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

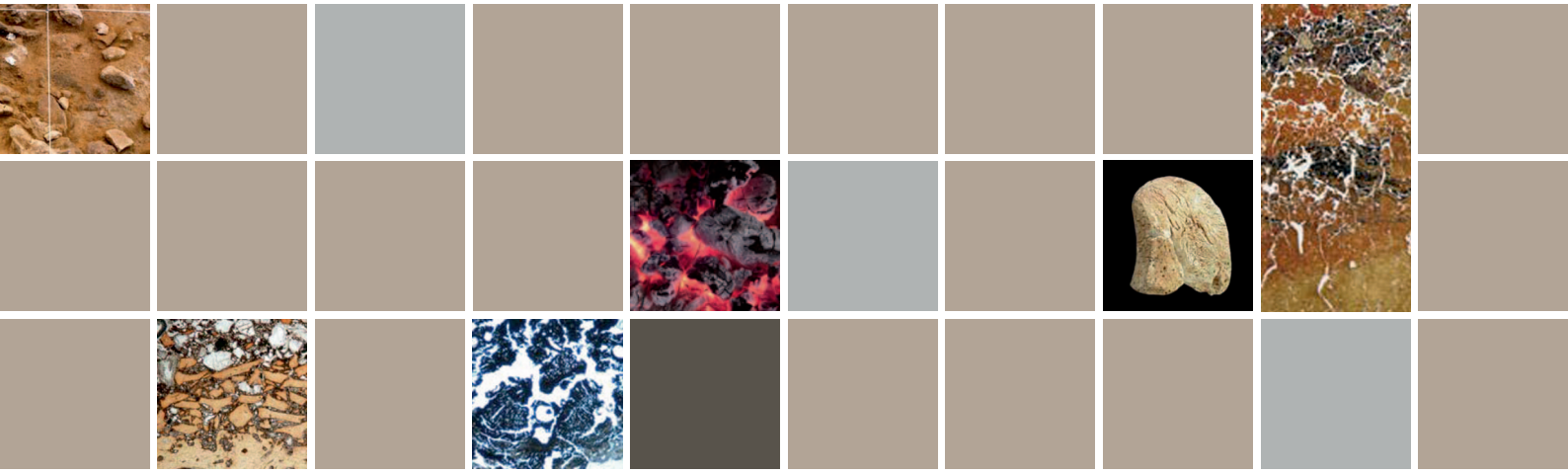
2010 # 2

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

IMPACT TAPHONOMIQUE D'UNE COMBUSTION PROLONGÉE SUR DES OSSEMENTS UTILISÉS COMME COMBUSTIBLE

Sandrine COSTAMAGNO, Isabelle THÉRY-PARISOT, Delphine KUNTZ, François BON & Romain MENSAN

P@lethnologie / 2010.2
Revue bilingue de Préhistoire

Résumé

La combustion des ossements induit de nombreux processus dont l'impact sur la représentativité des assemblages osseux fossiles est de mieux en mieux connu grâce notamment aux multiples approches expérimentales développées ces dix dernières années. De nouvelles expériences réalisées en plein air permettent de documenter les conséquences d'une combustion prolongée sur les résidus osseux de combustion.

En moyenne, la perte de masse osseuse après combustion est de 65 %. En terme de poids, la fraction fine (cendre et fragments inférieurs à 2 cm) correspond à plus d'un quart de la masse résiduelle des vestiges recueillis et la masse des pièces calcinées représente en moyenne 77,2 % des résidus. Enfin, la masse résiduelle des ossements n'est pas corrélée à la durée d'utilisation du foyer mais aux modalités d'entretien. Ces expériences documentent ainsi largement la forte incidence des modalités d'entretien du feu sur la nature et la forme des résidus osseux.

Mots clés : expérimentation, os brûlés, combustibles osseux, foyer, taphonomie

Introduction

L'hypothèse d'une utilisation de l'os comme combustible est envisagée sur de nombreux sites paléolithiques[1]. Jusqu'à récemment, ces interprétations reposaient, le plus souvent, sur l'abondance des ossements brûlés retrouvés en association ou non avec des structures de combustion et ce malgré l'origine variée de la combustion des ossements : rejet volontaire des déchets osseux dans les foyers (Spennemann & Colley, 1989 ; Cain, 2005), cuisson alimentaire (Gifford-Gonzalez, 1989 ; Pearce & Luff, 1994 ; Wandsnider, 1997 ; Costamagno & Fano Martínez, 2005), combustion rituelle (Tchesnokov, 1995 ; Vaté & Beyries, 2007), combustion accidentelle après enfouissement (David, 1990 ; Stiner *et al.*, 1995 ; Bennett, 1999 ; Cain, 2005), combustion en relation avec des feux naturels (Bellomo & Harris, 1990 ; Bellomo, 1993). Une série d'expériences menées en laboratoire (tab. 1) a conduit à la définition des propriétés combustibles des ossements (Théry-Parisot & Costamagno, 2005 ; Théry-Parisot *et al.*, 2005) mais aussi à une meilleure caractérisation des restes osseux issus de ce type de foyer (Théry-Parisot *et al.*, 2004 ; Costamagno *et al.*, 2005). Sur la base de ces résultats, un modèle statistique relatif à l'origine des assemblages osseux brûlés a ainsi pu être proposé (Costamagno *et al.*, 2009). Malgré ces avancées, un certain nombre de questionnements relatifs tant aux processus post-dépositionnels susceptibles de modifier les ensembles osseux brûlés qu'à la caractérisation des résidus osseux brûlés issus d'autres modalités de combustion persiste (Costamagno *et al.*, 2009). Ainsi, à l'exception des sites en contexte acide (Gilchrist & Mytum, 1986 ; Costamagno *in* Bordes & Lenoble, 2000 ; Airvaux *et al.*, 2003), les os intensément brûlés (gris ou blancs) sont généralement peu fréquents dans les sites archéologiques, ce qui contraste fortement avec les valeurs obtenues expérimentalement lors de l'utilisation de l'os comme combustible. D'après différentes études, les os calcinés seraient plus réactifs aux contraintes mécaniques que les os simplement carbonisés ou *a fortiori* non brûlés (Stiner *et al.*, 1995 ; Thiébaut *et al.*, sous presse), ceci pouvant expliquer les distorsions enregistrées. Une exposition prolongée aux agents atmosphériques pourrait induire un phénomène similaire (Gerbe, 2004, Gerbe ce volume). Des expériences en cours réalisées par deux d'entre nous (S.C. et I.T.P.) dans le cadre du projet Gavarnie (resp. P. Bertran) et des ateliers de taphonomie (resp. M.-P. Coumont) devraient apporter de nouveaux éléments de réponse quant aux biais induits par d'autres processus taphonomiques sur les vestiges osseux brûlés (piétinement humain, gélifraction, dissolution).

Protocole expérimental	
	expériences en laboratoire os (humérus de bœuf) unique combustible utilisé pas d'ajout de combustible
Variables testées	
	Dessication de l'os (sec (non humide)/frais) Fragmentation de l'os (entier/fracturé) Tissu osseux (compact/spongieux)

Tab. 1 - Protocole expérimental et variables testées lors des premières séries expérimentales réalisées en laboratoire.

