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

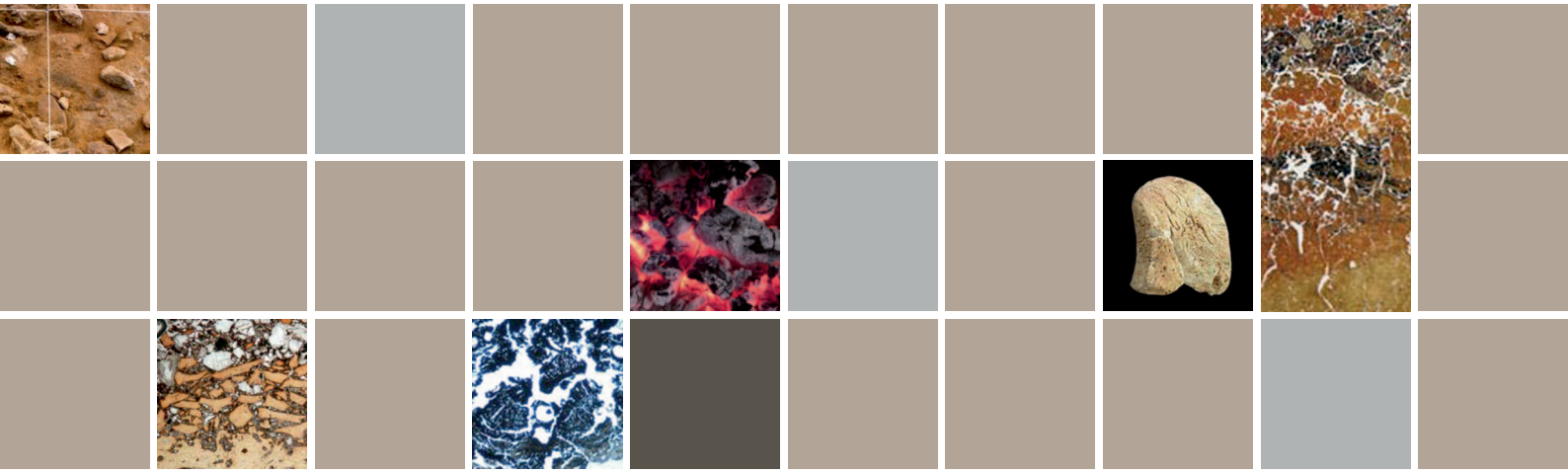
2010 # 2

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

P@lethnologie / 2010.2
Revue bilingue de Préhistoire

# L'ACTION DES AGENTS ATMOSPHÉRIQUES (*WEATHERING*) SUR DES OSSEMENTS BRÛLÉS : APPROCHE EXPÉRIMENTALE

Magali GERBE

**Résumé**

L'altération des ossements face à l'exposition aux agents atmosphériques est aujourd'hui bien connue, mais il faut envisager que les os brûlés ne subissent pas les mêmes modifications puisque leurs propriétés physico-chimiques sont modifiées par la combustion. C'est dans la perspective de mieux appréhender ces réactions qu'une série d'expériences a été réalisée. Elles s'inscrivent dans un cadre plus large qui tend à mieux appréhender l'impact des agents taphonomiques sur les os brûlés afin d'estimer les distorsions qui existent entre le matériel osseux provenant de combustions expérimentales et le matériel fossile. Cinq séries expérimentales issues de combustions réalisées à partir d'humérus frais de bœuf ont été exposées pendant dix-huit mois aux agents atmosphériques, en contexte méditerranéen. Plusieurs critères ont été observés pour mettre en évidence l'impact de cette exposition sur les ossements brûlés : degré de fragmentation, perte de masse osseuse, altération des surfaces osseuses, influence du degré de combustion (carbonisé *vs* calciné) et du tissu osseux (spongieux *vs* compact) sur la conservation du matériel. Les résultats de cette expérimentation mettent en exergue une forte fragmentation du matériel (les os brûlés de petite dimension sont majoritaires), associée à une réduction de la masse osseuse. De plus, les os spongieux et calcinés ont une sensibilité accrue à l'action des agents atmosphériques, qui entraîne leur destruction. Ainsi, à terme, une conservation préférentielle de l'os compact carbonisé est attendue.

**Mots clés :** combustible osseux, expérimentation, taphonomie, weathering

De nombreux travaux ont été réalisés afin de comprendre la présence d'ossements brûlés en contexte archéologique. La part de ceux-ci, associés ou non à des structures et autres matériaux de combustion (foyer, charbons, cendres, etc.), est en effet parfois très importante. Ces recherches ont eu pour objectif principal de déterminer l'origine et la nature de la combustion osseuse : feu naturel et combustion accidentelle *versus* origine anthropique (Spennemann & Colley, 1989 ; David, 1990 ; Stiner *et al.*, 1995 ; Bennett, 1999 ; Costamagno *et al.*, 2009) ; et pour ce dernier cas, origine de l'ignition : emploi de l'os comme combustible (Costamagno *et al.*, 2009), entretien du campement (Walters, 1988 ; Cain, 2005), restes culinaires (Vigne *et al.*, 1981 ; Vigne, 1983 ; Walters, 1988 ; Laroulandie, 2001). Ces études portent généralement sur deux aspects complémentaires :

1) les propriétés combustibles des os en fonction de leur tissu (spongieux *vs* compact), leur état de fraîcheur et de fragmentation (Gilchrist & Mytum, 1986 ; Guillon, 1986 ; Buikstra & Sweggle, 1989 ; Spennemann & Colley, 1989 ; Fernandez Jalvo & Perales Piquer, 1990 ; Costamagno *et al.*, 1999, 2005 ; Théry-Parisot, 2002 ; Théry-Parisot *et al.*, 2004, 2005 ; Théry-Parisot & Costamagno, 2005 ; Mentzer, 2009) ;

2) les modifications de couleurs et de structures des tissus osseux en fonction de la température de combustion (Herrmann, 1977 ; Perinet, 1982 ; Shipman *et al.*, 1984 ; Brain & Sillen, 1988 ; Susini, 1988 ; Spennemann & Colley, 1989 ; Brain, 1993 ; Nicholson, 1993 ; Sillen & Hoering, 1993 ; Stiner *et al.*, 1995 ; Taylor *et al.*, 1995 ; Trellisó Carreño, 2001 ; Joly & March, 2003 ; Pastó, 2003 ; Hanson & Cain, 2007).

Les travaux conduits dans le cadre de combustions intentionnelles ont mis en évidence, d'une part, une combustion plus efficiente des extrémités des os longs frais, d'autre part, une fragmentation importante des os, fournissant une majorité de restes de petite dimension (inférieurs à 2 cm), essentiellement calcinés (Costamagno *et al.*, 2005 ; Théry-Parisot *et al.*, 2004, 2005 ; Théry-Parisot & Costamagno, 2005).

