Le tir expérimental de projectiles préhistoriques
Aperçu de trente ans de recherches

Jean-Marc Pétillon (1), Pierre Cattelain (2)

(1) Université Toulouse Jean Jaurès, CNRS, TRACES
(2) Université libre de Bruxelles

1 Introduction

Qu'elles soient en pierre ou en matières osseuses, tranchantes ou perforantes, avec ou sans barbelures, les armatures de projectile ont depuis longtemps suscité beaucoup d'attention de la part des archéologues – au premier chef, bien sûr, de la part des préhistoriens spécialistes des sociétés de chasseurs-collecteurs. Les sites paléolithiques et mésolithiques livrent en effet de grandes quantités d'objets interprétés comme des armatures de projectile sur la base de leur forme, de leurs dimensions et de comparaisons avec des pointes (de flèche, de sagaie, de javelot, de harpon, etc.) connues par l'ethnographie. Omniprésentes, ces armatures occupent souvent une place prépondérante dans les ensembles archéologiques, au moins à partir du début du Paléolithique supérieur. Leur forte variabilité dans le temps et dans l'espace a suscité de multiples réflexions et interprétations, d'autant que leur présence renvoie à une activité – la chasse – supposée cruciale dans le mode de vie de populations qui ignorent agriculture et élevage, surtout quand elles vivent dans un environnement froid qui ne permet qu'une cueillette limitée. Enfin, même si aucun objet technique n'est exempt de dimension symbolique, il faut bien avouer que les armatures de projectile, à travers le stéréotype de la « pointe de flèche », font partie de ces quelques objets préhistoriques qui possèdent encore une forte puissance évocatrice pour l'imaginaire contemporain.

Ces armatures ont longtemps été étudiées surtout sous l'angle de la typologie : il s'agissait alors d'établir des classes d'objets et de discuter de leur valeur éventuelle comme marqueur chronoculturel. Ensuite, surtout à partir des années 1980, le développement

de la technologie lithique puis de son équivalent osseux a permis d'envisager la question du mode de fabrication de ces pointes. En parallèle à l'étude de la fabrication, d'autres interrogations sont cependant apparues, concernant cette fois les modalités d'utilisation de ces objets. Pour tenter de répondre à ces questions, la mise en œuvre de sessions de tir expérimental est vite apparue comme indispensable.

La reconstitution des projectiles préhistoriques et des armes utilisées pour les lancer (arc et propulseur*, sans oublier bien sûr le lancer à la main) est donc, depuis plus de trente ans, une voie de recherche activement explorée. Elle le fut d'abord par les spécialistes du Paléolithique et du Mésolithique, puis progressivement par ceux du Néolithique, la Protohistoire et les périodes historiques restant moins concernées. Surtout développée par les préhistoriens anglo-américains à la fin des années 1970 et au début des années 1980, l'expérimentation sur les projectiles s'est, à la fin des années 1980 et dans les années 1990, répandue en Europe de l'Ouest et diversifiée ; après une relative désaffection à la charnière du XXI^{e} siècle, elle connaît, depuis la fin de sa première décennie, un renouveau vigoureux dans un contexte de plus en plus internationalisé. On compte aujourd'hui plus d'une centaine de publications consacrées, au moins en partie, à l'étude expérimentale de l'utilisation des armatures de projectile préhistoriques. S'y ajoute un nombre conséquent de travaux ayant exploré les paramètres de fonctionnement de l'arc et du propulseur (principes mécaniques, techniques d'utilisation, performances, etc.). Ce chapitre présente une synthèse – nécessairement partielle et partiale – des principaux problèmes abordés, méthodes employées et résultats obtenus par ce courant de recherche. Ayant bien sûr très largement puisé dans les travaux et réflexions de nos collègues, nous avons cependant pris le parti de ne citer ici que peu de noms de chercheurs, renvoyant le lecteur à la bibliographie disponible à la fin de ce volume (notamment l'article de V. Rots et H. Plisson, dont plusieurs idées sont extraites).

2 À l'origine de l'expérimentation : le questionnement archéologique

Le tir expérimental peut être défini comme l'utilisation de répliques de projectiles préhistoriques, dans des conditions de contrôle et d'enregistrement systématiques, et suivant un protocole préalablement établi. Ce n'est donc pas, à proprement parler, l'étude expérimentale de la chasse préhistorique. D'abord parce que, si l'on accepte l'existence possible de conflits armés aux temps préhistoriques, il faut admettre que les armes étudiées peuvent aussi bien être des armes de combat que des armes de chasse. Ensuite parce que la chasse elle-même comprend de nombreux aspects qui ne sont pas envisagés par le tir expérimental : la traque, le rabattage, l'affût, l'approche ou encore le piégeage du gibier sont des étapes essentielles de l'activité cynégétique ; pour le chasseur, elles peuvent revêtir autant, voire plus d'importance que le tir lui-même. La question de l'armement préhistorique ne doit donc pas être confondue avec le problème plus large des stratégies de subsistance au cours de la préhistoire, même si les deux sont évidemment liés.

Le tir expérimental a un but plus modeste, qui est de répondre à une ou plusieurs questions concernant l'interprétation d'un ensemble de pointes archéologiques. Les

questions à l'origine de l'expérimentation sont généralement les suivantes : les objets considérés ont-ils réellement été utilisés comme armatures de projectiles ? Si oui, comment ces armatures étaient-elles montées sur le projectile (forme de l'emmanchement, type de colle et/ou de ligature, éventuelle présence d'une préhampe) ? Quelles étaient leurs performances (efficacité, solidité, etc.) ? Enfin, pour le Paléolithique en particulier, se pose la question du mode de lancer : les pointes étaient-elles fixées sur des projectiles lancés à la main, tirés au propulseur ou à l'arc ?

Sur ces questions, les tirs expérimentaux sont susceptibles d'apporter sinon des conclusions définitives, du moins des indices et des éléments de réponse. Cela passe nécessairement par la constitution d'un corpus expérimental de traces d'utilisation : l'objectif des tirs est d'obtenir sur les pointes expérimentales une série de traces micro- et macroscopiques, caractéristiques de l'utilisation comme armature de projectile, voire typiques d'une forme d'emmanchement ou d'un mode de lancer particuliers. Toutefois, comme dans toute démarche d'archéologie expérimentale, pour que les résultats expérimentaux puissent être légitimement utilisés dans l'interprétation du matériel archéologique, une attention particulière doit être portée à l'élaboration du protocole expérimental.

3 Reconstituer le système de tir : les protocoles expérimentaux

La mise en œuvre de l'expérimentation passe par la reconstitution du *système de tir* préhistorique. Ce dernier peut être défini comme la combinaison de cinq éléments : (1) un *tireur* ; (2) 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) ; (3) un *projectile*, c'est-à-dire un objet susceptible d'être propulsé sur une certaine distance et de causer des dommages à la cible ; (4) une *solution de tir*, c'est-à-dire une trajectoire reliant le tireur à la cible ; et (5) une *cible*.

