



**APPROCHE EXPERIMENTALE D'UN PROBLEME TAPHONOMIQUE :
UTILISATION DE COMBUSTIBLE OSSEUX AU PALEOLITHIQUE**

Bones as fuel in the Paleolithic : an experimental approach to a taphonomic problem

Sandrine COSTAMAGNO*, Christophe GRIGGO* et Vincent MOURRE**

RESUME

La fréquence relativement importante d'os brûlés dans certains gisements préhistoriques pose le problème de leur origine. Ils ont pu être brûlés en cours de cuisson, utilisés comme combustible, jetés dans le feu à des fins d'hygiène ou bien encore brûlés accidentellement (enfouis sous l'emplacement d'un foyer ou brûlés par l'action de feux naturels). Certains points ont déjà été vérifiés expérimentalement, cependant, l'emploi de l'os en tant que combustible et les implications taphonomiques qui en découlent sont des sujets rarement abordés. Cet article préliminaire fait suite à une série de dix expériences réalisées à partir d'os frais ou secs de Mouton afin de mettre en évidence les potentialités de combustion des os en fonction de leur nature histologique et de leur degré de fragmentation. Il sert de préambule à une réflexion plus générale concernant la taphonomie des os brûlés.

Les résultats préliminaires obtenus montrent que l'os peut effectivement servir de combustible : seuls les os frais participent à la combustion; les os secs se consomment mais n'apportent aucune énergie au foyer. Les os longs complets ou les parties spongieuses sont de bons combustibles, en revanche les fragments de diaphyse seuls brûlent mal. La fracturation intentionnelle des parties spongieuses favorise la libération de la graisse et facilite donc la combustion. Un feu ne peut pas être démarré qu'avec des ossements. Il doit, au préalable, être amorcé avec d'autres types de combustibles produisant une température suffisamment élevée pour permettre l'inflammation de la graisse osseuse. En revanche, à condition que la température ne chute pas trop, un foyer peut être ensuite alimenté uniquement avec du combustible osseux.

Mots-Clés : Foyers expérimentaux - Taphonomie - Ossements brûlés - Combustible osseux - Le Placard - Saint-Germain-la-Rivière

Key-words : Experimental Archaeology - Taphonomy - Burnt bones - fuel sources - Fire - Le Placard - Saint-Germain-la-Rivière

ABSTRACT

Burnt bones are common in some prehistoric sites. Their presence can result from a variety of processes. These include natural fires sweeping across land surfaces, the accidental burning of food, the use of fires for refuse disposal, or the intentional use of bones as fuel. Although some archaeologically relevant experiments have been conducted on burnt bone, more work is required on the use of bones as fuel. Our experiments on sheep bones lead us to conclude that bones can be used as fuel, but some skeletal elements make better fuel than others do.

Only bones that contain grease participated in combustion. Dry bones were carbonized but contributed little energy to the fire. Complete long bones or cancellous portions make good fuel. This contrasts with long bone shaft fragments that burned badly because of their low grease content. Intentional fragmentation of cancellous portions of bones helped to release their grease. This enhanced their ignition and combustion. It was impossible to ignite a fire using only bones as tinder. Other materials must be used to ignite the fire. Once a critical temperature was reached bones could be added to sustain the fire, because the liquefied grease became flammable. A fire may be sustained using bones only if the temperature is not allowed to drop below the critical temperature threshold.

De la recherche des premières traces de feu d'origine anthropique (e.g. BELLOMO et HARRIS, 1990; BRAIN, 1993; BRAIN et

SILLEN, 1988; CLARK et HARRIS, 1985; GOWLETT, et al., 1981; JAMES, 1989; JAMES, 1996) à la compréhension des structures de combustion (e.g. BAZILE, 1996; FERRERI et MARCH, 1996; JULIEN, 1984; MARCH, 1996; RIGAUD, et al., 1995; WATTEZ, 1994, 1996; WÜNSCH, 1996), en passant par les techniques de production (COLLINA-GIRARD, 1998; PERLÈS, 1977), les voies de recherche sur le feu

* Institut de Préhistoire et de Géologie du Quaternaire, UMR 5808 du C.N.R.S., Université de Bordeaux I, Avenue des Facultés, 33405 Talence Cedex.

** Université de Paris X - Nanterre, EP 1730 "Préhistoire et Technologie". Les Hauts Arthèmes 84560 Ménerbes

et ses implications archéologiques sont nombreuses et variées. Le but de cet article n'est pas de discuter de ces différents aspects qui sortent largement de nos domaines de compétence. Les ossements, qui constituent une part importante des vestiges archéologiques contribuent de manière non négligeable à cette problématique. Ce travail sert de base à une réflexion générale sur les os brûlés et les implications taphonomiques qui en découlent.

La présence d'ossements brûlés dans un gisement peut nous renseigner sur certains comportements anthropiques. Ainsi, la carbonisation d'os humains peut indiquer des pratiques funéraires particulières comme la crémation (e.g. BINFORD, 1963; BUIKSTRA et SWEGLE, 1989; JOHNSON, 1989; KNIGHT, 1985; THURMAN et WILLMORE, 1981) ou bien encore des pratiques anthropophagiques (WHITE, 1992). En ce qui concerne la combustion d'ossements d'animaux, s'il est extrêmement rare, tout au moins pour des périodes relativement récentes, de ne pas trouver d'os carbonisés, peu d'études ont été entreprises afin de comprendre les activités humaines liées à leur présence (BRAIN, 1981; DAVID, 1990; SPENNEMANN et COLLEY, 1989). Les expérimentations, somme toute peu nombreuses, concernent pour la plupart la caractérisation des signatures physiques et chimiques des os brûlés (BRAIN et SILLEN, 1988; NICHOLSON, 1993; SHIPMAN *et al.*, 1984; SILLEN et HOERING, 1993; STINER *et al.*, 1995; TAYLOR *et al.*, 1995; VILLA *et al.*, 1986; WALTERS, 1988). Des études ont été menées afin d'identifier l'état dans lequel les os ont été brûlés : frais avec chair, frais décharnés, secs ou bien encore fragmentés (GIFFORD-GONZALEZ, 1989; JOHNSON, 1989; KNIGHT, 1985; THURMAN et WILLMORE, 1981). Certains protocoles expérimentaux ont été mis en oeuvre afin de différencier les feux d'origine naturelle des feux d'origine anthropique, au niveau des structures de combustion (BELLOMO, 1991, 1993; BELLOMO et HARRIS, 1990) mais également au niveau des ossements (DAVID, 1990). D'autres encore se sont attachés aux implications taphonomiques liées à la combustion des ossements. Pour la plupart des auteurs, les os brûlés sont plus fragiles face aux processus diagénétiques et au piétinement que les os non carbonisés (DAVID, 1990; STINER *et al.*, 1995; WALTERS, 1988). Seuls R. Gilchrist

et C. Mytum (1986, p. 30) émettent l'hypothèse selon laquelle dans de mauvaises conditions de conservation, seuls les os brûlés peuvent se conserver : *"Strength and durability are provided by the organic matter and rigidity by the mineral. Although the organic content of bone can be completely destroyed by prolonged heating, incomplete calcination can fortify the bone against other agents of destruction."* D'après I. W. Cornwall (1976), une fois l'os carbonisé, la matière organique resterait stable et résisterait mieux aux changements dans le sol.

Les activités de subsistance en relation avec les os brûlés sont variées. Comme le soulignent D.H.R. Spennemann et S. M. Colley (1989, p. 51) *"their origin is not always clear i.e. whether they were burnt during cooking, whether they were used as fuel, whether they were thrown into a fire as waste or whether they were burnt accidentally"*. A ces causes de carbonisation, B. David (1990) en ajoute une cinquième liée à l'action de feux naturels. Des données ethnologiques montrent également que la combustion des ossements peut être rituelle. Chez les Tchouktches, les os étaient entassés, puis concassés afin d'en extraire la graisse et finalement brûlés. Selon leur croyance, *"en brûlant les os, on permettait aux rennes d'accéder au monde d'en haut d'où ils devaient ensuite revenir"* (TCHESNOKOV, 1995, p. 312). Si certaines origines sont difficiles à tester d'un point de vue archéologique, car faisant référence aux croyances et à la pensée des hommes préhistoriques, d'autres en revanche sont plus faciles à mettre en évidence à partir de l'état des ossements carbonisés.

Les exemples ethnologiques de l'utilisation des ossements en tant que combustibles sont peu nombreux mais existent. Chez les peuples du Kamtchatka par exemple, *"on recueillait soigneusement les os de Renne que l'on brûlait"* (TCHETCHOULINAN, 1995, p. 34). Selon J.-Ph Rigaud (communication orale), les Nunamiuts du Nord Alaska utilisent des os longs complets de Renne pour alimenter un feu amorcé avec des brindilles de saule afin d'économiser le combustible végétal et surtout pour produire plus de chaleur. D'autres exemples ethnographiques montrent qu'en milieu arctique, l'acquisition de combustibles est primordiale à la survie des peuples présents

dans ces contrées. Le choix de l'emplacement du camp chez les Nunamiuts, outre la présence d'un point d'eau proche, est dicté par la proximité de sources végétales abondantes (GUBSER, 1965, p. 69). Les activités liées à l'acquisition du combustible sont contraignantes comme le montrent ces exemples : "Chaque jour, une personne dans chaque maison doit collecter le bois. (...) En préparation de la saison suivante, les plus vieux membres passent plusieurs jours en mai ou juin à couper du saule vert, les empilant pour les faire sécher pendant l'été" (GUBSER, 1965, p. 73). La rareté du combustible dicte également la taille des campements. Ainsi, comme le signale F. Mowat (1953, p. 53) pour les Ihamiults : "les campements du peuple sont groupés par deux ou trois tentes sur les rives de plusieurs lacs car il n'y a pas assez de saules nains dans le pays pour approvisionner les feux de plus de deux ou trois familles au même endroit." Ainsi, l'acquisition de combustibles est tout aussi importante sinon plus que celle des denrées alimentaires. Elle influe sur de nombreux choix comportementaux.

Au cours du dernier maximum glaciaire et probablement durant d'autres périodes (PERLÈS, 1977), la recherche de combustible fournissant à la fois chaleur et sécurité était primordiale mais devait, cependant, être fort coûteuse en temps pour des populations vivant en milieu périglaciaire. Cet aspect a largement été négligé alors qu'était mise en exergue l'acquisition de matière carnée à des fins alimentaires. L'environnement froid-steppique caractéristique de cette période, notamment dans le Sud-Ouest de la France, limitait le développement des essences ligneuses et donc l'approvisionnement en combustibles végétaux comme l'indiquent différentes reconstitutions environnementales à partir des pollens et de la faune. Il est probable que d'autres sources de combustibles étaient activement recherchées (charbon fossile, bouse séchée) (PERLÈS, 1977, THÉRY *et al.*, 1995). L'économie de bois passait donc probablement par l'emploi de combustible osseux provenant des carcasses d'animaux chassés (*e.g.* ALLAIN, 1953; KOZLOWSKI *et al.*, 1974; KRETZOI et VÉRTES, 1965; PAYNE, 1983). Une autre hypothèse, n'excluant pas la première, est l'utilisation de l'os en raison de ses propriétés de combustion particulières (THÉRY-PARISOT, 1998). Bien que celle-ci soit largement citée dans la littérature, les

expériences relatives à l'utilisation de l'os en tant que combustible sont limitées (BAZILE *et al.*, 1982; THÉRY-PARISOT, 1998). A partir des ensembles osseux provenant de deux gisements paléolithiques (Le Placard et Saint-Germain-la-Rivière) comportant une fréquence importante de fragments osseux brûlés, nous avons souhaité tester les potentialités de combustion des ossements en fonction de leur nature histologique et de leur état de fragmentation. A ces fins, une série d'expériences a été réalisée.

