

# Dans le foyer ou sous le foyer ? Vers une caractérisation macroscopique des ossements indirectement thermo-altérés

Alison SMOLDEREN & Elodie-Laure JIMENEZ

## 1. Introduction

Au centre de très nombreuses études depuis les années 80, les os brûlés apparaissent aujourd'hui comme des témoins essentiels à l'identification et à la caractérisation des activités liées au feu en contexte paléolithique (Shipman *et al.*, 1984 ; Gilchrist & Mytum, 1986 ; Brain & Sillen, 1988 ; Buikstra & Swegle, 1989 ; David, 1990 ; Nicholson, 1993 ; Brain, 1993 ; Stiner *et al.*, 1995 ; Shahack-Gross *et al.*, 1997 ; Bennett, 1999 ; Théry & Costamagno, 2005 ; Cain, 2005 ; Hanson & Cain, 2007 ; Asmussen, 2009 ; Reiche, 2010 ; Lebon, 2010 ; Gerbe, 2010 ; Rillardon & Bracco, 2010, etc.). Combustibles, restes de repas cuits sur le foyer ou simples déchets jetés au feu, les ossements fauniques brûlés ont le potentiel d'éclairer de multiples facettes des activités de combustion. Afin de reconstituer ces différents comportements, plusieurs auteurs ont mis en place des modèles interprétatifs fondés sur la quantification de critères tels que le taux de fracturation, l'emplacement de la thermo-altération sur les ossements, la proportion d'os spongieux brûlés ou encore les types d'éléments squelettiques impactés (Binford & Stone, 1986 ; Costamagno *et al.*, 2009 ; Bosch *et al.*, 2012 ; Rosell *et al.*, 2012 ; Hérison, 2012).

Quel que soit le modèle adopté, une série de questions préliminaires doivent néanmoins être résolues avant de pouvoir aborder les modalités techniques et fonctionnelles des activités liées au feu : la combustion est-elle d'origine anthropique ou naturelle ? Les témoins ont-ils été mis au feu intentionnellement ou accidentellement ? De multiples approches ont été développées afin de répondre à ces questions qui constituent une étape incontournable pour l'interprétation des vestiges brûlés, qu'il s'agisse de témoins lithiques, osseux ou de charbons (Barbetti, 1986 ; James, 1989 ; Bellomo, 1993 ; Weiner *et al.*, 2000 ; Preece *et al.*, 2006 ; Goldberg & Sherwood, 2006 ; Costamagno *et al.*, 2009 ; Alperson-Afil, 2012 ; Berna *et al.*, 2012). Mais une troisième problématique, moins manifeste et moins fréquemment abordée dans la littérature, apparaît tout aussi cruciale pour l'interprétation des ensembles osseux brûlés : les ossements ont-ils été thermo-altérés au contact direct ou indirect du feu ?

## 2. Problématique et portée de l'étude

### 2.1. Contexte de l'étude

Plusieurs études ont montré que l'irradiation thermique provenant d'un feu peut provoquer l'altération d'ossements enterrés sous le foyer (Stiner *et al.*, 1995 ; Bennett, 1999 ; Lyman, 2001 : 384 ; Asmussen, 2009). Appartenant à des niveaux sous-jacents, ces restes osseux indirectement thermo-altérés correspondent donc à des « dégâts collatéraux » qui n'ont rien à voir avec les modalités de fonctionnement du foyer. Il est par conséquent important d'identifier et d'isoler ces ossements qui peuvent fausser l'interprétation de l'assemblage brûlé étudié. Dans le cas de niveaux en place bien documentés, la distinction

entre les vestiges brûlés dans le feu et les témoins sous-jacents indirectement thermo-altérés peut s'appuyer sur la position des os brûlés par rapport au(x) foyer(s). Mais en l'absence de données spatiales fiables – par exemple dans le cas de niveaux archéologiques perturbés ou de fouilles anciennes mal documentées – seule l'analyse des témoins brûlés eux-mêmes est susceptible d'apporter des éléments de réponse. Comme souvent en archéologie du feu, l'expérimentation apparaît comme le point de départ idéal pour mettre en place une méthode d'identification adaptée.

Deux études expérimentales, menées dans les années 90, ciblent spécifiquement les ossements enterrés sous un foyer. Dans la première, réalisée par Stiner *et al.* (1995), des foyers sont allumés sur une base sédimentaire dans laquelle des ossements frais sont enterrés à différentes profondeurs : 5, 10 et 15 cm sous le niveau du foyer. Chaque combustion est alimentée avec 6 kg de bois local (bois dur méditerranéen). Une fois allumé, le feu n'est pas entretenu et s'éteint naturellement. La durée de la combustion n'est pas indiquée, les auteurs mentionnent seulement que l'allumage est effectué dans la matinée et que le feu s'éteint en début de soirée au plus tard. Les combustions s'étendent donc sur plusieurs heures, mais leur intensité décroît vraisemblablement après une ou deux heures environ en l'absence d'entretien.

Quelques années plus tard, Bennett publie une expérience conçue de façon similaire mais destinée à tester des paramètres supplémentaires : la nature des sédiments sous-jacents et l'état d'altération des ossements enterrés (Bennett, 1999). Deux foyers identiques sont installés, l'un sur des sédiments argilo-limoneux et l'autre sur un sable fin. Deux groupes d'ossements altérés sont testés. Le premier ensemble est constitué d'os modernes issus d'un ramassage de surface, présentant une météorisation relativement faible. Le second est constitué d'os archéologiques provenant de la fouille du gisement de Hayes (Tennessee), présentant une altération plus prononcée. Un fragment de chaque type est disposé à 2, 5, 10, 15, 20 et 25 cm sous chacun des foyers. Des fragments de chaque type sont également placés directement dans le foyer. La combustion est ensuite entretenue durant 48 heures et alimentée avec du bois de Cèdre. Des expériences de contrôle sont effectuées en four afin de préciser l'impact de la température et de la durée d'exposition sur les ossements dans des conditions contrôlées.