Chacun de ces éléments est susceptible de multiples variations : le lanceur peut par exemple prendre la forme d'un propulseur (souple ou rigide, mâle ou femelle…), d'un arc (court ou long, droit ou réflexe…), ou encore être totalement absent. De plus, une variation de l'un des éléments entraîne souvent des changements chez un ou plusieurs autres – un changement de lanceur peut ainsi impliquer une modification des dimensions et de la masse des projectiles. Or, dans un contexte archéologique habituel pour la préhistoire – c'est-à-dire sans conservation des matières organiques autres qu'osseuses – seule une fraction du système de tir est susceptible d'être préservée : une partie du projectile (pointe en pierre ou en matières osseuses, éventuelle préhampe en matières osseuses), une partie de la cible (squelette des animaux chassés) et éventuellement une partie du lanceur (partie distale de propulseur en bois de cervidé, éléments lithiques interprétés comme des contrepoids de propulseur, plus rarement poignée d'arc ou de propulseur en matières osseuses) ; l'association étroite entre lanceur et projectile étant, de plus, très rarement rencontrée hors contexte funéraire. Seules des conditions de préservation exceptionnelles permettent parfois de retrouver des arcs, des hampes de projectile, ou encore les colles et ligatures utilisés pour l'em-

manchement ; en Europe, la plupart des trouvailles de ce type relèvent de contextes lacustres ou de tourbières, en Scandinavie, Allemagne ou Suisse, et sont d'âge méso- ou néolithique.

Une part importante des systèmes de tir préhistoriques nous reste donc inconnue, et il est bien sûr impossible de tester toutes les variantes théoriquement possibles : lors de l'expérimentation, on peut en effet faire varier, de façon systématique et contrôlée, un ou deux paramètres (par exemple le type de lanceur ou la forme de l'emmanchement), mais guère plus si on veut que les résultats restent statistiquement valides et exploitables.

Confrontés à ce problème, les expérimentateurs ont adopté des solutions que l'on peut schématiquement répartir en deux tendances. La première, qui a parfois été dénommée « expérimentation *in vivo* » ou « expérimentation réplicative », s'attache à ce que les conditions expérimentales soient les plus proches possible de ce qu'on peut reconstituer, d'après l'analyse du contexte archéologique de référence, des conditions réelles d'utilisation des armes préhistoriques. Ainsi, autant que possible, les armatures expérimentales seront fabriquées dans des matériaux identiques à ceux des collections archéologiques étudiées ; leurs formes et dimensions reflèteront la variabilité des pièces archéologiques ; la cible utilisée sera le corps d'un animal entier et fraîchement abattu (pour se rapprocher des conditions d'une chasse réelle), d'une espèce identique au gibier dominant dans les sites étudiés ; les lanceurs seront construits sur le modèle des exemplaires préhistoriques connus (*e.g.*, arc de type mésolithique ou néolithique) ; etc. Pour les paramètres sur lesquels le contexte archéologique ne fournit aucune donnée – par exemple les distances de tir, les dimensions des hampes… –, plusieurs sources livrent des indications indirectes qui permettront au moins de fixer ces paramètres dans des fourchettes plausibles. L'ethnographie comparée fournit ainsi des données importantes sur les conditions d'utilisation de l'arc et du propulseur chez les chasseurs traditionnels. L'ensemble des tirs expérimentaux déjà effectués représente également une somme d'expérience et de réflexions accumulée depuis plusieurs décennies : de nombreuses études ont systématiquement exploré les variations de l'un des paramètres de tir et ses effets sur l'ensemble du système (par exemple les propriétés balistiques de tel ou tel type de projectile, le problème de l'équilibrage des sagaies et l'influence de l'empennage, etc.). Enfin, il faut mentionner l'apport des concours de tir à l'arc et au propulseur préhistoriques, qui se tiennent régulièrement en Europe de l'Ouest et en Amérique du Nord depuis les années 1980. Bien qu'elles ne se déroulent pas selon des protocoles scientifiquement contrôlés, ces compétitions ont permis à ceux qui y participent assidûment d'acquérir une excellente maîtrise de tir, ainsi qu'un savoir-faire et une grande expérience pratique concernant les techniques d'emmanchement, de fabrication des projectiles, etc.

L'intérêt essentiel de l'expérimentation *in vivo* est de produire des référentiels étroitement adaptés au cas archéologique étudié, permettant ainsi une utilisation optimale des résultats expérimentaux dans l'analyse du matériel archéologique. En effet, comme on le verra plus bas, les traces les plus intéressantes du point de vue interprétatif sont bien souvent spécifiques à une forme de pointe particulière, et à une modalité

précise d'utilisation ; elles ne peuvent donc être repérées que dans le cadre d'une expérimentation adaptée.

Cependant, l'expérimentation *in vivo* a bien sûr ses limites. Elles sont tout d'abord dues au fait que les conditions expérimentales ne seront jamais un reflet exact des conditions réelles de la chasse préhistorique. Il a ainsi été plusieurs fois souligné que le tir sur une carcasse animale, même complète et fraîche, ne simulait qu'imparfaitement le tir sur un gibier vivant (cette dernière option étant par ailleurs inenvisageable pour des raisons aussi bien éthiques que méthodologiques). Certains paramètres restent également mal maîtrisés, comme les conditions de température et d'humidité ambiantes, qui dans les cas extrêmes peuvent influer sur le comportement des armatures (le très grand froid rend ainsi les matières lithiques et osseuses plus cassantes). Enfin et surtout, la volonté de reproduire des conditions de tir « réalistes » implique une variabilité plus importante, chaque projectile et chaque tir étant légèrement différent des autres ; ceci peut rendre plus difficile l'interprétation des résultats et la comparaison des expérimentations entre elles.

C'est essentiellement pour répondre à ce dernier problème qu'un second type d'expérimentation, parfois désigné sous le nom d'« expérimentation *in vitro* » ou « expérimentation en conditions contrôlées », s'est développé et connaît actuellement un succès croissant. L'accent est mis ici sur le contrôle le plus étroit possible de toutes les variables en jeu. Dans les protocoles expérimentaux les plus aboutis, ce parti pris débouche sur un dispositif proche de celui d'un laboratoire de balistique : tir avec un engin mécanique (arbalète calibrée, lanceur à air comprimé, etc.) permettant d'impulser aux projectiles une vitesse connue et constante ; hampes entièrement standardisées ; armatures toutes identiques, voire remplacées par des éprouvettes* ; cible animale remplacée par un dispositif artificiel plus homogène (bloc de gélatine balistique par exemple).