Malgré ces avancées, de nombreuses interrogations persistent. En effet, dans la plupart des sites où les os brûlés sont présents en grand nombre, les vestiges sont majoritairement carbonisés (noir, marron) et non calcinés (blanc, gris). L'hypothèse d'une fragilité plus importante des os calcinés, suite au filtre taphonomique est généralement avancée. Mais la combustion modifie fortement les propriétés physico-chimiques des ossements, le comportement des os non brûlés face aux agents pré- et post-enfouissement n'est donc pas directement transposable aux os brûlés. Un des premier biais à considérer est la coloration possible des ossements après enfouissement, lorsqu'ils sont en contact avec certains éléments minéraux du sol (Franchet, 1933). Le plus connu est le manganèse (Brain & Sillen, 1988 ; Shahack-Gross *et al.*, 1997) qui colore les ossements en noir, pouvant imiter l'aspect carbonisé. L'impact du piétinement (action mécanique) sur les os brûlés a également fait l'objet d'observations. Une fragmentation importante de cette catégorie de vestiges et une sensibilité plus importante des os calcinés relativement aux os carbonisés sont perceptibles (Stiner *et al.*, 1995). Une expérience de piétinement par des bisons actuels sur des ossements brûlés confirme ces remarques, auxquelles il faut rajouter la destruction plus élevée du tissu spongieux par rapport au tissu compact (Thiébaut *et al.*, sous presse). En revanche, l'acidité des sols favorise la préservation des os brûlés et plus particulièrement celle des os calcinés (Gilchrist & Mytum, 1986).

Ces études concernent principalement les processus post-enfouissement, mais les os brûlés sont également soumis aux agents de pré-enfouissement. Le travail présenté ici s'inscrit dans cette perspective, avec pour objectif de mieux appréhender l'impact des agents atmosphériques sur la conservation différentielle des os brûlés : la perte de masse est-elle importante ? Les ossements sont-ils plus fragmentés après exposition ? Quelle est l'influence du degré de fragmentation initiale des ossements, du tissu osseux (spongieux *vs* compact) et de l'intensité de la combustion dans la conservation, donc la représentation des ossements brûlés ?

## Matériel et méthode

Le matériel expérimental est issu des combustions réalisées à partir d'humérus de bœufs adultes, selon

divers protocoles (*cf.* Théry-Parisot *et al.*, 2004, 2005 pour une description détaillée). Les résidus osseux issus de cinq séries expérimentales ont été exposés aux agents atmosphériques :

- extrémités proximales complètes fraîches
- extrémités proximales fracturées fraîches
- extrémités distales complètes fraîches
- extrémités distales fracturées fraîches
- humérus entiers frais

Chaque série est constituée d'un nombre d'humérus (ou portions d'humérus), et donc d'une masse osseuse, connu avant leur dépôt dans le foyer (tab. 1). Après chaque combustion, la totalité des cendres a été tamisée afin de récupérer tous les vestiges osseux.

| Série | Nombre d'os | Poids |
|---|---|---|
| Extrémité proximale complète | 10 | 11010 |
| Extrémité proximale fracturée | 10 | 6776 |
| Extrémité distale complète | 10 | 8400 |
| Extrémité distale fracturée | 10 | 5373 |
| Humérus entier | 20 | 11183 |

**Tab. 1** - Description des séries, avant leur combustion (poids en gramme).

Avant exposition aux agents atmosphériques, tous les résidus osseux brûlés ont été triés, pesés et décomptés par classe de taille de un centimètre, type de tissu et intensité de combustion. La classe de taille 0-1 cm a seulement été pesée dans son ensemble. L'intensité de combustion (Nicholson, 1993) concerne la couleur de l'os ; cinq stades ont été pris en compte, du plus intensément brûlé au non brûlé : blanc, gris, noir, marron, non brûlé (Stiner *et al*, 1995, modifié par Castel, 1999 et Costamagno, 1999). C'est la couleur présente en majorité sur le fragment osseux qui est prise en compte, sans distinction entre les surfaces externe et interne. Pour les tissus osseux, trois types ont été retenus : tissu compact, spongieux et compact-spongieux.

Chaque série a ensuite été déposée séparément dans des caisses en bois ajourées, dont le fond était recouvert d'un grillage à maille fine afin d'éviter toute perte de matériel, sur le toit du bâtiment du CEPAM-UMR 6130 (Valbonne, Alpes-Maritimes). Les os ont été exposés aux intempéries durant dix-huit mois : du 10 juin 2002 au 6 novembre 2003. Les ossements brûlés ont été soumis à un climat de type méditerranéen (températures contrastées et précipitations irrégulières), constituant une transition entre les climats tempérés et tropicaux. Il faut noter que l'été 2003 était une période anormalement sèche (canicule de quatre mois) pendant laquelle les précipitations ont été nulles (fig. 1).

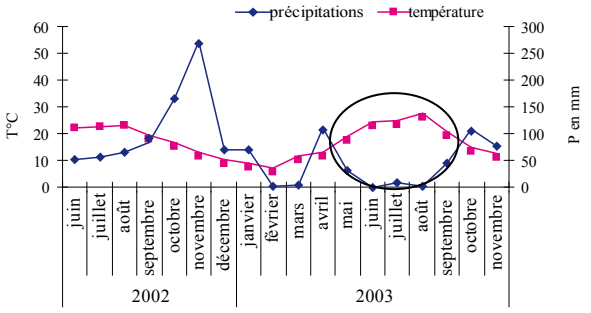



**Fig. 1** - Diagramme ombrothermique, site de Sophia-Antipolis (données Météo France) / ovale noir = période de sécheresse.

Après exposition, les ossements ont été triés, pesés et décomptés selon les critères retenus initialement. L'observation des surfaces (fissuration) a également été effectuée pour permettre une comparaison avec les données issues des travaux sur le *weathering* des os non brûlés (Behrensmeyer, 1978). Afin d'évaluer le degré de fragmentation du matériel expérimental, un indice a été calculé, qui consiste à diviser le nombre de restes (NR) post-exposition par le NR anté-exposition. Lorsque la valeur est égale à 1, la fragmentation est nulle ; plus la valeur est élevée, plus la fragmentation est importante.

Enfin, l'outil statistique a été utilisé pour définir si les différences observées entre les séries étaient significatives ou non. La présence de valeurs trop faibles (inférieures à cinq) dans les tableaux de contingences rend impossible l'application d'un Chi-deux (Everitt, 1996) ; de même, les valeurs trop importantes pour certaines catégories ne permettent pas l'application du Test Exact de Fisher (F) tel quel, c'est pourquoi un Monté-Carlo a d'abord été mis en œuvre. Ce dernier établit un échantillonnage aléatoire permettant alors l'application du Test Exact de Fisher, grâce auquel l'homogénéité des données peut être testée (Everitt, 1996). Les valeurs ajustées pour chaque cellule du tableau de contingence sont observées, celles dont les valeurs sont supérieures à deux sont significativement différentes (pour $P < 0,05$) d'après le Test Exact de Fisher.

## Résultats

Les résultats sont présentés selon trois critères d'analyse : l'état des surfaces, la fragmentation du matériel et la masse osseuse. Pour les deux derniers, l'influence du tissu osseux, de l'intensité de combustion et de l'intensité de la fragmentation est prise en compte afin d'expliquer l'évolution des séries expérimentales avant et après exposition aux agents atmosphériques.

