



« À coup d'éclats ! »

*La fracturation des matières osseuses en Préhistoire :*

*discussion autour d'une modalité d'exploitation en apparence simple et pourtant mal connue*

Actes de la séance de la Société préhistorique française de Paris (25 avril 2017)

Textes publiés sous la direction de Marianne CHRISTENSEN et Nejma GOUTAS

Paris, Société préhistorique française, 2018

(Séances de la Société préhistorique française, 13), p. 261-282

www.prehistoire.org

ISSN : 2263-3847 – ISBN : 2-913745-74-1

## L'apport de l'expérimentation à l'étude des techniques de fracture

### Le cas de la bipartition des métapodes au Mésolithique à Zamostje 2 (région de Moscou, Russie)

Julien TREUILLOT

**Résumé :** À la fin du Mésolithique, dans la Volga supérieure, les « techniques de fracture » (*sensu* Christensen, 2015) sont très largement utilisées pour débiter les métapodes d'élan par bipartition et produire de longues baguettes que les Mésolithiques utilisaient pour confectionner certaines pointes de projectile et pointes barbelées. Cette manière de faire, typique de la période, n'en demeurerait pas moins mal comprise.

En vue de mieux caractériser les étapes de ces débitages, nous avons réalisé plusieurs expérimentations. En nous basant sur les résultats de notre analyse du matériel archéologique du site de Zamostje 2, nous avons débité une trentaine de métapodes de cerf en percussion diffuse directe (ou éclatement : Christensen, 2015) et en percussion linéaire indirecte (ou fendage : Christensen, 2015). Les résultats de ces expériences ont permis, sur la base d'une caractérisation fine des stigmates de percussion, d'identifier de nouveaux critères distinctifs entre les fractures obtenues par percussion diffuse directe, de celles obtenues par percussion linéaire indirecte. Nous avons ainsi pu mettre en évidence une évolution tout à fait inédite des techniques mises en œuvre à la fin du Mésolithique dans la région de la Volga supérieure.

**Mots-clés :** Mésolithique, technologie osseuse, archéologie expérimentale, stigmates, éclatement par percussion directe, éclatement par percussion indirecte, débitage par bipartition, métapode.

**Abstract:** At the end of the Mesolithic, in the Upper Volga area, the 'fracturing techniques' (Christensen, 2015) were largely used to split moose metapodials by bipartitioning and to produce long rod-shaped blanks, which the Mesolithic people shaped into projectile points and barbed points. Although this type of manufacturing is characteristic for this period, it is still poorly understood.

In order to better characterise the stages of this technical transformation sequence, we carried out several experiments. Based on the results of our technological analysis of the archaeological material from the Zamostje 2 site, we broke about thirty metapodials using two different fracturing techniques: direct diffuse percussion (or breaking: Christensen, 2015) and indirect linear percussion (or splitting: Christensen, 2015). The results of these experiments made it possible to identify new criteria to distinguish these two fracturing techniques, based on an accurate description of the percussion marks. Lastly, it was possible to highlight completely new developments with regard to the techniques in use at the end of the Mesolithic period in the Upper Volga area.

**Keywords:** Mesolithic, bone technology, experimental archaeology, stigmata, breaking by direct percussion, breaking by indirect percussion, blank production by bipartitioning, metapodials.

Les industries en matières dures animales attribuées à la fin du Mésolithique dans le bassin de la Volga supérieure sont pour l'essentiel réalisées à partir de carcasses d'élans (*Alces alces*). Les os de cet ongulé ont été utilisés pour fabriquer une grande part de

l'équipement domestique et des armes que l'on retrouve sur les sites. Pour ces dernières, ce sont surtout les métapodes qui ont été mis à profit au moyen d'un débitage par bipartition caractéristique. Des produits de débitage associés à ce mode opératoire ont été découverts sur plusieurs

campements datés du début de l'Atlantique. Néanmoins, et malgré des études pionnières (David, 1999; Zhilin, 2001), les principes de ces débitages sont mal connus, tout comme les contextes dans lesquels ils interviennent.

Au cours du VII<sup>e</sup> millénaire avant notre ère, des changements majeurs adviennent au sein des groupes de la Volga supérieure. À cette période considérée comme le commencement du Néolithique en certaines régions de l'Europe, des comportements particuliers y sont observés. Passé le début de l'Atlantique, aux alentours de 6200 av. J.-C., les groupes de chasseurs-cueilleurs mésolithiques développent une économie basée sur la pêche avec l'édification de pêcheries stationnaires qui les mènent à s'installer durablement auprès des berges (Lozovski *et al.*, 2014). Ce sont précisément les répercussions de ce changement de mode de vie que nous avons étudié dans le cadre de notre doctorat, au moyen de l'étude technologique de l'industrie en os d'un site emblématique de la région : Zamostje 2.

Très vite, nous avons constaté que la méthode de débitage la plus caractéristique sur ce site était liée à la bipartition des métapodes conduite grâce à des techniques de fracture (Treuil, 2013). Nous avons voulu expérimenter cette méthode pour répondre à plusieurs questions :

quelles sont les étapes de ces chaînes opératoires? Quels sont les outils utilisés pour diviser longitudinalement ces os? Comment les caractériser? Un test avait déjà été publié (David, 1998), mais sans protocole détaillé. Il était donc nécessaire de mettre en place une expérimentation pour mieux analyser les modalités de mise en application de la fracture (éclatement et fendage) et définir les traces de percussion et leur variabilité. Cet article s'attache à présenter l'apport de ces expérimentations à la compréhension du matériel archéologique.

## PROBLÉMATIQUES SOULEVÉES PAR LES SÉRIES ARCHÉOLOGIQUES

C'est à 110 km au nord de Moscou, sur la rive gauche de la rivière Dubna, que se situe Zamostje 2 (fig. 1). Les archéologues y ont découvert une pêcherie et les restes de la périphérie d'un site sur six niveaux datés du Mésolithique récent au Néolithique moyen. Ils permettent d'illustrer l'évolution du mode de vie des chasseurs-cueilleurs entre 7000 et 5000 av. J.-C. (Lozovski *et al.*, 2014). Dans le présent travail, ce sont deux niveaux



**Fig. 1** – Carte de localisation de Zamostje 2 dans la Volga supérieure (DAO Kristiina Mannermaa et Dimitryi Gerasimov, d'après Mannermaa *et al.*, 2017).

**Fig. 1** – Location map of Zamostje 2 in the Upper Volga area (CAD Kristiina Mannermaa and Dimitryi Gerasimov, after Mannermaa *et al.*, 2017).

culturels attribués à la fin du Mésolithique, fouillés en 1997 et 2000 sur un secteur de 20 m<sup>2</sup>, qui ont été comparés. D'un point de vue quantitatif, ce matériel ne représente qu'une partie des produits découverts sur le site. Les fouilles ont été menées sur une superficie totale de 160 m<sup>2</sup> et plusieurs milliers d'éléments en matières dures animales ont été mis au jour. Les conclusions exposées dans cet article doivent, par conséquent, être nuancées puisqu'elles n'ont été établies qu'à partir d'un secteur du site et nécessitent d'être confirmées par l'étude du reste du matériel. Quoi qu'il en soit, le secteur étudié correspond à une zone particulièrement intéressante, puisqu'elle a fait l'objet d'une fouille fine et présente une stratigraphie assez bien délimitée entre les couches culturelles.

La couche culturelle du Mésolithique récent inférieur, composée de deux couches stratigraphiques (couches 11 et 10), marque l'existence d'une courte occupation humaine sur la rive. Le groupe s'était installé sur un promontoire qui s'avancait dans le lac ou peut-être sur une île. Les analyses suggèrent que ce site s'apparentait à un camp de base probablement utilisé en été et en hiver, entre 7000 et 6600 av. J.-C., dans le cadre d'une mobilité résidentielle. Les groupes s'y installaient pour pêcher et chasser, ainsi que pour y fabriquer des outils en silex et en os. L'abandon de ce site est probablement lié à la transgression du lac au début de la période atlantique (Lozovskaya et Lozovski, 2015; Mannerman, 2013; Chaix, 1996; Lozovski *et al.*, 2014). Après échantillonnage, nous avons étudié 201 éléments d'industrie en matières dures animales pour ce secteur, dont une cinquantaine sont liés au travail des métapodes d'élan.

L'ensemble mésolithique récent supérieur, occupé entre 6200 et 6000 av. J.-C., documente un mode de vie différent et livre beaucoup plus de matériel. Des deux couches mises à jour (couches 7 et 8), nous n'en avons étudié qu'une. La quantité de matériel mis au jour pour cet ensemble est donc largement supérieure, de l'ordre du double d'après les données que nous avons collectées. À cette époque, les groupes exploitent de façon plus intense le lac avec l'édification de barrages mobiles pour pêcher (Lozovski *et al.*, 2014). Ils amplifient leurs productions, à l'image des haches polies, et développent de nouvelles formes d'armes (Lozovski, 2003). L'assemblage en os du niveau 8 réunit 330 pièces, dont 34 produits de débitage et une trentaine d'outils provenant de l'exploitation des métapodes.

Ces assemblages offrent une occasion unique d'étudier des séries archéologiques clairement liées à la bipartition des métapodes via l'emploi de techniques de fracture.

### Quels sont les produits obtenus par bipartition ?

À Zamostje 2, plusieurs catégories d'outils ont été confectionnées sur des métapodes divisés longitudinalement par bipartition au moyen d'une fracture. Les groupes mésolithiques produisaient de cette façon soit de longs supports bipartites<sup>(1)</sup>, mesurant plus de 300 mm de

long, soit des blocs secondaires destinés à être subdivisés à nouveau par bipartition pour produire des quadripartites (fig. 2, n<sup>os</sup> 1 à 3). Dans la plupart des cas ce sont ces quarts qui ont été utilisés pour fabriquer l'armement (fig. 2, n<sup>os</sup> 6 et 7). Néanmoins, quelques outils massifs ont également été mis en forme sur bipartite, et ce quel que soit le niveau considéré (fig. 2, n<sup>os</sup> 4 et 5).

Les outils sur support bipartite sont principalement des outils biseautés à 45° et des pointes de lance. Ces objets mesurent jusqu'à 240 mm de long. Ils ont en commun une mise en forme limitée à l'extrémité active et à la face inférieure, qui correspond à la partie interne de l'os. La morphologie de l'outil est donc inscrite dans le volume du support. Le plus souvent issu de la face crâniale, le bipartite conserve ainsi le sillon médian anatomique qui permet de le déterminer.

Les quarts de métapode sont utilisés pour fabriquer une plus grande diversité de têtes de projectile. Dans le cas des pointes spiculaires et à barbelure simple, la longueur des pièces – jusqu'à 228 mm – et leur rectitude permettent de les associer, par analogie, à ce type de support. Sur certaines pointes à barbelures multiples il est également possible d'identifier des caractéristiques anatomiques propres aux quarts de métapode, tels qu'une section subtriangulaire et les vestiges du sillon médian anatomique (fig. 2, n<sup>os</sup> 6 et 7). Quant aux autres types de pointes de projectile, s'il y a de fortes chances pour que la majorité ait été réalisée sur ce type de support, il n'est pas toujours évident de le confirmer, du fait de leur importante mise en forme.

De manière générale, les supports et les outils de cet échantillon varient peu à la fin du Mésolithique, bien qu'on note une diversification de l'équipement de chasse dans le niveau Mésolithique récent supérieur (Treuillot, 2016). Nous avons donc voulu voir si l'apparition de ces nouvelles formes d'armes était concomitante à une évolution des modes opératoires mis en œuvre pour les fabriquer. Pour répondre à cette question, nous avons caractérisé les stigmates de débitage sur ce matériel.

### Quels stigmates caractérisent les débitages par partition ?

Les produits de débitage que l'on retrouve à Zamostje 2 sont soit des déchets, soit des supports qui peuvent être partiellement mis en forme par retouche (fig. 2; tabl. 1). Dans ce cas, les traces de la phase de débitage ont été effacées. Sur les déchets de débitage, en revanche, on observe des pans de fracture longitudinaux sur les faces latérale et médiale de l'os. Ils ont une texture lisse, homogène, à délimitation régulière et présentent un angle de 75° à 85° avec la surface corticale de l'os. Leur présence permet d'attester que c'est une technique de fracture qui a été privilégiée pour débiter ces os. Ces caractéristiques semblent en outre correspondre à une fracture sur os frais. Néanmoins, et sans une étude plus approfondie, il n'est pas possible de préciser quelle technique de fracture – éclatement par percussion diffuse directe ou fendage par percussion linéaire directe/indirecte ? – a été mise en œuvre.



**Fig. 2** – Produits archéologiques liés à la bipartition des métapodes (clichés J. Treuillot). 1 : déchet de bipartition ; 2 : support bipartite ; 3 : support quadripartite ; 4 : pointe de lance ; 5 : outil biseauté à 45° ; 6 : pointe à barbelure simple ; 7 : pointe à barbelures multiples. Attribution culturelle : Mésolithique récent inférieur, couche 11 (4) ; Mésolithique récent inférieur, couche 10 (1, 5-7) ; Mésolithique récent supérieur, couche 8 (2 et 3).

**Fig. 2** – Archaeological pieces related to blank production by bipartitioning of metapodials (photographs J. Treuillot). 1: waste stemming from bipartitioning; 2: bipartite blank; 3: quadripartite blank; 4: spearhead; 5: tool with a bevelled end set at a 45 degree angle; 6-7: barbed points; Cultural attribution: Late Mesolithic lower layer, layer 11 (4); Late Mesolithic lower layer, layer 10 (1, 5 to 7); Late Mesolithic upper layer, layer 8 (2 and 3).