Les avantages et inconvénients de ce type d'expérimentation sont symétriques de ceux des tirs *in vivo*. Le premier intérêt est ici de pouvoir isoler spécifiquement chaque paramètre et le faire varier selon une échelle précisément quantifiée (*e.g.*, vitesse de tir, angle d'impact…), ce qui permet théoriquement d'attribuer sans ambiguïté les variations constatées dans les résultats à un facteur précis. Ce type d'expérimentation est ainsi particulièrement adapté lorsqu'il faut tester un paramètre particulier (par exemple la composition d'un adhésif, la présence ou non d'une ligature…) « toutes conditions égales par ailleurs » afin de mesurer l'influence de ses variations sur l'ensemble du système. Le second avantage des expérimentations *in vitro* est de permettre – là encore en théorie – une meilleure comparabilité des expérimentations entre elles. Cependant, le fait de « figer » ainsi de nombreux paramètres comporte aussi un risque : celui de trop s'éloigner de la variabilité des situations réelles, et d'aboutir de ce fait à des référentiels dont l'utilisation pour interpréter le matériel archéologique sera problématique.

Toutefois, ici comme dans d'autres domaines, il n'y a finalement pas de conflit mais plutôt une complémentarité entre les deux types d'expérimentation. L'enjeu est aujourd'hui que ces deux approches parviennent à se nourrir mutuellement – *via* des

retours fréquents entre les deux – afin d'arriver à des cadres d'analyse collectivement validés.

4 Identifier les armatures : les traces d'impact

Bien souvent, la première motivation pour l'organisation d'un programme de tir expérimental est de savoir si, oui ou non, telle série d'objets pointus en silex ou en os, retrouvés mélangés à des milliers d'autres dans une couche archéologique, ont bien été utilisés comme armatures de flèche ou de sagaie.

Encart 1.- Armatures et projectiles avant l'Homme anatomiquement moderne

Grâce à quelques découvertes exceptionnelles, telles les épieux de Schöningen (plus de 300000 BP) et de Lehringen (vers 125000 BP), on sait que des armes de chasse en bois ont existé dès des périodes très anciennes. En revanche, la fabrication d'armes *composites*, c'est-à-dire constituées de plusieurs éléments (par exemple une armature en pierre, une hampe en bois, et un système d'emmanchement permettant la fixation de l'une sur l'autre) a longtemps été considérée comme une innovation apparaissant seulement avec le Paléolithique supérieur et l'Homme anatomiquement moderne. Ce n'est qu'à partir de la fin des années 1980, puis de façon insistante dans les années 1990 et 2000, que l'existence d'armatures lithiques plus anciennes a commencé à être évoquée.

Les pointes Levallois du Paléolithique moyen semblaient être les candidates les plus plausibles à ce type de fonction, pour des raisons de forme et de dimensions mais aussi à cause de la découverte, dans les années 1990 sur le site d'Umm-el-Tlel, d'un fragment d'une telle pointe incrusté dans une vertèbre cervicale d'âne. Ces pointes ont donc fait l'objet de plusieurs expérimentations de tir – organisées notamment par J.J. Shea et ses collaborateurs – afin de déterminer si elles avaient pu être employées pour un tel usage. Les référentiels produits lors de ces expérimentations, et leur application à l'interprétation du matériel archéologique, ont fait l'objet de vives discussions dans les années 1990 et 2000. Aujourd'hui, la plupart des chercheurs admettent que certains produits Levallois appointés ont effectivement été utilisés pour équiper des armes de chasse, à des dates remontant au moins à 200000-150000 BP. Le mode d'utilisation de ces armes (épieux employés au corps-à-corps, projectiles lancés à la main ?) reste discuté, mais l'existence de véritables projectiles ne paraît pas impossible.

Plus récemment, l'existence d'armatures lithiques a également été proposée pour le Middle Stone Age d'Afrique du Sud, à des dates autour de 65000-60000 BP, dans la culture du Howiesons Poort. Les ensembles lithiques de cette culture livrent en effet de nombreux éléments géométriques à dos appelés « segments », de petites dimensions, paraissant morphologiquement adaptés à un usage comme armature. Des tirs expérimentaux (projectiles propulsés mécaniquement dans une carcasse d'impala, armatures en montage apical et apico-latéral) ont permis d'élaborer un référentiel expérimental de fractures macroscopiques dont certaines se retrouvent sur les segments archéologiques. Un usage de ces segments comme armes de chasse paraît donc plausible, même si, là encore, leurs modalités exactes d'utilisation (montage, mode de propulsion…) restent conjecturales. En revanche, d'autres hypothèses émises sur les techniques de chasse du Howiesons Poort – l'existence de l'arc, ou encore

l'utilisation de pointes en matières osseuses – ne reposent pour l'instant que sur des bases archéologiques et expérimentales très fragiles, et doivent être regardées avec un œil critique.

De même, toujours en Afrique du Sud, l'identification d'armatures lithiques à des dates encore plus anciennes (site de Kahu Pan 1, vers 500000 BP) a récemment été proposée ; mais, là encore, les arguments tracéologiques ne sont pas sans équivoque et cette hypothèse demeure très controversée.

Comme la littérature scientifique sur le sujet est foisonnante et traversée de nombreuses controverses, et comme il n'est pas question ici de présenter une synthèse de l'ensemble des référentiels produits par des dizaines d'études, nous exposerons essentiellement une série de points méthodologiques.

Le premier concerne ce que l'on pourrait appeler « le mirage de l'efficience ». Dans certaines publications présentant les résultats de tirs expérimentaux – en particulier les plus anciennes –, le fait que les pointes testées « fonctionnent très bien » comme armatures de projectile (elles donnent de bons résultats en termes de pénétration, de solidité, etc.) est parfois présenté comme un argument déterminant pour les interpréter comme telles. Mais cette condition, bien que nécessaire (on imagine mal les préhistoriques fabriquer en série des armatures inefficaces), n'est bien sûr pas suffisante : de nombreux outils appointés en os, et beaucoup de produits en silex pour peu qu'ils soient tranchants et/ou appointés, ont une forme bien adaptée à une utilisation comme armature de projectile sans pour autant avoir été employés ainsi. Montrer qu'un objet « marche bien » comme armature ne permet aucune interprétation fonctionnelle si cela ne s'accompagne pas d'une étude des traces d'utilisation.

Or, du point de vue tracéologique, les armatures de projectile représentent justement un cas très particulier. À la différence d'un outil employé pour racler du bois, nettoyer de la peau, etc., les pointes de projectile ne sont pas soumises à un contact répété et prolongé avec la matière travaillée : même dans le cas d'une armature utilisée pour plusieurs tirs, le contact entre celle-ci et la cible est trop bref pour permettre la formation d'un pattern d'usure spécifique. De plus, ce contact se produit dans des conditions extrêmement variables suivant les situations : la forme et le mode de fixation de l'armature, la masse et la vitesse du projectile, l'angle de l'impact, le matériau touché (peau, os et/ou viande, ou encore matières végétales et minérales dans le cas d'un tir manqué) sont tous susceptibles d'influer sur la formation des traces, d'où la grande variabilité de celles-ci.