Les résultats de ces deux séries d'expériences sont contrastés même s'ils se rejoignent sur certains points. Stiner *et al.* observent que les os enterrés ne dépassent pas le stade de la carbonisation (coloration noire) alors que la majorité des fragments osseux placés directement dans le feu sont totalement calcinés (coloration blanche) en fin d'expérience (Stiner *et al.*, 1995 : 230). L'analyse effectuée par spectroscopie infra-rouge (FTIR) montre par ailleurs que, d'un point de vue minéralogique, l'altération subie par les os carbonisés sous le foyer est identique à l'altération subie par des ossements carbonisés au contact du feu. Les auteurs concluent par conséquent que la différence d'intensité de l'altération colorimétrique constitue la principale distinction entre une thermo-altération directe et indirecte. Les expériences menées par Bennett sur des combustions beaucoup plus longues révèlent cependant que, comme pour les ossements brûlés dans le foyer, l'intensité de l'altération colorimétrique des os enterrés augmente lorsque la durée de combustion se prolonge : en fin d'expérience certains ossements présentent en effet une coloration grise indiquant qu'ils sont en voie de calcination (Bennett, 1999 : 6). Bennett note par ailleurs que les os récents – initialement moins altérés – apparaissent avoir subi une altération thermique plus importante que les ossements archéologiques (Bennett, 1999 : 4).

## 2.2. Objectifs et cadre de l'étude

Au regard des résultats issus de études de Stiner *et al.* et Bennett, l'intensité de l'altération des ossements, seule, semble constituer un critère insuffisant pour déterminer si un os a

été directement ou indirectement exposé au feu. Une remarque ponctuelle de Bennett attire cependant l'attention. L'auteure relève une particularité qui semble spécifique aux os enterrés : une coloration « continue » (Bennett, 1999 : 7). Ses recherches portant surtout sur l'intensité de l'altération des ossements en relation avec les températures atteintes à différentes profondeurs, Bennett ne s'attarde pas sur cette observation. La possibilité de pouvoir identifier les ossements indirectement thermo-altérés sur la base de la répartition des altérations colorimétriques sur les ossements constitue cependant une piste particulièrement intéressante. C'est pourquoi nous avons décidé d'approfondir la question en incluant cette problématique dans un programme expérimental destiné à améliorer la caractérisation des ossements brûlés.

Initié dans le cadre d'une thèse de doctorat (Smolderen, 2016), ce programme vise à contribuer à l'interprétation des ensembles osseux brûlés en rassemblant une collection expérimentale de référence. Le projet, dans son ensemble, porte sur des ossements frais, secs, altérés, charnus et décharnés, brûlés dans différentes conditions durant des expériences contrôlées et répliquées. Une expérience conçue pour étudier l'altération des ossements enterrés sous un foyer a été menée en novembre 2014. Cette expérience « pilote » était essentiellement destinée à tester la validité du protocole. Elle a néanmoins livré des résultats intéressants que nous avons dès lors choisi de présenter ici, même si ceux-ci devront être vérifiés et approfondis lors d'expériences supplémentaires.

### 3. Méthode et matériel

L'expérience a été menée dans l'Archéoparc du Musée du Malgré-Tout à Treignes (Viroinval, BE) avec l'aide de membres du Cédarc.

#### 3.1. Protocole expérimental

##### 3.1.1. Matériel

Le matériel osseux utilisé pour l'expérience est composé de deux os longs de Pottok moderne (*Equus ferus caballus*) dont les restes ont été récoltés dans les Pyrénées en 2012. Il s'agit d'ossements secs présentant une météorisation moyenne : surface légèrement fibreuse et aspect rugueux, mais pas de fissures visibles à l'œil nu (stade 2/3 d'après Berhensmeyer, 1978). Les spécimens présentent la coloration blanc-crème typique des os non brûlés. Les deux os sont fragmentés à l'aide d'un percuteur et d'une enclume en quartz, puis répartis en trois lots équivalents de fragments de diaphyses comportant des portions corticales et des portions spongieuses (Fig. 1).

##### 3.1.2. Dispositif expérimental

Afin de simuler l'impact d'un foyer sur des ossements d'occupations antérieures, un cadre en bois de 64 cm x 64 cm est aménagé puis rempli de sédiments (Fig. 1). La matrice sédimentaire utilisée est constituée artificiellement de 50 % de sable de rivière et de 50 % d'argile. Le foyer est installé au sommet du cadre rempli de sédiments. Deux lots d'ossements sont disposés à 5 cm et à 10 cm de profondeur sous le foyer. Le troisième lot est destiné à être mis directement dans le feu au cours de la combustion.

##### 3.1.3. Déroulement de l'expérience

Le feu est alimenté de brindilles et de bûches de bois sec (Pin, Bouleau et Frêne). Dix minutes après l'allumage, le troisième lot d'ossements est mis au feu. La combustion est entretenue pendant 3 h 30. Nous laissons ensuite le feu s'éteindre naturellement pendant la nuit.

