, variation d'humidité des sols...) et biologiques (racines de végétaux, champignons, bactéries...) semblent être des facteurs importants et constants de l'altération des ossements retrouvés dans les niveaux archéologiques. On peut émettre l'hypothèse que l'action de ces agents, qui a modifié la surface et surtout provoqué la fragmentation des ossements brûlés, aurait eu les mêmes effets sur les charbons. Dans le cas de la grotte Blanchard, l'étude taphonomique sur l'ensemble des ossements du niveau C a conclu à une altération majoritaire causée par des variations d'humidité (Crépin, 2007). La fragmentation des charbons due à une combinaison de facteurs comprenant l'hygrométrie peut alors être envisagée et ainsi favoriser la descente des MC vers la base du niveau (voir ci-dessus). Néanmoins, à ce jour, les effets de l'humidité sur la préservation des charbons ne sont pas clairement démontrés (Balme, 2002). Dans la grotte Blanchard, l'hypothèse d'une altération des charbons via une fatigue mécanique des parois cellulaires liées à des variations concomitantes ou successives de l'humidité, de la sécheresse et du froid, cumulées avec la pression sédimentaire, pourrait tout de même être émise.

Dans le niveau B2 du Grand-Abri, les concentrations des MOB les plus importantes sont observées au niveau de l'amas de pierres brûlées. Si l'on prend en compte la sous-estimation des MOB résultant du protocole d'extraction, on peut supposer que l'accumulation en os brûlés dans le dépôt primaire était très supérieure à celle en charbons (GA1). Entre ce niveau B2 et l'occupation A1, la variation des concentrations des MC et des MOB pose la question de possibles conservations différentielles. Le niveau B2 correspond à une durée d'occupation assez importante, propice à l'accumulation de nombreux vestiges brûlés (Crépin, 2007). Pourtant, les plus faibles concentrations en MC sont observées. En prenant comme exemple une durée d'occupation du site assez longue, il est possible que les activités humaines répétées, liées au foyer ou effectuées dans son proche périmètre, soient à l'origine de fragmentations importantes, voire d'élimination des charbons végétaux (Asouti, 2003; Asouti & Austin, 2005). Ainsi, l'exposition plus longue du niveau B2 aux agents climatiques, biologiques et anthropiques susceptibles d'altérer ces macrorestes pourrait être à l'origine de l'élimination préférentielle des MC. En revanche, dans l'occupation limitée A1 qui a suivi, cela ne semble pas être le cas. Les vestiges issus de la combustion auraient été moins abondants au départ, mais mieux conservés à

la suite d'une vitesse d'enfouissement plus rapide que dans le niveau B2, après l'abandon du site. Dans ce cas précis, le temps d'enfouissement et la durée d'occupation pourraient être à l'origine des différences observées entre les MC et les MOB.

### **Evolution du paysage végétal régional et économie des combustibles par les magdaléniens de « la Garenne »**

Les données taphonomiques décrites ci-dessus sont certainement un des facteurs principaux de l'apparente absence des charbons à l'échelle macroscopique. Cependant, des remarques sur la mise en relation de l'évolution des paysages au cours de ces occupations magdaléniennes peuvent être émises.

Au sein des niveaux d'occupation les plus anciens (C et B2) des deux cavités étudiées, datés aux environs de 15000 ans BP, la bonne représentativité des MOB par rapport aux MC traduit un important apport en matériel osseux pour la combustion. D'après les données polliniques régionales et locales, un paysage végétal établi sous un climat froid et sec avec le développement d'une steppe à Armoise, même si quelques ligneux persistaient à proximité de la Creuse, représentait l'environnement contemporain de ces occupations (Leroi-Gourhan, 1985; Renault-Miskovsky & Fellag, comm. pers.). Ces données sont confortées par les études archéozoologiques (macro- et microfaune) réalisées dans ces niveaux (Jeannet, 1985; Bayle & David, 2004; Marquet, 2004; Crépin, 2007). Les résultats des analyses des MC révèlent l'utilisation de matériel végétal dans les activités liées aux foyers, alors que l'os semble avoir été brûlé en plus grande quantité.