Par ailleurs, pour qu'une trace puisse être considérée comme diagnostique de l'utilisation en pointe de projectile, il ne faut pas qu'elle puisse avoir été causée par d'autres moyens. Les armatures sont susceptibles de se briser avant leur utilisation (fracture lors du façonnage, surtout pour les armatures lithiques) ou après leur utilisation et leur abandon (fractures de piétinement ou post-dépositionnelles) ; l'étude de ces types de dommages doit donc aussi être menée afin de ne pas les confondre avec des stigmates d'usage comme projectile. Surtout, des utilisations autres que celle d'armature de projectile peuvent produire des traces assez proches de celles qu'on obtient lors d'un impact de tir, y compris des fractures (par exemple, pour les outils lithiques,

certaines fractures obtenues lors d'activités de boucherie ; pour les outils osseux, des fractures en languette* survenant suite à un travail en percussion ou en pression). Et les armatures de projectile elles-mêmes peuvent être employées pour des usages secondaires (utilisation d'une pointe en silex comme couteau, perçoir, etc.). Il est donc nécessaire de disposer également d'une expertise – et d'une collection de référence – sur les traces produites par ces autres activités.

Pour que l'analyse tracéologique soit valide, le corpus de traces doit également présenter un effectif suffisamment important. Cette remarque vaut tout d'abord pour le référentiel expérimental : en règle générale, le nombre d'armatures tirées lors de l'expérimentation devrait au moins se situer dans les dizaines (dans beaucoup d'expérimentations publiées, il est compris entre 10 et 60). C'est seulement à partir de cet ordre de grandeur que l'on peut espérer obtenir une série de traces d'impact suffisamment importante pour commencer à raisonner sur leur variabilité et leur fréquence relative. Mais cette remarque vaut également pour les traces présentes sur les pièces archéologiques étudiées. Dans ce cas, la notion essentielle est celle de *récurrence* : l'attribution d'un ensemble de pièces typologiquement identiques (*e.g.*, une série de pointes à dos) à la catégorie des armatures de projectile ne peut pas reposer uniquement sur la présence, dans cet ensemble, d'une seule pièce caractéristique ou de quelques stigmates isolés. Il est cependant difficile d'être plus précis en fixant un seuil quantitatif exact : la question de savoir quel pourcentage de traces diagnostiques on devrait « normalement » trouver dans une série d'armatures archéologique a été longuement discutée sans qu'émerge de consensus, tant la diversité des situations est grande. Il s'agit en fait ici de faire la part du bruit, résultat de l'histoire complexe (pré- et post-dépositionnelle) de l'ensemble archéologique, et de l'information, porteuse de sens. Autant dire que le débat est loin d'être clos.

Quoi qu'il en soit, pour terminer cette série de rappels méthodologiques, soulignons que la formation des traces est également influencée par la forme et les dimensions de l'armature ; le caractère diagnostique ou non d'une trace d'impact va donc varier suivant le type de pointe considéré. À titre d'exemple, A. Fischer et ses collaborateurs ont montré que, à conditions d'expérimentation égales, sur les pointes de Bromme* – des pointes à pédoncule d'assez grandes dimensions – seules les enlèvements secondaires* longs d'au moins 6 mm étaient diagnostiques de l'utilisation comme armature, tandis que sur les armatures à tranchant transversal*, plus graciles, ce seuil pouvait être abaissé à 1 mm.

Ces réserves posées, on comprendra qu'il est impossible de dresser un catalogue de stigmates diagnostiques d'impact qui serait valable pour tous les types d'armatures et dans toutes les conditions expérimentales. L'acronyme DIF (pour *diagnostic impact fractures*) – qu'on rencontre régulièrement dans la littérature scientifique récente consacrée aux projectiles préhistoriques, où il est parfois utilisé de façon assez désinvolte – est de ce point de vue très trompeur et son emploi est d'ailleurs de plus en plus critiqué.

Cela dit, si on en reste au niveau des généralités, il est possible d'indiquer quelles sont les grandes catégories de stigmates qui doivent être pris en compte en première approche dans ce type d'analyse.

Encart 2.- Dans la ligne de tir : les traces d'impact sur les os des animaux chassés

Même si la plupart des programmes de tir expérimental ont d'abord été organisés en vue de l'étude des armatures de projectile, certains expérimentateurs se sont également attachés à enregistrer les traces d'impact sur les ossements des animaux utilisés comme cibles. Comme celles présentes sur les pointes de projectile, les traces sur les os montrent une grande variabilité, à la fois dans leur fréquence et dans leur nature. Cette variabilité semble due à la fois au type d'armature impliqué (pointe lithique, pointe osseuse…), au gabarit de l'animal (plus ou moins robuste) et à la forme de l'os touché (os plat, os long…).

Les traces laissées sur les os par les projectiles peuvent être assez superficielles : encoches sur le bord de l'os, éraflures, petites cupules d'écrasement (ces deux derniers types de traces étant surtout produits par les pointes lithiques). Mais elles peuvent également prendre la forme de perforations, dont la forme épouse plus ou moins celle de la pointe qui l'a causée et qui sont souvent accompagnées – surtout dans le cas des armatures lithiques – par l'incrustation d'un petit fragment de l'armature à l'intérieur de l'os. Les perforations sont également souvent associées à l'enlèvement d'éclats d'os, ou à la formation de fissures qui peuvent aboutir à la dislocation de l'os touché. Elles sont fréquentes sur les os plats (crâne et omoplate, principalement) tandis que les traces plus superficielles dominent sur les autres types d'os. Les os longs (humérus, radius, fémur, tibia…) se révèlent extrêmement résistants à l'impact, parvenant parfois à stopper ou à dévier un projectile sans subir de dommages notables – en particulier sur les espèces de plus grande taille (cerf, cheval, bovinés).

Bien qu'elles soient donc relativement bien caractérisées par l'expérimentation, les traces d'impact restent très rarement identifiées sur les vestiges de faune préhistoriques. Cette faible visibilité archéologique a de multiples causes : lors d'une chasse réelle, beaucoup de tirs ne touchent pas d'os, et on peut même penser que ces impacts seront délibérément évités ; les os les plus favorables à la formation des traces les plus remarquables sont souvent des éléments squelettiques assez fragiles, qui se conserveront moins bien pour de nombreuses raisons ; les traces d'impact les plus discrètes peuvent être confondues avec d'autres types de stigmates, notamment ceux laissés par les opérations de boucherie ; etc. Dans des contextes de conservation très favorables – notamment les lacs et tourbières de l'Europe septentrionale postglaciaire – il est cependant parfois possible de réunir un corpus de traces suffisamment important pour permettre la reconstitution de certains aspects des stratégies de chasse. C'est le cas par exemple pour la chasse au renne dans les niveaux du Paléolithique final (Ahrensbourgien) du site allemand de Stellmoor ; ou encore pour la chasse aux ongulés dans les sites danois du Mésolithique ancien (Maglemosien).