	Niveau inf.	Niveau sup.	Total
Épiphyse	6	–	6
Matrice	2	–	2
Bipartite crânial	6	11	17
Bipartite caudal	3	1	4
Quadripartite crânial	2	9	11
Quadripartite caudal	3	13	16
Total	22	34	56

**Tabl. 1** – Produits de débitage associés à la bipartition des métapodes découverts dans les couches 11, 10 et 8 du secteur fouillé entre 1995 et 2000 à Zamostje 2.

*Table 1 – Products related to blank production by bipartitioning of metapodials discovered in the layers 11, 10 and 8 of the area excavated between 1995 and 2000 at the Zamostje 2 site.*

Un certain nombre de déchets (60% des produits étudiés du niveau inférieur et 20% de ceux du niveau supérieur) présente pourtant des stigmates de percussion. Ce sont surtout des encoches, des enlèvements adhérents et des cupules dans le niveau inférieur, tandis que les impressions dominent dans le niveau supérieur. Il est probable que deux procédés de production aient été utilisés, faisant entrer en jeu des techniques différentes. En l'absence d'un référentiel pour étudier ces stigmates de percussion, il n'était toutefois pas possible de le confirmer. Nous avons donc élaboré un protocole expérimental adapté au cadre chronoculturel de la fin du Mésolithique de la Volga supérieure à partir des observations faites sur le matériel de Zamostje 2, pour mieux caractériser les traces d'éclatement et établir des critères pour distinguer la percussion diffuse directe de la percussion linéaire indirecte.

## APPORTS DE L'EXPÉRIMENTATION

### Le protocole expérimental

Pour mener à bien nos expérimentations, nous avons d'abord réalisé vingt-sept débitages didactiques. Au cours de ces expériences, nous avons cherché à acquérir le savoir-faire nécessaire au bon déroulement de l'expérimentation, pour assurer sa reproductibilité, tout en testant certaines étapes du protocole expérimental. Ce dernier suit les étapes de débitage identifiées dans les séries archéologiques étudiées.

#### *La matière première*

L'expérimentation devait initialement se dérouler avec des métapodes d'élan, mais il était difficile de se les procurer en nombre en contrôlant leur état de fraîcheur. Nous avons donc opté pour du cerf (*Cervus elaphus*). Ses métapodes sont de taille inférieure, puisque les métatarses de cerf mesurent en moyenne

26 cm de long contre 38 cm pour l'élan. Quoiqu'il en soit, ils se prêtent assez bien à la comparaison dans la mesure où leur forme est proche. Composés d'une épiphyse distale et d'une diaphyse au profil rectiligne, les métapodes des cerfs et des élans présentent une plage articulaire plus large que la diaphyse. Leur diaphyse est régulière et traversée par un sillon médian, tandis que l'épiphyse distale est composée de deux poulies et est plus large que le corps de la diaphyse. Du point de vue de la forme, les métapodes de cerf et d'élan sont donc comparables. En ce qui concerne la densité, le fait d'expérimenter sur une espèce différente peut toutefois gêner la comparaison, puisqu'il est important de travailler sur des espèces et des éléments anatomiques structurellement proches, notamment pour éviter les différences de densité. Pour la fracture, cela a toute son importance puisque la densité osseuse joue un grand rôle dans la propagation de la ligne de fracture, grâce à la vélocité de l'impact (Behiri et Bonfield, 1984). La densité osseuse est toutefois délicate à intégrer à la réflexion car elle est sujette à de nombreuses variations qui dépendent de l'état de santé de l'animal, de son âge et de la portion de l'os mesurée. Quelques données sont toutefois consultables à ce sujet : elles nous permettent de noter que, dans une population adulte en bonne santé, la densité osseuse d'un métatarse d'élan présente généralement une moyenne de 1,58 à 2,06 g/cm<sup>3</sup> contre 1,27 g/cm<sup>3</sup> pour le cerf (Lyman, 1984; Kreutzer, 1992; Ytrevhug *et al.*, 1999; Bjourâ *et al.*, 2001). Dans nos comparaisons, ce point est bien entendu à prendre en compte, mais il semble que dans le cas de l'éclatement longitudinal des métapodes, la régularité de l'os soit l'élément le plus important. À ce titre, les os de cerf et d'élan sont très comparables.

Les trente-quatre métapodes de cerf débités – respectivement vingt-huit métatarses et six métacarpes – ont été collectés dans la région Centre par Christophe Bouilly, technicien cynégétique de la fédération départementale des chasseurs du Cher. Nous avons privilégié des individus adultes (n = 24), mais avons également utilisé des os non épiphysés, provenant d'animaux de moins de 18 mois (n = 10). Tous ces animaux étaient en bonne santé et ne présentaient aucun signe parasitaire notable. Ils ont été abattus dans le cadre de la régulation annuelle des populations de cerfs.

#### *Les outils utilisés*

Nous avons sélectionné des outils passifs et actifs pour préparer et fracturer les os, ainsi que des éclats de silex pour dépecer les pattes et un galet à extrémité arrondie, de 146 × 58 × 42 mm pesant 1,44 kg, pour les désarticuler. Pour débiter les os en percussion diffuse directe, deux percuteurs ont été choisis : deux galets allongés en silex. Un galet allongé de 129 × 65 × 39 mm pesant 833 g et un autre de 105 × 39 × 40 mm pour 533 g. Le premier a rapidement été abandonné étant donné que son extrémité active était trop large et trop irrégulière pour bien contrôler la zone à impacter. En percussion directe, l'uti-

lisation de percuteurs en bois végétal ou en bois d'élan a été exclue car jugée inefficace lors de nos expériences didactiques. Pour la percussion linéaire indirecte, nous avons choisi une lame en pierre polie à front rectiligne qui était insérée dans une gaine en bois de cerf et actionnée avec un rondin en bois de chêne bien sec. Moins asymétrique que les haches découvertes à Zamostje 2, qui était par ailleurs taillées et non polies, elle restait toutefois adaptée à notre expérimentation qui visait, d'abord, à préciser la variabilité des traces de percussion diffuse directe et linéaire indirecte. Il est d'ailleurs important de noter que la gaine en bois de cerf a été utilisée par commodité, cet objet n'existant pas dans les niveaux mésolithiques de Zamostje 2.

Nous avons choisi comme enclume une dalle calcaire à surface plane et un billot en bois de chêne afin de comparer les stigmates produits par le contre-coup. Finalement, le débitage étant plus facile à maîtriser sur le billot, nous avons réalisé la majorité des expérimentations sur cette surface. En percussion linéaire indirecte, les os étaient parfois placés dans un tronc en chêne creusé pour permettre un calage optimal.

### *Les étapes de l'expérimentation*

#### Préparation des pattes

Pour conserver un état de fraîcheur, les pattes ont été congelées après la chasse et décongelées la veille de l'expérimentation. Cette action a pu avoir un impact sur l'état de l'os au moment de notre expérimentation, mais aucune donnée ne nous permet de le confirmer. Les pattes ont été dépecées avec un éclat de silex utilisé pour inciser la peau sur la face latérale du métapode avant de la retrousser pour dégager l'os (fig. 3, n° 1). Les phalanges ont ensuite été désarticulées en tranchant les tendons puis en effectuant une torsion accompagnée d'une flexion. Au niveau du sillon dorsal, les tendons ont été extraits à l'aide d'un silex (fig. 3, n° 2), en tranchant à hauteur du canal interosseux avant de désarticuler le tibia par percussion directe (fig. 3, n° 3). Finalement, le périoste a été supprimé au moyen d'un raclage au silex (fig. 3, n° 4), pour éviter que la surface soit trop glissante et fasse dérapier les outils au moment de la percussion, ainsi que pour faciliter l'enregistrement des stigmates. Sur le matériel de Zamostje 2, des stries ont été identifiées sur les métapodes. D'après Renée Moubarak-Nahra, qui a étudié une partie de ce matériel dans le cadre de son travail de master, elles sont associées à plusieurs actions, dont la récupération de la peau, le sectionnement des tendons extenseur et le nettoyage de la surface (Moubarak-Nahra, 2011).

#### Suppression des tubérosités

Nous avons supprimé les tubérosités latérales au moyen d'un enlèvement en percussion tranchante indirecte avec la hache polie, cette étape étant documentée sur le matériel de Zamostje 2. L'outil était tenu d'une main et posé perpendiculairement à la plage articulaire, à hauteur de la zone à détacher. La hache était frappée avec

un percuteur utilisé comme un maillet et le métapode était calé dans un tronc évidé, pour ne pas bouger à l'impact (fig. 3, n° 5). Cette étape ne prenait que quelques secondes et produisait un déchet, sous la forme d'un enlèvement subtriangulaire. Le stigmate, un négatif d'enlèvement en forme d'écaille subtriangulaire dont la surface de détachement se termine par une extrémité en plume ou par un léger rebroussement, est caractéristique de cette manière de faire. D'après les tests que nous avons réalisés en amont de l'expérimentation, cette étape semble influencer sur la suite du débitage. En supprimant cette portion spongieuse de l'os, la division longitudinale du métapode est ensuite facilitée, la ligne de fracture n'étant pas déviée au niveau de la plage articulaire.

#### Division longitudinale des os

La dernière étape consistait à diviser l'os dans la longueur depuis le bord médial ou latéral. Nous avons testé deux techniques : l'éclatement par percussion diffuse directe avec un galet et le fendage par percussion linéaire indirecte avec une lame de hache polie.

Pour l'éclatement, l'os était tenu à plat sur une enclume (fig. 3, n° 6a, série 1) ou un billot (fig. 3, n° 6b, série 2) et le percuteur était manié selon un mouvement linéaire vertical. La face médiale, la plus plane, était percutée en premier. Si la fissure ne se développait pas assez sur la face opposée, l'os était retourné et percuté à nouveau sur la face externe.

Pour le fendage, l'os était maintenu par un tiers (fig. 3, n° 6c, série 3) ou placé dans un billot creusé (fig. 3, n° 6d, série 4). La partie active de l'outil intermédiaire était posée parallèlement à l'axe longitudinal de l'os, sur la face médiale. Nous frappions l'outil intermédiaire avec un percuteur en chêne, mu comme un maillet selon un mouvement linéaire oblique. Là encore, l'os était retourné et frappé sur la face opposée, externe, au besoin.

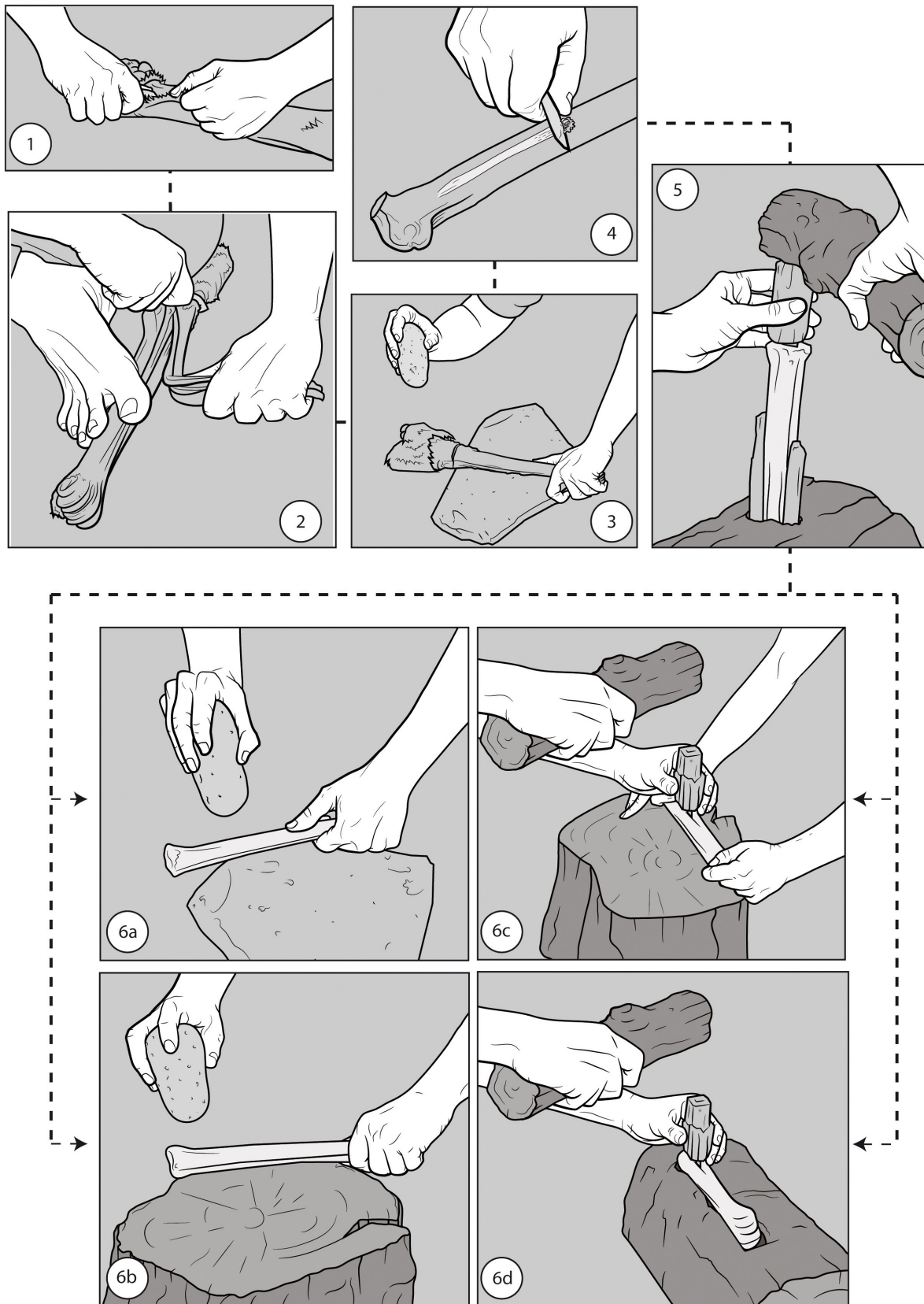
### *La conservation du référentiel expérimental*

Les quatre séries ainsi produites ont été traitées pour assurer leur conservation. Nous avons fait sécher les os pour empêcher le développement de moisissures, le plus souvent à l'air libre en extérieur. Les neuf derniers débitages ont été conservés différemment en raison de la forte humidité ambiante. Nous les avons plongés dans un bain d'eau tiède avec du produit vaisselle pour les dégraisser. Cette méthode a eu tendance à blanchir la surface de ces os, sans gêner pour autant la lecture des stigmates.