Par contre, dans les niveaux d'occupation supérieurs du Grand-Abri, A1 datés aux environs de 12000 ans BP et probablement dans la couche Z, l'importance des concentrations des MC par rapport aux MOB, en tenant compte des biais taphonomiques rappelés ci-dessus, traduirait une combustion plus importante de matériel végétal. Les analyses polliniques contemporaines de ces occupations révèlent une augmentation des pollens d'arbres et une diminution des espèces steppiques, incluses dans la dynamique pollinique du Tardiglaciaire caractérisée par une recolonisation des paysages par des essences arborées (Planchais, 1970; 1971; Renault-Miskovsky & Fellag, comm. pers.). La plus grande disponibilité en bois pour les Hommes magdaléniens de « la Garenne » pourrait alors être à l'origine d'une utilisation de ligneux comme combustibles en quantité plus importante par rapport aux ossements que dans le niveau B2.

## Conclusion

Les analyses et les quantifications des MC (surfaces individuelles, concentrations et rapports SI/ST) permettent de révéler la présence dans l'ensemble des niveaux archéologiques étudiés de charbons issus des activités liées aux foyers. Cette omniprésence constitue une donnée nouvelle, puisque aucun reste de charbon n'a été extrait lors des fouilles. Ces résidus de la combustion, qui ne peuvent être identifiés taxonomiquement, renvoient à l'ensemble du matériel végétal brûlé initialement, principalement du bois, mais également d'autres éléments, tels que des herbes et des feuilles. Ils sont donc le témoignage de la présence de macrorestes végétaux brûlés au sens large dans les dépôts primaires. Dans les dépôts karstiques, leur présence est attribuée à des signaux incendies. Ce signal est caractérisé par des microparticules de petites surfaces, faiblement concentrées, peu fragmentées, qui varient en fonction des apports du karst. Il est différent des signaux «microcharbons archéologiques» qui sont observés dans les niveaux d'occupation humaine, avec des surfaces, des concentrations plus élevées et une importante fragmentation. Ces caractéristiques seraient directement liées à l'altération des macrocharbons *in situ*. Les corrélations effectuées avec les évolutions des MOB, permettent de confirmer ces résultats. Une fragmentation importante des charbons est donc vraisemblablement à l'origine de l'apparente absence de macrorestes végétaux brûlés dans les cavités de «la Garenne», et probablement dans bien d'autres abris préhistoriques.

## Remerciements

Ces études font suite au Projet Collectif de Recherche «Préhistoire de la vallée moyenne de la Creuse, grottes de la Garenne», et sont soutenus par le Projet Collectif de Recherche «Les premiers peuplements humains dans les formations alluviales du bassin de la Loire moyenne». Les auteurs remercient les personnes qui ont permis la finalisation de ce manuscrit: Vincent Lebreton, Laurent Crépin

