Technologie des matières dures d'origine animale et la démarche expérimentale

Marianne Christensen

Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 7041 CNRS, ArScAn - équipe ethnologie préhistorique

Manuscrit remis en 2011, revu et complété en 2016 et 2018

La transformation des matières dures d'origine animale est pratiquée dès le Paléolithique par les sociétés de chasseurs-cueilleurs. Toutefois, les premiers occupants de l'Europe faisaient peu appel à ces matériaux pour constituer leur équipement. Ils utilisaient essentiellement des éclats d'os peu ou pas modifiés par retouche. A partir de 40 000 BP arrive en Europe un nouveau groupe humain et, avec lui, apparaît la transformation de ces matières à l'aide de techniques adaptées à leurs caractéristiques structurelles, et différentes de celles qui étaient employées pour la taille de la pierre. Les différents groupes humains ont alors commencé à exploiter systématiquement les matières dures d'origine animale pour réaliser une partie importante de leur équipement, jusqu'à l'aube de l'Holocène. Divers armes, outils et objets décoratifs étaient ainsi fabriqués à partir des restes du squelette interne ou externe d'animaux sauvages chassés, charognés, ou simplement collectés dans la nature. Plus tard, à partir du Néolithique, vers 6500 avant notre ère, les restes des animaux domestiques furent également largement mis à contribution, et l'éventail d'objets fabriqués change, en s'élargissant à de nouveaux domaines techniques (agricole, sylvicole, poterie etc.). Enfin, avec les sociétés urbanisées des époques gréco-romaines, médiévales et modernes, l'industrie s'étend à une large gamme d'objets recouvrant des domaines très divers : ameublement, loisir, hygiène, ornement, religieux...

Les recherches sur cette industrie, dont les bases théoriques ont été inspirées des approches technologiques du matériel lithique, utilisent largement l'approche expérimentale. Le but premier de l'expérimentation est de constituer une grille de critères de comparaison inspirée par l'observation de la morphologie des outils et de leurs parties actives, de leurs matières premières et de leurs stigmates techniques et/ou fonctionnels. L'expérimentation « archéologique » implique l'utilisation de moyens matériels et de gestes techniques supposés identiques à ceux employés par les sociétés étudiées. Le comparatisme avec des objets d'origine ethnographique ou artisanale peut aussi

constituer une source d'informations hypothétiques, mais celles-ci ne prennent toute leurs valeur que lorsqu'elles sont accompagnées d'une documentation. A partir de la grille de critères ainsi construite, les objets archéologiques peuvent faire l'objet d'hypothèses interprétatives. Ainsi l'expérimentation n'est pas une discipline, mais une démarche scientifique, rigoureuse et reproductible, qui soutient les études technologiques de culture matérielle.

1 Les recherches en technologie osseuse : bref historique

L'intérêt pour les pièces en os, ivoire ou bois de cervidé, fabriquées par des sociétés du passé s'est manifesté très tôt, dès la fin du XIX^{e} et le début du XX^{e} siècle. Sauf exception, seuls les objets étaient alors considérés, et les interrogations concernaient surtout leurs rôle et fonction. Le Nouveau Monde, en cours de découverte, fournissait une sorte de catalogue, y compris technique, des instruments et comportements de populations dites « primitives ». L'industrie osseuse n'a pas échappé à ces analogies hasardeuses et une nomenclature fonctionnelle se créa, appuyée sur des parallèles avec des objets ethnographiques de l'époque (coins, harpons, aiguilles, propulseurs...). Très exceptionnellement des reconstitutions expérimentales étaient tentées pour tester ces hypothèses fonctionnelles ou élucider certains détails techniques de fabrication observés sur les objets. Ainsi très tôt, L. Henri-Martin mène une véritable expérimentation sur l'éclatement d'os longs d'équidés « ... afin de rechercher les conditions de fractures quaternaires ... » (Henri-Martin 1910, p. 299). Ses observations et sa minutieuse analyse des résultats donne lieu à un compte rendu publié dans le bulletin de la société préhistorique française, tout aussi rigoureux (si ce n'est plus) que ceux publiés par certains expérimentateurs actuels. Plus tard, dans les années 1930, D. Peyrony tente de reconstituer la fabrication des pointes de sagaies à base fendue à partir du bois végétal. A partir des années 1940, un chercheur soviétique, S. A. Semenov, met en place une approche qu'il nomme « *experimental traceological studies* », dont l'objectif est d'identifier la fonction des outils lithiques et osseux. L'expérimentation y représente un outil indispensable pour reconstituer les référentiels de traces d'utilisation (Semenov 1964). Il faut cependant attendre plusieurs décennies avant que cette approche dite « tracéologique » fasse école en Europe occidentale, tout d'abord dans les années 1970/80 pour les instruments lithiques puis, à partir des années 1990, pour l'équipement en matières dures d'origine animale.

L'étude de ces industries osseuses avait pris une nouvelle orientation dès les années 1970, grâce à une approche disciplinaire développée sous l'impulsion de H. Camps-Fabrer. Deux colloques internationaux successifs sur « l'industrie de l'os dans la Préhistoire » tenus à l'Abbaye de Sénanque témoignent alors de l'intérêt croissant pour le travail des matières osseuses, le premier en 1974 et le second en 1976 (Camps-Fabrer 1974, 1977). A cette période, mais dans le domaine lithique, l'approche technologique « à la française » se met en place. Le décryptage des techniques se fait à travers l'utilisation d'un outil analytique emprunté aux ethnologues des techniques, la chaîne opératoire, qui permet de séquencer les actes techniques, puis de découvrir les intentions dont elle témoigne et les choix effectués. Cet outil d'analyse devient alors indispensable pour tout archéologue confronté à une source documentaire uniquement matérielle (Pigeot 2011).

Les recherches en industrie osseuse ne sont pas restées étrangères à ce courant technologique comme en témoignent plusieurs articles publiés dans les années 1970 et 1980, dans des actes de Colloques et de Tables Rondes, organisés principalement sous l'égide de la *Commission de Nomenclature sur l'industrie de l'os préhistorique*. Mais, force est de constater que, de façon générale, les approches restent principalement orientées vers l'équipement et ses caractéristiques, et répondent surtout à une première nécessité : s'accorder sur une nomenclature commune. Ainsi, les chaînes techniques sont étudiées à partir des objets, tandis que la reconstitution des premières étapes d'acquisition et de débitage, effectuée *via* l'étude des déchets, reste relativement rare. D. Stordeur et M. Julien utilisent ainsi le concept de chaîne opératoire pour reconstituer la fabrication des aiguilles pour l'une, et des harpons pour l'autre. Mais les productions sont rarement appréhendées dans leur globalité, à l'exception des travaux précurseurs d'A. Billamboz (1977), M. Chech (1974), et J. Hahn (1977).

L'intérêt grandissant pour les aspects techniques de la fabrication des objets et de leur utilisation, fait naître progressivement le besoin de définir des critères d'identification des stigmates laissés par ces opérations. Dans ce but, de nombreux chercheurs font appel à l'approche expérimentale : A. Billamboz, H. Camps-Fabrer et A. d'Anna, M. Dauvois, C. Murray, M. Newcomer, A. Rigaud, D. Stordeur… En 1983, sous l'initiative de D. Stordeur, le groupe ETTOS* est créé, réunissant des chercheurs en technologie et tracéologie des industries osseuses.

Dans le domaine fonctionnel, les bases des premiers référentiels sont alors posés par P. Cattelain pour les propulseurs, S. Arndt, C. A. Bergman, R. D. Guthrie et M. Newcomer pour les pointes de projectiles.

Un nouvel axe de recherche apparaît à partir des années 1990, avec des approches technologiques menées systématiquement sur des ensembles de composantes de l'industrie osseuse ; dans certains cas, un intérêt particulier est accordé aux caractéristiques structurelles, physico-chimiques et mécaniques des matières dures d'origine animale utilisées. De ce nouveau mouvement témoigne un certain nombre de thèses universitaires soutenues dans les années 1990 et au début des années 2000 : A. Averbouh, S. Y. Choi, M. Christensen, E. David, H. Knecht, D. Liolios, N. Provenzano, A. Vincent… Dès la fin des années 1990, A. Averbouh proposait, un nouveau cadre méthodologique comprenant l'adaptation de la méthode des remontages aux spécificités de la matière osseuse (Averbouh 2000, Averbouh, Bégouën, Clottes 1999).

En identifiant systématiquement les techniques de fabrication grâce à la lecture précise de leurs stigmates, et en établissant la succession et l'organisation des actes techniques, *via* la chaîne opératoire, on recherche alors les objectifs et les motivations qui ont guidé les productions. Mais la vraie nouveauté consiste à étudier systématiquement l'ensemble des composantes de l'industrie (Figure 1) : non seulement les objets, mais aussi les déchets (ce qui reste après la production) et les produits (ébauches et supports) résultant des étapes intermédiaires. Ainsi ce sont les paramètres techniques et économiques régissant l'exploitation des matières osseuses qui sont identifiés. Cette façon d'étudier le matériel osseux implique nécessairement le développement de l'approche expérimentale afin de vérifier les hypothèses interprétatives émises.

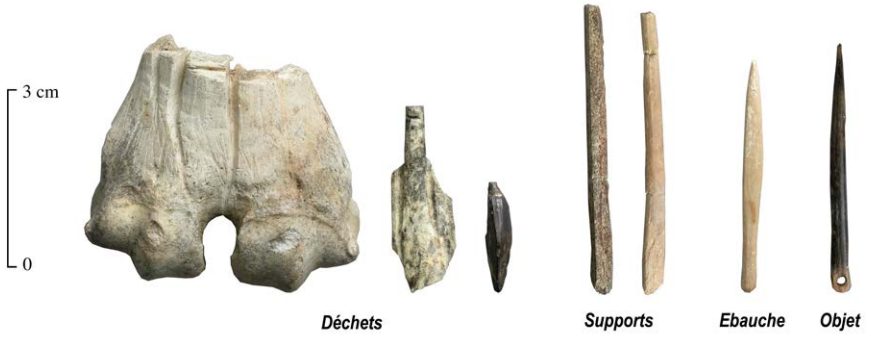


Figure 1 – Les principales composantes d'une industrie osseuse (déchet, support, ébauche et objet), illustrées par les éléments provenant de la chaîne technique de fabrication reconstituée pour les aiguilles sur le site magdalénien du Bois Ragot (Vienne). © M. Christensen.

En fait, l'approche technologique concerne non seulement le « comment » d'une production, mais aussi le « pourquoi ». Cette approche de la fonction des outils est réalisée grâce à la comparaison entre les signatures tracéologiques archéologiques et celles des référentiels expérimentaux. L'approche fonctionnelle a ouvert la voie à la reconstitution des procédés de fonctionnement des objets, mais son application aux matières osseuses est complexe. En effet, sur les objets en matières dures d'origine animale, les signatures tracéologiques se superposent non seulement aux stigmates techniques de fabrication, mais aussi aux marques de modifications d'ordre naturel, qu'il s'agisse d'usure ou de cassures de certaines parties anatomiques du vivant même de l'animal (bois de cervidé et dents, principalement), ou d'altérations taphonomiques antérieures ou postérieures à leur enfouissement dans le sol (Maigrot 1997). Les premières applications tracéologiques à l'industrie osseuse intervinrent très ponctuellement dans les années 1980 en utilisant différentes échelles, des plus petites aux plus grandes (P. Anderson-Gerfaud et D. Stordeur, J. Bouchud, D. V. Campana, A. Peltier et H. Plisson, I. Sidera…). Elles se généralisent à partir des années 1990 avec une véritable approche micro-tracéologique (G. LeMoine, Y. Maigrot, R. Christidou…), mais sont appliquées principalement aux périodes néolithiques et mésolithiques.

