



HAL
open science

Tir expérimental de pointes à base fourchue en bois de renne

Jean-Marc Pétilion

► **To cite this version:**

Jean-Marc Pétilion. Tir expérimental de pointes à base fourchue en bois de renne. Table ronde sur le Paléolithique supérieur récent, Mar 2003, Angoulême, France. p. 243-256. halshs-00311409

HAL Id: halshs-00311409

<https://shs.hal.science/halshs-00311409>

Submitted on 15 Aug 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Tir expérimental de pointes à base fourchue en bois de renne

Jean-Marc PÉTILLON

Résumé

Nous exposons ici les premiers résultats d'une séance de tir expérimental de pointes à base fourchue en bois de renne, effectuée pour tester l'utilisation de ces objets comme armatures de projectile et obtenir des fractures caractéristiques d'utilisation. Notre corpus archéologique de référence est la série des 371 pointes à base fourchue magdaléniennes d'Isturitz (Pyrénées-Atlantiques) conservée au musée des Antiquités nationales. Quarante-deux pointes à base fourchue en bois de renne ont été fabriquées, la moitié d'entre elles étant ensuite emmanchées sur des flèches tirées à l'arc, les autres étant fixées sur des sagaies destinées à être lancées au propulseur. Les cibles utilisées étaient des corps de veaux mâles de 30 kg, situés à une distance de tir de 10 à 13 mètres. L'étude des fractures d'utilisation montre une nette différence entre les pointes de flèche et les pointes de sagaie. Alors que sur les premières les dommages sont rares et d'ampleur très réduite, les pointes de sagaie ont pour la plupart subi des fractures par flexion affectant la partie distale et/ou la fourche. Ce contraste peut sans doute être attribué aux différences dans les dimensions, la masse et le comportement en vol des deux types de projectiles. La comparaison entre le référentiel expérimental et les fractures présentes sur les pointes archéologiques permet de confirmer l'identification des pointes à base fourchue comme pointes de projectile, probablement fixées sur des sagaies tirées au propulseur. Plusieurs discordances subsistent cependant entre fractures archéologiques et expérimentales ; leur interprétation nécessitera l'organisation de nouvelles séances de tir.

Abstract

In January 2003 a projectile experiment was performed in the musée du Malgré-Tout (Treignes, Viroinval, Belgium), involving the use of fork-based antler points as projectile tips. Our goals were to test the performance of these points as weapon elements, and to record diagnostic patterns of breakage. The 371 upper Magdalenian fork-based points from the cave site of Isturitz (Saint-Martin-d'Arberoue, Pyrénées-Atlantiques), kept at the musée des Antiquités nationales (Saint-Germain-en-Laye, Yvelines) were used for archaeological comparisons. 42 points were manufactured from reindeer antler; 21 were hafted to arrows shot with a bow, and the other 21 to spears thrown with a spearthrower. The same hafting technique was used for all projectiles. Both bow and spearthrower were used, because the Isturitz upper Magdalenian industry did not provide any direct evidence (e.g., spearthrower hooks) concerning the modes of projectile delivery available at that time. The targets were two male calf carcasses weighting 30 kg, shot at a distance of 10-13 meters. Shots in the hide, abdomen or thoracic region of the animals caused no damage to the points. However, when the projectiles hit a harder obstacle – such as a robust bone or the frozen topsoil – a

significant difference appeared between spear- and arrowpoints. On arrowpoints impact damage was very rare and limited to the tip, whereas the majority of the spearpoints sustained bending fractures that broke their distal part and/or their forked base. This contrast is probably due to the greatly differing dimensions, mass, and flight behavior of the two projectile types. Examination of the archaeological points revealed an abundance of proximal and distal bending fractures, some of which match our experimental spearpoint fractures closely. We can therefore confirm the functional attribution of fork-based points as projectile tips, and suggest that they were more probably hafted on spearthrower-launched projectiles. However, a new experiment will be necessary to investigate several remaining discrepancies between the archaeological and experimental breakage patterns.

INTRODUCTION

Dans une publication antérieure (Pétillon, 2000), nous avons exposé les résultats d'une analyse de 549 pointes à base fourchue magdaléniennes en bois de renne,

provenant des grottes d'Isturitz (Pyrénées-Atlantiques), Gourdan (Haute-Garonne) et Lortet (Hautes-Pyrénées). La présence sur ces pièces de certaines fractures spécifiques nous avait permis d'évoquer leur utilisation possible comme armatures de projectile; cette hypothèse restait cependant à tester expérimentalement.

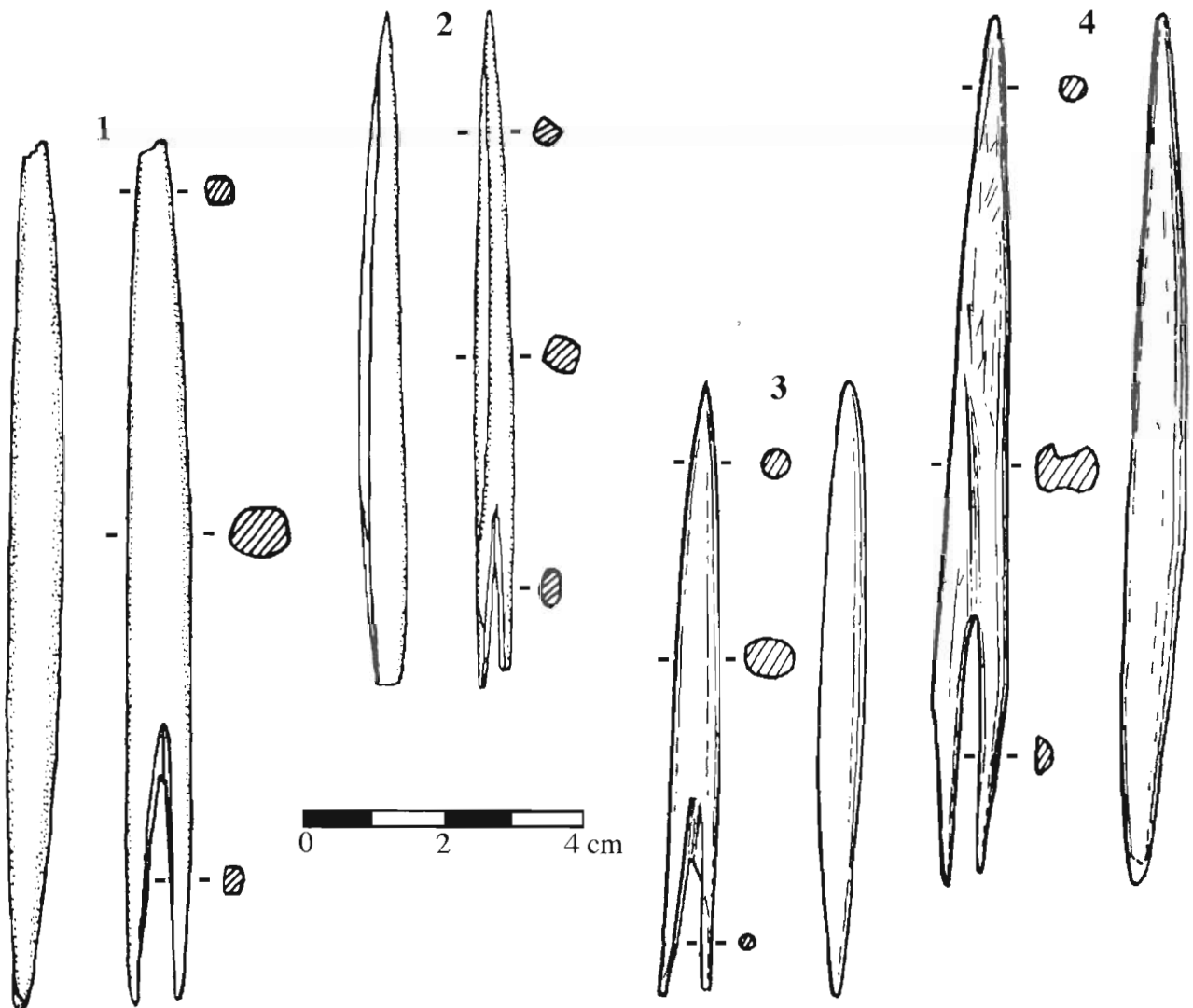


Fig. 1 – Pointes à base fourchue d'Isturitz. 1 et 2 : MAN, collection Saint-Périer (numéro collectif 83885); dessin R. et J.-M. Pétillon. 3 : MAN n° 77163G45, collection Passemard; d'après Delporte et Mons, 1988. 4 : MAN n° 77163G12, collection Passemard; d'après Delporte et Mons, 1988.

Les études portant sur le tir expérimental et la fracturation des pointes en matière dure animale (cf. en particulier Arndt et Newcomer, 1986 ; Bergman, 1987 ; Knecht, 1993 ; Stodiek, 1993) ont en effet été essentiellement consacrées aux pointes à base fendue aurignaciennes, aux pointes à biseau simple et à biseau double, mais pas aux pointes à base fourchue. Or, nous avons pu constater que la fourche de ces pointes portait souvent des fractures de morphologie particulière, probablement liées à leur mode d'emmanchement, qui rendaient nécessaire la construction d'un référentiel expérimental spécifique.

C'est afin d'élaborer ce référentiel que les 11 et 12 janvier 2003 fut organisée au CEDARC – musée du Malgré-Tout (Treignes, Viroinval, Belgique) une séance de tir expérimental de flèches et de sagaies équipées de pointes à base fourchue en bois de renne ; expérimentation dont nous présentons ici les premiers résultats.