Parallèlement à ces protocoles expérimentaux sur l'action des processus taphonomiques après combustion, de nouvelles sessions expérimentales ayant trait à la combustion des ossements ont été initiées. Cette démarche a été conduite en relation avec l'étude du site de plein air aurignacien de Régismont-le-Haut (Poilhes, Hérault), station ayant livré une dizaine de structures de combustion, dont plusieurs comportent l'association de charbons de bois et d'os brûlés (Maurin & Ambert, 1979 ; Bon, 2002 ; Bon, Mensan et coll., 2007). Dans le cadre de cette contribution, sont présentés les résultats issus d'une première série d'expériences relatives à l'entretien prolongé de foyers alimentés par du combustible osseux. Ces expériences réalisées en août 2006 à proximité immédiate du site procédaient d'un triple objectif :

[1] *e.g.* Abri Pataud (Théry-Parisot, 2002), Cuzoul de Vers (Castel, 2003), Esquilleu (Yravedra *et al.*, 2005), Le Flageolet I (Bombail, 1987), Hohle Fels (Schiegl *et al.*, 2003), Labeko Koba (Yravedra *et al.*, 2005), Pech de l'Azé I (Rendu, 2007), Le Placard (Costamagno *et al.*, 1998), Saint-Germain-la-Rivière (Costamagno *et al.*, 1998), Brassempouy (Letourneux, 2003) et plusieurs gisements gravettiens d'Europe centrale (Soffer, 1985).

1- mieux appréhender le fonctionnement des foyers à Régismont-le-Haut et déterminer le ou les types de combustibles utilisés par les Aurignaciens ;
2- évaluer les contraintes liées à la conduite du feu avec du combustible osseux ;
3- évaluer l'impact d'une combustion prolongée sur les résidus osseux.

C'est ce dernier point qui sera plus particulièrement abordé dans l'article.

Protocoles expérimentaux et méthode

L'expérimentation s'est déroulée en plein air. Les foyers (8) ont été implantés sur une sole horizontale, dans une légère cuvette de 5 cm de profondeur et 50 cm de diamètre (fig. 1). Les os utilisés pour les combustions correspondent principalement à des os de porcs salés et quelques os de bœufs frais (tab. 2). Ces ossements ont été minutieusement décharnés puis fracturés à l'aide de galets de quartzite sur des enclumes en calcaire (fig. 2), comparables à celles retrouvées sur le gisement (Bon, Mensan et coll., 2006). Avant combustion, la moelle des ossements a été prélevée. Le bois nécessaire à l'ignition de la combustion représente 5 % du poids d'os utilisé à l'allumage (fig. 3). Les foyers ont ensuite été exclusivement alimentés par de l'os (fig. 4) sauf baisse de température trop importante ne permettant plus la poursuite de la combustion. Dans ce cas, une quantité de bois identique à celle initiale a été utilisée.

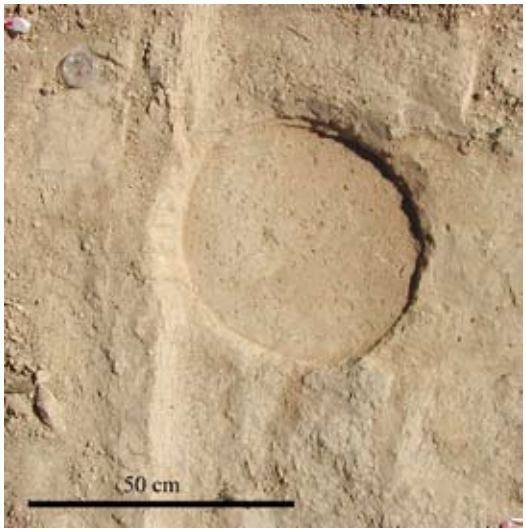


Fig. 1 - Cuvette de foyer.

Fig. 2 - Décharnement et fracturation des ossements.

Fig. 3 - Combustibles avant allumage.

Fig. 4 - Recharge en ossements.

	Série 1				Série 2			
	Foyer 1	Foyer 2	Foyer 3	Foyer 4	Foyer 1	Foyer 2	Foyer 3	Foyer 4
Porc								
Pelvis	1	2	5	3	2	2	1	1
Fémur proximal	30	32	32	31	15	16	17	16
Fémur distal	33	30	32	33	18	15	15	14
Tibia proximal	35	33	33	32	15	15	15	15
Patella	17	16	18	18	5	5	6	5
Massif tarsien	1	1	1	1	2	2	1	2
Bœuf								
Cervicale							1	
Thoracique						1		1
Côte	4	6	6	4		1		1
Scapula	1	1	1	1	1	1		
Humérus proximal				1		1		
Humérus distal							1	
Radius proximal	1							
Massif carpien			1					
Pelvis							1	1
Fémur proximal					1			
Fémur distal		1					1	
Tibia proximal					1			1
Massif tarsien						1		
Masse osseuse	**17040**	**17603**	**17214**	**18235**	**9781**	**10327**	**10143**	**9503**
Moyenne des températures maximales (°C)	**-**	**560,8**	**681,6**	**-**	**503,5**	**569,3**	**692,7**	**-**
Mode de gestion	**rapide**	**rapide**	**rapide**	**rapide**	**lent**	**lent**	**lent**	**lent**

Tab. 2 - Paramètres expérimentaux : éléments squelettiques utilisés, masse d'os employée, mode de gestion des foyers, moyenne des températures maximales enregistrées par les trois capteurs d'un même foyer (les capteurs relatifs au foyer 1 de la première série n'ont pas fonctionné).

A l'allumage et à chaque recharge de combustibles, l'heure, la nature exacte des ossements (taxon, portion anatomique), le poids total et le nombre de fragments ont été notés.

Les expériences ont été réalisées selon deux protocoles distincts visant à faire varier la durée des combustions et la vitesse d'entretien des foyers. Dans la première série, les feux ont été alimentés sans précaution particulière (c'est ce que nous qualifions d'« alimentation rapide ») alors que, dans la seconde (« alimentation lente »), les recharges ont été utilisées avec le souci d'économiser le combustible osseux et de prolonger au maximum la durée de combustion. Chaque série comporte quatre répliques. Pour la première série, 16326 g d'os ont été brûlés en moyenne contre 9334 g pour la seconde série (tab. 2). Après refroidissement complet, les résidus osseux ont été prélevés (fig. 5), à l'exception de ceux du quatrième foyer de chaque série, qui ont été laissés *in situ* afin de documenter leur évolution sur plusieurs années.

Plusieurs descripteurs ont été enregistrés au cours des expériences. Les températures constituent le premier d'entre eux. Afin de documenter la variabilité des flux thermiques, trois capteurs enregistrant simultanément les températures toutes les deux minutes pendant toute la durée des expériences, ont été utilisés dans les trois premiers foyers et pour les deux séries expérimentales.

Fig. 5 - Résidus osseux après combustion.

Les données ont été enregistrées puis transmises sous format informatique par infrarouge. Pour chaque expérience, nous disposons donc de trois courbes qui expriment les températures en fonction du temps. Le second descripteur est relatif aux cinétiques, en distinguant la combustion avec émission de flammes de la pyrolyse sans flamme ou calcination (ce qui suit l'extinction des flammes jusqu'à la fin de la calcination). En pratique, nous avons considéré que la combustion était terminée lorsque la température moyenne du foyer enregistrée par les capteurs était inférieure à 100 °C. Pour les expériences de la première série, les foyers ont été alimentés en deux temps : le matin pour une durée moyenne de deux heures puis, quatre heures

après, durant 2h30. Pour la durée des flammes, nous avons additionné les deux durées enregistrées. Pour la durée de calcination, nous n'avons en revanche pris en compte que la première phase de combustion. De ce fait, les durées de calcination des feux de la première série expérimentale ne sont pas mobilisables pour les approches taphonomiques, les résidus osseux résultant des deux phases successives de combustion.