Enfin, au cours de la dernière décennie, s'est manifesté un regain d'intérêt pour la macro-tracéologie fondée sur la lecture détaillée de certains stigmates d'utilisation, comme les fractures ou ébréchures liées au fonctionnement d'un outil ou d'une arme. Là encore, le rôle de l'expérimentation est fondamental.

La multiplication des approches en technologie osseuse a pour conséquence une meilleure connaissance de l'équipement des sociétés du passé, tant dans le domaine domestique que cynégétique, et même symbolique, mais celles-ci nécessitent dans le cadre de l'expérimentation, une bonne compréhension des matériaux exploités et de leurs caractéristiques physiques et chimiques

Encart 1.- Quand l'expérimentation pointe les limites de l'interprétation tracéologique. Le cas des outils sur os tronqués

Yolaine Maigrot(1), Noëlle Provenzano(2)
(1)Université Paris 1-Panthéon-Sorbonne, CNRS, Trajectoires
(2)Université Paul Valery - Montpellier 3, CNRS, ASM

Les outils sur os tronqués sont des pièces relativement massives issues d'une bipartition transversale d'os longs de grands mammifères ayant conservé une épiphyse et dont, d'une part, le pan de fracture révèle des plages d'écrasement et, d'autre part, les bords présentent des négatifs d'enlèvements (Figure 1).

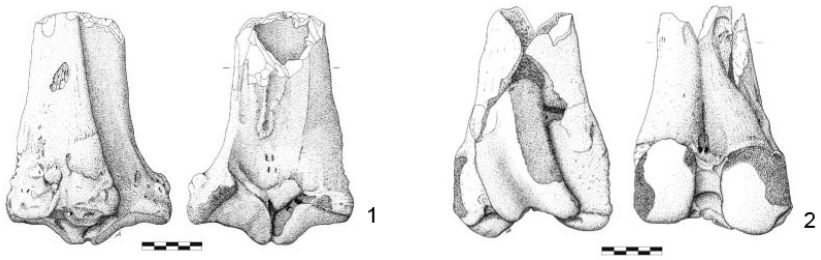


Figure 1 : Outils sur os tronqué, exemplaires archéologiques du Néolithique final de « La Noue Fénard » (Seine et Marne) – 1 : Tibia d'aurochs, 2 : Fémur d'aurochs. (Dessin Marie-France André).

Ce type est connu dans divers contextes chrono-culturels et sur plusieurs points du globe. Des tibias, des radius ou des fémurs tronqués d'équidés sont signalés dès le Néolithique ancien du Moyen-Orient à Mureybet et à Cafer Höyük (Stordeur 1988). Parmi tous les exemples recensés ce sont le plus souvent des os longs de grands ruminants sauvages qui ont été utilisés, dont le cerf comme à la Balme de Sollières-Sardières (Savoie, Néolithique final et Bronze ancien), à l'Albion de Martigues (Bouches du Rhône, Bronze moyen), ou encore l'aurochs à Vignely la Noue Fenard (Seine et Marne, Néolithique final). De nombreux exemplaires, élaborés à partir de fémur ou de tibia de guanaco, ont également été inventoriés dans les cultures paléoindiennes de Patagonie (Hadjuk, Lezcano 2005). L'extrémité distale de toutes ces pièces porte des traces macroscopiques très comparables, caractérisées par : des négatifs contigus au plan de frappe, des plages d'écrasements avec séparation et recourbement des fibres du tissu osseux, des zones émoussées et polies et des zones brutes de débitage (Figure 2).



Figure 2 : Outils sur os tronqué, exemplaires subactuels de Patagonie – 1 : *Hadjuk et Lezcano 2005, p. 69 et 70* - 1a : Tibia proximal de guanaco (El Trébol) ; 1b et 1g : Tibia distal de guanaco (Hill Station) ; 1c et 1h : fémur proximal de guanaco (Arroyo Feo) ; 1e et 1j : Fémur distal de guanaco (Hill Station) ; 2 : *coll. Institut de la Patagonie* – Radius distal de guanaco (Lago Toro).

De l'expérimentation à l'identification de la signature tracéologique

L'analyse approfondie de ces objets nécessitait l'élaboration d'un référentiel expérimental afin de documenter leur signature tracéologique (Figure 3), référentiel prenant en compte l'ensemble de la chaîne technique de transformation.

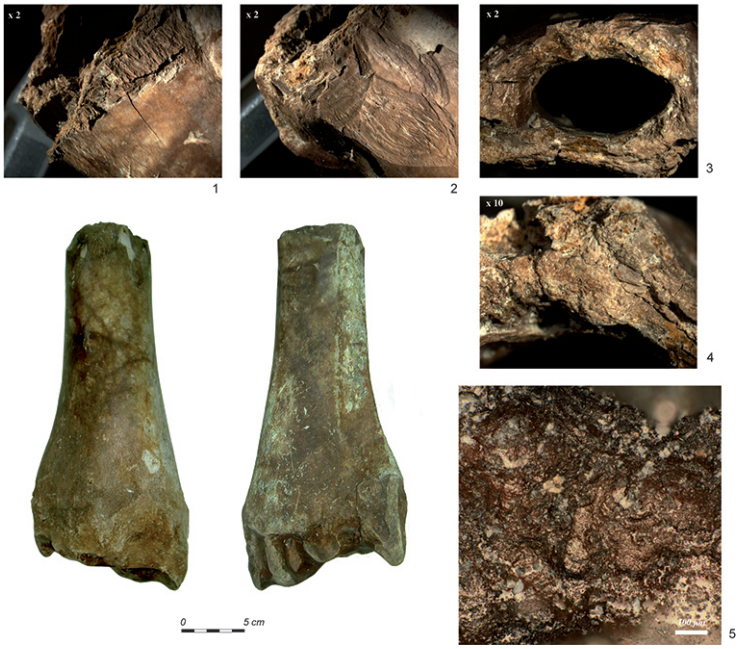


Figure 3 : Signature tracéologique commune aux os tronqués d'après l'exemple de Vignely « La Noue Fénard », Radius d'aurochs (Néolithique final, Seine et Marne) – 1 : Négatifs d'enlèvements contigus ; 2 : Négatifs d'enlèvements latéraux ; 3 et 4 : Plage d'écrasement ; 5 : Détail de la micro-surface irrégulière et rugueuse, seules les élévations apparaissent lissées et finement striées. (Photos : Y. Maigrot).

La transformation

Une première série d'expérimentations a été consacrée au débitage par fracturation transversale. A défaut d'os d'aurochs ou de cerf, nous avons sélectionné une cinquantaine de tibias et de radius frais de taureau de race brave natifs de Camargue auxquels les conditions d'élevage semi-sauvage et d'alimentation entièrement naturelle confèrent des propriétés mécaniques plus proches des os archéologiques.

Divers modes de débitage ont été mis en œuvre sur des blocs bruts et sur des blocs préalablement entaillés. Il fut rapidement évident que les différents types de fracturation obtenus dépendaient en fait directement de la position de l'os sur l'enclume et de la localisation de la percussion (Figure 4) et non pas, comme nous le pensions au départ, d'une éventuelle étape de préparation du bloc à débiter. Lorsque la percussion est portée sur l'os reposant à plat sur l'enclume, nous obtenons une fracturation en éclisses, que le support ait été préparé ou non (Figure 4-1). Lorsque la percussion est pratiquée sur l'os reposant en porte-à-faux sur l'enclume, la fracturation dépend de la localisation de l'impact (Figure 4-2 et 4-3). Lorsqu'elle est réalisée entre l'enclume et le sol, la fracturation transversale peut être obtenue à condition que le support ait été préalablement entaillé, avec, toutefois, un risque de fracturation oblique et/ou de fissuration longitudinale de la matrice osseuse (Figure 4-2). Enfin, lorsque l'impact est situé sur l'os juste au niveau de l'arête de l'enclume, la fracturation transversale est généralement réussie, que le support ait été

préalablement délinéé ou non (Figure 4-3). Ces premières conclusions concordent avec d'autres travaux expérimentaux, notamment ceux de A. Hajduk et M. Lezcano (Hadjuk, Lezcano 2005).

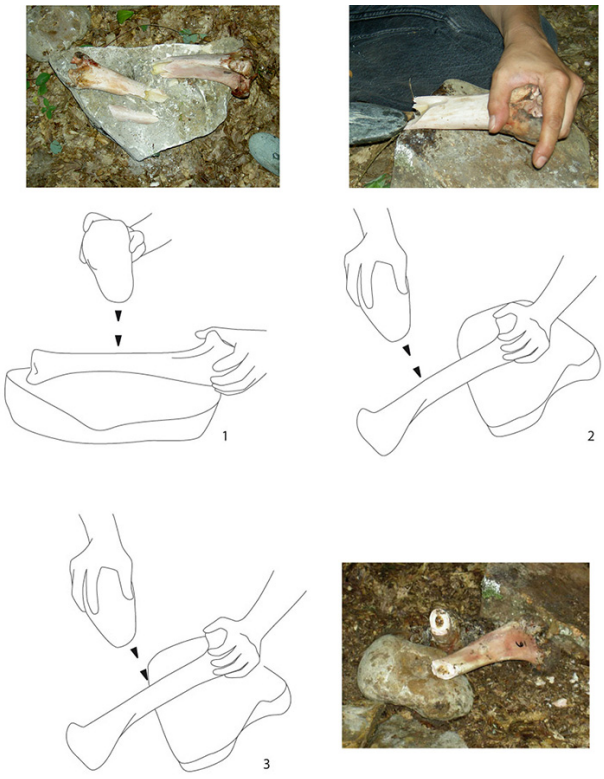


Figure 4 : Données expérimentales – Type de fracturations obtenues selon la technique de percussion utilisée – 1 : Fracturation en éclisse ; 2 : Fracturation oblique ; 3 : Fracturation transversale. (Expérimentation : Y. Maigrot et N. Provenzano).

Nous avons préparé une vingtaine d'outils expérimentaux prêts à l'emploi. Les produits irréguliers, comme les pièces présentant des dépassements de fracturation par exemple, ont été retouchés par percussion diffuse avec un galet puis régularisés par percussion lancée diffuse sans outil intermédiaire, directement sur l'enclume. Lors de cette dernière opération, un écrasement de matière associé à des facettes polies et des éclatements de bords, très comparables aux endommagements que nous avons associés à l'usage des pièces archéologiques, sont apparus. Ces altérations étaient liées à la moelle osseuse, qui emprisonnée dans sa gaine descendait progressivement lors de la percussion et venait lubrifier l'enclume utilisée.

Les pièces dont la fracturation transversale était régulière ont été utilisées brutes de débitage.

L'utilisation

Concernant l'usage possible des os tronqués, un premier examen montre clairement qu'il ne s'agit pas de manches, tous les auteurs s'accordent sur ce point. En effet, l'absence de traces à l'intérieur du canal médullaire montre qu'aucun élément n'y était inséré. Bien que ces objets soient dépourvus de tranchant, certains auteurs interprètent ces outils comme des herminettes, utilisées pour écorcer les arbres (Sidera 2010). D'autres expérimentations réalisées par R. Christidou sur les os tronqués de Mureybet (Stordeur, Christidou 2010) ont testé ces outils pour creuser la pierre, travailler la peau ou encore pour hacher de la viande fraîche et des végétaux. Malheureusement, aucun des tests expérimentaux envisagés n'a permis de reconstituer la signature tracéologique reconnue sur les outils néolithiques.

À partir de modèles ethnographiques connus, A. Hajduk et M. Lezcano ont proposé une utilisation de ces outils comme marteaux utilisés en percussion lancée diffuse sur de la viande boucanée pour l'attendrir avant consommation. Après expérimentation, ils ont comparé la signature macroscopique des endommagements avec les exemplaires archéologiques et les résultats semblent plutôt prometteurs.



Figure 5 : Utilisation expérimentale de tibia tronqué de taureaux sur tendon sec (Expérimentation : Y. Maigrot et N. Provenzano).