Après une présentation rapide de ces sites, nous exposons le protocole expérimental utilisé et les questions auxquelles nous souhaitons répondre. Une discussion est alors menée sur les courbes de températures obtenues dans les différents foyers et les changements de couleur des ossements en relation avec l'intensité et/ou la durée de la combustion. Enfin, les implications archéozoologiques et taphonomiques de l'emploi des ossements en tant que combustible sont abordées.

PRESENTATION DES SITES ARCHEOLOGIQUES

Grotte du Placard

La grotte du Placard, située sur la commune de Vilhonneur (Charente, France) (fig. 1), s'ouvre dans une falaise de calcaire bajocien qui borde la rive droite de la Tardoire. Ce gisement, découvert en 1855 par J.-L. Fermond, sert de référence pour établir la chronologie du Paléolithique supérieur. Il fut ensuite pillé par de nombreux fouilleurs clandestins. En 1988, lors de travaux de réaménagement du site, L. Duport mit au jour des gravures pariétales sur la paroi gauche de la grotte. Cette découverte fut à l'origine de campagnes de fouilles effectuées entre 1990 et 1993 et dirigées par J. Clottes, L. Duport et V. Ferruglio. Elles ont concerné 5 zones restées intactes en bordure des parois où l'on voit plusieurs couches solutréennes surmontées par une série de niveaux badegouliens (CLOTTESS *et al.*, 1993).

Ces fouilles ont livré un matériel osseux très abondant. 7564 restes appartenant à 18 taxons ont été déterminés. Parmi les Herbivores,

on remarque une très nette dominance du Renne (72,4 % du nombre de restes (NRD)), suivi du Cheval (16,7 % du NRD). Quelques restes indiquent la présence de l'Antilope saïga et du Bison (fig. 2). Cette association correspond à un climat froid et sec, associé à un paysage de toundra (Griggo, en préparation).

Les ossements recueillis dans la grotte du Placard présentent un excellent état de conservation. Les vertèbres et les côtes, éléments riches en os spongieux susceptibles de disparaître rapidement en cas de problèmes de conservation différentielle (BRAIN, 1981; LYMAN, 1985), sont, en effet, très bien représentées. Cependant, dans les niveaux solutréens, les extrémités articulaires d'os longs se trouvent sous-représentées par rapport aux autres éléments squelettiques. Parallèlement, il a également été noté une forte proportion d'ossements brûlés qui correspondent, pour l'essentiel, aux parties spongieuses du squelette : vertèbres (6,6 % du NRD), épiphyses d'os longs (11,2 % NRD), carpiens et tarsiens (7,9 % NRD). Au contraire, les côtes ou les diaphyses d'os longs sont moins concernées (respectivement 0,8 % et 0,9 % du NRD) (tabl. I). Toujours dans les niveaux solutréens, les fragments osseux non déterminés présentent également une forte proportions d'éléments brûlés. Les éléments constitués d'os spongieux sont majoritaires (GRIGGO, en préparation) (tabl. II), puisqu'ils représentent 46,1 % de l'ensemble du matériel osseux.

L'utilisation des parties spongieuses des ossements en tant que combustible pourrait donc être la principale explication du déficit de ces parties anatomiques dans les niveaux solutréens de la grotte du Placard.

Dans les couches badegouliennes, la proportion d'ossements brûlés est faible, ce qui ne permet pas d'avancer l'hypothèse de l'utilisation de l'os comme combustible osseux, à l'inverse de la période précédente.

Saint-Germain-la-Rivière

Le gisement de Saint-Germain-la-Rivière (Gironde, France) (fig. 1) est situé sur la rive droite de la Dordogne, à quelques kilomètres en aval de sa confluence avec l'Isle. Découvert en 1929 par H. Mirande et R. Lépront,

le gisement qui a livré deux squelettes humains, est constitué de deux abris sous-roche. Le premier, relativement vaste mais en partie effondré, constitue la partie ouest du gisement; le second, plus restreint, est situé dans la partie est. Ces deux abris s'ouvrent aux dépens d'une falaise calcaire à Astéries (Stampien). Le matériel que nous avons étudié provient des fouilles effectuées par H. Trécolle, au cours des années 60, dans la terrasse inférieure qui prolonge le grand abri.

Cinq couches ont été reconnues dont trois ont fait l'objet de datations C14 (c.C : 14 100 ± 160 BP; c.2 : 15 300 ± 410 BP; c.4 : 16 200 ± 600 BP). L'ensemble inférieur regroupant les niveaux 3 et 4 a livré une industrie pouvant se rattacher au Magdalénien moyen ou ancien tandis que l'ensemble supérieur (couches C et 1) est attribué au Magdalénien moyen (LENOIR, 1983; LENOIR *et al.* 1995).

Au total, 4882 restes ont été déterminés taxonomiquement (COSTAMAGNO, en préparation). Les résultats étant similaires dans l'ensemble des niveaux, nous ne présentons que les couches 1 et 3 qui ont livré le matériel le plus abondant (respectivement 2064 et 1427 restes déterminés). L'espèce la mieux représentée est l'Antilope saïga (77,1 et 64,3 %), suivie par le Renne (fig. 3).

Au sein du matériel que nous avons examiné, nous avons noté un taux important d'ossements brûlés. Cependant il existe une forte disproportion entre le pourcentage d'ossements brûlés déterminés et la fréquence des pièces brûlées non identifiables (CRADER, 1982; GIFFORD, 1980). En effet, les vestiges osseux brûlés représentent une petite part du nombre de restes déterminés (2,4 et 6,9 %). En revanche, comme au Placard, pour les restes indéterminés, la quantité d'os brûlés est importante. Elle est, respectivement, de 33,4 % et 44 % dans les niveaux 1 et 3.

Dans la couche 1 (tabl. III), les fragments de vertèbres, d'omoplates et de bassins sont assez souvent brûlés (respectivement 22,6; 13,3 et 12,5 %). Les carpiens et les tarsiens sont peu touchés (5,7 et 4,7 %). Dans la couche 3, qui a fourni un nombre plus important de pièces brûlées, les fragments de vertèbres, d'omoplates et de bassins sont,

comme pour la couche supérieure, souvent carbonisés (respectivement 27,3; 15,4 et 41,2 %). Dans ce niveau, les carpiens et les tarsiens sont fortement affectés par l'action du feu (18,9 et 44,8 %). Il semble donc que les parties spongieuses soient plus fréquemment carbonisées. Cette tendance se vérifie également pour les pièces non déterminées¹. Comme on peut le voir dans le tableau IV, 54,5 % des vestiges constitués de tissus spongieux dans la couche 1 et 74,4 % dans la couche 3 sont carbonisés, ils sont suivis par la catégorie "restes indéterminés". En revanche, les fragments de diaphyse d'os longs sont peu brûlés, respectivement 9,6 et 18 %.

Nous avons également constaté, dans la couche 3, que les tarsiens et les carpiens sont plus souvent fragmentés lorsqu'ils sont brûlés que lorsqu'ils ne le sont pas. Ainsi, 63,6 % des carpiens brûlés sont fragmentés contre 14,9 % pour les non brûlés. Pour les tarsiens, 50 % sont fragmentés; si l'on exclut l'astragale, cette fréquence s'élève à 78,6 %.

En regroupant l'ensemble du matériel osseux par classes de taille de 2 cm (tabl. V), nous avons constaté que les pièces les plus petites sont beaucoup plus fréquemment carbonisées que celles de grandes tailles. La proportion d'os brûlés décroît de façon inverse à la taille des esquilles. Ce sont les pièces inférieures à 2 cm qui possèdent le taux de combustion le plus important (31,2 et 48,3 %). Ces observations ne font que confirmer celles déjà réalisées par M.C. Stiner et ses collaborateurs (STINER *et al.*, 1995). Ces taux de fragmentation élevés qui concernent les ossements brûlés de petites tailles, peuvent être la conséquence de la combustion (WALTERS, 1988) proprement dite et/ou de processus taphonomiques naturels : les os peuvent être plus sensibles au piétinement ou à des phénomènes de compaction après leur combustion (STINER, *et al.*, 1995). On peut également émettre l'hypothèse qu'une partie de cette fragmentation résulte d'une action anthropique. Les os et les parties spongieuses ont pu être fracturés par les hommes

¹ Certaines dénominations que nous avons employé méritent une définition, les fragments de tissu spongieux regroupent des pièces avec uniquement de la *spongiosa*, certaines pièces classées dans restes indéterminés peuvent contenir une petite partie de tissu spongieux.

préhistoriques avant d'être utilisés en tant que combustibles.

L'examen de ces ensembles osseux soulève un certain nombre de questions : les os ont-ils servi de combustible ? Si oui, sous quelle forme ? Est-il possible, à partir des ossements seuls, d'inférer l'origine des os brûlés recueillis dans un site archéologique ? Plus précisément, les questions relatives aux potentialités de combustion des ossements sont :

- Les os participent-ils à la combustion ?
- Les parties spongieuses brûlent-elles mieux que les portions de diaphyses ?
- Les parties spongieuses fracturées avant leur combustion brûlent-elles mieux que les os ou portions d'os complets ?
- Les os secs peuvent-ils se consumer et participer de manière active à la combustion ?

PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Les combustibles

Dans chaque expérience, nous avons employé du combustible végétal pour amorcer le feu. Un nombre limité d'essences a été employé. Pour être au plus proche des conditions périglaciaires qui régnaient lors de la formation des sites du Placard et de Saint-Germain-la-Rivière, le saule (*Salix caprea*) a fourni la majorité du combustible. En effet, c'est souvent le seul végétal ligneux présent, actuellement, dans les régions subarctiques (GUBSER, 1965). Seules les branches mortes de saules ne dépassant pas 2 cm de diamètre ont été récoltées; F. Mowat (1953, p. 82) signale que les brindilles utilisées par les Ihalmiuts n'étaient "pas plus grosses qu'un crayon". En outre, quelques semaines avant l'expérimentation, nous avons recueilli de la mousse (*Barbula muralis*) et des lichens (*Cladonia* sp.) afin de les faire sécher. "Hekwaw retira le foret et prit sur la planche à feu une pincée de cendre rougeoyante qu'il secoua sur un tas de mousse sèche et craquante" (MOWAT, 1953, p. 82).

Pour chaque foyer, le combustible végétal a été pesé (cf. *infra*). Il est constitué de 400 g de mousse et lichens et 1 kg de saule. A cela, nous avons ajouté, en fonction de nos objectifs, soit des os secs recueillis dans un

charnier actuel, soit des ossements frais. Ces derniers proviennent, pour l'essentiel, de deux brebis² tuées le jour de l'expérimentation (sauf pour le foyer 4). Ceci nous a permis de disposer de la totalité des éléments squelettiques, à laquelle s'ajoutent des extrémités inférieures de pattes de Mouton recueillies chez un boucher³. Nous avons choisi cette espèce en raison de son acquisition relativement aisée et surtout pour sa taille proche de celle de l'Antilope saïga et peu éloignée de celle du Renne.

Lors du traitement des carcasses des deux brebis, la tête n'a pas été conservée. Les membres et le squelette axial ont été désarticulés et décharnés. La phase suivante de fracturation des os n'a pas été systématique, sa mise en oeuvre étant fonction des questions auxquelles nous souhaitions répondre.

Conditions climatiques

L'expérimentation s'est déroulée en décembre 1997 sur trois journées avec des conditions climatiques relativement stables : le temps était nuageux, la température atmosphérique a varié entre 5 et 7°C. Durant les deux premiers jours, le vent était important et au cours de la dernière journée, le temps était légèrement pluvieux.