Les résidus osseux ont ensuite été triés par classe de 10 mm. Pour les fragments supérieurs à 20 mm, des tris ont également été effectués selon le type de tissu (spongieux, compact, compact + spongieux) et l'intensité de la combustion (non brûlé, partiellement brûlé, majoritairement noir, majoritairement gris, majoritairement blanc) (fig. 6). Les ossements ont ensuite été pesés en fonction des catégories retenues. La fraction fine, après tamisage des résidus à des mailles de 0,5 puis 0,2 mm, a été systématiquement pesée pour chaque expérience (fig. 7 et 8).

Fig. 6 - Tri des résidus osseux.

Fig. 7 - Fragments inférieurs à 2 cm.

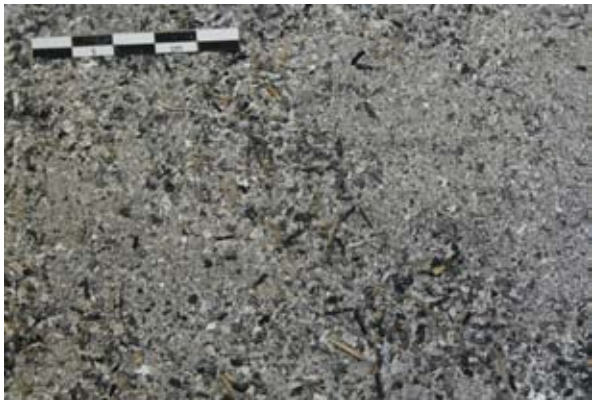


Fig. 8 - Cendre d'os.

Les résultats des séries expérimentales effectuées à Régismont-le-Haut ont été comparés à ceux obtenus lors des séries expérimentales menées en laboratoire (Théry *et al.*, 2004 ; Costamagno *et al.*, 2005 ; Théry *et al.*, 2005) sur la base de différents critères :

- cinétique de combustion ;
- perte de matière documentée par le pourcentage de masse résiduelle, c'est-à-dire la masse d'os récoltée après combustion sur la masse d'os mise au feu, exprimée en pourcentage ;
- intensité de fragmentation estimée à partir de l'abondance relative des fragments osseux par classe de taille de 10 mm ;
- intensité de la combustion estimée sur la base de l'abondance relative des os calcinés, c'est-à-dire des os majoritairement blancs (fig. 9).

Fig. 9 - Os calcinés.

Résultats

Quelques observations préliminaires

D'après les premières expériences réalisées en laboratoire, l'état frais ou sec de l'os influe fortement sur le degré de fragmentation des résidus osseux, l'importante fragmentation des os frais relativement aux os secs étant vraisemblablement due à l'importance des pressions engendrées par l'évaporation de l'eau (Théry *et al.*, 2004 ; Costamagno *et al.*, 2005).

Lors des expériences menées à Régismont-le-Haut, l'utilisation d'os de porcs salés et donc relativement secs pourrait expliquer la présence de nombreuses extrémités articulaires et épiphyses entières au sein des résidus osseux (fig. 10). Pour les comparaisons, nous avons donc privilégié les expériences en laboratoire dans lesquelles les ossements avaient été brûlés après dessiccation et fracturation.

Fig. 10 - Épiphyses entières d'os longs de porcs.

Parallèlement, certaines formes d'atteinte n'ont été observées que sur les ossements de bœufs, c'est-à-dire uniquement sur les os frais et humides. Sur certains fragments spongieux, on observe en effet la formation d'écailles d'os compact pelliculaire qui se développent de manière concentrique sur toute la surface (fig. 11). En se détachant, elles mettent progressivement à nu le tissu spongieux, qui, à terme, peut prendre la forme d'une boule spongieuse dépourvue de toute *compacta* comme ce que l'on observe dans de nombreux assemblages fauniques.

Les nombreuses expériences menées en laboratoire ont permis de montrer que les températures maximales atteintes dans les foyers étaient dépendantes de la masse de combustible et non du combustible lui-même (Théry-Parisot & Costamagno, 2005).

Fig. 11 - Ecailles pelliculaires concentriques dégageant peu à peu la *spongiosa*.

Les nouvelles expériences réalisées en plein air se caractérisent par des températures maximales qui varient entre 561 et 692 °C. Les températures atteintes dans ces feux semblent donc inférieures à celles relevées dans les feux de laboratoire (605 – 805 °C) alors que la masse de combustible utilisée est supérieure. Les différences observées s'expliquent aisément par l'impact des agents atmosphérique sur les températures de combustion lors des expériences en plein air. De plus, la variabilité intra-séries est plus importante que la variabilité inter-séries (tab. 2). De ce fait, les résultats obtenus sont très difficilement exploitables en ce qui concerne les températures.

Paramètres influant sur les cinétiques de combustion

D'après les premières expériences menées en laboratoire, la durée des flammes est régie par l'effet conjugué de l'humidité, de la densité des tissus osseux et de la fragmentation, la masse initiale de combustible mis au feu n'expliquant que 24 % de la variance (Théry-Parisot & Costamagno, 2005).

A masse équivalente de combustible, la durée des flammes apparaît plus longue dans les foyers en plein air que dans les foyers de laboratoire (dans lesquels il n'y a pas eu d'ajout de combustibles osseux) (fig. 12). Dans

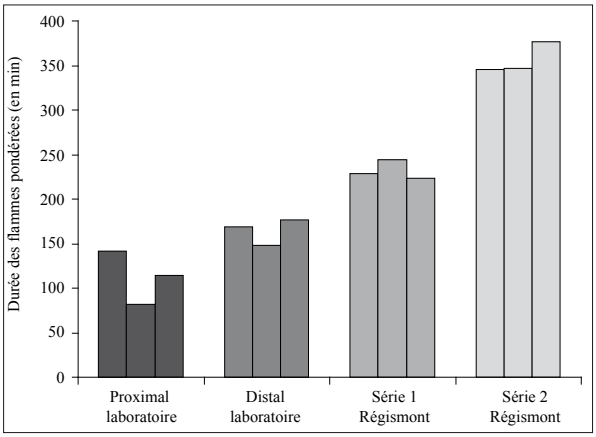


Fig. 12 - Durée des flammes pondérées.

ces derniers, la durée des flammes est en moyenne de 112 minutes pour les foyers à extrémités proximales et 165 pour les extrémités distales contre 232 minutes pour la série 1 de Régismont-le-Haut et 356 pour la série 2. L'analyse de la variance montre que la durée moyenne des flammes de la série 1 se discrimine de celle de la série 2 (fig. 13). Les foyers de la série 1 (alimentation rapide) nécessitent l'utilisation de 54 % d'os en plus que les foyers de la série 2 (alimentation lente) pour produire des flammes pendant une durée identique. En termes de consommation de combustible osseux, les durées des flammes de la série 1 suivent globalement la même

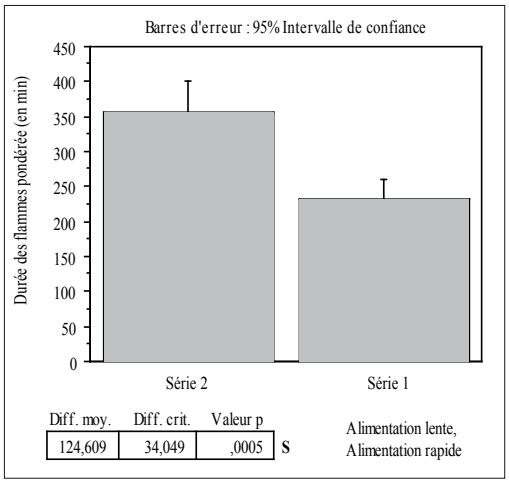


Fig. 13 - Durée des flammes à masse équivalente de combustible (test de Fisher).

tendance que celle mise en évidence dans les expériences en laboratoire, c'est-à-dire dans des feux sans ajout de combustible (fig. 14). En revanche, les foyers de la série 2 attestent d'une réelle économie de combustible osseux lorsque les feux sont alimentés progressivement. Il n'en est pas de même pour les durées de calcination. Quelles que soient les modalités d'entretien, elles restent basses et sont comparables à celles enregistrées dans les expériences en laboratoire (fig. 14).