### *Fissuration des surfaces*

L'action des agents atmosphériques (en relation avec le climat *s.l.*) sur les ossements, plus connu sous le terme de *weathering*, que l'on pourrait traduire par 'intempérisation', a été définie par A.K. Behrensmeyer comme : « *the process by which the original microscopic organic and inorganic components of a bone are separated from each other and destroyed by physical and chemical agents operating on the bone in situ, either on the surface or within the soil zone* » [1] (Behrensmeyer, 1978, 153). Autrement dit, ce processus est la réponse structurelle des éléments squelettiques à un ensemble d'actions complexes régies par le climat, impliquant aussi bien une exposition au vent, soleil, pluie, neige, etc. que des phénomènes interactifs avec le contexte sédimentaire local (Lyman & Fox, 1989).

Cette réponse est principalement illustrée par les fissurations, desquamations et autres craquelures de la surface osseuse, qui progressivement aboutissent à une altération et une destruction quasi totale des ossements (six stades d'altération ont été donnés par Behrensemeyer, *op.cit.*, en contexte tropical). Ce critère d'observation s'avère cependant inopérant dans le cas des os brûlés, car les surfaces osseuses se fissurent lors de la combustion (Shipman *et al* , 1984 ; Fernandez Jalvo & Perales Piquer, 1990 ; Stiner *et al*., 1995 ; Taylor *et al*., 1995 ; Hanson & Cain, 2007). Il devient alors impossible de distinguer macroscopiquement les fissurations qui sont dues à la combustion de celles résultant d'une exposition aux agents atmosphériques. Ce critère n'est pas utilisable pour apprécier l'intensité de météorisation des ossements brûlés.

### *La fragmentation*

Lors du décompte avant exposition, les extrémités complètes n'ont pas été intégrées à une classe de taille. La longueur maximale de ces pièces est donnée par la largeur des extrémités articulaires, qui ne dépasse jamais 14 cm. C'est pourquoi, afin d'harmoniser les données à comparer, ces dernières ont été insérées dans la catégorie 12-14 cm.

Le morcellement des résidus osseux brûlés est mis en évidence par l'indice de fragmentation (tab. 2), qui est supérieur à 1 pour l'ensemble des séries expérimentales. Toutefois, l'humérus entier présente l'indice le plus faible. Cette différence s'explique lorsque les dimensions des fragments sont considérées. Ainsi, les classes de taille les plus petites sont celles qui augmentent le plus, notamment la catégorie 1-2 cm (fig. 2), alors que, pour l'humérus complet, le nombre de restes compris dans cette catégorie diminue après exposition. Néanmoins, la réduction de taille des os brûlés concerne toutes les séries, et le morcellement des os brûlés de grande dimension est important ; en effet, l'effectif des classes de taille comprises entre 6 et 12 cm connaît un faible accroissement (fig. 2). Cette tendance est générale pour l'ensemble des séries, puisque aucune différence significative n'est observée pour les restes supérieurs à 7 cm (tab. 3). Par contre, pour les résidus osseux de plus petite dimension, les séries ne réagissent pas de la même manière, une non homogénéité étant remarquée, surtout pour les séries concernant les extrémités, complètes comme fracturées.

| Série expérimentale | Indice de fragmentation |
|---|---|
| Extrémité proximale complète | 2,33 |
| Extrémité proximale fracturée | 2,52 |
| Extrémité distale complète | 2,01 |
| Extrémité distale fracturée | 2, 07 |
| Humérus entier | 1, 04 |

**Tab. 2** - Indice de fragmentation par série expérimentale.

[1] - La météorisation peut se définir comme le processus par lequel les matières organiques osseuses et non organiques sont séparées les unes des autres et détruites par des agents physiques et chimiques qui opèrent *in situ*, soit sur la surface soit dans le sol.

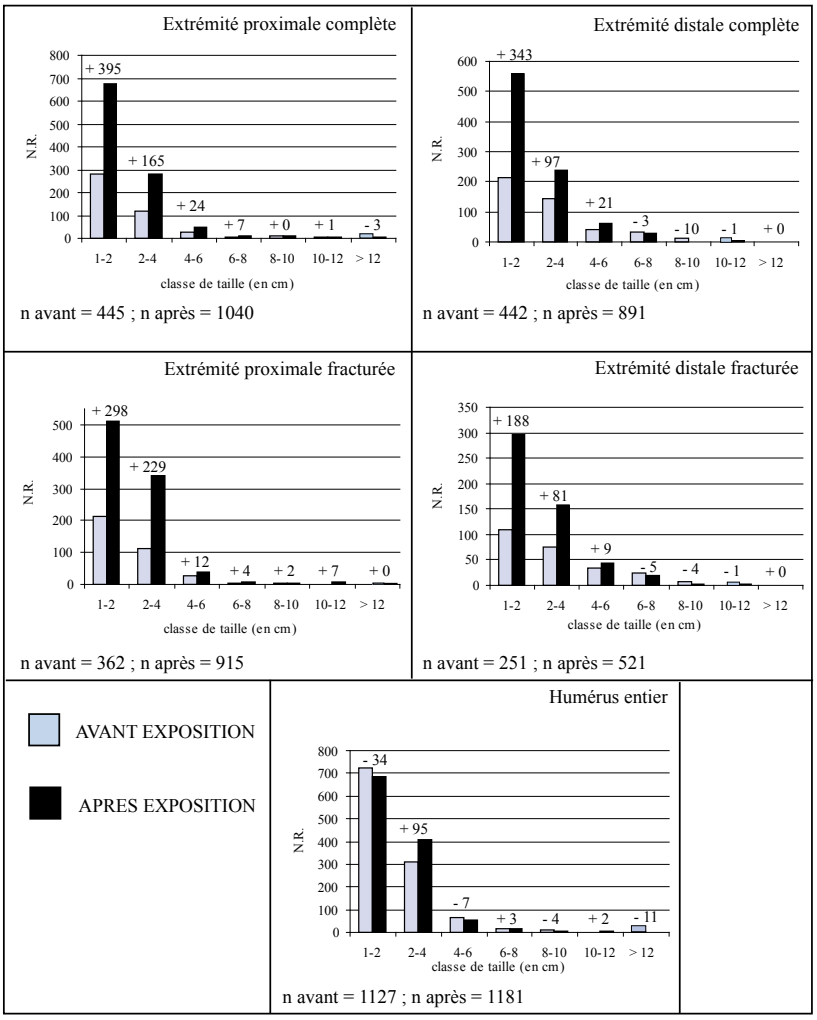



**Fig. 2** - Fragmentation des résidus osseux avant et après exposition. N.R. : Nombre de Restes. Le chiffre sur le graphique indique la différence de nombre de restes après/avant exposition.

Par ailleurs, une fragmentation de tous les types de tissus osseux est constatée de manière générale. Ce morcellement apparaît important pour le tissu compact et le tissu compact avec du spongieux, à l'exception de l'humérus entier pour le second cas (fig. 3). La fragmentation est en revanche moindre pour le tissu spongieux, les séries « extrémités distales » et « humérus entier » présentant une perte. Cette disparition s'explique par la fragilité du tissu spongieux brûlé, qui a tendance à s'effriter en une « poussière d'os brûlé », observation réalisée lors de la manipulation des os au moment de leur étude (Gerbe, 2004). Les dissemblances relevées entre les séries sont évidentes lorsque les données sont confrontées entre elles puisque une grande non homogénéité est indiquée par les valeurs, qui présentent quasiment toutes des différences significatives (tab. 4).