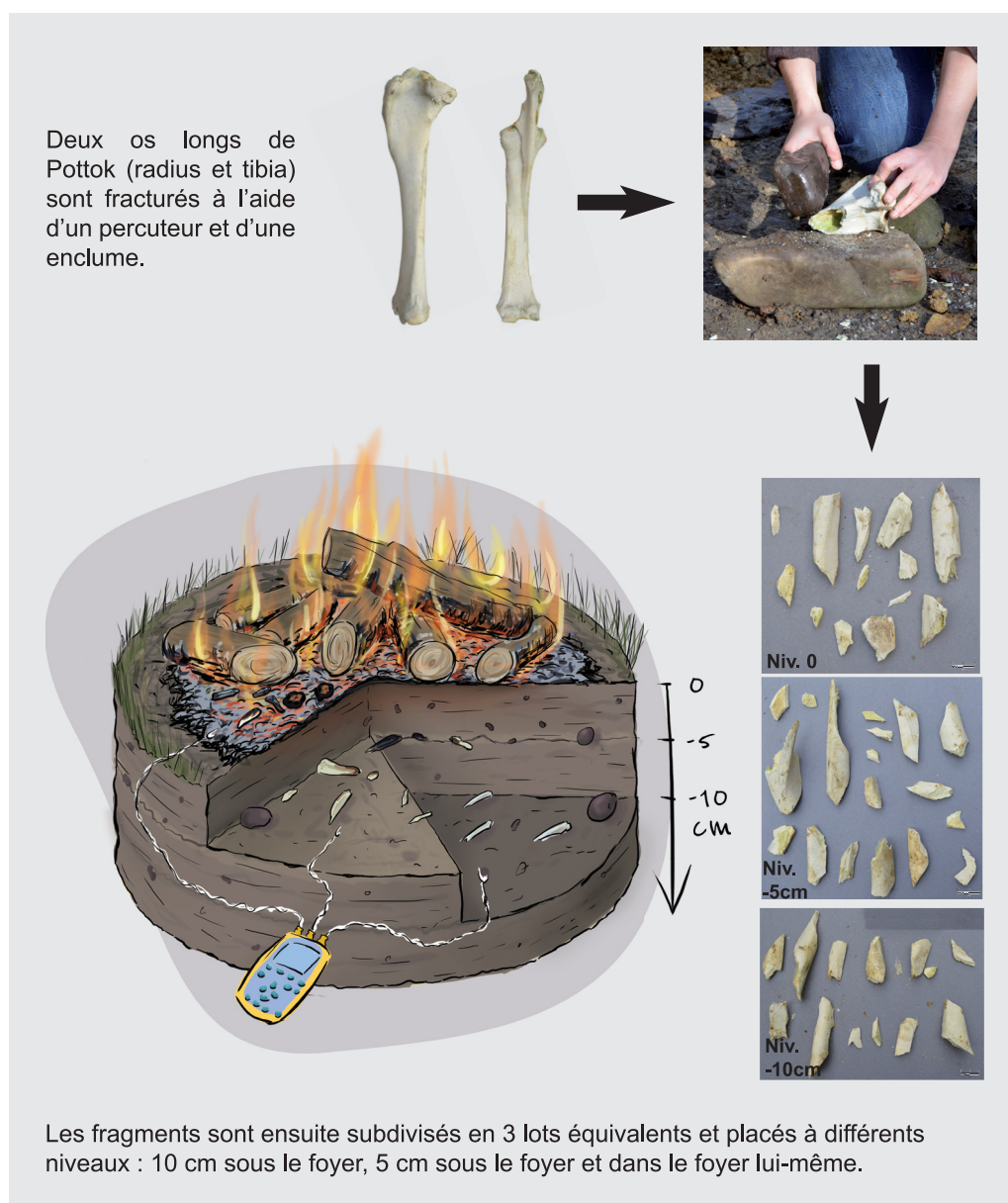


Fig. 1 – Dispositif expérimental.

Le lendemain, un peu plus de 16 h après la fin de l'alimentation en combustible, le carré de sédiment est « fouillé » niveau par niveau afin de récolter les ossements (Fig. 5). Les différents niveaux (niveau de surface, - 5 cm et - 10 cm) sont décrits et photographiés. La répartition des traces d'altération thermique observables sur les sédiments et/ou les ossements est relevée pour chaque niveau.

### 3.2. Analyse macroscopique des thermo-altérations

Nous avons ensuite procédé à une analyse macroscopique des traces de thermo-altération observables sur les différents lots d'ossements. La coloration, la morphologie et l'état de surface des ossements après la combustion ont été examinés et comparés à leur apparence initiale.

Les critères analytiques et la terminologie utilisés pour la description et l'analyse du matériel ont été définis dans le cadre d'une thèse de doctorat à partir de la collection expérimentale conservée au CEPAM à Nice (Smolderen, 2016). Les restes osseux brûlés composant ce référentiel sont le produit de plus de 30 combustions expérimentales menées par Théry-Parisot et Costamagno dans les années 2000 sur le thème des os brûlés et des

combustibles osseux (Théry-Parisot et al., 2004 ; Théry-Parisot & Costamagno, 2005 ; Théry-Parisot et al., 2005 ; Théry-Parisot et al., 2009 ; Costamagno et al., 2009, 2010).

Type	0	1	2	3	4
Description	non brûlé	en voie de carbonisation	carbonisé	en voie de calcination	calciné
Coloration	blanc-crème	différentes teintes d'orange et de brun	noir	différentes teintes de gris, parfois légèrement rosé ou beige	blanc

Tab. 1 – Système descriptif utilisé pour l'enregistrement de l'altération colorimétrique des ossements.

Pour les changements colorimétriques, un système descriptif subdivisé en cinq types, décrits dans le tableau 1, a été utilisé pour décrire l'intensité de l'altération. Le mode de répartition des couleurs sur les fragments a également été observé. Nous avons par ailleurs relevé la présence de différents types de fissures et de craquelures superficielles ainsi que diverses modifications texturales de la surface corticale des fragments osseux (Fig. 2). Enfin, nous avons porté une attention particulière aux schémas de fragmentation du matériel.

#### **Les types d'altérations morphologiques et texturales**

##### **Fissures :**

- longitudinales : parallèles à la fibre osseuse
- transversales : perpendiculaires à la fibre osseuse
- fissuration en damier : réseaux de fissures longitudinales et transversales formant un motif en damier
- fissures courbes : fissures suivant une délinéation curvilignes, souvent « empilées » l'une au dessus de l'autre

##### **Fragmentation :**

- diaphyse : forme globalement rectangulaire (suit les lignes de fissuration)
- épiphyse et os plats : formes irrégulières
- séparation os compact/os spongieux

##### **Altérations de la corticale :**

- patine écailleuse : craquelures très superficielles caractéristiques des épiphyses, les craquellements forment des « écailles » (cellules de formes irrégulières) qui se développent généralement sur des surfaces assez étendues
- délitement : des lamelles osseuses se détachent de la surface corticale de l'os en suivant, le plus souvent, les lignes de fissuration

##### **Altérations texturales :**

- os carbonisé (type 2) : résidus carbonisés et texture granuleuse
- os en voie de calcination (type 3) : texture poudreuse
- os calciné (type 4) : texture lisse ou « crayeuse »

Attention ! Si ces correspondances entre types d'altération colorimétriques et texturales sont fréquemment vérifiées sur le matériel expérimental et archéologique, elles ne sont néanmoins pas systématiques !

Fig. 2 – Les différents types d'altérations morphologiques et texturales des os brûlés.