Mesures des températures de combustion

Pour chaque foyer, nous avons relevé la température au coeur de la zone incandescente du foyer, à intervalles réguliers, à l'aide d'une sonde thermique (Thermocouple de type K; référence : TH 3050; -65°C à 900°C).

La température des foyers ne donne pas une mesure effective de la production calorifique mais seulement la température de la zone où les produits de pyrolyse interagissent avec l'oxygène de l'air (DAVID, 1990). Cependant il existerait, selon B. David (*Op.cit.*) une relation linéaire entre la température d'un feu et celle du combustible.

² Nous remercions vivement le berger A. Fabre par l'intermédiaire duquel nous avons pu nous procurer ces animaux.

³ Nous tenons également à remercier J. Rossi pour nous avoir fourni ces éléments squelettiques.

Structures de combustion

Aucune structure de combustion n'a été édifiée, les foyers, mis à part le foyer 4, ont pris place directement sur le sol naturel. Le foyer 4, quant à lui, a été installé dans une petite cuvette sur un sol meuble. Cette structure particulière est liée à l'enfouissement, sous ce foyer, d'ossements frais et secs, afin d'observer leur réaction au feu (*cf. infra*).

Etude des ossements après consommation

Après que chaque foyer se soit éteint, les os ont été prélevés, puis les cendres ont été tamisées à une maille de 5 mm. Ils ont ensuite été examinés en laboratoire et un certain nombre d'observations ont été effectuées. Dans cet article, seules la taille et la couleur des fragments sont prises en compte. Pour ce dernier point, le code couleur que nous avons employé est celui défini par M.C. Stiner *et al.* (1995) auquel nous avons ajouté un stade supplémentaire : la couleur grise, stade intermédiaire entre la carbonisation (noir) et la calcination (blanc) (tabl. VI)

Comme nous le verrons, l'attribution d'un code à une pièce donnée n'a pas toujours été facile, la couleur n'étant souvent pas uniforme (BUIKSTRA et SWEGLE, 1989). Dans le cas de dégradés progressifs, les deux couleurs majoritaires ont dicté le choix du code. Les couleurs des surfaces externe et interne (pour les os fragmentés) ont été notées.

Description des foyers (tabl. VII et VIII) :

Foyer 1 : Ce premier foyer n'a été alimenté qu'avec du combustible végétal. Il s'agit d'un mélange constitué de 1000 g de brindilles de saule et d'environ 400 g de mousses et de lichens. Cette expérience a pour objectif d'étalonner les résultats obtenus sur les autres foyers utilisant du combustible osseux. Pour ces derniers, la quantité de combustible végétal, employée pour amorcer le feu, a été identique à celle du foyer 1.

La première série d'expériences (foyers 2 à 4) vise à tester si, effectivement, les ossements participent d'une manière active à la combustion et, si oui, sous quelles formes ils brûlent le mieux.

Foyer 2 : En complément des végétaux, le feu est alimenté avec 336 g de fragments de diaphyses d'os longs provenant d'un mouton complet. Au démarrage, les combustibles végétaux et les ossements ont tous été déposés dans le foyer.

Foyer 3 : Le combustible osseux utilisé pour alimenter ce foyer correspond aux parties spongieuses conservées entières. Elles proviennent d'une moitié de carcasse de Mouton et de sept massifs tarsiens liés à l'extrémité distale de tibia. Pour ces derniers, tous les os ont été désarticulés. Les vertèbres sont restées articulées par tronçons de 3 ou 4. L'ensemble représente un poids de 2760 g. Les os et les végétaux ont été déposés en même temps dans le foyer, au début de l'expérimentation.

Foyer 4 : Cette expérience est similaire à la précédente, si ce n'est que les parties spongieuses ont été fracturées avant d'être brûlées. La masse du combustible osseux employé pour ce foyer est de 3175 g. Nous avons également enfoui des ossements frais et secs à 3 cm sous la surface du sol. La combustion s'est donc déroulée dans une petite cuvette sur un sol meuble.

Foyer 5 : Dans cette expérience, à la masse initiale de végétaux, nous avons ajouté 3200 g d'os provenant de l'autre moitié de la carcasse de Mouton. Ils ont été conservés entiers.

La seconde série d'expériences est liée à des questions plus ponctuelles.

Foyer 6 : Des os secs ont été déposés dans le foyer, avec le combustible végétal, afin de tester s'ils avaient une influence quelconque sur le déroulement de la combustion.

Foyer 7 : Afin de tester si un feu peut être entretenu en étant alimenté uniquement avec des ossements frais, nous avons ajouté régulièrement des fragments d'os spongieux dans ce foyer. Le feu a été amorcé avec les mêmes proportions de combustibles végétal et osseux que dans le foyer 4.

Foyer 8 : Ce foyer alimenté seulement avec des végétaux, permet de vérifier le rôle joué par la cuvette dans les résultats obtenus dans le foyer 4.

Limites de l'expérimentation

Nous avons pris le parti de réaliser ces expériences en plein air afin d'être dans des conditions "réelles" d'utilisation de foyers. Tout en faisant ce choix, nous sommes conscients que la part de chaque facteur qui détermine le déroulement de la combustion est difficilement évaluable. Cependant, cette expérimentation ne visant pas à quantifier la combustion des ossements, la connaissance de paramètres comme la nature et la quantité de combustible utilisé et la température ambiante nous paraît suffisante.

Le nombre restreint d'expériences constitue également une limite. Cependant l'aspect principal de ce travail est de vérifier que l'os a pu servir de combustible au Paléolithique et surtout d'essayer de dégager des critères discriminants, à partir des ensembles osseux, permettant de caractériser les différentes causes de combustions des ossements. Les résultats concernant les potentialités de différentes formes de combustible osseux (os spongieux- os diaphysaire, os complet- os fracturé), en raison du nombre limité d'expériences, nécessitent la poursuite de nos travaux.

Les températures et les durées de combustion sont dépendantes de facteurs extrinsèques au combustible : température et hygrométrie atmosphériques, force du vent (THÉRY-PARISOT, 1998). Ces paramètres influencent donc les courbes de températures obtenues mais en raison de leur relative stabilité, ils ne jouent probablement qu'un rôle limité qui ne permet pas, à lui seul, d'expliquer la totalité des écarts observés entre les diverses expériences réalisées. Nous admettons, par conséquent, que ces différences sont directement fonction de la nature des combustibles employés.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Température de combustion (fig.4)

Foyer 1 : Ce foyer alimenté uniquement avec du combustible végétal sert de référence pour interpréter les autres foyers. La courbe d'évolution des températures montre un pic de chaleur élevé (température supérieure à 820°C) qui correspond à la combustion rapide des végétaux avec production de grandes flammes.

Quand celles-ci s'éteignent, la température diminue puis se stabilise autour de 500°C jusqu'à ce que les braises soient totalement consommées. La température baisse alors progressivement.

Foyer 2 : La courbe d'évolution des températures est très proche de celle du foyer 1. D'un point de vue thermique, les fragments de diaphyses n'apportent presque rien à la combustion, la température ambiante est atteinte dans les deux cas 2h30 après l'ignition. Les flammes s'éteignent plus tardivement que dans le foyer 1. Ceci peut être lié à la présence de matière organique dans les fragments osseux. Lorsque tout le combustible s'est consommé, la température chute de façon plus brutale que dans le foyer précédent.

Foyer 3 : La courbe de température obtenue dans cette expérience est très différente de celle du foyer 1. L'ajout de parties spongieuses fraîches et donc humides induit une augmentation progressive de la température. On n'observe pas, sur la courbe, le pic caractéristique de la combustion des végétaux. La température maximum résulte de la combustion des végétaux, relayée progressivement par celle du combustible osseux qui commence à s'emflammer 24 minutes après le début de l'expérience, lorsque la graisse commence à suinter. Les ossements deviennent alors incandescents. La graisse, présente en grande quantité dans les éléments spongieux, participe à la combustion et repousse le moment de l'extinction des flammes (80 minutes après le début de l'expérimentation contre 10 minutes pour le foyer 1). La chaleur produite par le foyer chute alors rapidement, de manière beaucoup plus abrupte que dans le foyer 1. L'explication réside dans le fait que, contrairement aux combustibles végétaux qui livrent des braises continuant à se consumer pendant un laps de temps relativement important, les ossements, dès que leur graisse est consommée, se refroidissent rapidement.

Cette expérience semble montrer que les fragments d'os spongieux, par la proportion importante de graisse qu'ils contiennent, peuvent servir de combustible.

Foyer 4 : Les ossements employés pour cette expérience sont restés une journée de plus exposés à l'air libre et sont donc légèrement moins humides que ceux du foyer 3. Ceci pourrait

expliquer l'augmentation rapide de la température (TRABAUD, 1989). Après la combustion des végétaux, la température continue à augmenter pour se stabiliser autour de 750°C. Ce palier est lié à la combustion de la graisse animale contenue dans la *spongiosa*. Ce n'est que lorsque la majeure partie de celle-ci s'est consommée que les flammes cessent et que la température du foyer commence à diminuer.

Les flammes stoppent plus tôt que dans le foyer précédent (60 minutes). La fracturation des parties spongieuses a permis un réchauffement plus facile de la graisse et pourrait expliquer son inflammation rapide. Le taux d'humidité du combustible a probablement joué un rôle qui reste à quantifier dans des expériences ultérieures.

Dans le foyer 4, contrairement aux autres expériences, la température se stabilise autour de 500°C durant 3 heures : la température ambiante étant atteinte 4 heures après le début de l'expérience. L'emplacement du foyer dans une légère dépression sur sol meuble (liée à l'enfouissement d'ossements), est à l'origine de cette "anomalie". Comme le signale J. Laloy (1981), l'aménagement en cuvette contribue au maintien d'"une ambiance thermique importante". Nous avons réalisé un nouveau foyer (foyer 8) possédant les mêmes caractéristiques que le foyer 1 mais placé dans cette cuvette. La comparaison des deux courbes (foyer 1 et foyer 8) semble confirmer le rôle joué par la cuvette dans la stabilisation des températures (palier aux alentours de 500°C).

Cette expérimentation montre à nouveau que les parties osseuses riches en tissus spongieux constituent un très bon combustible. Le fait de fracturer ces éléments permet d'accélérer et de faciliter la libération de la graisse rendant l'entretien du feu plus aisé.

Foyer 5 : La première partie de la courbe correspond à la combustion des végétaux. Elle est, en effet, identique à celle obtenue pour le foyer 1. Par la suite, la combustion des os complets induit la formation d'un second pic élevé. Celle-ci produit des flammes vives et la température dépasse 840°C. Le cœur du foyer est alors incandescent et la plupart des os longs se fissurent. Lorsque les flammes cessent, les températures chutent brusquement.

Contrairement au foyer 4, les os complets libèrent plus lentement la graisse qu'ils contiennent. Par conséquent, celle-ci participe plus tardivement à la combustion. Dans le foyer 5, quand les os commencent à se fissurer, on obtient un pic de chaleur très élevé, lié à la libération de la moelle.

Foyer 6 : Dans cette expérience, le combustible osseux est constitué d'os secs. Seule une extrémité proximale d'humérus contenant encore un peu de graisse s'est enflammée. La courbe d'évolution des températures est très proche de celle du foyer 1. La seule différence se situe au niveau de la vitesse de refroidissement du foyer qui est plus lente que dans la première expérience.

Confirmant les résultats obtenus par J. Laloy (1981) sur la combustion des os en laboratoire, cette expérience permet de démontrer que la partie minérale de l'os est incombustible. En raison de sa faible teneur en matière organique (collagène), l'os sec constitue donc un très mauvais combustible.