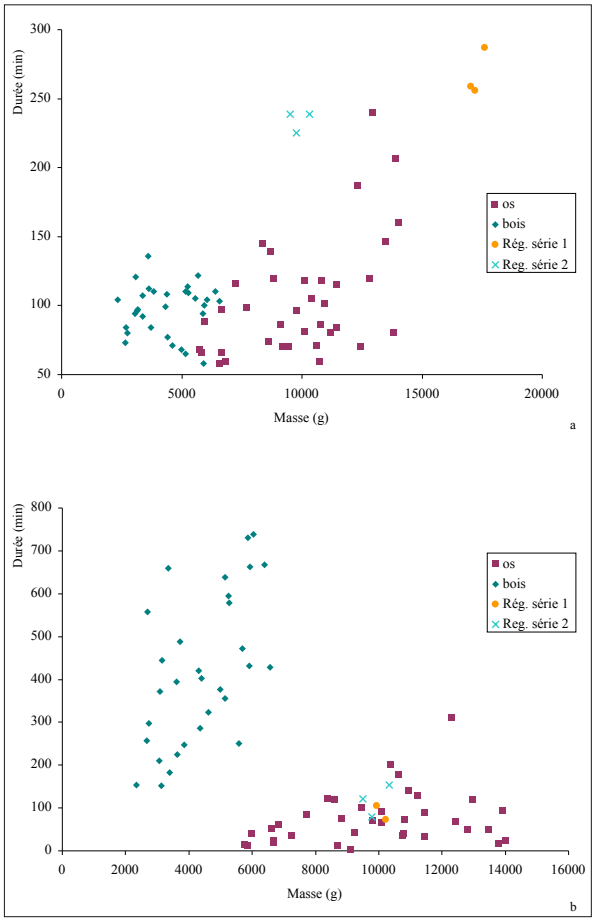


Fig. 14 -Durée de la combustion en fonction de la masse de combustible utilisé : a- durées des flammes, b- durée de calcination.

Perte de matière

Les expériences menées en laboratoire, dans des conditions standardisées, ont montré que la réduction de masse est largement corrélée à la densité de l'os : plus elle est forte, plus le pourcentage de masse résiduelle est important. En revanche, l'état de l'os avant combustion (frais/sec, complet/fragmenté) n'a

pas d'incidence sur cette variable (Théry *et al.*, 2004 ; Costamagno *et al.*, 2005).

Dans les séries expérimentales réalisées à Régismont-le-Haut, le pourcentage de masse résiduelle varie entre 33,2 et 36,6 % (fig. 15). Ces valeurs, qui sont statistiquement comparables à celles enregistrées pour les extrémités distales d'humérus, pourraient s'expliquer par la combustion simultanée de portions spongieuses et compactes (fig. 16). En tenant compte de l'ensemble des expériences, il apparaît que la durée des flammes n'est pas un facteur prépondérant dans la perte de masse, comme l'atteste le coefficient de corrélation de Spearman, qui est statistiquement non significatif (r_s = - 0,215). Même si l'on distingue les expériences de laboratoire (séries proximales et séries distales) et les expériences de Régismont-le-Haut, les coefficients de corrélation restent faibles et non significatifs, respectivement - 0,288 : ddl 13 ; - 0,350 : ddl 13 et - 0,551 : ddl 6.

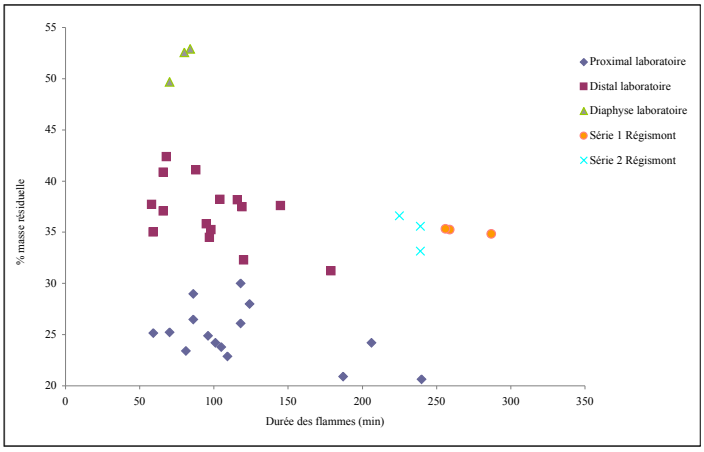


Fig. 15 - Pourcentage de masse résiduelle osseuse en fonction de la durée des flammes

Concernant la relation entre perte de masse et durée de calcination, nous avons montré dans les expériences antérieures l'existence de trois groupes distincts : feux dans lesquels ont été brûlées les diaphyses sans moelle, feux à extrémités distales et feux à extrémités proximales (fig. 17). Dans ces derniers, la perte de masse est hautement corrélée à la durée de la calcination (r_s = - 0,790, $p < 0,01$) : plus la durée de calcination est longue, plus la perte de masse est importante, ce qui n'est pas le cas des combustions réalisées avec des extrémités distales (r_s = - 0,358). Si l'on compare avec la série 2 de Régismont-le-Haut (les données issues de la série 1 n'étant pas exploitable de ce point de vue-là (*cf. supra*)), le même type de relation apparaît, à savoir plus la durée de calcination est longue, plus la perte de matière semble importante. Des données supplémentaires seraient nécessaires pour déterminer si cette relation est statistiquement significative. Comparativement aux foyers alimentés par des extrémités proximales d'humérus, à durée

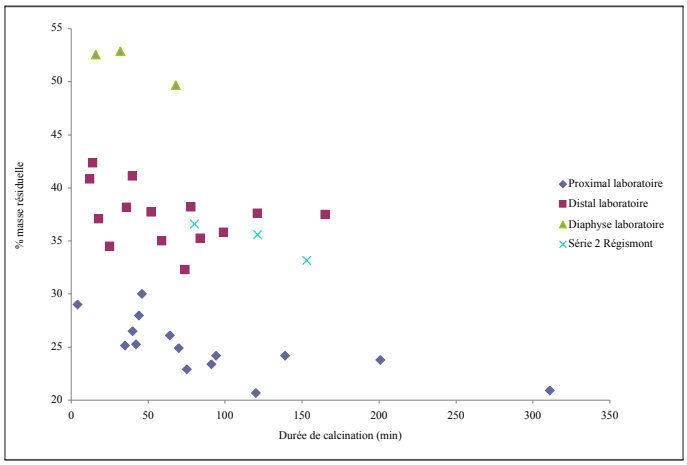
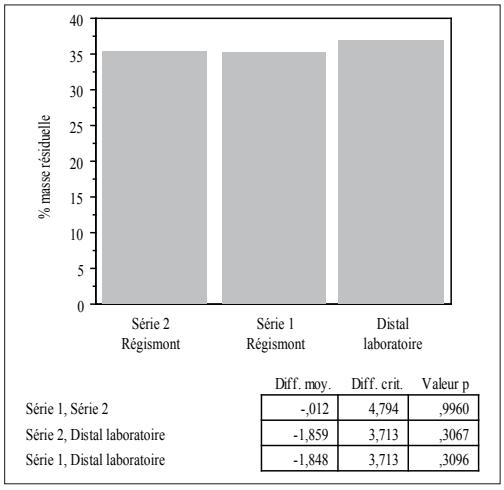


Fig. 17 - Pourcentage de masse résiduelle osseuse en fonction de la durée de calcination.