PARTICIPANTS

Le protocole expérimental fut élaboré par Pierre Cattelain (CEDARC, musée du Malgré-Tout) et nous-même. L'équipe qui a effectué et enregistré les tirs comprenait, outre les deux susnommés, Marie Brunet (université Paris I), Claire Houmard (université Paris I), Gaëlle Le Dosseur (université Paris I), Claire Letourneux (université Paris I), Pascal Chauvaux (CEDARC) et Jacques Pernaud (musée de Tautavel).

La fabrication des pointes expérimentales a eu lieu avec le concours de Marianne Christensen, Nejma Goutas et Morgane Maudet, de l'université Paris I. La logistique – logement, repas, fourniture et installation du matériel – a été assurée par Claire Bellier, Pascale Conotte, Géraldine Dubois, Renée Stoquart, Eddy Buchet, Daniel Coulonval, Alain Sellekaerts et Pascal Wauthier.

Le nettoyage des ossements des carcasses animales utilisées comme cibles a été effectué avec l'aide de Gaëlle Le Dosseur et Claire Letourneux dans les locaux du Paléoscope des Mureaux (Yvelines), mis à notre disposition par l'association l'Homme retrouvé.

Enfin, le financement de cette expérimentation a été assuré par l'UMR 7041 ArScAn du CNRS, l'université Paris I et le CEDARC.

CORPUS ARCHÉOLOGIQUE DE RÉFÉRENCE

Notre expérimentation impliquait la reconstitution d'un système de tir dont les paramètres soient compatibles avec ce que l'on peut supposer du mode d'utilisation des pointes à base fourchue à l'époque magdalénienne. Nous devions donc tenir tout particulièrement compte des données archéologiques associées aux pointes étudiées – type de gibier dominant dans les sites de référence, présence éventuelle d'autres vestiges d'armement tels que les propulseurs en bois de cervidé... Cela n'était cependant pas possible pour les séries

de Gourdan et Lortet, car le matériel de ces deux sites, fouillés dans les années 1870 sans indications stratigraphiques précises, se présente comme un mélange de couches du Magdalénien moyen et supérieur.

Pour notre expérimentation, nous avons donc choisi d'utiliser comme corpus de référence la seule série d'Isturitz, dont le contexte archéologique est mieux connu, et qui par ailleurs est de loin la plus abondante. Elle se compose en effet de 371 pointes à base fourchue découvertes entre 1913 et 1936 par E. Passemard (1944) et R. et S. de Saint-Périer (1936), et conservées au musée des Antiquités nationales de Saint-Germain-en-Laye (fig. 1). Pratiquement toutes ces pointes proviennent du niveau I/F1 de la Grande Salle d'Isturitz, attribué au Magdalénien supérieur (cf. synthèse stratigraphique *in* Delporte, 1980-81). Ces pointes avaient déjà bénéficié de plusieurs études typologiques (Delporte et Mons, 1977 et 1988 ; Bertrand, 1999 ; Pétilion, 2002).

ÉLABORATION DU PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL

Lors de l'élaboration du protocole expérimental, nous nous sommes très largement appuyés sur la méthodologie mise au point il y a une dizaine d'années par P. Cattelain et M. Perpère (1993) à l'occasion d'une séance de tir expérimental de pointes de la Gravette.

Le système de tir paléolithique peut être défini comme la combinaison de cinq éléments : un tireur, un lanceur (c'est-à-dire un instrument permettant de lancer le projectile – arc, propulseur, etc. ; lorsque le projectile est propulsé directement à la main, le lanceur est inexistant), un projectile, une solution de tir (trajectoire reliant le lanceur à la cible) et une cible.

Dans un contexte archéologique "normal" pour le Paléolithique, c'est-à-dire sans conservation des matières organiques autres que l'os, ces cinq éléments laissent peu ou pas de traces. Il n'était donc à l'évidence pas possible de reconstituer pour notre expérimentation le système de tir "tel qu'il était au Magdalénien" ; il était également illusoire de tester "toutes les variantes possibles", dans la mesure où chacun des éléments du système peut prendre de multiples formes.

Lors du tir de nos pointes à base fourchue, nous avons donc pris la décision de ne faire varier qu'un seul paramètre : la nature du lanceur. La moitié des pointes ont ainsi été emmanchées sur des flèches tirées à l'arc, les autres étant fixées sur des sagaies destinées à être lancées au propulseur. Tous les autres paramètres (morphologie de l'emmanchement, type de colle et de ligature, distance de tir, arc et propulseur utilisés, nature de la cible...) ont été "figés" et maintenus invariants tout au long de l'expérimentation.

La décision de tester deux modes de propulsion se justifiait du fait que la couche I/F1 d'Isturitz, qui contenait la quasi-totalité de nos pointes à base fourchue, n'a livré aucun propulseur (à la différence de la couche II/E sous-jacente, Magdalénien moyen) ; nous n'avions donc aucun indice archéologique direct quant au mode

de propulsion utilisé pour ces pointes. Par ailleurs, le “calibre” (largeur et épaisseur maximales) des pointes à base fourchue d’Isturitz ne permet pas de les classer *de facto* comme pointes de flèches ou de sagaies. La très grande majorité d’entre elles présentent en effet une largeur de 7 à 10 mm et une épaisseur de 5 à 8 mm, dimensions parfaitement compatibles avec l’idée d’un projectile léger tel que ceux tirés à l’arc, mais qui peut également correspondre à de “petites” pointes de sagaie emmanchées à l’extrémité d’une hampe plus lourde et plus épaisse (pour une discussion de ce problème, cf. Cattelain, 1994; Pétillon et Cattelain, 2004).

Or, il semble bien que la variation du mode de propulsion soit l’un des facteurs susceptibles d’influer le plus sur les résultats des tirs. Lors de leur expérimentation, P. Cattelain et M. Perpère (1993) ont ainsi noté que, toutes conditions étant égales par ailleurs, les tirs au propulseur étaient plus destructeurs pour les pointes de la Gravette que les tirs à l’arc. On peut penser que l’une des explications réside dans l’importante différence d’énergie cinétique entre les tirs de flèches à l’arc et les tirs de sagaies au propulseur, différence causée par la vitesse et la masse très dissemblables des deux types de projectile (Carrère et Lepetz, 1988).

Il nous a donc paru imprudent de ne tester qu’un seul des deux modes de propulsion, en sachant qu’aucun indice ne pouvait nous orienter *a priori* plutôt vers l’un ou vers l’autre, et qu’un choix malencontreux aurait pu biaiser les résultats de l’expérimentation et donc l’interprétation du corpus archéologique. Après avoir pris cette décision, restait à concevoir et à mettre en place l’ensemble des éléments de notre système de tir expérimental.

LES POINTES À BASE FOURCHUE EXPÉRIMENTALES

Toutes les pointes à base fourchue d’Isturitz ont été façonnées dans la partie compacte d’un bois de renne, et présentent généralement une épaisseur de *compacta*

de 5 à 8 mm; cette valeur importante nous permet d’avancer qu’elles proviennent pour la plupart de bois de renne mâle adulte (Averbouh, 2000).

Pour fabriquer les pointes expérimentales, nous nous sommes donc procuré des bois de renne mâle adulte (bois de massacre prélevés 4 à 5 ans auparavant, provenant du nord de la Suède). Les supports, des baguettes à section quadrangulaire, ont été débités avec une scie à métaux; mais l’ensemble du façonnage a été effectué avec des outils lithiques. Ainsi, l’appointement de l’extrémité distale et la régularisation des flancs et bords des pointes ont été effectués par raclage longitudinal au moyen d’un chanfrein de burin, d’un tranchant de lame brute ou de lame retouchée; l’abrasion sur bloc de grès a également été ponctuellement utilisée pour éliminer rapidement certaines irrégularités morphologiques. Quant au façonnage de la fourche, il a été effectué par rainurage symétrique opposé: au moyen d’un burin dièdre, une rainure était tracée sur les faces supérieure et inférieure de l’objet, puis les deux rainures étaient approfondies jusqu’à ce qu’elles se rejoignent pour former l’évidement de la fourche. Ce procédé fut inspiré par l’observation des traces présentes sur les faces internes des fourchons des pièces archéologiques (Delporte et Mons, 1988).

Le bois humide étant plus facile à travailler que le bois sec (dans le premier cas l’outil “accroche” beaucoup mieux la matière), l’ébauche de pointe et/ou la partie active de l’outil en silex étaient régulièrement trempées dans l’eau durant le façonnage. Le façonnage d’une pointe à partir d’un support débité mécaniquement réclamait environ 3 heures, la fabrication de l’ensemble des pointes ayant nécessité environ 130 heures de travail.