Foyer 7 : Dès l'ignition, le combustible osseux ajouté est identique à celui du foyer 4. Par conséquent, comme pour ce dernier, la température augmente très rapidement et dépasse 700°C. La diminution de température observée provient de la difficulté de faire s'enflammer les ossements ajoutés en trop grande quantité et trop tardivement. Une fois la température nécessaire à la combustion de la graisse atteinte, l'ajout progressif de nouveau combustible est à l'origine de la stabilisation de la température à 700°C. Dès que les flammes s'éteignent la température chute rapidement sans qu'il y ait de palier.

Cette expérience montre qu'il est possible d'alimenter un feu uniquement avec des ossements même si l'emploi de ce combustible est beaucoup plus contraignant que celui des végétaux. Une surveillance permanente est nécessaire afin de rajouter du combustible osseux tant que les flammes sont encore vives et la température élevée (supérieure à 500°C), et ce, en quantité modérée pour ne pas étouffer le feu et/ou abaisser la température du foyer. Dans le cas contraire, la graisse ne peut plus se liquéfier pour ensuite s'enflammer et le feu s'éteint.

Les durées de combustion ne sont pas directement comparables entre elles car l'apport en combustible n'est pas équivalent dans l'ensemble des expériences. Cependant l'observation des résidus osseux permet d'appréhender l'intensité de combustion. La quantité de combustible végétal restant constante tout au long de l'expérimentation, l'histologie du combustible osseux, combinée probablement à d'autres paramètres considérés comme minimales (*cf. supra*), influent directement sur l'intensité des dommages observés sur les résidus osseux de combustion.

Etat de coloration des ossements après combustion

L'état de coloration des os est considéré comme fonction de l'intensité de combustion (STINER *et al.*, 1995). Il s'inscrit dans un gradient progressif de couleur allant du brun au blanc en passant par le noir puis le gris. Comme nous l'avons dit précédemment, nous avons introduit la couleur grise, car contrairement à J. E. Buikstra et M. Swegle (1989), nous considérons qu'un os n'est calciné⁴ que lorsqu'il est totalement blanc. Les os gris en surface sont souvent seulement carbonisés dans les couches les plus internes de l'os. Sur certaines pièces présentant un dégradé de couleur du noir au blanc, nous avons remarqué la présence d'une zone brune rosée (Brown-Pinkish Grey) entre le gris et le blanc (Munsell : 7.5 YR : 5/2; 6/2). Dans les foyers sans fracturation des ossements, c'est à dire les foyers 3 et 7, seule la couleur de la face externe est prise en compte. En revanche dans les foyers 2, 4, 6 et 7, pour chaque pièce, c'est la face présentant la plus forte intensité de combustion qui est décomptée sans distinction des surfaces interne ou externe. En effet, contrairement aux os complets pour lesquels la surface interne est systématiquement moins brûlée que l'externe, les pièces fragmentées selon leur position dans le foyer ne présentent pas cette dichotomie. Cet aspect sera développé

⁴ Calcination : Transformation du carbonate de calcium (Co₃Ca) en chaux vive (CaO) lorsqu'il est soumis à une forte chaleur. Les ossements calcinés subissent donc des modifications au niveau de leur structure minérale. Ils deviennent blancs.

Carbonisation : Opération par laquelle la matière organique est réduite en charbon. Il se produit alors un enrichissement en carbone. Les os carbonisés prennent une coloration noire.

ultérieurement, mais pour certaines expériences, notamment la 4, on peut d'ores et déjà signaler que cette procédure modifie légèrement les résultats.

Dans les foyers 2 et 6 les stades avancés de calcination (couleur blanche) sont quasiment absents. Ce sont les os carbonisés (couleur noire) qui dominant (foyer 2 : stade 5 : 22 % et foyer 6 : stade 4 : 31,3 %). Ainsi d'après l'analyse des résidus osseux, il semble que la masse initiale de combustible végétal ne soit pas suffisante pour permettre la combustion totale des ossements. Dans les expériences 3, 4 et 5, les stades ultimes de la calcination dominant (stades 7 à 10), alors que la quantité d'ossements ajoutée est beaucoup plus importante que dans les foyers 2 et 6. Ceci montre que les parties spongieuses et les os complets, riches en graisse, participent activement à la combustion alors que les fragments de diaphyses et les os secs, pauvres en matière organique, sont de très mauvais combustibles.

Plus précisément, dans le foyer 4, la proportion de pièces calcinées est plus élevée que dans le foyer 3. Mise à part la fracturation, d'un point de vue quantitatif et qualitatif, les ossements déposés dans le foyer 4 sont identiques à ceux du foyer 3. La fracturation des portions spongieuses pourrait donc être à l'origine de l'accroissement de l'intensité de combustion observée dans le foyer 4. Il ne faut cependant pas négliger la variation du taux d'humidité dans les os ainsi que le rôle joué par la cuvette (*cf. supra*). Des expériences complémentaires sont donc nécessaires. Les os déposés entiers, dans le foyer 5, présentent également des stades de combustion avancés car la graisse contenue dans la cavité médullaire associée à celle présente dans les épiphyses participent activement à la combustion.

Dans le foyer 3, on observe un pic au niveau des pièces carbonisées qui s'explique par la présence de chair sur certaines portions squelettiques. En raison de sa forte teneur en eau, la chair fraîche présente sur les ossements ne semble pas favoriser la combustion de ces derniers. Ces résultats vont à l'encontre des hypothèses émises par I. Thèry-Parisot (1998). Ils devront être confirmés par d'autres expériences. Outre la chair, l'emplacement des os à l'intérieur du foyer semble influencer sur

l'intensité de leur combustion : certains os situés en périphérie de foyer sont classés dans les premiers stades de combustion. Les foyers 4 et 5 ont livré environ 16 % de restes ne dépassant pas le stade de la carbonisation (stade 5), tandis que, dans le foyer 3, ils représentent 22,7 % des pièces récoltées.

Dans le foyer 7, alimenté au cours de la combustion avec des ossements, les stades de combustion de 4 à 10 sont représentés dans des proportions similaires. Ce gradient est probablement fonction du temps d'exposition aux flammes, les os déposés vers la fin de l'expérience présentant des stades de combustion moins avancés que ceux présents dès le début.

Dans les foyers 3, 4, 5 et 7 où les ossements ont participé à la combustion, la présence majoritaire de pièces calcinées contraste fortement avec ce que nous observons dans les sites archéologiques, puisque à Saint-Germain-la-Rivière ou au Placard, les os carbonisés sont prépondérants.

Fragmentation (fig. 6)

Un futur article devant être consacré plus particulièrement à la fracturation des ossements liée à l'action du feu, nous ne donnons ici que quelques observations générales.

Les foyers 3 et 5 qui nous intéressent plus particulièrement (les portions squelettiques ont été déposées entières) comprenaient, avant combustion, respectivement 48 et 42 éléments. Après tamisage des cendres, les 229 fragments récoltés dans le foyer 3 et les 426 dans le foyer 5 montrent qu'effectivement la combustion induit un fort taux de fragmentation des ossements. La fragmentation des os complets paraît plus intense que celle des parties spongieuses seules, 81,2 % des restes étant inférieur à 2 cm pour le foyer 5 alors que cette fréquence ne dépasse pas 68 % dans le foyer 2.

DISCUSSION

Un certain nombre de points ont été mis en évidence lors de nos expérimentations. En premier lieu, les ossements peuvent effectivement servir de combustibles. Contrairement à ce que suppose R. L. Lyman

(1994, p. 388) "*humanly intended burnings tend to occur more frequently when bone is fleshed or green than when bone is dry, although dry bone may occasionally have been used as fuel for fire*", les os secs sont de très mauvais combustibles, comme en témoignent les résultats obtenus par J. Laloy (1981) et ceux obtenus par nous-même à partir du foyer 6. Seuls les os frais contiennent suffisamment de graisse dans leur structure pour leur permettre de participer efficacement à la combustion. C'est ainsi que les os longs complets, en raison de la quantité importante de graisse contenue aussi bien dans leurs épiphyses que dans leur cavité médullaire, constituent d'excellents combustibles. Il est cependant peu probable que des os aient été brûlés entiers, sauf dans le cas d'animaux en mauvaise condition physique dont la moelle des os est rarement consommée (SPETH 1983, SPETH et SPIELMANN 1983). Ainsi, les métapodes de Renne qui sont les derniers os longs à perdre leur intérêt nutritif (SPETH, 1983) ne sont jamais brûlés entiers par les Nunamiuts du Nord Alaska (RIGAUD : communication orale). Cette perte de graisse chez les Ongulés peut également influencer sur le gradient de combustibilité des ossements : des expériences complémentaires sont nécessaires pour tester ce point précis. Les parties spongieuses, dont l'utilisation induit une perte en graisse moins importante que celle des os complets, constituent, elles aussi, de très bon combustibles alors que les fragments de diaphyses seuls en sont de piètres.

Cependant l'utilisation de l'os en tant que combustible implique de nombreuses contraintes. Un foyer ne peut pas être allumé qu'avec des ossements. Nos résultats rejoignent ceux obtenus par I. Théry-Parisot : seule la combustion de végétaux ou d'autres matières organiques (e.g. bouse sèche) induisant une température importante peut permettre à l'os de libérer sa graisse et de participer ainsi à la combustion. En revanche, contrairement à ce qu'affirment F. Bazile et ses collaborateurs (1982), l'énergie d'initiation induite par des mousses et des brindilles de Saule est suffisante pour permettre la combustion de l'os. De tels foyers nécessitent un entretien quasi-continu et une surveillance permanente. En effet, si l'on veut alimenter un foyer qu'avec des ossements, la température doit rester toujours très élevée afin de permettre l'inflammation de la graisse.

Cette tâche semble pouvoir être simplifiée par l'utilisation de parties spongieuses fracturées intentionnellement permettant une libération rapide de la graisse. Contrairement au bois, l'os fournit des braises qui se refroidissent rapidement dès que les flammes disparaissent. Il est alors impossible de rallumer le feu. Pour ce dernier point, nos résultats semblent aller à l'encontre de ceux obtenus par M. Kretzoi et L. Vértes (1965)⁴.

La possibilité d'utiliser des ossements en tant que combustible n'autorise pas à conclure que tous les fragments d'os brûlés retrouvés sur les gisements préhistoriques sont liés à de telles activités. Comme nous l'avons souligné en introduction, les os brûlés peuvent avoir des origines variées. Les vestiges osseux ont pu être :

- 1- brûlés en cours de cuisson,
- 2- brûlés accidentellement,
- 3- jetés dans le feu à des fins d'hygiène,
- 4- utilisés comme combustible.

Il est évident que la prise en compte de la répartition spatiale des ossements brûlés fournit des éléments de réponse et permet de rejeter certaines hypothèses. Malheureusement, en l'absence d'informations spatiales précises (fouilles anciennes ou fouilles de sauvetage), seul l'examen des pièces brûlées est susceptible d'apporter les informations nécessaires.

En présence d'os présentant des stades de combustion avancés, la première hypothèse peut être rejetée. La carbonisation des parties osseuses, même en contact direct avec les flammes, implique forcément celle des parties consommables, la viande étant immangeable bien avant que l'os lui-même ne soit carbonisé.