## **4. Résultats de l'expérience « pilote »**

### **4.1. Les os brûlés dans le foyer**

#### **4.1.1. Altération colorimétrique**

L'altération colorimétrique des ossements disposés directement dans le feu s'effectue très rapidement. Comme le montrent les clichés pris au cours de l'expérience, un début de carbonisation est perceptible dès les premiers instants et les os sont complètement

noircis après seulement 10 minutes de combustion (Fig. 3). L'entretien du foyer a ensuite conduit au mélange des fragments osseux dans les cendres et les braises, rendant l'observation en cours de combustion impossible.



Fig. 3 – Les fragments osseux placés directement dans le foyer (niveau 0) en cours de combustion : état des os après 1 minute (à gauche) et après 10 minutes (à droite).

En fin d'expérience, lorsque les fragments osseux sont récoltés parmi les cendres, ils présentent une calcination avancée : 100 % des fragments présentent une altération de type 4 au moins partielle et 33 % présentent une calcination totale (Tab. 2 et Fig. 4). Néanmoins, sur les 18 fragments, 3 comportent de petites zones carbonisées résiduelles de forme irrégulière et 11, soit 61 %, présentent des plages grises de type 3 (Fig. 4 a, b, c, e). La présence de ces différentes zones irrégulières de teintes différentes donne aux pièces une allure tachetée.

#### 4.1.2. Altérations morphologiques et texturales

La fragmentation est l'une des formes d'altérations morphologiques les plus flagrantes : 18 fragments ont été récoltés alors que seulement 13 avaient été mis au feu. On note en particulier la séparation systématique de l'os spongieux et de l'os compact. Par ailleurs, sur les 12 fragments corticaux récupérés en fin d'expérience, 33 % comportent des fissures longitudinales, 33 % comportent des fissures transversales et 58 % comportent de fines craquelures superficielles (Fig. 4a). On dénombre également trois cas de délamination partielle. Dans près de 60 % des cas, l'état de surface a été altéré par la combustion : la corticale présente alors une texture crayeuse voire pulvérulente.

Type	0	1	2	3	4
Niv. 0	0 %	0 %	17 %	61 %	100 %
Niv. -5 cm	69 %	75 %	6 %	0 %	0 %

Tab. 2 – Fréquences des différents types d'altérations colorimétriques au sein du lot d'ossements disposés directement dans le foyer (Niv. 0) et à 5 cm de profondeur (Niv. -5 cm).

## 4.2. Les os enterrés à une profondeur de 5 cm sous le foyer

### 4.2.1. Altérations colorimétriques

De façon globale, l'intensité de l'altération colorimétrique est bien moins importante au sein de ce niveau (Fig. 6). Quatre fragments sur 16 présentent encore leur coloration initiale (type 0) sur toutes leurs faces. En outre, 69 % des pièces comportent encore au moins une zone présentant cette cou-

leur blanc-crème caractéristique des os non brûlés (Fig. 6e). Néanmoins, 75 % des fragments comportent une altération de type 1 au moins partielle. Une pièce présente par ailleurs une altération un peu plus prononcée matérialisée par un dégradé de couleur allant du beige légèrement orangé (type 1) jusqu'au noir (type 2) (Fig. 6b).

La répartition spatiale de l'altération colorimétrique sur les ossements et sur les sédiments semble indiquer une zone plus intensément touchée située au centre du carré et sont associés à des sédiments noir-cis ou rubéfiés, comme le montre la photo présentée en figure 5. En revanche, les os intacts se trouvent en périphérie, dans des sédiments qui ne sont pas visiblement altérés. Ce gradient de couleur de plus en

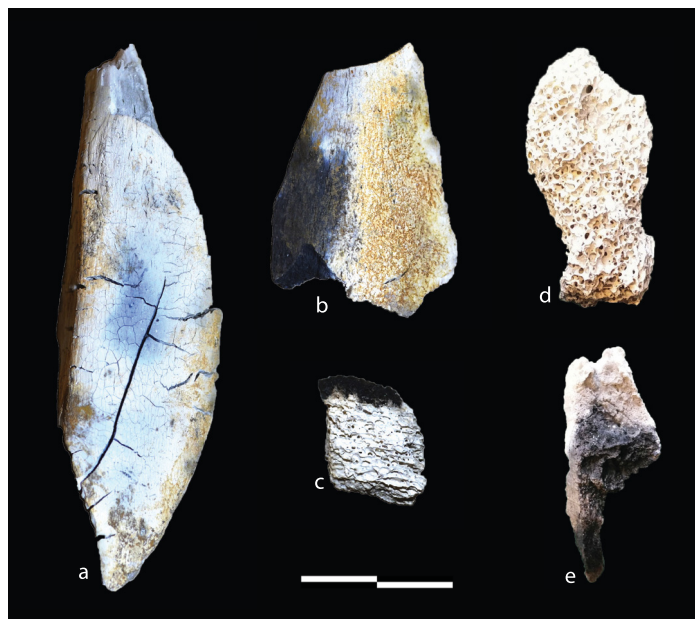


Fig. 4 – Ossements directement exposés au feu (niveau 0).