Enfin, l'intensité de combustion influe sur la fragmentation, les os calcinés étant soumis à un fort morcellement (fig. 4). Sont considérés comme calcinés, les fragments de couleur blanche et grise, et comme carbonisés, ceux de couleur noire et marron. Pour une projection des effectifs en fonction des classes de taille, les grandeurs représentées varient fortement. C'est pourquoi l'échelle logarithmique a été préférée à l'échelle linéaire, cette dernière n'étant pas adaptée pour la représentation des petites quantités, dont les variations sont alors indiscernables.

La distribution des fragments en fonction des classes de taille et du degré de combustion met en avant la prépondérance des os calcinés après exposition. Ils sont les seuls présents dans les classes de taille supérieures à 5 cm, sauf pour les séries « extrémités proximales » pour lesquelles une petite quantité de fragments carbonisés sont décomptés. Dans tous les cas, la quantité de fragments calcinés diminue pour les classes de taille les plus grandes, surtout pour les séries « extrémités distales » et « humérus entier », et augmente pour les catégories comprenant les fragments de petite dimension (fig. 4). Cette tendance correspond à la distribution qui était observée précédemment dans la figure 2. Concernant les os carbonisés, la tendance générale est plutôt à une disparition de ces derniers, leurs effectifs n'augmentant le plus souvent que pour les classes de taille 1-2 et 2-3 cm (fig. 4). Dans tous les cas, proportionnellement aux os calcinés, la quantité d'os carbonisés est moindre après exposition. A nouveau, une grande non homogénéité des données est constatée (tab. 5), en raison des variations dans la distribution des restes carbonisés et calcinés au sein de chaque série.

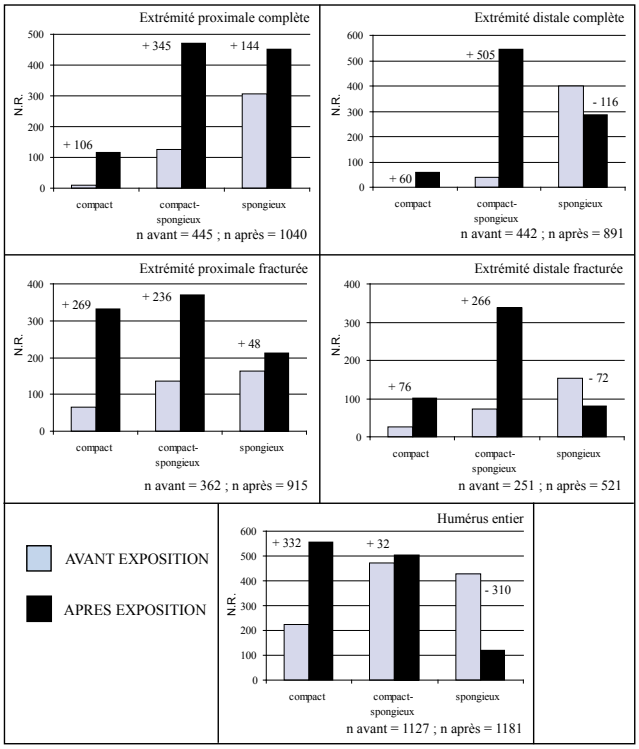



**Fig. 3** - Répartition des os brûlés en fonction du tissu osseux. N.R. = Nombre de Restes. Le chiffre sur le graphique indique la différence de nombre de restes après/avant exposition.



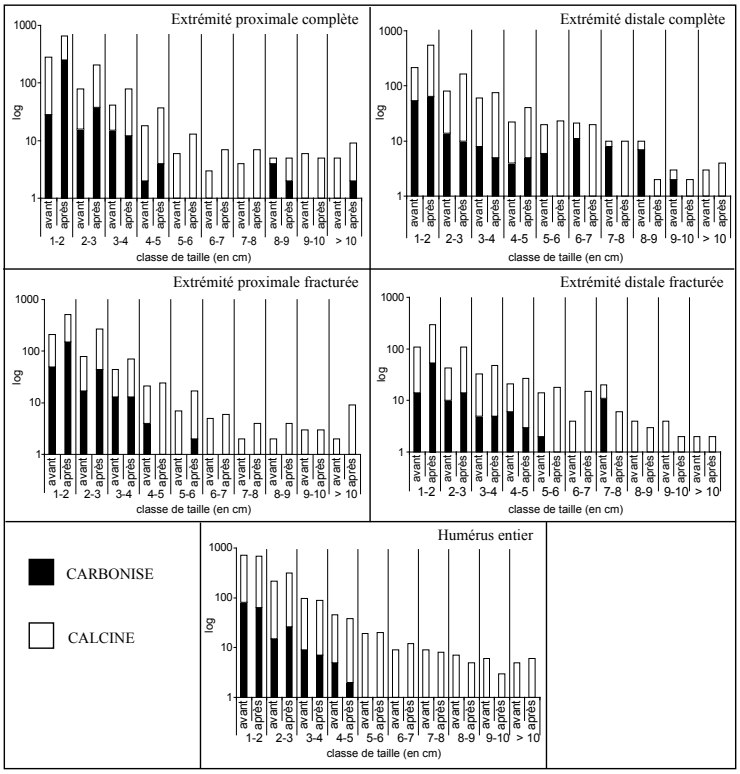



**Fig. 4** - Distribution des os brûlés en fonction de leur intensité de combustion et des classes de taille. log = échelle logarithmique ; calciné = blanc et gris ; carbonisé = noir et marron ; les os non brûlés sont exclus des décomptes.

| Classe taille (en cm) | | ext. px. co | ext. px. fr | ext. ds. co | ext. ds. fr | hum. entier |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1-2 | décompte | 678 | 512 | 557 | 297 | 688 |
| | valeur ajustée | **3.8** | **2.8** | 1.7 | 1.5 | 1.5 |
| 2-3 | décompte | 204 | 270 | 164 | 109 | 318 |
| | valeur ajustée | **3.3** | **4.9** | **3.9** | 1.4 | **3.3** |
| 3-4 | décompte | 78 | 71 | 75 | 48 | 88 |
| | valeur ajustée | 0.6 | 0.2 | 0.6 | 1.2 | 0.7 |
| 4-5 | décompte | 37 | 23 | 40 | 27 | 38 |
| | valeur ajustée | 0.1 | **2.0** | 1.5 | **2.0** | 0.9 |
| 5-6 | décompte | 12 | 17 | 22 | 17 | 19 |
| | valeur ajustée | **2.0** | 0.1 | 1.4 | **2.4** | 0.9 |
| 6-7 | décompte | 6 | 6 | 19 | 14 | 11 |
| | valeur ajustée | **2.2** | 1.8 | **2.7** | **3.2** | 1.1 |
| 7-8 | décompte | 6 | 3 | 9 | 5 | 7 |
| | valeur ajustée | 0.4 | 1.4 | 1.4 | 0.9 | 0.3 |
| 8-9 | décompte | 5 | 3 | 1 | 2 | 5 |
| | valeur ajustée | 0.8 | 0.1 | 1.3 | 0.1 | 0.5 |
| 9-10 | décompte | 5 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| | valeur ajustée | 1.8 | 0.2 | 0.9 | 0.2 | 0.6 |
| 10-11 | décompte | 5 | 4 | 1 | 1 | 2 |
| | valeur ajustée | 1.3 | 1.0 | 1.1 | 0.4 | 0.9 |
| 11-12 | décompte | 1 | 3 | 2 | 0 | 1 |
| | valeur ajustée | 0.5 | 1.5 | 0.6 | 1.0 | 0.7 |
| 12-13 | décompte | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| | valeur ajustée | 0.9 | 0.0 | 1.1 | 0.8 | 0.7 |
| 13-14 | décompte | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | valeur ajustée | 1.8 | 0.5 | 0.5 | 0.4 | 0.6 |