Les ossements brûlés accidentellement peuvent être le résultat de feux naturels, mais comme le souligne B. David (1990), ils sont alors rarement calcinés. Les ossements enfouis sous des foyers peuvent également être brûlés (GRAYSON, 1988; WALTERS, 1988). M. C. Stiner et ses collaborateurs (1995) estiment que seuls les os enfouis à moins de 5 cm de la surface

⁴ L. Vértes a fait brûler des os frais dans un feu de bois. Une fois chauffés à blanc, il les a recouverts de terre. Plusieurs jours après, il affirme avoir pu rallumer un feu à partir de ces ossements enfouis, restés chauds.

sont affectés par le feu, leur stade de combustion ne dépassant pas la carbonisation. Les os enterrés sous le foyer 4 présentent également des traces de chauffage. Cependant contrairement à M. C. Stiner et ses collaborateurs (1995), aucun de ces os n'a atteint le stade de la carbonisation; ceci est probablement à mettre en relation avec une durée de chauffage et/ou un foyer trop peu important. Il semble que la surface osseuse la plus proche du foyer soit évidemment celle qui présente les stades de combustion les plus avancés. D'autres expériences sont nécessaires afin de voir si lorsque la durée et/ou l'intensité de combustion augmentent, ce phénomène est observé.

A elle seule, l'utilisation des stades de combustion ne permet pas de conclure en faveur d'une des deux dernières hypothèses citées précédemment. A la lumière de nos résultats, le seul moyen permettant de trancher entre une combustion liée à l'entretien du camp et celle due à l'emploi de combustible osseux semble être la prise en compte de la nature histologique des fragments osseux brûlés. Dans les cas de combustion accidentelle ou liée à l'entretien du camp, il semble peu probable que seuls des éléments précis aient subi l'action du feu. A la grotte du Placard comme à Saint-Germain-la-Rivière, la prépondérance des parties spongieuses brûlées, qui sont de meilleurs combustibles que les fragments de diaphyses, nous fait pencher en faveur d'une utilisation des ossements en tant que combustible. Cependant, il ne faut pas négliger les processus de conservation différentielle qui pourraient être à l'origine d'une meilleure préservation des parties spongieuses brûlées par rapport aux fragments de diaphyses également brûlés (THÉRY-PARISOT, 1998). Cependant, cette hypothèse nous semble peu probable. Il semble y avoir, à la lecture du travail d'I. Théry-Parisot (1998), une confusion entre "problème de conservation" et "problème de détermination". Suite à nos expériences, l'observation des résidus osseux de combustion ne permet en aucun cas de conclure à une meilleure conservation des fragments spongieux sur les fragments diaphysaires brûlés. En revanche, ce qui apparaît, c'est une plus forte fragmentation de ces derniers, en particulier dans le foyer alimenté avec des os complets (foyer 5). En tout état de cause, des études complémentaires sont nécessaires.

Comme l'ont souligné de nombreux auteurs (JOHNSON, 1989; KNIGHT, 1985; STINER *et al.*, 1995; WALTERS, 1988), la combustion induit un taux de fragmentation important des ossements. Comme nous l'avons dit précédemment, ceci est particulièrement vrai pour les os entiers qui, sous l'action de la chaleur, se brisent et fournissent un grand nombre de fragments. En revanche, pour le foyer avec des diaphyses seules, la fragmentation induite par la combustion est limitée. Ceci pourrait être mis en relation avec une faible intensité de combustion (stades de calcination rarement atteints). Le degré de fragmentation des parties spongieuses semble en relation directe avec l'intensité de combustion. En effet, les os seulement carbonisés présentent un taux de fragmentation réduit par rapport à celui des parties calcinées. D'autres expérimentations, ainsi que l'exploitation plus poussée des données relatives à ces premières expériences devraient nous permettre de mettre en évidence le lien entre le degré de fragmentation et les stades de combustion atteints par les ossements.

Certaines expérimentations ont été menées par d'autres auteurs afin d'évaluer le degré de fragilité de l'os après sa combustion. Pour J. A. Knight (1985), les forces de compression nécessaires à la fragmentation des os brûlés sont corrélées à leur densité. Certains parlent de fragmentation extrême (KNIGHT, 1985), d'autres de destruction intense (GILCHRIST et MYTUM, 1986). Comme le soulignent M. C. Stiner et ses collaborateurs (1995, p. 229), l'intensité de combustion de l'os est corrélée à son degré de fragmentation face au piétinement et à l'enfouissement. "*In the most extreme conditions, wherein ungulate bones are fully calcined, we might expect them to be nearly or completely reduced to a powder by soil compaction and trampling*".

Si, effectivement, les os calcinés présentent de forts taux de fragmentation liés à la combustion proprement dite mais également aux processus diagénétiques et au piétinement, nombreux sont ceux qui ne seront plus déterminables voire qui disparaîtront en poussière. Ces processus pourraient expliquer la faible fréquence d'os calcinés dans nos deux sites par rapport à celle relevée dans nos foyers expérimentaux. Si cette hypothèse se confirmait, nous serions en possession, dans nos

sites archéologiques, d'ossements ayant subi une combustion partielle, probablement en périphérie de foyers (ALLAIN, 1953). Dans un tel cas de figure, les conclusions de R. L. Lyman (1994, p. 389) : "Thus the degree to which a bone has been burned may provide a clue to the taphonomic agent responsible for the burning" deviendraient inadéquates par la perte d'information résultant de la pulvérisation des os calcinés. Seule la prise en compte de la nature histologique des fragments pourrait être une clef de discrimination des causes de combustion des ossements dans les gisements archéologiques et ce, d'autant plus, que les structures de combustion n'y sont pas conservées ou identifiées.

CONCLUSION

Bien que le nombre d'expériences soit limité, des points précis ont pu être abordés. Certains résultats obtenus sont confirmés par des expérimentations antérieures, notamment la possibilité d'utiliser des os frais (e.g. BAZILE *et al.*, 1982; KRETZOI et VÉRTES, 1965; THÉRY-PARISOT, 1998) en tant que combustible en raison de la graisse qu'ils contiennent ainsi que l'incombustibilité de la partie minérale des ossements (LALOY, 1981) et donc la faible utilité des os secs pour l'alimentation d'un foyer.

De nouveaux aspects sont abordés mais les résultats obtenus nécessitent une confirmation par des expériences complémentaires :

- les diaphyses seules apportent peu à la combustion,
- seuls les os longs complets ou les parties spongieuses participent activement à la combustion,
- l'emploi de parties spongieuses fracturées intentionnellement favorise la libération de la graisse et permettrait donc une meilleure combustion,
- la combustion totale des ossements aboutit à leur calcination.

Les ossements ayant servi de combustible présentent souvent des stades avancés de combustion. Pourtant, dans les sites

archéologiques, les pièces recueillies sont majoritairement carbonisées. Cependant, le faible taux de survie des pièces calcinées par rapport aux fragments carbonisés (STINER, 1995 et travaux en cours des auteurs) ne permet pas de rejeter, dans un tel cas de figure, l'utilisation de l'os en tant que combustible. Tous les ossements ne participant pas de façon identique à la combustion, la prise en compte de la nature histologique des fragments brûlés pourrait être un critère discriminant : dans les gisements étudiés, les parties spongieuses sont le plus fréquemment brûlées, ce qui pourrait indiquer l'utilisation de l'os en tant que combustible. Dans une telle hypothèse, il reste, cependant, à tester que les parties spongieuses carbonisées ne sont pas plus résistantes aux processus taphonomiques d'enfouissement et/ou de piétinement que les fragments de diaphyses brûlés.

La prépondérance de pièces carbonisées (et non calcinées) dans les sites archéologiques nécessite une nouvelle série d'expériences dans laquelle nous limiterons la combustion des ossements afin d'obtenir majoritairement des os carbonisés. Ces nouvelles expérimentations devraient nous permettre de savoir si la fragmentation des os carbonisés à Saint-Germain-la-Rivière est liée à leur combustion et/ou à une fracturation intentionnelle par les hommes préhistoriques, nos premiers résultats indiquant que cette pratique-ci facilite leur combustion.

L'emploi des ossements en tant que combustible a de nombreuses implications taphonomiques. Cet aspect des recherches nécessite une attention toute particulière. La mise en évidence de telles pratiques dans un gisement signifie une perte importante de matériel osseux qu'il ne faut pas négliger. Un des objectifs des études ultérieures sera d'essayer de quantifier cette perte.

La nécessité d'acquérir du combustible peut avoir des implications aussi bien au niveau du choix de l'emplacement du camp qu'au niveau de sa taille (THÉRY-PARISOT, 1998). Longtemps négligé par les préhistoriens, cet aspect est primordial et a probablement dicté, en association avec l'acquisition des ressources carnées, certains comportements. L'utilisation de l'os en tant que combustible peut avoir des

implications concernant le traitement des carcasses. Les ossements ne sont pas uniquement une source de nutriments mais ils sont également une source de chaleur : deux possibilités non cumulables. L'homme devait choisir entre la consommation de la graisse osseuse ou son utilisation en tant que combustible. Ce choix dépend de nombreux paramètres aussi bien environnementaux (couvert végétal, abondance des proies) qu'anthropiques (fonction du campement et/ou fonction du foyer (THÉRY-PARISOT, 1998)). A ce niveau, nous ne pouvons émettre que des suppositions. Dans la majorité des cas, la moelle contenue dans les diaphyses d'os longs était probablement réservée à la consommation. Cependant, durant les périodes de l'année où les animaux étaient en mauvaise condition physique, le faible apport énergétique de la moelle pouvait aboutir à son utilisation en tant que combustible. En revanche, la graisse contenue dans les parties spongieuses ne peut être consommée que par la production de bouillons gras (BINFORD, 1978; DELPECH et RIGAUD, 1974), qui nécessite un fort investissement en temps. En dehors de l'aspect énergétique vient donc se greffer une autre variable qui influe également sur les choix humains : le temps. Dans la mesure où les besoins en matières grasses étaient assouvis, l'utilisation de la graisse rouge en tant que combustible a pu être préférée à sa consommation en raison d'un traitement moins coûteux en temps.

Que ce soit pour palier à une pénurie de végétaux ou pour répondre à une volonté humaine, l'utilisation de combustible osseux induit, d'un point de vue nutritif, une perte en graisse. Entre les deux, l'Homme a dû trouver un équilibre.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier A. Fabre et J. Rossi qui nous ont fourni les ossements nécessaires à cette expérimentation, D. Armand, F. Delpech, J.-L. Guadelli, P. Michel et P. Villa pour leurs commentaires, L. Bartram pour les traductions en anglais, ainsi que l'Institut de Préhistoire et de Géologie du Quaternaire (Université de Bordeaux I) pour son aide financière.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLAIN J., 1953,
Foyers et dallages dans le Magdalénien de la Garenne à Saint-Marcel (Indre). *L'Anthropologie*, 57, p. 284-294.
- BAZILE F., 1996,
L'étude chimique des structures de combustion. in : O. Bar-Yosef, L.L. Cavalli-Sforza, R.M. March et M. Piperno (Eds.), *The Lower and Middle Palaeolithic, IX : The study of human behaviour in relation to fire in archaeology : New data and methodologies for understanding prehistoric fire structures*, vol. 5. A.B.A.C.O., Forli, XIII^e congrès UISPP, p. 49-56.
- BAZILE F., BAZILE-ROBERT E. et GUILLERAULT P., 1982,
Recherches sur l'espace habité (grottes et abris) au Paléolithique supérieur en Languedoc oriental. in : *Les habitats du Paléolithique supérieur*. Actes du colloque de Rouanne-Villerest (22-24 juin 1982). vol.1, p. 106-111.
- BELLOMO R.V., 1991,
Identifying traces of natural and humanly-controlled fire in the archaeological record : the role of actualistics studies. *Archaeology in Montana*, 32 (2), p. 75-93.
- BELLOMO R.V., 1993,
A methodological approach for identifying archaeological evidence of fire resulting from human activities. *Journal of Archaeological Science*, 20, p. 525-553.
- BELLOMO R.V. et HARRIS J.W.K., 1990,
Preliminary reports of actualistic studies of fire within Virunga National Park, Zaïre : Toward an understanding of archaeological occurrence. in : N.T. Boaz (Ed.), *Evolution of environments and Hominidae in the African Western Rift Valley*, Mémoire n°1. Virginia Museum of Natural History, Martinsville, VA, p. 317-338.
- BINFORD L.R., 1963,
An analysis of cremations from three Michigan sites. *Wisconsin Archaeologist*, 44, p. 98-110.