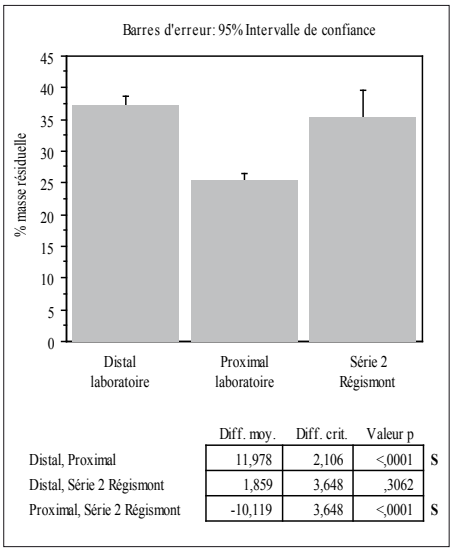


	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p
Série 1, Série 2	-,012	4,794	,9960
Série 2, Distal laboratoire	-1,859	3,713	,3067
Série 1, Distal laboratoire	-1,848	3,713	,3096

Fig. 16 - Effet des modalités d'entretien sur le pourcentage de masse résiduelle osseuse (test de Fischer).

www.palethnologie.org

de calcination équivalente, la perte de masse dans les foyers de Régismont-le-Haut est nettement moins importante. Il semble donc que les extrémités proximales d'humérus, et probablement les portions de faible densité ont un comportement au feu très spécifique, comme en témoigne l'analyse de la variance (fig. 18).



	Diff. moy.	Diff. crit.	Valeur p	
Distal, Proximal	11,978	2,106	<,0001	S
Distal, Série 2 Régismont	1,859	3,648	,3062	
Proximal, Série 2 Régismont	-10,119	3,648	<,0001	S

Fig. 18 - Effet de la densité osseuse sur le pourcentage de masse résiduelle osseuse (test de Fischer).

Intensité de fragmentation

L'état de l'os avant combustion (sec/frais ; entier/fragmenté) intervient dans le degré de fragmentation des résidus osseux (Théry *et al.*, 2004 ; Costamagno *et al.*, 2005). Les os préalablement séchés se fragmentent six fois moins que les os humides tandis que les os fracturés se re-fragmentent très peu, la taille des résidus de combustion étant en moyenne plus élevée. Pour les comparaisons, n'ont donc été utilisées que les séries expérimentales en laboratoire dans lesquelles les humérus étaient secs et fracturés.

Dans les expériences réalisées à Régismont-le-Haut, la classe des fragments 3-4 cm est la mieux représentée, quelle que soit la série considérée alors que dans les séries réalisées en laboratoire c'est toujours la classe 6-7 cm qui domine (fig. 19). Cette différence est-elle le fait d'une fragmentation plus intense des ossements dans les séries à combustion prolongée ? Il est difficile de répondre à cette question, les os utilisés n'étant pas de la même taille (tab. 1 et 2). Pour les fragments de petite dimension, la question de la taille des ossements mis au feu ne se pose pas. Les fragments inférieurs à 2 cm

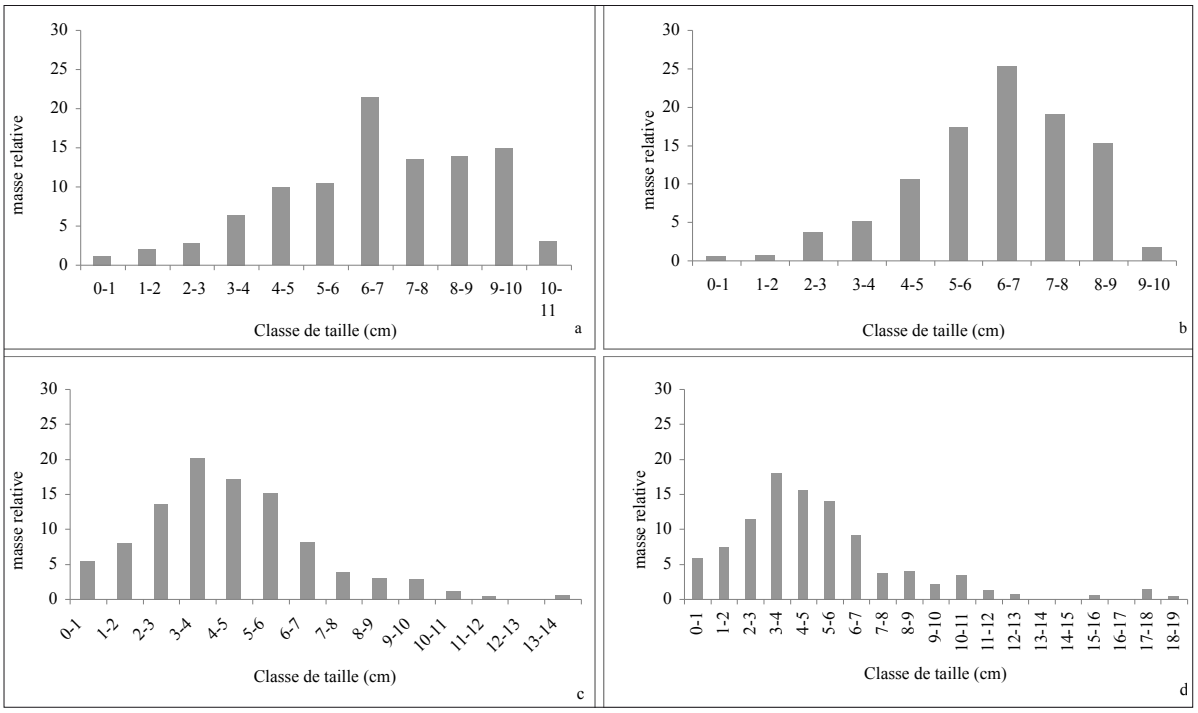


Fig. 19 - Répartition des résidus osseux en fonction de leur taille : a- série laboratoire, extrémités proximales sèches et fragmentées ; b- série laboratoire, extrémités distales sèches et fragmentées ; c- Régismont, série 1 ; d- Régismont, série 2.

apparaissent nettement plus abondants dans les séries expérimentales de Régismont-le-Haut (en moyenne 13,3 %) que dans les séries de laboratoire (2,3 %) (fig. 19). Comme l'on pouvait s'y attendre, une combustion prolongée induit une fragmentation plus intense des résidus se traduisant donc par une augmentation significative des fragments de petite taille (inférieurs à 2 cm). Parallèlement, dans les combustions prolongées, une part non négligeable des résidus osseux est réduite à l'état de cendres (entre 12 et 14 % de la masse résiduelle). Les valeurs enregistrées pour la fraction fine (% cendre et fragments inférieurs à 2 cm) sont comparables d'une série à l'autre, comme l'atteste l'analyse de la variance (fig. 20).

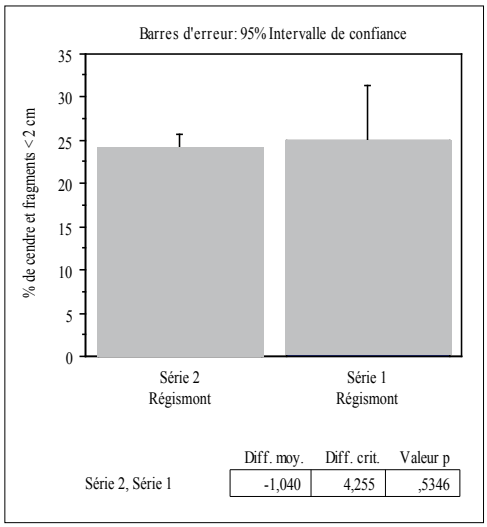


Fig. 20 - Effet des modalités d'entretien sur la masse relative de la fraction fine (test de Fischer).