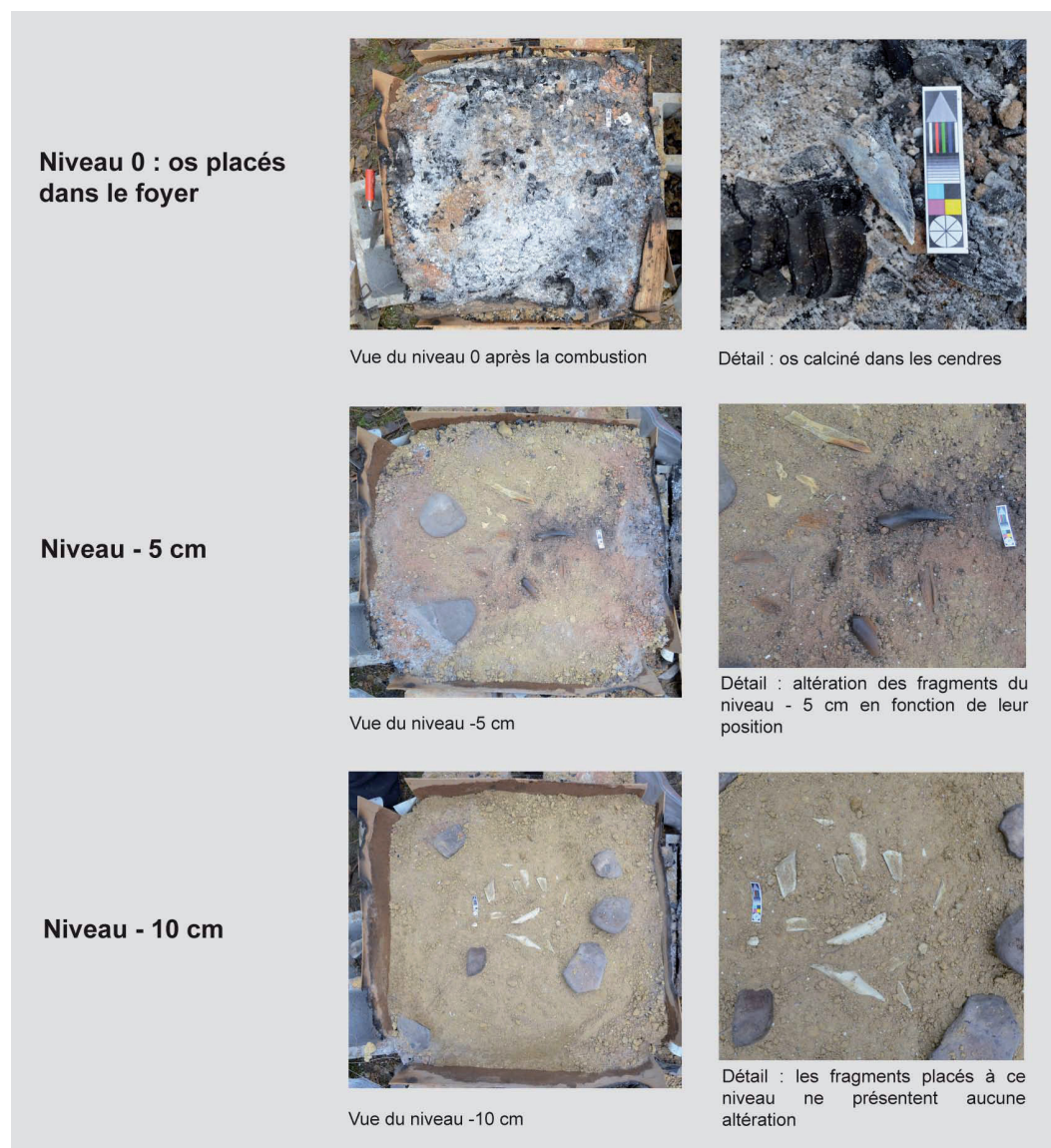


Fig. 5 – Démontage du dispositif.



Fig. 6 – Les ossements enterrés à une profondeur de 5 cm sous le foyer.

plus intense au centre se matérialise également sur certaines pièces individuelles : on observe des dégradés réguliers du jaune-orangé au brun foncé sur plusieurs fragments (Fig. 6 b, d, e). L'orientation de ces dégradés concorde avec l'altération des sédiments : la partie du fragment la plus proche du centre est toujours la plus fortement altérée.

#### 4.2.2. Altérations morphologiques et texturales

Aucune fragmentation n'a été observée. L'os spongieux est fragilisé et s'effrite lorsque les fragments sont manipulés, mais reste globalement attaché à l'os compact. Aucune fissure n'est d'ailleurs observable sur les fragments. L'état de surface n'a pas été visiblement modifié.

#### 4.3. Les os enterrés à 10 cm sous le foyer

Les fragments disposés au niveau le plus profond (10 cm sous le foyer) ne présentent aucune altération colorimétrique, morphologique ou texturale perceptible à l'œil nu (Fig. 7).

## 5. Discussion

### 5.1. La régularité de l'altération colorimétrique

Les ossements directement exposés au feu sont soumis à de multiples fluctuations provoquées par les nombreux paramètres intrinsèques et extrinsèques qui influent sur une combustion (voir notamment Canti & Linford, 2000 : 388 ; Théry-Parisot, 2001 : 109). Ceci explique vraisemblablement l'hétérogénéité de l'altération colorimétrique de nombreux fragments placés directement dans le foyer. En effet, 78 % des fragments de ce lot présentent des plages irrégulières de colorations grises, noires et blanches qui leur donnent un aspect tacheté. Par comparaison, les ossements enterrés à 5 cm sous le foyer comportent une altération sinon totalement uniforme du moins régulière et continue. Les dégradés de couleurs réguliers observés sur certaines pièces de ce lot se distinguent très nettement des taches irrégulières détectées sur les fragments directement exposés au feu. La présence de sédiments encaissants semble donc avoir homogénéisé l'altération thermique subie par les ossements.

Cette régularité de l'altération et la présence de ces dégradés de couleurs continus pourraient donc constituer un indice permettant d'identifier les os indirectement thermo-altérés. Néanmoins, il est important de noter que la progression de la calcination



a tendance à uniformiser l'aspect des ossements. Les fragments complètement calcinés présentent en effet une coloration blanche parfaitement homogène sur toutes leurs faces. Pour appliquer ce critère, il est donc nécessaire de prendre en compte l'intensité de l'altération.

## 5.2. L'intensité de l'altération

Les résultats de cette première expérience confirment l'une des principales observations de Bennett (1999) & Stiner *et al.* (1995) : lorsque les ossements sont enterrés, l'intensité d'altération est nettement atténuée, tant du point de vue colorimétrique que du point de vue morphologique et textural. Malgré une combustion entretenue durant plus de trois heures qui s'est ensuite poursuivie sans entretien pendant de nombreuses heures, aucune fissure, fracture ou altération de la surface corticale n'a en effet été détectée sur les ossements enterrés. En outre, 25 % des restes enterrés à 5 cm ont intégralement conservé leur coloration d'origine et 69 % n'ont été que partiellement altérés. Seul un fragment, enterré à 5 cm de profondeur, a atteint un état de carbonisation. Par comparaison aux fragments directement exposés au feu qui ont tous atteints un stade relativement avancé de calcination, l'altération des ossements enterrés est donc indéniablement plus faible.