- BINFORD L.R., 1978,
Nunamiut Ethnoarchaeology. Academic Press, New-York. 509 p.
- BRAIN C.K., 1981,
The Hunters or the Hunted? An Introduction to African Cave Taphonomy. University of Chicago Press, Chicago. 365 p.
- BRAIN C.K., 1993,
The occurrence of burnt bones at Swartkrans and their implications for the control of fire by early hominids. in : C.K. Brain (Ed.), *Swartkrans : A Cave's Chronicle of Early Man*, vol. 8. Transvaal Museum Monograph, Pretoria, p. 229-242.
- BRAIN C.K. et SILLEN A., 1988,
Evidence from the Swartkrans cave for the earliest use of fire. *Nature*, 336, p. 464-466.
- BUIKSTRA J.E. et SWEGLE M., 1989,
Bone modification due to burning : experimental evidence. in : R. Bonnichsen et M. Sorg (Eds.), *Bone modification*, . Institute for Quaternary Studies, University of Maine, Orono, Maine, p. 247-258.
- CLARK J.D. et HARRIS J.W.K., 1985,
Fire and its roles in early hominids lifeways. *African Archaeological Review*, 3, p. 3-27.
- CLOTTES J., DUPORT L. et FERUGLIO V., 1993,
La Grotte du Placard à Vilhonneur (Charente). Rapport de Fouilles programmées. Poitou-Charente.
- COLLINA-GIRARD J., 1998,
Le feu avant les allumettes. Editions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris. 146 p.
- COSTAMAGNO S., en préparation,
Stratégies de chasse et Fonction des sites au Magdalénien. Thèse d'Université, Université de Bordeaux I.
- CORNWALL I.W., 1976,
Bones for the Archaeologists. Dent, London.
- CRADER D.C., 1982,
Hunters in Iron Age Malawi: The Zooarchaeology of Chencherere Rockshelter, Ph. D. University of California, Bekerley.
- DAVID, B., 1990,
How was this bone burnt ? in : S. Solomon, I. Davidson et B. Watson (Eds.), *Problem solving in taphonomy*, vol. 2. *Tempus*, p. 65-79.
- DELPECH F. et RIGAUD J.-P., 1974,
Etude de la fragmentation et de la répartition des restes osseux dans un niveau d'habitat paléolithique. in : H. Camps-Fabrer (Ed.), *L'Industrie de l'Os dans la Préhistoire*. Université de Provence, Provence, p. 47-55.
- FERRERI J.C. et MARCH R.J., 1996,
Using numerical models to analyze archaeological simple fire structures. in : O. Bar-Yosef, L.L. Cavalli-Sforza, R.M. March et M. Piperno (Eds.), *The Lower and Middle Palaeolithic, IX: The study of human behaviour in relation to fire in archaeology: New data and methodologies for understanding prehistoric fire structures*, vol. 5. A.B.A.C.O., Forli, XIII^e congrès UISPP, p. 57-63.
- GIFFORD D.P., 1980,
Ethnoarchaeological contributions to the taphonomy of human sites. in : A.K. Behrensmeyer et A. Hill (Eds.), *Fossils in the Making: Vertebrate Taphonomy and Paleocology*, . University of Chicago Press, Chicago, p. 93-106.
- GIFFORD-GONZALEZ D.P., 1989,
Ethnographic analogues for interpreting modified bones : some cases from East Africa. in : R. Bonnichsen and M. Sorg (Eds.), *Bone modification*, . Institute for Quaternary Studies, University of Maine, Orono, Maine, p. 179-246.
- GILCHRIST R. et MYTUM C., 1986,
Experimental archaeology and burnt animal bone from archaeological sites. *Circaea*, 4(1), p. 29-38.

- GOWLETT J.A.J., HARRIS J.W.K., WALTON D. et WOOD B.A., 1981,
Early archaeological sites, hominid remains, and traces of fire from Chesowanja, Kenya. *Nature*, 294, p. 125-129.
- GRAYSON D.K., 1988,
Danger Cave, Last Supper Cave, and Hanging Rock Shelter: The faunas. *Anthropological Papers of the American Museum of Natural History*, 66(1), New-York. 130 p.
- GRIGGO C., en préparation,
La faune de la Grotte du Placard : Etudes paléontologique, paléoenvironnementale et archéozoologique. in : J. Clottes, L. Duport et V. Feruglio (Dir.), *La Grotte du Placard à Vilhonneur, Charente*.
- GUBSER N.J., 1965,
The Nunamiut Eskimos: Hunters of the Caribou. Yale University Press, New Haven and London. 384 p.
- JAMES S.R., 1989,
Hominid use of fire in the Lower and Middle Pleistocene : a review of evidence. *Current Anthropology*, 30, p. 1-11.
- JAMES S.R., 1996,
Early hominid use of fire : recent approaches and methods. in : O. Bar-Yosef, L.L. Cavalli-Sforza, R.M. March et M. Piperno (Eds.), *The Lower and Middle Palaeolithic, IX : The study of human behaviour in relation to fire in archaeology : New data and methodologies for understanding prehistoric fire structures*, vol. 5. A.B.A.C.O., Forli, XIII^e congrès UISPP, p. 65-76.
- JOHNSON E., 1989,
Human modified bones from early southern Plains Sites. in : R. Bonnicksen et M. Sorg (Eds.), *Bone modification*, . Institute for Quaternary Studies, University of Maine, Orono, Maine, p. 431-471.
- JULIEN M., 1984,
L'usage du feu à Pincevent. in : J.H. H. Berke et C.-J. Kind (Eds.), *Actes du Colloque International Structures d'habitat du Paléolithique supérieur en Europe*. Verlag Archaeologica Venatoria, Tübingen, Reissensburg/Günzburg, p. 161-168.
- KOZLOWSKI J., VAN VLIET B., SACHSE-KOZLOWSKA E., KUBIAK H. et ZAKRZEWSKA G., 1974,
Upper Palaeolithic site with dwellings of Mammoth Bone-Cracow, Spadzista B. *Folia Quaternaria*, 44, p. 1-110.
- KNIGHT J.A., 1985,
Differential preservation of calcined bone at the Hirundo Site, Alton, Maine, Master Thesis, University of Maine.
- KRETZOI M. et VERTES L., 1965,
Upper Biharian (Intermindel) Pebble-industry occupation site in Western Hungary. *Current Anthropology*, 6, 74-87.
- LALOY J., 1981,
Recherche d'une méthode pour l'exploitation des témoins de combustion préhistoriques. *Cahiers du Centre de Recherche Préhistorique*, 7, 167 p.
- LENOIR M., 1983,
Le Paléolithique des Basses Vallées de la Dordogne, Thèse d'Etat, Bordeaux I, 3 t., 702 p., 462 fig., 41 tab.
- LENOIR M., MARMIE F. et TRÉCOLLE G., 1995,
Le gisement paléolithique de Saint-Germain-la-Rivière (Gironde). *Bulletin Société D'Anthropologie du Sud-Ouest*, t. XXX, p. 139-153.
- LYMAN R.L., 1985,
Bone frequencies, differential transport, and the MGUI. *Journal of Archaeological Science*, 12, p. 221-236.
- LYMAN R.L., 1994,
Vertebrate Taphonomy. Cambridge University Press, Cambridge. 524 p.

- MARCH R.J., 1996,
L'étude des structures de combustion préhistoriques : une approche interdisciplinaire. in : O. Bar-Yosef, L.L. Cavalli-Sforza, R.M. March et M. Piperno (Eds.), *The Lower and Middle Palaeolithic, IX: The study of human behaviour in relation to fire in archaeology: New data and methodologies for understanding prehistoric fire structures*, vol. 5. A.B.A.C.O., Forli, XIII^e congrès UISPP, p. 251-275.
- MOWAT F., 1953,
Moeurs et coutumes des Esquimaux caribous. Payot, Paris. 312 p.
- NICHOLSON R.A., 1993,
A morphological investigation of burnt animal bone and an evaluation of its utility in archaeology. *Journal of Archaeological Science*, 20, p. 411-428.
- PAYNE S., 1983,
Bones from cave sites : Who are what ? Problems and a case study. in : J. Clutton-Borck et C. Grigson, *Animals and Archaeology*, 1: *Hunters and their Prey*. BAR International Series 163, p. 149-162.
- PERLÈS C., 1977,
Préhistoire du Feu. Masson, Paris. 174 p.
- RIGAUD J.-P., SIMEK J.F. et GÉ T., 1995,
Mousterian fires from Grotte XVI (Dordogne, France). *Antiquity*, 69, p. 902-912.
- SHIPMAN P., FOSTER G. et SCHOENINGER M., 1984,
Burnt bones and teeth : an experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage. *Journal of Archaeological Science*, 11, p. 307-325.
- SILLEN A. et HOERING T., 1993,
Chemical characterization of burnt bones from Swartkrans. in : C.K. Brain (Ed.), *Swartkrans: A Cave's Chronicle of Early Man*, vol. n°8. Transvaal Museum Monograph, Pretoria, p. 243-249.
- SPENNEMANN D.H.R. et COLLEY S.M., 1989,
Fire in a pit : the effects of burning of faunal remains. *Archaeozoologia*, 3, p. 51-64.
- SPETH J.D., 1983,
Bison Kills and Bone Counts: Decision Making by Ancient Hunters. Prehistoric archeology and ecology. University of Chicago Press, Chicago. 227 p.
- SPETH J.D. et SPIELMANN K.A., 1983,
Energy source, protein metabolism, and hunter-gatherer subsistence strategies. *Journal of Anthropological Archaeology*, 2, p. 1-31.
- STINER M.C., KUHN S.L., WEINER S. et BAR-YOSEF O., 1995,
Differential burning, recrystallization, and fragmentation of archaeological bones. *Journal of Archaeological Science*, 22, p. 223-237.
- TAYLOR R.E., HARE P.E. et WHITE T.D., 1995,
Geochemical criteria for thermal alteration of bone. *Journal of Archaeological Science*, 12, p. 101-120.
- TCHESNOKOV Y., 1995,
La culture traditionnelle des éleveurs de rennes du Nord -Est de la Sibérie : problèmes et perspectives de développement. in : A.-V. Charrin, J.-M. Lacroix et M. Therrien (Eds.), *Peuples des Grands Nords. Traditions et transitions*, . Presses de la Sorbonne Nouvelle, Institut National des Langues et civilisations Orientales, Paris, p. 305-314.
- TCHETCHOULINAN L., 1995,
Le mode de vie et les traditions des peuples du Kamtchatka (1930-1990). in : A.-V. Charrin, J.-M. Lacroix et M. Therrien (Eds.), *Peuples des Grands Nords. Traditions et transitions*, . Presses de la Sorbonne Nouvelle, Institut National des Langues et civilisations Orientales, Paris, p. 33-39.
- THÉRY I., GRILL J., VERNET J.-L., MEIGNEN L. et MAURY J., 1995,
First use of coal. *Nature*, 373, p. 480-481.
- THÉRY-PARISOT I., 1998,
Economie du combustible et paléoécologie en contexte glaciaire et périglaciaire, Paléolithique moyen et supérieur du sud de la France. Thèse Université de Paris I. 2 tomes, 500 p.