Un total de 42 pointes à base fourchue ont été fabriquées. Leurs caractéristiques métriques ont été conçues pour refléter celles du corpus archéologique. Si les valeurs moyennes sont très comparables (tabl. 1), le diamètre et l’épaisseur de *compacta* des bois dont nous disposons ne nous a cependant pas permis de reproduire les calibres les plus importants rencontrés sur les pointes d’Isturitz: 7,5 % d’entre elles présentent en

| | 42 pointes expérimentales | 21 pointes de flèches | 21 pointes de sagaies | 371 pointes d’Isturitz |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Longueur totale | 108,28 | 108,12 | 108,44 | 101,71 |
| Longueur partie mésio-distale | 76,73 | 76,73 | 76,72 | 70,66 |
| Longueur partie proximale | 31,55 | 31,39 | 31,72 | 32,73 |
| Profondeur de la fourche | 23,38 | 23,22 | 23,53 | 23,21 |
| Écartement de la fourche | 4,59 | 4,63 | 4,54 | 4,81 |
| Largeur proximale | 9,35 | 9,32 | 9,38 | 9,26 |
| Épaisseur proximale | 6,12 | 6,15 | 6,1 | 7,07 |
| Largeur distale | 4,23 | 4,25 | 4,2 | 5,15 |
| Épaisseur distale | 3,79 | 3,87 | 3,7 | 4,17 |
| Masse (en grammes) | 5,17 | 5,21 | 5,13 | - |

Tabl. 1 – Mesures moyennes (en mm) de l’ensemble des pointes expérimentales, du sous-ensemble des pointes de flèches, du sous-ensemble des pointes de sagaie et des pointes d’Isturitz.

effet une largeur proximale supérieure ou égale à 13 mm, et/ou une épaisseur proximale supérieure ou égale à 9 mm, tandis que les valeurs maximales pour les pointes expérimentales sont respectivement de 11,1 et 8,1. À cette réserve près, la correspondance métrique entre le corpus expérimental et le corpus archéologique est satisfaisante.

Après façonnage, douze pointes – qui avaient été fabriquées sur des supports légèrement arqués et présentaient de ce fait une courbure antéro-postérieure plus ou moins prononcée – ont été redressées en les plongeant deux jours dans l'eau afin d'assouplir le bois de renne, puis en les serrant entre deux planches de pin et les laissant sécher douze jours dans cette position : après séchage, les pointes ont conservé la rectitude qui leur avait été imposée.

Sur nos 42 pointes, les 21 portant un numéro pair étaient destinées à être emmanchées sur des sagaies, les 21 autres sur des flèches. Ce système, déjà employé par P. Cattelain et M. Perpère (*ibid.*), a permis de faire en sorte que les deux lots soient équivalents tant sur le plan morphométrique (tabl. 1) qu'en ce qui concerne la masse des pièces ou leur origine anatomique – chacun des lots comprenant presque exactement le même nombre de pointes prises sur andouiller, sur perche A, B ou C.

LES HAMPES DES PROJECTILES

Les hampes des projectiles ont été fabriquées par l'équipe technique du CEDARC. Nous souhaitons utiliser pour leur fabrication une essence végétale également disponible à l'époque où les pointes à base fourchue magdaléniennes avaient été utilisées. Malheureusement, l'étude palynologique du gisement d'Isturitz est sujette à caution de l'avis même de son auteur (Leroi-Gourhan, 1959), en raison du nombre trop restreint d'échantillons polliniques prélevés. On peut cependant remarquer que, pour la couche I/F1 qui a livré les pointes à base fourchue, le pin est l'essence la mieux représentée – la seule d'ailleurs à être présente dans chacun des deux échantillons issus de ce niveau.

Nous avons donc utilisé pour les hampes des projectiles des tourillons de pin industriel. Les tourillons utilisés pour les flèches mesuraient de 81 à 82 cm de long, pour un diamètre de 0,9 cm. Une fois empennées (3 plumes radiales de 12 x 1,3 cm, collées et ligaturées), les hampes pesaient de 24 à 34 g. Quant aux sagaies, elles présentaient une longueur de 250 à 251 cm pour un diamètre de 1,2 cm, et étaient empennées de 3 plumes radiales collées et ligaturées, mesurant en moyenne 12 x 3 cm. En ce qui concerne la masse, les hampes de sagaie se répartissaient en deux sous-populations distinctes : une première constituée de 9 hampes pesant de 135 à 143 g, et une seconde regroupant 12 hampes dont la masse variait de 157 à 165 g. Selon P. Cattelain (com. pers.), cette différence correspond à la présence ou à l'absence de résine dans le bois. Mis à part ce détail, qui n'a eu d'influence ni

sur l'équilibrage des projectiles ni sur la précision des tirs, les 21 hampes de sagaie, tout comme les 21 hampes de flèche, présentaient donc des caractéristiques techniques homogènes.

EMMANCHEMENT DES POINTES SUR LES HAMPES

La morphologie choisie pour l'emmanchement était la suivante : l'extrémité de chaque hampe était taillée en forme de fourche, de telle sorte que la base de la pointe, elle-même fourchue, vienne s'y emboîter étroitement (fig. 2). Ce système de deux fourches entrecroisées nous a été en partie inspiré par un exemple ethnographique : les flèches des îles de Santa-Cruz, qui possèdent des pointes en os dont la base fourchue s'encastre dans une fourche similaire aménagée à l'extrémité d'une préhampe en bois (Speiser, 1909 ; Passermard, 1917). Mais cette hypothèse d'emmanchement s'appuie aussi sur des données archéologiques. En effet, au sein de l'industrie en bois de renne de la couche I/F1 d'Isturitz, nous avons identifié deux objets allongés présentant une extrémité fourchue opposée à une extrémité en biseau double, ce qui correspond à la définition fonctionnelle des "préhampes" ou éléments intermédiaires de hampe de projectile (Cattelain, 1993). Nous avons montré (Pétillon, 2000) que ces objets ont très probablement été utilisés de la manière suivante : leur extrémité à biseau double était emmanchée dans la hampe du projectile, tandis que leur extrémité distale fourchue venait s'emboîter dans la fourche, proximale, d'une pointe en bois de renne. Ces deux pièces sont complétées par une série de 24 éléments fourchus fracturés, que nous avons interprétés comme des fragments de pré-hampes sur la base de comparaisons morphométriques avec les pièces entières. Une préhampe similaire, mais de très grandes dimensions, a également été découverte au Tuc-d'Audoubert en association avec une pointe à base fourchue (Bégouën, 1926 ; Pétillon et Cattelain, 2004).

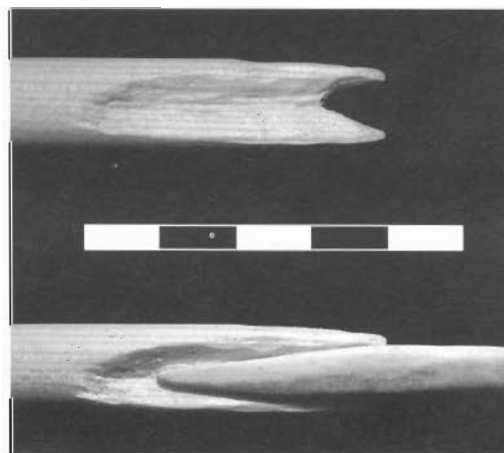


Fig. 2 – Extrémité distale d'une hampe de sagaie expérimentale. En haut : sans la pointe emmanchée ; en bas : avec la pointe (sauf mention contraire, tous les clichés sont de l'auteur).

Notre intention initiale était de coller ensuite chaque pointe sur sa hampe à l'aide d'un mélange de résine de pin et de cire d'abeille, recette communément utilisée par d'autres expérimentateurs, les proportions des deux composants variant de 2/1 à 4/1 (comparer par exemple Arndt et Newcomer, 1986 ; Allain et Rigaud, 1989 ; Stodiek, 2000). Selon P. Chauvaux, ce type de mastic a cependant l'inconvénient d'être ou trop élastique ou trop cassant suivant le dosage effectué. Sur ses conseils, nous avons donc utilisé de la colle de peau, dont le principe est connu ethnographiquement chez les Indiens d'Amérique du Nord et dont l'ingrédient principal – la peau – était disponible au Magdalénien supérieur, tout autant que la résine de pin (et peut-être plus que la cire d'abeille...).

Une fois les pointes collées, le joint entre la pointe et la hampe a été ligaturé à l'aide de tendons de patte de biche. Flexible lorsqu'il est humide, le tendon se contracte en séchant et enserre étroitement la hampe du projectile. Pour que les ligatures résistent mieux lors des tirs, elles ont été couvertes, une fois sèches, d'une nouvelle couche de colle de peau (fig. 3).

CHOIX DE LA CIBLE

La cible utilisée lors de l'expérimentation devait correspondre autant que possible au type de gibier contre lequel les Magdaléniens d'Isturitz avaient vraisemblablement employé leurs pointes à base fourchue. L'examen par C. Letourneux de la faune de la couche I/F1 conservée au musée des Antiquités nationales a montré la très nette dominance du renne parmi les espèces représentées, suivi d'assez loin par le cheval, puis par le cerf et les bovinés (C. Letourneux, com. pers.). Cette prédominance du renne correspond aux observations d'E. Passemard (1944), et contredit celles de R. et S. de Saint-Périer (1936) pour qui le cerf était l'espèce la plus abondante dans le niveau du Magdalénien supérieur.

Il nous fallait donc prendre comme cible un animal dont le gabarit s'approche de celui du renne. Par



Fig. 3 – Emmanchement d'une pointe sur une flèche expérimentale : détail de la ligature.

ailleurs, comme il n'était pas question pour nous de tirer sur un animal vivant (pour des raisons aussi bien éthiques que pratiques), celui-ci devait avoir été abattu avant de servir de cible ; toutefois, pour que la consistance de son corps soit la plus proche possible de celle de l'animal en vie, l'abattage devait avoir eu lieu très peu de temps avant l'expérimentation, et le corps ne devait pas avoir subi de traitement de boucherie tel que congélation ou éviscération. Enfin, dans la perspective de l'étude archéozoologique des ossements, il était nécessaire de pouvoir clairement distinguer les impacts de flèches des impacts de sagaies : il fallait donc utiliser deux animaux, l'un servant de cible lors des tirs à l'arc et l'autre lors des lancers au propulseur. Ce choix nous permettait également d'étaler l'expérimentation sur deux journées, et nous évitait de trop endommager un animal unique sur lequel tous les tirs seraient venus se concentrer.