## **Étude du matériel expérimental**

### *Les produits de débitage obtenus*

Au cours de ces expérimentations, les os ont été percutés deux à quatorze fois, avec une moyenne de quatre coups par débitage et trente-deux métapodes ont été fracturés longitudinalement contre seulement deux os fracturés transversalement. Dans 95 % des cas, nous sommes parvenus à débiter ces os par bipartition (fig. 4).



**Fig. 3** – Étapes du protocole expérimental. 1 : dépeçage ; 2 : extraction du tendon dorsal ; 3 : désarticulation du tibia ; 4 : suppression du périoste ; 5 : suppression des tubérosités ; 6a-6b : protocole de débitage 1 par percussion diffuse directe sur bûche ou sur dalle ; 6c-6d : protocole de débitage 2 par percussion linéaire indirecte (DAO Patrick Zedouard).

**Fig. 3** – Stages of the experimental protocol. 1: skinning; extraction of the dorsal tendon; 3: disarticulation of the tibia bone; 4: removal of the periosteum; 5: removal of the tuberosities; 6a-6b: debitage protocol 1 by direct diffuse percussion on a log or a stone slab, 6c-6d: debitage protocol 2, by indirect linear percussion (CAD Patrick Zedouard).



**Fig. 4** – Produits de débitage par bipartition, matériel expérimental : protocole 1 (clichés J. Treuillot).

*Fig. 4* – Products related to blank production by bipartitioning, experimental equipment: protocol 1 (photographs J. Treuillot).

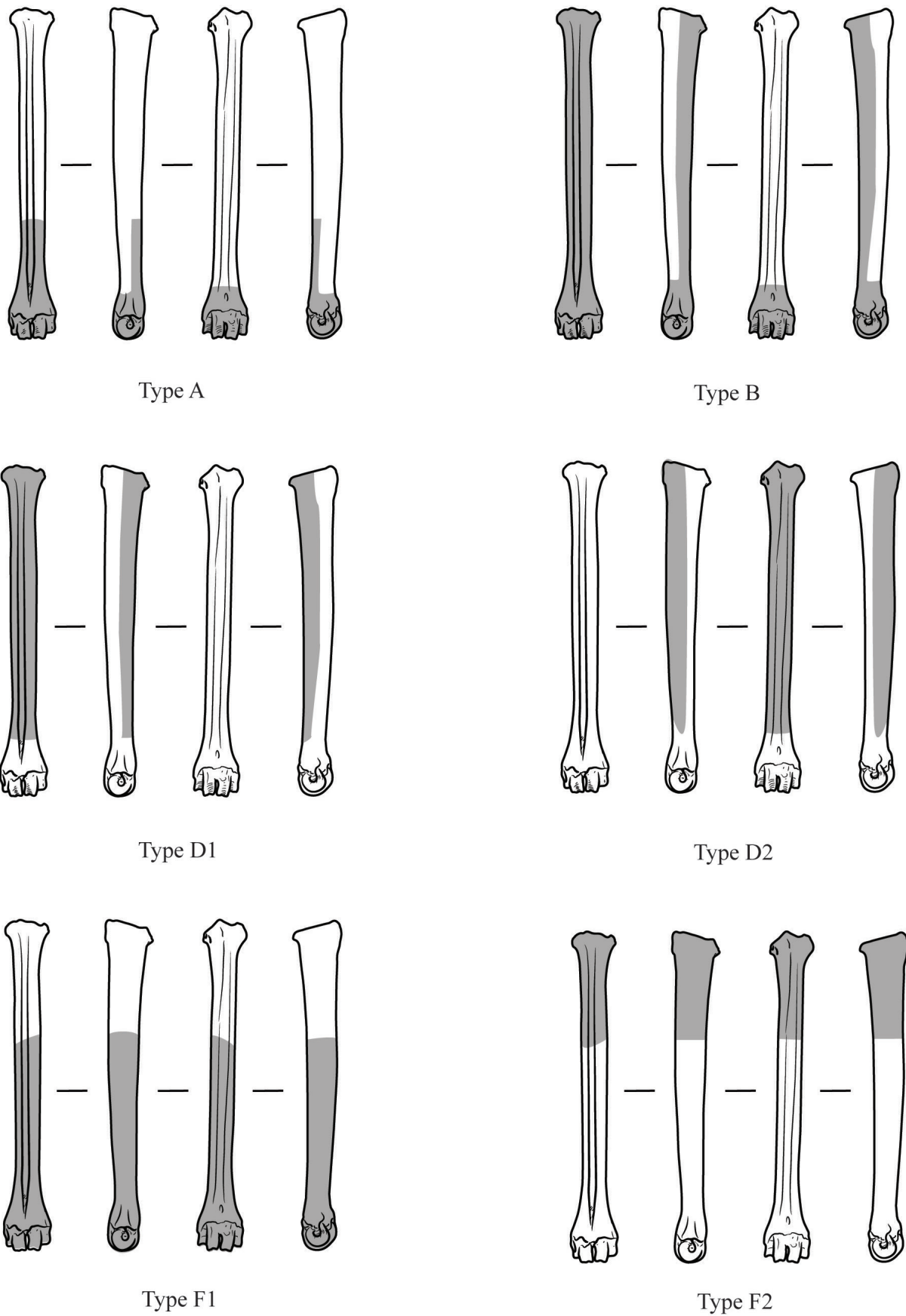
Après division des métapodes, ce sont 181 produits de débitage qui ont été obtenus, dont 72 enlèvements sub-triangulaires. Une fois ces déchets écartés, l'assemblage étudié comptabilise 109 produits de débitage, dont 30 correspondent à des éclats de type indéterminé. Les autres se répartissent entre quatre types récurrents (fig. 5) :

- type A : épiphyse fracturée transversalement suite à la bipartition de l'os ;
- type B : bloc de débitage lié à la bipartition de l'os depuis les faces latérale et médiale ;
- type C : support bipartite issu de la face crâniale (C1) ou caudale (C2) ;
- type D : os fracturé transversalement au niveau de l'épiphyse : portion distale (D1) ou proximale (D2) de l'os.

Ces expérimentations nous ont permis d'établir que, quelle que soit la technique de fracture mise en œuvre, les mêmes produits étaient occasionnés. D'un point de vue quantitatif, les chiffres font état d'une autre réalité, avec la prépondérance d'éclats indéterminés dans les séries obtenues en percussion directe. Cette impression

peut néanmoins s'expliquer par le fait que deux os ont littéralement explosé lors des débitages de la série 1. Ils ont produit chacun treize et six fragments. D'un point de vue statistique, ce sont néanmoins bel et bien les bipartites qui dominent puisque 90% des débitages réalisés par percussion diffuse directe et 95% des débitages réalisés en percussion linéaire indirecte ont permis de produire, au minimum, un bipartite (tabl. 2). Ce phénomène s'explique d'abord par la nature du métapode. Cet os rectiligne, composé d'une diaphyse longiligne, a une structure particulièrement bien adaptée à la fracture longitudinale. D'un point de vue mécanique, l'architecture régulière et longiligne de cet os permet aux fissures de se propager rapidement dans la longueur, en suivant la structure des lamelles osseuses. Ces caractéristiques rendent possible la production des supports normés. C'est ce que nous avons cherché à faire à l'aide de paramètres de débitage standardisés. Que ce soit en percussion directe ou indirecte, les os étaient frappés sur la même face et la ligne de fracture se développait systématiquement dans le sens de la longueur. La constance de ces productions implique





**Fig. 5** – Produits de débitage générés lors de l'expérimentation : protocole 1 et 2.  
*Fig. 5* – Debitage waste produced during experimentation: protocol 1 and 2.

	Percussion diffuse directe	Percussion linéaire indirecte	Total
Épiphyse (A)	9	6	15
Bloc de débitage entier (B)	10	7	17
Bipartite crânial (D1)	6	6	12
Bipartite caudal (D2)	18	13	31
Épiphyse fracturée transversalement (F)	–	4	4
Éclat indéterminé	28	2	30
Total	71	38	109

**Tabl. 2** – Produits des débitages expérimentaux.

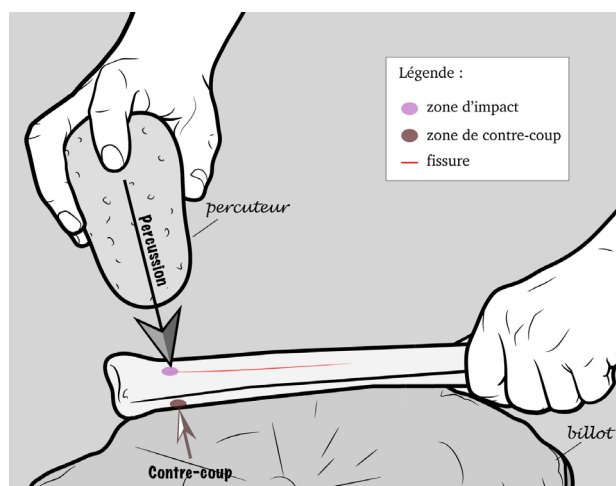
*Table 2* – Products related to experimental blank production.

qu'il est possible de prédéterminer le résultat de ces débitages, autant par éclatement que par fendage. Il est donc impossible de déterminer quelle technique a été utilisée sur la typologie des produits de débitage. En revanche, les stigmates de percussion sont beaucoup plus diagnostiques.

### *Quels stigmates caractérisent ces techniques de fracture ?*

Par éclatement, en percussion diffuse directe

L'éclatement consiste à diviser l'os au moyen d'une sollicitation dynamique, à savoir une percussion diffuse directe. Il est réalisé avec un percuteur dont la partie active est arrondie et dont la forme et la dimension sont adaptées à la taille de l'os à éclater. La vitesse du coup, le type d'enclume, la position de l'os sur l'enclume et le choix des zones percutées permettent de contrôler la nature et le nombre de fragments produits. Maintenu d'une main ou calé sur une enclume, l'os est frappé avec le percuteur selon un mouvement linéaire vertical. Il doit reposer sur une surface assez dure pour produire un contrecoup à l'origine des ondes de choc qui se propagent dans la matière. Si le coup n'est pas assez puissant et que



**Fig. 6** – Principes du débitage par percussion diffuse directe (DAO Patrick Zedouard).

*Fig. 6* – Principles of blanking by direct diffuse percussion (CAD Patrick Zedouard).

le contrecoup est faible, l'os devra être frappé à plusieurs reprises et éventuellement sur l'autre face (fig. 6).

Cette percussion génère des stigmates plus ou moins diagnostiques, comme la cupule, des fissures concentriques autour du point d'impact, des encoches ou des enlèvements adhérents selon le stade de développement différent (fig. 7).

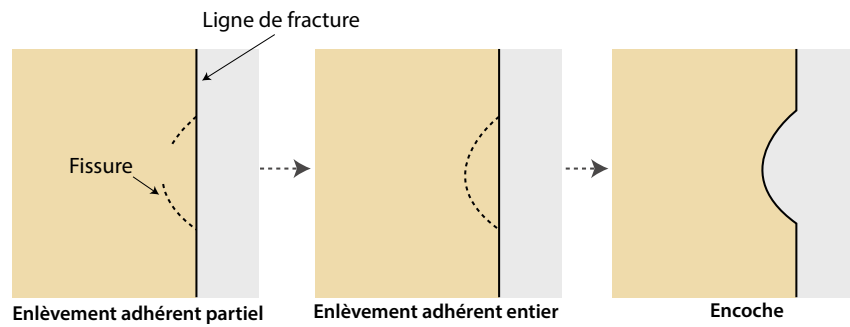
*L'enlèvement adhérent* — L'enlèvement adhérent – esquille adhérent (Boulestin, 1999), *splinter* (Haynes, 1988), *flakes* (White, 1992), *microflakes* (Villa et Mahieu, 1991) ou *chips* (Binford, 1981) – est matérialisé par une fissure radiale. Cette fissure correspond aux *incipient ring cracks* d'Eileen Johnson (Johnson, 1985, p. 194), c'est-à-dire qu'elle se développe « suivant un cône de révolution à partir de la surface d'une matière première quand la percussion n'est pas suivie d'un enlèvement » ce qui provoque l'éclat adhérent (Inizan *et al.*, 1995 ; p. 141). Si l'arc est entièrement dessiné, on parle d'enlèvement adhérent entier, sinon il est partiel (fig. 8).