**Tab. 3** - Tableau de contingence de la répartition des fragments osseux par classe de taille et par série expérimentale, avec mention des valeurs ajustées. ext. : extrémité ; px. : proximale ; ds. : distale ; co. : complète ; fr. : fracturée ; hum. : humérus. En gras : valeurs significativement différentes.

| Classe taille (en cm) | | ext. px. co | ext. px. fr | ext. ds. co | ext. ds. fr | hum. entier |
|---|---|---|---|---|---|---|
| compact | décompte | 116 | 333 | 60 | 102 | 556 |
| | valeur ajustée | **12.2** | **8.3** | **14.4** | **3.4** | **19.6** |
| compact-sponieux | décompte | 472 | 371 | 546 | 338 | 505 |
| | valeur ajustée | **2.7** | **5.8** | **8.1** | **7.7** | **5.0** |
| spongieux | décompte | 452 | 211 | 285 | 81 | 120 |
| | valeur ajustée | **15.4** | 1.7 | **5.2** | **5.4** | **13.9** |

**Tab. 4** - Tableau de contingence de la répartition des fragments osseux par tissu histologique et par série expérimentale, avec mention des valeurs ajustées. ext. : extrémité ; px. : proximale ; ds. : distale ; co. : complète ; fr. : fracturée ; hum. : humérus. En gras : valeurs significativement différentes.

Au final, quelle que soit l'intensité de combustion, les résidus brûlés se morcellent. La taille des os carbonisés diminue systématiquement. En effet, ils sont majoritairement compris dans les plus petites classes de taille. Quant aux os calcinés, ils sont fragilisés par l'exposition aux intempéries, cette fragilité s'exprime par leur effritement, qui augmente leurs effectifs.

Toutefois, la prépondérance des os calcinés après exposition n'est pas perceptible pour tous les types de tissus osseux. Ainsi, à l'exception des os blancs de la série « extrémité distale complète », les fragments de tissu spongieux blancs ou gris décroissent systématiquement après exposition, ce qui n'est pas le cas des fragments de tissu compact et de tissu compact avec spongieux qui voient leurs effectifs augmenter (fig. 5).

| Classe taille (en cm) | | ext. px. co | ext. px. fr | ext. ds. co | ext. ds. fr | hum. entier |
|---|---|---|---|---|---|---|
| non brûlé | décompte | 18 | 0 | 4 | 0 | 1 |
| | valeur ajustée | **6.3** | **2.4** | 0.3 | 1.7 | **2.4** |
| marron | décompte | 98 | 127 | 66 | 44 | 62 |
| | valeur ajustée | 0.9 | **6.2** | 1.6 | 0.2 | **4.9** |
| noir | décompte | 214 | 82 | 19 | 102 | 37 |
| | valeur ajustée | **13.0** | 1.2 | **8.7** | **7.8** | **9.1** |
| gris | décompte | 295 | 334 | 318 | 98 | 350 |
| | valeur ajustée | 1.8 | **4.3** | **3.6** | **6.2** | 0.9 |
| blanc | décompte | 415 | 372 | 484 | 277 | 731 |
| | valeur ajustée | **7.5** | **6.4** | **2.8** | 1.5 | **9.4** |

**Tab. 5** - Tableau de contingence de la répartition des fragments osseux par intensité de combustion et par série expérimentale, avec mention des valeurs ajustées. ext. : extrémité ; px. : proximale ; ds. : distale ; co. : complète ; fr. : fracturée ; hum. : humérus. En gras : valeurs significativement différentes.

Au regard de ces constatations, il apparaît que les fragments d'os brûlés calcinés et spongieux sont ceux dont le potentiel de conservation est le plus faible après une exposition aux agents climatiques, durant un an et demi. On peut alors supposer que pour une durée d'exposition plus importante, les tendances générales seraient amplifiées et, qu'à terme, les résidus calcinés et spongieux seraient quasiment inexistant dans les effectifs.

### *Masse résiduelle après exposition*

La fragmentation et la disparition des résidus brûlés après exposition observées précédemment doivent également s'exprimer à travers la masse résiduelle des ossements. Afin d'aborder cette question, la répartition de la masse en fonction des classes de taille, de l'intensité de combustion et du tissu osseux a été examinée. Afin d'harmoniser les données, les extrémités entières avant exposition ont été intégrées avec les fragments de dimension supérieure à 12 cm, comme cela avait été fait pour la fragmentation.

Une réduction de la masse osseuse est constatée après exposition aux agents atmosphériques, pour toutes les séries expérimentales (tab. 6). Ce déficit est assez faible pour les extrémités utilisées entières (2 à 4 %) et plus élevé

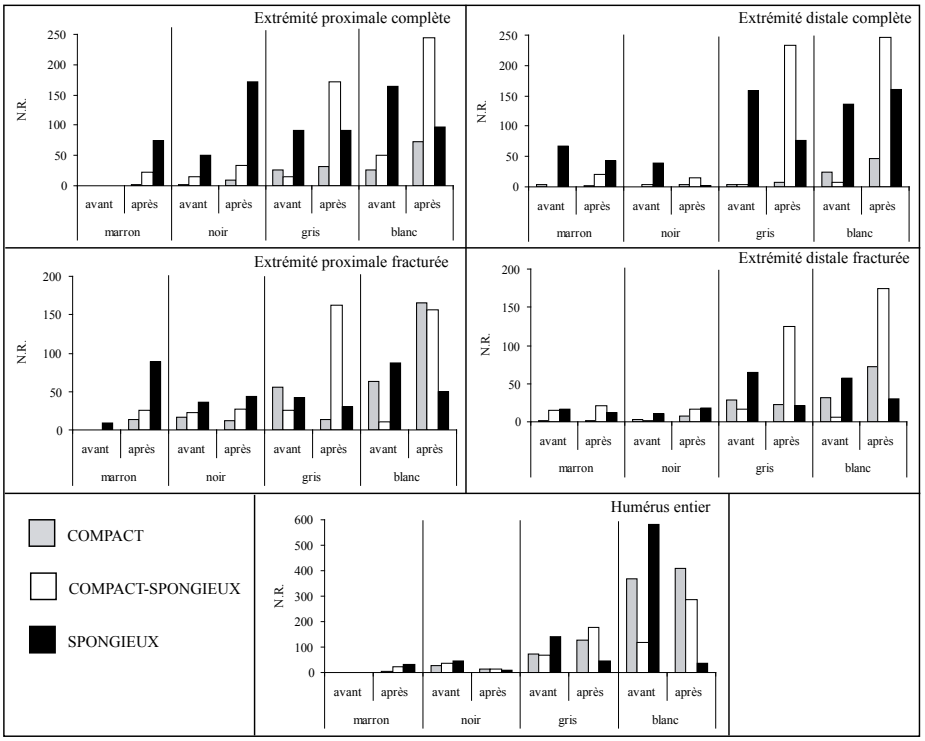



**Fig. 5** - Répartition des os brûlés en fonction de leur tissu et de l'intensité de combustion.
N.R. : Nombre de Restes.