Le choix s'est porté tout d'abord sur deux daims mâles. Mais notre fournisseur s'étant rétracté en dernière minute – l'avant-veille de la date prévue pour l'expérimentation ! – une solution de remplacement dut être trouvée dans l'urgence ; et ce sont finalement sur deux veaux mâles, âgés de quelques semaines et pesant environ 30 kg, que les tirs ont été effectués.

Le choix de ces cibles peut bien sûr être critiqué. D'une stature plus petite que celle du renne, le veau possède un squelette en cours d'ossification, qui présente des caractéristiques propres aux animaux immatures – os moins résistants, parfois non épiphysés ou non soudés entre eux, voire remplacés par du cartilage. Ces éléments suggèrent que les impacts sur un corps de veau seront moins destructeurs pour les projectiles que des impacts sur un renne. Il faut cependant souligner qu'étant donné l'importante différence de taille entre les deux espèces, nos deux veaux possédaient déjà une ossature dont la robustesse était proche de celle d'un renne adulte !

D'autre part, plusieurs expérimentateurs ont déjà souligné les différences évidentes entre un tir sur un cadavre et un tir sur un gibier vivant. Le premier problème réside dans l'absence de tonus musculaire : la contraction des fibres musculaires du gibier peut constituer un obstacle supplémentaire à la pénétration du projectile, voire endommager un projectile déjà logé à l'intérieur d'une blessure, phénomènes dont le tir sur carcasse ne permet pas de rendre compte. De même, l'arrêt des fonctions respiratoires et l'affaissement consécutif de la cage thoracique font que la pénétration des projectiles dans cette zone n'est sans doute pas comparable à celle qu'on obtiendrait sur un animal aux poumons encore remplis d'air. Enfin, les mouvements d'un animal blessé, ou la chute d'un animal abattu, peuvent également endommager des projectiles qui seraient encore fichés dans la blessure.

Nous sommes conscient de toutes ces imperfections. Nous sommes également conscient du fait qu'elles sont difficiles à éviter : le fait d'utiliser des veaux comme cibles a ainsi été dicté par les circonstances, mais même notre choix originel (le daim) n'aurait de toute façon pas représenté un substitut parfait d'un renne magdalénien. La véritable question nous semble plutôt

de savoir si ces différents biais sont suffisamment importants pour rendre d'emblée les résultats de l'expérimentation inexploitable, ou s'ils doivent seulement nous conduire à une plus grande prudence dans l'interprétation. Les variables que nous venons d'énoncer ont en effet en commun d'être très difficiles à quantifier, et leur influence sur le résultat des tirs (notamment sur la profondeur de pénétration et les dommages aux projectiles) n'a jamais été testée systématiquement. Leur simple évocation ne nous semble donc pas suffisante pour conclure à l'absence de validité de notre expérimentation ; en revanche, ces variables ne peuvent bien sûr pas non plus être purement et simplement ignorées, et il conviendra d'en tenir compte lors de l'analyse des résultats, ainsi que lors de la comparaison avec le matériel archéologique.

DÉROULEMENT DE L'EXPÉRIMENTATION

Les tirs se déroulèrent le week-end des 11 et 12 janvier 2003 (les tirs au propulseur ayant lieu le samedi et les tirs à l'arc le dimanche), dans un pré jouxtant le musée du Malgré-Tout, par temps clair, sans vent notable, la température ambiante étant d'environ -10°C le premier jour et -5°C le second. Les veaux, euthanasiés immédiatement avant le début de l'expérimentation au moyen d'une injection effectuée par un vétérinaire, étaient suspendus à une charpente en bois, le flanc tourné vers le tireur. Les tirs qui rataient la cible – passant généralement au-dessus du dos de l'animal – atterrissaient dans le sol végétal herbeux, particulièrement dur car il avait gelé à la suite du froid intense des jours précédents. D'après les quelques indications que l'on peut retirer de l'analyse pollinique d'Isturitz, le climat lors du dépôt de la couche I/F1 était très froid (Leroi-Gourhan, 1959, p. 624) ; les impacts sur sol gelé obtenus lors de l'expérimentation ne nous paraissent donc pas incompatibles avec la réalité archéologique. C'est d'ailleurs une des raisons pour lesquelles nous avons décidé d'effectuer les tirs en hiver.

Les tirs au propulseur furent effectués par Pascal Chauvaux, champion d'Europe de tir au propulseur de 1990 à 1999 et en 2002. Il utilisa un propulseur de sa propre fabrication, mesurant 68 cm de long et pesant 139 g, constitué d'un manche en bouleau muni d'une poignée en peau de cerf et d'une partie distale en bois de renne reproduisant le célèbre "faon aux oiseaux" du Mas-d'Azil. Les tirs à l'arc furent effectués par Pierre Cattelain, champion d'Europe de tir à l'arc préhistorique en 1990-1991 et vice-champion en 1992-1993, à l'aide d'un arc en if de type néolithique allemand fabriqué par Johann Tinnes, d'une hauteur de 177 cm et d'une puissance de 61,50 lbs à une allonge de 27 pouces.

Nous avons décidé d'effectuer tous les tirs à une distance fixe de 10 mètres – distance cohérente avec celles relevées chez les peuples chasseurs traditionnels, pour lesquels semble-t-il "la tendance générale [...] est de s'approcher le plus possible du gibier pour augmen-

ter la chance de le toucher" (Cattelain, 1994). Cette distance a été respectée pour les tirs à l'arc ; au propulseur en revanche, Pascal Chauvaux a souhaité l'augmenter jusqu'à 12-13 mètres afin d'avoir plus de recul pour mieux viser. En s'appuyant sur les conclusions d'une expérimentation précédente (Cattelain et Perpère, *ibid.*), nous étions convenus que les tirs viseraient systématiquement les parties vitales de la cible – zone cœur / poumons en arrière de la patte avant – afin de mieux correspondre à une pratique de chasse réelle.

Après chaque tir était appliqué le même protocole :

- l'horaire du tir était noté sur une fiche d'enregistrement, chaque tir possédant sa propre fiche ;
- l'animal était ensuite photographié selon un angle constant, afin de conserver une image exacte de l'emplacement du projectile dans le corps (fig. 4) ;
- la longueur de la hampe dépassant de la blessure était ensuite mesurée et notée. Comme nous connaissions la longueur totale de chaque projectile, il nous était ensuite possible de calculer la profondeur de pénétration ;
- l'emplacement de l'impact était ensuite déterminé avec autant de précision que possible (e.g. "entre deux côtes", "dans la scapula"...) et noté ;
- le projectile était ensuite extrait de la blessure. Tout dommage à la pointe ou à la hampe était alors signalé et noté ;
- enfin, suivant l'état du projectile, nous décidions s'il devait être conservé pour un nouveau tir, ou écarté de l'expérimentation. Un projectile était retiré de l'expérimentation lorsque se produisait l'un et/ou l'autre des trois événements suivants : fracture proximale ou distale de la pointe ; fracture de la hampe au niveau de l'emmanchement ; démanchement et implantation à l'extraction (cette expression désigne les cas où, alors que nous tentions d'extraire un projectile planté dans la cible, la pointe se démanchait et restait coincée à l'intérieur de l'animal sans qu'il soit possible de l'en retirer).

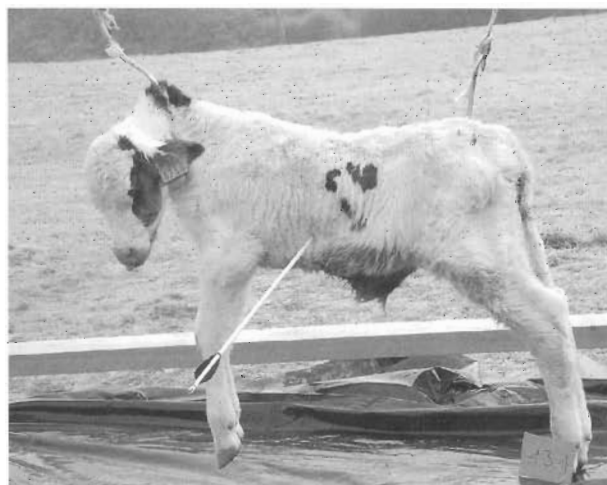


Fig. 4 – L'une des photos prises systématiquement à chaque impact lors des tirs à l'arc. Le carton en bas à droite indique qu'il s'agit du premier tir de la flèche portant la pointe n° 13 (cliché P. Cattelain).

Chaque séance de tir s'est déroulée de 10h à 13h; dans les deux cas, lorsque les tirs furent terminés, l'animal cible était donc mort depuis environ trois heures et ne présentait pas de signes de rigidité cadavérique (malgré le froid). Après chaque séance de tirs, l'animal a été immédiatement dépouillé et vidé, puis les ossements portant des traces d'impact ont été récupérés et nettoyés en vue de leur étude future. L'ensemble des opérations de boucherie ont été effectuées avec des lames et éclats en silex.

RÉSULTATS : FRACTURATION DES POINTES EXPÉRIMENTALES

Nous avons effectué au total 89 tirs à l'arc (dont 15 ratés) et 64 lancers au propulseur (dont 23 ratés et 7 "ripés", qui ont glissé sur le dos de l'animal avant d'atterrir dans le sol). Nous avons obtenu un certain nombre de résultats concernant la précision relative de l'arc et du propulseur, la profondeur de pénétration et les impacts sur les os de la cible; mais dans le cadre limité de cette communication, nous nous attarderons uniquement sur les dommages infligés aux pointes de projectile.