Dans les séries générées par une percussion diffuse directe, on observe ce type de stigmate sur 60% des pièces, avec quarante-neuf enlèvements adhérents répertoriés au niveau de la plage de percussion (fig. 9). Mais il arrive qu'il se développe aussi sur la zone de contrecoup (n = 12). Dans ce cas, c'est la dureté de l'enclume utilisée qui est en cause : au niveau du contrecoup, l'enlèvement adhérent est plus courant sur les os qui ont été débités sur la dalle calcaire.

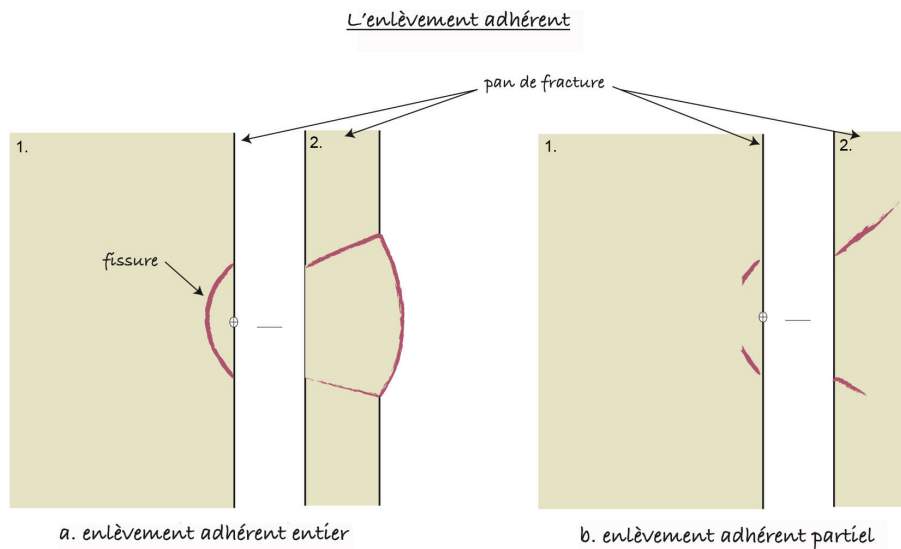
Dans certains cas, plusieurs fissures se développent autour du point d'impact en forme de fissures radiales ou concentriques. On parle alors de zone d'enlèvements adhérents (fig. 10, nos 1 et 2).

Ce stigmate est difficile à interpréter puisqu'il se développe au niveau de la zone de percussion et de contrecoup. Il est, de plus, relativement fugace, dans la mesure où sa durée de vie semble limitée dans le temps. En effet, à mesure que l'os sèche il se rétracte et fait filer la fissure. Dans ce cas, l'enlèvement adhérent se détache, ce qui produit une encoche et pourrait expliquer pourquoi ce stigmate est rare sur les produits de débitage archéologiques.

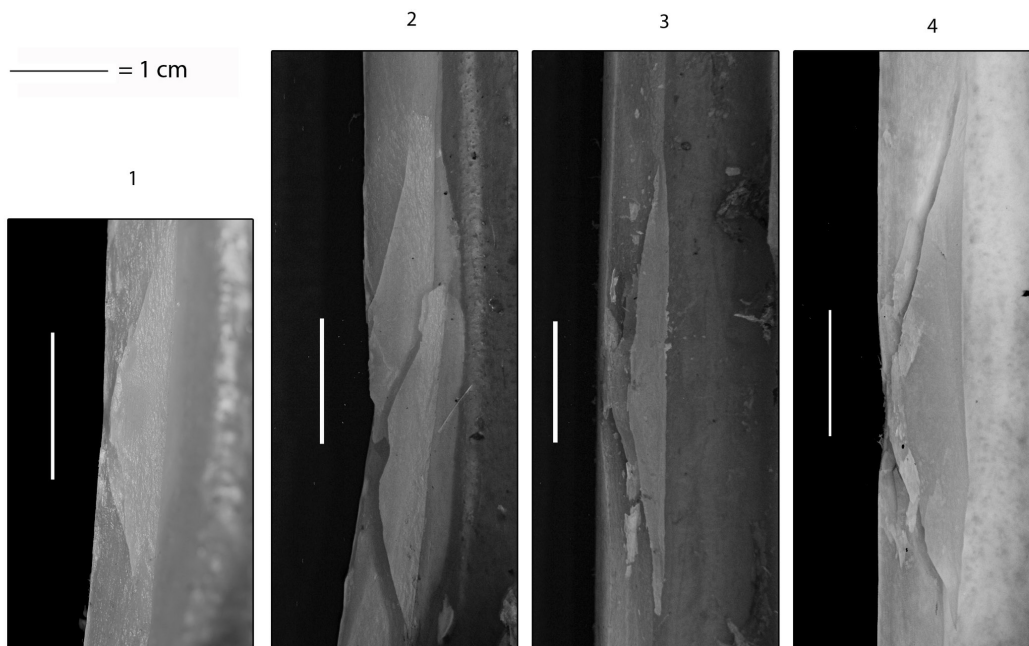
*L'encoche de percussion* — L'encoche de percussion – *impact notch* (Binford, 1981), *impact scar* (Bonnichsen,



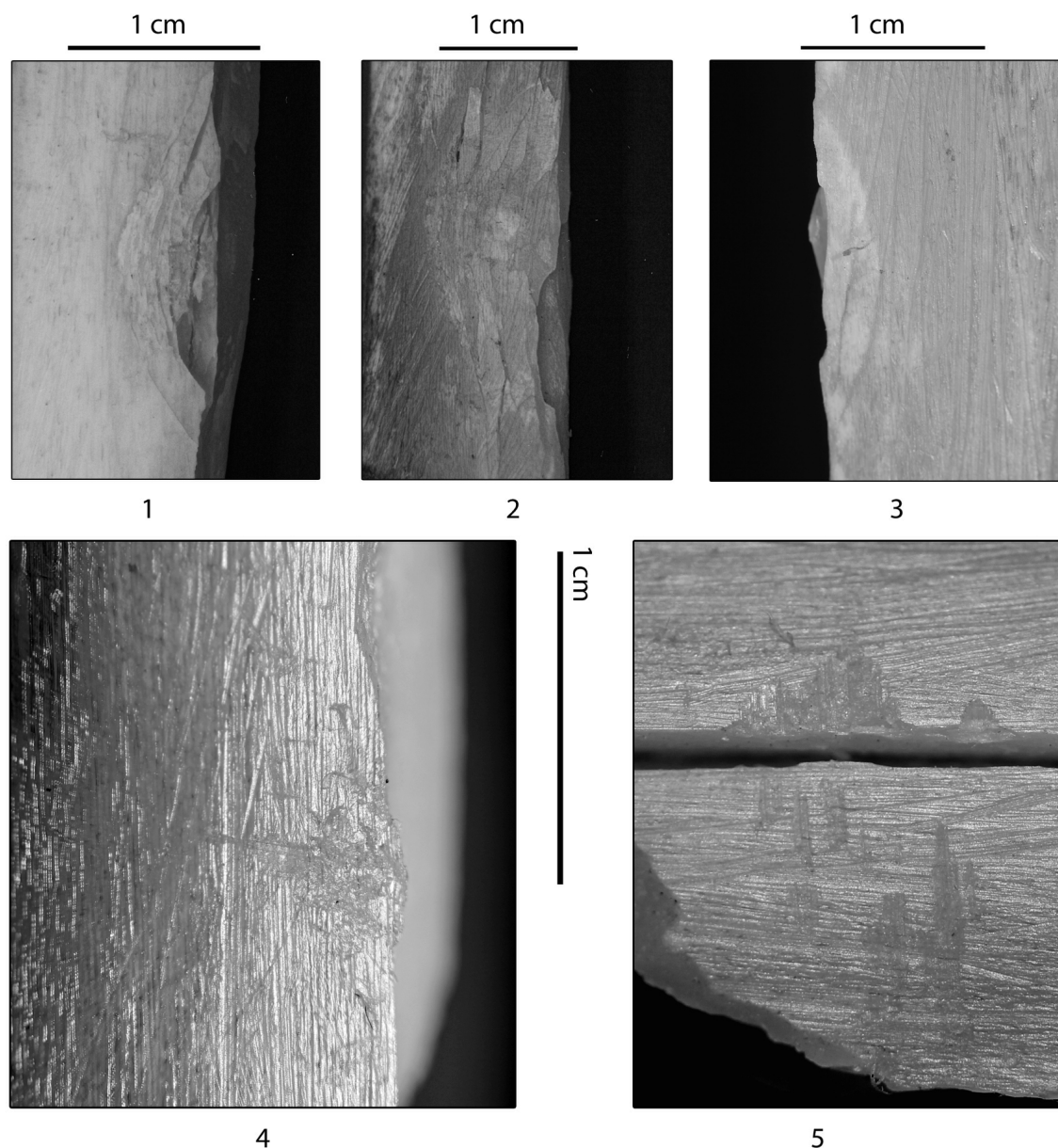
**Fig. 7** – De l'enlèvement adhérent à l'encoche : évolution d'un stigmate.  
**Fig. 7** – From the microflake to the notch: evolution of a percussion scar.



**Fig. 8** – Représentation schématique de l'enlèvement adhérent. 1 : vue de dessus ; 2 : profil (Treuilott, 2016, fig. 26).  
**Fig. 8** – Schematic drawing of a microflake. 1: view from above; 2: lateral view (Treuilott, 2016, fig. 26).



**Fig. 9** – Enlèvements adhérents. 1 : partiel ; 2 à 4 : entier (matériel expérimental) (clichés J. Treuilott).  
**Fig. 9** – Microflakes. 1: partial; 2 to 4: complete (experimental material) (photographs J. Treuilott).

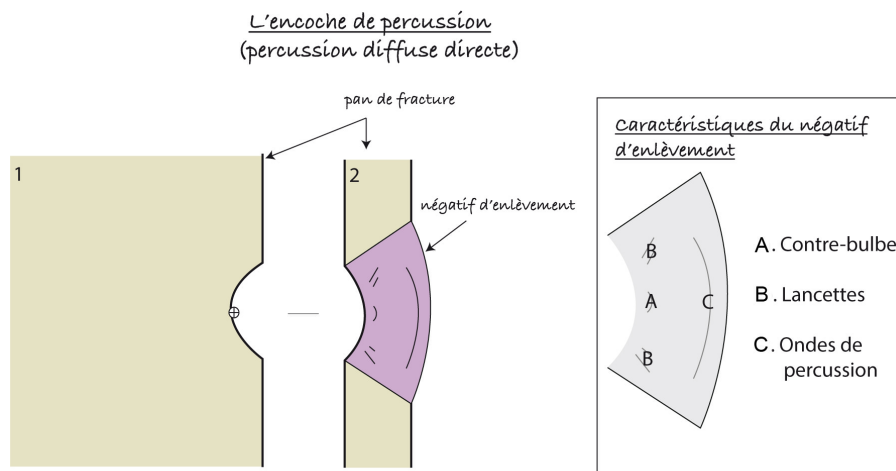


**Fig. 10** – Stigmates de percussion diffuse directe. 1-2 : écrasement de la matière, cupule ; 3 : léger tassement de la surface osseuse ; 4 : stries désorganisées ; 5 : stries parallèles (matériel expérimental) (clichés J. Treuillot).

**Fig. 10** – Stigmata left by direct diffuse percussion. 1-2: percussion pits; 3: slight compacting of the bone surface; 4: unorganised striae; 5: parallels striae (experimental material) (photographs J. Treuillot).

1979; Villa et Mahieu, 1991) ou *percussion scar* (White, 1992) – permet de localiser précisément la zone de percussion. Elle résulte de fissures arciformes qui se rejoignent à cet endroit et provoquent un détachement d'éclat qui laisse un négatif : l'encoche. Dans les faits, l'encoche de percussion peut être assimilée à un enlèvement adhérent qui s'est détaché (fig. 7). Souvent utilisé pour attester du recours à une percussion diffuse directe avec un percuteur type galet (Bonnichsen, 1979), ce stigmate doit être regardé avec prudence puisque nos expériences ont permis de montrer que si l'encoche de percussion apparaissait bien au niveau de la zone de percussion dans le cadre d'une percussion diffuse directe (n = 20), elle pouvait également jouxter la zone de contact en percussion linéaire indirecte (n = 21).

En fonction du type de percussion utilisé, les caractéristiques de ce stigmate varient. À la suite d'une percussion diffuse directe, le profil de l'encoche est concave. Le négatif d'enlèvement est scalariforme et souvent envahissant : la fissure initiée par l'impact se propage dans l'épaisseur de l'os et peut atteindre la face interne de la cavité médullaire. Sur ce négatif d'enlèvement on observe des stigmates secondaires caractéristiques tels qu'un contre-bulbe plus ou moins proéminent, des lancettes, des ondes de percussion et des étoilures (fig. 11). L'éclat qui a laissé ce négatif d'enlèvement présente un bulbe sur son revers. Les encoches peuvent aussi être associées à des fissures arciformes et des plages de stries. Comme nous le verrons plus loin, plusieurs caractéristiques permettent ainsi de



**Fig. 11** – Représentation schématique d’une encoche de percussion provoquée par une percussion diffuse directe et détails des caractéristiques du négatif d’enlèvement. 1 : délinéation de l’encoche (vue de dessus); 2 : pan de fracture et négatif d’enlèvement (vue de profil).