## Bibliographie

- Allain J. 1953. Foyers et dallages dans le Magdalénien de la Garenne à Saint-Marcel (Indre). *L'Anthropologie*, 57: 284-294.
- Allain J. 1975. Saint-Marcel (Indre). *Gallia Préhistoire*, 17 (2): 482-483.
- Allain J., Desbrosse R., Kozłowski J.K., Rigaud A., Jeannet M. & Leroi-Gourhan A. 1985. Le Magdalénien à navettes. *Gallia Préhistoire*, 28 (1): 37-124.
- Asouti E. 2003. The wood charcoal macro-remains: a preliminary report. In: Peltenburg E. (ed.), *The Colonisation and Settlement of Cyprus-Investigations at Kissonerga-Mylouthkia: Lemba Archaeological Project*, Cyprus III (1): 73-75.
- Asouti E. & Austin P. 2005. Reconstructing Woodland Vegetation and its Exploitation by Past Societies, based on the Analysis and Interpretation of Archaeological Wood Charcoal Macro-Remains. *Environmental Archaeology*, 10: 1-18.
- Asselin H. & Payette S. 2005. Detecting local-scale fire episodes on pollen slides. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 137: 31-40.
- Balme J. 2002. Starch and Charcoal: Useful Measures of Activity Areas in Archaeological Rockshelters. *Journal of Archaeological Science*, 29: 157-166.
- Bayle G. & David F. 2004. Les grands mammifères de «la Garenne» (Saint-Marcel, Indre), grotte Blanchard (couche B3) et Grand Abri (couche B): premier aperçu. In: Archéologie du val de Creuse en Berry: le coteau de «la Garenne», *Bulletin de l'Association pour la Sauvegarde du Site Archéologique d'Argentomagus et Amis du Musée*: 15-25.
- Beaulieu J.L. de & Reille M. 1984. A long upper-Pleistocene pollen record from Les Echets near Lyon, France. *Boreas*, 13: 111-132.
- Beaulieu J.L. de & Reille M. 1992a. Long Pleistocene pollen sequences from the Velay Plateau (Massif central, France). *Vegetation History and Archaeobotany*, 1: 242-243.
- Beaulieu J.L. de & Reille M. 1992b. The last climatic cycle at La Grande Pile (Vosges, France), a new pollen profile. *Quaternary Science Reviews*, 11: 431-438.
- Beaulieu J.L. de, Andrieu-Ponel V., Cheddadi R., Guiter F., Ravazzi C., Reille M. & Rossi S. 2006. Apport des longues séquences lacustres à la connaissance des variations des climats et des paysages pléistocènes. *Comptes Rendus Palevol*, 5: 65-72.
- Benoist E. 1901. Objets en os et en pierre gravés et sculptés recueillis à Saint-Marcel (Indre). *Mémoires de la Société des Antiquaires du Centre*, XXIV: 12 p.
- Breuil H. 1902. Station de l'Âge du renne de Saint-Marcel (Indre) d'après les fouilles de M. Benoist. *L'Anthropologie*, 13: 145-165.
- Carcaillet C. 2007. Charred particles analyses. In: Elias S.A. (ed.), *Encyclopedia of Quaternary Science*: 1582-1593.
- 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. *The Holocene*, 11 (4): 467-476.
- Carcaillet C., Perroux A.S., Genries A. & Perrette Y. 2007. Sedimentary charcoal pattern in a karstic underground lake, Vercors massif, French Alps: implications for palaeo-fire history *The Holocene*, 17 (6): 845-850.
- 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., Fabre L., Terral J.-F. & Théry-Parisot I. 1999. L'anthracologie. In: Bourquin-Mignot C., Brochier J.-E., Chabal L., Crozat S., Fabre L., Guibal F., Marinval P., Richard H., Terral J.-F. & Théry I. (eds.), *La Botanique*: 43-104.
- Clark J.S. 1988. Stratigraphic Charcoal Analysis on