Fig. 5 – Scapula gauche du veau tiré à l'arc, transpercée par trois pointes de flèche (la fourche de la troisième pointe est visible derrière celle qui se trouve au premier plan). Aucune pointe n'a été endommagée. Plusieurs autres impacts sont visibles sur l'aile de la scapula.

Ceux-ci sont de fréquence très différente suivant le mode de propulsion utilisé. À l'arc, 17 flèches ont ainsi été mises hors service uniquement par démanchement et implantation : lors de l'extraction du projectile, la pointe s'est détachée de la hampe et est restée coincée à l'intérieur de l'animal, mais n'a subi aucun dommage (fig. 5). Seules 4 flèches ont enduré des fractures (fracture de la pointe dans 3 cas, de la hampe dans 1 cas : tabl. 2). Or ces chiffres s'inversent dans le cas des lancers au propulseur : seules 6 sagaies ont été retirées à cause d'un "simple" démanchement avec implantation, les 15 autres ayant toutes subi une ou plusieurs fractures (fracture de la pointe dans 12 cas, de la hampe dans 1 cas, de la pointe et de la hampe dans 2 cas : tabl. 2).

Pour tenter d'expliquer ce contraste, nous avons classé les impacts en 6 catégories suivant la zone touchée (tabl. 3 et 4). La catégorie "sol gelé" regroupe les tirs manqués ou ripés, lors desquels le projectile a fini sa course dans le sol végétal gelé qui s'étendait derrière la cible. La catégorie "peau" rassemble les cas où le projectile s'est planté superficiellement dans le cou, le bas-ventre, la patte ou le dos de l'animal, prenant la peau en écharpe sans rencontrer d'os ni d'organe interne. Les tirs dans le "tronc" sont ceux qui ont touché la zone de l'abdomen ou du poitrail, passant entre les côtes ou frappant l'une d'entre elles, mais sans toucher les vertèbres ni les scapulas; dans deux cas, à l'arc, la pointe s'est plantée dans le sternum. Les catégories "vertèbres" et "scapulas" désignent les impacts ayant frappé respectivement ces deux types d'os. Enfin, les impacts sur les diaphyses et épiphyses de l'humérus et du radio-ulna sont englobés dans une même catégorie (à l'arc, tous les tirs se concentrent sur l'humérus); nous y avons également inclus l'unique tir – effectué au propulseur – ayant frappé l'os frontal.

Une première distinction entre l'arc et le propulseur apparaît dans les effets des tirs manqués. À l'arc, ils n'entraînent jamais de dommages pour le projectile, tandis qu'au propulseur ils provoquent dans environ un quart des cas une fracture de la pointe et/ou de la hampe. Une seconde différence apparaît dans les conséquences des tirs sur vertèbres, scapulas, humérus et radio-ulna. À l'arc, ils n'entraînent que rarement une fracture (3 tirs sur 26); il est en revanche fréquent que la pointe reste coincée dans l'os et se démanche à l'extraction (14 tirs sur 26). Au propulseur, les fractures sont proportionnellement beaucoup plus nombreuses (7 tirs sur 13) et le démanchement se produit presque

| | Flèches | Sagaies |
|---|---------|---------|
| Démanchement et implantation sans dommages | 17 | 6 |
| Fracture de la pointe | 3 | 11 |
| Fracture de la hampe | 1 | 1 |
| Double fracture de la pointe | 0 | 1 |
| Double fracture de la pointe + fracture de la hampe | 0 | 2 |
| TOTAL | 21 | 21 |

Tabl. 2 – État des projectiles à la fin de l'expérimentation.

| Zone touchée | Nombre de tirs | Pointe ou hampe fracturée | Pointe reste dans l'animal |
|--------------|----------------|---------------------------|----------------------------|
| sol gelé | 15 | 0 | - |
| peau | 17 | 0 | 2 |
| tronc | 31 | 1 | 3 |
| vertèbres | 9 | 1 | 4 |
| scapula | 11 | 1 | 5 |
| humérus | 6 | 1 | 5 |
| TOTAL | 89 | 4 | 19 |

Tabl. 3 – Fracturation et démanchement des flèches selon la zone touchée.

| Zone touchée | Nombre de tirs | Pointe et/ou hampe fracturée | Pointe reste dans l'animal |
|---------------------------|----------------|------------------------------|----------------------------|
| sol gelé | 30 | 7 | - |
| peau | 6 | 1 | 0 |
| tronc | 15 | 0 | 0 |
| vertèbres | 5 | 3 | 4 |
| scapulas | 4 | 1 | 4 |
| humérus, radio-ulna, tête | 4 | 3 | 4 |
| TOTAL | 64 | 15 | 12 |

Tabl. 4 – Fracturation et démanchement des sagaies selon la zone touchée.

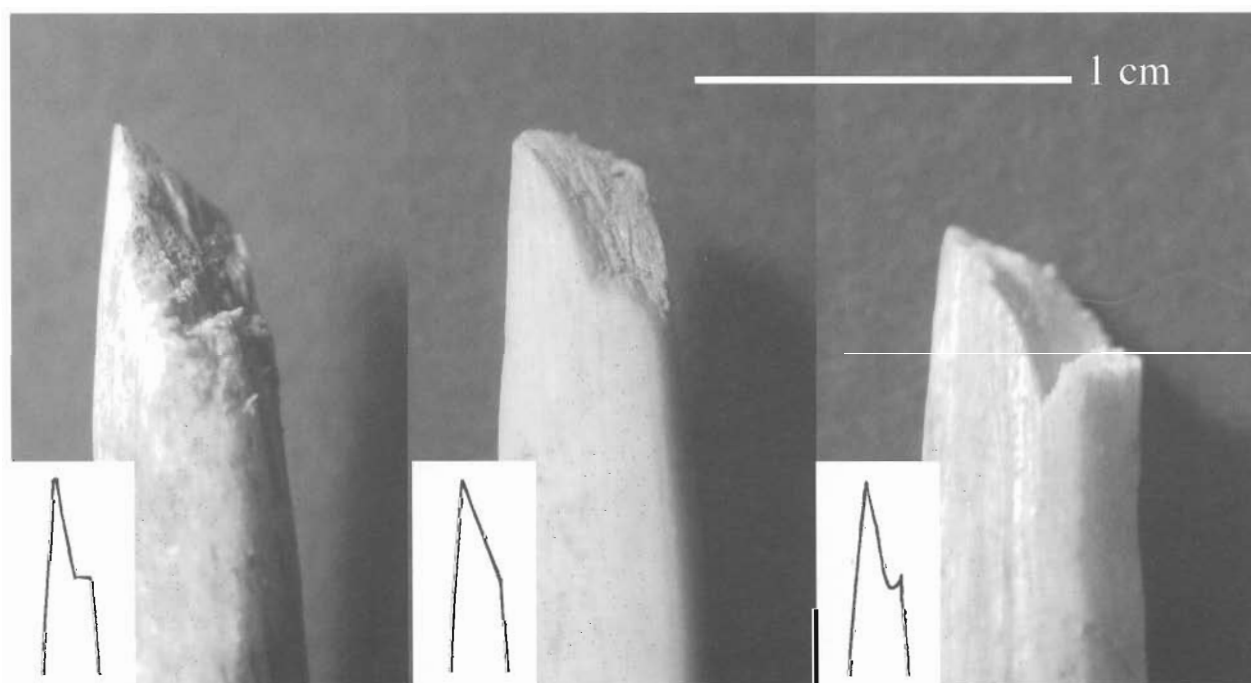


Fig. 6 – Pointes de sagaie expérimentales : fractures distales par flexion. De gauche à droite, terminaison en marche, en biseau, en charnière.

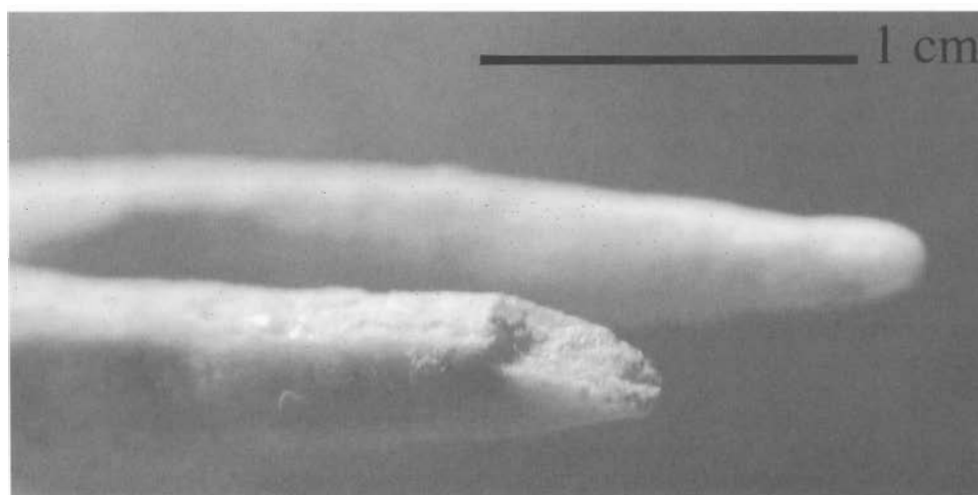


Fig. 7 – Pointe de sagaie expérimentale : fracture de l'extrémité d'un fourchon.

systématiquement (12 tirs sur 13). En revanche, pour les deux types d'armes, les impacts sur peau n'induisent pratiquement jamais de dégâts; de même, les tirs dans la région des côtes ou dans le sternum n'ont pas endommagé les projectiles. Tout au plus les pointes de flèches se sont-elles dans de rares cas démanchées à l'extraction (5 cas sur 48).