**Fig. 11** – Schematic drawing of an impact notch stemming from direct diffuse percussion and details of the characteristics of the removal scar. 1: delineation of the impact notch (view from above); 2: fracture plane and removal scar (lateral view).

différencier les encoches produites en percussion diffuse directe de celles qui sont générées en percussion linéaire indirecte (tabl. 3).

*La cupule et la zone de cupules* — La percussion diffuse directe peut également entraîner la formation d’une cupule, c’est-à-dire d’une dépression plus ou moins circulaire au niveau du point d’impact. Sur le matériel expérimental, elle correspond à un écrasement de la matière osseuse produit par le choc du percuteur dans la zone de percussion (fig. 10, n° 2). Elle est similaire aux *percussion pits* documentés par les expérimentations de Robert Blumenshine et Marie Selvaggio (Blumenshine et Selvaggio, 1988). Dans certains cas, plusieurs cupules peuvent être enregistrées proches les unes des autres : on parle alors de zone de cupules, ce qui signifie que l’os a été percuté à plusieurs reprises dans la même zone.

Les cupules peuvent être associées à des stries qui résultent de l’irrégularité de la partie active du percuteur, du dérapage de l’os ou encore du percuteur à l’impact. Ces stries apparaissent à l’intérieur de la cupule ou à côté (fig. 10, n°s 4 et 5). Elles sont connues dans la littérature :

Most of the sample of percussion pits are associated with patches of microstriation that are usually visible macroscopically, and occur either in or emanating from a pit, or within several centimeters of it (Blumenshine et Selvaggio, 1988, p. 763).

Ce stigmate est caractéristique de l’éclatement. Il est cependant rare, puisque présent sur seulement 15% (n = 7) des pièces produites en percussion diffuse directe.

Enfin, la présence de cupules seulement dans les séries résultant de l’emploi d’une percussion diffuse directe, nous permet d’avancer que la cupule est diagnostique de l’éclatement. La faible proportion de produits présentant des cupules nous alerte toutefois sur la nécessité de faire reposer nos observations sur autant de restes techniques que possible.

Par fendage, en percussion linéaire indirecte

La percussion linéaire indirecte consiste à déchirer les fibres de la matière au moyen d’une sollicitation dynamique. Cette fracture diffère toutefois de celle obtenue par percussion diffuse directe puisqu’elle est réalisée à l’aide d’un outil intermédiaire dont la partie active est linéaire

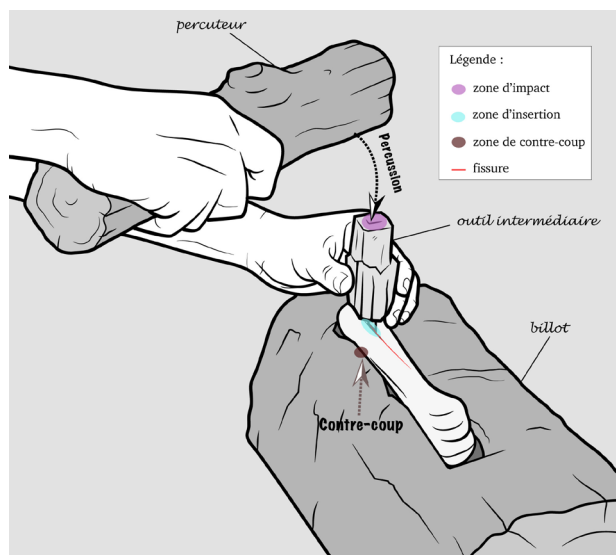
		Percussion diffuse directe (n = 20)	Percussion linéaire indirecte (n = 21)
Délinéation de l’encoche	Concave	80 %	27 %
	Linéaire	20 %	73 %
Caractéristiques du négatif d’enlèvement	Contre-bulbe	50 %	–
	Etoilures	90 %	15 %
	Lancettes	50 %	20 %
	Ondulations	65 %	–

**Tabl. 3** – Caractéristiques des encoches de percussion expérimentales.

**Table 3** – Characteristics of the experimental impact notches.

(un ciseau en os, une hache polie, un tranchet, etc.) et d'un percuteur dont la matière, la forme et la dimension peuvent varier.

L'outil intermédiaire est apposé sur l'os au niveau de la zone d'impact souhaité. Le percuteur vient alors frapper l'outil intermédiaire qui s'insère dans la matière, ce qui génère un stigmate très caractéristique au niveau de la zone de contact, une impression, et entraîne le développement de fissures (fig. 12).

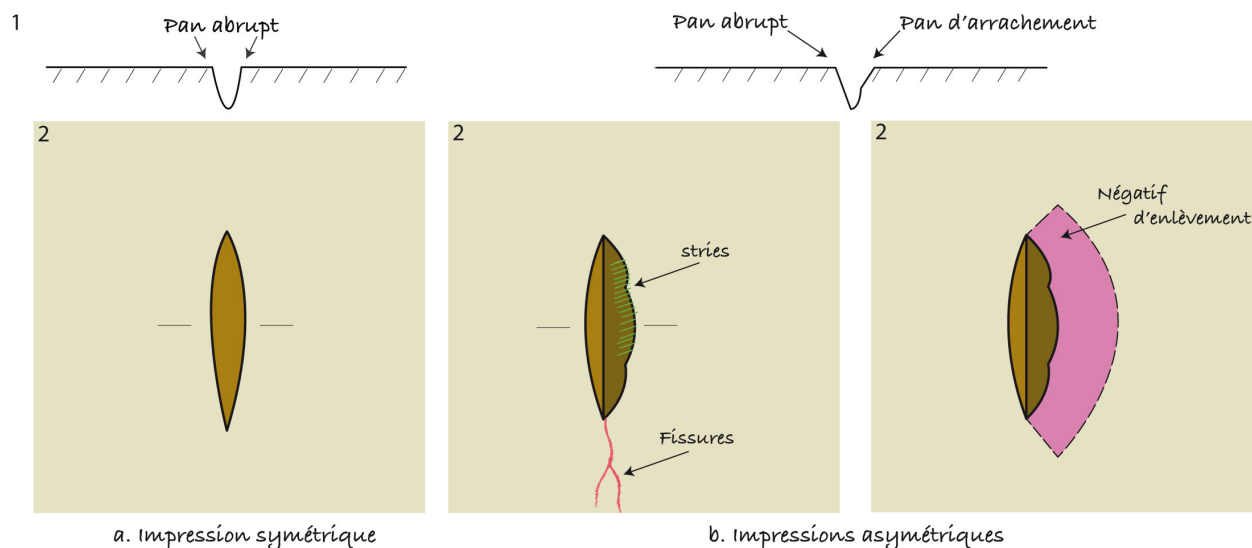


**Fig. 12** – Principes du débitage par percussion linéaire indirecte (DAO Patrick Zedouard).

**Fig. 12** – Principles of the debitage by indirect linear percussion (CAD Patrick Zedouard).

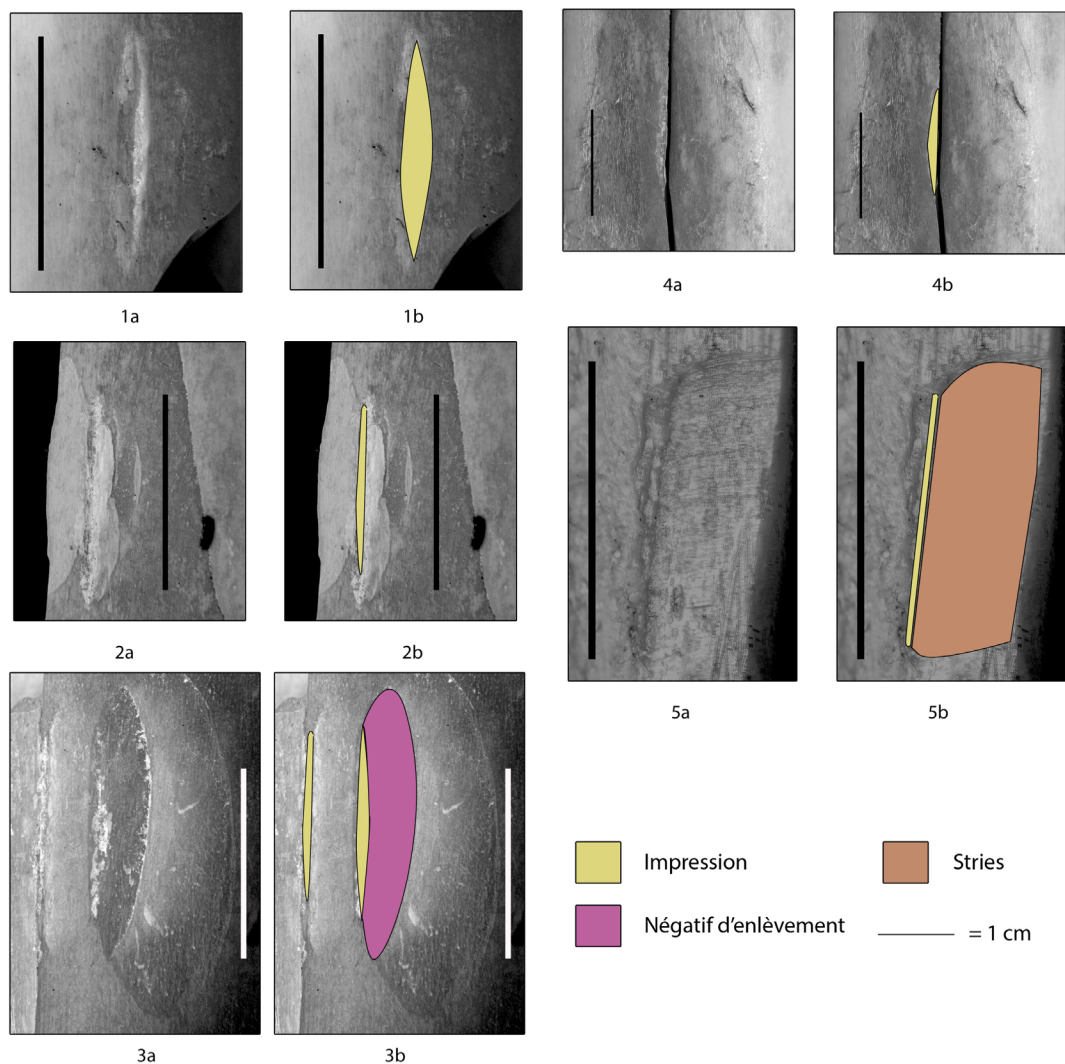
*L'impression* — Elle correspond à l'empreinte que laisse l'outil intermédiaire et avait jusqu'à maintenant été évoquée comme une « courte zone lisse où la matière est tranchée par l'insertion de l'outil intermédiaire » (Averbouh et Provenzano, 1998-1999, p. 11). Dans cet article, nous proposons la description de l'impression laissée par une hache polie à tranchant mousse, utilisée comme pièce intermédiaire. L'outil était posé sur la surface osseuse selon un angle de 90°, mais cet angle était parfois plus fermé faute de l'avoir maintenu immobile lors du choc. Ces variables jouent un rôle dans la configuration de l'impression.

Sur notre matériel expérimental, nous avons comptabilisé 77 impressions. Ce stigmate s'apparente à une dépression linéaire composée de deux pans et d'un fond bombé. Cette impression est symétrique si l'os reste stable au moment de l'impact et que l'outil ne dérape pas (fig. 13, n° 1) ; sinon elle est asymétrique (fig. 13, n° 2). Dans cette série, 80% des impressions sont symétriques : elles s'apparentent à des enfoncements (fig. 14, n°s 1 et 2). Cet enfoncement peut être décrit comme un écrasement linéaire composé de deux pans abrupts et d'un fond arrondi. Les impressions asymétriques sont par ailleurs composées d'un pan abrupt, qui se que produit lors de la phase de pénétration de l'outil, et d'un pan d'arrachement moins régulier (fig. 14, n°s 3 et 5). Le pan abrupt est couvert de stries liées à la nature de l'outil intermédiaire. Sur notre matériel expérimental, ces stries sont courtes, fines, régulières et denses et sont également visibles sur la surface externe de l'os, jouxtant l'impression, lorsque l'outil intermédiaire a dérapé (fig. 14, n° 5). Difficiles à voir à l'œil nu sur les pans de fracture, on les observe à faible grossissement ( $\times 8$ ). Jouxant le pan d'arrachement, on relève parfois un négatif d'enlèvement cortical (n = 27) le plus souvent envahissant et radiant (fig. 14, n° 4). Ce stigmate secondaire (*sensu* Christensen, 2015) se produit sur



**Fig. 13** – Morphologie des impressions. 1 : section ; 2 : vue de dessus.

**Fig. 13** – Morphology of the marks. 1: section; 2: view from above.



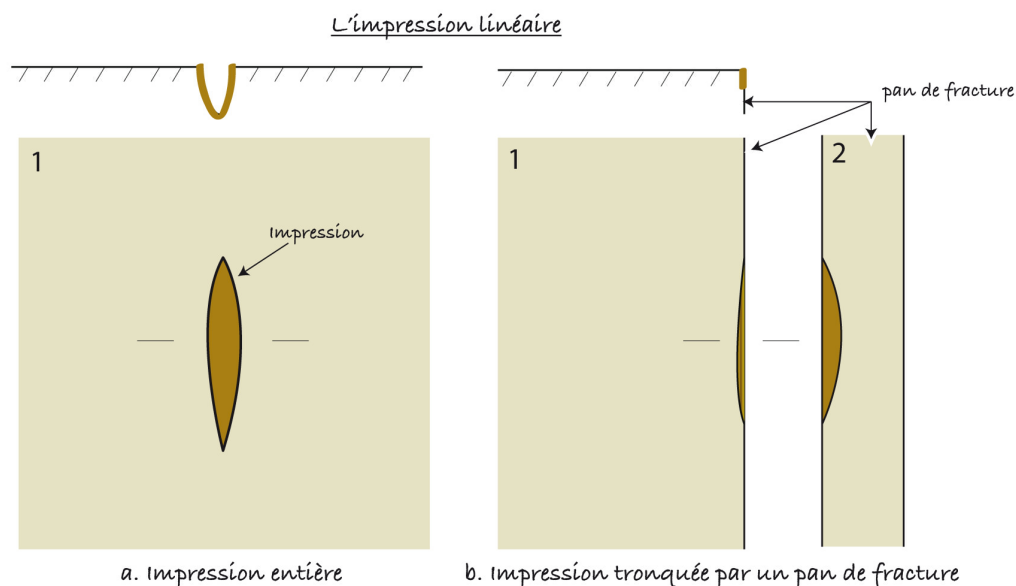
**Fig. 14** – Impressions et stigmates associés (matériel expérimental) (clichés J. Treuillot).  
**Fig. 14** – Marks and associated stigmata (experimental material) (photographs J. Treuillot).

les os qui étaient mal calés lors de la percussion. Bien que résultant de l'utilisation d'une lame de pierre polie, ces impressions sont assez similaires à celles que nous avons observées sur le matériel archéologique. Pour préciser la variabilité des impressions, en fonction de l'outil utilisé, il sera toutefois nécessaire de tester des lames de pierre taillée ou des ciseaux en bois d'élan, plus conformes au contexte archéologique de Zamostje 2.