Dans le lot enterré à 5 cm sous le foyer, la présence dominante d'altérations de coloration brun-orangé est particulièrement frappante. Ces altérations faibles de type 1 sont non seulement fréquentes au sein de cet ensemble, mais elles se présentent sous forme de plages étendues voire couvrantes. Or ce type d'altération est totalement absent dans le lot de 13 fragments directement exposés au feu. Cette absence totale d'altération de type 1 sur le matériel expérimental brûlé au contact direct du feu s'explique vraisemblablement par la rapidité de la progression de la carbonisation. Au cours de l'expérience, nous avons en effet observé que les fragments mis au feu atteignent un état de carbonisation totale en moins de 10 minutes.

Même si ces résultats doivent évidemment être confirmés par des expériences supplémentaires, ces différentes observations suggèrent que la présence de larges plages régulières d'altération brun-orangé est peu probable dans le cas d'une exposition directe au feu. Par conséquent la présence de telles traces pourrait constituer un critère d'identification des os indirectement thermo-altérés. Cependant, l'expérience menée par Bennett a démontré que l'altération des ossements enterrés dépend en grande partie de la durée de combustion (Bennett, 1999). Il est donc concevable qu'une combustion prolongée ou que l'usage répété d'un même foyer puisse conduire à une altération beaucoup plus prononcée. Dans l'expérience de Bennett, certains os enterrés à moins de 5 cm de la surface présentaient par exemple une coloration grise caractéristique des ossements en voie de calcination après 48 heures de combustion (Bennett, 1999).



Fig. 7 – Les ossements enterrés à une profondeur de 10 cm sous le foyer.

Dans le cas d'une combustion prolongée ou répétée, l'identification semble par conséquent beaucoup plus complexe. Si la présence de larges plages régulières de couleur brun-orangé ou de dégradés mêlant des altérations de types 0, 1 et 2 sur un spécimen semble bien être le signe d'une altération indirecte, l'absence de ces indices ne garantit pas nécessairement que l'ossement ait été directement exposé au feu. En effet, une exposition longue pourrait, à terme, provoquer la calcination totale de l'ossement enterré, le rendant identique à un os calciné au contact du feu. À ce stade, la différenciation des ossements brûlés directement et indirectement ne semble donc possible que lorsque l'intensité de l'altération est modérée, c'est-à-dire dans le cas de combustions de durée moyenne et/ou ponctuelles.

### 5.3. *Évaluation des résultats et perspectives*

Il est évident que les résultats obtenus ne peuvent être considérés comme définitifs et ce, pour plusieurs raisons. D'une part, les effectifs composant les différents lots d'ossements brûlés dans l'expérience sont beaucoup trop réduits pour que les résultats quantitatifs obtenus puissent être généralisés. D'autre part, de multiples autres paramètres mériteraient d'être évalués : la durée de combustion, le mode d'entretien, la profondeur d'enfouissement, la nature des ossements (éléments squelettiques, espèces) ou encore leur état avant la combustion (frais, secs, altérés, charnus ou décharnés). De nouvelles expériences visant à approfondir ces différentes questions seront entamées prochainement.

Il est néanmoins intéressant de noter que les observations effectuées sur ce matériel semblent confirmées en partie par l'examen de la collection du CEPAM. En effet, parmi les milliers de fragments osseux brûlés au contact direct du feu composant cette collection de référence, les occurrences d'altérations de type 1 sont non seulement très rares mais sont en outre réparties de façon très spécifique sur les fragments. En effet, comme cela a été décrit ailleurs (Smolderen, 2016), les altérations très faibles observées sur ce matériel se présentent presque systématiquement comme des halos orangés en périphérie de zones carbonisées noires. Ces traces ne peuvent donc pas être confondues avec les larges plages régulières brun-orangé observées sur les os enterrés dans notre expérience. Si cette comparaison ne peut bien entendu en aucun cas servir de confirmation définitive, il n'en reste pas moins que les tendances observées lors de notre expérience pilote ne semblent donc pas être dues à une anomalie.

## 6. *Conclusion*

Les résultats de cette première expérience semblent confirmer ce que les études précédentes suggéraient déjà : l'intensité et la répartition de l'altération colorimétrique constituent vraisemblablement deux critères permettant, dans certains cas au moins, de différencier les os brûlés au contact direct du feu et les os enterrés sous un foyer. Notre étude montre néanmoins que l'interprétation de ces critères est compliquée par leur interdépendance. La régularité de la coloration est en effet en partie influencée par l'intensité de l'altération thermique puisque la calcination a tendance à uniformiser la couleur des fragments brûlés. À ce stade, l'identification ne semble donc pas possible dans le cas d'activités de combustion très intensives.

L'examen des pièces a également permis de préciser un peu plus les caractéristiques spécifiques de la répartition de la coloration sur les os indirectement brûlés. Celles-ci avaient été brièvement évoquées par Bennett mais n'avaient jamais été précisées. En particulier, notre étude met en avant le caractère régulier et continu de la coloration par opposition à l'aspect généralement tacheté des ossements directement exposés au feu.

Nous avons également mis en évidence l'existence de dégradés de couleurs réguliers très distinctifs sur les ossements enterrés.

Même si nos observations nécessitent évidemment d'être confirmées et approfondies, elles laissent donc entrevoir la possibilité d'isoler certains ossements indirectement altérés au sein des assemblages archéologiques brûlés. En offrant la possibilité d'identifier ces ossements susceptibles de « contaminer » le diagnostic, l'approche macroscopique que nous proposons pourrait donc permettre d'améliorer la précision de l'interprétation des témoins brûlés en termes de comportements.

#### Remerciements

Nous aimerions tout d'abord remercier les membres de l'équipe du musée du Malgré-Tout qui ont non seulement accepté de nous accueillir dans l'Archéoparc pour réaliser l'expérience, mais qui nous ont également apporté leur aide pour la mise en place du dispositif expérimental : en particulier, nous remercions Pierre Cattelain, Antoine Leblon et Michaël Horevoets ainsi que les membres de l'équipe technique du musée. Nous aimerions également remercier Alexandre Duriau et Stephanie Lozet qui nous ont également aidés lors de la réalisation de l'expérience pilote.

L'une de nous deux, Alison Smolderen, a défendu sa thèse de doctorat. Elle voudrait également exprimer sa reconnaissance envers I. Théry-Parisot et S. Costamagno qui ont accepté de lui donner accès à leur collection expérimentale permettant ainsi de mettre en place les critères analytiques utilisés, notamment, dans cette étude. De façon générale, ce travail, comme les autres volets de ses recherches doctorales, n'aurait pas été possible sans le soutien et les conseils de ses deux directeurs de thèse, E. Warmenbol et I. Théry-Parisot, qu'elle remercie très chaleureusement.