En résumé, lors de notre expérimentation, lorsque le projectile ne rencontrait pas d'obstacle trop solide (tirs dans la peau ou la région des côtes), il ne subissait pratiquement pas de dommages – et cela quel que soit le mode de propulsion. En revanche, en cas d'impact sur un objet plus résistant (os robuste ou sol gelé), les tirs au propulseur se révèlent, à cible identique, nettement plus destructeurs pour les pointes que les tirs à l'arc.

La morphologie des fractures des pointes est par ailleurs bien différente d'une catégorie de projectile à

l'autre. Ainsi, sur les trois pointes de flèches endommagées, le type de dégât est identique : il s'agit d'un écrasement de l'extrémité distale, qui donne à celle-ci un aspect plus ou moins arrondi et esquillé. Cette catégorie de dommage, qui résulte manifestement de la compression de la pointe contre l'os au moment de l'impact, est d'étendue limitée – les pointes n'ont perdu que 2 à 4 mm de leur longueur initiale – et serait facilement réparable par un rapide ravivage de l'extrémité distale (Arndt et Newcomer, 1986; Bergman, 1987; Stodiek, 1993).

En revanche, toutes les fractures des pointes de sagaies sont des fractures par flexion : elles ne résultent pas d'une compression longitudinale du projectile mais d'une force exercée latéralement, suffisamment importante pour que la pointe plie et se rompe. Sept pointes de sagaie ont ainsi subi une fracture distale dont la

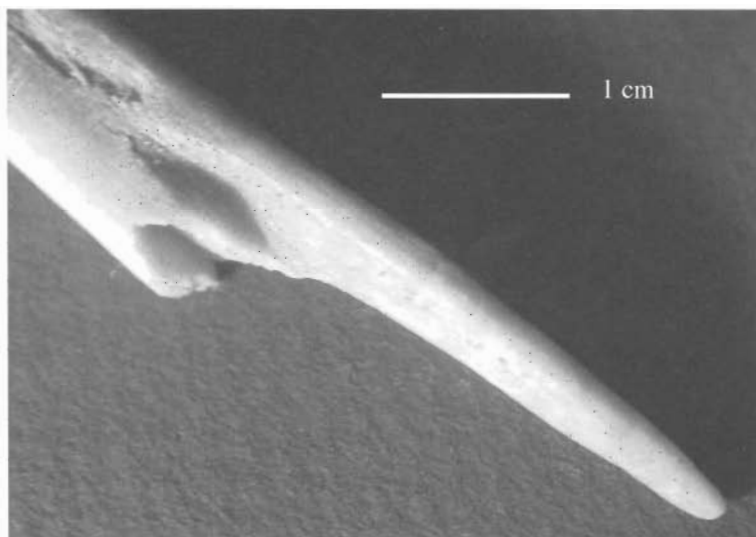


Fig. 8 – Pointe de sagaie expérimentale : fracture de l'un des fourchons.

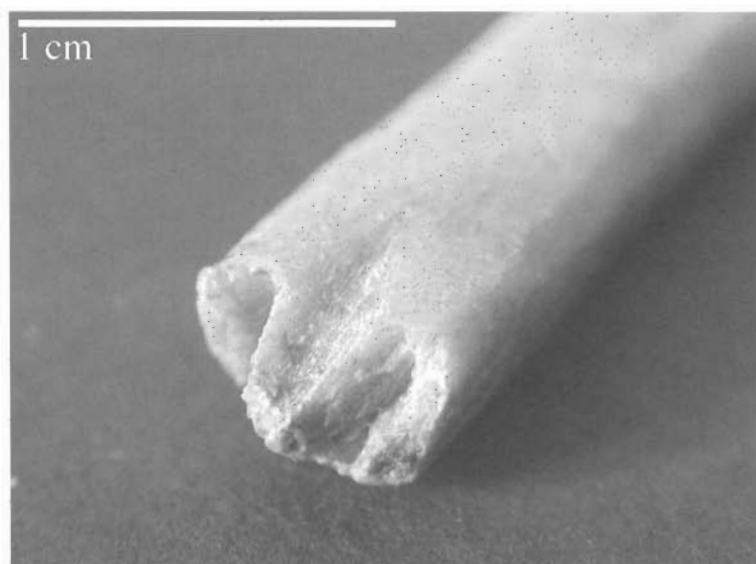


Fig. 9 – Pointe de sagaie expérimentale : fracture simultanée des deux fourchons.

facette, oblique, se termine en marche, en biseau ou en charnière; le fragment distal manquant mesure entre 7 et 19 mm (fig. 6; fractures similaires décrites in Arndt et Newcomer, 1986; Stodiek, 1993). Quant aux fractures proximales – qui concernent donc la partie fourchue – elles sont de trois types :

- la fracture d'une partie de l'un des fourchons s'est produite sur 2 pointes. Dans le premier cas (fig. 7), l'un des fourchons s'est brisé non loin de son extrémité proximale – le fragment manquant ne dépasse pas 5 mm de long, et a laissé une facette de fracture oblique par rapport à l'axe du fourchon. Dans le second cas, l'un des fourchons a subi deux fractures – une à environ 1/6 de sa hauteur (facette de fracture oblique) et une autre environ aux 2/3 (facette de fracture en dents de scie). Notons que chacune de ces deux pointes a également subi une fracture distale et une fracture de la hampe au niveau de l'emmanchement (tabl. 2);
- la fracture de l'un des fourchons à la base ne s'est produite que sur une pointe, dont un des fourchons s'est brisé à l'endroit où il rejoint le corps de la pointe, laissant une facette de fracture en dents de scie (fig. 8);
- la fracture des deux fourchons à la base est similaire au type précédent, hormis le fait que les deux fourchons se sont cette fois-ci rompus simultanément (fig. 9). Cela concerne 7 pointes; sur chacune d'elles, les deux facettes de fracture laissées par les fourchons ont à peu près la même orientation et la même amplitude – ce qui est logique, puisque c'est un impact unique qui a entraîné leur rupture. Une de ces pointes cumule fracture proximale et fracture distale.

Les nombreuses fractures au propulseur sont donc toutes liées à une flexion brutale exercée lors de l'impact sur la pointe et la zone emmanchée, flexion suffisamment forte pour faire céder l'une et/ou l'autre; à l'arc en revanche, ce type d'incident ne semble pas se produire. Nous pensons que cette différence tient à la longueur et à la masse très dissemblables des deux types de projectiles, ainsi qu'à la "sinuosité" plus importante de la trajectoire des sagaies (elle-même due au caractère particulier du geste de lancer au propulseur).

En effet, lors d'un tir, au moment où la pointe touche la cible et est stoppée net par un obstacle solide, le reste du projectile, lui, continue sur sa lancée; pour peu que sa trajectoire ne soit pas rigoureusement rectiligne – irrégularité plus prononcée pour les sagaies que pour les flèches – cette poussée prendra la forme d'une oscillation brutale de la hampe de gauche à droite ou de haut en bas. L'extrémité distale du projectile (pointe et partie emmanchée), fixée dans la cible, ne peut accompagner le mouvement et se retrouve donc soumise à une force de flexion. Dans le cas des flèches, cette flexion n'a généralement pas de conséquences dommageables car la hampe est de taille et de masse relativement réduites. En revanche, pour les sagaies, les dimensions beaucoup plus importantes de la hampe font que la flexion est plus puissante et parvient à faire céder la pointe et/ou l'emmanchement.

COMPARAISON AVEC LES POINTES ARCHÉOLOGIQUES

Qu'en est-il des fractures présentes sur les 371 pointes à base fourchue du site d'Isturitz? Leur analyse détaillée est en cours dans le cadre de notre

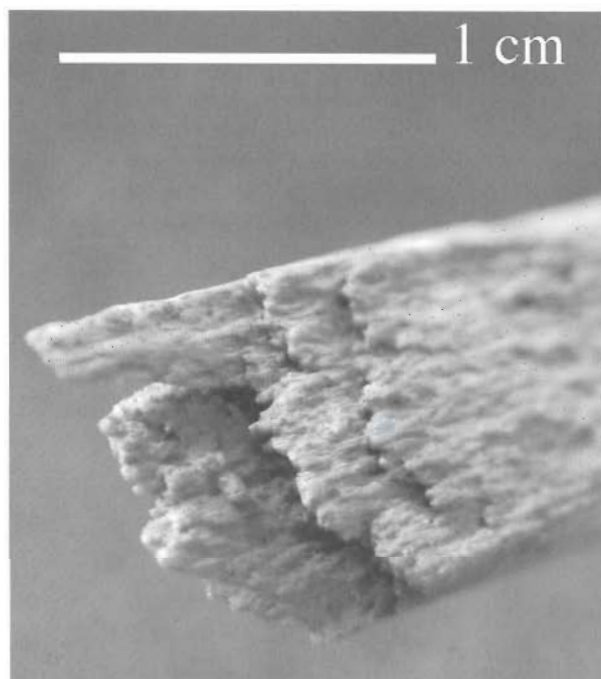


Fig. 10 – Pointe à base fourchue d'Isturitz : fracture distale en dents de scie.