Sur les armatures lithiques, les stigmates d'impact prennent la forme de fractures, qui se produisent bien sûr avant tout à l'extrémité distale de la pièce. Les fractures identifiées comme diagnostiques sont souvent certaines catégories de fractures en languette présentant des caractères particuliers – suivant les cas : languette très allongée, languette dont l'extrémité montre une forme spécifique (en marche, en charnière, enlèvement burinant…), présence d'un ou plusieurs enlèvements secondaires, etc. Mais les fractures d'impact ne sont pas limitées à l'extrémité distale et peuvent également concerner les tranchants de l'armature (en particulier lorsque celle-ci est

emmanchée latéralement), sur lesquels elles prennent la forme d'ébréchures. En dehors des fractures, des stigmates microscopiques d'impact existent également : les MLIT (*microscopic linear impact traces*)*. C'est l'ensemble de ces stigmates, et non les seules fractures distales, qui doit être pris en compte pour formuler un diagnostic sur une éventuelle utilisation de l'objet comme armature.

Appliquée depuis peu aux industries lithiques préhistoriques, l'étude des lignes de Wallner* pourrait également être un moyen d'identifier les pièces fracturées lors d'une utilisation comme armature, car la mesure des caractères géométriques de ces lignes permet de calculer la vitesse de propagation de l'onde de fracture et ainsi de différencier les fractures des projectiles de celles des autres outils. Essentiellement développée jusqu'ici par W.K. Hutchings, cette approche nécessite cependant des matériaux à grain fin (idéalement, de l'obsidienne).

Les traces d'impact des armatures osseuses ont été moins étudiées que celles de leurs équivalents lithiques. Elles se présentent principalement sous la forme d'écrasements de l'extrémité distale et de fractures mésiales et distales de morphologie variée (clivage longitudinal, fractures en dents de scie, et, le plus souvent, fractures en languette). Sur les pièces archéologiques, ces fractures sont d'ampleur très variable, et la comparaison avec les données expérimentales suggère que les stigmates les plus marqués correspondent principalement à des tirs qui ont raté la cible et percuté un obstacle rigide (rocher, etc.). Il n'y a eu jusqu'ici que peu de comparaisons détaillées entre les fractures des armatures osseuses et celles des autres types d'outils de morphologie proche (outils biseautés utilisés comme pièce intermédiaire, poinçons, etc.). Il est par conséquent difficile d'identifier des types de fractures réellement diagnostiques d'un usage comme armature, et, dans l'état actuel des connaissances, il faut donc considérer que les référentiels publiés présentent uniquement des stigmates *compatibles* avec cet usage. Quant à l'étude des microtraces d'impact des armatures osseuses, elle reste jusqu'ici peu développée mais constitue certainement une piste à explorer.

5 Identifier le mode de montage des armatures

Au-delà de la simple identification d'un ensemble de pièces comme des armatures de projectile, la manière dont elles étaient montées sur la hampe de ce dernier pose également question – en particulier pour certaines armatures lithiques. En effet, même si un emmanchement apical (emmanchement à l'extrémité de la hampe, également dénommé « emmanchement axial » ou « distal ») peut sembler évident pour certaines formes, comme les pointes à cran ou les pointes à pédoncule, il l'est moins pour d'autres. Pour les armatures à dos (pointes de la Gravette* par exemple), pour les pièces à deux extrémités pointues (telles les bipointes aziliennes*) et bien sûr pour les microlithes – des lamelles à dos du Paléolithique supérieur aux hypermicrolithes mésolithiques – une fixation latérale (sur le côté de la hampe), voire dans certains cas apico-latérale (en oblique à l'extrémité de la hampe, l'extrémité proximale formant saillie sur le côté), est également envisageable. Et ces différences ont bien sûr des conséquences importantes sur notre conception des panoplies de projectiles préhistoriques.

Le tir expérimental peut fournir des éléments de réponse à ces interrogations : en testant systématiquement plusieurs modes d'emmanchement (par exemple apical et latéral), en comparant les stigmates obtenus dans chaque cas et en confrontant ce référentiel aux pièces archéologiques, il est parfois possible de formuler une hypothèse sur le mode d'emmanchement de ces dernières. Ainsi, l'analyse de la longueur des fragments basaux et de l'orientation des fractures sur les micropointes de la Gravette du site de Rabier a permis à S. Soriano de suggérer, pour ces pointes, un emmanchement de type « apical ligaturé », par comparaison avec les fractures obtenues lors de tirs expérimentaux à l'arc. De même, pour les microlithes mésolithiques, les travaux de S. Philibert ont mis en évidence des différences dans la localisation et la forme des fractures suivant que les armatures sont emmanchées en pointe distale ou en barbelure latérale ; plus récemment, les expérimentations de L. Chesnaux sur des armatures comparables ont montré que la proportion des différents types d'endommagements burinants et transversaux au sein d'un ensemble de microlithes archéologiques pouvait donner des indices sur leur montage apical, latéral ou apico-latéral.

Pour les armatures lithiques dont l'emmanchement apical ne fait pas de doute, l'expérimentation peut apporter des précisions supplémentaires sur la technique de fixation. Les études menées par le groupe TFPS sur les pointes à cran solutréennes* ont par exemple montré que les fractures présentes sur les pièces archéologiques et situées au niveau de la soie, ou quelques millimètres au-dessus du cran, ne pouvaient s'expliquer que par un système d'emmanchement où l'armature est ligaturée à la hampe sur toute la hauteur de la soie.

Le mode d'emmanchement des armatures osseuses a fait l'objet de moins de travaux expérimentaux, peut-être parce que, sur la plupart des types de pointes, la forme de la base suggère déjà de façon assez précise la façon dont elle était fixée sur le projectile (base en biseau simple fixée sur un biseau similaire à l'extrémité de la hampe, base en biseau double insérée dans une encoche en forme de « V », base massive fixée dans une douille, base fourchue encastrée dans une fourche symétrique à l'extrémité du projectile, etc.). Les stries obliques ou transversales souvent présentes sur ces bases, et interprétées comme une aide à la fixation, donnent également des indications sur la présence d'un adhésif et/ou d'une ligature, voire sur l'extension de la partie ainsi emmanchée. Seules les pointes à base fendue aurignaciennes* ont bénéficié d'une étude détaillée de ce point de vue, parce que leur mode d'emmanchement était controversé depuis des décennies. Les tirs expérimentaux d'H. Knecht ont permis de trancher la question en établissant que seul un emmanchement mâle (la base insérée dans une logette) assorti d'une clavette insérée dans la fente permettait une fixation solide de ce type de pointe.