Intensité de la combustion

Les restes calcinés dans les foyers à combustion prolongée représentent en moyenne 77,2 % du poids des résidus osseux contre 32 % pour les expériences réalisées en laboratoire (fig. 21).

Dans les expériences en laboratoire, nous avons montré que le pourcentage d'os calcinés n'était pas corrélé à la durée des flammes : c'est la densité du tissu spongieux et le degré de fragmentation des ossements avant combustion qui sont à l'origine des différences enregistrées (Théry-Parisot *et al.*, 2004). Dans le cas des combustions prolongées, les foyers ont été initiés puis secondairement alimentés par les mêmes types de combustibles. Dans ces expériences où le type de combustible n'entre pas en jeu, le pourcentage d'os calcinés semble logiquement corrélé à la durée des flammes : plus le foyer a fonctionné, plus les os sont intensément brûlés (fig. 21). L'analyse de la variance montre une différence hautement significative entre les deux séries expérimentales de Régismont-le-Haut du point de vue de la proportion d'os calcinés : les foyers à alimentation rapide (série 1) ont en moyenne 15 % d'os calcinés en plus que les foyers à alimentation lente (série 2) (fig. 22). Outre la durée des flammes, les modalités d'entretien des foyers jouent donc un rôle non négligeable dans l'intensité de combustion des résidus osseux. Dans les foyers à alimentation rapide, les flammes plus intenses accentuent le processus de la combustion.

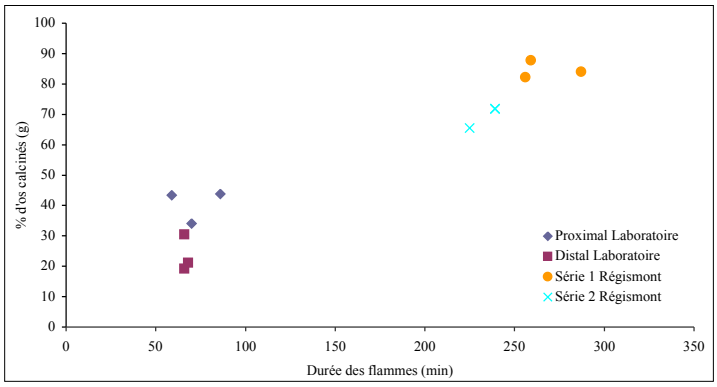


Fig. 21 - Masse relative des os calcinés en fonction de la durée des flammes.

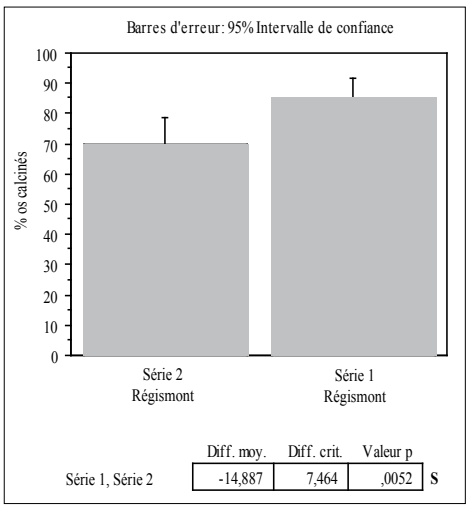


Fig. 22 - Effet des modalités d'entretien sur la masse relative des restes calcinés (test de Fischer).

www.palethnologie.org

Interrelations multicritères

Le croisement des critères « classe de taille des fragments » et « intensité de la combustion » indique que les restes calcinés sont plus intensément fragmentés, au terme de la combustion, que les restes majoritairement noirs ou majoritairement gris, quelle que soit la série considérée. En poids, les fragments supérieurs à 6 cm sont nettement majoritaires parmi les os noirs et les os gris alors que, pour les os calcinés, c'est la classe 3-4 cm qui domine, la distribution par classe de taille étant plus homogène (fig. 23).

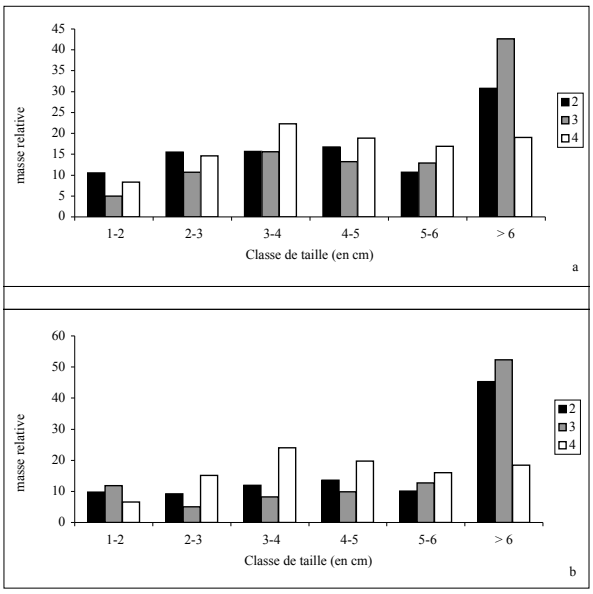


Fig. 23 - Taille relative des fragments osseux selon l'intensité de la combustion : a- Régismont, série 1 ; b- Régismont, série 2 (2 : os majoritairement noirs, 3 : os majoritairement gris, 4 : os majoritairement blancs).

En ce qui concerne le type de tissus, dans les deux séries expérimentales, les portions spongieuses sont plus fréquemment calcinées que les fragments de tissu compact ou de tissu compact avec spongieux (fig. 24). Les restes spongieux carbonisés sont très peu représentés. Les tissus spongieux apparaissent par ailleurs plus intensément fragmentés que les tissus compacts qui eux-mêmes sont de plus petite taille que les fragments de *compacta* avec *spongiosa* (fig. 25). Ainsi, les pièces inférieures à 4 cm représentent en moyenne, dans les deux séries, 58,1 % de la masse résiduelle de tissus spongieux contre 44,6 % du tissu compact et 30,8 % des

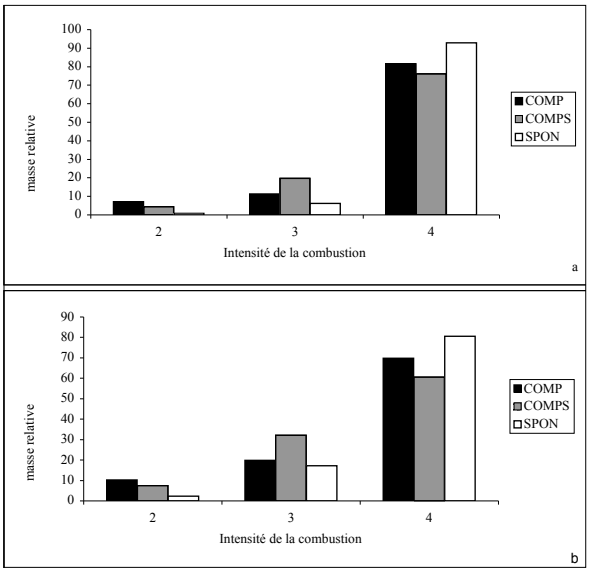


Fig. 24 - Intensité de combustion relative des fragments osseux selon le type de tissu osseux : a- Régismont, série 1 ; b- Régismont, série 2 (COMP : fragment de tissu compact, COMPS : fragment de tissu compact avec spongieux, SPON : fragment de tissu spongieux).