- Petrographic Thin Sections : Application to Fire History in Northwestern Minnesota. *Quaternary Research*, 30: 81-91.
- Cohen-Julien M., Quenardel J.M., Lerouge G., Lorenz J., Macaire J.J., Freydet P., Maget P. & Debrand-Passard S. 1998. *Carte géologique de la France à 1/50 000, Argenton-sur-Creuse*. Editions du BRGM, Service géologique national.
- 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.
- Crépin L. 2007. Le statut socio-économique du renne au Magdalénien, en Europe. Nouvelles données archéozoologiques sur l'économie des derniers chasseurs-collecteurs paléolithiques. Thèse du Muséum national d'histoire naturelle, Paris.
- Danzeglocke U., Jöris O. & Weninger B. 2007. CalPal-2007<sup>online</sup>. <http://www.calpal-online.de>.
- Diot M.F. 1988. Etude palynologique du remplissage de la grotte Vaufrey. In: Rigaud J.Ph. et al. «La grotte Vaufrey à Cénac et Saint-Julien (Dordogne). Paléoenvironnement, chronologie et activités humaines». *Mémoires S.P.F.*, XIX: 75-88.
- Diot M.F. 1992. Les microcharbons, éléments du palynofaciès. *Bulletin de la Société botanique de France*, 139: 265-272.
- Faegri K. & Iversen J. 1989. *Text book of pollen analysis*. 4th édition. Wiley J. & sons (ed.).
- Jacquot E. 2002. *A la recherche de l'identité culturelle des magdaléniens de la grotte Blanchard à « la Garenne » (Indre) : étude technologique des microlithes et de leurs modes de production*. Mémoire de Maîtrise, Université Paris I.
- Jeannet M. 1985. Les rongeurs de la Garenne à Saint-Marcel (Indre). *Gallia Préhistoire*, 28 (1): 120.
- Lebreton V., Lartigot A-S., Karatsori E., Messenger E., Marquer L. & Renault-Miskovsky J. 2007. Potentiels et limites de l'analyse pollinique de spéléothèmes quaternaires: applications à la reconstitution de l'environnement végétal de l'Homme préhistorique sur le pourtour Nord-méditerranéen. *Quaternaire*, 18 (2): 153-174.
- Leroi-Gourhan A. 1985. Analyse pollinique de la grotte Blanchard à Saint-Marcel (Indre). *Gallia Préhistoire*, 28 (1): 117-119.
- Marquet J.C. 2004. Un aperçu sur les rongeurs du site de "la Garenne" (Grand Abri) à Saint-Marcel (Indre). In: Archéologie du val de Creuse en Berry: le coteau de « la Garenne », *Bulletin de l'Association pour la Sauvegarde du Site Archéologique d'Argentomagus et Amis du Musée*: 27-32.
- Marquet, J.C. 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, Paris.
- 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.
- Payne S. 1983. Bones from cave sites: Who are what? Problems and a case study. In: Clutton-Borck J. & Grigson C. (eds), *Animals and Archaeology, 1: Hunters and their Prey. Bar International Series*, 163: 149-162.
- Perlès C. 1977. *Préhistoire du Feu*. Masson, Paris: 174 p.
- Planchais N. 1970. Tardiglaciaire et Postglaciaire à Mur-de-Sologne (Loir-et-Cher). *Pollen et Spores*, XII (3): 381-428.
- Planchais N. 1971. *Histoire de la végétation post-würmienne des plaines du Bassin de la Loire d'après l'analyse pollinique*. Thèse de l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.
- Rhodes A.N. 1998. A method for the preparation and quantification of microscopic charcoal from terrestrial and lacustrine sediment cores. *The Holocene*, 8 (1): 113-117.
- Théry-Parisot I. 2001. *Economie des combustibles au Paléolithique. Expérimentation, Anthracologie, Taphonomie*. Dossier de Documentation archéologique, 20, Editions CNRS.
- Théry-Parisot I. 2002. 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., Grill J., Meignen L., Vernet J.-L. & Maury J. 1995. First use of coal. *Nature*, 373: 480-481.
- Théry-Parisot I., Grill J., Meignen L., Vernet J.-L. & Maury J. 1996. Coal used at two prehistoric sites in southern France: les Canalettes (mousterian) and les Usclades (mesolithic). *Journal of Archaeological Science*, 23: 509-512.
- Théry-Parisot I. & Meignen L. 2000. Économie des combustibles (bois et lignite) dans l'abri moustérien des Canalettes. *Gallia Préhistoire*, 42: 45-55.
- Théry-Parisot I., Costamagno S., Brugal J.P., Fosse P. & Guilbert R. 2002. The use of bone as fuel during the palaeolithic, experimental study of bone combustible properties. In: Mulville J. & Outram A. (eds.), *The Zooarchaeology of Milk and Fats*, 9th ICAZ Conference: 50-59.
- 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. La collecte du bois de feu dans le site moustérien de la Combette (Bonnieux, Vaucluse, France): implications paléo-économiques et paléo-écologiques. Approche morphométrique des charbons de bois. *Bulletin de la Société préhistorique française*, 103 (3): 453-463.
- Thinon M. 1992. L'analyse pédoanthracologique: aspects méthodologiques et applications. Thèse de l'Université de droit d'économie et des sciences d'Aix-Marseille.

- Villa P., Bon F. & Castel J.-C. 2002. Fuel, fire and fireplaces in the Palaeolithic of western Europe. *Review of Archaeology*, 23: 33-42.
- Woillard G.M. 1978. Grande Pile Peat Bog: a continuous pollen record for the last 140000 years. *Quaternary research*, 9: 1-21.

- 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. *Monografías*, 20: 10-38.