| Série expérimentale | Avant exposition | Après exposition | Différence en gramme |
|---|---|---|---|
| Extrémité proximale complète | 2275 g | 2188 g | - 87 g |
| Extrémité proximale fracturée | 2117 g | 1840 g | - 277 g |
| Extrémité distale complète | 2093 g | 1929 g | - 164 g |
| Extrémité distale fracturée | 1889 g | 1560 g | - 329 g |
| Humérus entier | 3921 g | 3251 g | - 670 g |

**Tab. 6** - Comparaison de la masse osseuse avant et après exposition par série expérimentale.

(8 à 10 %) pour les extrémités préalablement fracturées, ainsi que pour l'humérus entier (10 %). Cette perte de poids s'explique notamment par la répartition des vestiges brûlés. En effet, l'augmentation du poids des classes de petite taille est due à la fragmentation des vestiges de dimension plus importante (*cf. supra*), notamment les extrémités restées entières avant l'exposition (fig. 6). Pour les séries concernant l'extrémité proximale et l'humérus entier, on note une nette réduction de masse pour la classe 12-14 cm et une augmentation de masse pour les autres classes. Pour les extrémités distales, on observe une réduction de masse jusqu'à 6 cm puis une augmentation pour les catégories inférieures. Au final, il apparaît que l'extrémité proximale des humérus participe plus à l'augmentation de la masse de toutes les classes de taille que l'extrémité distale.

Par ailleurs, l'hypothèse d'une fragilité accrue des os spongieux est confirmée puisque une diminution de la masse osseuse est enregistrée pour toutes les séries pour ce tissu osseux (fig. 7). La perte de poids la plus

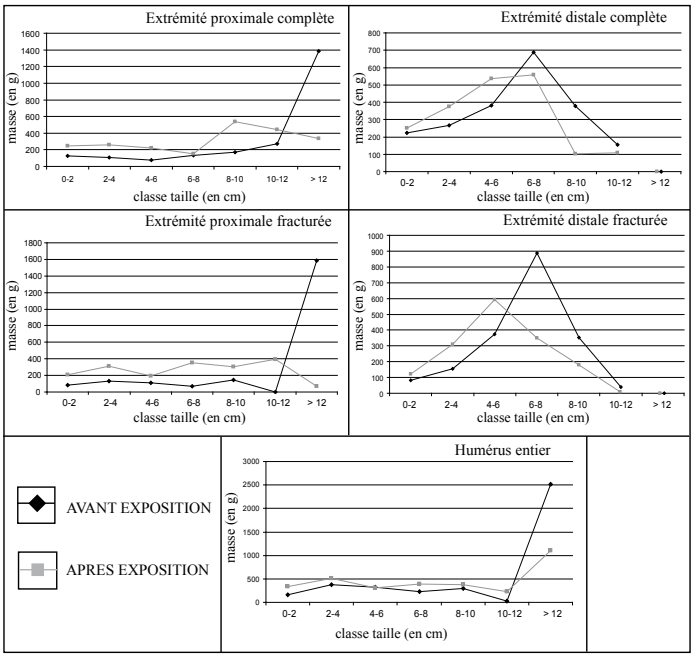



**Fig. 6** - Répartition de la masse osseuse en fonction des classes de taille.



www.palethnologie.org

importante concerne la série « humérus entier ». Pour les résidus osseux compact et compact avec spongieux, la distribution des restes est semblable à celle observée pour la répartition des fragments en nombre de restes. Ainsi, le poids des os brûlés augmente pour ces deux tissus, et surtout pour le compact avec spongieux (fig. 7).

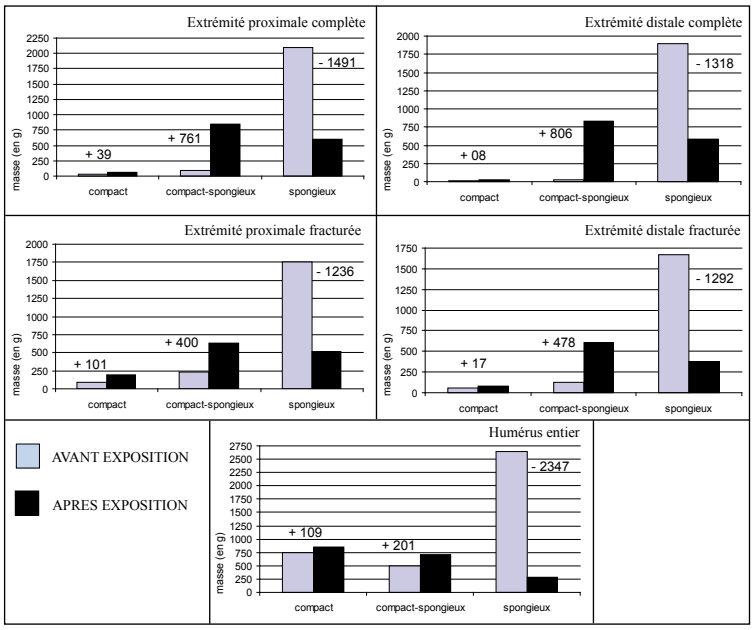



**Fig. 7** - Répartition de la masse osseuse en fonction du tissu osseux. Le chiffre sur le graphique indique la différence de poids (en gramme) après/avant exposition.

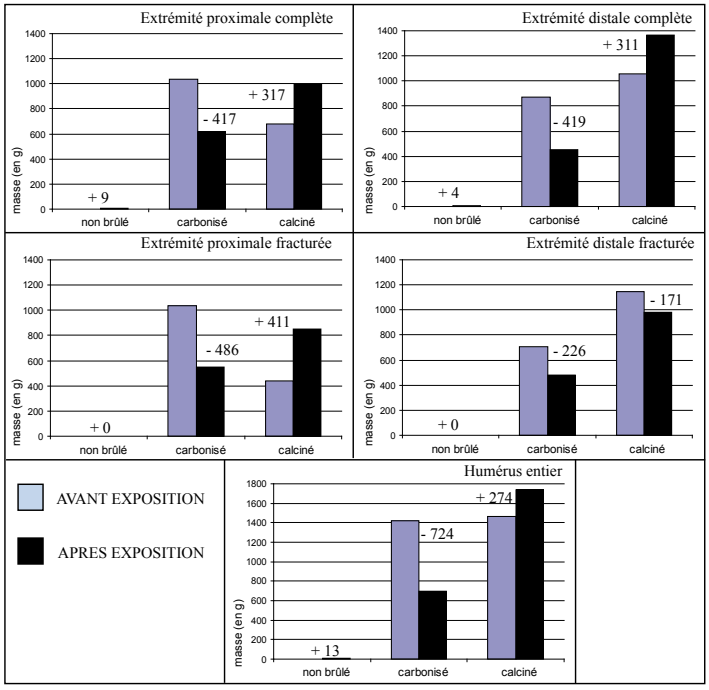



**Fig. 8** - Répartition de la masse osseuse en fonction de l'intensité de combustion. Le chiffre sur le graphique indique la différence de poids (en gramme) après/avant exposition.