#### Bibliographie

ALPERSON-AFIL N., 2012. Archaeology of fire : methodological aspects of reconstructing fire history of prehistoric archaeological sites. *Earth-Science Reviews*, 113 : 111-119.

ASMUSSEN B., 2009. Intentional or incidental thermal modification? Analysing site occupation via burned bone. *Journal of Archaeological Science*, 36 : 528-536.

BARBETTI M., 1986. Traces of fire in the archaeological record, before one million years ago? *Journal of Human Evolution*, 15 : 771-781.

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

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

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

BERNA F., GOLDBERG P., HOROWITZ L., BRINK J., BAMFORD M. & CHAZAN M.,

2012. Microstratigraphic evidence of in situ fire in the acheulean strata of Wonderwerk cave, Northern Cape Province, South Africa. *Proceeding of the National Academy of Sciences* : 1215-1220.

BOSCH M., NIGST P., FLADERER F. & ANTLWEISER W., 2012. Humans, bones and fire : zooarchaeological, taphonomic, and spatial analysis of a Gravettian mammoth bone accumulation at Grub-Kranawetberg (Austria). *Quaternary International*, 252 : 109-121.

BRAIN C., 1993. The occurrence of burnt bones at Swartkrans and their implications for the control of fire by Early Hominids. In : Brain C. (dir.), *Swartkrans, A cave's chronicle of Early Man*, Transvaal Museum Monograph, n° 8 : 230-242.

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

BUIKSTRA J. & SWEGLE M., 1989. Bone modification due to burning : experimental evidence. In : Bonnischen R. & Sorg M. (éd.), *Bone modification*, Orono, Center for the Study of the First Americans, Institute for Quaternary Studies of the University of Maine : 247-258.

- CAIN C., 2005. Using burned animal bone to look at Middle Stone Age occupation and behavior. *Journal of Archaeological Science*, 32 : 873-884.
- CANTI M. & LINFORD N., 2000. The effects of fire on archaeological soils and sediments: temperature and colour relationships. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 66 : 385-395.
- 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 : Théry-Parisot I., Costamagno S. & Henry A. (dir.), *Gestion des combustibles au Paléolithique et au Mésolithique. Nouveaux outils, nouvelles interprétations. Actes du XV<sup>ème</sup> congrès de l'UISPP, session WS21 (Lisbonne, 4-9 sept. 2006)*, Oxford, BAR International Series, S1914 : 65-84.
- COSTAMAGNO S., THÉRY-PARISOT I., KUNTZ D., BON F. & MENSAN R., 2010. Impact taphonomique d'une combustion prolongée sur des ossements utilisés comme combustibles. In : Théry-Parisot I., Chabal L. & Costamagno S. (éd.), *Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique. Actes de la table ronde de Valbonne (27-29 mai 2008)*, CEPAM-UMR 6130, *P@lethnologie*, 2 : 173-187.
- DAVID B., 1990. How was this bone burnt? In : Solomon S., Davidson I & Watson D. (éd.), *Problem solving in taphonomy: archaeological and paleontological studies from Europe, Africa and Oceania*, Saint Lucia (Brisbane, AU), University of Queensland : 65-79.
- GERBE M., 2010. L'action des agents atmosphériques (weathering) sur des ossements brûlés : approche expérimentale. In : Théry-Parisot I., Chabal L. & Costamagno S. (éd.), *Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique. Actes de la table ronde de Valbonne (27-29 mai 2008)*, CEPAM-UMR 6130, *P@lethnologie*, 2 : 189-201.
- GILCHRIST R. & MYTUM H., 1986. Experimental archaeology and burnt animal bone from archaeological sites. *Circaea*, 4/1 : 29-38.
- GOLDBERG P. & SHERWOOD S., 2006. Deciphering human prehistory through the geoarchaeological study of cave sediments. *Evolutionary Anthropology*, 15 : 20-36.
- HANSON M. & CAIN C., 2007. Examining histology to identify burned bone. *Journal of Archaeological Science*, 34 : 1902-1913.
- HÉRISSON D., 2012. *Étude des comportements des premiers Néandertaliens du Nord de la France. Les occupations saaliennes des gisements de Biache-Saint-Vaast et de Therdonne*. Ville-neuve d'Ascq, Thèse de doctorat, Université de Lille 1 : 502 p.
- JAMES S., 1989. Hominid Use of Fire in the Lower and Middle Pleistocene : A Review of the Evidence. *Current Anthropology*, 30 : 1-26.
- LEBON M., 2010. Caractérisation des ossements chauffés en contexte archéologique : étude comparative de matériel moderne et fossile par spectroscopie infrarouge. In : Théry-Parisot I., Chabal L. & Costamagno S. (éd.), *Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique. Actes de la table ronde de Valbonne (27-29 mai 2008)*, CEPAM-UMR 6130, *P@lethnologie*, 2 : 149-162.
- LYMAN L. R., 2001. *Vertebrate taphonomy*. Cambridge, Cambridge University Press, Cambridge Manuals in Archaeology : 528 p.
- NICHOLSON R., 1993. A morphological investigation of burnt animal bone and an evaluation of its utility in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 20 : 411-428.
- PREECE R., GOWLETT A., PARFITT S., BRIDGLAND D. & LEWIS S., 2006. Humans in the Hoxnian : habitat, context and fire use at Beeches Pit, West Stow, Suffolk, UK. *Journal of Quaternary Science*, 21 : 485-496.
- REICHE I., 2010. Hétérogénéités de la composition chimique de la structure des ossements archéologiques provenant du site néolithique de Chalain 19 (Jura, France) induites pas la chauffe et la diagénèse. In : Théry-Parisot I., Chabal L. & Costamagno S. (éd.), *Taphonomie des résidus organiques brûlés et des structures de combustion en milieu archéologique. Actes de la table ronde de Valbonne (27-29 mai 2008)*, CEPAM-UMR 6130, *P@lethnologie*, 2 : 133-148.
- RILLARDON M. & BRACCO J.-P., 2010. Réflexion sur le potentiel de conservation des os brûlés à partir du matériel de Saint-Antoine (Vitrolles, Hautes-Alpes). In : Théry-Parisot I., Chabal L. & Costamagno S. (éd.), *Taphonomie des résidus organiques brûlés et des*