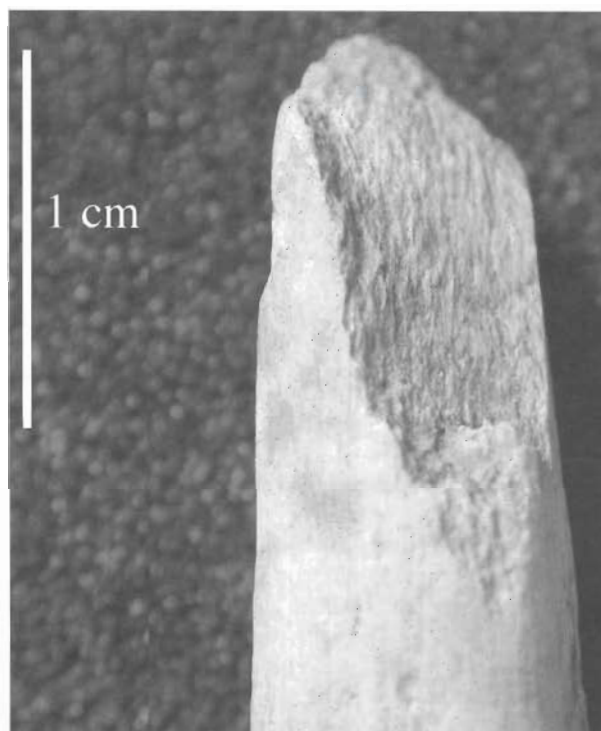


Fig. 11 – Pointe à base fourchue d'Isturitz : fracture distale par flexion.



Fig. 12 – Pointe à base fourchue d'Isturitz : fracture de l'extrémité d'un fourchon.

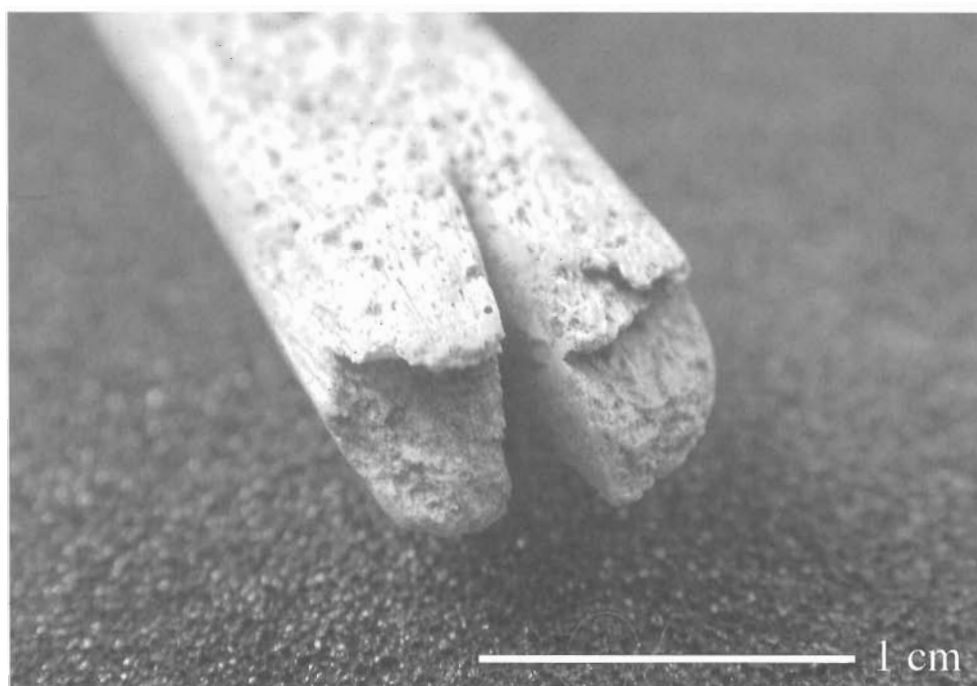


Fig. 13 – Pointe à base fourchue d'Isturitz : fracture simultanée des deux fourchons.

travail de doctorat, mais on peut d'ores et déjà en indiquer les principales tendances.

Plus de la moitié de notre corpus de référence n'a pu être utilisée dans l'analyse des fractures – soit parce que les pointes étaient intactes, soit parce qu'elles présentaient des fractures manifestement post-dépositionnelles voire post-fouille, soit parce que leurs facettes de fracture étaient trop altérées et trop érodées pour être clairement lisibles. L'analyse a donc porté uniquement sur 172 pointes, dont 57 présentent une fracture distale et 82 une fracture proximale, les 33 restantes cumulant les deux types de dommages.

Les fractures distales comprennent 21 fractures "en dents de scie", caractérisées par un aspect dentelé très irrégulier (fig. 10), qui ne se retrouvent pas dans

la série expérimentale. Les 69 autres fractures sont des fractures par flexion (fig. 11), avec une facette oblique par rapport à l'axe de la pointe ; elles correspondent à celles obtenues expérimentalement sur les pointes de sagaies, même si elles sont souvent de plus grande étendue (facette de fracture plus longue et plus large).

Les fractures proximales peuvent être divisées en trois grandes catégories. On observe tout d'abord 62 fractures par flexion d'un fragment de l'un des fourchons (fig. 12), fractures qui se rapprochent également de certains dégâts constatés expérimentalement sur les pointes de sagaies (sur 17 exemplaires de la série archéologique, les deux fourchons de la même pointe sont fracturés). On dénombre ensuite 33 cas de fractures simultanées par flexion des deux fourchons,

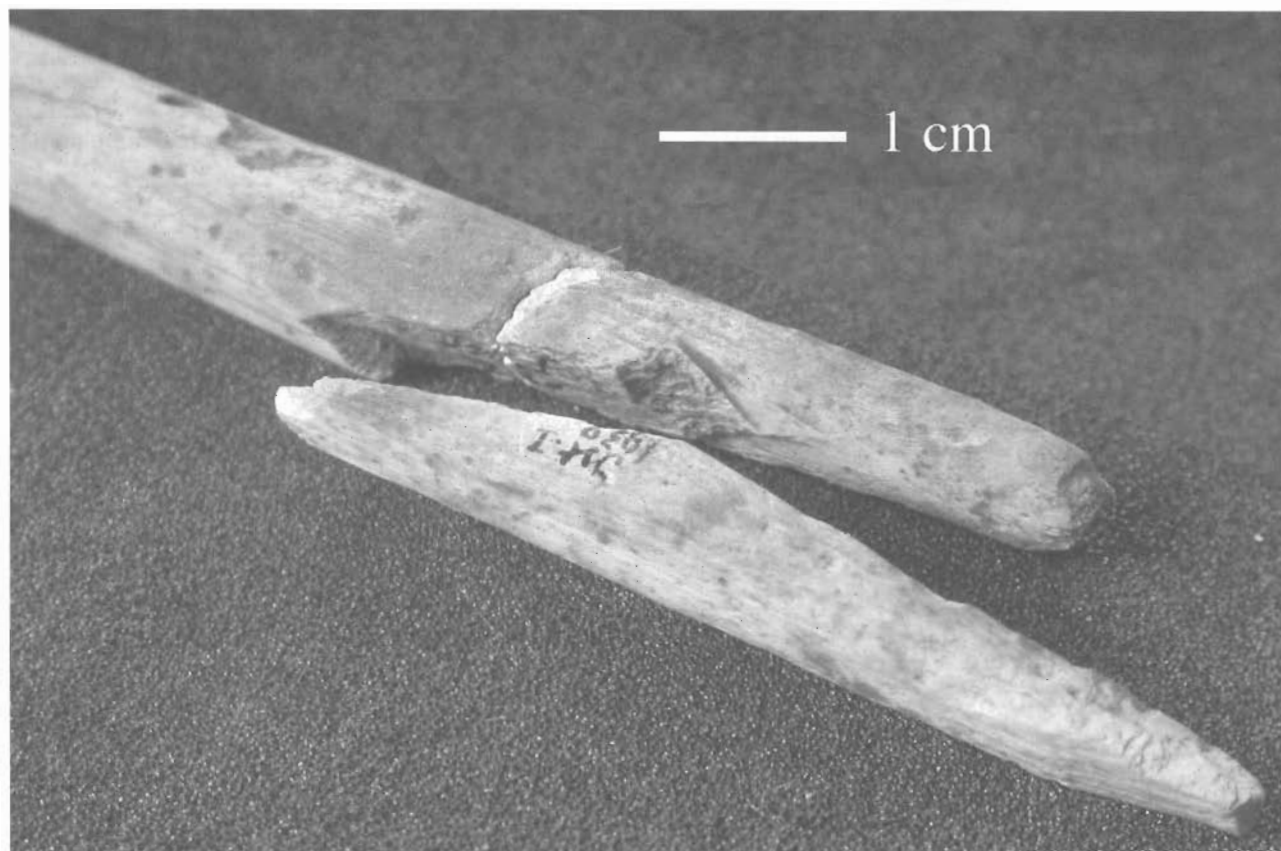


Fig. 14 – Pointe à base fourchue d'Isturitz : fracture proximale débordante. Le fragment manquant, qui a emporté le fourchon gauche et une partie du fût, a pu être retrouvé et raccordé.

à la base (fig. 13) : ici encore, cela rappelle fortement les dommages obtenus sur les pointes de sagaie expérimentales. En revanche, 20 fractures que nous avons appelées “proximales débordantes” (Pétillon, 2000) – qui partent du point de rencontre entre les deux fourchons et remontent ensuite vers l'extrémité distale, emportant un fourchon et une partie du fût (fig. 14) – restent sans équivalent dans la série expérimentale.

INTERPRÉTATION ET CONCLUSIONS

Cette rapide comparaison entre fractures archéologiques et expérimentales nous permet d'avancer un premier diagnostic concernant l'interprétation fonctionnelle des pointes à base fourchue.