fragments d'os compact avec tissu spongieux. La taille initiale des fragments de chaque type de tissu n'ayant pas été relevée avant la combustion, un biais potentiel

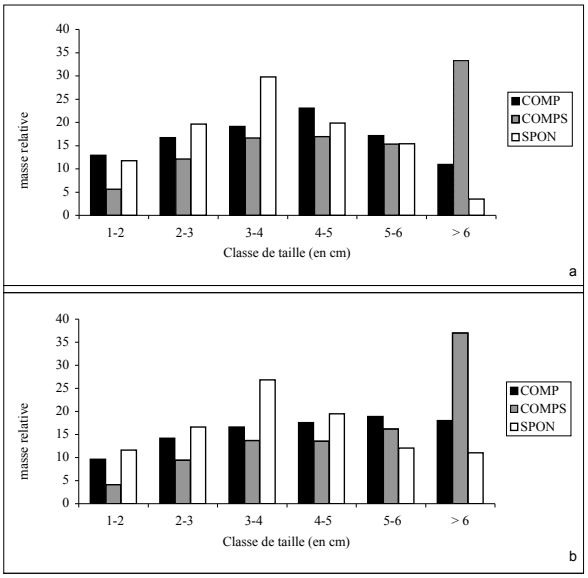


Fig. 25 - Taille relative des fragments osseux selon le type de tissu osseux : a- Régismont, série 1 ; b- Régismont, série 2 (COMP : fragment de tissu compact, COMPS : fragment de tissu compact avec spongieux, SPON : fragment de tissu spongieux).

lié au matériel utilisé n'est pas exclu. Dans la série 1 relativement à la série 2, on observe une fragmentation accrue des restes osseux, quel que soit le type de tissu, en lien avec l'intensité des flammes (restes inférieurs à

www.palethnologie.org

4 cm : spongieux – série 1 : 61,2 % ; série 2 : 55,1 % ; compact – série 1 : 48,8 % ; série 2 : 40,4 % ; compact + spongieux – série 1 : 34,4 % ; série 2 : 27,2 %).

Conclusions

Les expériences réalisées à Régismont-le-Haut permettent de dégager des informations complémentaires à celles obtenues en laboratoire et participent à une meilleure caractérisation des résidus osseux brûlés en relation avec une utilisation de l'os comme combustible.

Il apparaît que, dans un foyer entretenu par du combustible osseux, la durée des flammes n'est pas corrélée à la masse de combustible brûlée. Outre les facteurs mis en évidence dans les expériences en laboratoire (type de tissu, degré de fragmentation), les modalités d'entretien des foyers jouent un rôle déterminant. En ne faisant varier que ce paramètre, pour la production d'une durée de flammes équivalente, une alimentation lente permet d'économiser un tiers du combustible nécessaire à une alimentation rapide. Ainsi, même si l'on arrivait à identifier l'impact des différents agents taphonomiques pouvant intervenir sur les ossements brûlés, il est impossible, à partir de la masse de combustible osseux recueillie dans un assemblage archéologique, d'estimer la durée d'utilisation des foyers sur un site donné.

Ces nouvelles expériences confirment que la durée des flammes n'a qu'une très faible incidence sur la perte de masse des résidus osseux. C'est la densité osseuse et donc probablement la quantité de graisse (Lyman, 1985) qui joue ici un rôle déterminant. Dans les expériences réalisées à Régismont-le-Haut, la perte de masse osseuse est en moyenne de 65 %. Une combustion prolongée induit par ailleurs une fragmentation et une combustion plus intenses des résidus osseux : les fragments inférieurs à 2 cm sont six fois plus abondants dans les expériences réalisées à Régismont-le-Haut que dans les expériences en laboratoire, les pièces calcinées deux fois plus abondantes. La fraction fine (cendre et fragments inférieurs à 2 cm) correspond à plus d'un quart de la masse résiduelle osseuse dans les deux séries de plein air tandis que les pièces calcinées représentent plus des trois-quarts de cette masse. Contrairement au degré de fragmentation, l'intensité de la calcination dépend largement des modalités d'entretien des foyers : les résidus issus des foyers à alimentation rapide (série 1 de Régismont-le-Haut) sont plus intensément brûlés que ceux des foyers à alimentation lente (série 2 de Régismont-le-Haut). Il serait intéressant, par l'entretien de feux sur plusieurs jours, de déterminer si la part de la fraction fine et des pièces calcinées au sein des résidus osseux augmente progressivement selon la durée d'utilisation des foyers.

Au sein des résidus osseux issus des combustions réalisées à Régismont-le-Haut, les pièces calcinées sont de plus petite taille que les fragments noirs ou gris. Ils sont également majoritaires quel que soit le type de tissu osseux (60,5 à 92,9 % de la masse résiduelle) mais, dans les deux séries expérimentales, les fragments spongieux apparaissent toujours plus intensément brûlés que l'os compact ou le compact avec spongieux.

Quelles conclusions peut-on tirer de ces observations ? Les expériences réalisées à Régismont-le-Haut montrent qu'un feu alimenté quelques heures par de l'os produit de la cendre en quantité (environ 15 % de la masse résiduelle) ainsi qu'une multitude de fragments osseux inférieurs à 2 cm (13 % de la masse résiduelle). Les fragments de petite taille pouvant se réduire encore sous l'action de divers agents taphonomiques, l'utilisation de l'os comme combustible peut donc considérablement diminuer la part relative des restes fauniques relativement aux vestiges lithiques, ce qui n'est pas sans poser de problèmes pour la caractérisation de la fonction des sites et de l'exploitation de l'animal. Différentes études ont par ailleurs montré que certains processus taphonomiques comme le piétinement (Stiner *et al.*, 1995 ; Thiébaut *et al.*, sous presse) ou le *weathering* (Gerbe, ce volume) aboutissent à une destruction préférentielle des os spongieux et calcinés, qui correspondent peu ou prou aux résidus osseux récoltés lors d'une utilisation de l'os comme combustible. Sous abri ou dans une grotte, les occupations pouvant être répétées dans le temps, le piétinement humain peut avoir des répercussions importantes sur la conservation des résidus osseux brûlés et donc masquer une utilisation

potentielle de l'os comme combustible. Il en est de même de l'action des agents atmosphériques sur les sites de plein air.

Remerciements

Merci à tous les fouilleurs bénévoles de Régismont-le-Haut et, en particulier, Marie Dias-Meirhino, Sébastien Dubois, Clément Ménard, pour leur aide lors de la préparation des ossements. Le tri des résidus osseux a pu être réalisé en partie grâce à des crédits accordés par le Service Régional de l'Archéologie de Languedoc-Roussillon.

Auteurs

Sandrine Costamagno, Delphine Kuntz, François Bon & Romain Mensan

TRACES – UMR 5608 du CNRS, Maison de la Recherche, Université de Toulouse 2 – Le Mirail, 5 allées A. Machado, 31058 Toulouse cedex 9
costamag@univ-tlse2.fr
kuntz@univ-tlse2.fr
bon@univ-tlse2.fr
mensrom@gmail.com

Isabelle Théry-Parisot

CEPAM – UMR 6130 du CNRS, 250 rue Albert Einstein 06560 Valbonne
thery@cepam.cnrs.fr

Références

Airvaux J., Berthet A.-L. & Castel J.-C. 2003 - Le gisement aurignacien de Chez-Pinaud 2 à Jonzac, Charente-maritime. *Préhistoire du Sud-Ouest*, 10 : 25-76.

Bellomo R.V. 1993 - A methodological approach for identifying archaeological evidence of fire resulting from human activities. *Journal of Archaeological Science*, 20 : 525-553.