- structures de combustion en milieu archéologique. Actes de la table ronde de Valbonne (27-29 mai 2008), CEPAM-UMR 6130, *P@lethnologie*, 2 : 203-214.
- ROSELL J., CÁCERES I., BLASCO R., BENNASAR M., BRAVO P., CAMPENY G. & SALADIÉ P., 2012. A zooarchaeological contribution to establish occupational patterns at level J of Abric Romani (Barcelona, Spain). *Quaternary International*, 247 : 69-84.
- SHAHACK-GROSS R., BERNA F., KARKANAS P., LEMORINI C., GOPHER A. & BARKAI R., 2014. Evidence for the repeated use of a central hearth at Middle Pleistocene (300 ky ago) Qesem Cave, Israel. *Journal of Archaeological Science*, 44 : 12-21.
- SHIPMAN P., FOSTER G. & SHOENINGER M., 1984. Burnt bones and teeth : an experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage. *Journal of Archaeological Science*, 11 : 307-325.
- SMOLDEREN A., 2016. *Cinquante nuances de noirs. Problèmes de diagnostic en archéologie du feu : études de cas du Bassin Mosan belge au MIS3*. Bruxelles, Thèse de doctorat, Université Libre de Bruxelles : 420 p.
- STINER M., KUHN S., WEINER S. & BAR-YOSEF O., 1995. Differential burning, recrystallization, and fragmentation of archaeological bone. *Journal of Archaeological Science*, 22 : 223-237.
- THÉRY-PARISOT I., 2001. *Économie des combustibles au Paléolithique. Expérimentation, taphonomie, anthracologie*. Paris, Éditions du CNRS, Dossier de documentation archéologique, n° 20 : 195 p.
- 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., 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. & GUILBERT R., 2005. The use of bone as fuel during the Palaeolithic, experimental study of bone combustible properties. In : Mulville J. & Outram A. (éd.), *The zooarchaeology of milk and fats, 9th ICAZ conferences in Durham (2002)*, Oxford, Oxbow Books : 50-59.
- THÉRY-PARISOT I., COSTAMAGNO S., BRUGAL J.-P., CASTEL J.-C., GERBE M., BOURBY L. & GUILBERT R., 2009a. La question des os brûlés dans les sites du Paléolithique. Un programme d'archéologie expérimentale en taphonomie. *Nouvelles de l'archéologie*, 118 : 31-36.
- WEINER S., BAR-YOSEF O., GOLDBERG P., XU Q. & LIU J., 2000. Evidence for the use of fire at Zhoukoudian. In : Dong W. (éd.), *Proceedings of 1999 Beijing International Symposium on Paleoanthropology*, Beijing, China Ocean Press, *Acta Anthropologica Sinica*, suppl. 19 : 218-223.

### Résumé

Plusieurs études ont montré que les ossements enterrés sous un foyer peuvent être indirectement impactés par irradiation thermique (Stiner *et al.*, 1995 ; Bennett, 1999 ; Lyman, 2001 : 384 ; Asmussen, 2009). Simples « dégâts collatéraux », ces os indirectement altérés peuvent fausser l'interprétation des assemblages brûlés et il est par conséquent important de pouvoir les différencier des ossements brûlés au contact direct du feu. Si cela s'avère relativement aisé dans le cas de niveaux en place bien documentés, cette tâche représente un véritable défi lorsque les témoins ne sont pas en place ou que les données contextuelles font défaut. Dans cet article, nous présentons les premiers résultats d'une étude expérimentale visant à définir des critères macroscopiques permettant de reconnaître une thermo-altération indirecte. Si d'autres expériences sont prévues pour préciser certains aspects, les résultats obtenus lors d'une combustion expérimentale « pilote » permettent déjà de dégager quelques pistes. L'examen du matériel issu de cette première expérience permet en effet de préciser les caractéristiques spécifiques de la répartition de la coloration sur les os indirectement brûlés.

*Mots-clés* : Archéologie du feu, os brûlés, archéologie expérimentale, thermo-altérations.

### Abstract

Studies have shown that bones buried in sediments beneath hearths can be indirectly impacted by thermal induction (Stiner *et al.*, 1995 ; Bennett, 1999 ; Lyman, 2001 : 384 ; Asmussen, 2009). In a way, these indirectly thermo-altered bones only constitute "collateral damage" and can thus distort the interpretation of burned bone assemblages. Consequently, it is important to be able to distinguish these bones from bones burned in direct contact with the fire. If this can prove relatively easy in the case of well preserved and well documented archaeological levels, the task can be a real challenge when the artefacts are not *in situ* or when the contextual data is imprecise and/or unreliable. In this paper we present the preliminary results from an experimental study aimed at identifying macroscopic traits that point to indirect thermo-alteration. Although other experiments will be needed to specify certain aspects, interesting observations have been drawn from a first « pilot » experiment. The examination of the remains from this experiment has enabled us to identify some specific macroscopic characteristics of indirectly altered bones.

*Keywords*: Fire archaeology, burned bones, experimental archaeology, thermo-alterations.

Alison SMOLDEREN  
Université de Liège, Service de Préhistoire  
7, place du 20 Août, Bât. A1  
BE - 4000 Liège  
&  
Équipe GRENES (CEPAM) UMR 7264 /  
Gestion des Ressources Naturelles, Environnements et Sociétés  
[alison.smolderen@gmail.com](mailto:alison.smolderen@gmail.com)

Elodie-Laure JIMENEZ  
Université Libre de Bruxelles  
Centre de Recherche en Archéologie et Patrimoine  
50, avenue Franklin Roosevelt  
BE - 1050 Bruxelles  
&  
Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique  
DO Terre et Histoire de la Vie, Homme et environnements du Quaternaire  
29, rue Vautier  
BE - 1000 Bruxelles  
[elodielaurejimenez@yahoo.fr](mailto:elodielaurejimenez@yahoo.fr)  
[elodie-laure.jimenez@naturalsciences.be](mailto:elodie-laure.jimenez@naturalsciences.be)