6 Identifier le mode de lancer des projectiles : le propulseur et l'arc

La question de la date d'apparition du propulseur et de l'arc a fait couler beaucoup d'encre, parce que ces deux innovations sont généralement considérées comme cruciales dans l'évolution des stratégies de subsistance des chasseurs-collecteurs.

Encart 3.- Lancer à la main, arc et propulseur. Performances comparées

Plusieurs programmes de tir expérimental se sont donné pour objectif de quantifier les performances (portée, précision, vitesse, etc.) de différents modes de propulsion afin de pouvoir les comparer entre eux. Cette approche expérimentale a été complétée par l'étude de sources ethnographiques décrivant les conditions d'usage de plusieurs types d'armes dans des sociétés de chasseurs traditionnelles. L'ensemble de ces travaux montre que l'arc comme le propulseur présentent des avantages certains par rapport au simple lancer à la main, en améliorant autant la portée que l'efficacité des projectiles. L'invention de modes de propulsion « mécaniquement assistés » a donc bien représenté un net progrès technique dans l'équipement de chasse des sociétés humaines.

En revanche, la question des avantages comparés de l'arc et du propulseur est plus complexe. Les distances de tir utiles – c'est-à-dire celles qui permettent de viser efficacement – des propulseurs et des arcs traditionnels ne semblent pas sensiblement différentes, la tendance générale des chasseurs étant, dans les deux cas, de s'approcher le plus possible de la cible avant de tenter de l'atteindre avec leur arme. Avec des tireurs bien entraînés et sur des cibles de taille moyenne, le taux de tir au but ne paraît pas non plus très différent d'une arme à l'autre. Globalement – et bien que des variations existent bien sûr entre les groupes – le propulseur est utilisé pour lancer des projectiles longs et lourds, dont l'efficacité repose en partie sur la violence du choc qu'ils produisent : la cible a de bonnes chances d'être sonnée par la force de l'impact et donc neutralisée dès le premier tir, même si celui-ci n'atteint pas de zone vitale et ne cause donc pas de blessure mortelle. *A contrario*, l'arc tire des projectiles en moyenne plus légers, d'une vitesse supérieure – donc plus difficiles à éviter – mais d'une énergie cinétique bien plus faible. Avec un arc, il semble en revanche plus facile de viser un point précis de la cible (permettant ainsi de cibler spécifiquement une zone vitale, ou d'augmenter les chances d'atteindre un gibier de taille très réduite), mais aussi de tirer plusieurs projectiles en succession rapide (réarmement plus aisé, possibilité de transporter avec soi des projectiles plus nombreux car plus petits).

Par ailleurs, l'usage du propulseur se cantonne aux régions dépourvues de couvert végétal important (déserts, brousse, steppe…), pour des raisons de dimensions et d'encombrement des projectiles, tandis que l'arc est utilisé presque partout dans le monde et dans tous les types de milieux. Au chapitre de l'encombrement, remarquons toutefois que le tir à l'arc mobilise en permanence les deux mains du tireur, tandis que le propulseur, une fois armé (la sagaie posée dessus), ne nécessite que l'usage d'une seule main. La seconde main ainsi libérée peut par exemple être utilisée pour tenir un bouclier (ce que faisaient les guerriers toltèques), pour manœuvrer un kayak (Inuits du Groenland par exemple), ou pour tenir devant soi un écran végétal qui permet de se camoufler du gibier (chasseurs australiens).

Le tir à l'arc et le tir au propulseur correspondent donc bien à des choix techniques différents, mais il est difficile dire que l'un est simplement « plus avantageux » que l'autre dans toutes les conditions. Certains groupes emploient d'ailleurs les deux armes, tels les Inuits qui utilisent l'arc pour la chasse aux mammifères terrestres et le propulseur pour la chasse aux mammifères marins.

C'est pour le Paléolithique européen et pour la Préhistoire d'Amérique du Nord que le sujet a été le plus exploré. Le problème est que, ces deux armes étant le plus souvent

entièrement fabriquées en matières périssables, leurs traces archéologiques directes sont rares et ne reflètent pas forcément la réalité de leur distribution géographique et chronologique dans les sociétés du passé. Pour le Paléolithique européen en particulier, et pour s'en tenir aux documents indiscutables, des fragments de propulseur sont connus en Europe de l'Ouest entre *ca.* 19000 et 14000 cal BP (du début du Magdalénien moyen à la fin du Magdalénien supérieur), tandis que les plus anciennes traces directes d'utilisation de l'arc (les hampes de flèches du site de Stellmoor, en Allemagne) datent d'environ 12000-11500 cal BP ; mais la question d'une apparition plus précoce de ces deux armes demeure posée. Faute de preuves directes, des indices indirects ont été recherchés *via* l'étude des armatures, certaines formes paléolithiques parfois très anciennes (par exemple les pointes de Streletskaya*, vers 38-36000 cal BP) pouvant être morphométriquement très proches d'armatures de flèche de périodes plus récentes. De nombreux travaux – nord-américains en particulier – ont ainsi cherché à élaborer, par comparaison avec des collections ethnographiques, des indices morphométriques permettant de distinguer les pointes de sagaie (en moyenne plus grandes et plus lourdes, lancées au propulseur) des pointes de flèches (en moyenne plus petites et plus légères, tirées à l'arc). L'usage de ces indices morphométriques reste cependant controversé – notamment en raison de l'amplitude du recouvrement entre les dimensions des deux catégories – et le débat à leur sujet dure depuis des décennies sans qu'une position de consensus ne se dégage.

Plusieurs expérimentations de tir ont donc été entreprises afin de déterminer s'il était possible d'identifier le mode de lancer d'un projectile sur la base des traces d'impact portées par les armatures. Les résultats sont cependant jusqu'ici assez peu nombreux. En effet, le seul moyen de conduire une étude de tracéologie comparée entre les deux lanceurs est de disposer d'une série assez importante d'armatures expérimentales et de les tirer, soit à l'arc, soit au propulseur, toutes conditions égales par ailleurs ; or peu d'expérimentations ont mis en place ce type de protocole. Il y a une trentaine d'années, A. Fischer et ses collaborateurs signalaient pourtant déjà que, parmi leurs pointes de Bromme expérimentales, les fractures les plus marquées apparaissaient sur les pointes de sagaies (lancées à la main) et non sur les pointes de flèches. Plus récemment, P. Cattelain et M. Perpère ont montré que, sur une série de pointes de la Gravette expérimentales, les tirs au propulseur occasionnaient plus fréquemment des fractures que les tirs à l'arc, et que certaines morphologies de cassure (« en languette », « en marche ») étaient mieux représentées au propulseur, tandis que l'amplitude moyenne des cassures était plus importante à l'arc. Leur série archéologique de référence (les pointes de la Gravette de l'abri Pataud) présentait des caractères intermédiaires entre les deux séries expérimentales, ce qui n'avait pas permis aux auteurs de conclure quant à leur mode de lancer. Les expérimentations du groupe TFPS sur les pointes à cran solutréennes montrent également que certaines fractures en languette de grande ampleur (les fractures par flexion transversales brisant la pièce dans sa largeur) se produisent de façon prédominante sur les pointes de sagaie. Enfin, du côté des armatures osseuses, les expérimentations de J.-M. Pétillon et ses collaborateurs ont établi que, sur les pointes à base fourchue* magdaléniennes, les fractures situées au niveau de la partie proximale – c'est-à-dire sur la fourche – se produisaient exclusivement lors des tirs au propulseur. Ces fractures étant assez nombreuses dans la série archéologique