L'impression est à l'origine de la formation d'une fissure qui se développe selon son axe principal. Si le coup n'est pas assez fort, cette fissure est superficielle. Il est alors très facile de repérer l'impression sur l'os puisqu'elle reste entière (fig. 14, n° 1). Sinon, elle aboutit à une fracture qui divise l'impression en deux et il devient très difficile de la distinguer du pan de fracture (fig. 14, n° 4; fig. 15). Dans notre série expérimentale, 60% des impressions n'auraient pas été détectées sans un recours au remontage physique. Pour le matériel archéologique, cette réalité statistique est bien sûr à prendre en compte. Si le bord des pièces est fragmenté ou couvert de concrétions, les chances d'observer une impression sont alors

très maigres. Dans notre assemblage archéologique, très largement mis en forme par retouche puis raclé, il est donc envisageable que de tels stigmates n'aient pas été préservés.

*L'encoche de percussion* — Dans certains cas, l'impression peut être associée à une encoche de percussion dont les caractéristiques diffèrent de l'encoche de percussion produite en percussion diffuse directe. En percussion linéaire indirecte, la délimitation de l'encoche est rectiligne. D'un point de vue statistique, on observe aussi que les dimensions varient entre les encoches et les négatifs d'enlèvement produits par éclatement et par fendage (fig. 16) : ils sont plus petits en percussion linéaire indirecte. Dans ce cas, le négatif d'enlèvement est de forme rectangulaire et ne présente pas de contre-bulbe ni d'ondes de percussion. Ce négatif d'enlèvement n'est associé qu'à de rares lancettes (fig. 17). Ce sont ces caractéristiques qui nous permettent de différencier l'encoche de percussion linéaire indirecte de celle générée par la percussion diffuse directe (tabl. 3).



**Fig. 15** – Représentation schématique d’une impression et de sa section : 1. vue de dessus, 2. vue de profil.

*Fig. 15* – Schematic drawing of a mark and of its section. 1: view from above; 2: lateral view.

## DISCUSSION

### D’une technique de fracture à une autre : des signatures techniques différentes

En définitive, ces expérimentations nous ont permis de découvrir que les stigmates liés à la fracture sont assez diversifiés et variables en fonction de la technique utilisée. Tous ne sont pas diagnostiques du type de percussion employé, mais on retiendra que le recours à la percussion diffuse directe, ou éclatement, peut être mis en évidence si l’on identifie une cupule au niveau de la zone de percussion et la percussion linéaire indirecte, ou fendage, si l’on observe des impressions. Associés directement à ces stigmates ou les jouxtant, les encoches de percussion présentent des caractéristiques variées en fonction du type de fracture. Tous ces stigmates résultent de la dynamique de la percussion et sont à l’origine des fissures linéaires qui entraînent la fracture de l’os et la formation d’un pan de fracture. Mais si leurs attributs varient, c’est que ces deux types de fracture sont très différents. Lors de l’éclatement, le percuteur n’est qu’en contact ponctuel avec la matière, au moment de l’impact. À l’inverse, dans le cas du fendage par percussion linéaire indirecte, l’outil intermédiaire est posé sur l’os et présente une zone de contact plus étendue, linéaire. C’est pour cela que les encoches diffèrent dans leurs caractéristiques, tout comme les traces les plus diagnostiques. Ainsi, et contrairement à ce qui a pu être écrit précédemment, il ne nous semble pas que l’encoche de percussion permette de caractériser à elle seule le recours à la percussion diffuse directe, à moins de la décrire très finement et d’illustrer son propos à l’aide d’une moyenne statistique (Blumenshine et Selvaggio, 1988).

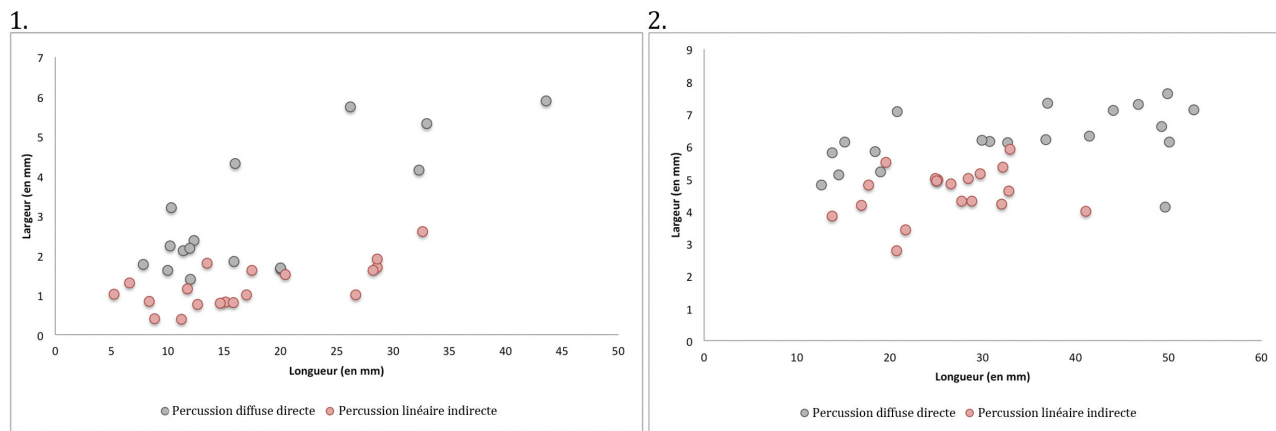
### Implications archéologiques : des variantes dans le schéma de débitage à Zamostje 2

Par l’expérimentation et l’étude technologique des assemblages archéologiques, nous avons pu reconstituer le schéma opératoire mis en œuvre pour la bipartition des métapodes à la fin du Mésolithique pour l’échantillon étudié à Zamostje 2. La mise en place d’une grille d’analyse pour les stigmates de percussion, à partir du matériel expérimental, nous a permis de proposer plusieurs variantes qui illustrent des changements dans les techniques à l’œuvre pour les débitages par bipartition des métapodes à la fin du Mésolithique (fig. 18).

Dans ces deux séries, les excroissances latérales ont d’abord été supprimées par percussion tranchante depuis la plage articulaire (fig. 18, étape 1). Cette ablation se matérialise par la formation d’un négatif d’enlèvement allongé qui part de la plage articulaire. La surface de détachement présente une extrémité en plume, ce qui traduit une sortie progressive du front de fracture comme nous avons pu le constater expérimentalement (fig. 19). Cette étape facilite la bipartition des métapodes, en supprimant la portion la plus spongieuse de l’os, tout comme sa position sur l’enclume. L’os doit en effet reposer à plat sur l’enclume et être stabilisé pour ne pas bouger à l’impact. Ainsi, la ligne de fracture générée par la percussion qui s’en suit peut se diffuser sans être déviée.

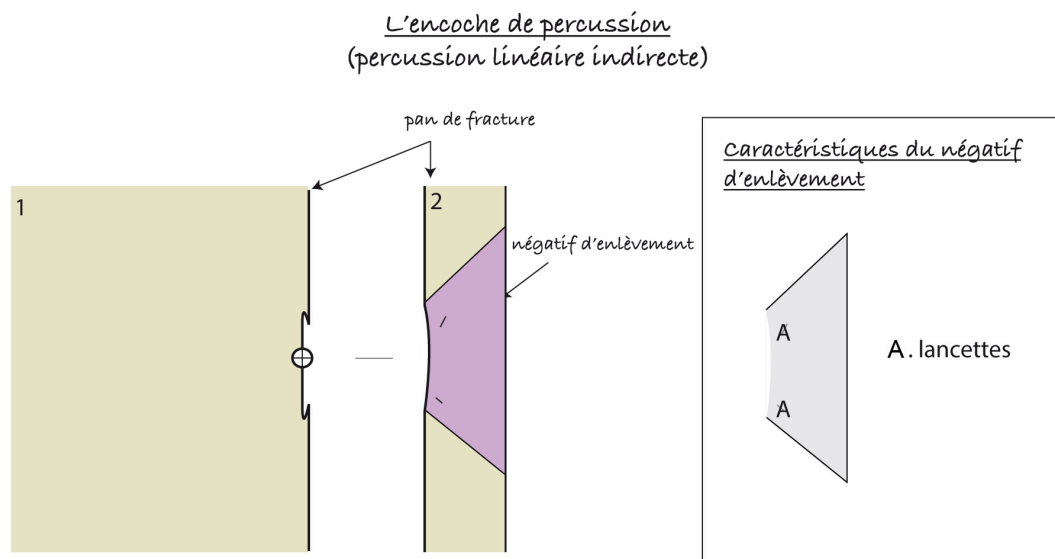
Après cette ablation, les Mésolithiques du niveau supérieur ont procédé directement à la bipartition. Dans le niveau inférieur, ils ont d’abord mis en place une ligne d’arrêt pour stopper ou contrôler la propagation de la ligne de fracture. Pour ce faire, une gorge a été aménagée par entaillage sur la face caudale de l’os au niveau de l’élargissement distal de la diaphyse (fig. 18, étape 1bis). L’abandon de cette étape dans le niveau supérieur





**Fig. 16** – Dimensions, en mm, des encoches (1) et négatifs d'enlèvement (2) produits expérimentalement en percussion diffuse directe et en percussion linéaire indirecte.

*Fig. 16* – Dimensions in millimetres of the impact notches (1) and removal scars (2) produced experimentally by direct diffuse percussion and by indirect linear percussion.



**Fig. 17** – Représentation schématique d'une encoche de percussion provoquée par une percussion linéaire indirecte et détails des caractéristiques du négatif d'enlèvement. 1 : délimitation de l'encoche (vue de dessus); 2 : pan de fracture et négatif d'enlèvement (vue de profil).

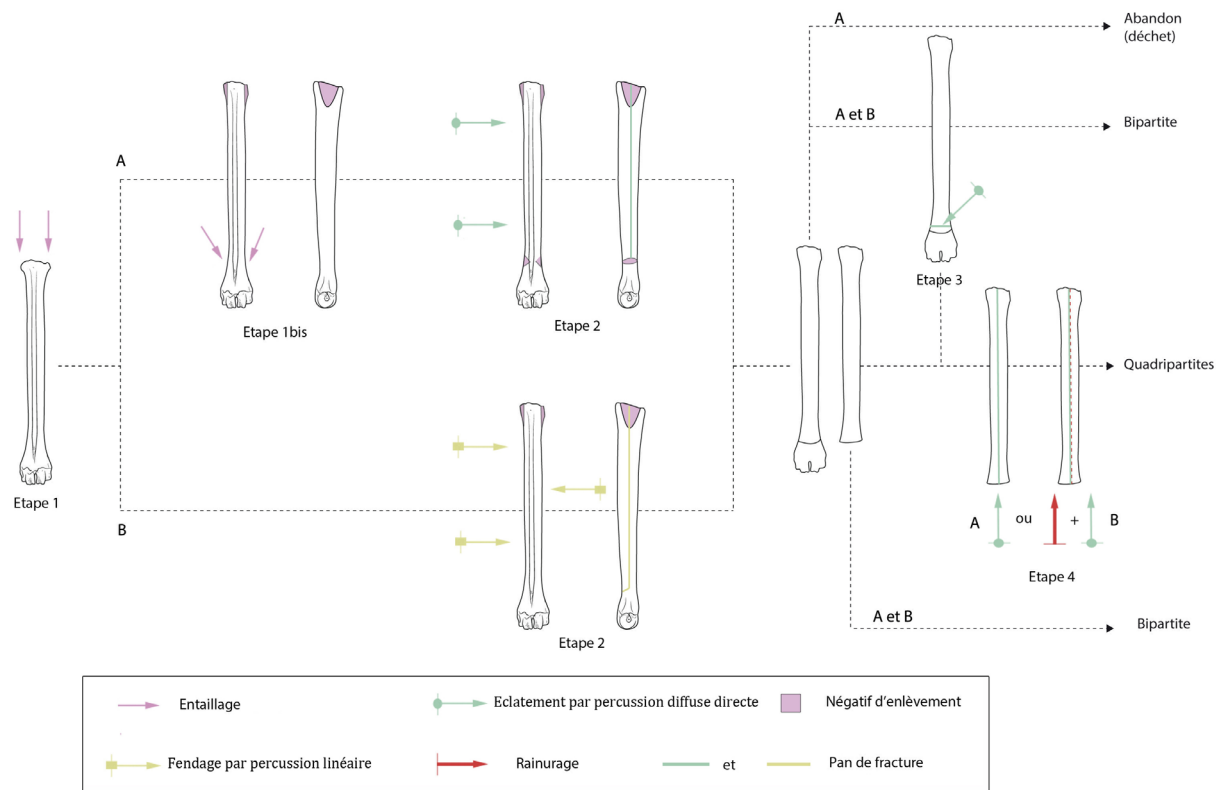
*Fig. 17* – Schematic drawing of an impact notch left by indirect linear percussion and details of the characteristics of the removal scar: 1: delineation of the percussion notch (view from above); 2: fracture plane of the removal scar (lateral view).