La localisation et l'étendue des altérations qui touchent l'intégralité de la section des pièces archéologiques, supposent une action perpendiculaire à l'axe de l'outil. Par ailleurs, les écrasements des pans de fracture et les éclats observés sur les bords des os tronqués de Vignely (Brunet, et al 2010) et de l'Abion ou de la Balme de Sollières (Provenzano 2012) indiquent clairement qu'ils ont été manipulés en percussion lancée diffuse sur un support dur. Ainsi, au regard du matériel archéologique et en particulier des endommagements résultant de son usage, nous avons testé les pièces

expérimentales non pas comme « hachoir », comme cela avait été fait pour les objets de Mureybet, mais véritablement comme percuteur (ou pilon).

Une première série a été consacrée au travail de tendons de chevreuil par percussion diffuse sur enclume de manière à séparer les fibres (Figure 5). Dix minutes suffisent pour éclater la gaine entourant les fibres conjonctives. Ces dernières sont ensuite séparées de manière à obtenir de fins filaments qui pourront être utilisés tels quels ou filés.

Quand deux signatures tracéologiques se rejoignent

Ces expérimentations ont permis de dégager quatre signatures tracéologiques (Figure 6) :

1 - signature tracéologique « témoin » d'une pièce brute de débitage et qui n'a pas été utilisée.
2 - signature tracéologique d'un outil dont la fracturation a été régularisée par percussion diffuse et qui n'a pas été utilisé.
3 - endommagements observés sur un outil brut de débitage, dont la fracturation transversale n'a été ni retouchée ni régularisée, utilisé pour travailler du tendon sec.
4 - altérations observées sur un outil toujours brut de débitage utilisé pour travailler du tendon frais (érosion plus importante de la surface et poli beaucoup plus développé, plus intrusif et plus doux)

Les signatures 2 et 3 sont fort comparables. En effet, le léger micropoli bombé qui n'affecte que les élévations est directement attribuable à la lubrification progressive de la surface de contact (l'enclume de pierre) par la moelle osseuse qui s'écoule au cours de la percussion.

Nous sommes donc ici devant le cas d'une signature tracéologique commune pour deux faits techniques distincts. Cette ambiguïté tracéologique est commune à tous les exemplaires archéologiques examinés dans cette étude. Il demeure donc difficile de conclure pour l'instant.

Dans les faits, seul le contexte archéologique, notamment la fragmentation des restes fauniques permettrait de pencher pour l'une ou l'autre hypothèse concernant l'origine de ces altérations, c'est-à-dire relevant des procédés de fabrication ou de leur mode de fonctionnement.

Ces cas de convergence des signatures tracéologiques, révélées par l'expérimentation, permettent de rappeler que l'interprétation fonctionnelle des objets ne peut se fonder uniquement sur l'observation des traces, mais doit également s'élaborer à partir d'autres informations, notamment celles du contexte archéologique dont sont issus les objets.



Figure 6 : Comparaison des signatures tracéologiques expérimentales – 1 : pièce « témoin » brute de débitage ; 2 : outil dont la fracturation a été régularisée par percussion diffuse, et non utilisé ; 3 : outil brut de débitage utilisé pour travailler du tendon sec ; 4 : outil toujours brut de débitage utilisé pour travailler du tendon frais (Photos Y. Maigrot).

Bibliographie

Brunet P., Brunet V., Bemilli C., Gosselin R., Hamon C., Maigrot Y. (2010) – Vestiges de chasse au Néolithique récent. La fosse de Vignely en bord de Marne. *Archéopages*. 28, p. 20-25.

Hadjuk A., Lezcano M. J. (2005) – Un « nuevo-viejo » integrante del elenco de instrumentos óseos de Patagonia : los machacadores óseos. *Magallania*. 33, 1, p. 63-80.

Provenzano N. (2012) –« L'équipement domestique en os et bois de cervidé », dans *Economie,sociétés et espaces en Alpe : la grotte des Balmes à Sollières-Sardières (Savoie). Du Néolithique moyen à l'âge du Fer*, éds J. Vital et P. Benamour, DARA, n° 36. Co-édition ALPARA et Maison de l'Orient et de la Méditerranée, Lyon, p. 125-137.

Sidéra, I. (2010) – « Early Neolithic and Chalcolithic crude adzes. A technological and use-wear focus on an unknown artefact type from near-east to western Europe », dans *Ancient and modern bone artefacts from America to Russia. Cultural, technological and functional signature*, éds A. Legrand-Pineau, I. Sidéra, N. Buc, E. David et V. Scheinsohn, BAR International Series 2136, Oxford, p. 227-233

Stordeur D. (1988) – L'industrie osseuse de Cafer dans son contexte anatolien et proche oriental. Note préliminaire. *Anatolica*. XV, p. 203-213.

Stordeur D., Christidou R. (2010) – « L'industrie osseuse de Mureybet : étude morpho-technique et fonctionnelle », dans *Le site néolithique de Tell Mureybet (Syrie du Nord)*, éd J. J. Ibañez, BAR, Oxford, International series 1843, 1, p. 439-537.

2 Variété et complexité des matières dures animales

La matière dure d'origine animale regroupe l'ensemble des matériaux rigides provenant aussi bien du squelette interne (os) que du squelette externe (dents, carapaces, cornes, coquilles, bois...) des êtres vivants. Selon les périodes chrono-culturelles, certains de ces matériaux, principalement les os, les bois animaux et les dents (dont les défenses) étaient choisis préférentiellement à d'autres pour fabriquer des objets. Par convention, ces trois catégories sont regroupées par les technologues sous l'appellation de matières osseuses, quelle que soit leur origine, aérienne, terrestre ou marine.

Ces matières présentent une grande variabilité et leurs caractéristiques sont à l'origine des choix techniques effectués :

- variabilité dimensionnelle et morphologique. Dans certains cas, les éléments osseux sont utilisés sans modification majeure, leur morphologie, leur dimension et leur structure convenant aux caractéristiques de l'objet souhaité (certaines pendeloques sur dent ou coquillage, certains objets appointés sur os naturellement effilés...). Dans d'autres cas, ces caractéristiques ne conviennent pas, et il est alors nécessaire de prélever par débitage une portion de matière, le futur support, puis de le façonner afin de lui donner la forme, la section et plus généralement le volume recherché (Averbouh, Begouën, Clottes, 1999). Si l'os est très grand, par exemple une côte de baleine, souvent la portion prélevée ne constitue pas directement le support de l'objet à façonner, mais un bloc destiné à une nouvelle étape de débitage pour produire le ou les supports désirés. Dans ce cas, ils sont nommés « blocs secondaires ».
- variabilité de composition élémentaire, à la fois organique et minérale. La partie organique est présente en proportion variable dans ces matières. Elle participe à ses qualités mécaniques, sans être toutefois déterminante ; elle est aussi la première à subir les dégradations taphonomiques qui, dans certains cas, peuvent aller jusqu'à faire disparaître totalement la matière osseuse.
- variabilité architecturale et structurelle. Les matières osseuses présentent des structures macro et microscropiques très distinctes. A l'œil nu, on observe que les bois de cervidé sont constitués d'un tissu spongieux entouré d'un tissu compact plus ou moins épais. Dans le cas de l'os, la macrostructure varie selon la partie anatomique et l'espèce : la diaphyse de l'os long d'un mammifère terrestre est constituée d'un cylindre creux de tissu compact alors que les os allongés et plats (les côtes) sont formés de deux plaquettes de tissu compact, assemblées par une mince couche de tissu spongieux. Chez les oiseaux, la diaphyse d'os long, dont les parois sont en tissu compact fin, est renforcée par la présence d'entretoises transversales qui lui assurent une grande résistance à la torsion. Chez les mammifères marins, l'os long des membres est atrophié, mais plein (sans cavité médullaire). Le tissu constitutif, adapté à un mode de vie aquatique, est spongieux, et sa densité varie du centre vers la périphérie de l'os. Qu'il s'agisse d'os ou de bois, c'est le tissu le plus dense (compact ou non), qui est généralement recherché dans un objectif technique. Parmi les matériaux les plus durs, les dents sont constituées d'une couche externe d'émail qui recouvre le cément et la dentine. Parmi elles, les incisives supérieures – ou défenses –

de proboscidiens présentent une morphologie originale avec une cavité pulpaire qui se comble progressivement avec l'âge (tout comme les canines de pinnipèdes ou les dents de cachalot), et une structure homogène et dense. Elles sont les seules dont la dentine est considérée comme de l'ivoire « vrai », quoique, par extension, le terme ivoire soit parfois abusivement employé pour d'autres dents.

A ces différences, dues à l'origine anatomique ou à l'espèce choisie, viennent s'ajouter des variations liées à l'âge et au sexe de l'animal et, pour les bois, à leur saison d'acquisition. Ces caractéristiques et les propriétés mécaniques qui en découlent (dureté, solidité, résistance, résilience*...) ont joué un rôle important dans le choix des artisans. Ainsi, la solidité des bois de cervidé, et donc leur résistance aux chocs, explique qu'ils aient été choisis préférentiellement par les chasseurs de différentes époques (lorsqu'un choix s'offrait) pour fabriquer des armatures de projectiles (sagaies ou flèches), des préhampes ou des percuteurs tendres destinés transformer leur matériel lithique ; par contre, l'os, dur et rigide, plus minéralisé, était plus approprié à la fabrication d'outils perforants ou tranchants, toutes périodes confondues.

Malgré ces constantes, les choix de matières premières ont aussi varié à travers le temps, selon les environnements et l'économie des sociétés. Ainsi, en France, au Paléolithique, on note l'utilisation constante des bois et os de cervidé (surtout de renne ; dans une moindre mesure, de cerf ; et exceptionnellement, à certaines époques, de mégacéros) ; mais certains os de grands, et même de très grands mammifères, comme les bovidés, les équidés, plus rarement les mammouths, et exceptionnellement les cétacés) sont aussi exploités. Au cours du Mésolithique, l'équipement est plus fréquemment réalisé sur os et bois d'espèces tempérées comme les cerfs et les chevreuils, ainsi que sur des défenses de sangliers. Lors de la transition vers les sociétés sédentaires néolithiques et protohistoriques, les produits de la chasse continuent de jouer un rôle important (le cerf, notamment pour ses bois et ses os longs et le sanglier, pour ses défenses), mais le cheptel domestique est alors préférentiellement exploité, notamment les ovricaprinés, et parfois quelques grands ruminants (bovidés et chevaux). Ces observations se poursuivent globalement pendant le Néolithique ancien et une partie du Néolithique moyen. Au Néolithique final, les études manquent afin de pouvoir généraliser les choix effectués ; ainsi, dans le Jura, notamment sur les sites de Chalain et Clairvaux, les matières issues de la faune sauvage restent encore majoritairement exploitées tandis que dans la région provençale, l'exploitation des os de bovins devient prépondérante. Enfin, à partir de la période romaine, alors que l'artisanat urbanisé se met en place, les bois de cerf continuent à être occasionnellement utilisés, parallèlement aux os d'animaux domestiques, très majoritaires (essentiellement de bœuf, et dans une moindre mesure de cheval). À cette époque, on commence aussi à importer, souvent sous forme d'objets, des matériaux plus « nobles », d'origine allochtone, comme l'ivoire « vrai » de proboscidiens, qui sera largement utilisé, plus tard, aux époques médiévale et moderne.

Encart 2.- Le travail de l'ivoire au Paléolithique supérieur. Frais ou sub-fossile ?