Concernant l'intensité de combustion, une perte systématique de masse est constatée pour les os carbonisés, qui serait à mettre en relation avec l'absence de fragments carbonisés dans les classes de grandes dimensions après exposition (*cf. supra* et fig. 4) et le morcellement des extrémités restées entières après combustion. Par contre, pour les os calcinés, la tendance est inverse puisqu'une augmentation de poids est constatée, sauf pour la série « extrémité distale fracturée » (fig. 8). Ainsi, le morcellement des os brûlés en fonction de leur intensité de combustion a deux conséquences opposées. D'une part le morcellement des résidus carbonisés a pour effet de diminuer leur masse, d'autre part la fragmentation des os calcinés a pour effet de l'accroître. Cette augmentation de masse des os calcinés est difficile à expliquer dans l'état actuel des connaissances. Enfin, les fragments osseux « non brûlés » ne sont présents qu'après exposition et uniquement pour les séries « extrémités complètes » et « humérus entier », pour lesquelles la combustion n'a pas atteint le cœur des extrémités (Gerbe, 2004).

## Conclusions

Des différences ont pu être observées entre chaque série expérimentale. Les disparités qui existent entre extrémités proximales et distales s'expliquent par la différence de densité de la *spongiosa*, celle-ci étant plus importante dans l'extrémité distale de l'humérus (Lyman, 1994). Par ailleurs, la série expérimentale « humérus entier » diffère toujours des autres. Peut être que cette singularité est à mettre en relation avec la présence de diaphyse (*i.e.* os compact). Pour le moment, l'absence de corpus

expérimental uniquement constitué de fragments diaphysaires ne permet pas d'appréhender cette dissemblance. Ainsi, une meilleure caractérisation des différences de réactivité entre tissus compact et spongieux est nécessaire et sera envisageable avec l'étude d'autres expériences d'exposition d'os brûlés aux agents atmosphériques, actuellement en cours, (Gavarnie, Hautes-Pyrénées, resp. S. Costamagno ; Marvejols, Lozère, resp. M. Gerbe).

Malgré tout, des tendances générales se dessinent pour l'ensemble des séries et permettent de mettre en exergue l'influence du *weathering* sur la conservation différentielle des ossements brûlés. Si la combustion des os entraîne un morcellement et une perte de masse osseuse, l'exposition aux agents atmosphérique accentue ces phénomènes. Ainsi, les os brûlés de petite dimension sont présents en plus grand nombre alors que ceux de grande dimension ont tendance à décroître.

Par ailleurs, il a été observé que les fragments calcinés et spongieux sont prépondérants après combustion (Costamagno *et al*., 2005). Après une exposition aux agents atmosphériques, les résidus brûlés de nature compacte avec spongieux sont proportionnellement plus nombreux que ceux de nature spongieuse, cette différence est à mettre en relation avec la moins bonne conservation du tissu spongieux après exposition. Par contre, les os calcinés sont toujours prépondérants, sauf lorsque la catégorie spongieuse est considérée pour ce degré de combustion. En effet, les effectifs des os spongieux et calcinés décroissent pour la majorité des séries expérimentales.

Rappelons que, dans le cadre de cette expérimentation, l'exposition des ossements est d'un an et demi. Si ces derniers avaient été exposés durant un laps de temps plus important, on peut supposer que les altérations et destructions observées seraient accentuées et, à terme, les os calcinés seraient voués à disparaître, comme les os spongieux. Sur la base de ces constatations, le postulat d'une conservation préférentielle des os brûlés compacts et carbonisés peut être avancé pour les sites archéologiques dans lesquels l'action du *weathering* est attestée.

Au vu des expérimentations actuellement réalisées, la quantité importante d'os brûlés majoritairement inférieurs à 2 cm observée dans les séries archéologiques (Villa *et al*., 2002 ; Costamagno *et al*., 2009) peut provenir de la combustion même (Théry-Parisot *et al.*, 2004, 2005 ; Mentzer, 2009) et/ou de l'impact du *weathering* et/ou du piétinement (Stiner *et al*., 1995 ; Thiébaut *et al*., sous presse).

Enfin, dans certaines séries archéologiques pour lesquelles une utilisation de l'os comme combustible est avancée, l'hypothèse selon laquelle la rareté des restes calcinés serait liée à un biais taphonomique (Théry-Parisot *et al*., 2004, 2005 ; Costamagno *et al*., 2005), est en partie étayée par la présente étude. En effet, si les effectifs d'os calcinés restent prépondérants pour cette expérimentation sur l'impact du *weathering*, l'hypothèse d'une perte des résidus calcinés pour une durée d'exposition plus longue ne peut être ignorée, les os calcinés continuant à se morceler, cette fragmentation entraînant leur disparition à terme.

Par ailleurs, les fragments spongieux brûlés disparaissant plus rapidement que les fragments de diaphyse, un *weathering* intense peut donc masquer le critère principalement utilisé pour la caractérisation d'une utilisation de l'os comme combustible, à savoir la sur-représentation des portions spongieuses brûlées sur les fragments d'os compact (Costamagno *et al*., 2009). La prise en compte des atteintes taphonomiques subies par le matériel archéologique et de leur intensité est donc primordiale pour la formulation des hypothèses sur l'origine des ossements brûlés.

Ainsi, afin d'expliquer la diversité qui existe au sein des différentes séries archéologiques, il est nécessaire de poursuivre les expériences mettant en jeu d'autres agents taphonomiques.

## Remerciements

Sincères remerciements à l'APN-ACI « *Économie des combustibles au Paléolithique. Approches expérimentales et applications archéologiques* » (resp. I. Théry-Parisot)

qui a mis à notre disposition le matériel expérimental ; ainsi qu'à J.-Ph. Brugal et surtout S. Costamagno pour leurs conseils et relectures ; et enfin à H. Burnet et M. Zaepffel pour leur aide concernant les statistiques.

## Auteur

### Magali Gerbe

LAMPEA-UMR 6636
5, rue du château de l'Horloge
BP 647 - 13094 Aix-en-Provence cedex 2
gerbemagali@yahoo.fr

## Références

**Behrensmeyer A.K.** 1978 - Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4 : 150-162.

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

**Brain C.K.** 1993 - The occurence of burnt bones at Swartkrans and their implications for the control of fire by early hominids. *In* : *Swartkrans - a cave's chronicle of early man*, Brain C.K. (ed.). Pretoria, Transvaal museum : 229-242.

**Brain C.K. & Sillen A.** 1988 - Evidence from the Swartkrans cave for the earliest use of fire. *Nature*, 336 : 464-466.

**Buikstra J.E. & Swegle M.** 1989 - Bone modification due to burning : experimental evidence. *In* : *Bone modification*, Bonnichsen R. & Sorg M.H. (eds). Peopling of the americas publications, Orono, center for the study of first americans, university of Maine : 247-258.

**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.** 1999 - *Comportements de subsistance au Solutréen et au Badegoulien d'après les faunes de Combe-Saunière (Dordogne) et du Cuzoul de Vers (Lot)*. Thèse de Doctorat, Bordeaux I, 619 pp.

**Costamagno S.** 1999 - *Stratégies de chasse et fonction des sites au Magdalénien dans le Sud de la France*. Thèse de Doctorat, Bordeaux I, 495 pp.