coïncide avec des changements dans les procédés de la bipartition :

– Dans le niveau inférieur, nous avons identifié des zones de cupules et des enlèvements adhérents sur la face médiale de la diaphyse de six déchets, tandis que vingt encoches ont été identifiées sur neuf autres déchets (fig. 20, n<sup>os</sup> 1 et 2). Ces encoches ont une délimitation concave, avec un négatif d'enlèvement scalariforme parfois associé à des ondulations et un contre-bulbe. Ces caractéristiques renvoient, d'après nos expérimentations, à l'utilisation d'un éclatement par percussion diffuse directe et nous en arrivons donc à la conclusion que c'est cette technique qui a été utilisée pour prélever un bipartite

sur la face caudale (fig. 18, étape 2). Quand cela était nécessaire, le bloc de débitage était percuté sur la face crâniale, au niveau de l'élargissement distal de la diaphyse, pour détacher un second support (fig. 18, étape 3).

– Dans le niveau supérieur, les impressions dominent (fig. 20, n<sup>o</sup> 3). Elles mesurent 8 à 11 mm de long, mais sont rares, d'autant que les supports ont presque tous été mis en forme par retouche. Leur présence sur 5 déchets permet toutefois d'attester que les Mésolithiques de ce niveau ont utilisé un outil biseauté pour fendre les métapodes au moyen d'un fendage par percussion linéaire, probablement indirecte, pour produire deux supports bipartites (fig. 18, étape 2).



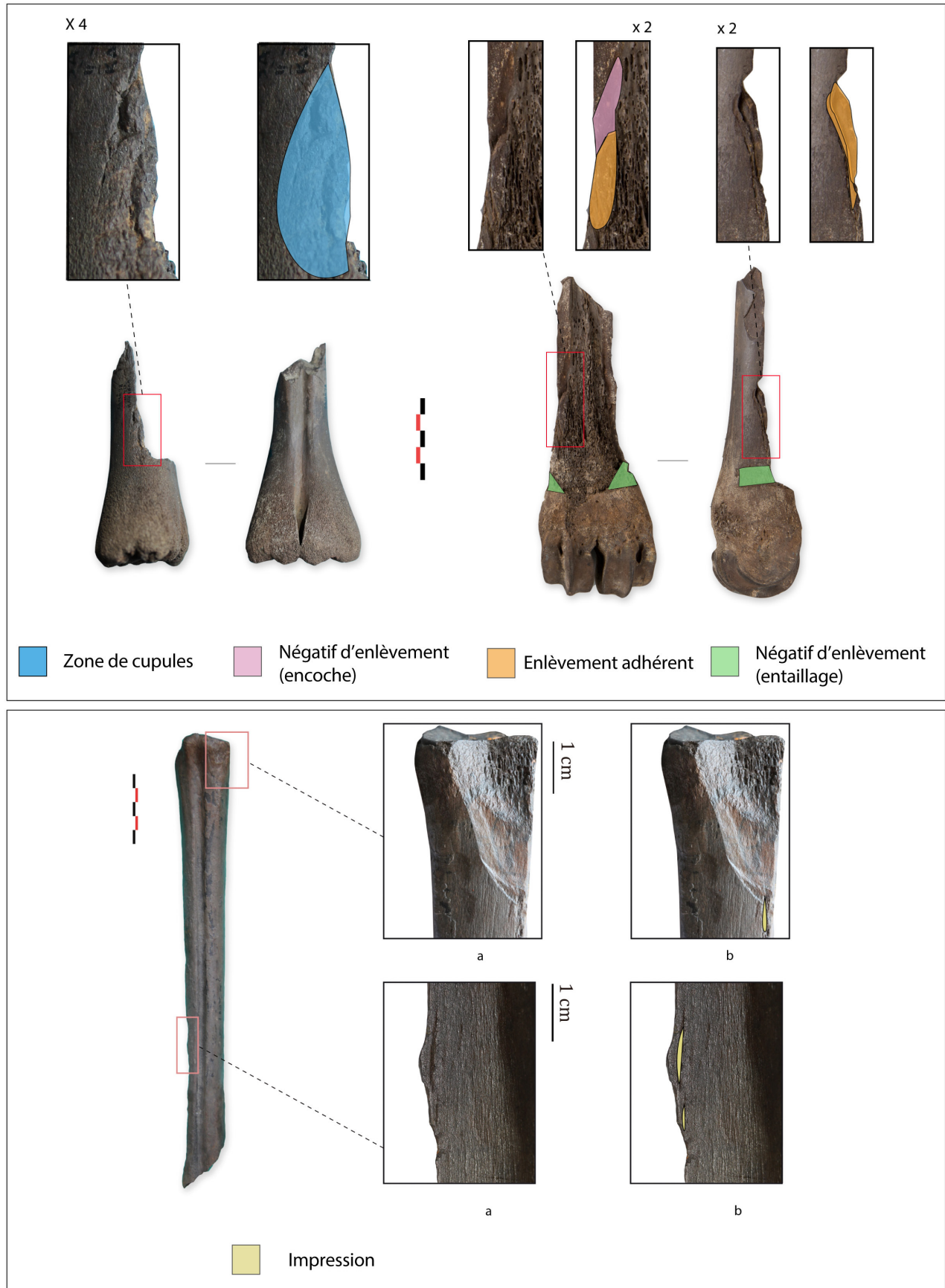
**Fig. 18** – Schéma hypothétique de débitage des métapodes par bipartition en contexte archéologique. A : niveau « Mésolithique récent inférieur » ; B : niveau « Mésolithique récent supérieur ».

**Fig. 18** – Hypothetical diagram of metapodial blank production by bipartitioning in the archaeological context. A: level 'Late Mesolithic, lower layer'; B: level 'Late Mesolithic, upper layer'.



**Fig. 19** – Négatif d'enlèvement lié à la suppression d'une excroissance par percussion tranchante : 1. matériel archéologique, 2. matériel expérimental (clichés J. Treuillot).

**Fig. 19** – Removal scar related to the removal of an epicondyle by direct percussion. 1: archaeological remains; 2: experimental material (photographs J. Treuillot).



**Fig. 20** – Produits de débitage et stigmates de percussion associés sur le matériel archéologique (clichés J. Treuillot). 1 et 2 : niveau « Mésolithique récent inférieur » ; 3 : niveau « Mésolithique récent supérieur ».

**Fig. 20** – Products and percussion stigmata related to blank production by bipartitioning of metapodials associated on archaeological material (photographs J. Treuillot). 1 and 2: 'Late Mesolithic, lower layer'; 3: 'Late Mesolithic, upper layer'.

Dans certains cas, le bipartite a été utilisé pour fabriquer un outil massif tel qu'une pointe de lance ou un outil biseauté à 45°. Dans d'autres, il était utilisé en bloc secondaire et faisait l'objet d'une nouvelle bipartition (fig. 18, étape 4). Si l'objectif demeure inchangé, les moyens mis en œuvre par les Mésolithiques de ces deux niveaux ne sont pas les mêmes :

- dans le niveau inférieur, l'éclatement par percussion diffuse directe a été privilégié pour diviser les blocs secondaires en quarts ;

- dans le niveau supérieur, ils ont d'abord procédé à un rainurage peu profond dans le sillon médian avant d'utiliser une percussion, dont nous ne pouvons préciser la nature.

### **Des changements techniques à la fin du Mésolithique en Russie centrale**

À Zamostje 2, nous avons identifié que les techniques de fracture étaient au centre des procédés de débitage employés par les groupes qui occupaient ce site à la fin du Mésolithique, en particulier pour le secteur étudié. Néanmoins, les Mésolithiques ont d'abord privilégié un éclatement par percussion diffuse directe avant de recourir à un fendage par percussion linéaire. Cette percussion linéaire est peut-être indirecte, bien que ce point nécessite encore d'être confirmé par des expérimentations avec des lames en pierre taillée et des ciseaux en bois d'élan, conformément aux outils découverts à Zamostje 2.

Quoi qu'il en soit, le phénomène de changement technique que l'on note ici, et qui se vérifie sur les autres sites de la région (notamment à Ozerki 5), s'accompagne aussi de changements dans la gestion des débitages. Si dans le niveau inférieur de nombreux produits sont abandonnés sans être utilisés, il en va autrement dans le niveau supérieur. Lors de cette occupation, les Mésolithiques ont mis en forme les baguettes par retouche avant de les stocker. Une telle stratégie relève d'une planification accrue des besoins. Cette hypothèse doit bien entendu être nuancée au regard de l'échantillon étudié et nous rappelle l'importance de continuer l'étude de ce site. Toutefois, si cette impression devait se confirmer à l'échelle du site, elle pourrait correspondre au développement d'une nouvelle organisation dans la gestion des matières premières, potentiellement liée à un mode de vie plus sédentaire. La prise en compte de l'ensemble des débitages du site permettrait également de discuter de la place réelle que tenaient les métapodes dans cette exploitation. Car, s'il semble clair dans ce secteur de fouille qu'il s'agit de l'os le plus recherché et le plus utilisé, il pourrait également s'agir d'un effet d'échantillonnage. Quoi qu'il en soit, les phénomènes techniques et économiques que nous venons d'énumérer, bien loin d'être marginaux, correspondent à d'autres changements dans les principes même du travail des matières dures animales à cette époque. Si les os longs, autres que les métapodes, étaient utilisés de manière sporadique dans le niveau inférieur, au moyen d'un débitage par fracturation, avec la mise en œuvre d'un éclatement, il en va tout à fait autrement dans le niveau supérieur. Les Mésolithiques ont alors eu recours à un débitage par

extraction, par double rainurage longitudinal, de manière à tirer parti au mieux des tibias, radius et fémur dont l'architecture, plus tortueuse que celle des métapodes, se prête mal à l'emploi de techniques de fracture.

À la fin du Mésolithique, des changements interviennent donc dans le travail des matières osseuses. Nous pourrions bien sûr être tenté de voir pour les métapodes un phénomène de progrès technique. Or, nous avons démontré qu'ici tel n'était pas le cas puisque le résultat des débitages des métapodes par bipartition est tout aussi contrôlable en percussion diffuse directe qu'en percussion linéaire indirecte, contrairement à l'idée parfois émise d'une absence de prédétermination derrière le recours à la percussion diffuse directe (Sidéra, 1993 ; Averbouh, 2000). En ce sens l'abandon de la percussion diffuse directe au profit d'une percussion linéaire ne nous semble pas pouvoir s'expliquer en termes techniques et les raisons sont donc à chercher ailleurs. Il n'est d'ailleurs pas inintéressant de rappeler que les productions sont dès lors beaucoup plus standardisées. Le développement d'une nouvelle technique pourrait ainsi être lié au renouvellement de l'outillage de chasse, bien que cela reste difficile à confirmer. Reste à dire que l'apparition de cette nouvelle technique nécessite aussi son apprentissage. En ce sens, cette tendance demande à être étudiée encore plus en détail, notamment pour vérifier s'il est possible de voir dans ces transformations les signes d'une plus forte spécialisation pour la fabrication de l'équipement de chasse à partir de la seconde moitié du Mésolithique récent (Treuil, 2016).

## **CONCLUSION**

Les expérimentations que nous avons réalisées nous ont permis de mettre en place une grille de lecture pour l'étude des techniques de fracture, et notamment pour la fracture longitudinale des métapodes. Il en ressort qu'il est possible de différencier, sur la base des stigmates de percussion les plus diagnostiques (à savoir la cupule et l'impression) quelle technique de fracture a été mise en œuvre. Pour autant, les expérimentations seront à poursuivre pour juger, entre autre, de la nature des traces générées par la percussion linéaire directe ou encore de la prédictibilité des débitages. Finalement, ces expériences nous ont permis d'établir que le résultat des débitages par techniques de fracture s'avérait tout à fait contrôlable.

En confrontant les données de notre référentiel expérimental à celles des assemblages archéologiques, nous avons pu mettre en évidence une évolution des pratiques de débitage à la fin du Mésolithique dans la Volga supérieure. L'analyse des déchets et supports du secteur fouillé entre 1995 et 2000 de Zamostje 2 nous a permis de démontrer que l'éclatement par percussion diffuse directe employé au début du Mésolithique récent a ensuite été remplacé par la percussion linéaire. Si cette affirmation nécessite d'être confirmée à l'échelle du site, elle n'en est pas moins très intéressante. D'ailleurs, il est important de noter que les principes de ces débitages restent plutôt similaires, ce qui s'explique par la structure des métapodes

qui est particulièrement bien adaptée à la fracture longitudinale. L'abondance des produits sur métapode témoigne clairement de l'importance de cette pratique sur les sites russes de la fin du Mésolithique.