Marianne Christensen
Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 7041 CNRS, ArScAn - équipe ethnologie préhistorique

L'ivoire de mammouth est bien attesté dans les sites archéologiques au cours de la dernière glaciation. Au maximum de son extension, entre 50 000 et 40 000 BP, le domaine du mammouth s'étendait de la moitié nord de la France, à l'Ouest, jusqu'à la péninsule du Kamtchatka et la Chine, à l'Est. Au Paléolithique supérieur, cet ivoire est régulièrement exploité : des restes sont fréquemment découverts dans les sites d'Europe centrale entre 35 000 et 21 000 BP (Dolni Vestonice, Pavlov, Predmosti) et dans les gisements d'Europe occidentale de cultures aurignaciennes (37 000 – 29 000 BP) et gravettiennes (28 000 – 20 500 BP). Il se raréfie au Paléolithique supérieur dans les sites magdaléniens (17 000 – 10 000 BP), alors que l'industrie osseuse est extrêmement riche. Le mammouth semble disparaître d'Europe entre 13 000 et 12 000 BP, si l'on excepte une brève recolonisation vers 10 000 BP comme certaines dates récentes provenant d'Estonie tendent à le suggérer.

L'acquisition et l'utilisation de l'ivoire de mammouth par les populations paléolithiques, bien que largement attestées, posent problème. La chasse n'étant pas formellement démontrée, on doit envisager l'hypothèse de la récupération de défenses sur des carcasses d'animaux morts naturellement. L'abondance de mammouths encore observables aujourd'hui dans le permafrost de Sibérie a montré que les restes de ces gros pachydermes, et notamment les défenses, pouvaient se conserver durant des millénaires. Les défenses pourraient donc avoir été récoltées aussi bien sur des carcasses fraîches (ivoire frais) qu'anciennes, voire très anciennes (ivoire fossile ou sub-fossile) avec des conséquences techniques importantes

L'ivoire et sa structure

Le terme d'ivoire « vrai » est réservé aux défenses de proboscidiens (éléphant, mammouth, mastodonte). Il se distingue des autres matière dures d'origine animale par ses qualités physiques : dimension, massivité, finesse du grain, blancheur, dureté et résistance.

Les défenses sont des incisives supérieures, à croissance continue dont la composante principale, comme pour toute autre dent, est la dentine. La dentine est formée tout au long de la vie de l'animal grâce à des cellules spécialisées (odontoblastes*) ; sa croissance a toutefois tendance à ralentir avec l'âge. La défense est, en fait, composée de couches de dentine qui se superposent, en cônes emboîtés, à partir de la cavité pulpaire. Lorsque l'animal est vivant, les interfaces de croissance entre cônes sont très solidaires, car tenus par les fibres de tome* entrecroisées formant les lignes de Schreger*, et par les fibres de collagène (matière organique) qui assurent la jonction en remplissant les interstices entre les canaliculis* (Espinoza, Mann 1933). Des analyses effectuées sur les phénomènes de décomposition et de ramollissement de la dentine montrent que les fibres de collagène sont responsables de la solidité des matériaux.

L'ivoire frais est donc un matériau très dur et de structure très homogène. En revanche, sur l'ivoire fossile ou sub-fossile, les composantes organiques tendent à

disparaître avec le temps, créant des délitages concentriques des cônes de dentine et des fissurations (Figure 1).

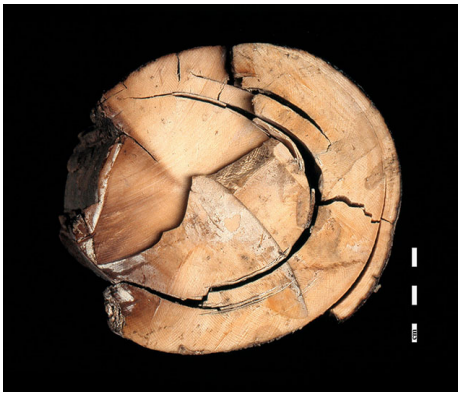


Figure 1 : Tronçon de défense d'ivoire de mammouth sub-fossile provenant du permafrost de Sibérie. Vue en section transversale. Le bloc de matière est fortement marqué par des fissurations qui traversent la structure, et des lignes de délitages concentriques. © D. Vigears C2RMF

Que dit le matériel archéologique ?

Les hommes préhistoriques semblent avoir été conscients des avantages de la défense vieillie et en avoir tiré profit. Par exemple, les principales techniques de débitage de la matière osseuse au début du Paléolithique supérieur, l'éclatement en percussion diffuse et le fendage en percussion indirecte, semblent peu adaptées à un travail sur ivoire frais ou même légèrement désagrégé ; elles sont, par contre, très efficaces sur un ivoire sub-fossile (Christensen 1999). Les témoins archéologiques directs d'un travail d'ivoire ancien sont encore rares, faute d'études approfondies. Cependant, A. Scheer signale sur certaines pendeloques du site gravettien de Hohle Fels (Allemagne) des craquelures antérieures au façonnage (Scheer 1995). À Yudinovo (Russie), la réalisation de petites perles plates produites en série à partir de minces bandes de dentine (1 à 2mm d'épaisseur) implique nécessairement l'utilisation d'un ivoire délité, et donc sub-fossile (Figure 2). De même, certains diadèmes et bracelets sur bandeaux bien représentés notamment en Europe orientale (par exemple à Mezine en Ukraine), auraient pu être réalisés sur un ivoire sub-fossile. De son côté, R. White évoque l'utilisation des faiblesses structurales de cet état de la matière première pour la fabrication de certaines statuettes gravettiennes (White, Buisson 1999). Plus récemment, nous avons nous-même observé des indices d'exploitation des délitages concentriques sur des matrices de débitage en ivoire du site magdalénien du Roc-aux-Sorciers. Enfin, G. Khlopachev évoque pour le site de Khotilevo 2 (Russie) le travail de défenses « sèches », qui semble correspondre à ce que nous nommions un ivoire sub-fossile (Khlopachev 2001).

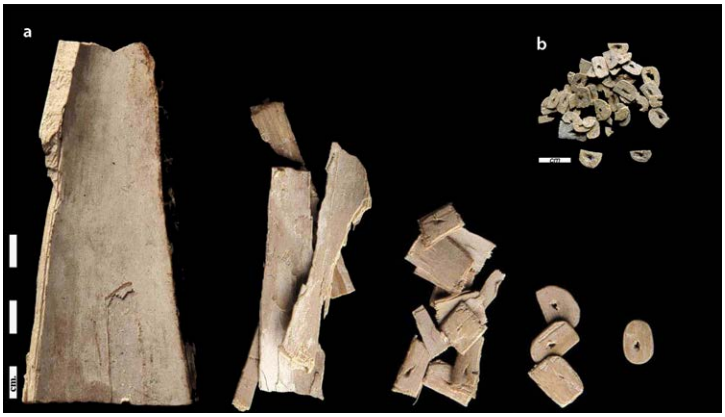


Figure 2 : a) Reconstitution expérimentale de la chaîne opératoire de production des petites perles plates de Yudinovo (Russie). © D. Vigears C2RMF ; b) Petites perles plates provenant du gisement épigravettien de Yudinovo (Russie). © M. Christensen.

et l'expérimentation ?

En raison de ses qualités physiques, l'ivoire frais est difficile à travailler. Les déchets produits lors d'expérimentations d'éclatement par percussion diffuse sont essentiellement des fragments peu normés. Ce débitage est en effet difficile à contrôler. Soumis à des chocs répétés, le bloc de matière première a tendance à absorber les ondes, sans qu'un détachement de matière se produise. L'ivoire frais se travaille donc difficilement par éclatement, sauf à l'état congelé à des températures négatives avoisinant 25° à 30°, comme l'ont expérimenté deux chercheurs russes (Khlopatchev, Gyria 2010) sur des ivoires issus du permafrost.

Le travail d'un ivoire sub-fossile, en cours d'altération, est plus aisé. Par éclatement direct ou indirect, on peut exploiter des lignes de fractures latentes dans la fissuration de la matière. De même, le raclage de l'ivoire sub-fossile est relativement aisé, notamment après un trempage préalable, comme l'a montré une étude expérimentale réalisée dans les années 1990 qui a fourni des copeaux identiques à ceux de certains gisements archéologiques comme Geissenklösterle (Allemagne) (Christensen 1999).

Apport de la tracéologie des outils lithiques

Lors de la même expérimentation, l'observation à l'échelle microscopique des outils lithiques ayant servi au travail de l'ivoire a montré des traces différenciées selon l'état de cette matière. Les micropolis d'usure d'ivoire frais étaient très striés, ce qui n'était pas le cas pour les micropolis d'ivoire fossile. L'absence de stries de micropolis sur certains outils des niveaux aurignaciens de Geissenklösterle et du niveau épigravettien de Yudinovo, dont les analyses chimiques avaient pourtant montré qu'ils avaient travaillé l'ivoire, pourrait donc s'expliquer par un travail d'ivoire sub-fossile dans ces deux gisements (Christensen 1999).

Bibliographie :

Christensen M. (1999) – *Technologie de l'ivoire au Paléolithique supérieur. Caractérisation physico-chimique du matériau et analyse fonctionnelle des outils de transformation.* British Archaeological Reports, International Series 751. Oxford Archaeopress, 201 pages.

Espinoza E. O., Mann M.-J. (1993) – The History and Signification of the Schreger Pattern in Probocidean Ivory Charactérization. *Journal of the American Institute for Conservation*, 32, p. 241- 248.

Khlopachev G. (2001) – Les techniques de débitage de l'ivoire dans les sites de la plaine russe au Paléolithique supérieur (25 000 – 13 000 av. J.C.). *Préhistoire Européenne*, 16/17, p. 215-230.

Khlopachev G., Gyria E.Y. (2010) - *Secrets of ancient carvers of eastern Europe and Siberia : Treatment techniques of ivory and reindeer antler in the Stone Age. Based on archaeological and experimental data* / Секреты древних косторезов восточной Европы и Сибири: Приемы обработки бивня мамонта и рога северного оленя в каменном веке. По археологическим и экспериментальным, édition Nauka, Saint Petersburg, 144 pages.

Scheer A. (1995) – « Pendeloques en ivoire durant le Gravettien en Allemagne du Sud, un indice chronologique et social ? », dans *Le travail et l'usage de l'ivoire au Paléolithique supérieur.* Actes de la Table Ronde, Ravello, Italie, 29 - 31 mai 1992, éds J. Hahn, M. Menu, Y. Taborin, P. Walter, F. Widemann, p. 137- 17.

White R., Buisson M. (1999) – Imagerie féminine du Paléolithique. L'apport des nouvelles statuettes de Grimaldi. *Gallia Préhistoire*, 40, p. 95-132.

3 L'approche expérimentale, une démarche empirique à l'appui de la technologie

Le potentiel informatif de l'industrie osseuse passe par la compréhension des mécanismes mis en œuvre lors des différentes étapes du schéma opératoire depuis l'acquisition de la matière, la production de supports et leur transformation en outils ou objets, leur utilisation et leur entretien, puis leur éventuel recyclage, et enfin leur abandon. On a vu que leur acquisition dépendait des ressources faunistiques exploitées ou simplement disponibles. Mais, c'est dans le domaine de la fabrication, de l'utilisation, de l'entretien et du recyclage que se développe principalement l'archéologie expérimentale.

L'approche technologique des matières osseuses passent aujourd'hui généralement par plusieurs phases (Figure 2) :

1 - l'observation et la description des pièces archéologiques (phase d'analyse et reconstitution des séquences des chaînes opératoires en jeu).

2 - l'élaboration d'hypothèses techniques sur leur fabrication et leur utilisation (phase d'interprétation et de prédiction).

3 - l'expérimentation par la reproduction de techniques, de processus de travail ou d'objets identifiés : élaboration d'une grille de lecture, confrontation des faits archéologiques et expérimentaux puis validation ou non des hypothèses ; en cas de non validation, il convient de reprendre l'étude à partir de la phase n 1, en affinant l'analyse.

4 - mise en évidence de récurrences, de savoir-faire, et donc de traits culturels reflétant les capacités cognitives des artisans et leurs traditions culturelles.