de référence (les pointes à base fourchue de la grotte d'Isturitz), un fonctionnement comme armatures de sagaie a ici pu être proposé pour les pièces magdaléniennes.

Une tendance récurrente se dégage de ces quelques résultats : les tirs au propulseur semblent, en moyenne, occasionner plus de dégâts aux armatures que les tirs à l'arc. Cette différence est probablement liée à l'énergie cinétique plus importante des sagaies – elle-même due à leur masse très supérieure à celle des flèches – ainsi qu'à leur comportement en vol (trajectoire plus sinueuse que pour les flèches). Dans le même ordre d'idées, une étude de L. Doyon et H. Katz-Knecht sur une série de pointes base fendue expérimentales a montré que l'ampleur des dommages subis par les armatures était en partie liée à la force impulsée aux projectiles. Les dimensions des projectiles jouent sans doute également un rôle : en oscillant au moment de l'impact, une hampe longue et épaisse – comme celle d'une sagaie – agit comme un bras de levier qui place l'armature (fixée dans la cible) sous une forte contrainte de flexion. La poursuite des expérimentations serait cependant nécessaire pour confirmer et préciser ces tendances. Par ailleurs, comme nous l'avons rappelé plus haut – et comme le montre à nouveau ici l'exemple des pointes de la Gravette de l'abri Pataud –, l'application des résultats expérimentaux aux séries archéologiques est souvent délicate et permet rarement d'aboutir à une conclusion tranchée. L'histoire complexe de la formation de l'ensemble archéologique (mélange de pièces cassées en cours de fabrication, abandonnées après utilisation, cassées au sol par piétinement…) produit en effet une signature tracéologique plus brouillée que celle, par comparaison assez simple, issue de l'expérimentation.

7 Performances des armatures : efficacité, solidité et entretien

Les tirs expérimentaux ont également fourni une moisson d'informations sur les performances de différents types d'armatures – qu'il s'agisse de leur pouvoir vulnérant (généralement estimé d'après la profondeur de pénétration des projectiles dans le corps de la cible) ou de leur durabilité (résistance à l'impact, possibilités de réparation des armatures endommagées).

Le tir expérimental confirme notamment une idée déjà suggérée par les données ethnographiques : par rapport aux armatures en matières osseuses ou végétales, le principal avantage des armatures lithiques est leur plus grand pouvoir tranchant, qui permet d'infliger à la cible des dommages plus importants. Ainsi, sur des ongulés de taille petite ou moyenne, les flèches et les sagaies équipées de pointes en silex et dont la trajectoire n'est pas arrêtée par un os de la cible atteignent communément des profondeurs de pénétration moyennes autour de 20 cm, voire au-delà. Par comparaison, les profondeurs de pénétration moyennes des pointes osseuses utilisées dans les mêmes conditions se situent généralement entre 12 et 20 cm. Les expérimentations de J.-M. Pétillon et ses collaborateurs ont ainsi montré que le fait de fixer des lamelles en silex sur le bord de pointes de sagaie en bois de renne (tirées au propulseur) permettait de multiplier leur profondeur de pénétration moyenne pratiquement par deux : de 15 à 28 cm environ. Cet avantage des armatures en silex a toutefois été remis en cause par une série d'expérimentations récentes, dans lesquelles des projectiles

équipés de simples pointes en bois végétal font jeu égal, en termes de profondeur de pénétration, avec des projectiles à armature lithique. Ces derniers résultats doivent toutefois être considérés avec beaucoup de prudence car toutes ces expérimentations ont utilisé comme cibles des blocs de gel balistique, et on peut se demander si ce choix reflète adéquatement des conditions de chasse réalistes (le gel balistique ne simulant pas la résistance du tégument – peau et poils –, obstacle critique à la pénétration du projectile).

Ce que les armatures lithiques gagnent en pouvoir tranchant, elles le perdent cependant en résistance à l'impact. Bien que les situations soient très variables d'une expérimentation à l'autre – suivant le type de pointe, le mode de montage, le mode de lancer, la nature de la cible… – on peut estimer qu'entre 40 et 80 % des armatures lithiques à fixation apicale ou apico-latérale se fracturent dès le premier impact, et que ces fractures sont généralement irréparables. Ce constat doit bien sûr être nuancé selon les cas : il semble que certaines armatures peut-être plus massives, telles les pointes Levallois*, résistent mieux à l'impact ; et que certaines formes offrent de plus grandes possibilités de réaffûtage, ce qui allonge leur durée de vie (ainsi des pointes d'Elko* et des pointes de Folsom*, dont la chaîne opératoire de fabrication et d'entretien a fait l'objet de plusieurs études expérimentales par les préhistoriens nord-américains). Ces réserves ne modifient cependant pas la tendance générale qui fait des pointes lithiques des objets fragiles, à courte durée de vie. Expérimentalement, les armatures lithiques emmanchées latéralement – lamelles à dos ou « barbelures » microlithiques – se fracturent moins souvent car elles sont moins exposées à la violence de l'impact, mais elles se détachent fréquemment au moment du choc et sont souvent perdues dans ou hors de la cible.

Il a plusieurs fois été suggéré que cette fragilité des têtes de projectile lithiques – qu'il s'agisse de la fracturation des pointes ou du détachement des armatures latérales – pouvait être délibérément recherchée : en se disloquant dans le corps de la cible, la tête lithique libère des fragments tranchants qui vont se répandre dans l'organisme de l'animal et y causer des dégâts supplémentaires. Cette hypothèse est appuyée par de rares sources ethnographiques mais n'a jamais été vérifiée expérimentalement et reste de l'ordre de la spéculation.