Bellomo R.V. & Harris J.W.K. 1990 - Preliminary reports of actualistic studies of fire within Virunga National Park, Zaïre : toward an understanding of archaeological occurence. *In* : *Evolution of environments and Hominidae in the African Western Rift Valley*, Boaz N.T. (ed). Martinsville, VA, Virginia Museum of Natural History : 317-338.

Bennett J.L. 1999 - Thermal alteration of buried bone. *Journal of Archaeological Science*, 26 : 1-8.

Bombail C. 1987 - *Les structures de combustion des niveaux aurignaciens du Flageolet I*. Mémoire de Maîtrise, Université de Neuchâtel.

Bon F., Mensan R. avec la collaboration de **Costamagno S., Araujo Igreja M., Gardère Ph., Kuntz D., Ménard C., Sellami F. & Szmidt C.** 2006 - *Régismont-le-Haut (Poilhes, Hérault). Campagne de fouilles d'un habitat de plein air aurignacien*. Rapport d'opération de fouille programmée, 68 pp., 9 fig.

Bon F., Mensan R. avec la collaboration de **Araujo Igreja M., Costamagno S., Gardère P., Ménard C., Sellami F., Szmidt C. & Théry-Parisot I.** 2007 - Le site de plein air de Régismont-le-Haut : une halte aurignacienne dans les plaines du Languedoc. *In* : *Qui est l'Aurignacien ?* Aurignac, Editions Musée-forum : 53-71.

Bon F., 2002 - *L'Aurignacien entre Mer et Océan. Réflexion sur l'unité des phases anciennes de l'Aurignacien dans le sud de la France*. Paris, Mémoire de la Société Préhistorique Française, XXIX, 253 pp.

Bordes J.-G. & Lenoble A. 2000 - *Caminade (Sarlat, Dordogne)*. Document final de Synthèse, Service régional de l'Archéologie d'Aquitaine, Bordeaux.

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

Castel J.-C. 2003 - Economie de chasse et d'exploitation de l'animal au Cuzoul de Vers (Lot) au Solutréen et au Badegoulien. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 100 : 41-65.

Costamagno S. & Fano Martínez M.A. 2005 - Pratiques cynégétiques et exploitation des ressources animales dans les niveaux du Magdalénien supérieur-final de El Horno (Ramales, Cantabrie, Espagne). *Paleo*, 17 : 31-56.

Costamagno S., Griggo C. & Mourre V. 1998 - 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*, O'connor T. (ed). Actes du 9° Colloque de l'ICAZ, Durham, août 2002. Oxford, Oxbow Books : 51-62.

Costamagno I. Théry-Parisot J-C Castel & J-P Brugal 2009 - Combustible ou non ? Analyse multifactorielle et modèles explicatifs sur des ossements brûlés paléolithiques. *In* : *Gestion des combustibles au Paléolithique et au Mésolithique : nouveaux outils, nouvelles interprétations*, Théry-Parisot I., Costamagno S., Henry A. (eds). Proceedings of workshop 21. XVeme Congrès de l'UISPP, Lisbonne, 4-9 septembre 2006. BAR International Series 1914, Oxford, Archaeopress : 65-84.

David B. 1990 - How was this bone burnt ? *In* : *Problem solving in taphonomy*, Solomon S., Davidson I. & Watson B. (eds). Tempus : 65-79.

Gerbe M. 2004 - *Etude taphonomique d'ossements brûlés*. Mémoire de D.E.A., Université de Provence, 93 pp.

Gifford-Gonzalez D. 1989 - Ethnographic analogues for interpreting modified bones : some cases from East Africa. *In* : *Bone modification*, R. Bonnichsen & M. Sorg (eds). Orono, Maine, Center for the Study of First Americans : 179-246.

Gilchrist R. & Mytum C. 1986 - Experimental archaeology and burnt animal bone from archaeological sites. *Circaea*, 4 : 29-38.

Letourneux C. 2003 - *Devine qui est venu dîner à Brassempouy ? Approche taphonomique pour une interprétation archéozoologique des vestiges osseux de l'Aurignacien ancien de la grotte des Hyènes (Brassempouy, Landes)*. Thèse de doctorat, Université de Paris I Panthéon-Sorbonne, 603 pp.

Lyman R.L. 1985 - Bone frequencies, differential transport, and the MGUI. *Journal of Archaeological Science*, 12 : 221-236.

Maurin G. & Ambert P. 1979 - Une structure aurignacienne à Régismont-le-Haut. *Les amis de Nissan-lez-Ensérune*, 40 : 6-9.

Pearce J. & Luff R. 1994 - The taphonomy of cooked bones. *In* : *Whither environmental archaeology ?*, Luff R. & Rowley-Conwy P. (eds). Oxford, Oxbow Monograph : 51-56.

Rendu W. 2007 - *Planification des activités de subsistance au sein du territoire des derniers moustériens*. Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 363 pp.

Schiegl S., Goldberg P., Pfretzschner H.U. & Conard N.J. 2003 - Paleolithic burnt bone horizons from the Swabian Jura : Distinguishing between in situ fireplaces and dumping areas. *Geoarchaeology an International Journal*, 18 : 541-565.

Soffer O. 1985 - *The Upper Paleolithic of the Central Russian Plain*. Orlando, Academic Press, 539 pp.

Spennemann D.H.R. & Colley S.M. 1989 - Fire in a pit : the effects of burning of faunal remains. *Archaeozoologia*, 3 : 51-64.

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

Tchesnokov Y. 1995 - La culture traditionnelle des éleveurs de rennes du Nord-Est de la Sibérie : problèmes et perspectives de développement. *In* : *Peuples des Grands Nords.*

Traditions et transitions, Charrin A.-V., Lacroix J.-M. & Therrien M. (eds). Paris, Presses de la Sorbonne Nouvelle, Institut National des Langues et civilisations Orientales : 305-314.

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., Brugal J.-P., Costamagno S. & Guilbert R. 2004 - Conséquences taphonomiques de l'utilisation des ossements comme combustible. Approche expérimentale. *Les Nouvelles de l'Archéologie*, 95 : 19-22.

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., 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*, Mulville J. & Outram A.K. (eds). Actes du Colloque de l'ICAZ, Durham, août 2002. Oxford, Oxbow Books : 50-59.

Thiébaut C., Costamagno S., Coumont M.-P., Mourre V., Provenzano N. & Thery-Parisot I. sous presse - Approche expérimentale des conséquences du piétinement des grands herbivores sur les vestiges archéologiques. *Paleo*, numéro spécial.

Vaté V. & Beyries S. 2007 - Une ethnographie du feu chez les éleveurs de rennes du Nord-Est sibérien. *In* : *Les civilisations du renne d'hier et d'aujourd'hui. Approches ethnohistoriques, archéologiques et anthropologiques*, Beyries S. & Vaté V. (eds). XXVIIe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes. Antibes, APDCA-CNRS : 393-420.

Wandsnider L. 1997 - The roasted and the boiled : food composition and heat treatment with special emphasis on pit-hearth cooking. *Journal of Anthropological Archaeology*, 16 : 1-48.

Yravedra I., 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

Costamagno S., Théry-Parisot I., Kuntz D., Bon F. & Mensan R. 2010 - Impact taphonomique d'une combustion prolongée sur des ossements utilisés comme combustible. *In* : Taphononomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, I. Théry-Parisot, L. Chabal & S. Costamagno (eds). Actes de la table ronde, Valbonne, 27-29 mai 2008. *P@lethnologie*, 2 : 173-187.

P@LETHNOLOGIE

Revue bilingue de Préhistoire