L'étude commence donc par l'analyse des pièces archéologiques : détermination du type de pièce et de la matière première utilisée ; description de son état de conservation, des caractères morphologiques et métriques, du décor ; identification des stigmates techniques et de leur succession ; identification des éléments corollaires... Puis est proposée la reconstitution des chaînes opératoires en accord avec l'outillage osseux représenté et les moyens techniques à la disposition de la société concernée (procédés

connus, outils lithiques ou métalliques et matériaux disponibles...). L'élaboration des hypothèses doit alors beaucoup à un référentiel analogique, conscient ou inconscient, inspiré de l'ethnologie, et/ou, dans le cas particulier du travail des matières dures animales, de l'artisanat moderne sur os ou ivoire, voire même sur bois végétal dont la structure fibreuse est apparentée à certains matériaux organiques.

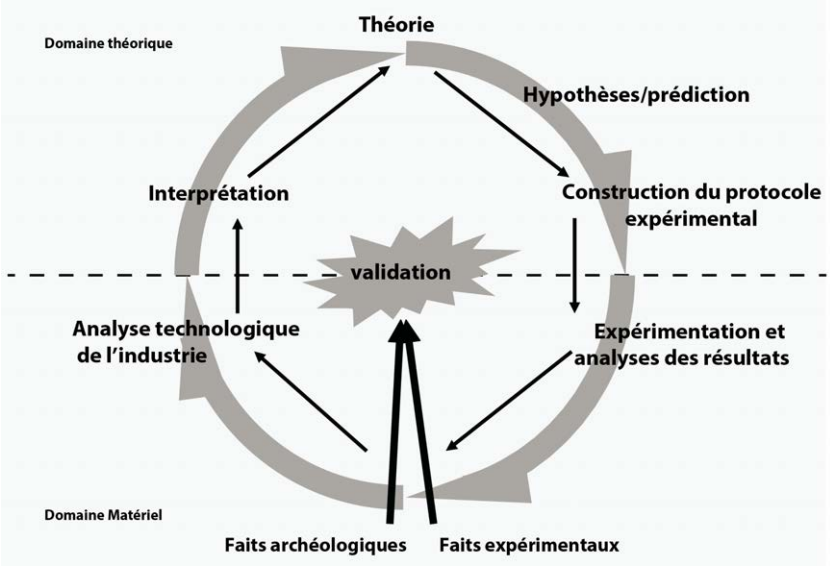


Figure 2 – Le rôle de l'expérimentation dans une démarche technologique. D'après un modèle graphique de N. Pigeot.

Une application directe de l'ethnologie peut être envisagée dans quelques cas bien documentés. Ainsi, par exemple, Y. Maigrot a pu utiliser des données ethnographiques indonésiennes pour enrichir un référentiel expérimental destiné à documenter l'utilisation et la fabrication d'outils en défenses de sanglier des sites néolithiques de Chalain et de Clairvaux (Maigrot 2001a).

L'analogie entre objets et processus techniques d'origine archéologique et ethnologique est évidemment d'autant plus pertinente qu'elle concerne des sociétés comparables, aux besoins et moyens techniques similaires. Ainsi l'équipement des groupes du Paléolithique présente une incontestable parenté avec celui de certains chasseurs de grands mammifères de pays froids, Inuit (Eskimo), Indiens des forêts canadiennes ou Indiens de Patagonie, avec lesquels ils partagent un grand nombre de types d'armes ou d'outils : pointes de harpons mono ou bidentées, pointes multibarbelées, pointes de sagaies, retouchoirs, compresseurs, poinçons, coins, lissoirs, propulseurs ; ainsi qu'une grande richesse en objets d'ornementation notamment sur ivoire. Toutefois ces analogies restent des hypothèses fragiles qui se heurtent à plusieurs limites : d'abord les objets ethnologiques ne sont pas toujours très bien documentés en raison de l'intérêt longtemps mineur des ethnologues pour la culture matérielle. Si leur fonction est assez bien décrite, ce n'est pas le cas de leur fonctionnement ni de leur fabrication ; ainsi les techniques de travail sont souvent mal connues. D'autre part, les sociétés ne sont

jamais identiques l'une à l'autre et la fonction de certains objets relativement proches peut être très variée. Si la fonction du propulseur aurait été difficilement imaginable sans des exemples ethnographiques, celle des pointes en os (à une ou plusieurs barbelures) est plus complexe. Ainsi, dans l'Arctique, comme en Patagonie, le harpon monodenté est destiné au harponnage des mammifères marins et les pointes multi-barbelées servent à chasser aussi bien les mammifères marins, que les poissons ou les oiseaux… Comment alors peut-on transposer l'usage de ces armes à des chasseurs de rennes ou de chevaux ? (Christensen, Legoupil, Pétillon 2016)

C'est là qu'intervient l'archéologie expérimentale qui peut, non seulement vérifier les hypothèses émises à partir des analyses typologique, technologique et tracéologique du matériel archéologique, mais aussi en proposer d'autres, sous réserve de validation par la confrontation du matériel expérimental et archéologique…

Tout en s'appuyant sur des référentiels existants aussi bien de stigmates que de procédés de débitage ou de façonnage, l'approche expérimentale doit être effectuée en collaboration avec les spécialistes des autres productions qui fournissent une large part de l'outillage (lithique, métallique, ou autre, selon les périodes), utilisé pour travailler les matières osseuses. La réussite d'une expérimentation passe donc par la maîtrise des techniques et de leur application à la matière osseuse. Elle exige donc de disposer à la fois de connaissances et de savoir-faire sur le plan moteur et idéatoire (Pelegrin 1991). Une expérimentation réussie nécessite de l'entraînement et peu de technologues ou de tracéologues ont appris à travailler l'os ou le bois avec des outils en pierre dès leur enfance, à la différence probable des hommes préhistoriques ; il est donc nécessaire d'acquérir une certaine dextérité et, si possible, de s'entourer de personnes expérimentées (Sigaut 2009).

Enfin, dernière étape, pour être valable, toute expérimentation doit être reproductible, ce qui ne peut se vérifier que par l'enregistrement d'un protocole expérimental strict. Cette dernière étape fait malheureusement souvent défaut.

Encart 3.- Production de baguettes en bois de cerf par les groupes aurignaciens des Cantabres et du Nord-Est de l'Espagne. Apport de l'analyse technologique et de l'expérimentation

José-Miguel Tejero(1), Marianne Christensen(2), Pierre Bodu(3)
(1) Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, CNRS, ArScAn - SERP Université de Barcelone
(2) Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 7041 CNRS, ArScAn - équipe ethnologie préhistorique
UMR 7041 CNRS, ArScAn - équipe ethnologie préhistorique

Apparu au cours du Gravettien, le double rainurage longitudinal, parallèle ou convergent, est l'un des procédés de débitage des matières osseuses les mieux connus au Paléolithique supérieur. Auparavant, et d'après les témoins archéologiques, les groupes aurignaciens employaient d'autres procédés de fracture par fendage ou par éclatement pour produire des supports allongés. Ces deux procédés de débitage faisant appel à la percussion sont bien plus fréquents que les chercheurs le pensaient il y a une dizaine d'années.

La parole est aux restes osseux : analyse technologique des témoins issus d'un procédé de fracture par fendage

La lecture des stigmates techniques du matériel des niveaux aurignaciens anciens (*sensu lato*) de plusieurs gisements espagnols (Conde, Cierro, El Castillo, Covalejos, Labeko Koba, Arbreda, Reclau Viver) a fourni des éléments discriminants permettant de proposer une reconstitution de la chaîne technique de production de supports en bois de cerf (*Cervus Elaphus*). Des reliquats de gorges bifaciales généralement peu marquées, constitués par des pans de coupe, étaient présents à l'extrémité de certains supports ainsi que certains déchets évoquant un segmentation par entaillage. A l'autre extrémité des supports étaient parfois observés des pans de fracture correspondant à un détachement final du support par arrachement, tandis que des pans de fracture latéraux témoignaient d'un fendage contrôlé. La reconstitution de la succession chronologique de ces stigmates a permis de comprendre la succession des gestes qui les avaient engendrés et de proposer le schéma opératoire théorique sans doute à l'origine de cette production : un procédé pour produire des segments de merrain ou d'andouiller qui ont ensuite été divisés longitudinalement par un procédé de fendage, probablement à l'aide de pièces intermédiaires osseuses (Tejero 2012).

Le protocole expérimental

À partir de ces données archéologiques, des tests didactiques ainsi que des comptes rendus d'expérimentations antérieures menées par D. Liolios (1999), un protocole expérimental a été élaboré. Il était destiné à tester la chaîne opératoire reconstituée en reproduisant ce schéma technique dans l'objectif de valider les observations et interprétations.

L'expérimentation a été réalisée sur du bois de cerf sec. Lors d'expériences préalables, le bois de cerf trempé s'était en effet révélé moins sensible à la technique de fendage en raison de sa grande capacité d'absorption des chocs, et donc du ralentissement de la propagation des lignes de rupture qui en découle.

Cinq bois ont été débités selon un même schéma opératoire :

1 - Préparation des bois par élagage des andouillers et des épois qui auraient pu gêner la segmentation des merrains lors de leur tronçonnage.

2 - Production de blocs secondaires*. La segmentation était préparée par la mise en place de gorges bifaciales par entaillage et le détachement final réalisé sur enclume, par percussion diffuse, à l'aide de galets de rhyolithe (2/3 kg). Outre les galets, les deux premières étapes étaient effectuées au moyen d'éclats bruts ou retouchés en silex et en quartzite, dont les plus petits étaient emmanchés dans un tronçon de bois de cervidé évidé.

3 - Production de supports par fendage des blocs secondaires, en percussion indirecte (Figure 1) à l'aide de pièces intermédiaires brutes (épois d'empaumure rectilignes) ou biseautées (baguettes en bois de cervidé façonnées). La percussion était effectuée au moyen de percuteurs tendres organiques en buis (550 gr.) et en bois de cerf (600 gr.). Les différentes opérations ainsi que les résultats obtenus à chaque étape ont été enregistrés sur fiches réalisées spécifiquement pour cette expérimentation.



Figure 1 : Les trois principales étapes de la chaîne technique de production de supports induites du matériel archéologique. Reconstitution du procédé de fracture par fendage pour l'obtention de supports de type baguette. © Christensen ; Tejero

Apport à l'interprétation archéologique

Treize supports ont ainsi été produits à partir de 7 blocs secondaires. Selon leurs morphologies, certains ont été plus productifs que d'autres. Ainsi l'un d'entre eux a permis de produire 4 baguettes dont une très grande d'une vingtaine de centimètres, alors que d'autres n'ont produit qu'une seule baguette.

De cette expérimentation, plusieurs faits de première importance sont apparus :

— la nécessité de segmenter le bois de façon à produire *des blocs secondaires de contour régulier et de profil rectiligne,* prélevés sur le merrain A ou B, sans présence d'embranchement vers un andouiller ou un épois. Ceci permet d'éviter que l'onde ne fasse dévier la ligne de fracture en suivant la délinéation des fibres osseuse lors du débitage.
— l'importance de disposer *d'un plan de percussion en dents-de-scie* à une extrémité du tronçon produit par l'entaillage bifacial ou bilatéral, suivi d'un détachement au moyen d'une percussion (Figure 2). Les « dépressions » du pan de fracture en dents de scie permettent de caler avec précision l'extrémité

active étroite de l'outil intermédiaire et ainsi de contrôler parfaitement le départ et le cheminement de la ligne de fracture.

— *le faible nombre de déchets.* Le procédé de fracture par fendage permet une exploitation complète du bloc secondaire lorsque celui-ci présente un volume cylindrique régulier. Les déchets sont alors limités aux copeaux, difficiles à trouver en contexte archéologique, et aux parties d'intersection merrain/andouiller ou aux andouillers et épois élagués au moment de la préparation du bois (lorsqu'ils n'ont pas été prélevés pour être utilisés en pièces intermédiaires ou en manches).