- THURMAN M.D. et WILLMORE L.J., 1981,
A replicative cremation experiment. *North America Archaeologist*, 2, p. 275-283.
- TRABAUD L., 1989,
Les feux de forêts. Mécanismes, comportements et environnements. France-Sélection (Ed.), 278 p.
- VILLA P., BOUVILLE C., COURTIN J., HELMER D., MAHIEU E., SHIPMAN P., BELLUOMINI G. et BRANCA M., 1986,
Cannibalism in the Neolithic. *Science*, 233, p. 431-437.
- WALTERS J., 1988,
Fire and bones : patterns of discard. in : B. Meehan et R. Jones (Eds.), *Archaeology with Ethnography : An Australian Perspective*. Australian National University, Canberra, p. 215-221.
- WATTEZ J., 1994,
Micromorphologie des foyers d'Etiolles, de Pincevent et de Verberie. in : Y. Taborin (Eds.), *Environnements et habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien*, vol. 43. DAF, Paris, p. 120-127.
- WATTEZ J., 1996,
Modes de formation des structures de combustion : approche méthodologique et implications archéologiques. in : O. Bar-Yosef, L.L. Cavalli-Sforza, R.M. March et M. Piperno (Eds.), *The Lower and Middle Palaeolithic, IX : The study of human behaviour in relation to fire in archaeology : New data and methodologies for understanding prehistoric fire structures*, vol. 5. A.B.A.C.O., Forli, XIII^e congrès UISPP, p. 29-34.
- WHITE T.D., 1992,
Prehistoric cannibalism at Mancos 5MTUMR-2346. Princeton University Press, Oxford. 462 p.
- WÜNSCH G., 1996,
La gestion de l'espace social et l'apport des associations d'éléments de combustion. in : O. Bar-Yosef, L.L. Cavalli-Sforza, R.M. March et M. Piperno (Eds.), *The Lower and Middle Palaeolithic, IX : The study of human behaviour in relation to fire in archaeology : New data and methodologies for understanding prehistoric fire structures*, vol. 5. A.B.A.C.O., Forli, XIII^e congrès UISPP, p. 35-45.



Figure 1 : Localisation géographique de la grotte du Placard et du gisement de Saint-Germain-la-Rivière.

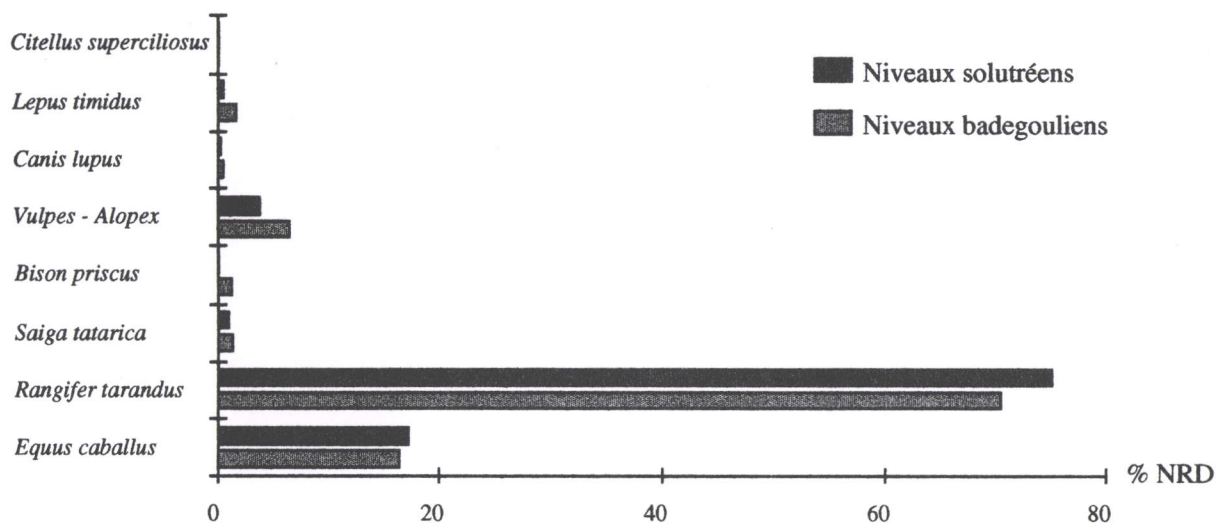


Figure 2 : Le Placard - taux de représentation des différents taxons.

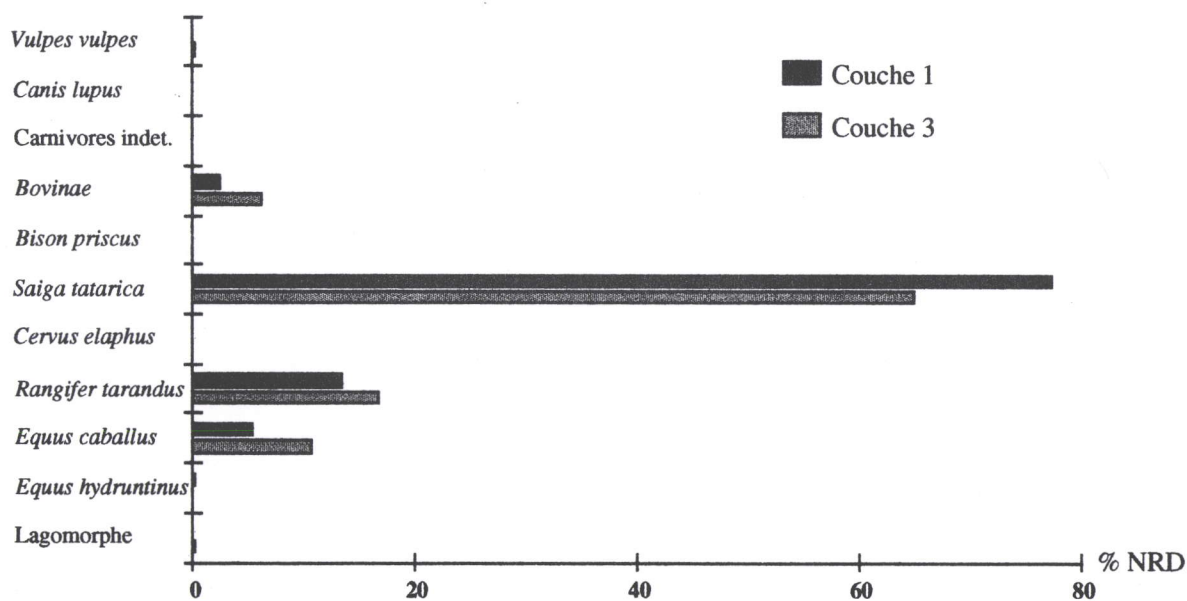


Figure 3 : Saint-Germain-la-Rivière - taux de représentation des différents taxons.

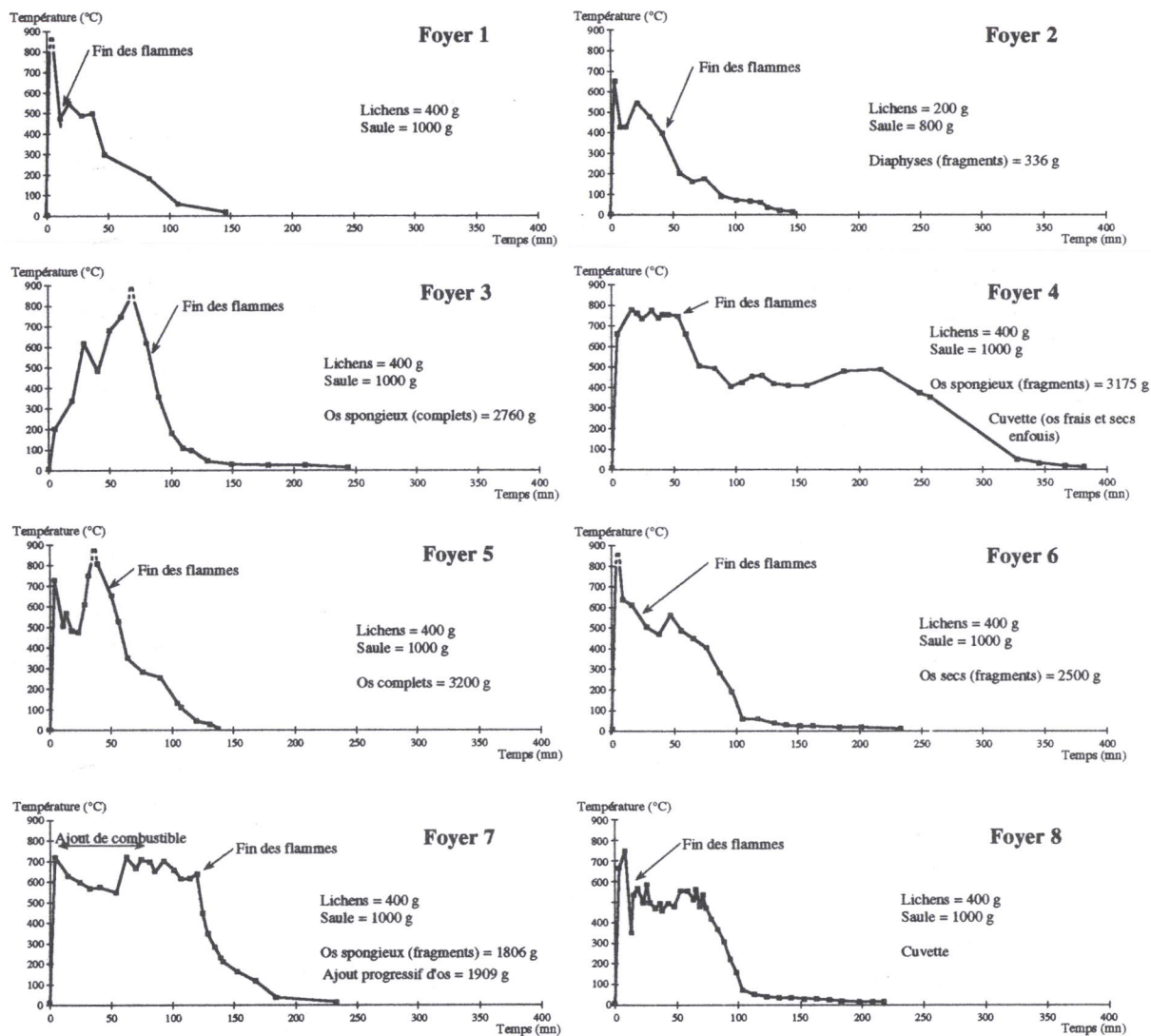


Figure 4 : Foyers expérimentaux - courbes d'évolution des températures.