Le tableau est très différent pour les pointes en matières osseuses. La plupart des expérimentateurs soulignent en effet leur grande résistance à l'impact, quel que soit leur mode de montage ou de lancer. Les tirs dans des obstacles peu rigides (sol végétal), dans des animaux de petite taille, et même dans certaines parties des animaux plus grands (sur les ongulés : les parties molles, certaines vertèbres, les os fins comme les côtes et le sternum) laissent la pointe intacte dans la grande majorité des cas. La capacité des pointes osseuses à transpercer et briser les os minces – *e.g.*, les côtes, parfois les vertèbres – sans subir le moindre dommage macroscopique a été notée à plusieurs reprises. Seuls les impacts sur des obstacles épais et rigides (rochers, sol gelé) ou sur les os les plus massifs (scapula, os coxal, os longs) des ongulés de taille moyenne ou grande produisent des dommages plus fréquents. Et lorsque des fractures se produisent, elles restent le plus souvent proches de l'extrémité distale, n'occasionnent qu'une faible perte de longueur et seraient assez faciles à réparer par simple réaffûtage. Des dégâts

plus importants, susceptibles de rendre la pointe irréparable (clivage longitudinal, fracture de la base...), se produisent également mais sont beaucoup plus rares et le plus souvent liés à des impacts inhabituellement violents.

Quelques expérimentateurs signalent que cette résistance est particulièrement élevée pour les pointes en bois de cervidé, tandis que, par comparaison, les pointes en os se fracturent un peu plus fréquemment. Ce paramètre demande encore à être testé plus systématiquement, mais cette observation serait cohérente avec les propriétés mécaniques des deux tissus : plus élastique, le bois de cervidé résiste mieux que l'os aux contraintes mécaniques, et ce n'est sans doute pas un hasard si les préhistoriques l'ont très souvent préféré à l'os pour la fabrication de leurs armatures de projectile. Quant aux pointes en ivoire, les expérimentations approfondies les concernant sont encore rares, mais les quelques données existantes (dont certaines inédites) semblent également indiquer une très grande résistance aux impacts.

Il a été suggéré que cette durabilité plus élevée des pointes osseuses pouvait rendre leur usage particulièrement intéressant dans le cas d'une chasse en milieu ouvert, où le taux de perte des projectiles est plus faible qu'en milieu fermé et où les possibilités de réutilisation des projectiles sont donc plus grandes. Le temps de fabrication nettement plus important des armatures osseuses par rapport à leurs équivalents lithiques serait alors compensé par une durée d'utilisation sensiblement plus longue. Dans le même ordre d'idées, du point de vue fonctionnel, les armatures composites connues à différents moments du Paléolithique supérieur, qui associent une pointe en bois de renne à des tranchants lithiques rapportés (*i.e.*, des lamelles fixées sur les bords de la pointe), pourraient être considérés comme un cas d'optimisation des qualités des différents matériaux dont disposaient les préhistoriques : la grande résistance du bois de renne à l'impact et le pouvoir tranchant du silex.

8 En guise de bilan... et de perspective

Plusieurs décennies de travaux par de nombreux spécialistes, sur des cas archéologiques très variés, ont démontré tout l'intérêt que présente l'approche expérimentale pour la compréhension du fonctionnement de l'armement préhistorique. Malgré des protocoles expérimentaux aux paramètres multiples, complexes à élaborer et lourds à mettre en œuvre, et malgré une signature tracéologique souvent délicate à interpréter, l'intérêt pour ce thème de recherche ne faiblit pas, un intérêt motivé par le rôle central que jouent les armatures de projectile dans l'étude de nombreuses sociétés préhistoriques – principalement bien sûr les chasseurs-collecteurs.

Outre la nécessaire multiplication des études de cas – aucun catalogue générique de « traces diagnostiques » ne pouvant pleinement remplacer des expérimentations adaptées à chaque contexte – on peut identifier quelques pistes de recherche dont on peut souhaiter qu'elles soient suivies dans les années à venir. La première est l'approfondissement du dialogue entre expérimentations *in vivo* et *in vitro*, encore trop souvent pratiquées par des chercheurs distincts, sur des fondements méthodologiques différents et dans le cadre de projets séparés, alors que quelques recherches récentes montrent toute la fécondité de leur intégration et de leur utilisation conjointe pour résoudre une même question archéologique. La seconde piste est la mise en place de

véritables méta-analyses, encore très rares à l'heure actuelle. Ce faible développement tient notamment à la difficulté de comparer directement les expérimentations entre elles, un problème qui ne pourra être résolu que par un effort d'homogénéisation dans certains domaines (nomenclature des fractures, normalisation de la nature et du mode de présentation des données dans les publications, etc.). Ce chapitre a tenté de suggérer quelques-unes des directions dans lesquelles de telles méta-analyses pourraient à terme se développer, afin d'aller au-delà de la multiplicité des cas pour rechercher des tendances transculturelles, en s'appuyant sur la richesse documentaire léguée par ce qui est devenu aujourd'hui une longue tradition d'expérimentateurs.

Bibliographie

Cattelain P. (1994) – La chasse au Paléolithique supérieur. Arc ou propulseur, ou les deux ? *Archéo-Situla*, 21-24, p. 5-26.

Dockall J.E. (1997) – Wear traces and projectile impact : a review of the experimental and archaeological evidence. *Journal of Field Archaeology*, 24, p. 321-331.

Iovita R., Sano K. dir. (2016) – *Multidisciplinary approaches to the study of Stone Age weaponry*. Springer (Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology Series), 303 p.

Junkmanns J. (2001) – *Arc et flèche : fabrication et utilisation au Néolithique*. Bienne, musée Schwab, 62 p.

Knecht H. dir. (1997) – *Projectile technology*. New York, Plenum press, 408 p.

Pétillon J.-M. (2006) – *Des Magdaléniens en armes. Technologie des armatures de projectile en bois de cervidé du Magdalénien supérieur de la grotte d'Isturitz (Pyrénées-Atlantiques)*. Treignes, CEDARC, 302 p. http ://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00201995/fr/

Pétillon J.-M., Dias-Meirinho M.-H., Cattelain P., Honegger M., Normand C., Valdeyron N. dir. (2009) – *Recherches sur les armatures de projectiles du Paléolithique supérieur au Néolithique / Research on projectile tips from the Upper Palaeolithic to the Neolithic*. Actes du colloque C83, XVe congrès de l'UISPP, Lisbonne, 4-9 septembre 2006, _P@lethnologie_, 1, 372 p. http ://www.palethnologie.org/fr/revue-2009.html

Rots V., Plisson H. (2014) – Projectiles and the abuse of the use-wear method in a search for impact. *Journal of Archaeological Science*, 48, p. 154-165. http ://dx.doi.org/10.1016/j.jas.2013.10.027

Merci à Caroline Renard, Damien Flas et Nicolas Zwyns pour les informations qu'ils nous ont fournies lors de la rédaction de ce texte en 2015 ; les éventuelles erreurs et omissions restent bien sûr de notre fait.