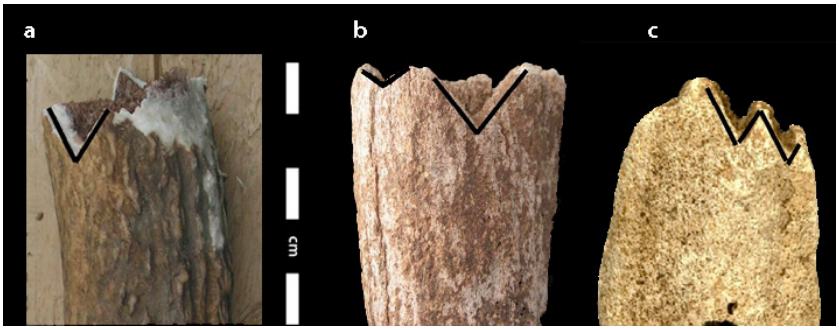


Figure 2 : Détail des plans de percussion en dents-de-scie. a) sur un tronçon en bois de cerf expérimental ; b) sur un tronçon de bois de cerf du site de Conde A-B (Asturies) ; c) sur une extrémité de baguette du site de El Castillo 18 (Cantabrie). © Tejero

La concordance morphologique des supports archéologiques et expérimentaux et celle des stigmates techniques confirment globalement le schéma opératoire proposé à partir de l'observation du matériel archéologique. La sous-représentation des déchets dans les collections pourrait s'expliquer par la mauvaise conservation des copeaux et le désintérêt des archéologues à leur égard ; ou par l'exploitation intégrale des tronçons, ou encore l'abandon de fragments non identifiés. Les résultats obtenus apportent ainsi des indices sur l'identification des supports et des déchets. Ils montrent aussi que ce procédé permettait de prédéterminer partiellement la morphologie et les dimensions des supports, et donc celles des futures armatures de sagaies.

Bibliographie :

Liolios D. (1999) – *Variabilité et caractéristiques du travail des matières osseuses au début de l'Aurignacien : approche technologique et économique*, Thèse de doctorat de l'Université Paris X Nanterre, 360 pages, octobre.

Tejero J. M., Christensen M., Bodu P. (2012) – Red deer antler technology and early modern humans in Southeast Europe : an experimental study. *Journal of Archaeological Science*, 39, 2, p. 332-346.

4 Les techniques de transformation des matières dures d'origine animale

Comparé à la matière lithique, dont le travail exige la connaissance et la maîtrise de lois physiques de fracturation stricte, le travail des matières dures animales parait, à tort, plus facile et souple. En effet, à la différence des roches dures, la matière osseuse peut être transformée au moyen de techniques très variées, fondées sur des moyens

d'action par percussion ou par pression. Elles peuvent être utilisées successivement ou alternativement sur la même pièce, et souvent les formes voulues sont approchées progressivement donnant l'impression que tout accident est rattrapable, ce qui est loin d'être le cas.

La taxinomie des techniques proposée ici est une révision de celle élaborée par A. Averbouh et N. Provenzano (Averbouh 2000, Averbouh, Provenzano 1999) il y a 20 ans, adaptée aux connaissances actuelles. Elles ont été regroupées en 4 grandes familles selon la façon dont les outils et la force agissent sur les fibres osseuses (Figure 3) : par fracture, qui les sépare par arrachement ou cisaillement ; par enfoncement, qui les compresse ; par coupe, qui les entaille ; et par usure.

Ces techniques relèvent de trois différents modes d'application de la force, selon la classification d'A. Leroi-Gourhan que nous avons revisitée selon le concept de A.G. Haudricourt (1987) :

— la percussion lorsqu'un outil, quelles que soient ses caractéristiques (morphologie, délinéation de la partie active, matériau...), est frappé contre la matière osseuse. La force est alors appliquée de façon discontinue au moyen d'un choc, par exemple l'entaillage ;
— la pression statique, c'est à dire sans mouvement ; la force appliquée est continue, par exemple la flexion ;
— et enfin la pression dynamique, avec mouvement ; la force appliquée est continue, par exemple le raclage.

Ces différentes techniques laissent des stigmates caractéristiques principaux (pan de fracture, pan de coupe, sillon et pan de sillon, cupule d'enfoncement, strie...), et secondaires (repli des fibres, esquille adhérente, fond d'entaille, strie...). C'est la lecture des deux qui permet d'identifier les techniques appliquées et qui constitue la première étape de l'analyse technologique. Au-delà, leur localisation, leur chronologie... vont permettre de détailler les intentions et d'évaluer les savoir-faire et compétences des fabricants. Pour ce faire, seule l'expérimentation permet de distinguer le facile du difficile, l'accidentel de l'intentionnel, enfin l'adéquation entre outil et technique, et entre technique et état de la matière travaillée (frais, congelé, trempé, chauffé...).

5 La création de référentiels

À l'aide de l'une ou l'autre de ces techniques, la procédure consiste pour l'expérimentateur à reproduire les objets archéologiques et/ou à les utiliser, selon l'objectif visé ; puis à comparer les résultats et les stigmates obtenus, ce qui permettra de créer des référentiels d'identification de macro et microtraces de fabrication ou d'usage. Au-delà, elle vise, grâce à une bonne reconstitution de la cinématique des gestes, à la compréhension des principes d'exécution des techniques et des procédés, et donc des savoir-faire et des traditions des hommes du passé.

La constitution de référentiels expérimentaux ne pose pas de problèmes majeurs lorsqu'il s'agit de l'exploitation d'animaux sauvages ou domestiques encore disponibles actuellement, à condition de tenir compte de leurs variations possible par rapport aux espèces anciennes. Pour d'autres matériaux plus rares, voire disparus,

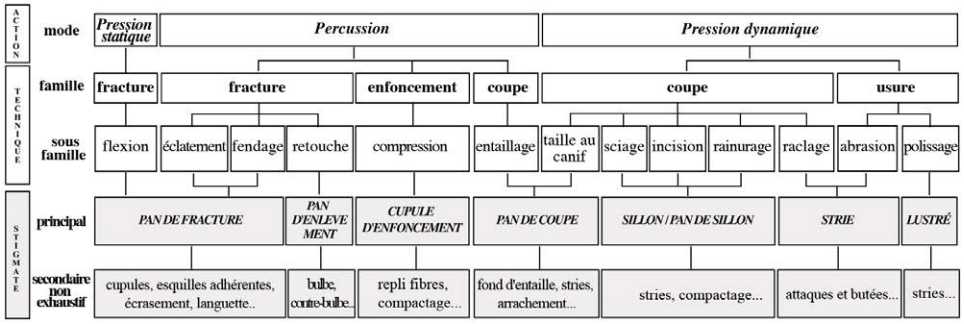


FIGURE 3 – Les techniques de transformation des matières osseuses et leurs stigmates. Les techniques sont classées selon les deux grands principes d'action sur la matière : la percussion et la pression. Elles se déclinent en 4 familles techniques, celle de la fracture, l'enfoncement, la coupe et l'usure, chacune d'elles se décomposant en sous-familles. En grisé sont indiqués les stigmates correspondant à ces techniques ainsi que les stigmates secondaires (Christensen 2016, fig. 5).

les référentiels sont plus difficiles à établir. Ainsi, l'expérimentation est plus délicate pour certaines matières provenant d'espèces du Paléolithique aujourd'hui éteintes, comme le mégacéros ou le mammouth ; mais, pour ce dernier, on utilise aujourd'hui fréquemment l'ivoire de mammouth congelé dans le permafrost de Sibérie. Des substituts ont également été parfois utilisés, mais sans grand résultat : ainsi des expérimentations sur ivoire d'éléphant (d'Asie ou d'Afrique) en remplacement de l'ivoire de mammouth ont montré que ces matières, proches macrostructurellement, étaient trop différentes au niveau de leur microstructure, notamment en ce qui concerne leur résilience* : elles ne répondaient donc pas de la même façon à certaines techniques de fracture et de coupe (Christensen 1999).

5.1 Les applications

Les programmes expérimentaux collectifs d'envergure sont rares en industrie osseuse, mais signalons les expérimentations menés dans le cadre du groupe ETTOS (ETTOS 1985, Vincent 1985) ou celles menés dans le cadre de l'atelier TECHNOS*. Les expérimentations correspondent le plus souvent à des applications ponctuelles visant à répondre à des questions concernant un objet, une technique ou un procédé, observé dans une série archéologique. Pourtant, comme nous l'avons déjà évoqué, ce sont les expérimentations qui ont permis de proposer une nomenclature de critères d'identification des stigmates laissés sur le matériel archéologique lors de sa transformation, et par là d'identifier les techniques de travail de la matière osseuse. On voit donc que l'expérimentation permet d'observer des régularités pour les stigmates laissés par les outils sur la matière osseuse, ainsi que leurs variabilités selon les actions effectuées. Ce référentiel de stigmates doit être maintenant approfondi selon l'outil qui l'a produit (pierre, métal, coquille…), la morphologie de sa partie active, l'état de la matière travaillée, mode d'application de la force et les gestes effectués… Il devra aussi être élargi aux différents contextes techniques chrono-culturels.

Encart 4.- Des retouchoirs en os, pour quoi faire ? L'évolution fonctionnelle d'un outil entre le Paléolithique moyen et le Paléolithique supérieur

Elise Tartar
UMR 7041 CNRS, ArScAn - équipe ethnologie préhistorique

Les retouchoirs en os représentent le plus ancien outillage en matières dures animales du Paléolithique européen. Ils se rencontrent dès le Paléolithique inférieur, très fréquemment au sein des ensembles moustériens et perdurent tout au long du Paléolithique supérieur. Plusieurs études fonctionnelles leur ont été consacrées depuis le début du XX^{e} siècle et l'hypothèse la plus communément admise est celle de leur emploi dans la retouche de tranchants lithiques (Armand, Delagnes 1998, Schwab 2009). Cette hypothèse repose toutefois essentiellement sur l'étude de pièces moustériennes alors que les exemplaires du Paléolithique supérieur, en particulier ceux de l'Aurignacien ancien, présentent des caractéristiques légèrement différentes. Sur les retouchoirs moustériens, les stigmates d'utilisation, que l'on nomme « impressions », sont horizontaux par rapport à l'axe d'allongement des pièces alors que les exemplaires de l'Aurignacien ancien présentent fréquemment des impressions verticales (Figure 1a). Ces différences sont liées au positionnement de l'outil lors de son utilisation : les impressions horizontales impliquent que le retouchoir était orienté perpendiculairement au tranchant lithique tandis que les impressions verticales supposent une orientation parallèle (Figure 1b) Comment expliquer cette modification ?

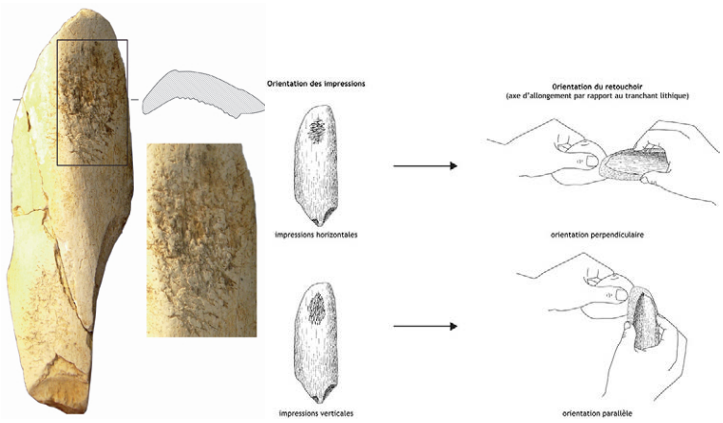


Figure 1 : a) Retouchoir de l'Abri Castanet (Dordogne, couche A, fouilles Peyrony) portant des impressions horizontales et verticales ; b) Orientation des impressions et orientation des retouchoirs lors de l'utilisation.