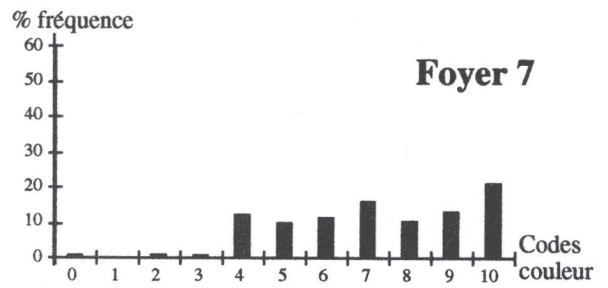
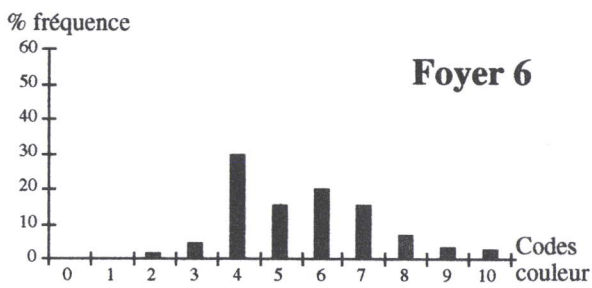
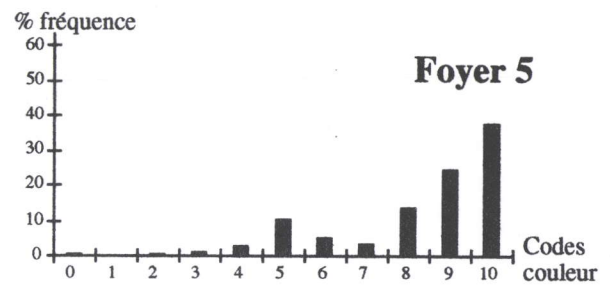
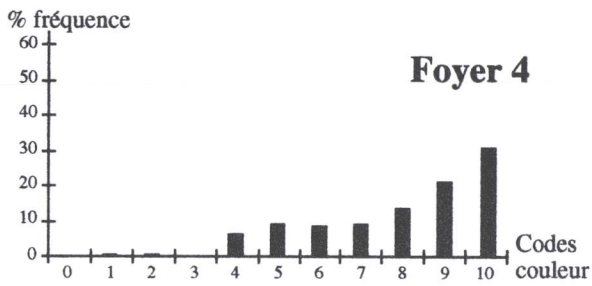
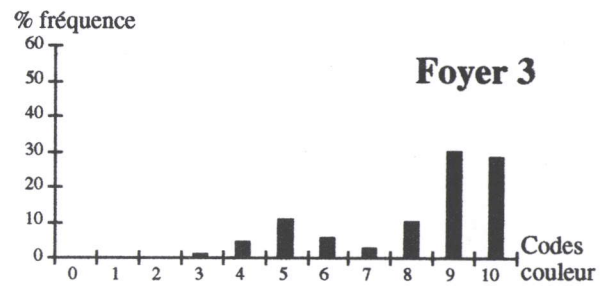
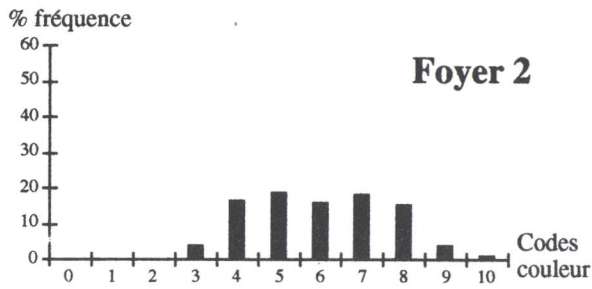


Figure 5 : Foyers expérimentaux - distributions des ossements en fonction de leur couleur de combustion (selon le code couleur défini par Stiner *et al.*, 1995, modifié).

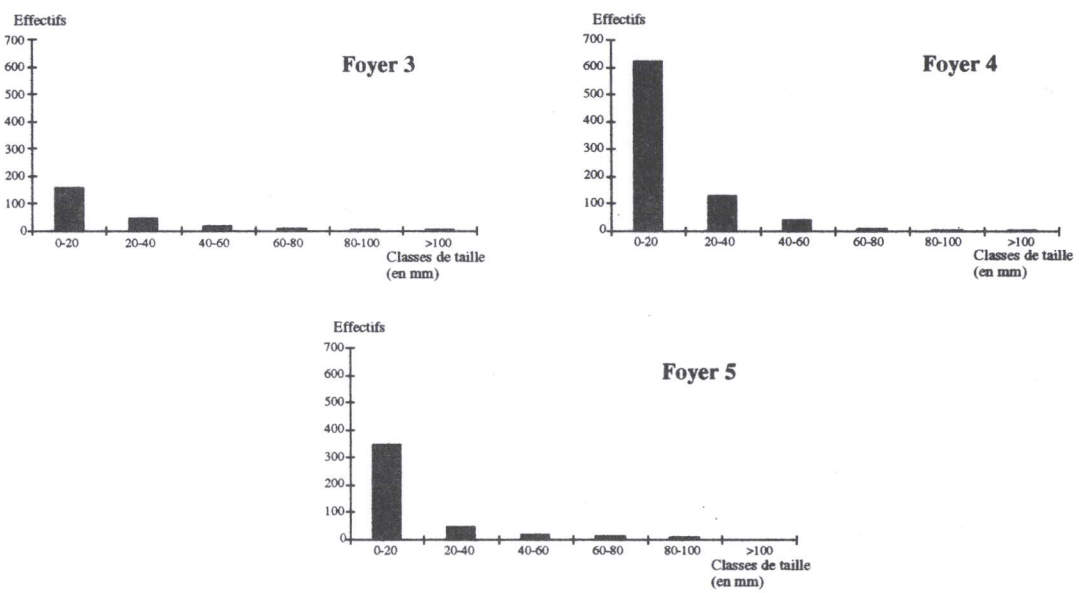


Figure 6 : Foyers expérimentaux - distributions des fragments osseux par classe de taille.

	Niveaux badegouliens			Niveaux solutréens		
	Restes brûlés	Restes totaux	% brûlés	Restes brûlés	Restes totaux	% brûlés
Dents	25	525	4,8	59	513	11,5
Vertèbres	3	196	1,5	14	212	6,6
Côtes	2	378	0,5	6	768	0,8
Coxaux	1	34	2,9	8	44	18,2
Os longs-épiphyes	4	381	1,0	43	511	8,4
Os longs-diaphyses	2	852	0,2	15	1667	0,9
Carpiens-Tarsiens	5	267	1,9	21	266	7,9
Phalanges	4	405	1,0	11	338	3,3

Tableau I : Le Placard - proportions des restes déterminés brûlés par grand groupe anatomique.

	Niveaux badegouliens	Niveaux solutréens
% NRD brûlés	1,5	4,1
% NID brûlés (épiphyes, fragments)	15,5	46,1
% NID brûlés (diaphyses, fragments)	3,4	7,0

Tableau II : Le Placard - proportions de restes brûlés déterminés (NRD) et non déterminés (NID).

	Couche 1			Couche 3		
	Restes brûlés	Total des restes	% brûlés	Restes brûlés	Total des restes	% brûlés
Crâne	1	177	0,6	3	117	2,6
Dents	-	378	-	-	242	-
Vertèbres	14	62	22,6	6	22	27,3
Côtes	1	64	1,6	2	24	8,3
Scapula	2	15	13,3	2	13	15,4
Humérus	-	112	-	8	93	8,6
Radius	4	111	3,6	4	71	5,6
Ulna	1	43	2,3	1	14	7,1
Carpies	4	70	5,7	11	58	19,0
Métacarpe	1	104	1,0	3	82	3,7
Coxal	4	32	12,5	7	17	41,2
Fémur	4	92	4,3	1	79	1,3
Patella	1	15	6,7	-	6	-
Tibia	2	147	1,4	3	70	4,3
Maléolle	-	15	-	1	3	33,3
Tarsiens	4	86	4,7	30	67	44,8
Métatarse	2	104	1,9	4	97	4,1
Métapode	2	48	4,2	7	65	10,8
Phalanges	3	261	1,1	4	153	2,6
Sésamoïdes	1	58	1,7	-	44	-

Tableau III : Saint-Germain-la-Rivière - proportions de restes brûlés déterminés par éléments anatomiques.

	Couche 1			Couche 3		
	Restes brûlés	Restes totaux	% brûlés	Restes brûlés	Restes totaux	% brûlés
Dents	0	120	0	0	136	0
Côtes	157	1099	14,3	280	876	32,0
Diaphyses os longs	152	1590	9,6	319	1771	18,0
Tissus spongieux	727	1334	54,5	1218	1638	74,4
Restes indéterminés	1178	3491	33,7	3439	6341	54,2
Lagomorphe	0	174	0	14	1601	0,9

Tableau IV : Saint-Germain-la-Rivière - proportions de restes brûlés déterminés par grand groupe anatomique.

Tailles (mm)	Couche 1			Couche 3		
	Restes brûlés	Restes totaux	% brûlés	Restes brûlés	Restes totaux	% brûlés
0-20	1818	5834	31,2	4677	9684	48,3
20-40	226	1381	16,4	455	1887	24,1
40-60	11	109	10,1	14	326	4,3
60-80	0	61	0	2	65	3,1
80-100	0	15	0	0	28	0
>100	0	10	0	0	13	0

Tableau V : Saint-Germain-la-Rivière - Distribution des restes brûlés par classe de taille.

codes	Couleurs des ossements
0	os non brûlé
1	couleur brune
2	couleur noire minoritaire, brune majoritaire
3	couleur noire majoritaire, brune minoritaire
4	os totalement noir (carbonisé)
5	couleur grise minoritaire, noire majoritaire
6	couleur grise majoritaire, noire minoritaire
7	os entièrement gris
8	couleur blanche minoritaire, grise majoritaire
9	couleur blanche majoritaire, grise minoritaire
10	os totalement blanc (calciné)

Tableau VI : Codes utilisés en fonction de la couleur de combustion des ossements (modifiés par Stiner *et al.*, 1995).

Foyers	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Foyer placé dans une cuvette sur sol meuble										
Os frais et secs enfouis à 3 cm sous la surface										
Combustible végétal pour amorcer le feu										
Fragments de diaphyses d'os longs frais sans la moelle										
Os frais spongieux complets										
Os frais spongieux fragmentés										
Os frais entiers										
Os secs fragmentés										
Combustible végétal										
Ajout régulier de fragments d'os frais spongieux										
Ajout régulier de combustible végétal										

Tableau VII : Foyers expérimentaux - tableau récapitulatif indiquant les caractéristiques de chaque foyer (les zones grisées indiquent les éléments présents).

	Foyer 2	Foyer 3	Foyer 4
Combustibles	Diaphyses (sans moelle) : 2 humérus 2 radio-ulnaire 2 métacarpes 2 fémurs 2 tibias 2 métatarses	Parties spongieuses complètes : 3 vertèbres cervicales + 6 vertèbres thoraciques 3 vertèbres lombaires + 1 scapula 1 humérus + 1 radio-ulnaire + 1 métacarpe 1 massif carpien + 1 moitié de bassin + 1 fémur 1 patella + 1 tibia + 1 métatarse 1 massif tarsien + 4 premières phalanges 4 sabots avec deuxième et troisième phalanges 10 sésamoïdes 7 massifs tarsiens avec extrémités distales de tibia	Parties spongieuses fracturées : Combustibles ajoutés identiques à ceux du foyer 3
Poids	mouton complet : 336 g	Demi-mouton : 2350 g Massifs tarsiens supplémentaires : 410 g	Demi-mouton : 2550 g Massifs tarsiens supplémentaires : 625 g

	Foyer 5	Foyer 7
Combustibles	Os complets Combustibles ajoutés identiques à ceux du foyer 3	Os complets Combustibles ajoutés identiques à ceux du foyer 3 combustibles ajoutés au cours de la combustion : 11 humérus (prox) + 6 humérus (dist) 1 radio-ulnaire + 6 radio-ulnaires (prox) 6 radio-ulnaires (dist) + 1 tibias (dist) 2 scapulas + 3 scapula (zone art.) + 1 scapula (lame) 7 carpiens + 1 talus + 2 cubo-naviculaire
Poids	Demi-mouton : 3200 g Massifs tarsiens supplémentaires : 625 g	Demi-mouton : 1806 g Os ajoutés au cours de l'expérimentation : 1909 g

Tableau VIII : Foyers expérimentaux - composition du combustible osseux employé dans chaque foyer.