La majorité des fractures présentes sur les pointes archéologiques – en particulier les fractures distales par flexion (fig. 6 et 11) et les fractures des deux fourchons à la base (fig. 9 et 13) – ressemblent étroitement à celles obtenues sur nos pointes de sagaie expérimentales. Ces correspondances nous paraissent assez probantes pour confirmer l'identification des pointes à base fourchue comme armatures de projectile. Cette attribution fonctionnelle, fondée jusqu'ici sur la seule morphologie de l'objet, peut donc maintenant s'appuyer également sur des arguments de type tracéologique.

Par ailleurs, en ce qui concerne le type de projectile sur lequel étaient emmanchées les pointes à base fourchue magdaléniennes, l'hypothèse la plus probable est à nos yeux que ces pointes ont servi à équiper des sagaies lancées au propulseur. Cette idée s'accorde en effet avec l'abondance des fractures par flexion relevées sur les pointes archéologiques et sur les pointes de sagaie expérimentales, abondance qui contraste avec leur absence totale sur les pointes de flèche utilisées lors de nos tirs. Nous ne pouvons cependant pas nous prononcer ici de manière catégorique, car il est possible que, dans une situation de chasse réelle, des facteurs non pris en compte dans notre expérimentation puissent entraîner des fractures par flexion même sur des pointes de flèche; rappelons en particulier les différences évoquées plus haut entre le tir sur animal vivant et le tir sur carcasse, différences qui font que nous n'avons pas pu reproduire par exemple les dégâts liés aux mouvements d'un animal blessé, à la chute d'un animal mort, etc.

Ces réserves nous renvoient à une autre question : peut-on dire que notre expérimentation reproduit à l'identique les conditions d'utilisation des pointes à base fourchue magdaléniennes ? Ici la réponse est clairement non, comme nous le montre l'existence sur les pointes d'Isturitz de certaines fractures qui ne se retrouvent pas sur les pièces expérimentales, en particulier les fractures en dents de scie (fig. 10) et les fractures proximales débordantes (fig. 14). Ces stigmates restent

certes dans le domaine de la fracture par flexion, *a priori* compatibles avec une origine balistique, mais leur présence nous indique que l'expérimentation que nous avons mise en œuvre diffère sur plusieurs points des conditions réelles d'utilisation de ces pointes au Paléolithique. Réciproquement, l'une des fractures survenues sur les pointes de sagaie expérimentales – la fracture d'un fourchon à la base, fig. 8 – n'a pas pu être identifiée sur les pointes archéologiques. Comme premières pistes de travail, on peut suggérer que ces discordances sont peut-être dues à certains aspects du mode d'em-

manchement adopté pour les pointes expérimentales, ou aux caractéristiques de nos sagaies – plus légères que la moyenne des sagaies ethnographiques, cf. Cattelain, 1994 – ou encore à l'état de fraîcheur des bois utilisés pour la fabrication des pointes (comme indiqué plus haut, ils avaient en effet été stockés pendant 4 à 5 ans avant utilisation, et étaient donc relativement secs, ce qui a pu modifier leur comportement en situation de fracture). Quoi qu'il en soit, de nouvelles expérimentations avec un protocole adapté paraissent encore nécessaires pour tenter de résoudre ce problème.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALLAIN J., RIGAUDA A. (1989) – Colles et mastics au Magdalénien, in M. Olive et Y. Taborin dir., *Nature et fonction des foyers préhistoriques, Actes du colloque international de Nemours (1987)*, Mémoires du musée de Préhistoire d'Île-de-France, n° 2, APRAIF, Nemours, p. 221-223.
- ARNDT S., NEWCOMER M. (1986) – Breakage Patterns on Prehistoric Bone Points, in D.A. Roe dir., *Studies in the Upper Palaeolithic of Britain and Northwest Europe*, British Archaeological Reports, International Series S296, Oxford, p. 165-173.
- AVERBOUH A. (2000) – *Technologie de la matière osseuse travaillée et implications paléolithiques*, thèse de doctorat, université Paris I – Panthéon-Sorbonne, Paris, 2 vol., 500 p.
- BÉGOUËN H. (1926) – L'art mobilier dans la caverne du Tuc d'Audoubert (Ariège), *IPEK*, p. 219-228.
- BERGMAN C.A. (1987) – Hafting and use of bone and antler points from Ksar Akil, Lebanon, in D. Stordeur dir., *La main et l'outil – manches et emmanchements préhistoriques, Actes du colloque de Lyon (1984)*, Travaux de la Maison de l'Orient, n° 15, CNRS, Paris, p. 117-126.
- BERTRAND A. (1999) – *Les armatures de sagaies magdaléniennes en matière dure animale dans les Pyrénées*, British Archaeological Reports (BAR), International Series S773, Archaeopress, Oxford, 139 p.
- CARRÈRE P., LEPETZ S. (1988) – *Étude de la dynamique des pointes de projectile : élaboration d'une méthode*, mémoire de maîtrise, université Paris I – Panthéon-Sorbonne, Paris, 107 p.
- CATTELAÏN P. (1993) – Fiche éléments intermédiaires de hampes de projectiles, in Commission de nomenclature sur l'industrie de l'os préhistorique, *Fiches typologiques de l'industrie osseuse préhistorique, cahier 6 : éléments récepteurs*, Treignes, CEDARC, p. 15-22.
- CATTELAÏN P. (1994) – La chasse au Paléolithique supérieur : arc ou propulseur, ou les deux ?, *Archéo-Situla*, t. 21-24, p. 5-26.
- CATTELAÏN P., PERPÈRE M. (1993) – Tir expérimental de sagaies et de flèches emmanchées de pointes de la Gravette, *Archéo-Situla*, t. 17-20, p. 5-28.
- DELPORTE H. (1980-1981) – La collection Saint-Périer et le Paléolithique d'Isturitz : une acquisition prestigieuse, *Antiquités nationales*, t. 12-13 (1980-1981), p. 20-26.
- DELPORTE H., MONS L. (1977) – État des travaux sur les pointes en os magdaléniennes, in H. Camps-Fabrer dir., *Méthodologie appliquée à l'industrie de l'os préhistorique, abbaye de Sénanque, Vaucluse, 9-12 juin 1976*, colloques internationaux du CNRS, n° 568, CNRS, Paris, p. 161-176.
- DELPORTE H., MONS L. (1988) – Fiche sagaie à base fourchue, in H. Camps-Fabrer dir., *Fiches typologiques de l'industrie osseuse préhistorique, cahier 1 : sagaies*, Aix-en-Provence, université de Provence.
- KNECHT H. (1993) – Early Upper Palaeolithic approaches to bone and antler projectile technology, in G.L. Peterkin, H.M. Bricker et P. Mellars dir., *Hunting and animal exploitation in the Later Palaeolithic and Mesolithic of Eurasia*, APAAA, n° 4, Washington D.C., p. 33-47.
- LEROI-GOURHAN Arl. (1959) – Résultats de l'analyse pollinique de la grotte d'Isturitz, *Bulletin de la société préhistorique française*, t. 56, p. 619-624.
- PASSEMARD E. (1917) – Sur les pointes de sagaies fourchues, *Bulletin de la société préhistorique française*, t. 14, p. 119-126.
- PASSEMARD E. (1944) – La caverne d'Isturitz en Pays basque, *La Préhistoire*, t. 9, p. 7-95.
- PÉTILLON J.-M. (2000) – Les pointes à base fourchue magdaléniennes : approche fonctionnelle, *Préhistoire et anthropologie méditerranéennes*, t. 9, p. 29-55.
- PÉTILLON J.-M. (2002) – Typologie et utilisation : l'exemple des pointes à base fourchue magdaléniennes, in M. Patou-Mathis, P. Cattelain et D. Ramseyer dir., *L'industrie osseuse pré- et protohistorique en Europe. Approches technologiques et fonctionnelles, Actes du colloque 1.6, XIV^e Congrès de l'UISPP*, Bulletin du Cercle Archéologique Hesbaye-Condruz, t. 26, p. 53-62.
- PÉTILLON J.-M., CATTELAÏN P. (2004) – Nouvel examen de l'armature composite magdalénienne du Tuc-d'Audoubert (Montesquieu-Avantès, Ariège), *Bulletin de la Société préhistorique française*, t. 101, p. 45-53.
- SAINT-PÉRIER R. de (1936) – *La grotte d'Isturitz II – le Magdalénien de la Grande Salle*, Archives de l'Institut de Paléontologie humaine, Mémoire 17, Paris, 138 p.
- SPEISER F. (1909) – Pfeile von Santa-Cruz, *Archiv für Anthropologie*, n.s. vol. 8, p. 308-311.
- STODIEK U. (1993) – *Zur Technologie der jungpaläolithischen Speerschleuder – eine Studie auf der Basis archäologischer, ethnologischer und experimenteller Erkenntnisse*, Tübinger Monographien zur Urgeschichte, n° 9, Tübingen, 276 p.
- STODIEK U. (2000) – Preliminary results of an experimental investigation of Magdalenian antler points, in C. Bellier, P. Cattelain et M. Otte dir., *La chasse dans la Préhistoire, Actes du colloque international de Treignes (1990)*, Anthropologie et Préhistoire, 111, ERAUL, 51, Artifacts, 8, Neupré, p. 70-78.

Jean-Marc PÉTILLON

Université Paris I

UMR 7041 ArScAn,

équipe "Ethnologie préhistorique"

Maison René Ginouvès, 21 allée de l'université

92023 NANTERRE CEDEX