Réflexion théorique et formulation d'hypothèses

Cette modification doit sans doute être rapprochée des changements opérés dans le domaine lithique : les retouchoirs porteurs d'impressions verticales auraient servi à

transformer des produits lithiques rares ou absents en contexte moustérien, comme les produits laminaires.

Mais quel intérêt y aurait-il à modifier l'orientation des outils osseux ? Pour le comprendre, il faut tenir compte de leur morphologie. Issus majoritairement de diaphyses d'os longs, les retouchoirs montrent une courbure très marquée dans l'axe transversal et quasi-nulle dans l'axe longitudinal. Ils offrent donc une plus grande surface active lorsqu'ils sont orientés parallèlement au tranchant lithique. C'est probablement pour cette raison que cette orientation a été adoptée. En effet, la confection de l'outillage sur lame, notamment des grattoirs, a souvent impliqué de retoucher des extrémités très convexes et étroites. Autrement dit, le fait d'orienter le retouchoir parallèlement au tranchant aurait constitué une solution technique pour compenser la diminution de surface active induite par la forte convexité des extrémités de lames. Cela étant, au sein de l'industrie lithique de l'Aurignacien ancien, les extrémités de lames ne sont pas les seules à afficher une forte convexité. C'est le cas également du front des grattoirs carénés et à museau. Les recherches actuelles sont unanimes pour leur accorder le statut de nucléus à lamelles et rapportent l'emploi de la percussion tendre. Encore jamais envisagée, la participation des retouchoirs dans le débitage des lamelles constitue donc une seconde hypothèse susceptible d'expliquer le changement d'orientation des outils osseux.

Vérification expérimentale

Huit retouchoirs en os ont été utilisés pour confectionner une dizaine de grattoirs sur lame et lames aurignaciennes ainsi que pour débiter quatre nucléus carénés et à museau (Figure 2).

Ces tests ont montré que les retouchoirs en os constituent des outils efficaces, tant pour la retouche de lames que pour le débitage de lamelles, à condition d'adapter le poids du retouchoir au produit lithique à transformer. En outre, les pièces expérimentales lithiques et osseuses obtenues entrent dans la gamme des produits rencontrés au sein des ensembles archéologiques étudiés. Enfin, même si cela n'a pas toujours été nécessaire, les tests ont confirmé l'intérêt d'orienter parallèlement le retouchoir pour adapter la surface active aux zones lithiques de forte convexité. Ainsi, la forte convexité des produits lithiques est à ce jour le facteur le plus à même d'expliquer le changement d'orientation des retouchoirs, au moins à compter de l'Aurignacien ancien.

Concernant les produits lithiques transformés, le rôle prépondérant des retouchoirs dans la confection de l'outillage moustérien laisse peu de doutes concernant leur participation à la retouche de l'outillage sur lame du Paléolithique supérieur. En revanche, il est encore difficile de déterminer s'ils ont véritablement joué un rôle dans le débitage des lamelles car les stigmates obtenus sur les retouchoirs expérimentaux sont très proches de ceux des exemplaires utilisés pour la retouche des lames. Un programme expérimental plus vaste, l'étude tracéologique et la comparaison des pièces et une étude tracéologique à fort grossissement devraient permettre de mieux évaluer les variations morphométriques des stigmates suivant l'activité exercée. En complément, une comparaison des caractéristiques techniques et fonctionnelles des pièces lithiques archéologiques et expérimentales devrait aider à préciser la/les fonctions réservées aux retouchoirs de l'Aurignacien ancien.



Figure 2 : Productions expérimentales. a : retouchoir utilisé selon une orientation perpendiculaire (impressions horizontales à gauche) et une orientation parallèle (impressions verticales à droite). b : grattoir sur lame. c : nucléus caréné. d : exemples de lamelles extraites du nucléus caréné.

Bibliographie

Armand D., Delagnes A. (1998) – Les retouchoirs en os d'Artenac (couche 6c) : perspectives archéozoologiques, taphonomiques et expérimentales, dans *Économie préhistorique : les comportements de subsistance au Paléolithique*, éds J.-P. Brugal, L. Meignen et M. Patou-Mathis, actes des 18e Rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, Antibes, 1997, Sofia Antipolis, APDCA, p. 205-214.

Henri-Martin L. (1907-1910) –*Recherches sur l'évolution du Moustérien dans le gisement de La Quina (Charente). I - L'industrie osseuse*, édition Schleicher, Paris, 315 pages.

Mallye J.-B., Thiebaut C., Mourre V., Costamagno S., Claud E., Weisbecker P. (2012) – The Mousterian bone retouchers of Noisetier Cave : experimentation and identification of marks. *Journal of Archaeological Science*, 39, p. 1131-1142.

Schwab C. (2009) – « Les os à impressions et à éraillures » : premiers résultats expérimentaux. *Antiquités nationales*, 40, p. 29-37.

Au cours des dernières années, les programmes ont ainsi porté sur certaines séquences de débitage de supports par fracture, dans le but de comprendre les procédés et les techniques employées, d'observer les stigmates laissés, et d'identifier les produits qui en ont résulté : qu'il s'agisse du débitage par fendage/refend sur bois selon des procédés aurignaciens ou gravettiens (Tejero, Christensen, Bodu 2012) ; par éclatement sur bois selon les procédés solutréens ou badegouliens (Baumann 2014), ou par éclatement direct ou indirect sur os selon les procédés, mésolithiques ou néolithiques (Treuillot 2016). D'autres protocoles ont porté sur le débitage par segmentation du bois de

cervidé par entaillage selon des procédés néolithiques (Maigrot 2001b), et d'autres sur des procédés de façonnage, comme la perforation de parures par raclage, rainurage...

Enfin certaines applications ont concerné la fonction et le fonctionnement des objets : retouchoirs*, compresseurs, poinçons, lissoirs, machacador*, pics, herminettes, haches...

Encart 5.- La validation d'une interprétation fonctionnelle. Le cas des compresseurs de Punta Baja (Patagonie australe)

Marianne Christensen
Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, UMR 7041 CNRS, ArScAn- - équipe ethnologie préhistorique

Une douzaine de baguettes à extrémité arrondie et mousse découvertes dans un site de Patagonie australe daté du XVII^{e} siècle par la *Mission archéologique française de Patagonie*, furent publiées, il y a une vingtaine d'années, comme des retouchoirs/compresseurs*(Legoupil 1989). Il s'agissait, pour la plupart, de harpons en os de cétacé cassés et recyclés (Figure 1). L'interprétation fonctionnelle de ces outils était fondée sur la morphologie des extrémités actives des objets, leur association avec de nombreuses pointes pédonculées en obsidienne verte, et des données ethnographiques attestant de la pratique de la taille par pression au moyen de compresseurs par les chasseurs-cueilleurs de cette région (Gusinde 1986). Dans les sources ethnographiques, cet usage est mieux décrit pour les chasseurs terrestres de la région que pour les chasseurs marins. Il s'agit généralement d'outils fabriqués en os d'artiodactyle dont l'efficacité à retoucher des bords lithiques par une pression statique a été testée expérimentalement (Nami, Scheinsohn 1997).

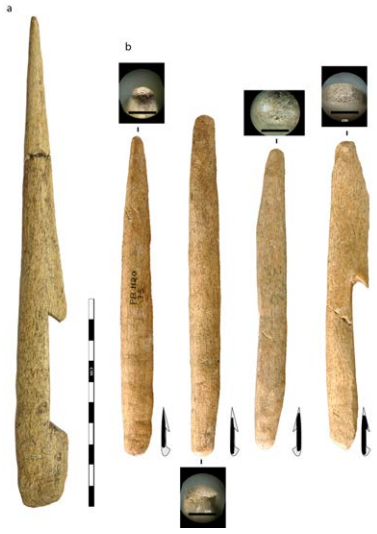


Figure 1 : Objets en os de cétacé du site de Punta Baja : a) harpon monodenté, b) harpons recyclés en compresseurs simples ou doubles, © A. Barroche et M. Christensen.

Validation de l'hypothèse par une analyse macroscopique

Vingt ans plus tard, le réexamen des pièces de Punta Baja sous loupe binoculaire a révélé des stigmates fonctionnels qui permettent de confirmer cette fonction jusqu'alors hypothétique. Le témoin le plus éloquent est la présence d'esquilles d'obsidienne vertes figées dans la matière à l'extrémité active de huit de ces harpons recyclés (Figure 2a). Les esquilles observées, au nombre de 1 à 6 selon les pièces, sont de dimensions variables et peuvent atteindre 3 mm de large pour les plus grosses. Les parties actives peuvent être regroupées en deux catégories morphologiques : 1 - une extrémité en ogive souvent faiblement cintrée observable sur les pièces trapues et d'épaisseurs variées (entre 4,1 et 8 mm) ; 2 - une extrémité convexe sur les pièces minces à section biconvexe (épaisseur inférieure à 4 mm). Les sources ethnographiques nous montrent que ces particularités morphologiques des extrémités, plus ou moins arrondies ou angulaires pourraient s'expliquer par un usage différencié lors de la fabrication des petites pointes en obsidienne auxquelles ils étaient associés : selon qu'ils étaient destinés à retoucher le bord de la pointe en obsidienne, pour les premières, ou à installer l'échancrure du pédoncule et des ailettes (procédé qui nécessitait une partie active mince et étroite) pour les secondes (Gusinde 1986).

Quatre types de stigmates fonctionnels ont été observés :

— des *stries de dérapage,* petits sillons qui partent de la pointe active de l'outil mais qui débordent parfois largement sur le fût (Figure 2b et c).
— les traces de *compactage/écrasement* des fibres osseuses provoqué par le tassement de l'extrémité utilisée (Figure 2d) ;
— des *entailles* triangulaires qui sont parfois accompagnées d'un arrachement de matière (Figure 2e) ;
— *des négatifs d'enlèvements* parfois détachés du bord de la partie active de l'outil produisant une sorte de « facettage » du pourtour de l'extrémité active (Figure 2f).

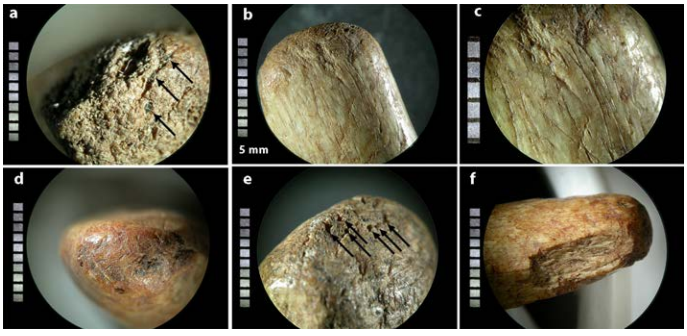


Figure 2 : Stigmates observés sur les compresseurs en os de cétacé de Punta Baja : esquilles d'obsidienne figées sur la partie active ; c et d) stries de dérapage (vue d'ensemble et détail) ; e) traces de compactage ; e) traces d'entaille et d'arrachement ; f) ébréchures et négatif d'enlèvement. © Christensen.

Les stigmates qui confirment l'usage de ces pièces en compresseurs ont été majoritairement observés sur le pourtour de la partie active des outils, et plus rarement dans la zone centrale. Il s'agit de traces de compactage des fibres osseuses

associées dans plusieurs cas à des esquilles d'obsidienne figées dans la matière, sur l'extrémité active ; ou de négatifs d'enlèvements détachés du bord et d'arrachements punctiformes triangulaires.