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

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

**Costamagno S., Théry-Parisot I., Castel J.-C. & Brugal J.-P.** 2009 - Combustible ou non ? Analyse multifactorielle et modèles explicatifs sur des ossements brûlés paléolithiques. *In* : *Gestion des combustibles et statut des sites au Paléolithique et au Mésolithique*, Théry-Parisot I., Costamagno S. & Henry A. (eds). Oxford, BAR international series : 47-60.

**David B.** 1990 - How was this bone burnt ? *In* : *Problem solving in taphonomy : archaeological and paleontological studies from Europe, Africa and Oceania*, Davidson I. & Watson D. (eds.). St Lucia, Queensland, Tempus anthropology museum : 65-79.

**Everitt B.S.** 1992 (2° édition) - *The analysis of contingency tables*. Boca Raton (Floride), Chapman et Hall/CRC, 164 pp.

**Fernandez Jalvo Y. & Perales Piquer C.** 1990 - Analisis macroscopico du huesos quemados experimentalmente. *Reunion de tafonomia y focilisacion* : 105-114.

**Franchet L.** 1933 - *La coloration des os dans le sol. Le bouillage des cadavres au Moyen-Age. L'incinération et ses phénomènes*. Paris, la revue politique et littéraire et la revue scientifique, 77 pp.

**Gerbe M.** 2004 - *Etude taphonomique d'ossements brûlés*. Mémoire de D.E.A., Université de Provence, 109 pp.

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

**Grupe G. & Hummel S.** 1991 - Trace element studies on experimentally cremated bone. I. Alteration of the chemical composition at high temperatures. *Journal of Archaeological Science*, 18 : 177-186.

**Guillon F.** 1986 - Brûlés frais ou brûlés secs ? *In* : *Anthropologie physique et archéologie*, Duday H. & Masset C. (eds). Actes du Colloque de Toulouse, novembre 1982. Paris, CNRS : 191-194.

**Hanson M. & Cain C.R.** 2007 - Examining histology to identify burned bone. *Journal of Archaeological Science*, 34 : 1902-1913.

**Herrmann B.** 1977 - On histological investigations of cremated human remains. *Journal of human evolution*, 6 : 101-103.

**Joly D. & March R.** 2003 - Etude des ossements brûlés : essai de corrélation de méthodes pour la détermination des températures. *In* : *Le feu domestique et ses structures au Néolithique et aux Ages des métaux*, Frère-Sautot M.-C. (eds). Actes du colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune : 299-310.

**Laroulandie V.** 2001 - Les traces liées à la boucherie, à la cuisson et à la consommation d'oiseaux. Apport de l'expérimentation. *In* : *Préhistoire et approche expérimentale*, Bourguignon L., Ortega I. & Frère-Sautot C. (eds). Montagnac, Monique Mergoil : 97-108.

**Lyman R.L.** 1994 - *Vertebrate taphonomy*. Cambridge manuals in archaeology, Cambridge, Cambridge University Press, 524 pp.

**Lyman R.L. & Fox G.L.** 1989 - A critical evaluation of bone weathering as an indication of bone assemblage formation. *Journal of archaeological Science*, 16 : 293-317.

**Mentzer S.M.** 2009 - Bone as fuel source : the effects of initial fragment size distribution. *In* : *Gestion des combustibles et statut des sites au Paléolithique et au Mésolithique*, I. Théry-Parisot, S. Costamagno & A. Henry (eds.). Oxford, BAR international series : 37-45.

**Nicholson R.A.** 1993 - A morphological investigation of burnt animal bone and an evaluation of its utility in archaeology. *Journal of archaeological Science*, 20 : 411-428.

**Pasto I.** 2003 - *Cremos* : l'action du feu sur les restes osseux des archéologiques. *In* : *Le feu domestique et ses structures au Néolithique et aux Ages des métaux*, Frère-Sautot M.-C. (ed.). Actes du colloque de Bour-en-Bresse et Beaune : 261-266.

**Perinet G.** 1982 - Détermination des températures de cuisson des ossements humains. *Histoire et archéologie, les dossiers*, 66 : 96-97.

**Shahack-Gross R., Bar-Yosef O. & Weiner S.** 1997 - Black-coloured bones in Hayonim cave, Isarel : differentiating between burning and oxide staining. *Journal of archaeological Science*, 24 : 439-446.

**Shipman P., Foster G. & Schoeninger M.J.** 1984 - Burnt bones and teeth : an experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage. *Journal of archaeological Science*, 11 : 307-325.

**Sillen A. & Hoering T.** 1993 - Chemical characterization of burnt bones from Swartkrans. *In* : *Swartkrans : a cave's chronicle of early man*, Brain C.K. (ed). Pretoria, Transvaal museum : 243-249.

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

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

**Susini A.** 1988 - *Etudes des caractéristiques biophysiques des tissus calcifiés humains (os, émail, dentine) soumis à des*

*traitements thermiques. Applications anthropologiques et médicales*. Université de Genève, thèse n°2320 pp.

**Taylor R.E., Hare P.E. & White T.D.** 1995 - Geochemical criteria for thermal alteration of bone. *Journal of archaeological Science*, 22 : 115-119.

**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., Brugal J.-P., Fosse P. & Guilbert R.** 2005 - The use of bone as fuel during the Paleolithic, experimental study of bone combustible properties. *In* : *The zooarchaeology of fats, oils, milk and dairying*, Mulville J. & Outram A.K. (eds). Actes du 9° colloque international de l'ICAZ, Durham, août 2002. Oxford, Oxbow books : 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.

**Thiébaut C., Costamagno S., Coumont M.-P., Mourre V., Provenzano N. & Théry-Parisot I.** sous presse - Approche expérimentale des conséquences du piétinement des grands herbivores sur les vestiges lithiques et osseux. *Supplément à Paleo.*

**Trellisó Carreño L.** 2001 - La acción del fuego sobre el cuerpo humano : la antropología física y el análisis de las cremaciones antiguas. *Cypsela*, 13 : 87-98.

**Vigne J.-D.** 1983 - *Les mammifères terrestres non volants du Post-glaciaire de Corse et leurs rapports avec l'homme : étude paléo-ethno-zoologique fondée sur les ossements*. Thèse de 3ème Cycle de Paléontologie des Vertébrés, Université Pierre et Marie Curie, 501 pp.

**Vigne J.-D., Marinval-Vigne M.-C., Lanfranchi (de) F. & Weiss M.C.** 1981 - Consommation du « lapin-rat » (*Prolagus sardus* Wagner) au Néolithique ancien méditerranéen Abri d'Araguina-Sennola (Bonifaccio, Corse). *Bulletin de la Société préhistorique française*, 78 : 222-224.

**Villa P., Bon F. & Castel J.-C.** 2002 - Fuel, fire, and fireplaces in the Paleolithic of Western Europe. *The review of archaeology*, 23 : 33-42.

**Walters J.** 1988 - Fire and bones : patterns of discard. *In* : *Archaeology with ethnography : an australian perspective*, Meehan B. & Jones R. (eds). Canberra, Australian National University : 215-221.

## Pour citer cet article

**Gerbe M**. 2010 - L'action des agents atmosphériques (*weathering*) sur des ossements brûlés : approche expérimentale. *In* : Taphononomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique, Théry-Parisot I., Chabal L. & Costamagno S. (eds). Actes de la table ronde, Valbonne, 27-29 mai 2008. *P@lethnologie*, 2 : 182-201.

P@LETHNOLOGIE

*Revue bilingue de Préhistoire*