Cette tendance n'est d'ailleurs pas propre au Mésolithique de la Volga supérieure, tant la bipartition des métapodes semble récurrente au sein des groupes de chasseurs-cueilleurs. Un rapide tour d'horizon de la bibliographie montre en effet que les techniques de fracture sont utilisées de façon diachronique sur tous les continents pour la bipartition des métapodes d'ongulé. S'il n'est pas établi que cette pratique est toujours liée à la production de supports, elle est attestée dès le Paléolithique moyen dans le bassin méditerranéen (Stiner, 2002), ainsi que dans le Magdalénien de Gönnersdorf en Allemagne et du Tureau des Gardes en France (Bignon-Lau et Lázníková-Galetová, 2016) et à une plus grande échelle sur plusieurs sites mésolithiques d'Europe du Nord et de l'Est (Zhilin, 1998; Bergsvik et David, 2015; Luik et Piličiauskienė, 2016), ainsi que sur le continent américain pour des périodes plus récentes (Christensen, Legoupil *et al.*, ce volume; Bryce, 2016; Gates St-Pierre *et al.*, 2016; Yesner et Bonnichsen, 1979). Nous espérons donc que les résultats de nos expérimentations pourront être appliqués à d'autres contextes.

**Remerciements :** Cet article présente une partie des résultats de ma thèse, soutenue en 2016. Je tiens donc à remercier Vladimir Lozovski et Olga Lozovskaya pour m'avoir aidé et permis de travailler sur le matériel de Zamostje 2, ainsi que Boris Valentin, Marianne Christensen et Yolaine Maigrot pour leur encadrement. Pour leur accueil au Musée d'histoire naturelle de Genève, j'adresse également mes remerciements à Jacqueline Studer et Jean-Christophe Castel. J'exprime aussi toute ma gratitude à Marianne Christensen, Yolaine Maigrot et Nejma Goutas qui ont accepté de relire cet article et dont les suggestions ont été précieuses. Pour finir, je tiens à remercier chaleureusement les membres et coordinateurs du thème « Ressources animales : acquisition, transformation et utilisation » : les discussions que nous avons eues lors de nos réunions ont contribué à m'ouvrir l'esprit au sujet des techniques de fracture.

#### NOTE

- (1) Les bipartites sont des supports « allongés, peu épais de contour plus ou moins rectangulaire » (Provenzano, 2001, p. 77) qui s'apparentent à des baguettes. Ils sont produits au cours d'un schéma de transformation par bipartition.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AVERBOUH A. (2000) – *Technologie de la matière osseuse travaillée et implications paléolithiques : l'exemple des chaînes d'exploitation du bois de cervidé chez les Magdaléniens des Pyrénées*, thèse de doctorat, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, 2 vol., 253 et 247 p.
- AVERBOUH A., PROVENZANO N. (1998-1999) – Propositions pour une terminologie du travail préhistorique des matières osseuses, 1. Les techniques, *Préhistoire et anthropologie méditerranéennes*, 7-8, p. 5-26.
- BEHIRI J. C., BONFIELD W. (1984) – Fracture Mechanics of Bone. The Effects of Density, Specimen Thickness and Crack Velocity on Longitudinal Fracture, *Journal of Biomechanics*, 17, 1, p. 25-34.
- BERGSVIK K. A., DAVID E. (2015) – Crafting Bone Tools in Mesolithic Norway: A Regional Eastern-Related Know-How, *European Journal of Archaeology*, 18, 2, p. 190-221.
- BIGNON-LAU O., LÁZNIKOVÁ-GALETOVÁ M. (2016) – Of Horse Metapodials Debitage during the Upper Magdalenian in Europe: An Overview of Techniques, Methods and Operational Sequences, *Quaternary International*, 403, p. 68-78.
- BINFORD L. R. (1981) – *Bones: Ancient Men and Modern Myths*, New York, Academic Press (Studies in Archaeology, 5), 320 p.
- BJORÅ R., FALCH J. A., STAALAND H., NORDSLETTEN L., GJENGENDAL E. (2001) – Osteoporosis in the Norwegian Moose, *Bone*, 29, 1, p. 70-73.
- BLUMENSHINE R. J., SELVAGGIO M. (1988) – Percussion Marks on Bone Surfaces as a New Diagnostic of Hominid Behaviour, *Nature*, 333, 6175, p. 763-765.
- BONNICHSEN R. (1979) – *Pleistocene Bone Technology in the Beringian Refugium*, Ottawa, National Museums of Canada, 324 p.
- BOULESTIN B. (1999) – *Approche taphonomique des restes humains. Le cas des Mésolithiques de la grotte des Perrats et le problème du cannibalisme en Préhistoire récente européenne*, Oxford, Archaeopress (BAR, International Series 776), 276 p.
- BRYCE J. A. (2016) – *An Investigation of the Manufacture and Use of Bone Awls at Wolf Village (42UT273)*, mémoire de master, Brigham Young University, Provo (Utah), 164 p.
- CHAIX L. (1996) – La faune de Zamostje 2, in V. Lozovski (dir.), *Les derniers chasseurs préhistoriques de la plaine russe*, Treignes, CÉDARC, p. 85-95.
- CHRISTENSEN M. (2015) – *L'exploitation des matières dures animales chez les chasseurs-cueilleurs : le cas des nomades marins de Patagonie et de Terre de Feu*, thèse d'habilitation à diriger les recherches, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, 245 p.
- CHRISTENSEN M., LEGOUPIL D., SAN ROMÁN M. (ce volume) – L'exploitation des métapodes d'artiodactyles par les nomades marins de Patagonie australe : le cas du site d'Offing, in M. Christensen et N. Goutas (dir.), « *À coup d'éclats!* » *La fracturation des matières osseuses en Préhistoire : discussion autour d'une modalité d'exploitation en apparence simple et pourtant mal connue*, actes de la séance de la Société préhistorique française (Paris, 25 avril 2017), Paris, SPF (Séances de la Société préhistorique française, 13), p. 311-322.
- DAVID É. (1998) – Étude technologique de l'industrie en matières dures animales du site mésolithique de Zamostje 2 : fouille 1991 (Russie), *Archéo-Situla*, 26, p. 5-62.
- DAVID É. (1999) – *L'industrie en matières dures animales du mésolithique ancien et moyen en Europe du Nord. Contribution de l'analyse technologique à la définition du Maglémosien*, thèse de doctorat, université Paris X, Nanterre, 2 vol., 770 p.

- GATES ST-PIERRE C., ST-GERMAIN C., COURTEMANCHE M., CHAPDELAIN C., COLLINS M. (2016) – An Integrative Approach to the Study of Bone Tool Manufacture and Use: The Case of the St. Lawrence Iroquoians, *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología y Pensamiento Latinoamericano*, 3, 2, p. 54-73.
- HAYNES G. (1988) – Spiral Fractures, Cutmarks and Other Myths about Early Bone Assemblages, in J. A. Willig, C. M. Aiken et J. L. Fagan (dir.), *Early Human Occupation in Far Western North America: The Clovis-Archaic Interfaces*, Carson City, Nevada State Museum (Nevada State Museum Anthropological Papers, 21), p. 145-151.
- INIZAN M.-L., REDURON M., ROCHE H., TIXIER J. (1995) – *Technologie de la pierre taillée*, Meudon, CREP (Préhistoire de la pierre taillée, 4), 199 p.
- JOHNSON E. (1985) – Current Developments in Bone Technology, *Advances in Archaeological Method and Theory*, 8, New York, Academic Press, p. 157-235.
- KREUTZER L. A. (1992) – Bison and Deer Bone Mineral Densities: Comparisons and Implications for the Interpretation of Archaeological Faunas, *Journal of Archaeological Science*, 19, p. 271-294.
- LOZOVSKAYA O. V., LOZOVSKI V. M. (2015) – Периоды существования мезолитических и неолитических поселений и проблемы формирования культурных слоев на стоянке Замостье 2, in *Древние культуры Восточной Европы: эталонные памятники и опорные комплексы в контексте современных археологических исследований: Зямтнинский сборник*, Saint-Petersbourg, Académie des sciences de Russie, musée Pierre-le-Grand d'anthropologie et d'ethnographie, p. 180-191.
- LOZOVSKI V. M. (2003) – *Переход от мезолита к неолиту в Волго-Окском междуречье по материалам стоянки Замостье 2*, thèse de doctorat, université de Saint-Petersbourg, 473 p.
- LOZOVSKI V. M. (2014) – Кремневая индустрия мезолитических слоев стоянки Замостье 2, in Г. А. Хлопачев, С. А. Васильев (dir.), *Stone Age: from Atlantic to Pacific = Каменный век: от Атлантики до Пацифики*, Saint-Petersbourg, Académie des sciences de Russie, musée Pierre-le-Grand d'anthropologie et d'ethnographie, p. 244-292.
- LOZOVSKI V. M., LOZOVSKAYA O. V., MAZURKEVICH A., HOOK D., KOLOSOVA M. (2014) – Late Mesolithic–Early Neolithic Human Adaptation to Environmental Changes at an Ancient Lake Shore: the Multi-Layer Zamoszje 2 Site, Dubna River, Central Russia, *Quaternary International*, 324, p. 146-161.
- LUİK H., PILIČIAUSKIENĖ G. (2016) – Bone Tools at the Neolithic sites of Sventoji, Lithuania: Raw Materials and Working Methods, in S. Vitezović (dir.), *Close to the Bone: Current Studies in Bone Technologies*, Belgrade, Institute of Archaeology, p. 188-200.
- LYMAN R. L. (1984) – Bone Density and Differential Survivorship of Fossil Classes, *Journal of Anthropological Archaeology*, 3, p. 259-299.
- MANNERMAA K., GERASIMOV D., GIRYA E., SABLIN M. V. (2017) – Wild Boar (*Sus scrofa*) Teeth from a Female Burial in Yuzhny Oleni Ostrov, Northwestern Russia (c. 6200 cal BC): Local Rarities or Transported Goods?, *Environmental Archaeology*, p. 1-12.
- MANNERMAA K. (2013) – Fowling in Lakes and wetlands at Zamoszje 2, Russia c. 7900-6500 uncal. BP, in V. M. Lozovski, O. V. Lozovskaya et I. Clemente-Conte (dir.), *Zamoszje 2, Lake Settlement of the Mesolithic and Neolithic Fishermen in Upper Volga Region*, Saint-Petersbourg, Russian Academy of Sciences, p. 215-230.
- MOUBARAK-NAHRA R. (2011) – *Étude archéozoologique d'après les vestiges fauniques d'élan du site de Zamoszje 2 (Russie centrale). Essai de reconstitution de la chaîne opératoire de boucherie des élan au Mésolithique récent*, mémoire de master, université de Genève, 136 p.
- SIDÉRA I. (1993) – *Les assemblages osseux en bassins parisien et rhénan du VI<sup>e</sup> au IV<sup>e</sup> millénaire BC : histoire, technologie et culture*, thèse de doctorat, université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, 2 vol., 830 p.
- STINER M. C. (2002) – Carnivory, Coevolution, and the Geographic Spread of the Genus Homo, *Journal of Archaeological Research*, 10, 1, p. 1-63.
- TREUILLOT J. (2013) – From the Late Mesolithic to the Early Neolithic: Continuity and Changes in Bone Productions from Zamoszje 2 (Excavations 1995-2000), Russia, in V. M. Lozovski, O. V. Lozovskaya et I. Clemente-Conte (dir.), *Zamoszje 2, Lake Settlement of the Mesolithic and Neolithic Fishermen in Upper Volga Region*, Saint-Petersbourg, Russian Academy of Sciences, p. 142-157.
- 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 Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, 388 p.
- VILLA P., MAHIEU E. (1991) – Breakage Patterns of Human Long Bones, *Journal of Human Evolution*, 21, 1, p. 27-48.
- WHITE T. D. (1992) – *Prehistoric Cannibalism at Mancos 5MTUMR-2346*, Princeton, Princeton University Press, 462 p.
- YESNER D., BONNICHSEN R. (1979) – Caribou Metapodial Shaft Splinter Technology, *Journal of Archaeological Science*, 5, 4, p. 303-308.
- YTREVVHUS B., SKAGEMO H., STUVE G., SIVERTSEN T., HANDELAND K., VIKOREN T. (1999) – Osteoporosis, Bone Mineralization and Status of Selected Trace Elements in Two Populations of Moose Calves in Norway, *Journal of Wildlife Diseases*, 35, 2, p. 204-211.
- ZHILIN M. G. (1998) – Technology of the Manufacture of Mesolithic Bone Arrowheads on the Upper Volga, *European Journal of Archaeology*, 1, 2, p. 149-176.
- ZHILIN M. G. (2001) – *Костяная индустрия мезолита лесной зоны Восточной Европы*, thèse de doctorat, université de Moscou, 499 p. [en russe].

**Julien TREUILLOT**  
 UMR 7041 ArScAn  
 Ethnologie préhistorique  
 MAE, 21, allée de l'Université  
 F-92023 Nanterre cedex  
 et 4, avenue de Champagne  
 F-69410 Champagne-au-Mont-d'Or  
 julien.treuilLOT@me.com