Validation expérimentale et informations complémentaires

Une première approche expérimentale a été menée en 2008 pour tester les qualités de l'os de cétacé dans une action de retouche par pression, ainsi que pour vérifier la concordance entre les stigmates observés sur les pièces archéologiques et sur des compresseurs expérimentaux utilisés pour façonner des pointes bifaciales en obsidienne. Quatre compresseurs ont été fabriqués en os de cétacé (côte) avec des outils modernes. Une fois obtenue une morphologie similaire à celle des objets archéologiques, la mise en forme finale fut réalisée par raclage et abrasion au moyen de tranchants lithiques et de pierres abrasives. Les compresseurs obtenus ont ensuite été utilisés par P. Bodu (UMR 7041 CNRS) pour fabriquer deux pointes en obsidienne. Le premier constat a été une adéquation entre la matière première et l'activité de retouche par pression : l'os de cétacé montre des caractéristiques mécaniques qui évoquent fortement celles du bois de renne sur lequel sont réalisés les compresseurs paléolithiques européens ; il est donc très adapté à cette fonction. Par ailleurs, les stigmates produits sur les parties actives des compresseurs expérimentaux étaient très similaires à ceux des pièces archéologiques : stries de dérapage, esquilles, petits arrachements de forme triangulaire... Toutefois les inclusions d'obsidienne obtenues étaient très ténues, ce qui pourrait être dû soit à l'état du matériau osseux (très sec), soit à la force exercée (moindre), soit à une durée plus courte de l'utilisation de l'outil expérimental...

Un protocole devrait être mis en place pour cibler davantage l'adaptation de la morphologie de la partie active (plane, biseautée, convexe...) au travail de retouche des pointes à ailettes ou pédoncule (mise en forme des bords, des encoches, des ailettes...), étudier l'usure de la partie active (dont la morphologie pourrait aussi être liée à l'entretien de l'outil), et enfin observer la corrélation entre la dimension des compresseurs et leur adéquation à certaines séquences de façonnage.

Bibliographie :

Gusinde M. (1986 [1937]) – *Los Indios de Tierra del Fuego. Los Yamana*, édition Centro Argentino de Etnologia sud-americana, CONICET, Buenos-Aires, tome 2, 606 pages.

Legoupil D. (1989) – « L'industrie osseuse », dans *Ethno-archéologie dans les Archipels de Patagonie : les Nomades Marins de Punta Baja*, éd D. Legoupil, Recherches sur les Civilisations, Mémoire n ° 84, ADPF, p. 153-169.

Nami H. G., Scheinsohn V., (1997) – « Use-wear patterns on bone experimental flakers : a preliminary report », *Proceedings of the 1993 Bone Modification Conference, Hot Springs, South Dakota*, éds L. Adrien Hannus, R. Peter Winham. Occasional Publications Nº 1, Archaeology Laboratory, Augustana College, Vermillion, South Dakota p. 256-276.

6 Conclusion

L'expérimentation appliquée aux problématiques soulevées par l'analyse technologique des industries en matières dures d'origine animale présente un fort potentiel informatif. Elle permet de comprendre comment différents groupes ont exploité ces matières et d'appréhender différentes techniques et procédés de fabrication. Au même titre que les autres vestiges de la culture matérielle, les témoins d'industrie osseuse peuvent ainsi apporter des informations sur les savoir-faire, les traditions techniques

des différents groupes, l'organisation d'une production, etc. On peut espérer atteindre prochainement ces concepts de transfert, d'apprentissage, et/ou de spécialisation liés à la transformation de ces matières ; mais, dans l'état actuel des connaissances, nous ne sommes pas encore vraiment en mesure de les mettre en évidence.

En raison de leur grande variété, l'ensemble des propriétés des matières dures d'origine animale sont encore mal connues. Elles sont pourtant indispensables à l'expérimentateur. Des recherches sur les caractéristiques physico-chimiques de certaines d'entre elles ont permis quelques avancées au cours des dernières décennies et des marqueurs chimiques ont été découverts pour l'ivoire et l'os de mammifères marins (Christensen 1998, Müller, Reiche 2011). Sur un plan plus général, il serait intéressant de procéder à une étude comparée des qualités respectives de l'os de mammifère terrestre, marin, du bois de cervidé et de l'ivoire, ce qui pourrait expliquer leurs différents usages... Par ailleurs, des recherches sur les qualités biomécaniques des os, développées actuellement dans le domaine médical, pourraient profiter dans l'avenir aux programmes archéologiques expérimentaux pour mieux comprendre la résistance des outils, leur durée de vie et mieux appréhender la gestion de l'outillage osseux par les hommes préhistoriques.

Bibliographie

Averbouh A. (2000) – *Technologie de la matière osseuse travaillée et implications palethnologiques. L'exemple des chaînes d'exploitation du bois de cervidé chez les Magdaléniens des Pyrénéens*, thèse de doctorat, Université de Paris 1 - Panthéon Sorbonne.

Averbouh A., Begouën B., Clottes J. (1999) – Technique et économie du travail du bois de cervidé chez les Magdaléniens d'Enlène (Montesquieu-Avantès, Ariège) : vers l'identification d'un cycle saisonnier de production, dans *Préhistoire d'os. Recueil d'études sur l'industrie osseuse préhistorique offert à Henriette Camps-Fabrer*, éds. M. Julien *et al.*, Aix-en-Provence, Publications de l'Université de Provence, p. 289-318.

Averbouh A., Provenzano N. (1998/1999) – Propositions pour une terminologie du travail préhistorique des matières osseuses : I – les techniques. *Préhistoire et Anthropologie méditerranéennes*, Aix-en-Provence, vol. 7, 5- 25.

Baumann M. (2014) – *À l'ombre des feuilles de laurier, les équipements osseux solutréens du sud-ouest de la France. Apports et limites des collections anciennes*, thèse de doctorat, Université Paris 1, Panthéon Sorbonne, novembre.

Billamboz A. (1977) – L'industrie en bois de cerf en Franche-Comté au Néolithique et au début de l'Âge du Bronze, *Gallia Préhistoire*, vol. 20, n° 1, p. 91-176, 1977.

Camps-Fabrer H. (1974) – *Premier colloque international sur l'industrie de l'os dans la Préhistoire*, Abbaye de Sénanque, 1974, édition CNRS et Université de Provence, France, 232 pages,.

Camps-Fabrer H. (1977) – *Méthodologie appliquée à l'industrie de l'os préhistorique. Deuxième colloque international sur l'industrie de l'os dans la Préhistoire*, Abbaye de Sénanque, 1976, édition CNRS, 362 pages.

Chech M. (1974) – *Essai sur les techniques de débitage des bois de rennes au Magdalénien*, mémoire de Maîtrise, Université de Paris X, Nanterre, 91 pages.

Christensen M. (1998) – Processus de formation et caractérisation physico-chimique des polis d'utilisation des outils en silex. Application à la technologie préhistorique de l'ivoire, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 95, 2, p. 183-201.

Christensen M. (1999) – *Technologie de l'ivoire au Paléolithique supérieur : caractérisation physico-chimique du matériau et analyse fonctionnelle des outils de transformation*, Oxford, Éd. BAR International Series 751. Hadrian Books 751, 201 pages.

Christensen M. (2016) – *L'exploitation des matières dures animales chez les chasseurs-cueilleurs : le cas des nomades marins de Patagonie et Terre de Feu.* Col. Poblamiento Humano, ed. Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile, 293 pages.

Christensen M., Legoupil D., Pétillon J.-M. (2016) – Hunter-Gatherers of The Old and New Worlds : Morphological and Functional Comparisons of Osseous Projectile Points, dans *Osseous Projectile Weaponry : Towards an Understanding of Pleistocene Cultural Variability*, éd. M.C. Langley, Cambridge, Angleterre, Éd. Cambridge University Press, p. 237-252.

ETTOS (1985) –Techniques de percussion appliquées au matériau osseux : premières expériences, *Cahiers de l'Euphrate*, 4, p. 373 -381.

Hahn J. (1977) – L'utilisation du bois de caribou chez les Eskimo du cuivre sur l'île de Banks, NWT Canada, dans *Méthodologie appliquée a l'industrie de l'os préhistorique*, éd H. Camps-Fabrer, Colloques internationaux du Cnrs, 568, Deuxième colloque international sur l'industrie de l'os dans la Préhistoire, Abbaye de Sénanque (Vaucluse), 9-12 juin 1976, éd. Éditions du CNRS, Paris, p. 339-346.

Haudricourt A.-G. (1987 [1968]) – *La technologie, science humaine. Recherches d'histoire et d'ethnologie des techniques*, Paris, éd. Maison des sciences de l'homme, 343 pages.

Henri-Martin L. (1910) –, La percussion osseuse et les esquilles qui en dérivent, *Bulletin de la Société préhistorique de France*, vol. 7 N° 5, p. 299-304.

Maigrot Y. (1997) – Tracéologie des outils tranchants en os des Ve et IVe millénaires av. J.-C. en Bassin parisien. Essai méthodologique et application, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 94, 2, p. 198-216.

Maigrot Y. (2001a) – Technical and functional study of ethnographic (Irian Jaya, Indonesia) and archaeological (Chalain and Clairvaux-les-Lacs, Jura, France, 30th century b.c.) tools made from boars' tusks, dans *Ethno-archaeology and its transfers*, eds. S. Beyries et P. Pétrequin, 5th annual meeting, European Association of archaeologists, Bournemouth, U.K., 14th-19th September 1999, BAR International Series, Oxford, p. 67-801.

Maigrot Y. (2001b) – Le débitage du bois de cerf au Néolithique final à Chalain et Clairvaux (Jura, France). Approche expérimentale, *Préhistoire et approche expérimentale*, éds *in* L. Bourguignon, I. Ortega et M.C. Frère-Sautot, Préhistoires 5, édition Monique Mergoil, Montagnac, p. 165-172.

Müller K., Reiche I. (2011) – Differentiation of archaeological ivory and bone materials by micro-PIXE/PIGE with emphasis on two Upper Palaeolithic key sites : Abri Pataud and Isturitz, France, *Journal of Archaeological Science*, 38, p. 2333-3243.

Pelegrin J. (1991) – « Aspects de démarche expérimentale en technologie lithique », dans *25 ans d'études technologiques en Préhistoire. Bilan et perspectives.* XI° rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes, 18-20 octobre 1990, Juan-les-Pins, éd APDCA, p. 57-63.

Pigeot N. (2011) – Chaînes opératoires : contexte théorique et potentiel cognitif, dans *L'archéologie cognitive. Cognitisme*, éd. R. Treuil, Paris, Maison des Sciences de l'Homme, p. 149-171.

Semenov S. A. (1964) – *Prehistoric technology*, Moonraker Press, 211 pages.

Sigaut F. (2009) – Techniques, technologies, apprentissage et plaisir au travail. . . , *Techniques & Culture*, 52-53, p. 40-49.

Tejero J. M., Christensen M., Bodu P. (2011) – La fabricación de soportes en asta de cérvido en el Auriñaciense. Una aproximación experimental para la comprensión del procedimiento de hendido en asta de ciervo, dans *II° Congreso Internacional de Arqueología Experimental, 25-27 de noviembre de 2008. Ronda (Málaga)*, éds A. Morgado et J. Baena, Sociedad Española de Arqueología Experimental, p. 213-223.

Treuillot J. (2016) – *À l'Est quoi de nouveau ? L'exploitation technique de l'élan en Russie centrale au cours de la transition entre pêcheurs-chasseurs-cueilleurs sans céramique (« Mésolithique récent ») et avec céramique (« Néolithique ancien »)*, thèse de doctorat, Université de Paris 1, Panthéon Sorbonne, décembre.

Vincent A. (1985) – Préliminaires expérimentaux du façonnage de l'os par percussion directe, quelques reproductions d'artefacts reconnus dans des niveaux du Paléolithique moyen, dans *Outillage peu élaboré en os et en bois de cervidés*, Deuxième réunion du groupe de travail n° 1 sur l'industrie de l'os préhistorique, éds E. Aguirre, M. Patou, Paris, édition C.E.D.A. Artefacts 1, p. 23-32.